

SZYMON BIJAK, KAROL BRONISZ, PAULINA SZYDŁOWSKA, RAFAŁ WOJTAN

## Wpływ jakości siedliska na dynamikę wydzielenia brzozy na gruntach porolnych\*

Effect of site quality on self-thinning dynamics in silver birch stands on abandoned farmlands

### ABSTRACT

Bijak S., Bronisz K., Szydłowska P., Wojtan R. 2014. Wpływ jakości siedliska na dynamikę wydzielenia brzozy na gruntach porolnych. Sylwan 158 (6): 423-430.

Paper discusses the influence of site quality on self-thinning process in silver birch stands growing on abandoned farmlands in Mazowieckie region (central Poland). Number of trees in a stand decreases with increasing age. The better the site (the higher site index value), the higher number of trees can be observed. However at the age of 10 difference between sites of various quality (site index) become insignificant. There is no need to include site index into the self-thinning models for young silver birch stands.

### KEY WORDS

stand density, site index, silver birch, afforestation, central Poland

### ADDRESSES

Szymon Bijak <sup>(1)</sup> – e-mail: szymon.bijak@wl.sggw.pl  
 Karol Bronisz <sup>(1)</sup> – e-mail: karol.bronisz@wl.sggw.pl  
 Paulina Szydłowska <sup>(2)</sup> – e-mail: pszydłowska5@o2.pl  
 Rafał Wojtan <sup>(1)</sup> – e-mail: rafal.wojtan@wl.sggw.pl

<sup>(1)</sup> Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produktowności Lasu; SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa

<sup>(2)</sup> Katedra Biometrii i Produktowności Lasu; Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków

### Wstęp

Gatunek, wiek, zagęszczenie drzewostanu, jakość siedliska oraz zabiegi hodowlane są głównymi czynnikami kształtującymi wzrost i rozwój drzewostanu [Burkhardt, Tomé 2012]. Dynamika wydzielenia się drzew w drzewostanie związana jest z dostępnością czynników niezbędnych do wzrostu, takich jak światło, woda i składniki pokarmowe. W sytuacji braku działalności człowieka intensywność procesu ubywania drzew jest w głównej mierze spowodowana konkurencją poszczególnych osobników o te zasoby [Peet, Christensen 1987]. Z drugiej strony wielkość zasobów wpływa na tempo oraz natężenie ubywania drzew w drzewostanie. Można zatem przypuszczać, że dynamika wydzielenia się drzew jest powiązana z jakością siedliska [Zeide 1987; Vanclay 1994].

Konkurencja między drzewami jest pochodną zagęszczenia drzewostanu. Wpływa ono na jego strukturę i cechy biomorfologiczne drzew [Bruchwald 1988a; Pach i in. 2001]. Jest istotnym czynnikiem warunkującym zmiany w alokacji biomasy [Jagodziński, Oleksyn 2009a] oraz mody-

\* Pracę wykonano w ramach realizacji grantu NCN N N305 400238 „Ekologiczne konsekwencje sukcesji wtórnej brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) na gruntach porolnych”.

fikuującym zatrzymywanie składników odżywczych w biomasie i glebie [Jagodziński, Oleksyn 2009b]. Zagęszczenie ma również bezpośredni wpływ na mechaniczną stabilność drzewostanów oraz zagrożenie ze strony patogenów [Orzeł, Socha 1999; Socha 2008a; Jagodziński, Oleksyn 2009c; Jaworski, Pach 2011]. Do określania zagęszczenia drzewostanów stosuje się różne indeksy [Zeide 2005]. Jedną z najbardziej rozpowszechnionych miar jest wskaźnik zagęszczenia drzewostanu SDI (ang. stand density index) opracowany przez Reinekego [1933]. Bruchwald [1988b] zaproponował określanie stopnia zagęszczenia jako ilorazu aktualnej liczby drzew na jednostce powierzchni i maksymalnej liczby drzew będącej funkcją gatunku, wieku i wskaźnika bonitacji. Zagęszczenie określano również na podstawie takich cech jak zasobność drzewostanu, zwarcie koron lub powierzchnia liści [Vose, Allen 1998]. Jednakże z powodu licznych niedogodności związanych z zastosowaniem tych sposobów podstawową miarą zagęszczenia jest nadal liczba osobników na jednostce powierzchni. Weiskittel i in. [2009] stwierdzili, że maksymalne zagęszczenie drzew przy ich określonych wymiarach związane jest z pochodzeniem drzewostanu (odnowienie naturalne lub sztuczne), udziałem gatunku głównego oraz wskaźnikiem bonitacji.

