

MAŁGORZATA DUDZIŃSKA

Model udziałów miąższości poszczególnych części strzały dla buka górskiego i nizinnego

Model of the percentage of the stem section volume in the total stem volume for the mountain and lowland beech

ABSTRACT

The paper presents research results concerning the development of equations being the model of the share of the stem section volume in the total stem volume. The equations were developed separately for the mountain and lowland beech. The equations were the basis to construct the model of stem longitudinal section and then to calculate the volume of any section of the stem.

KEY WORDS

beech, stem form, taper, taper equation, volume

Wstęp

Do prawidłowego planowania gospodarczego, obok znajomości sumarycznej miąższości drzewostanu, potrzebna jest również znajomość miąższości sortymentów, jakie będzie można uzyskać po ścięciu drzewostanu. Istnieją różne sposoby określania miąższości sortymentów. Wyróżnić wśród nich można metody oparte na drzewach próbnych oraz tablicach sortymentowych. Pierwsze nie są stosowane w praktyce ze względu na zbyt dużą pracochłonność. Drugie mają tę wadę, że przy zmianie wymagań wymiarowych i jakościowych tracą na aktualności.

W praktyce stosowane były tablice, które dawały wymiarową podstawę do kalkulowania miąższości sortymentów. Do tego typu tablic należą „Tablice miąższości i zbieżności dłużyc, kłód i wyrzynków strzały dla sosny” Radwańskiego [1955]. Analogiczne tablice opracowano również dla świerka [Radwański 1956, 1957], jodły [Radwański 1963] i olszy [Radwański 1974]. W dobie powszechnej komputeryzacji, tablice tego typu tracą na aktualności. W ich miejsce, jako sposoby bardziej racjonalne, wysuwają się wzory empiryczne. Takie wzory, o ograniczonym zastosowaniu, zostały opracowane przez Bruchwalda i Dudka [1978], Michalaka [1988] dla sosny, Bruchwalda i Wróblewskiego [1993] dla świerka, Bruchwalda, Dudzińską i Wirowskiego [1996] dla dębu, Dudzińską [2002, 2003] dla buka. Można na ich podstawie określić miąższość bez kory od podstawy drzewa do miejsca, w którym grubość bez kory wynosi 14 cm (sosna, świerk), 18 cm (dąb, buk) albo 5 cm (sosna, świerk, dąb, buk).

Uniwersalny charakter, pozwalający na określenie wymiarów grubości drzewa na dowolnej wysokości, a w konsekwencji na wyznaczenie miąższości dowolnego odcinka strzały, mają wzory empiryczne, które są modelami strzały. Pierwszą propozycję takich wzorów w Polsce przed-

stawił w 1980 r. Bruchwald. Autor opracował dla sosny empiryczne równania procentowego udziału miąższości strzały podzielonej na 15 równych sekcji. Z równań tych, mając miąższość strzały, można wyznaczyć miąższość poszczególnych sekcji, a następnie grubości

MAŁGORZATA DUDZIŃSKA

Zakład Urządzania i Monitoringu Lasu
Instytut Badawczy Leśnictwa
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. nr 3
00-973 Warszawa
e-mail: M.Dudzinska@ibles.waw.pl

w środkach sekcji. Drogą interpolacji można wyznaczyć grubość bez kory w dowolnym miejscu strzały, a to pozwala na wyznaczenie miąższości określonego odcinka strzały.

Z następną propozycją wzorów empirycznych dla sosny wystąpił Siekierski [1992]. Opracował on równania regresji procentowego udziału miąższości dla poszczególnych 15 równych sekcji. Procentowy udział miąższości sekcji dla drzew uzależnił od cech drzewostanu (przeciętnej pierśnicy, wysokości, pierśnicowej liczby kształtu bez kory F_2) oraz od pierśnicowej liczby kształtu f_2 dla drzewa. Z przedstawionych przez Siekierskiego wzorów, podobnie jak ze wzorów Bruchwalda, można wyznaczyć grubość drzewa na dowolnej wysokości.

Model strzały dla sosny w opracowaniu Siekierskiego znalazł zastosowanie w programie ACER, wspomagającym planowanie szacunków brakarskich. Dla potrzeb tego programu opracowano również model strzały dla buka. Ze względu jednak na mały materiał empiryczny, na którym oparto się przy jego opracowaniu, miał on charakter tymczasowy.

