

IWONA KWECZLICH, STANISŁAW MIŚCICKI

Określenie przy pomocy krzywej równowagi pożądanej struktury liczby drzew w lesie różnowiekowym

Determination of the desirable tree abundance pattern in the uneven-aged forest using the equilibrium curve

ABSTRACT

Kweczlich I., Miścicki S. 2006. Określenie przy pomocy krzywej równowagi pożądanej struktury liczby drzew w lesie różnowiekowym. Sylwan 3: 17-30.

The theoretical tree density in a stand was calculated using an equilibrium curve model. The Bukowa Góra forest (Roztoczański National Park) placed under strict protection was the object of the study. Calculations were made separately for the main species - fir and beech. The data on tree mortality rate and their diameter growth (or height in the case of low trees) collected in 1991, 1996 and 2001 on permanent sample plots were used. The correspondence between the actual and model tree density curves in diameter classes was confirmed only in the case of firs from the upper layer of stands. The shortage of firs (in comparison with the model data) and the excess of beeches in the regeneration layer in respect of thin and moderately thick DBH were confirmed by gradual changes in tree-species composition between 1991 and 2001.

KEY WORDS

equilibrium curve, tree density, forest regeneration, strict protection, selection forest, fir, beech, Bukowa Góra, Roztoczański National Park

ADDRESSES

Iwona Kweczlich – Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa; Wydział Leśny SGGW; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa; ikwecz@wp.pl

Stanisław Miścicki – Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa; Wydział Leśny SGGW; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa; miscicki@delta.sggw.waw.pl

Wstęp

Jednym z najważniejszych problemów związanych z prowadzeniem gospodarstwa przerębowego było – i nadal jest – określenie jaka powinna być optymalna i jednocześnie trwała zasobność. Stosowanie w tym gospodarstwie prowadni leśno-hodowlanej trwale różnowiekowej powoduje, że na stosunkowo małym obszarze znajdują się drzewa z szerokiego przedziału wiekowego i – co za tym idzie – o zróżnicowanych wymiarach. W związku z tym pojawił się następny ważny problem: „jaka powinna być struktura zapasu?” albo – innymi słowami – „jaka powinna być liczba drzew w klasach grubości, aby optymalna zasobność była ciągle utrzymywana?” Model przedstawiający taką optymalną liczbę drzew w poszczególnych klasach grubości został nazwany modelem równowagi, a krzywa opisująca zależność tej liczby drzew od pierśnicy nazwana krzywą równowagi.

Według de Liocourta [1898] liczba drzew w kolejnych klasach pierśnic zmniejsza się w postępie geometrycznym. Meyer [1933] przedstawił tę zależność jako funkcję wykładniczą i określił, że w tych samych warunkach siedliskowych struktura lasu przerębowego może być różna. Oprócz tych modeli, nazywanych analityczno-opisowymi, pojawiły się modele empiryczne

wykorzystujące dane o przyroście [François 1938; Prodan 1949]. Pierwszy z tych autorów przyjął, że znając tempo przyrostu grubości drzew i intensywność ich eksploatacji w poszczególnych klasach pierśnic, możliwe jest obliczenie – niezmiennej z upływem czasu – liczby drzew w każdej klasie. Ta liczba jest tak ustalona, że w danym okresie do danej klasy pierśnic dochodzi z klasy poprzedniej tyle drzew, ile w tym samym okresie ubyło w wyniku przerośnięcia do następnej klasy lub na skutek wycięcia. Można to przedstawić za pomocą wzoru:

$$n_{i-1} \cdot p_{i-1} = n_i \cdot e_i + n_i \cdot p_i \quad [1]$$

gdzie:

n_i, n_{i-1} – liczba drzew w klasie wymiarów i lub w klasie poprzedniej $i-1$,

e_i – procent użytkowania drzew w danym okresie w klasie wymiarów i (%/okres),

p_i, p_{i-1} – procent drzew przechodzących do następnej klasy wymiarów w danym okresie T z klasy i lub z klasy $i-1$, obliczany na podstawie tempa przyrostu pierśnic drzew

$$p_i = \frac{z_d \cdot T}{b}$$

gdzie:

z_d – roczny przyrost pierśnicy drzewa,

T – długość okresu obserwacji w latach,

b – szerokość klasy pierśnic.

Model François [1938] wykorzystał w swoich badaniach Schütz [1975], który obliczał postacie krzywych równowagi zależnie od intensywności eksploatacji i z uwzględnieniem pierśnicy docelowej drzew wycinanych w gospodarstwie. Uwzględnił przy tym wpływ zagęszczenia drzew na tempo przyrostu ich grubości i na liczbę pojawiającego się dorostu tj. drzew przekraczających w danym okresie dolny próg pomiaru grubości.

Cel pracy

Postanowiono obliczyć model równowagi dla lasu od dawna objętego ochroną ścisłą. Punktem wyjścia do badań było następujące założenie: „Las o charakterze naturalnym jest wewnątrz zróżnicowany i składa się z różnej wielkości płatów o odmiennej budowie. Gdy obiekt taki ma dość dużą powierzchnię (umownie powyżej 100 ha) jego struktura opisana np. za pomocą liczby drzew w klasach grubości jest podobna do struktury lasu przerębowego i pozostaje względnie stabilna. Stąd możliwe jest określenie modelu równowagi tego lasu, w tym wypadku jako postaci utrzymywanej w wyniku oddziaływania tylko sił przyrody.”

Cele szczegółowe pracy wyrażono następująco:

- obliczenie, na podstawie danych empirycznych dotyczących śmiertelności, przyrostu pierśnicy oraz maksymalnych wymiarów drzew, krzywej równowagi liczby drzew w całym zakresie klas wymiarów (w tym także warstwy nalotu i podrostu) dla głównych gatunków występujących w wybranym obiekcie,
- określenie zgodności krzywej teoretycznej zagęszczenia drzew w klasach wymiarów z krzywą rzeczywistą i przeprowadzenie interpretacji skutków ewentualnych rozbieżności.

Obiekt badań

Jako obiekt badań wybrano las na Bukowej Górze na Roztoczu. Ścisły rezerwat leśny o tej nazwie został utworzony w roku 1934 roku przez Maurycego Zamoyskiego – ówczesnego właściciela Ordynacji Zamoyskiej, do rejestru rezerwatów wpisany w 1936, ale nieformalnie istniał od roku 1907. Celem było ochronienie naturalnych drzewostanów złożonych z jodły (*Abies alba* L.)

i buka (*Fagus sylvatica* L.), wchodzących w skład zespołów boru jodłowego i buczyny karpackiej oraz rzadkich przedstawicieli fauny i flory. W 1974 roku rezerwat został włączony do tworzonego wówczas Roztoczańskiego Parku Narodowego i obecnie jako Obszar Ochrony Ścisłej „Bukowa Góra” zajmuje powierzchnię 128 ha. Najniższe części pokrywają drzewostany jodłowe z domieszką sosny i buka, wyżej przechodzące w bukowo-jodłowe, a w pobliżu szczytu w niemal czysto bukowe. Jodła i buk, które na tym terenie, mimo wschodniej granicy zwartego występowania, osiągają bardzo duże rozmiary, stanowią blisko 100% zapasu. Znaczny wpływ na strukturę drzewostanów miały huragany, które w latach 1975, 1979, 1981 i 1999 nawiedzały Bukową Górę.

