

JAROSŁAW PALUCH

Optymalizacja rozkładu pierśnic w lesie przerębowym

Optimisation of the diameter distribution in selection forests

ABSTRACT

For a given target diameter and selection cutting intensity there is only one existing diameter distribution at which a stand can fully use the productive potential of the site. In typical market situations when the rise in market price of timber, at least to some extent, goes along with the increase of stem diameter, the enlargement of stand volume and target diameter results in the rise in stand value increment. Too heavy or too light cutting intensity brings about the reduction in the value increment of a stand.

KEY WORDS

selection forest, selection cutting, target diameter, equilibrium, steady-state diameter distribution

Wstęp

Klasyczny las jednostkowo-przerębowy cechuje się wszechgeneracyjną strukturą wieku, wielopiętrową budową ze zwarciem pionowym oraz stopniowo zmniejszającą się frekwencją drzew w miarę przechodzenia od najcieńszych do najgrubszych stopni grubości. Trwałe utrzymanie takiej postaci lasu wymaga wykonywania cięć, przy czym najistotniejszą rolę w tym względzie odgrywają cięcia prowadzone w środkowej i górnej warstwie drzewostanu, które utrudniają wykształcenie zwartej korony oraz pozwalają na ciągłą rekrutację drzew z warstwy odnowienia [Schütz 2001]. W naszych warunkach drzewostany przerębowe tworzy przede wszystkim jodła, rzadziej świerk czy buk [Jaworski 2000].

Przyrodnicze zalety struktury przerębowej, związane z dużą stabilnością i żywotnością drzew oraz dużym stopniem naturalności drzewostanów, zostały dawno rozpoznane [Schütz 2001]. W ostatnich latach, szczególnie w krajach wysoko rozwiniętych charakteryzujących się dużymi i stale rosnącymi kosztami osobowymi, zwraca się również uwagę na produkcyjno-ekonomiczne walory lasów o złożonej postaci, w których zapewnienie trwałości oraz wysokiej jakości produkcji jest możliwe przy stosunkowo niewielkiej liczbie drzew odnowienia oraz mniej pracochłonnych zabiegach pielęgnacyjnych [Knoke 1998; Mohr, Schori 1999; Hanewinkel 2001a, 2001b; Nord-Larsen i in. 2003]. Dlatego też opanowanie oraz dalsze doskonalenie metod hodowlanych pozwalających na kształtowanie takich drzewostanów wydaje się być szczególnie uzasadnione [Buongiorno 2001].

Lasy przerębowe wzrastające w tych samych warunkach siedliskowych, ale kształtowane według różnych koncepcji hodowlanych, będą istotnie różnić się strukturą pierśnic, wielkością zapasu, przyrostem miąższości oraz wartością produkcji [Schütz 1975]. W zależności od dominującej funkcji lasu, cech jakościowych drzew, czy struktury popytu na określone sortymenty, hodowca może decydować o zasobności drzewostanu, docelowej pierśnicy drzew uznawanych za plon, czy intensywności cięć w poszczególnych warstwach drzewostanu. W wielu przypad-

JAROSŁAW PALUCH

Katedra Szczegółowej Hodowli Lasu
Akademia Rolnicza
Al. 29 Listopada 46
31-425 Kraków
jppaluch@pro.onet.pl

kach aktualna, intuicyjna koncepcja może jednak nie gwarantować wykorzystania możliwości produkcyjnych siedliska, a w przypadkach skrajnych może w ogóle prowadzić do zaniku struktury przerębowej. Z tego względu struktura pierśnic drzewostanu wymaga optymalizacji, to znaczy wyznaczenia oraz późniejszego świadomego dążenia do pewnego rozkładu modelowego, który po pierwsze, w maksymalnym stopniu odpowiada produkcyjnym lub pozaprodukcyjnym założeniom, po drugie gwarantuje utrzymanie przerębowego charakteru drzewostanu, oraz po trzecie, zapewnia wykorzystanie możliwości produkcyjnych siedliska.

Celem pracy jest zaprezentowanie wpływu różnych koncepcji hodowlanych na zrównoważone rozkłady pierśnic, przyrost pierśnicowego pola przekroju oraz przyrost wartości drzewostanów o strukturze przerębowej. Cechy te w bezpośrednim lub pośrednim ujęciu wyczerpują wachlarz istotnych kryteriów optymalizacyjnych. Należy podkreślić, że zamierzeniem autora nie jest zaproponowanie gotowych, mniej lub bardziej schematycznych wzorców struktury pierśnic, ale wyeksponowanie uniwersalnych zależności pomocnych przy planowaniu hodowlanym w praktyce.

Punkty równowagi lasu przerębowego

Struktura pierśnic nie zmienia się, gdy w danym okresie kontrolnym t dla każdego stopnia grubości i liczba drzew przechodzących z niższego stopnia grubości $n_{i-1}d_{i-1}$ odpowiada sumie liczby drzew usuwanych $n_i u_i$ oraz drzew przechodzących do wyższego stopnia grubości $n_i d_i$:

$$n_{i-1}d_{i-1} = n_i u_i + n_i d_i, \quad [1]$$

gdzie u_i oznacza frakcję drzew usuwanych (lub naturalnie wydzielających się) ze stopnia grubości i , a d_i frakcję drzew przemieszczających się ze stopnia grubości i do stopnia $i+1$. W odniesieniu do pierwszego (najcieńszego) stopnia grubości warunek ten oznacza, że liczba drzew dorostu $n_0 d_0$ (tj. drzew przechodzących z warstwy odnowienia do pierwszego stopnia grubości) powinna odpowiadać sumie liczby drzew usuwanych i wydzielających się w pierwszym stopniu grubości $n_1 u_1$ oraz drzew przechodzących z pierwszego do drugiego stopnia grubości $n_1 d_1$:

$$n_0 d_0 = n_1 u_1 + n_1 d_1, \quad [2]$$

gdzie d_0 oznacza frakcję drzew przechodzących w okresie kontrolnym t z odnowienia do warstwy drzewostanu. Z wzorów 1 oraz 2 wynika, że przy zrównoważonej strukturze pierśnic przyrost wyrażony w jednostkach pola przekroju pierśnicowego ZG równa się ubytkowi U (cięcia oraz naturalne wydzielanie się drzew), a zasobność drzewostanu, za wyjątkiem krótkookresowych fluktuacji, nie ulega zmianie:

$$ZG = \sum_{i=1}^{n+1} (n_{i-1}d_{i-1} - n_i d_i) g_i, \quad [3]$$

$$U = \sum_{i=1}^{n+1} n_i u_i g_i,$$

a ponieważ $n_i d_i = n_{i-1} u_{i-1} - n_i d_i$ stąd $ZG=U$.

