

ARKADIUSZ BRUCHWALD, ELŻBIETA DMYTERKO, JOANNA WITKOWSKA,
KRZYSZTOF JODŁOWSKI

Sposoby określania miąższości kłód brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth)*

Methods for determining the volume of silver birch (*Betula pendula* Roth)
logs

ABSTRACT

Bruchwald A., Dmyterko E., Witkowska J., Jodłowski K. 2018. Sposoby określania miąższości kłód brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth). Sylwan 162 (6): 443-451.

The purpose of the research was to develop and evaluate the accuracy of various methods for determining the volume of the butt-end (from 0 to 6 m) and middle (from 6 to 12 m) logs of silver birch. The material was collected on 84 samples plots established throughout Poland. On each plot, 2 to 10 trees (722 in total) were felled and measured using a cross-section method. The average age of the measured trees ranged from 22 to 97 years, the average diameter at the breast height from 7.0 to 39.6 cm, and the average height from 8.1 to 31.2 m. We tested 4 methods for log volume determination. Two can be used for individual logs and two for stacks. In method 1 one measures the log length and diameter under bark at a distance of 1 meter from the butt-end and at half the length of the remaining part of the log. The log volume is defined by a two-sectional formula based on the middle cross-section (eq. 1). The average error for that method is close to zero, regardless the log length (tab.). In method 2, two-sectional formula of the middle cross-section was used with the diameter in the middle of each section calculated from the developed regression models based on the log length and diameter under bark at the top end. For both logs the error of volume calculation is small, especially for the middle one (tab.). Method 3 defines the log volume using the middle cross-section formula, which requires log length and diameter at half of the length. For the butt-end log, the volume has a systematic negative error, exceeding -5%. For the middle log, the formula is characterized by high accuracy. Method 4 is also based on the middle cross-section formula, but the diameter up to half the length is calculated from empirical formulas based on the log length and diameter under bark at the top end (eq. 5c and 6c). The accuracy of this method is close to the accuracy of method 3 (tab.). To determine the log volume in inaccessible places, method 2 can be recommended. The corresponding diameter is calculated from the regression equations. This method can also be used when the measurement places are accessible, which unifies the birch log measurement methods. However, determination of birch logs volume based on the commonly used middle cross-section formula should not be applied as for the butt-end log this method produces too large negative error, additionally increased by the rounding down the diameter measurement.

KEY WORDS

log volume, two-sectional equations, middle cross section equations, empirical equations

*Praca w ramach tematu „Repozytorium dendrometryczne, modelowanie grubości kory drewna dłużycowego oraz wzory do obliczania miąższości drewna kłodowanego i średniowymiarowego (Kora)” finansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych.

ADDRESSES

Arkadiusz Bruchwald – e-mail: A.Bruchwald@ibles.waw.pl

Elżbieta Dmyterko – e-mail: E.Dmyterko@ibles.waw.pl

Joanna Witkowska – e-mail: J.Witkowska@ibles.waw.pl

Krzysztof Jodłowski – e-mail: K.Jodlowski@ibles.waw.pl

Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

Wstęp

Z kilku gatunków rodzaju *Betula* najbardziej rozpowszechniona w Polsce jest brzoza brodawkowata, która osiąga do 30 m wysokości i 80 cm pierśnicy [Bruchwald 2002; Tomanek, Witkowska-Żuk 2008; Zarzyński, Tomusiak 2014]. Będąc gatunkiem pionierskim, zasiedla grunty wyłączone z użytkowania rolniczego. Spełnia wówczas rolę przedplonu, przygotowując siedlisko do zajęcia przez inne gatunki drzew, zwłaszcza sosnę [Bernadzki, Kowalski 1983; Bernadzki 1990]. Jako gatunek domieszkowy zalecana jest jedynie na siedliskach podmokłych lub suchych, takich jak bór bagienny i wilgotny, bór mieszany bagienny i wilgotny oraz bór suchy lub świeży [Zasady... 1988]. Odgrywa ważną rolę, zwiększając różnorodność gatunkową lasów.

Najwięcej powierzchni brzozowych znajduje się w północnej i wschodniej części Polski. Główna baza drewna brzozowego to teren regionalnych dyrekcji LP w Olsztynie, Białymstoku, Katowicach i w Szczecinku. Najmniej powierzchni z brzozą jako gatunkiem panującym jest na obszarze regionalnych dyrekcji w Krakowie, Pile, Krośnie i w Toruniu. Duże zróżnicowanie powierzchni z dominującym udziałem brzozy jest przede wszystkim następstwem powojennego naturalnego odnowienia brzozowego na terenach, na których zaprzestano użytkowania gruntów rolnych.

