

**Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu**

**Wydział Leśny i Technologii Drewna**



**Marek Dobroczyński**

**Zmienność makrostruktury drewna oraz wrażliwość klimatyczna  
dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) w różnych warunkach  
siedliskowych**

Variability of wood macrostructure and climatic sensitivity of pedunculate oak  
(*Quercus robur* L.) under different site conditions

Praca doktorska  
Katedra Użytkowania Lasu  
Promotor: prof. UPP, dr hab. inż. Marcin Jakubowski

**Poznań 2025**

*Chciałbym serdecznie podziękować mojemu promotorowi, Panu Profesorowi Marcinowi Jakubowskiemu, za nieocenione wsparcie, motywację oraz pomoc w trakcie pisania mojej rozprawy doktorskiej.*

*Pańska wiedza, doświadczenie i zaangażowanie były dla mnie źródłem inspiracji oraz drogowskazem w pracy naukowej. Dzięki Panu mogłem rozwijać swoje umiejętności badawcze i pogłębiać temat, który z czasem stał się moją pasją.*

*Dziękuję za cenne wskazówki, życzliwość oraz cierpliwość, szczególnie w chwilach pełnych wyzwań.*

*Z wyrazami szacunku,*

*Marek Dobroczyński*

*Dedykuję tę rozprawę moim ukochanym Rodzicom, którzy zawsze byli dla mnie wsparciem i inspirowali mnie do działania. Dzięki Waszej miłości oraz wierze we mnie mogłem realizować swoje marzenia. Ta praca jest także Waszym osiągnięciem.*

*Z wdzięcznością,  
Marek Dobroczyński*

## Spis treści

Streszczenie .....	7
Summary .....	8
1. Wykaz skrótów .....	9
2. Wstęp .....	10
3. Stan Badań .....	14
3.1.1. Twardzielowanie .....	14
3.1.2. Komórki mięksizowe, a twardzielowanie .....	15
3.1.3. Czynniki warunkujące proces twardzielowania .....	16
3.2.1. Biel .....	18
3.3. Czynniki wpływające na rozmiar drzew .....	19
3.4. Transport wody oraz substancji mineralnych w drzewie .....	20
3.5. Transport wody, a wielkość korony .....	20
3.6. Siedlisko, a wielkość aparatu asymilacyjnego .....	23
3.7. Warunki siedliskowe, żyzność siedliska, przystosowanie gatunku .....	24
3.8. Wykorzystanie metod dendrochronologicznych .....	26
4. Hipotezy robocze .....	29
5. Cel badań .....	30
6. Metodyka .....	31
6.1. Położenie Nadleśnictwa Jarocin .....	31
6.2. Prace terenowe .....	33
6.3. Prace kameralne .....	48
6.3.1. Pomiar cech makrostrukturalnych .....	48
6.3.2. Obliczanie powierzchni rzutu korony .....	48
6.3.3. Współczynnik smukłości .....	49
6.3.4. Średnia szerokość przyrostu drewna bielastego .....	49
6.3.5. Średnia szerokość przyrostu drewna twardzielowego .....	49
6.3.6. Współczynnik T/B .....	49
6.3.7. Pole powierzchni pnia .....	50
6.3.8. Pole powierzchni twardzieli .....	50
6.3.9. Pole powierzchni bielu .....	50
6.3.11. Dynamika twardzielowania .....	50
6.3.13. Analizy dendrochronologiczne .....	52
7. Wyniki .....	54
7.1. Analiza ogólna .....	54
7.2. Wstępna analiza wieku oraz cech zewnętrznych drzew .....	54

7.2.1. Charakterystyka wieku drzew .....	55
7.2.2. Charakterystyka pierśnicy drzew .....	55
7.2.3. Charakterystyka wysokości drzew .....	55
7.2.4. Charakterystyka średniej współczynnika smukłości (H/D) .....	55
7.3. Analiza szczegółowa .....	56
7.3.1. Wiek .....	57
7.3.2. Wysokość .....	59
7.3.3. Pierśnica .....	60
7.4.4. Współczynnik smukłości .....	61
7.5.5. Powierzchnia rzutu korony .....	63
7.6. Cechy makrostrukturalne .....	64
7.6.1. Szerokość biału .....	65
7.6.2. Szerokość twardzieli .....	66
7.6.3. Powierzchnia biału .....	67
7.6.4. Powierzchnia twardzieli .....	68
7.6.5. Średnia szerokość słoików białych .....	69
7.6.6. Średnia szerokość słoików twardzielowych .....	70
7.7. Proporcje biału i twardzieli .....	71
7.7.1. Współczynnik T/B .....	72
7.7.2. Dynamika twardzielowania .....	73
7.8. Związki między cechami .....	74
7.9. Analizy dendrochronologiczne .....	83
7.9.1. Chronologie stanowiskowe .....	83
7.9.2. Lata wskaźnikowe .....	86
7.10. Analizy klimatyczne .....	87
7.10.1. Temperatura i opady .....	87
7.10.2. Indeks suszy .....	98
8. Dyskusja .....	110
8.1. Wiek .....	111
8.2. Średnica .....	112
8.3. Rzut korony .....	112
8.4. Smukłość drzewa .....	113
8.5. Szerokość oraz powierzchnia biału .....	113
8.6. Szerokość oraz powierzchnia twardzieli .....	114
8.7. Szerokość przyrostu biału i twardzieli .....	114
8.8. Współczynnik twardzielowania T/B (względna szerokość twardzieli) .....	115

8.9. Jakość chronologii.....	117
8.10. Lata wskaźnikowe.....	118
8.11. Czynniki klimatyczne.....	119
9. Podsumowanie, wnioski i stwierdzenia.....	121
10. Bibliografia.....	122
11. Spis tabel.....	136
12. Spis rycin.....	138
Suplement.....	143

## Streszczenie

W polskich lasach, podobnie jak w innych krajach Europy, prowadzona jest obecnie intensywna przebudowa drzewostanów. Jej celem jest dostosowanie składu gatunkowego do warunków siedliskowych. Coraz większe znaczenie zyskują gatunki liściaste, zwłaszcza dąb szypułkowy i bezszypułkowy, które są ponownie wprowadzane na obszary, gdzie wcześniej zostały zastąpione przez monokultury sosnowe. Aby przebudowa drzewostanów przyniosła oczekiwane rezultaty, kluczowe jest dokładne rozpoznanie warunków siedliskowych oraz właściwy dobór terenów.

Głównym celem rozprawy było ustalenie czy wrażliwość klimatyczna, wyrażona reakcją przyrostową drewna, jest uzależniona od żyzności siedliska oraz stwierdzenie, czy istnieją różnice we wzajemnych korelacjach cech makrostrukturalnych i biometrycznych w różnych typach siedliskowych lasu. Założono, że drzewostany będą różnić się reakcjami w zależności od typu siedliskowego lasu. W tym celu wytypowano 12 blisko siebie położonych powierzchni badawczych, po 4 powierzchnie w 3 typach siedliskowych lasu: na borze mieszanym świeżym, na lesie świeżym i na lesie mieszanym świeżym. Łącznie wybrano 216 drzew w wieku od 48 do 141 lat, dla których zmierzono cechy biometryczne i pobrano wywierty świdrem Presslera. Wykonano analizy korelacji cech biometrycznych i cech makrostruktury drewna. Dla sześciu najstarszych drzewostanów wykonano analizy dendroklimatyczne.

Na żyzniejszych siedliskach dęby wykazywały większe dymensje. Na lesie świeżym przeciętna średnica wyniosła 32,44 cm, na lesie mieszanym świeżym 30,37 cm, a na borze mieszanym świeżym 27,56 cm. Wartości smukłości wyniosły odpowiednio 0,97 (Lśw), 0,9 (LMśw), 0,77 (BMśw). Las świeży cechował się najwyższą dynamiką twardzielowania i względną szerokością twardzieli (T/B). Wrażliwość klimatyczna drzewostanów na różnych siedliskach różniła się. Dęby wyrosłe na najżyźniejszym siedlisku (Lśw) wykazywały najmniej lat wskaźnikowych i słabsze korelacje klimatyczne. Dęby występujące na siedliskach uboższych wykazały więcej lat wskaźnikowych zarówno negatywnych jak i pozytywnych, szczególnie na siedlisku boru mieszanego świeżego, korelacje klimatyczne były również silniejsze. W związku z tym drzewostany tam występujące mogą być bardziej podatne na zjawiska ekstremalne, takie jak susza. Mogą też stanowić cenne źródło danych do badań dendrochronologicznych i być istotne w dostrzeganiu wczesnych sygnałów zmian w środowisku.

Słowa kluczowe: biel, twardziel, przyrost roczny, jakość drewna, susza, lata wskaźnikowe, dendrochronologia

## Summary

In Polish forests, as in other European countries, intensive stand reconstruction is currently underway. Its goal is to adapt the species composition to the habitat conditions. Deciduous species are gaining in importance, especially pedunculate and sessile oak, which are being reintroduced into areas where they were previously replaced by pine monocultures. Successful forest stand reconstruction hinges on accurate habitat identification and appropriate site selection.

The main objective of the dissertation was to determine whether climatic sensitivity, as expressed by the incremental response of growth depends on the vitality of the habitat, and to determine whether there are differences in the mutual correlations of macrostructural and biometric traits between different forest site types. It was assumed that stands would differ in their responses depending on the habitat type of the forest. For this purpose, 12 closely spaced study plots were selected, 4 plots each in 3 forest habitat types: on fresh mixed coniferous, on fresh forest and on fresh mixed forest. A total of 216 trees ranging in age from 48 to 141 years were selected for which biometric traits were measured and drilled with a Pressler borer. Correlation analyses of biometric traits and wood macrostructure traits were performed. Dendro-climatic analyses were performed for the six oldest stands. On more fertile habitats, oaks showed larger dimensions. On fresh forest, the average diameter at breast height was 32.44 cm, on LMśw 30.37 cm, and on fresh mixed forest 27.56 cm. Slenderness values were 0.97 (Lśw), 0.9 (LMśw), 0.77 (BMśw), respectively. Fresh forest was characterized by the highest heartwood dynamics and relative heartwood width (T/B). The climatic sensitivity of stands on different habitats differed. Oaks grown on the most fertile habitat (Lśw) showed the fewest pointer years and weaker climatic correlations. Oaks growing in poorer habitats showed more pointer years, both negative and positive, especially in the fresh mixed coniferous forest habitat, and climatic correlations were also stronger. Therefore, perhaps the stands there may be more susceptible to extreme events like drought, but they can also provide valuable data for dendrochronological studies as they can be important in spotting early environmental signals.

Keywords: sapwood, heartwood, annual incremental growth, wood quality, drought, pointer years, dendrochronology

## 1. Wykaz skrótów

Tsl – typ siedliskowy lasu.

Jest to podstawowa jednostka podziału siedlisk leśnych. Skupia wokół siebie fragmenty lasu o podobnej żyzności i przydatności do produkcji leśnej. Poszczególne typy siedliskowe lasu ustalane są na podstawie czynników różnicujących.

Do najważniejszych należą gleba i wilgotność (Bańkowski i in., 2003).

BMśw – bór mieszany świeży,

LMśw – las mieszany świeży,

Lśw – las świeży,

H – wysokość drzewa mierzona w metrach,

D – średnica drzewa mierzona w centymetrach,

H/D – współczynnik smukłości, stosunek wysokości do pierśnicy,

Rzut-K – pole rzutu korony podane w  $m^2$ ,

Szer-B – łączna szerokość słoików bielu podana w mm,

Szer-T – łączna szerokość słoików twardzieli mierzona od rdzenia, podana w mm,

Pow-B – powierzchnia bielu podana w  $cm^2$ ,

Pow-T – powierzchnia twardzieli podana w  $cm^2$ ,

Przyr. – średnia szerokość przyrostu,

Przyr-B – średnia szerokość przyrostu bielastego podana w mm,

Przyr-T – średnia szerokość przyrostu twardzielowego podana w mm,

T/B – współczynnik twardzielowania, szerokość twardzieli do szerokości bielu,

DynT – dynamika twardzielowania.

## 2. Wstęp

W naszej strefie klimatycznej i geograficznej lasy są najbardziej naturalnym i niezmienionym składnikiem przyrody, a także kluczowym czynnikiem dla równowagi ekologicznej. Oprócz tego są one także ważnym źródłem produkcji biologicznej, która stanowi dużą wartość rynkową oraz wpływa na ogólnospołeczną jakość życia człowieka.

W przeszłości lasy występowały prawie na całym obszarze Polski. Jednak w wyniku procesów gospodarczych i społecznych, szczególnie ekspansji rolnictwa i wysokiego zapotrzebowania na drewno, uległy one znacznym zmianom.

Jeszcze przed końcem XVIII wieku pokrycie Polski lasami wynosiło około 40%, ale spadło do 20,8% w 1945 roku. W wyniku wylesiania i degradacji drzewostanów, zmniejszyła się też różnorodność biologiczna, krajobraz leśny uległ fragmentacji, a gleby zaczęły ulegać erozji. Odwrócenie procesu wylesiania nastąpiło w latach powojennych, między 1945 a 1970 rokiem. Średnio rocznie zalesiano około 35,9 tys. ha lasów, a w okresie szczytowym od 1961 do 1965 roku, aż 55 tys. ha. Dzięki tym działaniom powierzchnia ta zwiększyła się o 933,5 tys. ha, co stanowiło około 27% powierzchni kraju. Obecnie powierzchnia lasów w Polsce wynosi 9265 tys. ha (według danych GUS – stan w dniu 31.12.2021 r.), co stanowi około 29,6% powierzchni kraju [CILP 2021].

Od dłuższego czasu można zauważyć stały wzrost obszaru leśnego w Polsce. Zgodnie z międzynarodowymi standardami stosowanymi do oceny wielkości lasów, w dniu 31 grudnia 2022 roku powierzchnia lasów w Polsce wynosiła 9476,9 tys. hektarów, co stanowiło 30,9% całkowitej powierzchni kraju. Jest to wzrost o 10,1 tys. hektarów w stosunku do roku poprzedniego [Rocznik Statystyczny Leśnictwa, 2022]. Jest ona jednak niższa od średniej europejskiej, która wynosiła 34,9%. W strukturze własnościowej lasów w Polsce dominują lasy publiczne, które stanowią 80,7% ogółu, z czego największy udział mają lasy zarządzane przez Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe, których udział wynosi 76,9% [Zajączkowski i.in., 2022]. Zgodnie ze stanem na dzień 31 grudnia 2022 roku na jednego mieszkańca Polski przypadało 0,246 hektara lasów [Rocznik Statystyczny Leśnictwa 2022]. Struktura własnościowa lasów w Polsce jest zróżnicowana. W lasach polskich można wyróżnić trzy główne kategorie właścicieli: Skarb Państwa, osoby prywatne oraz samorządy lokalne.

W Polsce lasy występują głównie na terenach o najslabszych glebach, co znajduje odzwierciedlenie w układzie typów siedliskowych lasu. Zdecydowana większość lasów to siedliska lasowe, które zajmują 50,2% powierzchni lasów. Pozostałe 49,8% powierzchni lasów zajmują siedliska borowe. Ponadto, w obu grupach siedlisk występują również

siedliska wyżynne, które łącznie zajmują 6,7% powierzchni lasów, oraz siedliska górskie, które występują na 8,5% powierzchni lasów [Zajączkowski i.in., 2020, 2021].

Przestrzenna lokalizacja siedlisk wpływa na rozmieszczenie drzew gatunków panujących. W przypadku terenów górskich, gdzie występują lepsze warunki wodne i glebowe, dominują gatunki takie jak świerk, jodła i buk. Te drzewa są bardziej wymagające pod względem wilgotności gleby i preferują stanowiska zacienione. Jednakże na pozostałej części kraju dominują gatunki iglaste i stanowią one 68,6% powierzchni lasów Polski. Sosna, która zajmuje 58,6% powierzchni polskich lasów rośnie głównie na obszarach, na których występują najslabsze gleby [Zajączkowski i.in., 2019]. Rozmieszczenie drzew gatunków panujących jest także zależne od czynników antropogenicznych, takich jak przekształcenia terenów pod wpływem człowieka czy preferowanie danego gatunku drewna w przemyśle drzewnym [Zajączkowski i.in., 2019]. Na przykład, w wyniku wyrębu lasu lub zmian w użytkowaniu ziemi, może dojść do zmian w składzie gatunkowym drzewostanu.

Model polskiej gospodarki leśnej pomimo wprowadzania stopniowych zmian opiera się ciągle na systemie monokultur. Pomimo tego, że spełnia on oczekiwania przemysłu drzewnego przystosowanego do tego typu surowca, staje się coraz mniej odporny na zmiany klimatyczne zachodzące na terenie naszego kraju. Większość polskich lasów składa się z drzewostanów III i IV klasy wieku, które zajmują odpowiednio 21,5% i 21,6% powierzchni lasów. Wzrosła także powierzchnia lasów powyżej 80 lat, która obecnie wynosi niemal 2,3 mln ha w porównaniu do około 0,9 mln ha w 1945 r. (dane zebrano w latach 2017-2021 przez WISL). W tym samym okresie średni wiek drzewostanów we wszystkich rodzajach lasów wzrósł z 44 do 60 lat, w przypadku Lasów Państwowych do 61 lat, a w przypadku lasów prywatnych do 53 lat [Zajączkowski i.in., 2020, 2021]. Literatura wskazuje, że za wzrost oraz kształtowanie się pojedynczego drzewa jak i całych drzewostanów odpowiedzialna jest suma czynników biotycznych, abiotycznych oraz antropogenicznych [Kollmann i Wilfred, 1968; Smith, 1968; Winandy, 1994; Savidge, 2003; Tomczak i.in., 2009]. Spośród nich można wyróżnić te, które w szczególny sposób wpływają na pokrój drzewa, jego wysokość, pierśnicę, powierzchnię korony czy współczynnik smukłości. Czynniki te to m.in.: klimat, światło, ukształtowanie terenu, sposób zagospodarowania, typ siedliskowy lasu oraz miejsce biosocjalne danego drzewa w drzewostanie [Presson i.in., 1995; Wiemann i Williamson, 2002; Makinen i Isomaki, 2004; Jakubowski i.in., 2005; Jelonek i.in., 2010; Tomczak i.in., 2009]. Do najważniejszych czynników abiotycznych możemy zaliczyć wodę. I właśnie w ostatnich latach głównym czynnikiem wpływającym na stan zdrowotny lasów w Polsce był niedobór dostępnej wody dla drzew. W 2022 roku, zwłaszcza podczas sezonu wegetacyjnego, dostępność wody na

obszarach leśnych była porównywalna do poprzedniego roku, który był najlepszym w ostatniej dekadzie pod względem warunków wodnych. Warunki pogodowe w 2022 roku były zdecydowanie korzystniejsze niż w latach o skrajnie suchym i gorącym klimacie, takich jak 2015 i 2018. Niemniej jednak, w porównaniu z rokiem 2021, warunki wodne w 2022 roku były mniej korzystne dla wzrostu drzew, zarówno w całym roku, jak i w okresie wegetacyjnym. Wydaje się, że zmniejszenie defoliacji drzew w 2022 roku, w porównaniu z poprzednimi latami, było wynikiem relatywnie wyższej dostępności wody dla drzew w 2021 roku [Rozkrut i.in., 2022].

W Polskich lasach, podobnie jak w innych krajach europejskich, prowadzi się obecnie szeroką przebudowę drzewostanów. Celem jest dostosowanie składu gatunkowego do warunków siedliskowych. Zwiększa się rola i udział gatunków liściastych, w tym zwłaszcza dębu szypułkowego i bezszypułkowego, który jest wprowadzany ponownie na siedliska z których został wyparty przez monokultury sosnowe. Aby efekt prac związanych z przebudową drzewostanów był zadowalający, należy przede wszystkim rozpoznać warunki siedliskowe i trafnie wytypować te, które będą optymalne, aby przyszły drzewostan mógł w całym spektrum pełnić funkcje środowiskowe. Dlatego ważne jest dobre zrozumienie wymagań siedliskowych drzew leśnych na etapie planowania hodowlanego [Andrzejczyk, Sewerniak P., 2016; Dmyterko i in., 2020]. Na temat wymagań glebowo-siedliskowych dębu szypułkowego oraz dębu bezszypułkowego powstało wiele opracowań [Zaręba, 1988; Brzeziecki, 1995; Zarzycki i in., 2002; Andrzejczyk, 2009; Jaworski, 2011]. Wolczewski [1968] prowadząc badania nad optimum siedliskowym dla dębu szypułkowego scharakteryzował go jako gatunek należący do megatrofów, któremu najbardziej odpowiadają siedliska żyzne. Wymagania siedliskowe w zakresie wilgotności i żyzności drzew leśnych przedstawiane są zazwyczaj w formie diagramów, na których zaznaczona jest amplituda ekologiczna oraz optimum siedliskowe. W ten sposób charakterystyki min. dębu szypułkowego dokonał Ellenberga [1978] oraz Timbala i Aussenaca [1996]. Opracowania tych autorów nie są dostosowane jednak do naszych warunków glebowo-klimatycznych, gdyż przedstawiają uwarunkowania Europy środkowo-zachodniej. Dla warunków naszego kraju w postaci siatki typologicznej uwzględniający zakres amplitudy oraz optimum siedliskowego zaproponował Andrzejczyk [2016].

W ostatnim ćwierćwieczu, aż po dzień dzisiejszy można zaobserwować usychanie pojedynczych drzew dębu, ich grup lub nawet całych drzewostanów. Skala występowania tego zjawiska stała się przyczynkiem do zainicjowania badań mających na celu wyjaśnienie tego zjawiska. Niektóre hipotezy skłaniają się do postawienia tezy, że wpływają na to pojedyncze czynniki abiotyczne, inne mówią o interakcji pomiędzy tymi czynnikami, jak

i czynnikami biotycznymi [Delatour, 1983; Dreyer i Aussenac, 1996; Czech i in., 1998]. Aby zgłębić wiedzę na ten temat, projektowane są modele mające przedstawić możliwości wzrostu różnych gatunków drzew w różnych warunkach klimatyczno-siedliskowych. Badania nad wrażliwością dębów, z uwzględnieniem wpływu temperatury poniżej 5,5°C, minimalnej temperatury w zimie, dostępności wody oraz składników mineralnych, prowadzone były przez Steinera i Lexera [1998]. Dla oceny wzrostu na wysokość dębu szypułkowego nieco inne kryteria temperaturowe przyjął Kahn [1994]. Uwzględnił on w swoim modelu liczbę dni z temperaturami powyżej 10°C.

Jeszcze inaczej do kwestii modelowania podszedł Kramer i in. [1996], rozpatrując wpływ podwyższonej temperatury, ograniczonego dostępu wody oraz zwiększonego stężenia dwutlenku węgla.

Na podstawie dotychczasowych badań można wysnuć wniosek, że na wzrost i pokrój drzew mają wpływ czynniki z różnych grup [Assman, 1968; Kramer i in., 1988; Oliver, Larson, 1996; Bolibok, Brzeziecki, 2000; Ishii i in., 2000]. Można przypuszczać, że wrażliwość dębu na zmiany klimatyczne może nieść za sobą różne wielkości przyrostowe w poszczególnych typach siedliskowych lasu.

### **3. Stan Badań**

Stan badań został podzielony na kilka części, które w syntetyczny sposób opisują dotychczasowe badania w zakresie makrostruktury drewna, badania czynników wpływających na wzrost i rozwój drzew oraz wykorzystanie metod dendrochronologicznych do oceny wpływów środowiskowych.

#### **3.1.1. Twardzielowanie**

Drewno charakteryzuje się złożonym składem chemicznym oraz budową anatomiczną, która jest specyficzna dla poszczególnych gatunków drzew. Ma to wpływ na właściwości mechaniczne jak i fizyczne danego gatunku. Nawet w obrębie jednego gatunku mogą występować różnice w budowie oraz właściwościach drewna, które determinuje usytuowanie geograficzne [Remlein, 2020]. Twardziel, to wewnętrzna część pnia lub łodygi drzewa, która nie zawiera żywych komórek w rosnących drzewach. Zamiast skrobi, która jest składnikiem odżywczym, twardziel zawiera substancje takie jak garbniki i flawonoidy [Zimmermann, Brown, 1981]. Twardziel to obszar drewna, który można zaobserwować u kilku gatunków rodzimej flory. Należą do nich sosna, modrzew, cis, dąb, jesion, wiąz oraz wierzba. Są to gatunki z twardzielą zabarwioną. Natomiast świerk i jodła posiadają twardziel bez jakiegokolwiek barwy, czyli twardziel niezabarwioną [Kokociński, 2005]. Objętość twardzieli rośnie wraz z wiekiem, ponieważ jest to proces kumulacyjny. Każdy roczny przyrost bielu jest dodawany do objętości, lecz należy uwzględnić straty w części bielu, która staje się częścią twardzieli. W ten sposób udział twardzieli w całej objętości drewna wzrasta w miarę upływu lat [Taylor i in., 2002; Sellin, 1996]. Drewno twardzieli jest niezwykle intrygujące ze względu na swoją unikalną barwę, która odbiega od barwy bielu. Może się wahać od pomarańczowej do czerwonej, brązowej, a nawet czarnej. Ponadto, różni się od bielu składem chemicznym ścian komórkowych oraz nierównomiernym rozmieszczeniem w pniu, występowanie twardzieli jest nieregularne. Proces jej regulacji oraz tworzenia jest dość skomplikowany i wciąż niewystarczająco zrozumiały, zwłaszcza na poziomie molekularnym [Bieniasz i Tulig, 2020].

Zbadano pewne zmiany, które zachodzą w drewnie, gdy przechodzi ono z bielu do twardzieli. Te zmiany wskazują, że tworzenie twardzieli jest regulowanym procesem, który ma na celu utrzymanie optymalnej ilości drewna bielastego. Przejście komórek z bielastego drewna do twardzielowego sugeruje, że rozwój twardzieli jest kontrolowany przez substancję aktywną wzrostu. Można zatem przypuszczać, że charakter transformacji

twardzieli wskazuje raczej na proces rozwojowy, a nie na pogorszenie funkcji komórek wraz z wiekiem. W rezultacie śmierć komórek miękiszu jest wynikiem powstawania twardzieli, a nie jej przyczyną [Bamber, 1976]. Dlatego odpowiednim użyciem komórek, zarówno tych, które są żywe, jak i martwe, drzewa zapewniają sobie zdolność do pełnienia różnych funkcji, które są niezbędne do ich złożonego funkcjonowania w danym siedlisku [Morris, 2016].

### **3.1.2. Komórki miękiszowe, a twardzielowanie**

Właściwość biologiczna dotycząca obecności żywych komórek miękiszowych w drewnie roślin drzewiastych polega na tym, że te komórki pełnią ważne funkcje w strukturze rośliny. Są one jedynymi żyjącymi komórkami w biele drewna, które umożliwiają kontakt pomiędzy protoplastami (żywymi częściami komórek), a ścianami komórkowymi – apoplastem. Dzięki temu tworzą one skomplikowaną i zorganizowaną trójwymiarową sieć, która zapewnia żywą ciągłość pomiędzy włóknami i komórkami przewodzącymi wodę. Ponadto te komórki odpowiedzialne są za przechowywanie substancji zapasowych oraz transport i wydzielanie substancji związanych z procesem twardzielowania [Hillis, 1987; Magel, 2000; Nakaba i in., 2012; Tulik, Myśkow, 2015]. W komórkach miękiszowych obecne są tłuszcze i cukry, które znajdują się w środkowej i wewnętrznej części biele. Te substancje dostarczają węgiel niezbędny do produkcji ekstraktów twardzielowych, przede wszystkim substancji fenolowych [Hillis, 1987; Magel i in., 1994; Magel i in., 2013]. Dodatkowo komórki miękiszowe wykazują zdolność do różnicowania się, co umożliwia im udział w różnych procesach obronnych drzewa, takich jak reakcje na infekcje i uszkodzenia, oraz pełnienie funkcji asymilacyjnej, spichrzowej, wydalniczej, powietrznej i wzmacniającej [Morris, 2016]. Na przykład, komórki miękiszowe mogą różnicować się w komórki korka, tworząc warstwę ochronną, która izoluje drzewo od patogenów. Mogą również różnicować się w komórki gumowe, produkujące gumę lub żywicę, które mają właściwości antymikrobowe i mogą zatrzymać rozwój infekcji. Ponadto, komórki miękiszowe mogą również różnicować się w komórki kambium i kallus, które są odpowiedzialne za gojenie uszkodzeń i tworzenie nowej tkanki drzewa. Dzięki tej zdolności komórki miękiszowe odgrywają kluczową rolę w obronie drzewa przed infekcjami i uszkodzeniami, co pomaga mu przeżyć i rosnąć.

Blokada naczyń przez wcistki i gumy u drzew liściastych jest uznawana za proces towarzyszący twardzielowaniu i pojawia się wraz z wiekiem drzewa [Micco i in., 2016]. Wcistki występują głównie w strukturze naczyń, jednak można na nie trafić również

we włóknach drzew liściastych oraz w cewkach drzew liściastych i iglastych. Wypełnienie światła naczyń przez wcistki jest również sposobem obrony drzewa przed rozprzestrzenianiem się patogenów wewnątrz pnia [Gottwald, 1972; Peters, 1974; Micco i in., 2016].

U drzew iglastych podczas procesu twardzielowania obserwuje się zamknięcie wlotu do jamki cewki (tzw. aspirację, ang. aspiration). Zjawisko to polega na blokowaniu przepływu wody w wyniku zamknięcia przez torus wylotu cewki. Dzieje się to wtedy, gdy torus przemieszcza się w jedną ze stron ściany komórkowej [Panshin i Zeeuw, 1980]. Fujii i in. [1997] przyjęli, używając w badaniach skaningowej mikroskopii elektronowej, że dzieje się tak za sprawą różnicy wilgotności bezwzględnej drewna. Wilgotność bielu z racji pełnionej funkcji jest większa niż w twardzieli. Patogeny odpowiadające za rozkład drewna mogą być również skutecznie hamowane przez ekstrakty inkrustowane do jamek w twardzieli. Może to skutecznie utrudnić ich rozprzestrzenianie [Krahmer i Côté, 1963; Panshin i Zeeuw, 1980; Taylor i in., 2002].

### **3.1.3. Czynniki warunkujące proces twardzielowania**

Tworzenie twardzieli jest następstwem śmierci komórek miękiszowych drewna, które w strefie przejściowej, jeszcze będąc żywe, przeprowadzają szereg reakcji metabolicznych. Te reakcje prowadzą do powstania dodatkowych metabolitów, takich jak skondensowane taniny, terpeny, flawonoidy [Yang, 2004].

Każdy gatunek drzewa, ma swój indywidualny przedział czasowy, w którym rozpoczyna się proces twardzielowania. U niektórych gatunków eukaliptusów proces ten rozpoczyna się już w drugim roku życia [Dadswell, Hillis, 1962], u modrzewi w wieku około 15 lat [Pâques, 2001], u sosny między 15 a 20 rokiem życia, natomiast jesion zaczyna twardzielowanie w wieku 60-70 lat [Dadswell, Hillis, 1962]. Proces twardzielowania, od momentu rozpoczęcia, trwa nieprzerwalnie przez całe życie drzewa [Pâques, 2001]. Niektóre gatunki drzew wytwarzają twardziej w korzeniach, ale tylko w strefie przypniowej [Hillis, 1987].

Można przypuszczać, że strefa przejścia między białym, a twardzielem odgrywa istotną funkcję w przemianie bielu w twardziel [Magel, 2000; Nobuchi, 1986]. Występuje tam zwiększona aktywność enzymów zaangażowanych w syntezę metabolitów wtórnych, co może sugerować obecność genetycznych mechanizmów kontrolujących proces tworzenia twardzieli [Beritognolo, 2002]. Potwierdzono, że przynajmniej dwie grupy genów biorą udział w kontrolowaniu syntezy organicznych związków chemicznych z grupy polifenoli – flawonoidów. Pierwsza grupa zawiera geny, które kodują enzymy odpowiedzialne za biochemiczne reakcje, podczas gdy druga grupa zawiera geny, które kodują białka

regulujące ekspresję genów strukturalnych [Koes, 1994]. Początkowo uważano, że twardziel powstaje w wyniku odkładania się toksycznych produktów ubocznych powstałych w wyniku metabolizmu rośliny [Stewart, 1966]. Zostało stwierdzone, że toksyny mają zdolność do zabijania komórek miękiszowych. Istniała też teoria, na podstawie której wywnioskowano, że wysokie stężenie dwutlenku węgla w drewnie sprzyja tworzeniu substancji twardzielowych [Carrodus, 1971]. Jednakże po analizie różnych gatunków twardzieli oraz związków chemicznych na granicy białej i twardzieli dowiedziono, że twardziel nie magazynuje odpadów powstających na drodze metabolizmu rośliny [Bamber, Fukazawa, 1985]. Spicer oraz Holbrook [2007] badając środowisko gazowe otaczające miękisz tkanki drzewiastej, podważyli przypuszczenie, że jakoby niedobór tlenu może powodować zakłócenia w procesie oddychania komórek miękiszowych między białą, a twardzielą, czego następstwem byłaby śmierć tych komórek. Udowodnili, że skład gazu w pniu nie ma istotnego wpływu na oddychanie i jest mało prawdopodobne, aby spowodował śmierć miękiszu ksylemu podczas tworzenia się twardzieli. Przemieszczanie się w kierunku dośrodkowym substancji wyzwalających proces twardzielowania wzmacnia ten proces [Bamber, 1976]. Etylen – fitohormon, który jest odpowiedzialny m.in. za dojrzewanie owoców, starzenie się liści czy kwiatów jest istotnym czynnikiem w procesie twardzielowania, ponieważ przyczynia się znacznie do indukcji genów związanych z syntezą ściany komórkowej, co prowadzi do jej pogrubienia [Hillis, 1987; Taylor i in., 2002]. W okresie zimowego spoczynku, w obszarze między białym, a twardzielą, zaobserwowano większą produkcję etylenu u wielu gatunków. Jednakże nie jest znana zależność między produkcją etylenu a ilością i jakością ekstraktów twardzielowych, co należy poddać kolejnym badaniom [Hillis, 1987].

Według niektórych naukowców, twardzielowanie to proces, którego celem jest kontrola dostatecznej ilości białej w ogólnym bilansie drzewa. Ma to na celu utrzymanie strukturalnego i mechanicznego wsparcia, transportu wody, gromadzenia materiałów zapasowych. Proces twardzielowania jest ważny również ze względu na zmniejszenie zapotrzebowania energetycznego, które ponosi drzewo na utrzymanie żywych komórek miękiszowych w strefie białej [Bamber, 1976; Taylor i in., 2002; Spicer, 2005].

Proces powstawania twardzieli w drewnie nie został jeszcze do końca poznany i konieczne są dalsze badania nad tym procesem [Bieniasz i Tulig, 2020].

### 3.2.1. Biel

Tylko zewnętrzne partie drewna w pniu utrzymują zdolności transportowe [Hejnowicz Z., 2002]. Biel, zwana również drewnem bielastym lub miękkim, to zewnętrzna, jasna część drewna, która powstaje w ostatnich sezonach wzrostu rocznego i obejmuje najmłodsze słoje. Pełni trzy podstawowe funkcje: przewodzi wodę, gromadzi substancje odżywcze oraz utwardza pień [Wdowiak, 2017]. Należy pamiętać jednak o tym, że biel w swojej strukturze posiada również słoje drewna późnego, które w przeciwieństwie do drewna wczesnego nie pełnią funkcji transportowych, a przystosowane są do funkcji mechanicznych. Dowiedli tego Domec i Gartner w badaniach przeprowadzonych na drewnie wczesnym i drewnie późnym 21 daglezi *Pseudotsuga menziesii*. Wykazali oni, że drewno wczesne ma 11 razy większą przewodność właściwą wody w stosunku do drewna późnego i aż do 90% całkowitego przepływu [Domec, 2002]. Dlatego rozpatrując całkowitą powierzchnię bielu jako powierzchnię transportową, należy zredukować ją o słoje drewna późnego, ponieważ z anatomicznego oraz fizjologicznego punktu widzenia definiowanie bielu, jako strefy drewna, która całą swą powierzchnią przewodzi wodę, jest dalece nieprecyzyjne [Punches, 2004; Nawrot i in, 2009].

Biel charakteryzuje się zazwyczaj jaśniejszą barwą, odróżniającą ją od twardzieli. Z upływem czasu w bielu zachodzą zmiany. Stopniowo traci on zdolności przewodzące i spichrzowe zamieniając się w twardziel, która powstaje w wyniku zamknięcia jamek u niektórych drzew iglastych lub wytworzenia wcistek u niektórych drzew liściastych, czego następstwem jest jej obumieranie [Krzysik, 1975; Hejnowicz, 2002]. Twardziel ma znacznie ciemniejszą barwę w stosunku do bieli, dlatego łatwo rozróżnić granicę między tymi dwoma rodzajami drewna [Wdowiak, 2017].

Biel w drewnie drzew twardzielowych obejmuje od kilku do kilkudziesięciu słoików rocznych. Mają na to wpływ indywidualne cechy osobnicze danego gatunku drzew oraz pośrednio warunki siedliskowe [Krzysik F., 1975]. Dowiedli tego Mörling oraz Erika Valinger w doświadczeniu przeprowadzonym na sośnie zwyczajnej. Swoje badania oparli na pomiarach wykonanych na krążkach pobranych z pni sosen. Badali wiek, średnicę oraz średnicę twardzieli i liczbę ich słoików. Badania dokonano 12 lat po nawożeniu i zabiegu trzebieży. Przyrosty powierzchni twardzieli nie były istotne statystycznie, natomiast powierzchnia bielu zwiększyła się istotnie zarówno w wyniku nawożenia, jak i trzebieży. [Mörling, Valinger, 1999]. Potwierdza to wcześniej wspomnianą teorię Krzysika. Objętość bielu nie jest kumulatywna w przeciwieństwie do objętości twardzieli, ponieważ objętość bielu jest sumą nowych rocznych przyrostów, które są pomniejszone o straty wynikające

z procesu twardzielowania. Dlatego też wraz z wiekiem udział twardzieli wzrasta, a bielu maleje [Sellin, 1996; Taylor in., 2002].

Rozróżniamy drzewa o wąskim bielu np. cisy, które posiadają zaledwie 3-5 słoju bielastych oraz drzewa o szerokim bielu takie jak sosna. W tym wypadku ilość słoju bielastych może być równa połowie całkowitej liczby słoju drzewa [Krzysik, 1975]. Szerokość bielu jest zmienna na podłużnym przekroju pnia. Od szyi korzeniowej do połowy długości pnia wg. Krzysika [1975] biel maleje, a w górnej części drzewa stopniowo się zwiększa, by w części wierzchołkowej zajmować niemal całą powierzchnię przekroju poprzecznego. Wiek również ma duży wpływ na ilość bielu, drzewa młode mają go więcej niż drzewa stare [Krzysik, 1975].

Biel w drzewie żyjącym jest mniej podatny na rozkład w stosunku do twardzieli. Świadczy o tym fakt powstawania oraz dalszego rozprzestrzeniania się zgnilizny w obszarze przyrdzeniowym. Dzieje się to za sprawą jednej z funkcji, jaką pełni biel, czyli transportu wody przez komórki, a co za tym idzie biel posiada bardzo mało przestrzeni wypełnionych powietrzem, które są niezbędne do powstania środowiska odpowiedniego do rozwoju grzybów. Odwrotnie ma to miejsce w przypadku bielu wysychającego po ścięciu. Jest on wtedy szybciej atakowany przez patogeny, ponieważ wysychając osiąga optimum wilgotności sprzyjającej rozwojowi patogenu, dodatkowo zawiera on substancje odżywcze, które są niezbędne w szybkim rozroście grzybów. Twardziel wtedy zachowuje się tak samo jak za życia drzewa, ponieważ zaopatrzony jest w garbniki oraz inne związki antyseptyczne, które tworzą barierę przed patogenami [Krzysik, 1975].

### **3.3. Czynniki wpływające na rozmiar drzew**

Jedną z miar, którą możemy określić sukces ekologiczny danego osobnika jest osiągnięty przez niego rozmiar [Closset-Kopp i in., 2011]. W przypadku drzew najczęściej wykorzystywaną miarą jest przyrost drewna na grubość, jest to efekt aktywności merystemów bocznych. Bezpośredni wpływ na aktywność tkanek twórczych, a co za tym idzie na szerokość słoja rocznego, mają warunki klimatyczne oraz inne zaburzenia oddziałujące bezpośrednio i pośrednio na aktywność merystemów [Kokociński, 2005]. Woda zawarta w glebie jest jednym z czynników warunkujących przyrost radialny w danym roku [Wertz, 2012].

Bardzo duże znaczenie ma swobodna dostępność wody na początku okresu wegetacyjnego, czyli wtedy, gdy drzewa tworzą drewno wczesne [Wilczyński, 2013]. Ponadto, wraz ze wzrostem temperatury powietrza, wzrasta intensywność transpiracji i parowania, co skutkuje zwiększeniem grubości przyrostów rocznych [Wilczyński 2013].

Jednak w przypadku braku lub nieodpowiedniej ilości czynników, które spełniają zapotrzebowanie danej rośliny na optimum wzrostowe (np. zbyt mała ilość składników odżywczych w glebie), wpływ klimatu na przyrosty roczne może być znikomy [Dyderski i in., 2015].

### **3.4. Transport wody oraz substancji mineralnych w drzewie**

Przemieszczanie się wody wraz z substancjami mineralnymi w drzewie oraz funkcjonowanie wszystkich żywych systemów wewnątrz jest zgodne i podlega podstawowym prawom fizyki [Nobel, 1999]. Odpowiedzialne są za to dwa zjawiska: pompowanie wody pod zwiększonym ciśnieniem przez korzenie, tzw. zjawisko parcia korzeniowego oraz zjawisko ssania, czyli podciśnienia wytwarzanego przez liście w procesie transpiracji.

Gdy woda, a wraz z nią substancje mineralne niezbędne do prawidłowego rozwoju rośliny, są pobierane przez włosniki korzeniowe, przenika ona przez tkanki, aż osiągnie naczynia przewodzące. Tam, pod wpływem zwiększonego ciśnienia, czyli tzw. parcia korzeniowego, przemieszcza się w górę. W następnym etapie jest zasysana przez liście w wyniku wytworzenia podciśnienia, będącego ubocznym skutkiem transpiracji. Siła ssąca w liściach roślin drzewiastych osiąga 100–150 kPa. Aby jednak utrzymać słupek wody w drzewie, wymagane jest współdziałanie dwóch dodatkowych sił: kohezji, czyli przyciągania cząsteczek cieczy do siebie oraz adhezji, czyli przylegania cieczy do drewna, dzięki czemu utrzymywany jest wewnętrzny słupek wody w drewnie [Nobel, 1999; Kopcewicz, Lewak, 2005].

Na szybkość przemieszczania się cieczy w ksylemie mają wpływ opory, jakie napotyka ciecz oraz powierzchnia tkanek przewodzących. Powierzchnię przewodzenia zazwyczaj porównuje się z masą lub powierzchnią aparatu asymilacyjnego i wyraża, jako względną powierzchnię przewodzenia [Jelonek i in., 2009].

### **3.5. Transport wody, a wielkość korony**

Między masą ulistnienia, a zdolnością przewodzenia wody istnieje ścisła współzależność. Za pioniera w tej dziedzinie badań uważa się Burgera [1929, 1941], który to prowadził swoje badania na wybranych środkowoeuropejskich drzewach, badając ciężar ulistnienia i zestawiając je z wybranymi elementami drewna.

Badania te były kontynuowane przez wielu naukowców, m.in. Marksa [1974], który skupił się na opisanu wielkości ulistnienia czeremchy zwyczajnej, odnosząc je do wielkości

przyrostu masy drzewnej oraz wpływu na zaburzenia ekosystemów. Mohler i inni [1978] badali niejednorodne zmiany w strukturach zewnętrznych drzew podczas samoistnego przeredzania się drzewostanów w wyniku naturalnego wydzielania się drzew, natomiast Albrektson [1980], na podstawie badania frakcji biomasy w drzewostanach sosnowych, podejmował próby opisu zmian udziału igliwia podczas rozwoju drzewostanu. Badania te znacząco wpłynęły na rozwój i stan wiedzy na temat współzależności między masą ulistnienia a tkanką drzewną różnych części drzewa.

W świecie naukowym swoje miejsce ma wiele teorii mówiących nam o zależnościach pomiędzy wielkością aparatu asymilacyjnego, a powierzchnią przewodzącą drewna. Najbardziej rozpowszechniona jest teoria modelu rur (Pipe Model Theory – PMT) zaproponowana przez Shinozaki i in [1964]. PMT zakłada ścisłą współzależność między powierzchnią przewodzącą w drewnie, a wielkością – masą aparatu asymilacyjnego, o czym świadczy wysoka regresja pomiędzy powierzchnią bielu, a powierzchnią aparatu asymilacyjnego. Z tego względu ma ona duży wpływ na proporcje między powierzchnią bielu, a powierzchnią twardego drewna w strzałach drzew [Nawrot i in., 2008]. Według tej teorii, wzrost i rozwój rośliny bądź drzewa, determinowany jest przez przepływ wody oraz substancji mineralnych od korzenia do liści poprzez „rurę”.

Wielu badaczy podjęło się na przestrzeni lat rozwoju oraz modyfikacji tej teorii [Mäkelä, Albrektson, 1992; Berninger, Nikinmaa, 1994; Vanninen i in., 1996; Mäkelä, Vanninen, 2001], aby lepiej zbadać zależność pomiędzy powierzchnią przewodzącą (bielem) a powierzchnią i masą aparatu asymilacyjnego. Wykazano, że dzięki PMT można oszacować powierzchnię liści na podstawie wiedzy o przekroju poprzecznym bielu [Waring i in., 1982]. Do podobnego wniosku doszedł Marchand badając korelacje powierzchni przekroju bielu do powierzchni rzutu korony u jodły balsamicznej oraz świerka czerwonego. Wykazał, że te zależności są bardzo ściśle ze sobą powiązane, nawet przy próbach na drzewach z różnych stanowisk w obrębie tego samego gatunku [Marchand, 1983]. Modyfikacja MPM pozwoliła na obliczanie ilości biomasy metodami nieniszczącymi strukturę drewna [Albrektson, 1984]. Czynniki, które mają duży wpływ na związek pomiędzy powierzchnią ulistnienia a powierzchnią bieli, są jej przepuszczalność oraz lokalny klimat, a więc jego wpływ na intensywność transpiracji [Whitehead i in., 1984]. Robichaud oraz Methven dowiedli na podstawie badań przeprowadzonych na świerku czarnym, że wykorzystanie pola powierzchni przekroju bielu jest bardzo przydatne jako predyktor biomasy igliwia dla tego gatunku [Robichaud, Methven, 1992].

Vanninen i in. [1996] badali zależności między masą ulistnienia a wiekiem, powierzchnią bielu, wysokością drzewa oraz powierzchnią korony w świetle warunków wzrostu i rozwoju

drzewa. Według przedstawionych wyników istnieje duża zbieżność ( $R^2 = 0,87$ ) pomiędzy powierzchnią przekroju bielu u podstawy korony, a biomasą igieł. Związki te według badaczy są zmienne w zależności od warunków wzrostu i rozwoju drzewa, w tym również od siedliska, jakie zajmuje dane drzewo. Wykazano również większą ilość biomasy igieł w przeliczeniu na powierzchnię poprzeczną bielu u drzew rosnących na uboższych siedliskach. Może być to podyktowane mniejszą aktywnością aparatu asymilacyjnego względem drzew wznoszących się na bogatszych siedliskach. Przyczyny tego stanu rzeczy można również doszukiwać się w mniejszej zdolności transportowej powierzchni aktywnej bielu na siedliskach uboższych.

Chiba podjął próbę zbadania biologicznych następstw pola przekroju pnia oraz sprawdzenia tych zależności pod względem powierzchni aparatu asymilacyjnego dla różnych drzewostanów [Chiba, 1998]. Jest również jednym ze współautorów tworzących teorię o procesie wzrostu drzewa, który kierowany jest przez przemieszczającą się w czasie życia drzewa koronę [Chiba i in., 1988].

Następstwem tej teorii było stworzenie przez Osawa i in. [1991] model Profile Theory (PT). Ich teza utrzymywała, że nie ma żadnej zmiany w pionowym rozmieszczeniu biomasy ulistnienia w czasie życia drzewa oraz, że powierzchnia przekroju poprzecznego bielu zwiększa się wraz ze wzrostem powierzchni ulistnienia. Związek ten pozostaje na takim samym poziomie w ciągu całego czasu życia drzewa w jego całej długości.

Mörling wykazał, że nawożenie oraz zabiegi trzebierzowe mają istotny wpływ na powierzchnię bielu oraz biomasę igieł na jednostkę powierzchni bieli. Po 12 latach od tych zabiegów przeprowadzono badania oraz wykazano wzrost powierzchni bielu oraz znaczny wzrost biomasy igieł. Przyrosty twardzieli nie były istotnie statystycznie, dlatego można sądzić, że takie czynności nie wpływają istotnie na jej powierzchnie [Mörling, Valinger, 1999]. McDowell w swych badaniach wykazał, że stosunek powierzchni bielu do powierzchni aparatu asymilacyjnego zmniejsza się wraz z wiekiem oraz wzrostem drzewa [McDowell i in., 2002]. Teoria modelu rur może być przydatna do oceny oraz kategoryzowania funkcji ekosystemów leśnych [Yukihiro, 1998].

Istnieją również badania, które przeczą istotności MPT.

Wyniki przedstawione przez Mäkelä i Vanninen [2001] świadczą o tym, że miąższość masy ulistnienia w stosunku do przekroju poprzecznego gałęzi szybko maleje w dolnej części korony. Zmiana ta ma większą dynamikę niż proces twardzielowania w gałęziach. Może to świadczyć przeciw stwierdzeniu, że aktywne rury są zawsze utożsamiane z bielem, co w rzeczy samej stanowi dowód przeciw teorii PMT.

Robichaud oraz Methven [1992] uzyskali istotną zależność między powierzchnią przekroju poprzecznego, a biomasa ulistnienia, co potwierdziło hipotezę o możliwościach szacowania masy zielonej drzewa na podstawie powierzchni przewodzącej. Natomiast w kwestii zależności między biomasa ulistnienia, jakością siedliska a wiekiem drzewa stwierdzono brak istotnych zależności, co świadczy przeciwko aplikacyjnemu znaczeniu PMT [Robichaud R., 1992].

### **3.6. Siedlisko, a wielkość aparatu asymilacyjnego**

Według Assmanna [1968] dużą determinantą wpływającą na wielkość aparatu asymilacyjnego jest jakość siedliska, na którym wzrasta dane drzewo. Im słabsze siedlisko, tym większa ilość masy zielonej musi zostać wytworzona, aby skompensować braki siedliskowo-klimatyczne i umożliwić wytworzenie tej samej ilości tkanki drzewnej, jak w przypadku drzewa rosnącego na bogatszym siedlisku. Stąd właśnie czasami drzewa o mocno rozwiniętych koronach produkują mniej tkanki drzewnej w stosunku do osobników tego samego gatunku o mniejszych koronach, ale wzrastających w lepszych warunkach, nawet w obrębie jednego drzewostanu [Assman, 1968]. Ponadto Schmidt [1953], Burger [1937] oraz Lemke [1966] wykazali w badaniach, że oprócz wspomnianego powyżej czynnika siedliskowo-klimatycznego istnieje jeszcze szereg czynników wpływających na możliwości aparatu asymilacyjnego. Jednym z nich jest zdolność adaptacyjna organizmu, czyli możliwość przystosowania się drzewa do danych warunków glebowo-klimatycznych [Shmit, 1953; Burger, 1953; Lemke, 1966].

