

**Anna Kannenberg**

*Wyższa Szkoła Zarządzania Środowiskiem w Tucholi*

## **ROZDZIAŁ IV**

### **STRUKTURA BIOMASY NADZIEMNEJ SOSNY ZWYCZAJNEJ W ODNOWIENIACH SPONTANICZNYCH NA PRZYKŁADZIE NADLEŚNICTWA WŁOCŁAWEK**

#### **WSTĘP**

Jednym z najistotniejszych kryteriów pozwalających na dokonanie ilościowej waloryzacji odkształceń środowiska naturalnego jest określenie struktury biomasy nadziemnej sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. jako głównego gatunku lasotwórczego w Polsce (Ebiś 2001). Badania nad biomasą sosny młodszych klas wieku odnawiającej się w sposób spontaniczny były dotychczas rzadko prowadzone ze względu na niewielką rolę, jaką pełnią drzewostany tego typu odnowień w gospodarce leśnej Polski. W Polsce zaledwie 8% powierzchni pokrytej drzewostanami sosnowymi odnawia się samosiewem (Wolski 2008, za Bernadzkim 1996) Jest to liczba bardzo niewielka biorąc pod uwagę, że sosna porasta około 69% powierzchni leśnej kraju. Jeszcze mniej jest drzewostanów, w których odnowienie sosny pojawia się spontanicznie, bez jakichkolwiek działań sprzyjających ze strony leśników (Wolski 2008, za Głaz, Zajączkowski 2002). Poruszany problem dotyczy nie tylko stosunku fitomasy fotosyntetyzującej do części niezielonych pojedynczego osobnika, czy prawidłowości zachodzących w obrębie danej frakcji biomasy drzewa, bowiem omawiana problematyka dotyczy także, stosunków panujących w całej populacji sosny zwyczajnej.

Pod pojęciem biomasy nadziemnej rozumie się całkowitą masę żywej rośliny, będącą sumą biomasy liści, gałęzi oraz pnia (u roślin drzewiastych).

Biomasa może być też miarą ekonomicznej wartości danego siedliska lub stosowanego zabiegu agrotechnicznego i wyraża funkcyjną zależność natężenia procesów fizjologicznych i biologicznych, których wynikiem jest obniżona lub powiększona masa drewna o określonej strukturze. Biomasa jest prostym ale jednocześnie syntetycznym i dokładnym wskaźnikiem produktywności fitocenozy. Struktura biomasy uzależniona jest od cech dziedzicznych związanych z gatunkiem i zewnętrznymi warunków wzrostu (Ebiś 2001). Badania biomasy stanowią również źródło informacji o bilansie węgla w ekosystemach leśnych

i są wykorzystywane do modelowania jego zmian (Grotte 2002 i inni). Niniejsze opracowanie stanowi część pracy magisterskiej autorki pod tytułem „Struktura biomasy nadziemnej sosny zwyczajnej w odnowieniach spontanicznych”.

### **CEL BADAŃ**

Celem badań było określenie struktury biomasy nadziemnej sosny młodszych klas wieku odnawiającej się w sposób naturalny na pożarzysku w różnych typach siedliskowych lasu, wykazanie zależności pomiędzy różnymi komponentami (liście, gałęzie oraz pień) wchodzącymi w skład biomasy nadziemnej oraz określenie różnic w omawianej strukturze w zależności od zagęszczenia drzewostanu.

### **CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ**

Badania przeprowadzono na terenie Nadleśnictwa Kowal położonym w Gostyńsko-Włocławskim Parku Krajobrazowym. Teren ten ma charakter leśny, lasy zajmują ponad 60 procent powierzchni Parku. Dominują bory sosnowe i bory mieszane. Pożarzysko znajduje się na terenie Nadleśnictwa Włocławek, w Leśnictwie Ruda, Obręb Czarne. Położone jest między ciągiem jezior „Na Jazach” i Jeziorem Chrapka, z którym bezpośrednio graniczy. Pożar wybuchł 31 lipca 1994 roku w wyniku podpalenia. Opanowano go 3 sierpnia. Spłonęło ogółem 152,80 ha lasu. Wiosną 1995 roku na terenie pożarzyska wytyczono trzy jednohektarowe stałe powierzchnie badawcze Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu oraz Zarządu Parków Krajobrazowych. Z chwilą utworzenia powierzchni badawcze zostały wyłączone z wszelkich działań prowadzonych przez leśników, mających na celu zagospodarowanie terenu po pożarze. Poletka badawcze rozmieszczone są w różnych punktach pożarzyska.

Powierzchnia badawcza nr 1 położona jest na obrzeżach pożarzyska, w oddziale 91i. Od ściany południowej w odległości około 5m graniczy ze ścianą lasu. Od strony zachodniej w odległości około 70m przebiega utwardzona droga leśna. Na powierzchni wypalono resztki poeksploatacyjne. Przed pożarem oddział 91i porastał bór mieszany wilgotny. Spaleniu uległ 66-letni drzewostan sosny zwyczajnej z kruszyną pospolitą w podszyciu. Powierzchnia badawcza nr 2 znajduje się w głębi pożarzyska, w oddziale 112b. Od południa osłonięta jest zboczem wydmy, a od strony zachodniej sąsiaduje z niewielkim fragmentem lasu, który nie uległ spaleni. Granicę północną powierzchni stanowi linia oddziałowa, za którą znajduje się fragment ocalałego drzewostanu. Również na tej powierzchni

wypalono resztki poeksploatacyjne. Przed pożarem obszar oddziału 112b zajmował bór świeży z 38-letnią sosną zwyczajną i świerkiem pospolitym w podszyciu. Powierzchnia badawcza nr 3 położona jest w oddziałach 93f i 94a. Od zachodu graniczy z drogą wywozową, za którą w odległości około 30 m znajduje się Jezioro Chrapka. Na południe od jeziora rozciąga się ściana lasu. Przez środek powierzchni w kierunku północno – południowym przebiega linia oddziałowa. Jedynie po jej wschodniej stronie wypalono resztki poeksploatacyjne. Przed pożarem siedliskowym typem lasu w obu oddziałach był bór świeży. W oddziale 93f spłonęła sosna zwyczajna w wieku 111 lat z jałowcem pospolitym w podszyciu, natomiast w oddziale 94a spłonął 33-letni drzewostan sosny zwyczajnej.

## METODYKA

Badania realizowano w trzech etapach.

Pierwszy etap obejmował pracę w terenie. W 2007 roku zmierzono pierśnice wszystkich drzew a następnie ścięto 27 drzew modelowych w różnych klasach wieku, po 9 z każdej powierzchni badawczej. Wybór drzew modelowych opierał się na pomiarze pierśnicy, czyli na grubości (średnicy) drzewa mierzonego na wysokości 1,30 od powierzchni ziemi. Wycięto drzewa o pierśnicach od 1-10 cm, w przedziałach co 1 cm. Ścięte drzewa zostały oznaczone i przewiezione do Instytutu Ekologii i Ochrony Środowiska UMK.

Drugi etap obejmował badania laboratoryjne. Z pobranych drzew modelowych oberwano wszystkie igły, a także wyodrębniono strzały oraz gałęzie. Strzały i gałęzie pocięto na klocki, w celu ich zważenia. Próbkę igieł pobrano uwzględniając wiek pędu, z którego pochodzą. Igły zebrane z każdego przyrostu posegregowano do kopert i odpowiednio oznakowano. Uzyskane próbki suszono w temperaturze 80 °C przez 48 godzin, w suszarce w wymuszonym obiegu powietrza. Następnie wszystkie próby igieł zważono w ciągu jednej doby na wadze elektronicznej z dokładnością pomiaru 0,001g. Odpowiednio oznakowane strzały i gałęzie również wysuszono i zważono na wadze elektronicznej z dokładnością pomiaru 0,1 g.

Trzeci etap badań obejmował analizę statystyczną. Obliczenia wykonano w programie Microsoft Excel. Obliczono: średnią arytmetyczną biomasy prób igliwia, odchylenie standardowe, błąd standardowy, wariancję. Następnie na podstawie wyników uzyskanych dla każdej powierzchni badawczej obliczono współczynnik korelacji pomiędzy poszczególnymi zbiorami danych. Określono procentowy stosunek biomasy igliwia do biomasy całkowitej oraz procentowy udział korony. Ostatecznie dopasowano funkcję najlepiej opisującą daną zależność, wykazującą się najwyższym współczynnikiem determinacji  $R^2$ .

## WYNIKI BADAŃ

### 1 Struktura biomasy igliwia

Badania przeprowadzono na 27 drzewach modelowych, z których wyodrębniono strzałę, gałęzie oraz igły. Pobrano łącznie 14 140 próbek igieł z pędów jednorocznych, dwuletnich oraz trzyletnich. Z powierzchni badawczej nr 1 pobrano 4572 próbki igieł, z powierzchni badawczej nr 2, 5296, natomiast z powierzchni badawczej nr 3 uzyskano 4272 próbki igieł. Największą całkowitą biomasa igieł charakteryzowała się powierzchnia badawcza nr 1, gdzie wyniosła ona 8512,72 g, na powierzchni nr 3 całkowity ciężar liści wynosił 7284,12 g, zaś igły pobrane z 9 drzew modelowych z powierzchni badawczej nr 2 ważyły 6808,40 g. Próbką igieł o najmniejszej fitomasie wystąpiła u drzewa o wielkości pierśnicy 5,1-6cm, powierzchni nr 2 pobranej z pędu dwuletniego (0,01 g DW), najcięższa zaś była próbka igieł pobrana z pędu jednorocznego drzewa modelowego o pierśnicy 8,1-9 rosnącego na tej samej powierzchni (18,78g DW). Biomasa liści poszczególnych drzew modelowych przedstawiono w tabeli 1.

Drzewa modelowe pobrane z powierzchni 2, którą przed pożarem porastał bór świeży z sosną w wieku 38 lat, miały generalnie największy ciężar liści. Jedynie sosny o pierśnicach w przedziale od 3 do 5cm i o pierśnicy 7cm cechowały się mniejszym ciężarem igieł niż na powierzchniach nr 1 oraz nr 3.