Powierzchnia lasów z udziałem brzozy w okresie ostatnich 20 lat uległa kilkukrotnemu zmniejszeniu w związku z ograniczeniem powstawania upraw brzozowych z samosiewu. Dalsze ograniczenie tych odnowień może w ciągu najbliższych 40 lat doprowadzić do zmniejszenia powierzchni z dominującą brzozą, z około 5% obecnie do poniżej 1% [Łukasiewicz 2016].

W ostatnich dziesięcioleciach wzrosło zapotrzebowanie na drewno brzozowe na rynku polskim i rynkach europejskich, powstały także nowe możliwości jego wykorzystania. Drewno brzozy odznacza się przeciętną gęstością w porównaniu z drewnem innych gatunków drzew liściastych występujących na terenie kraju. Niemal nie paczy się podczas suszenia i nie wykazuje skłonności do pękania. Łatwo poddaje się obróbce skrawaniem i gięciu, dobrze poleruje się i barwi, jest łatwo nasycalne. Drewno to wystawione na działanie czynników zewnętrznych ulega jednak szybkiej deprecjacji, nie nadaje się więc do celów budowlanych. Szczególnie cenione i poszukiwane jest drewno brzozowe pochodzące z części odziomkowej – bogate w liczne sęczki i często skomplikowany układ włókien (tzw. czeczota), tworzące po obróbce przepiękny rysunek [Ślęzak 2010]. Drewno brzozowe znajduje podstawowe zastosowanie w przemyśle papierniczym, meblarskim, luszczarskim, stolarstwie i jako drewno opałowe. Przeciętne roczne pozyskanie drewna brzozowego w latach 2008-2012 wyniosło około 2,6 mln m³, z czego drewno wielkowymiarowe stanowiło około 20% [Lachowicz i in. 2016].

W Polsce coraz powszechniej wyrabia się i sprzedaje surowiec drzewny w kłodach o długości od 2,5 do 6 m, przyjmując, że grubość (średnica) kłody bez kory w cieńszym końcu wynosi dla iglastych gatunków drzew nie mniej niż 14 cm, a dla gatunków liściastych nie mniej niż 18 cm [PN-92/D-95008:1992].

Ilościową charakterystykę pozyskanego surowca drzewnego stanowi jego miąższość. Najczęściej stosowaną metodą pomiaru surowca drzewnego kłodowanego jest według normy PN-D-9500:2002 pomiar w sztukach pojedynczo [Witkowska 2009]. Aby określić miąższość kłody, mierzy się jej długość, a w przypadku dostępnego miejsca pomiaru również grubość w połowie długości, natomiast gdy miejsce pomiaru jest niedostępne – grubość w cieńszym końcu (średnicę górną). W obu przypadkach miąższość kłody określa się wzorem środkowego przekroju, a różnica polega na wykorzystaniu grubości pomierzonej bezpośrednio lub uzyskanej z empirycznych równań regresji. Drugie rozwiązanie opracowano dotychczas dla sosny i świerka [Witkowska 2009], brakuje natomiast odpowiednich sposobów określania miąższości kłód innych gatunków drzew.

Celem badań było opracowanie różnych sposobów określenia miąższości kłód odziomkowych i środkowych brzozy brodawkowatej oraz ocena ich dokładności. Sposoby te wykorzystują pomiary grubości drewna bezpośrednio dostępne, jak i niedostępne, a także wzór oparty na grubości w połowie długości kłody (środkowego przekroju). Badania te, poza zastosowaniem praktycznym, mogą mieć również znaczenie teoretyczne, np. być wykorzystane do opracowania sposobów określania miąższości kłód innych gatunków drzew.