Wiek fizjologiczny drzewa wpływa istotnie na wydajność koron. Swoje maksimum osiągają przy średnicy 20-25 cm mierzonej na wysokości pierśnicy oraz wysokości w przedziale 12-20 metrów [Assman, 1968]. Denglera prowadząc badania nad wydajnością koron sosen wykazał, że osobniki o mniejszej powierzchni rzutu korony odznaczały się większą wydajnością niż egzemplarze o większej powierzchni korony [Dengler, 1937].

Eckmüllner oraz Sterba prowadząc badania na norweskim świerku pospolitym wykazali zależność między powierzchnią bielu, a masą igieł oraz kondycją korony. Stwierdzili oni, że wydajność korony zależy bezpośrednio od masy igieł. Siedlisko oraz wiek drzew nie są istotnie znaczące [Eckmüllner, Sterba, 2000].

### 3.7. Warunki siedliskowe, żyzność siedliska, przystosowanie gatunku

Na wzrost i pokrój drzew mają wpływ czynniki z różnych grup. Do czynników istotnych należy zaliczyć zmienność genetyczną. Można tutaj rozważać różnice genetyczne, a co za tym idzie różne przystosowanie do siedlisk leśnych między gatunkami drzew [Bolibok, Brzeziecki, 2000; Ishii i in., 2000] jak i różnice w ekotypach jednego gatunku [Assman, 1968; Kramer i in., 1988; Oliver, Larson, 1996].

Kolejnym istotnym czynnikiem determinującym prawidłowy wzrost i rozwój drzew są warunki środowiskowe. Można je podzielić na dwie grupy: czynniki niezwiązane bezpośrednio z drzewostanem (warunki siedliskowe), takie jak klimat, warunki glebowe i topograficzne, oraz czynniki i cechy samego drzewostanu, takie jak forma zmieszania, piętrowość, skład gatunkowy itp. [Ishii i in., 2000]. Wszystkie gatunki drzew mają określone przedziały, w których mogą wzrastać, jednak dla każdego z nich najlepsze są warunki optymalne [Załęski, Kantorowicz, 1998].

Cechy drzewostanu, wzajemne oddziaływania i wynikające z tego różnice allometryczne u drzew leśnych były wielokrotnie przedmiotem badań [Schmidt- Vogt, 1986; Kohyama i in., 1990; Hasenauer, Monserud, 1996]. Również zmienność architektury drzew jako związek pomiędzy zagęszczeniem, a długością korony był przedmiotem licznych badań naukowych [Assmann, 1968; Czarnowski, 1978; Kramer H. i in., 1988].

Jeżeli chodzi o wpływ siedliska na pokrój drzew, to ta kwestia nie doczekała się tak wielu publikacji. Najwięcej badań skupiło się na wpływie klimatu. Dużo badań wykonano w aspekcie gradientu wysokości w odniesieniu do pokroju drzew [Socha, 1998; Orzeł, Socha, 1999].

Zmiana wysokości, a co za tym idzie zmiana warunków klimatycznych jest bardzo wyraźna szczególnie w wyższych partiach górskich. Oddziałuje ona bardzo na drzewa, szczególnie w świerku przeważa nad innymi czynnikami [Kliczkowska, 2000]. Stosunkowo szeroko zostały przeprowadzone badania na temat zależności między jakością siedliska, a klasą bonitacji głównych gatunków drzew w Polsce [Przybylski, 1993].

Wyniki badań nad wymaganiami glebowo-siedliskowymi dębu były wielokrotnie opisywane [Zaręba, 1988; Brzeziecki, 1995; Zarzycki i in., 2002; Andrzejczyk, 2009; Jaworski, 2011].

Oba rodzime gatunki dębu charakteryzują się dość dużymi wymaganiami siedliskowymi. Należy jednak zwrócić uwagę, że dla dębu szypułkowego najodpowiedniejsze są siedliska żyzne, megatrofemiczne (jest gatunkiem o dużych wymaganiach pokarmowych), natomiast dąb bezszypułkowy preferuje siedliska średnio żyzne, mezotroficzne (gatunek o średnich wymaganiach) [Włoczewski, 1968]. Warunki klimatyczne są podstawowym determinantem

warunkującym wielkość przyrostu rocznego drzew [Fritts, 1976; Schweingruber, 1996]. Szczególne znaczenie ma dynamika warunków klimatycznych, zarówno ta w ujęciu rocznym jak i miesięcznym. Te zmienne warunki, często ekstremalne dla danej rośliny mogą powodować zakłócenia we wzroście, funkcjonowaniu, a w ekstremalnych przypadkach obumarciu części lub śmierć całej rośliny [Tumiłowicz, 2000].

Dąb szypułkowy (*Quercus robur* L.) jest najliczniejszym spośród gatunków dębów rosnących w Polsce. W początkowych latach swojego wzrostu rośnie powoli. W swoim optimum siedliskowym potrafi dorosnąć do 40 metrów wysokości. W porównaniu do inwazyjnego gatunku, czyli dębu czerwonego ma większe wymagania odnośnie siedliska. Wymaga gleb świeżych, bogatych w związki mineralne i organiczne [Seneta, 2008; Andrzejczyk, 2009]. Średnia temperatura minimalna czerwca oraz suma opadów, to według Ermicha [1953] główne czynniki warunkujące przyrost średnicy dębów. Natomiast Bednarz i Ptak [1990] badając dęby rosnące na siedlisku lasu wilgotnego wykazali, że niedobory wody w czerwcu i w lipcu tj. w okresie ich najintensywniejszego wzrostu, są czynnikami ograniczającymi ich przyrost na grubość. Na przyrosty dębów ma według Krawczyka i Krąpca [1999] wpływ temperatura maja oraz opady czerwca i lipca. Jednakże należy pamiętać, że współczynniki korelacji nie były zbyt wysokie w uzyskanych badaniach i w związku z tym należy prowadzić dalsze badania, które poszerzą wiedzę na ten temat.

Zazwyczaj preferencje siedliskowe drzew leśnych w zakresie żyzności i wilgotności przedstawia się za pomocą diagramów, na których zaznacza się amplitudę ekologiczną i optimum siedliskowe dla danego gatunku. Oba rodzime gatunki dębów zostały tak scharakteryzowane przez Ellenberga [1978] oraz w późniejszym czasie przez Timbala i Aussenaca [1996]. Oba gatunki występują prawie na całym obszarze naszego kraju oraz w wielu naturalnych zespołach leśnych [Zaręba, 1988; Barzdajn, Zientarski, 1993]. Preferują strefę klimatu umiarkowanie ciepłego. Dąb bezszypułkowy preferuje klimat morski i przejściowy, natomiast dąb szypułkowy strefę klimatu kontynentalnego [Boratyński i in., 2006]. Przedział ekologiczny oraz optimum siedliskowe dla obu dębów w naszym kraju przedstawił Andrzejczyk [2016] w postaci układu typologicznej siatki leśnych siedlisk. Amplituda ekologiczna została w tym przypadku opracowana na podstawie siedlisk leśnych z udziałem dębu szypułkowego oraz bezszypułkowego. Natomiast optimum siedliskowe zostało określone na podstawie struktur siedlisk, na których występują wyłączone drzewostany nasienne (WDN) i klasy bonitacji dębu. Uzyskane analizy potwierdzają odmienne preferencje w odniesieniu do siedlisk wilgotnych [Andrzejczyk, 2016].

### 3.8. Wykorzystanie metod dendrochronologicznych

Dendrochronologia powstała pierwotnie jako metoda datowania obiektów drewnianych na podstawie przyrostów rocznych. Z czasem okazało się, że wydatowane przyrosty roczne można wykorzystać do analizy wielu zjawisk występujących w przeszłości i mających wpływ na postawanie przyrostów. Z prostej metody datowania powstały metody pochodne, takie jak dendroekologia, umożliwiająca analizę zmian w środowisku [Rodríguez-Ramírez, 2020], dendroklimatologia, umożliwiająca rekonstrukcje klimatu [Howard i in., 2023], dendrochronopyrologia, pozwalająca datować historyczne pożary [Xiao Chun i Ying, 2009, Howard i in., 2021], oraz wiele innych, takich jak dendropaleologia, dendrowulkanologia, dendroarcheologia itd.

W przypadku dębów, z uwagi na długość życia drzew, właściwości drewna i zachowanie w dobrym stanie znalezisk archeologicznych, powstały bardzo długie chronologie [Zielski i Krąpiec, 2015; Čufar i in., 2008; Souto-Herrero, 2017; Sochova i in., 2021]. W Polsce w drugiej połowie lat osiemdziesiątych, opracowano pierwsze datowane wzorce dendrochronologiczne. [Ważny, 1986; Goslar, 1987; Zielski, 1987; Krąpiec, 1988]. W miarę postępu badań i rozwoju nauki okazało się niezbędnym stworzenie oddzielnych badań chronologicznych dla obszaru Polski północnej, centralnej oraz południowej. [Ważny, Eckstein, 1991; Krąpiec, 1992, 1996]. Kolejnym etapem była jeszcze dokładniejsza regionalizacja chronologii podstawowych gatunków drzew występujących rodzimie w Polsce, czyli: dębów, sosny oraz jodły (na południu Polski) [Krąpiec, 2001; Zielski, 1997; Szychowska–Krąpiec, 1997; Szychowska–Krąpiec, Krąpiec, 2001;]. Specyfika dębu oraz uniwersalność jego występowania sprawiły, że stworzono dla niego najdłuższe łańcuchy chronologii dla Europy [Ważny, 1990; Krąpiec, 1996]. Dla południowych terenów Polski zajmowanych przez ten gatunek liczy on ponad 2500 lat, od 474 BC do 1997 AD [Krąpiec, 1998]. Tak długi okres datowania sprawił, że dąb stał się atrakcyjnym gatunkiem, dzięki któremu można stworzyć rekonstrukcję klimatu ubiegłych wieków. W niniejszej pracy wykorzystano metody dendroekologiczne do oceny zachowania się drzewostanów dębowych w przeszłości. Wszelkie badania przestrzeni życiowej drzew i badania klasycznej dendrometrii oparte o przyrosty roczne dają tylko chwilowy obraz drzewostanu w momencie jego badania. Wszelkie uchwycone zależności są tylko częściowe, gdyż dotyczą stanu zastanego. Najlepszym rozwiązaniem byłby pełny monitoring drzewostanów przez cały okres ich wzrostu, jednak w obecnej praktyce nie jest to możliwe. Pozostają badania retrospekcyjne. Badania dendrochronologiczne również nie są pozbawione wad, ale pozwalają dość precyzyjnie określić odpowiedź przyrostu radialnego na określone czynniki w przeszłości. Bronisz i in. [2012], w analizach dendrochronologicznych dębu

szypułkowego rosnącego w centralnej Polsce, udowodnili wyraźnie negatywny wpływ temperatury i pozytywny wpływ opadów na przyrost roczny. Do podobnych wniosków doszła Cedro [2007] podkreślając, że istotne dla pozytywnych reakcji były opady wiosenne i zimowe, natomiast ubogie opady latem powiązane z wysoką temperaturą powodowały powstawanie wąskich słoików rocznych. Wcześniej zwracali uwagę na podobne zjawisko również inni badacze [Santini i in., 1994] podkreślając istotność dostępu wody w okresie od maja do lipca, a więc w czasie intensywnego tworzenia się słoika rocznego. Badaniami wpływu czynników klimatycznych na rozwój przyrostów u dębów zajmowano się już od dawna [Bednarz, 1987; Bednarz i Ptak, 1990; Ważny i Eckstein, 1991; Rozas i in., 2001; Lebourgeois i in., 2004]. Szczególnie istotny jest związek między przyrostami rocznymi dębów, a opadami. Howard i in. [2023] wykorzystali ten związek do rekonstrukcji klimatycznej w Kalifornii sięgającej 440 lat wstecz. Podobne rekonstrukcje można oprzeć nie tylko na szerokości słoików, ale na wielkości naczyń drewna wczesnego [Souto-Herrero i in., 2017; Davies, Loader i in., 2020]. Współcześnie do analizy zjawisk w odległej przeszłości wykorzystuje się również inne możliwe do uzyskania informacje ze słoików rocznych dębów jak np. obecność izotopów pierwiastków [Loader, 2020; Helama i Matsvkovsky, 2020]. Pozytywny związek z opadami czerwca i lipca odnotowali badacze analizując dęby występujące w Serbii [Radaković i Stajić, 2021]. Wydaje się, że odpowiedź na brak wody skutkuje wąskim słoikiem rocznym, jednak porównując tę reakcję z analogiczną reakcją u innych gatunków, można zauważyć, że dęby prezentują znacznie bardziej złożony mechanizm niż świerki [Neuwirth i in., 2021]. Z tego względu cenne są również badania dotyczące analiz wielu gatunków równocześnie [Martínez-Sancho i in., 2020; Solomina i in., 2022; Jevsenak i in., 2024]. Meyer i in. [2020] stwierdzili znacznie większą podatność na suszę buka niż dębu, szczególnie po analizie roku 2003, w którym lato zapisało się w historii europejskiej jako jedno z najbardziej ekstremalnych, powodując negatywne konsekwencje dla wzrostu drzew [Bréda i in., 2006]. Do podobnego wniosku na temat większej podatności buka niż dębu doszli też inni badacze [Camarero i in., 2021]. Nie wszyscy jednak naukowcy wysuwają te same wnioski. Pretzsch z zespołem [2013] zauważają, że odporność dębu i buka jest podobna. Jeśli chodzi o gatunki bardziej wrażliwe na suszę, takie jak świerk, potrafią one szybciej się regenerować, podczas gdy dąb i buk robią to znacznie wolniej. Sytuacja ta dotyczyła jednak drzewostanów mieszanych bukowo-dębowych w porównaniu z drzewostanami litymi tworzonymi przez świerka [Pretzsch i in., 2013]. Wybrane badania wskazują, że dąb jest gatunkiem o różnej reaktywności i wrażliwości klimatycznej, choć pewne stałe schematy powtarzają się. Dotyczy to głównie pozytywnej reakcji na opady (wiosenne i letnie) oraz negatywnej na temperatury lata

lub końca wiosny. W zasadzie każdorazowo należy wziąć pod uwagę kompilację czynników i reakcji, ponieważ w drzewostanach litych i mieszanych reakcje mogą być różne.

Wiek drzew może być szacowany na podstawie wysokości drzewa, wielkości pnia, liczby okółków bądź kondycji korony [Pacyniak, 1992]. Takie szacowanie wieku drzew jest niedoskonałe i często obarczone błędem. Zawyżenie bądź zaniżenie wieku wynika z warunków siedliskowych i jego bezpośredniego oddziaływania na drzewo. Szczególnie dogodne warunki mogą przyczynić się do powstania szerokich przyrostów rocznych i odwrotnie, co może zmylić osobę chcącą oszacować wiek danego drzewa.

Dopiero rozwój metody dendrochronologicznej umożliwi dokładne określenie wieku drzewa. Opiera się ona na okresowym działaniu kambium związanej ze zmianami fenologicznymi [Schweingruber, 1998].

#### **4. Hipotezy robocze**

- Założono, że drzewa wyrosłe na siedliskach o różnym stopniu żyzności będą różniły się cechami biometrycznymi.
- Założono, że różnice wystąpią również w cechach makrostrukturalnych drewna.
- Założono, że zarówno cechy biometryczne jak i strukturalne będą skorelowane ze sobą, jednak w różnym stopniu, w zależności od typu siedliskowego lasu.
- Założono, że wrażliwość klimatyczna drzew wyrosłych w różnych warunkach siedliskowych nie będzie jednakowa, co może mieć istotne znaczenie dla planowania badań metodami dendrochronologicznymi.

## 5. Cel badań

- Podstawowym celem badań było ustalenie czy wrażliwość klimatyczna, wyrażona reakcją przyrostową drewna, jest uzależniona od żyzności siedliska.
- Kolejnym celem było sprawdzenie, jakie różnice występują w cechach makrostruktury drewna oraz cechach biometrycznych drzew w różnych typach siedliskowych lasu.
- W dalszej kolejności celem badań było stwierdzenie, czy istnieją różnice we wzajemnych korelacjach cech makrostrukturalnych i biometrycznych w zależności od żyzności siedliska.

Za cechy biometryczne drzew uznano cechy zewnętrzne takie jak: pierśnica, wysokość drzewa, pole powierzchni rzutu korony, współczynnik smukłości.

Za cechy makrostruktury drewna uznano cechy wewnątrz pnia takie jak: szerokość biału i twardzieli, powierzchnia biału i twardzieli, udział biału i twardzieli, dynamika twardzielowania, szerokości słoików rocznych.

Za wrażliwość klimatyczną uznano reakcję przyrostową drewna w odniesieniu do czynników klimatycznych takich jak: średnia miesięczna temperatura, suma miesięcznych opadów, 3-miesięczna i 6-miesięczna wartość współczynnika SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*), uznawanego powszechnie za indeks suszy. Parametry klimatyczne podlegały analizie w latach 1920-2023.

## 6. Metodyka

### 6.1. Położenie Nadleśnictwa Jarocin

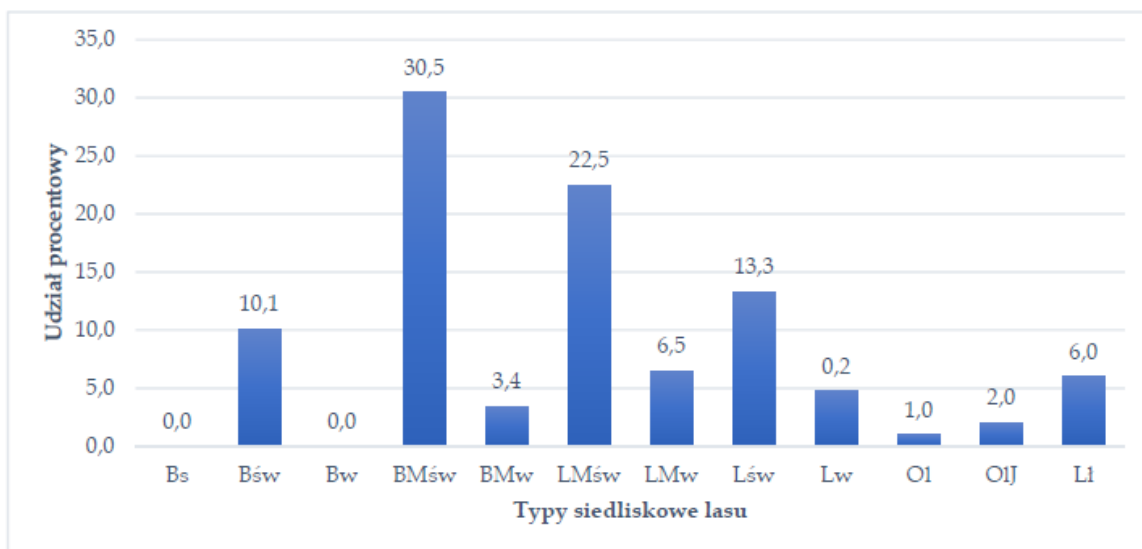
Grunty Nadleśnictwa położone są pomiędzy długościami geograficznymi wschodnimi 17°26'19"–17°41'11" oraz szerokościami geograficznymi północnymi 52°01'26"–52°09'07". Obszar ten znajduje się w województwie wielkopolskim, obejmując 5 powiatów: jarociński, krotoszyński, średzki, śremski i wrzesiński oraz 13 gmin: Jaraczewo, Jarocin, Kotlin, Żerków, Koźmin Wielkopolski, Dominowo, Krzykosy, Nowe Miasto nad Wartą, Środa Wielkopolska, Zaniemyśl, Książ Wielkopolski, Kołaczkowo i Miłostaw.

Administracyjnie teren ten dzieli się na trzy obręby: Czeszewo, Jarocin i Klęka. Nadleśnictwo Jarocin podlega Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Poznaniu, a jego siedziba znajduje się w Jarocinie.

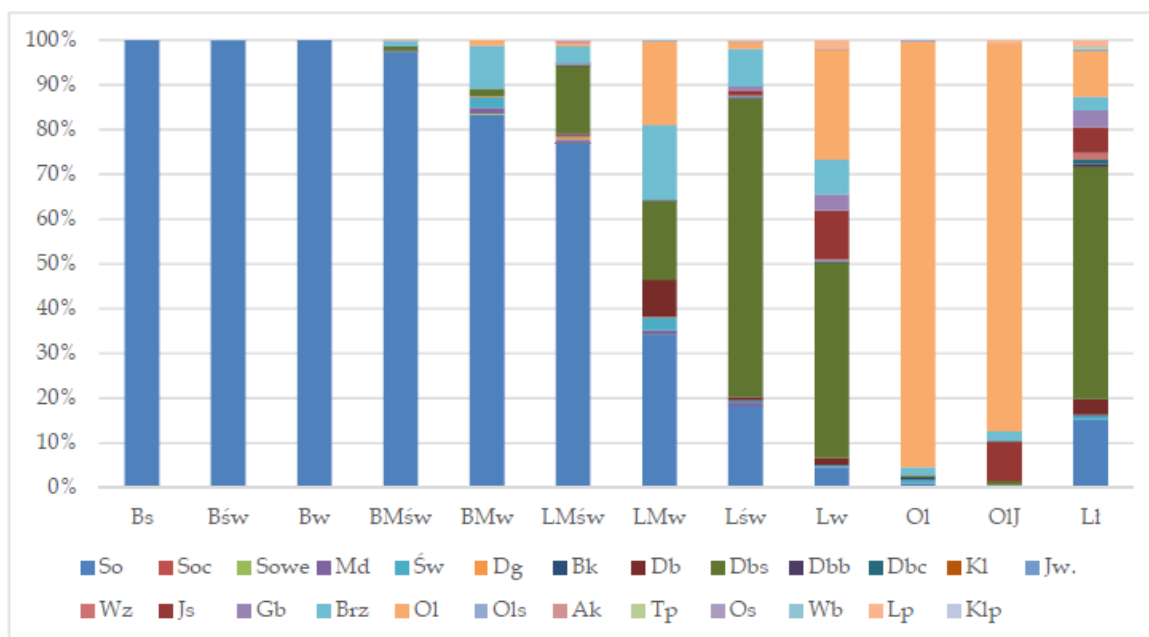
Region ten charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem geomorfologicznym, będącym wynikiem aktywności lodowca podczas zlodowacenia środkowopolskiego stadiału Mazowiecko-Podlaskiego oraz zlodowacenia bałtyckiego stadiału głównego. Charakterystycznymi elementami tego obszaru są piaski dolin rzecznych, które zostały odkryte wskutek tych lodowcowych procesów. Ponadto, po ustąpieniu lądolodu, nasiliły się działania procesów rzeźbotwórczych, które przyczyniają się do jeszcze większego zróżnicowania terenu.

Zgodnie z regionalizacją przyrodniczo-leśną, lasy Nadleśnictwa Jarocin leżą w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej, w mezoregionach: Doliny Środkowej Warty, Kotliny Śremskiej, Krotoszyńskim, Równiny Opalenicko-Wrzesińskiej oraz Wysoczyzny Leszczyńskiej [Zielony, 2012].

Dominującymi typami siedliskowymi są tutaj siedliska BMśw – 30,5% (6656,46 ha), LMśw – 22,5% (4911,50 ha) i Lśw – 13,3% (2896,77 ha), które łącznie stanowią 66,3% powierzchni leśnej. Siedliska borowe zajmują 44,0% (9618,08 ha), natomiast lasowe i olsy 56,0% (12239,96 ha) powierzchni leśnej tego obszaru (Ryc. 6.1) [BULiGł, 2023].



Ryc. 6.1 Udział procentowy poszczególnych typów siedliskowych lasu na terenie Nadleśnictwa Jarocin



Ryc. 6.2 Zestawienie powierzchniowo procentowego udziału gatunków panujących w siedliskowych typach lasu

Drzewostany w Nadleśnictwie Jarocin charakteryzują się dużą różnorodnością wiekową. Zarówno pod względem powierzchni, jak i objętości, przeważają drzewostany IIIb klasy wieku. Ogólnie, struktura wiekowa drzewostanów w całym nadleśnictwie, z dominacją klas wieku IIIb i IVa, jest korzystna w kontekście stosowanych metod gospodarki leśnej, które opierają się na stosowaniu rębni złożonych o średnim i długim okresie odnowienia. Rozkład zapasów drzew w poszczególnych klasach i podklasach wieku, oraz duże udziały drzewostanów w klasie odnowienia, gwarantują trwałość lasu i ciągłość użytkowania drzewostanów (Ryc. 6.2) [PUL Nadleśnictwo Jarocin, 2019].

## 6.2. Prace terenowe

Próbki do badań pochodziły z dwunastu powierzchni leżących w zasięgu administracyjnym Nadleśnictwa Jarocin podlegającego Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Poznaniu.

W przyjętej metodyce wybrano po cztery powierzchnie dla każdego badanego typu siedliskowego lasu:

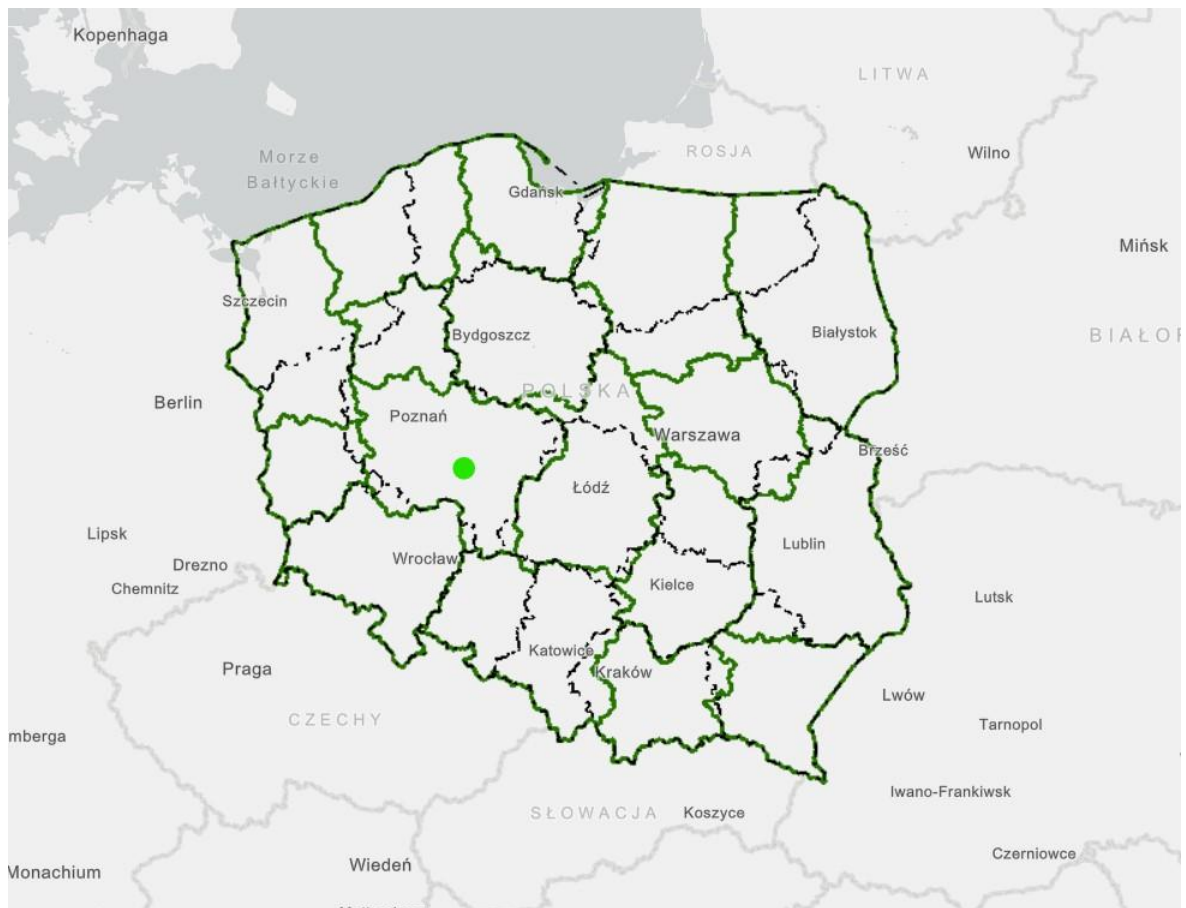
4 – BMśw,

4 – LMśw,

4 – Lśw.

Tabela 6.1 Adresy leśne drzewostanów wytypowanych do badań

L.p.	Tsl	Adres leśny	Oznakowanie
1	BMśw	09-07-1-02-83-i-00	1-B
2	BMśw	09-07-1-02-85-i-00	2-A
3	BMśw	09-07-2-13-14-b-99	3-T
4	BMśw	09-07-2-13-14-1-00	4-T
5	LMśw	09-07-1-02-136-b-00	5-E
6	LMśw	09-07-1-05-10-f-00	6-D
7	LMśw	09-07-2-13-31-b-00	7-H
8	LMśw	09-07-2-13-31-c-00	8-H
9	Lśw	09-07-1-05-137-f-00	9-I
10	Lśw	09-07-1-05-120-d-00	10-C
11	Lśw	09-07-3-22-256-f-00	11-G
12	Lśw	09-07-3-22-255-a-00	12-F



Ryc. 6.3 Lokalizacja Nadleśnictwa Jarocin

źródło: <https://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/mapy>



Ryc. 6.4 Lokalizacja wydzielenia 83 – i – 00

Tabela 6.2 Opis taksacyjny wydzielenia 83 – i – 00

Dane ogólne

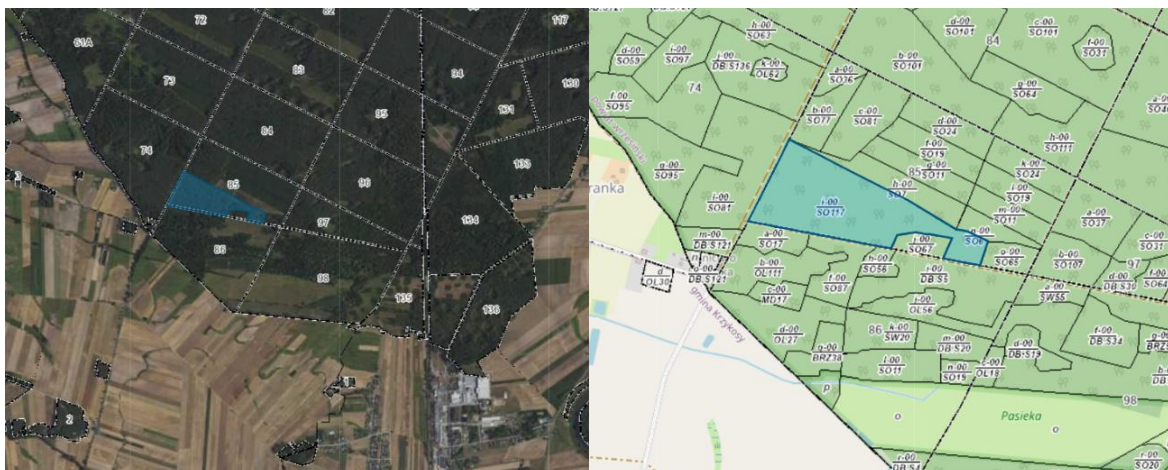
Pow.	Gosp.	Wiek rębni	R. pow.	B. pion	Tsl	Uwilg.	Typ gl.
5,26	GZ	100	D-STAN	DRZEW	BMśw	Ś	RDb

Warstwy drzewostanu

Warstwa	Zmieszanie	Zwarcie	Zadrzewienie	Zagęszczenie
DRZEW		UM	0,7	UM PRZ
PODRII			0,2	
PODSZ			0,7	

Gatunki w warstwach drzewostanu

Warstwa	Gat.	Udział	Wiek	Pier. (cm)	Wys. (m)	Bonitacja	Zasobność (m <sup>3</sup> /ha)
DRZEW	So	10	90	30	26	I	286
DRZEW	Ol	MJS	90				
DRZEW	Ak	MJS	90				
DRZEW	Gb	MJS	90				
DRZEW	Brz	MJS	54				
DRZEW	Św	MJS	39				
DRZEW	Db.s	PJD	90				
PODRII	Db.s	6	39	13	13	II	15
PODRII	Db.s	2	54	18	17	II	10
PODRII	Db.s	2	24				



Ryc. 6.5 Lokalizacja wydzielenia 85 – i – 00

Tabela 6.3 Opis taksacyjny wydzielenia 85 – i – 00

Dane ogólne

Pow.	Gosp.	Wiek rębń	R. pow.	B. pion	Tsl	Uwilg.	Typ gl.
10,32	O	100	D-STAN	2 PIĘTR	BMśw	SŚ	RDb

Warstwy drzewostanu

Warstwa	Zmieszanie	Zwarcie	Zadrzewienie	Zagęszczenie
IP	GRP	PRZ	0,7	PRZ UM
IIP		LUŻ	0,2	
PODSZ			0,4	

Gatunki w warstwach drzewostanu

Warstwa	Gat.	Udział	Wiek	Pier. (cm)	Wys. (m)	Bonitacja	Zasobność (m <sup>3</sup> /ha)
IP	So	10	117	33	22	III	200
IP	Db.s	MJS	117				
IIP	Db.s	8	64	16	17	III	34
IIP	Św	2	64	20	20	III	11
IIP	Db.s	MJS	44				
Podsz.	Db						
Podsz.	Kru						
Podsz.	Brz						



Ryc. 6.6 Lokalizacja wydzielenia 14 – b – 99

Tabela 6.4 Opis taksacyjny wydzielenia 14 – b – 00

Dane ogólne

Pow.	Gosp.	Wiek rębń	R. pow.	B. pion	Tsl	Uwilg.	Typ gl.
5,26	GZ	100	D-STAN	DRZEW	BMśw	Ś	RDb

Warstwy drzewostanu

Warstwa	Zmieszanie	Zwarcie	Zadrzewienie	Zagęszczenie
DRZEW		UM	0,7	UM PRZ
PODRII			0,2	
PODSZ			0,7	

Gatunki w warstwach drzewostanu

Warstwa	Gat.	Udział	Wiek	Pier. (cm)	Wys. (m)	Bonitacja	Zasobność (m <sup>3</sup> /ha)
DRZEW	So	10	90	30	26	I	286
DRZEW	OI	MJS	90				
DRZEW	Ak	MJS	90				
DRZEW	Gb	MJS	90				
DRZEW	Brz	MJS	54				
DRZEW	Św	MJS	39				
DRZEW	Db.s	PJD	90				
PODRII	Db.s	6	39	13	13	II	15
PODRII	Db.s	2	54	18	17	II	10
PODRII	Db.s	2	24				
PODSZ	Kru						
PODSZ	Gb						
PODSZ	Ak						



Ryc. 6.7 Lokalizacja wydzielenia 14 – 1 – 00

Tabela 6.5 Opis taksacyjny wydzielenia 14 – 1 – 00

#### Dane ogólne

Pow.	Gosp.	Wiek rębń	R. pow.	B. pion	Tsl	Uwilg.	Typ gl.
1,35	GZ	100	D-STAN	DRZEW	BMśw	Ś	RDb

#### Warstwy drzewostanu

Warstwa	Zmieszanie	Zwarcie	Zadrzewienie	Zagęszczenie
DRZEW		UM	1,1	UM DUŻE
DRZEW			0,2	

#### Gatunki w warstwach drzewostanu

Warstwa	Gat.	Udział	90	Pier. (cm)	Wys. (m)	Bonitacja	Zasobność (m <sup>3</sup> /ha)
DRZEW	So	10	48	15	15	II	254
DRZEW	Brz	MJS	48				
DRZEW	Db.s	MJS	48				
PODSZ	Kru						
PODZZ	Db.s						
PODSZ	Brz						



Ryc. 6.8 Lokalizacja wydzielienia 136 – b – 00

Tabela 6.6 Opis taksacyjny wydzielienia 136 – b – 00

Dane ogólne

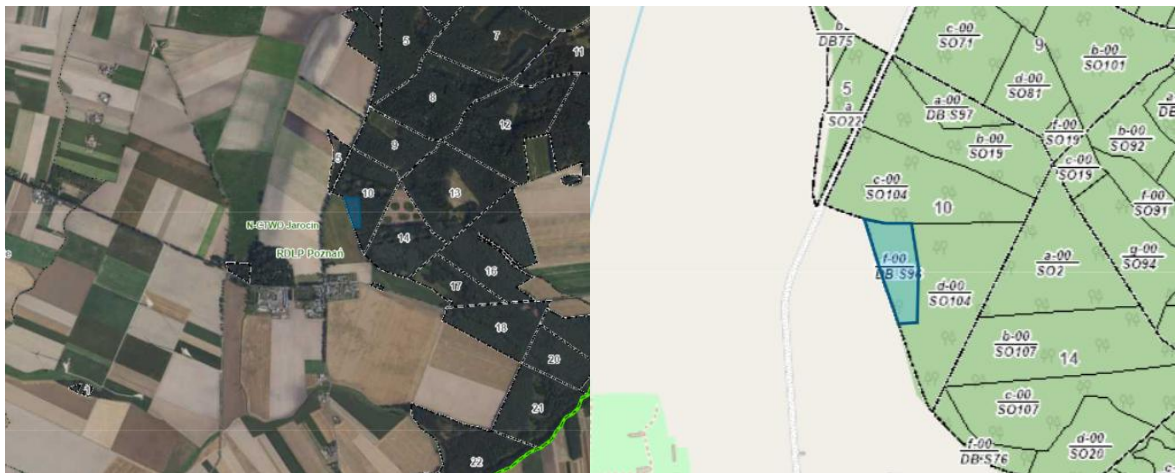
Pow.	Gosp.	Wiek rębni	R. pow.	B. pion	Tsl	Uwilg.	Typ gl.
2,32	O	140	D-STAN	2 PIĘTR	LMśw	Ś	RDbr

Warstwy drzewostanu

Warstwa	Zmieszanie	Zwarcie	Zadrzewienie	Zagęszczenie
IP	GRP	UM	0,7	UM DUŻE
IIP		LUŻ	0,3	
PODSZ			0,2	

Gatunki w warstwach drzewostanu

Warstwa	Gat.	Udział	90	Pier. (cm)	Wys. (m)	Bonitacja	Zasobność (m <sup>3</sup> /ha)
IP	Db.s	9	101	22	22	III	236
IP	So	1	101	35	24	II	33
IP	Gb	MJS	101				
IP	Gb	MJS	74				
IIP	Gb	10	54	16	16	III	53
PODSZ	Gb						
PODSZ	Wz						
PODSZ	Kl						



Ryc. 6.9 Lokalizacja wydzielienia 10 – f – 00

Tabela 6.7 Opis taksacyjny wydzielienia 10 – f – 00

Dane ogólne

Pow.	Gosp.	Wiek ręb.	R. pow.	B. pion	Tsl	Uwilg.	Typ gl.
1,43	GPZ	140	D-STAN	DRZEW	LMśw	Ś	RDb

Warstwy drzewostanu

Warstwa	Zmieszanie	Zwarcie	Zadrzewienie	Zagęszczenie
DRZEW	GRP	UM	0,7	UM DUŻE
PODSZ			0,2	

Gatunki w warstwach drzewostanu

Warstwa	Gat.	Udział	Wiek	Pier. (cm)	Wys. (m)	Bonitacja	Zasobność (m <sup>3</sup> /ha)
DRZEW	Db.s	10	96	31	23	III	241
PODSZ	Db.s						
PODSZ	Czm.p						



Ryc. 6.10 Lokalizacja wydzielenia 31 – b – 00

Tabela 6.8 Opis taksacyjny wydzielenia 31 – b– 00

Dane ogólne

Pow.	Gosp.	Wiek rębni	R. pow.	B. pion	Tsl	Uwilg.	Typ gl.
5,37	GPZ	140	D-STAN	KO	LMśw	Ś	RDbr

Warstwy drzewostanu

Warstwa	Zmieszanie	Zwarcie	Zadrzewienie	Zagęszczenie
IP	GRP	LUŻ	0,4	
IIP		LUŻ	0,1	
PODR			0,4	
PODSZ			0,5	

Gatunki w warstwach drzewostanu

Warstwa	Gat.	Udział	Wiek	Pier. (cm)	Wys. (m)	Bonitacja	Zasobność (m <sup>3</sup> /ha)
IP	Db.s	10	141	51	26	III	222
IP	So	MJS	141				
IIP	Św	5	84	25			57
IIP	Św	2	54	17			13
IIP	So	1	84	26			10
IIP	Brz	1	84	23			4
IIP	Gb	1	54	16			5
IIP	Gb	MJD	84				
IIP	Db.s	PJD	54				
IIP	Brz	PJD	54				
PODR	Db.s	9	11	1			
PODSZ	Lp	1	11	1			
PODSZ	Kru						
PODSZ	Brz						
PODSZ	Gb						



Ryc. 6.11 Lokalizacja wydzielenia 31 – c – 00

Tabela 6.9 Opis taksacyjny wydzielenia 31 – c – 00

Dane ogólne

Pow.	Gosp.	Wiek ręb.	R. pow.	B. pion	Tsl	Uwilg.	Typ gl.
2,60	GPZ	100	D-STAN	KO	LMśw	Ś	P

Warstwy drzewostanu

Warstwa	Zmieszanie	Zwarcie	Zadrzewienie	Zagęszczenie
DRZEW	DKĘP	UM	0,9	UM PRZ
PODSZ			0,4	

Gatunki w warstwach drzewostanu

Warstwa	Gat.	Udział	Wiek	Pier. (cm)	Wys. (m)	Bonitacja	Zasobność (m <sup>3</sup> /ha)
DRZEW	So	5	59	29	25	IA	100
DRZEW	Db.s	3	59	26	23	I	91
DRZEW	Brz	1	59	25	24	I	29
DRZEW	Bk	1	39	13	15	I	16
DRZEW	Md	MJS	59				
DRZEW	Gb	PJD	59				
DRZEW	Gb	PJD	39				
DRZEW	Db.s	PJD	39				
PODSZ	Kru						
PODSZ	Jrz						
PODSZ	Gb						



Ryc. 6.12 Lokalizacja wydzielania 137 – f – 00

Tabela 6.10 Opis taksacyjny wydzielania 137 –f – 00

Dane ogólne

Pow.	Gosp.	Wiek rębni	R. pow.	B. pion	Tsl	Uwilg.	Typ gl.
5,23	O	100	D-STAN	2 PIĘTR	Lśw	Ś	Pb

Warstwy drzewostanu

Warstwa	Zmieszanie	Zwarcie	Zadrzewienie	Zagęszczenie
IP	GRP	UM	0,6	UM DUŻĘ
IIP	JDN	LUŻ	0,3	
PODSZ			0,6	

Gatunki w warstwach drzewostanu

Warstwa	Gat.	Udział	Wiek	Pier. (cm)	Wys. (m)	Bonitacja	Zasobność (m <sup>3</sup> /ha)
IP	So	9	117	41	25	II	239
IP	Md	1	117	43	31	II	
IP	So.we	MJS	117				
IP	Św	MJS	117				
IP	Bk	MJS	117				
IP	Db.s	MJS	117				
IP	Jw.	MJS	117				
IP	Gb	MJS	117				
IIP	Gb	7	74	16	18	III	
IIP	Db.s	3	74	19	19	III	
IIP	Jw.	MJS	74				
IIP	Św	MJS	74				
IIP	Gb	MJS	19				
PODSZ	Gb						22
PODSZ	Jw.						
PODSZ	Czm.p						



Ryc. 6.13 Lokalizacja wydzielenia 120 – d – 00

Tabela 6.11 Opis taksacyjny wydzielenia 120 – d – 00

Dane ogólne

Pow.	Gosp.	Wiek rębni	R. pow.	B. pion	Tsl	Uwilg.	Typ gl.
6,68	O	140	D-STAN	2 PIĘTR	Lśw	Ś	Pb

Warstwy drzewostanu

Warstwa	Zmieszanie	Zwarcie	Zadrzewienie	Zagęszczenie
IP		PRZ	0,7	PRZ UM
IIP	JDN	LUŻ	0,3	
PODSZ			0,2	

Gatunki w warstwach drzewostanu

Warstwa	Gat.	Udział	Wiek	Pier. (cm)	Wys. (m)	Bonitacja	Zasobność (m <sup>3</sup> /ha)
IP	Db.s	10	121	44	26	III	324
IP	Md	MJS	121				
IP	Bk	MJS	121				
IP	Bk	MJS	164				
IIP	Gb	9	74	19	18	III	72
IIP	Św	1	74	177	16	IV	11
IIP	Bk	MJS	74				
IIP	Lp	MJS	74				
IIP	Db.s	MJS	74				
PODSZ	Gb						
PODSZ	Lp						



Ryc. 6.14 Lokalizacja wydzielienia 256 – c – 00

Tabela 6.12 Opis taksacyjny wydzielienia 256 – c – 00

Dane ogólne

Pow.	Gosp.	Wiek rębń	R. pow.	B. pion	Tsl	Uwilg.	Typ gl.
2,03	GPZ	140	D-STAN	DRZEW	Lśw	Ś	Pw

Warstwy drzewostanu

Warstwa	Zmieszanie	Zwarcie	Zadrzewienie	Zagęszczenie
DRZEW	DKEP	UM	0,6	UM PRZ
PODSZ			0,6	

Gatunki w warstwach drzewostanu

Warstwa	Gat.	Udział	Wiek	Pier. (cm)	Wys. (m)	Bonitacja	Zasobność (m <sup>3</sup> /ha)
DRZEW	Db.s	6	65	28	27	I	133
DRZEW	So	2	65	31	27	IA	66
DRZEW	Gb	1	65	30	26	I	28
DRZEW	Brz	1	65	19	20	II	21
DRZEW	Db.s	MJS	34				
DRZEW	Gb	MJS	34				
DRZEW	Lp	PJD	65				
DRZEW	Os	PJD	65				
DRZEW	Bez.c						
IIP	Jrz						
IIP	Gb						



Ryc. 6.15 Lokalizacja wydzielania 255 – a – 00

Tabela 6.13 Opis taksacyjny wydzielania 255 – a – 00

Dane ogólne

Pow.	Gosp.	Wiek rębni	R. pow.	B. pion	Tsl	Uwilg.	Typ gl.
15,76	GPZ	100	D-STAN	2 PIĘTR	Lśw	Ś	Pw

Warstwy drzewostanu

Warstwa	Zmieszanie	Zwarcie	Zadrzewienie	Zagęszczenie
IP	GRP	PRZ	0,5	PRZ UM
IIP		LUŻ	0,2	
PODSZ			0,5	

Gatunki w warstwach drzewostanu

Warstwa	Gat.	Udział	Wiek	Pier. (cm)	Wys. (m)	Bonitacja	Zasobność (m <sup>3</sup> /ha)
IP	So	5	91	37	28	I	118
IP	Db.s	5	91	34	26	II	88
IP	Lp	MJS	91				
IP	Os	MJS	91				
IIP	Gb	10	64	19	18	III	43
IIP	Św	MJS	64				
IIP	Db.s	MJS	39				
IIP	Gb	MJS	39				
PODSZ	Lsz						
PODSZ	Gb						
PODSZ	Kru						
PODSZ	Bez.c						

Na każdej powierzchni badawczej wytypowano 18 drzew reprezentujących dane wydzielenie. Wyboru dokonano losowo, zwracając jednak uwagę na kilka istotnych elementów: wybierano drzewa zdrowe o możliwie symetrycznej koronie, drzewa znajdujące się wewnątrz wydzielenia (nie okrajkowe), a także drzewa reprezentujące większość drzew dębu szypułkowego w wydzieleniu, co oznacza, że nie uwzględniano drzew skrajnie niskich, cienkich i krzywych. Łącznie wytypowano 216 drzew.

W każdym z wytypowanych drzew dokonano następujących pomiarów:

- średnicy na wysokości 1,3 m od gruntu. Podana wartość jest średnią arytmetyczną wyliczoną na podstawie dwóch prostopadłych do siebie pomiarów. Pomiar wykonywano średnicomierzem, przyłożonym do drzewa trzypunktowo w płaszczyźnie prostopadłej do osi.
- wysokości przy pomocy wysokościomierza laserowego (Nikon Forestry).
- szerokości rzutu korony w czterech podstawowych kierunkach świata: N, S, E, W, z wykorzystaniem przyrządu GRS Densitometer (Geographic Resource Solutions).

Z drzew pobrano dordzeniowe wywierty przy użyciu świdra Presslera. Pobrano je z wysokości pierśnicy, po dwa z każdego drzewa, usytuowane względem siebie pod kątem 90 stopni. Wywierty wklejono na listewki, a następnie zeszlifowano za pomocą szlifierki taśmowej, odsłaniając przyrosty roczne (Ryc. 6.16). Do szlifowania użyto taśm ściernych o trzech gradacjach: 200, 400 oraz 600. Następnie próbki zeskanowano w rozdzielczości 1200 dpi na skanerze płaskim (Epson V600).



Ryc. 6.16 Przygotowana próbka do badań

Liczbę słoików bielastych i twardełowych określono na podstawie zmian kolorystycznych obserwowanych na skanach. Jest to jedna z podstawowych metod określania ilości słoików bielastych [Sohar i in., 2012].

## 6.3. Prace kameralne

### 6.3.1. Pomiar cech makrostrukturalnych

Do pomiaru szerokości i liczby słoików bielastych oraz szerokości i liczby słoików twardzielowych wykorzystano program CooRecorder 9.8.1. Następnie wyekstrahowane dane wyeksportowano do arkusza kalkulacyjnego Excel, gdzie poddano je dalszym obróbkom.

### 6.3.2. Obliczanie powierzchni rzutu korony

Pole rzutu korony tworzy powierzchnię wieloboku, powstałego z połączenia punktów rzutu najdalej wysuniętych gałęzi w czterech kierunkach świata na płaszczyznę.

Obliczanie pola rzutu korony dla danego drzewa odbywa się w kilku etapach:

- Pierwszy etap polega na obliczeniu promienia dla każdej ćwiartki pomiarowej, korzystając z odległości zmierzonych w terenie w poszczególnych kierunkach świata.

$$r_{sr} = \frac{N + E}{2}, \quad r_{sr} = \frac{E + S}{2}, \quad r_{sr} = \frac{S + W}{2}, \quad r_{sr} = \frac{W + N}{2}$$

$r_{sr}$  – średni promień

N, E, S, W – długość rzutu korony w kierunku północnym, wschodnim itd.