Najczęściej wykorzystywaną i najszerzej akceptowaną miarą jakości siedliska jest wskaźnik bonitacji [Skovsgaard, Vanclay 2008; Socha 2008b; Sharma i in. 2012]. Jest on ustalany na ogół w postaci wysokości drzewostanu w określonym wieku bazowym, którą wylicza się za pomocą modeli bonitacyjnych (siedliskowych modeli wzrostu wysokości). Zagadnienie to nie było jednak dotychczas szeroko podejmowane w odniesieniu do brzozy. Modele wzrostu wysokości dla tego gatunku opracowali Prevosto i in. [1999] dla terenów górskich z Masywu Centralnego we Francji, a także Dieguez-Aranda i in. [2006] oraz Gómez-García i in. [2010] dla hiszpańskiej Galicji. Brakuje natomiast takich opracowań dla Polski, a w szczególności dla drzewostanów brzozowych rosnących na gruntach porolnych.

Brzoza brodawkowata dość szybko zasiedla porzucone i niewykorzystywane grunty porolne, pastwiska oraz nieużytki. Znaczna skala tego zjawiska, obserwowana w Polsce i w Europie środkowo-wschodniej w ostatnich dziesięcioleciach, powoduje rosnące zapotrzebowanie na narzędzia wspierające gospodarowanie tymi nowo powstałym ekosystemami. Modele wzrostu drzewostanu, a w szczególności uwzględniające zagęszczenie i wydzielanie młodych drzewostanów brzozowych, mogą być pomocne między innymi przy planowaniu hodowlanych i urządzeniowym.

Celem pracy było opisanie procesu naturalnego wydzielania drzew w młodocianych odnowieniach brzozowych rosnących na gruntach porolnych w zależności od jakości siedliska na podstawie relacji między zagęszczeniem drzew w drzewostanie a wskaźnikiem bonitacji.

## **Materiał i metody**

Materiał badawczy stanowią wyniki pomiarów przeprowadzonych na 120 powierzchniach próbnych założonych w zalesieniach brzozowych na gruntach porolnych zlokalizowanych w 30 miejscach w województwie mazowieckim (centralna Polska). W każdym z nich wybierano sekwencję czterech powierzchni próbnych o wzrastającym średnim wieku. Wiek badanych drzewostanów wahał się od 1 do 19 lat. Wielkość powierzchni próbnych wahała się od 1 do 731 m<sup>2</sup> w zależności od wieku i zagęszczenia drzew, które było bardzo zmienne (tab. 1). Powierzchnie zakładane były tak, aby na każdej z nich znalazło się około 200 drzew.

W celu określenia wskaźnika bonitacji (SI), zdefiniowanego jako przeciętna wysokość w wieku bazowym, zastosowano model wykorzystujący funkcję zaproponowaną przez Cieszewskiego [2001]:

Tabela 1.