**Tab. 1.** Biomasa igliwia uzyskana z poszczególnych drzew modelowych

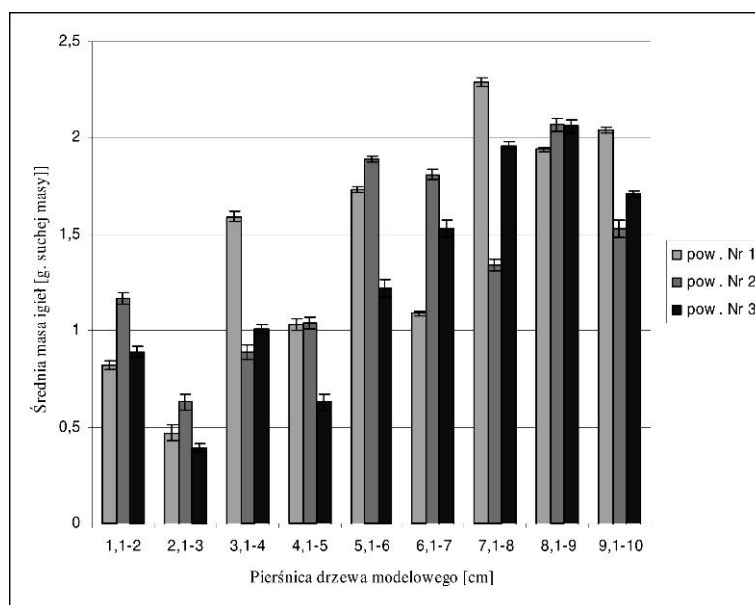
<b>Biomasa igliwia [g. DW]</b>			
<b>Pierśnica sosny [cm]</b>	<b>Powierzchnia nr1</b>	<b>Powierzchnia nr2</b>	<b>Powierzchnia nr3</b>
<b>1,1-2</b>	80,06	128,72	38,4
<b>2,1-3</b>	112,59	229,98	50,62
<b>3,1-4</b>	396,23	426,15	118,98
<b>4,1-5</b>	580,57	373,28	239,14
<b>5,1-6</b>	1237,63	833,45	690,22
<b>6,1-7</b>	700,88	822,69	759,49
<b>7,1-8</b>	1654,52	827,5	1110,74
<b>8,1-9</b>	1600,56	1066,34	1298,95
<b>9,1-10</b>	2148,68	2100,29	2977,58
<b>Suma</b>	<b>8512,72</b>	<b>6808,40</b>	<b>7284,12</b>

Analizując średnie wielkości suchej biomasy próbek igieł trzech roczników zauważono, że największa średnia biomasa liści pobranych z pędów została uzyskana z pierwszej powierzchni badawczej, którą przed pożarem zasiedlał bór mieszany wilgotny (1,45 g. suchej masy), nieco mniejszą średnią biomasa liści uzyskano z drugiej powierzchni badawczej (1,37 g. suchej masy), zaś najmniejsze

wartości średniej biomasy igliwia uzyskano z powierzchni trzeciej, gdzie przed pożarem rósł bór świeży z sosną zwyczajną w wieku 111 lat i 33 lat, (1,27 g. suchej masy). Najwyższy średni ciężar liści cechował sosnę z powierzchni badawczej nr 1 o pierśnicy 7,1-8 cm ( 2,29 g. suchej masy), najniższy zaś sosnę z powierzchni nr 3 o pierśnicy 2,1-3 cm (0,39 g. suchej masy). Można również zauważyć prawidłowość, że drzewa o mniejszych pierśnicach wykazywały się niższą średnią biomasa igliwia niż te o pierśnicach większych. Zestawienie średnich wartości mas

**Tab. 2.** Zestawienie wartości średnich mas igliwia trzech roczników w próbach ze wszystkich trzech powierzchni badawczych

Średnia masa igliwia w próbie ze wszystkich trzech powierzchni badawczych [g DW]			
Pierśnica [cm]	Powierzchnia nr 1	Powierzchnia nr 2	Powierzchnia nr 3
<b>1,1-2</b>	0,82 ± 0,02	1,17 ± 0,03	0,89 ± 0,03
<b>2,1-3</b>	0,47 ± 0,04	0,63 ± 0,04	0,39 ± 0,02
<b>3,1-4</b>	1,59 ± 0,03	0,89 ± 0,04	1,01 ± 0,02
<b>4,1-5</b>	1,03 ± 0,03	1,04 ± 0,03	0,63 ± 0,04
<b>5,1-6</b>	1,73 ± 0,01	1,89 ± 0,02	1,22 ± 0,04
<b>6,1-7</b>	1,09 ± 0,01	1,81 ± 0,03	1,53 ± 0,05
<b>7,1-8</b>	2,29 ± 0,02	1,34 ± 0,03	1,96 ± 0,02
<b>8,1-9</b>	1,94 ± 0,01	1,53 ± 0,03	2,06 ± 0,03
<b>9,1-10</b>	2,04 ± 0,02	2,07 ± 0,05	1,71 ± 0,02
<b>Średnia</b>	<b>1,44 ± 0,02</b>	<b>1,37 ± 0,03</b>	<b>1,27 ± 0,03</b>



**Ryc. 1.** Zestawienie średnich wartości biomasy igliwia w próbach dla wszystkich drzew modelowych

igliwia dla poszczególnych drzew modelowych zostały przedstawione w tabeli 2, oraz zilustrowane na rycinie 4.

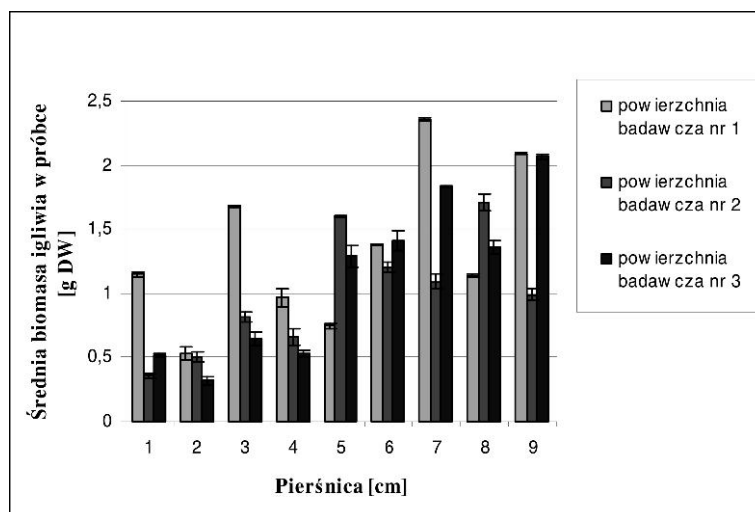
Biorąc pod uwagę strukturę wiekową pędów, z których pobrane zostało igliwie, można stwierdzić, że wraz ze wzrostem pierśnicy drzew modelowych rośnie średnia wartość biomasy igieł w próbach. Zależność ta jest szczególnie dobrze widoczna w próbach igieł pobranych z pędów dwuletnich z poletka badawczego nr 2. Próby igieł pobrane z pędów jednorocznych większości drzew modelowych charakteryzują się najmniejszą średnią wartością biomasy, zaś igły pędów trzyletnich cechują się zazwyczaj mniejszą wartością średniej biomasy niż te z pędów dwuletnich. Największą średnią suchą masę miały próby igieł pobrane z pędów dwuletnich sosny z powierzchni badawczej nr 2 o pierśnicy 7,1-8 cm (3,15 g. DW). Najmniejsza średnia wartość fitomasy igliwia odnotowana została dla prób liści pobranych z pędów trzyletnich drzewa modelowego z powierzchni nr 3 o pierśnicy 2,1-3 cm. Należy również zwrócić uwagę, że w przypadku drzew modelowych o pierśnicach 1,1-2 cm oraz 6,1-7 cm z powierzchni badawczej nr 3 nie występowały ulistnione pędy trzyletnie. Szczegółowe zestawienie średnich wartości biomasy prób igieł pobranych z pędów jednorocznych, dwuletnich oraz trzyletnich ze wszystkich powierzchni przedstawiono w tabeli 3.

**Tab. 3.** Porównanie średnich wartości biomasy igliwia dla trzech roczników liści ze wszystkich powierzchni badawczych

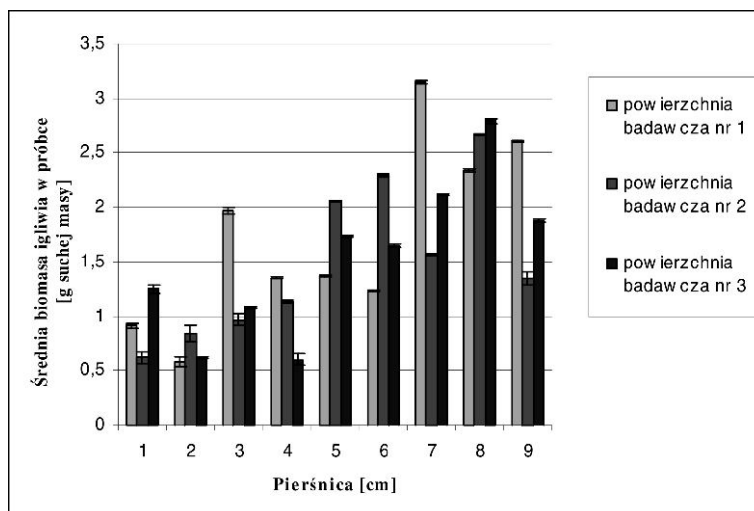
Średnie masy igliwia na pędach ze wszystkich trzech powierzchni badawczych [g. DW]									
Pierśnica [cm]	Powierzchnia badawcza nr1			Powierzchnia badawcza nr 2			Powierzchnia badawcza nr 3		
	1-letnie	2-letnie	3-letnie	1-letnie	2-letnie	3-letnie	1-letnie	2-letnie	3-letnie
1,1-2	1,15	0,91	0,4	0,36	0,62	2,54	0,52	1,25	0
2,1-3	0,53	0,58	0,3	0,5	0,84	0,54	0,32	0,62	0,24
3,1-4	1,68	1,97	1,13	0,82	0,97	0,88	0,65	1,08	1,3
4,1-5	0,97	1,35	0,76	0,66	1,13	1,32	0,53	0,6	0,77
5,1-6	0,75	1,37	1,4	1,6	2,06	2	1,29	1,73	0,64
6,1-7	1,38	1,23	0,65	1,2	2,29	1,95	1,41	1,65	0
7,1-8	2,36	3,15	1,36	1,09	1,57	1,37	1,83	2,12	1,94
8,1-9	1,14	2,34	2,35	1,71	2,67	1,84	1,36	2,79	2,03
9,1-10	2,09	2,61	1,41	0,99	1,34	2,26	2,07	1,88	1,19

Zróznicowanie średnich wartości biomasy igliwia dla poszczególnych roczników igieł w zależności od wielkości pierśnicy drzewa modelowego oraz powierzchni badawczej, z której pobrane zostały próby przedstawiono na poniższych rycinach. Największa średnia fitomasa igliwia pobranego z pędów jednorocznych została stwierdzona u sosny o pierśnicy 7,1-8 cm rosnącej na poletku doświadczalnym nr 1 i wynosiła ona 2,36 g suchej masy., natomiast najmniejszą średnią wartością tej cechy charakteryzowało się drzewo o pierśnicy 2,1-3 cm rosnące na powierzchni nr 3 (0,32 g s.DW.).

Największą średnią biomasa igieł pobranych z pędów dwuletnich uzyskano dla drzewa modelowego o pierśnicy 7,1-8 cm rosnącego na powierzchni nr 1, gdzie średnia ta wyniosła 3,15 g DW. Co ciekawe z tej samej powierzchni pochodziło drzewo, dla którego odnotowano najniższą wartość biomasy igieł obranych

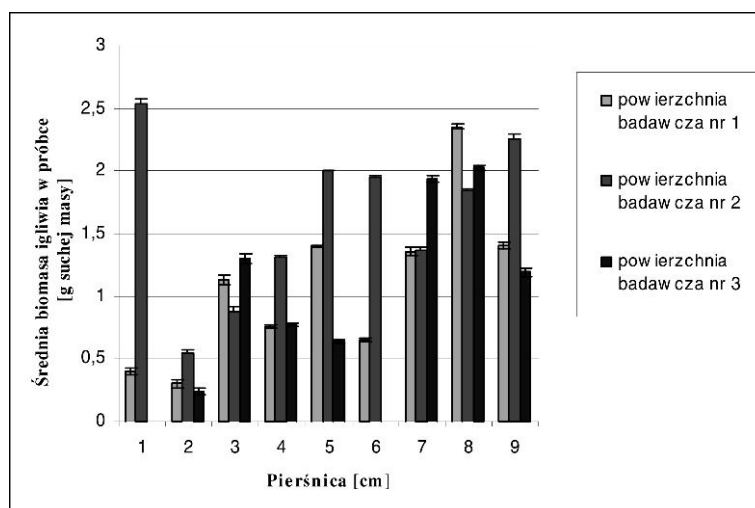


**Ryc. 2.** Średnia biomasa próbki igieł pobranych z pędów jednorocznych dla wszystkich powierzchni badawczych



**Ryc. 3.** Średnia biomasa próbki igieł pobranych z pędów dwuletnich dla wszystkich powierzchni badawczych

z pędów dwuletnich. Była to sosna o pierśnicy 2,1-3 cm, a średnia waga igieł dwuletnich w próbce wynosiła 0,58 g. suchej masy. Sosna o pierśnicy 3,1-4 cm również rosnąca na powierzchni nr1, cechowała się prawie dwukrotnie większą



**Ryc. 4.** Średnia biomasa próbki igliwia pobranych z pędów trzyletnich dla wszystkich trzech powierzchni badawczych

średnią biomasa igiel dwuletnich niż sosny o tych samych pierśnicach rosnące na powierzchniach pozostałych.