Materiał badawczy

Materiał empiryczny został zebrany na stałych powierzchniach próbnych zlokalizowanych na Obszarze Ochrony Ścisłej „Bukowa Góra”. Pierwsze pomiary wykonano w roku 1974 i wówczas były to 33 powierzchnie próbne o wielkości 500 m², rozmieszczone systematycznie w więźbie 200 × 200 m, na których rejestrowano drzewa o pierśnicy co najmniej 7,0 cm. W roku 1991 liczba powierzchni próbnych została zwiększona do 65 (w więźbie 100 × 200 m), a w zakres pomiarów włączono także nalot (drzewa od drugiego roku życia) i podrost – mierzone na współśrodkowych kołach (drzewa o wysokości $h < 30$ cm na powierzchni 5 m², $h \geq 30$ cm, lecz $d_{1,3} < 2,0$ cm na 20 m², $2,0 \leq d_{1,3} < 7,0$ cm na 50 m²). Następne inwentaryzacje przeprowadzono w roku 1996 i 2001. Pochodzące z kolejnych terminów rezultaty pomiarów pierśnic drzew (z dokładnością 1 mm) lub dodatkowo wysokości (drzewa z warstwy nalotu lub podrostu) wraz z rejestracją faktu wydzielenia się drzewa lub dorośnięcia do drzewostanu, umożliwiły obliczenie tempa przyrostu i tempa śmiertelności drzew w danym okresie i w zależności od ich wymiarów.

Metodyka

Przyjęto, że zależność zagęszczenia drzew w dwóch sąsiadujących klasach wymiarów (grubości lub wysokości) n_i i n_{i-1} wynosi:

$$n_{i-1} \cdot (1 - e_{i-1}) \cdot p_{i-1} = n_i \cdot e_i + n_i \cdot (1 - e_i) \cdot p_i \quad [2]$$

gdzie:

e_{i-1} – śmiertelność drzew w danym okresie w klasie wymiarów $i-1$ (%/okres), pozostałe oznaczenia jak we wzorze 1.

W stosunku do wzoru [1] modyfikacja dotyczyła zjawiska przechodzenia drzew do następnej klasy wymiarów. Uwzględniono, że użytkowaniu (w rezerwacie zamieraniu) podlegają zarówno drzewa pozostające w danej klasie, jak i przechodzące do następnej.

Przy obliczeniach punktem wyjścia było zagęszczenie drzew w klasie pierśnic określonej jako „maksymalna” d_{max} , które posłużyło do wykonania rachunków w kolejnych, coraz cieńszych klasach. Pierśnicę maksymalną danego gatunku początkowo przyjęto jako taką, powyżej której łączne zagęszczenie drzew wynosi 1 szt./ha. Jednak ze względu na niedostatek materiału empirycznego dotyczącego przyrostu i śmiertelności bardzo grubych drzew, przyjęto pierśnicę maksymalną na podstawie zagęszczenia 10 szt./ha. W celu obliczenia d_{max} zestawiono dla każdej klasy pierśnic, rozpoczynając od drzew najgrubszych, zagęszczenie skumulowane. Na podstawie krzywej wyrównującej obliczono poszukiwaną wartość d_{max} . Ta krzywa została także wykorzystana do ustalenia zagęszczenia drzew w klasie, w której znalazła się pierśnica maksymalna. Wykonano to na podstawie różnicy między estymowanym zagęszczeniem drzew o pierśnicy odpowiednio takiej jak górna i dolna granica klasy. W obliczeniach wykorzystano dane empiryczne z lat 1974, 1991, 1996 i 2001.

Tempo przyrostu grubości (dla drzew posiadających pierśnicę) lub wysokości (dla drzew o $h \leq 1,3$ m), służące do określenia wartości p tempa przechodzenia drzew do następnej klasy wymiarów w danym okresie T , obliczono jako zależność od pierśnicy (lub wysokości). Dla danego okresu pomiarów sporządzono krzywe zależności przyrostu pierśnicy (lub wysokości) od wymiarów drzew danego gatunku.

Śmiertelność (tempo powstawania ubytków) drzew e także obliczono w zależności od ich pierśnicy (lub wysokości). W tym celu dla danego gatunku i danego okresu pomiarów uporządkowano drzewa według wymiarów. Stosując metodę „ruchomego okna”, które za każdym razem zawierało 20 drzew, obliczono udział drzew, które się wydzieliły. Dla danego położenia „okna” obliczono przeciętną pierśnicę (lub wysokość), co pozwoliło sporządzić odpowiednią krzywą wyrównującą zależność śmiertelności drzew od ich wymiarów. Śmiertelność odniesiono do jednego roku. W tym celu dokonano przeliczenia:

$$e_1 = \left(1 - \sqrt[n]{1 - e_n} \right) \cdot 100\% \quad [3]$$

gdzie:

- e_n – śmiertelność w okresie n lat wyrażona liczbą z przedziału 0,0-1,0,
- e_1 – śmiertelność w ujęciu rocznym (%/rok).

Krzywą równowagi liczby drzew w klasach wymiarów obliczono osobno dla jodły i buka w dwóch terminach 1996 i 2001. Wykorzystano do tego dane o tempie przyrostu i śmiertelności drzew w dwóch okresach 1991-1996 i 1996-2001. Przyjęto szerokość klasy pierśnic $b=1$ cm i okres obliczeniowy $T=1$ rok. Dla drzew o wysokości $h \leq 1,3$ m przyjęto klasy o szerokości 10 cm. W tym wypadku obliczenia rozpoczynano od klasy 1,31-1,40 m, dla której zagęszczenie drzew ustalono według krzywej równowagi dla pierśnic odpowiadających wysokościami granic klasy.

Zgodność rzeczywistego zagęszczenia drzew z obliczonym według krzywej równowagi oceniono według sposobu zaproponowanego przez Zingga i Duca [1998]. W tym celu dla każdego gatunku drzewa, danego terminu, dla drzew warstwy macierzystej i odnowienia oraz wszystkich drzew razem obliczono residua:

$$res = \frac{\sum_{i=1}^k (\ln z_{RZECZ} - \ln z_{K.R.})^2}{k-1} \quad [4]$$

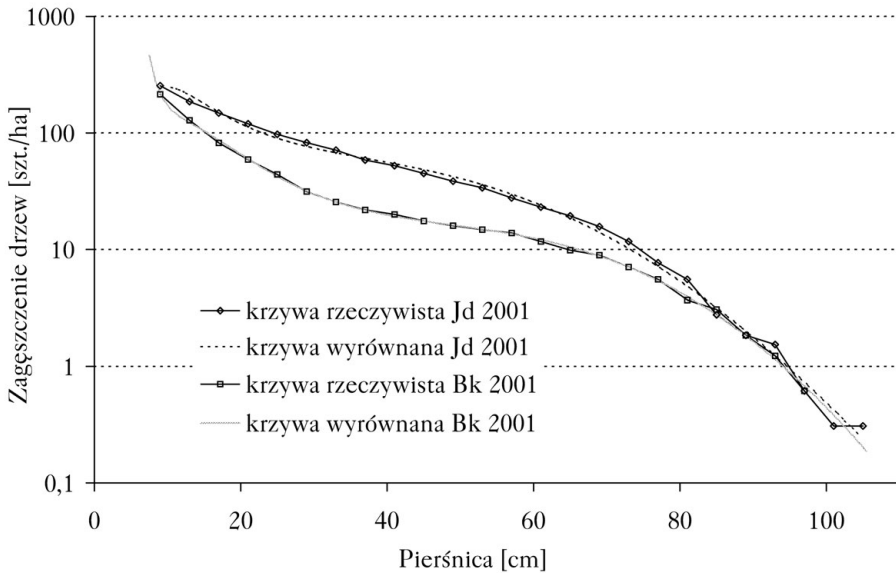
gdzie:

- z_{RZECZ} – zagęszczenie rzeczywiste w czterocentymetrowych klasach pierśnic (drzewa $h \leq 1,3$ m tworzyły jedną klasę),
- $z_{K.R.}$ – zagęszczenie wg krzywej równowagi w 4 cm klasach pierśnic (drzewa $h \leq 1,3$ m j.w.),
- k – liczba klas wymiarów (ostatnią klasą jest ta, która zawiera pierśnicę maksymalną).

Za autorami przyjęto, że krzywe są zgodne jeżeli wartość residuum nie przekracza wartości 0,5, a częściowo zgodne jeżeli jest w granicach 0,5-1,0.

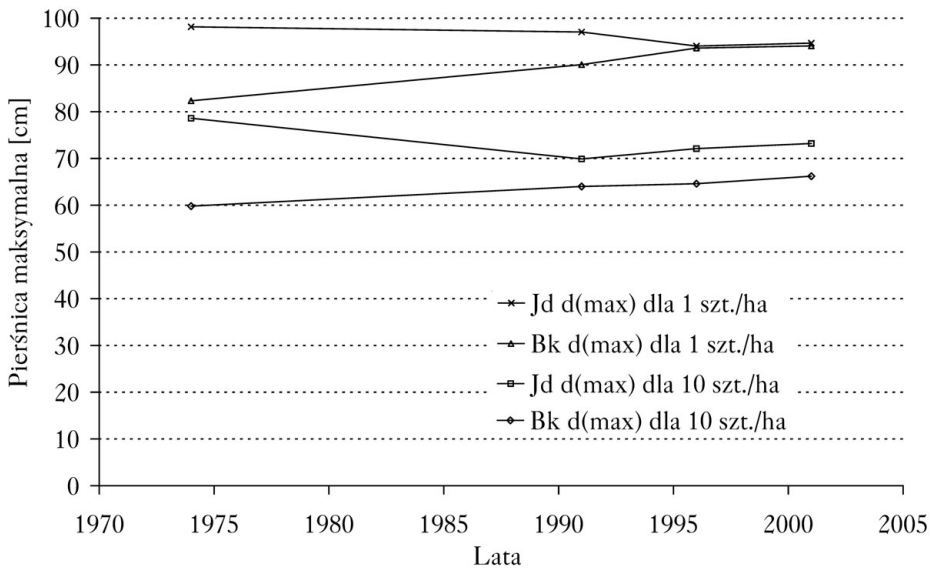
Wyniki

MAKSYMALNA PIERŚNICA DRZEW. Różnice między zagęszczeniem jodeł a buków w poszczególnych stopniach pierśnic spowodowały, że przebieg krzywych kumulowanego zagęszczenia tych dwóch gatunków różnił się (ryc. 1), a stąd różna była wielkość ich pierśnic maksymalnych. W poszczególnych terminach pomiarów wielkość ta podlegała niewielkim zmianom (ryc. 2), z tym że w wypadku buka ciągle zwiększała się z upływem czasu. W roku 2001 pierśnica maksymalna liczona jako ta, powyżej której łączne zagęszczenie drzew wynosi 1 szt./ha, w wypadku buka była mniejsza niż jodły tylko o 0,6 cm.



Ryc. 1.

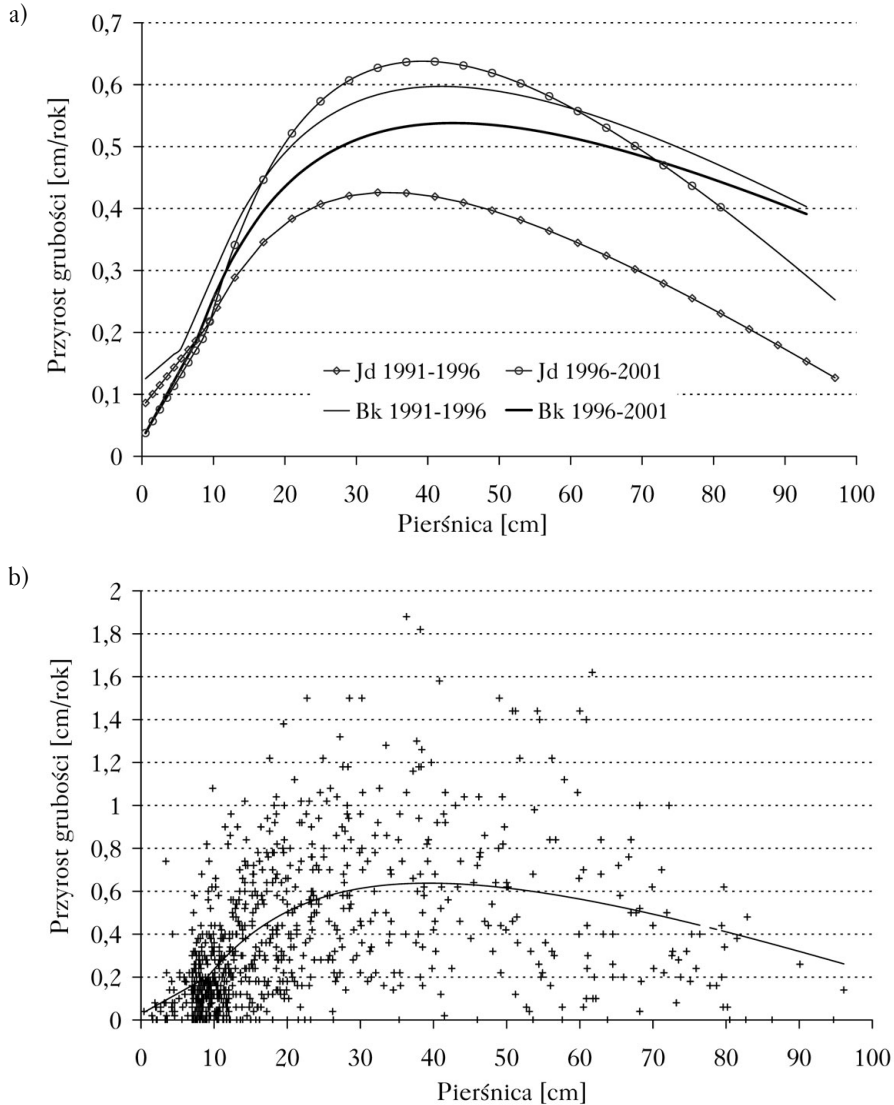
Przykład rzeczywistych i wyrównanych krzywych kumulowanych zagęszczenia jodeł i buków na Bukowej Górze w roku 2001 w zależności od wymiarów drzew. Pierśnica „maksymalna”, przy której zagęszczenie kumulowane wynosi np. 1 szt./ha oznacza, że łączne zagęszczenie drzew grubszych od d_{max} wynosi 1 szt./ha. Example of actual and adjusted cumulative curves for fir and beech densities on mount Bukowa Góra in 2001 with relation to tree dimensions. The „maximum” DBH, at which the cumulative density is for example 1 tree/ha, means that the maximum density of trees $d_{max} > 1$ trees/ha



