UNIWERSYTET PRZYRODNICZY W POZNANIU
WYDZIAŁ LEŚNY I TECHNOLOGII DREWNA
KATEDRA UŻYTKOWANIA LASU

AGNIESZKA REMLEIN

ZMIENNOŚĆ FENOTYPOWA SOSNY ZWYCZAJNEJ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) NA PODSTAWIE WYBRANYCH EKOTYPÓW

PHENOTYPIC VARIABILITY OF THE SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) STANDS BASED ON THE SELECTED ECOTYPES

Promotor
Prof. UPP dr hab. Tomasz Jelonek
Katedra Użytkowania Lasu
Wydział Leśny i Technologii Drewna
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Promotor pomocniczy
Prof. UPP dr hab. Janusz Szmyt
Katedra Hodowli Lasu
Wydział Leśny i Technologii Drewna
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Poznań, 2020

Wstęp

Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) należy do rodziny *Pinaceae* i jest gatunkiem iglastym o pniu w formie strzały [Andrzejczyk, Żybura 2012] pokrytej w górnej części korą cienką i rudą, natomiast w części dolnej korą głęboko spękaną, szarobrunatną. Sosna może osiągnąć wysokość do około 40 metrów [Kamiński i in. 2012]. Igły osadzone są na pędzie po dwie, sztywne i kłujące, o długości od 4 do 7 centymetrów. Szyszki sosny są jajowate, o długości od 3 do 7 centymetrów. Dojrzałość szyszki osiągają w drugim roku, a na wiosnę trzeciego roku otwierają się, wysiewając nasiona [Białobok, Hellwig 1955]. Kształt korony związany jest z grubością i liczbą gałęzi, które wyrastają z jednego pseudookółka. Korony młodych drzew są stożkowate i regularne, a u starszych osobników bardziej okrągłe lub parasolowate. Sosna wytwarza głęboki palowy system korzeniowy. Długość korzeni bocznych na siedliskach ubogich może być nawet kilka razy większa niż na siedliskach żyznych. Na torfowiskach i siedliskach bagiennych drzewa tego gatunku wytwarzają najczęściej płytki system korzeniowy [Białobok i in. 1993].

Z definicji, ekotyp jest jednostką powstałą na skutek selekcji naturalnej i obejmuje genotypy najlepiej przystosowane do warunków środowiska w danym miejscu. Ekotypy różnią się między sobą właściwościami fizjologicznymi, natomiast rzadziej cechami morfologicznymi [Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe: Raport o stanie lasów w Polsce 2016]. W zależności o tego, jakie czynniki ekologiczne miały wpływ na ich powstawanie, można wyróżnić trzy rodzaje ekotypów: klimatyczne, edaficzne i biocenotyczne. Ekotypy mogą być dziedzicznie trwałe, co oznacza, że nie mogą się przystosowywać do zmienionych warunków środowiskowych, a w niekorzystnych warunkach często wymierają. Sosna zwyczajna jest gatunkiem wytwarzającym szczególnie dużą różnorodność ekotypów. Nie bez znaczenia jest tutaj fakt, że gatunek ten zajmuje obszar o silnie zróżnicowanych warunkach klimatycznych i glebowych. Na terenie Polski wyodrębniono szereg ekotypów regionalnych, np. sosnę gubińską, rychtalską, taborską czy supraską [Cierniewski 1981; Cierniewski i Giertych 1982; Białobok i in 1970].

Podjęte w niniejszej pracy badania ukierunkowane były na porównanie różnych cech i właściwości drewna pochodzącego z pięciu ekotypów sosny zwyczajnej występujących w Polsce. Analizie poddano cechy morfologiczne drzew (takie jak wysokość drzew, szerokość koron, pierśnice i in.), gęstość tkanki drzewnej, dynamikę przyrostu na grubość oraz jakość strzał.

Hipotezy badawcze

W pracy założono, że pomiędzy różnymi ekotypami sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) występują różnice w architekturze morfologicznej oraz wskaźnikach opisujących stabilność drzew i drzewostanów.

Założono również, że tkanka drzewna tworzona w każdej z badanych populacji będzie charakteryzowała się innymi cechami, właściwościami i jakością.

Cel i zakres badań

Zasadniczymi celami przeprowadzonych badań były:

- próba opisania wybranych ekotypów sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) pod względem architektury morfologicznej drzew, uwzględniając jednocześnie cechy kształtujące ich stabilność biomechaniczną,
- próba opisania wybranych ekotypów sosny pod względem cech i właściwości tkanki drzewnej, oraz charakterystyka jakości surowca drzewnego reprezentującego badane populacje,
- opisanie zależności pomiędzy analizowanymi cechami i właściwościami.

Powierzchnie badawcze założono w pięciu rejonach kraju, w których występują następujące ekotypy: sosna supraska, sosna taborska, sosna bolewicka, sosna rychtalska i sosna gubińska.

Badania przeprowadzono w dojrzałych gospodarczych drzewostanach nasiennych. Łącznie badaniami objęto blisko 1000 sosen pochodzących z 5 drzewostanów. W pierwszej kolejności analizie poddano cechy biometryczne badanych drzew oraz wskaźniki ich stabilności. Następnie, na podstawie 30 drzew, w każdym z ekotypów określono osiową zmienność cech i właściwości drewna.

Metodyka

Prace terenowe

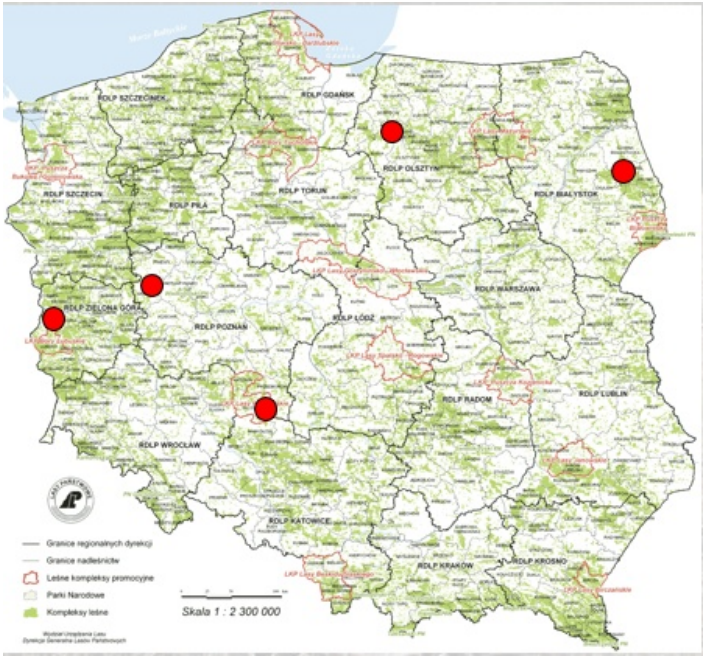
Charakterystyka terenu badań

Głównym założeniem metodycznym było prawidłowe wytypowanie drzewostanów reprezentujących pięć różnych ekotypów sosny pospolitej *(Pinus sylvestris* L.*)* na terenie Polski. Badane drzewostany były gospodarczymi drzewostanami nasiennymi w wieku rębnym, a sosna zwyczajna stanowiła gatunek główny. Drzewostany wytypowano tak, aby wzrastały w warunkach typowych dla danej krainy przyrodniczo-leśnej.

Powierzchnie badawcze znajdowały się na terenie pięciu nadleśnictw: Grodzisk, Gubin, Miłomłyn, Supraśl i Syców (ryc. 1). Badane drzewostany reprezentowały 5 ekotypów sosny zwyczajnej: bolewicki, gubiński, taborski, supraski i rychtalski. W tabeli poniżej przedstawiono skrócony opis taksacyjny wytypowanych do badań drzewostanów (tab. 1).

Tabela 1. Opis drzewostanów wytypowanych do badań

Nadleśnictwo	**Gubin**	**Miłomłyn**	**Grodzisk**	**Supraśl**	**Syców**
Oddział	31 h	117 c	218 f	244 c	77 a
Wielkość drzewostanu [ha]	16,29	22,8	5,94	5,84	9,83
Typ siedliskowy lasu	BMśw	LMśw	Bśw	BMśw	BMśw
Typ drzewostanu	So	Bk So	So	ŚwSo	So
Bonitacja	III	I	III	IA	IA
Zadrzewienie	1.0	1.1	0.9	0.8	0.8
Wiek	113	105	104	111	99
Liczba drzew na 1 ha	279	349	275	248	255



Ryc. 1. Lokalizacja wybranych do badań Nadleśnictw

źródło:

http://www.lkplasyrychtalskie.poznan.lasy.gov.pl/image/journal/article?img_id=29021413&t=1462348615069&width=716

Wyznaczanie powierzchni próbnych

W pierwszej kolejności, sugerując się opisem taksacyjnym oraz danymi archiwalnymi Lasów Państwowych dotyczącymi pochodzeń drzewostanów, wytypowano powierzchnie badawcze, które reprezentowały wybrane ekotypy sosny i były zlokalizowane w gospodarczych (nasiennych) drzewostanach sosnowych w wieku rębnym. Podstawowym kryterium wyboru powierzchni do badań był wiek drzewostanu oraz jego pochodzenie. Dodatkowym kryterium był skład gatunkowy oraz warunki siedliskowe, które odpowiadały typowym warunkom wzrostu i rozwoju drzewostanów w danym Nadleśnictwie (krainie przyrodniczo-leśnej).

