UNIWERSYTET PRZYRODNICZY W POZNANIU
WYDZIAŁ LEŚNY
KATEDRA UŻYTKOWANIA LASU

MGR INŻ. PRZEMYSŁAW MARCIN PIKIŃSKI

KONDUKTYWNOŚĆ HYDRAULICZNA SOSNY ZWYCZAJNEJ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) A STOPIEŃ OCZYSZCZANIA STRZAŁ, STANOWISKO BIOSOCJALNE W ZBIOROWISKU ORAZ WARUNKI WZROSTU DRZEW

HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) AND THE DEGREE OF PURIFICATION OF STEM, BIOSOCIAL POSITION IN THE COMMUNITY AND CONDITIONS OF TREE GROWTH

Autoreferat dysertacji doktorskiej napisanej pod kierunkiem
prof. dr hab. Witolda Pazdrowskiego

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

POZNAŃ 2020

Wstęp

W Polsce sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) uchodzi za gospodarczo najważniejszy gatunek lasotwórczy. Aktualnie i w przyszłości zapotrzebowanie gospodarki narodowej na drewno zaspokajane będzie głównie tym gatunkiem (Fabijanowski 1961, Marszałek 1978, Mućk 1984a, 1984b, Paschalis 1980, Pazdrowski 1988). Ilość wytwarzanej substancji drzewnej warunkuje morfologia tkanki (Grzeczyński i Rybarczyk 1972, Polubojarinov 1976, Wodzicki 1974). Grubość ściany komórkowej i znaczny udział w drewnie grubościennych komórek przekłada się na większą produkcję surowca drzewnego. Zmienność osobnicza pośród drzew w tego typu zakresie stwarza dogodne możliwości selekcji i wyboru tych osobników, które cechują się tą pożyteczną cechą (Pazdrowski 1988).

Według Morozowa (1953, za Jaworskim 2004) drzewostany są zespołem dużej liczby drzew o zwartych koronach, w wyniku czego następuje zmiana kształtu korony oraz pni, następuje proces oczyszczania się drzew z gałęzi, a także proces różnicowania drzew prowadzący do naturalnego ich wydzielania. Wewnątrz drzew następują zmiany ich budowy oraz oddziaływania na glebę leśną, a także na atmosferę wnętrza lasu. W trakcie procesu ontogenezy drzewa przechodzą fazy rozwojowe, w wyniku których dochodzi do zmian fizjologicznych jak i morfologicznych. Anatomiczna budowa drewna determinowana jest w znacznym stopniu wiekiem merystemów, zwłaszcza miazgi i jej pozycji w pniu drzewa (Gartner i in. 2002, Schweingruber 2007).

Drzewa występujące w każdym drzewostanie sosnowym zróżnicowane są z punktu widzenia ich morfologii (Józefaciuk 1972, Zawierucha 1978, 1983). Analizując tą grupę wad drewna możemy ocenić jak przebiegał proces oczyszczania się drzew z gałęzi (Ilmurzyński 1964). Ważnym zagadnieniem z punktu widzenia użytkowania drewna jest zapoznanie się z cechami strukturalnymi i właściwościami fizyko-chemicznymi drewna drzew tworzących drzewostany. Łącząc powyższe cechy z sękatością otrzymujemy pełniejszy obraz jakości technicznej surowca drzewnego i możliwości jego przerobu (Kobyliński 1970, Laurow 1975, Pazdrowski 1988). Dokładne poznanie tych cech pozwoli na ustalenie współzależności między jakością techniczną drewna, a czynnikami przyrodniczymi oraz pozwoli na wyciągnięcie pewnych sugestii dotyczących metody gospodarowania.

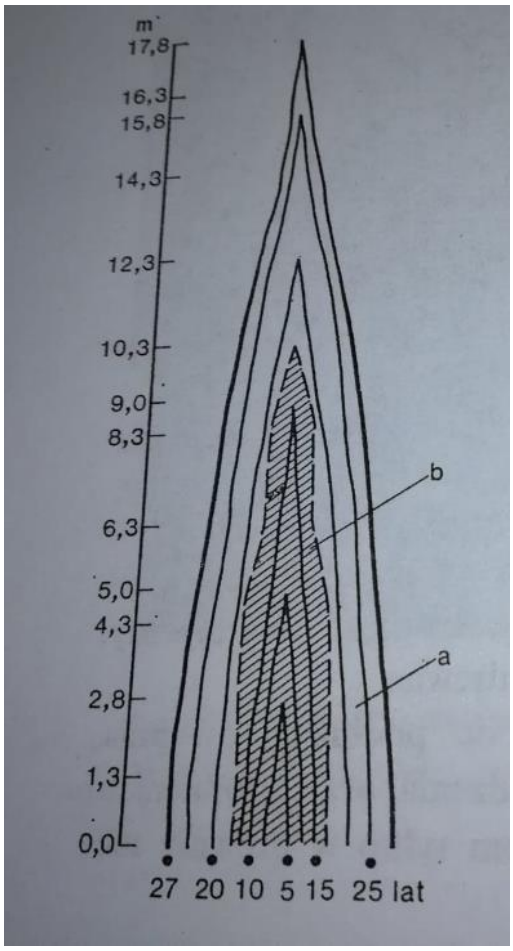
Przedmiotem analizy w niniejszej pracy jest konduktywność hydrauliczna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), która ma istotne znaczenie w tworzeniu się tkanki drzewnej. Zadaniem badań leśnych jest określenie jak przyrastają drzewa najlepiej oczyszczające się z gałęzi w trakcie trwania procesu oczyszczania się drzew, w celu przyszłego wyselekcjonowania przedstawicieli tej grupy i poparcia ich w pracach hodowlano-produkcyjnych. W myśl ustawy o lasach z dnia 28 września 1991 roku „powiększanie leśnych zasobów jest jedną z priorytetowych zasad funkcjonowania gospodarki leśnej”.

Hipoteza robocza

Przypuszczalnie drzewa różniące się pod względem stopnia oczyszczania strzał z gałęzi, zajmowanego stanowiska biosocjalnego w drzewostanie oraz warunków wzrostu są zróżnicowane pod względem dynamiki pobierania wody z solami mineralnymi z gleby, dynamiki transpiracji i tworzenia substancji organicznych w procesie fotosyntezy, co w konsekwencji przyczynia się do zmian wielkości produkcji biomasy roślinnej, w tym drzewnej u poszczególnych osobników tworzących drzewostan. Według Larchera (1975) w ciągu roku w warunkach klimatu europejskiego drzewostan bukowy produkuje około 14 ton biomasy na hektar, zaś świerkowy około 18 ton, przy czym zarówno buk jak i świerk zaliczane są do gatunków lasotwórczych wysokoprodukcyjnych. W przypadku sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) produkcja biomasy prawdopodobnie będzie znacznie niższa, gdyż nie jest ona gatunkiem wysokoprodukcyjnym.

Cel pracy

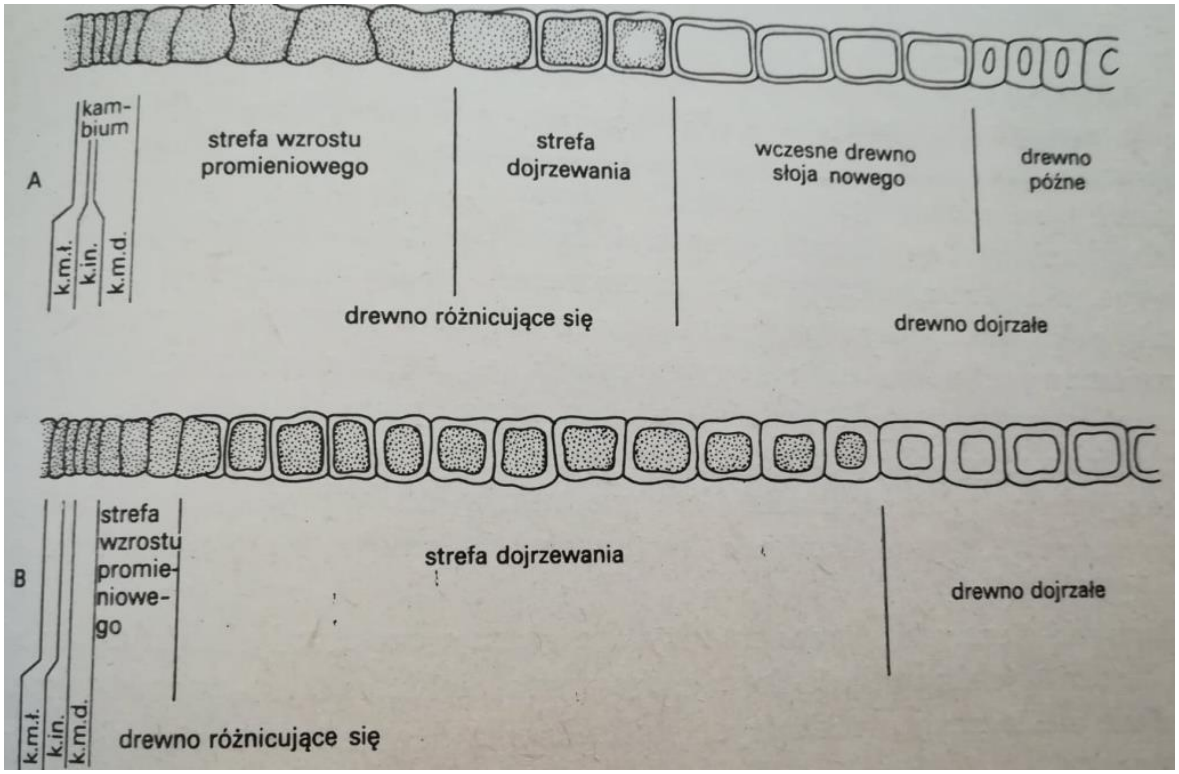
Celem niniejszej pracy była próba określenia kształtowania się konduktywności hydraulicznej w strzałach rębnych sosen zwyczajnych (*Pinus sylvestris* L.) w zależności od stopnia oczyszczania się drzew z gałęzi, pozycji biosocjalnej w drzewostanie oraz warunków wzrostu, wyrażonych w opracowaniu typem siedliskowym lasu. Konduktywność hydrauliczną strzał określono za pomocą czterech wskaźników, tj. stosunkiem powierzchni bielu do masy świeżych igieł, stosunkiem powierzchni drewna wczesnego w bielu do masy świeżych igieł, stosunkiem powierzchni bielu do masy świeżych uiglonych gałązek oraz stosunkiem powierzchni drewna wczesnego w bielu do masy świeżych uiglonych gałązek.



Ryc. 1 Układ słojów rocznych na przekroju pnia: a- biel, b- twardziel (Krzysik 1974)

Proces formowania się tkanki drzewnej (w tym elementów przewodzących) jest bardzo złożony i nie został jeszcze dokładnie poznany (Plomion i inni 2001). Niepełne zrozumienie praw rządzących formowaniem się tkanki drzewnej wynika prawdopodobnie z ogromnej ilości interakcji pomiędzy budową drewna, a szeregiem różnych czynników o charakterze genetycznym, a przede wszystkim środowiskowym (Wodzicki 2001).

Wczesne koncepcje powstawania słojów wiązały się ze zmianą nacisku tkanek korowych na kambium, zakładano, że miał być mniejszy na wiosnę niż w lecie. Aktualnie wiadomo, że decydujące znaczenie ma regulacja hormonalna działalności kambium i procesów zachodzących w czasie różnicowania komórek (Hejnowicz 1980, Zimmermann i Brown 1971).



Ryc. 2 Schemat tworzenia się drewna wczesnego (A) i późnego (B); k.m.ł- komórki macierzyste łyka; k.in.- komórka inicjalna; k.m.d- komórka macierzysta drewna (wg Wodzickiego, J. Exp. Bot. 22, 1971)

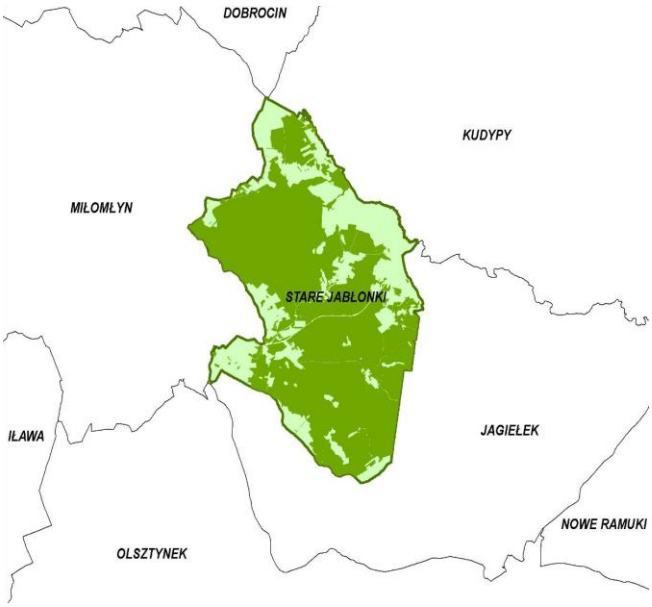
Jak dotąd do mało poznanych należy związek pomiędzy konduktywnością hydrauliczną sosen zróżnicowanych pod względem stopnia oczyszczania się z gałęzi, zajmowanego stanowiska biosocjalnego w drzewostanie, warunków wzrostu a zawartością ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał rębnych sosen.

Podjęto również próbę ustalenia związku między pierśnicą sosen, masą świeżego igliwia, masą świeżych uiglonych gałązek, powierzchnią bielu, powierzchnią cewek drewna wczesnego w bielu, powierzchnią cewek drewna późnego w bielu, ilorazem powierzchni bielu przez twardziel, ilorazem masy świeżego igliwia przez zawartość ligniny, ilorazem masy świeżych uiglonych gałązek przez zawartość ligniny a zawartością ligniny w ścianach cewek obwodowych strzał.

Za zmienną zależną przyjęto zawartość ligniny w ścianach cewek obwodowych drzew, zaś konduktywność hydrauliczną i wszystkie pozostałe analizowane wskaźniki za zmienne niezależne.

Zakres pracy

Materiał badawczy został pobrany z ośmiu powierzchni próbnych, cztery z nich wyznaczono w Nadleśnictwie Stare Jabłonki (ryc.3), a kolejne cztery w Nadleśnictwie Tuchola (ryc.4). Powierzchnie zostały wyznaczone w rębnych drzewostanach sosnowych. Analizie zostały poddane sosny wyrosłe w warunkach siedliskowego typu lasu boru świeżego i boru mieszanego świeżego, uznawane za optymalne dla sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L).