Ryc. 2.

Zmiana wartości pierśnic maksymalnych d_{max} jodeł i buków w latach 1974-2001 przy przyjęciu kumulowanego zagęszczenia drzew powyżej d_{max} 1 i 10 szt./ha. Changes in the values of the maximum DBH of fir and beech in the years 1974-2001 at the adopted cumulative density $d_{max} > 1$ and 10 trees/ha

PRZYRÓST GRUBOŚCI I WYSOKOŚCI DRZEW. Zależność przyrostu grubości buków od pierśnicy w obu okresach miała podobny przebieg, choć w latach 1996-2001 we wszystkich klasach pierśnicy przyrost był mniejszy niż we wcześniejszym pięcioleciu (ryc. 3). To zjawisko dotyczyło także



Ryc. 3.

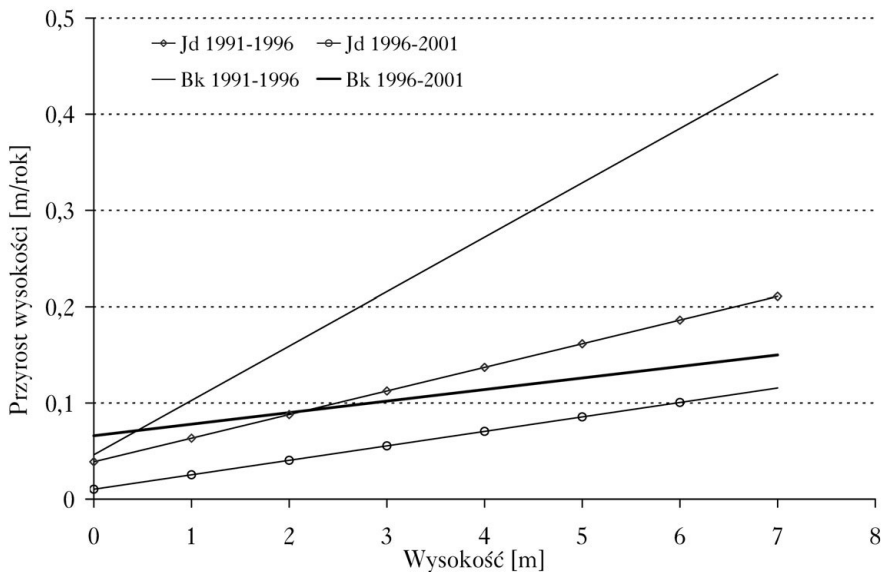
(a) Wyrównana zależność bieżącego rocznego przyrostu grubości jodeł i buków w okresie 1991-1996 i 1996-2001 w zależności od pierśnicy (wyrównanie: drzewa cienkie o pierśnicy do 6-9 cm (zależnie od gatunku i okresu) – według linii prostej, drzewa grubsze – według wielomianu logarytmicznego trzeciego stopnia), (b) linia wyrównująca na tle rzeczywistych wyników pomiarów przyrostu pierśnic jodeł w okresie 1996-2001 i ich grubości w roku 1996

(a) Adjusted dependence of the current diameter increment of fir and beech in the periods 1991-1996 and 1996-2001 on DBH (Adjustment: thin trees with the DBH to 6-9 cm (depending on species and period) – according to straight line, thicker trees – according to the third degree logarithmic polynomial), (b) adjusted line against actual measurement results of the current diameter increment of fir between 1996 and 2001 and fir DBH in 1996

przyrostu wysokości buków z warstwy odnowienia (ryc. 4). W okresie 1996-2001 przyrost grubości cienkich jodeł (o pierśnicy do ok. 10 cm) oraz przyrost wysokości jodeł z warstwy odnowienia był mniejszy niż w latach 1991-1996 (ryc. 3 i 4). W wypadku drzew średnich i grubych było odwrotnie – przyrost był większy, zwłaszcza w tym zakresie pierśnic, które odznaczały się jego największym tempem. W ostatnim okresie, w zakresie pierśnic 12-73 cm, tempo przyrostu grubości jodeł było większe niż buków.

ŚMIERTELNOŚĆ DRZEW. Zależność śmiertelności drzew od ich pierśnicy miała generalnie podobny przebieg u obu gatunków i w obu okresach pomiarów (ryc. 5). Charakterystyczna była bardzo duża, choć szybko zmniejszająca się wraz ze zwiększaniem się wymiarów, śmiertelność drzew warstwy odnowienia (ryc. 6). Także relatywnie większe było tempo ubywania drzew najgrubszych oraz ze środkowych klas pierśnic (choć lokalne największe nasilenie tego zjawisko było różne u obu gatunków i w obu okresach). Śmiertelność buków była – niemal we wszystkich klasach pierśnic i w obu okresach – mniejsza niż śmiertelność jodeł. W wypadku tego ostatniego gatunku, w okresie 1996-2001 tempo ubywania drzew było większe niż we wcześniejszym pięcioleciu niemal w całym zakresie wymiarów, z wyjątkiem drzew średnich (w zakresie pierśnic 17-37 cm). Śmiertelność buków średnich i grubych (w zakresie pierśnic 37-77 cm) w latach 1996-2001 była większa niż w poprzednim okresie.

