

KATARZYNA KAŻMIERCZAK

## Biosocjalne zróżnicowanie miąższości grubizny drzewa w drzewostanach sosnowych trzech klas wieku oraz jej związku z przestrzenią wzrostu drzewa

Biosocial diversity of volume of merchantable timber in Scots pine stands in three age classes and its relationships with a tree's growth space

### ABSTRACT

Każmierczak K. 2013. Biosocjalne zróżnicowanie miąższości grubizny drzewa w drzewostanach sosnowych trzech klas wieku oraz jej związku z przestrzenią wzrostu drzewa. Sylwan 157 (2): 122-129.

The paper presents an analysis of merchantable timber volume in three Scots pine stands aged 35, 50 and 88 years depending on Kraft's classes. It also shows the strength of the relationship between this volume and various measures of a tree's growth space (crown projection area, crown width, Seebach's growth space number, crown projection area ratio, space of a single tree and crown spread), crown characteristics (crown length and relative crown length), slenderness, breast height diameter and height as well as the biosocial position of a single tree. Volume of Scots pine merchantable timber trees was described using multiple regression equations.

### KEY WORDS

merchantable timber, growth space, crown, biosocial class, pine

### ADDRESSES

Katarzyna Każmierczak – e-mail: kkdendro@up.poznan.pl

Zakład Dendrometrii i Produkcyjności Lasu; Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu;  
ul. Wojska Polskiego 71 C, 60-625 Poznań

### Wstęp

W zakres prac taksacyjnych wchodzi między innymi określanie miąższości drzewostanów. Opracowywanie prostych sposobów ustalania zapasu kieruje poszukiwania naukowe w stronę metod dokładnych i zarazem mało pracochłonnych. Pogłębianie wiedzy o zmianach zachodzących we wroście i przyroście drzew ułatwia praktykom podejmowanie właściwych decyzji w pracach hodowlanych. Jednym z kierunków poszukiwań jest opracowywanie i dopracowywanie wzorów do określania miąższości drzew stojących, które poza pierśnicą i wysokością uwzględnić będą inne, łatwe do pomiaru w trakcie tradycyjnych prac pomiarowych cechy drzewa.

Podstawowym gatunkiem lasotwórczym w Polsce jest sosna, toteż dla niej opracowano wzory empiryczne na różne rodzaje liczb kształtu i miąższości [Bruchwald 1978, 1996; Bruchwald, Dudek 1978; Bruchwald, Rymer-Dudzińska 1978a, b, 1988, 1998]. Szereg prac poświęcono także świerkowi [Bruchwald, Rymer-Dudzińska 1981a, b, 1987, 1996; Bruchwald, Wróblewski 1993], jodle [Bruchwald 1992], dębowi [Bruchwald i in. 1994], olszy czarnej [Dudzińska, Bruchwald 2003a-c] czy modrzewiowi [Bruchwald i in. 2010] oraz innym gatunkom [Bruchwald i in. 2000; Wróblewski, Zasada 2001; Zasada 2000].

Celem pracy jest analiza miąższości grubizny drzewa w drzewostanach sosnowych II, III i V klasy wieku w zależności od pozycji biosocjalnej drzewa oraz opracowanie empirycznego rów-

niania do określania miąższości grubizny uwzględniające poza pierśnicą i wysokością przestrzeni wzrostu drzewa lub cechy korony.

## Materiał i metody

Materiał badawczy został zebrany na trzech zrębach zupełnych założonych w litych drzewostanach sosnowych w wieku 35, 50 i 88 lat na terenie Nadleśnictwa Doświadczalnego Zielonka. Najmłodszy i najstarszy drzewostan wzrastały w warunkach boru świeżego, a drzewostan 50-letni – boru mieszanego świeżego.

Na drzewach stojących pomierzono:

- pierśnicę w korze w kierunkach N-S i W-E z dokładnością do 0,1 cm, a średnią arytmetyczną z tych pomiarów przyjęto za pierśnicę drzewa ( $d_{1,3}$ ) [cm],
- powierzchnię rzutu korony  $p_k$  [m<sup>2</sup>] na podstawie rzutowanych charakterystycznych punktów koron drzew (przeciętnie 4 do 14).

