

EDGARAS LINKEVIČIUS, SZYMON BIJAK, KŠIŠTOF GODVOD, EDMUNDAS PETRAUSKAS, DAIVA TIŠKUTĖ-MEMGAUDIENĖ, RASA VALIUKAITĖ, ARNOLDAS ŠAPOKAS, ROKAS ŠATINSKAS

Wpływ trzebieży na wzrost i produktywność drzewostanów sosnowych na przykładzie doświadczenia w Kazlų Rūda (Litwa)

Impact of thinning on the growth and yield of Scots pine stands – a case study from Kazlų Rūda (Lithuania)

ABSTRACT

Linkevičius E., Bijak S., Godvod K., Petrauskas E., Tiškutė-Memgaidienė D., Valiukaitė R., Šapokas A., Šatinskas R. 2019. Wpływ trzebieży na wzrost i produktywność drzewostanów sosnowych na przykładzie doświadczenia w Kazlų Rūda (Litwa). Sylwan 163 (9): 726-739. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2019067>.

One of the main tasks for the forest managers is to form the highly productive stands, and it is mainly performed by applying intermediate cuttings during the stand development. As the impact of thinning on the premature Scots pine, commercially most important species in Lithuania, has not been sufficiently investigated yet, our objective was to evaluate the impact of such treatments on the growth and yield of the pine stands by using data from the long term experimental plots. The described thinning experiment was established in 1983 in Kazlų Rūda (54.760395°N, 23.517736°E), in the 30-years-old Scots pine forest, growing in oligotrophic site conditions. Four square plots with the size of 0.25 ha each were set. The first one (5) was left as a control variant with no thinning, while the others were subjected to the treatments of different intensity. In variant 5A (slightly thinned) 15% of the basal area compared to the control plot was removed. Accordingly, in variant 5B (moderate thinning) 25% and in variant 5C (heavy thinning) 40% of basal area was subtracted. No additional thinning was implemented further during the experiment. Plots were re-measured at least 4 times with the last measurement in 2016, when the stand was 63 years old. The main result of this study was that after the 33 years no evident effect of various intensity of silvicultural treatments can be seen as the growth and yield of the un-thinned forest stand was the highest compared to the thinned ones. Growth and yield in the most intensely thinned stand reached 86 and 85% compared to the control variant, respectively. The best productive results were found for moderate thinning (92 and 89% of growth and yield of the un-thinned stand), while the worst – in the slightly thinned 5A variant (77 and 83% of values for the control stand). Further on, the number of trees and competition level in all plots were very different when the experiment was established. Yet after 33 years, these differences were remarkably reduced. Accordingly, the diameter distributions, being very different at the beginning of the experiment, eventually became very similar in all experimental plots. Finally, the results showed that in un-thinned forest stand, natural mortality (self-thinning) of trees adjusted its density just in time. Thus this stand managed to keep its growing energy in later periods, avoiding degradation or destruction predicted by some theories.

KEY WORDS

Scots pine, intermediate cuttings, growth and yield, long-term experiment

ADDRESSES

Edgaras Linkevičius ⁽¹⁾ – e-mail: edgaras.linkevicius@asu.lt

Szymon Bijak ⁽²⁾, Kšištof Godvod ⁽³⁾, Edmundas Petrauskas ⁽¹⁾, Daiva Tiškutė-Memgaidienė ⁽¹⁾, Rasa Valiukaitė ⁽¹⁾, Arnoldas Šapokas ⁽¹⁾, Rokas Šatinskas ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Miškotvarkos ir medienotyros institutas, Vytauto Didžiojo Universitetas; Studentų 11, 53361 Akademija, Litwa

⁽²⁾ Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽³⁾ Miško biologijos ir miškininkystės institutas, Vytauto Didžiojo Universitetas; Studentų 11, 53361 Akademija, Litwa

Wstęp

Jednym z głównych celów gospodarki leśnej jest uzyskanie drzewostanów cechujących się wysoką produktywnością. Zależy ona od wielu czynników, m.in. takich jak genetyczne właściwości drzew, warunki klimatyczne i żyzność gleby, wiek, struktura drzewostanu oraz stosowane zabiegi gospodarcze [Assmann 1970; Antanaitis, Zagreev 1981; Grigaliūnas 1997; Pretzsch 2009; Juodvalkis, Kairiūkštis 2009; Ankudo-Jankowska i in. 2013]. Leśnicy w celu odpowiedniego prowadzenia drzewostanu i zwiększenia jego produktywności stosują zabiegi hodowlane, które pozwalają na dostosowanie do oczekiwanego składu gatunkowego i osiągnięcie wymaganego zagęszczenia oraz produktywności [Brzeziecki 2005; Juodvalkis, Kairiūkštis 2009]. Prawidłowe prowadzenie cięć ma także zwiększać odporność drzewostanu na zagrożenia ze strony czynników biotycznych i abiotycznych oraz poprawiać jakość surowca drzewnego [Zachara 2017; Łukaszewicz, Zajączkowski 2019].

W kwestii wpływu cięć przedrębnych (a zwłaszcza trzebieży) na produktywność drzewostanów zdania badaczy są wciąż podzielone. Hamilton [1976], Antanaitis i Zagreev [1981], Lockow [2003], Peltola i in. [2007] czy Pretzsch [2009] podają przykłady zwiększenia produktywności drzewostanów w wyniku cięć. Z kolei Curtis i in. [1997], Mäkinen i Isomäki [2004], Skovsgaard [2009] czy Nilsson i in. [2010] obserwowali najwyższą produktywność w nietrzebionych drzewostanach kontrolnych. Zwykle tę różnicę opinii tłumaczy się nieporównywalną metodologią badań, odmienną strukturą drzewostanów lub różnymi warunkami siedliskowymi, zwłaszcza klimatycznymi, w których prowadzone były badania [Juodvalkis, Kairiūkštis 2009].

Podejście do znaczenia trzebieży i ich nasilenia zmieniało się w czasie [Łukaszewicz, Zajączkowski 2019]. Zabiegi, które kiedyś określano jako „silne”, dziś uznawane są za „słabe”, natomiast dawne cięcia o „ekstremalnym” nasileniu obecnie traktowane są jako „silne” [Zachara 2017]. Do końca XX wieku na Litwie dominowało jednoznaczne podejście, że cięcia pielęgnacyjne zwiększają produktywność drzewostanu [Kairiūkštis 1973; Kairiūkštis, Juodvalkis 1985; Antanaitis i in. 1986; Kuliešis 1989]. Obowiązująca wówczas teoria produktywności i rozwoju drzewostanu wyraźnie wskazywała, że intensywnie rozrzedzane drzewostany są najbardziej produktywne, podczas gdy drzewa rosnące w dużym zagęszczeniu skazane są na powolną degradację, wynikającą z nadmiernej konkurencji [Kuliešis 1989]. Jednakże koncepcje te opierały się bardziej na osobistych przekonaniach autorów niż na „twardych” danych z doświadczeń długoterminowych. Na początku XXI wieku twierdzono już, że tylko wykonując zabieg w początkowej fazie życia drzew (wiek 10-30 lat), można uzyskać dodatkowy (intensywniejszy) przyrost [Juodvalkis i in. 2005]. Podobne wnioski wyciągnął także Zachara [2017] na podstawie badań w południowo-wschodniej Polsce. Z drugiej strony Kuliešis i in. [2010] obserwowali, że produk-

cyjność trzebiej soseny w wieku 24 lat stanowiła tylko 45-85% produkcji drzewostanów na stanowiskach kontrolnych (bez zabiegu). Również Aleinikovas i in. [2016] wykazali, że największy przyrost miąższości uzyskiwano w drzewostanach kontrolnych (nietrzebionych).