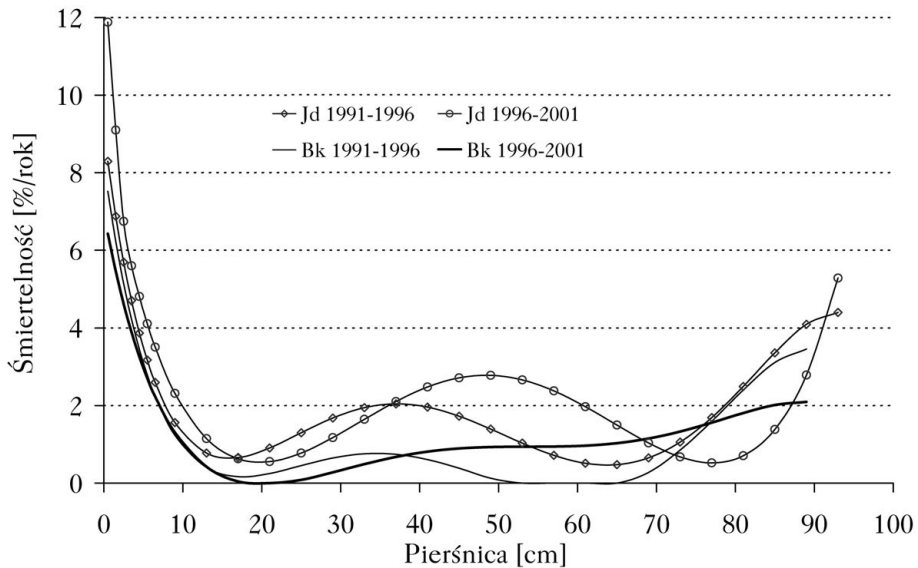
KRZYWA RÓWNOWAGI LICZBY DRZEW W KLASACH WYMIARÓW. W roku 1996 zagęszczenie jodeł macierzystej części drzewostanów (o pierśnicy $d_{1,3} \leq 7$ cm) wynosiło 252 szt./ha i było większe niż obliczone z wykorzystaniem krzywej równowagi (154 szt./ha). Rzeczywista liczba drzew była większa od teoretycznej niemal w całym zakresie pierśnic 7-75 cm (ryc. 7). Różnice te nie były duże – wartość residuum wyniosła 0,21 (krzywe liczebności można uznać za zgodne).



Ryc. 4.

Prostoliniowa wyrównana zależność rocznego przyrostu wysokości jodeł i buków z warstwy odnowienia w okresie 1991-1996 i 1996-2001 od ich wysokości na początku danego okresu

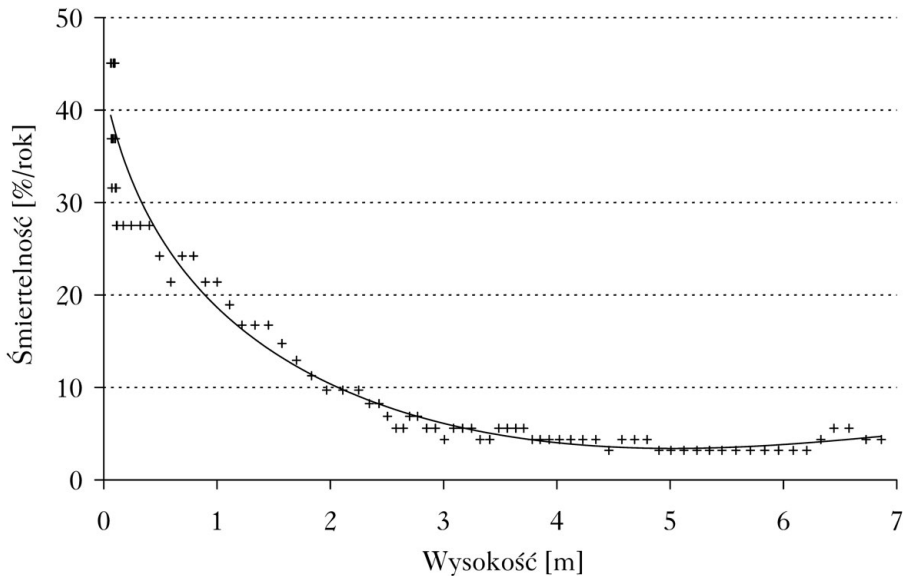
Adjusted linear dependence of the current diameter increment of fir and beech in the regeneration layer in the periods 1991-1996 and 1996-2001 on their height at the beginning of a given period



Ryc. 5.

Wyrównana zależność śmiertelności rocznej jodeł i buków w okresach 1991-1996 i 1996-2001 od pierśnicy (wyrównanie: wielomiany 4 lub 5 stopnia)

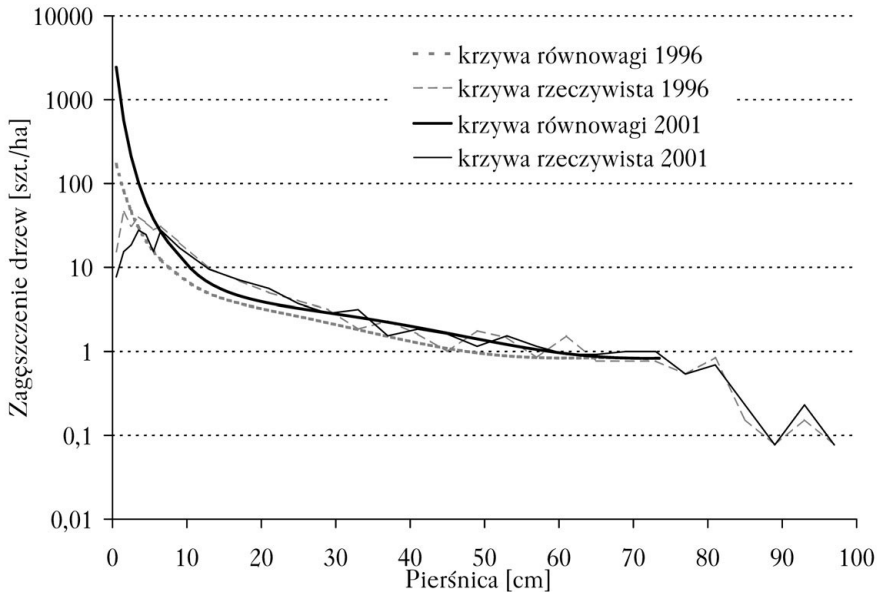
Adjusted dependence of the annual mortality of fir and beech in the periods 1991-1996 and 1996-2001 on the DBH (adjustment: 4th or 5th degree polynomials)



Ryc. 6.

Wyrównana zależność śmiertelności rocznej jodeł z warstwy odnowienia w okresie 1996-2001 od wysokości drzew. Poszczególne punkty zostały obliczone metodą „ruchomego okna” zawierającego kolejno 20 drzew najbliższych sobie pod względem wysokości

Adjusted dependence of the annual mortality of fir and beech in the regeneration layer in the periods 1991-1996 and 1996-2001 on the tree height. Dots represent results calculated using the „moving averages” method (20 trees in each step)



Ryc. 7.

Zagęszczenie jodeł według krzywych równowagi i porównanie z krzywymi rzeczywistymi w roku 1996 oraz 2001. Podane wartości dotyczą zagęszczenia w klasach pierśnic o szerokości 1 cm. Rzeczywiste zagęszczenie drzew o pierśnicy $d_{1,3} \geq 7$ cm jest wzięte z klas o szerokości 4 cm i przeliczone tak, aby odpowiadało zagęszczeniu w klasach 1 cm

Fir density according to the equilibrium curves and comparison with actual curves in 1996 and 2001. The presented values concern the density in 1 cm dbh classes. Actual trees density with dbh $d_{1,3} \geq 7$ cm was taken from the 4 cm classes and calculated so that it corresponded to the density in the 1 cm classes

W tym samym roku zagęszczenie jodeł z warstwy odnowienia było większe niż teoretyczne tylko w zakresie pierśnic $d_{1,3}=3,0-6,9$ cm (ryc. 7). Liczba drzew o $d_{1,3} < 3,0$ cm oraz drzew o wysokości $h \leq 1,3$ m była znacznie mniejsza niż oszacowana według modelu (tab.). Wartość residuum dla warstwy odnowienia wyniosło 4,2, a dla drzew wszystkich klas wymiarów 1,4 (w obu wypadkach nie można uznać krzywych za zgodne).