Celem niniejszej pracy jest opracowanie nowego modelu udziałów miąższości poszczególnych części strzały w miąższości całej strzały, dla tego gatunku drzewa.

Materiał i metodyka badań

Materiał badawczy pochodził ze 135 powierzchni próbnych położonych w północnej, środkowej oraz południowej części Polski. W części północnej i środkowej założono 77 powierzchni na terenie nadleśnictw: Gryfino (43 pow.), Kartuzy (12 pow.), Sławno (9 pow.) i Brzeziny (14 pow.). W części południowej założono 58 powierzchni znajdujących się w nadleśnictwach: Stuposiany (36 pow.), Dynów (9 pow.), Sucha-Beskidzka (11 pow.) i Baligród (2 pow.). Buki pochodzące z tych dwóch stref nazywane będą na potrzeby pracy bukiem nizinnym i bukiem górskim.

Wiek badanych drzewostanów buka nizinnego kształtował się dla poszczególnych powierzchni od 51 do 154 lat. Przeciętna pierśnica drzewostanów wahała się od 20 do 56,4 cm. Średnia wysokość przyjmowała wartości dla poszczególnych drzewostanów od 18,1 do 39,7 m. Bonitacja wahała się od 26,3 do 45,7 m.

Drzewostany na powierzchniach badawczych założonych w południowej części Polski były generalnie młodsze od drzewostanów buka nizinnego. Ich wiek wahał się od 36 do 134 lat. Młodszy wiek drzewostanów pociągał za sobą występowanie mniejszych wartości przeciętnej pierśnicy i wysokości na poszczególnych powierzchniach. Przeciętne pierśnice przyjmowały wartości od 7,8 do 43,1 cm, a średnia wysokość drzewostanów wahała się od 14,3 do 32,4 m. Bonitacja badanych drzewostanów kształtowała się od 24,9 do 49,9 m.

Z obrzeży powierzchni badawczych wybrano i ścięto po około 10 drzew próbnych, a ich miąższość obliczono wzorem sekcyjnym środkowego przekroju (V_{bk}). Materiał wzięty do badań liczył łącznie 1163 buki.

Każde drzewo podzielono na 15 równych sekcji. Długość sekcji (l_s) zależała od wysokości drzewa (h) i określona została ze wzoru:

$$l_s = \frac{h}{15}$$

Następnie wyznaczono miąższość bez kory poszczególnych sekcji (v_{bki}) wzorem sekcyjnym środkowego przekroju. Wyliczono procentowy udział miąższości każdej z 15 sekcji w miąższości strzały, dla poszczególnych drzew (u_i)

$$u_i = \frac{v_{bki}}{V_{bk}} \cdot 100 \quad i = 1, 2, \dots, 15$$

oraz średnie wartości procentowego udziału miąższości sekcji dla drzewostanu (U_i)

$$U_i = \frac{\sum V_{bk i}}{\sum V_{bk}} \cdot 100 \quad i = 1, 2, \dots, 15$$

gdzie sumowanie dotyczy wszystkich drzew próbnych pomierzonych w danym drzewostanie.

Wyniki badań

Wcześniej wykonane badania nad pierśnicową liczbą kształtu wykazały, że cecha ta zależy od pochodzenia buka. Z tej przyczyny badania zmierzające do opracowania modelu udziałów miąższości poszczególnych części strzały przeprowadzone zostaną oddzielnie dla buka pochodzenia górskiego i pochodzenia nizinnego.

Pierwszym etapem budowy modelu było poznanie zależności występujących między średnimi wartościami procentowego udziału miąższości poszczególnych sekcji i przeciętnymi cechami drzewostanu: pierśnicą i wysokością. W celu dokładniejszej analizy zastosowano regresję wielokrotną, uwzględniającą jednocześnie obie cechy.

Zastosowano funkcję o ogólnej postaci:

$$U_i = a_i + b_i \cdot D + c_i \cdot H \quad i = 1, 2, \dots, 15 \quad [1]$$

gdzie:

- U_i – średni dla drzewostanu procentowy udział miąższości poszczególnych sekcji,
- D – przeciętna pierśnica,
- H – przeciętna wysokość,
- a_i, b_i, c_i – współczynniki równania.