Celem pracy była ocena wpływu trzebieży na wzrost i produktywność drzewostanów sosnowych rosnących na siedlisku oligotroficznym w oparciu o długoterminowe dane eksperymentalne. W pracy dokonano oceny zmienności cech drzewostanu przy różnym nasileniu zabiegu, w szczególności zmian wskaźników konkurencji oraz miar dynamiki produktywności.

Materiał i metody

Omawiane w pracy doświadczenie trzebieżowe zostało założone w 1983 roku w 30-letnim litym drzewostanie sosnowym położonym w okolicy miejscowości Kazlų Rūda (54,760395°N, 23,517736°E). Drzewostan ten jest naturalnego pochodzenia i rośnie w warunkach oligotroficznego typu lasu *Vaccini-myrtilloso* na glebach o przeciętnej wilgotności i niewielkiej żyzności [Petrauskas 1990]. Siedliskowy typ lasu według polskiej klasyfikacji siedlisk w przybliżeniu można określić na bór świeży.

Doświadczenie składa się z 4 stałych powierzchni badawczych w formie kwadratów o boku 50 m każdy (0,25 ha). Powierzchnie te różnią się nasileniem przeprowadzonego w 1983 roku zabiegu trzebieży dolnej. Na powierzchni 5A usunięto 15%, 5B – 25%, a 5C – 40% pierścicowego pola przekroju w stosunku do wartości początkowej dla wariantu kontrolnego (5), w którym nie przeprowadzono żadnych cięć. W ciągu trwania doświadczenia w badanych drzewostanach nie wykonywano żadnych dodatkowych zabiegów.

Na wszystkich powierzchniach pomiary wykonano w latach 1985, 1996, 2008 i 2016. Dodatkowo powierzchnia 5A została pomierzona w 1988 roku, a powierzchnie 5B i 5C – w latach 1988 i 1990. Przy zakładaniu doświadczenia wszystkie drzewa na każdej powierzchni ponumerowano i wyznaczono ich współrzędne względem północno-zachodniego narożnika kwadratu. Przy okazji oceniono również ich kondycję (stan zdrowotny). Pierścicę wszystkich drzew mierzono z dokładnością 1 mm, a wysokość ustalano dla co piątego drzewa z dokładnością 0,5 m. Po każdym pomiarze wysokość była modelowana dla każdej powierzchni oddzielnie przy użyciu funkcji [Michailoff 1943]:

$$h = 1,3 + e^{\left(\frac{a_0}{d} + a_1\right)} \quad [1]$$

gdzie:

d – pierśnica [cm],

a_0, a_1 – współczynniki równania.

Zagęszczenie wyliczano w przeliczeniu na hektar oddzielnie na podstawie liczby drzew żywych lub martwych. Stopień konkurencji został oceniony na podstawie dynamiki wskaźnika konkurencji CI [Kuliešis i in. 2010, 2012]. Wskaźnik ten charakteryzuje wykorzystanie przestrzeni wzrostu przez drzewa w drzewostanie:

$$CI = \frac{H_q}{10000} \cdot N \quad [2]$$

gdzie:

H_q – średnia wysokość drzewostanu [m],

N – zagęszczenie [drzew/ha].

Wartość CI równa 1 wskazuje na początek rywalizacji między drzewami (zaistnienie konkurencji). Z kolei gdy wskaźnik ten jest większy niż 4 (zwłaszcza w młodym drzewostanie), oznacza to silne

zwarcie, skutkujące nadmiernie ograniczoną przestrzenią wzrostu drzew i wynikającym z tego zmniejszonym potencjałem wzrostu, co grozi degradacją drzewostanu [Kuliešis 1989].

Dla pierwszego i ostatniego pomiaru (odpowiednio rok 1983 i 2016) wyznaczono również rozkład grubości drzew w drzewostanie, co posłużyło do oceny zmian struktury drzewostanu w poszczególnych wariantach zabiegu.

Potencjalną produktywność badanych drzewostanów (bonitację wzrostową) oceniono za pomocą wysokości (H_{AB}) i pierśnicy (D_{AB}) w wieku bazowym 100 lat, które określano następującymi wzorami [Kuliešis 1993]:

$$H_{AB} = \frac{H_q - 1,3 - 0,034 \cdot (A - A_B)}{1 + 0,0022191 \cdot (A - A_B) - 0,000037747 \cdot (A - A_B)^2 + 0,00000040062 \cdot (A - A_B)^3} + 1,3 \quad [3]$$

$$D_{AB} = \frac{D_q - 1,3 - 0,031 \cdot (A - A_B)}{1 + 0,0044824 \cdot (A - A_B) - 0,000036319 \cdot (A - A_B)^2 + 0,00000018858 \cdot (A - A_B)^3} + 1,3 \quad [4]$$

gdzie:

D_q – przeciętna pierśnica przekrojowa [cm]:

$$D_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k d_i^2}{n}} \quad [5]$$

d_i – pierśnica drzewa i [cm],

n – liczba drzew,

H_q – średnia wysokość drzewostanu [m]:

$$H_q = 1,3 + e^{\left(\frac{a_0}{D_q} + a_1\right)} \quad [6]$$

a_0, a_1 – współczynniki ze wzoru [1],

A – obecny wiek drzewostanu [lata],

A_B – bazowy wiek drzewostanu (przyjęto 100 lat).

Parametry dla drzew wydzielających się wyliczono w sposób analogiczny jak dla drzew żywych, korzystając jednak z danych z wcześniejszych pomiarów.

Przyrost pierśnicy analizowano w trzech okresach: 1983-1996, 1996-2008 i 2008-2016. Dla każdego z nich liczono różnicę grubości poszczególnych drzew na końcu i początku badań, a następnie średni przyrost pierśnicy w czasie całego doświadczenia wyznaczono jako średnią arytmetyczną tych różnic. W przypadku tego parametru w obliczeniach nie uwzględniano drzew, które się wydzieliły. Intensywność wydzielania się drzew w drzewostanie oceniono jednakże na podstawie zależności zaproponowanej przez Reinekego [1933]:

$$\ln(N) = a_1 \cdot \ln(D_q) + a_0 \quad [7]$$

gdzie:

N – zagęszczenie [drzew/ha],

D_q – przeciętna pierśnica przekrojowa wyliczona wzorem [5].

Współczynnik kierunkowy a_1 w równaniu [7] wskazuje procentową redukcję zagęszczenia drzew w drzewostanie przy wzroście przeciętnej pierśnicy o 1% [Pretzsch 2009].

Zadrzewienie (stopeń zadrzewienia) zostało obliczone jako stosunek sumarycznej miąższości drzew w drzewostanie do wartości obliczonej według następującego wzoru [Kuliešis 1993]:

$$V_s = -11,7778 + 11,077778 \cdot H_q + 0,255555 \cdot H_q^2 \quad [8]$$

Do określenia miąższości drzew stojących wykorzystano liczbę kształtu f_s wyliczaną ze wzoru opracowanego przez Kuliešisa [1993]:

$$f_s = 0,41097 + \frac{0,47997}{h} + \frac{1,02196}{d} + \frac{0,12880}{d \cdot h} - \frac{2,84120}{d^2} + \frac{6,3796}{d^2 \cdot h} \quad [9]$$

Bieżący roczny przyrost miąższości obliczono zgodnie ze wzorem:

$$Z_v = \frac{V_A - V_{A-1} + V_I}{T} \quad [10]$$

gdzie:

- V_A – miąższość drzew rosnących podczas danego pomiaru [m^3/ha],
- V_{A-1} – miąższość drzew rosnących podczas poprzedniego pomiaru [m^3/ha],
- V_I – miąższość drzew, które się wydzieliły między kolejnymi pomiarami [m^3/ha],
- T – liczba lat między pomiarami.