Po ścięciu drzew ustalono między innymi:

- długość z dokładnością do 0,01 m i przyjęto ją za wysokość drzewa ( $h$ ) [m],
- długość grubizny drzewa (do miejsca średnicy strzały 7 cm w korze) [m],
- wysokość osadzenia korony do pierwszej żywej gałęzi zwartej korony [m],
- miąższość grubizny  $V_{grub}$  [m<sup>3</sup>], którą określono sposobem sekcyjnym.

Dla każdego drzewa stojącego, zgodnie z kryteriami klasyfikacji Krafta, bezpośrednio przed założeniem zrębu określono stanowisko biosocjalne. Szerokość korony  $d_k$  uzyskano z powierzchni rzutu korony przyjętej za pole koła. Długość korony  $l_k$  obliczono jako różnicę pomiędzy całkowitą wysokością drzewa a wysokością osadzenia korony. 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 –  $ppd = p_k \cdot h$  [m<sup>3</sup>].

Dla miąższości grubizny w poszczególnych klasach Krafta badanych drzewostanów wyliczono podstawowe charakterystyki statystyczne. Z powodu zauważalnego różnicowania miąższości grubizny ze względu na klasę Krafta i na wiek drzewostanów przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji. Poprzedzono ją oceną zgodności rozkładu empirycznego miąższości grubizny z rozkładem normalnym przy użyciu testu Kołmogorowa-Smirnowa. Ocenę zgodności z rozkładem normalnym i analizę wariancji przeprowadzono jedynie dla klas drzewostanu panującego, gdyż nie wszystkie klasy Krafta miały swoich reprezentantów w każdym z badanych drzewostanów. Dotyczyło to klas IVa i IVb oraz Va, czyli drzewostanu opanowanego. Nie stwierdzono odstępstw rozkładu empirycznego od rozkładu normalnego miąższości grubizny w poszczególnych klasach biosocjalnych drzewostanu panującego omawianych drzewostanów sosnowych.

Oceniono także siłę korelacji między miąższością grubizny a pozycją biosocjalną drzew, pierśnicą, wysokością, sześcioma miarami wzrostu drzewa (powierzchnią rzutu korony, szerokością korony, liczbą przestrzeni wzrostowej Seebacha, ilorazem powierzchni rzutu korony, stopniem rozłożystości korony i przestrzenią pojedynczego drzewa), dwiema innymi cechami korony (długością korony, względną długością korony) oraz jedną cechą kształtu – smukłością drzewa.

W dalszym etapie badań opracowano równania empiryczne do szacowania miąższości grubizny. Estymację parametrów równań regresji przeprowadzono metodą regresji krokowej wstecznej. Oceniono dopasowanie opracowanych funkcji, wykorzystując współczynnik korelacji wielokrotnej  $R$ , współczynnik determinacji  $100R^2$  i współczynniki korelacji cząstkowej  $R_{cs}$ . Do obliczeń wykorzystano pakiet Statistica 10.1 (StatSoft, Inc.).

## Wyniki

Średnia miąższość grubizny sosen zmienia się z wiekiem i pozycją drzewa w drzewostanie panującym (tab. 1). We wszystkich drzewostanach największą miąższością grubizny wyróżniają się drzewa I klasy Krafra. Zróżnicowanie wynikające z wieku najwyraźniej widoczne jest u drzew górujących. Z pogarszaniem się pozycji drzewa w strukturze pionowej zróżnicowanie to zmniejsza się. Największą zmiennością charakteryzuje się miąższość drzew w drzewostanie najstarszym. Nie ma wyraźnej tendencji zmienności tej cechy z wiekiem drzewostanów. W przypadku dwóch starszych drzewostanów następuje wzrost zmienności z I klasy Krafra do II, ale współczynnik zmienności maleje z pogorszeniem się stanowiska biosocjalnego drzewa.