Ryc. 3 Położenie Nadleśnictwa Stare Jabłonki (źródło: elaborat, Nadleśnictwo Stare Jabłonki)

Ryc. 4 Położenie nadleśnictwa Tuchola (źródło: www.google.pl)

Zakres prowadzonych prac obejmował:

- wytypowanie oraz wyznaczenie w terenie powierzchni próbnych,
- pomiar pierśnic wszystkich drzew na powierzchniach (na krzyż, w celu osiągnięcia większej dokładności otrzymanego wyniku),
- zakwalifikowanie każdego z wybranych drzew do odpowiedniego stopnia oczyszczenia strzał (A,B,C) zaproponowanego przez Pazdrowskiego (1988) oraz zajmowanego stanowiska wg klasyfikacji Krafta obejmujących drzewostan główny (1, 2, 3 klasa),
- pomiar wysokości drzew proporcjonalnie do frekwencji w przyjętych 2cm stopniach grubości,
- dobór drzew próbnych po uprzednim określeniu wymiarów drzew modelowych metodą Uricha II (Grochowski 1973),
- pobranie odwiertów przy pomocy świdra przyrostowego Presslera z wysokości 1,3m od strony północnej,
- oznaczenie pobranego materiału z analizowanych drzew,
- ścięcie drzew próbnych i określenie masy świeżych uiglonych gałązek i masy świeżych igieł,
- dokonanie pomiaru szerokości twardzieli, a także drewna wczesnego oraz późnego w strefie występowania bielu,
- wyznaczenie granic przebiegu twardzieli i powierzchni przewodzącej słoja rocznego, a także powierzchni przewodzącej drzew z poszczególnych grup jakości pnia (A, B, C),
- oznaczenie ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał na wysokości pierśnicy drzew,
- określenie wybranych współczynników konduktywności hydraulicznej,
- ustalenie współzależności między zmienną zależną a analizowanymi w pracy zmiennymi niezależnymi.

Metodyka badań

Prace przygotowawcze

Badania przeprowadzone zostały na terenie Nadleśnictwa Stare Jabłonki terytorialnie należącego do Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Olsztynie oraz Nadleśnictwa Tuchola należącego terytorialnie do Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Toruniu. Sosna zwyczajna na każdej powierzchni osiągnęła wiek rębności typowy dla I czy II klasy bonitacji. Drzewostany położone na terenie Nadleśnictwa Stare Jabłonki cechuje wysoka jakość techniczna, zwłaszcza w VI i starszych klasach wieku. Wiek dojrzałości drzewostanu do wyrębu sięga blisko 140 lat, a drzewa wytypowane do badań osiągnęły wiek około 130 lat. Drzewostany wytypowane w Nadleśnictwie Tuchola cechowały gonne, bezsęczne okazy drzew sosny zwyczajnej, wiek tych drzew sięgał blisko 100 lat (między 89 a 94 lata).

Prace terenowe

W wybranych drzewostanach zostały wyznaczone powierzchnie próbne wielkości jednego hektara tak, aby były reprezentatywne dla całego wydzielenia. Kolejnym etapem prac terenowych był pomiar pierśnicy każdego drzewa bez potrąceń na korę. Celem sporządzenia charakterystyki wysokościowej wybranych drzewostanów było dokonanie pomiaru wysokości drzew w przyjętych dwucentymetrowych stopniach grubości, proporcjonalnie do liczebności drzew. W przypadku oceny każdego z pni brano pod uwagę występowanie wad. Szczególną uwagę zwrócono na sęki oraz wyraźne ślady po ich zarośnięciu.

W wyniku obserwacji i selekcji drzewa zostały przydzielone do poszczególnych grup jakości pni:

Grupa A- do tej grupy zaliczano drzewa, na których sęki i ślady po ich obecności, a także inne wady występowały powyżej 3m wysokości patrząc od powierzchni gruntu,

Grupa B- są to drzewa, których sęki i ślady po ich obecności, a także inne wady występowały powyżej 1m wysokości patrząc od powierzchni gruntu, ale poniżej 3m,

Grupa C- są to drzewa, których sęki i ślady po ich obecności, a także inne wady występowały na całej strzale (Pazdrowski 1988).

Po uzyskaniu charakterystyki jakościowej, wysokościowej i grubościowej drzew wyliczono wymiary drzew próbnych w oparciu o metodę dendrometryczną Uricha wariant II (Grochowski 1973) oraz klasyfikację opracowaną przez Krafta (1884) obejmującą drzewostan główny, czyli sosny górujące, panujące i współpanujące. Łącznie wyznaczono 72 sosny. Drzewa te ścięto i dla każdego określono masę świeżych uiglonych gałązek i masę świeżego igliwia w wyniku bezpośredniego ważenia. Drzewa z pierwszej klasy grubości cechowała pierśnica 32cm na 1,30m wysokości, druga 42cm, a trzecia 52cm. Materiał badawczy w postaci wywiertów, służący do dalszych badań pobrany został od strony północnej na wysokości 1,30m przy pomocy świdra przyrostowego Presslera (każdy pobrany wywiert miał 12mm średnicy).

Prace kameralne

Wywierty wykorzystane zostały do wykonania pomiarów przyrostowych. Łączna ilość pomierzonych próbek wynosiła 72. Na każdą z analizowanych powierzchni badawczych przypadło dziewięć próbek z badanych drzew, trzy dla klas grubości Uricha i trzy dla stopni jakości pni. Zanim przystąpiono do pomiarów w pierwszej kolejności należało przygotować próbki.

W toku prowadzonych analiz zmierzona została część promieniowa twardzieli od rdzenia w kierunku obwodowym, a także pomierzono strefę bielu oraz szerokości drewna wczesnego i późnego w słojach rocznych stanowiących biel. Pomiary wykonywane były przy pomocy przyrostomierza z dokładnością do 0,01mm. Urządzenie posiadało mechaniczną prowadnicę i elektryczną rejestrację szerokości słojów. Dla pełnej efektywności prac pomiary były rejestrowane przy pomocy programu „GrubeComm”, a pobrane dane pomiarowe zapisane zostały w arkuszu kalkulacyjnym programu Microsoft Excel.

Dysponując masą świeżego igliwia i masą świeżych uiglonych gałązek analizowanych sosen oraz powierzchnią bielu i powierzchnią cewek drewna wczesnego w tej strefie przekroju poprzecznego (pierśnicowego) strzały określono względną powierzchnię przewodzącą sosen, tj. konduktywność hydrauliczną strzał na wysokości pierśnicy. Uzyskano ją dzieląc powierzchnię bielu i powierzchnię cewek drewna wczesnego w bielu przez masę świeżego igliwia oraz masę świeżych uiglonych gałązek.

Prace laboratoryjne

Zawartość ligniny (Lc mg/g suchej masy) oznaczono metodą spektrofotometryczną w trzech powtórzeniach według metody Doster i Bostock (1988) z pewnymi modyfikacjami. Na początku drewno z dziesięciu ostatnich słojów rocznych traktowano przez 48 godzin metanolem w proporcji 1ml metanolu na 1g tkanki drzewnej, a następnie poddano suszeniu. Z każdego wariantu, tj. klasy Krafta pobrano po 20mg suchej tkanki drzewnej, mieszano z 5ml 2NHCL i 0,5ml kwasu tioglikolowego (Sigma-Aldrich). Próby poddano inkubacji w temperaturze 95°C przez 4 godziny, następnie je odwirowano przy 3000q przez okres 20 minut. Otrzymany osad dwukrotnie przemywano wodą dejonizowaną oraz inkubowano z 5ml 0,5NNaOH przez 18 godzin w temperaturze pokojowej. Po odwirowaniu przy 15000q, zbierano ekstrakt NaOH, a osad z kolei przemywano 4ml wody dejonizowanej i ponownie wirowano. Uzyskany supernatant łączono z ekstraktem NaOH, następnie zakwaszano 1ml stężonego HCL i pozostawiono na noc w temperaturze 5°C. W wyniku wirowania (15000q) uzyskano osad, który rozpuszczono w 5ml 0,5NNaOH, kolejno wirowano (15000q) i mierzono absorpcję uzyskanego roztworu przy długości fali 280nm, wykorzystując do tego spektrofotometr UV-1202 Shimadzu. Zawartość ligniny wyrażono w jednostkach względnych absorpcji. Dysponując masą świeżych uiglonych gałązek, masą świeżego igliwia oraz zawartością ligniny w ścianach komórkowych cewek z dziesięciu ostatnich przyrostów grubości ze strefy obwodowej strzał wybranych sosen, określono iloraz masy świeżych uiglonych gałązek przez zawartość ligniny w ścianach cewek z ostatnich dziesięciu słojów przyrostu rocznego.

W pracy określono podstawowe charakterystyki statystyczne analizowanych zmiennych oraz współzależności między nimi. Uzyskany materiał empiryczny analizowano metodami statystyki matematycznej.

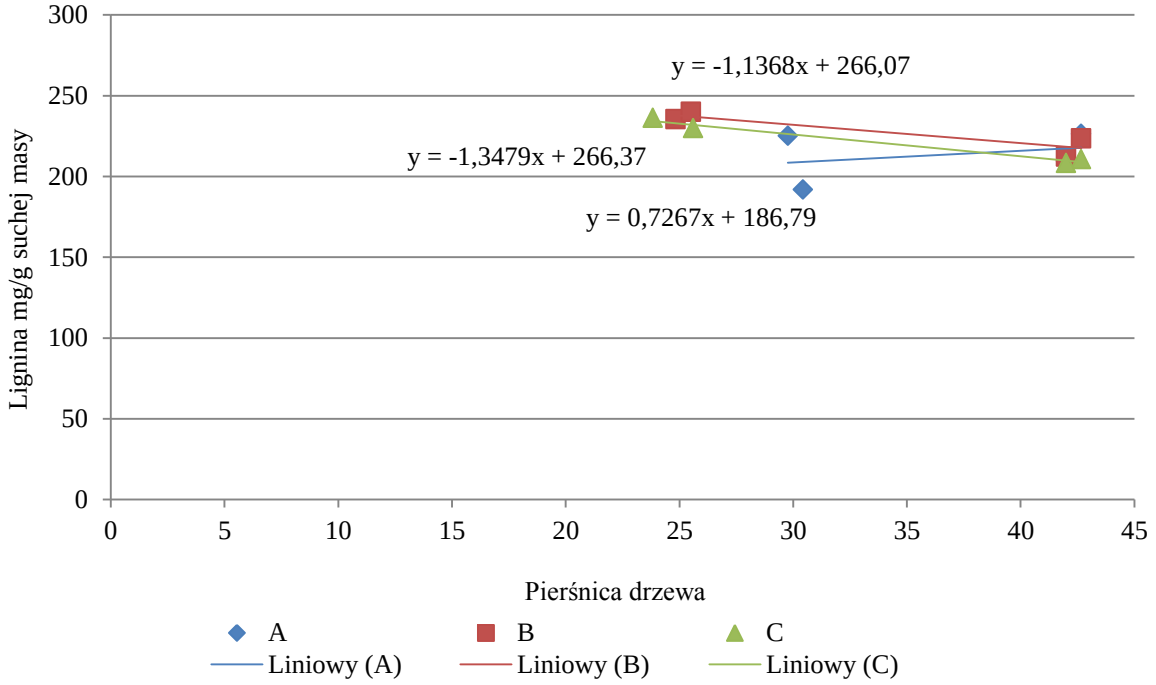
Wyniki badań

Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał w zależności od stopnia ich oczyszczenia i pierśnicy sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego i boru mieszanego świeżego

Pierśnica drzewa jest podstawową i najczęściej mierzoną cechą biometryczną. W niniejszej pracy starano się uchwycić związek między pierśnicą drzew próbnych, a zawartością ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosen zwyczajnych wyrosłych w zróżnicowanych warunkach siedliskowych, a jednocześnie zróżnicowanych pod względem stopnia oczyszczenia pni z gałęzi.

Tabela 1 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i pierśnicy drzewa

Charakterystyki statystyczne	A		B		C	
	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,1015		0,8170		0,9766	
Współczynnik korelacji r	0,3185		-0,9039		-0,9882	
Współczynnik regresji	0,7267		-1,1368		-1,3479	



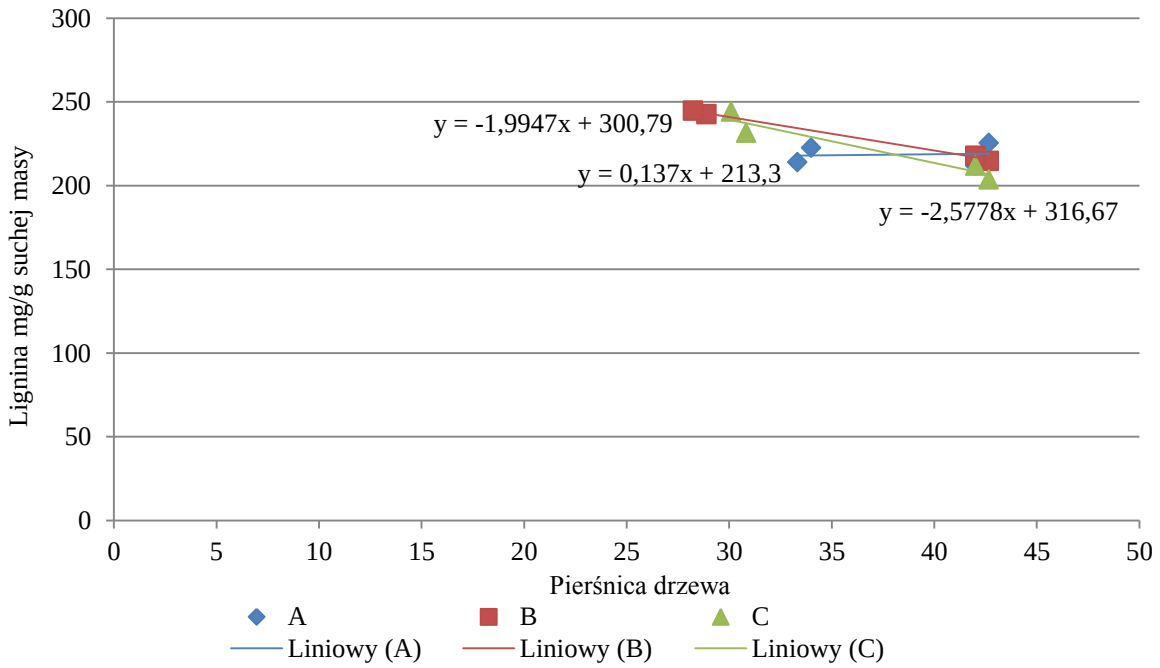
Ryc. 5 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i pierśnicy drzewa

W tabeli 1 zamieszczono wartości współczynników determinacji oraz współczynników regresji. Pierwsze z nich, tj. współczynniki determinacji świadczą o wpływie pierśnicy na zawartość ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej.