- Drugi etap to obliczenie pola koła dla jednej ćwiartki za pomocą wcześniej obliczonych promieni.

$$P_k = \pi r^2$$

$P_k$  – pole koła dla poszczególnych ćwiartek

$r$  – promień dla każdej ćwiartki

- Trzeci etap polega na obliczeniu pola poszczególnych ćwiartek.

$$P_{cw} = \frac{P_k}{4}$$

$P_{cw}$  – pole ćwiartki

$P_k$  – pole koła dla poszczególnych ćwiartek

- Czwarty, końcowy etap to obliczenie całkowitej powierzchni rzutu korony dla danego drzewa poprzez zsumowanie pól powierzchni poszczególnych ćwiartek.

$$R-K = P_{cw1} + P_{cw2} + P_{cw3} + P_{cw4}$$

$R-K$  – pole rzutu korony

$P_{cw1}$  – pole ćwiartki pierwszej

$P_{cw2}$  – pole ćwiartki drugiej

P<sub>ćw3</sub> – pole ćwiartki trzeciej

P<sub>ćw4</sub> – pole ćwiartki czwartej

### 6.3.3. Współczynnik smukłości

Współczynnik smukłości jest wynikiem ilorazu wysokości (H) i średnicy drzewa (D):

$$H/D = \frac{H}{D}$$

H/D – współczynnik smukłości

H – wysokość

D – średnica

### 6.3.4. Średnia szerokość przyrostu drewna bielastego

Średnia szerokość przyrostu drewna bielastego (Przyr-B) jest wynikiem ilorazu całkowitej szerokości białego i liczby przyrostów.

$$\text{Przyr} - B = \frac{\text{szerokość białego}}{\text{liczba przyrostów białych}}$$

### 6.3.5. Średnia szerokość przyrostu drewna twardego

Średnią szerokość przyrostu drewna twardego (Przyr-T) oblicza się w analogiczny sposób, jak średnią szerokość przyrostu drewna bielastego.

$$\text{Przyr} - T = \frac{\text{szerokość twardego}}{\text{liczba przyrostów twardego}}$$

### 6.3.6. Współczynnik T/B

Współczynnik ten jest stosunkiem szerokości twardego do szerokości białego.

$$T/B = \frac{T}{B}$$

T/B – współczynnik twardego

T – szerokość twardego (mm)

B – szerokość białego (mm)

### 6.3.7. Pole powierzchni pnia

Do obliczenia pola powierzchni pnia należy zastosować wzór:

$$PPn = \pi r^2$$

PPn – pole powierzchni pnia

r – promień, czyli połowa średnicy pnia

### 6.3.8. Pole powierzchni twardzieli

Pole powierzchni twardzieli obliczamy w analogiczny sposób jak pole powierzchni pnia, podstawiając jako „r” długość promienia twardzieli.

$$PT = \pi r^2$$

PT – pole powierzchni twardzieli

r – długość promienia twardzieli

### 6.3.9. Pole powierzchni bielu

Pole powierzchni bielu jest wynikiem różnicy pola powierzchni pnia i pola powierzchni twardzieli.

$$PB = PPn - PT$$

PB – pole powierzchni bielu

PPn – pole powierzchni pnia

PT – pole powierzchni twardzieli

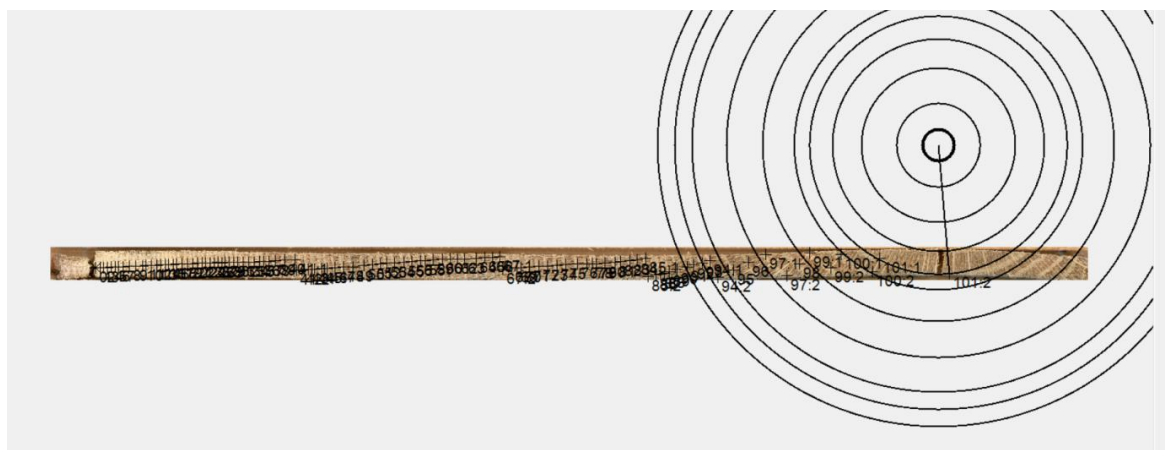
### 6.3.11. Dynamika twardzielowania

Współczynnik dynamiki twardzielowania jest wynikiem ilorazu liczby słoików twardzieli i liczby słoików bielu w pniu, na wysokości pierśnicy.

$$\text{DynT} = \frac{\text{liczba słoików twardzieli}}{\text{liczba słoików bielu}}$$

DynT – współczynnik dynamiki twardzielowania

Liczbę słojów określano na podstawie dwóch dordzeniowych wywiertów z pnia. Niektóre wywierty nie trafiły w rdzeń. Jeśli jeden z wywiertów trafił w rdzeń, liczba słojów została precyzyjnie określona. W przypadku, gdy oba wywierty nie trafiły w rdzeń, liczbę i szerokość brakujących słojów interpolowano, korzystając z odpowiedniej funkcji w programie Coorecorder (Ryc. 6.17).



Ryc. 6.17 Sposób określania liczby brakujących słojów

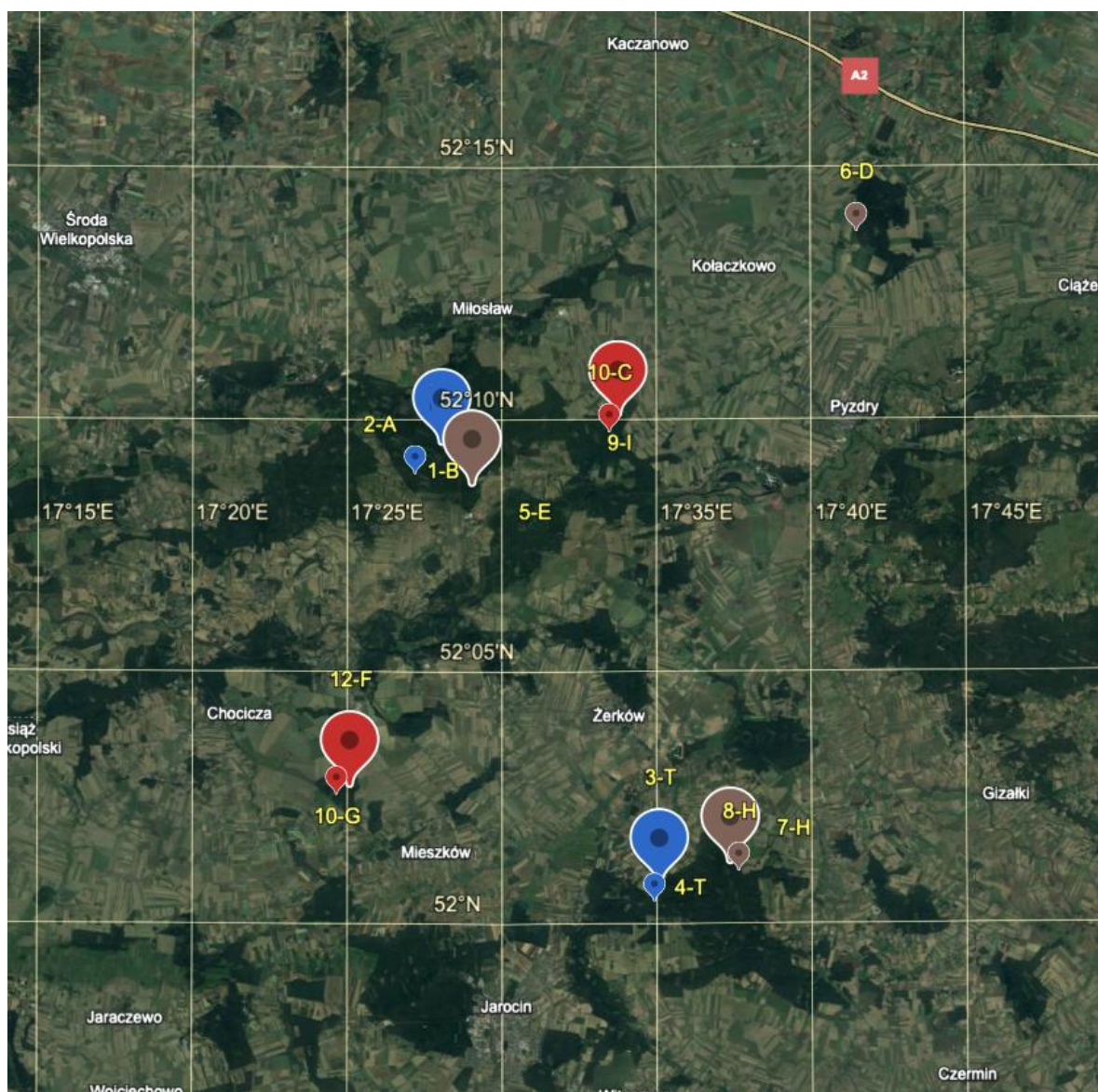
### 6.3.12. Metoda statystyczna

Do opracowywania danych statystycznych wykorzystano arkusz kalkulacyjny Excel oraz program STATISTICA (statsoft).

W początkowym etapie analiz matematyczno-statystycznych skupiono się na określeniu charakteru porównywanych grup zmiennych i wyborze odpowiednich testów. W pierwszej kolejności określono rozkład populacji, stosując test Shapiro-Wilka, a następnie, do określenia różnic w populacjach o rozkładach zbliżonych do normalnych, zastosowano testy parametryczne HSD. W przypadku populacji o rozkładach nienormalnych zastosowano testy nieparametryczne (Kruskala-Wallis). W zależności od rozkładu badanych cech, do ich opisu posłużono się średnią, medianą, przedziałami decylowymi, odchyleniem standardowym oraz współczynnikiem zmienności. W celu określenia zależności pomiędzy zmiennymi, określono współczynniki korelacji. Wszystkie analizy statystyczne wykonano przy poziomie istotności  $p < 0,05$  i przedziałach ufności 95%.

### 6.3.13. Analizy dendrochronologiczne

Dla potrzeb analiz dendrochronologicznych zbudowano chronologie stanowiskowe. Z uwagi na długi wsteczny okres analiz, chronologie zbudowano tylko dla powierzchni z drzewami najstarszymi. Było to sześć powierzchni, po dwie dla każdego typu siedliskowego lasu. Lokalizację powierzchni badawczych zaprezentowano na rycinie Ryc. 6.18. Dużymi znacznikami wskazano powierzchnie najstarsze, które wzięto pod uwagę w analizach dendrochronologicznych.



Ryc. 6.18 Lokalizacja powierzchni badawczych (mapa wykonana w Google Earth)

Kolory znaczników: czerwony – Lśw, niebieski – BMśw, brązowy – LMśw  
Żółtą czcionką oznaczono numery powierzchni.

Chronologie zbudowano w oparciu o pomiary szerokości przyrostów rocznych, wykonane w programie CooRecorder. Dla każdego drzewa ustalono jedną chronologię rzeczywistą, średnią, na podstawie dwóch rdzeni. Zmierzone wartości w formacie natywnym dla programu (.pos), po uśrednieniu, zapisano w formacie tucson (.rwl). Na podstawie otrzymanych wartości zbudowano chronologie indeksowane dla każdego stanowiska (powierzchni badawczej).

Do budowy chronologii wykorzystano najpierw program Cdendro (cybis.se) następnie pakiet „dplr” pracujący w środowisku języka R. Trendy wiekowe wygładzono z wykorzystaniem funkcji „spline”. Podczas budowy chronologii odrzucono część drzew niepasujących do stanowiska z uwagi na słabe korelacje ze średnią dla stanowiska. Lata wskaźnikowe określono z wykorzystaniem pakietu „pointres” w środowisku R. Chronologie posłużyły do dendroanaliz klimatycznych, które były oparte o dane klimatyczne pozyskane z europejskiej bazy EOBS [Corners i in., 2018]. Dane pozyskano z najnowszej wersji bazy 29.0e o rozdzielczości geograficznej siatki 0,1 stopnia, dla 100 lat wstecz (włącznie). Ponieważ baza jest rozdzielona na dwa stopnie, w tym celu scalono dane z bazy „29.0e” (1950-2023) oraz bazy „pre1950” (1920-1949). Do analiz klimatycznych wykorzystano pakiet „dendroclim”, do analizy wpływu suszy zastosowano pakiet „SPEI”, wszystkie pracujące w środowisku R. Jako IDE (Integrated Development Environment) dla R użyto programu RStudio.

## **7. Wyniki**

### **7.1. Analiza ogólna**

Drzewostany siedliska BMśw, w których prowadzono badania, to drzewostany zazwyczaj jednopiętrowe o ubogim składzie gatunkowym. Sosna stanowi na nich całkowity udział jako gatunek panujący. Zadrzewienie gatunku głównego nie przekracza 0,7, co jest wartością normalną w drzewostanach w wieku okołorębnym. Dąb na tym typie siedliskowym lasu w pierwszym piętrze występuje miejscowo. Zazwyczaj tworzy drugie piętro drzewostanu. Zagęszczenie drzew waha się od umiarkowanie przerywanego do umiarkowanie dużego. Wszystkie badane drzewostany wzrastają na glebie rdzawej bielicowej.

W drzewostanach rosnących na LMśw skład gatunkowy drzewostanu pierwszego piętra różni się od składu gatunkowego na BMśw. W przeważającej części gatunkiem głównym jest dąb, a sosna w pierwszym piętrze występuje miejscowo. Wartość zadrzewienia na poszczególnych powierzchniach jest normalny i mieści się w przedziale od 0,4 w drzewostanie w wieku rębny do 0,7 w drzewostanach przedrębnym. W tym typie siedliskowym lasu występuje większe bogactwo gatunków lasotwórczych, stanowiących wypełnienie w postaci drugiego piętra, podrostu oraz podszytu. Gleby omawianego typu siedliskowego lasu to w przeważającej mierze gleby rdzawe brunatne.

W drzewostanach o najniższym siedlisku (Lśw) można zauważyć największe zróżnicowanie gatunkowe (spośród omawianych typów) wśród drzew tworzących drzewostan. W większości przypadków to dąb szypułkowy tworzy pierwsze piętro drzewostanu. Często występuje również jako gatunek drugiego piętra oraz podrostu. Zadrzewienie drzewostanu głównego wynosi od 0,6 do 0,7, przy zwarcie przerywanym i umiarkowanym. Gleby tego siedliska to gleby płowe właściwe oraz gleby płowe brunatne.

### **7.2. Wstępna analiza wieku oraz cech zewnętrznych drzew**

W pierwszej kolejności ogólne dane, zebrane poprzez zbadanie podstawowych cech badanych drzew, takich jak wiek, wysokość, średnica, rzut korony oraz współczynnik smukłości, zostały poddane ogólnej, wstępnej analizie statystycznej.

Ma ona na celu zbadanie i przedstawienie ogólnego zarysu charakterystyki cech badanych drzew. Dzięki niej można określić ogólne wielkości poszczególnych elementów składających się na budowę drzew oraz zidentyfikować najważniejsze kwestie wymagające dalszego zgłębienia. Pozwala to na wstępne zrozumienie i ocenę wartości średnich,

stanowiąc podstawę do przeprowadzenia dalszych analiz i opracowania bardziej szczegółowych wyników.

### **7.2.1. Charakterystyka wieku drzew**

Średni wiek 217 drzew, badanych na trzech typach siedlisk leśnych, wynosi 75 lat. Skośność wieku drzew przyjmuje wartość dodatnią, co oznacza, że wiek większości drzew jest mniejszy niż średnia. Wartość ta wynosi 0,48. Kurtoza na poziomie – 0,74 wskazuje na mały stopień koncentracji rozkładu wokół jego średniej. Mediana wieku jest mniejsza od średniej arytmetycznej, co potwierdza prawostronny współczynnik skośności. Badane drzewa mieszczą się w przedziale wieku od 29 do 136 lat (Tabela 7.1).

### **7.2.2. Charakterystyka pierśnicy drzew**

Średnia dla pierśnicy badanych 216 drzew wyniosła 30,06 cm. W rozkładzie średnic mamy do czynienia ze skośnością prawostronną, informującą o większej liczbie wartości znajdujących się poniżej średniej. Większość badanych cech próby koncentruje się wokół średniej – kurtoza na poziomie 1,24. Minimalna wartość badanych średnic wyniosła 11,98 cm, a maksymalna średnica 75,62 cm, natomiast odchylenie standardowe wyniosło 11,92, co wskazuje na dużą zmienność pierśnic (Tabela 7.1).

### **7.2.3. Charakterystyka wysokości drzew**

Średnia wysokość badanych drzew wyniosła 25,07 m, z czego najniższe drzewo miało 7 m, a najwyższe 38 m wysokości. Lewostronna skośność świadczy o większej liczbie wysokości powyżej średniej, natomiast kurtoza na poziomie – 1,10 o dużym rozproszeniu wokół średniej (Tabela 7.1).

### **7.2.4. Charakterystyka średniej współczynnika smukłości (H/D)**

Średnia współczynnika smukłości badanych drzew wynosi 0,88, przy odchyleniu standardowym o wartości 0,23. Ekstrema współczynnika są duże i mieszczą się w przedziale od 0,30 do 1,74. W miarach położenia, mediana jest zbliżona do średniej arytmetycznej. Dodatni znak skośności informuje o większej liczebności badanego współczynnika smukłości poniżej średniej. Kurtoza na poziomie 0,48 świadczy o dość dużej koncentracji badanych prób wokół średniej (Tabela 7.1).

Tabela 7.1 Charakterystyka statystyczna wieku, piersnicy (D), wysokości (H), współczynnika smukłości (H/D) oraz powierzchni rzutu koron (Rzut-K) dla wszystkich badanych drzew

Zmienna	Średnie	Liczba drzew	Suma	Odch. Std.	Wariancja	Minimum	Maksimum	Q 25	Mediana	Q 75	Skośność	Kurtoza
Wiek	75,59	217,00	16403,00	24,34	592,27	29,00	136,00	54,00	70,00	97,00	0,48	-0,74
D	30,06	216,00	6492,87	11,92	142,15	11,98	75,62	20,90	26,90	37,11	1,05	1,24
H	25,07	217,00	5439,99	7,86	61,84	7,00	38,00	19,60	24,00	32,50	-0,16	-1,10
H/D	0,88	216,00	190,16	0,23	0,05	0,30	1,74	0,71	0,87	1,02	0,44	0,48
Rzut-K	27,68	217,00	6006,21	17,47	305,21	5,34	133,21	15,68	24,56	33,99	2,15	7,46

Tabela 7.2 Współczynnik korelacji Spearmana dla zewnętrznych cech biometrycznych oraz cech makrostrukturalnych badanych dębów (wartości istotne statystycznie są zaznaczone kolorem czerwonym)

	D	H	R-K	Szer-B	Szer-T	T/B	Pow-T	Pow-B	P-Tw/B	DynT	Przyr-B	Przyr-T	Przyr.	Wiek	H/D
D	1,00	0,68	0,67	0,34	0,86	0,42	0,81	0,74	0,42	0,60	0,35	0,29	0,39	0,67	-0,49
H	0,68	1,00	0,30	0,32	0,63	0,30	0,55	0,55	0,30	0,44	0,38	0,33	0,42	0,42	0,23
R-K	0,67	0,30	1,00	0,41	0,60	0,16	0,59	0,66	0,16	0,34	0,37	0,30	0,38	0,36	-0,50
Szer-B	0,34	0,32	0,41	1,00	0,23	-0,51	0,25	0,76	-0,51	-0,14	0,78	0,51	0,62	-0,11	-0,09
Szer-T	0,86	0,63	0,60	0,23	1,00	0,60	0,98	0,76	0,60	0,71	0,29	0,31	0,41	0,75	-0,43
T/B	0,42	0,30	0,16	-0,51	0,60	1,00	0,55	0,03	1,00	0,71	-0,30	-0,10	-0,09	0,66	-0,23
Pow-T	0,81	0,55	0,59	0,25	0,98	0,55	1,00	0,78	0,55	0,67	0,30	0,30	0,40	0,70	-0,43
Pow-B	0,74	0,55	0,66	0,76	0,76	0,03	0,78	1,00	0,03	0,33	0,65	0,49	0,61	0,40	-0,33
P-Tw/B	0,42	0,30	0,16	-0,51	0,60	1,00	0,55	0,03	1,00	0,71	-0,30	-0,10	-0,09	0,66	-0,23
DynT	0,60	0,44	0,34	-0,14	0,71	0,71	0,67	0,33	0,71	1,00	0,20	-0,12	0,03	0,73	-0,30
Przyr-B	0,35	0,38	0,37	0,78	0,29	-0,30	0,30	0,65	-0,30	0,20	1,00	0,57	0,75	-0,16	-0,05
Przyr-T	0,29	0,33	0,30	0,51	0,31	-0,10	0,30	0,49	-0,10	-0,12	0,57	1,00	0,96	-0,33	-0,08
Przyr.	0,39	0,42	0,38	0,62	0,41	-0,09	0,40	0,61	-0,09	0,03	0,75	0,96	1,00	-0,24	-0,11
Wiek	0,67	0,42	0,36	-0,11	0,75	0,66	0,70	0,40	0,66	0,73	-0,16	-0,33	-0,24	1,00	-0,39
H/D	-0,49	0,23	-0,50	-0,09	-0,43	-0,23	-0,43	-0,33	-0,23	-0,30	-0,05	-0,08	-0,11	-0,39	1,00

### 7.3. Analiza szczegółowa

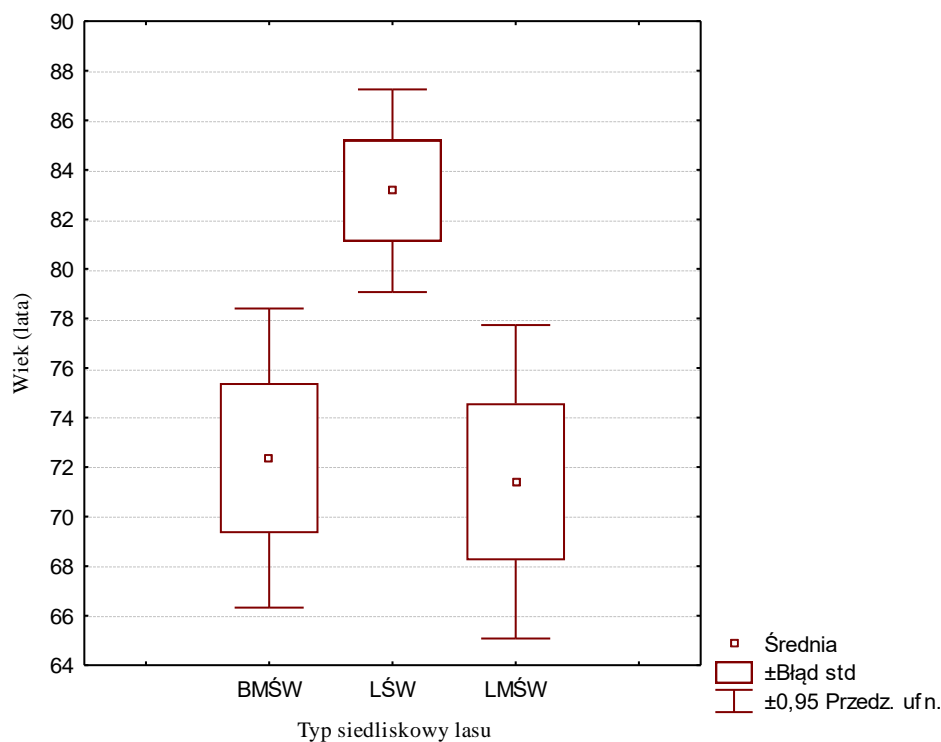
Szczegółowa analiza podstawowych cech biometrycznych drzew, w rozbiciu na poszczególne typy siedliskowe lasu, pozwoli na zdobycie wielu cennych informacji, które zostaną przedstawione w dyskusji. Przede wszystkim umożliwi dogłębne przedstawienie podstawowych zależności oraz istotności poszczególnych cech względem siebie. Pierwszym etapem szczegółowej analizy statystycznej jest przedstawienie podstawowych cech biometrycznych badanych drzew, w rozbiciu na trzy typy siedliskowe lasu.

Tabela 7.3 Cechy biometryczne drzew (statystyki opisowe)

Tsl	Zmienna	Średnia	Liczba drzew	Suma	Odch. Std.	Wariancja	Bł. Std.	Minimum	Maksimum	Q 25	Mediana	Q 75
BMśw	Wiek	72	77	5572	27	707	3	29	133	52	64	104
	H	19,93	77,00	1534,47	6,23	38,75	0,71	9,50	36,81	14,00	20,50	23,40
	D	27,56	76,00	2094,67	11,80	139,17	1,35	11,98	75,62	19,47	23,85	36,21
	H/D	0,77	76,00	58,89	0,19	0,04	0,02	0,30	1,19	0,63	0,75	0,95
	R-K	30,22	77,00	2326,68	16,42	269,60	1,87	6,68	81,11	19,21	26,64	37,13
Lśw	Wiek	83	71	5904	17	299	2	61	118	70	77	97
	H	29,74	71,00	2111,89	5,86	34,35	0,70	15,00	38,00	24,34	31,00	34,19
	D	32,44	71,00	2302,90	11,29	127,41	1,34	16,40	59,00	23,00	27,55	41,75
	H/D	0,97	71,00	69,20	0,22	0,05	0,03	0,58	1,50	0,79	0,97	1,11
	R-K	26,01	71,00	1846,47	15,88	252,11	1,88	8,71	92,74	14,56	22,14	29,95
LMśw	Wiek	71	69	4927	26	694	3	45	136	51	59	95
	H	25,99	69,00	1793,64	8,01	64,14	0,96	7,00	37,57	19,93	27,00	33,32
	D	30,37	69,00	2095,30	12,32	151,84	1,48	12,10	74,00	21,35	29,55	35,50
	H/D	0,90	69,00	62,07	0,23	0,06	0,03	0,42	1,74	0,76	0,88	1,08
	R-K	26,57	69,00	1833,06	19,93	397,17	2,40	5,34	133,21	12,82	22,84	35,34

### 7.3.1. Wiek

Średni wiek badanych drzewostanów, rosnących na trzech typach siedlisk, różni się między sobą i waha się od 71 lat (LMśw) do 83 lat (Lśw). Najbardziej zbliżone średnie wartości można zaobserwować pomiędzy siedliskiem borowym a lasem świeżym (Ryc. 7.1).



Ryc. 7.1 Średni wiek drzewostanów w poszczególnych typach siedliskowych lasu

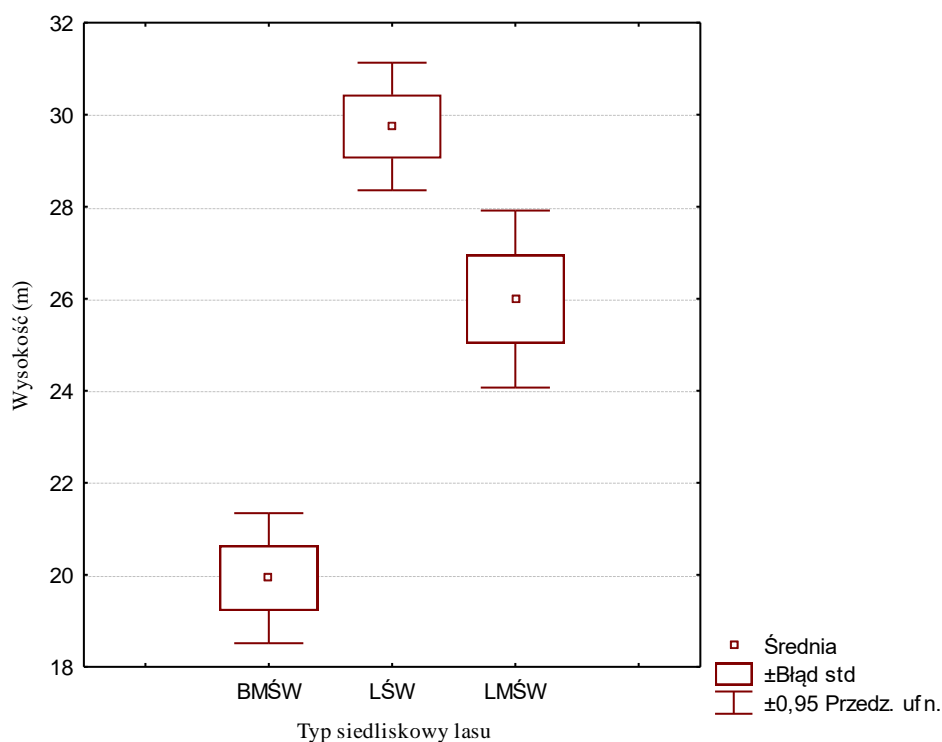
Pierwszy kwartył (Q25), odchylenie standardowe oraz maksymalny wiek dla tych siedlisk wykazuje zbliżoną wartość. Minimalny wiek drzewa stwierdzono na siedlisku borowym (Tabela 7.3). Drzewa z siedliska lasu świeżego wykazują wartość odchylenia standardowego na poziomie 17 lat i najmniejsze rozproszenie wokół średniej wartości wieku. Średnie wieku na badanych typach siedliskowych różnią się istotnie od siebie. Nie stwierdza się istotnej różnicy wieku drzew między siedliskiem boru mieszanego świeżego, a lasem mieszanym świeżym (Tabela 7.4).

Tabela 7.4 Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej wieku w poszczególnych typach siedliskowych lasu

ANOVA rang Kruskala-Wallisa			Test Kruskala-Wallisa: Wiek (2, N=217) =21,99919 p =,0000 wartości porównań wielokrotnych			
Tsl	N	Suma rang	Zależna: Wiek	BMśw	Lśw	LMśw
BMśw	77	7588,500	BMśw		0,011472	0,250533
Lśw	71	9752,500	Lśw	0,011472		0,000009
LMśw	69	6312,000	LMśw	0,250533	0,000009	

### 7.3.2. Wysokość

Wysokość drzew wyrosłych w poszczególnych typach siedliskowych lasu różni się znacząco. Szczególnie widać to w odniesieniu do żyzniejszych siedlisk, na których drzewa są wyraźnie wyższe niż te wyrosłe w warunkach boru mieszanego świeżego (Ryc. 7.2).



Ryc. 7.2 Średnia wysokość w poszczególnych typach siedliskowych lasu

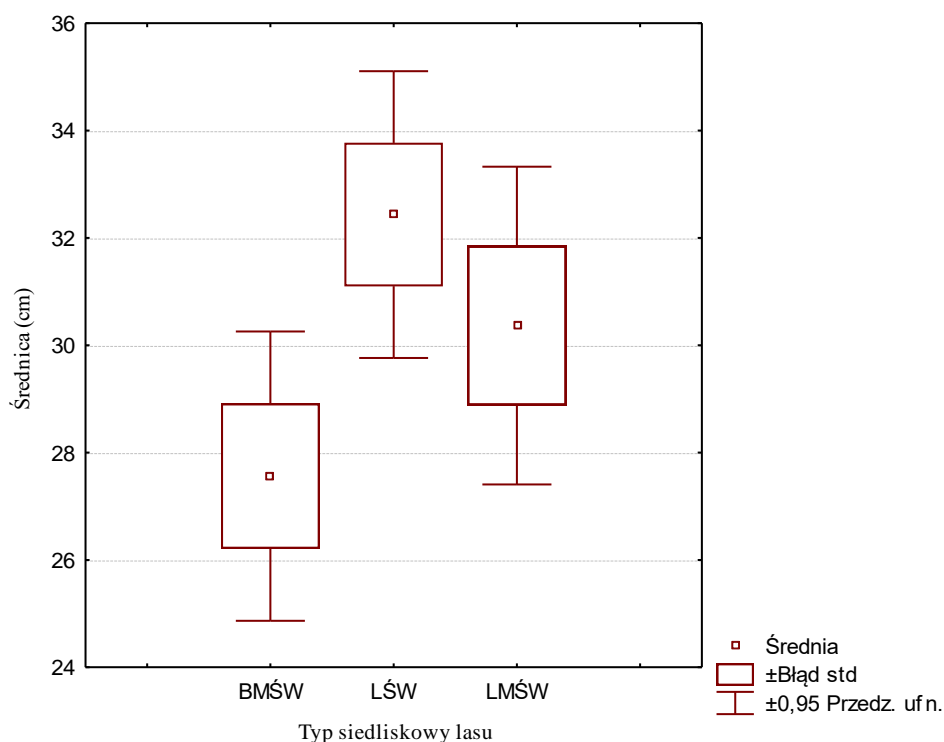
Średnia wysokość drzew w typach siedliskowych lasowych wynosi: 25,9 m (LMŚW) i 29,7 m (LŚW), co jest o kilka metrów więcej niż na borze (19,9 m) (Ryc. 2). Należy jednak wziąć pod uwagę, że drzewa są w różnym wieku, a populacje nie są w pełni porównywalne. Niemniej jednak pozostałe statystyki wskazują na wyraźne zróżnicowanie wysokości drzew na korzyść lasów. Widać to wyraźnie w miarach położenia i rozproszenia, gdzie mediana i trzeci kwartył (Q75) są wyraźnie większe na siedliskach lasowych (Tabela 7.3). Oznacza to, że większość drzew w tych populacjach ma wyższe wysokości. Zmienność, wyrażona odchyleniem standardowym, jest podobna dla wszystkich typów siedliskowych i waha się w granicach od 5,86 m do 8,01 m. Na wszystkich badanych siedliskach stwierdzono wzajemnie istotne statystycznie różnice w wysokości (Tabela 7.5).

Tabela 7.5 Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej wysokość (H) w poszczególnych typach siedliskowych lasu

ANOVA rang Kruskala-Wallisa			Test Kruskala-Wallisa: H (2, N=216) =58,60581 p =,0000 wartości porównań wielokrotnych			
Tsl	N	Suma rang	Zależna: H	BMśw	Lśw	LMśw
BMśw	77	5253,50	BMśw		0,000000	0,000584
Lśw	71	10398,00	Lśw	0,000000		0,003472
LMśw	69	8001,50	LMśw	0,000584	0,003472	

### 7.3.3. Pierśnica

Mimo że drzewa na badanych typach siedliskowych lasu są w różnym wieku, to średnia dla pierśnic w poszczególnych grupach nie różni się znacząco. Można zauważyć, że drzewa wyrosłe w siedliskach lasowych mają wyższą średnią wartość pierśnicy, niż te wyrosłe w borze. Średnie te wynoszą odpowiednio: 32,4 cm (Lśw), 30,3 cm (LMśw) oraz 27,5 cm (BMśw) (Ryc. 7.3). Wartości te nie wykazują statystycznie istotnych różnic między siedliskami (Tabela 7.6).



Ryc. 7.3 Średnica pnia na wysokości 1,3 m w poszczególnych typach siedliskowych lasu

Mediana wykazuje większe wartości dla siedlisk lasowych, natomiast trzeci kwartył (Q75) jest bardzo zbliżony między BMśw, a LMśw. Oznacza to, że większość drzew w populacji

borowej wykazuje większą średnicę. Obserwacje skupienia wokół średniej, wyrażone za pomocą odchylenia standardowego, są podobne dla wszystkich typów siedliskowych lasu i wahają się w granicach od 11,28 cm do 12,32 cm (Tabela 7.3).

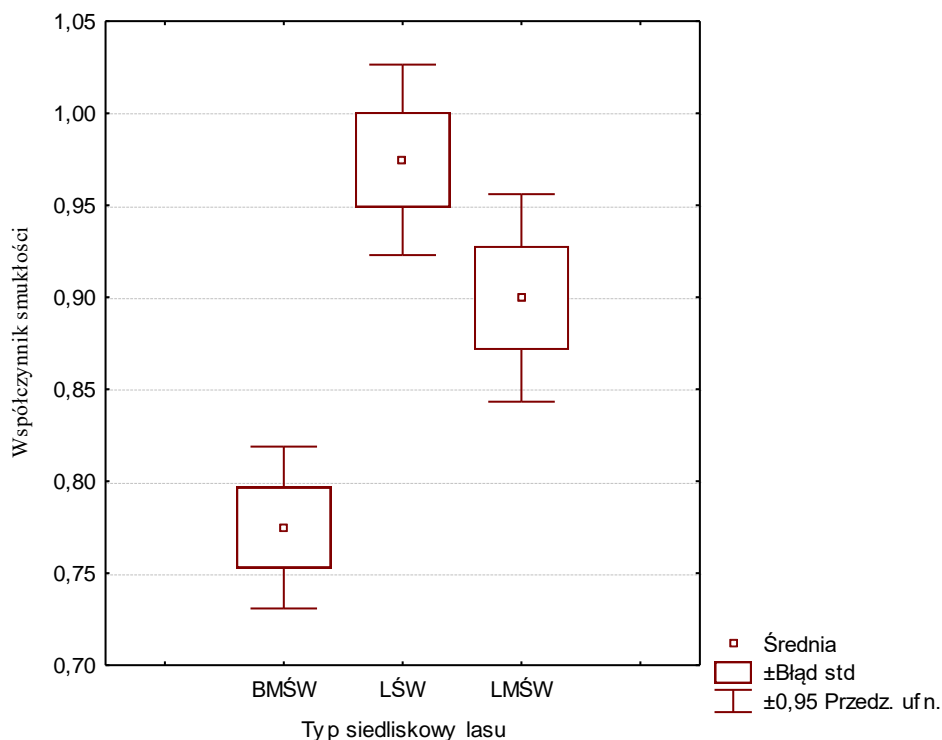
Tabela 7.6 Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej średnicy (D) w poszczególnych typach siedliskowych lasu

ANOVA rang Kruskala-Wallisa			Test Kruskala-Wallisa: D (2, N=216) =8,994894 p =,0111 wartości porównań wielokrotnych			
Tsl	N	Suma rang	Zależna: D	BMśw	Lśw	LMśw
BMśw	77	7082,500	BMśw		0,060874	1,000000
Lśw	71	8811,000	Lśw	0,060874		0,252091
LMśw	69	7542,500	LMśw	1,000000	0,252091	

Wartości minimalne również są zbliżone i mieszczą się w granicach od 11,98 cm do 16,40 cm. Natomiast w maksymalnych średnicach różnice są wyraźnie większe, z tendencją do najwyższych wartości: 75,62 cm dla BMśw i 74,00 cm dla LMśw. Najniższa wartość przypada najżyźniejszemu siedlisku i wynosi 59,00 cm (Lśw).

#### 7.4.4. Współczynnik smukłości

Współczynnik smukłości jest różny pomiędzy badanymi grupami. Istotną różnicę stwierdza się tylko pomiędzy siedliskiem borowym, a lasem świeżym (Tabela 7.7). W pozostałych przypadkach brak jest różnic istotnych. Siedlisko borowe wykazuje najniższe średnie wartości, co oznacza, że drzewa wyrosłe na siedliskach lasowych posiadają smuklejszą budowę (Ryc. 7.4).



Ryc. 7.4 Współczynnik smukłości w poszczególnych typach siedliskowych lasu

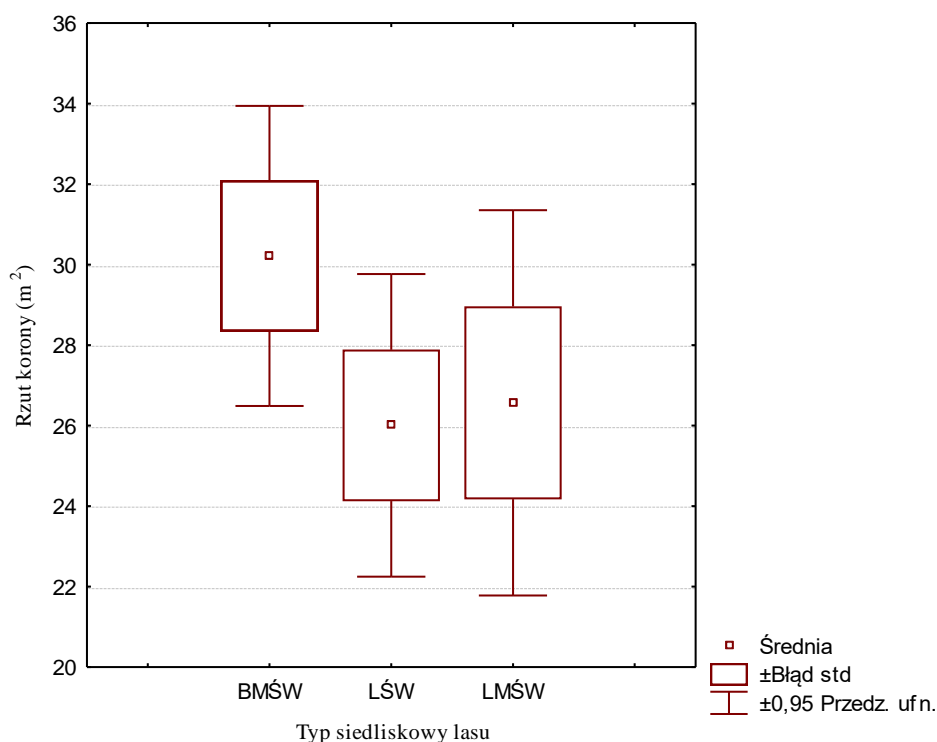
Należy wziąć pod uwagę fakt, iż drzewa są w różnym wieku i populacje nie są w pełni porównywalne, jednak pozostałe statystyki wskazują na wyraźne zróżnicowanie współczynnika smukłości na korzyść lasów. Widać to wyraźnie w miarach położenia i rozproszenia, gdzie mediana i pierwszy oraz trzeci kwartył (Q25, Q75) są większe na siedliskach lasowych. Również wartości minimalne oraz maksymalne przyjmują podobny trend dla omawianych siedlisk. Zmienność wyrażona odchyleniem standardowym jest podobna dla wszystkich typów siedliskowych i waha się w granicach od 0,19 do 0,23 (Tabela 7.3).

Tabela 7.7 Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej współczynnika smukłości (H/D) w poszczególnych typach siedliskowych lasu

ANOVA rang Kruskala-Wallisa			Test Kruskala-Wallisa: H/D (2, N=216) =27,63848 p =,0000 wartości porównań wielokrotnych			
Tsl	N	Suma rang	Zależna: H/D	BMśw	Lśw	LMśw
BMśw	76	6095,000	BMśw		0,000015	0,051243
Lśw	71	9495,000	Lśw	0,000015		0,074107
LMśw	69	7846,000	LMśw	0,051243	0,074107	

### 7.5.5. Powierzchnia rzutu korony

Powierzchnia rzutu korony wykazuje znacznie większe wartości dla drzew wyrosłych na siedlisku borowym (Ryc. 7.5). Jest to różnica istotna w stosunku do siedlisk lasowych.



Ryc. 7.5 Średnia powierzchnia rzutu korony w poszczególnych typach siedliskowych lasu

Nie stwierdza się istotnych różnic między lasem świeżym, a lasem mieszanym świeżym (Tabela 7.8). Średnia powierzchnia korony drzew w typach siedliskowych lasowych jest bardzo zbliżona do siebie i wynosi 26,56 m<sup>2</sup> (LMśw) i 26,00 m<sup>2</sup> (Lśw), natomiast drzewa wyrosłe na siedlisku borowym mają korony o kilka m<sup>2</sup> większe, a ich średnia wartość wynosi 30,21 m<sup>2</sup>. Mediana badanych drzew w poszczególnych typach siedliskowych lasu wykazuje podobną tendencję jak średni rzut korony. Trzeci kwartył (Q75) przypomina rozkłady podobne do omawianych w pierśnicy, gdzie BMśw i LMśw mają zbliżone wartości. W tym jednak przypadku przewyższają wartościami Lśw, odwrotnie jak to miało miejsce w trzecim kwartylu pierśnicy badanych drzew. Siedliska lasowe są silniej skorelowane z wartością pierśnicy niż BMśw. Odchylenie standardowe waha się od 15,87 m<sup>2</sup> do 19,92 m<sup>2</sup> (Tabela 7.3).

Tabela 7.8 Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej powierzchnia rzutu korony (Rzut-K) w poszczególnych typach siedliskowych lasu

ANOVA rang Kruskala-Wallisa			Test Kruskala-Wallisa: Rzut-K (2, N=216) =27,63848 p =,0000 wartości porównań wielokrotnych			
Tsl	N	Suma rang	Zależna: Rzut-K	BMśw	Lśw	LMśw
BMśw	77	9463,000	BMśw		0,008084	0,002196
Lśw	71	7218,000	Lśw	0,008084		1,000000
LMśw	69	6972,000	LMśw	0,002196	1,000000	

## 7.6. Cechy makrostrukturalne

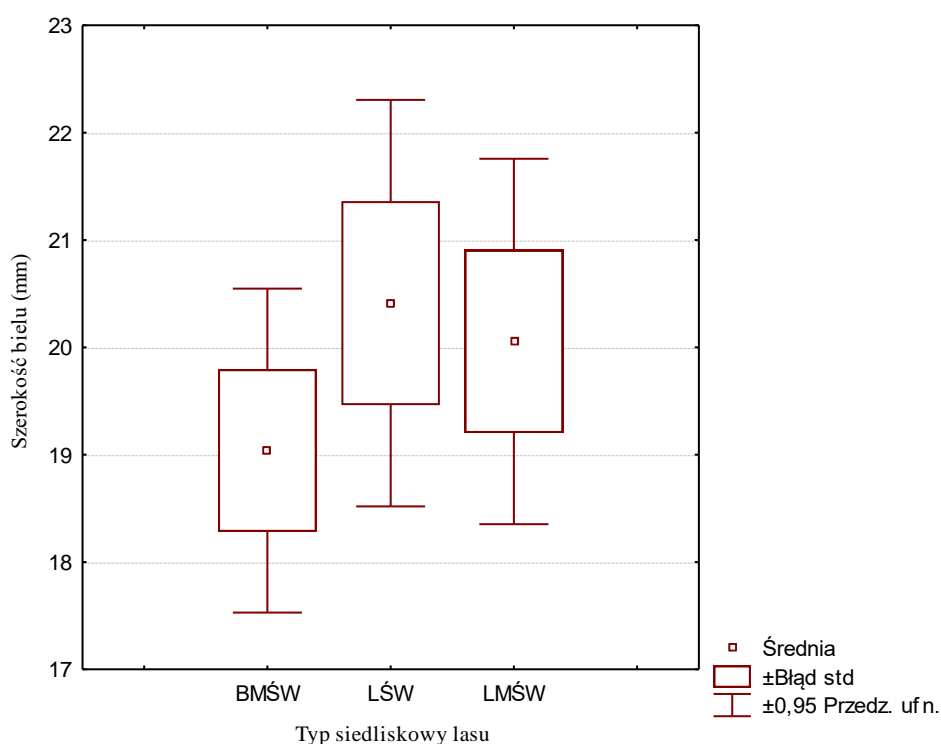
Kolejnym etapem analizy jest analiza szczegółowa poszczególnych wewnętrznych cech makrostrukturalnych drzewa. Obszar analizy statystycznej, z wyszczególnieniem na poszczególne typy siedliskowe lasu, obejmował: łączną szerokość bielu (Szer-B), łączną szerokość twardzieli (Szer-T), powierzchnię bielu (Pow-B), powierzchnię twardzieli (Pow-T), średnią szerokość przyrostu bielastego (Przyr-B) oraz średnią szerokość przyrostu twardzieli (Przyr-T).

Tabela 7.9 Charakterystyka statystyczna łącznej szerokości bielu (Szer-B), łącznej szerokości twardzieli (Szer-T), powierzchni bielu (Pow-B), powierzchni twardzieli (Pow-T), średniej szerokości przyrostu bielastego (Przyr-B) oraz średniej szerokości przyrostu twardzieli (Przyr-T)

Tsl	Zmienna	Średnie	Liczba drzew	Suma	Odch. Std.	Wariancja	Bł. Std.	Minimum	Maksimum	Q 25	Mediana	Q 75
BMśw	Szer-B	19,04	77,00	1465,95	6,65	44,19	0,76	8,07	35,76	13,78	18,16	23,25
	Szer-T	99,69	77,00	7676,14	42,91	1840,88	4,89	31,32	230,56	66,39	82,81	140,00
	Pow-B	131,65	77,00	10137,03	74,50	5549,77	8,49	29,94	402,20	78,60	119,02	161,71
	Pow-T	369,29	77,00	28435,05	307,46	94530,63	35,04	30,82	1669,96	138,47	215,43	615,73
	Przyr-B	1,29	77,00	99,14	0,51	0,26	0,06	0,36	2,49	0,90	1,23	1,54
	Przyr-T	1,88	77,00	144,68	0,65	0,43	0,07	0,68	4,71	1,51	1,72	2,04
Lśw	Szer-B	20,41	71,00	1449,24	8,00	64,04	0,95	4,43	42,61	14,88	19,56	24,30
	Szer-T	124,02	71,00	8805,29	48,78	2379,45	5,79	41,69	273,39	86,36	106,11	169,63
	Pow-B	186,16	71,00	13217,40	132,18	17470,27	15,69	26,02	617,00	97,56	144,86	238,24
	Pow-T	556,88	71,00	39538,21	441,95	195321,45	52,45	54,60	2348,02	234,29	353,71	903,95
	Przyr-B	1,44	71,00	102,47	0,71	0,50	0,08	0,40	3,41	0,83	1,33	1,94
	Przyr-T	1,83	71,00	129,78	0,48	0,23	0,06	0,65	3,65	1,48	1,76	2,02
LMśw	Szer-B	20,06	69,00	1383,80	7,09	50,20	0,85	7,98	40,41	14,85	18,34	23,41
	Szer-T	103,55	69,00	7145,20	48,62	2363,45	5,85	34,52	257,06	70,91	90,75	127,42
	Pow-B	147,43	69,00	10172,55	95,65	9148,68	11,51	34,18	553,50	82,20	126,60	178,62
	Pow-T	410,05	69,00	28293,17	404,00	163212,43	48,64	37,44	2075,90	157,96	258,72	510,05
	Przyr-B	1,45	69,00	100,09	0,70	0,49	0,08	0,47	4,38	1,02	1,25	1,73
	Przyr-T	1,96	69,00	135,44	0,60	0,35	0,07	1,05	3,63	1,55	1,84	2,25

### 7.6.1. Szerokość bielu

Średnia szerokość bielu, z różnymi poziomami zmienności danych, różni się między poszczególnymi typami siedliskowymi lasu. Średnie szerokości bielu w typach siedliskowych lasowych wynoszą 20,06 mm (LMśw) i 20,41 mm (Lśw) i są nieznacznie większe w stosunku do szerokości bielu na siedlisku borowym – 19,04 mm (tabela 7.9). Rozstępy międzykwartylowe są podobne dla wszystkich typów siedliskowych. Różnice nie są statystycznie istotne (Tabela 7.10).