Przez pięć lat zagęszczenie jodeł macierzystej części drzewostanów nieznacznie zmniejszyło się i w roku 2001 wyniosło 246 szt/ha (wg krzywej równowagi 213 szt./ha).

Tabela.

Obliczone według krzywej równowagi (K.R.) i rzeczywiste (RZECZ.) zagęszczenie drzew (szt./ha) warstwy odnowienia o wysokości $h \leq 1,3$ m dla jodły i buka w roku 1996 i 2001

Tree density [trees/ha] in the regeneration layer of height $h \leq 1,3$ m calculated according to the equilibrium curve (k.r.) and actual tree density for fir and beech in 1996 and 2001

Klasa wysokości	Zagęszczenie drzew gatunku [szt./ha]							
	jodła				buk			
	1996		2001		1996		2001	
	K.R.	RZECZ.	K.R.	RZECZ.	K.R.	RZECZ.	K.R.	RZECZ.
$h < 0,3$ m	228304	2308	$2,61 \cdot 10^8$	4523	273	431	168	1015
$h = 0,3-0,79$ m	10135	–	2210617	–	48	393	141	346
$h = 0,8-1,3$ m	292	8	15202	–	13	200	82	154
Razem	238731	2316	$2,63 \cdot 10^8$	4523	334	1024	391	1515

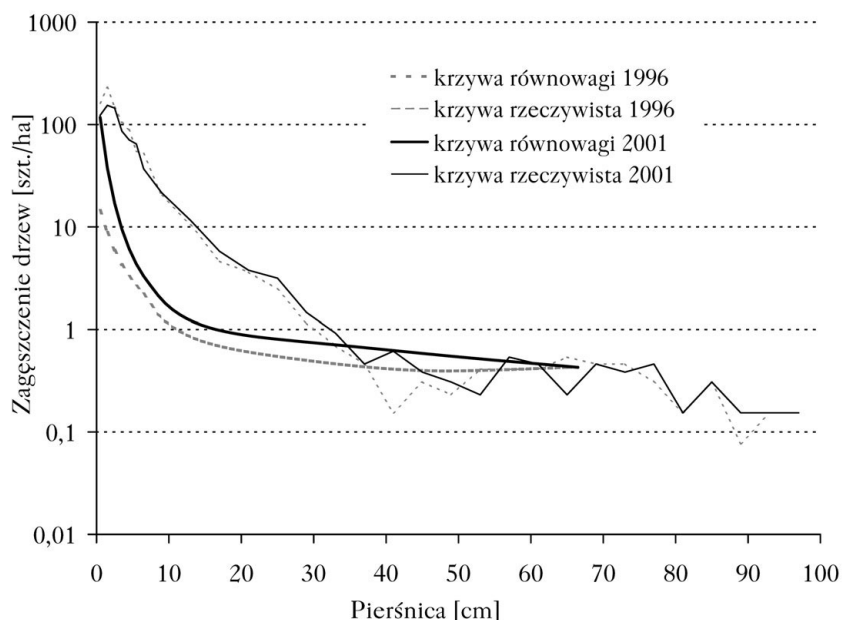
Rzeczywista liczba drzew była zbliżona do teoretycznej w przedziale $d_{1,3}=27-75$ cm, a nieco większa w przedziale $d_{1,3}=7-27$ cm (ryc. 7). Wartość residuum wyniosła zaledwie 0,05, a więc można uznać krzywe za bardzo zgodne.

W roku 2001 zagęszczenie nalotów jodłowych ($h<0,3$ m) było większe niż pięć lat wcześniej, ale podrostów zmniejszyło się – w niektórych klasach nie stwierdzono drzew (ryc. 7, tab.). W warstwie odnowienia (z wyjątkiem klasy $d_{1,3}=6,0-6,9$ cm) był znaczny niedobór drzew w stosunku do danych modelowych (wartość residuum 25). Dla jodeł wszystkich klas wymiarów wartość residuum wyniosła 7,4 (nie można uznać krzywych za zgodne).

W roku 1996 zagęszczenie buków o pierśnicy $d_{1,3}\geq 7,0$ cm wynosiło 185 szt/ha i było ponad cztery razy większe od obliczonego według krzywej równowagi (43 szt/ha). Mniejsza od teoretycznej lub zbliżona do niej liczba drzew występowała w przedziale $d_{1,3}=39-65$ cm (ryc. 8). Wartość residuum wyniosła 2,1 i ocena, że krzywe nie są zgodne wynikała z faktu, że w przedziale $d_{1,3}=7-39$ cm rzeczywista liczba drzew była znacznie większa od teoretycznej.

W tym samym roku zagęszczenie buków z warstwy odnowienia było większe we wszystkich klasach wymiarów od zagęszczenia określonego według modelu (ryc. 8, tab.). Wartość residuum (9,8) potwierdza, że krzywych liczebności dla tej warstwy nie można uznać za zgodne, podobnie jak krzywych dla drzew wszystkich klas wymiarów (4,7).

Przez pięć lat zagęszczenie buków macierzystej części drzewostanów zwiększyło się i w roku 2001 wyniosło 206 szt/ha. Było ono znacznie większe od oszacowanego według krzywej równowagi (57 szt/ha). Mniejsza od teoretycznej liczba drzew występowała w przedziale $d_{1,3}=35-67$ cm, a większa od teoretycznej w przedziale $d_{1,3}=7-35$ cm (ryc. 8). Rozbieżność przebiegu obu krzywych potwierdza wartość residuum wynosząca 1,5.



Ryc. 8.

Zagęszczenie buków wg krzywych równowagi i porównanie z krzywymi rzeczywistymi w roku 1996 oraz 2001. Zasada prezentacji danych taka sama jak na ryc. 7

Beech density according to the equilibrium curves and comparison with actual curves in 1996 and 2001. Data presentation rules see Fig. 7

W roku 2001 zagęszczenie nalotów bukowych ($h < 0,3$ m) było nieco większe niż pięć lat wcześniej, choć zagęszczenie podrostów zmniejszyło się niemal we wszystkich klasach (ryc. 8, tab.). We wszystkich klasach występował nadmiar drzew w stosunku do wartości wyliczonej według krzywej równowagi – wartość residuum wyniosła 4,6. Dla buków wszystkich klas wymiarów wartość residuum wyniosła 2,4 (nie można uznać krzywych za zgodne).