Największy wpływ, bo sięgający około 98%, wywiera pierśnica na zawartość ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pnia u sosen reprezentujących grupę C. W grupie B wpływ ten wynosi około 82%, natomiast w grupie A wpływ ten jest niewielki gdyż sięga około 10%. Generalnie należy stwierdzić, że w grupie A zawartość ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał uzależniony jest w około 90% od innych czynników, natomiast w grupie B w około 18%, C natomiast w 2%. Rycina 5 jest graficzną interpretacją zanalizowanych współzależności. Zamieszczono na niej równania regresji dla omawianych zależności prostoliniowych.

Tabela 2 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i pierśnicy drzewa

Charakterystyki statystyczne	A		B		C	
	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,0110		0,9977		0,9226	
Współczynnik korelacji r	0,1050		-0,9988		-0,9605	
Współczynnik regresji	0,1370		-1,9947		-2,5778	



Ryc. 6 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i pierśnicy drzewa

W tabeli 2 zamieszczono wybrane charakterystyki statystyczne określone dla poszczególnych drzew reprezentujących przyjęte w niniejszej pracy stopnie oczyszczania, tj. A, B i C, które wyrosły w warunkach boru mieszanego świeżego. Również i w tym przypadku za zmienną niezależną przyjęto pierśnicę drzew (grubość), zaś za zmienną zależną zawartość ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni drzew.

Z uzyskanych danych dotyczących zmienności analizowanych cech najniższe wartości stwierdzono u sosen z grupy A, zarówno w odniesieniu do pierśnicy jak i zawartości ligniny w ścianach cewek. Wysokie współczynniki korelacji, podobnie jak w przypadku sosen z boru świeżego, stwierdzono u drzew z grupy B i C. W pierwszej grupie (B) wynosił on -0,9988, w drugiej zaś (C) -0,9605. Natomiast u sosen z grupy A +0,1050. W grupie drzew B i C udział ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał wyrosłych w warunkach boru mieszanego świeżego jest determinowany pierśnicą w około 100% w pierwszym i 92% w drugim przypadku, natomiast u drzew z grupy A tylko w 1%, tzn. że na udział ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni mają wpływ inne czynniki w 99% (tab.2). Graficzną interpretację omawianych współzależności przedstawiono na rycinie 6. Jednocześnie zamieszczono na niej równania regresji dla poszczególnych zależności prostoliniowych.

Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i masy świeżego igliwia sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego i boru mieszanego świeżego

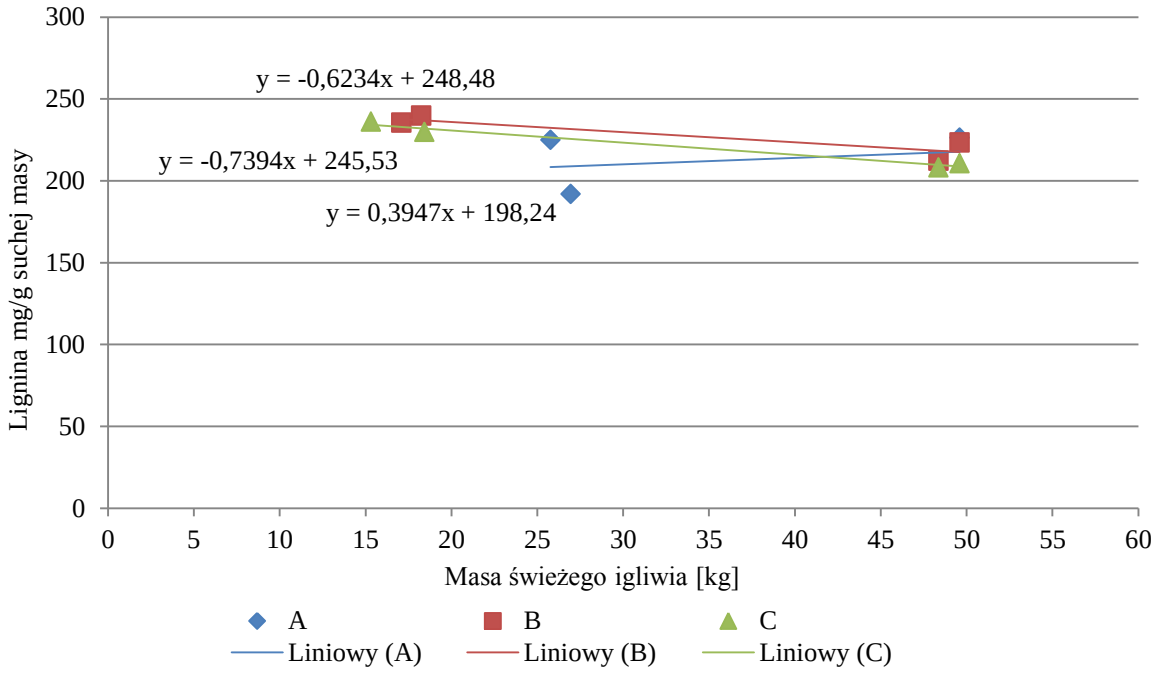
W tabeli 3 zamieszczono dane liczbowe charakteryzujące zawartość ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał oraz masę świeżego igliwia sosen należących do trzech przyjętych w pracy grup jakości strzał (A, B i C), tj. współczynniki korelacji prostoliniowej, determinacji i regresji u sosen wyrosłych w warunkach siedliskowego typu lasu boru świeżego.

Tabela 3 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i masy świeżego igliwia

Charakterystyki statystyczne	A		B		C	
	Masa świeżego igliwia [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżego igliwia [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżego igliwia [kg]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,1024		0,8172		0,9760	
Współczynnik korelacji r	0,3199		-0,9040		-0,9879	
Współczynnik regresji	0,3947		-0,6234		-0,7394	

Ogólnie można stwierdzić, że najwyższą zmiennością cechowała się masa świeżego igliwia, natomiast małą zmiennością zawartość ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał. Najwyższe współczynniki korelacji między zawartością ligniny a masą świeżego igliwia stwierdzono u drzew grupy C i B. W pierwszym przypadku jego wartość wynosiła -0,9879, w drugim zaś -0,9040. Wynika to z tego, że w obu przypadkach wraz ze wzrostem masy igliwia u sosen obu grup jakościowych następuje obniżanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał. U drzewa z grupy A współczynnik korelacji liniowej pomiędzy zawartością ligniny a masą świeżego igliwia był dodatni i wynosił 0,3199. W tym przypadku wzrostowi masy igliwia towarzyszyło nieznaczne zmniejszanie się zawartości ligniny w ścianach cewek obwodowej pnia.

Na rycinie 7 zaprezentowano graficzną interpretację zależności zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pnia a masą świeżego igliwia u sosen należących do grup jakościowych A, B i C, które wyrosły w warunkach siedliskowego typu lasu boru świeżego.



Ryc. 7 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i masy świeżego igliwia

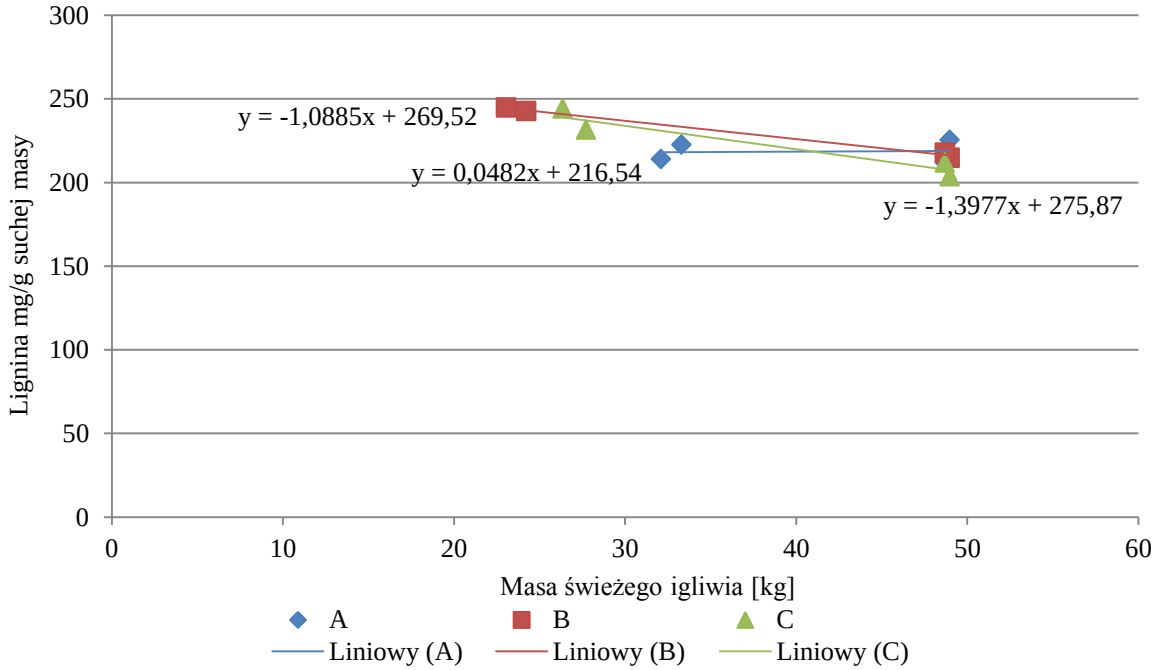
W tabeli 4 zamieszczono dane liczbowe charakteryzujące zawartość ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał oraz masę świeżego igliwia sosen należących do trzech przyjętych w pracy grup jakości strzał (A, B i C), tj. współczynniki korelacji prostoliniowej, determinacji i regresji u sosen wyrosłych w warunkach siedliskowego typu lasu boru mieszanego świeżego.

Tabela 4 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i masy świeżego igliwia

Charakterystyki statystyczne	A		B		C	
	Masa świeżego igliwia [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżego igliwia [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżego igliwia [kg]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,0047		0,9946		0,9135	
Współczynnik korelacji r	0,0687		-0,9973		-0,9558	
Współczynnik regresji	0,0482		-1,0885		-1,3977	

Wysokie współczynniki korelacji pomiędzy zawartością ligniny w ścianach cewek strefy przyobwodowej strzał a masą świeżego igliwia stwierdzono u sosen w grupie B i C, przy czym współczynniki te miały znak ujemny. Świadczy to, że wraz ze wzrostem masy igliwia u sosen z tych grup (B, C) następuje obniżenie się udziału ligniny w ścianach cewek przyobwodowych pni. W przypadku sosen reprezentujących grupę A współczynnik korelacji liniowej był dodatni lecz wartość jego była bardzo niska i wynosiła 0,0687. Opierając się o wyliczone współczynniki determinacji należy stwierdzić, że w przypadku sosen z grupy B zawartość ligniny w ścianach cewek strefy przyobwodowej uwarunkowana była masą świeżego igliwia w ponad 99%, w grupie C w ponad 91%, zaś w grupie A jedynie w około 0,5% (tab.4).

Graficzną interpretację omawianych współzależności przedstawiono na rycinie 8, zamieszczając również równania regresji dla omawianych zależności w ramach grup jakości strzał.



Ryc. 8 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i masy świeżego igliwia

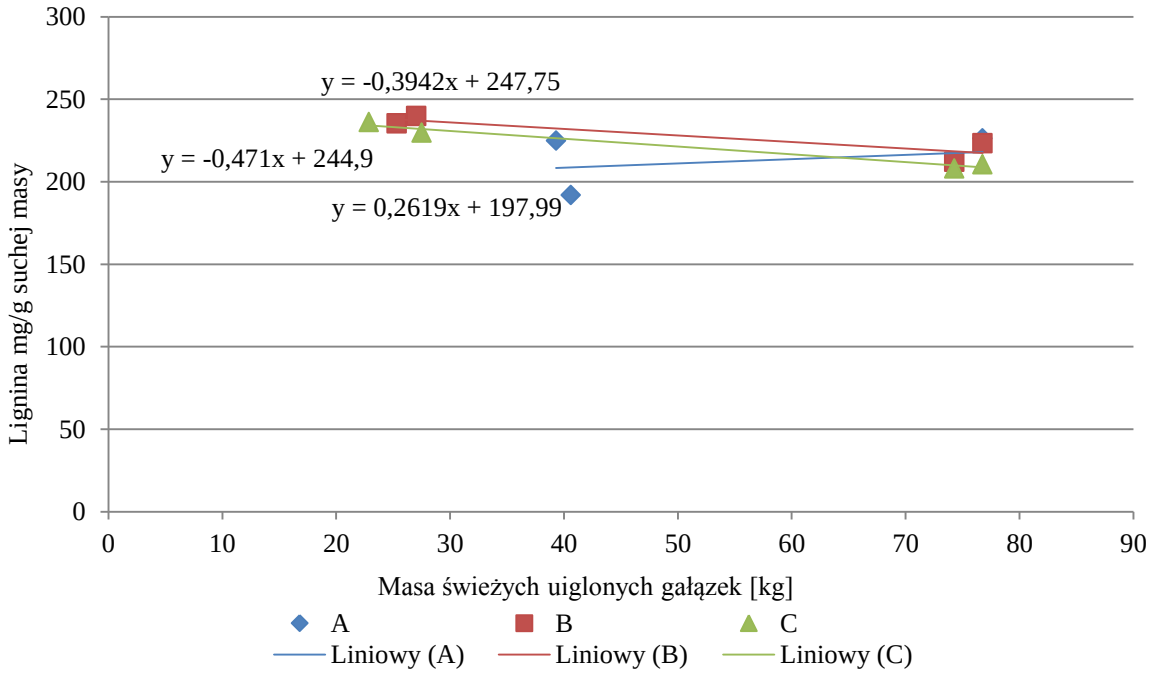
Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i masy świeżych uiglonych gałązek sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego i boru mieszanego świeżego

W tabeli 5 zamieszczono dane liczbowe charakteryzujące udział ligniny w ścianach cewek strefy przyobwodowej strzał oraz masy świeżych uiglonych gałązek, tj. współczynniki korelacji, determinacji i regresji u sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego.

Tabela 5 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i masy świeżych uiglonych gałązek

Charakterystyki statystyczne	A		B		C	
	Masa świeżych uiglonych gałązek [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżych uiglonych gałązek [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżych uiglonych gałązek [kg]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,1113		0,8121		0,9737	
Współczynnik korelacji r	0,3337		-0,9011		-0,9867	
Współczynnik regresji	0,2619		-0,3942		-0,4710	

Najwyższe współczynniki korelacji pomiędzy zawartością ligniny w ścianach cewek strefy przyobwodowej pni stwierdzono u drzew z grupy C i B. Oba współczynniki miały wartość ujemną, czyli wraz ze wzrostem masy świeżych uiglonych gałązek następuje obniżenie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy przyobwodowej. U sosen z grupy A współczynnik korelacji zawartości ligniny w ścianach był dodatni i wynosił 0,3337, w tym przypadku przy zwiększaniu się masy świeżych uiglonych gałązek następuje zwiększenie się udziału ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał. Analizując obliczone współczynniki determinacji należy stwierdzić, że w grupie C udział ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni uwarunkowany jest masą świeżych uiglonych gałązek w ponad 97%, w grupie B ponad 81%, natomiast w grupie A nieco w ponad 11% (tab.5).