Miąższość drzew, które się wydzielały, była określana analogicznie jak w przypadku drzew żywych, ale z wykorzystaniem danych z wcześniejszego pomiaru.

Sumaryczną produkcję drzewostanu (GY [m^3/ha]) dla poszczególnych pomiarów określano według wzoru:

$$GY = V_A + V_I + V_K \quad [11]$$

gdzie:

- V_A – miąższość drzew rosnących podczas danego pomiaru [m^3/ha],
- V_I – miąższość drzew, które się wydzieliły między kolejnymi pomiarami [m^3/ha],
- V_K – miąższość drzew usuniętych podczas trzebieży [m^3/ha].

W celu określenia dynamiki produktywności badanych drzewostanów związanej z różnym nasileniem trzebieży dla każdego pomiaru ustalono stosunek miąższości drzewostanu głównego i sumarycznej produkcji w danym wariantcie trzebieży w odniesieniu do wartości dla wariantu kontrolnego (odpowiednio $V_{\%}$ i $GY_{\%}$):

$$V_{\%} = \frac{V_{5A/5B/5C}}{V_5} \cdot 100\% \quad [12]$$

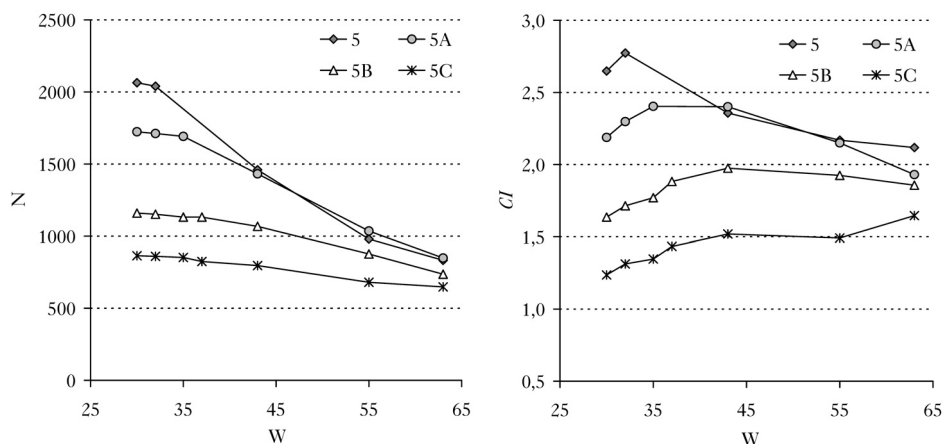
$$GY_{\%} = \frac{GY_{5A/5B/5C}}{GY_5} \cdot 100\% \quad [13]$$

gdzie:

- $V_{5A/5B/5C}$ – miąższość drzewostanu głównego w danym wariantcie trzebieży,
- V_5 – miąższość drzewostanu głównego w wariantcie kontrolnym,
- $GY_{5A/5B/5C}$ – sumaryczna produkcja w danym wariantcie trzebieży,
- GY_5 – sumaryczna produkcja w wariantcie kontrolnym.

Wyniki

ZAGĘSZCZENIE I KONKURENCJA. Największy spadek liczby drzew w ciągu trwania całego doświadczenia wystąpił w wariantcie kontrolnym (z 2064 do 832 szt./ha), najmniejszy zaś – w wariantcie najsilniejszej trzebieży 5C (z 864 do 648 szt./ha). W słabo rozrzedzonym drzewostanie w wariantcie 5A dynamika liczby drzew pokrywała się od 40 roku życia z tą obserwowaną w wariantcie kontrolnym. Natomiast w drzewostanie 5B liczba drzew zmniejszała się dość równomiernie w ciągu całego eksperymentu (ryc. 1).



Ryc. 1.

Zmiana z wiekiem (W [lata]) liczby drzew (N [szt./ha]) oraz wskaźnika konkurencji (CI) w badanych wariantach trzebieży

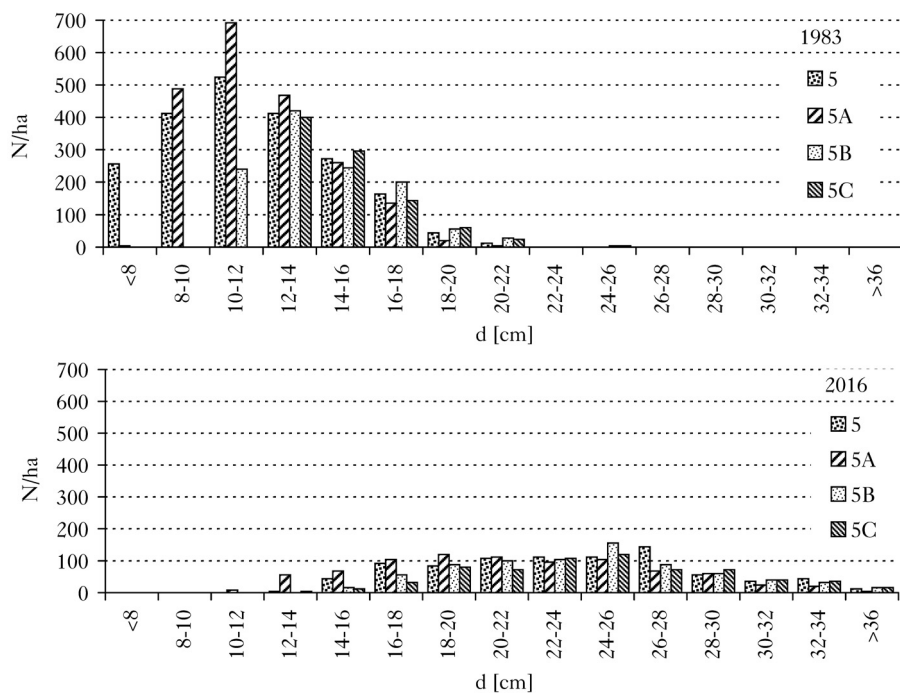
Changes over the time (W [years]) of number of trees (N [trees/ha]) and competition index (CI) in analysed thinning variants

Współczynnik konkurencji najwyższe wartości osiągał w wariantcie kontrolnym, z maksimum ($CI=2,8$) w wieku 34 lat. W wieku 63 lat przyjmował już wartość typową dla drzewostanu o normalnym zagęszczeniu (2,1). W wariantcie 5A, po 15 latach od zabiegu, poziom konkurencji był porównywalny z wariantcie kontrolnym, ale później przyjmował wartości niższe. W drzewostanach 5B i 5C wartości CI intensywnie rosły do wieku 45 lat, po czym się stabilizowały (ryc. 1).

ROZKŁAD PIERŚNIC. Rozkład pierśnic w badanych drzewostanach wyraźnie różnił się na początku eksperymentu w 1983 roku (ryc. 2), co związane było z usunięciem różnej liczby drzew w wykonanym wówczas zabiegu trzebieży dolnej. W wariantcie kontrolnym znajdowało się wtedy kilkadziesiąt drzew cienkich (o pierśnicy do 8 cm). Takich drzew nie odnotowano z kolei w wariantcie 5A. W 5B wycięto natomiast wszystkie drzewa o średnicy mniejszej niż 10 cm, a w 5C pozostawiono jedynie drzewa o pierśnicy większej niż 12 cm. Udział drzew najgrubszych (>18 cm pierśnicy) był we wszystkich wariantach zbliżony. Z kolei na końcu eksperymentu w 2016 roku struktura grubości w badanych drzewostanach była bardzo zbliżona niezależnie od nasilenia zabiegu sprzed 30 lat (ryc. 2). W drzewostanie kontrolnym i w najintensywniej trzebionym było kilkadziesiąt drzew o średnicy mniejszej niż 16 cm oraz ponad 30 cm. Podobny udział drzew najcieńszych i najgrubszych dotyczy stanowisk 5A i 5B. Zaobserwowano też drzewa, które słabo rosły i nie były w stanie wykorzystać przestrzeni wzrostu, jaka pojawiła się po wykonaniu zabiegu.