W tabeli 1 podano wartości współczynników równania dla buka górskiego, otrzymane metodą najmniejszych kwadratów, a także współczynniki korelacji wielokrotnej określające siłę związku udziałów miąższości poszczególnych sekcji z pierśnicą i wysokością drzewostanu.

Sekcja 1 jest najsilniej skorelowana z badanymi cechami. Sekcje 4 i 5 oraz sekcje wierzchołkowe, charakteryzują się słabszą mocą związku.

W drzewostanach buka nizinnego zastosowano wielostopniową procedurę modelowania i dla poszczególnych sekcji wybrano tylko te cechy, które istotnie wpływają na procentowy udział miąższości sekcji. Współczynniki tak otrzymanych równań wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów i przedstawiono w tabeli 2, razem ze współczynnikami korelacji wielokrotnej oceniającymi siłę badanych zależności.

Z badań wynika, że na sekcje wierzchołkowe znacząco wpływają zarówno pierśnica jak i wysokość (tab. 2). Sekcje odziomkowe oraz położone powyżej połowy wysokości strzały pozostają pod wpływem wysokości. Sekcje środkowe istotnie zależą od przeciętnej pierśnicy, natomiast na sekcje położone poniżej środka strzały żadna ze zmiennych nie ma istotnego wpływu.

Kolejnym krokiem w budowie modelu udziałów miąższości było poznanie związku występującego między procentowym udziałem miąższości sekcji, a różnymi cechami drzew w obrębie drzewostanu. Do badań wzięto pierśnicę oraz wysokość drzew. W analizie omawianych zależności wykorzystano liniowy model regresji dwóch zmiennych. W większości drzewostanów (zarówno buka górskiego jak i nizinnego) cechą najmocniej skorelowaną z udziałem miąższości poszczególnych sekcji była pierśnica drzewa. Średnie bezwzględne wartości współczynników

Tabela 1.

Współczynniki równania [1] opisującego zależność średniego procentowego udziału miąższości poszczególnych sekcji od przeciętnych wartości pierśnicy i wysokości oraz współczynniki korelacji tych związków i błędy standardowe poszczególnych równań dla buka górskiego

Equation coefficients [1] describing the relationships between the mean percentage share of the stem section volume in the whole stem volume and the mean dbh and height values, as well as correlation coefficients of these relationships and standard errors of the equations for mountain beech

| Nr sekcji | Wsp. równania regresji | | | $R_{U_i,DH}$ | Błąd standardowy |
|-----------|------------------------|---------|---------|--------------|------------------|
| | a | b | c | | |
| 1 | 22,4638 | 0,0723 | -0,3173 | 0,802** | 0,774 |
| 2 | 14,8641 | 0,0682 | -0,1448 | 0,551** | 0,497 |
| 3 | 12,6772 | 0,0614 | -0,1006 | 0,525** | 0,374 |
| 4 | 11,0059 | 0,0347 | -0,0437 | 0,346* | 0,327 |
| 5 | 9,3220 | 0,0194 | 0,001 | 0,446** | 0,292 |
| 6 | 7,6956 | 0,0003 | 0,0446 | 0,583** | 0,289 |
| 7 | 6,4139 | -0,0221 | 0,0765 | 0,522** | 0,357 |
| 8 | 4,9374 | -0,0417 | 0,1125 | 0,579** | 0,403 |
| 9 | 3,8718 | -0,0514 | 0,1124 | 0,592** | 0,353 |
| 10 | 2,8815 | -0,0441 | 0,0902 | 0,502** | 0,346 |
| 11 | 1,9818 | -0,0401 | 0,0737 | 0,483** | 0,293 |
| 12 | 1,1713 | -0,0305 | 0,0522 | 0,444** | 0,232 |
| 13 | 0,5317 | -0,0175 | 0,0292 | 0,425** | 0,132 |
| 14 | 0,1630 | -0,0080 | 0,0125 | 0,449** | 0,057 |
| 15 | 0,0190 | -0,001 | 0,0015 | 0,445** | 0,007 |

* – korelacja istotna przy $\alpha=0,05$

** – korelacja istotna przy $\alpha=0,01$

Tabela 2.