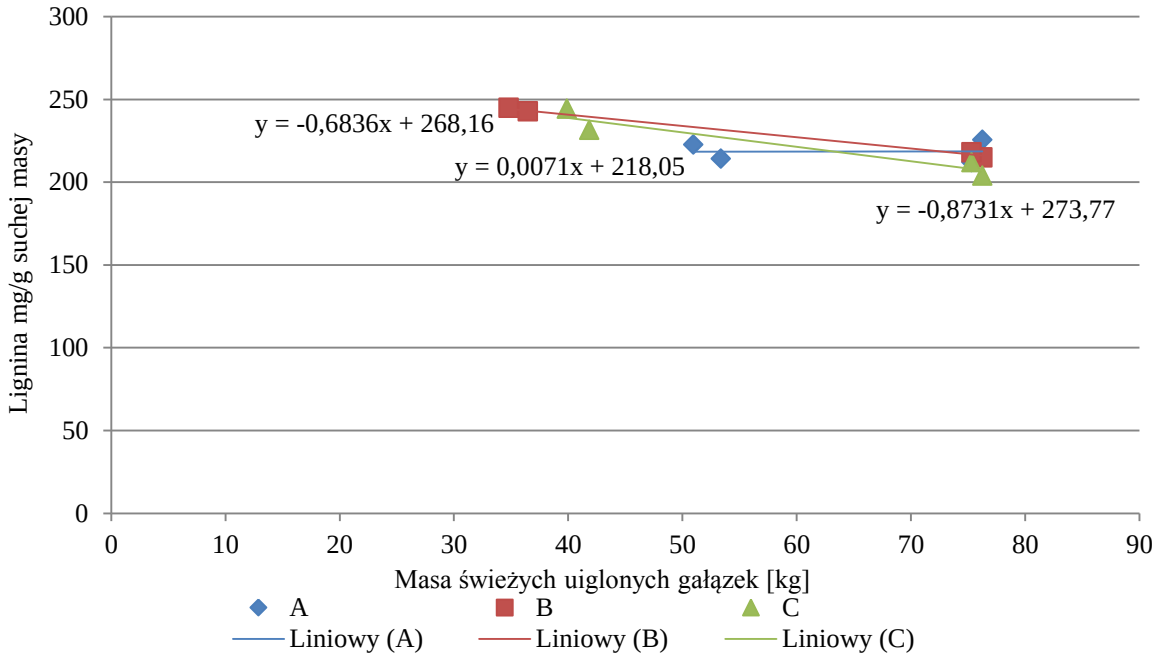
Ryc. 9 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i masy świeżych uiglonych gałązek

Graficzną interpretację omawianych współzależności zamieszczono na rycinie 9, zamieszczając jednocześnie równania regresji, charakteryzujące współzależność zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni od masy świeżych uiglonych gałązek u sosen reprezentujących przyjęte w pracy grupy jakości strzał (A, B i C).

W tabeli 6 zamieszczono dane liczbowe charakteryzujące udział ligniny w ścianach cewek strefy przyobwodowej strzał oraz masy świeżych uiglonych gałązek, tj. współczynniki korelacji, determinacji i regresji u sosen wyrosłych w warunkach boru mieszanego świeżego.

Tabela 6 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i masy świeżych uiglonych gałązek

Charakterystyki statystyczne	A		B		C	
	Masa świeżych uiglonych gałązek [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżych uiglonych gałązek [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżych uiglonych gałązek [kg]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,0002		0,9956		0,9148	
Współczynnik korelacji r	0,0148		-0,9978		-0,9565	
Współczynnik regresji	0,0071		-0,6836		-0,8731	



Ryc. 10 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i masy świeżych uiglonych gałązek

Najwyższe współczynniki korelacji charakteryzujące zawartość ligniny w ścianach cewek strefy przyobwodowej w zależności od masy świeżych uiglonych gałązek stwierdzono u sosen z grupy B i C. W pierwszym przypadku (B) współczynnik ten wynosił -0,9978, w drugim zaś (C) -0,9565. W obu przypadkach wraz ze wzrostem masy świeżych

uiglonych gałązek następuje obniżenie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy przyobwodowej strzał. U drzew reprezentujących grupę A współczynnik korelacji między rozpatrywanymi cechami był dodatni, ale jednocześnie o bardzo niskiej wartości. Bliższa analiza wyliczonych współczynników determinacji pozwala stwierdzić, że u sosen z grupy B zawartość ligniny w ścianach cewek uwarunkowana jest w ponad 99% masą świeżych uiglonych gałązek, zaś u sosen z grupy C w ponad 91%.

Na rycinie 10 zamieszczono graficzną interpretację współzależności zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni a masą świeżych uiglonych gałązek u sosen reprezentujących grupy jakości A, B i C wyrosłych w warunkach boru mieszanego świeżego.

Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i powierzchni bielu sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego i boru mieszanego świeżego

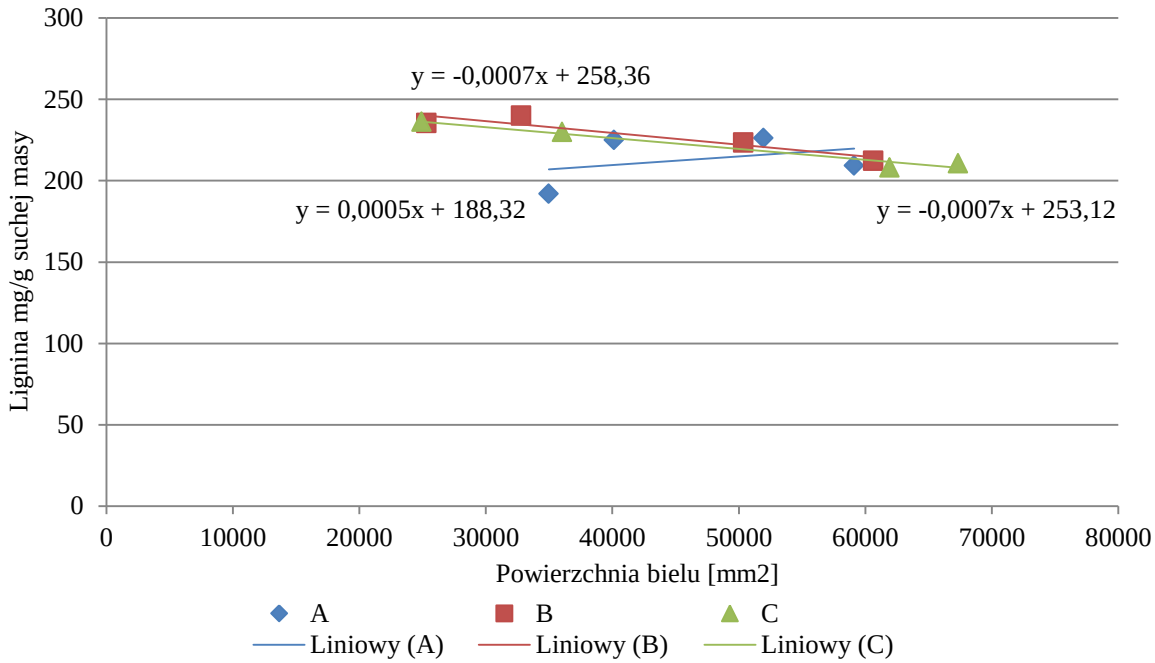
Tabela 7 zawiera wyniki badań, tj. obliczone współczynniki korelacji, determinacji i regresji zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej drzew oraz powierzchni bielu u sosen reprezentujących wyróżnione w pracy grupy jakościowe (A, B i C) sosen wyrosłych w warunkach siedliskowego typu lasu boru świeżego.

Tabela 7 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i powierzchni bielu

Charakterystyki statystyczne	A		B		C	
	Powierzchnia bielu [mm^2]	Lignina [mg/g]	Powierzchnia bielu [mm^2]	Lignina [mg/g]	Powierzchnia bielu [mm^2]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,1315		0,8794		0,9657	
Współczynnik korelacji r	0,3626		-0,9377		-0,9827	
Współczynnik regresji	0,0005		-0,0007		-0,0007	

Najwyższe współczynniki korelacji stwierdzono u sosen z grupy C i B. Znacznie niższą wartość współczynnika korelacji stwierdzono u drzew należących do grupy A, przy czym w grupie C i B współczynniki były ujemne, natomiast w przypadku drzew z grupy A wartość współczynnika korelacji była dodatnia. Obliczone współczynniki determinacji pozwalają stwierdzić, że zawartość ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni u drzew reprezentujących grupę C uwarunkowana jest powierzchnią bielu w ponad 96%, u sosen z grupy B w około 88%, zaś u przedstawicieli grupy A nieco w ponad 13% (tab.7).

Interpretację graficzną omawianych współzależności pomiędzy zawartością ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał a powierzchnią bielu na przekroju pierśnicowym (1,30m od powierzchni gruntu) zamieszczono na rycinie 11.



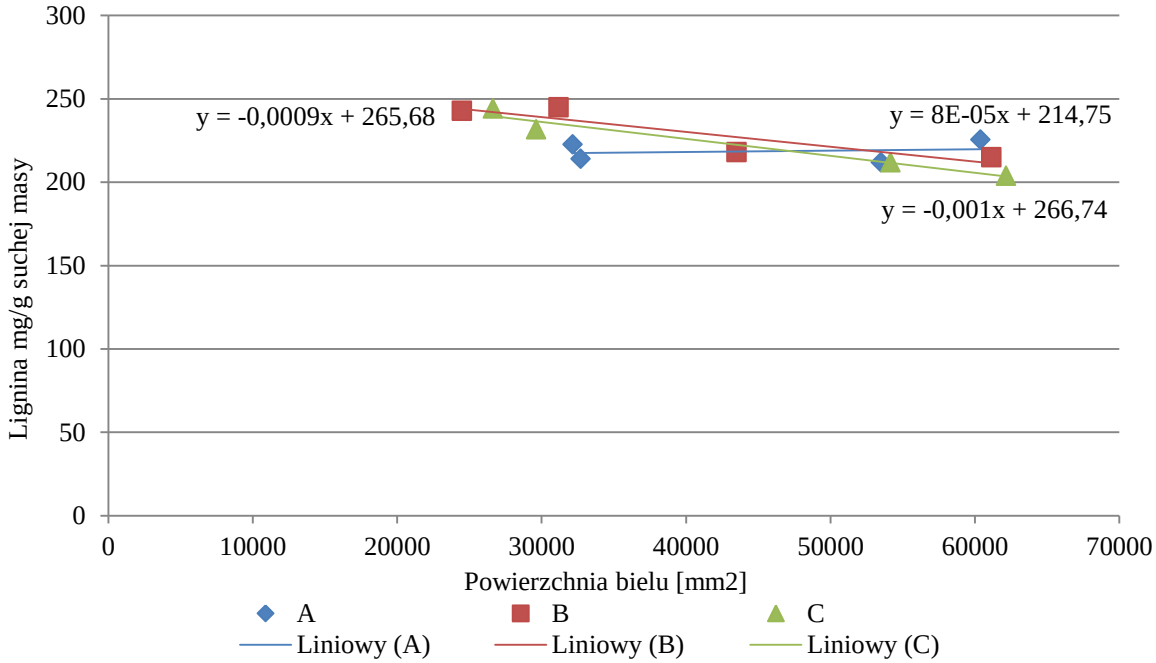
Ryc. 11 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i powierzchni bielu

Obliczone współczynniki korelacji, determinacji i regresji zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał oraz powierzchni bielu sosen reprezentujących grupę jakościową A, B i C wyrosłych w warunkach boru mieszanego świeżego zamieszczono w tabeli 8. Analiza obliczonych współczynników determinacji wskazuje, że zawartość ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej drzew z grupy C uwarunkowana jest powierzchnią bielu w ponad 95%, u sosen z grupy B w ponad 81%, zaś u przedstawicieli grupy A nieco ponad 3%.

Tabela 8 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i powierzchni bielu

Charakterystyki statystyczne	A		B		C	
	Powierzchnia bielu [mm^2]	Lignina [mg/g]	Powierzchnia bielu [mm^2]	Lignina [mg/g]	Powierzchnia bielu [mm^2]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,0344		0,8109		0,9544	
Współczynnik korelacji r	0,1854		-0,9005		-0,9769	
Współczynnik regresji	0,0001		-0,0009		-0,0010	

Graficzną interpretację analizowanych powyżej współzależności zamieszczono na rycinie 12. Naniesiono tam również równania regresji charakteryzujących współzależność zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni w zależności od powierzchni bielu u sosen reprezentujących grupy jakości A, B i C.



