

JAROSŁAW SOCHA

# Wpływ cech biometrycznych drzewostanu oraz wybranych czynników środowiskowych na kształtowanie się bieżącego przyrostu miąższości górskich drzewostanów świerkowych\*

Effect of stand biometrical parameters and selected environmental factors on the current annual volume increment of mountain spruce stands

## ABSTRACT

Jarosław Socha 2009. Wpływ cech biometrycznych drzewostanu oraz wybranych czynników środowiskowych na kształtowanie się bieżącego przyrostu miąższości górskich drzewostanów świerkowych. Sylwan 153 (5): 323-331.

The empirical material used in the research was collected from 332 study sites located in spruce stands in Beskid Śląski and Beskid Żywiecki. The increment volume of a stand was in 78% determined by stand biometric parameters of which basal area, site quality, average diameter at breast height and density were of greatest importance.

## KEY WORDS

breast height basal area, site index, stand density, geological substratum, topography

## ADDRESSES

Jarosław Socha – e-mail: rlsocha@cyf-kr.edu.pl

Katedra Dendrometrii, Uniwersytet Rolniczy; Al. 29-listopada 46; 31-425 Kraków

## Wstęp

Przyrost miąższości drzewostanu stanowi podstawowy miernik produktywności lasu i jest wykorzystywany do określania wielkości użytkowania rębego [Kukuła i in. 1997], dlatego jest jednym z najważniejszych wskaźników planowania gospodarczego w leśnictwie. Cecha ta stanowi ponadto kryterium oceny skuteczności zabiegów gospodarczych [Rutkowski 1986; Chrimes 2004] oraz jest jednym ze wskaźników stabilności drzewostanów [Hasenauer 2006].

Przyrost miąższości drzewostanu jest determinowany przez wiele czynników, wśród których najważniejszą rolę odgrywają warunki glebowe i klimatyczne [Jaworski 2004; Hamel i in. 2004; Romanya, Vallejo 2004]. Zmienność przyrostu może być uwarunkowana genetycznie [Kulej, Socha 2008], a ponadto jest niekiedy wynikiem oddziaływania takich czynników biotycznych jak choroby grzybowe i szkodniki owadzie. W przypadku drzewostanów górskich przyrost może być związany z topografią terenu [Gieruszyński 1936; Orzeł i in. 1999] oraz stopniem zanieczyszczenia przemysłowego środowiska [Dudek 1990; Orzeł 1998]. Na przyrost miąższości można wpływać przez dobór sposobu pielęgnowania drzewostanu. W drzewostanach świerkowych jest on dodatkowo skorelowany z zasobnością i dlatego prowadzenie silnych zabiegów pielęgnacyjnych na ogół skutkuje zmniejszeniem przyrostu [Kolström 1993; Lundqvist 1994; Chrimes 2004].

\* Badania wykonano w ramach projektu nr 2 P06L 001 28 „Wpływ czynników środowiskowych na kształtowanie się produktywności i stabilność górskich drzewostanów świerkowych” finansowanego przez MNiI

Celem prezentowanych badań jest określenie wpływu cech biometrycznych drzewostanu i wybranych czynników środowiskowych na kształtowanie się bieżącego przyrostu miąższości w górskich drzewostanach świerkowych. Badania skoncentrowano na świerku, który na terenie Polskich Karpat i Sudetów jest gatunkiem lasotwórczym o największym znaczeniu gospodarczym. W Beskidzie Śląskim i Żywieckim, w których przeprowadzono badania, świerk stanowi około 75% powierzchni leśnej.