Podstawowe charakterystyki badanych odnowień brzozowych  
Basic characteristics of investigated silver birch afforestations

	Średnia	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe
Wiek [lata]	7	1	19	4
Zagęszczenie [szt./ha]	116 311	2926	1 960 000	292 200
Pierścicowe pole przekroju [m <sup>2</sup> /ha]	11,37	0	84,77	12,90
Wysokość górna [m]	6,67	0,35	18,06	4,69
Miąższność [m <sup>3</sup> /ha]	50,48	0,19	270,68	55,14

$$SI = H_1 \cdot \frac{T_{SI}^{\beta_0} \cdot (T_1^{\beta_0} \cdot R + \beta_1)}{T_1^{\beta_0} \cdot (T_{SI}^{\beta_0} \cdot R + \beta_1)} \quad [1]$$

gdzie:

$$R = H_1 - \beta_2 + \left( (H_1 - \beta_2)^2 + \frac{2 \cdot \beta_1 \cdot H_1}{T_1^{\beta_0}} \right)^{0,5} \quad [2]$$

$H_1$  – wysokość drzewostanu w wieku  $T_1$ ,

$T_1$  – wiek drzewostanu,

$T_{SI}$  – wiek bazowy,

$\beta_{0,1,2}$  – parametry równania.

Funkcja ta była wcześniej wykorzystywana do budowy modeli bonitacyjnych opisujących wzrost sosny zwyczajnej [Cieszewski i in. 2007; Socha, Orzeł 2011, 2013], buka zwyczajnego [Nord-Larsen 2006] oraz świerka pospolitego z terenów górskich [Socha 2011].

Parametry modelu bonitacyjnego obliczono, stosując wiek bazowy równy 25 lat. Za dane wejściowe posłużyły informacje o wroście brzozy pochodzące z tablic zasobności Tiurina zamieszczonych w zestawieniu Szymkiewicza [2005]. Z uwagi na niski wiek i związane z nim prawdopodobieństwo błędnego określenia wskaźnika bonitacji, które jest szczególnie duże w przypadku najmłodszych drzewostanów, wskaźnik ten ustalono jako średnią z dwóch najstarszych powierzchni z każdej lokalizacji.

Do przeanalizowania zależności liczby drzew na jednostce powierzchni od wskaźnika bonitacji i wieku drzewostanu zastosowano podstawową postać równania funkcji allometrycznej:

$$Y = \beta_0 \cdot X_1^{\beta_1} \cdot X_2^{\beta_2} \cdot \dots \cdot X_n^{\beta_n} + \varepsilon \quad [3]$$

gdzie:

$Y$  – zmienna zależna,

$\beta_0 \dots \beta_n$  – parametry równania,

$X_1 \dots X_n$  – zmienne niezależne,

$\varepsilon$  – błąd losowy.

Obliczenia wykonano w pakiecie Statistica 10 (StatSoft, Inc), korzystając z modułu estymacja nieliniowa.

## Wyniki

Opracowany model bonitacyjny, opisujący wzrost wysokości przeciętnej drzewostanów brzozowych rosnących na gruntach porolnych w centralnej Polsce, przyjął postać:

$$SI = H_L \frac{25^{1,41} \cdot (T^{1,41} \cdot R + 16640,57)}{T^{1,41} \cdot (25^{1,41} \cdot R + 16640,57)} \quad [4]$$

gdzie:

$$R = H_L + 21,77 + \left( (H_L + 21,77)^2 + \frac{2 \cdot 16640,57 \cdot H_L}{T^{1,41}} \right)^{0,5} \quad [5]$$

Równanie to dobrze opisuje zmianę z wiekiem ( $T$ ) przeciętnej wysokości ( $H_L$ ) brzozy. Współczynnik determinacji, wskazujący na udział wariacji wyjaśnionej, wynosi niemal 100% (tab. 2). Średnia wartość wskaźnika bonitacji, wyrażona wysokością w wieku bazowym 25 lat i obliczona tym równaniem, wynosiła 18,1 m i mieściła się w przedziale od 10,3 do 21,9 m (współczynnik zmienności równy 14,8%).