Dyskusja

Obliczanie – za pomocą krzywej równowagi odwołującej się do koncepcji François [1938] – pożądanej struktury liczby drzew ma stosunkowo bogatą tradycję w odniesieniu do gospodarstw przerębowych [Schütz 1975; Duc 1991, 2001; Zingg, Duc 1998]. W niniejszej pracy wykorzystano ją do obliczenia pożadanego zagęszczenia drzew w klasach wymiarów w lesie objętym ochroną ścisłą. Różnice dotyczyły nie tylko samego lasu, ale też sposobu wykonania niektórych części obliczeń.

W cytowanych tutaj pracach krzywą równowagi obliczano łącznie dla wszystkich gatunków występujących w gospodarstwie przerębowym. W badaniach wykonanych na podstawie stałych powierzchni badawczych w lasach przerębowych punktem wyjścia do obliczeń było zagęszczenie drzew w najcieńszej klasie pierśnic (8-11,9 lub 7,5-11,4 cm) macierzystej części danego drzewostanu [Duc 1991, 2001; Zingg, Duc 1998]. W wielu wypadkach przebieg krzywej równowagi był zbyt „płaski”, co oznacza, że należałoby się spodziewać więcej – niż na razie się obserwuje – drzew najgrubszych [Zingg, Duc 1998]. Ten spłaszczony przebieg krzywej równowagi w zakresie środkowych stopni pierśnic pokrywa się z wcześniejszymi obserwacjami Meyera [1933], który wskazywał ponadto, że krzywa liczebności drzew według „prawa de Liocourta” istnieje tylko w niewielu drzewostanach, a w związku z tym powinna być traktowana tylko jako postać przybliżona.

W niniejszej pracy – dla drzewostanów Bukowej Góry – krzywą równowagi obliczano rozpoczynając od pierśnicy „maksymalnej” danego gatunku i – przesuwając się do coraz cieńszych klas wymiarów – ustalano pożądane zagęszczenie drzew również warstwy odnowienia. Duc [1991, 2001] wykorzystywał tę krzywą do obliczeń ilości odnowienia, ale rozpoczynał od założonego zagęszczenia drzew w najcieńszej klasie pierśnic macierzystej części drzewostanu. Ponadto, nie dysponował kompletem potrzebnych danych. Posiadał dane o tempie przyrostu drzew warstwy nalotu i podrostu, ale zakładał hipotetyczne różne tempo ich śmiertelności – znacznie mniejsze niż to, które zmierzono w lesie na Bukowej Górze.

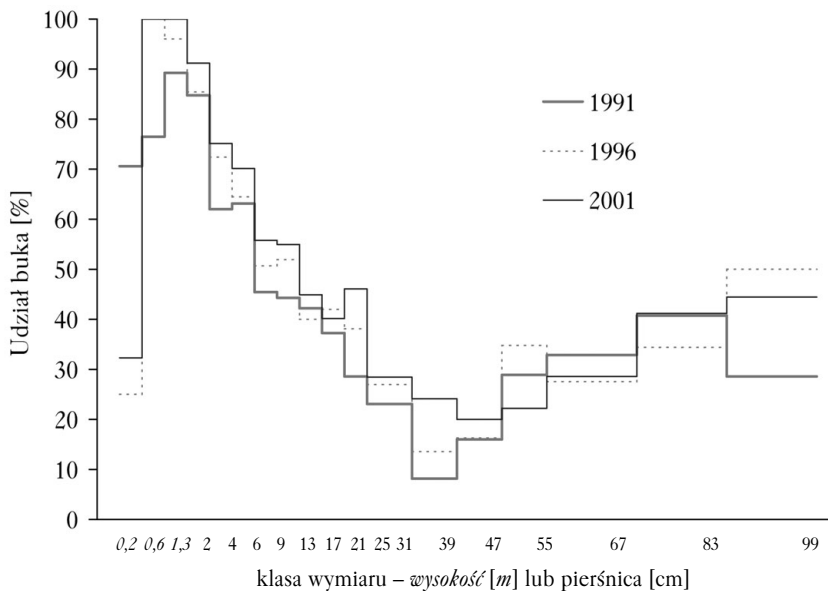
Analiza wzoru François [1938] wskazuje, że tempo śmiertelności drzew ma znacznie większe znaczenie przy obliczaniu krzywej równowagi niż tempo przyrostu pierśnicy. Jeżeli założymy, że zjawiska ubywania drzew nie ma – to do pierśnicy, przy której występuje maksimum przyrostu grubości, krzywa byłaby opadająca, a powyżej tej pierśnicy wznosząca. Z kolei im większe tempo śmiertelności drzew, tym bardziej stromo opada ta krzywa. Różnice śmiertelności drzew w drzewostanach Bukowej Góry w okresach 1991-1996 i 1996-2001 spowodowały, że przebieg krzywych równowagi w obrębie tego samego gatunku różnił się.

Pomiędzy jodłą a bukiem wystąpiły wyraźne różnice przebiegu krzywych równowagi jak i ich zgodności z empiryczną krzywą zagęszczenia. W szerokim zakresie – poczynając od drzew o pierśnicy 5-7 cm do najgrubszych – krzywa empiryczna zagęszczenia jodeł była zgodna z teoretyczną – co oznacza brak nadmiaru drzew np. na wypadek katastrof naturalnych. Według obliczeń dla roku 1996, aby liczebność jodły była w przyszłości zachowana we wszystkich klasach wymiarów, należałoby oczekiwać bardzo dużej liczby drzew w odnowieniu. Różnica między wartością rzeczywistą a teoretyczną została potwierdzona już pięć lat później. W roku

2001 stwierdzono znaczny niedobór drzew tego gatunku w nalocie, brak w niskim podroście ($h=0,3-1,3$ m), a w podroście $h>1,3$ m zmniejszenie zagęszczenia. W wypadku buka obecne zagęszczenie drzew warstwy odnowienia, jak i drzew o pierśnicy do ok. 35 cm, było znacznie większe od wyliczonego według krzywej równowagi. Ten nadmiar powinien prowadzić do stopniowego opanowania drzewostanów Bukowej Góry przez ten gatunek. Znalazło to odzwierciedlenie w zmianie ich składu gatunkowego w okresie 1991-2001, ocenionego na podstawie pomiarów na stałych powierzchniach próbnych. Z wyjątkiem nalotu $h<0,3$ m, w zakresie wymiarów, w którym – według krzywej równowagi – występował nadmiar buka, zwiększył się jego udział, a w zakresie, w którym był jego niedostatek, nastąpiło pewne zwiększenie udziału jodły (ryc. 9).

Wnioski

- ✦ Krzywa równowagi, jako model wykorzystujący dane empiryczne, pozwala obliczyć jakie jest pożądane zagęszczenie drzew danego gatunku w klasach wymiarów, tak aby w przyszłości ciągle osiągał takie jak obecnie maksymalne wymiary. Oznacza to, że dzięki tej krzywej możliwe jest określenie dla lasu o charakterze naturalnym, objętym ochroną ścisłą, minimalnego zagęszczenia drzew warstwy nalotu i podrostu – cechy ważnej w badaniu takich lasów, ale dotychczas trudnej do uzyskania.
- ✦ Różne tempo przyrostu i śmiertelności poszczególnych gatunków drzew powinno skłaniać do osobnych obliczeń krzywych równowagi. Może to ułatwić interpretację zmian składu gatunkowego drzewostanów oraz ocenę pożądanej liczby drzew warstwy odnowienia.