## Materiał badawczy

Materiał badawczy wykorzystany w pracy stanowią wyniki pomiarów przeprowadzonych na powierzchniach próbnych założonych w 332 drzewostanach świerkowych zlokalizowanych na terenie Beskidu Śląskiego i Żywieckiego w nadleśnictwach: Jeleśnia, Ujsoty, Ustroń oraz Węgierska Górka. Wiek analizowanych drzewostanów wynosi od 40 do 157 lat. 49 spośród wymienionych powierzchni to stałe powierzchnie badawcze w kształcie prostokąta o wielkości 0,5 ha (43 powierzchnie) lub 0,25 ha (6 powierzchni). Pozostałe (283) to powierzchnie kołowe o wielkości od 2 do 10 arów. Na stałych powierzchniach badawczych pomierzono pierśnicę każdego drzewa oraz wysokość, grubość kory i przyrost pierśnicy co czwarte drzewa. W przypadku powierzchni kołowych pomierzono pierśnicę oraz wysokość i przyrost pierśnicy wszystkich drzew. Na powierzchniach próbnych wykonano odwierty świdrem przyrostowym Presslera w celu określenia wieku drzewostanu. Dla scharakteryzowania topografii pomierzono wysokość nad poziom morza, ekspozycję i nachylenie terenu.

## Metodyka prac obliczeniowych

W celu zbadania wpływu cech biometrycznych drzewostanu oraz wybranych wskaźników charakteryzujących warunki wzrostu na przyrost miąższości drzewostanu zastosowano metodę regresji wielorakiej. Cechy biometryczne drzewostanu scharakteryzowano za pomocą: wieku ( $A$ ), przeciętnej pierśnicy ( $D_g$ ), wysokości ( $H$ ), pola pierśnicowego przekroju drzewostanu ( $G$ ), bonitacji ( $SI$ ), bieżącego przyrostu miąższości ( $Zv$ ), liczby drzew na hektarze ( $N$ ) oraz wskaźnika zagęszczenia drzewostanu ( $SDI$ ).

Wiek drzewostanów ustalono na podstawie odwiertów wykonanych świdrem przyrostowym Presslera. Bonitację obliczono na podstawie wysokości górnej 100 najgrubszych drzew na hektarze w wieku 100 lat, korzystając z modelu wzrostu wysokości górnej [Bruchwald i in. 1999]. Przyrost miąższości ustalono na podstawie drzew, które znajdowały się na powierzchniach badawczych na końcu okresu przyrostowego, z różnicy miąższości na końcu i na początku okresu. Wskaźnik zagęszczenia drzewostanu obliczono zgodnie ze wzorem zaproponowanym przez Reineke [Zeide 2005]:

$$SDI = N \cdot \left( \frac{D_g}{25} \right)^{1,6} \quad [1]$$

gdzie:

$SDI$  – wskaźnik zagęszczenia drzewostanu,

$N$  – liczba drzew na hektarze,

$D_g$  – przeciętna pierśnica.

Warunki wzrostu scharakteryzowano za pomocą topografii terenu oraz podłoża geologicznego. Topografię terenu opisano na podstawie: wzniesienia nad poziom morza ( $E$ ), ekspozycji ( $K_B$ ), nachylenia terenu ( $S$ ), lokalizacji powierzchni na stoku oraz wielkości danego masywu górskiego ( $E_{top}$ ). Ekspozycję pomierzoną w postaci azymutu zamieniono na wartości liczbowe zgodnie ze wzorem [Beers i in. 1966]:

$$K_B = \sin(A + (90 - A_{max})) + 1 \quad [2]$$

gdzie:

$K_B$  – transponowana wartość wystawy przyjmująca wartości od 0 do 2,

$A$  – azymut wyrażony w stopniach,

$A_{max}$  – wystawa o skrajnych wartościach czynników klimatycznych, za którą na podstawie wstępnych analiz zgodnych z propozycją zawartą w pracy Bersa i in [1966] przyjęto wartość 45.

Wielkość masywu górskiego zgodnie z propozycją Hessa [1965] opisano za pomocą wysokości najwyższego szczytu w danym masywie (*Etop*). Położenie poszczególnych powierzchni na stoku opisano przypisując je do 5 typów lokalizacji: 1 – dna dolin, 2 – dolna część stoków, 3 – środkowa część stoków, 4 – przygrzbietowa część stoków i 5 – na grzbiecie. W modelu regresji zmienna ta została uwzględniona w postaci 5 zmiennych fikcyjnych (ang. dummy variables).

Podłoże geologiczne (*Geo*) ustalono dla poszczególnych powierzchni próbnych na podstawie map geologicznych przyporządkowując je do dwóch głównych typów zbliżonych pod względem budowy i pochodzenia: trzeciorzędowe piaskowce magurskie i podmagurskie oraz pochodzące z czwartorzędu piaskowce godulskie i istebniańskie. Dla celów modelowania regresyjnego dla pierwszego typu podłoża przyjęto kod 1, a dla drugiego – kod 0.