Największy średni ciężar igliwia w próbkach igiel pobranych z gałązek trzyletnich zaobserwowano dla drzewa modelowego o pierśnicy 1,1-2 cm rosnącego na powierzchni nr 2 (2,54 g DW). Próbki pobrane z omawianej sosny wykazywały się kilkukrotnie wyższą wagą niż próbki sosny o tej samej pierśnicy rosnącej na poletku nr 2. W przypadku sosny o pierśnicy 5,1-6 cm rosnącej na powierzchni trzeciej odnotowano znacznie mniejszą średnią biomasa igiel trzyletnich w próbie niż na powierzchniach pozostałych. Najmniejszy średni ciężar biomasy liści w próbie uzyskano dla sosny o pierśnicy 2,1-3 cm rosnącej na powierzchni badawczej nr 3. Na poletku doświadczalnym nr 3 w przypadku sosen o pierśnicach 1,1-2 cm oraz 6,1-7 cm nie odnotowano żadnej ulistnionej gałązki trzyletniej.

Obliczono współczynniki korelacji pomiędzy pierśnicą drzew modelowych a średnią wartością biomasy ich igliwia. Wartości tych współczynników mieszczą się w przedziale pomiędzy 0,55 a 0,96, co świadczy o silnej zależności pomiędzy tymi wartościami. Wyjątkiem są próby pobrane z pędów trzyletnich drzew modelowych z powierzchni badawczej nr 2, gdzie współczynnik korelacji pomiędzy wielkością pierśnicy a średnią biomasa igiel wyniósł zaledwie 0,21.



Zależność pomiędzy wielkością średnicy sosen a średnią wartością biomasy igliwia w próbach można opisać za pomocą wzoru funkcji. Dla drzew z powierzchni nr 1 wzór ten ma postać:

$$y=0,18x + 0,55 \quad , \text{gdzie:}$$

y – biomasa igliwia (g. DW),

x – pierśnica drzewa (cm),

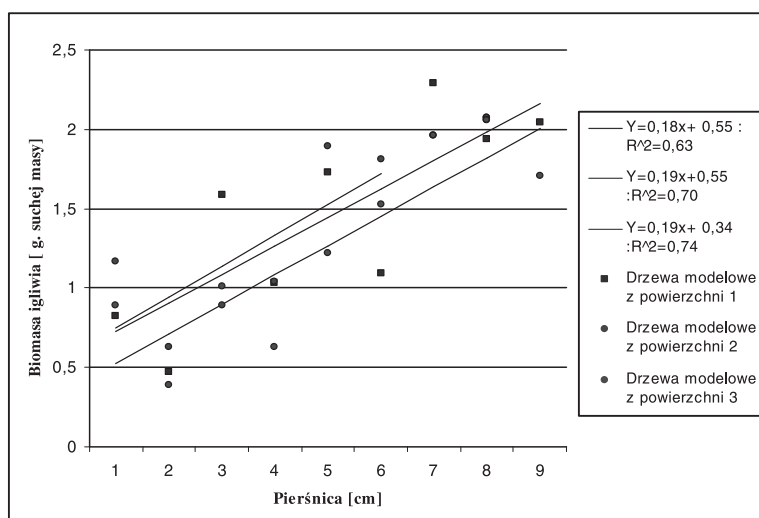
przy współczynniku determinacji  $R^2 = 0,63$ , dla drzew z powierzchni nr 2:

$$y=0,19x + 0,55$$

przy współczynniku determinacji  $R^2 = 0,70$ , natomiast dla sosen z powierzchni nr 3 zależność ta wyraża się wzorem:

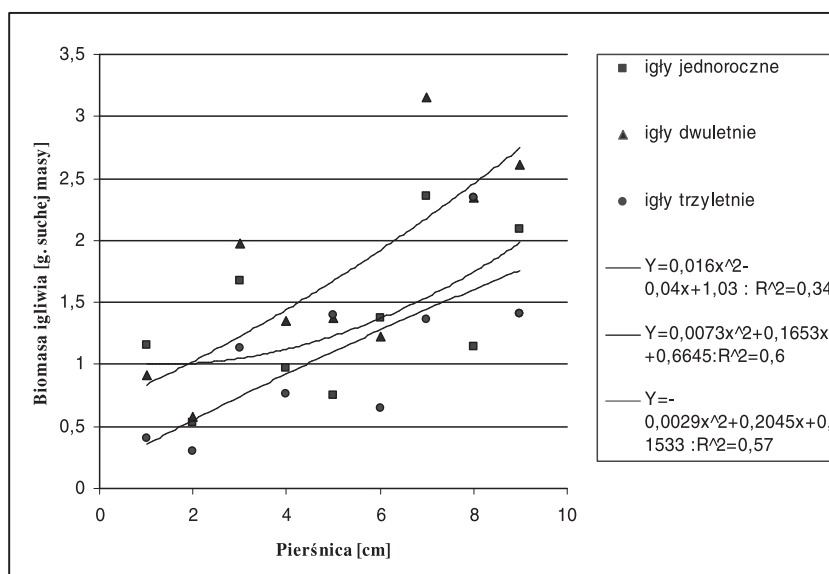
$$y= 0,18x + 0,34,$$

przy współczynniku determinacji  $R^2 = 0,74$ . Na uwagę zwraca fakt, że dla powierzchni 2 oraz 3 parametr „a” funkcji  $y = ax + b$  przybiera tą samą wartość. Przebieg linii regresji ( przedstawiony na rycinie 5) wskazuje, że dla sosen z powierzchni nr 2 wartości biomasy igieł są wyższe niż te na pozostałych powierzchniach, niezależnie od wielkości średnicy sosny mierzonej na wysokości 1,3m.



**Ryc. 5.** Porównanie regresji średniej biomasy igieł na pędzie w zależności od wielkości pierśnicy sosny ze wszystkich trzech powierzchni badawczych

Analizując przebieg linii regresji biomasy igieł w zależności od wielkości pierśnicy sosny oraz wieku pędu, z którego zostały pobrane próby można zauważyć, że niezależnie od wielkości pierśnicy dla sosen z poletka badawczego nr 1 ( Ryc. 6) wartości średnie biomasy igliwia z pędów trzyletnich są znacznie niższe niż prób



**Ryc. 6.** Porównanie regresji biomasy igieł w próbie w zależności od wielkości pierśnicy oraz wieku pędu, z którego pochodzą z powierzchni badawczej nr 1

igieł młodszych. Wartości suchej masy igliwia pędów jednorocznych przy pierśnicy poniżej 2 cm są wyższe niż tych pobranych z pędów dwuletnich, bądź trzyletnich. Odwrotną zależność można zauważyć przy pierśnicy powyżej 2 cm, gdzie najwyższe średnie wartości biomasy igliwia stwierdzono w przypadku prób igieł pobranych z pędów dwuletnich.

Przebieg linii regresji uzyskany z zależności funkcyjnej omawianego poletka doświadczalnego wskazuje również, że tempo przyrostu biomasy liści jednorocznych było niższe niż liści starszych. Powyższy przypadek najlepiej opisuje funkcja wykładnicza o wzorze:

$$y=0,016x^2 - 0,04x + 1,03$$

gdzie,

y – biomasa igliwia (g DW)

x – pierśnica (cm)

Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że model stworzony dla wartości biomasy igliwia z pędów jednorocznych cechuje się stosunkowo niskim współczynnikiem determinacji  $R^2$  wynoszącym 0,34.

Zależność pomiędzy wielkością pierśnicy a fitomasą igliwia pędów dwuletnich z omawianej powierzchni badawczej najlepiej opisuje funkcja, której wzór ma postać:

$$y = 0,073x^2 + 0,1653x + 0,6645,$$

przy współczynniku determinacji  $R^2$  równym 0,60.

Dla prób igieł pobranych z pędów trzyletnich najlepiej dopasowana funkcja wyrażana jest wzorem :

$$y = 0,0029x^2 + 0,2045x + 0,1533 ,$$

przy współczynniku  $R^2$  równym 0,57.

Model regresji w przypadku sosen z powierzchni badawczej nr 2 kształtuje się odmiennie (Ryc. 7). Zależność między średnicą pnia na wysokości 130 cm a wartością średniej biomasy liści w próbach najlepiej opisuje funkcja wykładnicza, która dla igieł pędów jednorocznych przyjmuje wzór:

$$y = 0,34 e^{0,22x} ,$$

gdzie:

y – średnia biomasa liści (g. DW.),

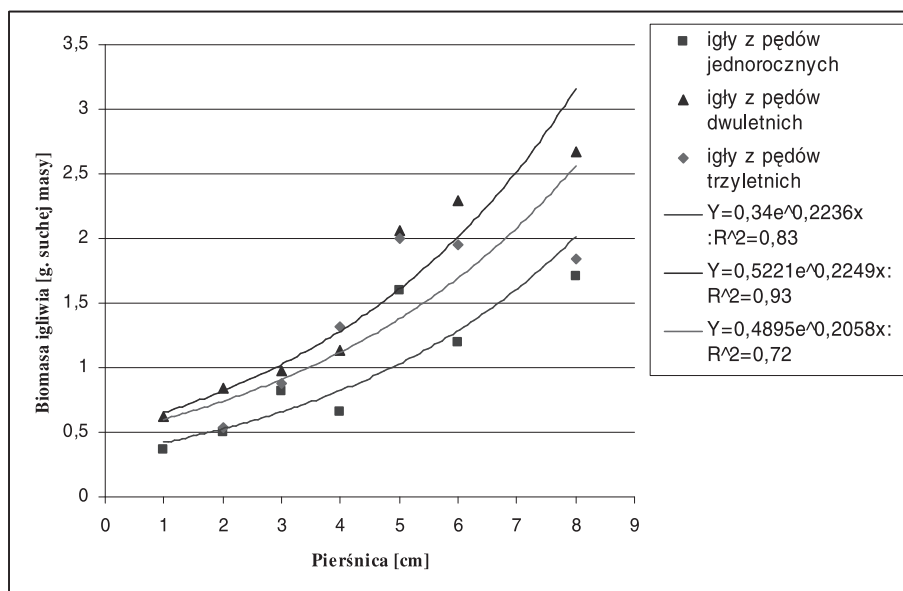
x – pierśnica drzewa (cm)

dla igieł pobranych z gałązek dwuletnich:

$$y = 0,52 e^{0,23x} ,$$

natomiast dla igieł pędów trzyletnich wzór ten ma postać:

$$y = 0,49 e^{0,21x} .$$



**Ryc. 7.** Porównanie regresji średniej biomasy igieł w próbie w zależności od wielkości pierśnicy oraz wieku pędu, z którego pochodzą z powierzchni badawczej nr 2

Przebieg linii regresji wskazuje, że dla igieł dwuletnich średnie wartości biomasy w próbce są najwyższe (podobnie jak na pierwszej powierzchni badawczej), nieco mniejsze wartości uzyskuje się w przypadku igieł pędów trzyletnich, zaś najmniejsze wartości średnie biomasy liści cechują igły z pędów jednorocznych. Zależności te występują na tej powierzchni niezależnie od wielkości pierśnicy drzew modelowych. Należy zwrócić również uwagę, że model ten charakteryzuje się najwyższymi wartościami współczynnika determinacji  $R^2$  co świadczy istnieniu ścisłej korelacji pomiędzy pomiarami i odpowiadającymi im wielkościami obliczonymi dla najlepiej dopasowanej funkcji.

