

ARKADIUSZ BRUCHWALD, ELŻBIETA DMYTERKO, JAN ŁUKASZEWICZ,  
MARZENA NIEMCZYK, PIOTR WRZESIŃSKI

## Wzorzec rozkładu pierśnic drzew wielowarstwowego drzewostanu jodłowego Gór Świętokrzyskich\*

Pattern of breast height diameter distribution in a multilayer silver fir  
stand in the Świętokrzyskie Mountains

### ABSTRACT

Bruchwald A., Dmyterko E., Łukasiewicz J., Niemczyk M., Wrześniński P. 2016. Wzorzec rozkładu pierśnic drzew wielowarstwowego drzewostanu jodłowego Gór Świętokrzyskich. Sylwan 160 (9): 741-750.

In Poland, the majority of silver fir stands is characterised by a single-layer stand structure. The current silvicultural activities aim at obtaining multilayer stands, which requires a clearer definition of the structure, and more precisely, a better knowledge of the pattern of diameters at breast height (DBH) distribution. The aim of the research was to develop a pattern of DBH distribution of trees in a multilayer silver fir stand in the Świętokrzyskie Mountains (central Poland) using the BDq method, through the mathematical determination of function parameters, including the productive capacity of the habitat. The application of this pattern will allow the selection of the management methods aimed to obtain and then maintain model stands with a different layer structure. The research was based on the empirical material collected in 56 stands that were characterized by both a single- and a multi-layered structure. They grew in coniferous forest habitats, mostly in the upland mixed coniferous forest, upland mixed deciduous forest and upland deciduous forest or mountain forest. One big (up to 1 ha) or 3-5 smaller (0.04 ha) sample plots were established in each stand in which diameters at breast height of all trees and heights of usually 25 trees, selected from the entire range of diameters, were measured. These were used to determine the height growth curve equation coefficients and then the height of each tree. For each stand the basal area was calculated and a graph for DBH distribution was prepared. Site index was established using the original empirical equation. In order to develop a model for multilayer fir stands, individual parameters of the equation 5, such as the basal area ( $B$ ), the target diameter at breast height ( $D$ ) and the coefficient  $q$  were to be determined using the BDq method. Taking into consideration only stands with one-tailed DBH, individual parameters of the function were found to be associated with site index. Empirical equations were developed for the determination of  $B$  and  $D$ , and, based on the DBH distribution graphs, coefficient  $q$  associated with site index was also calculated (tab.). The developed DBH distribution pattern is a mathematical description of the target fir stand. When the value of stand parameters approaches those of the model stand, it should be managed using the shelterwood cutting system, which results from the spatial variation in the stand height structure, and consequently from the need for different silvicultural treatments in different stand fragments.

### KEY WORDS

diameter distribution, *Abies alba*, BDq method

\*Praca powstała w ramach tematu „Zasady prowadzenia gospodarki leśnej na terenach zagrożonych przez wiatr” zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych.

## ADDRESSES

Arkadiusz Bruchwald <sup>(1)</sup> – e-mail: A.Bruchwald@ibles.waw.pl

Elżbieta Dmyterko <sup>(1)</sup> – e-mail: E.Dmyterko@ibles.waw.pl

Jan Łukaszewicz <sup>(2)</sup> – e-mail: J.Lukaszewicz@ibles.waw.pl

Marzena Niemczyk <sup>(2)</sup> – e-mail: M.Niemczyk@ibles.waw.pl

Piotr Wrześniński <sup>(2)</sup> – e-mail: P.Wrzesinski@ibles.waw.pl

<sup>(1)</sup> Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

<sup>(2)</sup> Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

## Wstęp

Dzisiejszy stan lasów Gór Świętokrzyskich wynika z uwarunkowań przyrodniczych i gospodarczej działalności człowieka. Aktywność ludzi w tym rejonie rozpoczęła się około dwóch tysięcy lat temu i była związana z wykorzystaniem lasu do produkcji węgla drzewnego oraz na potrzeby hutnictwa, rolnictwa, bartnictwa i potaźnictwa. Działalność ta (zwłaszcza rozwój hutnictwa) wymagała pozyskania dużej ilości surowca drzewnego, często poprzez zręby zupełne [Radwan 1963; Gorajska 2014]. Wiek XIX i znaczną część XX stulecia charakteryzowało ujednoczenie i zubożenie gatunkowe drzewostanów, wyrażające się wprowadzeniem do nich sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), a także wyrównaniem struktury wiekowej poprzez eliminację najstarszych klas wieku [Gorajska 2014]. Do niektórych drzewostanów wkraczała naturalnie jodła (*Abies alba* Mill.), wypierająca z upływem lat sosnę.

Dla drzewostanów jodłowych, zajmujących ważne miejsce w Górach Świętokrzyskich (Puszcza Jodłowa), ostatnie 200 lat to przede wszystkim nadmierna eksploatacja w okresie I i II wojny światowej i uproszczenie sposobów zagospodarowania (rębnie częściowe), jak również masowe pojawy zwójek jodłowych (lata 1922-25, kolejny po II wojnie, lata 70.), katastrofalne zimy (1928/1929), gradacje korników jodłowych (w okresie II wojny światowej) [Krysztofik 1975] oraz zamieranie jodły obserwowane niemal w całym zasięgu jej występowania [Capecki, Tuteja 1974; Sierpiński 1977; Krysztofik 1978; Zawada 1978; Bernadzki 2008; Elling i in. 2009]. Wszystkie te czynniki odcisnęły piętno na dzisiejszym wyglądzie i strukturze lasów jodłowych.