W analizach statystycznych wykorzystywano głównie metodę regresji wielorakiej. Stosowanie tej metody poprzedzono oceną charakteru zależności poszczególnych zmiennych niezależnych i zmiennej zależnej. W przypadku kiedy zależność okazywała się nieliniowa, stosowano transformację zmiennych.

Decyzję o włączeniu danej zmiennej wyjaśniającej do modelu podejmowano z uwzględnieniem współczynnika inflacji wariancji *VIF* (ang. variance inflation factor) oceniającego jej nadmiarowość [Fox 1991]:

$$VIF_j = 1 / (1 - R_j^2) \quad [3]$$

gdzie:

$R_j^2$  – współczynnik determinacji dla regresji wielorakiej danej zmiennej na pozostałe zmienne wyjaśniające zawarte w modelu.

Dla poszczególnych równań regresji przeprowadzono analizę wartości resztowych. Do oceny dokładności poszczególnych równań wykorzystano wartości skorygowanego współczynnika determinacji ( $R_{adj}^2$ ; wzór [4]) i błędu standardowego estymacji (*RMSE* [Huang i in. 2003]; wzór [5]).

$$R_{adj}^2 = 1 - (1 - R^2) \left( \frac{n - 1}{n - k - 1} \right) \quad [4]$$

gdzie:

$R^2$  – współczynnik determinacji

$k$  – liczba zmiennych wyjaśniających

$n$  – liczba obserwacji

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - k - 1}} \quad [5]$$

gdzie:

$Y_i$  – rzeczywista wartość zmiennej zależnej,

$\hat{Y}_i$  – wartość zmiennej zależnej wyznaczona według równania.

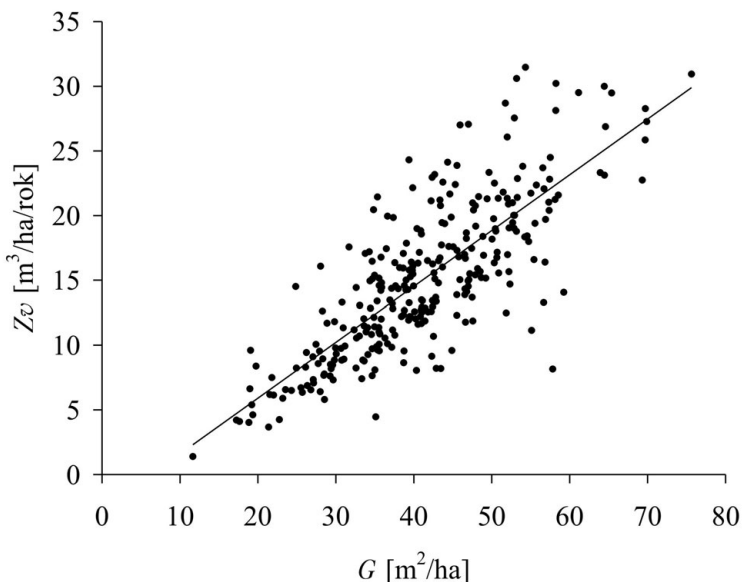
Dokładność opracowanych modeli regresji oceniano również na podstawie zależności wartości obserwowanych i wyznaczonych według równania. Do obliczeń wykorzystano program statystyczny Statistica [StatSoft Inc. 2008].

## Wyniki badań

Przyrost analizowanych drzewostanów świerkowych charakteryzuje się dużą zmiennością. Na poszczególnych powierzchniach badawczych wartość bieżącego rocznego przyrostu miąższości wahała się bowiem w granicach od 1,4 m<sup>3</sup>/ha do 31,5 m<sup>3</sup>/ha. Przyrost drzewostanów skorelowany jest zarówno z cechami drzewostanu, jak i zmiennymi opisującymi jego lokalizację.