Strukturę biomasy zielonej na powierzchni badawczej nr 3 najlepiej opisują funkcje wielomianowe. Podobnie jak na powierzchniach nr 1 i nr 2 linia trendu pokazuje, że najwyższe wartości biomasy liści w próbkach cechują igły pobrane z pędów dwuletnich. Analizując średnie wartości biomasy igliwia w próbach z powierzchni nr 3 zauważono zupełnie odmienne zależności pomiędzy wartościami biomasy igliwia pędów jednorocznych i dwuletnich niż obserwowano na powierzchniach pierwszej i drugiej. Stwierdzono bowiem, że przebieg linii trendu wskazuje na większe wartości biomasy igliwia z pędów jednorocznych niż trzyletnich dla sosen o wielkości pierśnicy poniżej 3 cm, oraz dla sosen o wielkości pierśnicy powyżej 7 cm. Odwrotną zależność zauważono dla drzew o pierśnicy w przedziale od 3-7 cm, gdzie wraz ze wzrostem pierśnicy rosła średnie wartości biomasy zielonej w próbach igliwia z pędów trzyletnich. Przebieg linii trendu został zobrazowany na Ryc.8.

Zależność pomiędzy pierśnicą a biomasą igliwia pobranego z gałązek jednorocznych można wyrazić funkcją o wzorze:

$$y=0,006x^2 + 0,15x - 0,177$$

gdzie,

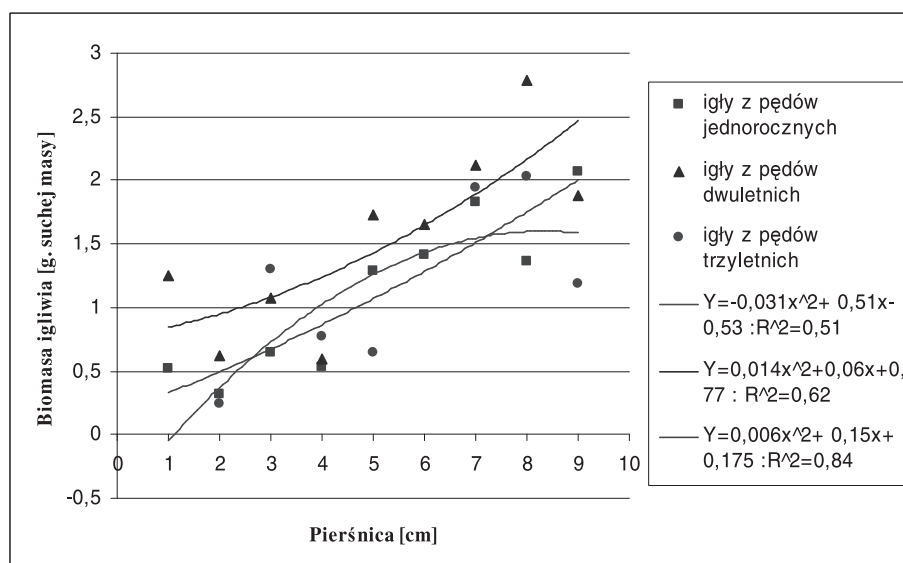
y – biomasa igliwia (g. DW)

x – pierśnica drzewa (cm), przy współczynniku determinacji  $R^2$  równym 0,84.

Zależność między wielkością pierśnicy a wartością fitomasy liści z pędów dwuletnich najlepiej opisuje funkcja wyrażona wzorem:

$$y= 0,014x^2 + 0,06x + 0,77 ,$$

przy współczynniku  $R^2$  równym 0,62 .



**Ryc. 8.** Porównanie regresji biomasy igieł w próbie zależności od wielkości pierśnicy oraz wieku pędu, z którego pochodzą z powierzchni badawczej nr 3

Dla igieł pobranych z pędów trzyletnich zaś funkcja ta przybiera wzór:

$$y = 0,031x^2 + 0,51x - 0,53, \text{ przy współczynniku } R^2 \text{ równym } 0,51.$$

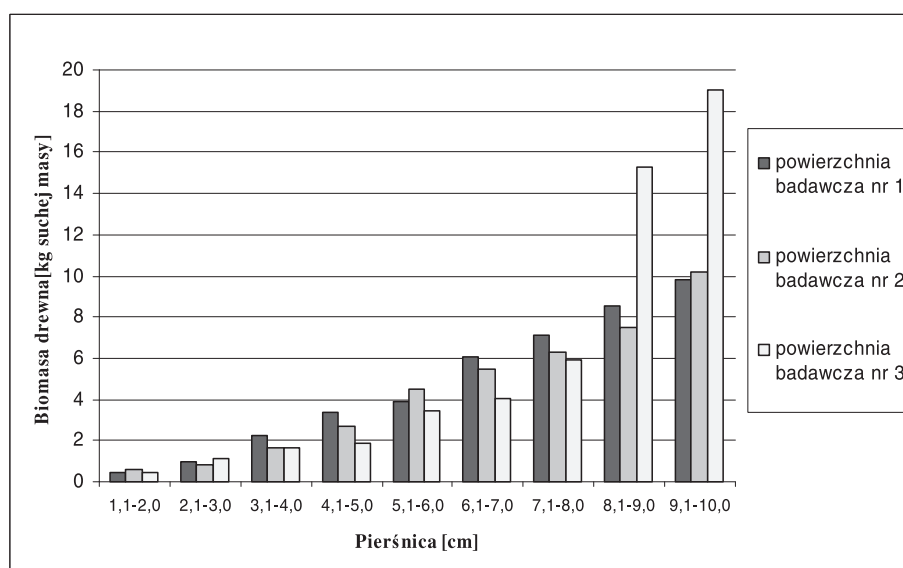
## 2 Struktura biomasy drewna

Drewno pozyskane z każdego drzewa modelowego zostało podzielone na strzałę oraz gałęzie. Największą masę drewna pobranego ze wszystkich drzew uzyskano na powierzchni 3, gdzie wyniosła ona 52,789 kg suchej masy, mniejszą łączną biomasą drewna cechowała się powierzchnia nr 1, gdzie ciężar drewna wyniósł 42,505 kg suchej masy, zaś najmniejszą wartość biomasy drewna uzyskano z powierzchni nr 2, gdzie wynosiła ona 39,68 kg suchej masy. Największą biomasę strzały odnotowano dla drzewa modelowego o pierśnicy 9,1-10 cm z powierzchni badawczej nr 3 (8,259 kg suchej masy), dla tego samego drzewa odnotowano także największą biomasę gałęzi (10,759 kg suchej masy). Z tej samej powierzchni badawczej pochodziła sosna o najmniejszej wartości biomasy zarówno strzały, jak i gałęzi gdzie przy pierśnicy 1,1-2 cm masy te wynosiły odpowiednio 0,216 oraz 0,199 kg suchej masy. Biorąc pod uwagę stosunek biomasy strzały do biomasy gałęzi u danej sosny uwidacznia się prawidłowość, że masa strzały przyjmuje wartości większe niż masa gałęzi. Odwrotną zależność stwierdzono jedynie u sosen o pierśnicy powyżej 8 cm rosnących na powierzchni nr 3. Szczegółowy rozkład

**Tab. 5.** Zestawienie mas strzał i gałęzi drzew modelowych ze wszystkich powierzchni badawczych ( kg DW)

Pierśnica [cm]	Powierzchnia badawcza nr 1			Powierzchnia badawcza nr 2			Powierzchnia badawcza nr 3		
	m strzały	m gałęzi	Suma	m strzały	m gałęzi	Suma	m strzały	m gałęzi	Suma
1,1-2	0,243	0,212	<b>0,455</b>	0,354	0,267	<b>0,621</b>	0,216	0,199	<b>0,415</b>
2,1-3	0,601	0,370	<b>0,971</b>	0,414	0,384	<b>0,798</b>	0,682	0,417	<b>1,099</b>
3,1-4	1,408	0,838	<b>2,246</b>	0,939	0,696	<b>1,635</b>	0,946	0,706	<b>1,652</b>
4,1-5	2,016	1,355	<b>3,371</b>	1,573	1,114	<b>2,687</b>	1,059	0,806	<b>1,865</b>
5,1-6	2,091	1,828	<b>3,919</b>	2,786	1,689	<b>4,475</b>	2,156	1,281	<b>3,437</b>
6,1-7	3,839	2,243	<b>6,082</b>	3,349	2,12	<b>5,469</b>	2,735	1,337	<b>4,072</b>
7,1-8	4,121	2,999	<b>7,12</b>	3,723	2,573	<b>6,296</b>	3,242	2,706	<b>5,948</b>
8,1-9	4,625	3,882	<b>8,507</b>	4,223	3,254	<b>7,477</b>	6,110	9,172	<b>15,282</b>
9,1-10	5,684	4,149	<b>9,833</b>	5,985	4,227	<b>10,212</b>	8,259	10,759	<b>19,018</b>
<b>Suma</b>	<b>24,638</b>	<b>17,656</b>	<b>42,505</b>	<b>23,346</b>	<b>16,324</b>	<b>39,675</b>	<b>25,405</b>	<b>27,386</b>	<b>52,789</b>

biomasy drewna dla poszczególnych drzew modelowych z każdej powierzchni badawczej przedstawiono w tabeli 5.



**Ryc. 9.** Całkowita biomasa drewna uzyskana z drzew modelowych na wszystkich powierzchniach badawczych

Porównanie całkowitej biomasy drewna uzyskanej z poszczególnych poletek doświadczalnych dla każdego drzewa modelowego zilustrowano na rycinie 9.

Zależność pomiędzy wielkością pierśnicy a biomasa strzały można najlepiej wyrazić funkcją wielomianową, która dla drzew z powierzchni nr 1 przyjmuje

postać:

$$y=0,0184x^2+0,501x - 0,351$$

gdzie:

y - biomasa strzały (kg DW),

x - wielkość pierśnicy (cm)

Współczynnik determinacji  $R^2$  dla tego modelu wynosi 0,98.