Wyznaczanie drzew próbnych

W wyznaczonych do badań drzewostanach wybrano kolejno 200 drzew tworzących drzewostan główny, które następnie zostały trwale oznaczone za pomocą farby i ponumerowane odpowiednio od 1 do 200. W pierwszej kolejności na każdej powierzchni badawczej, za pomocą średnicomierza pomierzono pierśnicę oraz dokonano pomiaru wysokości wszystkich wyznaczonych drzew. Następnie pomierzono długość koron, w pierwszej kolejności najniżej położonej żywej gałęzi, która miała kontakt z żywą koroną. Pomierzono także średnice koron z dokładnością do 0,1m. Pomiaru dokonano w dwóch kierunkach geograficznych: północ-południe i wschód-zachód zgodnie z metodyką stosowaną przez Jelonka [2013]. Za pomocą wysokościomierza laserowego dokonano również pomiaru wysokości pierwszych widocznych na strzałach drzew tylców.

Pozycję biosocjalną drzew w drzewostanie na badanych powierzchniach określono wykorzystując klasyfikację socjalną Krafta [1884], której podstawą jest określenie wysokości badanego drzewa względem drzew otaczających oraz forma korony klasyfikowanego drzewa. Wyznaczone drzewa podzielono na trzy stopnie grubości stopując metodę Uricha II [Grochowski 1973] i oznaczono jako drzewa cienkie (III), średnie (II) i grubsze (I), podobnie jak Fabisiak [2005] i Jelonek [2013].

Po uzyskaniu charakterystyki grubościowo - wysokościowej drzewostanu i przydzieleniu drzew do odpowiedniej klasy (stopni), w każdej z klas wybrano losowo po 10 drzew, z których następnie pobrano nawierty świdrem do drzew o średnicy 0,5 cm.

Nawierty wykonywano przy pomocy świdra przyrostowego na wysokości pierśnicy tj. 1,3 m. Próbki pobierano od strony północnej, starając się za każdym razem otrzymać nawiert sięgający od obwodu pnia aż do rdzenia. Pobrane nawierty oznaczono tak, aby można było je łatwo zidentyfikować i przypisać do konkretnego drzewa, następnie nawierty

zabezpieczono i przetransportowano do laboratorium w celu dalszej obróbki i analiz dynamiki przyrostu drzew na grubość oraz gęstości tkanki drzewnej. Łącznie z każdej powierzchni badawczej pobrano po 30 próbek w postaci nawiertów. Na każdej powierzchni dokonano również szacunku brakarskiego metodą posztuczną [Zarządzenie nr 33 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 17 kwietnia 2015 r. w sprawie zasad sporządzania szacunków brakarskich (ZD.7600.4.2015)].

Prace kameralne

Określenie wskaźników biometrycznych

Na podstawie cech biometrycznych pomierzonych drzew określono za Jelonkiem [2013]:

- współczynnik smukłości drzew (S) rozumiany jako stosunek wysokości drzewa do jego pierśnicy
- wskaźnik wychylenia koron rozumiany jako stosunek średniej średnicy korony do wysokości drzewa
- wskaźnik środka ciężkości drzewa rozumiany jako stosunek długości żywej korony do wysokości drzewa

Określenie gęstości tkanki drzewnej

W pracy do określenia zmienności gęstości drewna na przekroju poprzecznym pnia, w których materiałem badawczym są odwierty, stosowano metodykę opracowaną przez Ericsona [1959] i zmodyfikowaną przez Wąsika [2012]. Każdy z badanych odwiertów został podzielony na sekcje, obejmujące po 10 rocznych przyrostów grubości. Sekcje odwiertów suszono w suszarce z termostatem, w temperaturze powietrza 105º C ważąc je co 6 godzin, do momentu aż nie stwierdzono utraty przez próbki masy. Następnie próbki ważono na wadze laboratoryjnej z dokładnością do 0,001g. Do określenia objętości poszczególnych sekcji wykorzystano metodę hydrostatyczną [Wąsik 2012 za Olesen 1971].

Określenie zmienności i dynamiki przyrostu na grubość

Określenia zmienności i dynamiki przyrostu grubości dokonano na podstawie wykonanych nawiertów. Przed ich analizą, nawierty zostały dokładne oszlifowanie, tak aby były widoczne granice przyrostów rocznych oraz granice pomiędzy strefą drewna wczesnego i późnego. Pomiary prowadzono od rdzenia w kierunku obwodu.

Szacunek brakarski

Analizie poddano również strukturę jakościową i ilościową w klasach jakości surowca drzewnego dla każdego z porównywanych ekotypów osobno. W każdym ekotypie określono jakość dla tych samych drzew, dla których przeprowadzono analizę cech biometrycznych i opisano w pracy architekturę morfologiczną.

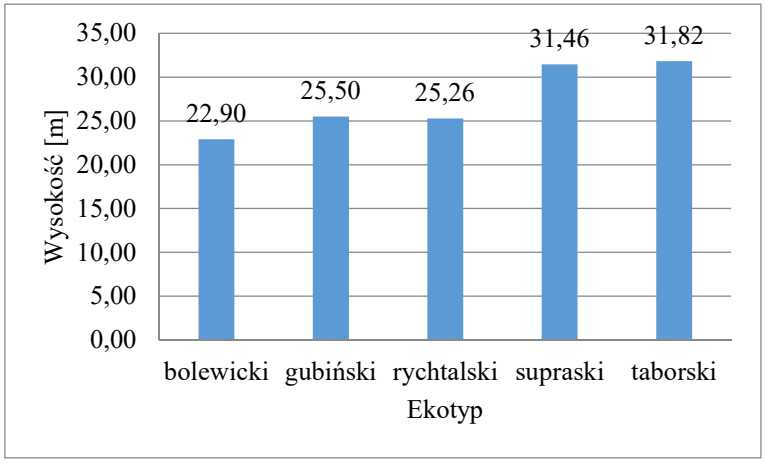
Obliczenia i analizy statystyczne

W pracy określono podstawowe charakterystyki statystyczne analizowanych zmiennych oraz współzależności między nimi. Uzyskany materiał empiryczny analizowano adekwatnymi metodami statystycznymi. Wyniki zostały przedstawione graficznie w formie rycin oraz tabel.

Wyniki

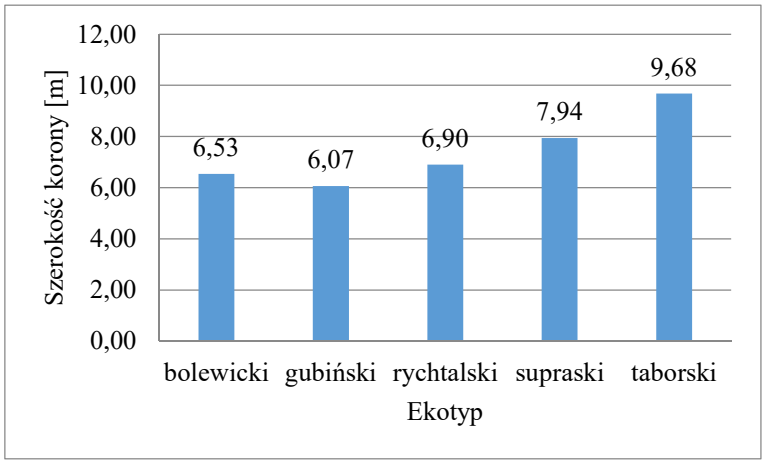
Zmienność morfologiczna

Średnia wysokość sosen dla wszystkich proweniencji wyniosła 27,3 m. Najwyższe wartości wysokości osiągnęły sosny reprezentujące ekotyp taborski (31,82 m) i supraski (31,46 m), najniższe natomiast ekotyp bolewicki (22,90 m) (ryc. 2).



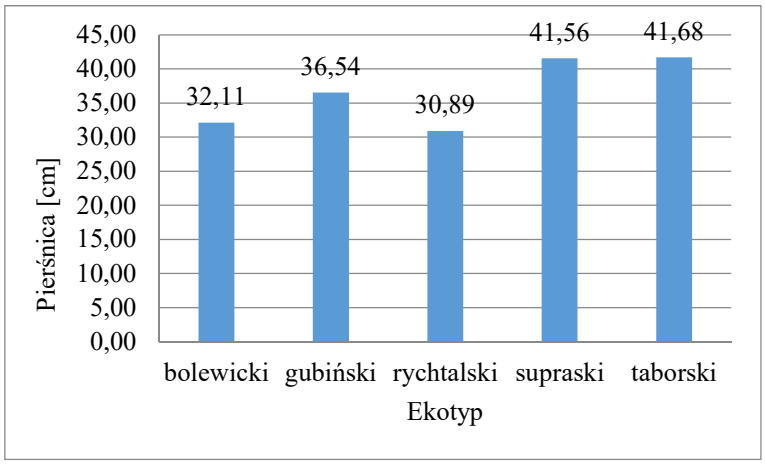
Ryc. 2. Średnia wysokość drzew u porównywanych ekotypów

Najwyższe średnie wartości szerokości korony stwierdzono w przypadku ekotypu sosny taborskiej (9,68 m) przy jednocześnie najwyższym odchyleniu standardowym tej cechy (1,67 m) a także sosny supraskiej (7,94 m). Najniższa szerokość korony została stwierdzona u sosny gubińskiej (6,07 m) (ryc. 3)