W aktualnym składzie gatunkowym świętokrzyskich lasów pod zarządem Lasów Państwowych dominuje sosna, której rzeczywisty udział wynosi 62,5%, a kolejne miejsca zajmują jodła (14,9%) i buk (*Fagus sylvatica* L. 7,5%). Nieduży jest udział olszy (*Alnus glutinosa* Gaertn. 4,2%), brzozy (*Betula pendula* Roth 3,8%), dębu (*Quercus robur* L. 3,4%) i świerka (*Picea abies* (L.) H.Karst 2,0%), a bardzo mały grabu (*Carpinus betulus* L.) i topoli (*Populus tremula* L.) (po 0,3%). Największy udział drzewostanów jodłowych cechuje nadleśnictwa Zagnańsk (28,7%), Łągów (23,6%) i Suchedniów (23,2%).

Współcześnie przywiązuje się znacznie większą wagę do kształtowania zróżnicowanej struktury drzewostanów jodłowych poprzez zagospodarowanie ich rębniami stopniowymi lub rębnią przerębową, w zależności od wyjściowego zróżnicowania budowy pionowej drzewostanu. Drzewostany jodłowe Gór Świętokrzyskich charakteryzują się nierzadko zróżnicowaną strukturą, jednak wymagają najczęściej regulacji liczebności drzew w określonych warstwach. Bardzo pomocna w regulacji struktury drzewostanu jest metoda BDq, oparta na ujemnym rozkładzie wykładniczym [Alexander, Edminster 1977; Guldin 1991; Marquis i in. 1992; Baker i in. 1996; Buongiorno i in. 2000; O'Hara, Gersonde 2004; Drozdowski i in. 2014]. Przy jej pomocy określa się w pierwszej kolejności pożądaną postać rozkładu liczby drzew w klasach grubości w drzewo-

stanach o zróżnicowanej strukturze. Zrealizowanie tego celu wymaga ustalenia wartości trzech parametrów, tj. pierśnicowego pola przekroju drzewostanu ( $B$ ), pierśnicy docelowej ( $D$ ) oraz tzw. ilorazu  $q$ , który określa nachylenie krzywej rozkładu pierśnic. Skonstruowany na podstawie tych elementów funkcji rozkład teoretyczny porównuje się z rozkładem empirycznym i następnie ustala się liczbę drzew, którą można pozyskać w poszczególnych klasach grubości, aby maksymalnie zbliżyć rozkład empiryczny do rozkładu teoretycznego [Guldin 1991; Brzeziecki, Kornat 2011]. Największym problemem w przedstawionej metodzie jest określenie wartości poszczególnych parametrów służących do skonstruowania rozkładu teoretycznego, który powinien odzwierciedlać zarówno cel hodowlany, jak i produkcyjne właściwości siedliska. Dotychczas najczęstszym sposobem ustalenia cech  $B$ ,  $D$  i  $q$  było arbitralne przyjęcie ich wartości lub bazowanie na wiedzy eksperckiej czy danych z literatury.

Celem badań było opracowanie wzorca rozkładu pierśnic drzew wielowarstwowego drzewostanu jodłowego Gór Świętokrzyskich za pomocą metody BD $q$ , poprzez matematyczne ustalenie parametrów funkcji, z uwzględnieniem produkcyjnej zdolności siedliska. Stosowanie takiego wzorca umożliwi wybór sposobów postępowania hodowlanego zmierzających do uzyskania i następnie utrzymania drzewostanów wzorcowych o zróżnicowanej strukturze warstwowej.

## Materiał i metody

Badania oparto na materiale empirycznym zebrany w 56 drzewostanach jodłowych nadleśnictw: Suchedniów (24 powierzchni), Zagnańsk (16 powierzchni), Łagów (10 powierzchni) i Skarżysko (6 powierzchni), położonych w VI Małopolskiej Krainie przyrodniczo-leśnej, dzielnicy Gór Świętokrzyskich i 2 mezoregionach: Puszczy Świętokrzyskiej i Łysogórskim [Trampler i in. 1990; Zielony, Kliczkowska 2012]. Analizowane drzewostany jodłowe charakteryzowały się strukturą jedno- i wielowarstwową. Rosły na siedliskach borowych, głównie boru mieszanego wyżynnego (BMwyż), lasu mieszanego wyżynnego (LMwyż) i lasu wyżynnego (Lwyż) lub górskiego (LG).

W każdym drzewostanie założono jedną większą (do 1 ha) powierzchnię próbną lub od 3 do 5 mniejszych (0,04 ha) powierzchni kołowych. Na powierzchniach zmierzono pierśnicę wszystkich drzew, stosując próg pomiarowy 7 cm. Zmierzono również wysokość 25 (najczęściej) drzew wybieranych z całego zakresu pierśnic, z różnych miejsc drzewostanu, co posłużyło do wyznaczenia, metodą najmniejszych kwadratów, współczynników równania krzywej wysokości, będącego funkcją o postaci:

$$h = \left( \frac{d}{al + be \cdot d} \right)^2 + 1,3 \quad [1]$$

gdzie:

- $h$  – wysokość drzewa [m],
- $d$  – pierśnica drzewa [cm],
- $al, be$  – współczynniki równania.

