

Maciej Pach<sup>1</sup>, Michał Soberka<sup>2</sup>

## Zastosowanie retrospektywnego dynamicznego wskaźnika konkurencji do oceny oddziaływania drzew sąsiednich na przyrost pierśnicowego pola przekroju jodły (*Abies alba* Mill.)

The application of a retrospective dynamic competition index to assess the impact of neighbouring trees on silver fir (*Abies alba* Mill.) basal area increment

**Abstract.** This research was carried out in two sample plots located in silver fir plantations mixed with beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) in the Beskid Żywiecki Mountains (Węgierska Górka Forest District, Żabnica Forest sub-district). The aim of the study was to determine the influence of neighbouring trees (namely, fir, beech, spruce) on the basal area increment of the selected fir trees depending on the size (radius) of competition zones. During the study two static competition indices (*Hegyi* and *Ch*) and a retrospective dynamic competition index (*Ci*) were used. Based on the cumulative value of the latest competition index, all firs were clustered into groups of constant competition dynamics over time using Euclidean distance. The analysis indicated that the grouped firs were significantly different in terms of the basal area increment over the last 10 years, in terms of crown width, coefficient of slenderness and live crown ratio. These values decreased (apart from the coefficient of slenderness) with an increase in the cumulative retrospective dynamic competition index. In both stands, an increase in the total basal area of neighbouring trees, successively growing at a distance of 2, 3, 4 and 5 metres, had a negative influence on the basal area of the selected firs. In the Żabnica II sample, there were some differences in the competition interactions between the firs and the two other species. Because of the relationships between the cumulative retrospective dynamic competition index and many features of the subject trees and the neighbouring stand, and considering the time factor, we advise that this competition index is applied in studies of inter-specific and intra-specific tree competition.

Key words: *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, admixture species, inter- and intra-specific competition

### 1. Wstęp

Jodła pospolita, obok buka zwyczajnego i świerka pospolitego, jest jednym z najważniejszych gatunków lasów karpaccich. Jest ona gatunkiem panującym lub współpanującym, występującym wraz z sosną i bukiem na siedlisku lasu mieszanego wyżynnego lub z bukiem i świerkiem na siedliskach lasu górskiego i lasu mieszanego górskiego. Najwięcej drzewostanów, w których jodła pełni rolę gatunku głównego, rośnie w Dzielnicy Beskidu Makowskiego i Wyspowego Karpackiej Krainy Przyrodniczo-Leśnej, gdzie ich udział wynosi 42%

(Siedliskowe podstawy hodowli lasu, OR-WLP Bedoń, 2004). W niektórych rejonach górskich, głównie w Sudetach i w części Beskidów Zachodnich, skład gatunkowy drzewostanów został zmieniony, a w miejsce lasów mieszanych jodłowych i bukowych wprowadzone zostały monokultury świerkowe. W latach 30-tych XX wieku na terenie Beskidu Żywieckiego udział jodły wynosił już tylko 3-20% (Kawecki 1939). Z kolei w Sudetach Zachodnich w latach 1834–1953 udział jodły zmalał z 13% do 0,01% (Gorzela 1993). W związku z tym od kilkudziesięciu lat na tych terenach prowadzi się intensywną przebudowę drzewostanów, wprowadzając i

<sup>1</sup> Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny, Katedra Szczegółowej Hodowli Lasu, al. 29-Listopada 46, 31–425 Kraków, ✉ email: rlpach@cyf-kr.edu.pl

<sup>2</sup> Nadleśnictwo Bielsko, RDLP Katowice, ul. Kopytko 13, 43-382 Bielsko-Biała

promując odpowiednio dopasowane do tych siedlisk gatunki drzew. Należy się spodziewać, iż udział jodły na terenach górskich będzie w najbliższej przyszłości wzrastał.

Z uwagi na to, iż rola jodły w drzewostanach południowej Polski jest bardzo duża, należy dążyć do jak najdokładniejszego poznania czynników wpływających na jej kondycję, a w konsekwencji zapewnić jej optymalne warunki wzrostu. Bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na wzrost drzew w drzewostanie jest ich sąsiedztwo. Jedną z podstawowych form wzajemnego oddziaływania drzew jest konkurencja (Odum 1977, Jaworski 1988). Oddziaływanie to jest różnie definiowane, ale ogólnie można stwierdzić, iż wyraża ono interakcję pomiędzy dwoma osobnikami, która osłabia kondycję jednego z nich (Falińska 1996). Może ono przybierać postać asymetryczną lub symetryczną. Przyjmuje się, iż nadziemna konkurencja drzew o światło wykazuje głównie cechy oddziaływania asymetrycznego, tzn. większe osobniki mają nieproporcjonalnie do ich wymiarów większy wpływ na mniejsze okazy poprzez ich ocienienie, podczas gdy podziemna konkurencja o składniki odżywcze i wodę jest symetryczna, tzn. osobniki czerpią z zasobów proporcjonalnie do wielkości ich systemów korzeniowych (Weiner 1990; Connolly i Wayne 1996; Freckleton i Watkinson 2001; Bauer et al. 2004; Weiner i Damgaard 2006).

Niniejsza praca dotyczy efektów oddziaływania drzew sąsiednich na jodły, zarówno oddziaływania wewnątrz-gatunkowego (jodła na jodłę), jak i międzygatunkowego (buk i świerk na jodłę). W badaniach tych zastosowany został retrospektywny dynamiczny wskaźnik konkurencji, który bazuje na przyroście pierśnicowego pola przekroju drzew wzajemnie na siebie oddziałujących oraz odległości między tymi drzewami (Weber et al. 2008). Celem niniejszej pracy było: (1) ocena możliwości zbadania wpływu drzew sąsiednich różnych gatunków (świerk, buk, jodła) na przyrost pierśnicowego pola przekroju jodły w zależności od przyjętego zasięgu konkurencji, (2) wyodrębnienie cech otoczenia drzewa centralnego mających istotny wpływ na przyrost jego pierśnicowego pola przekroju, (3) ocena możliwości zastosowania retrospektywnego dynamicznego wskaźnika konkurencji do oszacowania oddziaływań konkurencyjnych w drzewostanie.

## 2. Metodyka

### Prace terenowe

Prace terenowe zostały wykonane na dwóch powierzchniach badawczych – Żabnica I i Żabnica II, o wielkości 17,5 i 20 arów odpowiednio, założonych w

drzewostanach z dominującym udziałem jodły (57% według pierśnicowego pola przekroju na obu powierzchniach), rosnących na terenie Leśnictwa Żabnica (oddział 38b i 40b) należącego do Nadleśnictwa Węgierska Górka (RDLP Katowice). Według regionalizacji przyrodniczo-leśnej Polski (Trampler et al. 1990) obszar ten należy do Krainy Karpackiej i dzielnicy Beskidu Żywieckiego. Gatunkami towarzyszącymi były przede wszystkim świerk (19% i 25%) i buk (16% i 14%). Dodatkowo występowały również takie drzewa jak brzoza, modrzew, osika, jawor, jesion, wierzba, trześnia i jarząb. Drzewostany te, występujące na siedlisku LMG na wysokości ok. 600 m n. p. m., są sztucznego pochodzenia oraz charakteryzują się budową jednopiętrową, zwarcim pełnym i zmieszaniem głównie jednostkowym. Na badanych powierzchniach Żabnica I i Żabnica II wiek pierśnicowy dla jodły wyniósł odpowiednio 34 i 39 lat, a liczba wszystkich drzew 382 i 256.

