

Wpływ więzby sadzenia na wzrost i przeżywalność sosny zwyczajnej w okresie około 40 lat od założenia uprawy w zróżnicowanych warunkach siedliskowych

The influence of plant spacing on growth and survival of Scots pine in various habitats during a 40 year period since stand establishment

Wojciech Gil

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych,
Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn
Tel +48 227150685; e-mail gilw@ibles.waw.pl

Abstract. The aim of this research was to characterise the influence of plant spacing on the survival and growth of pines in dry and fresh coniferous forest habitats after almost 40 years since stand establishment.

In this study, we compared seven types of spacing, including square, rectangular and triangular configurations, with initial densities ranging from 6944 units/ha to 15 625 units/ha. The research covered two sites where no tending interventions of selective character were performed throughout the growth period.

We found that habitat conditions had an influence on tree survival as well as growth in thickness and height in the pine forest stands. In the less fertile habitat, where competition between trees was less intense, about 1,5 to 2 times more trees survived than in the more fertile habitat. Pines growing in the fresh coniferous forest were taller and had substantially larger diameter breast heights (dbh) in comparison to pines of the dry coniferous forest. Additionally, habitat conditions had an influence on the spacing effect correctness of the analysed features. In the poorer habitat this influence was stronger, which showed in a greater differentiation of the analysed parameters as compared to the more fertile habitat. Average dbh values of all trees on the Płock surface increased with decreasing initial density and ranged from 8,24 cm in variant A (15 625 units/ha) to 9,79 cm in variant C (6944 units/ha). On the Łąck surface, trees growing at a lower density (variants C and E) were significantly thicker than trees growing at densities between 10 000 units/ha and 15 625 units/ha (spacing variants A, B, F, G). Furthermore, our results showed a significant influence of habitat conditions and plant spacing on the thickness of pines belonging to the 1st biosocial class.

Moreover, we found a positive influence of triangular-shaped spacing on the trees' thickness increment in the fresh coniferous forest, which confirms reports from other authors. Hence, we can deduce that triangular spacing enables trees to make better use of their surrounding space which positively impacts on their growth parameters.

Based on these results, we can conclude that, in pine forests, there is a significant influence of habitat conditions on tree survival and growth in thickness and height. This study also showed significant differences between the types of plant spacing and their effect on pine shafts in the II age class. However, a relationship between height growth rate and initial density was not observed. In both of the investigated habitats, the highest trees were observed at densities around 11 500 units/ha with triangular spacing enhancing this effect.

Key words: Scots pine, plant spacing, initial density, survival of trees, trees' growth, habitat conditions

1. Wstęp

Większość dotychczasowych polskich eksperymentów nad wpływem więzby sadzenia na wzrost i rozwój drzewostanów sosnowych dotyczy młodszych faz rozwojowych drzewostanów (Burzyński, Zajączkowski 1975; Ceitel 1989; Zajączkowski, Kopryk 1990), brakuje natomiast doniesień o różnicowaniu się parametrów biometrycznych sosen posadzonych w różnej więzbie, będących w starszym wieku. Głównym powodem jest brak odpowiedniego materiału empirycznego. W Zakładzie Hodowli Lasu IBL badania nad więzłą prowadzono od lat 60. ubiegłego wieku. W ich ramach założono stałe powierzchnie doświadczalne w układzie bloków losowych na różnych siedliskach, pozwalające porównywać przebieg rozwoju sosny i śledzić naturalne procesy różnicowania się struktury drzewostanu i kształtowania się cech biometrycznych drzew rosnących w różnym zagęszczeniu, w kolejnych latach wzrostu. Niektóre z nich istnieją do dziś, a ich wartość naukową podnosi fakt, że nie były na nich wykonywane zabiegi pielęgnacyjne o charakterze selekcyjnym, a ukształtowana obecnie struktura przestrzenna jest wynikiem naturalnych procesów różnicowania się drzew w drzewostanie.

Celem obecnych badań było określenie wpływu więzby sadzenia na różnicowanie się przeżywalności i parametrów wzrostowych drzew w okresie pierwszych ok. 40 lat życia niepielęgnowanego drzewostanu sosnowego rosnącego na siedliskach boru suchego i boru świeżego.

2. Metodyka i obiekty badań

Obiektem badań były dwie powierzchnie doświadczalne:

1. Powierzchnia w Nadleśnictwie Płock, Leśn. Sierpc, oddz. 117 i 122, założona w roku 1965, na siedlisku boru suchego. Gleba na powierzchni doświadczalnej była przygotowana pełną orką. Materiałem sadzeniowym była jednoroczna sosna zwyczajna. Ostatni pomiar, będący przedmiotem niniejszej analizy, wykonano w roku 2002, kiedy sosna osiągnęła wiek 38 lat. Wielkość jednej działki pomiarowej (powtórzenia) wynosiła 5 arów. W latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku w drzewostanie wykonano jedno cięcie sanitarne, usuwając drzewa zamierające i zamarłe.

2. Powierzchnia doświadczalna w Nadleśnictwie Łąck, Leśn. Korzeń, oddz. 290c, 290h, 286c. Powierzchnię założono w roku 1965 na siedlisku boru świeżego. Gleba na powierzchni doświadczalnej była przygotowana pełną orką. Materiałem sadzeniowym była jednoroczna sosna zwyczajna. Ostatni pomiar, którego wyniki są przedmiotem tej analizy, wykonano także w roku

2002, kiedy sosna osiągnęła wiek 38 lat. Wielkość jednej działki pomiarowej wynosiła 16 arów, przy czym pomiarami objęto tylko część powierzchni działki – 7 ar. Na powierzchni również wykonano w tym samym okresie cięcie sanitarne, usuwając drzewa zamierające i zamarłe.

Obiekty, w których prowadzono badania, zlokalizowane są w prowincji Nizin Środkowopolskich. Okres wegetacyjny trwa 200–210 dni. Średnia roczna suma opadów atmosferycznych wynosi w granicach 450–700 mm, średnia temperatura roku wynosi 7–9°C.

W niniejszej pracy analizowano siedem wariantów więzby (A–G). Każdy wariant mierzony był w trzech powtórzeniach.

– więzby kwadratowe:

A – 0,8×0,8 m – zagęszczenie początkowe 15 625 szt./ha,

B – 1,0×1,0 m – 10 000 szt./ha,

C – 1,2×1,2 m – 6944 szt./ha;

– więzby trójkątne:

D – 1,0×1,0×1,0 m – 11 547 szt./ha,

E – 1,2×1,2×1,2 m – 8019 szt./ha;

– więzby prostokątne:

F – 0,55×1,2 m – 15 152 szt./ha,

G – 0,8×1,2 m – 10 417 szt./ha.

Na każdej działce wykonano:

– pomiar pierśnic ($D_{1,3}$) [cm] i wysokości (H) [m] wszystkich drzew,

– klasyfikację biosocjalną drzew.

Pierśnicę drzew mierzono średnicomierzem z dokładnością do 1 mm. Pomiary wykonywano w dwóch prostopadłych kierunkach (wzdłuż i w poprzek rzędu sadzenia). Pomiary wysokości drzew wykonano wysokościomierzem elektronicznym Vertex z dokładnością do 0,1 m.

Przeżywalność drzew wyrażono procentowym stosunkiem drzew rosnących na powierzchni w roku pomiaru do liczby wyjściowej.

Pozycję biosocjalną określano według skali: 1 – drzewa panujące, 2 – drzewa współpanujące, 3 – drzewa opanowane, 4 – drzewa przygłuszone i zamierające.

Drzewa klasy 1 należy traktować jako drzewa 1 i 2 kl. wg klasyfikacji biologicznej Krafta, drzewa klasy 2 – jako drzewa 3 kl. Krafta, drzewa klasy 3 – jako drzewa 4 kl. Krafta, a drzewa klasy 4 – jako drzewa 5 kl. Krafta.

Zakres pomiarów na opisanych w artykule powierzchniach doświadczalnych był znacznie większy. W niniejszej publikacji przedstawiono wyniki dotyczące wpływu więzby sadzenia i żyzności siedliska na przeżywalność drzew, ich wzrost na grubość i wysokość.

Analizę statystyczną wyników pomiarów drzewostanu prowadzono dla całego drzewostanu i dla drzew z 1 klasy biosocjalnej. Miało to na celu ocenę możliwości selekcji po ok. 40 latach wzrostu drzewostanów założonych w różnej więzbie i na różnych siedliskach.

W zakresie statystyki opisowej wykorzystano średnią, odchylenie standardowe i współczynnik zmienności.

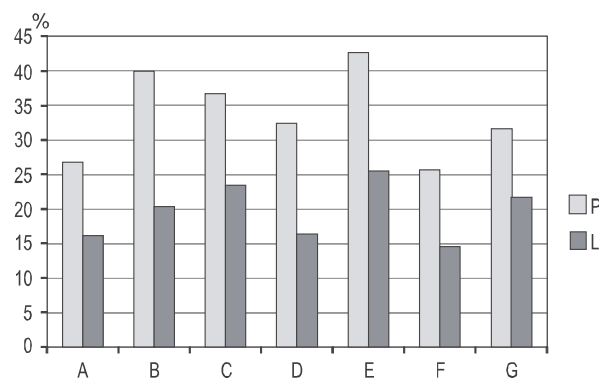
W celu określenia zależności pomiędzy cechami (stwierdzenia istotności różnic pomiędzy średnimi) wykorzystywano analizę wariancji wieloczynnikowej ANOVA przy poziomie istotności $p=0,05$ oraz test wielokrotnego porównania (tzw. post-hoc) Tukeya. Do wykonania obliczeń użyto programu Statistica 10 (2011).

3. Wyniki badań

Zmiana liczby drzew w zależności od więzby początkowej

Przeżywalność drzew po 38 latach wzrostu w zależności od więzby początkowej na powierzchniach 1 (powierzchnia Płock) i 2 (powierzchnia Łąck) przedstawia rycina.

Najmniejszą przeżywalność drzew na powierzchni w



Rycina 1. Przeżywalność drzew po 38 latach wzrostu w zależności od wariantu więzby na powierzchniach badawczych Płock (P) i Łąck (L).