BONITACJA WZROSTOWA. Potencjalna produktywność badanych drzewostanów określana za pomocą bonitacji wzrostowej według wysokości (H_{AB}) i według pierśnicy (D_{AB}) znacznie różniła się w analizowanych wariantach do 42 roku życia (ryc. 3). W wariantach 5 i 5A wartość H_{AB} oscylowała wówczas około 27-28 m, natomiast w 5B i 5C wynosiła około 30 m. Od 55 roku życia badanych drzewostanów wartości bonitacji wzrostowej według wysokości na stanowiskach 5, 5B i 5C nie różniły się zbytnio i dla ostatniego pomiaru osiągnęły 31 m. Natomiast w wariantcie 5A były wyraźnie niższe (28 m).

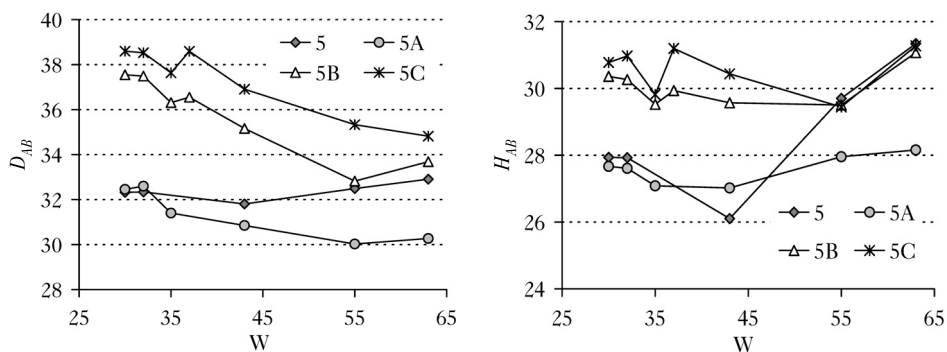
W przypadku bonitacji wzrostowej według pierśnicy podczas pierwszych pomiarów wartości D_{AB} w wariantach 5 i 5A były wyraźnie niższe niż w 5B i 5C (32 wobec 37-38 cm). Natomiast od



Ryc. 2.

Rozkłady pierścni w badanych drzewostanach w 1983 i 2016 roku

Diameter distributions of trees in analysed stands in years 1983 and 2016



Ryc. 3.

Zmiana z wiekiem (W [lata]) bonitacji wzrostowej według wysokości (H_{AB} [m]) oraz grubości (D_{AB} [cm]) w badanych wariantach trzebieżyChanges over the time (W [years]) of site index according to the height (H_{AB} [m]) or diameter (D_{AB} [cm]) in analysed thinning variants

37 roku życia wskaźnik ten w drzewostanach 5B i 5C konsekwentnie spadał i podczas ostatniego pomiaru wynosił odpowiednio 33,7 i 34,8 cm. Podobny trend odnotowano również na stoisku 5A. Dla ostatniego pomiaru wartość D_{AB} dla tego wariantu doświadczenia wynosiła 30,3 cm. Z kolei w wariantcie kontrolnym bonitacja wzrostowa pierścni w tym czasie wyraźnie wzrastała, by osiągnąć 32,9 cm przy ostatnim pomiarze.

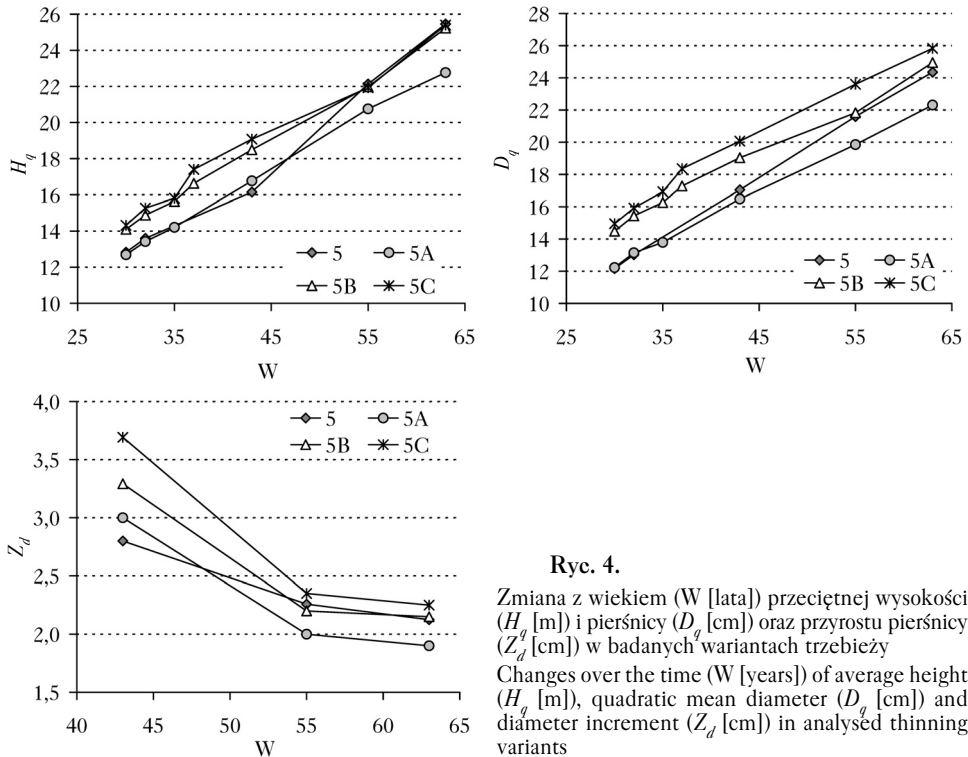
PRZECIĘTNA PIERŚNICA I WYSOKOŚĆ. Wariant najsilniejszej trzebieży charakteryzował się największą średnią wysokością drzewostanu do ostatniego pomiaru, kiedy to wyższą wartość stwierdzono dla wariantu kontrolnego (ryc. 4). Dla drzewostanu 5B obserwowano H_q nieznacznie mniejszą niż w 5C. Natomiast w wariacie najsłabszej trzebieży (5A) przeciętna wysokość była mniejsza, szczególnie podczas ostatniego pomiaru (22,8 m wobec około 25 m w pozostałych wariantach).

Analogiczne obserwacje dotyczą przeciętnej pierśnicy przekrojowej (D_q). Przez cały czas doświadczenia najwyższa była w wariacie 5C i nieznacznie mniejsza w 5B. Dla wariantu 5A wartości D_q były cały czas najniższe i podczas ostatniego pomiaru różniły się od pozostałych wariantów o 1,5-2,5 cm. Zauważalny jest wyraźny wzrost przeciętnej pierśnicy przekrojowej w wariacie kontrolnym po 37 roku życia drzewostanu i osiągnięcie poziomu tego parametru zbliżonego do wartości obserwowanych dla wariantów 5B i 5C.