Dla sosen rosnących na powierzchni nr 2 zależność ta wyrażana jest wzorem :

$$y= 0,036x^2 + 0,328x - 0,187$$

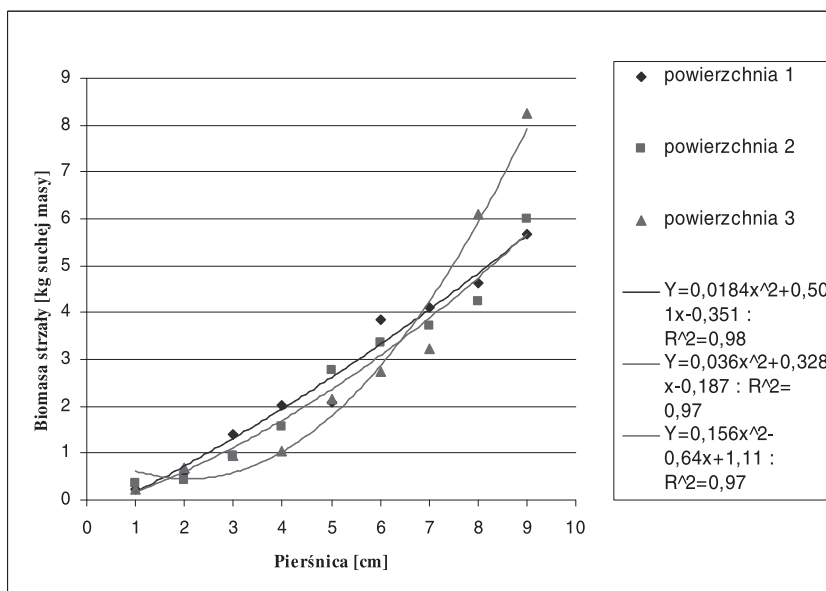
Współczynnik determinacji  $R^2$  równy jest 0,97, natomiast zależność między wielkością

pierśnicy a biomasa strzały dla drzew z powierzchni nr 3 najlepiej opisuje funkcja wyrażona wzorem:

$$y=0,156x^2 - 0,64x + 1,11,$$

przy współczynniku determinacji  $R^2$  równym 0,97.

Przebieg linii trendu wskazuje, że dla sosen rosnących na powierzchni 3 wartości biomasy strzały przy pierśnicach poniżej 1,5 cm oraz powyżej 6,5 cm są wyższe niż te odnotowane dla drzew z powierzchni 1 oraz 2. Odwrotną zależność stwierdzono dla drzew o pierśnicach większych niż 1,5 cm lecz mniejszych niż 6,5 cm. W tym przedziale, drzewa rosnące na powierzchni 3 osiągają najmniejsze



**Ryc. 10.** Porównanie relacji pomiędzy masą strzały a wielkością pierśnicy z poszczególnych powierzchni badawczych

wartości biomasy, w porównaniu z pozostałymi poletkami badawczymi. W przedziale pierśnicy od 1,5 do 7 cm najwyższe wartości biomasy strzały uzyskano dla sosen z powierzchni pierwszej, natomiast nieco mniejsze- dla sosen rosnących na powierzchni nr 2. Dla drzew o wielkości pierśnic powyżej 6,5 cm lecz poniżej 9 cm najniższe wartości biomasy strzały zaobserwowano dla sosen rosnących na powierzchni nr 2.

Zależność pomiędzy masą gałęzi a wielkością pierśnicy najlepiej opisują funkcje: wielomianowa dla drzew rosnących na powierzchniach nr 1 oraz nr 2, oraz funkcja wykładnicza dla drzew rosnących na poletku doświadczalnym nr 3. Dla drzew modelowych z powierzchni nr 1 przybiera ona wzór:

$$y = 0,029x^2 + 0,234x - 0,142$$

gdzie,

y – biomasa gałęzi (kg DW)

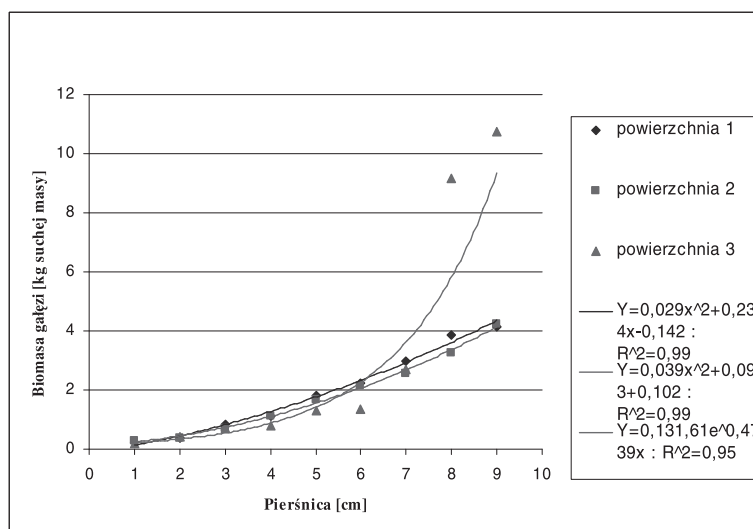
x - pierśnica drzewa (cm).

Współczynnik determinacji  $R^2=0,99$ .

Dla sosen rosnących na poletku doświadczalnym nr 2 funkcję tą można wyrazić wzorem:

$$y = 0,039x^2 + 0,093x + 0,102,$$

przy współczynniku determinacji  $R^2=0,99$ .



**Ryc. 11.** Porównanie relacji pomiędzy masą gałęzi a pierśnicą z poszczególnych powierzchni badawczych



Dla drzew modelowych z powierzchni trzeciej natomiast zależność funkcyjna pomiędzy pierśnicą a biomasa gałęzi można opisać za pomocą wzoru:

$$y=0,1317 e^{0,4739x},$$

przy współczynniku determinacji  $R^2=0,95$ .

Należy zwrócić uwagę, że w przypadku zastosowanego modelu współczynniki determinacji mają bardzo wysokie wartości co świadczy o tym, że w bardzo wysokim stopniu opisuje on omawianą zależność.

Przebieg linii trendu wskazuje, że dla sosen o pierśnicach powyżej 6 cm wartości biomasy gałęzi są wyższe na powierzchni 3 niż na pozostałych poletkach. Dla sosen o pierśnicach powyżej 6cm najniższe wartości biomasy gałęzi stwierdzono na powierzchni badawczej nr 2. Odwrotna zależność uwidacznia się dla sosen o pierśnicach poniżej 6 cm. W tym przedziale (1-6 cm pierśnicy) sosny rosnące na powierzchniach pierwszej oraz drugiej charakteryzują się wyższą wartością biomasy gałęzi niż sosny rosnące na powierzchni 3. Przebieg krzywych opisujących wyżej omawiane zależności przedstawiono na rycinie 11.

Analizując stosunek biomasy strzały do biomasy gałęzi na poszczególnych powierzchniach badawczych zaobserwowano, poza dwoma przypadkami (sosny o pierśnicach 8,1-9 cm oraz 9,1-10 cm rosnące na powierzchni nr 3) wyższy ciężar strzały niż gałęzi. Wszystkie współczynniki korelacji między biomasa gałęzi a biomasa strzały wynosiły od 0,98-0,99, co świadczy o ścisłej zależności między tymi wielkościami.

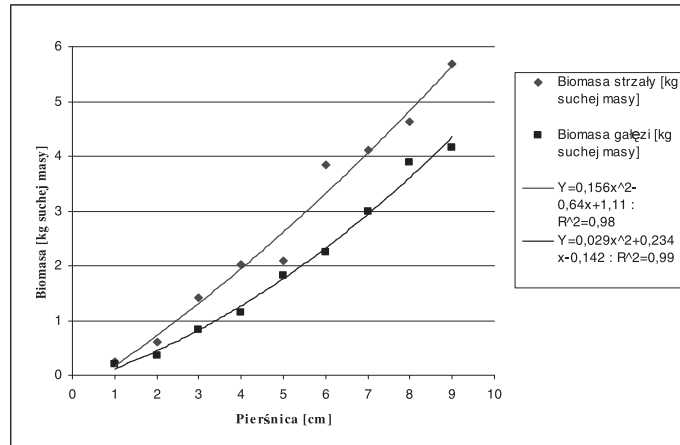
Ryciny ilustrujące stosunek masy strzały do masy gałęzi w zależności od wielkości pierśnicy drzewa dla każdej z trzech powierzchni badawczych przedstawiono na stronie następnej.

### 3 Struktura całkowitej biomasy nadziemnej sosny

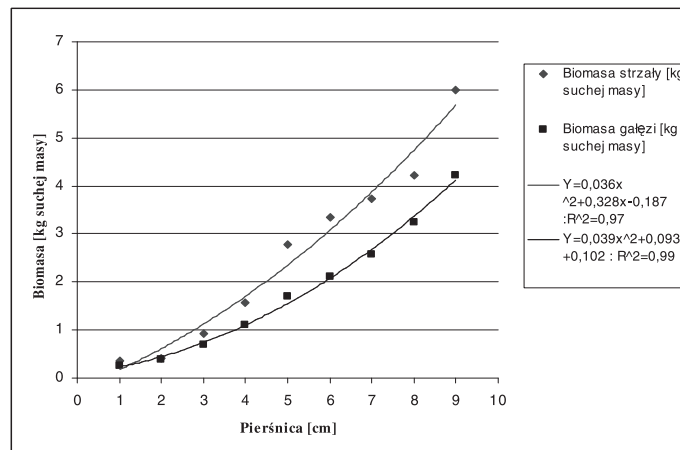
Uzyskaną biomasa drewna oraz igliwia zsumowano dla każdego drzewa modelowego. Na powierzchni badawczej nr 3 uzyskano najwyższą wartość biomasy, gdzie suma mas wszystkich drzew modelowych wynosiła 60,07 kg suchej

**Tab. 6.** Współczynniki korelacji pomiędzy suchą masą strzały a suchą masą gałęzi w stanie suchym

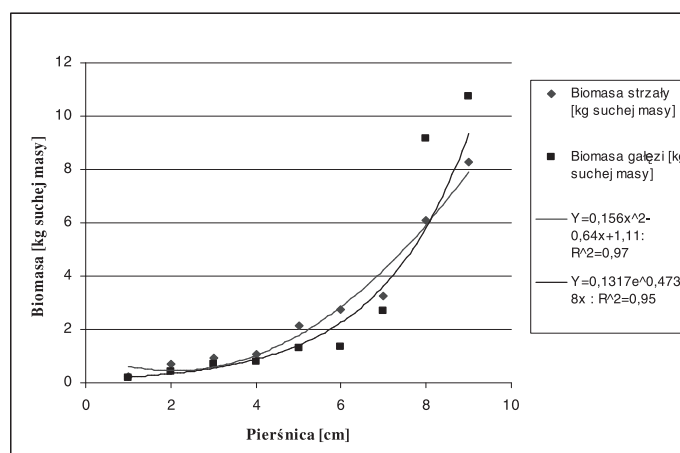
Biomasa	Powierzchnia nr1	Powierzchnia nr 2	Powierzchnia nr 3
Masa strzały [kg]	5,684	5,985	8,259
Masa gałęzi [kg]	4,149	4,227	10,759
Współ. korelacji	0,98	0,99	0,97