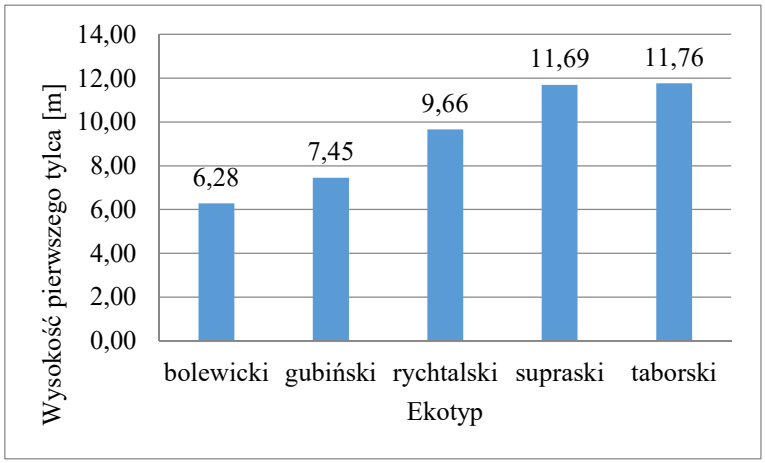
Ryc. 3. Średnia szerokość koron drzew u porównywanych ekotypów

Średnia pierśnica jest najniższa u sosny reprezentującej populację rychtalską i wynosi 30,89 cm, a najwyższa u populacji taborskiej (41,68 cm) i supraskiej (41,56 cm) (ryc. 4).



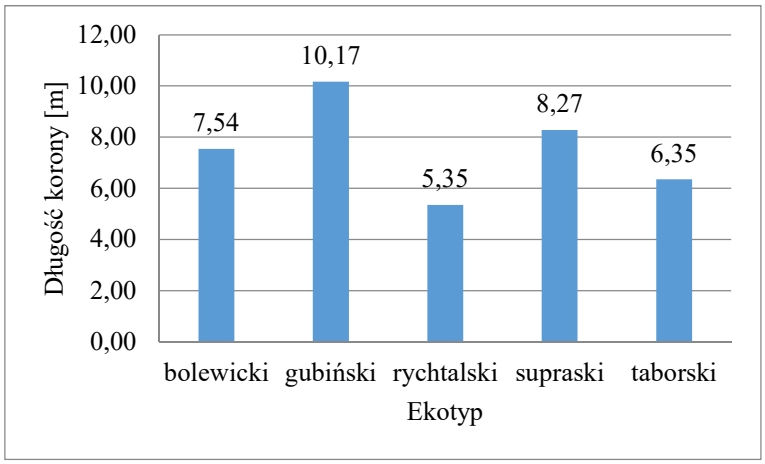
Ryc. 4. Średnia pierśnica drzew u porównywanych ekotypów

Wysokość występowania pierwszego tylca ma ogromne znaczenie przy wstępnym określaniu jakości surowca, świadczy bowiem o stopniu oczyszczenia się strzał z gałęzi i wyznacza w pewnym sensie strefę drewna bezsęcznego. Średnia wysokość pierwszego widocznego na strzałach tylca byłą najniższa u sosny bolewickiej i wynosiła jedynie 6,28 m, najwyższa zaś w przypadku sosny taborskiej (11,76 m) i supraskiej (11,69 m) (ryc. 5).



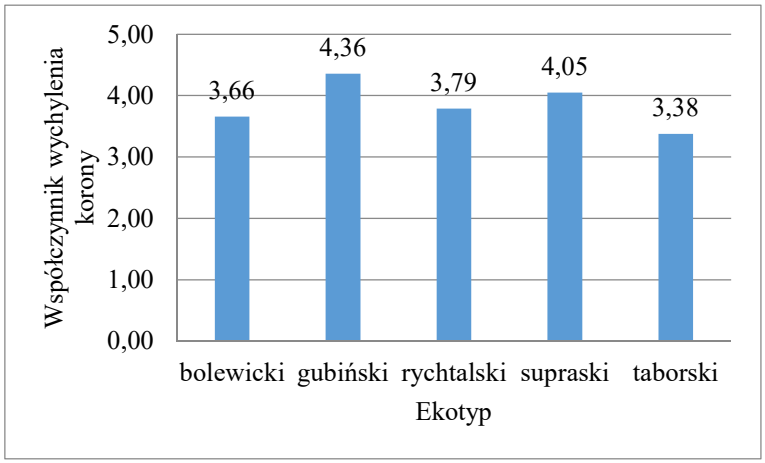
Ryc. 5. Średnia wysokość pierwszego tylca drzew u porównywanych ekotypów

Średnia długość korony najniższe wartości uzyskała w populacji sosny rychtalskiej gdzie jej długość wyniosła zaledwie 5,35 m, najwyższe natomiast w populacji gubińskiej gdzie L_k wyniosło aż 10,17 m (ryc. 6).



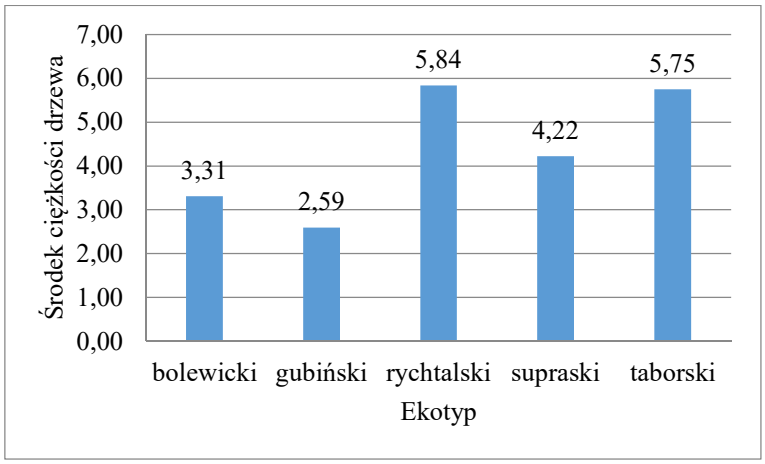
Ryc. 6. Średnia długość korony drzew u porównywanych ekotypów

Współczynnik wychylenia korony ustalono na podstawie stosunku wysokości drzewa (H_d) do szerokości żywej korony (D_k). Średnia wartość współczynnika wychylenia korony była najniższa w przypadku ekotypu sosny taborskiej i wynosiła 3,38, najwyższe natomiast wartości tego współczynnika stwierdzono w populacji gubińskiej gdzie wyniósł on 4,36 (ryc. 7).



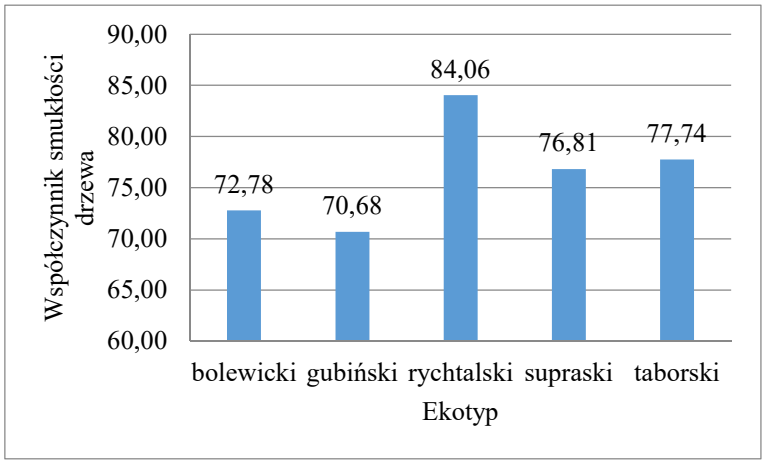
Ryc. 7. Średni współczynnik wychylenia korony drzew u porównywanych ekotypów

Środek ciężkości drzewa ustalono na podstawie stosunku wysokości drzewa (H_d) do długości żywej korony (L_k). Średnia wartość środka ciężkości drzewa była najniższa w przypadku ekotypu sosny gubińskiej i wynosiła 2,59, najwyższa natomiast w przypadku ekotypu sosny rychtalskiej, gdzie wyniosła 5,84, a także taborskiej gdzie wyniosła 5,75 (ryc. 8).



Ryc. 8. Średnia wartość środka ciężkości drzewa u porównywanych ekotypów

W dalszej kolejności analizie poddano współczynnik smukłości drzew, który jest stosunkiem wysokości drzewa (H_d) do jego pierśnicy ($D_{1,3}$). Średnia wartość współczynnika smukłości drzew była najniższa w populacji gubińskiej i wynosiła 70,68, najwyższa natomiast w populacji rychtalskiej, gdzie smukłość wyniosła 84,06 (ryc. 9).



Ryc. 9. Średnia wartość współczynnika smukłości drzewa u porównywanych ekotypów

Zależności analizowanych cech i współczynników

Analiza korelacji różnych cech i wskaźników pozwoliła zweryfikować, które cechy i współczynniki są ze sobą istotnie powiązane. Najwięcej istotnych korelacji cech biometrycznych stwierdzono u dwóch ekotypów tj. u sosny bolewickiej i sosny supraskiej, u których większość opisywanych cech była ze sobą silnie skorelowana.