PRZYROST PIERŚNICY. Najintensywniejszy przyrost pierśnicy w całym okresie stwierdzono dla wariantu 5C (ryc. 4). Po pierwszym okresie wzrostu (wiek 30-43 lata) wynosił on 3,7 cm, podczas gdy w wariacie kontrolnym było to 2,8 cm. Z czasem różnice między poszczególnymi wariantami doświadczenia się zmniejszyły i po trzecim analizowanym okresie wzrostu (wiek 55-63 lata) wynosiły zaledwie 0,35 cm (od 1,9 cm w wariacie 5A do 2,25 cm w 5C).

WYDZIELANIE SIĘ DRZEW I ZMIANY ZADRZEWIENIA. Intensywność procesu wydzielania się drzew malała wraz ze wzrostem nasilenia trzebieży (ryc. 5). Największą procentową zmianę liczby drzew potrzebną do wzrostu D_q o 1% stwierdzono na powierzchni kontrolnej (1,36%), a najmniejszą w najsilniej trzebionym drzewostanie 5C (0,56%).

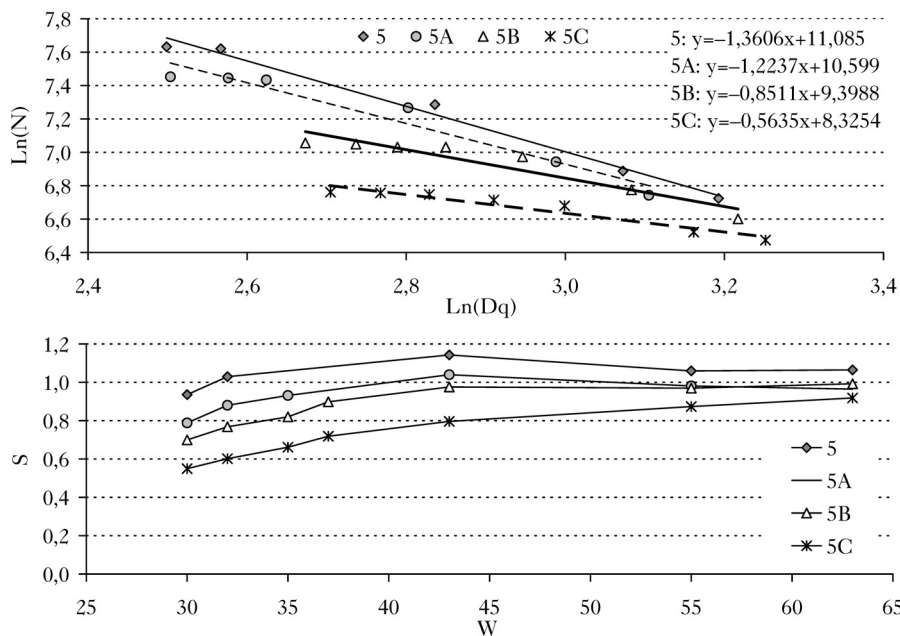
Również w przypadku zadrzewienia obserwuje się wyraźny wpływ początkowej redukcji liczby drzew w wyniku trzebieży (ryc. 5). Drzewostany 5 i 5A najwyższy stopień zadrzewienia



Ryc. 4.

Zmiana z wiekiem (W [lata]) przeciętnej wysokości (H_q [m]) i pierśnicy (D_q [cm]) oraz przyrostu pierśnicy (Z_d [cm]) w badanych wariantach trzebieży

Changes over the time (W [years]) of average height (H_q [m]), quadratic mean diameter (D_q [cm]) and diameter increment (Z_d [cm]) in analysed thinning variants



Ryc. 5.

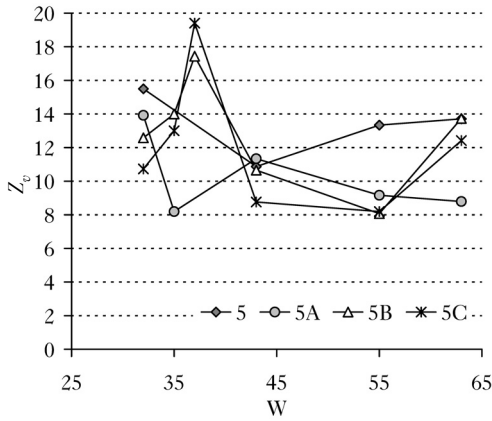
Zależność zagęszczenia (N [szt./ha]) od przeciętnej piersnicy (D_q [cm]) i zmiana z wiekiem (W [lata]) zadrzewienia (S) w badanych wariantach trzebieży

Relationship between stand density (N [trees/ha]) and quadratic mean diameter (D_q [cm]) as well as changes over the time (W [years]) of growing stock (S) in analysed thinning variants

(odpowiednio 1,14 oraz 1,04) osiągnęły w wieku 43 lat, po czym nastąpiło niewielkie obniżenie wartości tego parametru. Z kolei w wariantach 5B i 5C widoczny jest ciągły wzrost zadrzewienia, przy czym w przypadku drzewostanu najsilniej trzebionego jest on zdecydowanie bardziej dynamiczny. Podczas ostatniego pomiaru (wiek 63 lata) różnice między poszczególnymi wariantami są już niewielkie (stopień zadrzewienia od 0,92 do 1,06).

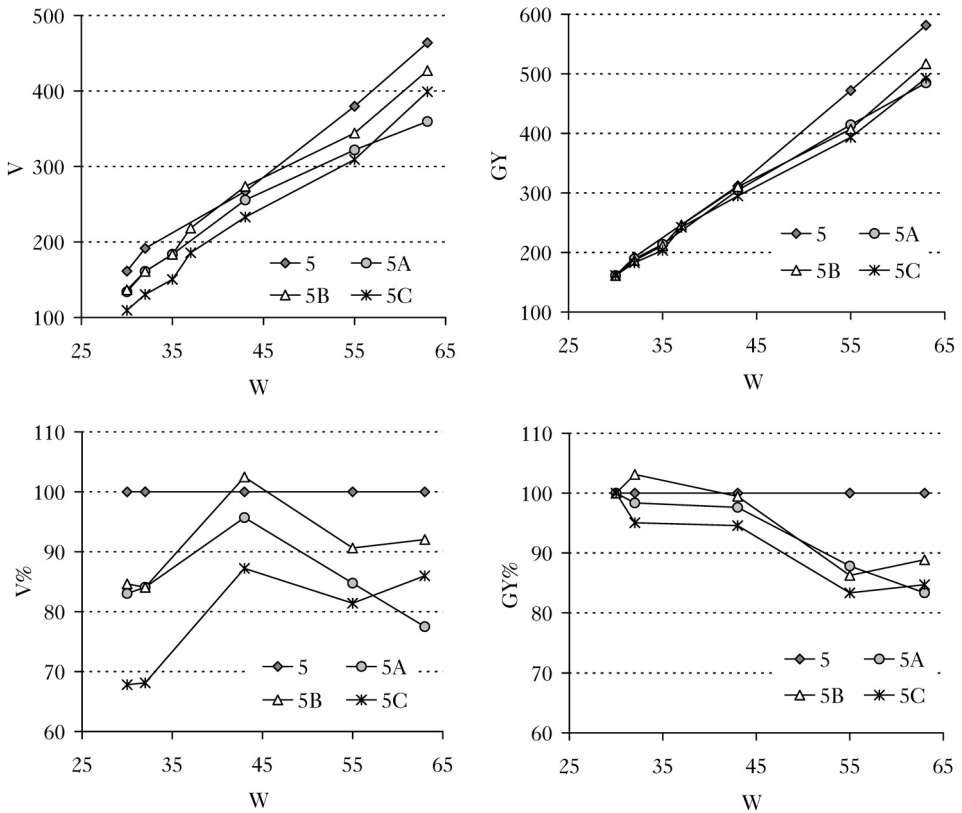
PRZYRÓST MIĄŻSZOŚCI. Dynamika przyrostu miąższowości w badanych wariantach doświadczenia była zróżnicowana (ryc. 6). W wariantcie kontrolnym najwyższą wartość Z_v ($15,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{rok}$) stwierdzono w 2 lata po założeniu eksperymentu. Przy kolejnych pomiarach parametr ten najpierw spada do $10,9 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{rok}$, po czym zwiększa się. W drzewostanach 5B i 5C maksimum (odpowiednio $17,4$ i $19,4 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{rok}$) osiągnięto w 37 roku życia drzew. Następnie wartość Z_v spadła do poziomu około $8 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{rok}$. W wariantcie 5A najwyższą wartość Z_v ($13,9 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{rok}$) również stwierdzono na początku eksperymentu, po czym malała ona z czasem, z wyjątkiem wieku 43 lat. Na koniec eksperymentu warianty 5, 5B i 5C cechowały się zbliżonym bieżącym rocznym przyrostem miąższowości ($12,4$ – $13,7 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{rok}$), podczas gdy w wariantcie 5A był on wyraźnie niższy ($8,8 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{rok}$).