Funkcja posłużyła do określenia wysokości każdego pomierzonego drzewa na powierzchniach próbnych.

Pierśnicową liczbę kształtu strzały drzewa określono wzorem empirycznym o postaci [Bruchwald, Dmyterko 2014]:

$$f = \frac{1}{0,6974 - 0,0326 + 0,3395 \frac{h}{d} + 0,323\sqrt{d}} \quad [2]$$

Miaższość poszczególnych drzew, wyrażoną w m<sup>3</sup>, określono wzorem:

$$v = \frac{\pi}{40000} \cdot d^2 \cdot h \cdot f \quad [3]$$

Dla każdego drzewostanu ustalono wysokość górną, zdefiniowaną jako wysokość najgrubszego drzewa w drzewostanie, określoną z krzywej wysokości. Drzewa wyższe od  $\frac{2}{3}$  wysokości górnej zaliczono do I warstwy drzewostanu, drzewa niższe do warstwy II. Dla jodeł górnej warstwy drzewostanu określono średni wiek. Ustalono również wysokość średnią 100 najgrubszych drzew przypadających na 1 ha (H100). Bonitację drzewostanu określono funkcją Cieszewskiego [2001]:

$$Y = \frac{\text{Bon} \cdot x_1 (x_2 R + x_3)}{x_2 (x_1 R + x_3)} \quad [4]$$

$$R = \text{Bon} + b_3 + \sqrt{(\text{Bon} + b_3)^2 + 2 \frac{x_3}{x_2}}$$

$$x_1 = w^{b_1}$$

$$x_2 = 100^{b_1}$$

$$x_3 = e^{b_2}$$

gdzie:

$b_1, b_2, b_3$  – współczynniki równań.

Cechę  $Y$  ustalono sposobem iteracyjnym. Do wzoru 4 podstawiano kolejno wartości Bon począwszy od 1, z odstępem co 0,1, do momentu gdy  $Y = \text{Bon}$ . Współczynniki równania opracowane na materiale empirycznym pochodzącym z drzewostanów jodłowych wynoszą [Bruchwald, Dmyterko 2015]:  $b_1 = 2,1$ ,  $b_2 = 9,9$ ,  $b_3 = -28,6062 - 0,3612 \cdot \text{Bon}$ .

Do zbudowania wzorca rozkładu pierśnic drzew zastosowano funkcję o postaci [Cancino, von Gadow 2001]:

$$y = k_0 e^{-k_1 x} \quad [5]$$

gdzie:

$k_0, k_1$  – współczynniki funkcji.

Do aproksymacji rozkładu pierśnic drzew metodą BDq wymagana jest znajomość pierśnicowego pola przekroju drzewostanu ( $B$ ), wartości środkowej przyjętej najwyższej klasy pierśnic drzew ( $D$ ) i współczynnika  $q$  [Guldin 1991; Cancino, von Gadow 2001; Brzeziecki, Kornat 2011].

Liczbę drzew w dowolnej klasie pierśnic określono wzorem:

$$n_i = q^{k-i} n_k \quad i=1, 2, \dots, k \quad [6]$$

gdzie:

$n_i$  – liczba drzew w klasie pierśnic,

$n_k$  – liczba drzew w ostatniej, najwyższej klasie pierśnic,

$k$  – liczba klas pierśnic.

Liczbę drzew w ostatniej klasie pierśnic określa wzór:

$$n = \frac{B}{k_2 \sum q^{k-i} d_i^2} \quad i=1, 2, \dots, k \quad [7]$$

gdzie:

$B$  – pierśnicowe pole przekroju [m<sup>2</sup>/ha],

$d$  – wartość środkowa klasy pierśnic [cm],

$k_2 = \pi/40000$ .

## Wyniki

W materiale empirycznym wyróżniono 3 typy rozkładu pierśnic: dwuramienny, o skośności dodatniej dla większości drzewostanów (ryc. 1a), jednoramienny (ryc. 1b) i mieszany (ryc. 1c). Rozkładem dwuramiennym charakteryzują się drzewostany jednowarstwowe, najczęściej młodszych klas wieku (18 powierzchni), a rozkładem mieszanym (9 powierzchni) i jednoramiennym o różnym stopniu zbliżenia do wzorcowej struktury wielowarstwowej drzewostany starszych klas wieku (29 powierzchni).

Możliwości produkcyjne drzewostanu powiązane są z bonitacją. Waha się ona na powierzchniach badawczych od 19,6 do 37,4 m i średnio wynosi 27,0 m. W 4 drzewostanach bonitacja jest mniejsza od 22 m, w 16 drzewostanach wynosi od 22 do 26 m, w 25 drzewostanach od 26 do 30 m, a w 11 drzewostanach jest większa od 30 m.