Współczynniki równania [1] opisującego zależność średniego procentowego udziału miąższości poszczególnych sekcji (U_i) od przeciętnych wartości pierśnicy (D) i wysokości (H) oraz współczynniki korelacji tych związków i błędy standardowe poszczególnych równań dla buka nizinnego

Equation coefficients [1] describing the relationships between the mean percentage share of the stem section volume (U_i) in the whole stem volume and the mean dbh (D) and height (H) values, as well as correlation coefficients of these relationships and standard errors of the equations for lowland beech

| Nr sekcji | Wsp. równania regresji | | | $R_{U_i,DH}$ | Błąd standardowy |
|-----------|------------------------|---------|---------|--------------|------------------|
| | a | b | c | | |
| 1 | 22,0471 | 0 | -0,2043 | 0,759** | 0,883 |
| 2 | 14,7782 | 0 | -0,0582 | 0,397** | 0,657 |
| 3 | 12,6125 | 0 | -0,0269 | 0,266* | 0,456 |
| 4 | 10,8271 | – | – | – | 0,390 |
| 5 | 9,9678 | – | – | – | 0,404 |
| 6 | 8,4646 | 0,0148 | 0 | 0,336** | 0,377 |
| 7 | 7,1732 | 0,0219 | 0 | 0,394** | 0,472 |
| 8 | 5,3916 | 0 | 0,0471 | 0,387** | 0,546 |
| 9 | 3,0955 | 0 | 0,0765 | 0,585** | 0,530 |
| 10 | 2,0431 | 0 | 0,0661 | 0,499** | 0,570 |
| 11 | 1,3261 | -0,0242 | 0,0757 | 0,409** | 0,476 |
| 12 | 0,6637 | -0,0298 | 0,0666 | 0,523** | 0,289 |
| 13 | 0,4551 | -0,0214 | 0,0345 | 0,585** | 0,151 |
| 14 | 0,1616 | -0,0079 | 0,0115 | 0,621** | 0,051 |
| 15 | 0,0215 | -0,0008 | 0,001 | 0,498** | 0,007 |

* – korelacja istotna przy $\alpha=0,05$

** – korelacja istotna przy $\alpha=0,01$

korelacji kształtowały się dla poszczególnych sekcji od 0,294 do 0,567 (buk górski) i od 0,316 do 0,497 (buk nizinny). Najsilniejszy związek pomiędzy badanymi cechami (we wszystkich drzewostanach) stwierdzono dla sekcji wierzchołkowych, najslabszy dla odziomkowych. Slabszą zależność zanotowano dla związku udziałów z wysokością. Średnie bezwzględne wartości współczynników korelacji wahały się od 0,227 do 0,388 (buk górski) i od 0,282 do 0,425 (buk nizinny).

Po przeanalizowaniu zależności procentowego udziału miąższości sekcji od różnych cech drzewa w obrębie drzewostanu, wybrano do budowy modelu pierśnicę jako cechę najsilniej związaną z udziałem. Na tej podstawie opracowano funkcję:

$$u_i = a + b_u \cdot d \quad [2]$$

gdzie:

- u_i – procentowy udział miąższości poszczególnych sekcji dla drzewa,
- d – pierśnica drzewa,
- a, b_u – współczynniki równania.

W celu wyznaczenia współczynnika b_u przedstawionego równania i poznania kierunku przebiegu linii regresji, zbadano powiązanie jego wielkości w poszczególnych drzewostanach, z przeciętnymi cechami drzewostanu: pierśnicą i wysokością.

Na podstawie wstępnie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że w większości drzewostanów buka górskiego zależność ta jest prostoliniowa. W drzewostanach tych zastosowano więc model regresji wielokrotnej o ogólnej postaci:

$$b_u = a_i + b_i \cdot D + c_i \cdot H \quad i = 1, 2, \dots, 15 \quad [3]$$

gdzie:

- b_u – współczynnik kierunkowy równania wyrażającego zależność procentowego udziału miąższości sekcji od pierśnicy drzewa,
- D – przeciętna pierśnica,
- H – średnia wysokość,
- a_i, b_i, c_i – współczynniki równania.

Aby wybrać do modelu tylko te zmienne objaśniające, których wpływ na zmienną objaśnianą jest istotny, zastosowano wielostopniową procedurę modelowania. Otrzymane współczynniki równań oraz współczynniki korelacji badanych zależności dla buka górskiego podano w tabeli 3.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że na wartość współczynnika b_u dla sekcji odziomkowych (2, 3), jak i położonych powyżej połowy wysokości strzały, istotny wpływ ma średnia wysokość (tab. 3). Współczynniki kierunkowe równań uzyskanych dla sekcji wierzchołkowych zależą od przeciętnej pierśnicy. Na współczynniki sekcji 1, 5, 6, 7 i 8 żadna ze zmiennych nie ma istotnego wpływu.