Opracowany model opisujący zależność liczby drzew w odnowieniach brzozowych na gruntach porolnych od wieku drzewostanu i bonitacji siedliska (ryc.) przyjmuje postać:

$$N = 20229,82 \cdot SI^{1,12869} \cdot T^{-1,40849} \quad [6]$$

Równanie to wyjaśnia około 77% zmienności zagęszczenia odnowień brzozowych w zależności od wieku drzewostanu i bonitacji (tab. 3). Zgodnie z oczekiwaniem liczba drzew w odnowieniach brzozowych maleje z wiekiem drzewostanu. W przypadku początkowych faz rozwoju odnowień brzozowych największe zagęszczenie obserwowano na siedliskach najniższych. Również wraz z pogarszaniem się warunków siedliskowych (czyli malejącym wskaźnikiem bonitacji) liczba drzew na jednostce powierzchni zmniejsza się. Zróżnicowanie zagęszczenia wynikające z bonitacji siedliska zaciera się jednak wraz z wiekiem drzewostanów i już dla około 10 lat jest minimalne i nieistotne statystycznie.

**Tabela 2.**

Parametry modelu bonitacyjnego (równania 4 i 5) opracowanego na podstawie tablic zasobności oraz statystyki charakteryzujące jego dopasowanie do danych empirycznych

Parameters of site index model developed on the base yield tables (equations 4 i 5) and statistics describing precision of fit to empirical data

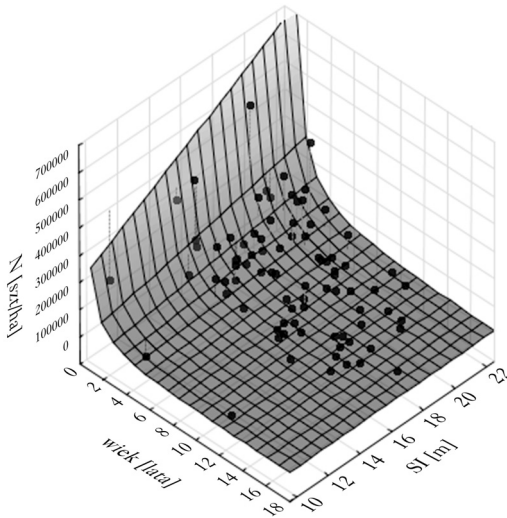
Parametr	Błąd standardowy	$t$	$p$	Dopasowanie modelu				
				$R^2_{adj}$	Odchylenie standardowe [m]	Minimum [m]	Maksimum [m]	
$\beta_0$	1,41	0,026	53,64	<0,00001				
$\beta_1$	16640,57	3521,694	4,72	<0,00001	0,999	0,207	-0,61892	0,7411
$\beta_2$	-21,77	10,516	-2,07	<0,00001				

**Tabela 3.**

Parametry modelu opisującego wydzielanie drzew jako funkcję wieku i bonitacji drzewostanu (równanie 6) oraz statystyki charakteryzujące jego dopasowanie do danych empirycznych

Parameters of the model describing self-thinning as a function of site index and age of the stand (equation 6) and statistics describing precision of fit to empirical data

Parametr	Błąd standardowy	$t$	$p$	Dopasowanie modelu				
				$R^2_{adj}$	Odchylenie stand. [szt./ha]	Minimum [szt./ha]	Maksimum [szt./ha]	
$\beta_0$	20229,82	18799,49	1,0761	0,28505				
$\beta_1$	1,13	0,33	3,4219	0,00097	0,771	57326	-132507	31475
$\beta_2$	-1,41	0,10	-13,674	<0,00001				



Ryc.

Zależność liczby drzew ( $N$ ) w odnowieniach brzozowych na gruntach porolnych od wieku drzewostanu i bonitacji siedliska ( $SI$ )

Dependence of the number of trees in a stand ( $N$ ) on site index value ( $SI$ ) and current stand age (wiek)

## Dyskusja

W pracy podjęto próbę ustalenia wpływu jakości siedliska, określonej za pomocą wskaźnika bonitacji, na zmianę z wiekiem liczby drzew w młodocianych brzozowych odnowieniach naturalnych rosnących na gruntach porolnych w centralnej Polsce. Według Puchniarskiego [2000] brzoza jest jednym z gatunków najczęściej występujących w pierwszej fazie sukcesji, szczególnie na żyzniejszych glebach porolnych. Równie często pojawia się na utworach uboższych, gdzie współtworzy odnowienia z sosną. Potwierdzają to obserwacje Buraczyka [2013], który w Krainie Mazowiecko-Podlaskiej stwierdził, że brzoza była gatunkiem zdecydowanie dominującym w strukturze odnowień na siedliskach borowych.