Ryc. 7.6 Średnia szerokość bielu w poszczególnych typach siedliskowych lasu

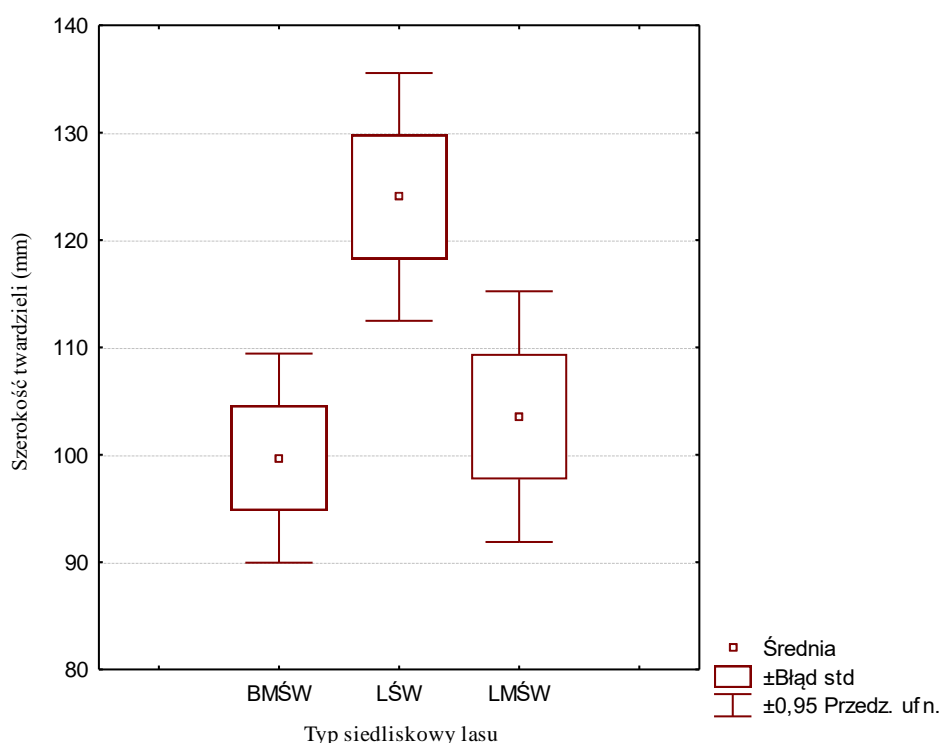
Miary położenia i rozproszenia w poszczególnych siedliskach są zbliżone wartościami do siebie. Różnice występują w wartościach maksymalnych na korzyść siedlisk lasowych. Zmienność wyrażona odchyleniem standardowym jest podobna dla wszystkich typów siedliskowych i waha się w granicach 6,64 mm do 8,00 mm (Tabela 7.9).

Tabela 7.10 Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej szerokości bielu (Szer-B) w poszczególnych typach siedliskowych lasu

ANOVA rang Kruskala-Wallisa			Test Kruskala-Wallisa: Szer-B (2, N=217) =1,229767 p =,5407 wartości porównań wielokrotnych			
Tsl	N	Suma rang	Zależna: Szer-B	BMśw	Lśw	LMśw
BMśw	77	7914,000	BMśw		1,000000	1,000000
Lśw	71	8071,500	Lśw	1,000000		1,000000
LMśw	69	7667,500	LMśw	1,000000	1,000000	

### 7.6.2. Szerokość twardzieli

Średnia szerokość twardzieli (Szer-T) różni się między poszczególnymi typami siedliskowymi lasu, przyjmując wartości największe dla siedlisk lasowych, 124,02 mm dla Lśw i 103,55 mm dla LMśw, a wartość najmniejszą dla siedliska borowego 99,69 mm (Ryc. 7.7). Tylko między siedliskiem BMśw a LMśw nie występuje istotna różnica (Tabela 7.11).



Ryc. 7.7 Średnia szerokość twardzieli w poszczególnych typach siedliskowych lasu

Miary położenia i rozproszenia różnią się w poszczególnych zbiorach. Szczególnie wysokie wartości osiąga Lśw. W trzecim kwartylu wykazuje najwyższą wartość. Oznacza to, że drzewa z tej grupy charakteryzują się wyższą wartością szerokości twardzieli. Również w przedziałach minimalnych oraz maksymalnych najżyźniejsze siedlisko osiągnęło

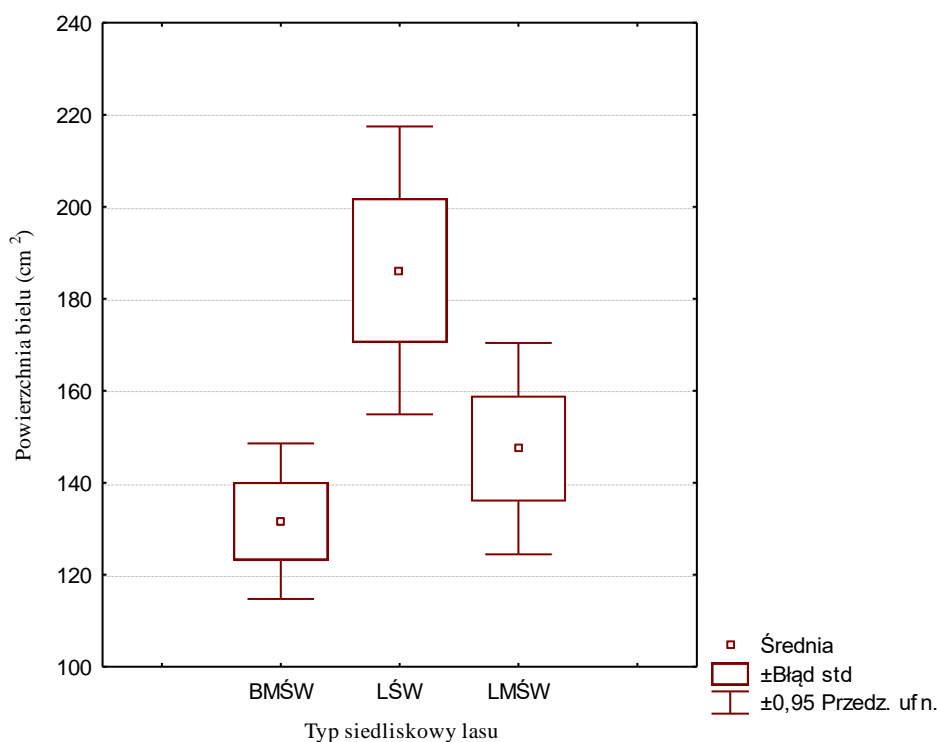
najwyższe wartości. Odchylenie standardowe pomiędzy poszczególnymi grupami nie różni się znacząco i mieści się w przedziale od 42,90 mm do 48,77 mm (Tabela 7.9).

Tabela 7.11 Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej szerokości twardzieli (Szer-T) w poszczególnych typach siedliskowych lasu

ANOVA rang Kruskala-Wallisa			Test Kruskala-Wallisa: Szer-T (2, N=217) =13,60233 p =,0011 wartości porównań wielokrotnych			
Tsl	N	Suma rang	Zależna: Szer-T	BMśw	Lśw	LMśw
BMśw	77	7347,000	BMśw		0,024992	1,000000
Lśw	71	9321,000	Lśw	0,024992		0,004619
LMśw	69	6985,000	LMśw	1,000000	0,004619	

### 7.6.3. Powierzchnia bielu

Powierzchnia bielu w analizowanych drzewostanach w poszczególnych typach siedliskowych lasu wykazuje spójną tendencję z rozkładem szerokości bielu. W poszczególnych typach siedliskowych lasu występują znaczne różnice (Ryc. 7.8).



Ryc. 7.8 Średnia powierzchnia bielu w poszczególnych typach siedliskowych lasu

Największą średnią powierzchnię bielu wykazały drzewostany w lasowym typie siedliskowym lasu, 186,16 cm<sup>2</sup> Lśw oraz 147,42 cm<sup>2</sup> LMśw, a najmniejszą w BMśw 131,65 cm<sup>2</sup>. Las świeży posiada największy zakres wartości. Mediana oraz miara

rozproszenia trzeciego kwartylu (Q3) wskazuje tu na największy udział drzew o dużej powierzchni bieli (Tabela 7.9).

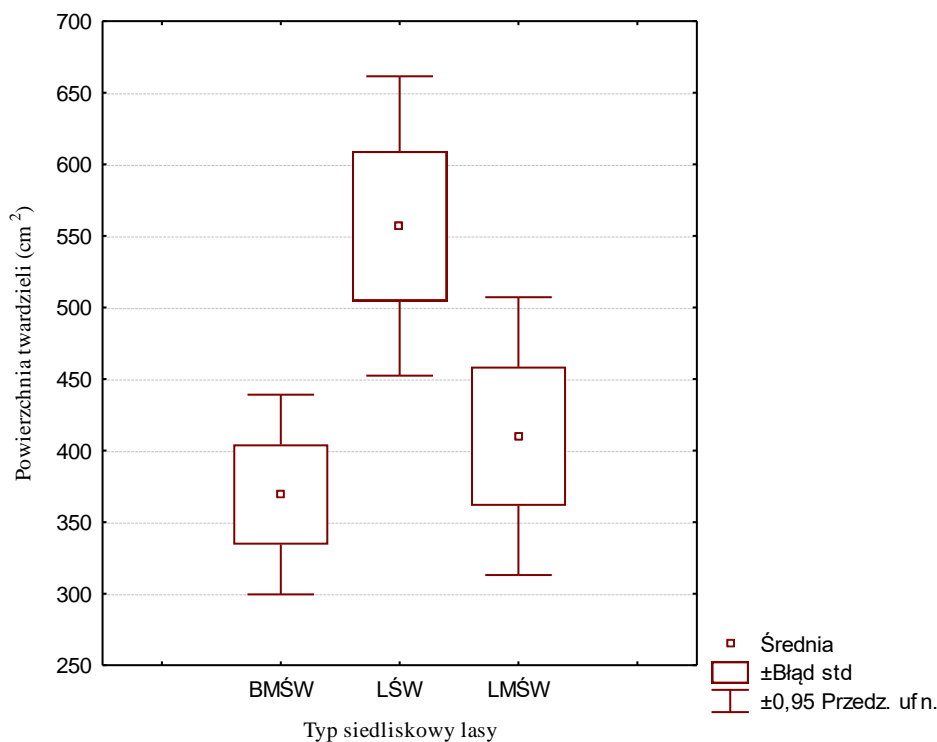
Tabela 7.12 Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej powierzchni bieli (Pow-B) w poszczególnych typach siedliskowych lasu

ANOVA rang Kruskala-Wallisa			Test Kruskala-Wallisa: Pow-B (2, N=217) =6,209528 p =,0448 wartości porównań wielokrotnych			
Tsl	N	Suma rang	Zależna: Pow-B	BMśw	Lśw	LMśw
BMśw	77	7558,000	BMśw		0,318347	1,000000
Lśw	71	8767,000	Lśw	0,318347		0,153177
LMśw	69	7328,000	LMśw	1,000000	0,153177	

Mimo tak znaczących różnic między poszczególnymi zbiorami w typach siedliskowych lasu nie stwierdzono różnic istotnych między nimi (Tabela 7.12).

#### 7.6.4. Powierzchnia twardzieli

Średnia współczynnika powierzchni twardzieli (Pow-T) różni się znacząco w poszczególnych siedliskach. Największą wartość przyjmuje dla siedlisk lasowych, 556,88 cm<sup>2</sup> (Lśw) i 410,05 cm<sup>2</sup> (LMśw), a najmniejszą dla boru 369,28 cm<sup>2</sup> (Ryc. 7.9). Szczególnie dużą wartość wykazuje trzeci kwartył lasu świeżego, odróżniając się znacząco na tle pozostałych siedlisk. Oznacza to, że drzewa osiągają tam większe wartości. Powierzchnia twardzieli bierze swoją wartość bezpośrednio z szerokości twardzieli, która miała najwyższą wartość właśnie w Lśw (Tabela 7.9).



Ryc. 7.9 Średnia powierzchnia twardej ściłki w poszczególnych typach siedliskowych lasu

Wykres średniej powierzchni twardej ściłki jest analogiczny z wykresem przedstawiającym średnią szerokość twardej ściłki. W obu przypadkach siedliska lasowe wykazują wyższe średnie wartości w stosunku do siedliska borowego.

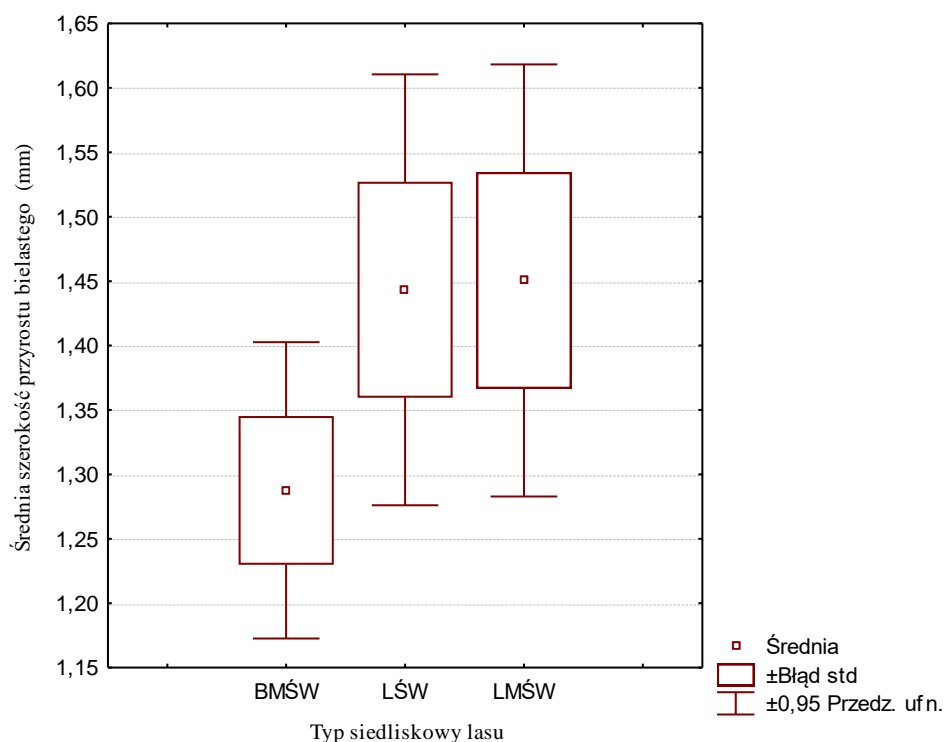
Tabela 7.13 Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej powierzchni twardej ściłki (Pow-T) w poszczególnych typach siedliskowych lasu

ANOVA rang Kruskala-Wallisa			Test Kruskala-Wallisa: Pow-T (2, N=217) =13,60233 p =,0011 wartości porównań wielokrotnych			
Tśl	N	Suma rang	Zależna: Pow-T	BMśw	Lśw	LMśw
BMśw	77	7347,000	BMśw		0,024992	1,000000
Lśw	71	9321,000	Lśw	0,024992		0,004619
LMśw	69	6985,000	LMśw	1,000000	0,004619	

### 7.6.5. Średnia szerokość słoików bielastych

Średnia Przyr-B w poszczególnych typach siedliskowych lasu charakteryzuje się niewielkim zróżnicowaniem. Najmniejszą średnią wartość przyjmuje siedlisko borowe (1,29 mm), kolejnym jest las świeży (1,44 mm), a największą wartość ma siedlisko lasu mieszanego świeżego (1,45 mm) (Ryc. 7.10). Między poszczególnymi średnimi nie występują różnice istotne statystycznie (Tabela 7.14). Największym zakresem charakteryzuje się siedlisko

LMśw. Rozstęp międzykwartylowy oraz mediana nie wykazują istotnych różnic między siedliskami.



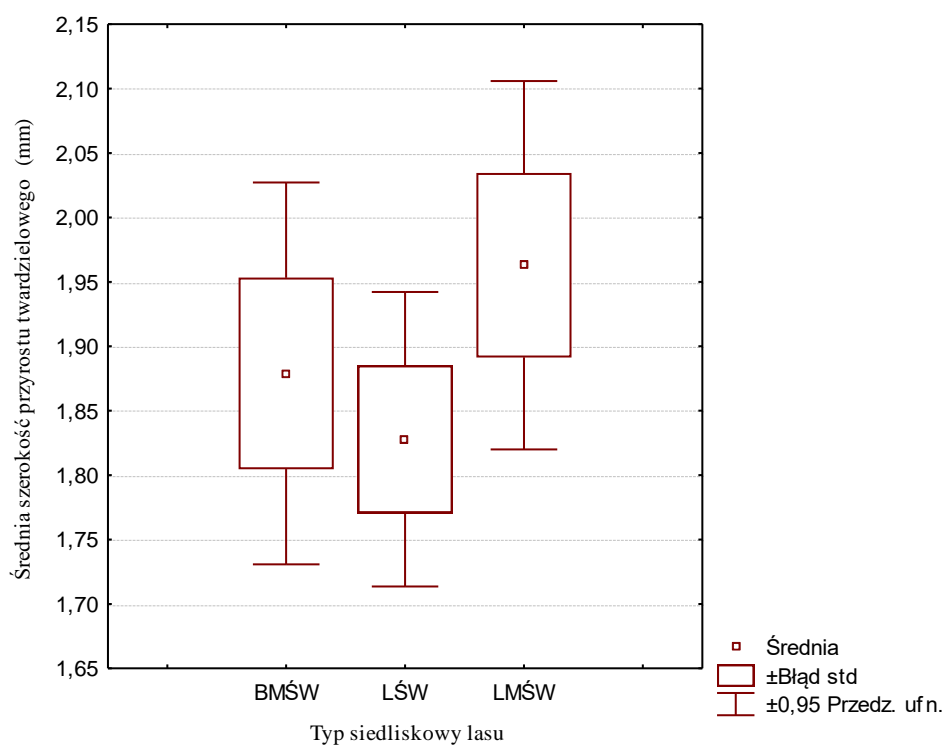
Ryc. 7.10 Średnia szerokość przyrostu słoju bielastego (Przyr-B) w poszczególnych typach siedliskowych lasu

Tabela 7.14 Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej przyrostu słoju bielastych (Przyr-B) w poszczególnych typach siedliskowych lasu

ANOVA rang Kruskala-Wallisa			Test Kruskala-Wallisa: Przyr-B (2, N=217) =1,670193 p =,04338 wartości porównań wielokrotnych			
Tsl	N	Suma rang	Zależna: Przyr-B	BMśw	Lśw	LMśw
BMśw	77	7825,000	BMśw		1,000000	1,000000
Lśw	71	7971,000	Lśw	1,000000		1,000000
LMśw	69	7857,000	LMśw	1,000000	1,000000	

### 7.6.6. Średnia szerokość słoju twardego

Średnia szerokość przyrostu słoju twardego (Przyr-T), występująca w badanych typach siedliskowych lasu różni się nieznacznie, a różnice te nie są statystycznie istotne. Rozkład omawianych średnich różni się od średnich szerokości słoju bielastych w poszczególnych typach siedliskowych lasu. Największą średnią wykazano na lesie mieszanym świeżym (1,96 mm), następnie na siedlisku borowym (1,88 mm), a najmniejszą odnotowano na lesie świeżym (1,83 mm) (Ryc. 7.11).



Ryc. 7.11 Średnia szerokość przyrostu twardzielowego w poszczególnych typach siedliskowych lasu

Rozstęp oraz mediana przyjmują podobne wartości w poszczególnych Tsl. Mediana i trzeci kwartył (Q3) dla LMŚw są nieznacznie większe. Odchylenie standardowe dla badanych grup znajduje się w przedziale od 0,48 do 0,65 (Tabela 7.9).

Tabela 7.15 Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej przyrostu słoju twardzielowych (Przyr-T) w poszczególnych typach siedliskowych lasu

ANOVA rang Kruskala-Wallisa			Test Kruskala-Wallisa: Przyr-T (2, N=217) =1,623725 p =,04440 wartości porównań wielokrotnych			
Tsl	N	Suma rang	Zależna: Przyr-T	BMŚw	LŚw	LMŚw
BMŚw	77	8052,000	BMŚw		1,000000	1,000000
LŚw	71	7535,000	LŚw	1,000000		1,000000
LMŚw	69	8066,000	LMŚw	1,000000	1,000000	

## 7.7. Proporcje bielu i twardzieli

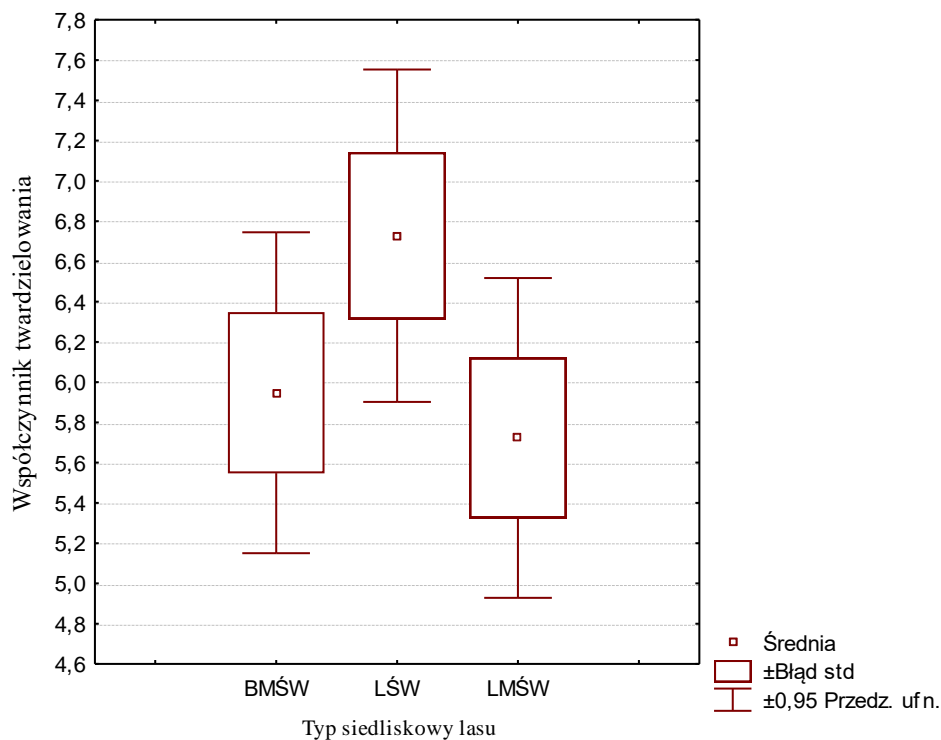
Ostatnimi elementami, które zostały poddane analizie statystycznej z rozbiem na poszczególne typy siedliskowe lasu, są współczynnik twardzielowania (T/B) oraz dynamika twardzielowania (DynT).

Tabela 7.16 Charakterystyka statystyczna współczynnika T/B oraz dynamiki twarzielowania w odniesieniu do typów siedliskowych lasu

Tsl	Zmienna	Średnie	Liczba drzew	Suma	Odch. Std.	Wariancja	Bł. Std.	Minimum	Maksimum	Q 25	Mediana	Q 75
BMśw	T/B	5,95	77	457,95	3,51	12,33	0,4	1,51	20,02	3,53	4,92	7,37
	DynT	4	77	308,31	2,62	6,88	0,3	1,11	13	2,25	3,29	4,83
Lśw	T/B	6,73	71	477,65	3,49	12,17	0,41	2,62	25,53	4,74	5,66	7,91
	DynT	4,81	71	341,78	1,89	3,56	0,22	1,8	8,64	3,25	4,46	6,55
LMśw	T/B	5,72	69	394,88	3,31	10,93	0,4	1,71	16,22	3,3	4,75	7,25
	DynT	4,09	69	281,89	2,18	4,75	0,26	0,88	10,17	2,4	3,42	5,63

### 7.7.1. Współczynnik T/B

Współczynnik twarzielowania (T/B) w badanych typach siedliskowych lasu różni się. Najwyższą średnią wykazuje na lesie świeżym – 6,72. Skupienie wokół średniej, określone przez odchylenie standardowe, jest bardzo do siebie zbliżone i mieści się w przedziale od 3,30 do 3,51 (Ryc. 7.12).



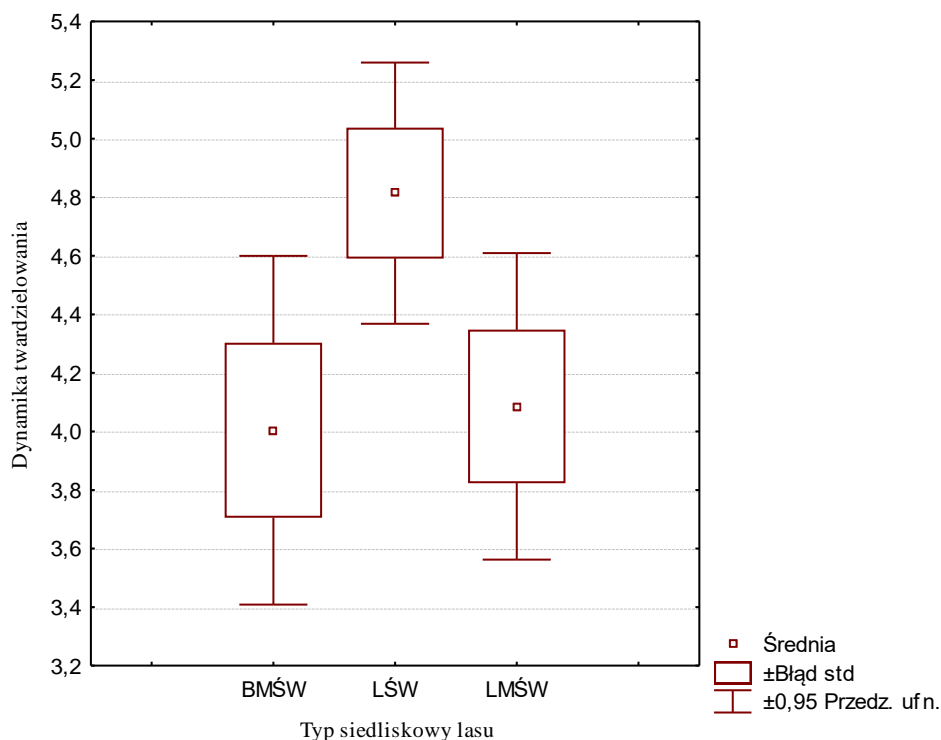
Ryc. 7.12 Średnia wartość współczynnika twarzielowania (T/B) w poszczególnych typach siedliskowych lasu

Wartości trzeciego kwartylu (Q 75) jest bardzo zbliżona do siebie w badanych siedliskach i mieści się w przedziale od 7,25 do 7,95. Między siedliskami lasowymi występują statystycznie istotne różnice (Tabela 7.17).

Tabela 7.17 Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej współczynnika twardzielowania (T/B) w poszczególnych typach siedliskowych lasu

ANOVA rang Kruskala-Wallisa			Test Kruskala-Wallisa: T/B (2, N=217) =7,268313 p =,0264 wartości porównań wielokrotnych			
Tsl	N	Suma rang	Zależna: T/B	BMśw	Lśw	LMśw
BMśw	77	7958,000	BMśw		0,635712	0,352088
Lśw	71	8892,000	Lśw	0,635712		0,013867
LMśw	69	6803,000	LMśw	0,352088	0,013867	

### 7.7.2. Dynamika twardzielowania



Ryc. 7.13 Średnia wartość dynamiki twardzielowania w poszczególnych typach siedliskowych lasu

Współczynnik dynamiki twardzielowania jest różny dla poszczególnych typów siedliskowych lasu. Największą średnią wartość osiąga na siedlisku lasu świeżego (4,81). Pozostałe siedliska przyjmują bardzo zbliżone średnie, BMśw – 4,00, a LMśw – 4,01. Odchylenie standardowe jest zróżnicowane i mieści się w granicach od 1,89 do 2,62. Mediana i trzeci kwartył wyraźnie wskazują na wzrost wartości dla lasu świeżego, co przekłada się na największą średnią współczynnika (Tabela 7.16).

Tabela 7.18 Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej dynamiki twardełowania w poszczególnych typach siedliskowych lasu

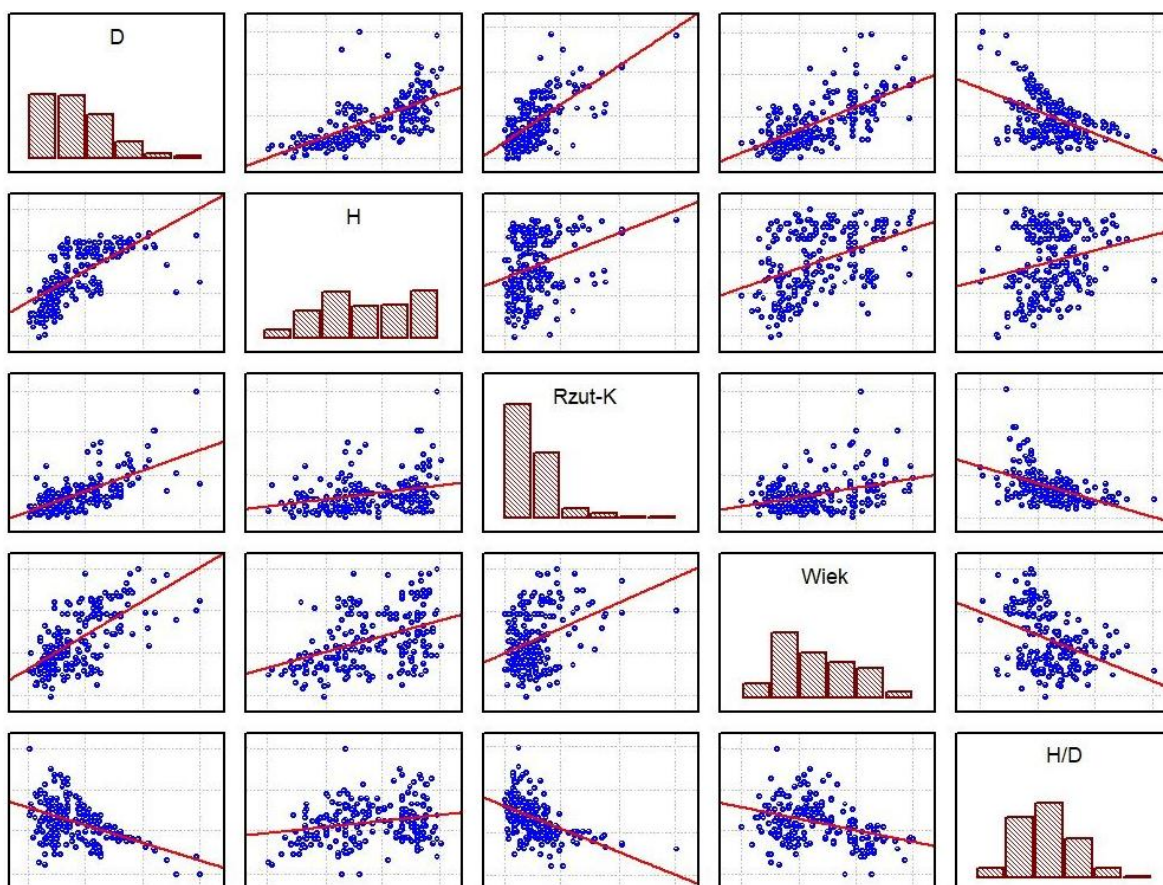
ANOVA rang Kruskala-Wallisa			Test Kruskala-Wallisa: DynT (2, N=217) =12,84665 p =,0016 wartości porównań wielokrotnych			
Tsl	N	Suma rang	Zależna: DynT	BMśw	Lśw	LMśw
BMśw	77	7318,000	BMśw		0,027999	1,000000
Lśw	71	9263,000	Lśw	0,027999		0,008918
LMśw	69	7072,000	LMśw	1,000000	0,008918	

Pomiędzy wszystkimi typami siedlisk, za wyjątkiem BMśw i LMśw, występują istotne różnice statystyczne (Tabela 7.18).

### 7.8. Związki między cechami

Przegląd wykresów rozrzutu umożliwia ocenę potencjalnych korelacji między badanymi cechami. Wstępne rozpoznanie pozwala zauważyć, że większość cech jest ze sobą skorelowana, choć w różnym stopniu. Rozkłady w populacjach nie mają przebiegu normalnego, co widać na wykresach liczości w macierzowych wykresach rozrzutu. Wykonane analizy wskazywały również na brak rozkładu normalnego, wyjątkiem jest rozkład cechy H/D (współczynnik smukłości), który wykazuje rozkład zbliżony do normalnego. W związku z tym dokonano weryfikacji stopnia skorelowania cech z wykorzystaniem porządku rang Spearmana (Tabela 7.19). Największe korelacje wykazują cechy związane z wiekiem drzewa, dotyczy to wysokości (0,76), pierśnicy (0,65), dynamiki twardełowania (0,73) i współczynnika T/B (0,74) (Tabela 7.19). Związki te są oczywiste, gdyż wartości tych cech wzrastają z wiekiem drzewa i korelacje są dodatnie. Współczynnik smukłości (H/D) wykazuje natomiast w większości przypadków korelację ujemną (Tabela 7.19). Najmniejszy stopień skorelowania wykazuje wysokość, gdzie korelacje są średnie, wyjątkiem jest korelacja z pierśnicą (0,76).

Na Rycinie 7.14 przedstawiono wykresy rozrzutu zewnętrznych cech biometrycznych drzew. Najbardziej skorelowaną cechą z pozostałymi jest pierśnica, która wykazuje najbardziej wyraźne związki. W przypadku wysokości, wieku i powierzchni rzutu korony korelacja jest dodatnia, natomiast w przypadku współczynnika smukłości – ujemna. Pozostałe cechy wykazują słabsze związki.



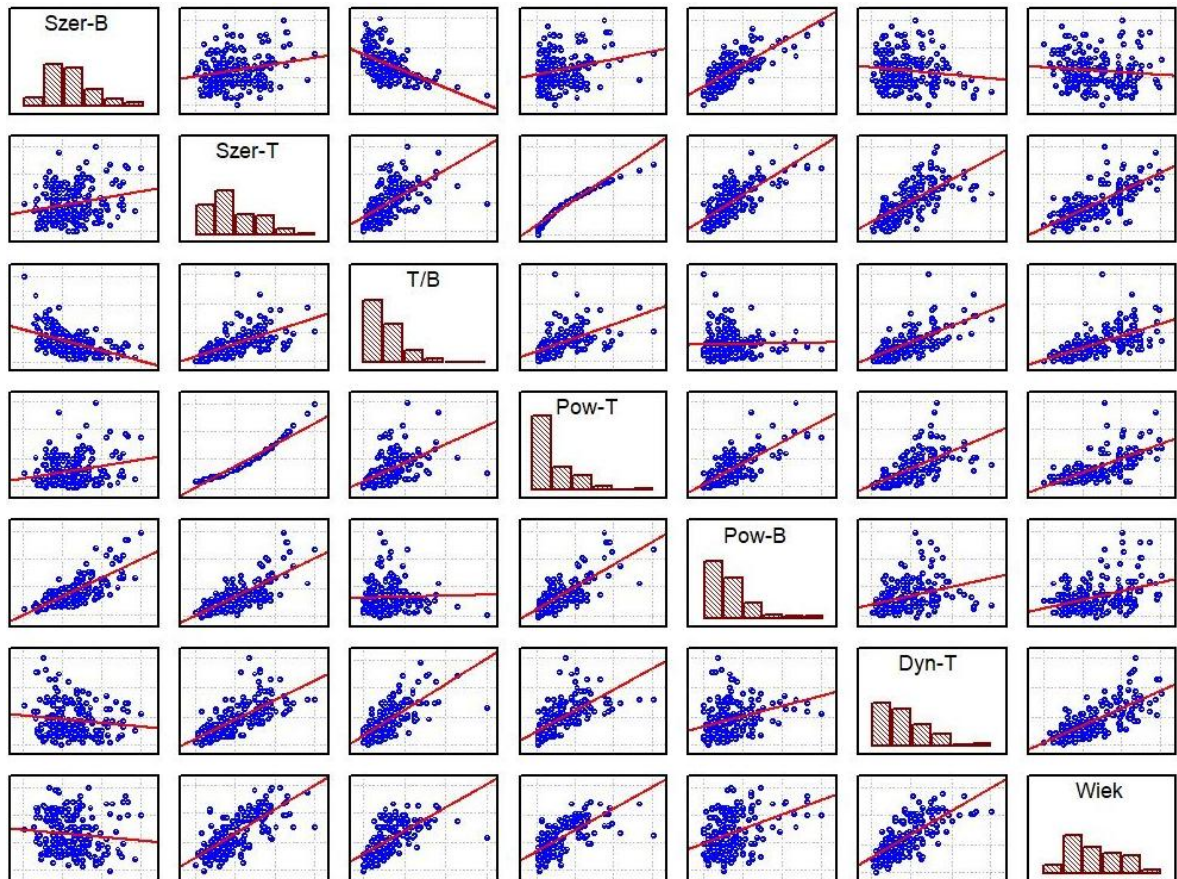
Ryc. 7.14 Macierzowy wykres rozrzutu cech biometrycznych badanych drzew

Tabela 7.19 Współczynniki korelacji porządku rang Spearmana dla cech biometrycznych badanych drzew

	D	H	Rzut-K	Wiek	H/D
D	1,00	0,76	0,63	0,66	-0,43
H	0,76	1,00	0,32	0,44	0,19
Rzut-K	0,63	0,32	1,00	0,30	-0,54
Wiek	0,66	0,44	0,30	1,00	-0,37
H/D	-0,43	0,19	-0,54	-0,37	1,00

W przypadku cech opisujących biel i twardziel badanych drzew widać wiele związków. Niektóre z nich mają charakter czysto matematyczny np. szerokość twardzieli i powierzchnia twardzieli, które wykazują pełną korelację, gdyż wraz ze wzrostem szerokości twardzieli wzrasta jej powierzchnia. Związek szerokości biału z szerokością twardzieli jest jednak inny (znacznie słabszy) niż związek powierzchni biału i powierzchni twardzieli (związek wyraźny). Wynika to z faktu, iż przy drzewach o dużej pierśnicy, wzrost szerokości twardzieli powoduje znacznie większy wzrost powierzchni pierścienia niż przy drzewach o małej średnicy. Dynamika twardzielowania, wyrażona ilością słoików rocznych, jest wyraźnie skorelowana ze współczynnikiem T/B, który wyraża proporcję szerokości

twardzieli do bielu. Szczególne związki widać między cechami opisującymi twardziel, a wiekiem drzew, a współczynniki tych korelacji są wysokie, gdyż wynoszą ponad 0,7 (Tabela 7.19). Szerokość bielu nie jest natomiast skorelowana z wiekiem drzew (-0,16), a powierzchnia bielu jest słabo skorelowana (0,37) (Tabela 7.19).

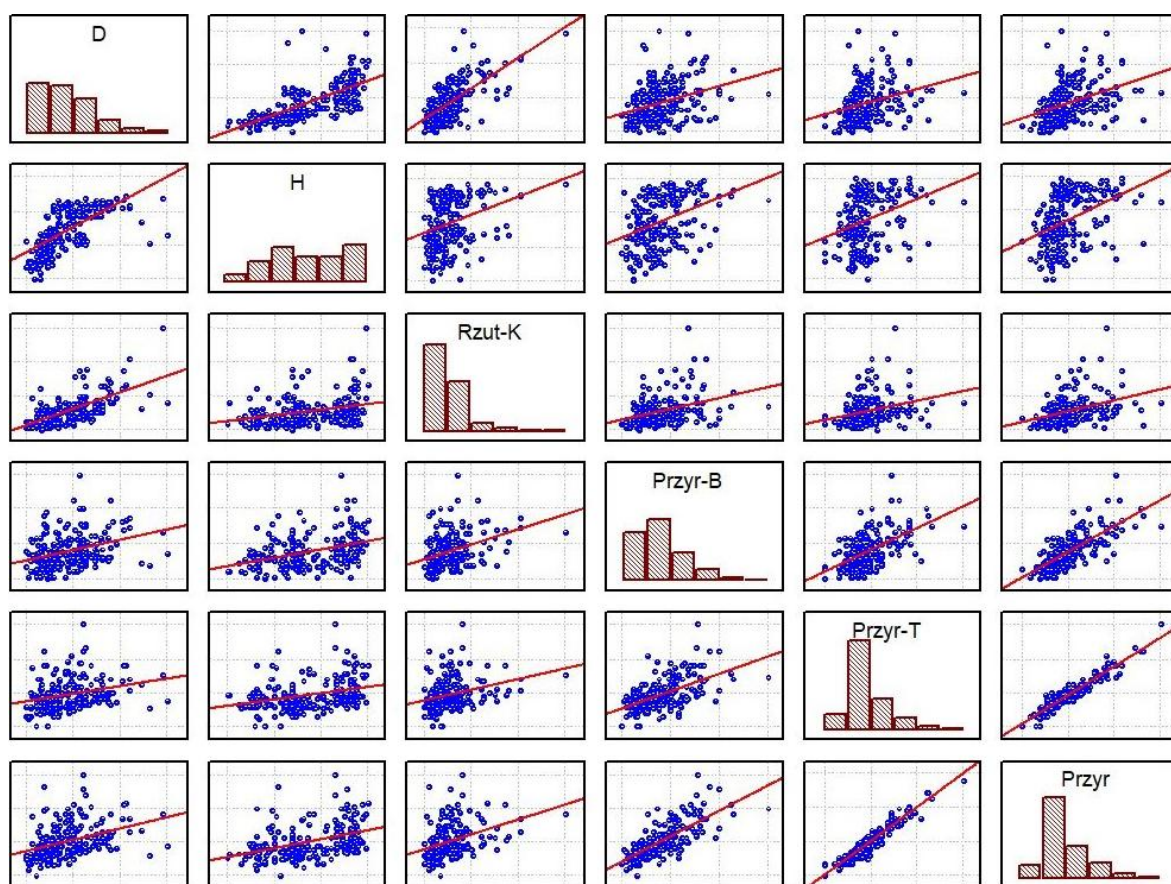


Ryc. 7.15 Macierzowy wykres rozrzutu cech opisujących biel i twardziel badanych drzew

Tabela 7.20 Współczynniki korelacji porządku rang Spearmana dla cech opisujących biel i twardele badanych drzew

	Szer-B	Szer-T	T/B	Pow-T	Pow-B	DynT	Wiek
Szer-B	1,00	0,17	-0,53	0,17	0,74	-0,11	-0,16
Szer-T	0,17	1,00	0,72	1,00	0,76	0,75	0,74
T/B	-0,53	0,72	1,00	0,72	0,13	0,71	0,74
Pow-T	0,17	1,00	0,72	1,00	0,76	0,75	0,74
Pow-B	0,74	0,76	0,13	0,76	1,00	0,41	0,37
DynT	-0,11	0,75	0,71	0,75	0,41	1,00	0,74
Wiek	-0,16	0,74	0,74	0,74	0,37	0,74	1,00

Kolejnym elementem, wziętym pod uwagę, jest średnia szerokość przyrostów rocznych. Łączna szerokość przyrostów z całego pnia (Przyr.) jest średnio skorelowana z pierśnicą, wysokością i powierzchnią rzutu korony (Ryc. 7.16). Współczynniki korelacji wahają się między 0,45 a 0,48 (Tabela 7.21). Szerokość przyrostów bielu jest średnio skorelowana z powierzchnią rzutu korony (0,41). Przyrosty twardele są mniej skorelowane (0,38).



Ryc. 7.16 Macierzowy wykres rozrzutu cech opisujących szerokość przyrostów badanych drzew

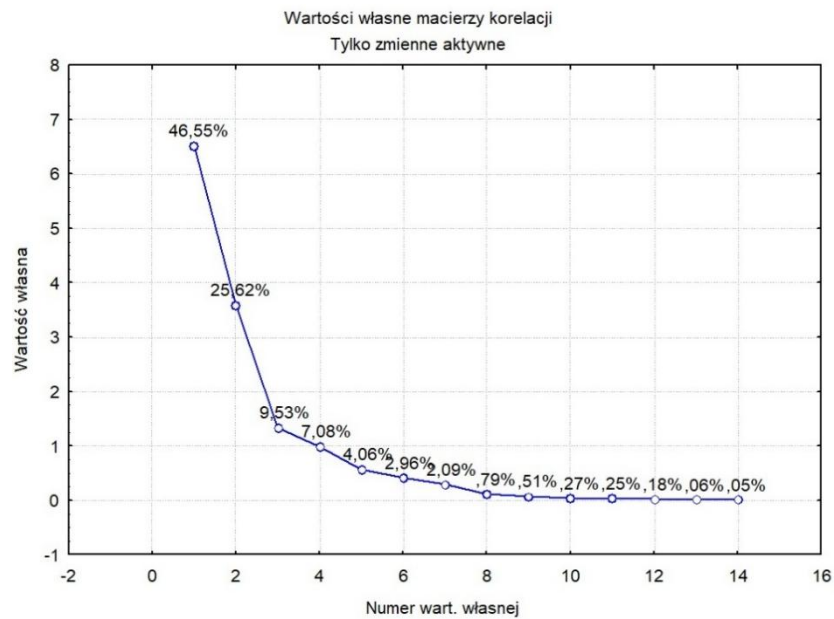
Tabela 7.21 Współczynniki korelacji porządku rang Spearmana dla cech opisujących szerokość przyrostów badanych drzew

	D	H	Rzut-K	Przyr-B	Przyr-T	Przyr.
D	1,00	0,76	0,63	0,37	0,34	0,48
H	0,76	1,00	0,32	0,38	0,32	0,45
Rzut-K	0,63	0,32	1,00	0,41	0,38	0,48
Przyr-B	0,37	0,38	0,41	1,00	0,53	0,75
Przyr-T	0,34	0,32	0,38	0,53	1,00	0,92
Przyr.	0,48	0,45	0,48	0,75	0,92	1,00

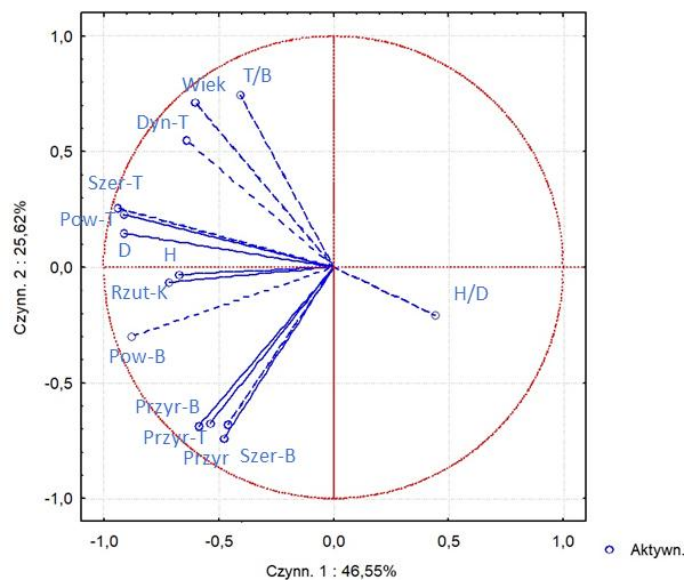
Przedstawione powyżej macierze i współczynnik korelacji ukazują liczne związki badanych cech. Związki te są niekiedy silne i wyraźne, innym razem tylko średnie. W wielu przypadkach występują chmury punktów dające niejednoznaczną odpowiedź. Należy mieć jednak na uwadze, iż głównym celem badań jest porównanie tych reakcji w różnych typach siedliskowych lasu, a zatem należy sprawdzić, czy powyższe związki wykazują jakieś różnice w ramach typów siedliskowych lasu. Duża liczba cech oraz wynikająca z tego ilość korelacji, utrudniają analizę dla poszczególnych typów siedliskowych.

W tym przypadku jako kontynuację analizy tych związków zastosowano analizę PCA (Principal component analysis – analizę głównych komponentów składowych). Umożliwiło to porównanie wszystkich cech jednocześnie. Założenie normalności dla analizy głównych składowych w przypadku dużego zbioru cech nie jest konieczne [Comrey 1973].

Wykres osypiska przeprowadzony dla wszystkich zmiennych (Ryc. 7.17) wskazuje na wyjaśnienie przez dwie składowe ponad 71% całkowitej zmienności. Zatem pozostałe wartości własne nie mają kluczowego znaczenia. Kolejny wykres wskazuje na niewielkie tendencje do grupowania się cech. Wiek, T/B oraz dynamika twardzielowania są ułożone blisko siebie (tworzą „grupę”) w opozycji do średniej szerokości przyrostów (Przyr-B, Przyr-T, Przyr, Szer-B), które również tworzą „grupę” (są blisko siebie). Bliskość ułożenia wektorów wskazuje na wzajemne skorelowanie cech. Długość wektora wskazuje na siłę korelacji. Wektory obu typowanych wyżej grup są względem siebie prostopadłe, co oznacza, iż nie są skorelowane (Ryc. 7.17).

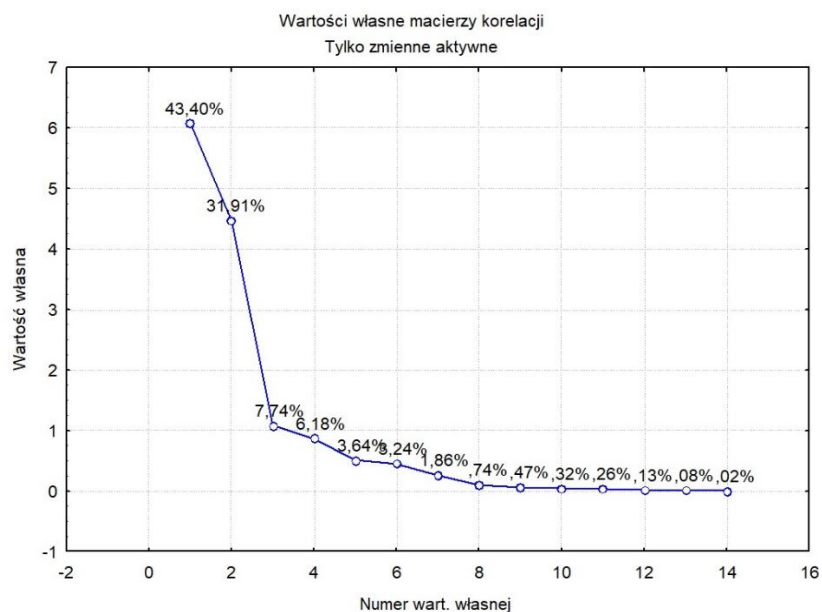


Ryc. 7.17 Wykres osypiska dla wszystkich badanych drzew

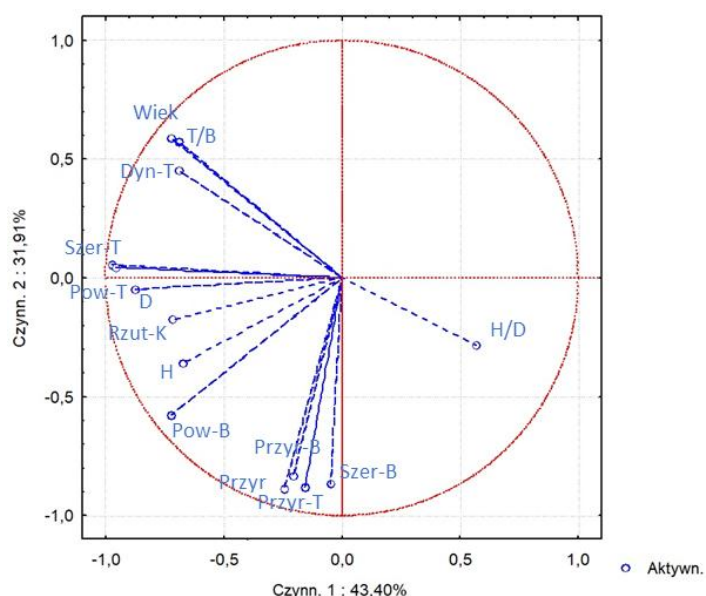


Ryc. 7.18 Wykres współrzędnych czynnikowych dla wszystkich drzew

W kolejnych krokach przeprowadzono podobne analizy osobno dla badanych typów siedliskowych lasu. Najpierw zbadano bór mieszany świeży. Wykres osypiska również wskazuje na dwie składowe, które w ponad 75% wyjaśniają zmienność (Ryc. 7.17). Podobnie jak w przypadku wszystkich drzew, zauważalne są dwie „grupy” zmiennych. Jedna to: wiek, T/B i dynamika twardzielowania, a druga jest związana z przyrostami rocznymi i szerokością bielu. Wektory wewnątrz typowanych grup leżą bliżej siebie, co oznacza silniejsze powiązania między cechami niż w przypadku ogółu drzew.