Materiał i metody

Badania oparto na materiale empirycznym zebrany na 84 powierzchniach próbnych założonych w drzewostanach brzozy. Powierzchnie znajdowały się na terenie nadleśnictw: Czarna Białostocka, Supraśl, Białobrzegi (RDLP w Białymstoku), Srokowo, Rajgród (RDLP w Olsztynie), Złotów, Podanin (RDLP w Szczecinku), Sarnaki (RDLP w Lublinie) i Lubsko (RDLP w Zielonej Górze). Na każdej powierzchni ścięto i pomierzono sposobem sekcyjnym od 2 do 10 drzew, łącznie 722 drzewa. Długość sekcji była różna: 1 m, 2 m oraz 1 m do wysokości pnia 4 m i wyżej co 2 m. Łącznie utworzono około 5,5 tys. kłód. Średni wiek pomierzonych drzew wahał się od 22 do 97 lat, średnia pierśnica od 7,0 do 39,6 cm, a średnia wysokość od 8,1 do 31,2 m.

Opracowano i oceniono dokładność 4 sposobów określania miąższości kłód, a w każdym sposobie 2 warianty: oznaczony jako a) dla kłody odziomkowej (utworzonej z odcinka pnia od 0 do 6 m), a oznaczony jako b) dla kłody środkowej (od 6 do 12 m). W obu wariantach minimalna długość kłód wynosiła 2,5 m, natomiast minimalna ich grubość bez kory w cieńszym końcu – 18 cm. Drzewa, które nie spełniały tych warunków, pominięto w analizach.

Sposób 1. Na kłodzie mierzy się jej długość (l) i grubość bez kory w odległości 1 m od dolnego końca (d_1) oraz grubość w połowie długości pozostałej części kłody (d_2). Miąższość kłody (V_1) określa się wzorem:

$$V_1 = \frac{\pi}{40000} [2d_1^2 + d_2^2(l-2)] \quad [1]$$

Sposób 2. Na kłodzie mierzy się jej długość (l) i grubość bez kory w cieńszym końcu (d_1). Równaniem regresji określa się grubość kłody w połowie długości pierwszej 2-metrowej sekcji, a więc w odległości 1 m, licząc od podstawy (d_1), oraz uzyskuje się również równaniem regresji grubość w połowie pozostałego odcinka kłody (d_2). Miąższość kłody (V_2) określa się wzorem:

$$V_2 = \frac{\pi}{40000} [2(a_0 + a_1d_1 + a_2l)^2 + (b_0 + b_1d_1 + b_2l)^2 \cdot (l-2)] \quad [2]$$

gdzie:

- $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – współczynniki równań regresji,
- d_1 – grubość kłody bez kory w cieńszym końcu [cm],
- l – długość kłody [m].

Sposób 3. Miąższość kłody (V_3) określa się wzorem środkowego przekroju:

$$V_3 = \frac{\pi}{40000} (d_{l/2})^2 \cdot l \quad [3]$$

gdzie:

$d_{l/2}$ – grubość kłody w połowie długości [cm],

l – długość kłody [m].

Sposób 4. Na kłodzie mierzy się jej długość (l) i grubość bez kory w cieńszym końcu (d_l). Równaniem regresji określa się grubość kłody w połowie jej długości ($d_{l/2}$). Miąższość kłody (V_4) określa się wzorem:

$$V_4 = \frac{\pi}{40000} (c_0 + c_1 d_l + c_2 l)^2 \cdot l \quad [4]$$

gdzie:

c_0, c_1, c_2 – współczynniki równania regresji,

d_l – grubość kłody w cieńszym końcu.

W celu oceny dokładności poszczególnych sposobów określania miąższości kłód wykonano prace wstępne. Pień każdej brzozy podzielono na odcinki, z części odziomkowej i środkowej o długości od 2,5 do 6 m oraz w odstopniowaniu co 0,5 m. Dla każdej kłody obliczono miąższość wzorem sekcyjnym środkowego przekroju i za pomocą interpolacji lub ekstrapolacji liniowej wyznaczono grubość bez kory w następujących miejscach na kłodzie:

- w cieńszym końcu (d_l),
- na 1 m licząc od grubszego końca kłody (d_1),
- w odległości $2+(l-2)/2$ m od podstawy kłody (d_2),
- w połowie długości kłody ($d_{l/2}$).

W badaniach uwzględniono kłody bez kory, o grubości w cieńszym końcu powyżej 18 cm.

Wyniki

Uwzględniając kłody brzożowe, których długość wynosiła od 2,5 do 6 m i grubość bez kory w cieńszym końcu była większa niż 18 cm, opracowano 6 równań regresji, w tym 3 dla kłody odziomkowej i 3 dla środkowej. W każdym z nich zmiennymi niezależnymi była grubość bez kory w cieńszym końcu (d_l) i długość kłody (l).