W przypadku wszystkich porównywanych ekotypów najsilniej skorelowane były długość korony (L_k) oraz współczynnik środka ciężkości drzewa (H_d/L_k). W zależności od ekotypu współczynnik korelacji dla tych cech wahał się w przedziale od -0,842 u sosny supraskiej do -0,9378 u sosny gubińskiej. Wysoce skorelowane, w przypadku wszystkich populacji za wyjątkiem sosny bolewickiej, były również średnica korony (D_k) oraz wskaźnik wychylenia korony (H_d/D_k), gdzie współczynnik korelacji dla tych cech wyniósł od -0,823 (sosna rychtalska) do -0,936 (sosna gubińska).

Charakterystyka zmienności grubości przyrostów rocznych oraz stref drewna

Charakterystyka zmienności rocznych przyrostów grubości u sosny zwyczajnej reprezentującej różne ekotypy

W pierwszej kolejności analizie poddano zmienność szerokości słojów rocznych oraz drewna wczesnego i późnego w rocznych przyrostach grubości, a uzyskane wyniki przedstawiano w tabeli 2.

Pod względem dynamiki przyrostu na grubość najszersze przyrosty roczne oraz najszersze strefy drewna wczesnego w słoju uzyskano dla sosen: supraskiej i rychtalskiej i były one statystycznie istotnie szersze niż średnie uzyskane w pozostałych ekotypach. W

przypadku najważniejszego z punktu widzenia stabilności drzew, udziału drewna późnego w słoju rocznym, najszerszą strefą cechowała się sosna taborska. Średnia szerokość tej strefy była u tego ekotypu statystycznie istotnie największa w porównaniu z pozostałymi badanymi populacjami.

Tabela 2. Charakterystyka statystyczna rocznych przyrostów grubości u porównywanych ekotypów sosny

Ekotyp	Strefa	*M* [mm]	*SD* [mm]
bolewicki	drewno wczesne	0,88	0,41
	drewno późne	0,61	0,24
	słój	1,48	0,61
gubiński	drewno wczesne	0,88	0,40
	drewno późne	0,53	0,14
	słój	1,41	0,51
taborski	drewno wczesne	1,01	0,86
	drewno późne	0,79	0,44
	słój	1,80	0,32
supraski	drewno wczesne	1,12	1,18
	drewno późne	0,66	0,35
	słój	1,87	0,68
rychtalski	drewno wczesne	0,87	0,68
	drewno późne	0,61	0,24
	słój	1,48	0,92

Charakterystyka zmienności szerokości rocznych przyrostów grubości w zależności od klasy grubości drzew

Pozycja biosocjalna (klasa grubości) istotnie wpływa na dynamikę przyrostu i na grubość badanych ekotypów sosny. Największe średnie wartości szerokości badanych stref drewna (słój roczny, drewno wczesne, drewno późne) stwierdzono w III klasie grubości, a więc u drzew współpanujących. Najwyższą wartością w tej klasie grubości charakteryzowała się sosna supraska, gdzie średnia szerokość słoja rocznego wyniosła 2,31 mm, a odchylenie standardowe tej cechy 1,67 mm. Średni przyrost roczny sosny należącej do ekotypu taborskiego w tej klasie grubości wynosił 2,06 mm, a odchylenie standardowe 1,10 mm. Średnia szerokość rocznego przyrostu u sosny bolewickiej w grupie drzew najgrubszych

wyniosła 1,86 mm (odchylenie standardowe 0,69 mm). Najmniejszą natomiast średnią wartością szerokości słoja rocznego charakteryzowały się sosna gubińska, gdzie szerokość słoja wyniosła 1,88 mm (odchylenie standardowe 0,65 mm) oraz sosna rychtalska, gdzie średnia szerokość słoja wyniosła 1,74 mm (odchylenie standardowe 0,96 mm) (tab. 3).

Tabela 3. Charakterystyka statystyczna rocznych przyrostów drewna z podziałem na klasy grubości

Ekotyp	I klasa grubości		II klasa grubości		III klasa grubości	
	M [mm]	*SD* [mm]	*M* [mm]	*SD* [mm]	*M* [mm]	*SD* [mm]
bolewicki	1,20	0,47	1,36	0,45	1,86	0,69
gubiński	1,07	0,10	1,28	0,15	1,88	0,65
taborski	1,58	1,05	1,75	1,17	2,06	1,10
supraski	1,34	1,13	1,71	1,23	2,31	1,67
rychtalski	1,23	0,89	1,47	0,92	1,74	0,96

Charakterystyka zmienności szerokości wczesnej strefy słoja rocznego w zależności od klasy grubości drzew

W dalszej kolejności przeprowadzono analizę zmienności wczesnej strefy słoja na tle porównywanych klas grubości drzew. We wszystkich przypadkach różnice pomiędzy klasami były istotne statystycznie. Największą średnią szerokość strefy drewna wczesnego stwierdzono u drzew w trzeciej klasie grubości, gdzie wartość ta wahała się w przedziale od 1,03 mm do 1,47 mm (tab. 4). Najmniejsze szerokości średnich przyrostów wczesnych odnotowano u drzew znajdujących się w pierwszej klasie grubości, począwszy od 0,67 mm u sosny gubińskiej, 0,69 mm u sosny bolewickiej, 0,71 mm w przypadku sosny rychtalskiej oraz 0,84 mm u sosny supraskiej i 0,91 mm u sosny taborskiej.

Tabela 4. Charakterystyka statystyczna rocznych przyrostów drewna wczesnego z podziałem na klasy grubości

Ekotyp	I klasa grubości		II klasa grubości		III klasa grubości	
	M [mm]	*SD* [mm]	*M* [mm]	*SD* [mm]	*M* [mm]	*SD* [mm]
bolewicki	0,69	0,33	0,80	0,32	1,14	0,43
gubiński	0,67	0,07	0,78	0,08	1,24	0,57
taborski	0,91	0,83	0,97	0,91	1,15	0,83
supraski	0,84	0,97	1,06	1,02	1,47	1,41
rychtalski	0,71	0,63	0,86	0,67	1,03	0,74

Charakterystyka zmienności szerokości późnej strefy przyrostów rocznych w zależności od klasy grubości drzew

Szerokość strefy drewna późnego była różna w poszczególnych klasach grubości drzew, a różnice te były istotne statystycznie. Największą szerokość drewna późnego odnotowano w trzeciej klasie grubości. Najmniejszą średnią szerokość przyrostów zaobserwowano w I klasie grubości. Przy czym najszerszą strefą drewna późnego w słoju rocznym, w każdej z klas grubości cechowała się sosna taborska, najniższym zaś sosna gubińska (tab. 5).

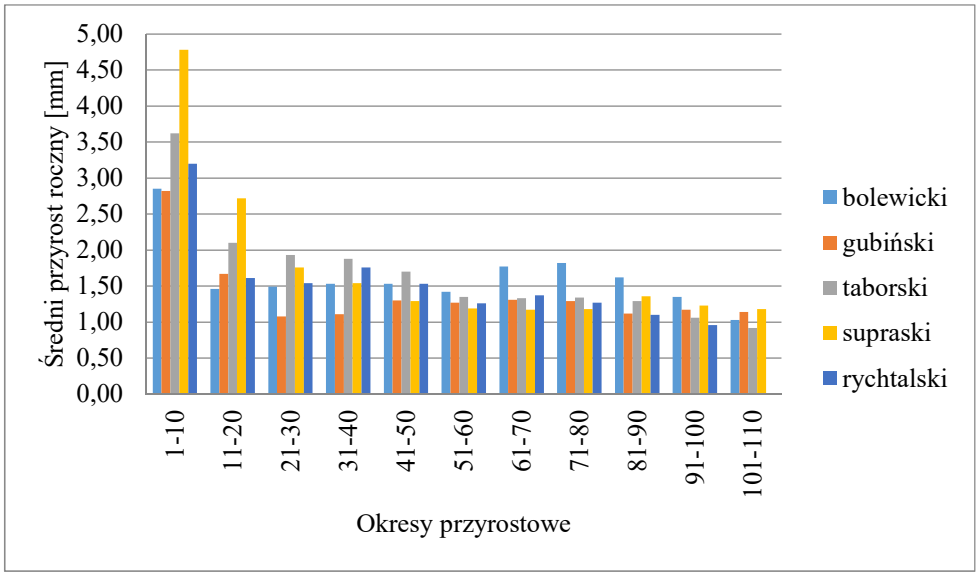
Tabela 5. Charakterystyka statystyczna rocznych przyrostów drewna późnego z podziałem na klasy grubości

Ekotyp	I klasa grubości		II klasa grubości		III klasa grubości	
	M [mm]	*SD* [mm]	*M* [mm]	*SD* [mm]	*M* [mm]	*SD* [mm]
bolewicki	0,52	0,17	0,59	0,17	0,72	0,30
gubiński	0,41	0,05	0,50	0,08	0,67	0,11
taborski	0,66	0,35	0,78	0,49	0,91	0,44
supraski	0,50	0,27	0,65	0,31	0,84	0,93
rychtalski	0,52	0,35	0,60	0,36	0,71	0,33

Charakterystyka zmienności rocznych przyrostów grubości u badanych ekotypów sosny

W dalszej kolejności analizie poddano zmienność dynamiki przyrostu na grubość u porównywanych ekotypów sosny w zależności od wieku (okresu przyrostowego). Rycina

numer 10 przedstawia zestawienie zmienności grubości przyrostów rocznych badanych ekotypów z podziałem na 10 – letnie okresy przyrostowe. W każdym z badanych ekotypów największą dynamiką przyrostu na grubość cechował się pierwszy (10-letni) okres przyrostowy, po przekroczeniu którego następował spadek średniej szerokości słoja u wszystkich porównywanych ekotypów. Podkreślić należy nietypowy wzrost średniej szerokości słoja rocznego u sosen bolewickich w przedziale 60-90 lat, oraz bardzo wysokie wyniki dla sosny supraskiej w pierwszym i drugim okresie wzrostowym tj. do 20 lat (ryc. 10).