Figure 1. Survival of trees after 38 years of growth depending on spacing variant on experimental plots Płock (P) and Łąck (L): variants as in Table 1.

Płocku stwierdzono w najgęstszych wariantach więzby – F (25,8%) i A (26,8%), a największą w wariacie E, odpowiadającym zagęszczeniu początkowemu 8019 szt./ha. Generalnie przeżywalność wzrastała wraz z rozluźnianiem więzby sadzenia, przy czym w najmniejszych z analizowanych zagęszczeniach początkowych (warianty E i C) dał się zauważyć wpływ kształtu więzby na przeżywalność drzew – w więzbie trójkątnej przy zagęszczeniu początkowym 8019 szt./ha przeżyło nieco więcej drzew niż w przypadku więzby kwadratowej przy zagęszczeniu początkowym 6944 szt./ha. Podobny trend obserwowano na powierzchni w Łącku, gdzie najmniejszą przeżywalność po 38 latach odnoto-

wano w wariacie F (15 152 szt./ha) – 14,7%, a największą w wariacie E – 25,6%. Również i na tej powierzchni, w wariacie luźnej więzbie trójkątnej (E), przeżyło nieco więcej drzew niż w wariacie najluźniejszej więzby o kształcie kwadratowym – C.

Po 38 latach na uboższym siedlisku przeżywało ok. 1,5 do 2 razy więcej drzew niż na siedlisku żyzniejszym. Ponieważ na obu powierzchniach wykonano jedno cięcie sanitarne, osiągnięty rezultat był efektem wolniejszego wzrostu drzew na siedlisku boru suchego i mniejszego tempa procesów konkurencyjnych, a co za tym idzie – wydzielenia się drzew.

Wpływ więzby początkowej na pierśnicę drzew

Średnią pierśnicę drzew w wariantach więzby, obliczoną na podstawie wszystkich drzew i na podstawie drzew reprezentujących 1 klasę biosocjalną, przedstawiają tabele 1 (Płock) i 2 (Łąck). W tabelach zawarto również informacje o rzeczywistej liczbie drzew, odchyleniu standardowym i współczynniku zmienności mierzonych parametrów.

Badania wykazały istotny wpływ warunków siedliskowych i więzby sadzenia na kształtowanie się grubości sosen po 38 latach wzrostu ($p=0,00002$). Wieloczynnikowa analiza wariancji wykonana dla średniej pierśnicy wszystkich drzew w poszczególnych wariantach wyróżniła sześć grup jednorodnych, przy czym drzewa rosące na siedlisku boru suchego (Płock), miały, jak można było oczekiwać, istotnie mniejszą pierśnicę niż drzewa rosące na siedlisku boru świeżego (Łąck).

Średnia wartość pierśnicy wszystkich drzew na powierzchni w Płocku zwiększała się wraz ze wzrostem powierzchni życiowej drzew (zmniejszaniem zagęszczenia początkowego) i wynosiła od 8,24 cm w wariacie A (15 625 szt./ha) do 9,79 cm w wariacie C (6944 szt./ha). Grubość drzew posadzonych w więzbie najluźniejszej – wariant C o zagęszczeniu początkowym 6944 szt./ha i wariant E o zagęszczeniu 8019 szt./ha, była istotnie większa od grubości drzew w pozostałych wariantach więzby (ryc. 2).

Podobną tendencję obserwowano na powierzchni badawczej w Łącku. Średnia wartość pierśnicy wszystkich drzew wynosiła od 11,37 cm w wariacie F (15 125 szt./ha) do 12,76 cm w wariacie D (11 547 szt./ha). Drzewa rosące w zagęszczeniu małym (warianty C i E) były istotnie grubsze od drzew rosących w zagęszczeniu od 10000 szt./ha do 15625 szt./ha (warianty więzby A, B, F, G), z wyjątkiem wariantu więzby trójkątnej D, który tworzył grupę jednorodną razem z wariantami C i E (ryc. 2).

Na obu powierzchniach wpływ więzby na grubość drzew kształtował się w zbliżony sposób, poza przypadkiem więzby trójkątnej D (11 547 szt./ha). W tym

Tabela 1. Charakterystyka drzew (wszystkich oraz z 1 klasy biosocjalnej) w zależności od więzby początkowej na powierzchni w Plocku

Table 1. Trees characteristics (all and from 1st biosocial class) depending on initial spacing on Plock plot

Cecha Features		Wariant / Variants*						
		A	B	C	D	E	F	G
		wszystkie drzewa / all trees						
Liczba drzew (na 1 ha) Trees per 1 ha		4114	4001	2546	3763	3406	3915	3294
Pierśnica DBH D _{1.3}	średnia / average [cm]	8,24	8,66	9,79	8,58	9,36	8,31	8,59
	odch. stand. / std. dev. [cm]	2,39	2,60	2,76	2,61	2,82	2,62	2,81
	wsp. zmien. / variability [%]	28,97	30,02	28,19	30,42	30,13	31,53	32,64
Wysokość Height H	średnia [m]	9,48	9,47	9,53	9,75	9,93	9,34	9,47
	odch. stand. / std. dev. [cm]	1,58	1,73	1,81	2,11	1,50	1,85	4,06
	wsp. zmien. / variability [%]	16,67	18,27	18,99	21,64	15,11	19,81	42,78
		1 klasa biosocjalna / 1st biosocial class						
Liczba drzew (na 1 ha) Trees per 1 ha		1892	1931	1343	1832	1673	1607	1435
Pierśnica DBH D _{1.3}	średnia / average [cm]	9,98	10,52	11,41	10,48	11,22	10,53	10,77
	odch. stand. / std. dev. [cm]	1,99	2,19	2,44	2,11	2,48	2,27	2,36
	wsp. zmienności [%]	19,94	20,82	21,38	20,13	22,10	21,56	21,91
Wysokość Height H	średnia / average [cm]	10,46	10,53	10,42	11,14	10,93	10,76	10,76
	odch. stand. / std. dev. [cm]	1,16	1,36	1,56	1,48	1,05	1,28	1,40
	wsp. zmien. / variability [%]	11,09	12,92	14,97	13,29	9,61	11,90	13,01

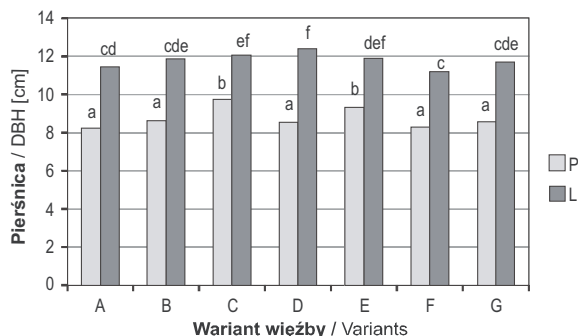
* Initial spacing: square : A – 0,8×0,8 m (15 625 trees ha⁻¹), B – 1,0×1,0 m (10 000 trees ha⁻¹), C – 1,2×1,2 m (6944 trees ha⁻¹); triangular : D – 1,0×1,0×1,0 m (11 547 trees ha⁻¹), E – 1,2×1,2×1,2 m (8019 trees ha⁻¹); rectangular : F – 0,55×1,2 m (15 152 trees ha⁻¹), G – 0,8×1,2 m (10 417 trees ha⁻¹).

Tabela 2. Charakterystyka drzew (wszystkich oraz z 1 klasy biosocjalnej) w zależności od więzby początkowej na powierzchni w Łącku

Table 2. Characteristic of trees (all and from 1st biosocial class) depending on initial spacing on Łąck surface

Cecha Features		Wariant / Variants*						
		A	B	C	D	E	F	G
		wszystkie drzewa / all trees						
Liczba drzew (na 1 ha) Trees per 1 ha		2508	2050	1642	1896	2050	2225	2271
Pierśnica DBH D _{1.3}	średnia / average [cm]	11,56	11,80	12,47	12,76	12,21	11,37	11,85
	odch. stand. / std. dev. [cm]	2,44	2,77	2,9	2,65	2,52	2,6	2,79
	wsp. zmien. / variability [%]	21,29	23,26	23,89	21,29	21,16	23,07	23,68
Wysokość Height H	średnia / average [cm]	13,13	13,45	13,70	14,00	13,35	13,18	13,76
	odch. stand. / std. dev. [cm]	1,30	1,31	1,17	1,14	1,13	1,26	1,21
	wsp. zmien. / variability [%]	9,90	9,73	8,54	8,14	8,46	9,56	8,79
		1 klasa biosocjalna / 1st biosocial class						
Liczba drzew (na 1 ha) Trees per 1 ha		1825	1500	1158	1417	1571	1529	1679
Pierśnica DBH D _{1.3}	średnia / average [cm]	12,43	12,71	13,54	13,67	12,84	12,44	12,97
	odch. stand. / std. dev. [cm]	2,17	2,53	2,51	2,38	2,32	2,24	2,37
	wsp. zmien. / variability [%]	17,60	19,70	18,83	17,88	18,33	18,01	18,47
Wysokość Height H	średnia / average [cm]	13,61	13,80	14,15	14,36	13,59	13,69	14,25
	odch. stand. / std. dev. [cm]	1,09	1,16	0,89	0,97	1,03	0,94	0,82
	wsp. zmien. / variability [%]	8,01	8,41	6,29	6,75	7,58	6,87	5,75

* As in Table 1



Rycina 2. Pierśnica sosen w wariantach więźby i w zróżnicowanych warunkach siedliskowych (P – Płock, bór suchy, L – Łąck, bór świeży). Średnie wartości cechy oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $p=0,05$.
Figure 2. DBH of pines in spacing variants and in varied habitat conditions (P – Płock, dry coniferous forest, L – Łąck, fresh coniferous forest). Average values of feature marked with the same letter do not differ significantly with $p=0.05$. Variants as in Table 1.