Równanie pierwsze dotyczy kłody odziomkowej i podaje grubość w odległości 1 m od podstawy drzewa:

$$Y_1 = -3,5581 + 1,1756 \cdot d_l + 0,84279 \cdot l \quad [5a]$$

Moc związku badanych cech jest bardzo wysoka, ponieważ współczynnik korelacji wielokrotnej wynosi 0,956. Średnia arytmetyczna zmiennej zależnej wynosi 27,2 cm, odchylenie standardowe 5,2 cm, a odchylenie standardowe względem linii regresji 1,6 cm, co odpowiada współczynnikowi zmienności 6,4%.

Drugi związek dotyczy grubości kłody w odległości $2+(l-2)/2$ m od podstawy kłody, co odpowiada środkowi drugiej sekcji, przy założeniu, że długość sekcji pierwszej wynosi 2 m. Równanie regresji ma postać:

$$Y_2 = -1,1221 + 1,04375 \cdot d_l + 0,22176 \cdot l \quad [5b]$$

Moc związku oceniona współczynnikiem korelacji wielokrotnej wynosi 0,995, średnia arytmetyczna zmiennej zależnej 24,0 cm, natomiast odchylenie standardowe 4,4 cm, odchylenie standardowe względem linii regresji 0,5 cm, a współczynnik zmienności 2,1%.

Trzeci związek dotyczy grubości kłody w połowie jej długości ($l/2$), a równanie regresji ma postać:

$$Y_5 = -0,4987 + 1,11151 \cdot d_l + 0,01077 \cdot l \quad [5c]$$

Moc związku badanych cech jest bardzo wysoka, ponieważ współczynnik korelacji wielokrotnej wynosi 0,983. Średnia arytmetyczna zmiennej zależnej wynosi 25,4 cm, odchylenie standardowe 4,8 cm, a odchylenie standardowe względem linii regresji 1,0 cm, co odpowiada współczynnikowi zmienności 3,9%.

Trzy następane równania dotyczą kłody środkowej. Grubość kłody w odległości 1 m od jej podstawy określa równanie:

$$Y_3 = -1,7232 + 1,04252 \cdot d_l + 0,62697 \cdot l \quad [6a]$$

Moc tego związku jest bardzo wysoka, ponieważ współczynnik korelacji wielokrotnej wynosi 0,978. Średnia arytmetyczna zmiennej zależnej wynosi 23,5 cm, odchylenie standardowe 3,6 cm, odchylenie standardowe względem linii regresji 0,8 cm, a współczynnik zmienności 3,2%.

Piąty związek, dotyczący grubości kłody w odległości $2+(l-2)/2$ m od jej podstawy, ma postać:

$$Y_4 = -0,8777 + 1,00902 \cdot d_l + 0,32142 \cdot l \quad [6b]$$

Moc tego związku liczona współczynnikiem korelacji wielokrotnej wynosi 0,985. Średnia arytmetyczna zmiennej zależnej wynosi 22,4 cm, odchylenie standardowe 3,4 cm, zaś odchylenie standardowe względem linii regresji 0,4 cm, a współczynnik zmienności 1,7%.

Szóste równanie, dotyczące grubości kłody w połowie jej długości, ma postać:

$$Y_6 = -0,6912 + 1,02308 \cdot d_l + 0,33772 \cdot l \quad [6c]$$

Moc związku oceniona współczynnikiem korelacji wielokrotnej wynosi 0,985, średnia arytmetyczna zmiennej zależnej 21,8 cm, odchylenie standardowe 3,3 cm, a odchylenie standardowe względem linii regresji 0,6 cm, co odpowiada współczynnikowi zmienności 2,6%.

Uzyskane równania regresji pozwoliły na uszczegółowienie sposobów określania miąższości kłód brzozowych.

Sposób 1. Dla kłody odziomkowej średnia arytmetyczna błędów procentowych dla wszystkich kłód ogółem wynosi 0,4%. Małe są również błędy dla kłód o różnych długościach: wahają się od -0,9 do -0,2% (tab.). Jeszcze mniejsze błędy otrzymano dla kłody środkowej: średnia arytmetyczna błędów procentowych dla wszystkich kłód ogółem wynosi -0,1%, a dla kłód o różnych długościach zmienia się od -0,1 do 0,0% (tab.).