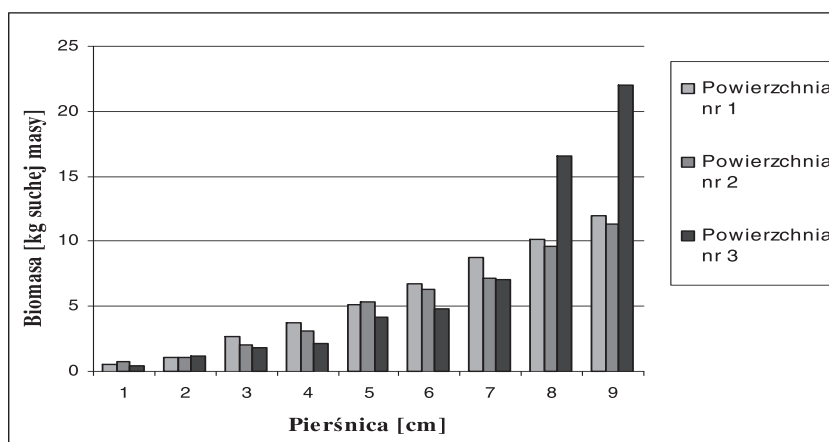
Ryc. 12. Porównanie masy strzały i masy gałęzi sosen z powierzchni badawczej nr 1



Ryc. 13. Porównanie masy strzały i masy gałęzi sosen z powierzchni badawczej nr 2



Ryc. 14. Porównanie masy strzały i masy gałęzi sosen z powierzchni badawczej nr 3



Ryc. 15. Porównanie całkowitej biomasy nadziemnej drzew modelowych sosny na wszystkich poletkach doświadczalnych

Tab. 7. Struktura biomasy części nadziemnych drzew *Pinus sylvestris* L. dla powierzchni nr 1

Struktura biomasy sosny zwyczajnej na powierzchni nr 1				
Pierśnica [cm]	m strzały [kg DW]	m gałęzi [kg DW]	m liści [kg DW]	Suma
1,1-2	0,243	0,212	0,08	0,535
2,1-3	0,601	0,37	0,113	1,084
3,1-4	1,408	0,838	0,396	2,642
4,1-5	2,016	1,135	0,581	3,732
5,1-6	2,091	1,829	1,238	5,158
6,1-7	3,839	2,243	0,701	6,783
7,1-8	4,121	2,998	1,655	8,774
8,1-9	4,635	3,882	1,601	10,118
9,1-10	5,684	4,149	2,149	11,982
<b>Suma</b>	<b>24,638</b>	<b>17,656</b>	<b>8,514</b>	<b>50,808</b>

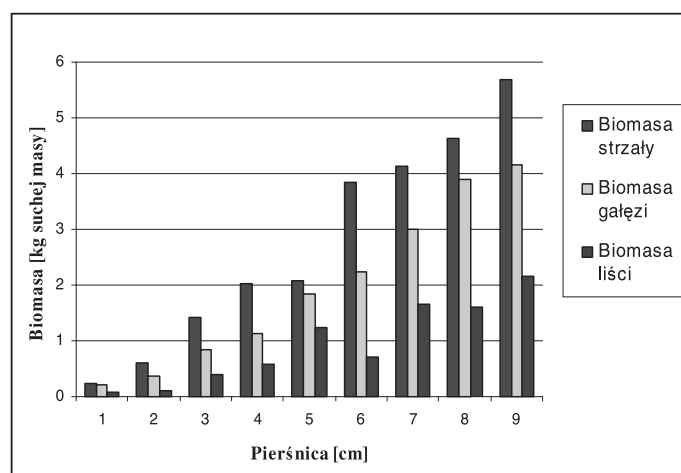
Tab. 8. Struktura biomasy części nadziemnych drzew *Pinus sylvestris* L. dla powierzchni nr 2

Struktura biomasy sosny zwyczajnej na powierzchni nr 2				
Pierśnica [cm]	m strzały [kg DW]	m gałęzi [kg DW]	m liści [kg DW]	Suma
1,1-2	0,354	0,267	0,129	0,75
2,1-3	0,414	0,384	0,23	1,028
3,1-4	0,939	0,696	0,426	2,061
4,1-5	1,573	1,114	0,373	3,06
5,1-6	2,786	1,689	0,834	5,309
6,1-7	3,349	2,12	0,823	6,292
7,1-8	3,723	2,573	0,828	7,124
8,1-9	4,223	3,254	2,1	9,577
9,1-10	5,985	4,227	1,07	11,282
<b>Suma</b>	<b>23,346</b>	<b>16,324</b>	<b>6,813</b>	<b>46,483</b>

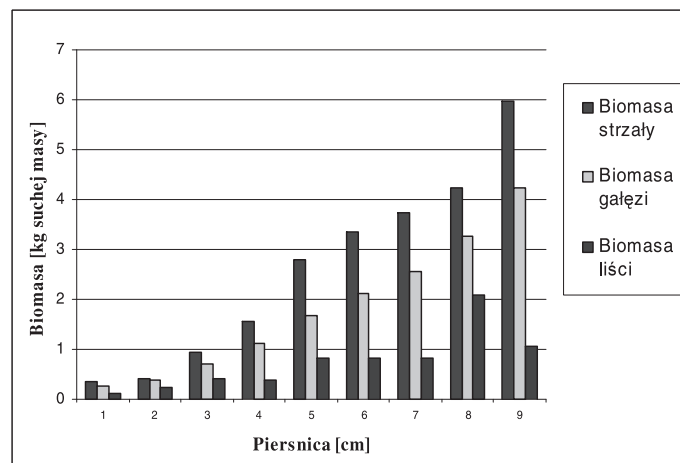
**Tab. 9.** Struktura biomasy części nadziemnych drzew *Pinus sylvestris* L. dla powierzchni nr 3

<b>Struktura biomasy sosny zwyczajnej na powierzchni nr 3</b>				
<b>Pierśnica [cm]</b>	<b>m strzały [kg.DW]</b>	<b>m gałęzi [kg DW]</b>	<b>m liści [kg DW]</b>	<b>Suma</b>
<b>1,1-2</b>	0,216	0,199	0,038	<b>0,453</b>
<b>2,1-3</b>	0,682	0,417	0,051	<b>1,15</b>
<b>3,1-4</b>	0,946	0,706	0,119	<b>1,771</b>
<b>4,1-5</b>	1,059	0,806	0,239	<b>2,104</b>
<b>5,1-6</b>	2,156	1,281	0,69	<b>4,127</b>
<b>6,1-7</b>	2,735	1,337	0,76	<b>4,832</b>
<b>7,1-8</b>	3,242	2,706	1,111	<b>7,059</b>
<b>8,1-9</b>	6,11	9,172	1,299	<b>16,581</b>
<b>9,1-10</b>	8,259	10,759	2,978	<b>21,996</b>
<b>Suma</b>	<b>25,405</b>	<b>27,383</b>	<b>7,285</b>	<b>60,073</b>

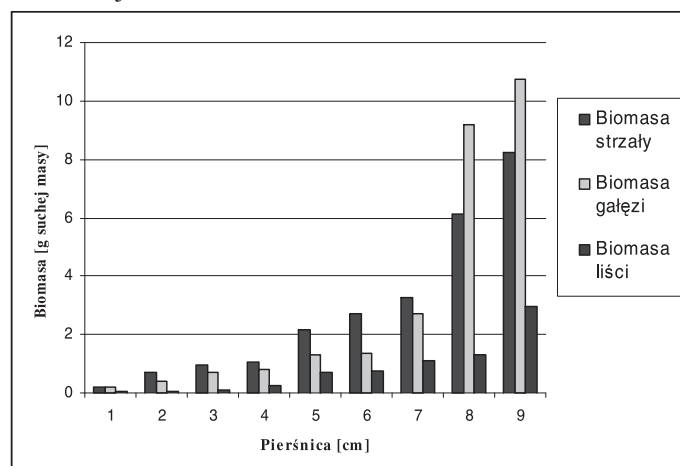
masy, nieco mniejsze wartości stwierdzono na powierzchni nr 1 (50,81), zaś najmniejszą wartość biomasy nadziemnej dla wszystkich drzew modelowych odnotowano na powierzchni nr 2 ( 46,48 kg suchej masy) Największą całkowitą wartość biomasy nadziemnej stwierdzono u sosny o wielkości pierśnicy 9,1-10 cm rosnącej na powierzchni nr 3, gdzie wynosiła ona prawie 22 kg suchej masy, najmniejszą zaś - u sosny o wielkości pierśnicy 1,1-2 cm rosnącej na tej samej powierzchni (0,45 kg suchej masy). Dla sosen o pierśnicach powyżej 8 cm rosnących na powierzchni nr 3 stwierdzono dwukrotnie wyższe wartości biomasy niż na innych poletkach doświadczalnych, natomiast sosny o pierśnicach w przedziale od 3-7 cm rosnące na tej powierzchni wykazywały się biomasa niższą niż drzewa o tych samych pierśnicach rosnące na powierzchniach pierwszej



**Ryc. 16.** Struktura biomasy nadziemnej drzew modelowych sosny rosnącej na pierwszej powierzchni badawczej



Ryc. 17. Struktura biomasy nadziemnej drzew modelowych sosny rosnącej na drugiej powierzchni badawczej



Ryc. 18. Struktura biomasy nadziemnej drzew modelowych sosny rosnącej na trzeciej powierzchni badawczej

Tab. 10. Udział biomasy zielonej w stosunku do biomasy całkowitej

Pierśnica [cm]	Udział biomasy igliwia w stosunku do biomasy całkowitej [%]		
	Powierzchnia nr 1	Powierzchnia nr 2	Powierzchnia nr 3
1,1-2	15,09	17,2	8,38
2,1-3	10,19	22,37	4,43
3,1-4	14,77	20,67	6,72
4,1-5	14,65	12,19	11,36
5,1-6	23,88	15,71	16,71
6,1-7	10,32	13,08	15,73
7,1-8	18,81	11,61	15,74
8,1-9	15,84	21,93	7,83
9,1-10	17,95	10,47	13,54
Średnia	15,72	16,14	11,16

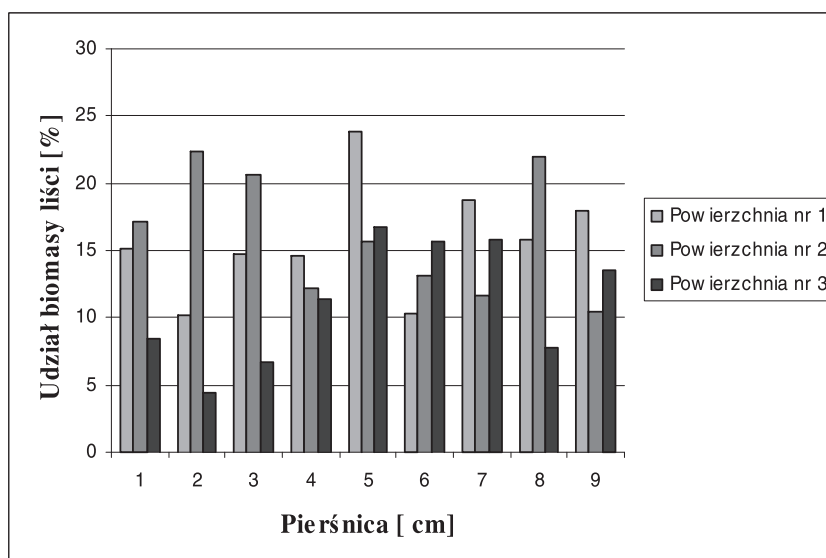
i drugiej. W przedziale od 3-8 cm pierśnicy największą biomasaę odnotowano dla drzew z powierzchni nr 1. Zestawienie uzyskanych wyników biomasy nadziemnej przedstawiono w tabelach oraz zobrazowano na rycinie 15.