ZASOBNOŚĆ I SUMARYCZNA PRODUKCJA. Najwyższą zasobność stwierdzono w wariantcie kontrolnym, a najmniejszą, poza przypadkiem ostatniego pomiaru, w drzewostanie najsilniej trzebionym (ryc. 7). W wieku 63 lat zasobność w wariantcie nietrzebionym wynosiła $464 \text{ m}^3/\text{ha}$, średnio trzebionym – $427 \text{ m}^3/\text{ha}$, a mocno trzebionym – $399 \text{ m}^3/\text{ha}$. Najniższa ($360 \text{ m}^3/\text{ha}$) była w wariantcie o najsłabszej trzebieży. Odnosząc zasobność w wariantcie trzebieży do poziomu w wariantcie kontrolnym (ryc. 7), widać, że w początkowym okresie wzrastała ona, by osiągnąć w 43 roku życia drzew od



Ryc. 6.

Zmiana z wiekiem (W [lata]) przyrostu miąższości (Z_v [m³]) w badanych wariantach trzebieży
 Changes over the time (W [years]) of volume increment (Z_v [m³]) in analysed thinning variants



Ryc. 7.

Zmiana z wiekiem (W [lata]) zasobności (V [m³/ha]) i względnej zasobności (V% [% wariantu kontrolnego]) oraz sumarycznej produkcji (GY [m³/ha]) i względnej sumarycznej produkcji (GY% [% wariantu kontrolnego]) w badanych wariantach trzebieży

Changes over the time (W [years]) of growing stock (V [m³/ha]) and relative growing stock (V% [% of the control]) as well as total productivity (GY [m³/ha]) and relative total productivity (GY% [% of the control]) in analysed thinning variants

86% w 5C do 102% w 5B. Następnie spadała, by pod koniec eksperymentu wynosić od 77% (5A) do 92% (5B) wartości w wariancie kontrolnym.

Sumaryczna produkcja badanych drzewostanów była w czasie eksperymentu dość wyrównana (ryc. 7). Dopiero w 55 roku życia zaznacza się wyraźna dominacja wariantu kontrolnego, dla którego na koniec doświadczenia wartość *GY* wynosiła 582 m³/ha, podczas gdy dla wariantów trzebieżowych była znacznie niższa (485-517 m³/ha). W odniesieniu do drzewostanu na powierzchni kontrolnej drzewostany poddane zabiegowi na koniec okresu doświadczenia cechowały się sumaryczną produkcją na poziomie 83-95% (ryc. 7).

Dyskusja

Głównym celem pracy była ocena wpływu różnego nasilenia trzebieży dolnej na wzrost i produktywność dojrzewających drzewostanów sosnowych rosnących na ubogim siedlisku. Uzyskane wyniki nie zapewnią co prawda jednoznacznej odpowiedzi na obecne w debacie naukowej pytanie o korzyści wynikające z wykonywania zabiegów pielęgnacyjnych, jednakże mogą stanowić jej uzupełnienie oraz dobry punkt wyjścia do dyskusji nad ich efektami w drzewostanach w starszym wieku. Jest to ważne, ponieważ wyniki długoterminowych obserwacji, które obejmują jak najwięcej drzewostanów, mogą pomóc w opracowaniu dokładniejszych programów trzebieżowych lub modeli hodowlanych [Pretzsch 2009].

Z punktu widzenia praktyki leśnej ważny jest też stopień, w jakim cięcia wpływają na przyrost grubości i miąższości. Przyrost grubości w drzewostanie intensywnie trzebionym był znacznie wyższy niż na stanowisku kontrolnym przez 25 lat. Tymczasem w przypadku przyrostu miąższości, który kulminował 7 lat po zabiegu, osiągnął on poziom drzewostanu kontrolnego już w 13 lat po wykonaniu zabiegu. Tak więc aby ten efekt trzebieży był trwały i przełożył się na wzrost miąższości, zabieg powinien być powtarzany po 10 latach, jednak nasilenie kolejnych cięć powinno być znacznie niższe niż wcześniejszych. Kuliešis [1989] stwierdza, że drzewostany sosnowe poddane silnej trzebieży rosną w młodym wieku intensywniej niż te poddane słabszym zabiegom, jednakże zmienia się to w późniejszym okresie ich życia. W wieku 60-70 lat ich przyrost miąższości osiąga jedynie 4-5 m³/ha, podczas gdy dla drzewostanów słabiej trzebionych wartość tego parametru wynosi 10 m³/ha przez cały czas. Zbliżone obserwacje można znaleźć w pracy Lockowa [2003], który opisuje doświadczenia niemieckie. Silnie trzebione powierzchnie o tzw. szybkim wzroście większy przyrost wykazywały jedynie na początku. Później był on mniejszy niż w drzewostanach, w których wykonano słabsze zabiegi. W przypadku doświadczenia w Kazlų Rūda, w wieku drzewostanu wynoszącym 63 lata, warianty nietrzebiony i silnie trzebione cechowały się zbliżonym, dość wysokim bieżącym rocznym przyrostem miąższości, podczas gdy wariant o słabym nasileniu cięć wykazywał wyraźniej niższą wartość tego parametru. Warto zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku drzewostanu kontrolnego (nietrzebionego) dużą część sumarycznej produkcji stanowiły drzewa, które wydzieliły się samoistnie. Podobne obserwacje dla sosny i świerka poczynili Nilsson i in. [2010]. Z użytkowego punktu widzenia wartość takich drzew jest jednak znacznie mniejsza niż wycinanych drzew żywych

Pretzsch [2009] zauważa, że optymalne pole przekroju w drzewostanach sosnowych wynosi około 90-95% wartości maksymalnej i to tylko w młodym wieku. Stwierdza również, że wraz z wiekiem efekt dodatkowego przyrostu maleje, a każdy intensywniejszy zabieg u gatunków światłolubnych w dojrzałym wieku oznacza utratę przyrostu miąższości. Być może silne przeredzenie drzewostanów można wyjaśnić tendencją do tworzenia ekosystemów odpornych na działanie wiatru. Wiadomo, że kiedy las sosnowy osiąga wysokość około 20 m, zaczyna być podatny na uszkodzenia przez wiatr [Zubizarreta-Gerendiain i in. 2012]. Kuliešis [1989] twierdzi,