ZWIĄZEK PRZYROSTU MIĄŻSZOŚCI Z CECHAMI BIOMETRYCZNYMI DRZEWOSTANU. Spośród cech drzewostanu przyrost miąższości jest w największym stopniu skorelowany z powierzchnią pierśnicowego przekroju ( $G$ ); współczynnik korelacji dla tej zależności wynosi 0,79 (ryc. 1). Nieco słabszy jest związek przyrostu miąższości z zasobnością drzewostanu ( $r=0,73$ ). Wartość skorygowanego współczynnika determinacji wynosząca 0,62 świadczy o tym, że powierzchnia pierśnicowego przekroju wyjaśnia około 62% zmienności przyrostu miąższości. Ponieważ pole pierśnicowego przekroju i zasobność są cechami nadmiarowymi, na co wskazuje wartość wskaźnika inflacji wariancji ( $VIF$ ) znacznie przekraczająca 4, w dalszych analizach uwzględniono jedynie pole przekroju.

Kolejną cechą biometryczną drzewostanu, która jest dodatnio skorelowana z przyrostem miąższości, jest bonitacja. Powierzchnia pierśnicowego przekroju i bonitacja wyjaśniają łącznie ponad 72% zmienności przyrostu. Po uwzględnieniu w modelu regresji przeciętnej pierśnicy udział wyjaśnionej zmienności przyrostu wzrasta do 77%, przeciwnie niż w przypadku bonitacji i pola pierśnicowego przekroju ze wzrostem przeciętnej pierśnicy przyrost miąższości zmniejsza się. Uwzględnienie w modelu regresji powierzchni przekroju sprawia, że na wielkość przyrostu



Ryc. 1.

Zależność bieżącego rocznego przyrostu miąższości od pierśnicowego pola przekroju drzewostanu  
Dependence of current annual volume increment on stand basal area

miąższości nie wpływa przeciętna wysokość i wiek drzewostanu. Przyrost drzewostanu nie jest związany również z liczbą drzew na hektar, zależy natomiast od zagęszczenia określonego na podstawie wskaźnika  $SDI$ . W porównaniu z  $SDI$  określonym dla świerka nieznacznie większy udział wariancji wyjaśnionej uzyskano stosując wskaźnik zagęszczenia drzewostanu określony dla wszystkich gatunków łącznie ( $SDI_{all}$ ). Wraz z powierzchnią pierścnicowego przekroju ( $G$ ), wskaźnikiem bonitacji ( $SI$ ) oraz przeciętną pierśnicą ( $D_g$ ), wskaźnik zagęszczenia wyjaśnia około 77% zmienności przyrostu miąższości (tab. 1), a błąd standardowy przyrostu określonego na podstawie wymienionych cech jest równy 2,78 m<sup>3</sup>/ha. Równanie opisujące związek przyrostu miąższości z cechami drzewostanu przyjmuje postać:

$$Zv = -9,5104 + 0,46026 \cdot G + 0,4184 \cdot SI - 0,2322 \cdot D_g - 0,00144 \cdot SDI_{all} \quad [6]$$

ZWIĄZEK PRZYROSTU MIĄŻSZOŚCI Z WARUNKAMI WZROSTU. Przyrost miąższości badanych drzewostanów świerkowych jest istotnie skorelowany z podłożem geologicznym. Drzewostany wzrastające na piaskowcach warstw magurskich i podmagurskich w porównaniu z drzewostanami wzrastającymi na piaskowcach warstw istebniańskich i godulskich charakteryzują się przyrostem miąższości większym średnio o około 1,9 m<sup>3</sup>/ha/rok. Występuje również nieco słabsza korelacja ze wzniesieniem nad poziom morza – wraz ze wzrostem wysokości nad poziom morza przyrost miąższości nieznacznie zmniejsza się. Podłoże geologiczne i wzniesienie nad poziom morza wyjaśniają łącznie około 7,9% zmienności przyrostu miąższości. Wbrew oczekiwaniom nie stwierdzono związku przyrostu miąższości z ekspozycją drzewostanu oraz z lokalizacją na stoku. Uwzględniając cechy drzewostanu oraz zmienne charakteryzujące warunki wzrostu uzyskano równanie (wzór [7]) wyjaśniające ponad 79% zmienności przyrostu miąższości (tab. 2).