Położenie drzew (o pierśnicy  $\geq 7$  cm) na powierzchni badawczej określono metodą biegunową (Żabnica I) lub za pomocą zestawu pomiarowego FIELD-MAP (Żabnica II). Pomiarami objęto takie cechy drzew, jak: pierśnica, wysokość, wysokość osadzenia korony, grubość kory oraz promień korony w czterech głównych kierunkach świata. Promień korony pomierzono za pomocą taśmy mierniczej, rzutując zasięg gałęzi na płaszczyznę poziomą. Wszystkie drzewa zostały nawiercone świdrem przyrostowym Presslera z dwóch prostopadłych kierunków na wysokości 1,3 m, przy czym jeden nawiert sięgał do rdzenia, a drugi obejmował co najmniej 10 ostatnich przyrostów.

Powierzchnie zostały trwale oznaczone w terenie w celu wykonania pomiarów kontrolnych po 10 latach.

### Prace kameralne

Pobrane w terenie nawiertki zeskanowano urządzeniem wielofunkcyjnym HP PSC 1500 w rozdzielczości 1200 dpi, a następnie pomierzono przy użyciu przyrostomierza SGM z dokładnością do 0,01 mm. Na podstawie pomiarów w terenie obliczone zostały średnie wartości grubości kory, szerokości korony i pierśnicy. Dodatkowo obliczono pierśnicowe pole przekroju drzew bez kory ze wzoru na pole koła, długość korony, względną długość korony (stosunek długości żywej korony do wysokości drzewa) oraz współczynnik smukłości.

Na podstawie położenia drzew określono ich współrzędne  $x$ ,  $y$  oraz obliczono odległości drzew względem siebie.

Wszystkie jodły rosnące na powierzchni badawczej nazwano drzewami centralnymi (referencyjnymi), jednak z dalszych analiz wykluczone zostały jodły przygluszone (charakteryzujące się znacznie mniejszą wysoko-

cią od drzew rosnących wokół nich), których zahamowanie przyrostu na wysokość nastąpiło dużo wcześniej. Takich drzew było 24 w drzewostanie Żabnica I oraz 13 w drzewostanie Żabnica II. Ponadto w analizach nie uwzględniono jako drzew centralnych również jodeł, które rosły bliżej granicy powierzchni niż przyjęty zasięg konkurencji. Zasięgiem konkurencji nazwano koła o promieniu do 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 i 10 m, w centrum których zawsze rosła jodła jako drzewo centralne. Drzewami konkurencyjnymi były natomiast wszystkie okazy rosnące wokół jodły, w odległości nie większej niż przyjęty promień zasięgu oddziaływania.

Na podstawie wyników pomiaru przyrostów drzew obliczono przyrost pierśnicowego pola przekroju i procent przyrostu pierśnicowego pola przekroju z okresu 10 lat w odstopniowaniu co rok (Bruchwald 1995; Weber et al. 2008). Aby można było stwierdzić ewentualny wpływ różnych gatunków na badane cechy jodły, całkowite pierśnicowe pole przekroju drzew sąsiednich i jego procentowy przyrost w badanym okresie były ważone udziałem danego gatunku.

Jednym z często używanych narzędzi do oceny oddziaływania drzew na siebie są wskaźniki konkurencji. Dzielą się one, między innymi, na wskaźniki zależne od odległości oraz te, które nie uwzględniają przestrzennego rozmieszczenia drzew. Te pierwsze wykorzystywane są głównie do oceny wpływu sąsiedztwa na pojedyncze drzewo (Biging i Dobbertin 1992).

W niniejszej pracy zastosowano następujące wskaźniki konkurencji:

#### 1. Wskaźnik *Hegy* (Hegy 1974)

$$Hegy = \sum_{j=1}^n \frac{D_j / D_i}{R_{ij}}$$

gdzie:

*Hegy* – wskaźnik konkurencji,  
*n* – liczba drzew konkurencyjnych,  
*i* – drzewo centralne,  
*j* – drzewo konkurencyjne,  
*R* – odległość między drzewami,  
*D* – pierśnica.

#### 2. Wskaźnik *Ch* (Pukkala i Kolström 1987)

$$Ch = \sum_{j=1}^n \frac{H_j / H_i}{R_{ij}}$$

gdzie:

*Ch* – wskaźnik konkurencji,  
*n* – liczba drzew konkurencyjnych,  
*i* – drzewo centralne,  
*j* – drzewo konkurencyjne,  
*R* – odległość między drzewami,  
*H* – wysokość.

W analizach wykorzystano również retrospektywny dynamiczny wskaźnik konkurencji, oparty na stosunku przyrostu pierśnicowego pola przekroju drzewa centralnego i jego sąsiadów oraz odległości między nimi (Weber et al. 2008). Został on policzony dla przyrostów pierśnicowego pola przekroju z okresu ostatnich dziesięciu lat:

$$C_{i,t} = \sum_{j=1}^n \frac{Zg_{j,t} / Zg_{i,t}}{R_{ij}}$$

gdzie:

*C* – wskaźnik konkurencji,  
*n* – liczba drzew konkurencyjnych,  
*i* – drzewo centralne,  
*j* – drzewo konkurencyjne,  
*t* – dany rok,  
*Zg* – przyrost pierśnicowego pola przekroju,  
*R<sub>ij</sub>* – odległość między drzewami.

Wskaźnik *Hegy* oraz *Ch*, stosowane były dość powszechnie w pracach o podobnej tematyce (Pukkala et Kolström 1987; Mäkinen 1997; Béland et al. 2003; Maillly et al. 2003; Radtke et al. 2003; Corral Rivas et al. 2005; Castagneri et al. 2008). Są to tak zwane statyczne wskaźniki konkurencji, które jednak posiadają pewne ograniczenia (Burton 1993). Jednym z nich jest nieuwzględnienie składnika czasowego, co uniemożliwia zbadanie zmiany oddziaływania drzew na siebie w czasie. Trzeci z wykorzystanych wskaźników jest wskaźnikiem dynamicznym, który może zmieniać się w czasie. Jego wartość zwiększa się w przypadku większej liczby konkurentów i ich większego przyrostu pierśnicowego pola przekroju w stosunku do przyrostu drzewa centralnego. Wyższe wartości przyrostu pierśnicowego pola przekroju drzew sąsiednich oznaczają większą presję konkurencyjną w stosunku do jodły centralnej, skutkiem czego może być zmniejszenie jej przyrostu (Weber et al. 2008).