W pierwszych latach istnienia badanych odnowień brzozowych liczba drzew na jednostce powierzchni była tym większa, im lepsze było siedlisko. W kolejnych latach obserwowano spadek zagęszczenia oraz towarzyszący mu zanik różnic między siedliskami o różnym wskaźniku bonitacji. Oznaczać to może, że po pewnym okresie początkowego intensywnego opanowywania nowego terenu przez pionierskie gatunki drzewiaste (w badanym przypadku po 10 latach od pojawienia się samosiewów) jakość siedliska przestaje mieć wpływ na zagęszczenie odnowienia. Podobne spostrzeżenia dla samosiewów różnych gatunków lasotwórczych, w tym i brzozy, prezentuje Buraczyk [2013]. Wysokie zagęszczenie gatunków pionierskich w początkowej fazie sukcesji, które jedynie nieznacznie spada w czasie, można tłumaczyć elementami konkurencji polegającej na ograniczaniu powstawania i rozwoju młodszych samosiewów przez starsze. Niewykluczone, że przyczyną tej sytuacji może być oddziaływanie allelopacyjne brzozy [Kinnaird 1974], w tym także na osobniki własnego gatunku [Zarzycki, Domnicz 1975].

Stwierdzony jedynie początkowy wpływ siedliska na zagęszczenie odnowień brzozowych częściowo potwierdza prawidłowości opisane przez Vanclaya [1994], który podaje, że zwiększone wydzielenie drzew związane z przegęszczeniem drzewostanu występuje wcześniej na żyzniejszych siedliskach. Z badań Buraczyka [2013] wynika, że jakość siedliska jedynie w pewnym stopniu wpływa na zagęszczenie samosiewów brzozowych na gruntach porolnych. Najmniejsze wartości stwierdził on na siedlisku boru świeżego, zaś największe – lasu świeżego. Jednakże różnice między poszczególnymi siedliskami nie były istotne statystycznie. Podobny charakter

zależności autor ten zaobserwował w przypadku wieku samosiewów. Także i u innych gatunków stwierdzano wpływ jakości siedliska na dynamikę zagęszczenia. Zagęszczenie *Pinus radiata* malało wraz ze wzrostem bonitacji siedliska, a włączenie wskaźnika bonitacji jako zmiennej wyjaśniającej do modelu śmiertelności skutkowało zwiększeniem efektywności szacunku zmian zagęszczenia [Alvarez-Gonzalez i in. 2004].

Stwierdzony stosunkowo słaby wpływ jakości siedliska na dynamikę wydzielania drzew w odnowieniach brzożowych w centralnej Polsce wynika prawdopodobnie z tego, że w przypadku analizowanych drzewostanów jakość siedliska jest już do pewnego stopnia uwzględniona w wymiarach drzew. Jak podają Socha i Zasada [2014], zagęszczenie samosiewów brzożowych jest silnie skorelowane z takimi cechami biometrycznymi drzew jak przeciętna pierśnica, przeciętna grubość u podstawy, wysokość drzew czy objętość walca o przekroju równym przekrojowi u podstawy i wysokości równej wysokości drzewa. Również Monserud i in. [2005] uważają, że jakość siedliska (wskaźnik bonitacji) nie jest jedynym czynnikiem istotnie wpływającym na zmianę z czasem liczby drzew w drzewostanie. Potwierdzają to także obserwacje Sochy i Zasady [2014]. Inną przyczyną braku związku z siedliskiem może być stosunkowo niski wiek analizowanych zalesień brzożowych i związane z tym względnie niewielkie rozmiary systemów korzeniowych [Bijak i in. 2013]. Wraz z wiekiem zwiększa się głębokość i zasięg systemów korzeniowych, można więc przypuszczać, że jakość siedliska, która jest uwarunkowana zarówno podłożem geologicznym, jak i jego warunkami wilgotnościowymi, może w większym stopniu różnicować przebieg procesu wydzielania drzew w drzewostanach brzożowych. Uzyskane wyniki mogą również sugerować, że w przypadku młodych drzew wymagania wobec warunków siedliskowych są mniejsze niż u osobników starszych.