Sposób 2. Dla kłody odziomkowej średnia arytmetyczna błędów procentowych dla wszystkich kłód ogółem wynosi -0,2%. Małe są także błędy dla kłód o różnych długościach: zmieniają się od -0,8 do -1,3% (tab.). Jeszcze mniejsze błędy otrzymano dla kłody środkowej: średnia arytmetyczna błędów procentowych dla wszystkich kłód ogółem wynosi 0,0%, a dla kłód o różnych długościach waha się od -0,2 do 0,2% (tab.). Sposób ten wymaga pomiaru długości kłody i grubości bez kory w cieńszym końcu.

Sposób 3. Dla kłody odziomkowej średnia arytmetyczna błędów procentowych dla wszystkich kłód ogółem wynosi 2,9%. Wielkość tych błędów wzrasta wraz z długością kłód od -0,8 do

-5,4% (tab.). Dla kłody środkowej średnia arytmetyczna błędów procentowych zarówno dla wszystkich kłód ogółem, jak i dla poszczególnych kłód o różnej długości jest bardzo mała: waha się od -0,2 do 0,1% (tab.).

Sposób 4. Dla kłody odziomkowej średnia arytmetyczna błędów procentowych dla wszystkich kłód ogółem wynosi -2,6%. Dla kłód o różnej długości miara ta waha się od -5,1% dla kłód najdłuższych (6 m) do 0,6% dla kłód najkrótszych (tab.). Dla kłody środkowej średnia arytmetyczna błędów procentowych dla wszystkich kłód ogółem wynosi 0,0%, a dla kłód o różnej długości waha się od -0,2 do 0,2% (tab.)

Dyskusja

O wielkości dochodów uzyskanych ze sprzedaży drewna decyduje nie tylko właściwa klasyfikacja surowca drzewnego, ale i jego wymiary. Zasady pomiaru drewna iglastego wyrabianego w kłodach ulegają sukcesywnej nowelizacji [Witkowska 2009; Witkowska, Jodłowski 2011, 2015], co nie dotyczy jednak drewna liściastego. Ostatnia decyzja w sprawie odbioru drewna w kłodach również nie obejmuje drewna liściastego [Zarządzenie... 2013]. Istnieją co prawda tablice do odbioru drewna kładowanego różnych gatunków drzew [Schwappach 1912; Jezieniecki 1931; Radwański 1992], także brzozy [Schwappach 1912; Jezieniecki 1931], jednak nie są one stosowane w praktyce. Obecnie przy pomiarze kłód drewna liściastego, w tym brzoźowego, znajduje praktyczne zastosowanie jedynie wzór środkowego przekroju (wzór Hubera), w niniejszej pracy przedstawiony jako sposób 3. Inne rozwiązanie wprowadzono do stosowanego w praktyce sposobu określania miąższości kłód zawartego w programie ACER [Kłapeć 2002; Bruchwald, Kłapeć 2005]. Zastosowano tam wzory empiryczne określające miąższość strzał [Bruchwald i in. 2000] i modele przekrojów podłużnych pni [Bruchwald 2004; Bruchwald i in. 2010]. Podobne rozwiązania zawarte są w modelach wzrostu drzewostanu [Bruchwald 1988; Bruchwald, Zasada 2010].

Przeprowadzone dotychczas badania wykazały, że dokładność wzoru środkowego przekroju zależy od miejsca na strzale, z którego pozyskuje się kłodę. Rosa [1961], badając dokładność wzoru pięciu równych sekcji dla sosny, oceniał dla nich dokładność wzoru środkowego przekroju. Pomijając sekcję wierzchołkową (sekcję V), która jest bryłą całkowitą, a zatem nie jest kłodą, największe błędy o znaku ujemnym stwierdził dla sekcji I – kłody odziomkowej. Dla pozostałych sekcji miąższość określona wzorem środkowego przekroju była obarczona błędami różnych

Tabela.

Dokładność poszczególnych sposobów (1-4) określania miąższości kłody odziomkowej (KO) i środkowej (KS) w zależności od jej długości [m]

Accuracy of individual methods (1-4) for determining the volume of the butt-end (KO) and middle (KS) log with regard to its length [m]