Wskaźniki *Hegy* oraz *Ch* obliczone zostały zarówno dla wszystkich drzew konkurencyjnych danego drzewa centralnego łącznie, jak i dla każdego gatunku domieszkowego z osobna. Natomiast retrospektywny dynamiczny wskaźnik konkurencji obliczony został tylko dla wszystkich drzew konkurencyjnych, bez podziału na gatunki domieszkowe.

Następnie obliczony został dla każdej jodły skumulowany retrospektywny wskaźnik konkurencji (*C*<sub>1</sub>, *C*<sub>2</sub>, ..., *C*<sub>10</sub>), który stanowi sumę retrospektywnych wskaźników z poszczególnych 10 analizowanych okresów (*C*<sub>1999</sub>, *C*<sub>2000</sub>, ..., *C*<sub>2008</sub>) dla każdego zasięgu konkurencji oraz na jego podstawie wartość średnią dla skupienia.

## Analizy statystyczne

Wszystkie obliczenia statystyczne wykonane zostały w programie *STATISTICA 9.0*. W trakcie analiz statystycznych starano się odpowiedzieć na pytanie: czy na stosunek przyrostu pierśnicowego pola przekroju badanych drzew centralnych do przyrostu drzew sąsiednich mają wpływ cechy drzew sąsiednich, rosnących w danym zasięgu konkurencji. W pierwszym etapie obliczeń wykonana została analiza skupień, która polegała na grupowaniu jodeł podobnych pod względem skumulowanego retrospektywnego wskaźnika konkurencji za pomocą miary odległości (niepodobieństwa) euklidesowej (Stanisz 2007). Wstępne grupowanie wykonano metodą hierarchiczną aglomeracyjną, polegającą na stopniowym łączeniu najbliższych sobie obiektów (w tym przypadku jodeł), dzięki czemu powstają coraz większe skupienia. Aby obliczyć odległość między skupieniami, korzystano z metody średnich połączeń. W metodzie tej odległość między dwoma skupieniami oblicza się jako średnią arytmetyczną wszystkich odległości pomiędzy obiektami należącymi do dwóch różnych skupień (Stanisz 2007). Po wykonaniu grupowania metodą hierarchiczną aglomeracyjną otrzymano dendrogramy średnich połączeń, na podstawie których wizualnie określono liczbę skupień drzew centralnych, a na jej podstawie przeprowadzono właściwe grupowanie metodą *k*-średnich, w ramach której algorytm przenosi obiekty do skupień, tak aby zmienność wewnątrz skupienia była możliwie najmniejsza, natomiast między skupieniami była jak największa. Wykonanie grupowania metodą *k*-średnich, która jest najczęściej stosowana, umożliwiło dalszą szczegółową analizę wyników (Stanisz 2007). Tak wyodrębnione grupy jodeł następnie porównano pod kątem występowania istotnych różnic cech ich otoczenia w przyjętych zasięgach oddziaływania.

Analizie poddano następujące cechy drzew centralnych: pierśnicowe pole przekroju, wysokość, średni promień (szerokość) korony, współczynnik smukłości, względną długość korony, sumę przyrostu pierśnicowego pola przekroju oraz procent przyrostu pierśnicowego pola przekroju z ostatnich 10 lat w odstopniowaniu co jeden rok. W przypadku drzew konkurencyjnych danego drzewa centralnego – wszystkich łącznie oraz oddzielnie należących do różnych gatunków – badaniami objęto następujące cechy otoczenia: liczbę drzew konkurencyjnych, średnie pierśnicowe pole przekroju, sumę pierśnicowego pola przekroju, średnią wysokość, średni promień (szerokość) korony, średni współczynnik smukłości, średnią względną długość korony, średnią odległość drzewa konkurencyjnego od drzewa centralnego, wskaźnik *Ch*, średnią sumę przyrostu pierśnicowego pola przekroju oraz średni procent

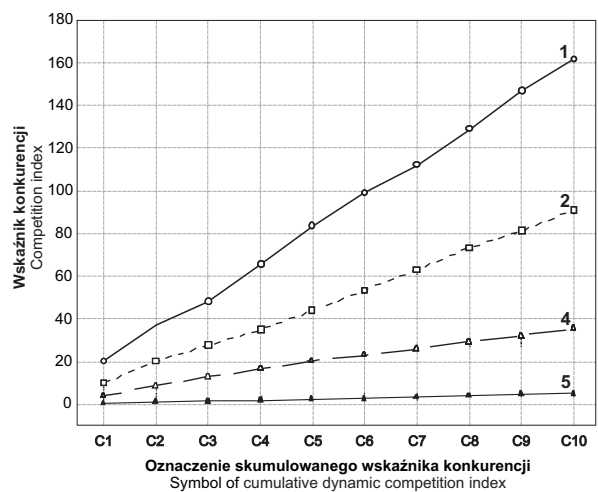
przyrostu pierśnicowego pola przekroju z okresu 10 lat w odstopniowaniu co rok. Analiza rozkładu tych cech (test Shapiro-Wilka) wykazała, iż tylko nieliczne z nich były zgodne z rozkładem normalnym. W związku z tym w dalszych badaniach zastosowano nieparametryczny test rang Kruskala-Walisa oraz wielokrotne porównanie średnich rang dla wszystkich grup w celu wyróżnienia grup jednorodnych. Dla zobrazowania kształtowania się zależności pomiędzy skupieniami jodeł oraz ich otoczeniem wykreślone zostały przykładowe wykresy typu ramka-wąs, ilustrujące wartości mediany, kwartyli oraz nieodstające minimalne i maksymalne wartości danej cechy z oznaczeniem literowym grup jednorodnych.

## 3. Wyniki

### Charakterystyka wyodrębnionych skupień jodeł (drzew centralnych)

Na obu powierzchniach, we wszystkich zasięgach konkurencji wyodrębniono 5 skupień jodeł. Liczebność jodeł w poszczególnych skupieniach wahała się od 1 do 73. W dalszych analizach uwzględniono jedynie te skupienia, których liczebność wynosiła co najmniej 5 jodeł. Skupienia ponumerowano (1, 2, 3, 4, 5), przypisując niższe numery skupieniom o większej wartości skumulowanego wskaźnika konkurencji.