Rozkład fitomasy igliwia w stosunku do biomasy gałęzi oraz strzał dla każdego poletka doświadczalnego przedstawiono na rycinach 16, 17, 18.

Porównując stosunek biomasy liści do biomasy strzały i gałęzi stwierdzono, że wartości biomasy aparatu fotosyntetyzującego są niższe niż biomasy niezielonych części drzewa niezależnie od wielkości pierśnicy na każdej powierzchni badawczej.

Procentowy udział biomasy igliwia w stosunku do całkowitej biomasy nadziemnej mieścił się w przedziale od 10,19% do 23,88% (średnio 15,72%) - dla sosen rosnących na poletku nr 1, 10,47% do 22,37% (średnio 16,14%) - dla sosen rosnących na poletku nr 2 oraz 4,43% do 15,74% (średnio 11,16%) - dla sosen rosnących na poletku nr 3. Najniższą wartość udziału procentowego biomasy igieł w stosunku do biomasy całkowitej uzyskano dla sosny o pierśnicy 2,1-3 cm rosnącej na powierzchni trzeciej, gdzie wynosiła ona 4,43%, natomiast najwyższą - dla sosny o pierśnicy 5,1-6 cm pochodzącej z powierzchni badawczej nr 1. Procentowy udział biomasy liści w stosunku do biomasy niezielonej przyjął tu wartość 23,88%. Rozkład udziału masy zielonej w stosunku do całkowitej masy nadziemnej sosny wyrażony w procentach przedstawiono w tabeli 11 oraz zobrazowano na rycinie 19.

Wszystkie współczynniki korelacji pomiędzy biomasaę igliwia a biomasaę całkowitą drzew modelowych obliczone dla sosen z każdej powierzchni wynosiły 0,95.

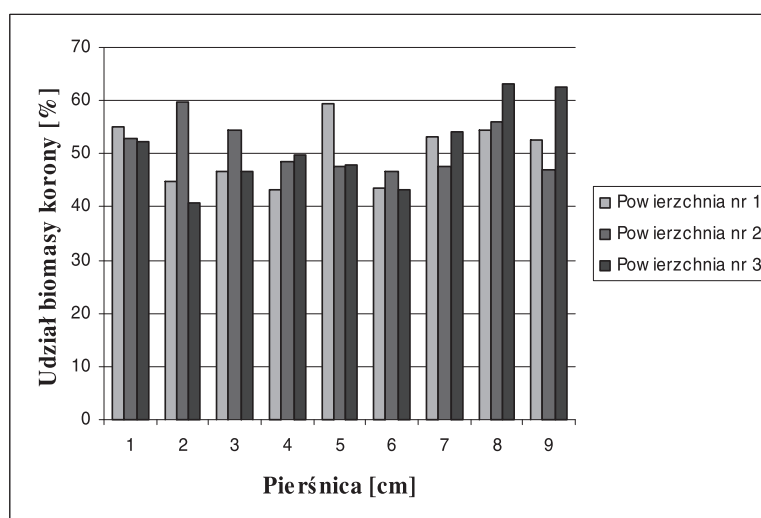


**Ryc. 19.** Udział procentowy biomasy igliwia w stosunku do biomasy całkowitej

**Tab. 11.** Udział biomasy korony w stosunku do całkowitej biomasy nadziemnej

Pierśnica [cm]	Udział biomasy korony w stosunku do biomasy całkowitej [%]		
	Powierzchnia nr 1	Powierzchnia nr 2	Powierzchnia nr 3
1,1-2	55,09	52,8	52,32
2,1-3	44,72	59,73	40,7
3,1-4	46,74	54,44	46,58
4,1-5	43,33	49,59	49,67
5,1-6	59,55	47,52	47,76
6,1-7	43,42	46,77	43,4
7,1-8	53,06	47,74	54,07
8,1-9	54,29	55,9	63,16
9,1-10	52,57	46,84	62,45
Średnia	50,31	51,15	51,12

Kolejnym etapem pracy było ustalenie stosunku procentowego między biomasą korony a całkowitą biomasą nadziemną sosny. Pod pojęciem biomasy korony rozumiemy sumę mas liści oraz gałęzi. Udział biomasy korony w całkowitej biomasie sosen rosnących na poletku nr 1 wynosił średnio zawierał się w przedziale 43,33% - 59,55% (średnio 50,31%), na poletku nr 2 wartości te mieściły się w granicach 46,77% - 59,73% (średnio 51,15%), natomiast udział biomasy korony



**Ryc. 20.** Udział procentowy biomasy korony w stosunku do całkowitej biomasy nadziemnej

do całkowitej biomasy nadziemnej sosen rosnących na powierzchni badawczej nr 3 zawierał się w przedziale: 46,7% - 63, 16%. Średni udział biomasy korony do biomasy całkowitej sosen rosnących na tej powierzchni wynosił 51,12%. Drzewo modelowe o wielkości pierśnicy 8,1-9 cm z powierzchni badawczej nr 3 cechowało się najwyższym procentowym udziałem korony, zaś drzewo modelowe o wielkości

pierśnicy 2,1-3 pochodzące z tej samej powierzchni charakteryzowało się najmniejszym udziałem korony wynoszącym 40,7%.

Stwierdzono także, że istnieje silny związek pomiędzy biomasą korony a całkowitą biomasą nadziemną badanych drzew modelowych. Współczynniki korelacji dla omawianej prawidłowości zawierały się w przedziale 0,99-1,00. Współczynnik korelacji  $r=1$  otrzymano dla tej zależności dla sosen z trzeciej powierzchni badawczej. Przyjmując, że współczynnik korelacji przyjmuje wartości w zakresie 0-1 w analizowanym przypadku mamy do czynienia z korelacją zupełną.

Zauważono również, że zależność pomiędzy biomasą aparatu fotosyntetyzującego a biomasą niezielonych części drzew jest bardzo ścisła. Świadczą o tym wysokie współczynniki korelacji pomiędzy tymi wielkościami, które przyjmowały wartości w granicach 0,92-0,93. Wartości tych współczynników obliczone dla każdej powierzchni zamieszczono w tabeli 12.

**Tab. 12.** Współczynniki korelacji pomiędzy masą liści a masą drewna

Biomasa	Powierzchnia nr 1	Powierzchnia nr 2	Powierzchnia nr 3
Biomasa liści [kg DW]	8,513	4,915	7,284
Biomasa drewna [kg DW]	42,505	39,675	52,789
Współ. korelacji	0,93	0,92	0,93

Zależność funkcyjną między biomasą igliwia a biomasą drewna drzew modelowych przedstawiono na rycinach: 21 – dla sosen rosnących na powierzchni nr 1, 22 – dla sosen rosnących na powierzchni nr 2 i na rycinie 23 – dla sosen rosnących na powierzchni nr 3. Analizowany związek najdokładniej opisuje funkcja wielomianowa. Współczynniki determinacji obliczone dla każdej funkcji mieszczą się w przedziale od 0,91-0,99, co świadczy o dużej korelacji pomiarami i dopasowanym modelem funkcyjnym. Relację pomiędzy wielkością pierśnicy a biomasą drewna drzew rosnących na poletku pierwszym najlepiej opisuje funkcja wyrażona wzorem:

$$y = 0,047x^2 + 0,772x + 0,524$$

gdzie:

y – biomasa drewna (kg suchej masy)

x – pierśnica drzew (cm)

Współczynnik determinacji  $R^2$  dla tego modelu równy jest 0,99.

Związek między wielkością pierśnicy a biomasą igliwia natomiast, najlepiej wyraża wzór:

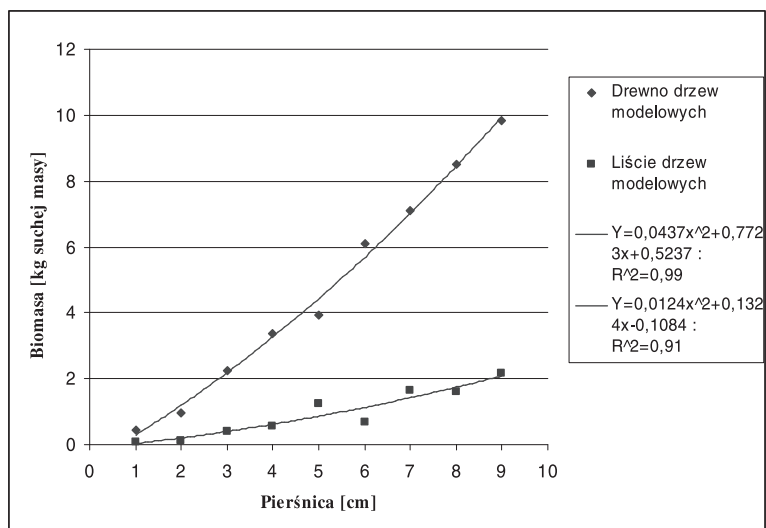
$$y = 0,0124x^2 + 0,7723x + 0,5237$$

gdzie:

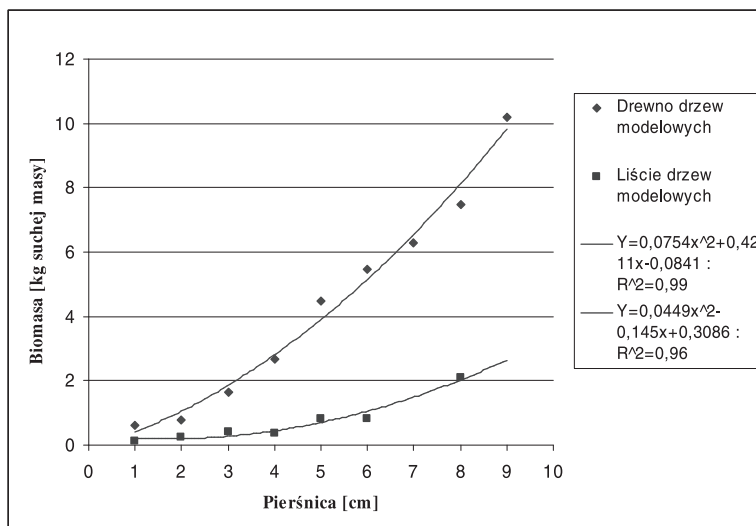
y – biomasa igliwia (kg suchej masy)

x – pierśnica (cm), przy współczynniku determinacji  $R^2=0,91$ .





Ryc. 21. Porównanie biomasy drewna i igieł sosny z powierzchni nr 1



Ryc. 22. Porównanie biomasy drewna i igieł sosny z powierzchni nr 2

Zależność wymiarów pierśnicy i biomasy drewna drzew rosnących na drugiej powierzchni badawczej opisuje równanie wyrażone wzorem:

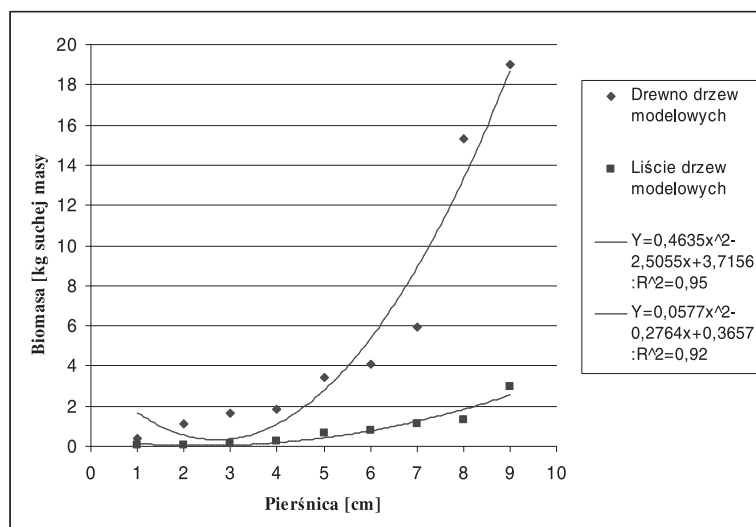
$$y = 0,0754x^2 + 0,4211x - 0,0841$$

gdzie:

y – biomasa drewna (kg DW)

x – pierśnica (cm)

Współczynnik determinacji  $R^2$  dla tego modelu przyjmuje wartość 0,99.