$$Zv = -73,08 + 0,462 \cdot G - 0,229 \cdot D_g + 0,295 \cdot SI + 1,579 \cdot Geo - 0,0014 \cdot SDI_{all} + 67,47 \cdot E_t \quad [7]$$

gdzie:

$E_t$  – oznacza transponowaną wartość wzniesienia nad poziom morza, którą wyliczono zgodnie ze wzorem:

$$E_t = \left( 1 - \left( \frac{E - 400}{E + 400} \right)^5 \right) \quad [8]$$

Błąd standardowy przyrostu określonego według wzoru [7] wynosi 2,72 m<sup>3</sup>/ha, skrajne wartości błędów wynoszą natomiast od -8,67 m<sup>3</sup>/ha do 9,57 m<sup>3</sup>/ha. Rozkład wartości resztowych względem przewidywanych charakteryzuje się jednorodnością w całym zakresie wartości przyrostu (ryc. 2a), a wartości resztowe mają rozkład zgodny z rozkładem normalnym. Zależność przyrostów rzeczywistych od wartości przyrostu estymowanych według opracowanego równania regresji nie odbiega istotnie od liniowej (ryc. 2b).

**Tabela 1.**

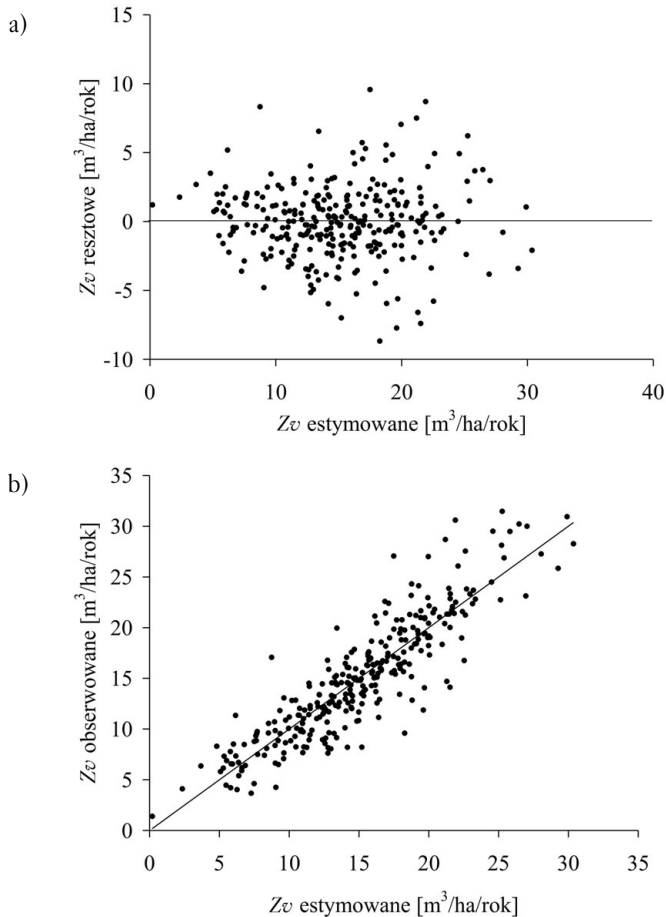
Parametry wzoru [6] oraz ocena ich istotności  
Parameters of formula [6] and assessment of their significance

Zmienna	Wartość parametru	Błąd standardowy	Wartość statystyki t	Poziom prawd.	Współczynnik inflacji wariancji	Korelacja cząstkowa
Wyraz wolny	-9,5104	1,5483	-6,14	<0,00001		
$D_g$	-0,2322	0,0297	-7,81	<0,00001	2,0004	-0,4157
$G$	0,4626	0,0154	29,99	<0,00001	1,0725	0,8689
$SDI_{all}$	-0,0014	0,0005	-3,09	0,00217	2,0218	-0,1782
$SI$	0,4183	0,0314	13,32	<0,00001	1,1423	0,6149

Tabela 2.