		2,5	3	3,5	4	5,5	5	5,5	6	Średnia Mean
KO	1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,4	-0,9	-0,8	-0,9	-0,4
	2	1,3	0,0	-1,1	-0,8	-0,5	-0,3	-0,3	-0,1	-0,2
	3	-0,8	-1,3	-1,7	-2,4	-3,3	-4,6	-4,8	-5,4	-2,9
	4	0,6	-0,9	-2,5	-2,8	-3,2	-3,7	-4,4	-5,1	-2,6
KS	1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1
	2	-0,2	0,0	0,0	-0,2	0,1	0,2	0,1	-0,2	0,0
	3	-0,1	-0,2	0,1	-0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1
	4	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	0,1	0,2	0,1	-0,1	0,0

znaków, stosunkowo małymi, a ich średnia arytmetyczna była bliska zeru. Braku ujemnych błędów systematycznych dla wzoru środkowego przekroju nie potwierdzają badania Grodzkiego [1968] dla sosny, jednak przedmiotem tych badań było drewno kopalniakowe, a więc średniowymiarowe. Rosa [1961], badając drewno wielkowymiarowe, stwierdził, że systematyczne błędy ujemne wzoru środkowego przekroju dla kłody odziomkowej *Pinus sylvestris* wynikają z bardzo małej pełności tej części strzały. Na małe błędy miąższości różnych znaków uzyskane wzorem środkowego przekroju dla kłody środkowej wpłynęły przede wszystkim stosunkowo wysoka pełność tej części strzały, jak i wysoki iloraz grubości górnej i dolnej.

Podając badania nad dokładnością wzoru środkowego przekroju dla kłód odziomkowych brzoź, spodziewano się ujemnych błędów systematycznych. Błędy takie otrzymano, stosując wzory, w których grubość w połowie długości kłody uzyskiwana jest w miarę możliwości z bezpośredniego pomiaru (sposób 3), jak i określona – w przypadku niedostępnego miejsca pomiaru – z równania regresji (sposób 4). Ważnym zagadnieniem było uzyskanie odpowiedzi na pytanie: czy można opracować prosty wzór, na podstawie którego określona miąższość kłody odziomkowej nie jest obarczana systematycznym błędem ujemnym, a jednocześnie obliczona tym wzorem miąższość kłody, wykrojonej z innych odcinków pnia, charakteryzuje się dużą dokładnością. Odpowiedzią jest propozycja określania miąższości kłód wzorem sekcyjnym środkowego przekroju, w którym pierwsza sekcja, liczona od grubszego końca kłody, ma długość 1 m, natomiast druga sekcja stanowi pozostały odcinek kłody. Propozycja obejmuje dwa sposoby określania miąższości kłód, gdy grubości uzyskuje się z pomiarów (sposób 1) oraz gdy grubości uzyskuje się z równań empirycznych, w przypadku niedostępnych miejsc pomiaru (sposób 2). Podczas stosowania sposobów 1 i 2 nie powstają błędy systematyczne. Sposobem 2 należy natomiast określić grubość na 1 m długości kłody, natomiast jej grubość, w odległości $2 + (l - 2)/2$ od podstawy kłody, innymi równaniami regresji.

W wyniku stosowania czterech rozpatrywanych sposobów określania miąższości kłód w dwóch z nich (sposoby 3 i 4), opartych na wzorze środkowego przekroju, powstają wyniki obarczone systematycznym błędem ujemnym. Sposobów tych nie powinno się zatem stosować do pomiaru kłód odziomkowych. Z rozpatrywanych sposobów najdokładniejszy okazał się sposób 1, oparty na pomiarze długości kłody i dwóch miejscach pomiaru grubości. Sposób nie powoduje błędów systematycznych i charakteryzuje się małą dyspersją błędów. Jego wadą jest konieczność dostępu do miejsc pomiaru grubości, co ogranicza jego zastosowanie. Sposób 2 wymaga pomiaru długości kłody i grubości bez kory w cieńszym końcu. Miąższość kłody określona tym sposobem nie jest obciążona błędem systematycznym. Sposób 2 można polecić do stosowania w praktyce leśnej zwłaszcza wówczas, gdy kłody ułożone są w stosy.

W krajach z nowoczesnym przemysłem tartaczynym duże znaczenie ma pomiar drewna, często już okorowanego, bezpośrednio u odbiorcy. Jest on wykonywany na specjalnych urządzeniach pomiarowych – skanerach 2D i 3D. Taki pomiar jest obciążony znacznie mniejszym błędem niż w przypadku pomiaru harvesterem czy ręcznego pomiaru pozyskanego drewna [Witkowska 2009]. W warunkach polskich tylko niewielka liczba zakładów przemysłu drzewnego dysponuje nowoczesnymi urządzeniami pomiarowymi, ponadto uwzględnienie wyników takich pomiarów w obrocie handlowym wymagałoby wprowadzenia systemu legalizacji tych urządzeń.