Ryc. 10. Zmienność dynamiki przyrostów rocznych u badanych ekotypów sosny w zależności od okresu przyrostowego

Gęstość drewna

Zmienność gęstości umownej drewna sosen reprezentujących badane ekotypy

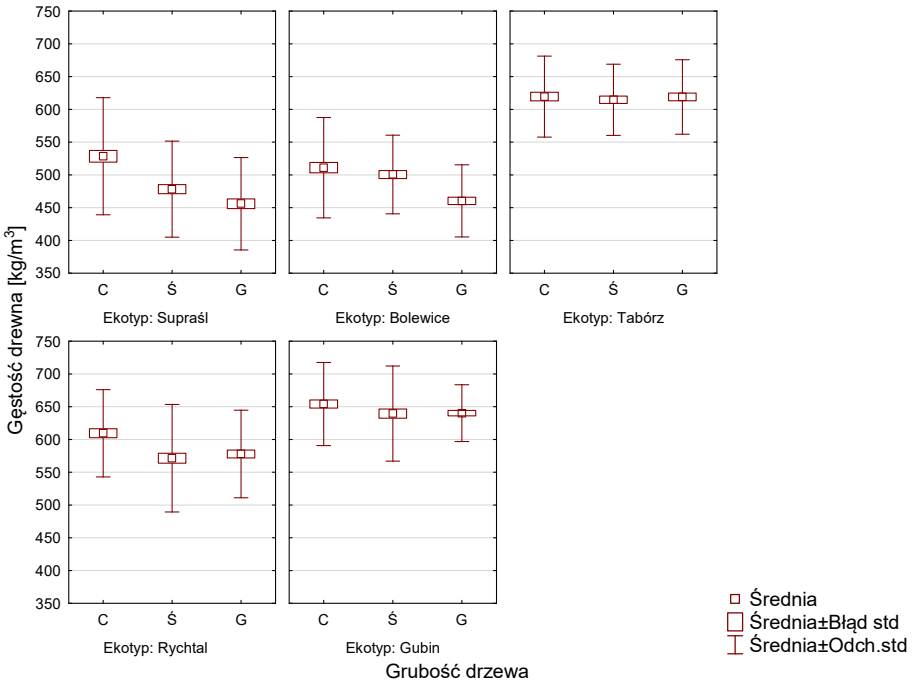
Najniższą średnią gęstość umowną drewna badanych sosen stwierdzono w przypadku ekotypu supraskiego (488,31 kg/m^3, tutaj też odnotowano minimalną wartość tej właściwości spośród wszystkich badanych ekotypów tj. 313,73 kg/m^3). Wartość ta była istotnie statystycznie najniższa w porównaniu do gęstości u pozostałych ekotypów za wyjątkiem sosny bolewickiej (tab. 6). Najwyższą średnią gęstość umowną drewna (644,57 kg/m^3) stwierdzono w ekotypie sosny gubińskiej, tu także odnotowano maksymalną wartość analizowanej cechy spośród wszystkich badanych próbek (784,62 kg/m^3).

Tabela 6. Charakterystyka statystyczna gęstości umownej drewna u porównywanych ekotypów sosny

Ekotypy	*M* [kg/m^3]	*N*	*SD* [kg/m^3]	*V* [%]	*Min* [kg/m^3]	*Max* [kg/m^3]
bolewicki	490,69	286,00	67,86	13,83	333,33	695,65
gubiński	644,57	322,00	61,10	9,48	428,57	784,62
rychtalski	584,60	336,00	73,98	12,66	333,33	708,33
supraski	488,31	301,00	83,45	17,09	313,73	772,73
taborski	617,68	275,00	57,46	9,30	375,00	728,57

Zmienność gęstości umownej drewna względem grubości drzew

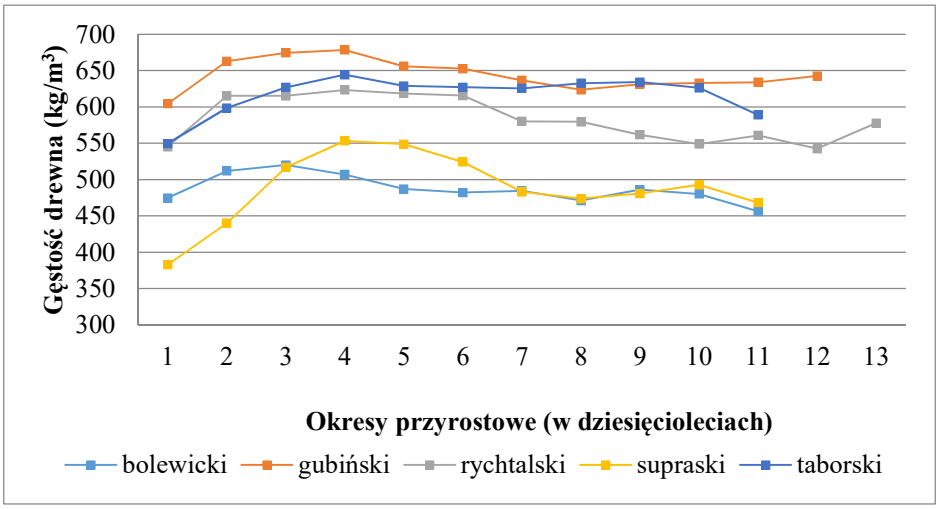
W przypadku trzech ekotypów tj. supraskiego, bolewickiego oraz gubińskiego (ryc. 11) widać strukturę schodkową trendu zmian w gęstości w zależności od grubości drzewa, a tym samym klasy biosocjalnej drzewa w drzewostanie. Najwyższą gęstość drewna stwierdzono u drzew cienkich, nieco wyższą u drzew o pierśnicy średniej i najniższą u drzew o najwyższej średniej pierśnicy. Natomiast w przypadku ekotypu taborskiego gęstości drzew są do siebie zbliżone i nie występują pomiędzy nimi różnice istotne statystycznie. Inaczej niż u pozostałych ekotypów kształtuje się gęstość u sosny rychtalskiej. W tym przypadku największe wartości gęstości (609,58 kg/m^3) stwierdzono u sosen cienkich, następnie grubych (577,92 kg/m^3) i najmniejsze (571,44 kg/m^3) u drzew o średnich pierśnicach (ryc. 11) przy czym tylko w przypadku średniej gęstości drewna dla drzew cienkich stwierdzono różnicę istotną statystycznie w porównaniu do drzew średnich (S) i grubych (G).



Ryc. 11. Zmienność gęstości drewna badanych ekotypów na tle grubości drzew
Legenda: C – drzewa cienkie; Ś – drzewa średnie; G – drzewa grube

Zmienność gęstości umownej drewna w zależności od okresu przyrostowego

Rozkład gęstości drewna w badanych drzewach zmieniał się wraz z wiekiem, początkowo wzrastał do około 20-tego – 30-tego roku życia drzew, następnie nieznacznie stabilizował się po czym w wielu przypadkach przybierał wartości malejące. Najpóźniej swoje maksimum gęstości drewna osiągała sosna supraska, bo około 40-tego roku życia. Zauważono, w przypadku ekotypu taborskiego, bolewickiego i supraskiego spadek gęstości po przekroczeniu przez drzewostan około 90 lat, natomiast znaczny wzrost gęstości po przekroczeniu około 100 lat stwierdzono w przypadku ekotypu rychtalskiego (ryc. 12).



Ryc. 12. Średnia gęstość tkanki drzewnej u porównywanych ekotypów sosny z podziałem na 10-letnie okresy przyrostowe