Ryc. 9.

Zmiany składu gatunkowego drzewostanów Bukowej Góry przedstawione jako zmiany udziału buka (udział jodły równa się dopełnieniu do 100%) w latach 1991, 1996 i 2001 z uwzględnieniem klas wymiarów. Liczba drzew w danej klasie wymiarów równa się 100%. Pochyłą czcionką oznaczono klasy wysokości najniższego odnowienia

Changes in tree-species composition of the Bukowa Góra forest presented as changes in the beech share (fir share is a supplement to 100%) in the years 1991, 1996 and 2001 with consideration taken of dimension classes. Number of trees in a given dimension class equals 100%. The height classes of the lowest regeneration are marked with italic

- ✦ Ze względu na okresowe wahania tempa śmiertelności oraz tempa przyrostu grubości i wysokości drzew, pożądane jest wykorzystywanie przy obliczeniach krzywej równowagi danych empirycznych pochodzących z wielu okresów obserwacji.
- ✦ Konieczność posiadania rzetelnych danych o tempie śmiertelności i tempie przyrostu pierśnicy drzew przemawia za tym, aby przy obliczeniach z wykorzystaniem pierśnicy „maksymalnej” przyjmować taką jej wartość, powyżej której łączne zagęszczenie drzew wynosi 10 szt./ha. Możliwe jest wtedy zebranie danych empirycznych o śmiertelności i przyroście drzew o grubości zbliżonej do „maksymalnej”. Przyjęcie większej pierśnicy „maksymalnej” (np. wyliczanej z zagęszczenia 1 szt./ha) zmusiłoby do zbierania bardzo obszernego materiału empirycznego (drzewa o takich wymiarskich są rzadkością) lub do godzenia się na wykorzystanie przybliżonych danych.
- ✦ Uzyskanie różnego przebiegu krzywych równowagi danego gatunku w różnych terminach, wynikające przede wszystkim z różnic tempa śmiertelności drzew, wskazuje, że taka krzywa może być wykorzystana do oceny wpływu czynników destrukcyjnych na strukturę zagęszczenia drzew. W tym celu konieczne jest poznanie jak dany czynnik wpływa na tempo przyrostu, a przede wszystkim – na tempo śmiertelności drzew.
- ✦ Przy obecnym tempie śmiertelności jodeł z warstwy nalotu i niskiego podrostu w drzewostanach na Bukowej Górze, utrzymanie obecnej struktury liczby drzew tego gatunku w klasach grubości mogłoby nastąpić pod warunkiem pojawienia się niezwykle obfitego odnowienia.

Literatura

- Duc Ph. 1991. Untersuchungen zur Dynamik des Nachwuchses. Schweiz. Z. Forstwes. 142, 4: 299-319.
- Duc Ph. 2001. Sustainable forest regeneration. [W:] P. Brassel, H. Lischke [red.]. Swiss National Forest Inventory: methods and models of the second assessment. WSL Swiss Federal Research Institute, Birmensdorf. 207-224.
- François T. 1938. La composition théorique normale des futaies jardinées de Savoie. Rev. des eaux et for. (76) 1/2: 1-18/101-115.
- de Liocourt F. 1898. De l'aménagement des sapinières. Bull. soc. fores. Franche-Comté et Belfort. 4: 396-409.
- Meyer H. A. 1933. Eine mathematisch-statistische Untersuchung über den Aufbau des Plenterwaldes. Schweiz. Z. Forstwes. 84, 1/3/4: 33-46/88-103/124-131.
- Prodan M. 1949. Die theoretische Bestimmung des Gleichgewichtszustandes im Plenterwalde. Schweiz. Z. Forstwes. 100, 2: 81-99.
- Schütz J.-Ph. 1975. Dynamique et conditions d'équilibre des peuplements jardinées sur les stations de la hêtraie à sapin. Schweiz. Z. Forstwes. 126, 9: 637-671.
- Zingg A., Duc Ph. 1998. Beurteilung des Gleichgewichtszustandes in Plenterwaldversuchsflächen. [W:] Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten – Sektion Ertragskunde. Jahrestagung vom 25.-27. Mai 1998, Kevelaer. Freiburg i. Br. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. 147-156.

SUMMARY

Determination of the desirable tree abundance pattern in the uneven-aged forest using the equilibrium curve

A decision was made to calculate the required tree abundance pattern for both, the upper and regeneration layer. It was assumed that this theoretical value would be determined using an equilibrium curve. This model had already been used in the research on selection forests. In this study it was assumed that our interest would be focused on the tree dimension structure of the Bukowa Góra stands (treated jointly) in the Roztoczański National Park – covering an area of 128 hectares.

The calculations were performed for two occasions (1996 and 2001), separately for fir and beech – the species accounting for nearly 100% of the growing stock. The results of the

measurements carried out on 65 permanent sample plots in 1991, 1996 and 2001 (1974 only for selected targets) were used as empirical material. In addition to the trees with the $DBH \geq 7$ cm constituting the upper layer, which were measured within an area of 500 square meters on each of the plots, also trees from the regeneration layer were registered using 5/20/50 square meters concentric circular sample plots.

The authors' own modification of Francois' formula [1938] was applied. Calculations of the equilibrium curve started from the so-called maximum DBH, gradually moving to smaller and smaller classes. The maximum DBH was defined as such above which the total tree density in a stand is 10 trees/ha. It was calculated on the basis of the cumulative tree density (Fig. 1, 2). For correct calculations of equilibrium curves, adjusted dependence of the DBH (or height) growth rate on tree dimensions (Fig. 3, 4), and of the mortality of trees on their dimensions (Fig. 5, 6) was used.

For firs from the upper layer, correspondence between the actual tree abundance curve and the model value calculated according to the equilibrium curve was confirmed (Fig. 7). As early as in 1996, a shortage of firs in the regeneration was observed. It still deepened in 2001 (Table). In the case of beech, big differences between the actual and model curves (Fig. 8) were found. They derived from the fact that the density of beech trees significantly exceeded the model value both in the regeneration (Tab.) and with regard to thin and medium DBHs (to about 35 cm), while thick beeches showed a shortage.

Differences between the actual and model abundance pattern of trees in dimension classes were confirmed in the change of tree-species composition of the Bukowa Góra forest between 1991 and 2001 (Fig. 9). In the regeneration and among the trees with DBHs up to about 39 cm, the proportion of beech increased. Thanks to the equilibrium curve it is possible to determine a minimum tree density in the regeneration layer for a natural forest placed under strict protection. At the current mortality rate of the firs from the natural regeneration and low undergrowth layers, the current tree abundance pattern for this species in diameter classes could be maintained subject to exceptionally abundant regeneration.