Ryc. 12 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i powierzchni bielu

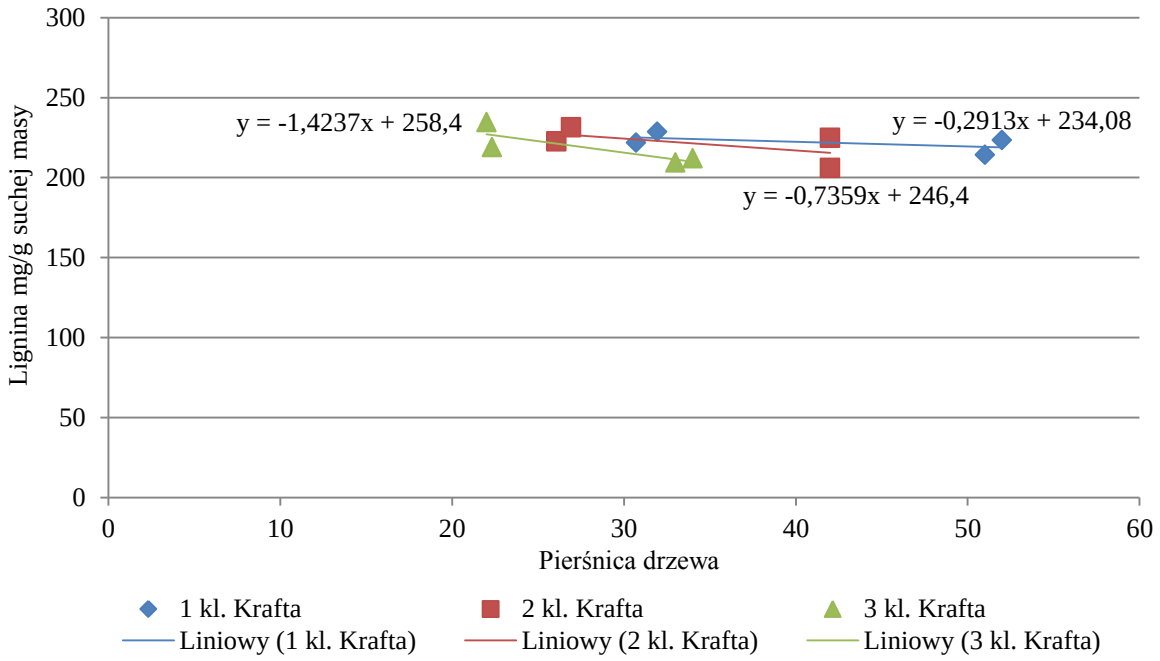
Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i pierśnicy drzew wyrosłych w warunkach boru świeżego i boru mieszanego świeżego

Wartości empiryczne współczynników korelacji, determinacji i regresji zamieszczono w tabeli 9. Najwyższy współczynnik korelacji stwierdzono między omawianymi zmiennymi u sosen z 3 klasy Krafta, który wynosił -0,8255. U drzew z 2 i 1 klasy Krafta współczynniki korelacji wynosiły odpowiednio -0,6102 i -0,5681. Opierając się na obliczonych współczynnikach determinacji należy stwierdzić, że zmienna zależna uwarunkowana jest zmienną niezależną u drzew współpanujących w ponad 68%, drzew panujących w ponad 37% i drzew górujących w ponad 32%.

Tabela 9 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i pierśnicy drzewa

Charakterystyki statystyczne	1 klasa Krafta		2 klasa Krafta		3 klasa Krafta	
	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,3228		0,3724		0,6814	
Współczynnik korelacji r	-0,5681		-0,6102		-0,8255	
Współczynnik regresji	-0,2913		-0,7359		-1,4237	

Równania regresji oraz proste regresji rozpatrywanych zmiennych przedstawiono graficznie na rycinie 13. W każdej grupie drzew, tj. reprezentujących 1, 2 i 3 klasę Krafta w miarę podwyższania się rozmiaru pierśnicy następuje obniżenie wartości udziału ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał.



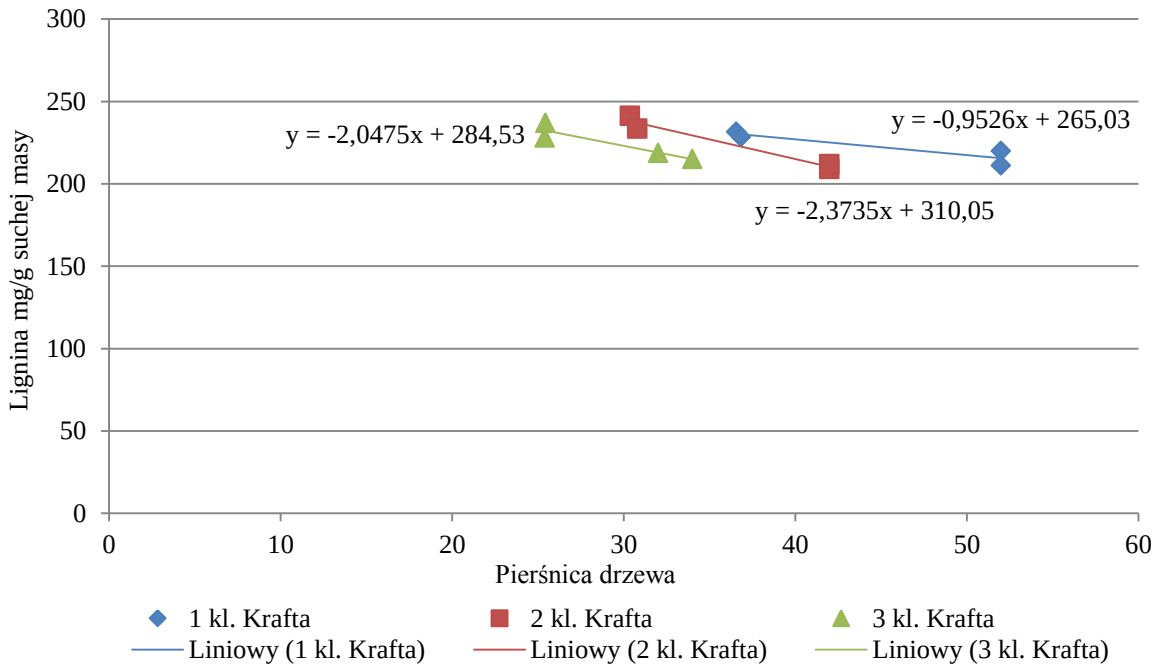
Ryc. 13 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i pierśnicy drzewa

W tabeli 10 zamieszczono współczynniki korelacji, determinacji i regresji u drzew reprezentujących 1, 2 i 3 klasę Krafta, tj. drzewostan główny sosen wyrosłych w warunkach boru mieszanego świeżego. Współczynniki korelacji u drzew górujących, panujących i współpanujących wynosiły odpowiednio: -0,9128, -0,9828 i -0,9292. Analizując wartości obliczonych współczynników determinacji po przemnożeniu przez 100 możemy stwierdzić, że w przypadku sosen reprezentujących 1 klasę Krafta zawartość ligniny w ścianach cewek przyobwodowych pni uwarunkowana jest pierśnicą w ponad 83%, w 2 klasie Krafta w ponad 96% i w 3 klasie Krafta w ponad 86%.

Tabela 10 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i pierśnicy drzewa

Charakterystyki statystyczne	1 klasa Krafta		2 klasa Krafta		3 klasa Krafta	
	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,8333		0,9659		0,8634	
Współczynnik korelacji r	-0,9128		-0,9828		-0,9292	
Współczynnik regresji	-0,9526		-2,3735		-2,0475	

Proste regresji oraz równania regresji charakteryzujące omawiane związki w zależności od pozycji biosocjalnej sosen w drzewostanie w formie graficznej przedstawiono na rycinie 14, z której również wynika, że wraz ze wzrostem parametru pierśnicy następuje obniżenie zawartości ligniny w ścianach komórkowych strefy przyobwodowej pnia.



Ryc. 14 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i pierśnicy drzewa

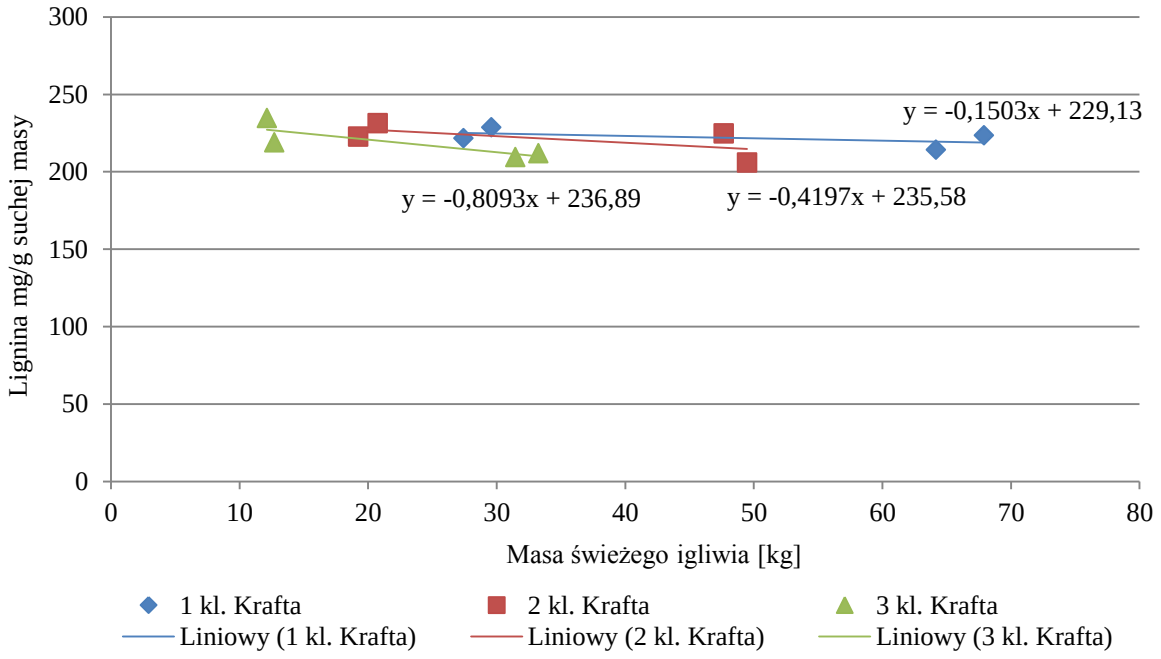
Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżego igliwia sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego i boru mieszanego świeżego

W tabeli 11 zamieszczono dane empiryczne charakteryzujące wartości współczynników korelacji, determinacji i regresji w zależności od zajmowanego stanowiska biosocjalnego w drzewostanie sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego. Współczynniki korelacji między zmienną zależną i niezależną wynosiły u drzew 1, 2 i 3 klasy Krafta odpowiednio -0,5462, -0,6422 i -0,8253. Analizując obliczone współczynniki determinacji u drzew górujących, panujących i współpanujących zmienna zależna uwarunkowana jest zmienną niezależną odpowiednio w ponad 29%, w ponad 41% i w ponad 68% (tab.11).

Omawiane współzależności przedstawiono graficznie na rycinie 15, zamieszczono tam również równania regresji. Z przebiegu prostych widać, że w miarę zwiększania się masy świeżego igliwia następuje obniżanie się zawartości ligniny w ścianach cewek przyobwodowych pnia z różnym nasileniem w zależności od zajmowanego stanowiska biosocjalnego.

Tabela 11 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżego igliwia

Charakterystyki statystyczne	1 klasa Krafta		2 klasa Krafta		3 klasa Krafta	
	Masa świeżego igliwia [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżego igliwia [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżego igliwia [kg]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,2984		0,4125		0,6811	
Współczynnik korelacji r	-0,5462		-0,6422		-0,8253	
Współczynnik regresji	-0,1503		-0,4197		-0,8093	



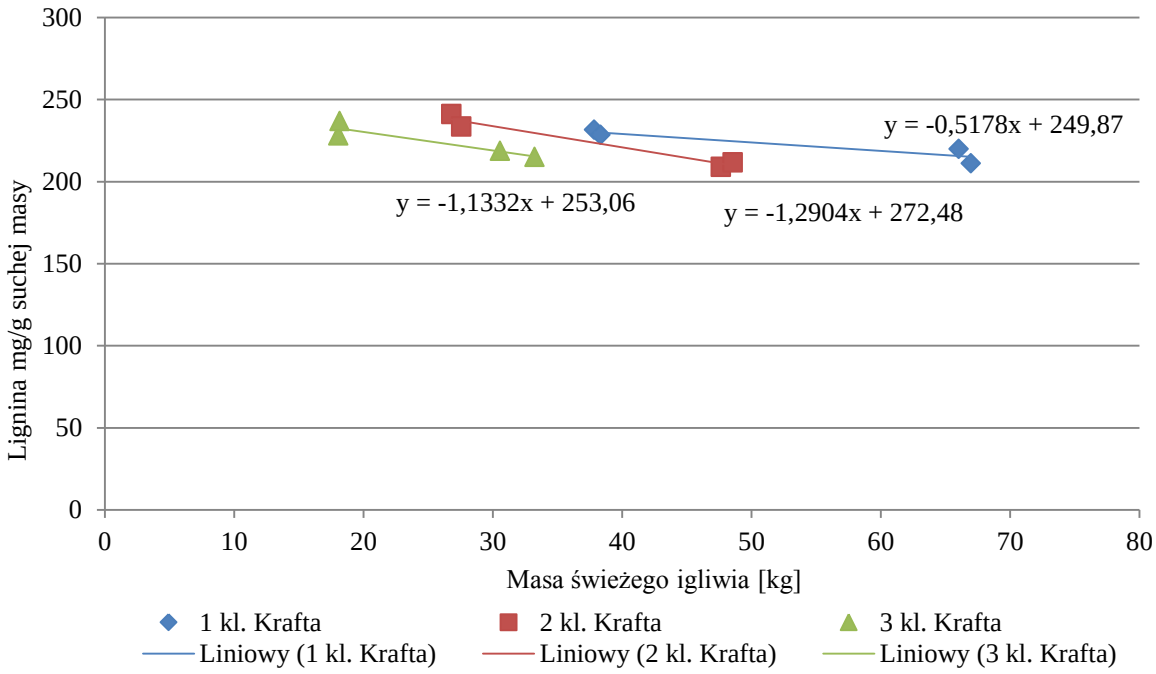
Ryc. 15 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżego igliwia

Wyniki badań zawartości ligniny w ścianach cewek strefy przyobwodowej strzał oraz masy świeżego igliwia, tj. współczynniki korelacji, determinacji i regresji w zależności od zajmowanego stanowiska w drzewostanie sosen wyrosłych w warunkach boru mieszanego świeżego zamieszczono w tabeli 12.

Tabela 12 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżego igliwia

Charakterystyki statystyczne	1 klasa Krafta		2 klasa Krafta		3 klasa Krafta	
	Masa świeżego igliwia [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżego igliwia [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżego igliwia [kg]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,8493		0,9603		0,8614	
Współczynnik korelacji r	-0,9215		-0,9799		-0,9281	
Współczynnik regresji	-0,5178		-1,2904		-1,1332	

Obliczone współczynniki korelacji u drzew górujących, panujących i współpanujących wynosiły odpowiednio: -0,9215, -0,9799 i -0,9281. Współczynniki determinacji po przemnożeniu przez 100 pozwalają stwierdzić, że zmienna zależna uwarunkowana jest zmienną niezależną u sosen z 2 klasy Krafta w 96%, w 3 klasie Krafta w ponad 86%, a w 1 klasie Krafta w ponad 84%.



Ryc. 16 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżego igliwia

Równania regresji wraz z prostymi regresji omawianych współzależności przedstawiono graficznie na rycinie 16. Wynika z nich, że u sosen drzewostanu głównego wraz ze zwiększaniem się masy świeżego igliwia następuje obniżenie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy przyobwodowej strzał. Nasilenie tego procesu jest zróżnicowane w ramach rozpatrywanych klas biosocjalnych Krafta.