**Ryc. 23.** Porównanie biomasy drewna i igieł sosny z powierzchni nr 3

Zależność między wymiarami pierśnicy a masą igliwia drzew rosnących na omawianej powierzchni dobrze opisuje funkcja, która ma postać:

$$y = 0,0449x^2 - 0,145x + 0,3086$$

gdzie:

y – biomasa igliwia (kg DW)

x – pierśnica (cm), przy współczynniku determinacji  $R^2=0,96$ .

Zależność pomiędzy wielkością pierśnicy a biomasa drewna drzew rosnących na poletku pierwszym najlepiej opisuje wzór funkcji, który ma postać:

$$y = 0,4635x^2 - 2,5055x + 3,7156$$

gdzie:

y – biomasa drewna (kg DW)

x – pierśnica drzew (cm)

Współczynnik determinacji  $R^2$  dla tego modelu równy jest 0,95.

Związek funkcyjny między wielkością pierśnicy a biomasa igliwia, najlepiej wyraża wzór:

$$y = 0,0577x^2 - 0,2764x + 0,3657$$

gdzie:

y – biomasa igliwia (kg DW)

x – pierśnica (cm), przy współczynniku determinacji  $R^2=0,92$ .

## DYSKUSJA

Uzyskane wyniki wskazują na istotne zależności między wielkością pierśnicy a biomasa igliwia i drewna u sosen młodszych klas wieku odnawiających się spontanicznie po zaburzeniu, jakim jest pożar. Relacje te występują zarówno w strukturze biomasy igliwia jak i w strukturze biomasy drewna, o czym świadczą wysokie wartości współczynników korelacji obliczone dla poszczególnych związków. Stwierdzono ścisły związek pomiędzy wielkością pierśnicy a biomasa nadziemną sosny zwyczajnej. Dotyczy to nie tylko biomasy całych drzew ale również aparatu fotosyntetyzującego i drewna. W przypadku drewna stwierdzono, że biomasa strzały jest ściśle skorelowana z biomasa gałęzi. Stosunkowo najmniejsza korelację obserwowano pomiędzy pierśnicą a biomasa igieł. Podobne zależności w alokacji biomasy nadziemnej u sosny zauważyli Orzeł i Forgiel (2006), którzy prowadzili badania nad biomasa i roczną produkcją drzewostanów w Puszczy Niepołomickiej. Również Barcikowski i Loro (1995) oraz Lemke (1983) w swoich pracach wykazali związek pomiędzy masą aparatu asymilacyjnego a wielkością pierśnicy.

Analizując średnie wielkości suchej biomasy prób igieł zauważono, że największa średnia biomasa igliwia pobranego z pędów została uzyskana z pierwszej powierzchni badawczej, którą przed pożarem zasiedlał bór mieszany wilgotny (1,45 g. DW), nieco mniejszą średnią biomasa liści uzyskano z drugiej powierzchni badawczej, którą porastał bór świeży ( 1,35 g. DW ), zaś najmniejsze wartości średniej biomasy igliwia uzyskano z powierzchni trzeciej, gdzie przed pożarem rósł bór świeży z sosną zwyczajną w wieku 111 lat i 33 lat,(1,27 g. DW). Potwierdzają to wyniki badań uzyskane przez Lemke (1980), który stwierdził, że w odpowiadających sobie wiekiem drzewostanach sosnowych ciężary świeżego igliwia i uiglonych gałęzi koron drzew na siedlisku boru świeżego są przeciętnie mniejsze niż na siedlisku boru mieszanego wilgotnego. Należy zauważyć, że według Barcikowskiego (1995) wartości biomasy igliwia sosny o pierśnicy poniżej 8 cm odczytane z tablic Lemkego nie wykazują istotnych różnic s stosunku do wartości biomasy uzyskanej empirycznie.

Biorąc pod uwagę strukturę wiekową pędów, z których pobrane zostało igliwie zauważono, że wraz ze wzrostem pierśnicy drzew modelowych rośnie średnia wartość biomasy igieł w próbach. Zależność ta jest szczególnie dobrze widoczna w próbach igieł pobranych z pędów dwuletnich z poletka badawczego nr 2. Największe wahania biomasy nadziemnej zaobserwowano analizując strukturę biomasy igliwia w zależności od wieku pędu, z którego zostały pobrane igły. Dotyczy to głównie masy igieł w próbkach pędów trzyletnich, gdzie zastosowany model dopasowany jest w najmniejszym stopniu. Igliwie z pędów trzyletnich wykazuje duże różnice w suchej masie zarówno między poszczególnymi pierśnicami jak i pomiędzy powierzchniami badawczymi.

Procentowy udział masy zielonej badanych drzew wynosił średnio około 15%. Według Ebiś (2001) wskazuje to na właściwe proporcje zachodzące w fitocenozie sośniny.

### WNIOSKI

1. Struktura biomasy nadziemnej u sosny zwyczajnej (w 13 roku regeneracji na pożarzystku) jest ściśle powiązana z wielkością pierśnicy drzewa. Dotyczy to zarówno relacji pomiędzy biomasą zieloną i biomasą drewna, jak i relacji zachodzących pomiędzy poszczególnymi komponentami struktury drzewa składającymi się na biomasę całkowitą.

2. Stwierdzono wysoką korelację pomiędzy wielkością pierśnicy drzewa a biomasą igliwia sosny. Odnosi się to zarówno do całej biomasy igliwia, jak i igieł jednorocznych, dwuletних a niekiedy trzyletnich..

3. Największą biomasą charakteryzowały się igły pędów dwuletних.

4. Najsilniejszą korelację stwierdzono pomiędzy biomasą strzały a biomasą korony.

5. Wzrost zagęszczenia osobników sosny prowadzi do zmniejszenia całkowitej biomasy nadziemnej, jak i poszczególnych frakcji ( igliwia, gałęzi i strzały).

### LITERATURA

1. Assman E., 1968. Nauka o produktywności lasu. PWR i L. Warszawa.
2. Barcikowski A., Loro M., Biomasa igliwia oraz cechy dendrometryczne samosiewów sosny (*Pinus sylvestris* L.) młodszych klas wieku, rozwijającej się na siedlisku boru świeżego. Sylwan 1995. R.139(2) s. 53-62.
3. Barcikowski A., Loro M., Porównanie biomasy igliwia sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) młodszych klas wieku ocenianej za pomocą metody pośredniej Lemkego i na podstawie drzew modelowych. Sylwan 1995. R.139(1) s. 73-78.
4. Białobok S., Boratyński A., Bugała W., 1993. Biologia sosny zwyczajnej. Sorus. Poznań-Kórnik.
5. Białobok S., Żelawski W.(red.) 1967. Zarys fizjologii sosny zwyczajnej. PWN. Warszawa-Poznań.
6. Biały K., 1997. Środowisko przyrodnicze województwa wrocławskiego. Wojewódzkie Towarzystwo Naukowe. Wrocław.
7. Borowski M., 1974. Przyrost drzew i drzewostanów. PWR i L. Warszawa.
8. Cyzman W., Gogońkiewicz E., Kukliński A., Klebuch I., Ogrodowicz J., Wiśniewski Z. 1999. Charakterystyka szaty roślinnej, Aktualizacja operatu glebowo-siedliskowego, Nadleśnictwo Wrocław, „Lasy Gostynińsko-Wrocławskie”. mscr., wyk. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej. Oddział w Gdyni dla RDLP Toruń.

9. Cyzman W., 1997. Środowisko przyrodnicze województwa wrocławskiego. Wojewódzkie Towarzystwo Naukowe. Wrocław.
10. Czarnowski M.S., 1989. Zarys ekologii roślin lądowych. PWN, Warszawa.
11. Ebiś M., 2001. Struktura biomasy sosny zwyczajnej. PWN. Warszawa-Wrocław.
12. Geudens G., Allometric biomass equations for Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings during the first years of establishment in dense natural regeneration., *Annals of Forest Science* 2004. nr 61 s. 653-659.
13. Grotte R., 2002, Foliage Branch Biomass Estimation of Coniferous and Deciduous Tree Species, *Silva Fenn.* 36(4) s. 779-788.
14. Lemke J. Ciężar igliwia, ulistnionych gałązek a przyrost miąższości strzały w drzewostanach sosnowych. *Sylwan* 1974, R.118 (5) s. 10-20.
15. Lemke J., Szacowanie ciężaru świeżego igliwia sosny zwyczajnej. *Sylwan* 1974, R. 118 (9) s. 33-38.
16. Lemke J., Tabele do szacowania ciężaru igliwia i uiglonych gałązek sosny zwyczajnej. *Sylwan* 1983. R.127(2) s. 21-30.
17. Lemke J., Woźniak A., Szacowanie masy igieł nasłonecznionej i ocienionej części korony sosny zwyczajnej. *Sylwan* 1991. R.136(2) s. 25-32.
18. Lethonen A., Estimating foliage biomass of Scott Pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) plots, *Tree Physiology* 2005, nr 25 s. 803-811.
19. Obmiński Z., 1970, Zarys ekologii, [w:] Białobok S.(red.), *Sosna zwyczajna. Nasze drzewa leśne*, s. 152-231, PWN, Warszawa-Poznań.
20. Odum E., 1982, Podstawy ekologii, PWRiL, Warszawa.
21. Oleksyn J., 1994, Wewnątrzgatunkowa zmienność produktywności populacji sosny zwyczajnej i wrażliwość na działanie czynników abiotycznych., Akademia Rolnicza w Poznaniu.
22. Orzeł S., Biomasa sześciolletnich sosen wyrosłych z niemikoryzowanych i mikoryzowanych sadzonek, *Sylwan* 2009, R. 153(4) s. 274-280.
23. Orzeł S., Forgiel M., Nadziemna biomasa i roczna produkcja drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej., *Sylwan* 2005, R. 149 (9), s.16-32.
24. Przybylski T., 1993, Ekologia [w:] Białobok S. (red), 1993, *Biologia sosny zwyczajnej*, s. 255-300, Sorus, Poznań-Kórnik.(1993).
25. Puchalski T., 1968, Wzrost drzew i drzewostanów, PWRiL, Warszawa.
26. Trampler T. i inni, 1990, Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno- fizjograficznych., PWRiL, Warszawa.
27. Wolski P., Robakowski P., Przydatność hodowlana naturalnego odnowienia sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Nadleśnictwie Bytów, *Sylwan* 2008, R.152 (10), s. 17-26.
28. Wołek J., 2006. Wprowadzenie do statystyki dla biologów. Wydawnictwo Naukowe.
29. Zasada M., i inni, Wzory empiryczne do określania suchej biomasy nadziemnej części drzew i ich komponentów, *Sylwan* 2008, nr 3 s. 27-39.