Średnia wartość skumulowanego dynamicznego wskaźnika konkurencji we wszystkich skupieniach zwiększała się wraz z wydłużaniem analizowanego

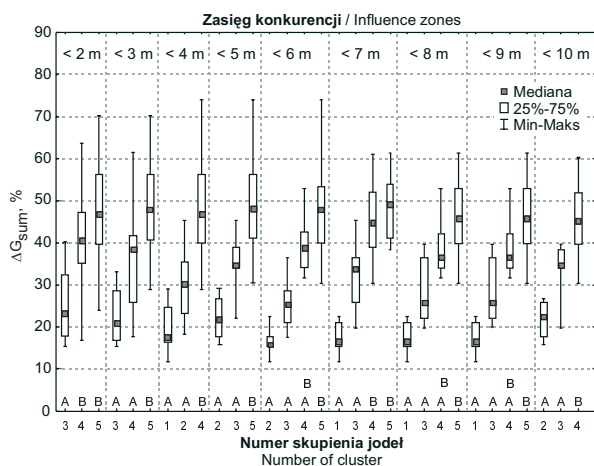


**Rycina 1.** Średnie wartości skumulowanego dynamicznego wskaźnika konkurencji skupień jodły 1, 2, 4 i 5 dla powierzchni Żabnica II i zasięgu oddziaływania do 2 m  
Figure 1. Mean values of retrospective cumulative dynamic competition index of clusters 1, 2, 4 and 5 of subject firs for influence zone up to 2 m on the Żabnica II plot



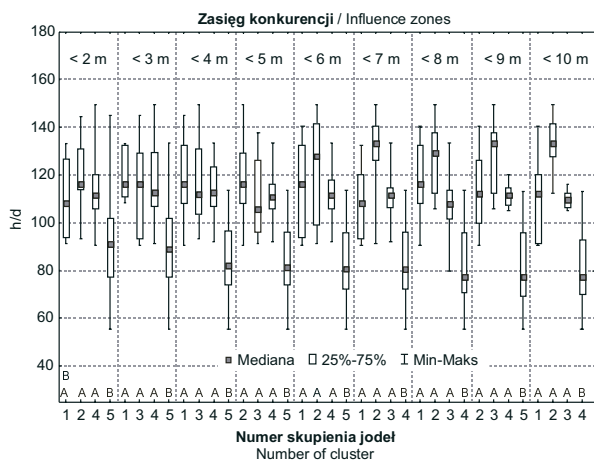
okresu badań, czyli wzrostem numeru wskaźnika ( $C_1 \dots C_{10}$ ). Kształtowanie się tej średniej w zależności od długości analizowanego okresu ( $C_1$  – z 1 roku;  $C_{10}$  – z 10 lat) przebiegało podobnie we wszystkich badanych przypadkach (przykład na ryc. 1). Wynika stąd, iż żadna grupa jodeł nie zmieniła swojej dynamiki konkurencyjnej w badanym okresie (10 lat).

Na obu powierzchniach wyodrębnione skupienia jodeł bardzo istotnie różniły się ( $\alpha < 0.001$ ) pod wzglę-



**Rycina 2. Przyrost pierśnicowego pola przekroju ( $\Delta G_{sum}$ , %) poszczególnych skupień jodeł w ciągu 10 lat w badanych zasięgach konkurencji na powierzchni Żabnica I (literami oznaczono grupy jednorodne)**

Figure 2. The basal area increment ( $\Delta G_{sum}$ , %) of particular clusters of subject firs in 10 years in studied influence zones on the Żabnica I plot (homogeneous groups marked with letters)



**Rycina 3. Wskaźnik smukłości ( $h/d$ ) poszczególnych skupień jodeł w badanych zasięgach konkurencji na powierzchni Żabnica II (literami oznaczono grupy jednorodne)**

Figure 3. Coefficient of slenderness ( $h/d$ ) of particular clusters of subject firs in studied influence zones on the Żabnica II plot (homogeneous groups marked with letters)

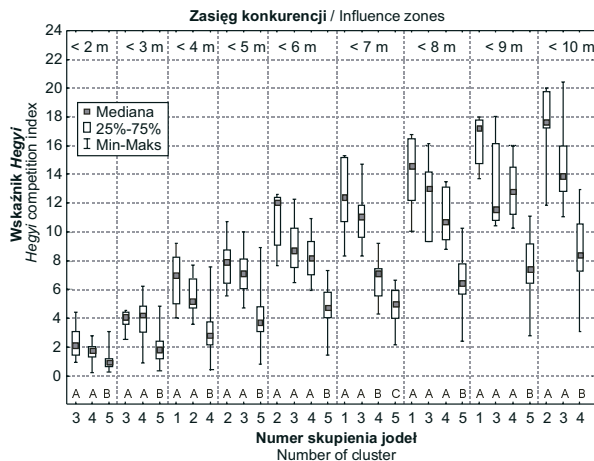
dem analizowanych cech we wszystkich zasięgach konkurencji. Kształtowanie się cech drzew centralnych w poszczególnych skupieniach było ściśle związane, z niewielkimi odchyleniami, ze średnią wartością skumulowanego wskaźnika konkurencji. Mediana pierśnicowego pola przekroju, wysokości, szerokości korony, współczynnika względnej długości korony, sumy przyrostu pierśnicowego pola przekroju oraz procentu przyrostu pierśnicowego pola przekroju drzew centralnych (ryc. 2) w poszczególnych skupieniach z okresu ostatnich 10 lat rosły wraz ze zmniejszaniem się średniej wartości skumulowanego wskaźnika konkurencji.

Inaczej przedstawia się przebieg współczynnika smukłości (ryc. 3). Jego wartość zmniejsza się wraz ze zmniejszaniem się średniej wielkości skumulowanego wskaźnika konkurencji, z wyjątkiem skupienia drugiego, licząc od najniższego numeru, w zasięgu konkurencji do 2, 6, 7, 8, 9 i 10 m, na powierzchni Żabnica II. Najbardziej stabilne jodły (najniższe wartości  $H/D$ ) kształtują się w warunkach niskiej presji konkurencyjnej ze strony drzew sąsiednich (niskie wartości skumulowanego wskaźnika konkurencji).

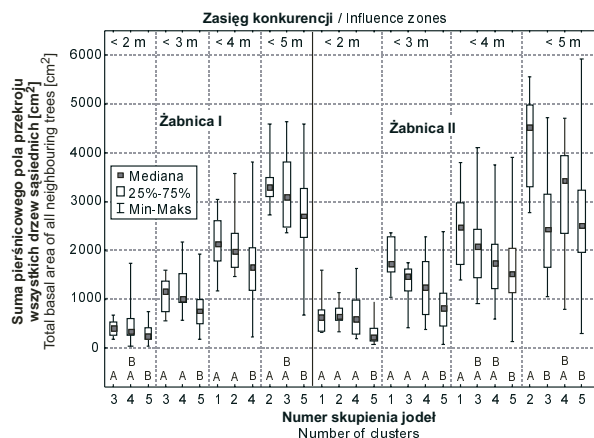
Nie stwierdzono różnic pod względem wieku jodeł pomiędzy wyodrębnionymi skupieniami drzew centralnych w żadnym z przyjętych zasięgów konkurencji w drzewostanie Żabnica I. Natomiast w drzewostanie Żabnica II zaznaczyły się różnice wieku jodeł pomiędzy skupieniami w zasięgu konkurencji do 6, 7, 8, 9 i 10 m.