OKREŚLENIE MODELOWEGO PIERŚNICOWEGO POŁA PRZEKROJU ( $B$ ). Uwzględniając jedynie drzewostany o jednoramiennym rozkładzie pierśnic drzew i wieku przekraczającym 80 lat, uzyskano średnią wartość pierśnicowego pola przekroju 26,7 m<sup>2</sup>/ha, z zakresem wahań cechy od 16,1 do 44,2 m<sup>2</sup>/ha. Związek między pierśnicowym polem przekroju i bonitacją drzewostanu, oceniony współczynnikiem korelacji ( $r=0,605$ ), był istotny. Modelowe wartości pierśnicowego pola przekroju drzewostanu w przeliczeniu na 1 ha ( $B$ ) wyznaczono wzorem:

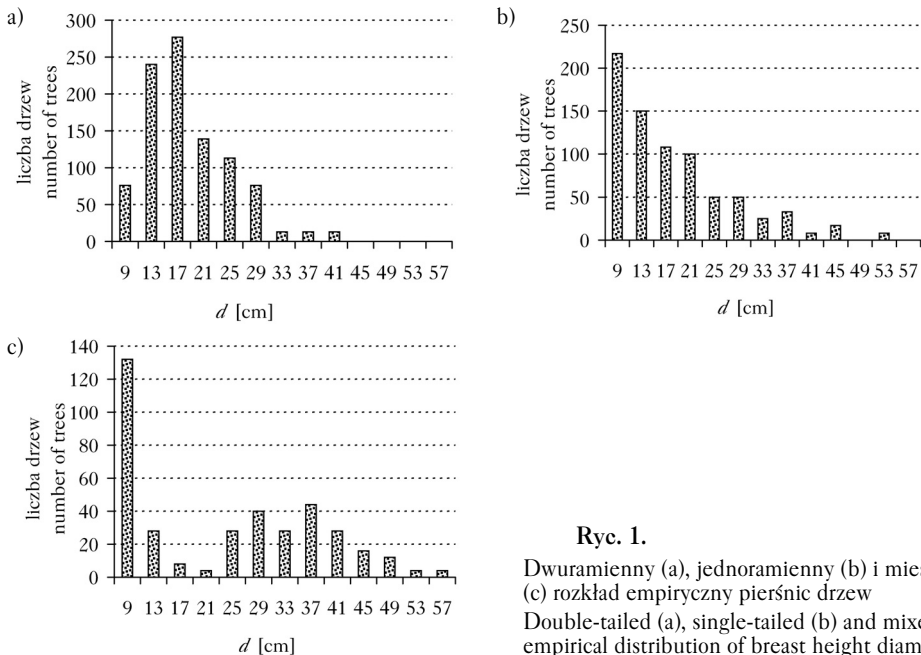
$$B = O_{GB} + al + be \cdot \text{Bon} \quad [8]$$

gdzie:

$O_{GB}$  – odchylenie standardowe pierśnicowego pola przekroju drzewostanu z wyłączonym wpływem bonitacji,

Bon – bonitacja drzewostanu,

$al, be$  – współczynniki równania regresji związku między pierśnicowym polem przekroju drzewostanu i bonitacją.



Ryc. 1.

Dwuramienny (a), jednoramienny (b) i mieszany (c) rozkład empiryczny pierśnic drzew  
Double-tailed (a), single-tailed (b) and mixed (c) empirical distribution of breast height diameters

Podstawiając odpowiednie wartości empiryczne do wzoru 8, otrzymano wzór o postaci:

$$B = 2,65 + 3,95 + 0,67 \cdot \text{Bon} \quad [9]$$

Wzór pozwala określić wartości pierśnicowego pola przekroju drzewostanu dla poszczególnych bonitacji. Wahają się one od 25 m<sup>2</sup>/ha dla bonitacji 22 m do 36 m<sup>2</sup>/ha dla bonitacji 32 m (tab.). Drzewostany jodłowe Gór Świętokrzyskich prowadzone w strukturze wielowarstwowej powinny charakteryzować się podaną wielkością pierśnicowego pola przekroju.

OKREŚLENIE MODELOWEJ PIERŚNICY DOCELOWEJ. Kolejnym etapem badań było poszukiwanie wartości granicznej pierśnicy drzew ( $D_G$ ), powyżej której można uznać drzewa za rębne. Stwierdzono, że przeciętna pierśnica drzewostanu zależy od bonitacji, a współczynnik korelacji między tymi cechami ( $r=0,603$ ) różni się istotnie od zera (poziom istotności 0,05). Odchylenie standardowe pierśnic drzew także zależy od bonitacji drzewostanu ( $r=0,756$ ). Do określenia pierśnicy granicznej zaproponowano wzór:

$$D_G = a_1 + b_1 \cdot \text{Bon} + 2 \cdot (a_2 + b_2 \cdot \text{Bon}) \quad [10]$$

gdzie:

- $a_1, b_1$  – współczynniki równania regresji przeciętnej pierśnicy drzewostanu od bonitacji (Bon),
- $a_2, b_2$  – współczynniki równania regresji odchylenia standardowego pierśnic drzew od bonitacji.

Podstawiając do wzoru 9 wartości empiryczne, uzyskano wzór:

$$D_G = 3,95 + 0,67 \cdot \text{Bon} + 2 \cdot (-5,57 + 0,65 \cdot \text{Bon}) \quad [11]$$

Dla poszczególnych bonitacji pierśnica graniczna wynosi 32 cm dla bonitacji 20 m i wzrasta do 56 cm dla bonitacji 32 m (tab.). W rozkładzie pierśnic drzew, w którym pierwsza klasa ma wartość środkową 9 cm, a szerokości klas wynoszą 4 cm, pierśnica 32 cm znajduje się w 7. klasie, a pierśnica 56 cm w klasie 13. Znajomość tych wartości jest niezbędna do obliczenia, zgodnie z wzorem 6, częstości teoretycznych wzorcowego rozkładu pierśnic drzew.