Parametry wzoru [7] oraz ocena ich istotności  
Parameters of formula [7] and assessment of their significance

Zmienna	Wartość parametru	Błąd standardowy	Wartość statystyki t	Poziom prawd.	Współczynnik inflacji wariancji	Korelacja cząstkowa
Wyraz wolny	-73,0891	32,4074	-2,25	0,02486		
$G$	0,4620	0,0152	30,32	<0,00001	1,0942	0,8719
$D_g$	-0,2296	0,0297	-7,72	<0,00001	2,0921	-0,4130
$SI$	0,2955	0,0579	5,10	<0,00001	4,0602	0,2872
$Geo$	1,5791	0,4029	3,91	0,00011	1,6063	0,2243
$SDI_{all}$	-0,0014	0,0005	-3,16	0,00170	2,0417	-0,1829
$Et$	67,4716	33,9398	1,98	0,04775	3,6879	0,1160



Ryc. 2.

Analiza reszt modelu regresji opisującego zależność przyrostu od cech biometrycznych drzewostanu i topografii terenu (wzór [7]): wartości resztowe względem estymowanych (a) oraz obserwowane względem estymowanych (b)

Residual analysis for regression model describing the dependence of volume increment on stand biometrical parameters and topography (formula [7]): residual values compared to estimated values (a) and observed values compared to estimated values (b)

## Dyskusja

Przeprowadzone badania wskazują na występowanie silnego związku bieżącego przyrostu miąższości drzewostanów świerkowych z cechami drzewostanu oraz warunkami wzrostu określonymi na podstawie jego lokalizacji. Przyrost miąższości drzewostanu w największym stopniu skorelowany jest z polem pierśnicowego przekroju i zasobnością. Uzyskane wyniki są zgodne z wynikami badań przeprowadzonych w Szwecji [Lundqvist 1994] i Finlandii [Kolström 1993], w których stwierdzono dodatnią korelację przyrostu miąższości drzewostanów świerkowych z zasobnością. Inne wnioski wynikają natomiast z badań Spieckera [1986], który nie stwierdził korelacji przyrostu miąższości drzewostanów świerkowych z zasobnością.

Z punktu widzenia intensyfikacji produkcji drzewnej w przypadku drzewostanów świerkowych korzystne jest zatem utrzymywanie wysokiego wskaźnika zadrzewienia drzewostanu, co można uzyskać między innymi przez mniejszą intensywność zabiegów pielęgnacyjnych. Takie podejście nie uwzględnienia jednak problemów związanych ze stabilnością drzewostanów. Wysokie zadrzewienie prowadzi bowiem do zwiększania smukłości i skracania koron drzew, co niekorzystnie wpływa na stabilność [Socha 2008]. Analizy wpływu zagęszczenia drzewostanu na przyrost miąższości wskazują na negatywną korelację przyrostu ze wskaźnikiem zagęszczenia. Okazało się, że przyrost świerka ograniczany jest również przez inne gatunki. Wskaźnik zagęszczenia liczony dla wszystkich gatunków łącznie okazał się bardziej wpływać na przyrost miąższości niż wskaźnik zagęszczenia świerka. Obserwowana w badaniach korelacja przyrostu miąższości z przeciętną pierśnicą wynika stąd, że przyrost analizowanych drzewostanów zmniejsza się z wiekiem. Tempo zmian nie jest jednak takie samo w każdych warunkach. Przeciętna pierśnica drzewostanu wskazująca na jego wiek gospodarczy jest silniej skorelowana z przyrostem niż wiek drzewostanu, który wraz z przeciętną pierśnicą okazał się zmienną nadmiarową.

W badaniach stwierdzono, że na obszarach o podłożu geologicznym zbudowanym głównie z piaskowców magurskich i podmagurskich drzewostany świerkowe charakteryzują się większą produktywnością w porównaniu z drzewostanami wznoszącymi się na obszarach z podłożem składającym się z piaskowców godulskich i istebniańskich. Wynika to z większej żyzności gleb wytworzonych z piaskowców magurskich i podmagurskich, co korzystnie wpływa na wzrost i przyrost świerka. Ponadto gleby wytworzone na piaskowcach magurskich i podmagurskich nie ulegają tak znacznemu zniekształceniu pod wpływem monokultur świerkowych jak gleby na piaskowcach godulskich i istebniańskich [Maciaszek i in. 2000].