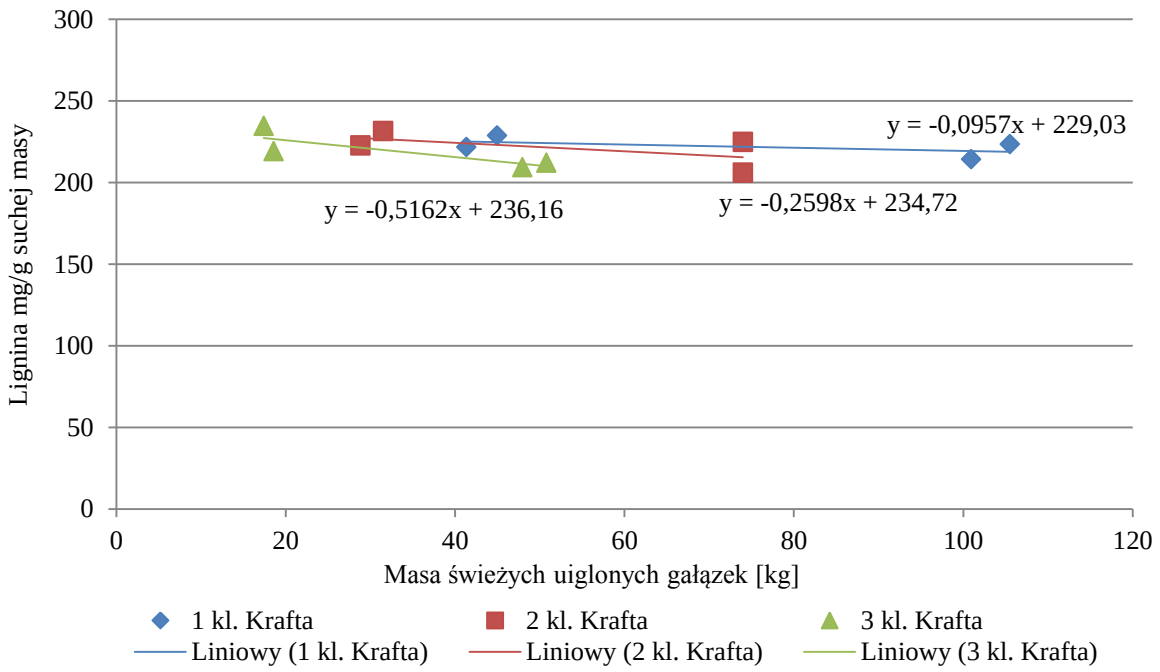
Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżych uiglonych gałązek sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego i boru mieszanego świeżego

W tabeli 13 zamieszczono wyliczone współczynniki korelacji, determinacji i regresji w zależności od zajmowanego stanowiska biosocjalnego w drzewostanie sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego. Obliczone współczynniki korelacji były zróżnicowane w ramach poszczególnych klas Krafta, przy czym najwyższy stwierdzono u drzew współpanujących, który wynosił -0,8284. W klasie 1 i 2 Krafta współczynniki te wynosiły odpowiednio: -0,5561 i -0,6091.

Analizując współczynniki determinacji można stwierdzić, że zawartość ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej u sosen współpanujących warunkowana była masą świeżych uiglonych gałązek w ponad 68%, u drzew panujących w 37%, zaś u górujących w ponad 30%. Równania regresji oraz przebieg prostych regresji omawianych związków przedstawiono graficznie na rycinie 17.

Tabela 13 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżych uiglonych gałązek

Charakterystyki statystyczne	1 klasa Krafta		2 klasa Krafta		3 klasa Krafta	
	Masa świeżych uiglonych gałązek [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżych uiglonych gałązek [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżych uiglonych gałązek [kg]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,3092		0,3710		0,6862	
Współczynnik korelacji r	-0,5561		-0,6091		-0,8284	
Współczynnik regresji	-0,0957		-0,2598		-0,5162	



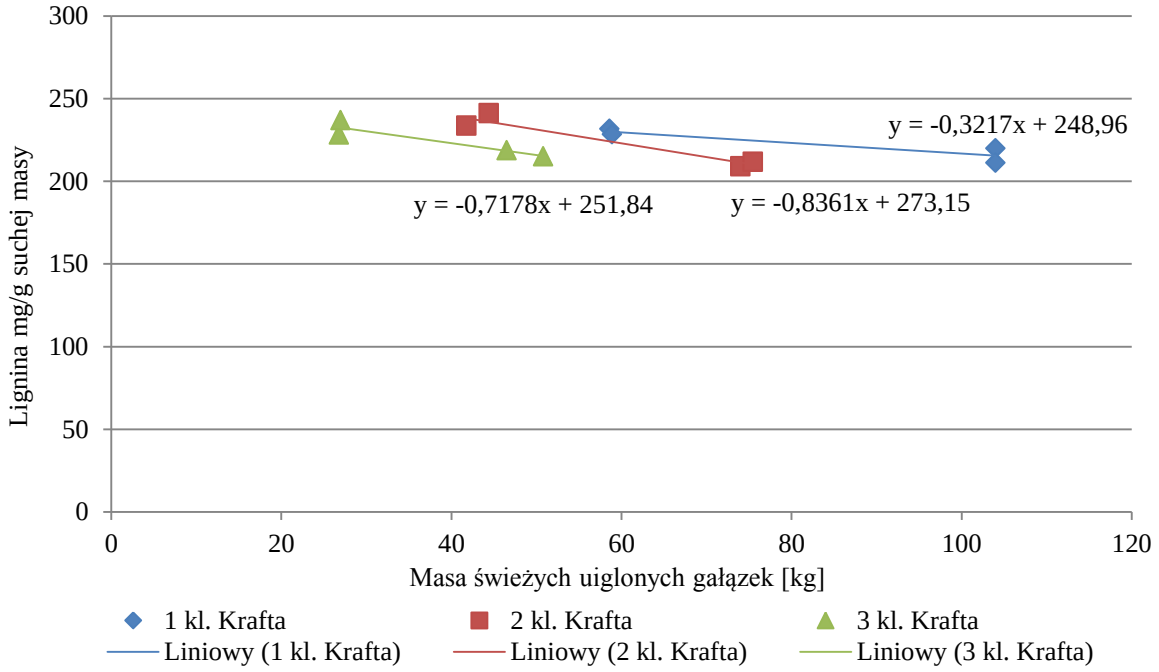
Ryc. 17 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżych uiglonych gałązek

Wyniki współczynników korelacji, determinacji i regresji u sosen reprezentujących 1, 2, 3 klasę Krafta wyrosłych w warunkach boru mieszanego świeżego zamieszczono w tabeli 14. Współczynniki korelacji u sosen z klasy 1, 2 i 3 Krafta wynosiły odpowiednio: -0,9119, -0,9617 i -0,9282. Uzyskane wartości współczynników determinacji pozwalają ocenić, że zmienna zależna była warunkowana zmienną niezależną w ponad 92% u sosen 2 klasy Krafta, w ponad 86% z 3 klasy Krafta i w ponad 83% w 1 klasie Krafta.

Tabela 14 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżych uiglonych gałązek

Charakterystyki statystyczne	1 klasa Krafta		2 klasa Krafta		3 klasa Krafta	
	Masa świeżych uiglonych gałązek [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżych uiglonych gałązek [kg]	Lignina [mg/g]	Masa świeżych uiglonych gałązek [kg]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,8315		0,9249		0,8615	
Współczynnik korelacji r	-0,9119		-0,9617		-0,9282	
Współczynnik regresji	-0,3217		-0,8361		-0,7178	

Graficzna ilustracja omawianych współzależności została przedstawiona na rycinie 18. Zamieszczono tam równania regresji i proste regresji, z których wynika, że wraz ze wzrostem masy świeżych uiglonych gałązek obniżeniu ulega zawartość ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał drzew w ramach rozpatrywanych klas biosocjalnych Krafta.



Ryc. 18 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżych uiglonych gałązek

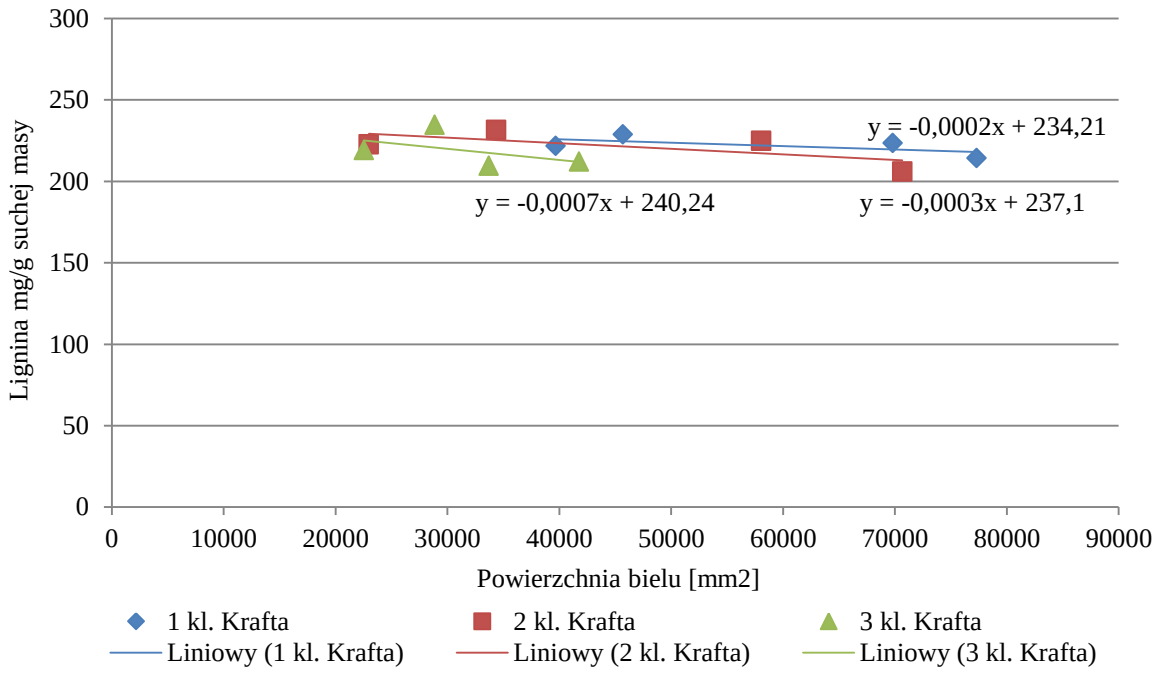
Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i powierzchni bielu sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego i boru mieszanego świeżego

W tabeli 15 zamieszczono wyniki współczynników korelacji, determinacji i regresji u sosen reprezentujących 1, 2 i 3 klasę Krafta wyrosłych w warunkach boru świeżego.

Wyliczone współczynniki determinacji pozwalają stwierdzić, że zmienna zależna w 2 klasie Krafta warunkowana jest zmienną niezależną w ponad 47%, w 1 klasie Krafta w ponad 40%, a w 3 klasie Krafta w ponad 23%. Na rycinie 19 przedstawiono graficznie interpretację omawianych współzależności. Zamieszczono tam równania regresji i proste regresji w 1, 2 i 3 klasie Krafta.

Tabela 15 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i powierzchni bielu

Charakterystyki statystyczne	1 klasa Krafta		2 klasa Krafta		3 klasa Krafta	
	Powierzchnia bielu [mm^2]	Lignina [mg/g]	Powierzchnia bielu [mm^2]	Lignina [mg/g]	Powierzchnia bielu [mm^2]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,4086		0,4737		0,2355	
Współczynnik korelacji r	-0,6392		-0,6882		-0,4852	
Współczynnik regresji	-0,0002		-0,0003		-0,0007	



Ryc. 19 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i powierzchni bielu

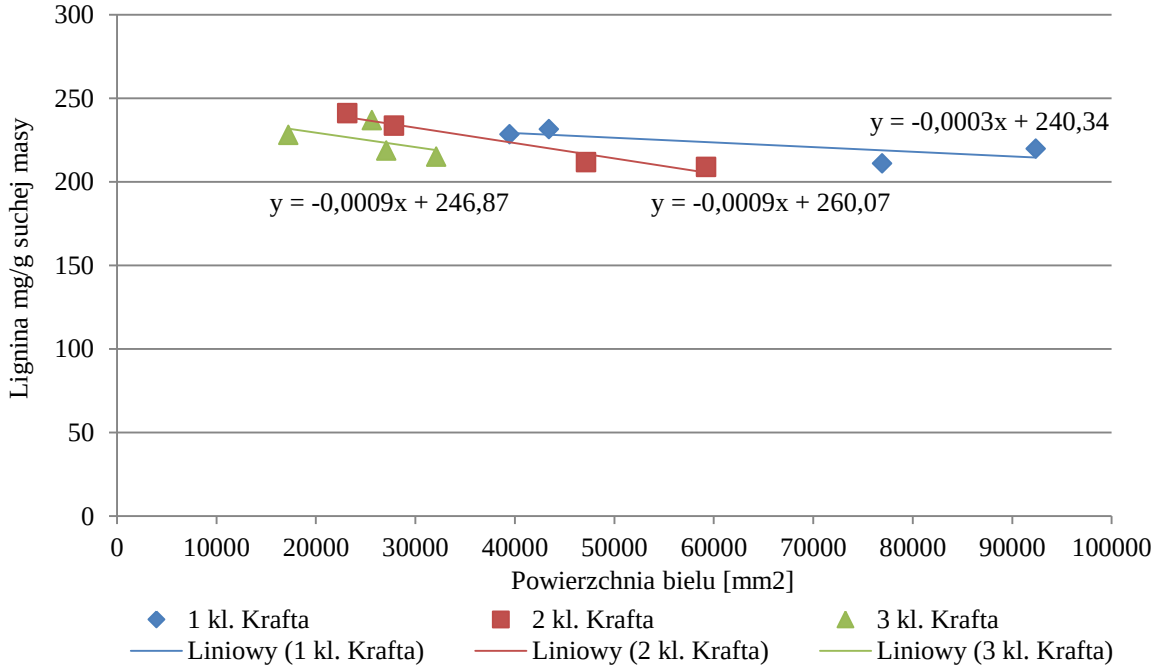
Dane empiryczne dotyczące zawartości ligniny w ścianach strefy obwodowej pni jako zmiennej zależnej i powierzchni bielu jako zmiennej niezależnej w poszczególnych klasach Krafta (1, 2 i 3) jako obliczone współczynniki korelacji, determinacji i regresji sosen wyrosłych w warunkach boru mieszanego świeżego zamieszczono w tabeli 16.

Wartość współczynników korelacji w 1, 2 i 3 klasie Krafta wynosiły odpowiednio: -0,7781, -0,9721 i -0,5463. Obliczone współczynniki determinacji pozwalają stwierdzić, że zmienna zależna jest uwarunkowana zmienną niezależną u sosen z 2 klasy Krafta w ponad 94%, w 1 klasie Krafta w ponad 60% z kolei w 3 klasie Krafta w ponad 29%.