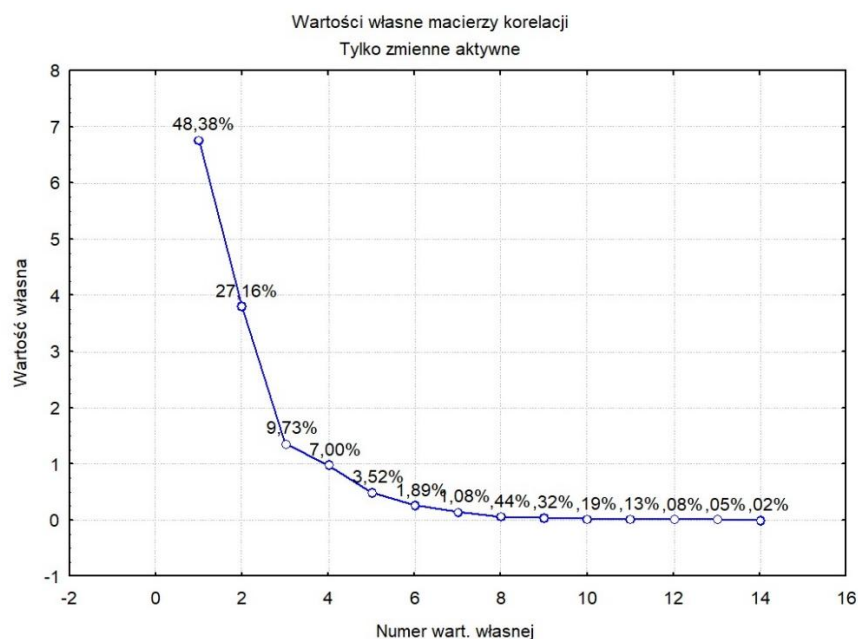


Ryc. 7.19 Wykres osypiska dla drzew wyrosłych na borze mieszanym świeżym

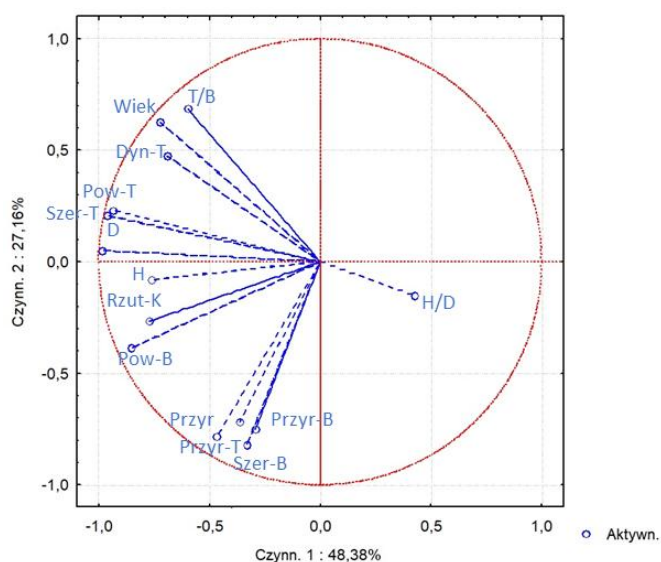


Ryc. 7.20 Wykres współrzędnych czynnikowych dla drzew wyrosłych na borze mieszanym świeżym

W kolejnej analizie dotyczącej lasu mieszanego świeżego, podobnie jak w przypadku boru, dwie pierwsze składowe odpowiadają za ponad 75% zmienności. Sytuacja zgrupowania cech wygląda podobnie jak w przypadku BMśw, jednak cechy są nieco szerzej rozstawione, a więc mniej skorelowane. Współczynnik smukłości wykazuje słabszą korelację (krótszy wektor) i jest mniej powiązany z grupą drugą (ułożony prostopadle). W przypadku LMśw „grupa” druga (szerokości przyrostów) w mniejszym stopniu jest związana z komponentem pierwszym, gdyż jest bardziej oddalona od linii pionowej, natomiast w przypadku BMśw „grupa” ta leżała prawie na linii.



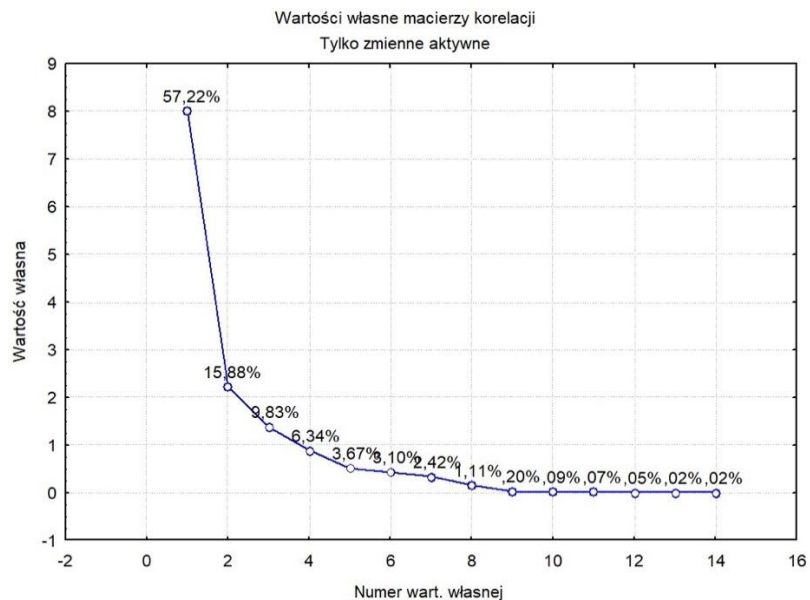
Ryc. 7.21 Wykres osypiska dla drzew wyrosłych na lesie mieszanym świeżym



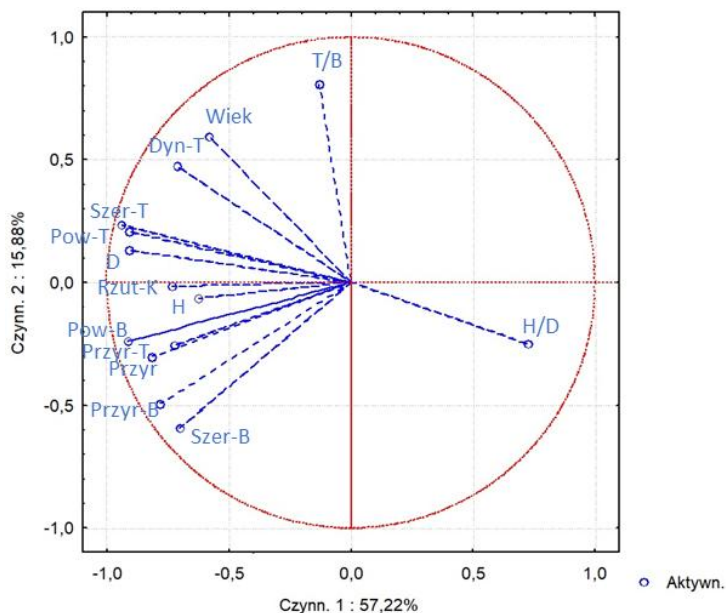
Ryc. 7.22 Wykres współrzędnych czynnikowych dla drzew wyrosłych na lesie mieszanym świeżym

Analizowane zmienne na trzecim typie siedliskowym lasu zachowują się wyraźnie inaczej niż na dwóch poprzednich siedliskach. Wykres osypiska pokazuje, iż, podobnie jak w poprzednich analizach, dwie pierwsze składowe wyjaśniają ponad 73% zmienności, przy czym tylko pierwsza składowa wyjaśnia ich aż 57%. Jest to zasadnicza różnica w porównaniu do poprzednich typów siedliskowych lasu. W związku z tym, cechy mają tendencję do grupowania się przy pierwszej składowej (wektory bliżej linii poziomej, Ryc. 7.21). Pojedyncze cechy nie mają tak silnej tendencji do grupowania się (wektory bardziej oddalone) jak w przypadku dwóch poprzednich typów siedliskowych lasu.

Szczególnie to widać między współczynnikiem T/B i dynamiką twardzielowania. Wektory w tym przypadku są bardzo odległe, co świadczy o słabym wzajemnym skorelowaniu cech. Biorąc pod uwagę układ wektorów oraz wykres osypiska można zauważyć, iż związki cech na typie siedliskowym las świeży są wyraźnie inne niż w warunkach słabszych siedlisk.



Ryc. 7.23 Wykres osypiska dla drzew wyrosłych na lesie świeżym



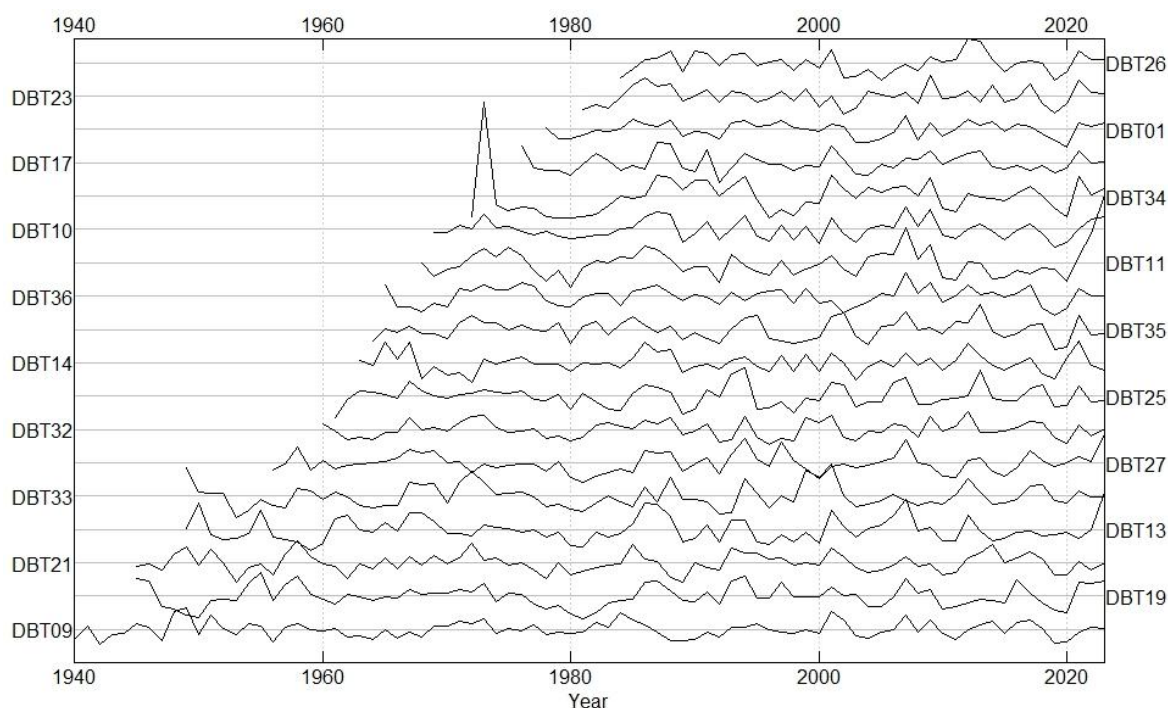
Ryc. 7.24 Wykres współrzędnych czynnikowych dla drzew wyrosłych na lesie świeżym

## 7.9. Analizy dendrochronologiczne

Dotychczasowe analizy pozwoliły stwierdzić, iż cechy biometryczne i makrostrukturalne różnią się w poszczególnych typach siedliskowych lasu. Jest to oczywiste, gdyż w każdym z badanych siedlisk występują inne warunki wzrostu i rozwoju. Głównym jednak odkryciem były różnice we współzależnościach cech, które w każdym z badanych typów siedliskowych lasu wypadły inaczej, a szczególnie w tym względzie różnił się las świeży. Kolejne analizy były oparte o metody dendrochronologiczne, które pozwoliły zweryfikować różnice w reakcjach przyrostów rocznych w przeszłości.

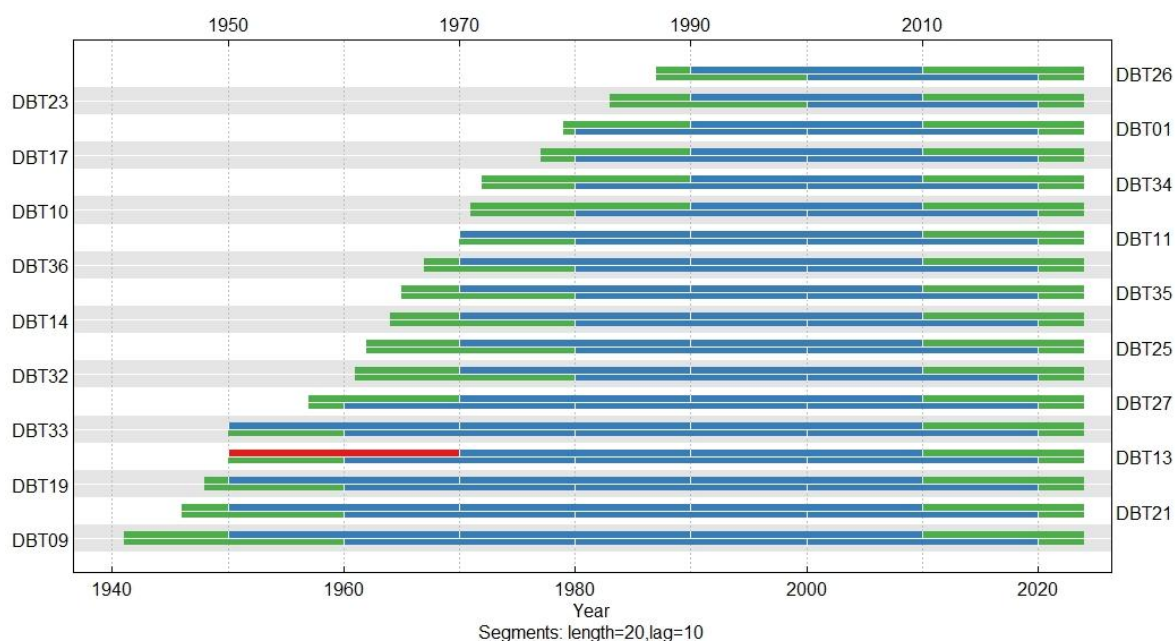
### 7.9.1. Chronologie stanowiskowe

Pierwsze analizy dotyczą zbudowania chronologii stanowiskowych z wykorzystaniem pakietu dlpR. Zasadniczym elementem było skonwertowanie szerokości słoików rocznych do indeksów przyrostowych, czego efektem jest powstały wykres typu spaghetti (Ryc. 7.25). Na wykresie skonstruowanym dla stanowiska T (BMśw) widać zgrubnie zgodność pików w poszczególnych drzewach, więc można wstępnie uznać, że reakcje przyrostów rocznych na warunki wzrostu są zbliżone.

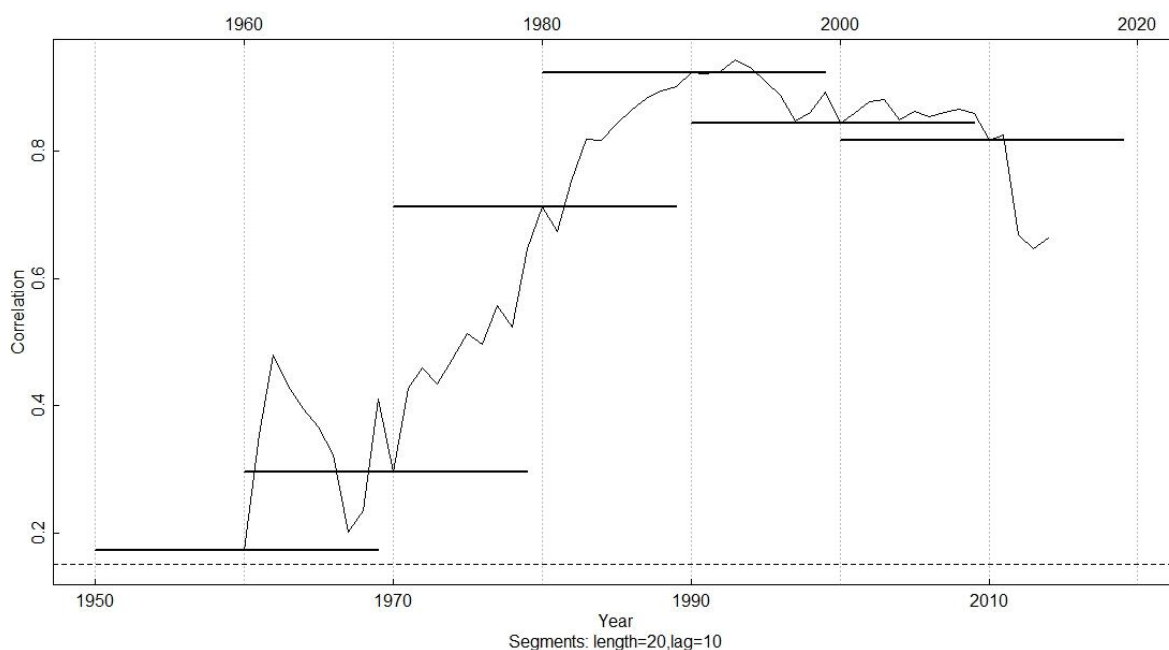


Ryc. 7.25 Wykres typu spaghetti ukazujący przebieg indeksów szerokości przyrostów rocznych w poszczególnych drzewach w warunkach boru mieszanego świeżego na stanowisku T

Kolejnym krokiem była analiza korelacji segmentowych liczonych w każdym 20-leciu, na zakładkę co 10 lat. Porównywane jest każde drzewo ze średnią dla stanowiska. W przypadku pierwszego stanowiska (T) dla BMśw widać zgodność wszystkich drzew z wyjątkiem drzewa nr 13 (DBT13), gdzie czerwony obszar oznacza obniżoną korelację w badanym okresie (Ryc. 7.26). Na następnym wykresie obrazującym wartość korelacji dla drzewa nr 13 widać w jakim stopniu korelacja ta została obniżona (Ryc. D3).



Ryc. 7.26 Zgodność korelacji segmentowych dla BMśw, stanowisko T



Ryc. 7.27 Wartość korelacji w poszczególnych segmentach (20-leciach)

Korelacja w tym przypadku jest obniżona do wartości poniżej 0,4, jednak jest dodatnia. Wskazuje to na nieznaczne odbieganie indeksu szerokości słoików od średniej. Drzewo to zostało również włączone do chronologii stanowiskowej.

W podobny sposób zostały zbadane korelacje dla wszystkich sześciu badanych stanowisk. Powstałe w ten sposób wstępne analizy zobrazowane na wykresach umieszczono w suplemencie (Ryc. S1 – S11). Po wygładzeniu trendu wiekowego z wykorzystaniem funkcji „spline” w pakiecie dplR wykonano szereg statystyk dla każdego stanowiska, które obrazują jakość uzyskanych chronologii i ich przydatność do analiz klimatycznych. Najczęściej wymieniany indeks GLK dotyczący podobieństwa indywidualnych chronologii jest wysoki na wszystkich badanych powierzchniach i waha się od 0,67 dla powierzchni F do 0,72 dla powierzchni H (Tabela 7.22), podczas gdy indeks 0,65 uznawany jest już za wystarczająco wysoki [Eckstein i Bauch, 1969]. Najważniejszy z indeksów wyrażonego sygnału populacji EPS (ang. expressed population signal) również jest wysoki i poza jednym stanowiskiem (stanowisko F, EPS-0,88) wynosi ponad 0,9. Indeks ten jest najczęściej wymienianym indeksem wskazującym na przydatność chronologii do analiz klimatycznych. Jego zalecana wartość powinna wynosić powyżej 0,85 [Wigley et al., 1984]. Wartość SNR (signal-to-noise-ratio), informujący o zmienności krótkookresowej na tle długookresowej, również jest wystarczający dla badań związków klimat – przyrost roczny. Jego minimalna zalecana wartość to 5,7 [Wilczyński, 2010], natomiast w badanych próbach uzyskano znacznie wyższe wartości od 7,67 do 29,2 (Tabela 7.22). Pozostałe statystyki, czyli AR1 i RBAR są podobne dla wszystkich powierzchni.

Tabela 7.22 Podstawowe statystyki dendrochronologiczne

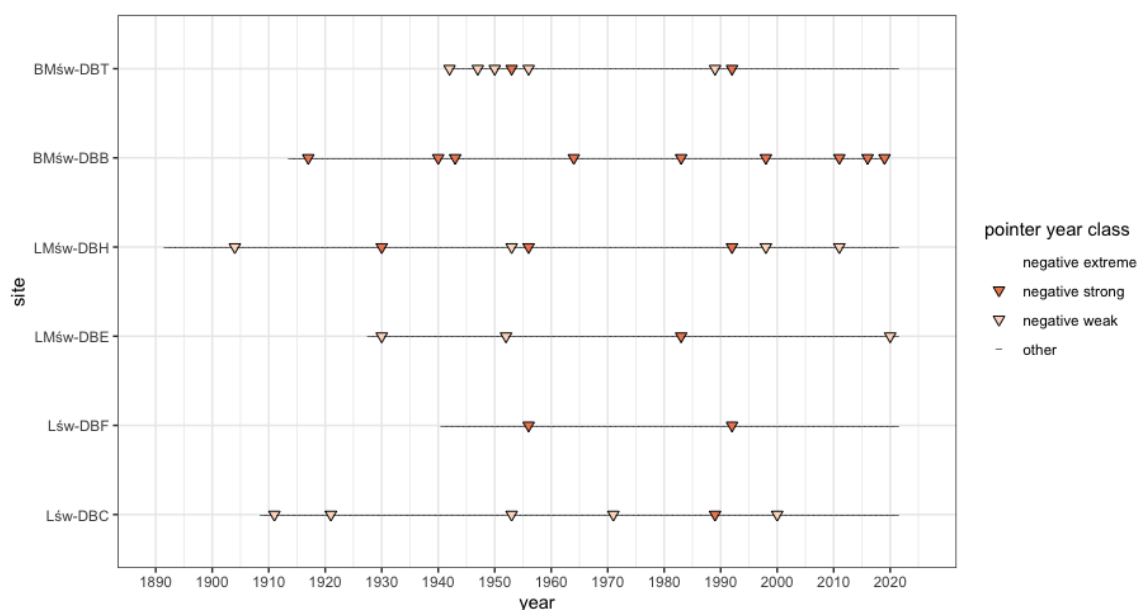
Tsl	Oznaczenie	GLK	AR1	RBAR	EPS	SNR
BMśw	T	0,70	0,62	0,42	0,91	9,71
BMśw	B	0,70	0,62	0,58	0,97	29,2
LMśw	H	0,72	0,68	0,52	0,92	11,2
LMśw	E	0,69	0,63	0,55	0,95	19,16
Lśw	F	0,67	0,64	0,41	0,88	7,67
Lśw	C	0,68	0,72	0,72	0,94	16,01

## 7.9.2. Lata wskaźnikowe

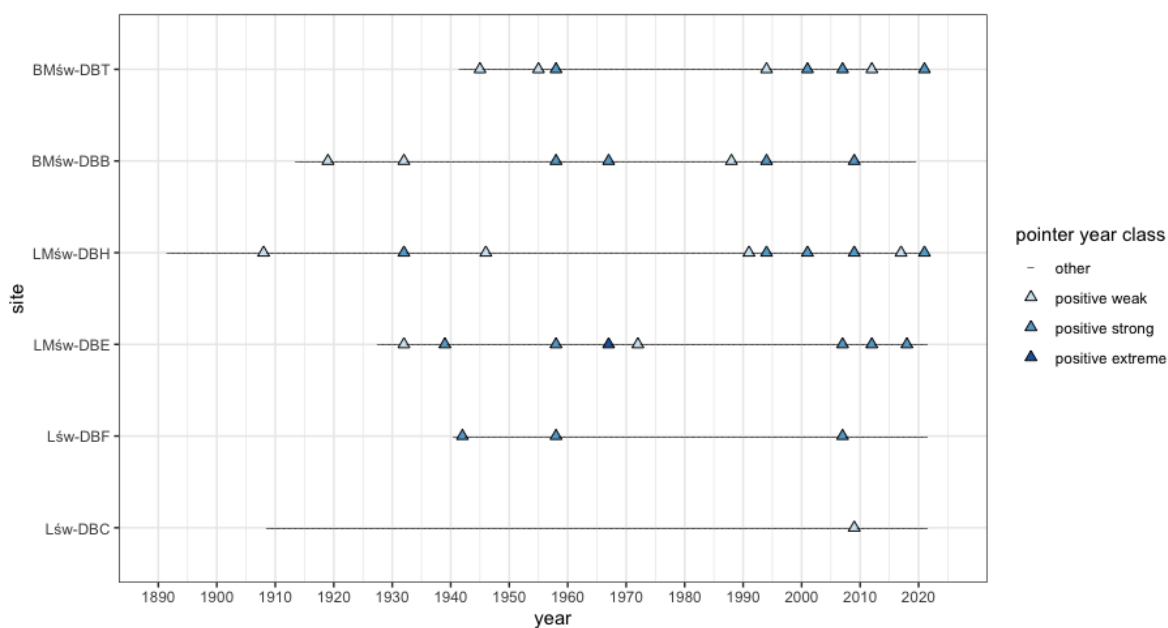
Na zbudowanych chronologiach stanowiskowych wyliczono lata wskaźnikowe. Należy dodać, że lata wskaźnikowe nie oznaczają związku z klimatem, gdyż parametry klimatyczne nie podlegały jeszcze analizie. Lata wskaźnikowe obrazują wyłącznie reakcję słoja rocznego pozytywną lub negatywną, bez podania przyczyny tej reakcji.

W przypadku lat negatywnych zauważalna jest większa wrażliwość na siedliskach uboższych. Występuje tam więcej lat wskaźnikowych i są one mocniejsze (Ryc. 7.28). Przedstawioną analizę wykonano dla 5-letnich okresów, z założeniem, że taki sam sygnał będzie reprezentowany przez co najmniej 55% drzew. Na lesie świeżym stwierdzono znacznie słabsze reakcje oraz wyraźnie mniej liczne.

W przypadku lat pozytywnych, na lesie świeżym, uzyskano wynik jeszcze ciekawszy, gdyż praktycznie stwierdza się tylko nieliczne reakcje. Natomiast na siedlisku borowym i na lesie mieszanym świeżym reakcje są bardzo liczne i wyraźne (Ryc. 7.29).



Ryc. 7.28 Negatywne lata wskaźnikowe w badanych drzewostanach  
Oznaczenia na osi Y reprezentują poszczególne powierzchnie badawcze.

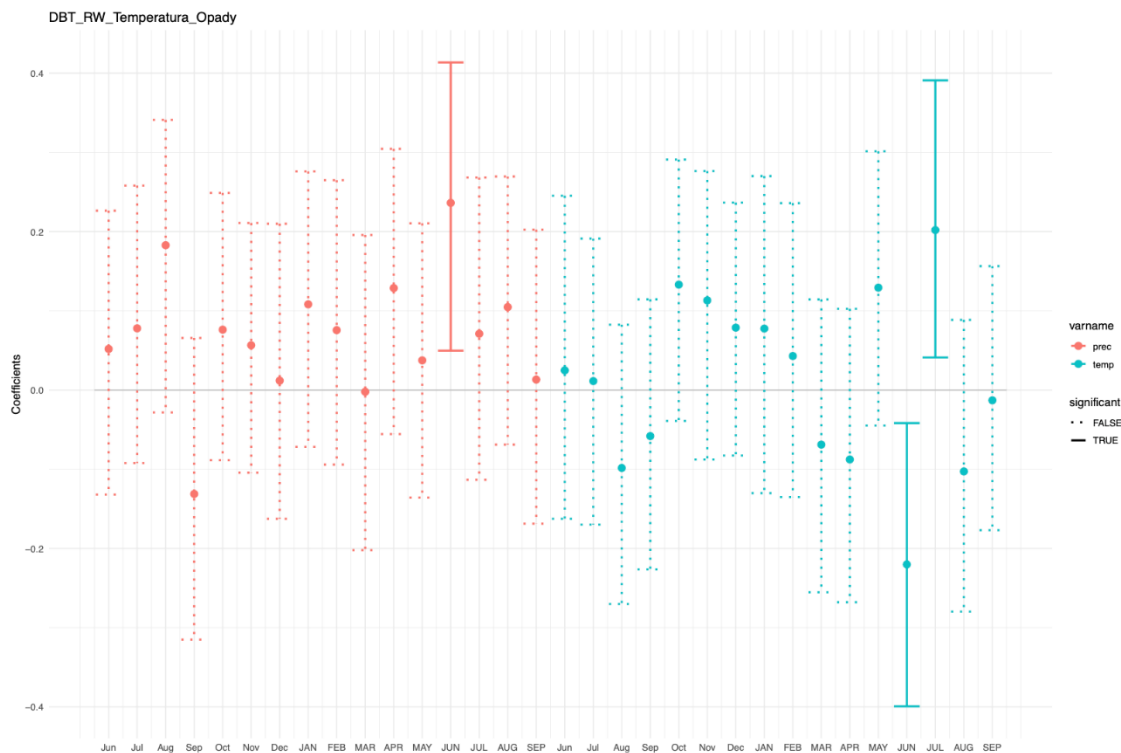


Ryc. 7.29 Pozytywne lata wskaźnikowe w badanych drzewostanach  
Oznaczenia na osi Y reprezentują poszczególne powierzchnie badawcze.

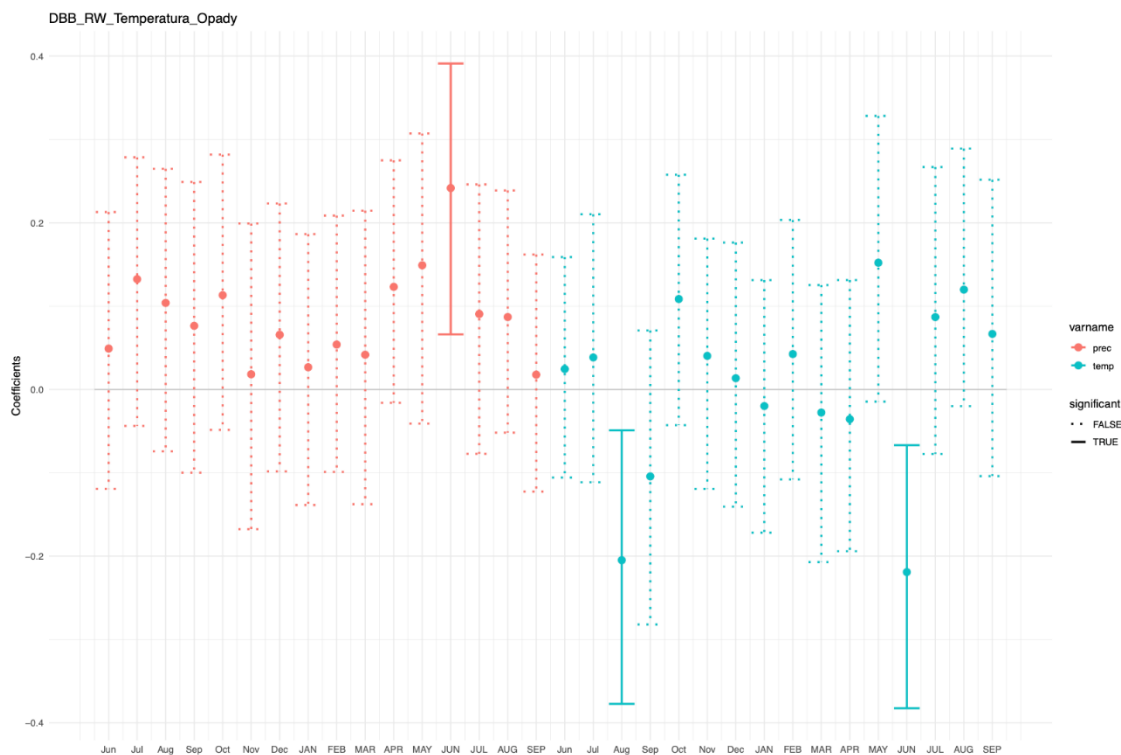
## 7.10. Analizy klimatyczne

### 7.10.1. Temperatura i opady

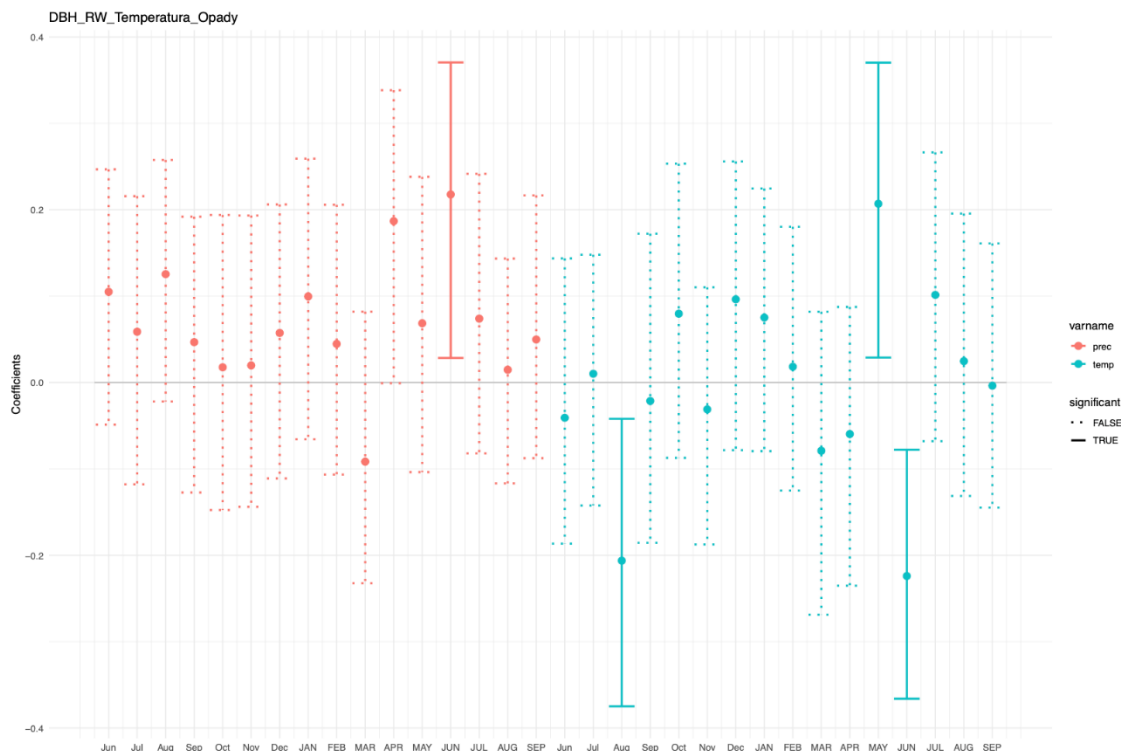
Analizy klimatyczne przeprowadzono odrębnie dla każdego stanowiska. W pierwszej kolejności zbadano korelacje w okresie, w którym wzrastały drzewa (Ryc. 7.30). Ponieważ drzewostany nie były idealnie w tym samym wieku, należy mieć na uwadze, że korelacje dotyczą różnych okresów, każdorazowo jednak jest to cały okres w jakim rosły drzewa, nie dalej jednak niż rok 1920. Do tego bowiem okresu możliwe było uzyskanie danych klimatycznych. Korelacje różnią się między poszczególnymi typami siedliskowymi lasu. Większość korelacji jest nieistotna statystycznie (linie przerywane). W analizowanych drzewostanach reakcje na temperaturę i opady występują w różnych miesiącach. W większości powierzchni obserwuje się korelację pozytywną opadów z czerwcem bieżącego roku. Na stanowiskach E (LMśw) i C (Lśw) obserwuje się reakcję również z drugą połową lata ubiegłego roku. W przypadku temperatury, częściej obserwowane są korelacje negatywne na wszystkich powierzchniach, szczególnie latem bieżącego roku. W przypadku uboższych siedlisk również reakcje pozytywne są skorelowane z początkiem lata bieżącego roku (Ryc. 7.30, 7.32, 7.33).



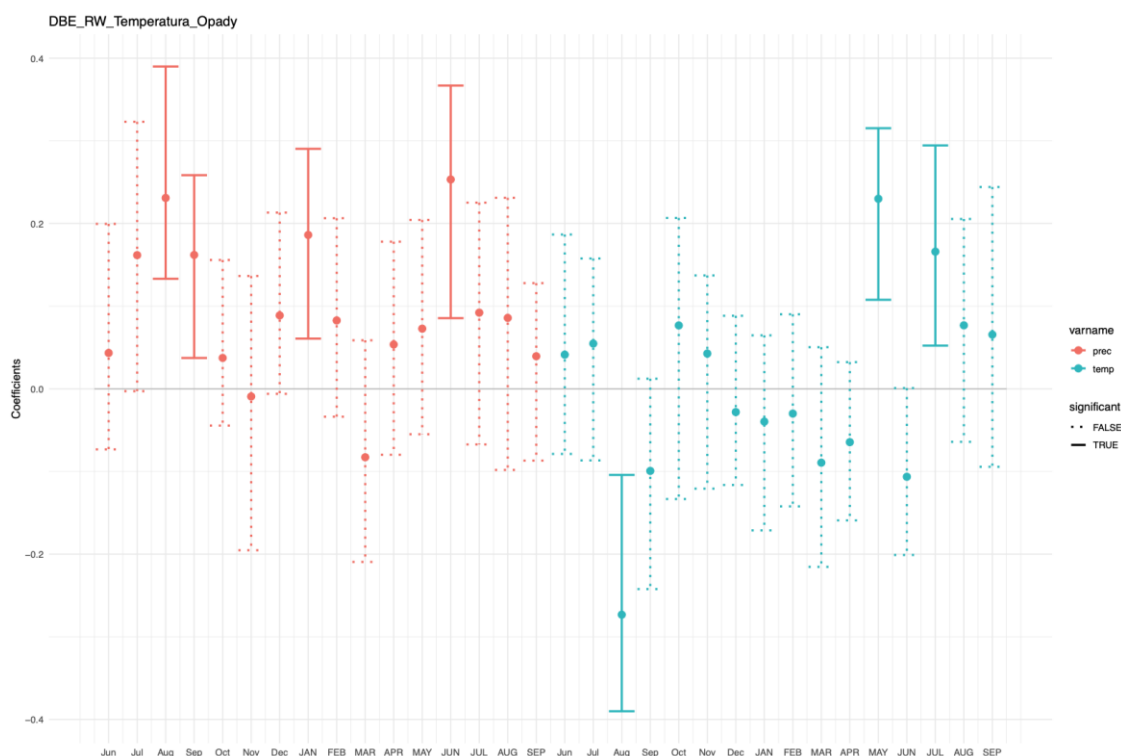
Ryc. 7.30 Współczynniki korelacji średniej temperatury miesięcznej i średnich sumarycznych opadów miesięcznych z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska T (BMśw)  
 Duże litery oznaczają miesiące bieżącego roku, małe litery – miesiące poprzedniego roku.



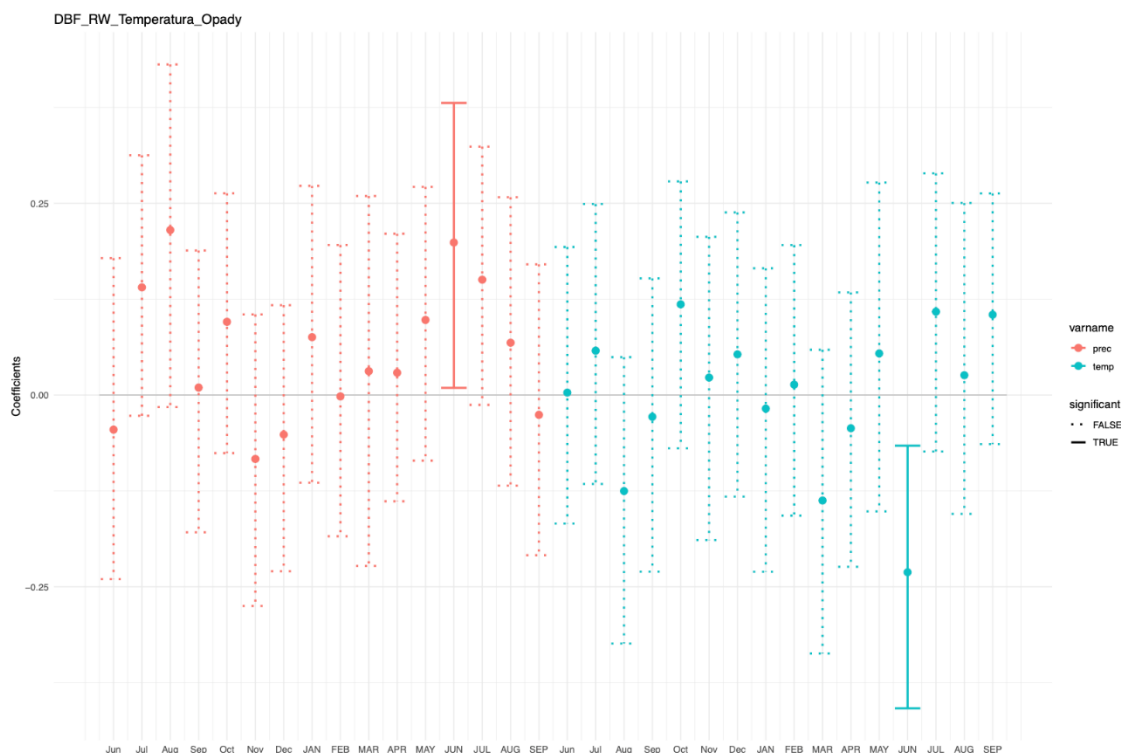
Ryc. 7.31 Współczynniki korelacji średniej temperatury miesięcznej i średnich sumarycznych opadów miesięcznych z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska B (BMśw)  
 Duże litery oznaczają miesiące bieżącego roku, małe litery – miesiące poprzedniego roku.



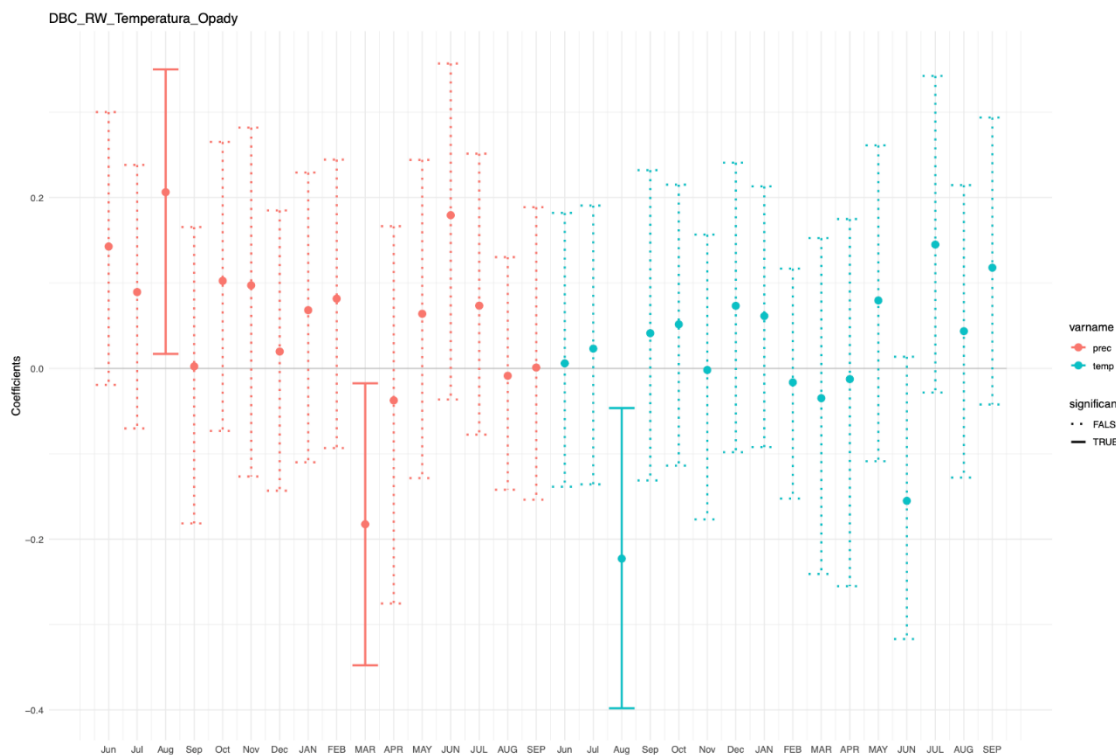
Ryc. 7.32 Współczynniki korelacji średniej temperatury miesięcznej i średnich sumarycznych opadów miesięcznych z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska H (LMśw)  
 Duże litery oznaczają miesiące bieżącego roku, małe litery – miesiące poprzedniego roku.



Ryc. 7.33 Współczynniki korelacji średniej temperatury miesięcznej i średnich sumarycznych opadów miesięcznych z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska E (LMśw)  
 Duże litery oznaczają miesiące bieżącego roku, małe litery – miesiące poprzedniego roku.



Ryc. 7.34 Współczynniki korelacji średniej temperatury miesięcznej i średnich sumarycznych opadów miesięcznych z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska F (Lśw)  
Duże litery oznaczają miesiące bieżącego roku, małe litery – miesiące poprzedniego roku.

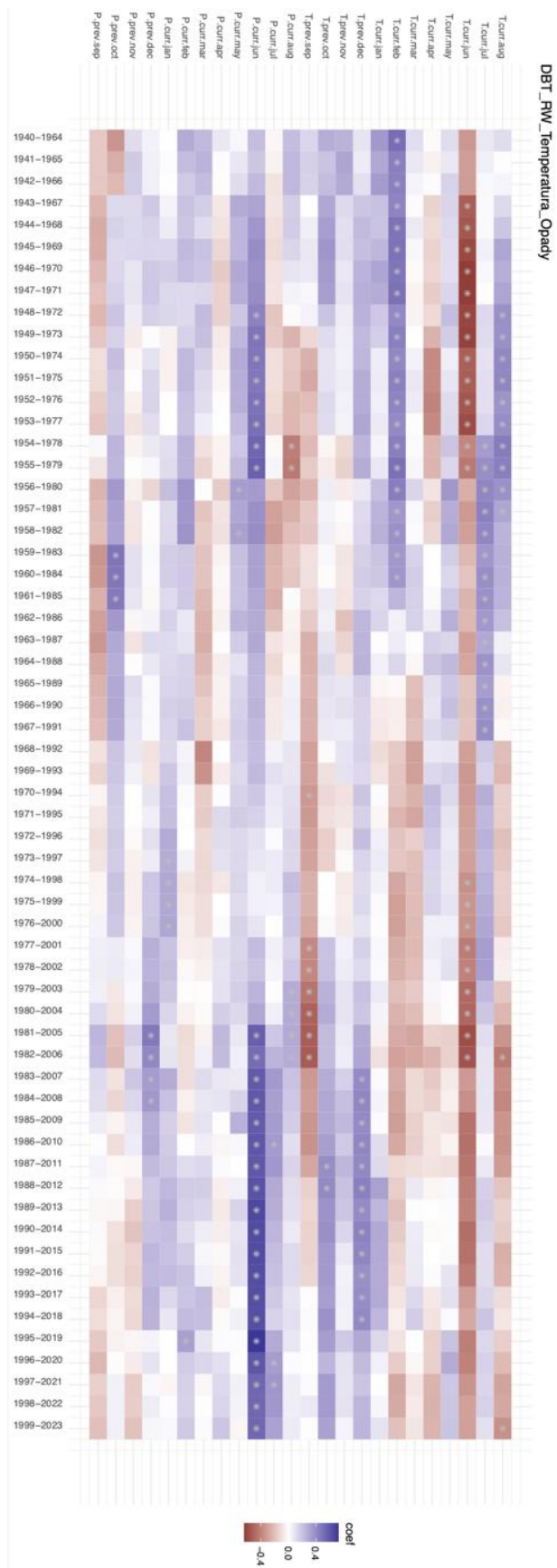


Ryc. 7.35 Współczynniki korelacji średniej temperatury miesięcznej i średnich sumarycznych opadów miesięcznych z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska C (Lśw)  
Duże litery oznaczają miesiące bieżącego roku, małe litery – miesiące poprzedniego roku.

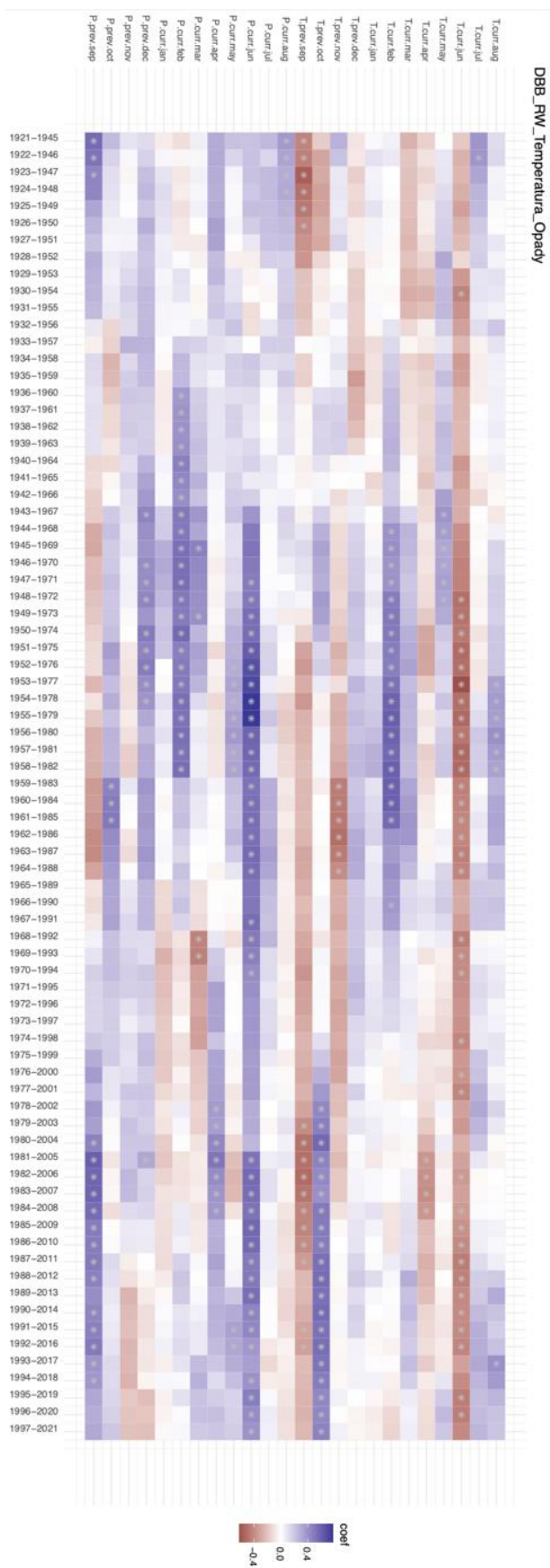
Wykresy korelacji z całego okresu, dają tylko wstępną informację o korelacjach przyrostów rocznych z temperaturą i opadami. Znacznie wyraźniejszy obraz uzyskano w przypadku korelacji kroczących w okresach 25-letnich (Ryc. 7.36 – 7.41).