Opracowany model opisujący proces wydzielania drzew w drzewostanach brzożowych na gruntach porolnych jako funkcję wieku i jakości siedliska określonej wskaźnikiem bonitacji został zbudowany na bazie danych pochodzących z jednokrotnego pomiaru drzew na powierzchniach próbnych, dlatego wymaga weryfikacji na niezależnym materiale empirycznym. Optymalne byłoby wykorzystanie danych obejmujących dłuższy okres obserwacji, a drzewostany powinny pochodzić z możliwie szerokiego spektrum warunków siedliskowych. Roderick i Barnes [2004] wykazują bowiem, że parametry funkcji allometrycznych opisujących zagęszczenie wykazują tendencję do okresowej zmienności.

Model relacji liczby drzew z wiekiem i wskaźnikiem bonitacji zbudowano, wykorzystując siedliskowy model wzrostu wysokości powstały na bazie tablic zasobności. Dlatego też uzyskane wyniki wymagają weryfikacji w sytuacji, kiedy dostępny będzie oryginalny model bonitacyjny. Krzywe bonitacyjne zawarte w tablicach Szymkiewicza [2005] są w istocie tablicami radzieckimi Tiurina. Materiał do budowy tych tablic pochodzi z odległych geograficznie obszarów i dotyczy przede wszystkim wzrostu wysokości starszych drzew, stąd mogą być one niedopasowane do wzrostu młodocianych brzoż. Młody wiek zalesień na gruntach porolnych i duża zmienność przyrostu wysokości mogą również powodować duże błędy w określaniu wskaźnika bonitacji, co może wymagać alternatywnego podejścia do określania tej cechy [Zasada 2002; Socha 2008b].

## Wnioski

✚ W początkowej fazie rozwoju drzewostanów brzożowych na gruntach porolnych nieco większe zagęszczenie obserwowane jest na siedliskach żyzniejszych, jednakże wraz z wiekiem wpływ jakości siedliska zaciera się. Sugeruje to, że wpływa ona na łatwość powstawania odnowienia, natomiast w późniejszym okresie nie jest czynnikiem decydującym o nasileniu konkurencji i związanym z nim procesie wydzielania się drzew.

- ✚ Ponieważ wpływ jakości siedliska na kształtowanie się maksymalnego zagęszczenia drzew w drzewostanach brzozowych na gruntach porolnych jest słaby, dlatego do zastosowań praktycznych wystarczające jest wykorzystanie tradycyjnie stosowanych modeli zagęszczenia bazujących na relacji pomiędzy liczbą drzew na jednostce powierzchni a średnimi wymiarami drzew.
- ✚ Do budowy modelu wzrostu opisującego dynamikę wydzielania drzew w drzewostanach brzozowych na gruntach porolnych potrzebne są dane ze stałych powierzchni próbnych obejmujące dłuższy okres obserwacji oraz szerokie spektrum warunków siedliskowych. Do bieżących zastosowań wystarczające wydaje się jednak zastosowanie modeli zbudowanych w oparciu o ciągi obserwacji utworzone z grup drzewostanów w różnym wieku zlokalizowanych w zbliżonych warunkach siedliskowych.