### Wyodrębnione skupienia jodeł (drzew centralnych) a cechy otoczenia w danym zasięgu konkurencji

Na obu powierzchniach (Żabnica I i II) skupienia drzew centralnych najistotniej różniły się pod względem wskaźników konkurencji *Hegvi* i *Ch*. Istotność ta była na bardzo wysokim poziomie ( $\alpha < 0.001$ ) we wszystkich zasięgach konkurencji (ryc. 4). Badane skupienia jodeł nie różniły się pod względem takich cech otoczenia jak liczba drzew oddziaływających (tylko na powierzchni Żabnica I), średnie pierśnice pole przekroju, wysokość drzew, szerokość koron oraz odległość od drzewa centralnego. Jedną z nielicznych wielkości różniących skupienia jodeł była suma pierśnicowego pola przekroju wszystkich drzew konkurencyjnych ( $G_{sum}$ ), której wartość była statystycznie istotnie różna w wyodrębnionych skupieniach w zasięgu oddziaływania do 2, 3, 4 i 5 metrów (ryc. 5, 6). Z ryciny 5 można wywnioskować, iż im niższa średnia wartość skumulowanego wskaźnika konkurencji obliczonego dla danego zasięgu oddziaływania, a zarazem niższa presja konkurencyjna drzew otaczających na jodłę, tym niższa suma pierśnicowego pola przekroju drzew otaczających. Dodatkowo stwierdzono istotne statystycznie różnice w liczbie drzew sąsiednich w zasięgu konkurencji do 2, 3, 4 i 5 m pomiędzy



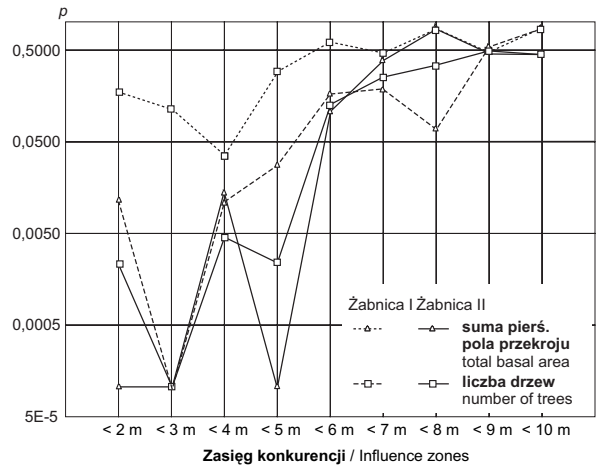
**Rycina 4. Wskaźnik *Hegyi* poszczególnych skupień jodeł w badanych zasięgach konkurencji na powierzchni Żabnica I (literami oznaczono grupy jednorodności)**  
 Figure 4. The *Hegyi* competition index for particular clusters of subject firs in studied influence zones on the Żabnica I plot (homogeneous groups marked with letters)



**Rycina 5. Suma pierśnicowego pola przekroju wszystkich drzew sąsiednich dla poszczególnych skupień jodeł w wybranych zasięgach konkurencji na obu powierzchniach (literami oznaczono grupy jednorodności)**  
 Figure 5. Total basal area of all neighbouring trees for particular clusters of subject firs in selected influence zones on both sample plots (homogeneous groups marked with letters)

badanymi skupieniami jodeł na powierzchni Żabnica II (ryc. 6). Wraz ze wzrostem średniej wartości skumulowanego wskaźnika konkurencji (niższy numer skupienia) zmniejszała się liczba drzew rosnących w otoczeniu jodły i, podobnie jak w przypadku pierśnicowego pola przekroju, zmniejszała się presja konkurencyjna otoczenia w stosunku do drzewa centralnego.

Analizowane wielkości przyrostu pierśnicowego pola przekroju (w m<sup>2</sup> i procentowy) wszystkich łącznie drzew sąsiednich w danych zasięgach konkurencji i



**Rycina 6. Istotność różnic ( $p$ ) pomiędzy skupieniami jodeł pod względem liczby wszystkich drzew sąsiednich i sumy pierśnicowego pola ich przekroju dla przyjętych zasięgów konkurencji na obu powierzchniach**  
 Figure 6. The significance value ( $p$ ) of differences between clusters of subject firs in regard to number and total basal area of neighbouring trees in studied influence zones on both sample plots

okresach badawczych nie różnicowały istotnie wyodrębnionych skupień jodeł na powierzchni Żabnica I. Natomiast na powierzchni Żabnica II stwierdzono, że wielkość średniego przyrostu pola pierśnicowego przekroju, wyrażonego zarówno w m<sup>2</sup>, jak i procentowo, wszystkich drzew zaliczonych jako konkurencyjne w zasięgu oddziaływania do 2 m, była różna w poszczególnych skupieniami jodeł. Oznacza to, iż przyrost pierśnicowego pola przekroju drzew sąsiednich ma związek z przyrostem pierśnicowego pola przekroju drzew centralnych.

### Wyodrębnione skupienia jodeł a cechy drzew konkurencyjnych poszczególnych gatunków w danym zasięgu konkurencji

Analiza zależności na powierzchni Żabnica I nie wykazała istotnych różnic cech drzew sąsiednich różnych gatunków w żadnym z badanych zasięgów konkurencji. Natomiast na powierzchni Żabnica II, w zasięgu oddziaływania do 2 m od drzewa centralnego, takie cechy jodeł jako drzew konkurencyjnych jak średnia powierzchnia pierśnicowego pola przekroju ( $G_{sr}$ ), suma powierzchni pierśnicowego pola przekroju ( $G_{sum}$ ) oraz średni promień korony istotnie różniły wyodrębnione skupienia drzew referencyjnych (tab. 1). Różnice tych cech jednak nie miały związku ze średnią wartością skumulowanego wskaźnika konkurencji. W zasięgu konkurencji do 3, 4 i 5 m liczba jodeł sąsiednich również istotnie różniła się w wyodrębnionych grupach drzew centralnych. Jodły uznane za referencyjne, o wyższym retrospektywnym

**Tabela 1. Istotność różnic pomiędzy skupieniami jodeł pod względem cech sąsiedztwa poszczególnych gatunków w zależności od przyjętego zasięgu konkurencji dla powierzchni Żabnica II (w tabeli nie uwzględniono zakresu konkurencji powyżej 7 m, ze względu na brak istotnych różnic)**

Table 1. The significance of differences between clusters of subject firs in regard to neighbourhood features of particular tree species for studied influence zones on the Żabnica II plot (the influence zones above 7 m were omitted because there was no significant differences)

Zasięg konkurencji [m] The influence zone [m]	Cechy sąsiednich drzew Features of neighbouring trees					
	<i>N</i>	<i>G</i> <sub>sr</sub>	<i>G</i> <sub>sum</sub>	<i>H</i> <sub>sr</sub>	<i>r</i> <sub>sr</sub>	<i>R</i> <sub>sr</sub>
<b>jodła / fir</b>						
≤2	n.i.	0,0221	0,0059	n.i.	0,0287	n.i.
≤3	0,0001	n.i.	0,0348	n.i.	n.i.	n.i.
≤4	0,0204	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	0,0089
≤5	0,0177	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
≤6	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
≤7	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	0,0104
<b>buk / beech</b>						
≤2*	-	-	-	-	-	-
≤3	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
≤4	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	0,0330	n.i.
≤5	n.i.	0,0404	n.i.	n.i.	0,0040	n.i.
≤6	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	0,0318	n.i.
≤7	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