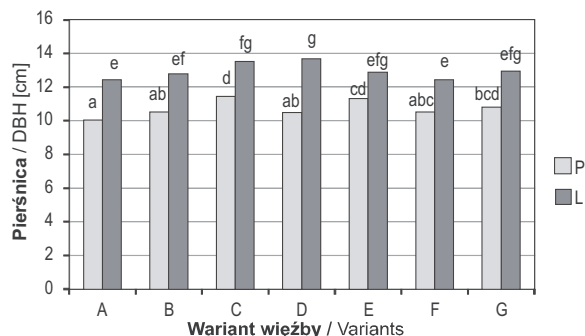
wariacie na siedlisku żyzniejszym drzewa były grubsze, niż w pozostałych wariantach, natomiast na borze suchym średnia pierśnica była mniejsza niż pierśnica drzew rosnących w najmniejszym zagęszczeniu początkowym.

Współczynnik zmienności pierśnic wszystkich drzew na powierzchni w Płocku kształtował się w granicach 28,19% (C) – 32,64% (G) (tab. 1). W Łącku, gdzie przeżywalność drzew była mniejsza niż na powierzchni w Płocku, zmienność analizowanej cechy była wyraźnie mniejsza. Współczynnik zmienności pierśnic w przypadku wszystkich drzew kształtował się w granicach 21,16% (E) – 23,89% (C) (tab. 2).

Wpływ więźby początkowej na pierśnicę drzew z 1 klasy biosocjalnej

Badania wykazały istotny wpływ warunków siedliskowych i więźby sadzenia na kształtowanie się grubości sosen należących do 1 klasy biosocjalnej ($p=0,00005$). Analiza wariancji wykonana dla średniej pierśnicy wszystkich drzew na powierzchniach wyróżniła siedem grup jednorodnych. Drzewa rosnące na siedlisku boru suchego (Płock), zarówno wszystkie, jak i z 1 klasy biosocjalnej, miały istotnie mniejszą pierśnicę w porównaniu z sosnami rosnącymi na siedlisku boru świeżego (ryc. 3).

Średnia pierśnica drzew w 1 klasie biosocjalnej na powierzchni Płock była, w zależności od wariantu więźby, o ok. 17–27% wyższa niż średnia wszystkich drzew w drzewostanie. Najmniejszą pierśnicę w tej klasie drzew, podobnie jak w przypadku wszystkich drzew, stwierdzono w wariantach A (9,98 cm), największą – w



Rycina 3. Pierśnica sosen z 1 klasy biosocjalnej w wariantach więźby i w zróżnicowanych warunkach siedliskowych (P – Płock, bór suchy, L – Łąck, bór świeży). Średnie wartości cechy oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $p=0,05$.

Figure 3. DBH of pines from 1st biosocial class in spacing variants and in varied habitat conditions (P–Płock, dry coniferous forest, L–Łąck, fresh coniferous forest). Average values of feature marked with the same letter don't differ significantly with $p=0.05$. Variants as in Table 1.

wariacie C (11,41 cm). W wariantach najluźniejszej więźby – C i E, drzewa z 1 klasy biosocjalnej, podobnie jak wszystkie drzewa, miały pierśnicę istotnie większą od drzew z większości pozostałych wariantów (oprócz wariantu G, 10417 szt./ha).

Na powierzchni Łąck średnia pierśnica drzew w 1 klasie biosocjalnej była o 5–9% większa niż średnia pierśnica wszystkich drzew w drzewostanie. Najmniejszą pierśnicę stwierdzono w wariantach A (12,43 cm), a największą – w wariantach C i D (13,54 i 13,67 cm). Wartości te były istotnie wyższe od wartości pierśnic drzew rosnących w wariantach A, F, B, natomiast nie różniły się istotnie od wartości średnich pierśnic drzew 1 klasy biosocjalnej w wariantach więźby E i G (por. ryc. 5).

W wariantach D (więźba trójkątna) pierśnica drzew zarówno panujących, jak i wszystkich, należała do największych na żyzniejszym siedlisku, podczas gdy na siedlisku ubogim – do przeciętnych.

Współczynnik zmienności pierśnic drzew należących do 1 klasy biosocjalnej na powierzchni Płock wahał się od 19,94% (A) do 22,10% (E), czyli zróżnicowanie drzew potencjalnie dorodnych pod względem pierśnicy było mniejsze niż zróżnicowanie wszystkich drzew. Na powierzchni w Łącku wartość współczynnika zmienności pierśnic tej grupy drzew była nieznacznie niższa niż w Płocku i wahała się od 17,60% (A) do 19,70% (B), a zróżnicowanie drzew potencjalnie dorodnych pod względem pierśnicy było również mniejsze niż zróżnicowanie wszystkich drzew.

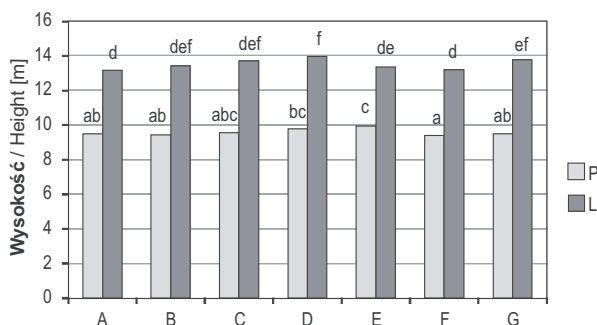
Wpływ więzby początkowej na wysokość drzew

Warunki siedliskowe i więzba sadzenia miały istotny wpływ na kształtowanie się wysokości sosen ($p=0,00005$). Analiza wariancji wykonana dla średniej wysokości wszystkich drzew na powierzchniach wyróżniła sześć grup jednorodnych. Drzewa rosnące na siedlisku boru suchego (Płock) miały, niezależnie od przynależności do grupy, istotnie mniejszą wysokość niż sosny rosnące na siedlisku boru świeżego (ryc. 4).

Średnia wysokość wszystkich drzew na powierzchni Płock wynosiła od 9,34 m w wariancie F (15152 szt./ha) do 9,93 m w wariancie E (8019 szt./ha). Wpływ zagęszczenia początkowego na wysokość był nieistotny, natomiast ważnym czynnikiem okazał się kształt więzby, zwłaszcza w wariancie E, gdzie drzewa rosnące w zagęszczeniu 8019 szt./ha były istotnie wyższe od drzew rosnących w więzbach: A, B, F, G (ryc. 4).

Średnia wysokość wszystkich drzew na powierzchni Łąck kształtowała się w zbliżony sposób jak na powierzchni Płock i wynosiła od 13,13 m w najgęstszym wariancie A (15625 szt./ha) do 14,00 m w wariancie D (11547 szt./ha). Drzewa posadzone w wariancie D i w wariancie G były istotnie wyższe od drzew rosnących w więzbach najgęstszych – A i F, nie różniły się natomiast istotnie wysokością od drzew z wariantów C i B.

Współczynnik zmienności wysokości wszystkich drzew na powierzchni Płock był w większości przypadków mniejszy od współczynnika zmienności pierściny drzew i wynosił od 15,11% (E) do 42,78% (G). Zaskakujący w tym wypadku jest duży współczynnik zmienności wysokości drzew w wariancie G (10 417 szt./ha). Jest on ponad 2 razy większy niż w wariancie B o podobnym zagęszczeniu początkowym, co wskazuje



Rycina 4. Wysokość sosen w wariantach więzby i w zróżnicowanych warunkach siedliskowych (P – Płock, bór suchy, L – Łąck, bór świeży). Średnie wartości cechy oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $p=0,05$.

Figure 4. Height of pines in spacing variants and in varied habitat conditions (P – Płock, dry coniferous forest, L – Łąck, fresh coniferous forest). Average values of feature marked with the same letter do not differ significantly with $p=0.05$. Variants as in Table 1.

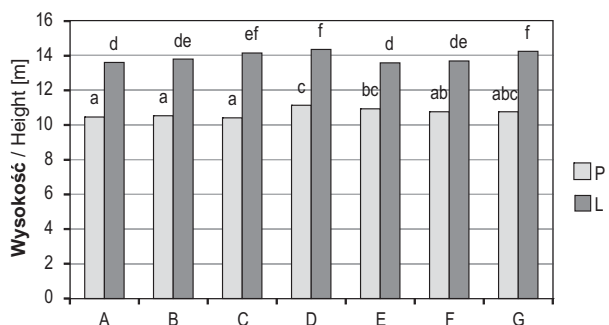
na większy udział niskich drzew dolnych warstw biosocjalnych w wariancie G. Na powierzchni w Łącku współczynnik zmienności wysokości wynosił od 8,14% (D) do 9,9% (A) i był zdecydowanie mniejszy niż na powierzchni Płock zlokalizowanej na uboższym siedlisku.

Wpływ więzby początkowej na wysokość drzew z 1 klasy biosocjalnej

Więzba sadzenia, podobnie jak warunki siedliskowe, miała istotny wpływ na kształtowanie się wysokości sosen zarówno w przypadku wszystkich drzew, jak i w przypadku należących do 1 klasy biosocjalnej ($p=0,00000$). Analiza wariancji wykonana dla średniej wysokości drzew tej klasy na obu powierzchniach wyróżniła sześć grup jednorodnych, przy czym drzewa panujące rosnące na siedlisku boru suchego (Płock), miały istotnie mniejszą wysokość niż sosny panujące rosnące na siedlisku boru świeżego (ryc. 5).

Na powierzchni Płock średnia wysokość drzew należących do 1 klasy biosocjalnej była wyższa od wartości średniej wysokości dla wszystkich drzew o 9–15%. Najmniejszą średnią wysokość miały drzewa dominujące w wariancie C (10,42 m), a największą – w wariancie D (11,40 m). Wpływ więzby na wysokość drzew był podobny zarówno w przypadku 1 klasy biosocjalnej, jak i wszystkich drzew. Drzewa 1 klasy biosocjalnej posadzone w trójkątnej więzbie (D, E) były istotnie wyższe od drzew z wariantów A, B, C, F (ryc. 5).