Odzwierciedleniem przyjętej koncepcji hodowlanej jest intensywność cięć w poszczególnych stopniach grubości u_i w okresie kontrolnym t . Wynika ona z ciągłej selekcji zmierzającej do uzyskania zamierzonej jakości drzewostanu (stąd można mówić o intensywności presji selekcyjnej) oraz z konieczności ciągłego kształtowania jego przerębowej struktury. Intensywność cięć w najwyższym stopniu grubości określa jednocześnie maksymalną (docelową) pierśnicę drzew w lesie przerębowym.

14 Jarosław Paluch

W odróżnieniu od intensywności cięć oraz docelowej pierśnicy, które zależą od hodowcy, przyrost drzew decydujący o ich tempie przechodzenia do kolejnych stopni grubości jest cechą uwarunkowaną biologicznie, zależną od warunków siedliskowych, kondycji drzew oraz konkurencyjnej presji otoczenia. Według Schütza [1975] frakcję drzew przechodzących w okresie kontrolnym t ze stopnia grubości i do stopnia $i+1$ można z dostateczną dokładnością przedstawić jako liniową funkcję skumulowanego pierśnicowego pola przekroju drzew ($Gcum_i$) stopni grubości $i+1$, $i+2$, ..., n :

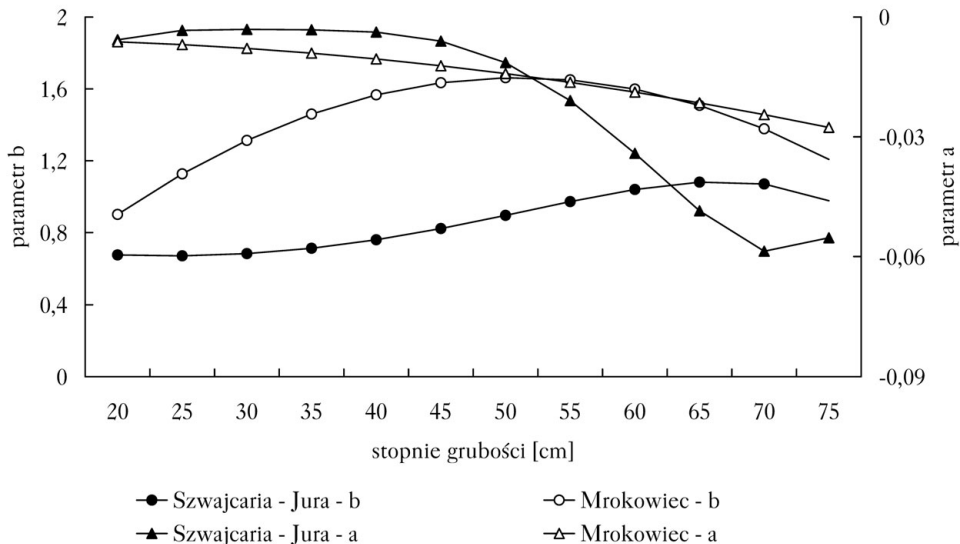
$$d_i = a_i \cdot Gcum_i + b_i, \quad [4]$$

gdzie:

$$Gcum_i = \sum_{j>i}^n G_j,$$

a_i oraz b_i są parametrami dla kolejnych stopni grubości, n oznacza liczbę stopni grubości, a G_j pierśnicowe pole przekroju drzew w stopniu grubości j . We wzorze 4 parametr b odzwierciedla potencjał przyrostowy drzew określonej grubości, a parametr a ich stopień wrażliwości na presję konkurencyjną wyrażoną skumulowanym pierśnicowym polem przekroju. Zdaniem Schütza [1975] analogiczną metodą można zastosować przy aproksymacji tempa wzrostu odnowienia, uzyskując w efekcie zmniejszenie liczby drzew dorostu w miarę zwiększania się pierśnicowego pola przekroju drzewostanu. Wartości parametrów a oraz b wyznaczone dla stopni grubości o szerokości 5 cm oraz 10-letniego okresu kontrolnego dla szwajcarskich lasów przerębowych oraz lasu przerębowego Mrokowiec koło Krynicy na powierzchni doświadczalnej Katedry Szczegółowej Hodowli Lasu AR w Krakowie przedstawiono na ryc. 1.

Znając wpływ pierśnicowego pola przekroju drzewostanu na tempo przechodzenia drzew do kolejnych stopni grubości można wyznaczyć zrównoważone rozkłady pierśnic, dla których, przy danej intensywności cięć u_i , struktura pierśnic nie będzie się zmieniać. Przyjmując



Ryc. 1.

Parametry a oraz b wyznaczone dla szwajcarskich lasów przerębowych oraz dla lasu przerębowego Mrokowiec koło Krynicy

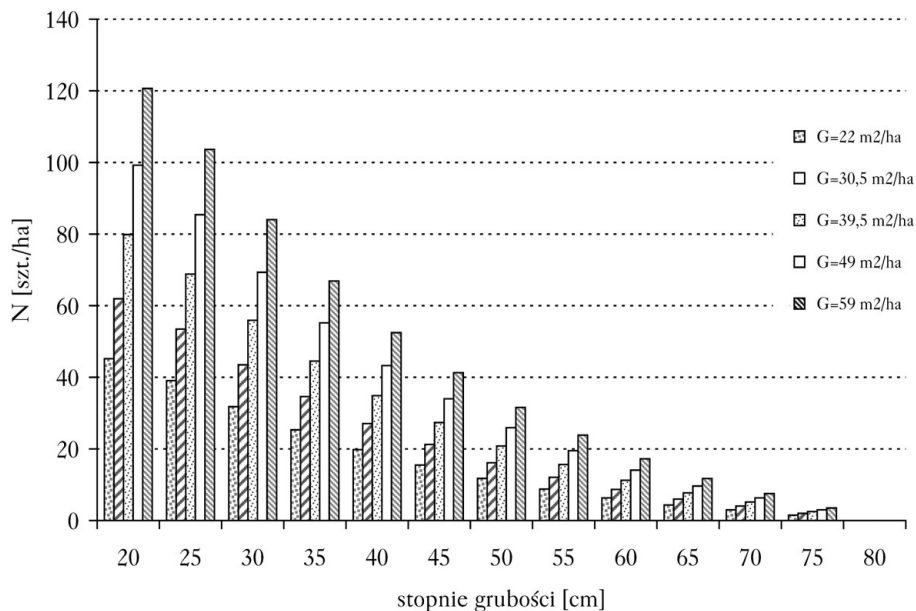
Parameters a and b defined for Swiss selection forests and for the selection forest Mrokowiec near Krynica