Na wszystkich powierzchniach zauważalne są zdecydowanie negatywne korelacje temperatury z przyrostami w czerwcu bieżącego roku. Widoczne są one praktycznie przez cały okres dla każdego ze stanowisk. W tym samym miesiącu również widoczne są pozytywne korelacje z opadami, jednak korelacje istotne przeważają w ostatnich 40 latach. Wykresy w postaci tzw. heatmapy, wszystkich badanych stanowisk, są podobne do siebie, jednak różnią się w detalach. Najbardziej widoczna jest wyrazistość kolorów, czyli siła korelacji, która jest najłabsza na lesie świeżym, a wyjątkowo wyrazista na lesie mieszanym świeżym. Również ilość istotnych korelacji (z gwiazdkami) przeważa na lesie mieszanym świeżym. Na stanowiskach boru mieszanego świeżego również istotność korelacji jest wysoka.

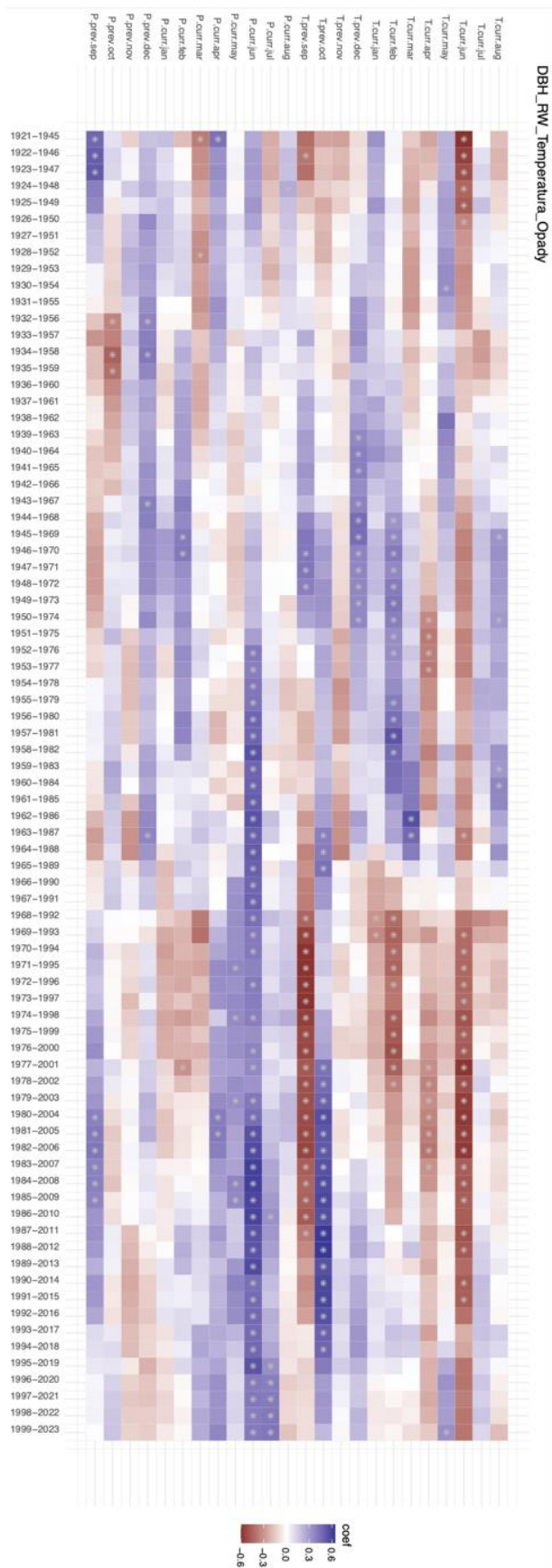
Ogólny przegląd wykresów wskazuje na najmniejszą reaktywność z temperaturą i opadami w lesie świeżym. W warunkach lasów mieszanych widoczne są reakcje negatywne w miesiącach wiosennych, a nawet zimowych w okresie przed kilkudziesięciu laty (czerwone plamy). W warunkach siedlisk bogatszych (Lśw) również występuje to zjawisko, ale później (od kwietnia). W obu omawianych sytuacjach reakcja negatywna ustąpiła około 20 lat temu.



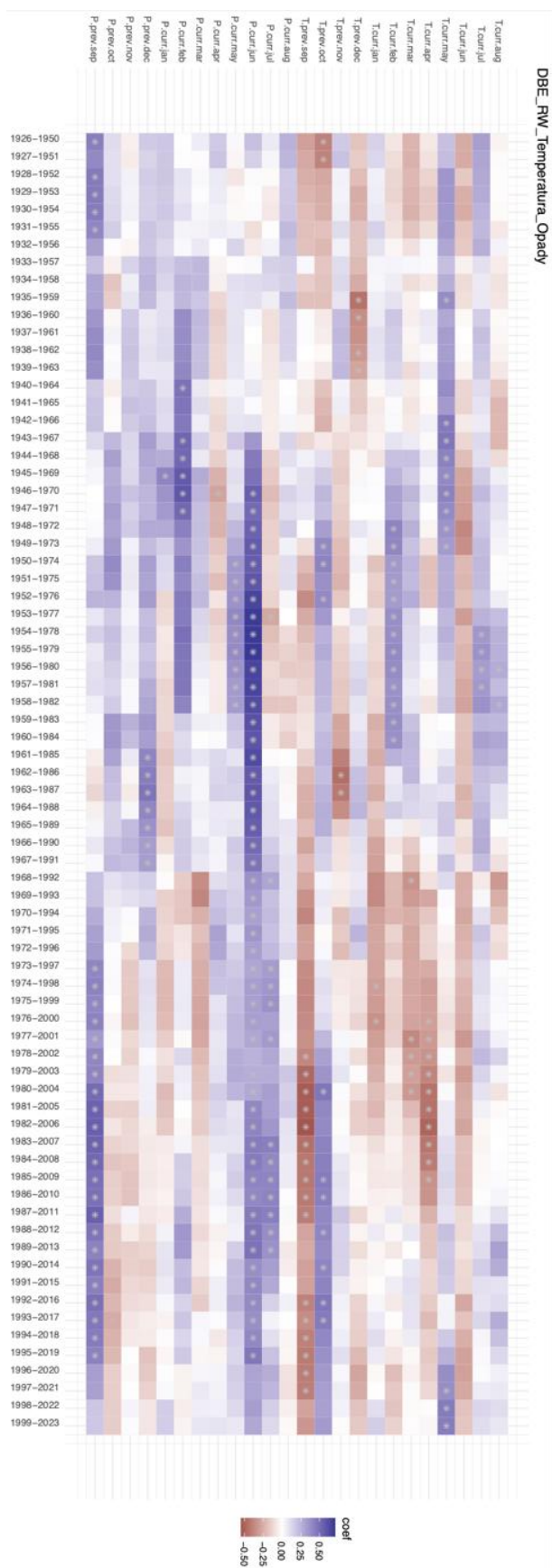
Ryc. 7.36 Korelacje temperatury i opadów w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska T (BMśw)  
 Oznaczenia: T – temperatura, P – opady, curr. – rok bieżący, prev. – rok poprzedni  
 Gwiazdką oznaczone są współczynniki istotne statystycznie.



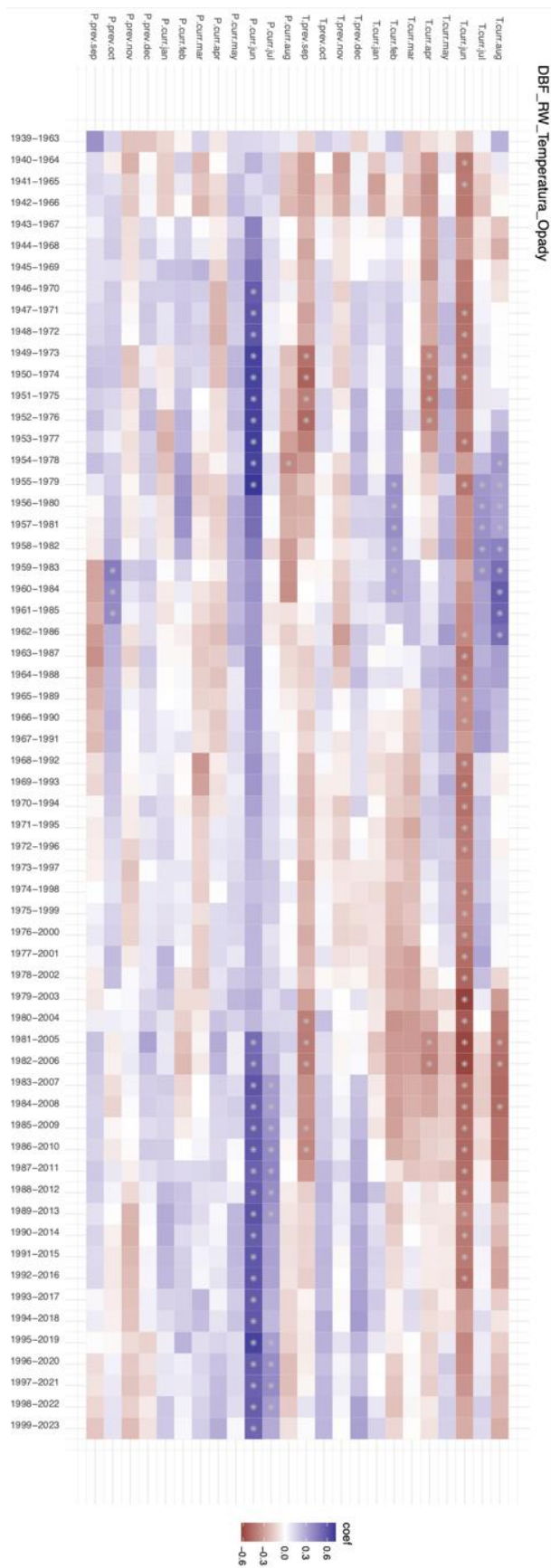
Ryc. 7.37 Korelacje temperatury i opadów w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska B (BMśw)  
 Oznaczenia: T – temperatura, P – opady, curr. – rok bieżący, prev. – rok poprzedni  
 Gwiazdką oznaczone są współczynniki istotne statystycznie.



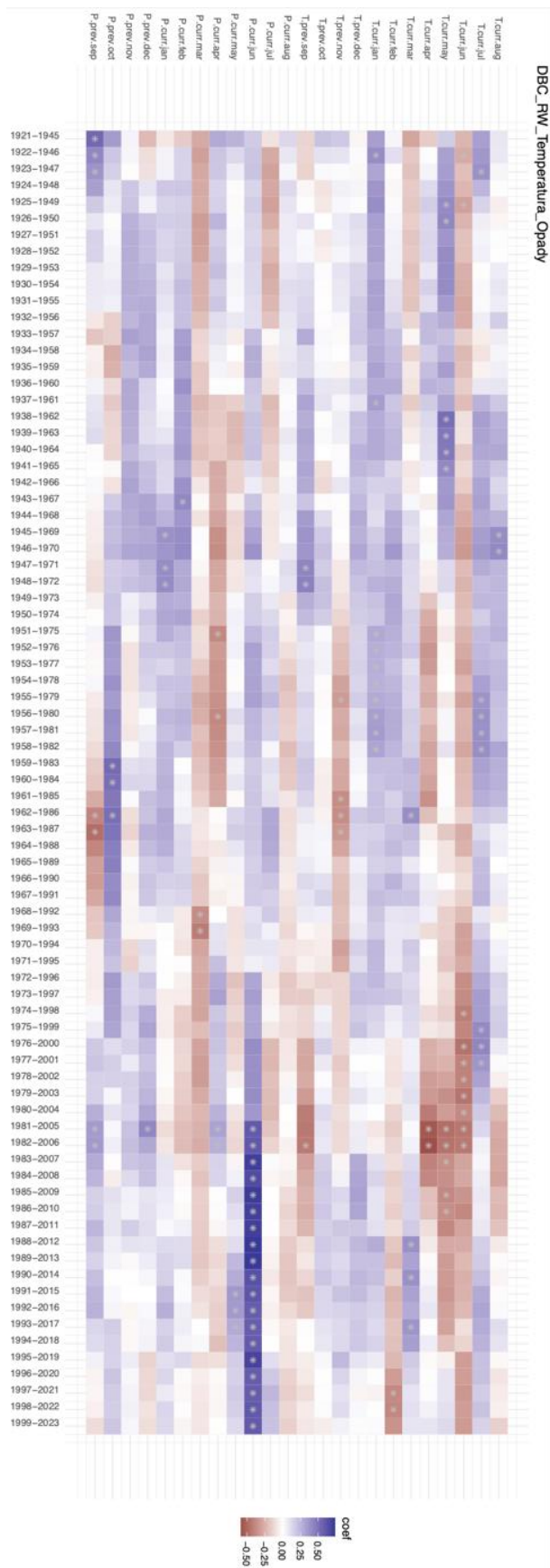
Ryc. 7.38 Korelacje temperatury i opadów w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska H (LMśw)  
 Oznaczenia: T – temperatura, P – opady, curr. – rok bieżący, prev. – rok poprzedni  
 Gwiazdką oznaczone są współczynniki istotne statystycznie.



Ryc.7.39 Korelacje temperatury i opadów w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska E (LMśw)  
 Oznaczenia: T – temperatura, P – opady, curr. – rok bieżący, prev. – rok poprzedni  
 Gwiazdką oznaczone są współczynniki istotne statystycznie.



Ryc. 7.40 Korelacje temperatury i opadów w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska F (Lwów)  
 Oznaczenia: T – temperatura, P – opady, curr. – rok bieżący, prev. – rok poprzedni  
 Gwiazdką oznaczone są współczynniki istotne statystycznie.

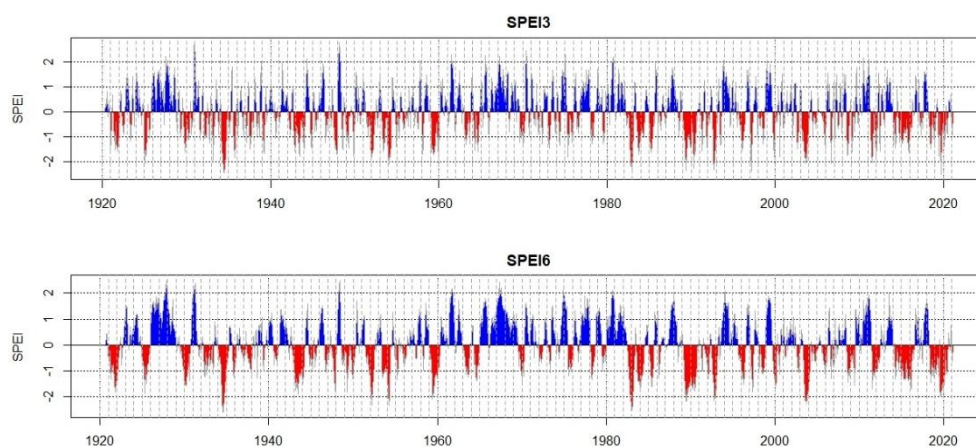


Ryc. 7.41 Korelacje temperatury i opadów w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska C (Lw)  
 Oznaczenia: T – temperatura, P – opady, curr. – rok bieżący, prev. – rok poprzedni  
 Gwiazdką oznaczone są współczynniki istotne statystycznie.

### 7.10.2. Indeks suszy

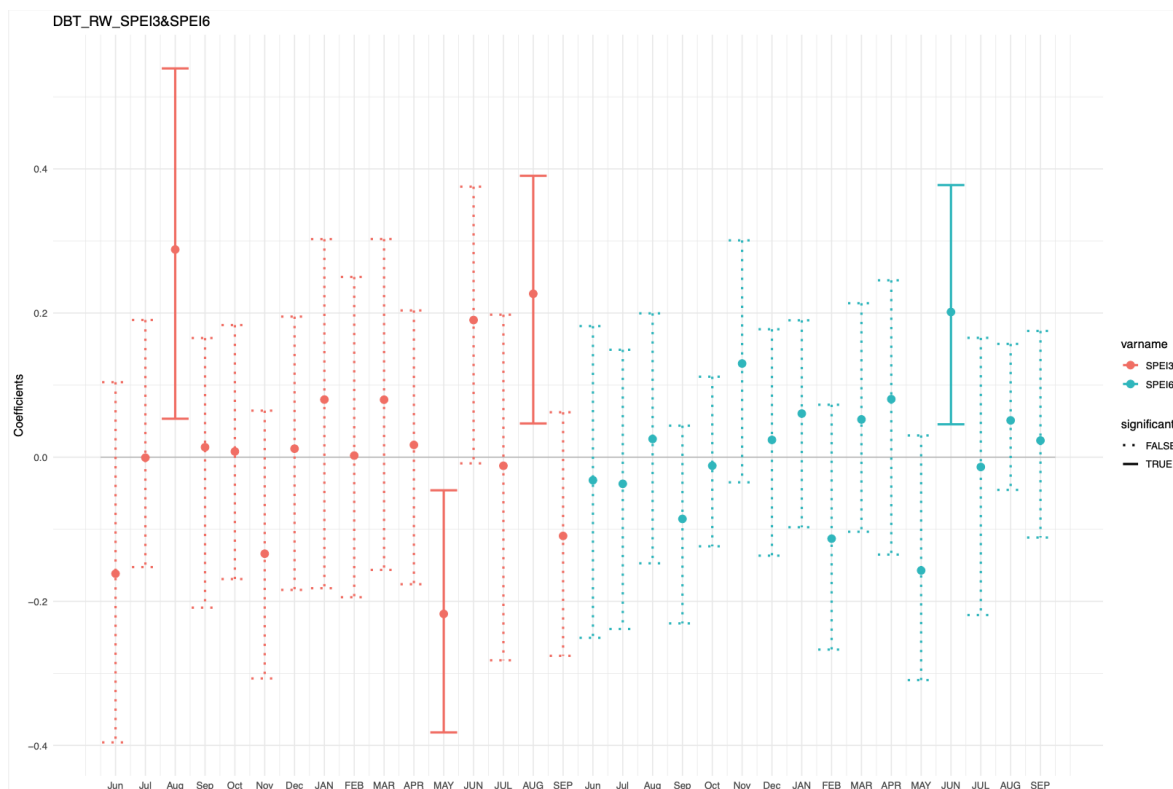
Okresowe wahania indeksu SPEI różnią się w poszczególnych okresach. Bardziej czytelny obraz pokazuje indeks 6-miesięczny niż 3-miesięczny, choć wahania indeksu są podobne w poszczególnych przedziałach czasowych. Szczególnie w ostatnim 20-leciu widać duże ujemne wartości indeksu, wskazujące na tendencje do suszy (Ryc. 7.42).

Przedstawiony wykres wyświetla wartości indeksu dla stanowiska B. Ponieważ stanowiska były bardzo blisko siebie, wykresy dla poszczególnych stanowisk wyglądały niemal identycznie, dlatego pominięto ich wstawienie w niniejszym tekście, a stanowisko B uznano jako reprezentatywną ilustrację do opisu ogólnego. W przypadku obliczeń korelacji wykorzystano indeksy wyliczone indywidualnie dla każdego stanowiska. Wartość ujemna indeksu często zawierała się w granicach -1,5 do -2 wskazując na silną suszę. Wartości dodatnie przeważały w latach 60 i 70-tych. Jeszcze wcześniej, a mianowicie w trzydziestoleciu 1930-1960, indeks był głównie ujemny. W kilku miejscach w historii indeks przekracza -2, co oznacza ekstremalną suszę. Z obserwowanego indeksu wynika, iż zjawiska suszy i braku suszy powtarzają się cyklicznie, z różnym nasileniem przez ostatnie 100 lat (Ryc. 7.42).

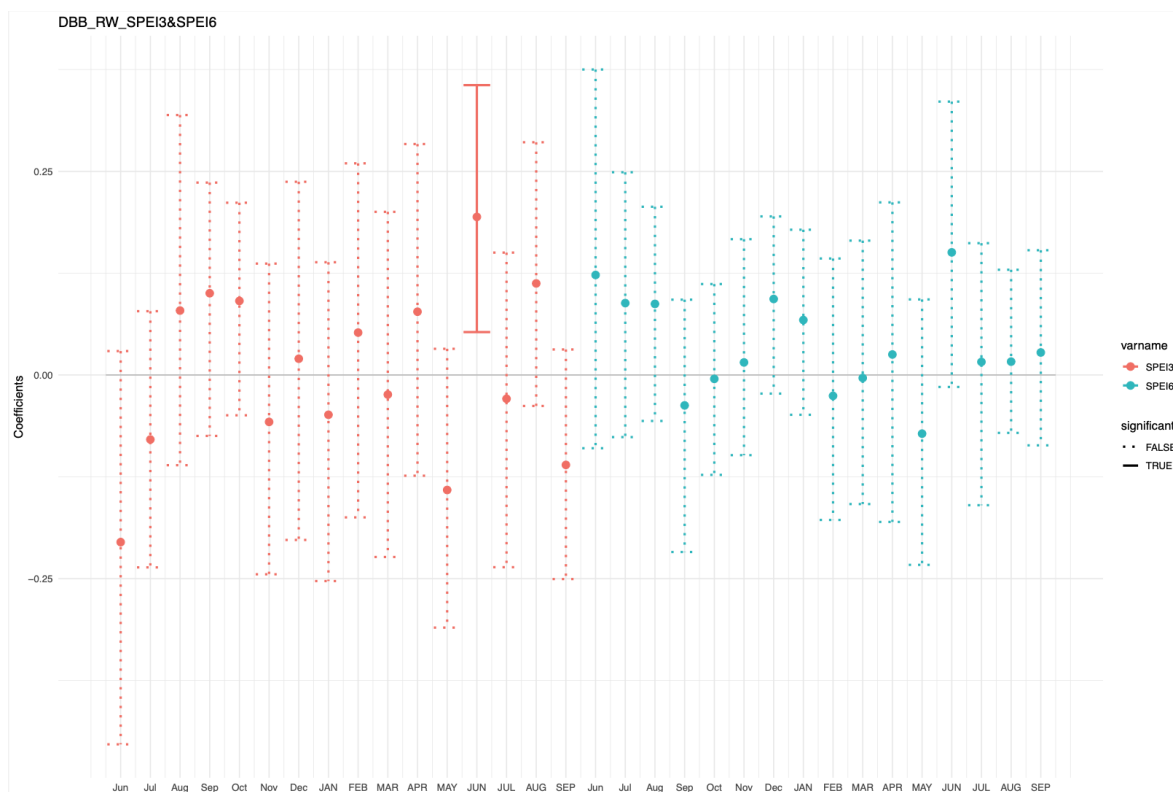


Ryc. 7.42 Wartości 3-miesięcznego (SPEI3) i 6-miesięcznego (SPEI6) indeksu SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) dla stanowiska B

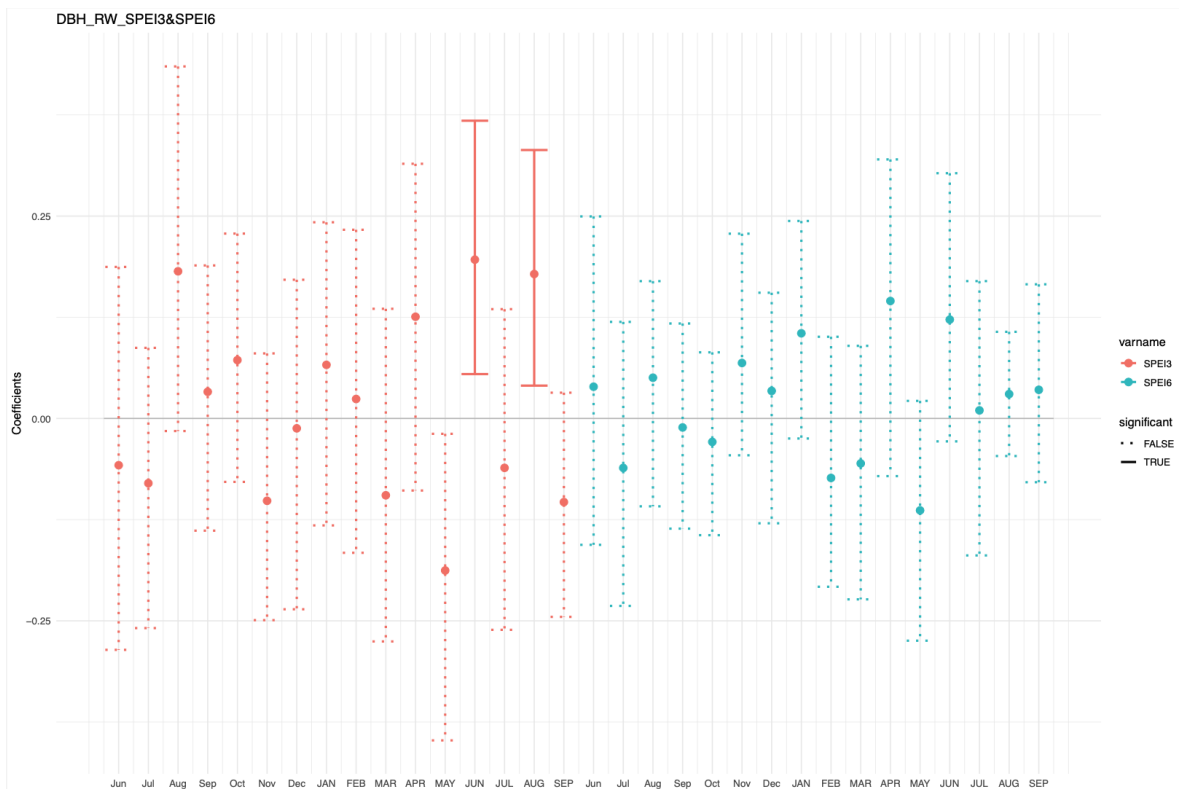
Korelacje indeksu SPEI z przyrostem drzew wskazują na większe związki z indeksem 3-miesięcznym. W przypadku krótkookresowego ujęcia, częściej występują korelacje istotne (czerwone linie ciągłe) (Ryc. 7.43 – 7.48). Występują one w okresie letnim, zarówno bieżącego jak też poprzedniego roku. Trudno jest stwierdzić powiązanie istotności indeksu z typem siedliskowym lasu, gdyż na każdej z powierzchni, statystyki istotne prezentują się inaczej. W przypadku indeksu 6-miesięcznego wysokie korelacje obserwowane są w czerwcu oraz w styczniu, w większości przypadków jednak nie są istotne.



Ryc. 7.43 Wartość korelacji indeksu SPEI z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska T (BMśw)  
 Duże litery oznaczają miesiące bieżącego roku, małe litery – miesiące poprzedniego roku.



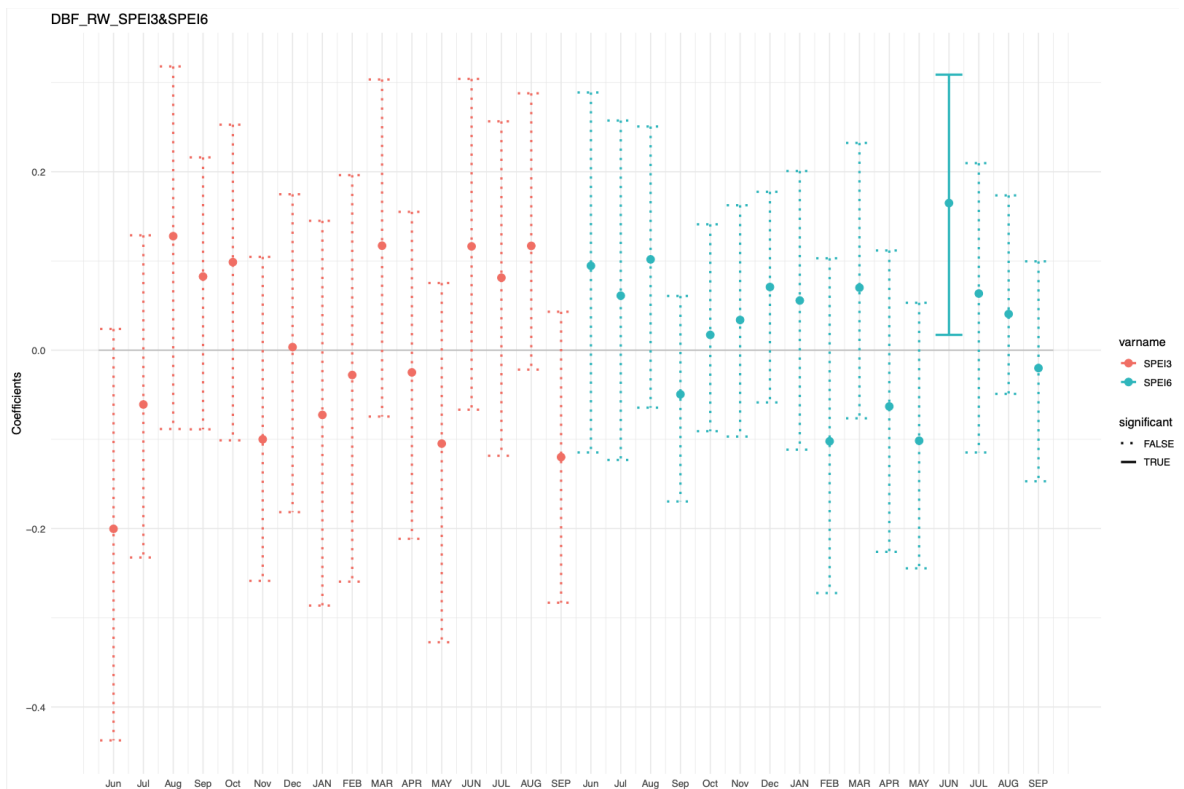
Ryc. 7.44 Wartość korelacji indeksu SPEI z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska B (BMśw)  
 Duże litery oznaczają miesiące bieżącego roku, małe litery – miesiące poprzedniego roku.



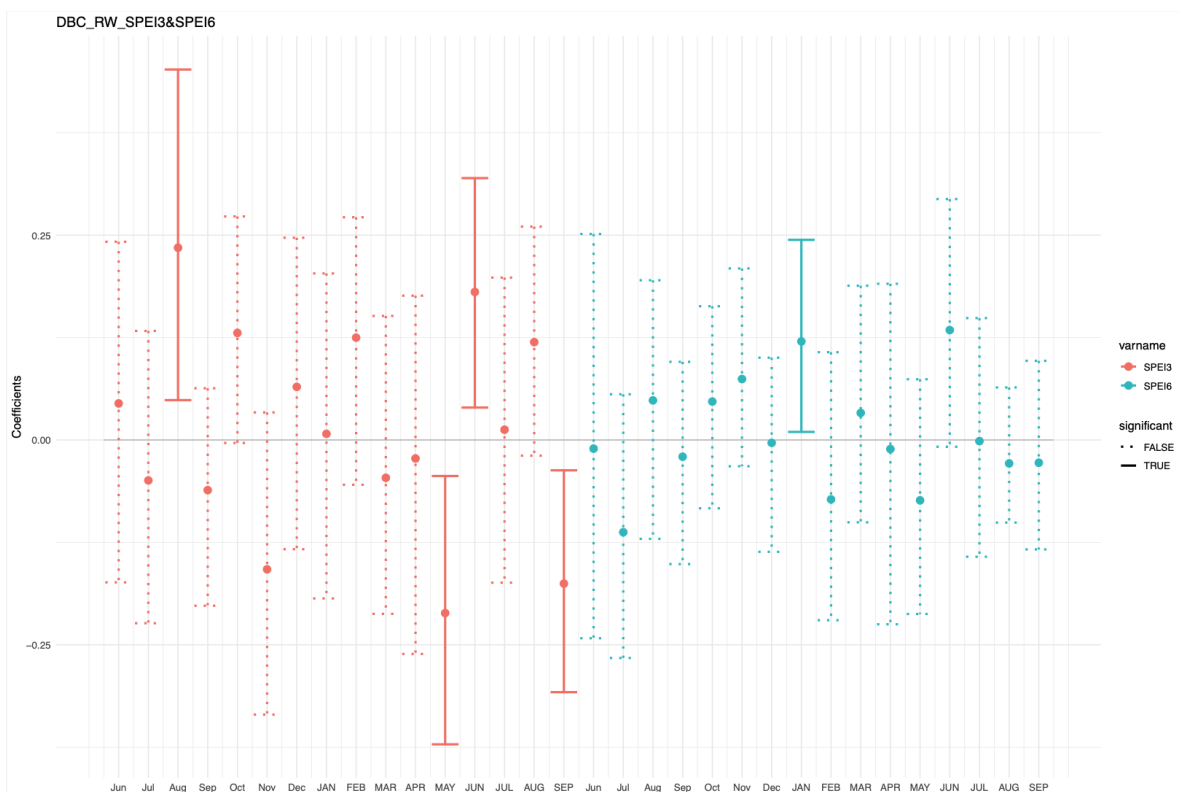
Ryc. 7.45 Wartość korelacji indeksu SPEI z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska H (LMśw)  
 Duże litery oznaczają miesiące bieżącego roku, małe litery – miesiące poprzedniego roku.



Ryc. 7.46 Wartość korelacji indeksu SPEI z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska E (LMśw)  
 Duże litery oznaczają miesiące bieżącego roku, małe litery – miesiące poprzedniego roku.

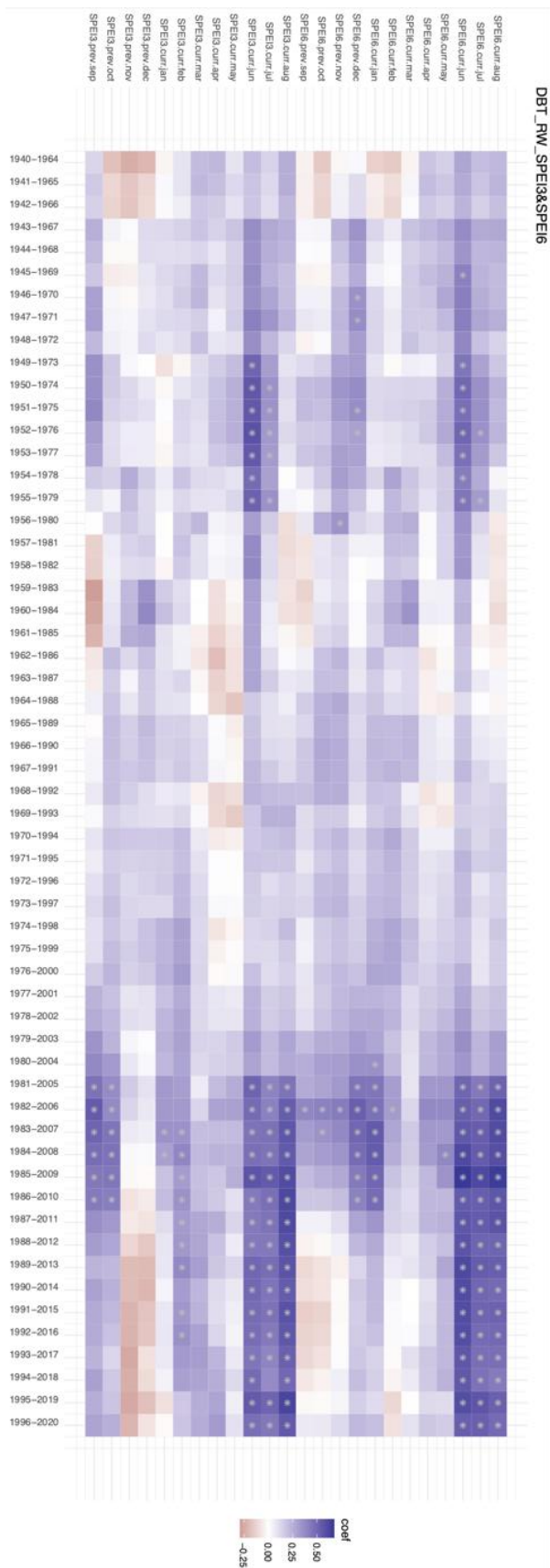


Ryc. 7.47 Wartość korelacji indeksu SPEI z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska F (Lśw)  
 Duże litery oznaczają miesiące bieżącego roku, małe litery – miesiące poprzedniego roku.

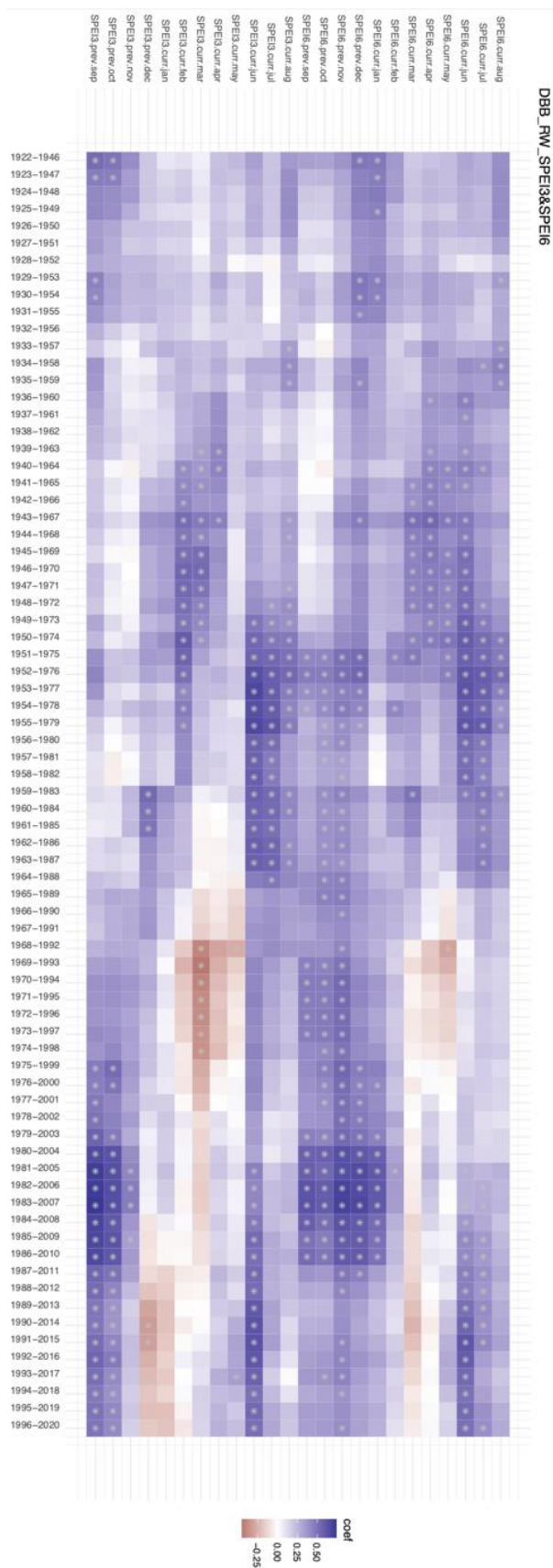


Ryc. 7.48 Wartość korelacji indeksu SPEI z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska C (Lśw)  
 Duże litery oznaczają miesiące bieżącego roku, małe litery – miesiące poprzedniego roku.

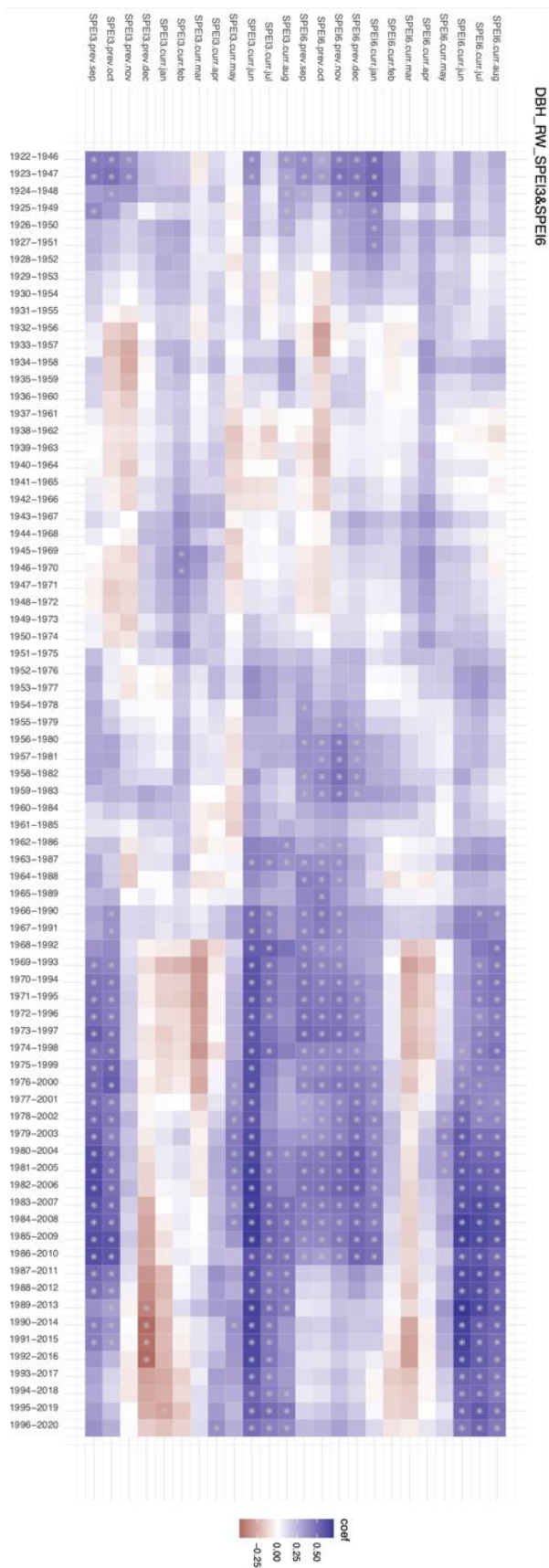
Korelacje indeksu z poszczególnymi stanowiskami wskazują na bardzo zróżnicowane reakcje. Wspólną cechą wszystkich stanowisk jest odzwierciedlenie silnej korelacji w ostatnich 40 latach. Najsilniejsze korelacje zarówno SPEI3 jak i SPEI6 przypadają dla miesięcy letnich bieżącego roku. Poza tym różnice między stanowiskami są spore. Główną różnicę widać w reakcji wieloletniej. Na przykład na stanowiskach B (BMśw) i E (LMśw) silna korelacja występowała przez cały analizowany okres dla przełomu roku (listopad-styczeń). Na pozostałych stanowiskach zauważono taką reakcję tylko w pewnych okresach czasu. Biorąc pod uwagę wszystkie wykresy, dla różnych typów siedliskowych lasu, wydaje się, że w okresie wiosennym bieżącego roku, korelacje dla lasu świeżego na obu stanowiskach są najslabsze i to w całym analizowanym okresie. Na innych stanowiskach korelacje wiosenne są również słabe, ale bywają okresy, gdy występuje wyraźna korelacja wiosną. Jest to dobrze widoczne na stanowisku B oraz E.



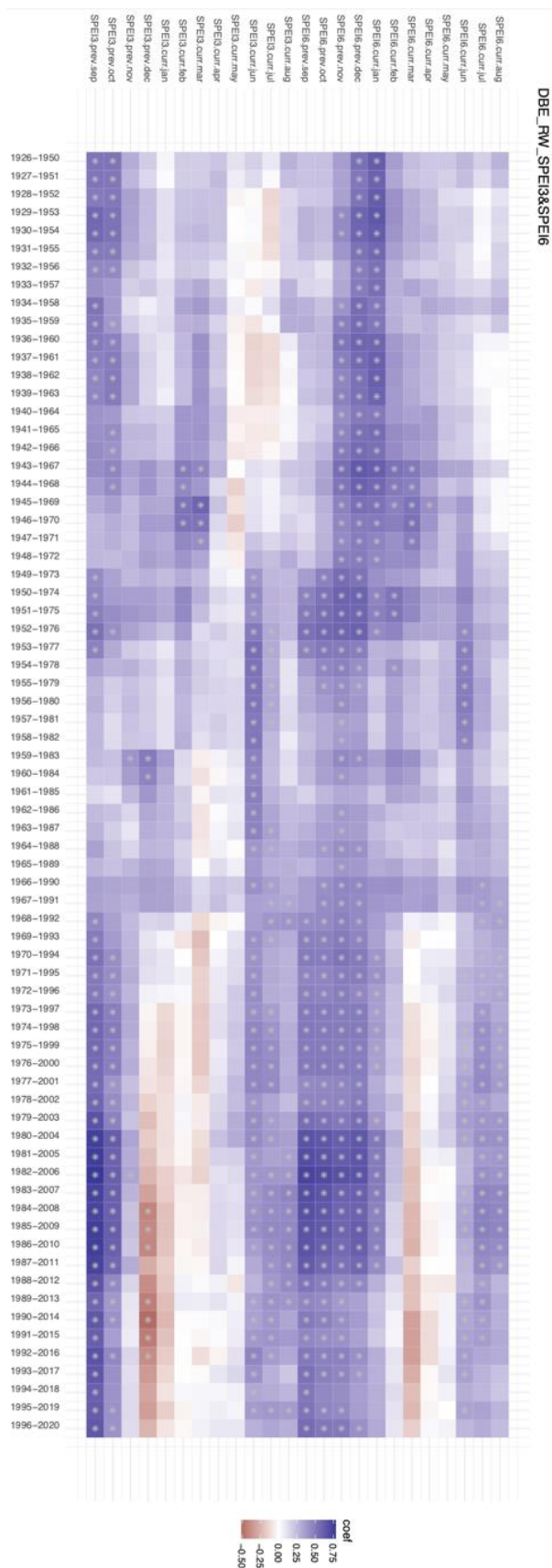
Ryc. 7.49 Korelacje indeksu SPEI w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska T (BMśw) Oznaczenia: SPEI3 – indeks 3-miesięczny, SPEI6 – indeks 6-miesięczny, curr. – rok bieżący, prev. – rok poprzedni Gwiazdką oznaczone są współczynniki istotne statystycznie.



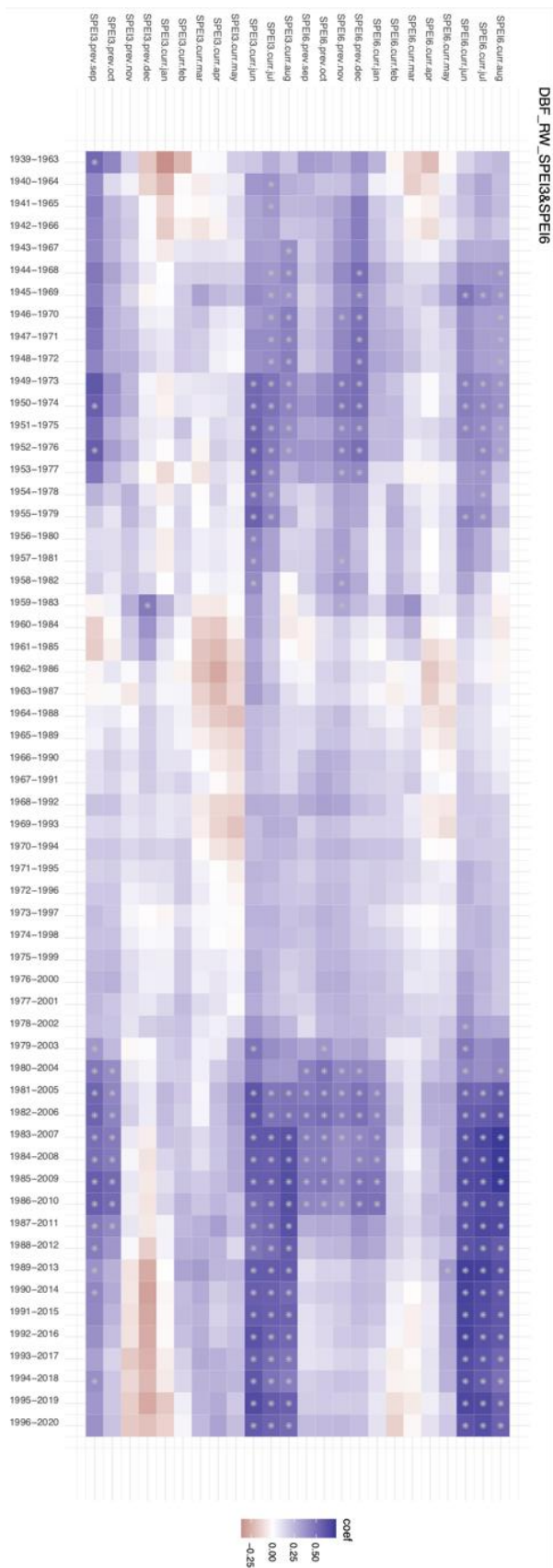
Ryc. 7.50 Korelacje indeksu SPEI w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska B (BMśw)  
 Oznaczenia: SPEI3 – indeks 3-miesięczny, SPEI6 – indeks 6-miesięczny,  
 curr. – rok bieżący, prev. – rok poprzedni  
 Gwiazdką oznaczone są współczynniki istotne statystycznie.



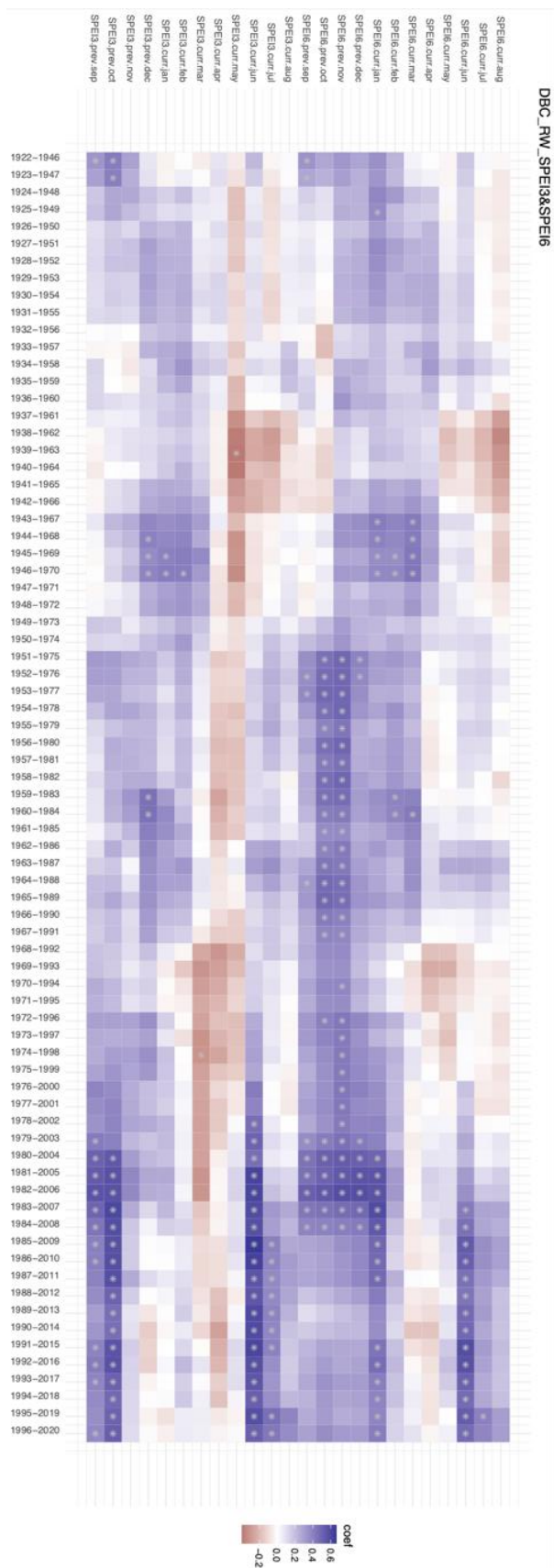
Ryc. 7.51 Korelacje indeksu SPEI w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska H (LMśw)  
 Oznaczenia: SPEI3 – indeks 3-miesięczny, SPEI6 – indeks 6-miesięczny,  
 curr. – rok bieżący, prev. – rok poprzedni  
 Gwiazdką oznaczone są współczynniki istotne statystycznie.