Średnia wysokość drzew należących do 1 klasy biosocjalnej na powierzchni Łąck również była wyrównana i wyższa od średniej wysokości wszystkich drzew



Rycina 5. Wysokość sosen z 1 klasy biosocjalnej w wariantach więzby i w zróżnicowanych warunkach siedliskowych (P – Płock, bór suchy, L – Łąck, bór świeży). Średnie wartości cechy oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $p=0,05$.

Figure 5. Height of pines from the 1st biosocial class in spacing variants and in varied habitat conditions (P – Płock, dry coniferous forest, L – Łąck, fresh coniferous forest). Average values of feature marked with the same letter do not differ significantly with $p=0.05$. Variants as in Table 1.

jedynie o 2–4%. Największą średnią miały drzewa z wariantu D (14,36 m), a najmniejszą – z wariantu E (13,59 m). Średnia wysokość drzew z pierwszej klasy biosocjalnej w poszczególnych wariantach była istotnie różna ($p=0,00000$). Analiza wariancji podzieliła drzewa tej klasy na dwie grupy jednorodne. Drzewa z wariantów G i D były istotnie wyższe od drzew z pozostałych wariantów więźby, poza wariantem C (ryc. 5).

Współczynnik zmienności badanej cechy na powierzchni Płock wynosił od 9,61% (E) do 14,97% (C), natomiast na powierzchni Łąck wartości te wahały się od 5,75% (G) do 8,41% (B) (tab. 2).

4. Dyskusja wyników

W badaniach wykazano wpływ zagęszczenia początkowego i siedliska na przeżywalność drzew. Po 38 latach wzrostu więcej drzew przeżywało w więźbach szerszych (w mniejszym zagęszczeniu początkowym) i na siedlisku uboższym, gdzie tempo wzrostu drzew, a więc i ich wydzielania się z drzewostanu było mniejsze. Mniejsza przeżywalność miała z kolei wpływ na mniejsze zróżnicowanie rozmiarów drzew na siedlisku żyzniejszym.

Podobne wyniki dotyczące wpływu więźby sadzenia i żyzności siedliska na proces wydzielania otrzymali również Kramer (1988), Rjabokin' (1991), Spellmann i Nagel (1992), Zajączkowski i Kopryk (1990). Liczne wypadki w gęstszych więźbach są głównym argumentem zwolenników luźnych więźb, uważających, że nie ma potrzeby ponosić nakładów na kosztowny materiał sadzeniowy (Kramer 1988). Analizowanie jednak samej przeżywalności, w oderwaniu od pozostałych cech charakteryzujących wzrost i jakość drzewostanu, nie służy poprawności wnioskowania.

Więźba sadzenia i typ siedliska wywierały wpływ na grubość zarówno wszystkich drzew w drzewostanie, jak i drzew z I klasy biosocjalnej. Drzewa na żyzniejszym siedlisku były istotnie grubsze od drzew na siedlisku uboższym. Po 38 latach wzrostu pierśnica wszystkich drzew była istotnie większa w wariantach z mniejszym zagęszczeniem początkowym (6944 szt./ha i 8019 szt./ha), niezależnie od warunków siedliskowych. Podobną tendencję obserwowano w przypadku drzew z I klasy biosocjalnej, przy czym na siedlisku uboższym różnica pomiędzy pierśnicą drzew panujących a pierśnicą wszystkich drzew była zdecydowanie większa niż na siedlisku żyzniejszym. Wpływ na to miała mniejsza przeżywalność drzew na siedlisku żyzniejszym.

Zastanawiający jest przypadek wariantu D – więźba trójkątna, 11547 szt./ha, w którym na siedlisku żyzniejszym pierśnica drzew – wszystkich i panujących miała największą wartość, podczas gdy na siedlisku

uboższym pierśnica nie odbiegała od przeciętnej dla całego drzewostanu. Na wynik ten miała wpływ zapewne dość niska przeżywalność drzew w tym typie więźby na siedlisku boru świeżego. Należy jednak zauważyć, że drzewa rosnące w innym wariantcie więźby trójkątniej – E, o mniejszym zagęszczeniu, na obu powierzchniach (Płock i Łąck) również należały do najgrubszych. Być może, na siedlisku żyzniejszym negatywny efekt dużego zagęszczenia drzew jest nieco niwelowany poprzez pozytywne cechy kształtu więźby. Byłoby to zgodne ze stwierdzeniem Assmanna (1968), że przy więźbie trójkątniej drzewa lepiej wykorzystują przestrzeń, co korzystnie odbija się na ich wzroście. Zależność taką obserwowano w niniejszych badaniach także pod względem wpływu kształtu więźby na wysokość drzew. Również Šutov (1984) uważa za najlepszą pod względem hodowlanym więźbę trójkątną, ale więźba ta powoduje znaczne utrudnienia w mechanizacji prac.

Hamilton i Christie (1971) w najmłodszych fazach rozwojowych (uprawa, młodnik) sosny zwyczajnej stwierdzili wzrost tempa przyrostu pierśnicy wszystkich drzew i drzew panujących (w mniejszym stopniu) wraz ze zmniejszeniem zagęszczenia początkowego. Silną wprost proporcjonalną zależność pierśnicy sosen w młodym wieku (11 lat) od więźby sadzenia potwierdził w swoich badaniach Ceitel (1989). Wyniki niniejszej pracy potwierdzają także wyniki badań innych autorów (Kramer 1988; Dittmar 1992; Kenk 1998; Lockow 1998; Buzjkin, Pšeničnikova 1999; Huss 1999 a, b;).

Z prezentowanych badań wynika, że na siedliskach ubogich po ok. 40 latach wzrostu pierśnica drzew rosnących w różnym zagęszczeniu wciąż się różni, jest większa w przypadku drzew rosnących w luźniejszej więźbie. Różnica między średnią pierśnicą drzew sadzonych w różnej więźbie powstaje we wczesnych etapach rozwoju drzewostanu i utrzymuje się w następnych latach. Jest to prawidłowość charakterystyczna dla gatunków iglastych (Braathe 1952; Sjolte-Jorgensen 1967; Zajączkowski, Kopryk 1981).

Po 38 latach wzrostu drzewa rosnące na siedlisku boru świeżego były istotnie wyższe (wszystkie i panujące) od drzew rosnących na borze suchym. Zagęszczenie początkowe miało mniejszy wpływ na wysokość niż na pierśnicę drzew. Co prawda na siedlisku żyzniejszym najniższe drzewa obserwowano w wariantach o większym zagęszczeniu początkowym – powyżej 15 tysięcy sztuk na 1 ha, ale zależności te nie były istotne. Z kolei najwyższe drzewa – zarówno wszystkie, jak i I klasy biosocjalnej, były w wariantach o zagęszczeniu 10,5–11,5 tys. szt./ha.

W przypadku słabszego siedliska obserwowano pozytywny wpływ kształtu więźby trójkątniej (warianty D, E) na wysokość drzew wszystkich i należących do I

klasy biosocjalnej. Drzewa tej grupy posadzone w zagęszczeniu 11 547 sz./ha (wariant D) były, podobnie jak na siedlisku boru świeżego, najwyższe.

W wielu innych badaniach w drzewostanach iglastych średnia wysokość drzewostanu wzrastała wraz ze zmniejszeniem gęstości sadzenia (Evert 1971; Kramer 1988; Ceitel 1989; Moberg 1999). Badania Elfvinga (1975) w niepielęgnowanych 22-letnich drzewostanach sosnowych w Szwecji potwierdzają ten wniosek w odniesieniu do średniej wysokości drzewostanu, ale nie w odniesieniu do drzew dominujących: średnia wysokość stu najgrubszych drzew wzrastała wraz ze zwiększeniem początkowej gęstości.

5. Wnioski

Na podstawie wyników badań można sformułować następujące wnioski:

1. Warunki siedliskowe mają wpływ na przeżywalność drzew w drzewostanach sosnowych oraz na ich wzrost na grubość i wysokość. Na mniej żyznym siedlisku występuje mniejsza konkurencja między drzewami, zwłaszcza w młodszym wieku, co skutkuje większą przeżywalnością drzew. Na siedlisku boru świeżego sosny mają natomiast istotnie większą pierśnicę i wysokość niż na siedlisku boru suchego. Jednocześnie warunki siedliskowe warunkują siłę oddziaływania więzby na analizowane cechy. Na siedlisku uboższym oddziaływanie to jest silniejsze, co wyrażone jest większym zróżnicowaniem analizowanych parametrów, niż na siedlisku żyzniejszym.

2. Badania wykazały istotny wpływ więzby sadzenia na pierśnicę strzał sosen w pod koniec II klasy wieku. Pierśnica drzew wzrastała wraz z rozluźnieniem więzby sadzenia. Zależność ta dotyczyła zarówno wszystkich drzew, jak i drzew z I klasy biosocjalnej. Stwierdzono także pozytywny wpływ trójkątnego kształtu więzby na tę cechę, ale tylko na siedlisku boru świeżego.

3. Nie stwierdzono wzrostu wysokości drzew wraz ze zmniejszeniem zagęszczenia początkowego. Na obu rozpatrywanych siedliskach najwyższe były drzewa posadzone w zagęszczeniu ok. 11,5 tysiąca drzew na 1 ha. Trójkątny kształt więzby sadzenia miał również korzystny wpływ na tę cechę.

Podziękowania

Badania zostały wykonane w ramach projektu sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki (N N309 110 840), w latach 2011–2013.