**Objaśnienia / Explanations:**

*N* – liczba drzew / tree number

*G*<sub>sr</sub> – średnia powierzchnia pierśnicowego pola przekroju / mean basal area

*G*<sub>sum</sub> – suma powierzchni pierśnicowego pola przekroju / total basal area

*H*<sub>sr</sub> – średnia wysokość / average height

*r*<sub>sr</sub> – średni promień korony / mean crown radius

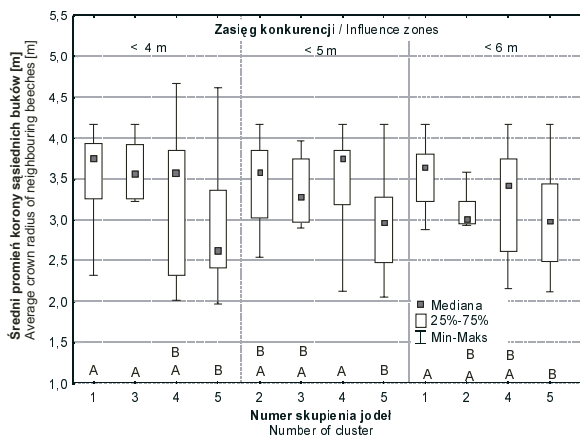
*R*<sub>sr</sub> – średnia odległość od drzewa centralnego / mean distance to the subject tree

n.i. – nie istotne ( $\alpha > 0.05$ ) / not significant, at  $\alpha > 0.05$

\* – brak buków jako sąsiadów w przypadku niektórych skupień jodeł / there is a lack of beeches as neighbourhood trees in the case of some clusters of subject firs

wskaźniku konkurencji (będące pod większą presją konkurencyjną), otoczone były przez większą liczbę jodeł sąsiednich. Wskaźnik ten nie był jednak powiązany z wielkością ani z przyrostem pierśnicowego pola przekroju drzew.

Otoczenie jodeł należących do skupienia numer 2 w zasięgu konkurencji do 2 m, które badano biorąc pod uwagę zarówno wszystkie sąsiednie drzewa, jak i tylko same jodły (brak było buków sąsiadujących z jodłami), charakteryzowało się największymi (istotne różnice) średnimi wartościami przyrostu i procentu przyrostu pierśnicowego pola przekroju we wszystkich analizo-



**Rycina 7. Średni promień korony sąsiednich buków dla poszczególnych skupień jodeł i wybranych zasięgów konkurencji na powierzchni Żabnica II (literami oznaczono grupy jednorodne)**

Figure 7. Average crown radius of neighbouring beeches for particular clusters of subject firs in selected influence zones on the Żabnica II plot (homogeneous groups marked with letters)

wanych okresach (nie przedstawione na wykresie). W przypadku zasięgów konkurencji do 6, 7, 8, 9 i 10 m wartości mediany procentu przyrostu pierśnicowego pola przekroju buków i świerków sąsiadujących z jodłami były wyższe niż dla jodeł jako sąsiadów, chociaż różnice te nie były statystycznie istotne.

W drzewostanie Żabnica II stwierdzono istotne statystycznie różnice pomiędzy skupieniami jodeł centralnych pod względem średniego pierśnicowego pola przekroju buków (*G*<sub>sr</sub>) w zasięgu oddziaływania do 5 m (tab. 1) we wszystkich analizowanych okresach. Również średni promień koron buków rosnących w odległości do 4, 5 i 6 m od drzewa centralnego istotnie różnił skupienia jodeł centralnych (tab. 1). Większy promień korony miały buki w otoczeniu jodeł o wyższych wartościach skumulowanego retrospektywnego wskaźnika konkurencji (skupienia o niższych numerach), a tym samym będących pod większą presją konkurencyjną (ryc. 7).

## 4. Dyskusja

Praca dotyczy bardzo złożonego procesu występującego w drzewostanie, jakim jest oddziaływanie drzew na siebie. Proces ten zależy od wielu czynników, których zdefiniowanie niejednokrotnie jest bardzo trudne czy wręcz niemożliwe (Landhäuser et al. 2001, 2003). Dlatego wyniki badań niejednokrotnie mogą być trudne do interpretacji i wyciągnięcia ogólnych wniosków.

Analizując mediany badanych cech jodeł centralnych oraz średnie wartości skumulowanego wskaźnika

konkurencji w każdym skupieniu można zauważyć pewne prawidłowości. Wartości mediany takich cech drzew centralnych jak pierśnicowe pole przekroju, wysokość, średni promień korony, względna długość korony, suma oraz procentowy przyrost pierśnicowego pola przekroju z ostatnich 10 lat były najmniejsze w przypadku jodeł o największym średnim skumulowanym retrospektywnym wskaźniku konkurencji (niski numer skupienia jodeł centralnych), największe zaś u drzew o najmniejszej średniej wartości tego wskaźnika (ryc. 2). Prawidłowość tą można zaobserwować we wszystkich zasięgach konkurencji na obu powierzchniach badawczych. Uzyskane wyniki są więc zgodne ze spostrzeżeniami przytaczanymi przez innych autorów (Tomé i Burkhart 1989; Weber et al. 2008), gdyż należy przypuszczać, że jodły przyrastające najlepiej znajdowały się pod najmniejszym ujemnym wpływem otoczenia.

Badając cechy wszystkich drzew konkurencyjnych razem zauważono, że skupienia różniły się bardzo istotnie pod względem wskaźników konkurencji *Hegyi* oraz *Ch* we wszystkich przyjętych zasięgach oddziaływania na obu powierzchniach. Wraz ze wzrostem wartości retrospektywnego skumulowanego wskaźnika konkurencji (niższy numer skupienia jodeł) wzrastała również wartość wskaźnika *Hegyi* (ryc. 4) i *Ch*. Potwierdza to wcześniejsze spostrzeżenia wielu autorów, stosujących w swoich badaniach wskaźniki konkurencji, a zwłaszcza wskaźnik *Hegyi*, że jest on jednym z najlepiej określających oddziaływanie drzew na siebie indeksów (Ek i Martin 1984; Biging i Dobbertun 1992, 1995; Mailly et al. 2003; Corral Rivas et al. 2005; Filipescu i Comeau 2007).

Analizując pozostałe cechy wszystkich drzew konkurencyjnych, stwierdzono, że istotne różnice pomiędzy skupieniami jodeł wystąpiły w przypadku liczby wszystkich drzew sąsiednich oraz sumy pierśnicowego pola przekroju. Jednak nie we wszystkich zasięgach konkurencji poszczególne cechy otoczenia drzewa centralnego różniły skupienia w tym samym stopniu. Istotność różnic pomiędzy skupieniami jodeł przy zasięgu konkurencji do 2, 3, 4 i 5 m stwierdzono w przypadku sumy pierśnicowego pola przekroju drzew konkurencyjnych na obu powierzchniach, a w przypadku liczby drzew – na powierzchni Żabnica II, przy czym istotność różnic malała wraz ze wzrostem zasięgu konkurencji, a jedynie na powierzchni Żabnica II wystąpił nagły spadek istotności różnicy w zasięgu konkurencji do 4 metrów (ryc. 6). Można przypuszczać, że te właśnie cechy otoczenia drzewa centralnego oddziałują na przyrost pierśnicowego pola przekroju.