Tabela 16 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i powierzchni bielu

Charakterystyki statystyczne	1 klasa Krafta		2 klasa Krafta		3 klasa Krafta	
	Powierzchnia bielu [mm^2]	Lignina [mg/g]	Powierzchnia bielu [mm^2]	Lignina [mg/g]	Powierzchnia bielu [mm^2]	Lignina [mg/g]
Współczynnik determinacji r^2	0,6055		0,9450		0,2984	
Współczynnik korelacji r	-0,7781		-0,9721		-0,5463	
Współczynnik regresji	-0,0003		-0,0009		-0,0009	

Graficzną interpretację omawianych współzależności pomiędzy zmienną zależną i zmienną niezależną w ramach klas Krafta (1, 2 i 3) przedstawia rycina 20, na której zamieszczono równania regresji oraz proste regresji powyższych związków.



Ryc. 20 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i powierzchni bielu

Wnioski i uogólnienia

Tkanka drzewna roślin drzewiastych jest optymalizowana w zależności od pełnionych funkcji, warunków wzrostu i strategii umożliwiającej przetrwanie. Dlatego specyficznymi cechami ksylemu jest złożony skład chemiczny, a także charakterystyczna dla różnych gatunków drzewiastych budowa anatomiczna, która kształtuje właściwości fizyczne i mechaniczne drewna (Barnett i Ironimidis 2003). Bardzo często w obrębie jednego gatunku, a także jednego osobnika mogą występować różnice w budowie i właściwościach tworzonej tkanki drzewnej w zależności od położenia geograficznego

(Fabijanowski 1961), warunków siedliskowych (Pazdrowski i Spława-Neyman 1996, 1997), wieku czy też pozycji biosocjalnej drzewa w drzewostanie (Pazdrowski i Spława-Neyman 1993, Fabisiak 2005). Ksylem wtórny z powyższych względów stanowi wyjątkowo interesujący obiekt badawczy dla fizjologów, ekologów roślin, a także dla anatomów. Specyfika elementów strukturalnych tkanki drzewnej poszerza zasób wiedzy o funkcjonalnym przystosowaniu się roślin, w tym drzewiastych, do środowiska zewnętrznego (Verheyden i in. 2005, Yaman 2008, López i in. 2014, Tulik, Bijak 2016, Hacke i in. 2016). Cewki są korzystniejszym rozwiązaniem w środowisku, w którym istnieje zwiększone ryzyko powstawania pęcherzy kawitacyjnych. Fakt ten tłumaczy dlaczego rośliny iglaste, posiadające ksylem pozbawiony naczyń, odnoszą tak duży sukces w środowiskach charakteryzujących się częstą suszą fizjologiczną (Schulte i in. 2015).

1. W Nadleśnictwie Stare Jabłonki i Tuchola u sosen wyrosłych w warunkach siedliskowego typu lasu- Bśw najwyższe wartości konduktywności hydraulicznej stwierdzono u drzew grupy jakości strzał C, zdecydowanie niższe zaś u sosen z grup A i B. U drzew wyrosłych w warunkach BMśw w Nadleśnictwie Stare Jabłonki stosunkowo wysokie wartości analizowanych wskaźników konduktywności hydraulicznej stwierdzono u sosen z grup jakości strzał A i C, niższe zaś u drzew z grupy B. W Nadleśnictwie Tuchola najwyższe wartości konduktywności hydraulicznej stwierdzono u sosen z grupy B, najniższe zaś u drzew z grupy A.
2. Współzależność zawartości ligniny w ścianach cewek obwodowych strzał sosen a pierśnicą u drzew wyrosłych w warunkach siedliskowego typu lasu boru świeżego i boru mieszanego świeżego była zróżnicowana. U sosen reprezentujących grupę jakości B i C wraz ze wzrostem pierśnicy drzew następowało obniżenie się zawartości ligniny w ścianach cewek obwodowych, zaś w miarę obniżania się parametrów pierśnic następował wzrost zawartości ligniny. Obliczone współczynniki korelacji w grupie jakości B i C u drzew wyrosłych w warunkach boru świeżego wynosiły odpowiednio: -0,9039 i -0,9882, zaś u sosen z boru mieszanego świeżego: -0,9988 oraz -0,9605. Opisanej prawidłowości nie stwierdzono u sosen reprezentujących grupę jakości A.
3. Zależność zawartości ligniny w ścianach cewek obwodowych strzał sosen a masą świeżego igliwia drzew wyrosłych w warunkach boru świeżego i boru mieszanego świeżego scharakteryzowano obliczonymi współczynnikami korelacji. U sosen z grupy jakości B i C ich wartości były wysokie i wynosiły w przypadku boru świeżego odpowiednio: -0,9040 i -0,9879, natomiast w warunkach boru mieszanego świeżego odpowiednio: -0,9973 oraz -0,9558. W przypadku osobników z grupy A jakości strzał takiej prawidłowości nie stwierdzono.
4. Współzależność zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał a masą świeżych uiglonych gałązek drzew wyrosłych w warunkach boru świeżego i boru mieszanego świeżego wyrażono obliczonymi współczynnikami korelacji. U sosen reprezentujących grupę jakości pni B i C na obydwóch omawianych siedliskowych typach lasu stwierdzono, że wraz ze wzrostem masy świeżych uiglonych gałązek

zmniejsza się zawartość ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał. Potwierdzają to obliczone współczynniki korelacji, które wynosiły u sosen z boru świeżego odpowiednio: -0,9011 i -0,9867, zaś u drzew z boru mieszanego świeżego odpowiednio: -0,9978 oraz -0,9565. U drzew reprezentujących grupę A jakości strzał prawidłowości tej nie stwierdzono.

5. Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosen a powierzchnią bielu u drzew wyrosłych w warunkach siedliskowego typu lasu boru świeżego i boru mieszanego świeżego scharakteryzowano obliczonymi współczynnikami korelacji. U sosen z grupy jakości strzał B i C ich wartości były wysokie i wynosiły w przypadku drzew z boru świeżego odpowiednio: -0,9377 i -0,9827, zaś u sosen z boru mieszanego świeżego odpowiednio: -0,9005 oraz -0,9769. U sosen z grupy jakościowej A prawidłowości tej nie stwierdzono.

6. Współzależność zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał drzew a pierśnicą u sosen wyrosłych w warunkach siedliskowego typu lasu boru świeżego i boru mieszanego świeżego scharakteryzowano obliczonymi współczynnikami korelacji. Niższe wartości współczynników korelacji stwierdzono u sosen z siedliska boru świeżego, wyższe zaś u drzew z boru mieszanego świeżego. U reprezentantów 1, 2 i 3 klasy Krafta wyrosłych na siedliskach boru świeżego wartości współczynników korelacji wynosiły odpowiednio: -0,5681, -0,6102 oraz -0,8255, natomiast u sosen z boru mieszanego świeżego wynosiły odpowiednio: -0,9128, -0,9828 oraz -0,9292.

7. Zależność zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pnia a masą świeżego igliwia u sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego i boru mieszanego świeżego była wysoka z uwagi na siłę związku. U drzew wyrosłych w warunkach siedliska bogatszego (boru mieszanego świeżego) wskazują na to obliczone współczynniki korelacji, które w 1, 2 i 3 klasie Krafta wynosiły odpowiednio: -0,9215, -0,9799 i -0,9281. U sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego wartości współczynników były niższe i wynosiły odpowiednio: -0,5462, -0,6422 oraz -0,8253.

8. Współzależność między zawartością ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał a masą świeżych uiglonych gałązek sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego i boru mieszanego świeżego była zróżnicowana, na co wskazują obliczone współczynniki korelacji. Wartości ich u drzew górujących, panujących i współpanujących z siedliskowego typu lasu boru świeżego wynosiły odpowiednio: -0,5561, -0,6091 i -0,8284, natomiast u sosen wyrosłych w warunkach boru mieszanego świeżego odpowiednio: -0,9119, -0,9617 i -0,9282.

9. Korelacja między zawartością ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej pni a powierzchnią bielu sosen wyrosłych w warunkach boru świeżego i boru mieszanego świeżego była zróżnicowana z uwagi na siłę związku. U sosen reprezentujących 1, 2 i 3 klasę Krafta z siedliskowego typu lasu boru świeżego współczynniki korelacji wynosiły odpowiednio: -0,6392, -0,6882 i -0,4852, zaś u drzew wyrosłych w warunkach boru mieszanego świeżego odpowiednio: -0,7781, -0,9721 oraz -0,5463.

Literatura

Spis zawiera wyłącznie pozycje bibliograficzne ujęte w niniejszym autoreferacie.

1. **Barnett J.R., Jeronimidis G.,**(2003): Wood quality and its biological basis. Oxford: Blackwell, 226pp.
2. **Doster M., A., Bostock P., M.,** (1988): Quantification of lignin formation in almond bark in response to wounding and infection by Phytophthora species, Phytopathology 78: 473-477.
3. **Fabijanowski J.,** (1961): Kilka uwag o badaniach dotyczących ras sosny zwyczajnej w Polsce oraz o sośnie mazurskiej. Sylwan, 4: 21-30.
4. **Fabisiak E.,** (2005):Zmienność podstawowych elementów anatomicznych i gęstości drewna wybranych gatunków drzew. Rozprawy Naukowe, zeszyt 369, Rocznik Akademii rolniczej w Poznaniu.
5. **Gartner B. L., North E. M., Johnson G. R., Singleton R.,**(2002):Effects of live crown on vertical patterns of wood density and growth in Douglas- fir. Can. J. for. res. Vol. 32, 439-447.
6. **Grochowski J.,** (1973): Dendrometria. PWRiL, Warszawa.
7. **Grzeczyński T., Rybarczyk W.,**(1972): Badania nad zależnością zachodzącą pomiędzy gęstością ściany komórkowej a gęstością drewna. Pr. Inst. Technol. Drew., 1/2: 165-183.
8. **Hacke U. G., Spicer R., Schreiber S. G., Plavcova L.,** (2016): An ecophysiological and developmental perspective on variation in vessel diameter. Plant, Cell& Environ. DOI: 10.1111/pce.12777.
9. **Hejnowicz Z.,** (1980): Anatomia i histogeneza roślin naczyniowych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
10. **Hejnowicz Z.,** (2012): Anatomia i histogeneza roślin naczyniowych (Vascular plant anatomy and histogenesis). Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
11. **Ilmurzyński E.,** (1964): Podkrzesywanie drzew w lesie. PWRiL, Warszawa.
12. **Jaworski A.,** (2004): Podstawy przyrostowe I ekologiczne odnawiania oraz pielęgnacji drzewostanów. PWRiL, Warszawa.
13. **Józefaciuk W.,**(1972): Próba wyodrębnienia typów pokrojowych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na obszarze Polsk. Pr. Inst. Bad. Leś., 414: 47-88.
14. **Kajetanek A.,** (2012): Stopień naturalnego oczyszczania się strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) a kształtowanie się powierzchni przewodzącej (Pp) i powierzchni przewodzącej słoja (Pps). Praca magisterska. Poznań 2012.
15. **Kobyliński F.,**(1970): Wpływ usęcznienia na jakość drewna iglastego. Sylwan, 10: 27-34.
16. **Kraft G.,** (1884): Beiträge zur Lehre von dem Durchforstungen, Schlafstellungen und Lichtungshieben, Klindworth's Hannover.
17. **Krzysik F.,** (1974): Nauka o drewnie. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
18. **Larcher W.,** (1975): Physiological Plant Ecology. Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
19. **Laurow Z.,**(1975): Kształtowanie się jakości technicznej drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) pochodzącej z wybranych siedlisk Puszczy Pilskiej. SGGW, Warszawa.
20. **López J., del Valle J. L., Giraldo J. A.,** (2014): Flood-promoted vessel formation in Prioria copaifera trees in the Darien Gap, Colombia. Tree Physiol. DOI: 10.1093/treephys/tpu077.

21. Marszałek T., (1978): Gospodarcze, pośredniogospodarcze I pozagospodarcze funkcje lasu. W: T. Marszałek: Ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczego. PWN, Warszawa-Kraków.
22. Mućk H., (1984a): Drewno sosnowe i jego wykorzystanie. Las polski 3: 17-20.
23. Mućk H., (1984b): Drewno sosnowe i jego wykorzystanie. Las polski 4: 22-24.
24. Paschalis P., (1980): Zmienność jakości technicznej drewna sosny pospolitej we wschodniej części Polski. Sylwan, 1: 29-44.
25. Pazdrowski W.,(1988): Wartość techniczna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w zależności od jakości pni drzew w drzewostanach rębnych. Roczniki Akademii Rolniczej W Poznaniu, rozprawy naukowe, zeszyt 170: 5-7, 18, 49-50, 63-64.
26. Pazdrowski W., Spława-Neyman S., (1993): Badania wybranych właściwości drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na tle klas biologicznych w drzewostanie. (The study of selected wood properities in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) against biological classes in the stand), Folia Forestalia Polonica, Ser B, 24: 133-145.
27. Pazdrowski W., Spława-Neyman S., (1996): Interdependence between some growth parameters and wood features of Scots pine grown in dry forest conditions. Folia Forestalia Polonica, Ser B, 27: 49-56.
28. Pazdrowski W., Spława-Neyman S., (1997): Macrostructure of Scots pine wood from unripe forest stand grown in conditions of fresh forest, Folia Forestalia Polonica, Ser B, 28: 41-46.
29. Plomion C., Leprovost G., Stokes A., (2001): Wood formation in trees, Plant Physiology 127: 1513-1523.
30. Polubojarinov O. I., (1976): Plotnostdrevesiny. LesnajaPromyslennost, Moskva.
31. Schweingruber F. H., (2007): Wood structure and environment. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
32. Strona internetowa:www.google.pl/grafika (mapaNadleśnictwa Tuchola).
33. Strona internetowa Nadleśnictwa Stare Jabłonki: https://bip.lasy.gov.pl/pl/bip/px_dg~rdlp_olsztyn~nadl_stare_jablonki~elaborat_jablonki
34. Tulik M., Bijak S., (2016): Are climatic factores responsible for the process of oak decline in Poland. Dendrochronologia 38; 18-25.
35. Verheyden A., Ridder F. D., Schmitz N., Beeckman H., Koedam N., (2005): High-resolution time series of vessel density in Kenyan mangrove trees a link with climate. New Phytologist 167: 425-435.
36. Wodzicki T. J.,(1971): Mechanism of xylem differentiation in (Pinus sylvestris L.). J. Exp. Bot. 22: 670- 687.
37. Wodzicki T. J., (1974): Czy można sterować biologicznym procesem produkcji drewna? Las polski, 17: 5-7.
38. Wodzicki T. J., (2001): Natural factors affecting wood structure. Wood Science and Technology, vol. 35, 5-26.
39. Yaman B., (2008): Variation in quantitative vessel element factures of Juglans regia in the western black sea region of Turkey. Agrociencia 42: 357-365.
40. Zawierucha E.,(1978): Badania nad fenotypową strukturą drzewostanów sosnowych i oceną ich wartości hodowlanej. Sylwan, 8: 69-78.
41. Zawierucha E.,(1983): Metoda fenotypowej klasyfikacji drzew sosny zwyczajnej. Sylwan, 7: 41-50.
42. Zimmermann M., H., Brown C., L., (1971): Trees, structure and function. Springer-Verlag New York Inc.