określona liczbę drzew w najwyższym stopniu grubości, liczbę drzew w niższych stopniach można ustalić korzystając kolejno z zależności:

$$n_{i-1} = \frac{n_i(u_i + d_i)}{d_{i-1}}. \quad [5]$$

Zwiększając stopniowo liczbę drzew w najwyższym stopniu grubości otrzymujemy rozkłady pierśnic z proporcjonalnie większą liczbą drzew w niższych stopniach grubości i coraz większym pierśnicowym polem przekroju (ryc. 2). Oczywiście nie wszystkie teoretycznie możliwe zrównoważone rozkłady pierśnic będą mogły być zrealizowane w rzeczywistych drzewostanach. Utrzymanie założonej struktury pierśnic będzie możliwe tylko wtedy, gdy liczba drzew faktycznie przechodzących z warstwy odnowienia do pierwszego stopnia grubości przy danym obciążeniu konkurencyjnym (wyrażonym w tym przypadku pierśnicowym polem przekroju drzewostanu) będzie większa lub równa liczbie dorostu obliczonej według wzoru 5, teoretycznie gwarantującej ciągłość przechodzenia drzew do kolejnych stopni grubości (ryc. 3). Gdy wartości te będą równe (co odpowiada punktowi przecięcia prostych na rycinie 3), drzewostan osiąga punkt równowagi; gdy liczba drzew dorostu będzie zbyt duża, możliwości produkcyjne siedliska nie zostaną w pełni wykorzystane. Ponieważ przy zmianie intensywności użytkowania w którymkolwiek ze stopni grubości zmienia się również kształt zrównoważonej krzywej rozkładu, liczba teoretycznie możliwych punktów równowagi jest nieograniczona.

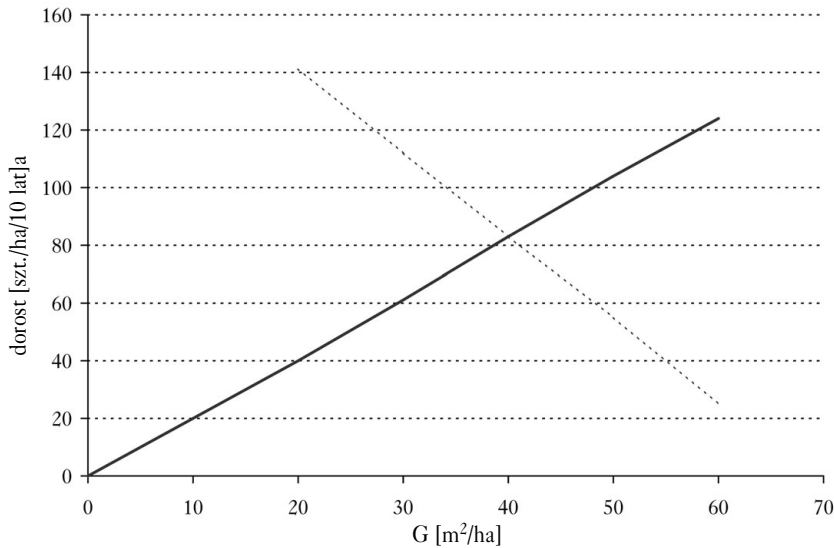
Odpowiednio przekształcając zależność daną wzorem 5 możliwe jest również sprawdzenie, przy jakiej intensywności cięć oczekiwać można utrzymania aktualnej struktury pierśnic drzewostanu:



Ryc. 2.

Zrównoważone rozkłady pierśnic dla wzrastającej liczby drzew w najwyższym stopniu grubości oraz stałej intensywności cięć

Steady-state diameter distribution built for the constant cutting intensity and varying number of trees in the highest diameter class



Ryc. 3.

Zależność między pierśnicowym polem przekroju drzewostanu oraz empiryczną liczbą dorostu (linia przerywana) i teoretycznie minimalną liczbą dorostu gwarantującą utrzymanie założonej struktury pierśnic (linia ciągła)

The relationship between the basal area and empirical number of ingrowth (dotted line) and theoretical minimal number of ingrowth ensuring the maintenance of assumed diameter distribution (solid line)

Objaśnienia: Gdy empiryczna liczba dorostu jest mniejsza od liczby minimalnej, utrzymanie aktualnej struktury pierśnic przy danej intensywności cięć nie będzie możliwe ($G > 39,5 \text{ m}^2/\text{ha}$), gdy jest większa, możliwości produkcyjne siedliska nie są w pełni wykorzystane ($G < 39,5 \text{ m}^2/\text{ha}$). Drzewostan o polu $G = 39,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ w pełni wykorzystuje możliwości produkcyjne siedliska

Explanation: When the empirical number of ingrowth is lower than the minimal number, the maintenance of the actual diameter structure at a given cutting intensity is not possible ($G > 39,5 \text{ m}^2/\text{ha}$), when is higher, the site resources are not fully exploited. A stand of an area $G = 39,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ can fully use the productive potential of the site

$$u_i = \frac{d_{i-1}n_{i-1}}{n_i} - d_i \quad [6]$$

Gdy przynajmniej dla jednego stopnia grubości intensywność cięć u_i będzie mniejsza od wartości odpowiadającej poziomowi naturalnego wydzielania się drzew w tym stopniu grubości, lub gdy liczba drzew dorostu będzie zbyt mała, struktura pierśnic z czasem ulegnie zmianie. W pozostałych przypadkach przyjęcie dla każdego stopnia grubości wyznaczonej intensywności cięć u_i powinno zapewnić utrzymanie aktualnej struktury pierśnic drzewostanu. Przyjmując pewne uproszczenia frakcję drzew wydzielających się można estymować na podstawie udziału drzew o skrajnie niskim przyroście pierśnicy [Bigler, Bugmann 2003]. Wartości te można orientacyjnie traktować jako wskaźniki minimalnej intensywności cięć związanych z usuwaniem drzew o słabej żywotności. Obserwacje na powierzchni doświadczalnej Mrokowiec koło Krynicy wskazują, że przy pierśnicowym polu przekroju drzewostanu około $40 \text{ m}^2/\text{ha}$ intensywność procesu naturalnego wydzielania się drzew dla stopnia grubości 20 cm wynosi około 5% liczby drzew (materiały niepublikowane).