Literatura

- Assmann E. 1968. Nauka o produktywności lasu. Warszawa, PWRiL: 1–627.
- Braathe P. 1952. The effect of different spacing upon stand development and yield in forests of Norway spruce. *Meddelelser fra det norske Skogforøksvesen*, 11: 425–469.
- Burzyński G., Zajączkowski J. 1975. Badanie wpływu różnej więzby sadzenia sosny na jej wzrost i rozwój oraz ustalenie więzby gospodarczo uzasadnionej. Dokumentacja IBL, Warszawa.
- Buzykin A. I., Pšeničnikova L. S. 1999. Vlijanje gustoty na morfostrukturu i produktivnost' kul'tur sosny. *Lesovedenie* 3: 38–43.
- Ceitel J. 1989. Badania nad więzłą upraw leśnych i upraw plantacyjnych. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, 204 (25): 89–94.
- Ceitel J. 1995. Współczesne poglądy na więzłą sadzenia upraw leśnych w niektórych krajach Europy. *Przegląd Leśniczy* 4: 10–13.
- Dittmar O. 1992. Die langfristige Kiefern-Verbandsweite-Versuchsreihe Serno 133. 100 Jahre IUFRO. Beitrage zur 100 jaehrigen Wiederkehr der Gruendung der IUFRO in Eberswalde. Langfristige waldbaulich-ertragskundliche Versuchsflaechen. *Der Wald Berlin* 42(8): 304–305.
- Elfving B. 1975. Volume and structure in unthinned stands of Scots pine. Royal College of Forestry. Stockholm. *Research Notes*, 35: 1–125.
- Evert F. 1971. Spacing studies – a review. Forest management Institute, Ottawa, Ontario: 1–95.
- Gil W. 1999. Wpływ zagęszczenia na jakość i stabilność drzewostanów sosnowych I i II klasy wieku. w: Stan i perspektywy badań z zakresu hodowli lasu. Warszawa, Instytut Badawczy Leśnictwa: 247–255. ISBN 83-87647-07-1.
- Hamilton G.J., Christie J.M. 1971. Forest Management Tables (Metric). Forestry Commission Booklet No. 34. HMSO, London.
- Huss J. 1999a. Auswirkungen unterschiedlicher Ausgangspflanzdichten und frühzeitiger Pflegeeingriffe bei jungen Kiefern. *Forst und Holz*, 54, 11: 335–340.
- Huss J. 1999b. Auswirkungen unterschiedlicher Ausgangspflanzdichten und frühzeitiger Pflegeeingriffe bei jungen Kiefern. Teil II: Auswirkungen frühzeitiger Pflegeeingriffe in einem Kiefernjungbestand. *Forst und Holz*, 54, 12: 364–368.
- Kramer H. 1988. Waldwachstumslehre. Ökologische und anthropogene Einflüsse auf das Wachstum des Waldes, seine Massen- und Wertleistung und die Bestandesicherheit. Hamburg und Berlin, Verlag Paul Parey: 1–374. ISBN 9783490056160.
- Lockow K.-W. 1998. Langfristige Versuchsflächen Eberswalde. Der Kieferndurchforstungsversuch Chorin 97 – Ziel und Ergebnisse für die Praxis. *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie*, 32 (1): 15–23.
- Melzer E. W., Brunn Er., Brunn Eg., Netzker W. 1992. Pflanzverband und Kulturqualität bei Kiefer (*Pinus sylvestris* L.). *Forstarchiv* 63: 136–142.
- Moberg L. 1999. Variation in Knot Size of *Pinus sylvestris* in Two Initial Trials. *Silva Fennica*, 33(2): 131–144.

- Mráček Z. 1969. Influence of spacing on the quality of Scots pine stands. *Communicationes Instituti Forestalis Čechosloveniae* (Praha), 6: 99–109.
- Rjabokin' O. P. 1991. Pidsumky rostu 45-ričnych sosnjakiv z riznym rozmiščennjam posadočnych misc'. *Lisivnyctvo i Ahrolisomelioracija*, 2: 53–56.
- Sannikov J. G., Barancev A. S. 1989. O zakonomernostjach rosta čistych sosnovych molodniakov različnoj gustoty. *Lesnoe Chozjajstvo*, 9: 27–29.
- Schmaltz J., Fröhlich A., Gebhardt M. 1997. Die Qualitätswentwicklung in jungen Traubeneichenbeständen im Hessischen Spessart. *Forstarchiv*, 68: 3–10.
- Sjolte-Jørgensen J. 1967. The influence of spacing on the growth and development of coniferous plantations. *International Review of Forestry Research*, 2: 43–94.
- Spellmann H., Nagel J. 1992. 2. Auswertung des Nelder-Pflanzverbandsversuches mit Kiefer im Forstamt Walsrode. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 11/12: 221–229.
- StatSoft Inc. 2011. STATISTICA. Data analysis software system, version 10. www.statsoft.com [12.019.2013].
- Zajączkowski J., Kopryk W. 1981. Badania nad wpływem więźby sadzenia na wzrost i rozwój drzewostanów sosnowych. Dokumentacja IBL. Warszawa.
- Zajączkowski J., Kopryk W. 1990. Określenie więźby początkowej oraz nasilenia i intensywności cięć pielęgnacyjnych w drzewostanach sosnowych, zwiększających ich stabilność i produktywność. Dokumentacja IBL. Warszawa.
- Zajączkowski J., Zachara T., Gil W., Kopryk W., Woźniak R. 1996. Wpływ sposobu, nasilenia i intensywności trzebieży na stabilność i produktywność drzewostanów sosnowych II i III klasy wieku. Dokumentacja IBL, Warszawa.
- Zasady hodowli lasu. 2012. Warszawa, CILP: 1–72. ISBN 978-83-61633-65-5.

The influence of initial spacing on growth and survival of Scots pine in 40 years period of cultivation in varied habitat conditions

Wojciech Gil

Department of Silviculture and Genetics, Forest Research Institute, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05–090 Raszyn, Poland.

Tel. +48 22 7150685; e-mail: gilw@ibles.waw.pl

Abstract. The aim of the research was to determine the effect of initial spacing on the survival and growth of pine trees in dry coniferous and fresh coniferous forest habitats after nearly 40 years from the establishment of plantation.

The study presents an analysis of seven spacing variants in square, rectangular and triangular spacing patterns with the initial density ranging from 6 944 seedlings/ha to 15 625 seedlings/ha. The studies were conducted on two study sites. No tending treatments (selective thinning) were performed in the examined stands throughout the growing season.

It was shown that habitat conditions had a significant effect on the survival, diameter and height growth of trees in pine stands. In the less productive forest habitat, where the competition of trees is smaller, the survival was 1.5 to 2-fold higher compared to the more productive habitat. Pine trees growing in the fresh coniferous forest had substantially larger diameters at breast height (dbh) compared to the dry coniferous forest. The spacing effect depended on the habitat conditions. This influence was stronger in the less productive habitat compared to the more productive forest habitat which was reflected in the greater differences in the discussed parameters. The average dbh value of all trees on the Płock site increased with the increase of tree growing space (*i.e.* lower initial planting density) and ranged from 8.24 cm in variant A (15 625 seedlings/ha) to 9.79 cm in variant C (6 944 seedlings/ha). On the Łąck site, the trees growing at a low density (variants C and E) had significantly larger diameters compared to the trees growing at a density from 10 000 plants/ha to 15 625 plants/ha (spacing variants A, B, F, G). The studies also showed a significant effect of the habitat conditions and initial spacing on the diameter of pine trees in biosocial class I.

Triangular spacing in the fresh coniferous forest was found to have more positive effect on tree diameter growth. It is consistent with the findings of other authors that trees planted in triangular spacing make better use of space which is positively reflected in their growth. The results obtained from the research allow to formulate the conclusion that habitat conditions have a significant effect on the survival, diameter and height growth of trees in pine stands. The research also showed a significant effect of initial spacing on the diameter at breast height of pines at the end of age class II. No dependence was found of the initial planting density on the height growth rate of trees. In both forest habitats under consideration, trees planted at a density of approximately 11.5 thousand plants per hectare were the highest. The triangular initial spacing pattern had a positive effect on this characteristic.

Key words: Scots pine, initial spacing, initial density, survival of trees, trees' growth, habitat conditions

1. Introduction

The majority of previous Polish experiments on the influence of initial spacing on growth and development of pine forest stands deal with earlier growth phases of forest stand (Ceitel 1989; Burzyński, Zajązkowski 1975; Zajązkowski, Kopryk 1990). There are no reports however about biometric parameter differentiation of pines of older age planted in various spacings. The main reason is the lack of proper empirical material. In the Department of Silviculture of Forest Research Institute, research on spacing has been conducted from 1960s. Within this research, permanent experimental plots were established in a system of random blocks on various habitats, allowing for pine development course comparison. It also allowed following of the natural processes of forest stand's structure differentiation and formation of biometric features in the growth of trees that grow in various densities. Some of them exist until today, and their scientific value is underlined by the fact that no tending interventions of selective character were performed on them, and the currently shaped spatial structure is a result of natural processes of tree differentiation in forest stands.

The aim of the current research was to determine the influence of initial spacing on survival differentiation and tree growth parameters in a period of the first 40 years of life of a not-nursed pine forest stand growing on dry coniferous forest and fresh coniferous forest habitats.

2. Methodology and research object

The objects of research involve two experimental areas:

1. Surface in Płock Forest Inspectorate, Forest District Sierpc, Comp. 117 and 122, established in 1965 on a dry coniferous forest habitat. Soil on experimental area was prepared by full cultivation. Planting material was 1-year-old Scots pine. The last measurement, which is a factor of the following analysis, was taken in 2002, when the pine reached 38 years. The size of one measurement plot (repetition) was 5 acres. In the 1980s, in the forest stand one sanitation cutting was performed in order to remove declining and dead trees.

2. Experimental area in Łąck Forest Inspectorate, Koźień Forest District, Comp. 290c, 290h and 286c. The surface was established in 1965 on a habitat of fresh coniferous forest. Soil on the experimental area was prepared by full cultivation. Planting material was 1-year-old Scots pine. The last measurement, results of which are the subject of this analysis, was also taken in 2002 when the

pine reached 38 years. The size of one measurement plot was 16 acres, whereas only a part of the plot's surface was covered with measurement – 7 acres. On the surface, at one time sanitation cutting was also performed that removed trees declining and dead.

Objects, in which the research was conducted, were located in Middle-Poland Lowlands. Growing seasons lasts 200–210 days. Average annual rainfall is around 450–700 mm, and average annual temperature 7–9°C.

In the following thesis, seven spacing variants (A–G) were analysed. Each variant was measured in three repetitions.