W związku ze skłonnością drewna brzoźowego do zaparzeń [Krzysik 1974] nie koruje się pni w miejscu pomiaru. Przy dużej zmienności grubości kory, zwłaszcza w części odziomkowej, potrącanie jej grubości na podstawie tabeli podanej w normie PN-D-95000 [2002], wyłącznie w zależności od grubości kłody, bez określania miejsca pomiaru – odziomek czy strefa cienkiej korowiny – może być obciążony dużym błędem. Wyłania się więc nowy problem badawczy:

opracowanie wzoru empirycznego określającego miąższość kłody bez kory na podstawie długości kłody i grubości w korze w odpowiednich miejscach pomiaru.

Wnioski

- ✚ Opracowano dwa sposoby (1 i 3) określania miąższości kłody w przypadku dostępnych miejsc pomiaru oraz dwa sposoby (2 i 4), gdy miejsca pomiaru nie są dostępne. W pierwszym przypadku sposoby mogą być stosowane przy pomiarze pojedynczych kłód, a w drugim – gdy kłody ułożone są w stosy.
- ✚ W sposobie 1 wykorzystuje się dwusekcyjny wzór środkowego przekroju, w którym wymagana jest znajomość długości kłody oraz grubości w połowie długości dwóch sekcji: pierwszej odziomkowej o długości 2 m i drugiej o długości kłody pomniejszonej o 2 m. Średnia wartość błędu miąższości określonej takim sposobem zarówno dla kłody odziomkowej, jak i środkowej jest bliska zeru, małe są również błędy dla kłód o różnej długości.
- ✚ W sposobie 2, podobnie jak w 1, zastosowano dwusekcyjny wzór środkowego przekroju, w którym grubość w połowie dwóch sekcji uzyskuje się z opracowanych równań regresji, opartych na długości kłody i grubości bez kory w cieńszym końcu. Opracowane równania regresji dla kłody odziomkowej różnią się od równań uzyskanych dla kłody środkowej. Dla obu kłód błąd miąższości jest mały (zwłaszcza dla kłody środkowej) i nie przekracza 1%. Dla kłody środkowej wzór charakteryzuje się dużą dokładnością.
- ✚ W sposobie 3 zastosowano wzór środkowego przekroju, w którym wykorzystuje się długość kłody i grubość w połowie jej długości. Dla kłody odziomkowej określona nim miąższość obarczona jest systematycznym błędem ujemnym, przekraczającym -5%. Stosując wzór dla kłody środkowej, uzyskuje się wysoką dokładność.
- ✚ Sposób 4 opiera się również na wzorze środkowego przekroju, jednak grubość w połowie długości uzyskuje się ze wzorów empirycznych opartych na długości kłody i grubości bez kory w cieńszym końcu – wzór 5c dla kłody odziomkowej i wzór 6c dla kłody środkowej. Dokładność sposobu jest zbliżona do dokładności sposobu 3: dla kłody odziomkowej średnia arytmetyczna błędów procentowych dochodzi do -5%, a dla kłody środkowej jest bliska zeru.
- ✚ W przypadku niedostępnych miejsc pomiaru na kłodzie można polecić do określania miąższości kłody sposób 2 oparty na dwóch sekcjach: pierwszej odziomkowej o długości 2 m i drugiej o długości kłody pomniejszonej o 2 m. Odpowiednie grubości uzyskuje się wówczas z opracowanych dla brzozy brodawkowatej równań regresji. Sposób można również stosować w przypadku dostępnych miejsc pomiaru, co ujednotacza pomiar kłód.
- ✚ Należy zrezygnować z powszechnie stosowanego w praktyce sposobu pomiaru miąższości kłód brzozowych opartego na wzorze środkowego przekroju. Miąższość kłody odziomkowej określona tym sposobem obarczona jest zbyt dużym błędem ujemnym, powiększanym dodatkowo o zaokrąglania w dół wyników pomiaru, zwłaszcza grubości.