Wpływ dynamiki przyrostu grubości drzew na zrównoważone rozkłady pierśnic

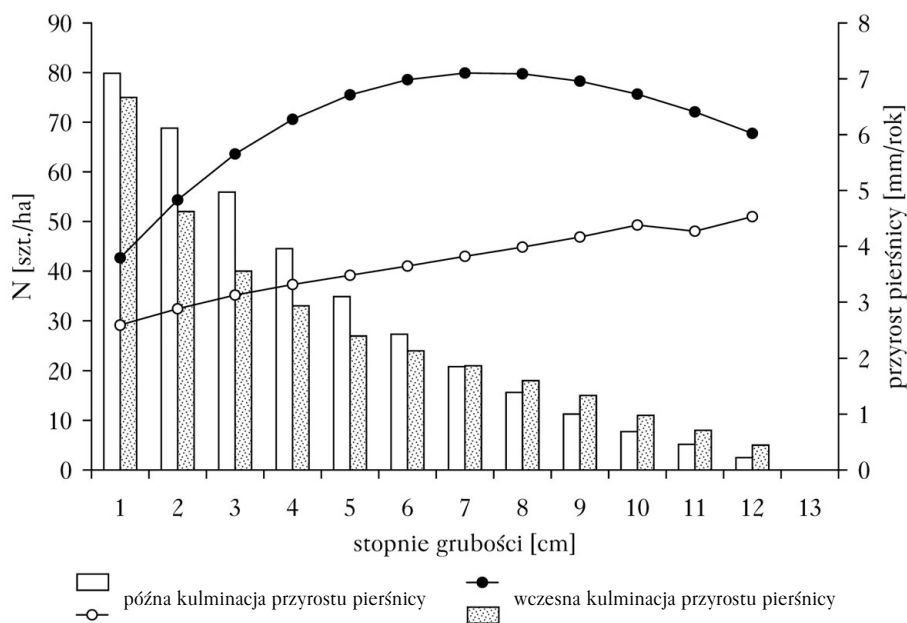
W drzewostanach od dawna prowadzonych rębnią przerębową przyrost grubości pojedynczych drzew kulminuje bardzo późno, często gdy osiągają one pierśnice ponad 90 cm [Schütz 2001].

W sytuacji gdy drzewa warstwy górnej wykazują symptomy osłabienia, zmniejszenie przyrostu pierśnicy może jednak wystąpić znacznie wcześniej.

Zmienność średniego przyrostu pierśnicy w poszczególnych stopniach grubości, decydująca o przeciętnym tempie przemieszczania się drzew do kolejnych stopni grubości, wywiera istotny wpływ na kształt krzywych równowagi. Na rycinie 4 porównano zrównoważone rozkłady pierśnic dwóch drzewostanów o identycznym pierśnicowym polu przekroju oraz identycznej intensywności cięć w poszczególnych stopniach grubości, różniących się natomiast dynamiką przyrostu grubości (ryc. 4). Rozkłady zostały wyznaczone dla parametrów z ryciny 1, przy czym wartości z drzewostanów szwajcarskich wskazują na typową dla lasów przerębowych późną kulminację przyrostu grubości, natomiast wartości z Mrokowca na kulminację wcześniejszą, w przedziale pierśnic 50-60 cm. Jak wynika z ryciny 4, stopnie grubości, w których przeciętny przyrost grubości drzew jest większy, charakteryzują się relatywnie mniejszą liczbą drzew. Generalnie, zrównoważone rozkłady pierśnic dla drzewostanów, w których średni przyrost grubości osiąga maksymalne wartości w cieńszych stopniach grubości, będą cechować się bardziej płaską krzywą rozkładu pierśnic.

Wpływ intensywności cięć oraz pierśnicy docelowej na zrównoważone rozkłady pierśnic

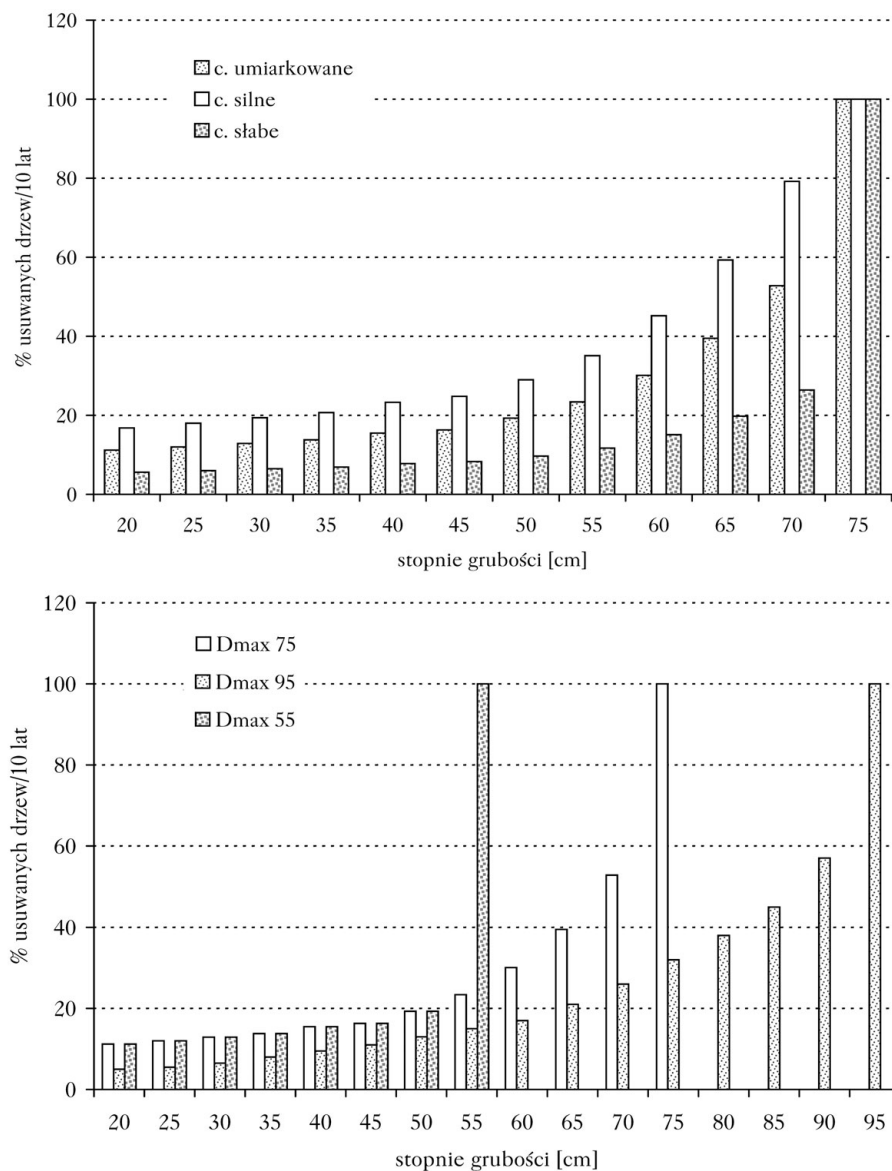
W celu zilustrowania wpływu różnych koncepcji hodowlanych na odpowiadające im zrównoważone rozkłady pierśnic wyznaczone zostały idealne krzywe rozkładu dla sześciu wariantów postępowania różniących się pierśnicą docelową (55, 75 oraz 95 cm) oraz intensywnością cięć



Ryc. 4.