- square spacing:

A – 0.80×0.80 m – initial density 15 625 seedlings/ha

B – 1.00×1.00 m – 10 000 seedlings/ha

C – 1.20×1.20 m – 6 944 seedlings/ha

- triangular spacing:

D – 1.00×1.00×1.00 m – 11 547 seedlings/ha

E – 1.20×1.20×1.20 m – 8 019 seedlings/ha

- rectangular spacing:

F – 0.55×1.20 m – 15 152 seedlings/ha

G – 0.80×1.20 m – 10 417 seedlings/ha.

On each measurement plot, the following were performed:

- measurement of the diameter breast height (dbh) ($D_{1.3}$) [cm] and height (H) [m] of all trees
- biosocial classification of trees.

The dbh of trees was measured by calliper with an accuracy of up to 1 mm. Measurements were taken in two perpendicular directions (alongside and crosswise of planting row). Measurement of tree heights was taken by Vertex electronic hypsometer with an accuracy of up to 0.1 m.

Survival of trees was expressed in percentage relation of trees growing on surface to the initial number of trees in the year of measurement.

Biosocial position was defined by the scale: 1 – dominant trees, 2 – co-dominant trees, 3 – lower trees (undercrop) and 4 – suppressed and declining trees.

The trees of 1st class should be treated as trees of 1st and 2nd class of Kraft's biological classification, trees of 2nd class as 3rd Kraft's class, trees of 3rd class as 4th Kraft's class, and trees of 4th class as trees of 5th Kraft's class.

The range of measurements in experimental areas was much larger. In following publication are results presented concerning the influence of initial spacing and habitat fertility on tree survival, and their growth in thickness and in height.

Statistical analysis of forest stand measurement results conducted was for whole forest stand and for trees from 1st biosocial class. The aim was to assess the pos-

sibility of selection after about 40 years of forest stand's growth in various spacings and on various habitats. The descriptive statistics used were average, standard deviation and variation ratio.

For new calculations, Statistica 10 (2011) program was used. To define relations between features (stating the significance of differences between averages), multi-factor ANOVA variance analysis was used with significance level $p=0.05$ and Tukey's multiple comparison test (the so-called post-hoc).

3. Research results

3.1. Trees number change depending on initial spacing

Tree survival after 38 years of growth is shown in Table 1 (Płock area) and 2 (Łąck area). To better illustrate the influence of spacing on tree survival, this dependence was also shown in a graph (Fig. 1).

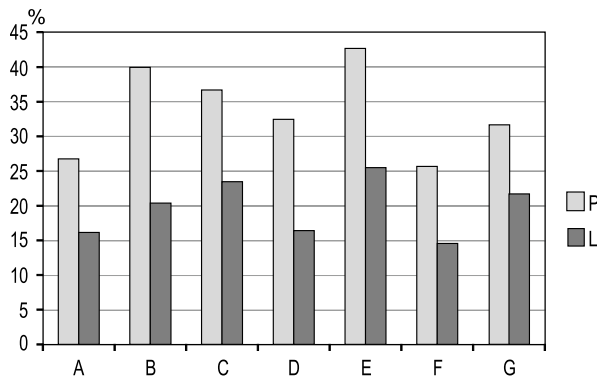


Figure 1. Survival of trees after 38 years of growth depending on spacing variant on experimental plots Płock (P) and Łąck (L).

The smallest survival of trees on Płock surface was stated in the densest spacing variants – F (25.8%) and A (26.8%), and the biggest in variant E corresponding to initial density – 8 019 seedlings/ha. Generally, survival increased with initial spacing loosening, whereas in the smallest of analysed initial densities (variants E and C), an influence of spacing shape on tree survival was observed: in triangular spacing at initial density 8 019 seedlings/ha, few more trees survived than in case of square spacing at initial density 6 944 seedlings/ha. A similar trend was observed on an area in Łąck where the smallest survival

after 38 years noted was in variant F (15 152 seedlings/ha) – 14.7%, and the biggest in variant E – 25.6%. Also on this surface, in case of trees planted in loose triangular spacing (E) few more trees survived than in variant of loosest square-shaped spacing – C.

After 38 years on poorer habitat, around 1.5–2 times more trees survived than on more fertile habitat. Because of this fact that on both surfaces one sanitation cutting was performed, the result achieved was an effect of trees' slower growth on dry coniferous forest habitat and smaller competition processes pace, and then consequently tree secretion.

3.2. Influence of initial spacing on trees dbh

Average dbh of trees in spacing variants, calculated on the base of all trees and on the base of trees representing 1st biosocial class, is presented in Tables 1 (Płock) and 2 (Łąck). In tables, information is also included about actual tree number, standard deviation and variability ratio of measured parameters.

The research showed a relevant influence of habitat conditions and initial spacing on pine's thickness formation after 38 years of growth ($p=0.00002$). Multifactor variance analysis performed for average dbh of all trees in particular variants distinguished six homogenous groups, whereas trees growing on habitat of dry coniferous forest (Płock) had, as could be expected, substantially smaller dbh than trees growing on habitat of fresh coniferous forest (Łąck).

Average value of all trees dbh on Płock surface increased with expansion of tree living space (decrease of initial density) and ranged from 8.24 cm in variant A (15 625 seedlings/ha) to 9.79 cm in C (6 944 seedlings/ha). Thickness of trees planted in loosest spacing – variant C with initial density 6 944 seedlings/ha and E with density 8 019 seedlings/ha – was significantly greater than thickness of trees in the remaining spacing variants (Fig. 2).

A similar tendency was observed on experimental surface in Łąck. Average value of all trees ranged from 11.37 cm in variant F (15 125 seedlings/ha) to 12.76 cm in D (11 547 seedlings/ha). Trees growing in small density (variants C and E) were significantly thicker from trees growing in density from 10 000 seedlings/ha to 15 625 seedlings/ha (spacing variants A, B, F and G) with the exception of variant D triangular spacing, which created a homogenous group with variants C and E (Fig. 2).

On both surfaces, the influence of spacing on trees thickness developed in a similar way, except for triangular spacing D (11 547 seedlings/ha). In this variant, on a more

Table 1. Trees characteristics (all and from 1st biosocial class) depending on initial spacing on Plock surface

Features		Variants*						
		A	B	C	D	E	F	G
Trees per 1 ha		all trees						
		4114	4001	2546	3763	3406	3915	3294
DBH D _{1.3}	average [cm]	8.24	8.66	9.79	8.58	9.36	8.31	8.59
	std. dev. [cm]	2.39	2.60	2.76	2.61	2.82	2.62	2.81
	variability [%]	28.97	30.02	28.19	30.42	30.13	31.53	32.64
Height H	average [m]	9.48	9.47	9.53	9.75	9.93	9.34	9.47
	std. dev. [m]	1.58	1.73	1.81	2.11	1.50	1.85	4.06
	variability [%]	16.67	18.27	18.99	21.64	15.11	19.81	42.78
Trees per 1 ha		1 st biosocial class						
		1892	1931	1343	1832	1673	1607	1435
DBH D _{1.3}	average [cm]	9.98	10.52	11.41	10.48	11.22	10.53	10.77
	std. dev. [cm]	1.99	2.19	2.44	2.11	2.48	2.27	2.36
	variability [%]	19.94	20.82	21.38	20.13	22.10	21.56	21.91
Height H	average [m]	10.46	10.53	10.42	11.14	10.93	10.76	10.76
	std. dev. [m]	1.16	1.36	1.56	1.48	1.05	1.28	1.40
	variability [%]	11.09	12.92	14.97	13.29	9.61	11.90	13.01

* Initial spacing square: A – 0.8×0.8 m (15 625 trees ha⁻¹), B – 1.0×1.0 m (10 000 trees ha⁻¹), C – 1.2×1.2 m (6944 trees ha⁻¹); triangular: D – $1.0 \times 1.0 \times 1.0$ m (11 547 trees ha⁻¹), E – $1.2 \times 1.2 \times 1.2$ m (8019 trees ha⁻¹); rectangular: F – 0.55×1.2 m (15 152 trees ha⁻¹), G – 0.8×1.2 m (10 417 trees ha⁻¹)

Table 2. Characteristic of trees (all and from 1st biosocial class) depending on initial spacing on Łąck surface

Features		Variants*						
		A	B	C	D	E	F	G
Trees per 1 ha		all trees						
		2508	2050	1642	1896	2050	2225	2271
DBH D _{1.3}	average [cm]	11.56	11.80	12.47	12.76	12.21	11.37	11.85
	std. dev. [cm]	2.44	2.77	2.9	2.65	2.52	2.6	2.79
	variability [%]	21.29	23.26	23.89	21.29	21.16	23.07	23.68
Height H	average [m]	13.13	13.45	13.70	14.00	13.35	13.18	13.76
	std. dev. [m]	1.30	1.31	1.17	1.14	1.13	1.26	1.21
	variability [%]	9.90	9.73	8.54	8.14	8.46	9.56	8.79
Trees per 1 ha		1 st biosocial class						
		1825	1500	1158	1417	1571	1529	1679
DBH D _{1.3}	average [cm]	12.43	12.71	13.54	13.67	12.84	12.44	12.97
	std. dev. [cm]	2.17	2.53	2.51	2.38	2.32	2.24	2.37
	variability [%]	17.60	19.70	18.83	17.88	18.33	18.01	18.47
Height H	average [m]	13.61	13.80	14.15	14.36	13.59	13.69	14.25
	std. dev. [m]	1.09	1.16	0.89	0.97	1.03	0.94	0.82
	variability [%]	8.01	8.41	6.29	6.75	7.58	6.87	5.75

*As in Table 1

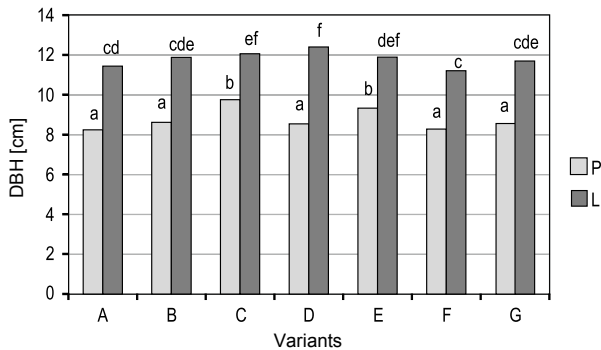


Figure 2. DBH of pines in spacing variants and in varied habitat conditions (P – Plock, dry coniferous forest, L – Łąck, fresh coniferous forest). Average values of feature marked with the same letter do not differ significantly with $p=0.05$. Variants as in Table 1.

fertile habitat, trees were thicker than in remaining variants while on dry coniferous forest average dbh was smaller than dbh of trees growing in the smallest initial density.