Analizując współczynniki kierunkowe równania [2] w drzewostanach buka nizinnego stwierdzono, że dla poszczególnych sekcji są one silniej skorelowane z przeciętną pierśnicą. Dlatego też z tej cechy drzewostanu będzie się korzystać przy wyznaczaniu wartości b_u :

$$b_u = a_i + b_i \cdot D \quad [4]$$

W tabeli 4 zamieszczono wyliczone współczynniki równania [4] dla poszczególnych sekcji oraz współczynniki korelacji będące miarą dopasowania wzoru do danych empirycznych dla buka nizinnego.

Tabela 3.

Współczynniki równania [3] opisującego zależność współczynnika kierunkowego b_u od przeciętnej pierśnicy i wysokości oraz współczynniki korelacji tych związków i błędy standardowe poszczególnych równań dla buka górskiego

Equation coefficients [3] describing the relationships between the direction coefficient b_u and the mean dbh and height values, as well as correlation coefficients of these relationships and standard errors of the equations for mountain beech

| Nr sekcji | Wsp. równania regresji | | | r | Błąd standardowy |
|-----------|------------------------|---------|---------|---------|------------------|
| | a | b | c | | |
| 1 | -0,0080 | - | - | - | 0,110 |
| 2 | 0,1967 | 0 | -0,060 | 0,398** | 0,063 |
| 3 | 0,1895 | 0 | -0,0056 | 0,401** | 0,058 |
| 4 | 0,1181 | -0,0023 | 0 | 0,290** | 0,055 |
| 5 | 0,0420 | - | - | - | 0,044 |
| 6 | 0,0241 | - | - | - | 0,047 |
| 7 | 0,0057 | - | - | - | 0,052 |
| 8 | -0,0133 | - | - | - | 0,058 |
| 9 | -0,1173 | 0 | 0,0035 | 0,303** | 0,049 |
| 10 | -0,1305 | 0 | 0,0034 | 0,340** | 0,042 |
| 11 | -0,1038 | 0 | 0,0022 | 0,253* | 0,036 |
| 12 | -0,1057 | 0 | 0,0027 | 0,410** | 0,027 |
| 13 | -0,0580 | 0,0011 | 0 | 0,508** | 0,015 |
| 14 | -0,0280 | 0,0006 | 0 | 0,493** | 0,008 |
| 15 | -0,0036 | 0,0001 | 0 | 0,406** | 0,001 |

* – korelacja istotna przy $\alpha=0,1$

** – korelacja istotna przy $\alpha=0,05$

Tabela 4.

Współczynniki równania [4] opisującego zależność współczynnika kierunkowego równania [2] od przeciętnej pierśnicy oraz współczynniki korelacji tych związków i błędy standardowe równań dla buka nizinnego

Equation coefficients [4] describing the relationships between the direction coefficient [2] and the mean dbh as well as correlation coefficients of these relationships and standard errors of the equations for lowland beech

| Nr sekcji | Wsp. równania regresji | | r | Błąd standardowy |
|-----------|------------------------|---------|---------|------------------|
| | a | b | | |
| 1 | 0,1307 | -0,0184 | 0,304* | 0,330 |
| 2 | 0,2434 | -0,009 | 0,256 | 0,195 |
| 3 | 0,2562 | -0,0076 | 0,249 | 0,171 |
| 4 | 0,2970 | -0,0082 | 0,302* | 0,148 |
| 5 | 0,1559 | -0,0031 | 0,144 | 0,123 |
| 6 | 0,0410 | 0,0004 | 0,017 | 0,124 |
| 7 | -0,0786 | 0,0060 | 0,183 | 0,184 |
| 8 | -0,2671 | 0,0117 | 0,406** | 0,152 |
| 9 | -0,1299 | 0,0063 | 0,224 | 0,157 |
| 10 | -0,3018 | 0,0106 | 0,307* | 0,189 |
| 11 | -0,0911 | 0,0036 | 0,118 | 0,173 |
| 12 | -0,1099 | 0,0037 | 0,178 | 0,119 |
| 13 | -0,0998 | 0,0027 | 0,215 | 0,072 |
| 14 | -0,0414 | 0,0011 | 0,300* | 0,021 |
| 15 | -0,0045 | 0,0001 | 0,235 | 0,003 |