Ryc. 7.52 Korelacje indeksu SPEI w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska E (LMśw)  
 Oznaczenia: SPEI3 – indeks 3-miesięczny, SPEI6 – indeks 6-miesięczny,  
 curr. – rok bieżący, prev. – rok poprzedni  
 Gwiazdką oznaczone są współczynniki istotne statystycznie.



Ryc.7.53 Korelacje indeksu SPEI w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska F (Lwów)  
 Oznaczenia: SPEI3 – indeks 3-miesięczny, SPEI6 – indeks 6-miesięczny,  
 curr. – rok bieżący, prev. – rok poprzedni  
 Gwiazdką oznaczone są współczynniki istotne statystycznie.



Ryc. 7.54 Korelacje indeksu SPEI w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska C (Lwów)  
 Oznaczenia: SPEI3 – indeks 3-miesięczny, SPEI6 – indeks 6-miesięczny, curr. – rok bieżący, prev. – rok poprzedni  
 Gwiazdką oznaczone są współczynniki istotne statystycznie.

Reasumując, korelacje temperatury, opadów oraz indeksów SPEI3 i SPEI6 dla wszystkich badanych stanowisk wykazują pewne podobieństwo. Jednak można dostrzec lekką tendencję do słabszych korelacji dla stanowisk w lesie świeżym. Wydaje się, że drzewostany wyrosłe w ramach lasu świeżego, wykazują mniejszą wrażliwość klimatyczną. Na pozostałych powierzchniach (BMśw, LMśw) tendencje są bardzo różne i często występuje tam wyższa wrażliwość klimatyczna, co widać w postaci silniejszych korelacji. Zróżnicowanie korelacji jest jednak duże i nie da się wyraźnie oddzielić odrębnych reakcji dla typu boru i lasu mieszanego. Wyniki wskazują raczej na indywidualne reakcje poszczególnych stanowisk.

## 8. Dyskusja

Powierzchnie badawcze, na których prowadzono badania, znajdują się w krainie Wielkopolsko-Pomorskiej, na terenie Nadleśnictwa Jarocin [Zielony, 2012]. Jest to teren nizinny, suboceaniczny, charakteryzujący się niską temperaturą w okresie zimowym oraz suszą występującą w okresie letnim. Są to odpowiednie warunki dla dębu szypułkowego [Brzeziecki, 1995].

Skład gatunkowy drzewostanów, w których prowadzone były badania, w większości jest optymalny. Mogą one pełnić funkcję środowiskotwórczą, związaną z ciągłością istnienia lasu jako formacji roślinnej [Dmyterko i in., 2020]. Wyjątki stanowią tylko niektóre powierzchnie, szczególnie siedlisko borowe, w którym następuje zmiana składu gatunkowego na bardziej bogaty, by pełniej wykorzystywać jego właściwości, dzięki czemu bór będzie lepiej spełniał swoją funkcję [Dmyterko i in., 2020]. Z czasem BMśw przemieni się w formację lasu mieszanego iglasto-liściastego, by stać się jednym z potencjalnych zespołów leśnych dla obszaru Polski [Matuszkiewicz, 1990; Matuszkiewicz W., Matuszkiewicz J., 1996].

Informacja na temat pochodzenia dębów mogłaby przybliżyć nam wiedzę na temat odziedziczalności niektórych cech, opierając się na analizie cech wariacji genetycznej i fenotypowej [Barzdajn, 2004]. Niestety, nie ma danych wskazujących jednoznacznie na pochodzenie dębu szypułkowego, szczególnie w drzewostanach borowych, gdzie nastąpił proces sukcesyjnego zasiedlenia litych borów sosnowych przez dąb. Proces sukcesji na teren do tej pory niezajmowany, może być naturalnym procesem przystosowania ekosystemów leśnych do zmieniających się warunków klimatycznych [Kowalski, 1992, 1993a; Sokołowski, 1994; Bernadzki, 1995]. Jest to proces coraz bardziej zaawansowany oraz sygnalizowany [Gniot, 1991; Kowalski, 1992, 1993a, 1993b; Bernadzki, 1994; Sokołowski, 1994; Bernadzki, 1995; Sokołowski, Kliczkowska, Grzyb, 1997; Pigan I., Pigan M., 1999]. Osobniki podkapowe, młode, szczególnie te wzrastające w siedlisku borowym, skiełkowały w procesie odnowienia naturalnego, zazwyczaj dzięki ptakom, szczególnie sójkom, które przeniosły żołądź z drzewostanów zawierających owocujące dęby [Kowalski, 1993a; Mosandl, Kleinert, 1998]. W powierzchniach badawczych, szczególnie w drzewostanach litych sosnowych w wieku okołorębnym, wzrastających na siedlisku borowym, często można było dostrzec spadek zwarcia oraz prześwietlenie koron. Implikacją tego zjawiska był częsty rozwój dolnych warstw dębu, pochodzących z odnowienia naturalnego, które często przekształcały się w podrost. Cechują się one zadowalającym wzrostem na poziomie III bonitacji, mają zadowalającą jakość techniczno-hodowlaną oraz

dobrą zdrowotność. W takich przypadkach mogą w przyszłości pełnić rolę pierwszego piętra [Gniot, 2007].

Zadaniem użytego w analizie statystycznej testu Kruskala-Wallisa jest potwierdzenie czy różnice w obserwowanej zmienności poszczególnych cech zewnętrznych i makrostrukturalnych drewna w badanych populacjach nie są dziełem przypadku. Wynik testu Kruskala-Wallisa, który bazuje na średniej wartości rang przypisanych obserwacjom w poszczególnych wariantach doświadczenia, pozwala na odrzucenie hipotezy zerowej o podobieństwie rozkładu. Patrząc jednak na średnie, jakie osiągały poszczególne badane parametry cech zewnętrznych oraz makrostrukturalnych drewna, należy zachować powściągliwość w interpretacji wyników, ponieważ istotność statystyczna niekoniecznie musi oznaczać istotność biologiczną obserwowanych różnic poszczególnych średnich [Johnson, 1999; Martínez-Abraín, 2008].

## **8.1. Wiek**

Wiek badanych drzewostanów, rosnących na trzech typach siedlisk, różni się między sobą. Średnia wieku dla poszczególnych Tsl mieści się w przedziale od 71 do 83 lat. Mimo że drzewa wyrosłe na siedlisku borowym są średnio o rok starsze (72 lata) od dębów wyrosłych na siedlisku lasu mieszanego świeżego, oraz mimo że nie wykryto różnicy istotnej statystycznie pomiędzy tymi siedliskami, to i tak różnica wysokości pomiędzy drzewami jest znaczna i wynosi ponad 6 metrów na korzyść siedliska lasowego. Jest to różnica istotna statystycznie, biorąc pod uwagę test Kruskala-Wallisa. Dzieje się tak za sprawą lepszych warunków wzrostu i rozwoju, wyrażonych głównie żyznością siedliska. Jak zauważył Andrzejczyk [2016], w warunkach boru mieszanego świeżego, dąb szypułkowy charakteryzuje się słabym wzrostem oraz niską udatnością. Preferuje on siedliska o wyższej żyzności [Zaręba, 1988; Brzeziecki, 1995; Zarzycki i in., 2002; Andrzejczyk, 2009; Jaworski, 2011]. Różnice w wysokości są dobrze widoczne już w młodym wieku, szczególnie między siedliskami BMśw a LMśw, o czym pisali Bolibok i Szeligowski [2011]. Dąb w warunkach siedliska borowego uzyskuje niższe cechy biometryczne, przede wszystkim niższą wysokość oraz mniejszą pierśnicę [Lasota 2013]. Największą średnią wysokość osiągnął dąb na siedlisku Lśw, które jest dla niego siedliskiem optymalnym. Wynik ten nie jest do końca porównywalny z pozostałymi wartościami, gdyż na tym siedlisku średnia wieku jest największa (83 lata), ale powołując się na badania przeprowadzone przez Girzda [1983], Krystkiewicza [1998], Andrzejczyka [2007], Dudzińską i Buchwalda [2008], możemy przypuszczać, że są to wartości największe,

gdź dąb szypułkowy osiąga na tym siedlisku bonitacje w zakresie I.1 – II.0, czyli ma największe potencjalne możliwości produkcyjne.

## **8.2. Średnica**

Wyniki różnic statystycznych dla zmiennej, jaką jest średnica, w poszczególnych typach siedliskowych lasu nie wykazały istotności, natomiast średnica, która została pomierzona różni się znacząco pomiędzy siedliskami. Największą średnicę, mierzoną na wysokości 1,3 m od powierzchni gruntu, wykazano w siedlisku Lśw (32,44 cm). Można powiązać tę wartość z wiekiem i stwierdzić, że średnia wieku dla drzew tam rosnących jest największa, dlatego ich średnia średnica również wykazuje największą wartość. Odpowiedzią na to są badania prowadzone przez Włoczawskiego [1968], w których wykazał on, że dąb szypułkowy należy do megatrofów, którym najbardziej odpowiadają siedliska żyzne. Również wyniki średniej średnicy dla LMśw mają dużą wartość – 30,37 cm, przewyższając tym samym drzewostany wyrosłe w siedlisku borowym, starszym od nich o rok. Tam średnia wartość pierśnicy wyniosła 27,56 cm. Wyniki te potwierdzają zaproponowane przez Andrzejczyka [2016] w układzie siatki typologicznej, zakres amplitudy oraz optimum ekologiczne dla dębu.

## **8.3. Rzut korony**

Badania prowadzone w zakresie pomiaru wielkości rzutu korony wykazały, że drzewa wyrosłe w siedlisku borowym charakteryzują się największą wartością (30,22 m<sup>2</sup>), czyli średnio o 4 m<sup>2</sup> więcej, niż w siedliskach lasowych, w których powierzchnia rzutu korony wyniosła odpowiednio 26,01 m<sup>2</sup> (Lśw) i 26,57m<sup>2</sup> (LMśw). Potwierdziło to zarazem stan dotychczasowej wiedzy na temat wielkości aparatu asymilacyjnego w różnych warunkach siedliskowych. Według Assmanna [1968] dużą determinantą wpływającą na wielkość aparatu asymilacyjnego jest jakość siedliska, na którym wzrasta dane drzewo. Im słabsze siedlisko, tym zachodzi potrzeba wytworzenia większej ilości masy zielonej, aby dzięki niej skompensować braki siedliskowo-klimatyczne i móc wytworzyć taką samą ilość tkanki drzewnej, jak w przypadku drzewa rosnącego na bogatszym siedlisku. Test statystyczny różnic pomiędzy siedliskami wykazał istotne różnice pomiędzy siedliskami lasowymi, a siedliskiem borowym.

#### **8.4. Smukłość drzewa**

Smukłość drzewa, czyli współczynnik H/D, obliczany jako iloraz wysokości drzewa (m) i jego pierśnicy (cm) jest cechą o dużej zmienności [Grochowski, 1973; Bruchwald, 1999; Jaworski, 2004]. Wg. Orła i Sochy [1999] jest powszechnie uznawany za wskaźnik stabilności drzewa oraz jego odporności na uszkodzenia powodowane przez śnieg i wiatr [Zajączkowski, 1991]. Im wyższy współczynnik smukłości, tym drzewo jest mniej stabilne. Średni współczynnik smukłości dla wszystkich badanych drzew kształtuje się poniżej jedności, podobnie jak u Kaźmierczaka [Kaźmierczak i in., 2008]. Drzewa wyrosłe w korzystniejszych dla siebie warunkach siedliskowych, czyli w siedlisku lasowym, są bardziej podatne na uszkodzenia przez wiatr, ponieważ wartości H/D są tam najwyższe i wynoszą 0,97 dla Lśw oraz 0,90 dla LMśw. Wartość dla siedliska borowego wynosi średnio 0,77 i jest najmniejsza, dlatego, że dąb w tych warunkach nie uzyskuje swojego optimum rozwojowego [Zaręba, 1988; Brzeziecki, 1995; Zarzycki i in., 2002; Andrzejczyk, 2009; Jaworski, 2011]. Wraz ze wzrostem pierśnicy, wysokości oraz wieku, współczynnik smukłości maleje [Kaźmierczak i in., 2008]. W porównaniu z badaniami nad innymi gatunkami drzew, smukłość dębu różni się. W odniesieniu do buka, współczynnik średniej smukłości jest niższy. U buka wynosi 0,93, natomiast średnia smukłość dla dębu jest zbliżona i przyjmuje wartość 0,81 [Rymer-Dudzińska i Tomusiak, 2000]. Można przypuszczać, powołując się na badania Orła i Sochy [1999], że współczynnik smukłości osiągnąłby niższą wartość w drzewostanach dębowych podgórskich. Według autorów, smukłość drzew zmniejsza się wraz ze wzrostem wysokości n.p.m., a zwiększa się dla tych rosnących niżej. W drzewostanach sosnowych można zaobserwować podobną tendencję, ponieważ tam również współczynnik smukłości maleje wraz ze wzrostem wieku, wysokości i pierśnicy. Zaobserwowano jednak, że zwiększa się wraz z pogorszeniem pozycji biosocjalnej drzewa w drzewostanie [Kaźmierczak, 2012].

#### **8.5. Szerokość oraz powierzchnia bielu**

Średnia szerokość oraz średnia powierzchnia bielu nie wykazują istotnych różnic statystycznych pomiędzy typami siedliskowymi lasu. Największa wartość dla tej cechy 20,41 mm została zaobserwowana dla drzew wyrosłych na siedlisku lasu świeżego, który jest optymalnym siedliskiem dla badanego gatunku [Jaworski, 2011]. Różnice uwypuklają się jeszcze bardziej na korzyść tego siedliska, gdy spojrzymy na przeciętną powierzchnię bielu. Największą średnią powierzchnię bielu wykazały drzewostany na lasowym typie siedliskowym lasu, 186,16 cm<sup>2</sup> (Lśw) oraz 147,42 cm<sup>2</sup> (LMśw), a najmniejszą na BMśw

(131,64 cm<sup>2</sup>). Jest to zjawisko normalne, gdyż powierzchnia bielu jest silnie skorelowana ze średnicą, na poziomie korelacji 0,74.

Można przypuszczać, wg. teorii PMT, że powierzchnia bielu będzie większa u dębów wyrosłych na siedlisku boru, ponieważ, aby wyrównać niedobory związane z brakiem odpowiednich składników odżywczych, których brakuje dla optymalnego wzrostu w ubogim siedlisku, muszą one wytworzyć większą koronę [Assmanna, 1968]. Następstwem tego, wg teorii modelu rur (Pipe Model Theory – PMT), powinna być większa powierzchnia przewodząca drewna w postaci strefy bielastej, aby w ten sposób zrównoważyć wielkość z przepływem. PMT zakłada ścisłą współzależność między powierzchnią przewodzącą w drewnie, a wielkością – masą aparatu asymilacyjnego [Shinozaki i in., 1964].

Wyniki badań nie pokrywają się z tą teorią, ponieważ zaobserwowano jej odwrotność. Dęby charakteryzujące się największym rzutem korony, wyrosłe na siedlisku boru, posiadają najmniejszą średnią powierzchnię bielu.

#### **8.6. Szerokość oraz powierzchnia twardzieli**

Szerokość twardzieli, tak jak i jej powierzchnia, są mocno skorelowane z pierśnicą, co jest cechą normalną, gdyż średnica drzewa wpływa bezpośrednio na te cechy makrostrukturalne drzewa. Wykazuje również silną korelację z wiekiem [Taylor i in., 2002]. Szerokość twardzieli oraz jej powierzchnia jest największa na siedlisku Lśw i wynosi odpowiednio 124,02 mm oraz 556.88 mm<sup>2</sup>. W warunkach boru wartości te uzyskały najmniejsze wartości spośród badanych typów siedliskowych i wynosiły odpowiednio: 99,69 mm oraz 131,65 mm<sup>2</sup>. Wyniki te potwierdzają badania prowadzone przez Andrzejczyka [2016], który dowiódł w nich, że dąb szypułkowy w warunkach borowych uzyskuje mniejszy wzrost. W każdym rozpatrywanym siedlisku, objętość twardzieli wzrasta w wiekiem, ponieważ każdy roczny przyrost bielu dodawany jest do objętości twardzieli. W ten sposób udział twardzieli w całej objętości drewna wzrasta w miarę upływu lat [Taylor i in., 2002; Sellin, 1996].

#### **8.7. Szerokość przyrostu bielu i twardzieli**

Przeciętna szerokość przyrostu rocznego bielu i twardzieli, uzyskana w niniejszych badaniach, nie różni się istotnie statystycznie pomiędzy siedliskami, zarówno w szerokości słoików bielu jak i twardzieli. Najniższą wartość odnotowano w siedlisku boru i wynosiła odpowiednio 1,29 mm dla bielu, oraz 1,88 mm dla twardzieli. Największe wartości uzyskały

drzewa wyrosłe na siedlisku LMśw i wynosiły one odpowiednio 1,45 mm i 1,96 mm. Wynika to z preferencji dębu do siedlisk o wyższej żyzności [Zaręba, 1988; Brzeziecki, 1995; Zarzycki i in., 2002; Andrzejczyk, 2009; Jaworski, 2011]. Badania nad szerokością przyrostu pozwalają zakwalifikować badane dęby do grupy drzew wąskostoistych, tj. o przeciętnym przyroście poniżej 3 mm [Krzysik, 1974]. Istnieje jednak odstępstwo od przedstawionych powyżej przykładów badań, ponieważ przeciętny przyrost roczny twardzieli w dębach wyrosłych na siedlisku boru (1,88 mm), jest wyższy od średniego przyrostu drewna twardzielowego dębów na siedlisku Lśw (1,83 mm). Bijak i in. [2012] uzyskali dużo wyższe przeciętne przyrosty roczne prowadząc badania na ponad 50-letnich dębach czerwonych, ze średnim przyrostem rocznym na poziomie 3,75 mm. Różnice te wynikają ze specyfiki wzrostowej obu gatunków. Według Krzysika [1974] optymalna szerokość przyrostu, przy którym drewno dębowe uzyskuje największą gęstość, to przedział między 2 a 3 mm. W prezentowanych badaniach dęby osiągnęły niższą wartość. Ogólna przeciętna szerokość przyrostu bielu jest mniejsza niż przeciętna szerokość przyrostu twardzieli i ta zależność występuje we wszystkich typach siedliskowych. Nie oznacza to jednak, że jest mniejsza od samej powierzchni bielu w stosunku do twardzieli, ponieważ przyrost radialny rekompensuje straty.

#### **8.8. Współczynnik twardzielowania T/B (względna szerokość twardzieli)**

Współczynnik twardzielowania, czyli stosunek szerokości twardzieli do szerokości bielu, w badanych typach siedliskowych, wykazuje istotne różnice tylko pomiędzy siedliskami lasowymi. Największą wartość przyjmuje w siedlisku optymalnym dla rozwoju dębu, czyli na Lśw (6,73). Pomędzy BMśw a LMśw różnica jest znikoma, a współczynnik wynosi odpowiednio 5,95 i 5,72. Pomędzy współczynnikiem twardzielowania, a dynamiką twardzielowania istnieje duża korelacja na poziomie 0,71. Wpływ typu siedliskowego lasu na udział drewna bielastego i twardzielowego różni się istotnie we wszystkich typach siedliskowych lasu, za wyjątkiem siedliska boru oraz LMśw. Niewątpliwym wpływem na tworzenie się dojrzałej tkanki drzewnej ma oczyszczanie się drzew, a co za tym idzie przesuwanie się korony drzewa w górę [Yassin Abdel-Gadir, 1993]. Dęby, które wzrastały w warunkach siedliskowego typu lasu — lasu świeżego, charakteryzują się największą dynamiką tworzenia się twardzieli, czyli wykazują większy stosunek liczby słoików drewna bielastego do liczby słoików drewna twardzielowego, a wartość ta wynosi 4,81. Potwierdza to dotychczasowe badania, w których dowiedziono, że dąb szypułkowy osiąga swoje optimum na siedlisku Lśw, osiągając największe dla siebie wymiary [Zaręba, 1988; Brzeziecki, 1995; Zarzycki i in., 2002; Andrzejczyk, 2009; Jaworski, 2011]. Zastanawiająca

jest bardzo mała różnica pomiędzy siedliskiem boru, a LMśw. W tych dwóch skrajnych pod względem żyzności siedliskach, różnica współczynnika korelacji wynosi zaledwie 0,1. Można, zatem przypuszczać, że dużą determinantą jest wiek, gdyż w obu przypadkach różnica wieku wynosi jeden rok, a współczynnik korelacji Spermmana pomiędzy tymi cechami przyjmuje wartość 0,73.

Analizy PCA przedstawiają dość ciekawy i wyraźny obraz różnic między typami siedliskowymi lasu. Są one oparte na macierzach kowariancji, które ilustrują zależności pomiędzy badanymi cechami, a wykresy biplot pozwalają na spłaszczenie wielowymiarowych zależności i wyeksponowanie dwóch głównych komponentów, choć ich interpretacja może być trudna [Zuur i in., 2007]. W przypadku uboższych siedlisk wykresy osypiskowe wskazują na dwie składowe o zbliżonych wartościach: około 48% i 27% (BMśw, Ryc. 19) oraz 48% i 31% (LMśw, Ryc. 21). Natomiast w przypadku lasu świeżego pierwsza składowa jest wyraźnie większa i wynosi 57% (Ryc. 23). Oznacza to, że kowariancje w ramach pierwszej składowej są podobne. Widać to wyraźnie na wykresie typu biplot, gdzie większość strzałek (cech) znajduje się bliżej linii poziomej (pierwsza składowa) niż pionowej (druga składowa) (Ryc. 24). To jest zasadnicza różnica w porównaniu do innych typów siedliskowych; jedynie współczynnik T/B (mocno) oraz wiek (częściowo) dążą do drugiej składowej. Wiek, dynamika twardzielowania oraz współczynnik T/B tworzą zwartą grupę na siedliskach uboższych (gdzie występuje dodatnia korelacja między zmiennymi), podczas gdy na lesie wektory są bardziej rozproszone (oddalone od siebie). Pozostałe różnice dotyczą szerokości przyrostów rocznych oraz szerokości bielu. Korelacje cech są odmienne na - lesie świeżym i innych typach siedliskowych, gdzie dążą one bardziej do drugiej składowej (osi pionowej). Układ korelacji wskazuje więc, że główne różnice w reakcjach drzew występują w procesie twardzielowania oraz szerokości przyrostów. Jevšenak i in. [2024] wskazują na większą liczbę przyrostów bielastych u drzew starszych i wolniej rosnących.

Obserwacje w tej pracy nie potwierdzają tego w pełni, ponieważ rozrzut liczby słoików był duży w każdej kategorii wiekowej i nie znaleziono wyraźnej korelacji. W badanym materiale wyróżniono średnio 15 przyrostów rocznych bielastych, a średnia wartość była zbliżona we wszystkich typach siedliskowych lasu. W krajach Bałtyckich zbadana wartość wyniosła 12 [Sohar i in., 2012], przy czym rozrzut był duży, a wartości skrajne wahały się od 4 do 20, przy czym były to różnice charakterystyczne dla różnych regionów. Być może lepszym parametrem będzie ocena rozstępu niż wartości średniej. W wynikach uzyskanych w tej pracy największy rozstęp liczby słoików bielastych zaobserwowano na lesie świeżym (20),

a na pozostałych typach siedliskowych wyniósł on 17 i 18. Mediana liczby słoików bielastych była bardzo zbliżona do średniej i wyniosła 15 (Lśw), 15 (LMśw) i 16 (BMśw). Ważny i Eckstein [1991] określili również medianę liczby słoików bielastych dla dębów występujących w Polsce na 15 i zwrócili uwagę na duży rozrzut. Duża zmienność sugeruje, że mechanizm reakcji przyrostowej oraz mechanizm twardzielowania dębów jest złożony. Z tego względu warto, o ile to możliwe, analizować układ jako całość, ponieważ w drzewostanie zawsze mamy do czynienia z zespołem powiązanych cech.

### **8.9. Jakość chronologii**

Najczęściej wymieniany indeks GLK, dotyczący podobieństwa indywidualnych chronologii, jest wysoki na wszystkich badanych powierzchniach i waha się od 0,67 dla powierzchni F do 0,72 dla powierzchni H (Tabela 7.22), podczas gdy wartość 0,65 uznawana jest już za wystarczająco wysoką [Eckstein i Bauch, 1969]. Niektórzy autorzy postulują nawet obniżenie wartości indeksu do 0,6 dla warunków tropikalnych [Trouet i in., 2010]. Wewnątrz każdego z badanych stanowisk podobieństwo chronologii jest więc wysokie. Kolejny ważny indeks wyrażonego sygnału populacji EPS (ang. expressed population signal) również jest wysoki i poza jednym stanowiskiem (stanowisko F, EPS = 0,88) wynosi ponad 0,9. Indeks ten jest najczęściej wymienianym wskaźnikiem przydatności chronologii do analiz klimatycznych, a jego zalecana wartość powinna wynosić co najmniej 0,85 [Wigley et al., 1984]. Wartość SNR (signal-to-noise-ratio), informująca o zmienności krótkookresowej względem długookresowej, również jest wystarczająca dla badań związku klimat – przyrost roczny. Minimalna zalecana wartość to 5,7 [Wilczyński i Wertz, 2012], a w badanych próbach uzyskano znacznie wyższe wartości, od 7,67 do 29,2 (Tabela 7.22). Również RBAR, świadczący o wspólnym sygnale, wykazuje wysokie wartości na badanych powierzchniach, choć jego wartość jest nieco niższa w miejscach, gdzie SNR jest niski. Ogólnie można stwierdzić, że podstawowe statystyki dendrochronologiczne mają wystarczającą jakość do przeprowadzenia dalszych analiz, w tym analiz związku klimat – przyrost.

## 8.10. Lata wskaźnikowe

Pierwszą cechą wynikającą z indeksów przyrostowych są lata wskaźnikowe, które wskazują na wspólną, silną reakcję przyrostową. W przypadku niniejszych analiz zaobserwowano wspólny sygnał u co najmniej 55% drzew dla 5-letnich okresów. W przypadku lat wskaźnikowych testowano różne warianty, a przy obniżaniu procentu drzew wykazujących wspólną reakcję uzyskiwano więcej lat wskaźnikowych, o większej sile, jednak sygnał ten nie był reprezentatywny. Podobnie, przy zwiększaniu procentu drzew powyżej 70%, sygnał stawał się bardzo słaby. Zbyt długi okres objęty statystyką powodował częstsze występowanie lat wskaźnikowych. W związku z tym, w okresie np. 15-letnim, obserwowano nieznaczne różnice między stanowiskami. Dopiero zwiększenie rozdzielczości do 5 lat spowodowało uwidocznienie wyraźnych różnic. Zmiany czułości wskaźników są więc narzędziem pozwalającym głębiej przeanalizować lata wskaźnikowe [Maaten-Theunissen, 2015]. Z analizowanych lat wskaźnikowych wynika, że bardziej reaktywne są drzewostany na siedliskach uboższych (Ryc. 7.28 i 7.29). Różnicę widać głównie między borem a lasem. Las mieszany wykazuje reakcje mieszane, trudne do jednoznacznej klasyfikacji jako silne lub słabe. Najmniej reakcji występuje na lesie świeżym, gdzie np. lata wskaźnikowe pozytywne pojawiają się tylko sporadycznie (Ryc. 7.29). Lata wskaźnikowe u dębu szypułkowego powiązane są z wrażliwością klimatyczną [Sohar i in., 2014], co sugeruje, że drzewostany na różnych typach siedliskowych będą wykazywały różną wrażliwość. Niektórzy badacze uzasadniają występowanie lat wskaźnikowych pozytywnych i negatywnych dostępnością wody [Bronisz i in., 2012]. W przypadku dębu burgundzkiego (*Q. cerris* L.) lata wskaźnikowe wykazują wyraźną korelację z opadami wiosennymi i temperaturą czerwca [Romagnoli i Codipietro, 1996]. Silne i ekstremalne lata wskaźnikowe u dębu szypułkowego mogą być wczesnym sygnałem szybszej śmiertelności dębów na skutek suszy i innych czynników klimatycznych [Andersson i in., 2011]. Nechita [2013] wyklucza powiązanie lat wskaźnikowych z przyrostem drewna wczesnego w słoju rocznym; autor upatruje tego raczej w przyrostach drewna późnego. Większość lat wskaźnikowych ma charakter lokalny, co wykazali badacze analizując populacje dębów w Szwecji [Drobyshev i in., 2008]. Lata wskaźnikowe lokalne nie pokrywały się z innymi latami wskaźnikowymi w Europie.

### 8.11. Czynniki klimatyczne

Wyniki korelacji z czynnikami klimatycznymi wskazały na pewną wspólną cechę dla wszystkich stanowisk – są to negatywne korelacje temperatury z przyrostami w czerwcu bieżącego roku. Wydaje się, że temperatura czerwca mocno ogranicza przyrost roczny, szczególnie w okresie początkowego formowania się słoja rocznego. Na podobny wniosek wskazuje Rozas [2005], uznając temperaturę czerwca za wyraźnie ograniczającą. Z kolei Cedro i Nowak [2015] wiążą czerwiec z pozytywną reakcją przyrostową w przypadku opadów. Dla dębów rosnących w Szwecji temperatury lata (bardziej niż samego czerwca) są negatywnie skorelowane z przyrostem. Drobyshev i in. [2008] wskazują na negatywny wpływ temperatur lipca tego roku i sierpnia ubiegłego roku. Pozytywny wpływ widzą natomiast w temperaturach października ubiegłego roku.

W wynikach otrzymanych w tej pracy zauważono podobną zależność – pozytywny wpływ temperatury października ubiegłego roku oraz negatywny wpływ temperatury września ubiegłego roku. Zależność ta jest głównie widoczna dla niektórych słabszych siedlisk boru mieszanego i lasu mieszanego na powierzchniach B i H (Ryc. 7.37, 7.38). Dodać należy jednak, iż zjawisko to występuje tylko okresowo w ostatnich dekadach. W przeprowadzonych analizach można zauważyć, że ilość silnych korelacji (wyraźny kolor heatmapy) oraz istotnych korelacji (gwiazdki) wzrasta w ostatnich dekadach, a więc reakcja na zjawiska klimatyczne nasila się. Z tego punktu widzenia istotne jest wzięcie pod uwagę wczesnej reakcji drzew, gdyż jak tego dowodzą niektórzy badacze, dąb daje niebezpieczne sygnały już na kilka dekad przed przedwczesnym zamarciem [Andersson i in., 2011]. Szczególnie jest to istotne w przypadku pojawiających się suszy. Na negatywny wpływ temperatury, powiązany z niższą dostępnością wody, wskazują też inne badania prowadzone w Pirenejach [Charlet de Sauvage i in., 2022]. Autorzy zauważyli to szczególnie w odniesieniu do terenów niżej położonych; w wyższych położeniach nie stwierdzano takiej zależności.

W analizach dotyczących SPEI wykazano silną zależność indeksu w miesiącach letnich, zarówno w bieżącym jak i poprzednim roku. Widać to na wszystkich wykresach heatmapy jako ciemnogrnatowe pola (Ryc. 7.49-7.54). Reakcja jest więc zauważalna głównie w miesiącach letnich, a szczególnie w ostatnich czterech dekadach. Opady były dodatnio skorelowane głównie w miesiącu czerwcu, praktycznie na wszystkich powierzchniach, choć miały różny poziom korelacji w różnych latach (Ryc. 7.36-7.41). Wydaje się więc, że miesiąc czerwiec jest kluczowy, zarówno dla temperatury, jak i dla opadów. Choć zjawisko jest zapewne bardziej złożone, oprócz czynników klimatycznych znaczenie mogą mieć także warunki lokalne. Ostatnie badania wskazują na dużą odporność dębu i większą

adaptowalność do zmian klimatycznych w porównaniu do jesionu. Autorzy podkreślają, że na przyrost drewna wiosną większy wpływ mają opady, natomiast latem poziom wód gruntowych [Basu i in., 2024]. Inne badania przeprowadzone na różnych pochodzeniach dębu czerwonego również wskazują na istotny związek SPEI z miesiącami letnimi. Autorzy jednak zauważają, że odporność na suszę poszczególnych proveniencji nie jest jednakowa [Kormann i in., 2024]. Domniemają oni, iż drzewa różnych pochodzeń przyjmują różne strategie adaptacyjne. Badacze również wskazują na różnice w reakcjach przyrostowych, powiązane z żyznością siedliska i zasobnością w wodę.

Podobnie, w przeprowadzonych w niniejszej pracy analizach, wydaje się, że drzewa wyrosłe na lesie świeżym wykazują większą adaptowalność, gdyż korelacje z indeksem suszy (SPEI) są nieznacznie słabsze niż na uboższych siedliskach. White i in. [2011] również wskazywali na odmienne reakcje przyrostowe dębów wyrosłych w różnych warunkach, przy czym jako główną przyczynę wymieniali wysokość nad poziomem morza. Sygnał klimatyczny z różnych środowisk nie zawsze jest wyraźny, na co wskazywali Gillner i in. [2013], porównując dęby wyrosłe w warunkach miejskich i leśnych. Reakcje obu populacji były częściowo podobne, choć u dębów miejskich zauważono większe zaburzenia w sygnałach przyrostów rocznych. Różne są też reakcje gatunków dębów, gdyż jak dowodzą Kostić i in. [2022] dąb burgundzki wykazuje większą odporność na suszę niż dąb szypułkowy. Badania te dotyczyły jednak regionu w Serbii, więc wnioski są tylko lokalne. Z pewnością zmieniający się klimat wpływa na odmienne reakcje przyrostowe dębów. Dotyczy to również dębów rosnących poza naturalnym zasięgiem [Perkins i in., 2018], jednak reakcje te są jeszcze niewystarczająco poznane, dlatego trudno jest wysnuć ostateczne wnioski.

## 9. Wnioski i stwierdzenia

W zakresie podstawowych cech biometrycznych uzyskano przewidywalną odpowiedź, zgodną z dotychczasową wiedzą leśną na temat reakcji drzew w różnych warunkach siedliskowych. Na żyzniejszych siedliskach dęby wykazywały większe wymiary. Na lesie świeżym przeciętna średnica wyniosła 32,44 cm, na lesie mieszanym świeżym – 30,37 cm, a na borze mieszanym świeżym – 27,56 cm. Wartości smukłości wyniosły odpowiednio: 0,97 (Lśw), 0,9 (LMśw) i 0,77 (BMśw), co oznacza, że najmniej stabilne są drzewa rosnące na żyzniejszym siedlisku, z uwagi na bardziej dynamiczny wzrost.

W przypadku cech makrostrukturalnych drewna, różnice cech bezwzględnych, takich jak szerokość przyrostów, były znaczące i większe na siedliskach lasowych. Las świeży charakteryzował się najwyższą dynamiką twardzielowania i względną szerokością twardzieli (T/B), co świadczy o bardziej dynamicznie przebiegających procesach niż na siedlisku borowym.

Wrażliwość klimatyczna drzewostanów na różnych siedliskach nie jest jednakowa. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że dęby wyrosłe na najżyźniejszym siedlisku (Lśw) wykazują najmniejszą wrażliwość, gdyż ich reakcje przyrostowe cechują się najmniejszą liczbą lat wskaźnikowych i słabszymi korelacjami klimatycznymi. Żyzność siedliska przypuszczalnie niweluje wpływy czynników klimatycznych, co w konsekwencji zapewnia bardziej optymalne warunki dla dębu.

Reakcje dębów w długim okresie czasu wskazują na większą podatność na czynniki klimatyczne okazów wyrosłych na siedlisku borowym. Ujawniają one silniejsze i częstsze reakcje. Z punktu widzenia gospodarki leśnej, dąb powinien być wprowadzany na najbardziej optymalne dla niego siedliska. Z uwagi na słabszy wzrost i większą reakcję na niekorzystne zjawiska klimatyczne, dęby występujące na siedliskach uboższych mogą być bardziej podatne na zjawiska ekstremalne, takie jak np. susza. Z drugiej zaś strony ich podatność może stanowić cenne źródło danych do badań dendrochronologicznych, co może być istotne w dostrzeganiu wczesnych sygnałów środowiska.

## 10. Bibliografia

1. Albrektson A., 1980. Relations between tree biomass fractions and conventional silvicultural measurements. (W:) Persson T. [red.] Structure and function of northern coniferous forest – an ecosystem study. *Ecol Bull (Stockholm)*, 15-327.
2. Albrektson A., 1984. Sapwood basal area and needle mass of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees in central Sweden. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 57(1), 35-43.
3. Andersson M., Milberg, P. & Bergman K.-O., 2011. Low pre-death growth rates of oak (*Quercus robur* L.)—Is oak death a long-term process induced by dry years? *Annals of Forest Science*, 68(1), 159–168.
4. Andrzejczyk T., Sewerniak P., 2016. Gleby i siedliska drzewostanów nasiennych dębu.
5. Andrzejczyk T., 2007. Zakładanie drzewostanów dębowych z udziałem gatunków pielęgnacyjnych – zapomniane rozwiązania. W: Rutkowski P. [red.]. Hodowla dębów w Polsce – wybrane zagadnienia. *Idee Ekologiczne 16*. Sorus, Poznań, 43–64.
6. Andrzejczyk T., 2009. Dąb szypułkowy i bezszypułkowy – hodowla. Warszawa: PWRiL.
7. Andrzejczyk T., 2016. Rola hodowlana dębu na siedliskach mezotroficznych. W: Zielony R.[red.]. Siedliska leśne zmienione i zniekształcone. CILP, Warszawa, 127-144.
8. Assman E., 1968. Nauka o produktywności lasu. Warszawa: PWRiL.
9. Bamber R. K., 1976. Heartwood, its function and formation. *Wood science and technology*, 10(1), 1-8.
10. Bamber R. K. & Fukazawa K., 1985. Sapwood and heartwood: a review. *Forestry Abstracts* 46, 567–580.
11. Barzdajn W., Zientarski J., 1993. Odnowienie naturalne. Dąb. *Bibl. Leśn. z. 28*. Świat, Warszawa
12. Barzdajn W., 2004. Proweniencyjna i rodowa zmienność wzrostu wysokości dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) na powierzchni porównawczej w Nadleśnictwie Bolesławiec, założonej w 1996 roku. *Sylwan*, 148(10), 3-12, 3-12.
13. Basu S., Stojanović M., Jevšenak J., Buras A., Kulhavý J., Hornová H. & Světlík J., 2024. Pedunculate oak is more resistant to drought and extreme events than narrow-leaved ash in Central European floodplain forests. *Forest Ecology and Management*, 561, 121907.

14. Bednarz Z., Ptak J., 1990. The influence of temperature and precipitation on ring widths of oak. . Tree - Ring Bulletin 50, 1-10.
15. Beritognolo I., Magel E., Abdel-Latif A., Charpentier J. P., Jay-Allemand C. & Breton C., 2002. Expression of genes encoding chalcone synthase, flavanone 3-hydroxylase and dihydroflavonol 4-reductase correlates with flavanol accumulation during heartwood formation in *Juglans nigra*. Tree Physiology, 22(5), 291-300.
16. Bernadzki E., 1994. Lasy wobec zmian klimatu. Echa Leśne 1: 5–7.
17. Bernadzki E., 1995. Gospodarka leśna w obliczu zmian klimatu. Sylwan 139,1: 19–32.
18. Bernadzki E., 1994. Lasy wobec zmian klimatu. Echa Leśne, 19(01), 5-7.
19. Berninger F. & Nikinmaa E., 1994. Foliage area–sapwood area relationships of Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees in different climates. Canadian Journal of Forest Research, 24(11), 2263-2268.
20. Bieniasz A. & Tulig M., 2020. Heartwood zone and its formation process. Sylwan, 164(6), 474-481.
21. Biernadzki E., 1994. Lasy wobec zmian klimatu. Echa Leśne 1: 5–7. Echa leśne 1, 5-7.
22. Biernadzki E., 1995. Gospodarka leśna w obliczu zmian klimatu. Sylwan 139, 1: 19–32.
23. Bolibok L., Brzeziecki B., 2000. Analiza wybranych zależności allometrycznych dla głównych gatunków drzew Białowieskiego Parku Narodowego. Sylwan 144, 6:, 73-81.
24. Bolibok L. & Szeligowski H., 2011. Wpływ warunków siedliskowych, wielkości gniazda oraz położenia w jego obrębie na wysokość 6-i 10-letnich dębów szypułkowych (*Quercus robur* L.). Sylwan, 155(02), 84-95.
25. Boratyński A., 2006. Systematyka i rozmieszczenie. W: Bugała W. [red.]. . W Dęby (str. 85–113). Poznań – Kórnik: Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
26. Bronisz A., Bijak S., Bronisz K. & Zasada M., 2012. Climate influence on radial increment of oak (*Quercus* SP.) in central Poland. *Geochronometria*, 39(4), 276–284
27. Bruchwald A., 1999. Dendrometria. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
28. Brzeziecki B., 1995. Skale nominalne wymagań klimatycznych gatunków drzew leśnych. Sylwan 139 (3), 53–65.
29. BULiG1, 2023. Wielkoobszarowa inwentaryzacja stanów lasu wynik za okres 2018-2022. Sękocin Stary: Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej.

30. Burger H., 1929. Holz, Blattmenge und Zuwachs. 1. Mitteilung: Die Weimuthsföhre. Eidgenössische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen. 15, 243-292.
31. Burger H., 1937. Kronenuntersuchungen. Schweizerische Zeitschrib für Forstwesen, 44-49.
32. Burger H., 1941. Holz, Blattmenge und Zuwachs. 5. Mitteilung: Fichten, und Föhren verschiedener Herkunft auf verschiedenen Kulturorten. Eidgenössische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen. 10-62.
33. Burger H., 1953. Kronenuntersuchungen. Schweizerische Zeitschrib für Forstwesen, 44-49.
34. Carrodus B. B., 1971. Carbon dioxide and the formation of heartwood. *New Phytologist*, 70(5), 939-943.
35. Chiba Y., Fujimori T. & Kiyono Y., 1988. Another interpretation of the profile diagram and its availability with consideration of the growth process of forest trees. *Journal of the Japanese Forestry Society*, 70(6), 245-254.
36. Chiba Y., 1998. Architectural analysis of relationship between biomass and basal area based on pipe model theory. *Ecological Modelling*, 108(1-3), 219-225.
37. Closset-Kopp D. S., 2011. Differential growth patterns and fitness may explain contrasted performances of the invasive *Prunus serotina* in its exotic range. *Biological Invasions*, 13, 1341-1355.
38. Czarnowski M., 1978. *Zarys ekologii roślin lądowych*. Warszawa: PWRiL.
39. Dadswell H. E., Hillis W., 1962. Wood. W: Hillis W. E. [red.]. *Wood extractives*. Academic Press, London, New York. , 3-55.
40. De Micco, V., Balzano A., Wheeler E. A. & Baas P., 2016. Tyloses and gums: a review of structure, function and occurrence of vessel occlusions. *IAWA journal*, 37(2), 186-205.
41. Dengler A., 1937. Kronengrösse, Nadelmenge und Zuwachsleistung von Altkiefern. *Zeitschrift Forst- Jagdwesen*. 69, 321-336.
42. Dmyterko E., Bruchwald A., Mionskowski M. & Brzeziecki B., 2020. Model składu gatunkowego drzewostanu dla lasów w Sudetach z uwzględnieniem zmian klimatycznych. *Sylwan*, 164(06), 454-466
43. Domec J. C., 2002. How do water transport and water storage differ in coniferous earlywood and latewood? *Journal of experimental botany*, 53(379), 2369-2379.
44. Dominik Rozkrut, 2022. *Rocznik statystyczny leśnictwa 2022*. Warszawa, Białystok 2022: Główny Urząd Statystyczny, Urząd Statystyczny w Białymstoku.

45. Drobyshev I., Niklasson M., Eggertsson O., Linderson H. & Sonesson K., 2008. Influence of annual weather on growth of pedunculate oak in southern Sweden. *Annals of Forest Science*, 65(5), 1.
46. Dudzińska M., Bruchwald A., 2008. Znaczenie i praktyczne możliwości wykorzystania wyników badań na stałych powierzchniach doświadczalnych założonych przez Schwappacha i Wiedemanna w drzewostanach dębowych. Pr. IBL, Monografie i Rozprawy 11: 1–100.
47. Dyderski M. K. & Wrońska-Pilarek D., 2015. Szata roślinna nowo powstałych użytków ekologicznych „Dębina I” oraz „Dębina II” w Poznaniu. *Nauka Przyroda Technologie*, 9(4), 46.
48. Eckmüllner O. S. H., 2000. Crown condition, needle mass, and sapwood area relationships of Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal of Forestry Research* 30, 1646–1654.
49. Eckstein D. & Bauch J., 1969. Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 88, 230-250.
50. Ellenberg H., 1978. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in oekologischer Sicht*. Stuttgart.: Eugen Ulmer.
51. Ermich K., 1953. Wpływ czynników klimatycznych na przyrosty dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) i sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Próba analizy zagadnienia. *Prace Rolniczo - Leśne, Polska Akademia umiejętności*.
52. Fritts H. C., 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, London-New York- San Francisco.
53. Fritts, H. C., 1971. Dendroclimatology and dendroecology. *Quaternary Research*, 1(4), 419-449.
54. Fujii T., Suzuki Y. & Kuroda N., 1997. Bordered pit aspiration in the wood of *Cryptomeria japonica* in relation to air permeability. *Iawa Journal*, 18(1), 69-76.
55. Gillner S., Vogt J. & Roloff A., 2013. Climatic response and impacts of drought on oaks at urban and forest sites. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(4), 597–605.
56. Girzda A., 1983. Próba wyodrębnienia gospodarczo uzasadnionych podtypów siedliskowych w typie lasu świeżego w Dzielnicy Krotoszyńskiej. *Prace IBL* 621–625: 39–64.
57. Gleby i siedliska drzewostanów nasiennych dębu szypułkowego (*Quercus robur*) i dębu bezszypułkowego (*Q. petraea*) w Polsce. *Sylwan* 160 (8): 674–683

58. Gniot M., 1991. Próba wyodrębnienia i charakterystyki niedocenianych w praktyce działań gospodarczych zmierzających do przebudowy względnie urozmaicenia gatunkowego monokultur sosnowych na przykładzie Nadleśnictwa Różanna. Praca dyplomowa kursu z zakresu Ochrony Środowiska, Przyrody i Lasu SITLiD. Maszynopis.
59. Gniot M., 2007. Sukcesja dębu w drzewostanach sosnowych na siedliskach borowych. *Sylwan*, 151(05), 60-72.
60. Goslar T., 1987. Dendrochronological studies in the Gliwice Radiocarbon Laboratory, equipment, first results. *Ann Acad. Scien. Fennicae, Seria A. III. Geologica–Geographica* 145, 97–104.
61. Gottwald H. P. J., 1972. Tyloses in fibre tracheids. *Wood Science and Technology* 6, 121–127.
62. Grochowski J., 1973. *Dendrometria*. PWRiL, Warszawa.
63. Hasenauer H. M. R., 1996. A crown ratio model for Austrian forests. *Forest Ecology and Management* 84, 49-60.
64. Hejnowicz Z., 2002. *Anatomia i histogeneza roślin naczyniowych*. Warszawa: PWN.
65. Hillis W. E., 1987. *Heartwood and tree exudates (Vol.4)*. Springer Science & Business Media.
66. Ishii H., Reynolds J. H., Ford E. D. & Shaw D. C., 2000. Height growth and vertical development of an old-growth *Pseudotsuga-Tsuga* forest in southwestern Washington State, USA. *Canadian journal of forest research*, 30(1), 17-24.
67. Jarocin P. N., 2019. *Plan Urządzenia lasu dla Nadleśnictwa Jarocin 2019-2028*. Warszawa: Przedsiębiorstwo Państwowe Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej.
68. Jaworski A., 2011. *Hodowla lasu. T. III. Charakterystyka hodowlana drzew i krzewów leśnych*. Warszawa: PWRiL.
69. Jaworski A., 2004. *Podstawy przyrostowe i ekologiczne odnawiania oraz pielęgnacji drzewostanów*. PWRiL. Warszawa.
70. Jaworski A., 2011. *Hodowla lasu. T. III. Charakterystyka hodowlana drzew i krzewów leśnych*. PWRiL, Warszawa.
71. Jelonek T., Pazdrowski W., Arasimowicz M., Tomczak A. & Szaban J., 2009. Wpływ siedliska i klasy biologicznej drzewa na wydajność korony u sosny zwyczajnej [*Pinus sylvestris* L.]. *Sylwan*, 153(05), 304-322.
72. Johnson D. H., 1999. The insignificance of statistical significance testing. *Journal of Wildlife Management* 63 (3): 763–772.

73. Kaźmierczak K., Pazdrowski W., Manka K., Szymański M. & Nawrot M., 2008. Kształtowanie się smukłości pni dębu szypułkowego [*Quercus robur* L.] w zależności od wieku drzew. *Sylvan*, 152(07), 39-45.
74. Kaźmierczak K., 2012. Smukłość sosen w klasach biosocjalnych. *For. Let*, 103, 33-39.
75. Kliczkowska A. & Bruchwald A., 2000. Kształtowanie się bonitacji drzewostanów świerkowych w terenach górskich. *Sylvan* 144, 9: 5-15.
76. Koes R. E., 1994. The flavonoid biosynthetic pathway in plants: function and evolution. *BioEssays*, 16(2), 123-132.
77. Kohyama T., H. T., 1990. Patterns of trunk diameter, tree height and crown depth in crowded *Abies* stands. *Annals of Botany* 65: 567-574.
78. Kokociński W., 2005. Anatomia drewna. Wyd. II zmienione. Poznań.: Nakładem autora wydało Wydawnictwo–Drukarnia Prodruk.
79. Kokociński W., 2005. Anatomia drewna. Poznań: Prodruk.
80. Kopcewicz J., 2005. Fizjologia roślin. PWN, Warszawa, 612-678.
81. Kormann J. M., van der Maaten E., Liesebach M., Liepe K. J. & van der Maaten-Theunissen M., 2024. High risk, high gain? Trade-offs between growth and resistance to extreme events differ in northern red oak (*Quercus rubra* L.). *Frontiers in Plant Science*, 15.
82. Kostić S., Levanič T., Orlović S., Matović B. & Stojanović D. B., 2022. Turkey oak (*Quercus cerris* L.) is more drought tolerant and better reflects climate variations compared to pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in lowland mixed forests in northwestern Serbia: A stable carbon isotope ratio ( $\delta^{13}C$ ) and radial growth approach. *Ecological Indicators*, 142, 109242.
83. Kowalski M., 1992. Ecological Succession in Polish Forests. *Fol. For. Pol.* 34: 5–18.
84. Kowalski M., 1993a. O sukcesji ekologicznej w lasach Jasionia. *Sylvan* 136,9: 37–46.
85. Kowalski M., 1993b. Skład gatunkowy lasów na tle zmian klimatu. *Pr. Inst. Bad. Leśn.* 15: 210–220.
86. Kraemer R. L. & Cote W. J., 1963. Changes in coniferous wood cells associated with heartwood formation. *TAPPI* 46: 42–49.
87. Kramer H., 1998. *Waldwachstumlehre*. Hamburg-Berlin: Verlag Paul Parey,.
88. Krawczyk A. J. & Krąpiec M., 1999. Rekonstrukcja paleoklimatu Małopolski na podstawie sekwencji przyrostów rocznych dębów. *Geologia/Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*, 25(4), 305-319.