że w celu utworzenia drzewostanów z bujnymi drzewami, które są odporne na szkody od wiatru, intensywne cięcia muszą zostać ukończone, zanim osiągną one wiek 30 lat. W celu uniknięcia wiatrolomów i wiatrowałów gęste drzewostany mogłyby być hodowane 10-15 lat dłużej niż wariant kontrolny, a nie do wieku 100 lat, jak obecnie jest dozwolone [Brukas i in. 2009, 2010]. Jest bardzo prawdopodobne, że zasobność drzewostanu kontrolnego w tym czasie osiągnie około 500-550 m³/ha – znacznie więcej niż średnia miąższość w dojrzałych sośninach na Litwie (411 m³/ha [Rocznik... 2017]). Jak pokazują badania Aleinikovasa i in. [2016], zasobność 34-letniej sosny i 39-letniego świerka w drzewostanach nietrzebionych może wynosić odpowiednio do 360 i 500 m³/ha. W rzeczywistości jednak oznacza to dużą ilość drobnego drewna i biomasy (wiele cienkich drzew). Gdyby uprawiać je tylko na biomasę, co jest charakterystyczne dla plantacji o krótkiej rotacji, to wiek rębności mógłby wynosić jedynie 40-50 lat [Linkevičius i in. 2019b].

Zgodnie z obowiązującymi na Litwie normami [Miško... 2011] lasy sosnowe o średniej wysokości ponad 22 m i średniej średnicy poniżej 22 cm można trzebić, dopóki stopień zadrzewienia nie osiągnie poziomu 0,7. Drzewostan kontrolny (wariant 5) osiągnął takie parametry w wieku 55 lat. Tak więc zgodnie z przepisami miąższość w tym drzewostanie (380 m³/ha) mogłaby zostać zmniejszona aż do 255 m³/ha. Miąższość w najsilniej trzebionym drzewostanie (wariant 5C) w tym wieku wyniosła jednak 309 m³/ha. Oczywiście jest, że w ciągu kolejnych 10 lat drzewostan ten nie osiągnie zasobności porównywalnej z drzewostanami 5, 5A oraz 5B i z pewnością nie będzie w stanie tego zrobić aż do osiągnięcia dojrzałości rębnej w wieku 100 lat.

Ważną kwestią ujawnioną przez opisywany eksperyment jest fakt, że pozbawiony ingerencji człowieka drzewostan kontrolny był w stanie niejako automatycznie dostosować swoje zagęszczenie i utrzymać intensywność wzrostu, co stoi w przeciwieństwie do założeń Kuliešisa [1989]. Według tego badacza w drzewostanie nietrzebionym w młodym wieku naturalny proces ubytku drzew jest tak intensywny, że przyrost (np. miąższości) pozostałych drzew jest zbyt mały i dochodzi do jego degradacji. Być może jest to kwestia zasobności siedliska. Na zasobniejszych siedliskach wydzielanie się drzew jest bardziej intensywne w młodszym wieku, szczególnie u gatunków szybko rosnących (jak sosna). Zbliżone obserwacje w przypadku brzozy brodawkowatej poczynili Bijak i in. [2014]. Początkowy wpływ jakości siedliska na zagęszczenie dość szybko zanika i czynnikiem oddziałującym na liczbę drzew i ich ubywanie jest raczej konkurencja w drzewostanie, a nie warunki wzrostu.

Opracowanie modeli trzebieżowych w oparciu o wyniki długoterminowych badań eksperymentalnych jest bardzo ważnym, ale także czasochłonnym procesem [Pretzsch 2009]. Opisywany eksperyment będzie trwał, dopóki badane sosny nie osiągną wieku 100 lat, a jego wyniki uzupełnią obserwacje z innych długoterminowymi doświadczeń prowadzonych na Litwie [Kuliešis, Saladis 1998; Juodvalkis i in. 2005; Kuliešis i in. 2010, 2018; Aleinikovas i in. 2016]. Dzięki wynikom tych badań możliwe byłoby opracowanie systemów wspomagania decyzji w polityce leśnej [Linkevičius i in. 2019a] lub ulepszenie (dostosowanie do warunków lokalnych) już istniejących narzędzi, takich jak np. program BWIN [Linkevičius i in. 2011; Linkevičius 2014]. Modele trzebieżowe można również opracować z wykorzystaniem danych z różnych drzewostanów, o podobnej gęstości, rosnących w podobnych warunkach siedliskowych [Juodvalkis, Kairiūkštis 2009]. Jednak wybór i umieszczenie takich stanowisk w chronosekwencji jest procesem raczej subiektywnym, co może prowadzić do znaczącej różnicy w porównaniu z wynikami długoterminowych obserwacji konkretnego obiektu.

Pewną wadą opisywanego eksperymentu jest oczywiście brak powtórzeń, które w doświadczalnictwie są konieczne, aby uniknąć wpływu niekontrolowanych czynników, mogących zaburzyć wyniki eksperymentu [Zar 2010]. Jednakże podobne układy badawcze są analizowane i opisywane

w literaturze [Boncina i in. 2007]. Nawet przy tych mankamentach uzyskane wyniki dostarczają przydatnych naukowych i praktycznych informacji na temat rozwoju drzewostanów sosnowych, tym bardziej że znajdują potwierdzenie w dotychczasowych badaniach, również prowadzonych za granicą [Lockow 2003; Zachara 2017].

Wnioski

- ✦ Efekty wykonania w 30-letnich sośninach trzebieży o różnym nasileniu zatarły się w przeciągu 25-30 lat. Po tym czasie różnice poszczególnych parametrów dendrometrycznych i produkcyjnych charakteryzujących badane drzewostany były już niewielkie.
- ✦ Nasilenie zabiegu pielęgnacyjnego wykonanego w młodym wieku nie wprowadziło istotnego zróżnicowania w strukturze sortymentowej drzewostanu w wieku 63 lat. Rozkłady pierśnic w badanych drzewostanach różniły się znacznie jedynie na początku eksperymentu, a po 30 latach od wykonania zabiegu były zbliżone.
- ✦ Nasilenie trzebieży wpłynęło w początkowym okresie na proces naturalnego wydzielania się drzew. Jednakże z czasem również i ten efekt zabiegu zmniejszył się wskutek większej konkurencji w słabiej trzebionych drzewostanach.
- ✦ W 30 lat po wykonaniu trzebieży największą produktywnością cechował się drzewostan, w którym tego zabiegu nie wykonano. Na koniec trwania eksperymentu drzewostany poddane cięciom osiągnęły zasobność i sumaryczną produkcję na poziomie odpowiednio 77-92% oraz 83-95% wartości uzyskanej w wariancie kontrolnym.

Podziękowania

Autorzy serdecznie dziękują recenzentowi za uwagi i komentarze, które przyczyniły się do poprawy pracy.