Zrównoważone rozkłady pierśnic dla dwóch drzewostanów o takim samym pierśnicowym polu przekroju ($39,5 \text{ m}^2/\text{ha}$) ale różnej dynamice przyrostu drzew w poszczególnych stopniach grubości. W obu drzewostanach prowadzone są cięcia o takiej samej intensywności

Steady-state diameter distribution for two stands with the same basal area ($G > 39,5 \text{ m}^2/\text{ha}$) but different incremental dynamics of trees in specified diameter classes. In both the stands, the cutting intensity is the same



Ryc. 5.

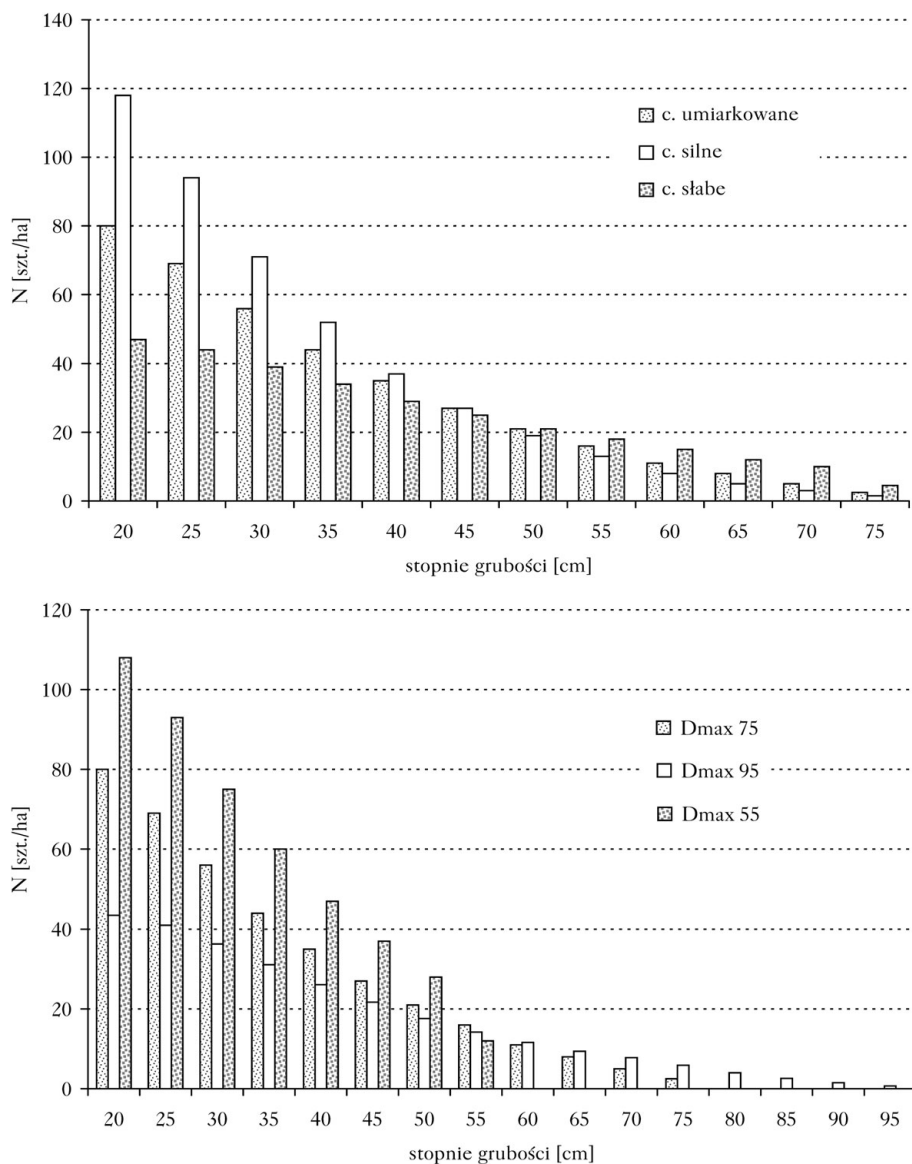
Przyjęte w symulacjach warianty postępowania hodowlanego różniące się intensywnością cięć (wykres górny) oraz pierśnicą docelową (wykres dolny)

Adopted simulation variants of silvicultural treatment differing in cutting intensity (top graph) and target diameter (bottom graph)

(słaba, umiarkowana i silna) (ryc. 5). Stopień umiarkowany odpowiadał przeciętnej intensywności cięć w szwajcarskich drzewostanach przerębowych przedstawionej przez Schütza [1975]. W stopniu słabym oraz silnym intensywność cięć została odpowiednio zmniejszona lub zwiększona o 50%. Z uwagi na szerszy materiał empiryczny wykorzystany przy estymacji parametrów oraz pewną genezę drzewostanów (lasy zagospodarowane przerębowo od wielu dziesięcioleci),

w dalszych symulacjach wykorzystano parametry wyznaczone dla szwajcarskich lasów przerębowych, przyjmując dolny próg pierśnicowania 17,5 cm.

Jak wynika z ryciny 6, zmniejszenie intensywności cięć (a co za tym idzie, zmniejszenie presji selekcyjnej) pozwala zmniejszyć liczbę drzew cienkich oraz zwiększyć liczbę drzew w większych stopniach grubości. Podobny wpływ na strukturę pierśnic drzewostanu wywiera



Ryc. 6.