Na miąższość grubizny sosen w istotny statystycznie sposób wpływa zarówno pozycja biosocjalna drzewa, jak i wiek drzewostanu. Ponadto stwierdzono łączny wpływ obu czynników na miąższość badanych sosen. Najsilniejszy związek miąższości grubizny stwierdzono z pierśnicą drzewa. Z wiekiem moc tej zależności nieznacznie słabnie (tab. 2). Nieco mniejszym współczynnikiem korelacji cechuje się związek z klasą Krafra i ze smukłością drzewa, który w najstarszym drzewostanie jest niższy od uzyskanych w obu młodszych. Na podobnym poziomie jest zależność pomiędzy miąższością grubizny a przestrzenią pojedynczego drzewa i jego wysokością. W dalszej kolejności mocy związku znajduje się powierzchnia rzutu korony i jej szerokość oraz długość. Najmniejszym współczynnikiem korelacji cechuje się związek miąższości grubizny sosen ze stopniem wychylenia korony i względną długością korony. Zależność liczby przestrzeni wzrostowej Seebacha i ilorazu powierzchni rzutu korony była nieistotna statystycznie (tab. 2).

**Tabela 1.**

Podstawowe charakterystyki statystyczne miąższości grubizny w zależności od wieku drzewostanu i pozycji biosocjalnej drzewa

Main statistical characteristics of merchantable timber for various stand age and tree's biosocial position

Klasa Krafra	35 lat			50 lat			88 lat		
	n [szt.]	$\bar{x}$ [m <sup>3</sup> ]	V [%]	n [szt.]	$\bar{x}$ [m <sup>3</sup> ]	V [%]	n [szt.]	$\bar{x}$ [m <sup>3</sup> ]	V [%]
I	33	0,1563	22,01	32	0,4207	19,34	87	1,0508	23,21
II	65	0,0939	20,41	125	0,2496	23,20	287	0,6306	27,55
III	87	0,0574	24,03	72	0,1544	21,39	95	0,3848	25,51
I-III	185	0,0879	47,12	229	0,2436	41,05	469	0,6588	41,74
IVa	44	0,0317	35,24	36	0,1036	24,27	5	0,2611	10,19
IVb	36	0,0220	69,32	9	0,0781	19,77			
Va	37	0,0101	58,75						
IV-V	117	0,0219	65,87	45	0,0985	25,93			
Drzewostan	302	0,0623	74,68	274	0,2197	48,49	474	0,6546	42,24

**Tabela 2.**

Związek miąższości grubizny z wybranymi cechami przestrzeni wzrostu drzewa

Relationship between merchantable timber volume and selected traits of tree's growth space

Wiek [lat]	Klasa Krafra	$d_{1.3}$	$h$	$p_k$	$d_k$	$d_k/d_{1.3}$	$d_k^2/d_{1.3}^2$	$ppd$	$d_k/h$	$lk$	$l_k/h$	$s$
35	-0,899*	0,983*	0,823*	0,793*	0,792*	-0,001	-0,025	0,833*	0,628*	0,788*	0,608*	-0,864*
50	-0,835*	0,972*	0,815*	0,804*	0,792*	0,102	0,080	0,850*	0,638*	0,694*	0,512*	-0,865*
88	-0,750*	0,965*	0,721*	0,709*	0,711*	0,062	0,037	0,763*	0,543*	0,623*	0,474*	-0,807*

\* istotny statystycznie na poziomie 0,05

\* significant at 0.05

Opracowano równania do określania miąższości grubizny. Do pierwszego zestawu zmiennych objaśniających zaliczono pierśnicę, wysokość, powierzchnię rzutu korony, długość korony stopień jej wychylenia, względną długość korony i smukłość. Uzyskane równania miały postać:

$$V_{grub} = -0,933 + 0,058 \cdot d_{13} - 0,019 \cdot h + 0,008 \cdot p_k - 0,018 \cdot l_k - 0,802 \cdot \frac{d_k}{h} + 0,435 \cdot \frac{l_k}{h} + 0,492 \cdot s \quad [1]$$

$$V_{grub} = -0,815 + 0,058 \cdot d_{13} - 0,025 \cdot h + 0,008 \cdot p_k - 0,771 \cdot \frac{d_k}{h} + 0,095 \cdot \frac{l_k}{h} + 0,483 \cdot s \quad [2]$$

W drugim zestawie cech objaśniających znalazł się wiek, pierśnica, wysokość, powierzchnia rzutu korony, względna długość korony i smukłość drzewa. Opracowano następujące wzory:

$$V_{grub} = -1,185 - 0,001 \cdot w + 0,063 \cdot d_{13} - 0,017 \cdot h + 0,003 \cdot p_k - 0,016 \cdot l_k + 0,322 \cdot \frac{l_k}{h} + 0,603 \cdot s \quad [3]$$

$$V_{grub} = -1,222 - 0,001 \cdot w + 0,071 \cdot d_{13} - 0,026 \cdot h + 0,005 \cdot p_k + 0,113 \cdot \frac{l_k}{h} + 0,683 \cdot s \quad [4]$$