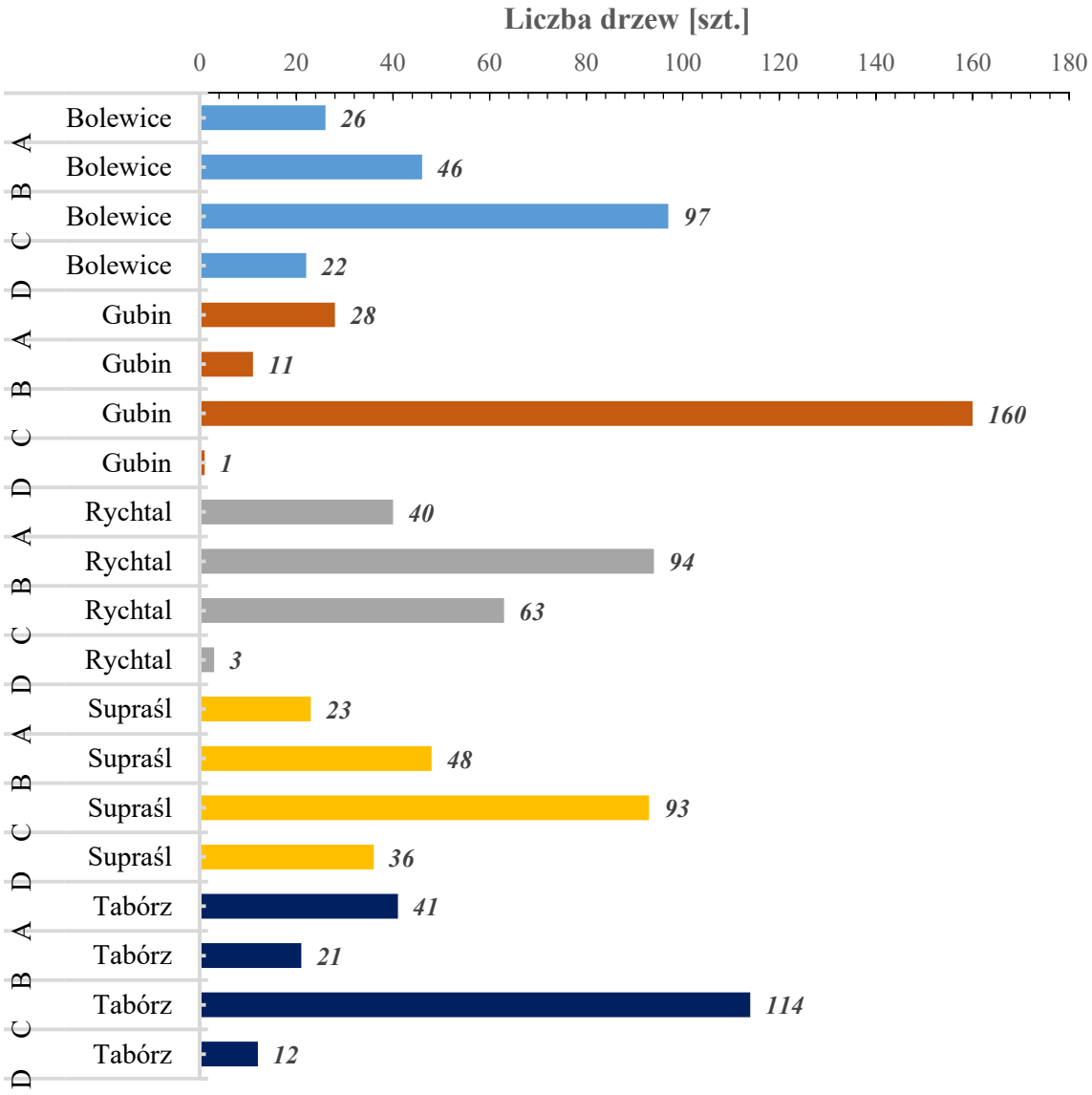
W dalszej kolejności przeprowadzono analizę zmienności gęstości na tle struktury grubościowej drzewostanu. W przypadku każdego wariantu, tzn. drzewo cienkie, średnie i grube najwyższe wartości gęstości drewna występowały u sosny gubińskiej, najniższe zaś w przypadku ekotypu taborskiego i supraskiego.

Na uwagę zasługuje fakt, iż w przypadku sosny taborskiej (drzewa grube i cienkie) oraz supraskiej (drzewa cienkie), po przekroczeniu przez drzewa około 100 lat następowało gwałtowne obniżenie się wartości badanej właściwości drewna.

Charakterystyka jakości surowca drzewnego reprezentującego różne ekotypy

Analizie poddano również strukturę klas jakości surowca drzewnego w poszczególnych ekotypach. Największą miąższością jednej sztuki badanego drzewa cechował się ekotyp taborski, gdzie średnio miąższość jednej sztuki sosny wyniosła 1,98 m^3 oraz sosna supraska, w przypadku której średnia miąższość jednej sztuki wyniosła 1,94 m^3. Pod względem liczby drzew najwięcej sosen w klasie jakości A stwierdzono w przypadku sosny taborskiej (41 szt.) i rychtalskiej (40 szt.), najmniej zaś u sosny supraskiej (23 szt.). Największa liczba drzew w najniższej klasie jakości tj. D, została odnotowana u sosny supraskiej i wyniosła 36 sztuk co stanowi 18% drzew, które były szacowane (ryc. 13).

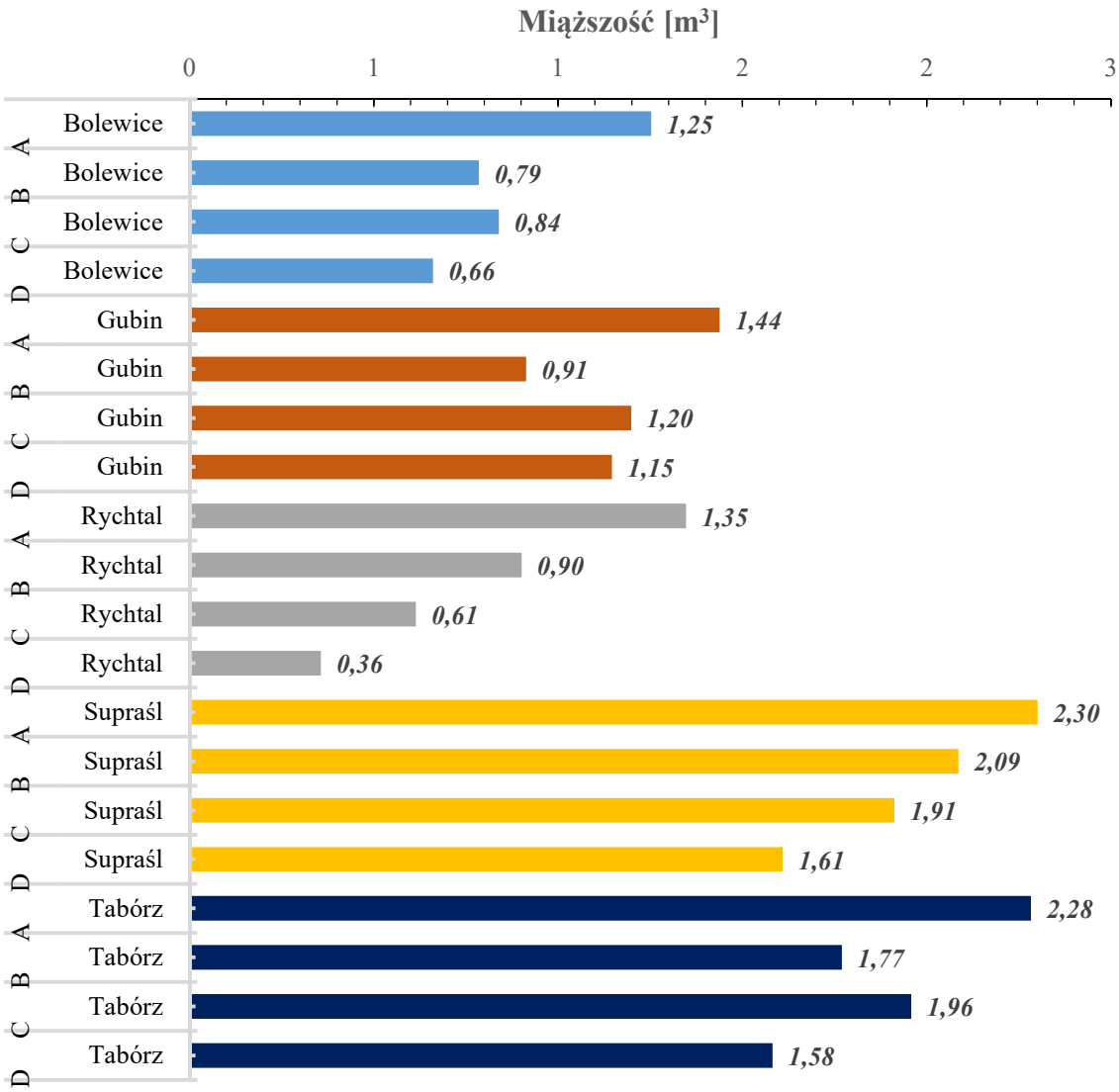
Najgorszym ekotypem, pod względem udział klas jakości wydaje się ekotyp gubiński, w którym klasa C stanowiła aż 80% szacowanych drzew, jednak w tym ekotypie wystąpiło tylko jedno drzewo zaliczone do klasy D.



Ryc. 13. Liczba drzew w poszczególnych klasach jakości u badanych ekotypów sosny

W układzie miąższościowym największą miąższość klasy jakości A stwierdzono u sosny supraskiej i taborskiej gdzie średnio jedna sztuka w tej klasie miała miąższość odpowiednio 2,30 m^3 oraz 2,28 m^3 co łącznie stanowiło 52,93 m^3 klasy a u sony supraskiej oraz 93,61 m^3 u sosny taborskiej. W przypadku klasy B największą miąższość pojedynczej sztuki (2,09 m^3) stwierdzono u sosny supraskiej, najmniejszą zaś (0,79 m^3) u sosny bolewickiej. Klasa B pod względem miąższościowym dominowała u sosny supraskiej, gdzie łącznie objętość tej klasy wyniosła ponad 100 m^3. W przypadku klasy C największą miąższość stwierdzono u sosny taborskiej gdzie łącznia miąższość klasy C wyniosła aż 223,2 (ryc. 14).

W przypadku trzech ekotypów stwierdzono większą średnią miąższość jednej sztuki w klasie C aniżeli klasie B i była to populacja bolewicka, gubińska i taborska. Natomiast u sosny supraskiej oraz rychtalskiej wystąpiła schodkowa struktura miąższości od najwyższej w klasie A do najniższej w klasie D.