OKREŚLENIE ILORAZU  $q$ . Metoda BD $q$  wymaga ustalenia współczynników  $q$  decydujących o nachyleniu funkcji wyrażonej wzorem 5 względem osi X. Z przeprowadzonej analizy materiału empirycznego wynika, że współczynnik ten zależy od bonitacji drzewostanu i jest tym wyższy, im niższa bonitacja: dla bonitacji 20 współczynnik  $q=1,44$ , a dla bonitacji 32  $q=1,38$  (tab.). Do wartości  $q$  dochodzono, analizując empiryczne rozkłady pierśnic drzew dla poszczególnych bonitacji.

ZASTOSOWANIE. Jeden z drzewostanów jodłowych Nadleśnictwa Suchedniów charakteryzuje się typem siedliskowym lasu LMwyż, wiekiem warstwy górnej 97 lat, przeciętną pierśnicą 19,6 cm,

#### Tabela.

Współczynniki  $q$  wzorcowych rozkładów pierśnic drzew dla drzewostanów jodłowych o strukturze wielowarstwowej o założonych klasie bonitacji ( $SI$ ), pierśnicowym polu przekroju ( $B$ ) i pierśnicy docelowej ( $D$ )  
The  $q$  coefficients of model distributions of breast height diameters for silver fir stands with a multilayer structure and defined site index ( $SI$ ), basal area ( $B$ ) and target diameter ( $D$ )

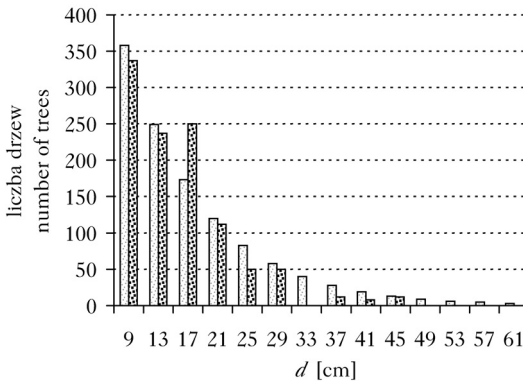
$SI$ [m]	$B$ [m <sup>2</sup> ]	$D$ [cm]	$q$
20	25	32	1,44
24	29	40	1,42
28	33	48	1,40
32	36	56	1,38

średnią wysokością 20,4 m, bonitacją 26,3 m, pierśnicowym polem przekroju 33,4 m<sup>2</sup>/ha i miąższością 332 m<sup>3</sup>/ha. Ze wzoru 9 otrzymano wzorcowe pole przekroju drzewostanu  $B=31$  m<sup>2</sup>/ha, a ze wzoru 11 pierśnicę graniczną  $D_G=44$  cm. Przyjmując współczynnik  $q=1,41$  (interpolacja danych z tab.), obliczono wzorem 6 teoretyczną liczbę drzew w poszczególnych klasach pierśnic przeliczoną na 1 ha. Z porównania liczby teoretycznej z liczbą drzew rozkładu empirycznego wynika, że oba rozkłady charakteryzują się dość dużą zgodnością. Rozbieżności w liczbie drzew występują zwłaszcza w klasach o wartości środkowej 17 i 25 cm (ryc. 2). Stwierdzono również, że w rozkładzie empirycznym brak jest drzew w niektórych wyższych klasach pierśnic.

Dla każdego drzewostanu jodłowego, dysponując jego bonitacją, można ustalić wzorcowy rozkład pierśnic drzew odpowiadający strukturze przerębowej. W tym celu za pomocą wzoru 9 należy określić modelowe pierśnicowe pole przekroju  $B$ , za pomocą wzoru 11 pierśnicę graniczną, a przy użyciu danych zawartych w tabeli, stosując interpolację lub ekstrapolację liniową, współczynnik  $q$ . Pozwala to za pomocą wzoru 6 określić liczbę drzew w poszczególnych klasach pierśnic drzew (ryc. 3), która jest wyraźnie zróżnicowana w niższych klasach pierśnic. Wyższej bonitacji odpowiada mniejsza liczba drzew w klasie.

### Dyskusja

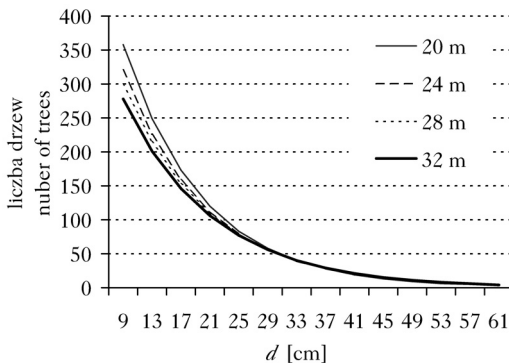
Drzewostany jodłowe Gór Świętokrzyskich charakteryzują się zróżnicowanym rozkładem pierśnic drzew, co wynika zarówno z naturalnych zaburzeń w ekosystemach (takich jak gradacje zwójek, korników, huragany), jak i z działalności człowieka, a głównie ze sposobu zagospodarowania drzewostanu. Powszechne stosowanie rębni częściowych w drzewostanach jodłowych skutkowało wyrównaniem w nich struktury pionowej.