Literatura

- Aleinikovas M., Kuliešis A., Saladis J., Linkevičius E., Kliučius A., Šilinskas B., Kvalkauskienė M., Beniušienė L. 2016. Gryną pušies ir eglės jaunuolynų augimo ávairiu tankumu átakos medynų našumui ir tvarumui nustatymas. Mokslinio darbo ataskaita, Girionys, Kaunas.
- Ankudo-Jankowska A., Glura J., Ankudo L., Kowalczyk H. 2013. Ekonomiczna efektywność zabiegów trzebieżowych w drzewostanach sosnowych II i III klas wieku. Sylwan 157 (1): 17-25. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2011126>.
- Antanaitis V., Tebėra A., Šepetienė J. 1986. Zakoni i zakonomnosti rosta i ctroenija drevostoev. Lietuvos Darbo raudonosios vėliavos ordino tėtėms ūkio akademija, Kaunas.
- Antanaitis V., Zagreev B. 1981. Prirost lesa. Lesnaja promichlennost. Moskva.
- Assmann E. 1970. The principles of forest yield study – studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands. Pergamon Press, Oxford.
- Bijak S., Bronisz K., Szydłowska P., Wojtan R. 2014. Wpływ jakości siedliska na dynamikę wydzielania brzozy na gruntach porolnych. Sylwan 158 (6): 423-430. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2013140>.
- Boncina A., Kadunc A., Robic D. 2007. Effects of selective thinning on growth and development of beech (*Fagus sylvatica* L.) forest stands in south-eastern Slovenia. Ann. For. Sci. 64: 47-57.
- Brukas V., Kuliešis A., Sallnäs O., Linkevičius E. 2010. Resource availability, planning rigidity and Realpolitik in Lithuanian forest utilisation. Natural Resources Forum 35 (2): 77-88.
- Brukas V., Linkevičius E., Činga G. 2009. Policy drivers behind forest utilization in Lithuania in 1986-2007. Baltic Forestry 15 (1): 86-96.
- Brzeziecki B. 2005. Wpływ trzebieży na zróżnicowanie strukturalne drzewostanów sosnowych. Sylwan 149 (10): 11-19. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2005058>.
- Curtis R., Marshall D., Bell J. 1997. LOGS. A pioneering example of silvicultural research in coast Douglas-fir. Journal of Forestry 95: 19-25.
- Grigaliūnas J. 1997. Pušies medžių prieaugių dinamikos dėsningumai ir jų panaudojimas. Lietuvos mokslas. Lietuvos miškininkystė 5 (13-14): 203-210.
- Hamilton G. 1976. The Bowmont Norway spruce thinning experiment 1930-1974. Forestry 49 (2): 109-121.

- Juodvalkis A., Kairiūkštis L. 2009. Medynų formavimas ir kirtimai. Lututė, Akademija.
- Juodvalkis A., Kairiūkštis L., Vasiliauskas R. 2005. Effects of thinning on growth of six tree species in north-temperate forests of Lithuania. *European Journal of Forest Research* 124 (3): 187-192.
- Kairiūkštis L. 1973. Mišrių eglynų formavimas ir kirtimai. Mintis, Vilnius.
- Kairiūkštis L., Juodvalkis A. 1985. Etaloniniai medynai ir jų formavimas. Mokslas, Vilnius.
- Kuliešis A. 1989. Medynų našumas ir jo panaudojimas. Lietuvos TSRS valstybinis agropramoninis komitetas, Lietuvos miškų ūkio mokslinio tyrimo institutas, Vilnius.
- Kuliešis A. 1993. Lietuvos medynų prieaugio ir jo panaudojimo normatyvai. Lietuvos miškų ūkio ministerija, Lietuvos miškų institutas, Kaunas.
- Kuliešis A., Aleinikovas M., Linkevičius E., Saladis J., Škėma M., Šilinskas B., Beniušienė L. 2018. The Impact of Strip Roads on the Productivity of Spruce Plantations. *Forests* 9 (10): 640.
- Kuliešis A., Linkevičius E., Aleinikovas M., Kliučius A., Kuliešis A. A. 2012. Pušynų, augančių mineralinių dirvožemių augavietėse, augimo ir retinimosi ypatumai. *Miškininkystė* 2 (71): 20-37.
- Kuliešis A., Saladis J. 1998. The effect of early thinning on the growth of pine and spruce stands. *Baltic Forestry* 1: 8-16.
- Kuliešis A., Saladis J., Kuliešis A. A. 2010. Development and productivity of young Scots pine stands by regulating density. *Baltic Forestry* 16 (2): 235-246.
- Linkevičius E. 2014. Single Tree Level Simulator for Lituianian Pine Forests. Rozprawa doktorska. Technical University of Dresden, Dresden.
- Linkevičius E., Borges J. G., Doyle M., Pülzl H., Nordström E. M., Vacik H., Brukas V., Biber P., Teder M., Kaimre P., Synek M., Garcia G. J. 2019a. Linking forest policy issues and decision support tools in Europe. *Forest Policy and Economics* 103: 4-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.05.014>.
- Linkevičius E., Kuliešis A., Röhle H., Schröder J. 2011. The new forest growth modeling approach in Lithuania: single tree level models. 5th International scientific conference „Rural development in global changes 2011” 5 (2): 74-81.
- Linkevičius E., Kuliešis A., Röhle H., Schröder J., Aleinikovas M. 2014. The impact of competition for growing space on diameter, basal area and height growth of pine trees. *Baltic Forestry* 20 (2): 300-313.
- Linkevičius E., Schröder J., Röhle H. 2019b. Generic applicability of non-destructive biomass yield models for willow short rotation coppice: A case study for Germany and Lithuania. *Biomass and Bioenergy* 121: 89-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.12.017>.
- Lockow K.-W. 2003. Wpływ trzebieży na dynamikę rozwoju drzewostanów sosnowych. *Sylwan* 147 (9): 3-9. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2003203>.
- Łukaszewicz J., Zajączkowski J. 2019. Trzebieże wczesne w Lasach Państwowych w Polsce – rozwój czy regres? *Sylwan* 163 (1): 13-24. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2018066>.
- Mäkinen H., Isomäki A. 2004. Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Norway spruce trees. *Forest Ecology and Management* 201 (2-3): 295-309.
- Michailoff I. 1943. Zahlenmäßiges Verfahren für die Ausführung der Bestandeshöhenkurven. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 6: 273-279.
- Miško kirtimų taisyklės. 2011. Aplinkos ministeria. Lodvila, Vilnius.
- Nilsson U., Agestam E., Ekö P.-M., Elfving B., Fahlvik N., Johansson U., Karlsson K., Lundmark T., Wallentin C. 2010. Thinning of Scots pine and Norway spruce monocultures in Sweden – effects of different thinning programmes on stand level gross- and net stem volume production. *Umeå, Sweden. Studia Forestalia Suecica* 219.
- Peltola H., Kilpeläinen A., Sauvala K., Räsänen T., Ikonen V. P. 2007. Effects of early thinning regime and tree status on the radial growth and wood density of Scots pine. *Silva Fennica* 41 (3): 489-505.
- Petrauskas E. 1990. Modelirovanie proiyvoditelnosti cocnovo-elobux drebostoev raynoj gustoti. Rozprawa doktorska. Lietuvos Darbo raudonosios vėliavos ordino žemės ūkio akademija, Kaunas.
- Pretzsch H. 2009. Forest dynamics, growth and yield – from measurement to model. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Reineke L. 1933. Perfecting a stand density index for even-aged stands. *Journal of Agricultural Research* 46: 627-638.
- Rocznik statystyczny leśnictwa. 2017. Ministerstwo Środowiska Republiki Litewskiej, Kowno.
- Skovsgaard J. 2009. Analysing effects of thinning on stand volume growth in relation to site conditions: a case study for even-aged Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). *Forestry* 8 (1): 87-104.
- Zachara T. 2017. Długotrwałe efekty różnego nasilenia trzebieży selekcyjnej w drzewostanie sosnowym. *Sylwan* 161 (9): 730-737. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2017071>.
- Zar J. 2010. Biostatistical analysis. Pearson Education, Upper Saddle River.
- Zubizarreta-Gerendiain A., Pellikka P., Garcia-Gonzalo J., Ikonen V. P., Peltola H. 2012. Factors affecting wind and snow damage of individual trees in a small management unit in Finland: assessment based on inventoried damage and mechanistic modelling. *Silva Fennica* 46 (2): 181-196.