## Literatura

- Alvarez-Gonzalez J. G., Castedo Dorado F., Ruiz Gonzalez A. D., Lopez Sanchez C. A., von Gadow K. 2004. A two-step mortality model for even-aged stands of *Pinus radiata* D. Don in Galicia (northwestern Spain). *Ann. For. Sci.* 61: 439-448.
- Bijak S., Zasada M., Bronisz K., Czajkowski M., Ludwisiak Ł., Tomusiak R., Wojtan R. 2013. Estimating coarse roots biomass in young silver birch (*Betula pendula*) stands on post-agricultural lands in central Poland. *Silva Fennica* 47 (2) article id 963.
- Bruchwald A. 1988a. Przyrodnicze podstawy budowy modeli wzrostu. *Sylvan* 132 (11-12): 1-10.
- Bruchwald A. 1988b. Self-thinning in Scots pine stands – a mathematical approach. *Ann. Warsaw Agric. Univ. – SGGW-AR, For. Wood Technol.* 36: 11-16.
- Buraczyk W. 2013. Struktura i wartość hodowlana samosiewów gatunków drzewiastych w początkowej fazie sukcesji wtórnej na gruntach porolnych niżowej części Polski. *Rozprawy Naukowe i Monografie. SGGW w Warszawie.*
- Burkhardt H. E., Tomé M. 2012. *Modeling Forest Trees and Stands.* Springer-Verlag, Dordrecht, Heidelberg, New York, London.
- 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.
- Cieszewski C. J., Strub M., Zasada M. 2007. New dynamic site equation that fits best Schwappach data for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Central Europe. *For. Ecol. Manage.* 243 (1): 83-89.
- Diéguez-Aranda U., Grandas-Arias J. A., Alvarez-Gonzalez J. G., von Gadow K. 2006. Site quality curves for birch stands in north-western Spain. *Silva Fennica* 40 (4): 631-644.
- Gómez-García E., Crecente-Campo F., Stankova T., Rojo A., Diéguez-Aranda U. 2010. Dynamic growth model for birch in northwestern Spain. *For. Ideas* 16 (2): 212-220.
- Jagodziński A., Oleksyn J. 2009a. Ekologiczne konsekwencje hodowli drzew w różnym zagęszczeniu. I. Wzrost i rozwój drzewostanu. *Sylvan* 153 (2): 75-85.
- Jagodziński A., Oleksyn J. 2009b. Ekologiczne konsekwencje hodowli drzew w różnym zagęszczeniu. II. Produkcja i alokacja biomasy, retencja biogenów. *Sylvan* 153 (3): 147-157.
- Jagodziński A., Oleksyn J. 2009c. Ekologiczne konsekwencje hodowli drzew w różnym zagęszczeniu. III. Stabilność drzewostanu, fitoklimat i różnorodność biologiczna. *Sylvan* 153 (4): 219-230.
- Jaworski A., Pach M. 2011. Comparison of various cutting systems affecting those morphological features that determine stability in the Pilsko high mountain spruce forest. *For. Res. Pap.* 72 (2): 171-181.
- Kinnaird J. W. 1974. Effect of site conditions on the regeneration of birch (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.). *J. Ecol.* 62 (2): 467-472.
- Monserud R. A., Ledermann T., Sterba H. 2005. Are Self-Thinning Constraints Needed in a Tree-Specific Mortality Model? *For. Sci.* 50 (6): 848-858.
- Nord-Larsen T. 2006. Developing Dynamic Site Index Curves for European Beech (*Fagus sylvatica* L.) in Denmark. *For. Sci.* 52 (2): 173-181.
- Orzeł S., Socha J. 1999. Smukłość świerka w sześćdziesięcioletnich drzewostanach Beskidów Zachodnich. *Sylvan* 143 (4): 35-43.
- Pach M., Bartkiewicz L., Skoczeń W. 2001. Charakterystyka cech biomorfologicznych świerka w borze górnogłowym Pilska w zależności od budowy i struktury drzewostanów. *Sylvan* 145 (1): 23-37.
- Peet R. K., Christensen N. L. 1987. Competition and tree death. *Bioscience* 37: 586-595.
- Prévosto B., Coquillard P., Gueugnot J. 1999. Growth models of silver birch (*Betula pendula* Roth.) on two volcanic mountains in the French Massif Central. *Plant Ecol.* 144 (2): 231-242.
- Reineke L. H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *J. Agric. Res.* 46: 627-638.