Ostatni zestaw zawierał jedynie pierśnicę, wysokość drzewa oraz szerokość i długość korony, których pomiar może zostać wykonany niewielkim nakładem podczas prac terenowych. Uzyskano kolejne dwa równania:

$$V_{grub} = -0,278 + 0,041 \cdot d_{13} - 0,014 \cdot h + 0,013 \cdot d_k + 0,004 \cdot l_k \quad [5]$$

$$V_{grub} = -0,270 + 0,042 \cdot d_{13} - 0,014 \cdot h + 0,014 \cdot d_k \quad [6]$$

Uzyskane funkcje regresji na wysokim poziomie dokładności opisują zmienność miąższości grubizny sosny. Wynosi on blisko 94% przy określaniu miąższości grubizny na podstawie pomiaru jedynie trzech cech drzewa: pierśnicy, wysokości i szerokości korony (tab. 3). Wykonując pomiar pierśnicy, wysokości, powierzchni rzutu korony, jej długości oraz ustalając stopień wychylenia korony, względną długość korony i smukłość drzewa, wyjaśniamy zmienność miąższości grubizny badanych sosn w ponad 97%. Dodatkowe uwzględnienie wieku drzewa i rezygnacja ze stopnia wychylenia korony skutkuje podobnym stopniem dopasowania (tab. 3). Najślabszą korelacją po wyłączeniu innych cech wyróżniała się długość korony, która w równaniu [5] okazała się wręcz nieistotna statystycznie, choć cecha ta była silnie skorelowana z miąższością (tab. 2). Po wyłączeniu wpływu innych cech współczynnik korelacji pomiędzy miąższością grubizny i wysokością przyjmuje wartość ujemną. Można to uzasadnić większą intensywnością wzrostu pierśnicy

**Tabela 3.**

Miary dopasowania empirycznych funkcji do określania miąższości sosny  
Measures of fit of empirical functions to determine the volume of pine

Równanie R	100R <sup>2</sup>	Wiek	d <sub>1,3</sub>	h	d <sub>k</sub>	p <sub>k</sub>	l <sub>k</sub>	d <sub>k</sub> /h	l <sub>k</sub> /h	s
1	0,987	97,38	0,857	-0,227		0,309	-0,077	-0,221	0,096	0,530
2	0,987	97,36	0,856	-0,561		0,302		-0,213	0,109	0,526
3	0,986	97,30	-0,146	0,885	-0,200	0,273	-0,066		0,071	0,700
4	0,986	97,29	-0,179	0,888	-0,511	0,275				0,710
5	0,969	93,84		0,790	-0,279	0,108		0,051*		
6	0,969	93,83		0,793	-0,275	0,114				

\* nieistotny statystycznie na poziomie 0,05

\* insignificant at 0,05

drzew w porównaniu ze wzrostem ich wysokości. Znak zależności po wyłączeniu wpływu innych wymiarów drzewa zmienia również wiek, choć z jego wzrostem miąższość rośnie. To można wyjaśnić spadkiem z wiekiem intensywności wzrostu elementów miąższości, czyli pierścicy i wysokości. Współczynnik korelacji pomiędzy miąższością i stopniem wychylenia korony też przyjmuje wartość ujemną po wyłączeniu innych cech (tab. 3).

## Dyskusja

Prezentowana praca wykazuje zróżnicowanie średniej miąższości grubizny sosny zarówno ze względu na pozycję drzewa w strukturze pionowej drzewostanu, jak i wynikającą z wieku drzewostanu. Stwierdzono łączny wpływ obu czynników na miąższość badanych sosen.