* – korelacja istotna przy $\alpha=0,1$

** – korelacja istotna przy $\alpha=0,05$

Z przekształconego wzoru [2], na podstawie średniego procentowego udziału miąższości sekcji i przeciętnej pierśnicy określono wartość współczynnika a

$$a = U_i - b_u \cdot D \quad [5]$$

Po podstawieniu odpowiednich współczynników równań do wzoru [2] otrzymano empiryczny model udziału miąższości poszczególnych sekcji dla buka:

$$u_i = U_i - b_u (D - d) \quad i = 1, 2, \dots, 15 \quad [6]$$

gdzie:

- u_i – procentowy udział miąższości sekcji dla drzewa,
- U_i – średni dla drzewostanu procentowy udział miąższości sekcji (wyznaczony z równań przedstawionych w tabelach 1, 2),
- b_u – współczynnik kierunkowy równania wyrażającego zależność pomiędzy procentowym udziałem miąższości sekcji a pierśnicą drzew (wyznaczony z równań przedstawionych w tabelach 3 i 4),
- D – przeciętna pierśnica drzewostanu,
- d – pierśnica drzewa.

Uwzględniając w równaniu [6] odpowiednie wzory empiryczne na U_i (tab. 1, 2) oraz wzory na współczynnik kierunkowy b_u (tab. 3, 4), a także wartość przeciętnej pierśnicy drzewostanu i pierśnicy drzewa, otrzymuje się procentowy udział miąższości określonej sekcji w miąższości strzały.

Wzory dla poszczególnych sekcji, będące modelem udziału miąższości części strzały, dla buka górskiego, mają postać:

$$u_1 = (22,4638 + 0,0723 \cdot D - 0,3173 \cdot H) + 0,0080 \cdot (D - d) \quad [7]$$

$$u_2 = (14,8641 + 0,0682 \cdot D - 0,1448 \cdot H) - (0,1967 - 0,060 \cdot H) \cdot (D - d) \quad [8]$$

$$u_3 = (12,6772 + 0,0614 \cdot D - 0,1006 \cdot H) - (0,1895 - 0,0056 \cdot H) \cdot (D - d) \quad [9]$$

$$u_4 = (11,0059 + 0,0347 \cdot D - 0,0437 \cdot H) - (0,1181 - 0,0023 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [10]$$

$$u_5 = (9,3220 + 0,0194 \cdot D + 0,001 \cdot H) - 0,0420 \cdot (D - d) \quad [11]$$

$$u_6 = (7,6956 + 0,0003 \cdot D + 0,0446 \cdot H) - 0,0241 \cdot (D - d) \quad [12]$$

$$u_7 = (6,4139 - 0,0221 \cdot D + 0,0765 \cdot H) - 0,0057 \cdot (D - d) \quad [13]$$

$$u_8 = (4,9374 - 0,0417 \cdot D + 0,1125 \cdot H) + 0,0133 \cdot (D - d) \quad [14]$$

$$u_9 = (3,8718 - 0,0514 \cdot D + 0,1124 \cdot H) + (0,1173 - 0,0035 \cdot H) \cdot (D - d) \quad [15]$$

$$u_{10} = (2,8815 - 0,0441 \cdot D + 0,0902 \cdot H) + (0,1305 - 0,0034 \cdot H) \cdot (D - d) \quad [16]$$

$$u_{11} = (1,9818 - 0,0401 \cdot D + 0,0737 \cdot H) + (0,1038 - 0,0022 \cdot H) \cdot (D - d) \quad [17]$$

$$u_{12} = (1,1713 - 0,0305 \cdot D + 0,0522 \cdot H) + (0,1057 - 0,0027 \cdot H) \cdot (D - d) \quad [18]$$

$$u_{13} = (0,5317 - 0,0175 \cdot D + 0,0292 \cdot H) + (0,0580 - 0,0011 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [19]$$

$$u_{14} = (0,1630 - 0,0080 \cdot D + 0,0125 \cdot H) + (0,0280 - 0,0006 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [20]$$

$$u_{15} = (0,0190 - 0,001 \cdot D + 0,0015 \cdot H) + (0,0036 - 0,0001 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [21]$$