Variability ratio of all trees' dbh on Plock area developed from 28.19% (C) to 32.64% (G) (Table 1). In Łąck, where survival of trees was smaller than on an area in Plock, changeability of the feature analysed was vividly smaller. Variability ratio of dbh in case of all trees developed from 21.16% (E) to 23.89% (C) (Table 2).

3.3. The influence of initial spacing on dbh of trees from 1st biosocial class

Research showed a relevant influence of habitat conditions and initial spacing on forming the thickness of pines belonging to 1st biosocial class ($p=0.00005$). Variance analysis performed for average dbh of all trees on surfaces distinguished seven homogenous groups. Trees growing on a habitat of dry coniferous forest (Plock), both all and from 1st biosocial class, had significantly lower dbh in comparison with pines growing on a fresh coniferous forest habitat (Fig. 3).

Average dbh of trees in 1st biosocial class on Plock area was, depending on the spacing variant, around 17–27% higher than average of all trees in forest stand. The smallest dbh in this class of trees, as in the case of all trees, was stated in variant A (9.98 cm), and the biggest in C (11.41 cm). In variants of loosest spacing – C and E – trees from 1st biosocial class, as in the case of all trees, had significantly bigger dbh than trees from the majority of remaining variants (except variant G, 10 417 seedlings/ha).

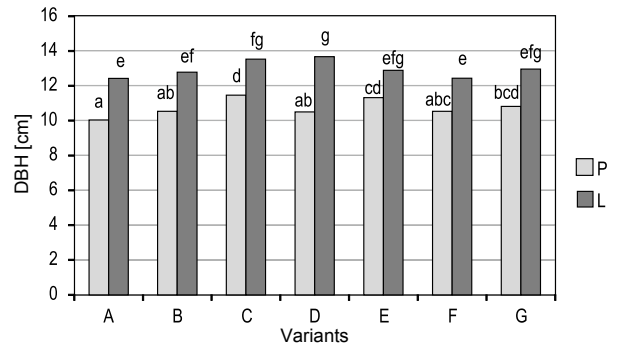


Figure 3. DBH of pines from 1st biosocial class in spacing variants and in varied habitat conditions (P – Plock, dry coniferous forest, L – Łąck, fresh coniferous forest). Average values of feature marked with the same letter don't differ significantly with $p=0.05$. Variants as in Table 1.

On Łąck surface, average dbh of trees in 1st biosocial class was 5–9% more than average dbh of all trees in forest stand. The smallest dbh was stated in variant A (12.43 cm), and the biggest in C and D (13.54 and 13.67 cm). These values were significantly higher from dbh values of trees growing in variants A, F and B; however, they did not differ significantly from the average dbh values of trees from 1st biosocial class in spacing variants E and G (Fig. 5).

In variant D (triangular spacing), both dbh of dominant trees and dbh of all trees belonged to the biggest on more fertile habitat, while on poor habitat to average.

Dbh variability ratio of trees belonging to 1st biosocial class on Plock surface ranged from 19.94% (A) to 22.10% (E), which means that diversity of potential crop trees in terms of dbh was smaller than diversity of all trees. On Łąck surface, the value of dbh variability ratio of this group of trees was slightly lower than in Plock and ranged from 17.60% (A) to 19.70% (B). Diversity of potential crop trees in terms of dbh was also smaller than diversity of all trees.

3.4. Influence of initial spacing on trees height

Habitat conditions and initial spacing had a significant influence on pine's height forming ($p=0.00005$). Analysis of variance performed for average height of all trees on surface distinguished six homogenous groups. Trees growing on dry coniferous forest habitat (Plock) had, regardless of group affiliation, significantly lower value than pines growing on fresh coniferous forest habitat (Fig. 4).

Average height of all trees on Płock surface ranged from 9.34 m in variant F (15 152 seedlings/ha) to 9.93 m in E (8 019 seedlings/ha). The influence of initial density on height was irrelevant; however, spacing shape turned out to be an important factor, especially in variant E, where trees growing in density 8 019 seedlings/ha were relevantly higher than trees growing in spacing: A, B, F and G (Fig. 4).

Average height of all trees on Łąck surface developed in a similar way as on Płock surface and ranged from 13.13 m in densest variant A (15 625 seedlings/ha) to 14.00 m in D (11 547 seedlings/ha). Trees planted in variants D and G were relevantly higher than trees growing in densest spacing – A and F; however, they did not differ significantly in height from trees in variants C and B.

Variability ratio of height of all trees on Płock surface was in most cases lower than variability ratio of trees dbh and ranged from 15.11% (E) to 42.78% (G). The high variability ratio of tree height in variant G (10 417 seedlings/ha) is surprising in this case. It is over two times higher than in variant B with similar initial density, which indicates greater share of low trees in lower biosocial layers in variant G. On surface in Łąck, height variability ratio ranged from 8.14% (D) to 9.9% (A) and was much smaller than on Płock surface located on a poorer habitat.

3.5. Influence of initial spacing on height of trees from 1st biosocial class

Initial spacing, similar to habitat conditions, had a significant influence on formation of pines height,

both in case of all trees and in case of trees belonging to 1st social class ($p=0.00000$). Variance analysis performed for this average height of this class trees growing on both surfaces distinguished six homogeneous groups, wherein dominant trees growing on dry coniferous forest (Płock) had a significantly lower height than dominant pines growing on fresh coniferous forest habitat (Fig. 5).

On Płock surface, average height of trees belonging to 1st biosocial class was higher than values of average height for all trees by 9–15%. The smallest average height had dominant trees in variant C (10.42 m), and the biggest in D (11.40 m). Influence of spacing on tree height was similar both in case of 1st biosocial class and all trees. Trees of 1st biosocial class planted in triangular spacing (variants D and E) were significantly higher than trees from variants A, B, C and F (Fig. 5).

Average height of trees from 1st biosocial class on Łąck surface was also equalised and higher from average height of all trees only by 2–4%. The highest average had trees from variant D (14.36 m) and the smallest from E (13.59 m). Average height of trees from 1st biosocial class in particular variants was significantly different ($p=0.00000$). Variance analysis divided trees of this class into two homogeneous groups. Trees from variants G and D were significantly higher than trees from remaining spacing variants, except for C (Fig. 5).

Variability ratio of examined feature on Płock surface ranged from 9.61% (E) to 14.97% (C), whereas on Łąck surface these values ranged from 5.75% (G) to 8.41% (B) (Table 2).

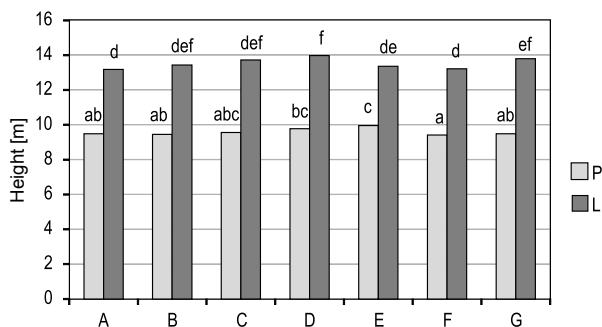


Figure 4. Height of spacing variants and in varied habitat conditions (P – Płock, dry coniferous forest, L – Łąck, fresh coniferous forest). Average values of feature marked with the same letter do not differ significantly with $p=0.05$. Variants as in Table 1.

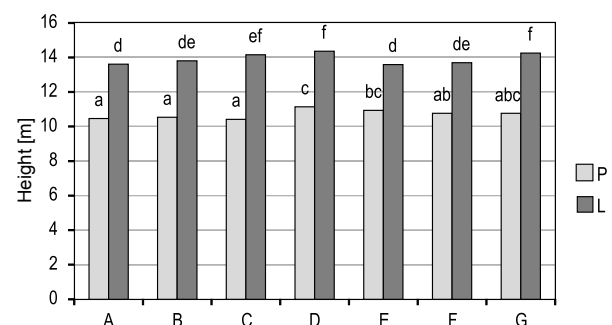


Figure 5. Height of pines from 1st biosocial class in spacing variants and in varied habitat conditions (P – Płock, dry coniferous forest, L – Łąck, fresh coniferous forest). Average values of feature marked with the same letter do not differ significantly with $p=0.05$. Variants as in Table 1.

4. Results discussion

In this research, seven initial spacing variants were analysed: square-, rectangular- and triangular-shaped, with initial density from 6 944 seedlings/ha to 15 625 seedlings/ha. Experimental plots were established in 1965. In both objects, after around 20 years of growth, dead and declining trees (once) were removed.

In this research, the influence of initial density and habitat on tree survival was shown. After 38 years of growth, more trees survived in wider spacing (with lower initial density) and on poorer habitat where the pace of tree growth and therefore the secretion was smaller. Smaller survival had an influence on smaller diversity of tree size on a more fertile habitat.

Similar results concerning initial spacing influence and habitat fertility on secretion process were also seen in the studies by Kramer (1988), Rjabokin' (1991), Spellmann and Nagel (1992), and Zajączkowski and Kopryk (1990). Significant loss in denser spacing is a main argument of loose spacing supporters who believe that there is no need to invest in expensive planting material (Kramer 1988). Yet, analysis in isolation of only survival from the remaining features that characterise height and quality of forest stand does not support the correctness of inference.

Initial spacing and habitat type influenced thickness of all trees in forest stand, and thickness of trees from 1st biosocial class. Trees on more fertile habitat were significantly thicker than trees on a poorer habitat. After 38 years of growth, dbh of all trees was significantly bigger in variants of lower initial density (6 944 seedlings/ha and 8 019 seedlings/ha), irrespective of habitat conditions. A similar tendency was observed in case of trees from 1st biosocial class, whereas on a poorer habitat the difference between dominant trees dbh and dbh of all trees was far bigger than on a more fertile habitat. Smaller tree survival on a more fertile habitat had an influence on such a state.