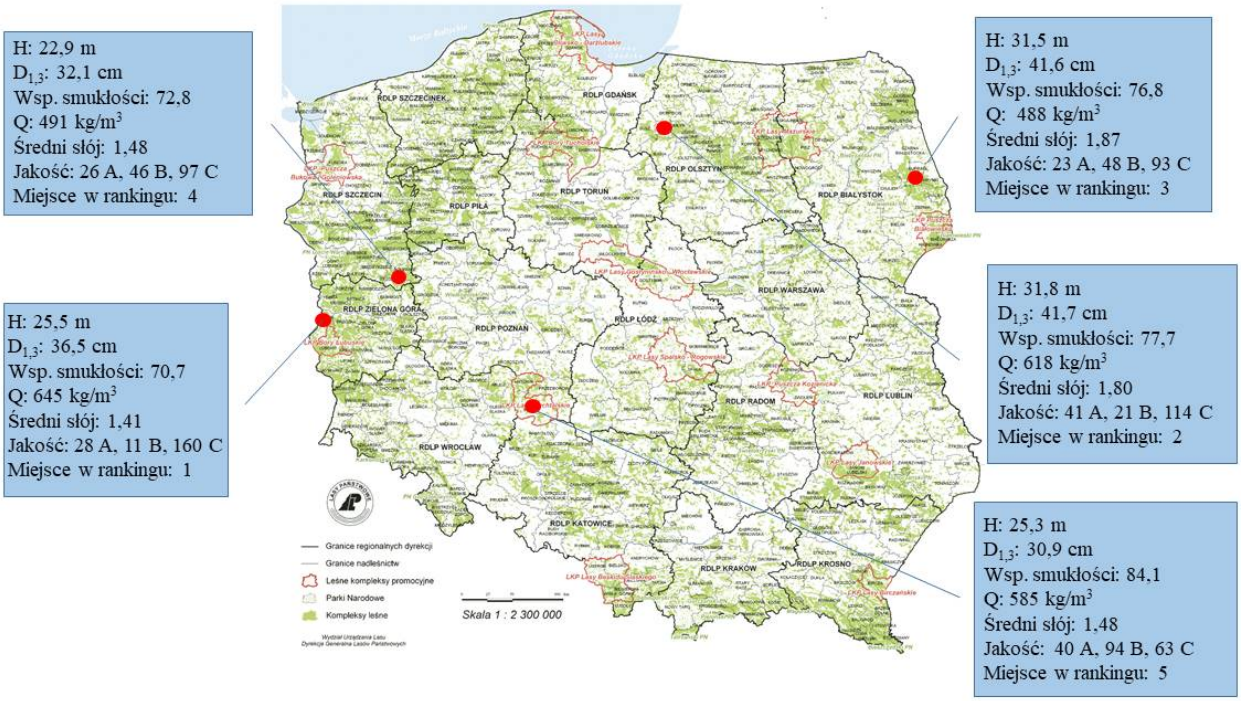


Ryc. 14. Średnia miąższość jednego drzewa w poszczególnych klas jakości u badanych ekotypów sosny

Podsumowanie

Na jakość drewna wpływ ma wiele cech i czynników, których niejednokrotnie nie jesteśmy w stanie kontrolować i ująć w jednym doświadczeniu. Naturalne przenikanie się wszystkich wymienionych i opisanych czynników w połączeniu z plastycznością gatunku powoduje tworzenie się lokalnych, wyróżniających się bądź wręcz unikalnych pod względem cech i jakości populacji. Przeprowadzone badania pozwalają na względnie obiektywne

porównanie ważnych z punktu widzenia jakości i cech, populacji sosny w Polsce.



Ryc. 15. Mapa cech i jakości badanych ekotypów sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.)

Względnie najlepszą wydaje się być wąskosłoista sosna ekotypu gubińskiego charakteryzująca się najwyższą gęstością drewna, niskim środkiem ciężkości drzewa i niskim współczynnikiem smukłości, a także wąskimi koronami, co czyni ją bardzo stabilną w stosunku do obciążeń dynamicznych (wiatr). Pod względem zmienności morfologicznej na uwagę zasługuje sosna taborska o najwyższych i najgrubszych drzewach z dobrze oczyszczonymi strzałami i szerokimi koronami o niskim współczynniku wychylenia koron i znacznym odsetkiem drzew zakwalifikowanych do klasy jakości A (ryc. 15)

Ekotyp supraski, pomimo stosunkowo korzystnej architektury morfologicznej niestety charakteryzuje się najszerszymi słojami i co za tym idzie najniższą gęstością drewna spośród porównywanych populacji. Natomiast ekotyp bolewicki charakteryzował się najniższymi drzewami i dzięki temu niską smukłością oraz wąskosłoistością drewna. Najgorzej w zestawieniu wypadły sosny ekotypu rychtalskiego. Z najwęższymi pierśnicami, najwyższym środkiem ciężkości drzewa i najwyższym współczynnikiem smukłości, dodając do tego jedną z niższych średnich gęstości drewna spośród badanych, wydają się mało stabilne. Aczkolwiek z punktu widzenia brakarstwa sosna rychtalska miała bardzo duży

odsetek drzew zaliczonych do dwóch najcenniejszych klas jakości (A i B).

Do podobnych wniosków na początku wieku doszedł Korczyk [2002], który po zbadaniu 8 proweniencji sosny w Polsce jako najcenniejsze wytypował dwa ekotypy tj. sosnę supraską i sosnę taborską. Odmienne wyniki w swoim doświadczeniu opisali Barzdajn i in [2000], gdzie sosna rychtalska wykazywała lepsze cechy od lokalnej populacji supraskiej oraz taborskiej. W doświadczeniu proweniencyjnym przeprowadzonym przez Szeligowskiego i in. [2015] sosna rychtalska cechowała się większym wzrostem od sosny bolewickiej, co nie znajduje potwierdzenia w niniejszej pracy, gdzie średnia szerokość słojów tych dwóch ekotypów była bardzo podobna, a średnia wysokość drzew i pierśnica najniższe spośród badanych ekotypów.

Próbując opisać badane ekotypy sosny w sposób holistyczny i względnie dokładny można zaproponować ranking ekotypów pod względem cech i jakości, gdzie prym będzie wiodła sosna gubińska. Oczywiście zaproponowany ranking nie jest w pełni obiektywny ponieważ nie stanowi wyników pełnych badań zawierających szczegółowe analizy witalności drzew czy ultrastruktury tkanki drzewnej.

W celu dokładniejszej charakterystyki opisanych ekotypów sosny należy w przyszłości uzupełnić badania o chemiczne analizy składu chemicznego drewna, szczegółowe badania fizjologiczne czy badania genetyczne, co pozwoliłoby na wyodrębnienie najlepszych ekotypów mając na uwadze najefektywniejsze ich wykorzystanie.

Wnioski i stwierdzenia

1. Sosna taborska i supraska cechowały się największymi wysokościami drzew, które średnio wyniosły odpowiednio 31,82 oraz 31,46, największymi pierśnicami (41,68 cm oraz 41,56 cm), a ich korony były najszersze (9,68 m oraz 7,94 m). Ponadto sosna taborska i supraska miały najlepiej oczyszczone strzały ponieważ wysokość pierwszego tylca wyniosła odpowiednio 11,76 m oraz 11,69 m. Natomiast sosna taborska i rychtalska miały największy współczynnik opisujący środek ciężkości drzewa, który wyniósł 5,75 i 5,84 oraz stosunkowo niskie współczynniki wychylenia koron, które wyniosły 3,38 oraz 3,79, co świadczyć może o ich niższej stabilności, szczególnie w odniesieniu do obciążeń powodowanych przez wiatr. Sosny rychtalskie natomiast cechowały się bardzo wysokim współczynnikiem smukłości, który średnio wyniósł 84,06 i może to świadczyć o ich potencjalnie niskiej stabilności biomechanicznej. Najniższe wskaźniki opisujące stabilność drzew, za wyjątkiem współczynnika wychylenia koron uzyskano u sosen z ekotypu bolewickiego i gubińskiego, co pośrednio może wskazywać na ich podwyższoną odporność na obciążenia powodowane przez

wiatr.

2. Pod względem dynamiki przyrostu na grubość najszersze przyrosty roczne oraz najszersze strefy drewna wczesnego w słoju uzyskano dla sosen supraskiej i rychtalskiej i były one statystycznie istotnie szersze niż średnie uzyskane w pozostałych ekotypach. W przypadku najważniejszego z punktu widzenia stabilności drzew, udziału drewna późnego w słoju rocznym, najszerszą strefą cechowała się sosna taborska, Średnia szerokość tej strefy była u tego ekotypu statystycznie istotnie największa w porównaniu z pozostałymi badanymi populacjami.

3. Pozycja biosocjalna (klasa grubości) istotnie wpływa na dynamikę przyrostu na grubość badanych ekotypów sosny. Największe średnie wartości szerokości badanych stref drewna (słój roczny, drewno wczesne, drewno późne) stwierdzono w III klasie grubości, a więc u drzew współpanujących. Przy czym najszerszą strefą drewna późnego w słoju rocznym, w każdej z klas grubości cechowała się sosna taborska, najniższym zaś sosna gubińska. Najprawdopodobniej stosunkowo szeroka strefa drewna późnego u sosny taborskiej jest efektem naturalnych zmian w strukturze tkanki drzewnej w celu zachowania odpowiedniej stabilności mechanicznej.