Przyczyną obserwowanych różnic w przyroście miąższości związanych ze wzniesieniem nad poziom morza, na jakim wznosił się dany drzewostan, są prawdopodobnie warunki klimatyczne. Wzniesienie nad poziom morza modyfikuje bowiem zarówno warunki termiczne, jak i wilgotnościowe, które z kolei wpływają na wielkość przyrostu miąższości [Hess 1965; Trepieńska 2002; Wilczyński, Feliksik 2004; Wilczyński i in. 2004].

Przeprowadzone badania pozwoliły na uzyskanie informacji o czynnikach determinujących bieżący roczny przyrost miąższości górskich drzewostanów świerkowych. Poza zastosowaniem w badaniach nad modelowaniem przyrostu miąższości informacje te mogą być wykorzystane do optymalizacji zabiegów pielęgnacyjnych prowadzonych w drzewostanach z punktu widzenia produktywności lasu.

## Podsumowanie

Bieżący roczny przyrost miąższości drzewostanów świerkowych jest cechą charakteryzującą się bardzo dużą zmiennością. W przypadku analizowanych drzewostanów świerkowych wynosił

bowiem od 1,4 do 31,5 m<sup>3</sup>/ha/rok. Wielkość przyrostu miąższości drzewostanu jest w 78% determinowana przez jego cechy biometryczne, wśród których najistotniejsze to: powierzchnia pierścnicowego przekroju drzewostanu, bonitacja, przeciętna pierśnica i zagęszczenie określone na podstawie wskaźnika *SDI*. Błąd standardowy przyrostu określonego na podstawie wymienionych cech drzewostanu wynosi 2,78 m<sup>3</sup>/ha. Przyrost analizowanych drzewostanów świerkowych w mniejszym stopniu skorelowany jest z warunkami wzrostu. Spośród analizowanych charakterystyk istotny wpływ wywierają podłoże geologiczne oraz wysokość nad poziom morza. Świerki wzrastające na glebach wytworzonych z piaskowców magurskich i podmagurskich, w porównaniu z drzewostanami wzrastającymi na glebach wytworzonych z piaskowców istebniańskich i godulskich, charakteryzowały się przyrostem miąższości większym średnio o około 1,9 m<sup>3</sup>/ha/rok. Wzrost wzniesienia nad poziom morza powoduje nieznaczne zmniejszanie się bieżącego rocznego przyrostu miąższości drzewostanów świerkowych. Związek przyrostu miąższości z warunkami wzrostu drzewostanów świerkowych, a szczególnie z podłożem geologicznym i wzniesieniem nad poziom morza, wskazuje na możliwość ich wykorzystania do modelowania przyrostu miąższości górskich drzewostanów świerkowych.