Spis rycin

Ryc. 1 Układ słojów rocznych na przekroju pnia: a- biel, b- twardziel (Krzysik 1974) 3
Ryc. 2 Schemat tworzenia się drewna wczesnego (A) i późnego (B); k.m.ł- komórki macierzyste łyka; k.in.- komórka inicjalna; k.m.d- komórka macierzysta drewna (wg Wodzickiego, J. Exp. Bot. 22, 1971) 4
Ryc. 3 Położenie Nadleśnictwa Stare Jabłonki (źródło: elaborat, Nadleśnictwo Stare Jabłonki) 5
Ryc. 4 Położenie nadleśnictwa Tuchola (źródło: www.google.pl) 5
Ryc. 5 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i pierśnicy drzewa 9
Ryc. 6 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i pierśnicy drzewa 10
Ryc. 7 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i masy świeżego igliwia 12
Ryc. 8 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i masy świeżego igliwia 13
Ryc. 9 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i masy świeżych uiglonych gałązek 14
Ryc. 10 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i masy świeżych uiglonych gałązek 15
Ryc. 11 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i powierzchni bielu 17
Ryc. 12 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczania strzał i powierzchni bielu 18
Ryc. 13 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i pierśnicy drzewa 19
Ryc. 14 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i pierśnicy drzewa 20
Ryc. 15 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżego igliwia 21

Ryc. 16 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżego igliwia.....22
Ryc. 17 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżych uiglonych gałązek.....23
Ryc. 18 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżych uiglonych gałązek.....24
Ryc. 19 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i powierzchni bielu.....25
Ryc. 20 Kształtowanie się zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i powierzchni bielu.....26
Ryc. 75 Kształtowanie się szerokości słojów drewna wczesnego i późnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od grupy A, B, C jakości strzał w ostatnich 10-ciu latach na terenie Nadleśnictwa Stare Jabłonki w oddziale 264h.....36

Spis tabel

Tabela 1 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i pierśnicy drzewa.....9
Tabela 2 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i pierśnicy drzewa.....10
Tabela 3 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i masy świeżego igliwia.....11
Tabela 4 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i masy świeżego igliwia.....12
Tabela 5 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i masy świeżych uiglonych gałązek.....14
Tabela 6 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru

mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i masy świeżych uiglonych gałązek 15
Tabela 7 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i powierzchni bielu 16
Tabela 8 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od stopnia oczyszczenia strzał i powierzchni bielu 17
Tabela 9 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i pierśnicy drzewa 18
Tabela 10 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i pierśnicy drzewa 19
Tabela 11 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżego igliwia ... 21
Tabela 12 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżego igliwia 21
Tabela 13 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżych uiglonych gałązek 23
Tabela 14 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i masy świeżych uiglonych gałązek 24
Tabela 15 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i powierzchni bielu 25
Tabela 16 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru mieszanego świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i powierzchni bielu 26
Tabela 17 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i pierśnicy drzewa 35

Aneks

Przykładowy sposób określania powierzchni bielu i twardzieli oraz szerokości słojów przyrostu drzew, a także szerokości strefy drewna wczesnego i późnego w strefie bielu

całkowite pole koła:	πr^2
pole powierzchni bielu:	$\pi(R^2-r^2)$ [mm^2]

twardziel:	53,26 mm
biel:	34,45 mm
Σ=	87,71 mm
całkowite pole koła:	πr^2= 3,14 x $87,71^2$ = 24 156,158 mm^2
pole koła twardzieli:	πr^2= 3,14 x $53,26^2$ = 8907,011
pole powierzchni bielu:	24156,158 - 8907,011 = 15249,147 mm^2
słoje bielu:	15
słoje twardzieli:	63

$$\frac{\text{słoje bielu}}{\text{słoje twardzieli}} = 0{,}2381 \qquad \frac{\text{pole koła twardzieli}}{\text{pole powierzchni bielu}} = 1{,}7120$$

Strefa bielu:

suma szerokości drewna wczesnego w bielu:	21,68 mm (61,78%)
suma szerokości drewna późnego w bielu:	13,41 mm (38,22%)
razem:	35,09 mm

średnia szerokość drewna wczesnego:	1,44 mm (61,80%)
średni szerokość drewna późnego:	0,89 mm (38,20%)
razem:	2,33 mm

Biel

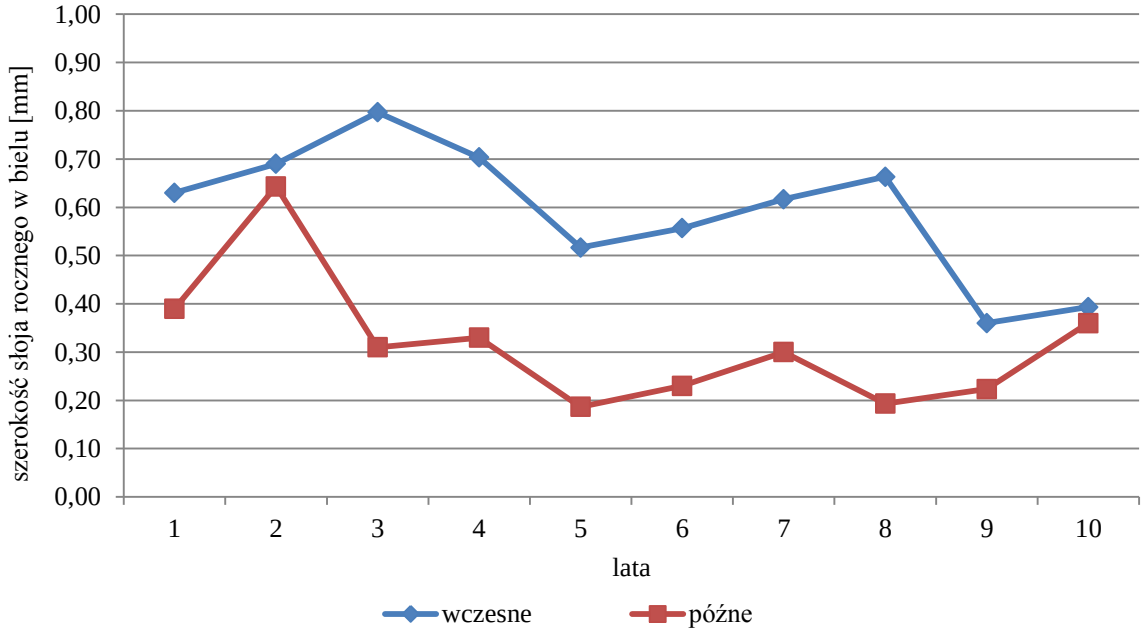
pole powierzchni bielu:	15246,147 – 100%
suma szerokości drewna wczesnego:	x – 61,78%
powierzchnia drewna wczesnego w strefie bielu:	9420,923 mm^2
powierzchnia drewna późnego w strefie bielu:	15249,147mm^2 - 9420,923mm^2 = 5828,224 mm^2

Tabela 17 Charakterystyka statystyczna zawartości ligniny w ścianach cewek strefy obwodowej strzał sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od pozycji biosocjalnej w zbiorowisku i pierśnicy drzewa

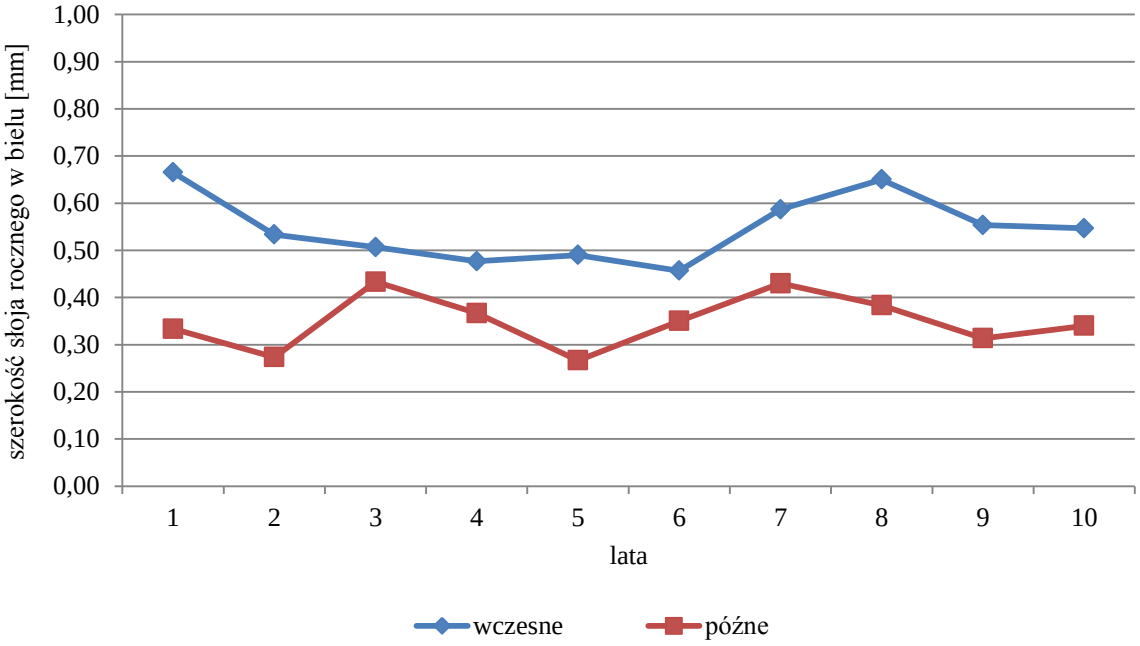
Zmienna	1 kl. Krafta				2 kl. Krafta				3 kl. Krafta			
Niezależna – Pierśnica	52,0	51,0	30,7	31,9	42,0	42,0	26,1	26,9	34,0	33,0	22,3	22,0
Zależna – Lignina	223,48	214,22	221,70	228,68	224,73	205,99	222,66	231,40	212,04	209,41	219,03	234,61

Charakterystyki statystyczne	1 klasa Krafta		2 klasa Krafta		3 klasa Krafta	
	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]	Pierśnica [cm]	Lignina [mg/g]
Średnia	41,41	222,02	34,25	221,19	27,83	218,78
Błąd standardowy	5,84	2,99	4,48	5,40	3,28	5,65
Mediana	41,47	222,59	34,47	223,69	27,67	215,54
Odchylenie standardowe	11,67	5,99	8,96	10,80	6,56	11,31
Minimum	30,70	214,22	26,07	205,99	22,00	209,41
Maksimum	52,00	228,68	42,00	231,40	34,00	234,61
Suma	165,63	888,08	137,00	884,77	111,33	875,10
Licznik	4	4	4	4	4	4
Poziom ufności (95,0%)	18,57	9,52	14,25	17,18	10,43	18,00
Współczynnik zmienności [%]	28,18	2,70	26,15	4,88	23,56	5,17
Współczynnik determinacji r^2	0,3228		0,3724		0,6814	
Współczynnik korelacji r	-0,5681		-0,6102		-0,8255	
Współczynnik regresji	-0,2913		-0,7359		-1,4237	

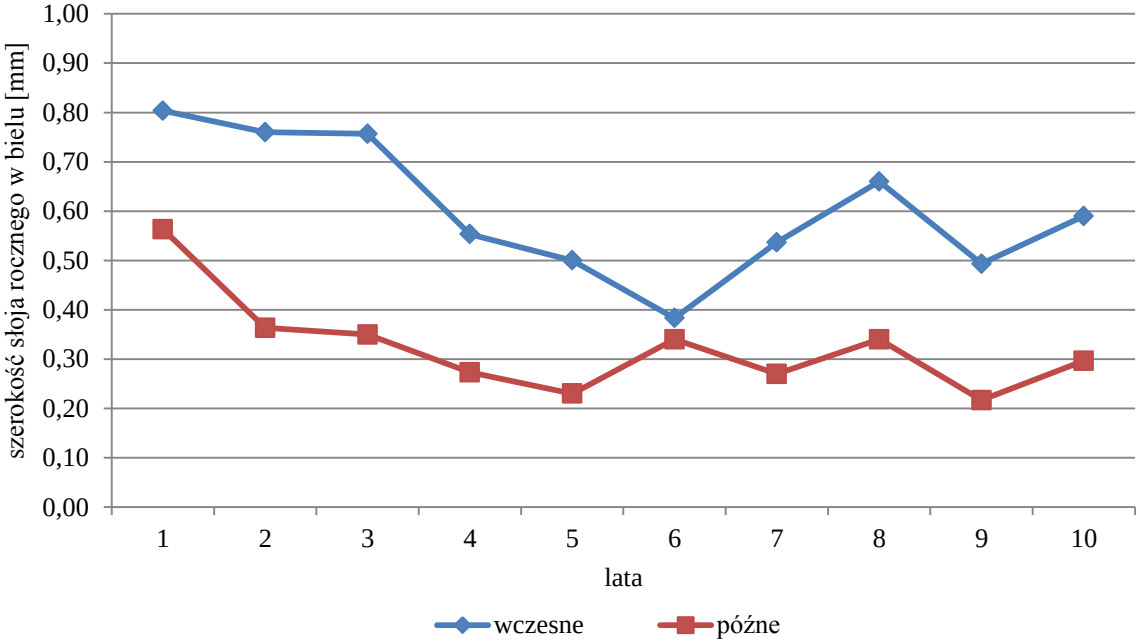
a) grupa A jakości strzał (oddział 264h)



b) grupa B jakości strzał (oddział 264h)



c) grupa C jakości strzał (oddział 264h)



Ryc. 21 Kształtowanie się szerokości słojów drewna wczesnego i późnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach boru świeżego w zależności od grupy A, B, C jakości strzał w ostatnich 10-ciu latach na terenie Nadleśnictwa Stare Jabłonki w oddziale 264h

Dziękuję wszystkim osobom, które przyczyniły się do powstania niniejszej rozprawy. Składam serdeczne podziękowania promotorowi Panu prof. dr hab. Witoldowi Pazdrowskiemu za poświęcony czas i wsparcie w trakcie realizacji niniejszej pracy, moim rodzicom za okazaną wyrozumiałość, a także mojej dziewczynie za cierpliwość.