Uwzględniając cechy otoczenia, z podziałem na gatunki, można stwierdzić, że żadna z cech sąsiednich świerków, buków i jodeł nie różni skupień drzew

centralnych na powierzchni Żabnica I. Natomiast na powierzchni Żabnica II zanotowano różnice pomiędzy grupami drzew centralnych w przypadku niektórych cech sąsiednich jodeł i buków. W najbliższym analizowanym zasięgu oddziaływania (do 2 m) takie cechy jodeł sąsiednich jak średnia wartość i suma pierśnicowego pola przekroju oraz średni promień korony istotnie różniły wyodrębnione skupienia drzew centralnych (tab. 1). Nie stwierdzono związku pomiędzy kształtowaniem się wartości median tych cech a wartościami retrospektywnego wskaźnika konkurencji, a tym samym trudno tu mówić o zależności przyczynowo-skutkowej. Istotne różnice uwidoczniły się natomiast pomiędzy skupieniami drzew centralnych w przypadku liczby jodeł sąsiednich w zasięgu konkurencji do 3, 4 i 5 m. Na ich podstawie można stwierdzić zwiększanie się presji konkurencyjnej (wyższa wartość wskaźnika) wraz ze zwiększaniem się liczby jodeł sąsiednich. Zależność ta nie idzie jednak w parze ze związkiem pierśnicowego pola przekroju jodeł sąsiednich i retrospektywnego wskaźnika konkurencji. Negatywne wzajemne oddziaływanie jodeł można tłumaczyć występowaniem ich systemów korzeniowych na podobnej głębokości w glebie, a tym samym konkurencją korzeniową, która ma cechy oddziaływania symetrycznego (Weiner 1990; Connolly i Wayne 1996; Freckleton i Watkinson 2001).

Na powierzchni Żabnica II stwierdzono również istotne różnice pomiędzy skupieniami jodeł centralnych pod względem promienia korony buków rosnących w odległości do 4, 5 i 6 m od drzewa centralnego (tab. 1). W tym przypadku większy promień korony miały buki rosnące w otoczeniu jodeł o większych wartościach retrospektywnego wskaźnika konkurencji, a tym samym będących pod większą presją konkurencyjną. Zjawisko oddziaływań w obrębie koron było przedmiotem badań w przypadku różnych gatunków i zawsze stwierdzano negatywny wpływ sąsiedztwa, często przejawiający się asymetrycznym rozwojem korony u drzew bardziej plastycznych (Brisson 2001; Thorpe et al. 2010). Z kolei nie stwierdzono zależności między innymi cechami buków i jodeł, co może być wynikiem pozytywnego pośredniego oddziaływania domieszki buka na jodłę, np. poprzez wpływ na glebę.

Różnica pomiędzy obu powierzchniami badawczymi pod względem oddziaływania drzew różnych gatunków na jodłę może być spowodowana większą liczbą drzew na jednostkę powierzchni w drzewostanie Żabnica I, gdzie nie stwierdzono związku pomiędzy gatunkiem drzewa będącym sąsiadem a przyrostem pierśnicowego pola przekroju jodeł. W warunkach dużego zagęszczenia wszystkie gatunki mogły oddziaływać podobnie na drzewo centralne. Inaczej przedstawia się sytuacja na powierzchni Żabnica II, gdzie w wyniku



mniejszego zagęszczenia drzew uwidaczniają się różnice w oddziaływaniu różnych gatunków drzew, zwłaszcza buka i jodły, na drzewa centralne. Cechą buka, która najbardziej różniła skupienia jodeł w zasięgu konkurencji do 4, 5 i 6 m był promień jego korony. Szerszą koronę miały buki rosnące w sąsiedztwie jodeł charakteryzujących się wyższymi wartościami skumulowanego retrospektywnego wskaźnika konkurencji, a więc podlegających większej presji konkurencyjnej.

W ramach niniejszej pracy starano się również ocenić możliwości zastosowania retrospektywnego dynamicznego wskaźnika konkurencji do oszacowania oddziaływań konkurencyjnych w drzewostanie. Wyodrębnione na jego podstawie skupienia jodeł cechowały się stałą dynamiką konkurencyjną, tzn. zaobserwowano liniowy wzrost wartości skumulowanego wskaźnika konkurencji (ryc. 1). Wynikać to może z relatywnie krótkiego okresu poddanego analizie (10 lat), w trakcie którego jodły nie miały większej możliwości zmiany swojej pozycji konkurencyjnej w stosunku do drzew sąsiednich (położenie biosocjalne drzew). Zastosowany w tej pracy wskaźnik, poprzez uwzględnienie czynnika czasu pozwala oszacować zmiany konkurencji w analizowanym okresie i stwierdzić, pod jaką presją konkurencyjną ze strony sąsiadów wzrastało badane drzewo (Weber et al. 2008). Czasem może się okazać, iż oddziaływanie konkurencyjne jest intensywne, ale nie wpływające istotnie na cechy drzewa centralnego (Burton 1993). Retrospektywny dynamiczny wskaźnik konkurencji może znaleźć zastosowanie między innymi w badaniach drzewostanów różnowiekowych, o złożonej budowie, mieszanych z gatunkami o różnym tempie wzrostu oraz zróżnicowanych przestrzennie (Weber et al. 2008).

## 5. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

Wszystkie analizowane cechy jodeł (drzew centralnych), tj. pierśnicowe pole przekroju, wysokość, promień (szerokość) korony, współczynnik smukłości, względna długość korony, suma i procent przyrostu pierśnicowego pola przekroju z 10 lat, bardzo istotnie różniły skupienia jodeł.

Wraz ze wzrostem skumulowanego retrospektywnego wskaźnika konkurencji maleje wartość mediany pierśnicowego pola przekroju, wysokości, sumy przyrostów z ostatnich 10 lat, współczynnika względnej długości korony oraz szerokości korony drzew centralnych, natomiast tendencje wzrostową przyjmuje współczynnik smukłości drzew centralnych.

Skupienia jodeł na powierzchni Żabnica I i II istotnie różniły się pod względem wartości mediany sumy pierś-

nicowego pola przekroju wszystkich drzew sąsiednich w zasięgach konkurencji do 2, 3, 4 i 5 m. Dodatkowo skupienia w drzewostanie Żabnica II różniły się również istotnie pod względem liczby wszystkich drzew sąsiednich.