Model udziału miąższości części strzały dla buka nizinnego prezentuje się następująco:

$$u_1 = (22,0471 - 0,2043 \cdot H) - (0,1307 - 0,0184 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [22]$$

$$u_2 = (14,7782 - 0,0582 \cdot H) - (0,2434 - 0,009 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [23]$$

$$u_3 = (12,6125 - 0,0269 \cdot H) - (0,2562 - 0,0076 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [24]$$

$$u_4 = 10,8271 - (0,2970 - 0,0082 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [25]$$

$$u_5 = 9,9678 - (0,1559 - 0,0031 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [26]$$

$$u_6 = (8,4646 + 0,0148 \cdot D) - (0,0410 + 0,0004 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [27]$$

$$u_7 = (7,1732 + 0,0219 \cdot D) + (0,0786 - 0,0060 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [28]$$

$$u_8 = (5,3916 + 0,0471 \cdot H) + (0,2671 - 0,0117 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [29]$$

$$u_9 = (3,0955 + 0,0765 \cdot H) + (0,1299 - 0,0063 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [30]$$

$$u_{10} = (2,0431 + 0,0661 \cdot H) + (0,3018 - 0,0106 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [31]$$

$$u_{11} = (1,3261 - 0,0242 \cdot D + 0,0757 \cdot H) + (0,0911 - 0,0036 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [32]$$

$$u_{12} = (0,6637 - 0,0298 \cdot D + 0,0666 \cdot H) + (0,1099 - 0,0037 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [33]$$

$$u_{13} = (0,4551 - 0,0214 \cdot D + 0,0345 \cdot H) + (0,0998 - 0,0027 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [34]$$

$$u_{14} = (0,1616 - 0,0079 \cdot D + 0,0115 \cdot H) + (0,0414 - 0,0011 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [35]$$

$$u_{15} = (0,0215 - 0,0008 \cdot D + 0,001 \cdot H) + (0,0045 - 0,0001 \cdot D) \cdot (D - d) \quad [36]$$

Praktyczne wykorzystanie opracowanych wzorów

Na podstawie opracowanego modelu udziałów miąższości części strzały można zbudować model strzały, a co za tym idzie określić miąższość dowolnej części pnia.

Aby określić model udziałów miąższości części strzały dla drzew danego drzewostanu należy pomierzyć w nim pierśnice w stopniach grubości oraz wysokości pewnej liczby drzew, w celu sporządzenia krzywej wysokości. Następnie na podstawie otrzymanych danych określić wysokości dla stopni grubości oraz wyznaczyć przeciętną pierśnicę i przeciętną wysokość.

Dysponując odpowiednimi równaniami [7-21] dla buka górskiego i [22-36] dla buka nizinnego obliczamy procentowy udział miąższości 15 sekcji dla drzew w stopniach grubości.

Suma procentowych udziałów miąższości sekcji obliczona przy pomocy wzorów [7-21] lub [22-36] powinna wynosić 100%. W pewnych wypadkach wartość ta może odbiegać od założonej. Aby tego uniknąć powinno się pomnożyć każdy procentowy udział miąższości sekcji przez iloraz korygujący (il) ten błąd i wynoszący:

$$il = \frac{100}{\sum u_s} \quad [37]$$

Za pomocą wzoru:

$$d_i = 100 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot u_i \cdot V_{bk}}{5 \cdot \pi \cdot h}} \quad i = 1, 2, \dots, 15 \quad [38]$$

wyznaczamy grubości w środkach 15 sekcji dla stopni grubości. Aby tego dokonać musimy najpierw określić pierśnicową liczbę kształtu bez kory f_3 dla każdego stopnia

$$f_3 = 0,4432 \cdot D^{-0,0108} + \left(0,0003 + \frac{0,9737}{D^2}\right) \cdot (D - d) \quad (\text{buk górski}) \quad [39]$$

$$f_3 = 0,4390 \cdot D^{-0,005} + (0,0059 - 0,0001 \cdot D) \cdot (D - d) \quad (\text{buk nizinny}) \quad [40]$$

a dalej miąższość pojedynczego drzewa bez kory w stopniach grubości ze wzoru:

$$V_{bk} = f_3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{40000} \cdot h$$

Znając grubości w środkach 15 sekcji jesteśmy w stanie obliczyć, drogą interpolacji, grubość na dowolnej wysokości strzały, a co za tym idzie miąższość dowolnej części pnia.