Ryc. 2.

Empiryczny (ciemny) i teoretyczny (jasny) rozkład pierśnic drzew drzewostanu o bonitacji 28 m

Empirical (dark) and theoretical (light) breast height diameter distribution in a stand with site index of 28 m



Ryc. 3.

Krzywe rozkładu pierśnic drzew dla wzorcowego drzewostanu jodłowego o różnej bonitacji

DBH distributions for a model fir stand for various values of site index

Rębnię częściową stosowano po zaliczeniu drzewostanu do grupy drzewostanów rębnych. W ten sposób przy wieku rębności 120 lat do grupy rębnych wchodziły wszystkie drzewostany starsze od 100 lat. Inicjowano wówczas i wspierano proces odnowienia naturalnego, a po uzyskaniu przez młode pokolenie odpowiedniego stopnia pokrycia powierzchni i wysokości (3-4 m) stary drzewostan usuwano, zaś luki odnawiano w sposób sztuczny. Młody drzewostan stawał się ponownie jednowarstwową jedliną, w której prowadzono odpowiednie cięcia, w młodnikach przerzedzano górną warstwę drzew, a w drzewostanach przedrębnych realizowano trzebież selekcyjną.

Częste zaburzenia tak zagospodarowanych drzewostanów spowodowały, że większą uwagę zaczęto zwracać na zróżnicowanie strukturalne, które można uzyskać poprzez przebudowę jednopiętrowych jedlin na drzewostany wielogeneracyjne za pomocą rębni z długim lub bardzo długim okresem odnowienia [Poznański, Jaworski 2000; Bernadzki 2008]. Możliwość stosowania złożonych rębni stopniowych i rębni przerębowej w drzewostanach jodłowych wynika w dużej mierze z właściwości ekologicznych jodły, zwłaszcza z jej dużej cieniażności. Wydaje się jednak, że zdolności adaptacyjne najmłodszej generacji jodeł do życia pod okapem złożonym z kilku wyższych warstw drzew są przeceniane. Badania Bruchwalda i in. [2015a] dowodzą, że w kilkuwarstwowym drzewostanie jodłowym występuje bardzo wysoka śmiertelność odnawiającej się jodły i trzecia warstwa drzew (od 0,5 do 7 m wysokości) nie wykształca się, a pojedyncze młode jodły mają znacznie zahamowany wzrost na grubość i wysokość, są też często kilkakrotnie spałowane przez jelenie. Zahamowanym wzrostem grubości i wysokości charakteryzują się również drzewa drugiej warstwy drzewostanu, a tempo ich wzrostu na wysokość jest przeciętnie dwukrotnie wolniejsze niż w warstwie pierwszej [Bruchwald i in. 2015b]. Skutkuje to bardzo małą liczbą drzewostanów jodłowych o strukturze przerębowej w Polsce [Bernadzki 2008].

Drzewostany jodłowe o jednoramiennym rozkładzie pierśnic drzew charakteryzują się najczęściej zróżnicowaną strukturą pionową, jednak w układzie przestrzennym [Bruchwald i in. 2015a]. Struktura pionowa takiego drzewostanu ma układ mozaikowy, występują więc kępy jedlin jedno-, dwu-, a nawet trzywarstwowych, różne kombinacje warstw wysokościowych, a także luki. W takim przypadku postępowanie hodowlane polega na różnych zabiegach pielęgnacyjnych w poszczególnych płatach drzewostanu (przerzedzanie poszczególnych warstw, odsłanianie dolnych warstw, poszerzanie i odnawianie luk) wykonywanych podczas stosowania rębni stopniowej. Rębnia stopniowa gniazdowa udoskonalona (IVd), mająca również charakter ciągły, jest w takich drzewostanach najwłaściwszym sposobem postępowania hodowlanego.

W literaturze polskiej znane są próby definiowania jednobocznych rozkładów pierśnic drzew, np. funkcją Liocourta-Meyera [Rutkowski 1967; Poznański, Rutkowska 1997]. Funkcja ta, jak i funkcja prezentowana wzorem 5, to jednak niewystarczające kryterium do określenia wzorcowego drzewostanu jodłowego. Drzewostan zbliżony do wzorcowego powinien charakteryzować się stosunkowo wysoką produktywnością, a kryterium pomocniczym w jej uzyskaniu jest dostatecznie wysokie pierśnicowe pole przekroju drzewostanu. Uzyskanie, a następnie utrzymanie jedlin zgodnie z prezentowanym wzorcem zapewnia także ciągły w czasie wysoki poziom pochłaniania dwutlenku węgla. Badania Sharmy i in. [2014] dowodzą, że zastosowanie metody BDq w celu doprowadzenia drzewostanu do struktury wielopiętrowej umożliwia jednocześnie utrzymanie wysokich zasobów węgla. Wydaje się, że zapasy węgla są proporcjonalne do wielkości pierśnicowego pola przekroju, a fluktuacje w zasobach węgla w drzewostanie są uzależnione od przyjętej intensywności cięć.