Retrospektywna analiza wzrostu i przyrostu sosen przeprowadzona przez Lemkego [1972a, b] w dwóch młodszych z aktualnie badanych drzewostanów wykazała, że średnia miąższość strzały jest największa w I klasie Krafta. Średnie arytmetyczne uzyskane dla klasy II i III są mniejsze, a najmniejsze wartości osiąga klasa IV. Odległości między liniami wzrostu miąższości z wiekiem, które są początkowo niewielkie, w kolejnych klasach wzrastają z wiekiem. Zróżnicowanie miąższości strzał było największe w wieku 10 lat, zaś w dalszych okresach zmniejszało się. W początkowym okresie przyrostowym zmienność zwiększała się zasadniczo w kolejności klas biosocjalnych z największym współczynnikiem w klasie IV. Po 20 roku życia badanych sosen nie stwierdzono wyraźnego związku zmienności ze stanowiskiem drzewa. Miąższość wykazuje większą zmienność w drzewostanie niż w klasach Krafta. Pewne odchylenia stwierdzono jedynie w początkowych okresach. Šmelka [1982] wykazał, że miąższość górujących świerków była do 1,5 razy większa od miąższości drzew panujących, która z kolei przewyższała miąższość drzew współpanujących na podobnym poziomie. Zróżnicowanie uwidaczniało się w wieku około 30 lat i utrzymywało się przez dalsze życie badanych świerków. Wyraźna różnica między drzewami górującymi a panującymi zaznaczała się dopiero w wieku 90 lat. Jak podaje Borowski [1974], badania prowadzone w drzewostanach sosnowych i świerkowych wykazały, że krzywe wzrostu miąższości drzew poszczególnych klas biosocjalnych, oparte na dużej liczbie drzew, układały się podobnie od pierwszych lat życia. Prawidłowość ta była mniej wyraźna u pojedynczych drzew. Linie pojedynczych drzew przecinały się ze sobą w młodym wieku, co świadczyło o przemieszczaniu się drzew w strukturze pionowej drzewostanu. Żółciak [1963], analizując kształtowanie się przyrostów sosen w różnych okresach życia, stwierdził, iż drzewa zmieniając czasowo swą pozycję w drzewostanie, przeciętnie utrzymują swoje stałe położenie. Krzysik [za Jaworski 2004] stwierdził, iż wyższe położenie krzywej wzrostu jodeł wyższych klas Krafta nie utrzymywało się w ciągu całego życia drzew.

Stwierdzono istotną statystycznie zależność miąższości grubizny sosen w omawianych drzewostanach z powierzchnią rzutu korony, jej szerokością i długością. Związek z liczbą przestrzeni wzrostowej Seebacha okazał się nieistotny, zaś ze smukłością drzewa silny. Meixner [1965a, b, 1967, 1971, 1985] wykazał związek liczb kształtu sosny z szerokością korony i liczbą przestrzeni wzrostowej Seebacha oraz smukłością. Badania prowadzone przez Strauba i Koch [2011] na terenie Niemiec, bazujące na pomiarach ze skaningu laserowego, zaowocowały opracowaniem funkcji do ustalania miąższości sosen na podstawie różnych cech drzewa, w tym wielkości korony (średnicy i objętości). Zaproponowano siedem równań o różnym stopniu dopasowania. Model bazujący jedynie na cechach korony w najmniejszym stopniu wyjaśniał zmienność miąższości sosny (na poziomie około 50%). Modele uwzględniające poza wymiarami korony wysokość drzewa cechowały się stopniem dopasowania na poziomie 93% [Straub, Koch 2011]. Przeprowadzone wyżej analizy wykazały związek miąższości grubizny sosny z szerokością

korony. Współczynnik korelacji liniowej wahał się od 0,792 w drzewostanach młodszych do 0,711 w najstarszym. Zatem zmiennością tej cechy korony można wyjaśnić miąższość grubizny na nieco wyższym poziomie (50-63%) niż w przypadku badań niemieckich. Empiryczna funkcja do obliczania miąższości grubizny uwzględniająca pierśnicę, wysokość i szerokość korony osiągnęła stopień dopasowania przekraczający 93%.