Wnioski

1. Opracowano model procentowego udziału miąższości 15 równych sekcji. Jest on oparty na przeciętnej pierśnicy i wysokości drzewostanu oraz pierśnicy danego drzewa.
2. Na bazie modelu udziału miąższości poszczególnych części strzały można zbudować model przekroju podłużnego strzały, informujący o grubościach w środkach 15 równych sekcji.
3. Otrzymany model pozwala, drogą interpolacji, określić grubość bez kory w dowolnym miejscu strzały.
4. Wykorzystując model strzały opracowano metodę określania miąższości części strzały dla drzewa stojącego.
5. Model strzały drzewa może być zastosowany do szacunków brakarskich.
6. Powinien on zastąpić sposób określania miąższości sortymentów buka zastosowany w programie komputerowym ACER.

Literatura

- Bruchwald A. 1980. Wykorzystanie badań nad pełnością strzał do budowy tablic zbieżystości dla drzewostanów sosnowych. *Folia Forestalia Polonica*, Ser. A 24: 101-109.
- Bruchwald A., Dudek. A. 1978. Tablice miąższości drewna okrągłego grubego drzewostanów sosnowych na pniu. *ZN SGGW*, Leś. 26: 85-92.
- Bruchwald A., Wróblewski L. 1993. Wzory empiryczne do określania miąższości drzewostanów świerkowych. *Sylvan* 9: 15-20.
- Bruchwald A. Dudzińska M., Wirowski M. 1996. Model wzrostu dla drzewostanów dębu szypułkowego. *Sylvan* 10: 35-44.
- Dudzińska M. 2002. Wzory empiryczne do określania pierśnicowych liczb kształtu górskich drzewostanów bukowych. *Sylvan* 8: 31-39.
- Dudzińska M. 2003. Wzory empiryczne do określania pierśnicowych liczb kształtu drzewostanów buka nizinnego. *Sylvan* 1: 35-40.
- Michalak K. 1988. Empiric formulas for determining the volume of standing thic roundwood in pine stands. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. – SGGW-AR, For. and Wood Technol.* 36: 97-100.
- Radwański B. 1955. Tablice miąższości i zbieżystości dłużyc, kłód i wyrzynków strzały dla sosny. *RNL*, t. X, Warszawa.
- Radwański B. 1956. Tablice miąższości i zbieżystości dłużyc, kłód i wyrzynków strzały dla świerka. *RNL*, Książka I – t. XVI, Warszawa.
- Radwański B. 1957. Tablice miąższości i zbieżystości dłużyc, kłód i wyrzynków strzały dla świerka. *RNL*, Książka II – t. XVII, Warszawa.
- Radwański B. 1963. Tablice miąższości i zbieżystości dłużyc, kłód i wyrzynków strzały dla jodły. *Prace IBL* 251.
- Radwański B. 1974. Tablice miąższości i zbieżystości części strzały dla olszy. *Prace IBL* 469.
- Siekierski K. 1992. Model zbieżystości strzał sosen. *Sylvan* 10: 43-51.

SUMMARY

Model of the percentage of the stem section volume in the total stem volume for the mountain and lowland beech

The objective of this study is to present empirical equations being the model of the share of the stem section volume in the total stem volume. The material used in the experiment was collected from 135 beech stands plots located in northern (77 plots) and southern (58 plots) Poland.

The earlier studies concerning the dbh form factor demonstrated that this parameter depends on the origin of beech. For this reason the studies aimed to construct the model of the share of the stem section volume in the total stem volume were developed separately for the mountain and lowland beech.

On the basis of measurement results of sample trees the percentage share of volume inside bark of the selected 15 stem sections in the total stem volume was calculated for individual trees (u_j) and the mean values of the percentage share of the stem section volume for the stand (U_j). The objective of the first stage of the model construction was to recognise the relationships between the mean values of the percentage share of the stem section volume and stand parameters: the average diameter at breast height and the height. The next step of model construction was to recognise the relationship between the percentage share of the stem section volume and different tree parameters within a stand.

The studies have led to the development of the equations (separately for the mountain and lowland beech) for the selected stem sections being the model of the share of the stem section volume in the total stem volume. The equations were the basis to construct the model of stem longitudinal section and then to calculate the volume of any section of the stem.