Zrównoważone rozkłady pierśnic dla wariantów postępowania hodowlanego różniących się intensywnością cięć (wykres górny) oraz pierśnicą docelową (wykres dolny). Wszystkie drzewostany mają identyczne pierśnicowe pole przekroju ($39,5 \text{ m}^2/\text{ha}$)

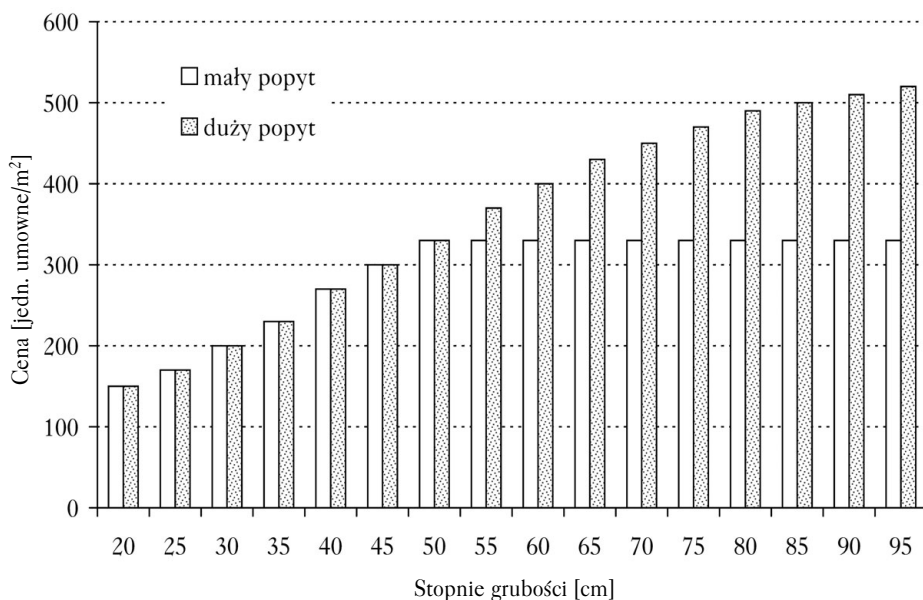
Steady-state diameter distributions for variants differing in cutting intensity (top graph) and target diameter (bottom graph). All the stands are of the same basal area ($39,5 \text{ m}^2/\text{ha}$)

zwiększenie pierśnicy docelowej: przy większej pierśnicy docelowej rozkład charakteryzuje się relatywnie mniejszą liczbą cienkich drzew (ryc. 6).

Wpływ intensywności cięć oraz pierśnicy docelowej na przyrost wartości drzewostanów

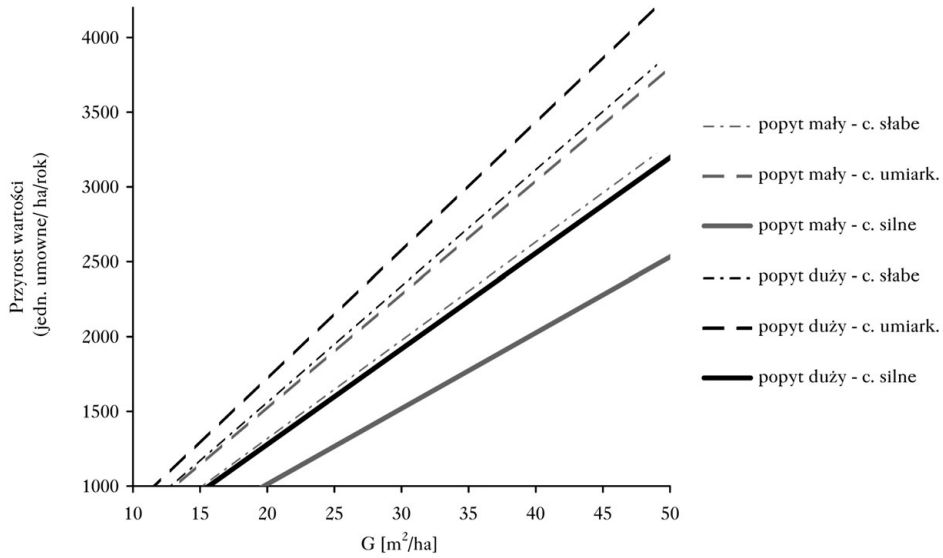
W celu zilustrowania wpływu intensywności selekcji oraz pierśnicy docelowej na przyrost wartości drzewostanów, przyrost pierśnicowego pola przekroju pomnożono przez umowną wielkość odzwierciedlającą zwiększanie się wartości pozyskiwanych drzew przy wzroście ich średnicy. Przyjęto dwa scenariusze: pierwszy zakładający stały wzrost wartości przy wzroście średnicy (scenariusz dużego popytu na grube sortymenty) oraz drugi, w którym wartość wzrasta do pierśnicy 55 cm, a później utrzymuje się na takim samym poziomie (scenariusz małego popytu na grube sortymenty) (ryc. 7). Względne wartości zostały tak dobrane, aby odzwierciedlały aktualną relację cen na sortymenty drewna okrągłego według obowiązującej klasyfikacji jakościowo-wymiarowej oraz realny wzrost udziału sortymentów wyższej jakości w większych stopniach grubości wynikający z ciągłej pielęgnacji zapasu. W symulacjach nie uwzględniono trudnego do przewidzenia wzrostu jakości drzewostanu w miarę zwiększania intensywności cięć (i wynikającej stąd większej presji selekcyjnej) oraz ryzyka ewentualnej deprecjacji surowca przy wzroście maksymalnej pierśnicy.

Z ryciny 8 wynika, że przy porównywalnym pierśnicowym polu przekroju drzewostanu największego przyrostu wartości można oczekiwać przy umiarkowanej intensywności cięć, zarówno przy małym jak i przy dużym popycie na grube sortymenty. W obu przypadkach najmniejszy przyrost wartości wystąpił przy silnych cięciach. Przy małej intensywności cięć większy przyrost wartości liczniejszych grubych drzew nie był w stanie zrekompensować mniejszego przyrostu pierśnicowego pola przekroju mniej licznych drzew średniej grubości.



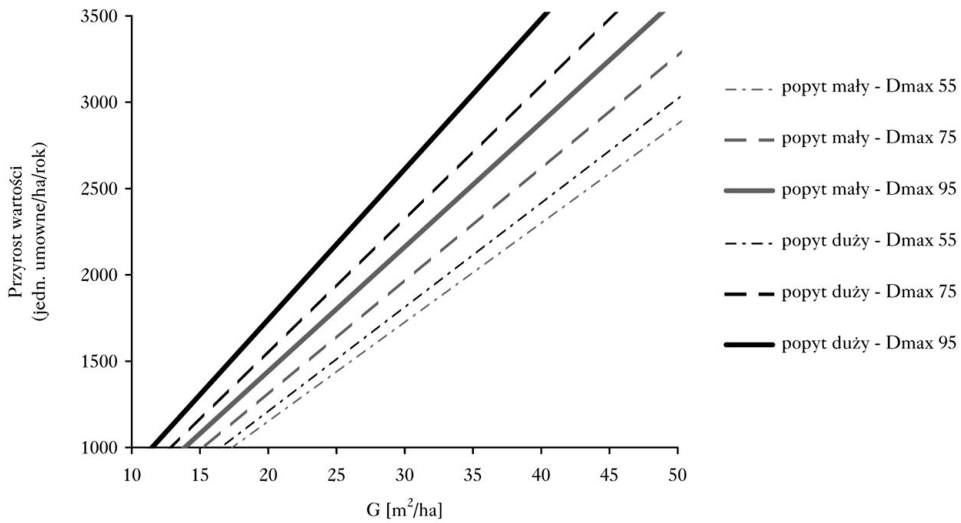
Ryc. 7.