4. W każdym z badanych ekotypów największą dynamiką przyrostu na grubość cechował się pierwszy (10-letni) okres przyrostowy, po przekroczeniu którego następował spadek średniej szerokości słoja oraz jego strefy późnej i wczesnej, u wszystkich porównywanych ekotypów. U każdej z porównywanych populacji sosny trend zmian średnich szerokości słoja oraz jego poszczególnych stref był nieco inny, a różnice te były bardzo często istotne statystycznie, co dowodzi odmienności strukturalnej tkanki drzewnej każdego z badanych ekotypów. Podkreślić należy nietypowy wzrost średniej szerokości słoja rocznego u sosen bolewickich w przedziale 60-90 lat, oraz bardzo wysokie wyniki dla sosny supraskiej w pierwszym i drugim okresie wzrostowym tj. do 20 lat.

5. Rozpatrując strefę przyrostu odpowiedzialną za właściwości mechaniczne drewna (strefa późna słoja) na uwagę zasługuje ekotyp taborski, u którego w I klasie grubości (I klasa Krafta) i III (III klasa Krafta) odnotowano najwyższy udział tej strefy słoja w stosunku do pozostałych ekotypów. Stosukowo wysokie wyniki uzyskano również w II klasie grubości u sosny gubińskiej, co podkreśla jej dużą odporność mechaniczną pnia i biorąc pod uwagę architekturę drzew względnie dużą stabilność biomechaniczną.

6. Gęstość umowna drewna pomiędzy badanymi ekotypami była statystycznie istotnie różna. Najwyższą gęstością tkanki drzewnej (644,57 kg/m3) cechowały się sosny gubińskie, najniższą zaś sosny supraskie (488,31 kg/m3). Podkreślić należy, iż w przypadku sosny

gubińskiej stwierdzono również najniższy współczynnik zmienności tej cechy, który wyniósł zaledwie 9,48%. Można więc stwierdzić, że pod względem technicznym drewno sosen gubińskich, taborskich oraz rychtalskich jest najwyższej jakości.

7. Analiza zależności pomiędzy cechami biometrycznymi drzew, a cechami i właściwościami tkanki drzewnej wykazała szereg powiązań. Najwięcej korelacji pomiędzy cechami biometrycznymi stwierdzono u dwóch ekotypów tj. u ekotypu bolewickiego i supraskiego, gdzie większość opisywanych cech była ze sobą istotnie skorelowana.

8. Pod względem miąższości najwięcej najlepszego drewna, w klasie A stwierdzono u sosen supraskiej i taborskiej, natomiast największy udział klasy A stwierdzono u sosen taborskich oraz rychtalskich, gdzie drzewa zaliczone do klasy A stanowiły odpowiednio 21,8% populacji oraz 20,0% populacji. Podkreślić należy również fakt, iż najmniejszy udział najgorszej z klas tj. D wystąpił u sosny gubińskiej, gdzie tylko jedna sztuka z całej populacji została zakwalifikowana do tej klasy oraz sosny rychtalskiej gdzie udział tej klasy wyniósł zaledwie 1,5% ogólnej liczby szacowanych w tej populacji drzew.

9. Porównywane ekotypy sosny różnią się miedzy sobą zarówno pod względem architektury morfologicznej drzew jak i pod względem cech i właściwości tkanki drzewnej. W ogólnym ujęciu można postawić wniosek, że najwyższa jakość przypisana jest do sosen reprezentujących ekotypy wschodnie (taborski, supraski), zaś najwyższa stabilność do ekotypów zachodnich (bolewicka, gubińska). Wyjątek stanowi sosna rychtalska, która cechowała się bardzo wysokim współczynnikiem smukłości oraz stosunkowo niską szerokością strefy drewna późnego w słoju rocznym, co przełożyło się na stosunkowo wysoką gęstość drewna, która najprawdopodobniej zrekompensowała niższą stabilność wynikającą z architektury drzew. Ekotyp ten też jest wyjątkowy pod względem jakości określonej na podstawie szacunku brakarskiego ponieważ aż 67% badanych drzew stanowiło klasę jakości A i B.

10. Uzyskane wyniki skłaniają również do refleksji nad obwiązującymi zasadami klasyfikacji surowca drzewnego, które w zasadzie opierają się jedynie na wadach i wymiarach surowca, a pomijają całkowicie cechy i właściwości drewna, które decydują o technicznej jakości drewna, a tym samym o jego przydatności.

Literatura

ANDRZEJCZYK T., ŻYBURA H. (2012): Sosna zwyczajna. Odnawianie naturalne i alternatywne metody hodowli. Poradnik leśnika. PWRiL, Warszawa.

BIAŁOBOK S., BORATYŃSKIA., BUGAŁA W. (EDS.). (1993): Biologia sosny zwyczajnej. Sorus.

BIAŁOBOK S., BŁASZYK H., GIERTYCH M., HEJNOWICZ A., OBMIŃSKI Z., PRZYBYLSKI T., SIWIECKI R., STASZKIEWICZ J., SURMIŃSKI J. (1970): Nasze Drzewa Leśne, Monografie popularnonaukowe Tom I; Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 58–64.

BIAŁOBOK S., HELLWIG Z. (1955): Drzewoznawstwo. PWRiL, Warszawa.

CIERNIEWSKI M. (1981): Wyniki badań proweniencyjnych nad sosna zwyczajna (Results of provenance studies on Scots pine). Las Polski 24:7–9.

CIERNIEWSKI M. GIERTYCH M. (1982): Pol'skie rasy sosny obyknoviennoj (*Pinus silvestris* L.) v geograficheskikh opytakh (Polish races of Scots pine in provenance research).

ERICSON B. (1959): Mercury immersion method for determining the density of wood increment core sections. Forest Research Institute Sweden, 1, 1-31.

FABISIAK E. (2005): Zmienność podstawowych elementów anatomicznych i gęstości drewna wybranych gatunków drzew. Rozprawy naukowe. Zeszyt 369. Rocznik AR w Poznaniu.

GROCHOWSKI J. (1973): Dendrometria. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.

JELONEK T., TOMCZAK A., PAZDROWSKI W., REMLEIN A. (2013): Właściwości tkanki drzewnej a stabilność drzew wyrosłych w drzewostanach sosnowych narażonych na działanie wiatru. Forestry Letters, 105.

JELONEK T. (2013): Biomechaniczna stabilność drzew a wybrane właściwości fizyczne, mechaniczne i strukturalne ksylemu sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach gruntów porolnych i leśnych, Rozprawy naukowe 455, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań.

KAMIŃSKI W., KRZYŚCIAK-KOSIŃSKA R., KOSIŃSKI M., PRZYBYŁOWICZ Ł. (2012): Naturalnie kieszonkowy atlas przyrody. Bielsko-Biała.

KRAFT G. (1884): BeiträgezurLehre von den Durchforstungen, Schlagstellungenund Lichtungshieben. Klindworth's, Hannover.

OLESEN P. (1971): Water displacement method; a fast and accurate method of determining the green volume of wood samples. Forest Tree Improv.

Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe: Raport o stanie lasów w Polsce 2016.
WĄSIK R. (2012): Zastosowanie analizy dendrochronologicznej do określenia zmienności gęstości drewna na przekroju poprzecznym pnia na przykładzie jodły olbrzymiej (*Abies grandis* L.). Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej, 14(1 [30]).
Zarządzenie nr 33 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 17 kwietnia 2015 r. w sprawie zasad sporządzania szacunków brakarskich (ZD.7600.4.2015).

Spis rycin

Ryc. 1. Lokalizacja wybranych do badań Nadleśnictw
Ryc. 2. Średnia wysokość drzew u porównywanych ekotypów
Ryc. 3. Średnia szerokość koron drzew u porównywanych ekotypów
Ryc. 4. Średnia pierśnica drzew u porównywanych ekotypów
Ryc. 5. Średnia wysokość pierwszego tylca drzew u porównywanych ekotypów
Ryc. 6. Średnia długość korony drzew u porównywanych ekotypów
Ryc. 7. Średni współczynnik wychylenia korony drzew u porównywanych ekotypów
Ryc. 8. Średnia wartość środka ciężkości drzewa w porównywanych ekotypów
Ryc. 9. Średnia wartość współczynnika smukłości drzewa u porównywanych ekotypów
Ryc. 10. Zmienność dynamiki przyrostów rocznych u badanych ekotypów sosny w zależności od okresu przyrostowego
Ryc. 11. Zmienność gęstości drewna badanych ekotypów na tle grubości drzew
Ryc. 12. Średnia gęstość tkanki drzewnej u porównywanych ekotypów sosny z podziałem na 10-letnie okresy przyrostowe
Ryc. 13. Liczba drzew w poszczególnych klasach jakości u badanych ekotypów sosny
Ryc. 14. Średnia miąższość jednego drzewa w poszczególnych klas jakości u badanych ekotypów sosny
Ryc. 15. Mapa cech i jakości badanych ekotypów sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.)

Spis tabel

Tabela 1. Opis drzewostanów wytypowanych do badań
Tabela 2. Charakterystyka statystyczna rocznych przyrostów grubości u porównywanych ekotypów sosny
Tabela 3. Charakterystyka statystyczna rocznych przyrostów drewna z podziałem na klasy grubości
Tabela 4. Charakterystyka statystyczna rocznych przyrostów drewna wczesnego z podziałem na klasy grubości
Tabela 5. Charakterystyka statystyczna rocznych przyrostów drewna późnego z podziałem na klasy grubości
Tabela 6. Charakterystyka statystyczna gęstości umownej drewna u porównywanych ekotypów sosny