W drzewostanie Żabnica I nie stwierdzono różnic pomiędzy skupieniami jodeł pod względem cech drzew sąsiednich z podziałem na gatunki. Natomiast na powierzchni Żabnica II skupienia jodeł różniły się pod względem liczby jodeł sąsiednich w zasięgu konkurencji do 3, 4 i 5 m oraz szerokości koron buków w zasięgu oddziaływania do 4, 5 i 6 m. Tutaj też, ze wzrostem wartości retrospektywnego wskaźnika konkurencji, wrastała liczba jodeł sąsiednich oraz promień (szerokość) korony buków.

Z uwagi na to, iż zastosowany w tej pracy skumulowany retrospektywny dynamiczny wskaźnik konkurencji okazał się istotnie związany z wieloma cechami drzew centralnych oraz ich otoczeniem, istnieje możliwość stosowania go w badaniach dotyczących oddziaływań pomiędzy drzewami z uwzględnieniem czynnika czasu. Wskazane byłoby, aby takie badania uwzględniały dłuższy przedział czasowy, co może być możliwe do zrealizowania jedynie w drzewostanach nie wykazujących oznak ingerencji człowieka (rezerwy lub parki narodowe).

W przypadku braku możliwości analizy oddziaływań pomiędzy drzewami na podstawie przyrostów rocznych w poprzednich latach, można zastosować wskaźniki konkurencji, które uwzględniają aspekt przestrzenny i bazują na polu pierśnicowego przekroju (np. wskaźnik *Hegyvi*).

## Literatura

- Bauer S., Wyszomirski T., Berger U., Hildenbrandt H., Grimm V. 2004. Asymmetric competition as a natural outcome of neighbour interactions among plants: results from the field-of-neighbourhood modeling approach. *Plant Ecology*, 170: 135–145.
- Béland Ma., Lussier J-M., Bergeron Y., Longpré M-H., Béland Mi. 2003. Structure, spatial distribution and competition in mixed jack pine (*Pinus banksiana*) stands on clay soils of eastern Canada. *Annals of Forest Science*, 60: 609–617.
- Biging G. S., Dobberty M. 1992. A Comparison of Distance-Dependent Competition Measures for Height and Basal Area Growth of Individual Conifer Trees. *Forest Science*, 38 (3): 695–720.
- Biging G. S., Dobberty M. 1995. Evaluation of competition indices in individual tree growth model. *Forest Science*, 41 (2): 360–377.
- Brisson J. 2001. Neighborhood competition and crown asymmetry in *Acer saccharum*. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 2151–2159.

- Bruchwald A. 1995. Dendrometria. Warszawa, Wyd. SGGW, ISBN 83-00-02889-7.
- Burton P. 1993. Some limitations inherent to static indices of plant competition. *Canadian Journal of Forest Research*, 23: 2141–2152.
- Castagneri D., Vacchiano G., Lingua E., Motta R. 2008. Analysis of intraspecific competition in two subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) stands in Paneveggio (Trento, Italy). *Forest Ecology and Management*, 255: 651–659.
- Connolly J., Wayne P. 1996. Asymmetric competition between plant species. *Oecologia*, 108: 311–320.
- Corral Rivas J. J., Álvarez González J. G., Oscar Aguirre, Hernández F. J. 2005. The effect of competition on individual tree basal area growth in mature stands of *Pinus cooperi* Blanco in Durango (Mexico). *European Journal of Forest Research*, 124 (2): 133–142.
- Ek A. R., Martin G. L. 1984. A Comparison of Competition Measures and Growth Models for Predicting Plantation Red Pine Diameter and Height Growth. *Forest Science*, 30 (3): 731–743.
- Falińska K. 1996. Ekologia roślin. Warszawa, PWN, ISBN 83-01-12065-7.
- Filipescu C. N., Comeau P. G. 2007. Competitive interactions between aspen and white spruce vary with stand age in boreal mixedwoods. *Forest Ecology and Management*, 247: 175–184.
- Freckleton R. P., Watkinson A. R. 2001. Asymmetric competition between plant species. *Functional Ecology*, 15: 615–623.
- Gorzela A. 1993. Odnowienie lasu w reglu górnym Sudetów Zachodnich. *Sylwan*, 11: 5–16.
- Hegy F. 1974. A simulation model for managing Jack-Pine Stands [w:] Growth models for tree and stand simulation (Red. J. Fries). Materiały z konferencji IUFRO w 1973 r. *Research Notes* (Royal College of Forestry, Stockholm), 30: 74–90.
- Jaworski A. 1988. Ekologiczne podstawy projektowania składu gatunkowego odnowień. Zagadnienia wybrane. Kraków, Wyd. AR.
- Kawecki W. 1939. Lasy Żywiecczyzny, ich teraźniejszość i przyszłość. *Prace Rolniczo-Leśne* (Kraków), 35.
- Landhäuser S. M., DesRochers A., Lieffers V. J. 2001. A comparison of growth and physiology in *Picea glauca* and *Populus tremuloides* at different soil temperatures. *Canadian Journal of Forest Research*, 31: 1922–1929.
- Landhäuser S. M., Silins U., Lieffers V. J., Liu W. 2003. Response of *Populus tremuloides*, *Populus balsamifera*, *Betula papyrifera* and *Picea glauca* seedlings to low soil temperature and water-logged soil conditions. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 18: 391–400.
- Odum E. P. 1977. Podstawy ekologii. Warszawa, PWRiL.
- Mäkinen H. 1997. Possibilities of competition indices to describe competitive differences between Scots pine families. *Silva Fennica*, 31: 43–52.
- Maily D., Turbis S., Pothier D. 2003. Predicting basal area increment in a spatially explicit, individual tree model: a test of competition measures with black spruce. *Canadian Journal of Forest Research*, 33: 435–443.
- Pukkala T., Kolström T. 1987. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. *Silva Fennica*, 21: 55–67.
- Radtke P. J., Westfall J. A., Burkhart H. E. 2003. Conditioning a distance-dependent competition index to indicate the onset of inter-tree competition. *Forest Ecology and Management*, 175: 17–30.
- Stanisz A. 2007. Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. 3. Analizy wielowymiarowe. StatSoft Polska Sp. z o. o., Kraków, ISBN 978-83-88724-19-0.
- Thorpe H. C., Astrup R., Trowbridge A., Coates K. D. 2010. Competition and tree crowns: A neighborhood analysis of three boreal tree species. *Forest Ecology and Management*, 259: 1586–1596.
- Tomé M., Burkhart H. E. 1989. Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. *Forest Science*, 35 (3): 814–831.
- Trampler T., Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A. 1990. Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizjograficznych. Warszawa, PWRiL.
- Weber P., Bugman H., Fonti P., Rigling A. 2008. Using a retrospective dynamic competition index to reconstruct forest succession. *Forest Ecology and Management*, 254: 96–106.
- Weiner J. 1990. Asymmetric competition in plant population. *Trends in Ecology and Evolution*, 5 (11): 360–364.
- Weiner J., Damgaard Ch. 2006. Size-asymmetric competition and size-asymmetric growth in a spatially explicit zone-of-influence model of plant competition. *Ecological Research*, 21: 707–712.