Przyjęte w symulacjach dwa scenariusze popytu na grube sortymenty
Two scenarios of large timber demand applied in the simulations



Ryc. 8.

Zależność przyrostu wartości drzewostanów od pierśnicowego pola przekroju oraz intensywności cięć
Relationship between the stand value increment and the basal area and cutting intensity



Ryc. 9.

Zależność przyrostu wartości drzewostanów od pierśnicowego pola przekroju oraz pierśnicy docelowej
Relationship between the stand value increment and the basal area and target diameter

Niezależnie od scenariusza popytu na grube sortymenty, zwiększenie pierśnicy docelowej zawsze prowadziło do zwiększenia przyrostu wartości drzewostanu (ryc. 9). Efekt ten należy tłumaczyć wzrostem udziału grubych drzew, których relatywnie duży przyrost ma istotny wpływ na przyrost wartości całego drzewostanu.

Dyskusja i wnioski

Przy wyznaczaniu rozkładów pierśnic wykorzystano prosty model dynamiki drzewostanu, w którym przyjęto szereg uproszczeń. Pierwszym z nich jest założenie, że las przerębowy wykazuje idealnie homogeniczną teksturę. W rzeczywistości jednak las przerębowy rzadko spełnia ten warunek i z reguły cechuje się występowaniem płatów o mniej lub bardziej zadowalającej budowie pionowej z nierównomiernie rozmieszczonymi drzewami dolnej warstwy i grupami odnowienia [Paluch 2003]. W konsekwencji, pierśnicowe pole przekroju całego drzewostanu może wykazywać dość luźny związek z przyrostem drzew w poszczególnych jego fragmentach, a tempo przechodzenia drzew do kolejnych stopni grubości, przyjęte w modelu jako stałe, może się zmieniać wraz ze zmianą struktury przestrzennej drzewostanu. Warto zaznaczyć, że chociaż włączenie elementu struktury przestrzennej do modelu dynamiki drzewostanu jest możliwe [Hanewinkel, Pretzsch 2000] i z pewnością prowadzi do zwiększenia dokładności prognozy jego rozwoju, to jednak czyni uzyskane wyniki mniej uniwersalnymi.

Kolejnym problemem jest duża zmienność przyrostu grubych drzew, który często jest skorelowany silniej z kondycją poszczególnych osobników oraz historią ich życia niż z presją konkurencyjną sąsiedztwa [Jaworski, Paluch 2002]. W takim przypadku prognozowanie przyrostu pierśnicy drzew warstwy górnej jedynie na podstawie mało precyzyjnego wskaźnika skumulowanego pierśnicowanego pola przekroju oraz przyjęcie założenia, że żywotność drzew tego samego stopnia grubości nie zmienia się w czasie, może prowadzić do istotnych błędów. Z drugiej strony należy zauważyć, że w intensywnie zagospodarowanych drzewostanach, gdzie konsekwentnie prowadzona selekcja stopniowo eliminuje drzewa z symptomami osłabienia, a warstwa górna składa się z wyselekcjonowanej elity vitalnych osobników, problem ten staje się mniej dotkliwy.

Procesy odnowieniowe są jednymi z najtrudniejszych do przewidzenia elementów dynamiki lasu [Kolström 1993]. Pojawianie się odnowienia i jego przeżywalność może być kontrolowana przez wiele czynników, z których tylko niektóre mogą wykazywać bezpośredni związek z zasobnością drzewostanu stanowiącą podstawę konstrukcji zastosowanego modelu [Grassi i in. 2004]. Szczególnie warunki świetlne na dnie lasu, decydujące o tempie wzrostu odnowienia, mogą być w małej skali przestrzennej silniej modyfikowane przez korony niższych drzew, o stosunkowo małym udziale miąższościowym, niż przez korony drzew grubych i wysokich, decydujących o zasobności drzewostanu [Parker 1997; Brandeis i in. 2001]. Ponadto, z obszernych badań prowadzonych w karpackich drzewostanach o charakterze przerębowym wynika, że odnowienie jodły częściej pojawia się w płatach drzewostanów o relatywnie większym lokalnym pierśnicowym polu przekroju niż w lukach. Sugeruje to, że zmniejszenie zasobności drzewostanu nie zawsze musi prowadzić do zwiększenia liczby odnowienia [Paluch 2003]. Dużą zmienność liczby dorostu w poszczególnych okresach kontrolnych w lasach przerębowych obrazują również wyniki zamieszczone przez Bachofena [1999]. Trudności te skłoniły autora do przyjęcia stosunkowo wysokiego progu pierśnicowania (17,5 cm), przy którym związek pierśnicowego pola przekroju i liczby dorostu jest wyraźny i statystycznie potwierdzony. Takie rozwiązanie utrudnia jednak rejestrowanie wpływu zmian struktury i zasobności drzewostanu na procesy odnowieniowe, a przez to wiarygodną kontrolę dynamiki drzewostanu [Duc 1991]. W praktycznych zastosowaniach należałoby więc starannie analizować wpływ zmian zasobności i struktury drzewostanu na liczebność pojawiającego się odnowienia i stosownie modyfikować wstępnie przyjęte założenia.

W odróżnieniu od statycznych wzorców opartych na teoretycznych krzywych rozkładu [Meyer 1933], przedstawiony model ma charakter dynamiczny, to znaczy bazuje na wzajemnych

zależnościach między przyrostem drzew w kolejnych stopniach grubości oraz pożądaną intensywnością selekcji. Ponadto stwarza możliwości dostosowania rozkładu pierśnic do potrzeb hodowlanych, a nie na odwrót, jak w przypadku modeli statycznych, w których intensywność cięć w poszczególnych stopniach grubości bezpośrednio wynika z rozbieżności między rozkładem empirycznym i teoretycznym.

W literaturze dotyczącej problematyki lasu przerębowego często spotykany jest termin „optymalny zapas” sugerujący możliwość wskazania miąższości drzewostanu, przy której możliwe jest trwałe utrzymanie struktury przerębowej z jednej strony i zapewnienie maksymalnego przyrostu wartości z drugiej. W prezentowanej koncepcji potencjalnie możliwe zrównoważone rozkłady pierśnic tworzą continuum, a wybór wariantu optymalnego zależy od cech drzewostanu oraz zmieniających się w czasie uwarunkowań ekonomicznych. W konsekwencji, termin „optymalny zapas” powinien być rozumiany nie jako uniwersalny cel hodowlany, ale jako zasobność odpowiadająca tymczasowo przyjętemu zrównoważonemu rozkładowi pierśnic.