- Roderick M. L., Barnes B. 2004. Self-Thinning of Plant Populations from a Dynamic Viewpoint. *Funct. Ecol.* 18 (2): 197-203.
- Sharma R. P., Brunner A., Eid T. 2012. Site index prediction from site and climate variables for Norway spruce and Scots pine in Norway. *Scand. J. For. Res.* 27 (7): 619-637.
- Skovsgaard J. P., Vanclay J. K. 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* 81 (1): 13-31.
- Socha J. 2008a. Wpływ wybranych czynników ekologicznych na kształtowanie się stabilności górskich drzewostanów świerkowych w Beskidach Zachodnich. *Sylvan* 152 (3): 40-49.
- Socha J. 2008b. Effect of topography and geology on the site index of *Picea abies* in the West Carpathians, Poland. *Scandinavian Journal of Forest Research.* 23: 203-213.
- Socha J. 2011. Krzywe bonitacyjne świerka pospolitego na siedliskach górskich. *Sylvan* 155 (12): 816-826.
- Socha J., Orzeł S. 2011. Dynamiczne krzywe bonitacyjne dla drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej. *Sylvan* 155 (5): 301-312.
- Socha J., Orzeł S. 2013. Dynamiczne krzywe bonitacyjne dla sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z południowej Polski. *Sylvan* 157 (1): 26-38.
- Socha J., Zasada M. 2014. Zagęszczenie i tempo naturalnego wydzielenia w młodocianych drzewostanach brzoźowych na gruntach porolnych. *Sylvan* 158 (5): 340-351.
- Szymkiewicz B. 2005. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów. PWRiL, Warszawa.
- Vanclay J. K. 1994. Modelling forest growth and yield. Applications to mixed tropical forests, CAB International, Wallingford.
- Vose J. M., Allen H. L. 1988. Leaf Area, Stemwood Growth, and Nutrition Relationships in Loblolly Pine. *For. Sci.* 34 (3): 547-563.
- Weiskittel A. R., Hann D. W., Hibbs D. E., Lam T. Y., Bluhm A. 2009. Modeling top height growth of red alder plantations. *For. Ecol. Manage.* 258 (3): 323-331.
- Zarzycki K., Domnicz A. 1975. Exchange of radioactive phosphorus  $^{32}\text{P}$  between the components of an artificial plant community. *Acta Soc. Bot. Pol.* 43 (1): 87-93.
- Zasada M. 2002. Określanie bonitacji za pomocą młodocianego przyrostu wysokości w drzewostanach sosnowych. *Sylvan* 146 (3): 21-29.
- Zeide B. 1987. Analysis of the  $3/2$  Power Law of Self-Thinning. *For. Sci.* 33 (2): 517-537.
- Zeide B. 2005. How to measure stand density. *Trees* 19: 1-14.

## SUMMARY

### Effect of site quality on self-thinning dynamics in silver birch stands on abandoned farmlands

Paper discusses the influence of site quality on self-thinning process in young silver birch stands. We investigated 120 pure silver birch stands growing on abandoned farmlands in Mazowieckie region (central Poland). Site quality was assessed by site index values calculated basing of formula proposed by Cieszewski [2001]. Non-linear regression was used to elaborate the model that estimates number of trees in a stand ( $N$ ) basing on site index value ( $SI$ ) and current stand age ( $T$ ):

$$N = 20229.82 \cdot SI^{1.12869} \cdot T^{-1.40849}$$

Elaborated model determines 77% of variability in density of silver birch regeneration on post-agricultural lands regarding stand age and site quality. Number of trees in a stand decreases with increasing age. The better the site (the higher site index value), the higher number of trees can be observed. However at the age of 10 difference between sites of various quality (site index) become insignificant. There is no need to include site index into the self-thinning models for young silver birch stands.