## Literatura

- Beers T. W., Dress P. E., Wensel L. C. 1966. Aspect transformation in site productivity research. *J. For.* 64: 691-692.
- Bruchwald A., Dudek A., Michalak K., Rymer-Dudzińska T., Wróblewski L., Zasada M. 1999. Model wzrostu dla drzewostanów świerkowych. *Sylvan* 143 (1): 19-31.
- Chrimes D. 2004. Stand Development and Regeneration Dynamics of Managed Uneven-aged *Picea abies* Forests in Boreal Sweden. Doctoral Thesis. Swedish University of Agriculture Sciences Umeå.
- Dudek A. 1990. Changes of the basal area growth and of the volume growth in pine stands. *Ann. Warsaw Agric. Univ. - SGGW-AR, For. and Wood Technol.* 40: 35-45.
- Fox J. 1991. *Regression Diagnostics: An Introduction*. Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences.
- Gieruszyński T. 1936. Wpływ wystawy na wzrost i zasobność drzewostanów świerkowych w Karpatach Zachodnich. *Sylvan A* 85 (1): 51-80.
- Hess M. 1965. Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich. *Universitas Iagelonica Acta Scientiarum Litterarumque*. CXV.
- Hamel B., Belanger N., Pare D. 2004. Productivity of black spruce and Jack pine stands in Quebec as related to climate, site biological features and soil properties. *Forest Ecology and Management* 191: 239-251.
- Hasenauer H. 2006. *Sustainable Forest Management: Growth Models for Europe*. Springer Berlin Heidelberg.
- Huang S., Yang Y., Wang Y. 2003. A critical look at Procedures for Validating Growth and Yield Models. W: Amaro A., Reed D., Soares P. [red.]. *Modelling Forest Systems*. CABI Publishing, Oxford Cambridge. 271-293.
- Jaworski A. 2004. Podstawy przyrostowe i ekologiczne odnawiania oraz pielęgnacji drzewostanu. PWRiL, Warszawa.
- Kolström, T. 1993. Modelling the development of an uneven-aged stands of *Picea abies*. *Scand. J. For. Res.* 3: 373-383.
- Kukuła J., Miś R., Ważyński B., Żółciak E. 1997. Zagadnienia praktyczne z urządzania lasu. Wyd. AR Poznań.
- Kulej M., Socha J. 2008. Effect of provenance on the volume increment of grand fir (*Abies grandis* Lindl.) under mountain conditions of Poland. *Journal of Forest Science.* 54 (1): 1-8.
- Lundqvist, L. 1994. Growth and competition in partially cut sub-alpine Norway spruce forests in northern Sweden. *For. Ecol. Manage.* 65: 115-122.
- Maciaszek W., Gruba P., Januszek K., Lasota J., Wanic T., Zwydak M. 2000. Degradacja i regradacja gleb pod wpływem gospodarki leśnej na terenie Żywiecczyny. Wyd. AR Kraków.
- Orzeł S. 1998. Ocena strat produkcyjnych drzewostanów sosnowych w wybranych regionach przemysłowych Polski południowej. *Sylvan* 142 (1): 5-20.
- Orzeł S., Socha J., Ochał W. 1999. Produkcyjność górskich drzewostanów świerkowych średnich klas wieku w zależności od ich położenia nad poziomem morza. *Sylvan* 143 (5): 37-45.
- Romanya J., Vallejo V. R. 2004. Productivity of *Pinus radiata* plantations in Spain in response to climate and soil. *Forest Ecology and Management* 195: 177-189.
- Rutkowski 1986. Problemy regulacji rozmiaru użytkowania przedrębego z cięć pielęgnacyjnych i cięć przygodnych. Aktualne problemy urządzania lasu w Polsce. SiITL, BULiG, Warszawa.
- Socha J. 2008. Wpływ wybranych czynników ekologicznych na kształtowanie się stabilności górskich drzewostanów świerkowych w Beskidach Zachodnich. *Sylvan* 152 (3): 40-49.



- Spiecker, H. 1986. Growth of fir (*Abies alba* Mill.) and spruce (*Picea abies* Karst.) in selection forest research plots in the Black Forest from 1950 to 1984. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 157:152-163.
- StatSoft Inc. 2008. Statistica (data analysis software system), version 8.0 .
- Trepińska J. 2002. Klimaty górskie. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Wilezyński S., Feliksik E. 2004. The dendrochronological monitoring of the western beskid mountains (Southern Poland) of the basis of radial increment of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Forestry* 7 (2).
- Wilezyński S., Feliksik E., Wertz B. 2004. Diversification of climatic requirements of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the upper forest zone. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Forestry* 7 (2).
- Zeide B. 2005. How to measure stand density. *Trees* 19: 1-14.

## SUMMARY

### Effect of stand biometrical parameters and selected environmental factors on the current annual volume increment of mountain spruce stands

The objective of the research was to study the dependence of volume increment of mountain spruce forests on stand biometric parameters and selected environmental factors. The empirical material used in the research was collected from 332 sample plots located in spruce stands in the territory of the Forest Districts: Jeleśnia, Ujszoły, Ustroń and Węgierska Górka. On the sample plots tree heights and diameters at breast height were measured and the following topographic features were determined: height above sea level, exposition and slope. Also, the type of underlying geological substrate was identified on the basis of geological maps.

The current annual volume increment of the examined spruce stands ranged from 1.4 ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ ) to 31.5 ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ ). The increment volume of a stand was in 78% determined by stand biometric parameters of which basal area, site quality, average diameter at breast height and stand density were of greatest importance. The volume increment of the examined spruce stands was, to a lesser degree, correlated with the variables describing the topography and geological substrate.