## Wnioski

- ✚ Na wielkość miąższości grubizny sosny wpływa zarówno wiek drzewa, jak i jego pozycja w strukturze pionowej drzewostanu. Miąższość grubizny rośnie z wiekiem, a maleje z pogarszaniem się pozycji biosocjalnej drzewa.
- ✚ Z miąższością grubizny najsilniej związana jest pierśnica drzewa, klasa biosocjalna i smukłość oraz przestrzeń pojedynczego drzewa i wysokość, nieco słabiej powierzchnia rzutu korony oraz jej szerokość i długość. Najmniejszym współczynnikiem korelacji cechuje się związek miąższości grubizny sosen ze stopniem wychylenia korony i względną długością korony. Najślabszą korelację stwierdzono w przypadku drzewostanu najstarszego.
- ✚ Miąższość grubizny sosny można określać na podstawie pierśnicy, wysokości oraz szerokości korony drzewa równaniem  $V_{grub} = -0,270 + 0,042 \cdot d_{1,3} - 0,014 \cdot h + 0,014 \cdot d_k$ .

## Literatura

- Borowski M. 1974. Przyrost drzew i drzewostanów. PWRiL, Warszawa.
- Bruchwald A. 1978. Tablice liczb kształtu strzał w korze i bez kory dla sosny. Zesz. Nauk. SGGW w Warszawie 26: 7-19.
- Bruchwald A. 1992. Wzory empiryczne do określania miąższości drzewostanów jodłowych. Sylwan 136 (7): 17-23.
- Bruchwald A. 1996. New Empirical Formulae for Determination of Volume of Scots Pine Stands. Folia Forestalia Polonica, ser. A 38: 5-10.
- Bruchwald A., Dmyterko E., Wojtan R. 2010. Wzory empiryczne do określania pierśnicowych liczb kształtu dla modrzewia. Sylwan 154 (10): 705-709.
- Bruchwald A., Dudek A. 1978. Tablice miąższości drewna okrągłego grubego drzewostanów sosnowych na pniu. Zesz. Nauk. SGGW w Warszawie 26: 85-92.
- Bruchwald A., Dudzińska M., Wirowski M. 1994. Wzory empiryczne do określania miąższości drzewostanów dębowych. Sylwan 138 (2): 5-11.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T. 1978a. Tablice miąższości strzał w korze dla drzewostanów sosnowych. Zesz. Nauk. SGGW w Warszawie 26: 69-75.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T. 1978b. Tablice miąższości strzał bez kory dla drzewostanów sosnowych. Zesz. Nauk. SGGW w Warszawie 26: 77-83.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T. 1981a. Wzory empiryczne do określania pierśnicowej liczby kształtu strzały w korze dla świerka. Sylwan 125 (3): 11-15.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T. 1981b. Wzory empiryczne do określania miąższości strzał w korze dla świerka. Sylwan 125 (4): 19-22.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T. 1987. Równania empiryczne do określania miąższości grubizny strzał drzew stojących dla świerka. Sylwan 131 (5): 15-20.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T. 1988. Empirical equations for determining timber volume of stem on stump for pine. Ann. Warsaw Agric. Univ. - SGGW-AR, For. and Wood Technol. 36: 51-55.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T. 1996. Nowy wzór empiryczny do określania pierśnicowej liczby kształtu grubizny drzewa dla świerka. Sylwan 140 (12): 25-31.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T. 1998. Wzory empiryczne do określania pierśnicowej liczby kształtu strzał sosen w korze z uwzględnieniem krain przyrodniczo-leśnych. Sylwan 142 (8): 5-13.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., Zasada M. 2000. Wzory empiryczne do określania wysokości i pierśnicowej liczby kształtu grubizny drzewa. Sylwan 144 (10): 5-13.
- Bruchwald A., Wróblewski L. 1993. Wzory empiryczne do określania miąższości drzewostanów świerkowych. Sylwan 147 (9): 15-20.
- Dudzińska M., Bruchwald A. 2003a. Wzory empiryczne i tablice miąższości grubizny drzew dla olszy czarnej (*Alnus glutinosa* L.) GAERTN.). Sylwan 147 (6): 69-78.
- Dudzińska M., Bruchwald A. 2003b. Wzory empiryczne pierśnicowej liczby kształtu strzały w korze dla drzewostanów olszy czarnej (*Alnus glutinosa* L.). Sylwan 147 (5): 36-41.