The variant D case is interesting: triangular spacing, 11 547 seedlings/ha, in which on a more fertile habitat, dbh – of all and dominant trees – had the highest value, while on a poorer habitat dbh did not differ much from average for whole forest stand. For such a result, the quite low survival of trees in this type of spacing on fresh coniferous forest habitat had an influence. It should be noticed, however, that trees growing in a different variant of triangular spacing – E, of lower density, on both surfaces (Płock and Łąck) – also belonged to the thickest. It is possible that on a more fertile habitat,

negative effect of trees high density is slightly eliminated by positive characteristics of spacing shape. It would be consistent with the statement of Assmann (1968) that with triangular spacing, trees make better use of the space, which is positively reflected in their growth. This relation was observed in the following research also in terms of influence of spacing shape on tree height. Šutov (1984) also considers, in terms of breeding, triangular spacing the best, but this spacing causes considerable difficulties in work mechanisation.

Hamilton and Christie (1971) in youngest Scots pine development phases (cultivation, thicket) stated the increase of dbh growth pace of all and dominant trees (in smaller degree) along with decrease of initial density. Strong, directly proportional dependence of pines dbh in young age (11 years) on the spacing planting was confirmed by Ceitel (1989) in his research. The results of the following study also confirm the research results of other authors (Kramer 1988; Dittmar 1992; Kenk 1998; Lockow 1998; Buzykin, Pšeničnikova 1999; Huss 1999 a, b).

The presented research shows that on a poor habitat after around 40 years of growth, dbh of trees growing in various densities still differs, and is bigger in case of trees growing in looser spacing. Difference between average dbh of trees planted in different spacings occurs in early stages of forest stand's development and is maintained in the following years. This regularity is characteristic of coniferous species (Braathe 1952; Sjolte-Jørgensen 1967; Zajączkowski, Kopryk 1981).

After 38 years of growth, trees growing on a fresh coniferous forest habitat were significantly higher (all and dominant) than trees growing on a dry coniferous forest. Initial density had smaller influence on height than on dbh of trees. Even though on a more fertile habitat the lowest trees were observed in variants of greater initial density over 15 thousands seedlings per 1 hectare, these relations were not significant. By contrast, the highest trees – both all and from 1st biosocial class – were in variants with density 10.5–11.5 thousands seedlings/ha.

In case of a poorer habitat, a positive influence of triangular-shaped spacing (variants D and E) on the height of all trees and trees of 1st biosocial class was observed. Trees of this group planted in density 11 547 seedlings/ha (variant D) were, as on a fresh coniferous forest habitat, the highest.

In other research on coniferous forest stands, average forest stand height increased with planting density increase (Evert 1971; Kramer 1988; Ceitel 1989; Moberg 1999). The research by Elfving (1975) in not-nursed 22-year-old pine forest stands in Sweden confirms this

conclusion with reference to average forest stand height, but not to dominant trees: average height of a hundred thicker trees increased with initial density increase.

5. Conclusions

On the basis of this research, the following results may be formulated:

1. Habitat conditions have an influence on tree survival in pine forest stands and on their growth in thickness and height. On a less fertile habitat, lesser competition between trees occurs, especially in younger age, which results in increased survival of trees. On a fresh coniferous forest habitat, however, pines have significantly bigger dbh and height than on a dry coniferous forest habitat. At the same time, habitat conditions affect the strength of spacing impact on analysed features. On a poorer habitat, this impact is stronger, which is expressed by greater differentiation of analysed parameters, than on a more fertile habitat.

2. The research showed a significant influence of initial spacing on pine dbh at the end of 2nd age class. Tree dbh increased with initial spacing loosening. This relation regarded all trees and trees from 1st biosocial class. A positive influence of triangular-shaped spacing on this feature was also stated, but only on a fresh coniferous forest habitat.

3. No height increase of trees was stated with decrease of initial density. On both examined habitats, the highest were trees planted in a density of around 11.5 thousands per hectare. Triangular initial spacing shape had also a positive influence on this feature.

Acknowledgements

This research was performed as part of a project financed by National Science Centre funds (N N309 110 840) in 2011–2013.

References

- Assmann E. 1968. Nauka o produktyjności lasu [Science on forest productivity]. Warszawa], PWRiL, 1–627.
- Braathe P. 1952: The effect of different spacing upon stand development and yield in forests of Norway spruce. *Meddelelser fra det norske Skogforøksvesen*. 11, 425-469.
- Burzyński G., Zajączkowski J. 1975. Badanie wpływu różnej więzby sadzenia sosny na jej wzrost i rozwój oraz ustalenie więzby gospodarczo uzasadnionej. Dokumentacja IBL, Warszawa.
- Buzykin A. I., Pšeničnikova L. S., 1999: Vlijanie gustoty na morfostrukturu i produktivnost' kul'tur sosny. *Lesovedenie* 3, 38–43.
- Ceitel J., 1989: Badania nad więzłą upraw leśnych i upraw plantacyjnych. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, 204 (25), 89–94.
- Ceitel J. 1995: Współczesne poglądy na więzłą sadzenia upraw leśnych w niektórych krajach Europy. *Przegląd Leśniczy* 4: 10–13.
- Dittmar O. 1992: Die langfristige Kiefern-Verbandsweite-Versuchsreihe Serno 133. 100 Jahre IUFRO. *Beitraege zur 100jaehrigen Wiederkehr der Gruendung der IUFRO in Eberswalde. Langfristige waldbaulich-ertragskundliche Versuchsflaechen. Der Wald Berlin* 42 (8), 304–305.
- Elfving B., 1975: Volume and structure in unthinned stands of Scots pine. *Royal College of Forestry. Stockholm. Research Notes*, 35, 1–125.
- Evert F. 1971: Spacing studies – a review. *Forest management Institute, Ottawa, Ontario*, 1–95.
- Gil W. 1999: Wpływ zagęszczenia na jakość i stabilność drzewostanów sosnowych I i II klasy wieku. In: Stan i perspektywy badań z zakresu hodowli lasu. Warszawa, Instytut Badawczy Leśnictwa, 247–255. ISBN 83-87647-07-1.
- Hamilton G.J., Christie J.M. 1971. *Forest Management Tables (Metric)*. Forestry Commission Booklet No. 34. HMSO, London.
- Huss J. 1999a: Auswirkungen unterschiedlicher Ausgangspflanzdichten und frühzeitiger Pflegeeingriffe bei jungen Kiefern. *Forst und Holz*, 54, 11: 335–340.
- Huss J. 1999b: Auswirkungen unterschiedlicher Ausgangspflanzdichten und frühzeitiger Pflegeeingriffe bei jungen Kiefern. Teil II: Auswirkungen frühzeitiger Pflegeeingriffe in einem Kiefernjungbestand. *Forst und Holz*, 54, 12: 364–368.
- Kramer H. 1988: *Waldwachstumslehre. Ökologische und anthropogene Einflüsse auf das Wachstum des Waldes, seine Massen- und Wertleistung und die Bestandesicherheit*. Hamburg und Berlin, Verlag Paul Parey, 1-374. ISBN-13: 9783490056160.
- Lockow K.-W. 1998: Langfristige Versuchsflächen Eberswalde. *Der Kieferndurchforstungsversuch Chorin 97 – Ziel und Ergebnisse für die Praxis. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie*, 32 (1), 15–23.
- Melzer E. W., Brunn Er., Brunn Eg., Netzker W. 1992: Pflanzverband und Kulturqualität bei Kiefer (*Pinus sylvestris* L.). *Forstarchiv* 63, 136–142.
- Moberg L., 1999: Variation in Knot Size of *Pinus sylvestris* in Two Initial Trials. *Silva Fennica*, 33 (2), 131–144.
- Mráček Z. 1969: Influence of spacing on the quality of Scots pine stands. *Communicationes Instituti Forestalis Českosloveniae* (Praha), 6, 99–109.
- Rjabokin O. P. 1991: Pidsumky rostu 45-ričnych sosnjakiv z ríznym rozmiščenjam posadočnych misc'. *Lisivnyctvo i Ahrolisomelioracija*, 2, 53–56.

- Sannikov J. G., Barancev A. S. 1989: O zakonomernostjach rosta čistych sosnovych molodniakov različnoj gustoty. *Lesnoe Chozjajstvo*, 9, 27–29.
- Schmaltz J., Fröhlich A., Gebhardt M. 1997: Die Qualitätsentwicklung in jungen Traubeneichenbeständen im Hessischen Spessart. *Forstarchiv*, 68, 3–10.
- Sjolte-Jørgensen, 1967: The influence of spacing on the growth and development of coniferous plantations. *International Review of Forestry Research*, 2: 43–94.
- Spellmann H., Nagel J. 1992: 2. Auswertung des Nelder-Pflanzverbandsversuches mit Kiefer im Forstamt Walsrode. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 11/12: 221–229.
- StatSoft Inc. 2011. STATISTICA. Data analysis software system, version 10. www.statsoft.com [12.019.2013].
- Zajączkowski J., Kopyrk W. 1981: Badania nad wpływem więzby sadzenia na wzrost i rozwój drzewostanów sosnowych. Dokumentacja IBL. Warszawa.
- Zajączkowski J., Kopyrk W. 1990: Określenie więzby początkowej oraz nasilenia i intensywności cięć pielęgnacyjnych w drzewostanach sosnowych, zwiększających ich stabilność i produktywność. Dokumentacja IBL. Warszawa.
- Zajączkowski J., Zachara T., Gil W., Kopyrk W., Woźniak R. 1996: Wpływ sposobu, nasilenia i intensywności trzebieży na stabilność i produktywność drzewostanów sosnowych II i III klasy wieku. Dokumentacja IBL, Warszawa.
- Zasady Hodowli Lasu. 2012. Warszawa, CILP, 1–72. ISBN 978-83-61633-65-