Drugie kryterium metody BDq – pierśnica graniczna – powinno ułatwić utrzymanie drzewostanu w strukturze wzorcowej. Jak wykazały wyniki badań autorów, pierśnica docelowa zależy od bonitacji. Im wyższe możliwości produkcyjne siedliska, tym większe wartości może przyjąć



pierśnica docelowa. Warto także wziąć pod uwagę znaczenie pierśnicy docelowej dla hodowli lasu i ekonomii, bowiem decyduje ona o strukturze możliwych do pozyskania sortymentów drzewnych. Wysoka wartość pierśnicy docelowej łączy się z większą wartością pozyskanego surowca drzewnego, ale jednocześnie z ryzykiem utraty jakości technicznej drewna najgrubszych drzew w kolejnym obiegu cięć [Guldin 1991; Paluch 2006a, b; Drozdowski i in. 2014]. Stosunkowo niewielka pierśnica docelowa będzie natomiast generować dużą sumaryczną miąższość drzewostanu i niską wartość pierśnicowego pola przekroju, zwiększy jednocześnie straty podczas pozyskania [Guldin 1991]. Otrzymana w niniejszej pracy pierśnica docelowa na poziomie 32 cm dla bonitacji 20 m wynika z dotychczasowego sposobu zagospodarowania drzewostanu, zgodnie z którym drzewostan docelowy powstał z drugiego piętra po usunięciu górnej warstwy drzew. Nie pozwoliło to tak powstałemu drzewostanowi na rozwinięcie pełnych możliwości przyrostowych.

Iloraz Liocourta ( $q$ ) w opisywanej metodzie determinuje nachylenie funkcji względem osi X. Wysokiej wartości  $q$  odpowiada wyższy udział drzew w cieńszych klasach grubości. W niniejszej pracy współczynnik  $q$  jest ujemnie skorelowany z bonitacją, co oznacza, że w drzewostanach o niższej bonitacji przebieg krzywej będzie bardziej stromy, gdyż większą rolę będzie odgrywało odnowienie i młode pokolenie drzewostanu.

## Wnioski

- ✦ W Górach Świętokrzyskich bardzo dużo drzewostanów jodłowych charakteryzuje się jednowarstwową strukturą wysokości drzew. Stosuje się w nich sposób zagospodarowania oparty na rębni częściowej, zgodnie z którą następane pokolenie będzie ponownie charakteryzowało się strukturą jednowarstwową.
- ✦ W sposobie zagospodarowania jedlin opartym na rębni stopniowej lub przerębowej brakuje precyzyjnego opisu drzewostanu, który ma powstać w wyniku stosowania tych rębni, a ściślej wzorca docelowego drzewostanu, do którego się zmierza, stosując ten sposób zagospodarowania.
- ✦ W pracy zaprezentowano wzorzec drzewostanu jodłowego oparty na metodzie BDq. Uwzględnia on trzy kryteria: dostatecznie duże pierśnicowe pole przekroju, graniczną pierśnicę drzewostanu i współczynnik  $q$ . Szczegółowy opis wzorca dotyczy jedlin Gór Świętokrzyskich i należy go traktować jako wzorzec lokalny.
- ✦ Opracowany wzorzec rozkładu pierśnic drzew jest matematycznym opisem docelowego drzewostanu jodłowego, w którym stosuje się odpowiedni sposób zagospodarowania, oparty zwłaszcza na rębni stopniowej. Po uzyskaniu przez drzewostan cech zbliżonych do wzorca utrzymanie drzewostanu wymagać będzie ciągłego stosowania rębni stopniowej, co wynika z przestrzennego zróżnicowania struktury wysokościowej drzewostanu, a tym samym z potrzeby wykonywania różnych zabiegów hodowlanych w poszczególnych partiach drzewostanu.
- ✦ Uzyskanie cech struktury drzewostanu wzorcowego nie jest możliwe na małym obszarze, lecz wymaga powierzchni obejmującej cały oddział lub kilka oddziałów, także wówczas, gdy skład gatunkowy wzbogacają inne gatunki drzew, np. buk i świerk. Wynika to z dążenia do uzyskania zróżnicowanej struktury pionowej warstw drzewostanu w układzie przestrzennym.

## Literatura

- Alexander R. R., Edminster C. B. 1977. Regulation and control of cut under uneven-aged management. USDA For. Serv. Res. Pap. RM-182: 7.
- Baker J. B., Cain M. D., Guldin J. M., Murphy P. A., Shelton M. G. 1996. Uneven-aged silviculture for the loblolly and shortleaf pine forest types. USDA For. Serv., Gen. Tech. Rep. SO-118.
- Barański S. 1977a. 150-lecie utworzenia Szkoły Leśnej Praktycznej w Siekiernie. Sylwan 121 (11): 69-70.