Literatura

- Bernadzki E. 1990. Koncepcje hodowli lasu na gruntach porolnych. Sylwan 134 (3-12): 51-59.
- Bernadzki E., Kowalski M. 1983. Brzoza na gruntach porolnych. Sylwan 127 (12): 33-42.
- Bruchwald A. 1988. Introductory program of the MDI-1 growth model for Scots pine. Ann. Warsaw Agric. Univ. – SGGW-AR, For. and Wood Technol. 36: 3-9.
- Bruchwald A. 2002. Wzrost wysokości brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.). Sylwan 146 (6): 5-11.
- Bruchwald A. 2004. Pośredni sposób budowy modelu przekroju podłużnego strzały bez kory. Sylwan 148 (8): 3-7.
- Bruchwald A., Dmyterko E., Wojtan R. 2010. Model przekroju podłużnego strzały modrzewia. Sylwan 154 (11): 750-754.
- Bruchwald A., Kłapeć B. 2005. Metody określania struktury sortymentowej drzewostanów i ich wstępna ocena. Sylwan 149 (10): 3-10.

- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., Zasada M. 2000. Wzory empiryczne do określania wysokości i pierścicowej liczby kształtu grubizny drzewa. Sylwan 144 (10): 5-13.
- Bruchwald A., Zasada M. 2010. Model wzrostu modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.). Sylwan 154 (9): 615-624.
- Grodzki M. 1968. Ocena dokładności wzoru Hubera przy pomiarze dłużyc kopalniakowych. Prace Inst. Bad. Leśn. A 359: 25-43.
- Jezieniecki M. 1931. Praktyczne tablice do kubikowania drewna okrągłego. Drukarnia Związkowa, Kraków.
- Kłapeć B. 2002. Komputerowe wspomaganie planu pozyskania drewna z zastosowaniem pakietu ACER. Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa.
- Krzysik F. 1974. Nauka o drewnie. PWN, Warszawa.
- Lachowicz H., Wysocka-Fijorek E., Paschalis-Jakubowicz P. 2016. Rynek drzewnego surowca brzożowego w Polsce w latach 2008-2012. Sylwan 160 (12): 971-980.
- Łukaszewicz J. 2016. Znaczenie brzoź i topól w planowaniu urządzeniowo-hodowlanym na siedliskach zniekształconych. W: Zielony R. [red.]. Siedliska leśne zmienione i zniekształcone. CILP, Warszawa. 157-176.
- PN-92/D-95008:1992. 1992. Surowiec drzewny. Drewno wielkowymiarowe liściaste. Wspólne wymagania i badania. Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Warszawa
- PN-D-95000:2002. 2002. Surowiec drzewny. Pomiar, obliczanie miąższości i cechowanie. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- Radwański B. 1992. Tablice do oznaczania miąższości drewna tartacznego iglastego na podstawie długości i średnicy w górnym końcu. OWRLP, Bedoń.
- Rosa W. 1961. Badanie dokładności wzoru pięciu równych sekcji. Folia Forestalia Polonica A 7: 175-197.
- Schwappach A. F. 1912. Ertragstafeln der wichtigeren Holzarten in tabellarischer und graphischer Form. Verlag von J. Neumann, Neudamm.
- Ślęzak G. 2010. Atlas wad drewna. PWRiL, Warszawa.
- Tomanek J., Witkowska-Żuk L. 2008. Botanika leśna. Wydanie VII rozszerzone i uaktualnione. PWRiL, Warszawa.
- Witkowska J. 2009. Nowe metody pomiaru surowca drzewnego ze szczególnym uwzględnieniem drewna kładowanego. Maszynopis. Dok. Inst. Bad. Leśn. Sękocin Stary.
- Witkowska J., Jodłowski 2015. Określenie współczynników zamiennych dla wybranych długości drewna sosnowego i świerkowego wielkowymiarowego w kłodach oraz średniowymiarowego. Maszynopis. Dok. Inst. Bad. Leśn. Sękocin Stary.
- Witkowska J., Jodłowski K. 2011. Ocena współczynników zamiennych z m³ w korze na m³ bez kory dla drewna sosnowego i świerkowego, uwzględnionych w projekcie zarządzenia Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych. Maszynopis. Dok. Inst. Bad. Leśn. Sękocin Stary.
- Zarządzenie nr 74 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 27 września 2013 r. w sprawie zasad odbioru i obrotu drewna iglastego wyrabianego w kłodach w jednostkach organizacyjnych Lasów Państwowych. 2013. GM-900-7/2013.
- Zarzyński P., Tomusiak R. 2014. 90 drzew. Okazy niezwykle. CILP, Warszawa.
- Zasady hodowli lasu. 1988. Wydanie V znowelizowane. PWRiL, Warszawa.