- Dudzińska M., Bruchwald A. 2003c. Wzory empiryczne pierśnicowych liczb kształtu drewna użytkowego dla olszy czarnej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Sylwan 147 (7): 3-6.
- Jaworski A. 2004. Podstawy przyrostowe i ekologiczne odnawiania oraz pielęgnacji drzewostanów. PWRiL. Warszawa.
- Lemke J. 1972a. Retrospektywna analiza wzrostu i przyrostu drzew w 50-letnim drzewostanie sosnowym. Folia Forestalia Polonica, ser. A 19: 5-23.
- Lemke J. 1972b. Wyniki analizy strzał 35-letniego drzewostanu sosnowego. Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN 34: 89-105.
- Meixner J. 1965a. Badania nad zmiennością pierśnicowej liczby kształtu, wysokości kształtu i miąższości strzał w drzewostanie sosnowym. Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN 17: 457-480.
- Meixner J. 1965b. Wyniki dotychczasowych badań nad pierśnicowymi liczbami kształtu. Roczn. WSR w Poznaniu 27.
- Meixner J. 1967. Zmienność i zależność pierśnicowych liczb kształtu od różnych cech taksacyjnych drzew w drzewostanach sosnowych. Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN 22 (5).
- Meixner J. 1971. Równania regresji pierśnicowych liczb kształtu drzew drzewostanu sosnowego V klasy wieku. Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN 32: 107-119.
- Meixner J. 1985. Pierśnicowe liczby kształtu 50-letniego drzewostanu sosnowego. PTPN, Prace KNR i KNL 60: 77-84.
- Straub Ch., Koch B. 2011. Estimating single tree stem volume of *Pinus sylvestris* using airborne laser scanner and multispectral line scanner data. Remote Sensing 3: 929-944.
- Šmelko S. 1982. Biometrickie zakonitosti rastu a prirastku lesnych stromov a porastov. Bratislava, Veda.
- Wróblewski L., Zasada M. 2001. Wzory do określania miąższości grubizny dla modrzewia, osiki, grabu, topoli i lipy. Sylwan 143 (11): 71-79.
- Zasada M. 2000. Wzory empiryczne do określania wysokości i pierśnicowej liczby kształtu grubizny drzewa. Sylwan 144 (10): 5-13.
- Żółciak E. 1963. Analiza kształtowania się przyrostów drzew w różnych okresach życia drzewostanów sosnowych w borze świeżym na przykładzie Nadleśnictwa Doświadczalnego WSR Zielonka. Roczniki WSR w Poznaniu 14: 249-293.

## SUMMARY

### Biosocial diversity of volume of merchantable timber in Scots pine stands in three age classes and its relationships with a tree's growth space

The paper presents the results of an analysis of merchantable timber volume of pine trees from three stands aged 35, 50 and 88 years depending on the biosocial position of the trees in the stand. The biosocial position was set for each selected tree using Kraft's classification criteria. The diameter at breast height under bark and crown projection area were measured on each standing tree. The length of a tree, the length of merchantable timber on the stem, the location of crown on the stem and the volume of merchantable timber were determined after the trees were cut.

The crown width  $d_k$  was calculated from the area of crown projection taken as the area of a circle, and its length  $l_k$  was calculated as a difference between the total tree height and the location of crown on the stem. The following measures of the growth space of a single tree were also determined: Seebach's growth space number, crown projection area ratio, crown spread and space of a single tree.

Basic statistical characteristics were calculated for the merchantable timber volume of pine stands in individual Kraft's classes. The compliance of volume distribution with normal distribution was examined using the Kolmogorov-Smirnov test. An analysis of variance was performed to determine the impact of the biosocial position and age of trees in the stand on merchantable timber. The research showed the strength of the relationship between the volume of merchantable timber and the measures of the growth space of trees, crown characteristics and slenderness, as well as its dependence on the height and breast height diameter.

The age and biosocial position of trees in the vertical structure of stands had a significant impact on the volume of merchantable timber of pine trees. The timber volume of pines increased with age and decreased with their deteriorating position in the stand. The volume of merchantable timber of pines was most strongly correlated with breast height diameter, biosocial position and slenderness, as well as with the growth space and height of a single tree, while it was less correlated to crown projection area, its width and length. The volume of merchantable timber of pines with crown deflection and relative crown length showed the weakest correlation coefficient value. The relatively weakest correlation was always found in the oldest 88-year-old stand. The merchantable timber volume of pine trees can be calculated on the basis of their breast height diameter, height and crown width from the equation  $V_{grub} = -0.270 + 0.042 \cdot d_{1,3} - 0.014 \cdot h + 0.014 \cdot d_k$ .