- Barański S. 1977b. Szkoła Leśna Praktyczna w lasach górniczych leśnictwa Bodzentyn w Siekiernie (1826-1832). Sylwan 121 (11): 71-76.
- Bernadzki E. 2008. Jodła pospolita. Ekologia, zagrożenia, hodowla. PWRiL, Warszawa.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2014. Zasady prowadzenia gospodarki leśnej dla terenów zagrożonych przez wiatr. Dokumentacja naukowa. Inst. Bad. Leśn., Sękocin Stary.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2015. Zasady prowadzenia gospodarki leśnej dla terenów zagrożonych przez wiatr. Dokumentacja naukowa. Inst. Bad. Leśn., Sękocin Stary.
- Bruchwald A., Dmyterko E., Niemczyk M., Łukaszewicz J. 2015a. Charakterystyka wybranych drzewostanów jodłowych Beskidu Niskiego i sposób ich zagospodarowania. Sylwan 159 (9): 722-731.
- Bruchwald A., Dmyterko E., Niemczyk M., Łukaszewicz J. 2015b. Tempo wzrostu wysokości i pierśnicy jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w Beskidzie Niskim. Sylwan 159 (10): 804-812.
- Brzeziecki B., Kornat A. 2011. Kształtowanie zróżnicowanej struktury drzewostanów z wykorzystaniem metody BDq. Sylwan 155 (9): 589-598.
- Buongiorno J., Kolbe A., Vasievich M. 2000. Economic and ecological effects of diameter-limit and BDq management regimes: simulation results northern hardwoods. Silva Fennica 34 (3): 223-235.
- Cancino J., von Gadow K. 2001. Development and limitations of stem number guild curves for uneven-aged forests. Poster presented at IUFRO 4.00/8.00/1.00 Conference. Continuous Cover Forestry: Assessment, Analysis, Scenarios. Göttingen.
- Capecki Z., Tuteja W. 1974. Usychanie jodły w lasach południowej Polski. Sylwan 118 (12): 1-16.
- Cieszewski C. J. 2001. Three methods of deriving advanced dynamic site equations demonstrated on inland Douglas-fir site curves. Can. J. For. Res. 31: 165-173.
- Drozdowski S., Bielak K., Buraczyk W., Gawron L., Jaros R., Żybuła H. 2014. Planowanie hodowlane w drzewostanach jodłowych o złożonej strukturze z wykorzystaniem metody BDq w Nadleśnictwie Zagnańsk. Sylwan 158 (9): 651-660.
- Elling W., Dittmar C., Pfaffelmoser K., Rötzer T. 2009. Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in Southern Germany. For. Ecol. Manag. 257: 1175-1187.
- Gołajska J. 2014. Formy aktywności człowieka wpływające na stan lasów Świętokrzyskiego Parku Narodowego i otuliny w ujęciu historycznym. Prace Komisji Krajoznawstwa Kulturowego 25: 99-109.
- Guldin J. M. 1991. Univen-aged BDq regulation of Sierra Nevada mixed conifers. Journal of Forestry 89 (9): 29-36.
- Jaworski A., Zarzycki K. 1983. Ekologia. W: Białobok S. [red.]. Jodła pospolita (*Abies alba* Mill.). PWN, Warszawa – Poznań. 317-430.
- Krysztofik E. 1975. Lata kłęski i rozkwitu „Puszczy Jodłowej”. Chrońmy Przyrodę Ojczystą 4.
- Krysztofik E. 1978. Lata kłęski w Puszczy Jodłowej. Chrońmy Przyrodę Ojczystą 5.
- Marquis D. A., Ernst R. L., Stout S. L. 1992. Prescribing silvicultural treatments in hardwoods stands of the Alleghensis (revised). US Forest Service General Technical Report NE-96.
- O'Hara K., Gersonde R. F. 2004. Stocking control concepts in uneven-aged silviculture. Forestry 77 (2): 131-143.
- Paluch J. 2006a. Rębnia przerębowa jako nowoczesna metoda biologicznej racjonalizacji. Sylwan 150 (10): 20-29.
- Paluch J. 2006b. Przyrost wartości drzewa jako kryterium regulacji cięć w rėbniach złożonych. Sylwan 150 (12): 54-63.
- Poznański R., Jaworski A. 2000. Nowoczesne metody gospodarowania w lasach górskich. CILP, Warszawa.
- Poznański R., Rutkowska L. 1997. Wskaźniki zróżnicowania struktury rozkładu pierśnic. Sylwan 141 (11): 23-32.
- Radwan M. 1963. Rudy, kuźnice i huty żelaza w Polsce. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Rutkowski B. 1967. Rozkład pierśnic według krzywej frekwencji Liocourta i Meyera. Zesz. Nauk. WSR w Krakowie 38, Leśnictwo 3: 1-20.
- Rykowski K. 2006. Mechanizmy sekwencji węgla w ekosystemach leśnych i możliwości oddziaływania na nie gospodarki leśnej. W: Rykowski K. [red.]. Rola lasów i gospodarki leśnej w kształtowaniu bilansu węgla w ekosystemach leśnych w Polsce. CILP, Warszawa. 53-71.
- Sharma A., Bohn K., Jose S., Cropper W. P. 2014. Covering even-aged plantations to uneven-aged stand conditions: a simulation analysis of silvicultural regimes with slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.). For. Sci. 60:000-000 <http://dx.doi.org/10.5849/forsci.13-097>.
- Sierpiński K. 1977. Przyczyny zamierania jodły w Górach Świętokrzyskich. Sylwan 121 (11): 29-39.
- Trampler T., Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A. 1990. Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizjograficznych. PWRiL, Warszawa.
- Zawada J. 1978. Przyrostowe objawy regresji jodły. Sylwan 122 (12): 7-16.
- Zielony R., Kliczkowska A. 2012. Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski 2010. CILP, Warszawa.