Uzyskane wyniki pozwalają na wysunięcie kilku wniosków o bardziej ogólnym charakterze:

- ✦ Przy mniejszej intensywności cięć przerębowych oraz większej pierśnicy docelowej zrównoważone rozkłady pierśnic charakteryzują się relatywnie mniejszą liczbą drzew w najcieńszych stopniach grubości.
- ✦ W danych warunkach siedliskowych, dla różnych kombinacji pierśnic docelowych oraz strategii selekcyjnych, istnieje nieskończenie wiele punktów równowagi lasu przerębowego.
- ✦ Dla określonej pierśnicy docelowej oraz określonej strategii selekcyjnej istnieje tylko jeden rozkład pierśnic, przy którym drzewostan w pełni wykorzystuje możliwości produkcyjne siedliska.
- ✦ Zwiększenie pierśnicowego pola przekroju drzewostanu prowadzi do zwiększenia jego przyrostu wartości.
- ✦ Istnieje taka intensywność cięć przerębowych, przy której przyrost wartości drzewostanu jest największy. Zbyt duża lub zbyt mała intensywność cięć zmniejsza przyrost wartości drzewostanu.
- ✦ W typowych sytuacjach rynkowych, gdy uzyskiwana na rynku cena przynajmniej w pewnym zakresie wzrasta wraz ze wzrostem średnicy pnia, zwiększenie docelowej pierśnicy prowadzi do zwiększenia przyrostu wartości drzewostanu.
- ✦ Różnice w przyroście wartości drzewostanu dla poszczególnych wariantów intensywności cięć oraz różnych pierśnic docelowych zwiększają się wraz ze wzrostem zasobności drzewostanu.

Literatura

- Bachofen H. 1999. Gleichgewicht, Struktur und Wachstum in Plenterbeständen. Schweiz. Z. Forstwes. 150: 157-170.
- Bigler Ch., Bugmann H. 2003. Growth-dependent tree mortality models based on tree rings. Can. J. For. Res. 33: 210-221.
- Brandeis Th. J., Newton M., Cole E. 2001. A comparison of overstory density measures for describing understory conifer growth. For. Ecol. Manage. 152: 149-157.
- Buongiorno J. 2001. Quantifying the implications of transformation from even to uneven-aged forest stands. For. Ecol. Manage. 151: 121-132.
- Duc Ph. 1991. Untersuchungen zur Dynamik des Nachwuchses im Plenterwald. Schweiz. Z. Forstwes. 142: 299-319.
- Grassi G., Minotta G., Tonon G., Bagnaresi U. 2004. Dynamics of Norway spruce and silver fir natural regeneration in a mixed stand under uneven-aged management. Can. J. For. Res. 34: 141-149.
- Hanewinkel M., Pretzsch H. 2000. Modelling the conversion from even-aged to uneven-aged stands of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) with a distance-dependent growth simulator. For. Ecol. Manage. 134: 55-70.
- Hanewinkel M. 2001a. Economic aspects of the transformation from even-aged pure stands of Norway spruce to uneven-aged mixed stands of Norway spruce and beech. For. Ecol. Manage. 151: 181-193.

24 Jarosław Paluch

- Hanewinkel M. 2001b.** Financial results of selection forest enterprises with high proportions of valuable timber – results of an empirical study and their Application. *Schweiz. Z. Forstwes.* 152: 343-349.
- Jaworski A. 2000.** Zasady hodowli lasów górskich na podstawach ekologicznych. W: R. Poznański, A. Jaworski [red.]. *Nowoczesne metody zagospodarowania w lasach górskich*, 80-228. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Jaworski A., Paluch J. 2002.** Factors affecting the basal area increment of the primeval forests in the Babia Góra National Park, Southern Poland. *Forstw. Cbl.* 121: 97-108.
- Knoke Th. 1998.** Analyse und Optimierung der Holzproduktion in einem Plenterwald – zur Forstbetriebsplanung in ungleichaltrigen Wäldern. *Forstliche Forschungsberichte* 100, 182.
- Kolström T. 1993.** Modelling the development of an uneven-aged stand of *Picea abies*. *Scand. J. For. Res.* 8: 373-383.
- Meyer A. H. 1933.** Eine mathematisch-statistische Untersuchung über den Aufbau des Plenterwaldes. *Schweiz. Z. Forstwes.* 84: 33-46, 88-103, 124-131.
- Mohr C., Schori Ch. 1999.** Femelschlag oder Plenterung – Ein Vergleich aus betriebswirtschaftlicher Sicht. *Schweiz. Z. Forstwes.* 150: 49-55.
- Nord-Larsen Th., Bechsgaard A., Holm M., Holten-Andersen P. 2003.** Economic analysis of near-natural beech stand management in Northern Germany. *For. Ecol. Manage.* 184: 149-165.
- Paluch J. 2003.** Procesy kształtujące przestrzenny wzorec rozmieszczenia drzew w eutroficznych jedlinach karpaczkich o charakterze przerębowym. Praca doktorska wykonana w Katedrze Szczegółowej Hodowli Lasu AR w Krakowie. Akademia Rolnicza w Krakowie. 101.
- Parker G. G. 1997.** Canopy structure and light environment of an old-growth Douglas-fir/western hemlock forest. *Northwest Science* 71: 261-270.
- Schütz, J. P. 1975.** Dynamique et conditions d'équilibre de peuplements jardinés sur les stations de la hêtre à sapin. *Schweiz. Z. Forstwes.* 126: 637-671.
- Schütz J. P. 2001.** Der Plenterwald – und weitere Formen strukturierter und gemischten Wälder. Parey Buchverlag, Berlin. 240.

SUMMARY

Optimisation of the diameter distribution in the selection forest

The paper describes the effect of selected silvicultural procedures differing in target diameter and cutting intensity on diameter equilibrium curves in selection forests. Two price scenarios reflecting little and strong demand for large-sized wood were analysed for their effect on the stand value increment. Limitations of the applied model were discussed.

Performed simulations revealed that with the lower intensity of selection cuttings and with the larger target diameter, the steady-state diameter distributions are characterised by the relatively lower number of trees in the thinnest diameter classes. For different combinations of target diameters and selection strategies under the given site conditions there is an indefinite number of diameter equilibrium curves. For a given target diameter and selection cutting intensity there is only one existing diameter distribution at which a stand can fully use the productive potential of the site. In typical market situations when the rise in market price of timber, at least to some extent, goes along with the increase of stem diameter, the enlargement of stand volume or target diameters results in the rise in value increment of a stand. Too heavy or too light cuttings bring about the reduction in the value increment.