89. Krąpiec M., 1988. Wstępne wyniki badań dendrochronologicznych „czarnych dębów” ze Ściejowic i stopnia wodnego „Kościuszko” (okolice Krakowa). *Kwart. Geol.* 32(3-4), 749.
90. Krąpiec M., 1992. Skale dendrochronologiczne późnego holocenu południowej i centralnej części Polski. *Kwartalnik AGH – Geologia* 18, 3: 37–119.
91. Krąpiec M., 1995. *Metodyka badań dendrochronologicznych*. W: *Badania osadów czwartorzędowych*. [red.]. E. Mycielska–Dowgiałło, J. Rutkowski. Warszawa, 318–328.
92. Krąpiec M., 1996. Subfossil oak chronology (474 BC – 1529 AD) from Southern Poland. W: J. S. Dean, D. M. Meko T.W. Swetnam [red.]. *Tree Rings, Environment and Humanity. Radiocarbon*, 813–819.
93. Krąpiec M., 1996. Subfossil oak chronology (474 BC - 1529 AD) from Southern Poland. W: Dean J. S., Meko D. M & Swetnam T. W. (Eds.). *Tree Rings, Environment and Humanity, Radiocarbon*, 813-819.
94. Krąpiec M., 1998. Oak dendrochronology of the Neoholocene in Poland. *Folia Quaternaria*. 69, 5–134.
95. Krąpiec M., 2001. Holocene Dendrochronological Standards for Subfossil Oaks from the Area of Southern Poland. *Studia Quaternaria*. 18, 47–63.
96. Krystkiewicz D., 1998. Wzrost i zasobność drzewostanów dębowych w Dzielnicy Krotoszyńskiej na przykładzie Nadleśnictwa Krotoszyn. Praca magisterska. KHL, SGGW Warszawa.
97. Krzysik F., 1975. *Nauka o drewnie*. Warszawa: PWN.
98. Lasota J., 2013. Siedliskowo–florystyczna analiza środkowoeuropejskiego acydofilnego lasu dębowego (*Calamagrostio arundinaceae–Quercetum petraeae* [Hatm. 1934], Scam.et Pass. 1959). *Zeszyty Naukowe UR im. Hugona Kołłątaja w Krakowie* 393
99. Lemke J., 1966. Korona jako jedno z kryteriów wyboru drzew próbnych przy oznaczaniu bieżącego przyrostu miąższości drzewostanu. *Folia Forestalia Polonica* A 12, 237–247.
100. Magel E. A., 2000. *Biochemistry and physiology of heartwood formation*. BIOS Scientific Publishers, 363-376.
101. Magel E. A., 2000. *Biochemistry and physiology of heartwood formation. Cell and molecular biology of wood formation*, 363-376.

102. Magel A. K., 2013. New Insights into Heartwood and Heartwood Formation. In Cellular aspects of wood formation. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg., 71-95.
103. Magel E., Jay-Allemand C. & Ziegler H., 1994. Formation of heartwood substances in the stemwood of *Robinia pseudoacacia* L. II. Distribution of nonstructural carbohydrates and wood extractives across the trunk. *Trees*, 8, 165-171.
104. Mäkelä A. & Albrektson A., 1992. An analysis of the relationship between foliage biomass and crown surface area in *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 7(1-4), 297-307.
105. Mäkelä A. & Vanninen P., 2001. Vertical structure of Scots pine crowns in different age and size classes. *Trees*, 15, 385-392.
106. Marchand P. J., 1984. Sapwood area as an estimator of foliage biomass and projected leaf area for *Abies balsamea* and *Picea rubens*. *Canadian Journal of Forest Research*, 14(1), 85-87.
107. Marks P. L., 1974. The role of pin cherry (*Prunus pensylvanica* L.) in the maintenance of stability in northern hardwood ecosystems. *Ecological Monographs* 44, str. 73–88.
108. Martínez–Abraín A., 2008. Statistical significance and biological relevance: A call for a more cautious interpretation of results in ecology. *Acta Oecologica* 34: 9–11.
109. Matuszkiewicz W., 1990. Regionalizacja geobotaniczna Polski. W: Regionalizacja przyrodniczo – leśna na podstawach ekologiczno – fizjograficznych. Praca zbiorowa. PWRiL, Warszawa.
110. Matuszkiewicz W., Matuszkiewicz J. M., 1996. Przegląd fitosocjologiczny zbiorowisk leśnych Polski. *Phytocoenosis* 8. Seminarium geobotanicum 3. Warszawa–Białowieża.
111. McDowell N., Barnard H., Bond B., Hinckley T., Hubbard R., Ishii H., ... & Whitehead D., 2002. The relationship between tree height and leaf area: sapwood area ratio. *Oecologia*, 132, 12-20.
112. Mohler C. L., Marks P. L. & Sprugel D. G., 1978. Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. *The Journal of Ecology*, 599-614.
113. Mörling T. & Valinger E., 1999. Effects of fertilization and thinning on heartwood area, sapwood area and growth in Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14(5), 462-469.

114. Mörling T. & Valinger E., 1999. Effects of fertilization and thinning on heartwood area, sapwood area and growth in Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14(5), 462-469.
115. Morris H., 2016. The structure and function of ray and axial parenchyma in woody seed plants. Doctoral dissertation, Universität Ulm.
116. Mosandl R., Kleinert A., 1998. Development of oaks (*Quercus petraea* (Matt.) Libl.) emerged from bird-dispersed seeds under old-growth pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. *For. Ecol. Manag.* 106: 35-44.
117. Nakada R. & Fukatsu E., 2012. Seasonal variation of heartwood formation in *Larix kaempferi*. *Tree Physiology*, 32(12), 1497-1508.
118. Nawrot M., Jakubowski M., Pazdrowski W. & Szymański M., 2009. Powierzchnia przewodząca jako wskaźnik reakcji korony na czynniki zewnętrzne u modrzewia europejskiego [*Larix decidua* Mill.]. *Sylvan*, 153(09), 617-626.
119. Nawrot M., Pazdrowski W. & Szymański M., 2008. Dynamics of heartwood formation and axial and radial distribution of sapwood and heartwood in stems of European larch (*Larix decidua* Mill.). *Journal of Forest Science*, 54(9), 409-417.
120. Nechita C., 2013. *The influence of early wood and late wood to emergence of pointer years in oak trees.*
121. Nobel P. S., 1999. *Physicochemical & Environmental Plant Physiology.* Elsevier., str. 373-402.
122. Nobuchi T. S., 1986. Season of heartwood formation and the related cytological structure of ray parenchyma cells in *Robinia pseudoacacia* L. *Journal of the Japan Wood Research Society* Vol. 30, No. 8, 628-636.
123. Oliver C. D. & Larson B. C., 1996. *Forest Stand Dynamics.* New York: John Wiley and Sons.
124. Orzeł S. & Socha J., 1999. Smukłość świerka w sześćdziesięcioletnich drzewostanach Beskidów Zachodnich. *Sylvan*, 143(04), 35-43.
125. Osawa A., Ishizuka M. & Kanazawa Y., 1991. A profile theory of tree growth. *Forest Ecology and Management*, 41(1-2), 33-63.
126. Pacyniak C., 1992. *Najstarsze drzewa w Polsce. Przewodnik.* Warszawa: Wydawnictwo PTTK „Kraj”.
127. Panshin A. J. & Zeeuw C. D., 1980. *Textbook of wood technology* (pp. 772-pp).
128. Pâques L.E., 2001. Genetic control of heartwood content in larch. *Silvae Genetica* 50 (2), 69-75.

129. Peters W. J., 1974. Tylosis formation in *Pinus* tracheids. *Botanical Gazette*, 135(2), 126-131.
130. Pigan I., Pigan M., 1999. Naturalne odnowienie dębu szypułkowego w drzewostanach sosnowych. *Sylwan* 143,9: 23–30.
131. Pretzsch H., Schütze G. & Uhl E., 2013. Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: Evidence of stress release by inter-specific facilitation. *Plant Biology*, 15(3), 483–495.
132. Przybylski T., 1993. Biologia sosny zwyczajnej. *Ekologia*, 255-281.
133. Punches J., 2004. Tree growth, forest management, and their implications for wood quality.
134. Remlein A., 2020. Zmienność fenotypowa sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na podstawie wybranych ekotypów. Poznań: Praca doktorska.
135. Robichaud E. & Methven I. R., 1992. The applicability of the pipe model theory for the prediction of foliage biomass in trees from natural, untreated black spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 22(8), 1118-1123.
136. Romagnoli M. & Codipietro G., 1996. Pointer years and growth in Turkey oak (*Quercus cerris* L) in Latium (central Italy). A dendroclimatic approach. *Annales Des Sciences Forestières*, 53(2–3), 671–684.
137. Rozas V., 2005. Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: Tree-ring growth responses to climate. *Annals of Forest Science*, 62(3), 209–218
138. Rymer-Dudzińska T. & Tomusiak R., 2000. Porównanie smukłości drzewostanów bukowych i dębowych. *Sylwan*, 144(09), 45-51.
139. Schmidt-Vogt H., 1986. Die Fichte. II. 1. Wachstum, Züchtung, Boden, Umwelt, Holz. Hamburg- Berlin: Paul Parey.
140. Schweingruber F. H., 1998. Tree rings basics and applications of dendrochronology. Kluwer Academic Publishers, Dortrecht., 280.
141. Schweingruber F. H., 1996. Tree rings and environment. Berno: Paul Haupt AG Bern.
142. Sellin A., 1996. Sapwood amount in *Picea abies* (L.) Karst. determined by tree age and radial growth rate. *Holzforschung* 50, 291-296.
143. Seneta W. & Dolatowski J., 2008. Dendrologia (wyd. 4). Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

144. Shinozaki K., 1964. A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory: II. Further evidence of the theory and its application in forest ecology. *Japanese journal of ecology*, str. 14: 133–139.
145. Shmit H., 1953. Kronen und Zuwachsuntersuchungen an Fichten des bayerischen Alpenvorlandes. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 72 (9–10), 276–286.
146. Socha J., 1998. Zależność bonitacji drzewostanów świerkowych od wysokości położenia nad poziomem morza. *Sylwan* 142, 9, 25-32.
147. Sohar K., Läänelaid A., Eckstein D., Helama S. & Jaagus J., 2014. Dendroclimatic signals of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in Estonia. *European Journal of Forest Research*, 133(3), 535–549.
148. Sokołowski A. W., 1994. Wpływ zmian sukcesyjnych zachodzących w zbiorowiskach leśnych północno-wschodniej Polski na ich różnorodność biologiczną. *Sylwan* 138,10: 23–27.
149. Sokołowski A. W., Kliczkowska A., Grzyb M., 1997. Metodyka określania fitosocjologicznych jednostek wchodzących w zakres siedliskowych typów lasu. *Not. Nauk. Inst. Bad. Leśn.* 1 (41).
150. Spicer R., 2005. Senescence in secondary xylem: heartwood formation as an active developmental program. In *Vascular transport in plants*. Academic Press., 457-475.
151. Spicer R. & Holbrook N. M., 2007. Effects of carbon dioxide and oxygen on sapwood respiration in five temperate tree species. *Journal of experimental botany*, 58(6), 1313-1320.
152. Stewart C. M., 1966. Excretion and Heartwood Formation in Living Trees: The death of many cells in secondary tissues seems to result from the accumulation of waste metabolites. *Science*, 153(3740), 1068-1074.
153. Szychowska-Krapiec E., 1997. Dendrochronological pine scale (1622–1996 AD) for the Małopolska area (South Poland). *Bul. Pol. Ac. Earth Sc.* 45, 1–13.
154. Szychowska-Krapiec E. & Krapiec M., 2001. Dendrochronological studies on construction of pine (*Pinus sylvestris* L.) standard for SW Poland. *Geochronometria*, 20, 51-56.
155. Taylor A. M., Gartner B. L. & Morrell J. J., 2002. Heartwood formation and natural durability-a review. *Wood and Fiber Science* 34, 587–611.
156. Timbal J. & Aussenac G., 1996. An overview of ecology and silviculture of indigenous oaks in France. In *Annales des sciences forestieres* (Vol. 53, No. 2-3, pp. 649-661). EDP Sciences.

157. Trouet V., Esper J. & Beekman H., 2010. Climate/growth relationships of *Brachystegia spiciformis* from the miombo woodland in south central Africa. *Dendrochronologia*, 28(3), 161–171.
158. Tulik M. & Myskow E., 2015. Rola śmierci komórek drewna w sukcesie ewolucyjnym roślin drzewiastych. *Sylwan*, 159(05).
159. Tumiłowicz J., 2000. Strefy klimatyczne dla uprawy drzew i krzewów w Polsce. *Szkółkarstwo* 4, 10-13.
160. Van der Maaten-Theunissen M., van der Maaten E. & Bouriaud O., 2015. pointRes: an R package to analyze pointer years and components of resilience. *Dendrochronologia*, 35, 34-38.
161. Vanninen P., Ylitalo H., Sievänen R. & Mäkelä A., 1996. Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Trees*, 10, 231-238.
162. Waring R. H., Schroeder P. E. & Oren R., 1982. Application of the pipe model theory to predict canopy leaf area. *Canadian Journal of Forest Research*, 12(3), 556-560.
163. Ważny T. & Eckstein D., 1991. The dendrochronological signal of oak (*Quercus* spp.) in Poland. *Dendrochronologia* 9: 35–49.
164. Ważny T., 1990. Aufbau und Anwendung der Dendrochronologie für Eichenholz in Polen. Diss.Univ. Hamburg, 213.
165. Ważny T., 1986. Dendrochronologie in Nordpolen. *Acta Interdyscyplinaria Archaeologica*. 123–128. *Acta Interdyscyplinaria Archaeologica*, 123–128.
166. Wdowiak A., 2017. Struktura drewna konstrukcyjnego. *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury*, 64 (4/1), strony 363-378.
167. Wertz B., 2012. Dendrochronologiczna ocena wpływu emisji przemysłowych na główne gatunki drzew iglastych z Wyżyny Kieleckiej. *Sylwan* 156 (5), 379–390.
168. White P. B., Gevel S. L., van de Grissino-Mayer H. D., LaForest L. B. & Deweese G. G., 2011. Climatic Response of Oak Species across an Environmental Gradient in the Southern Appalachian Mountains, USA. *Tree-Ring Research*, 67(1), 27–37.
169. Whitehead D., Edwards W. R. N. & Jarvis P. G., 1984. Conducting sapwood area, foliage area, and permeability in mature trees of *Picea sitchensis* and *Pinus contorta*. *Canadian journal of forest research*, 14(6), 940-947.
170. Wigley T. M., Briffa K. R. & Jones P. D., 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 23(2), 201-213.

171. Wilczyński S., 2013. Przyczyny krótkookresowych reakcji przyrostowych sosen z różnych siedlisk. *Sylvan* 157 (9), 662–670.
172. Włoczewski T., 1968. Ogólna hodowla lasu. Warszawa: PWRiL.
173. Yang J. K., 2004. Seasonal changes in gene expression at the sapwood—heartwood transition zone of black locust (*Robinia pseudoacacia*) revealed by cDNA microarray analysis. *Tree Physiology*, 24(4), 461-474.
174. Yassin Abdel-Gadir A., Kraemer R. L., 1993. Genetic variation in the age of demarcation between juvenile and mature wood in Douglas-fir. *Wood and Fiber Science*, V, 25(4): 384–394.
175. Zajączkowski J., 1991. Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu. Wyd. Świat. Warszawa
176. Zajączkowski G., Jabłoński M., Jabłoński T., Małecka M., Kowalska A., Małachowska J. & Piwnicki J., 2019. Raport o stanie lasów w Polsce 2017. Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
177. Zaleski A. & Kantorowicz W., 1998. Wzrost wybranych gatunków drzew leśnych w uprawach plantacyjnych w różnych warunkach siedliskowych. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa. Seria A*, (852-855), 5-49.
178. Zaręba R., 1988. Dąb szypułkowy (*Quercus robur* L.) i bezszypułkowy (*Q. sessilis* Ehrh.) – ich naturalne występowanie w zespołach leśnych i typach siedliskowych lasu. *Pr. Inst. Bad. Leśn.* 684, 129–181.
179. Zarzycki K., Trzcńska-Tacik H., Różański W., Szaląg Z., Wołek J., Korzeniak U., 2002. Ecological indicator values of vascular plants of Poland. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences. Kraków.
180. Zarzycki K., Trzcńska-Tacik H., Różański W., Szaląg Z., Wołek J. & Korzeniak U., 2002. Ecological indicator values of vascular plants of Poland. *Biodiversity of Poland (Poland)*, 2.
181. Zielony R. & Kliczkowska A., 2012. Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski 2010. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych.
182. Zielski A., 1987. The laboratory of dendrochronology in Toruń – process of organization. *Ann Acad. Scien. Fennicae, Ser. A. III. Geologica-Geographica* 145, 105–107.
183. Zielski A., 1997. Uwarunkowania środowiskowe przyrostów radialnych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce Północnej na podstawie wielowiekowej chronologii. Toruń 127: Wyd. UMK.

184. Zielski A. & Krąpiec M., 2015. *Dendrochronologia*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
185. Zimmermann M. H., 1981. *Drzewa, struktura i funkcje*. Warszawa: PWN.
186. Zuur A. F., Ieno E. N. & Smith G. M., 2007. Principal coordinate analysis and non-metric multidimensional scaling. *Analysing ecological data*, 259-264.

## 11. Spis tabel

	Strona
Tabela 6.1	Adresy leśne drzewostanów wytypowanych do badań.....33
Tabela 6.2	Opis taksacyjny wydzielienia 83 – i – 00.....35
Tabela 6.3	Opis taksacyjny wydzielienia 85 – i – 00.....36
Tabela 6.4	Opis taksacyjny wydzielienia 14 – b – 00.....37
Tabela 6.5	Opis taksacyjny wydzielienia 14 – l – 00.....38
Tabela 6.6	Opis taksacyjny wydzielienia 136 – b – 00.....39
Tabela 6.7	Opis taksacyjny wydzielienia 10 – f – 00.....40
Tabela 6.8	Opis taksacyjny wydzielienia 31 – b – 00.....41
Tabela 6.9	Opis taksacyjny wydzielienia 31 – c – 00.....42
Tabela 6.10	Opis taksacyjny wydzielienia 137 – f – 00.....43
Tabela 6.11	Opis taksacyjny wydzielienia 120 – d – 00.....44
Tabela 6.12	Opis taksacyjny wydzielienia 256 – c – 00.....45
Tabela 6.13	Opis taksacyjny wydzielienia 255 – a – 00.....46
Tabela 7.1	Charakterystyka statystyczna wieku, pierśnicy (D), wysokości (H), współczynnika smukłości (H/D) oraz powierzchni rzutu koron (Rzut-K) dla wszystkich badanych drzew.....56
Tabela 7.2	Współczynnik korelacji Spearmana dla zewnętrznych cech biometrycznych oraz cech makrostrukturalnych badanych dębów.....56
Tabela 7.3	Cechy biometryczne drzew (statystyki opisowe).....57
Tabela 7.4	Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej wieku w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....58
Tabela 7.5	Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej wysokości (H) w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....60
Tabela 7.6	Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej średnicy (D) w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....61
Tabela 7.7	Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej współczynnika smukłości (H/D) w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....62
Tabela 7.8	Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej powierzchni rzutu korony (Rzut-K) w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....64

Tabela 7.9	Charakterystyka statystyczna łącznej szerokości bielu (Szer-B), łącznej szerokości twardzieli (Szer-T), powierzchni bielu (Pow-B), powierzchni twardzieli (Pow-T), średniej szerokości przyrostu bielastego (Przyr-B) oraz średniej szerokości przyrostu twardzieli (Przyr-T).....	64
Tabela 7.10	Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej szerokości bielu (Szer-B) w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....	66
Tabela 7.11	Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej szerokości twardzieli (Szer-T) w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....	67
Tabela 7.12	Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej powierzchni bielu (Pow-B) w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....	68
Tabela 7.13	Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej powierzchni twardzieli (Pow-T) w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....	69
Tabela 7.14	Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej przyrostu słojów bielastych (Przyr-B) w poszczególnych typach siedliskowych lasu...	70
Tabela 7.15	Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej przyrostu słojów twardzielowych (Przyr-T) w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....	71
Tabela 7.16	Charakterystyka statystyczna współczynnika T/B oraz dynamiki twardzielowania w odniesieniu do typów siedliskowych lasu.....	72
Tabela 7.17	Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej współczynnika twardzielowania (T/B) w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....	73
Tabela 7.18	Wyniki testu Kruskala-Wallisa istotności różnic dla zmiennej dynamiki twardzielowania w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....	74
Tabela 7.19	Współczynniki korelacji porządku rang Spearmana dla cech biometrycznych badanych drzew.....	75
Tabela 7.20	Współczynniki korelacji porządku rang Spearmana dla cech opisujących biel i twardziel badanych drzew.....	77
Tabela 7.21	Współczynniki korelacji porządku rang Spearmana dla cech opisujących szerokość przyrostów badanych drzew.....	78
Tabela 7.22	Podstawowe statystyki dendrochronologiczne.....	85

## 12. Spis rycin

	Strona
Ryc. 6.1	Udział procentowy poszczególnych typów siedliskowych lasu na terenie Nadleśnictwa Jarocin.....32
Ryc. 6.2	Zestawienie powierzchniowo procentowego udziału gatunków panujących w siedliskowych typach lasu.....32
Ryc. 6.3	Lokalizacja Nadleśnictwa Jarocin.....34
Ryc. 6.4	Lokalizacja wydzielienia 83 – i – 00.....35
Ryc. 6.5	Lokalizacja wydzielienia 85 – i – 00.....36
Ryc. 6.6	Lokalizacja wydzielienia 14 – b – 99.....37
Ryc. 6.7	Lokalizacja wydzielienia 14 – l – 00.....38
Ryc. 6.8	Lokalizacja wydzielienia 136 – b – 00.....39
Ryc. 6.9	Lokalizacja wydzielienia 10 – f – 00.....40
Ryc. 6.10	Lokalizacja wydzielienia 31 – b – 00.....41
Ryc. 6.11	Lokalizacja wydzielienia 31 – c – 00.....42
Ryc. 6.12	Lokalizacja wydzielienia 137 – f – 00.....43
Ryc. 6.13	Lokalizacja wydzielienia 120 – d – 00.....44
Ryc. 6.14	Lokalizacja wydzielienia 256 – c – 00.....45
Ryc. 6.15	Lokalizacja wydzielienia 255 – a – 00.....46
Ryc. 6.16	Przygotowana próbka do badań.....47
Ryc. 6.17	Sposób określania liczby brakujących słoików.....51
Ryc. 6.18	Lokalizacja powierzchni badawczych.....52
Ryc. 7.1	Średni wiek drzewostanów w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....58
Ryc. 7.2	Średnia wysokość w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....59
Ryc. 7.3	Średnica pnia na wysokości 1,3 m w poszczególnych typach Siedliskowych lasu.....60
Ryc. 7.4	Współczynnik smukłości w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....62
Ryc. 7.5	Średnia powierzchnia rzutu korony w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....63
Ryc. 7.6	Średnia szerokość bielu w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....65
Ryc. 7.7	Średnia szerokość twardzieli w poszczególnych typach siedliskowych lasu...66
Ryc. 7.8	Średnia powierzchnia bielu w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....67

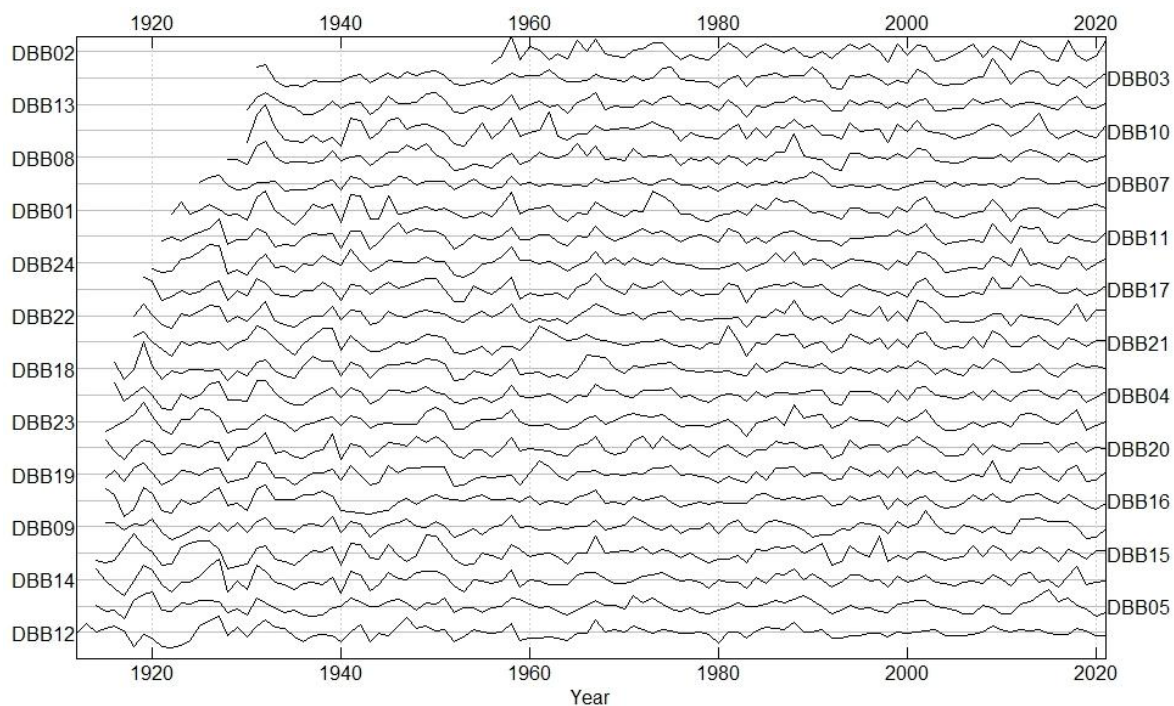
Ryc. 7.9	Średnia powierzchnia twardzieli w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....	69
Ryc. 7.10	Średnia szerokość przyrostu słoju bielastego (Przyr-B) w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....	70
Ryc. 7.11	Średnia szerokość przyrostu twardzielowego w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....	71
Ryc. 7.12	Średnia wartość współczynnika twardzielowania (T/B) w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....	72
Ryc. 7.13	Średnia wartość dynamiki twardzielowania w poszczególnych typach siedliskowych lasu.....	73
Ryc. 7.14	Macierzowy wykres rozrzutu cech biometrycznych badanych drzew.....	75
Ryc. 7.15	Macierzowy wykres rozrzutu cech opisujących biel i twardziel badanych drzew.....	76
Ryc. 7.16	Macierzowy wykres rozrzutu cech opisujących szerokość przyrostów badanych drzew.....	77
Ryc. 7.17	Wykres osypiska dla wszystkich badanych drzew.....	79
Ryc. 7.18	Wykres współrzędnych czynnikowych dla wszystkich drzew.....	79
Ryc. 7.19	Wykres osypiska dla drzew wyrosłych na borze mieszanym świeżym.....	80
Ryc. 7.20	Wykres współrzędnych czynnikowych dla drzew wyrosłych na borze mieszanym świeżym.....	80
Ryc. 7.21	Wykres osypiska dla drzew wyrosłych na lesie mieszanym świeżym.....	81
Ryc. 7.22	Wykres współrzędnych czynnikowych dla drzew wyrosłych na lesie mieszanym świeżym.....	81
Ryc. 7.23	Wykres osypiska dla drzew wyrosłych na lesie świeżym.....	82
Ryc. 7.24	Wykres współrzędnych czynnikowych dla drzew wyrosłych na lesie świeżym.....	82
Ryc. 7.25	Wykres typu spaghetti ukazujący przebieg indeksów szerokości przyrostów rocznych w poszczególnych drzewach w warunkach boru mieszanego świeżego na stanowisku T.....	83
Ryc. 7.26	Zgodność korelacji segmentowych dla BMśw, stanowisko T.....	84
Ryc. 7.27	Wartość korelacji w poszczególnych segmentach (20-leciach).....	84
Ryc. 7.28	Negatywne lata wskaźnikowe w badanych drzewostanach.....	86
Ryc. 7.29	Pozytywne lata wskaźnikowe w badanych drzewostanach.....	87

Ryc. 7.30	Współczynniki korelacji średniej temperatury miesięcznej i średnich sumarycznych opadów miesięcznych z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska T (BMśw).....	88
Ryc. 7.31	Współczynniki korelacji średniej temperatury miesięcznej i średnich sumarycznych opadów miesięcznych z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska B (BMśw).....	88
Ryc. 7.32	Współczynniki korelacji średniej temperatury miesięcznej i średnich sumarycznych opadów miesięcznych z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska H (LMśw).....	89
Ryc. 7.33	Współczynniki korelacji średniej temperatury miesięcznej i średnich sumarycznych opadów miesięcznych z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska E (LMśw).....	89
Ryc. 7.34	Współczynniki korelacji średniej temperatury miesięcznej i średnich sumarycznych opadów miesięcznych z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska F (Lśw).....	90
Ryc. 7.35	Współczynniki korelacji średniej temperatury miesięcznej i średnich sumarycznych opadów miesięcznych z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska C (Lśw).....	90
Ryc. 7.36	Korelacje temperatury i opadów w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska T (BMśw).....	92
Ryc. 7.37	Korelacje temperatury i opadów w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska B (BMśw).....	93
Ryc. 7.38	Korelacje temperatury i opadów w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska H (LMśw).....	94
Ryc. 7.39	Korelacje temperatury i opadów w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska E (LMśw).....	95
Ryc. 7.40	Korelacje temperatury i opadów w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska F (Lśw).....	96
Ryc. 7.41	Korelacje temperatury i opadów w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska C (Lśw).....	97
Ryc. 7.42	Wartości 3-miesięcznego (SPEI3) i 6-miesięcznego (SPEI6) indeksu SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) dla stanowiska B.....	98
Ryc. 7.43	Wartość korelacji indeksu SPEI z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska T (BMśw).....	99

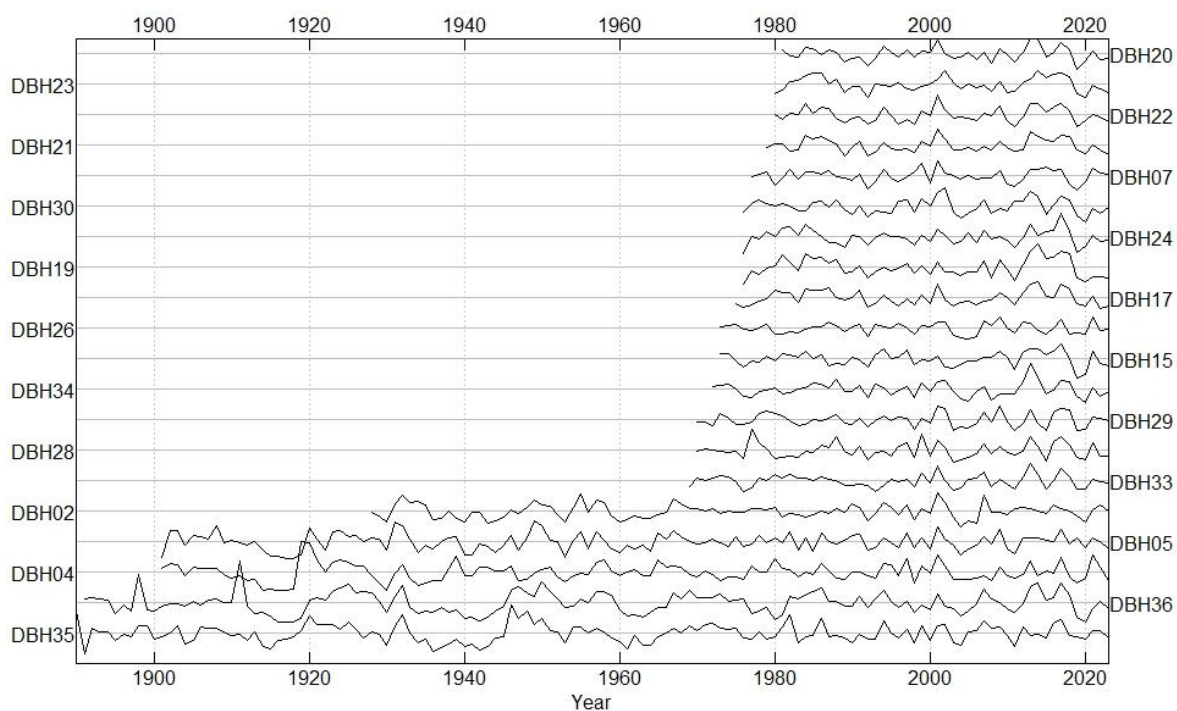
Ryc. 7.44	Wartość korelacji indeksu SPEI z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska B (BMśw).....	99
Ryc. 7.45	Wartość korelacji indeksu SPEI z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska H (LMśw).....	100
Ryc. 7.46	Wartość korelacji indeksu SPEI z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska E (LMśw).....	100
Ryc. 7.47	Wartość korelacji indeksu SPEI z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska F (Lśw).....	101
Ryc. 7.48	Wartość korelacji indeksu SPEI z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska C (Lśw).....	101
Ryc. 7.49	Korelacje indeksu SPEI w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska T (BMśw).....	103
Ryc. 7.50	Korelacje indeksu SPEI w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska B (BMśw).....	104
Ryc. 7.51	Korelacje indeksu SPEI w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska H (LMśw).....	105
Ryc. 7.52	Korelacje indeksu SPEI w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska E (LMśw).....	106
Ryc. 7.53	Korelacje indeksu SPEI w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska F (Lśw).....	107
Ryc. 7.54	Korelacje indeksu SPEI w okresach 25-letnich z indeksowanymi przyrostami rocznymi dla stanowiska C (Lśw).....	108
Ryc. S1	Wykres typu spaghetti ukazujący przebieg indeksów szerokości przyrostów rocznych w poszczególnych drzewach w warunkach boru mieszanego świeżego na stanowisku B.....	143
Ryc. S2	Wykres typu spaghetti ukazujący przebieg indeksów szerokości przyrostów rocznych w poszczególnych drzewach w warunkach lasu mieszanego świeżego na stanowisku H.....	143
Ryc. S3	Wykres typu spaghetti ukazujący przebieg indeksów szerokości przyrostów rocznych w poszczególnych drzewach w warunkach lasu mieszanego świeżego na stanowisku E.....	144
Ryc. S4	Wykres typu spaghetti ukazujący przebieg indeksów szerokości przyrostów rocznych w poszczególnych drzewach w warunkach lasu świeżego na stanowisku F.....	144

Ryc. S5	Wykres typu spaghetti ukazujący przebieg indeksów szerokości przyrostów rocznych w poszczególnych drzewach w warunkach lasu świeżego na stanowisku C.....	145
Ryc. S6	Zgodność korelacji segmentowych dla BMśw, stanowisko B.....	145
Ryc. S7	Zgodność korelacji segmentowych dla LMśw, stanowisko H.....	146
Ryc. S8	Wartość korelacji w poszczególnych segmentach (20-leciach) dla LMśw, stanowisko H.....	146
Ryc. S9	Zgodność korelacji segmentowych dla LMśw, stanowisko E.....	147
Ryc. S10	Zgodność korelacji segmentowych dla Lśw, stanowisko F.....	147
Ryc. S11	Zgodność korelacji segmentowych dla Lśw, stanowisko C.....	148

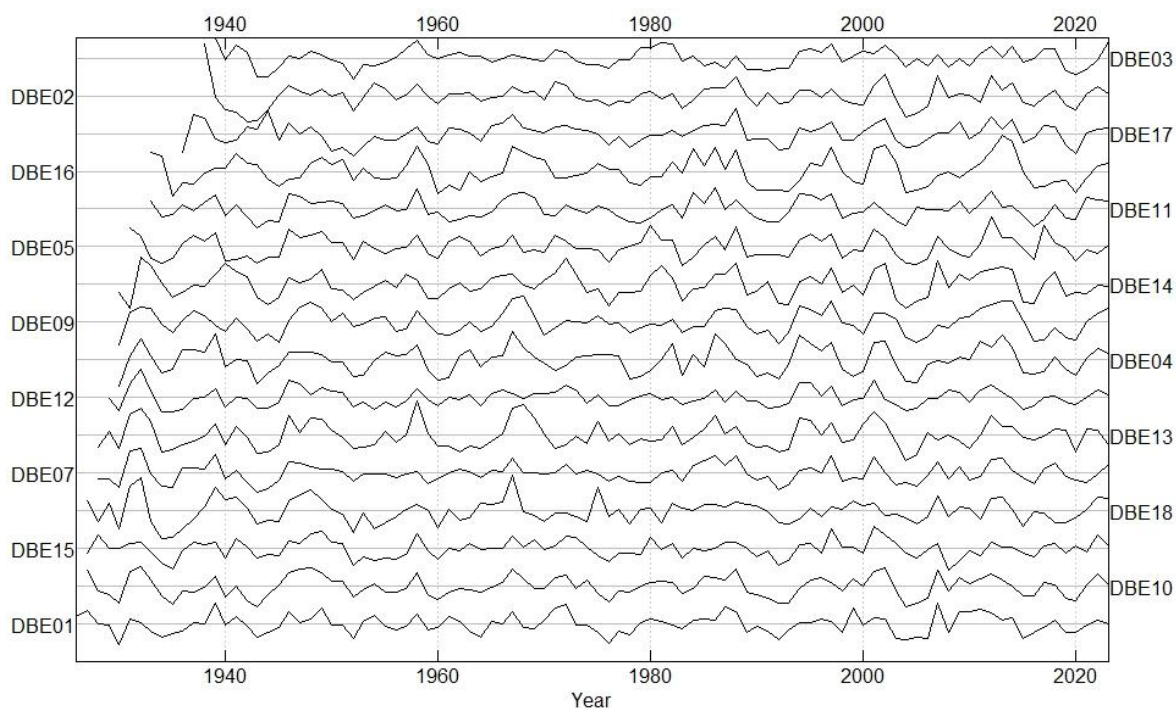
## Suplement



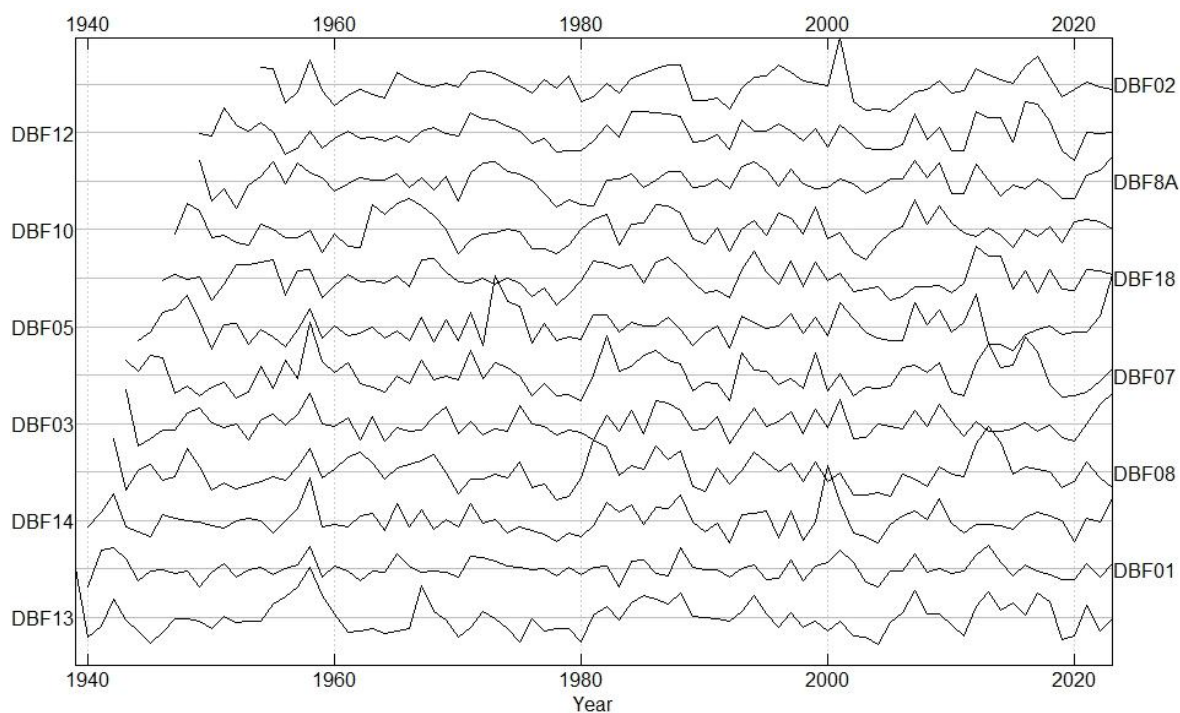
Ryc. S1 Wykres typu spaghetti ukazujący przebieg indeksów szerokości przyrostów rocznych w poszczególnych drzewach w warunkach boru mieszanego świeżego na stanowisku B



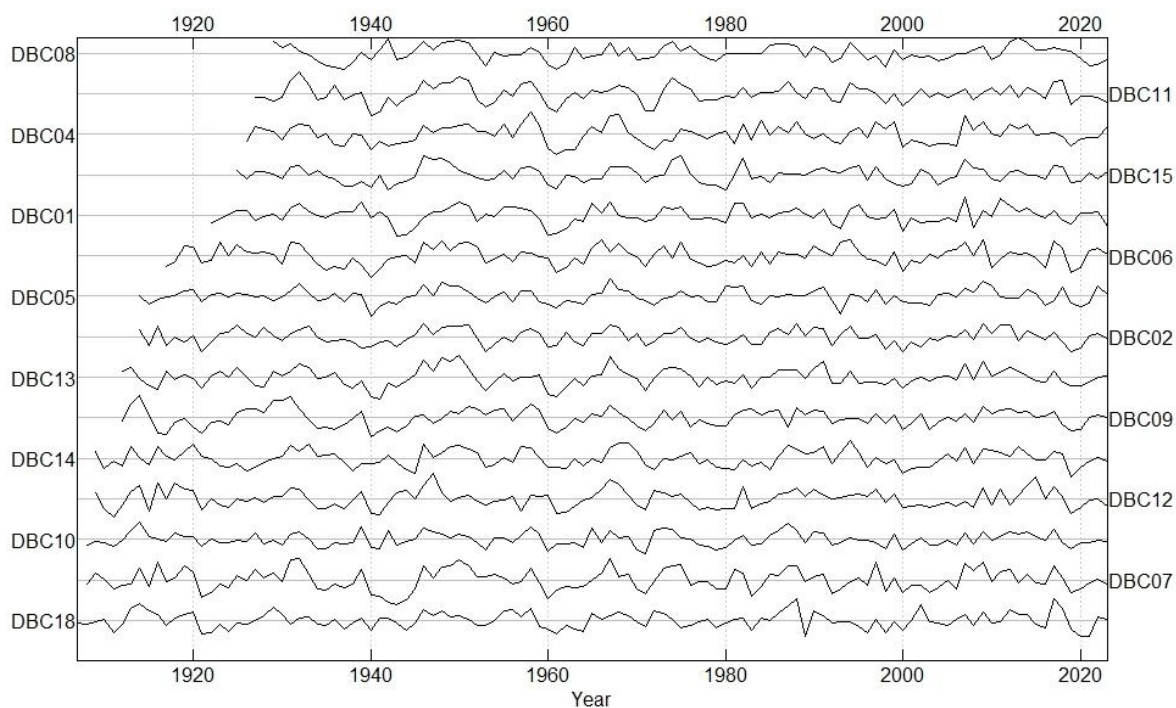
Ryc. S2 Wykres typu spaghetti ukazujący przebieg indeksów szerokości przyrostów rocznych w poszczególnych drzewach w warunkach lasu mieszanego świeżego na stanowisku H



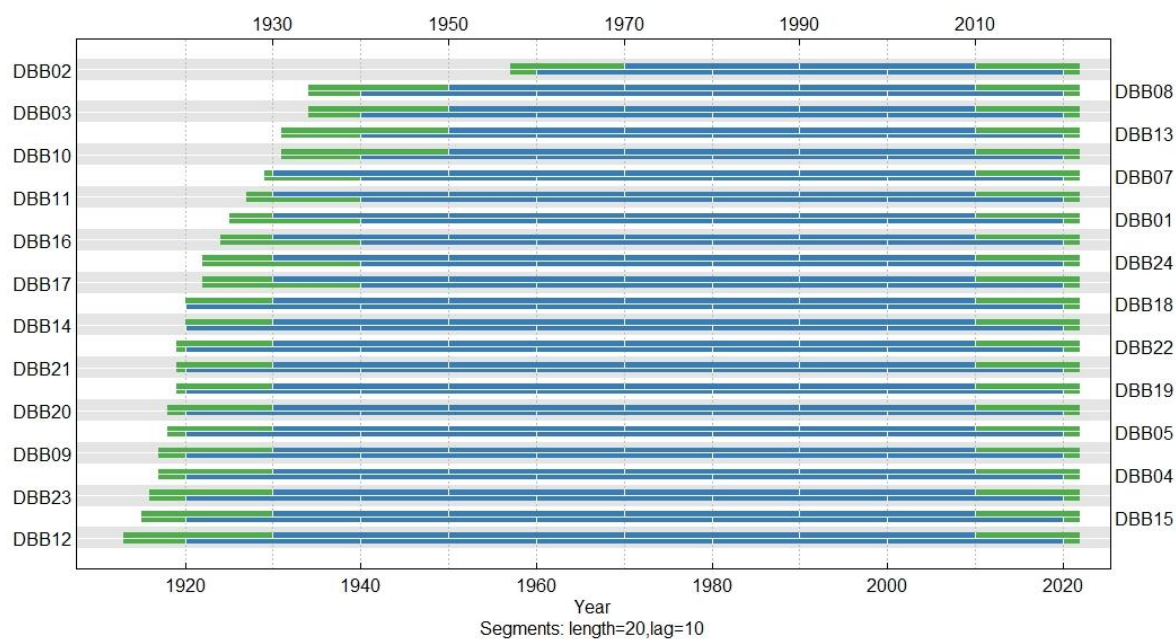
Ryc. S3 Wykres typu spaghetti ukazujący przebieg indeksów szerokości przyrostów rocznych w poszczególnych drzewach w warunkach lasu mieszanego świeżego na stanowisku E



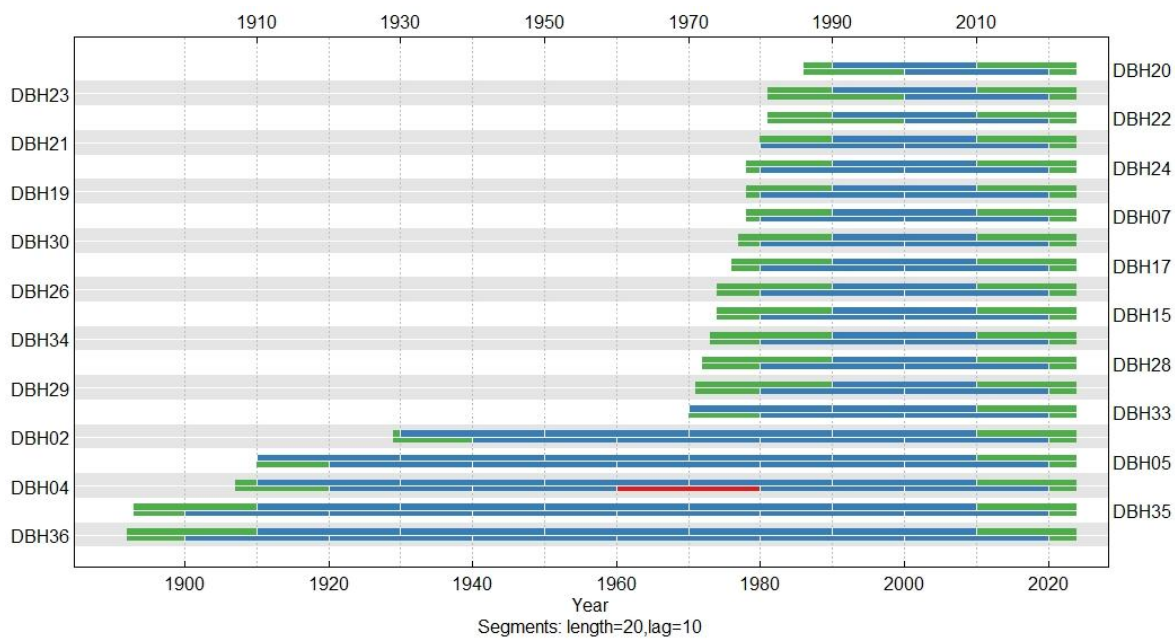
Ryc. S4 Wykres typu spaghetti ukazujący przebieg indeksów szerokości przyrostów rocznych w poszczególnych drzewach w warunkach lasu świeżego na stanowisku F



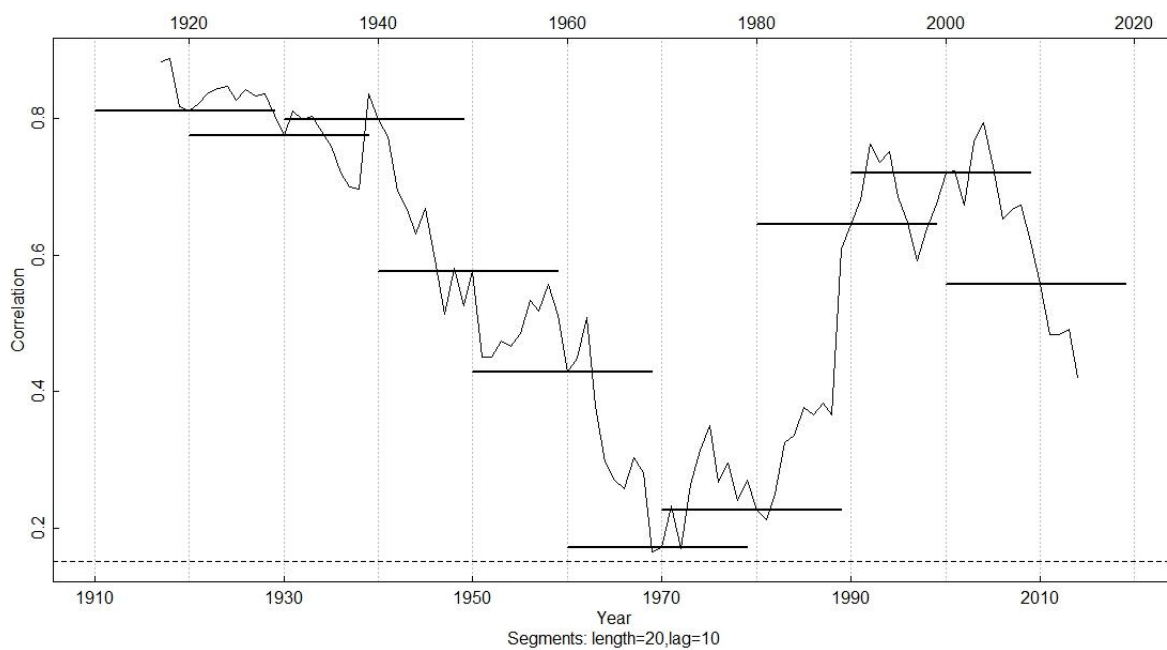
Ryc. S5 Wykres typu spaghetti ukazujący przebieg indeksów szerokości przyrostów rocznych w poszczególnych drzewach w warunkach lasu świeżego na stanowisku C



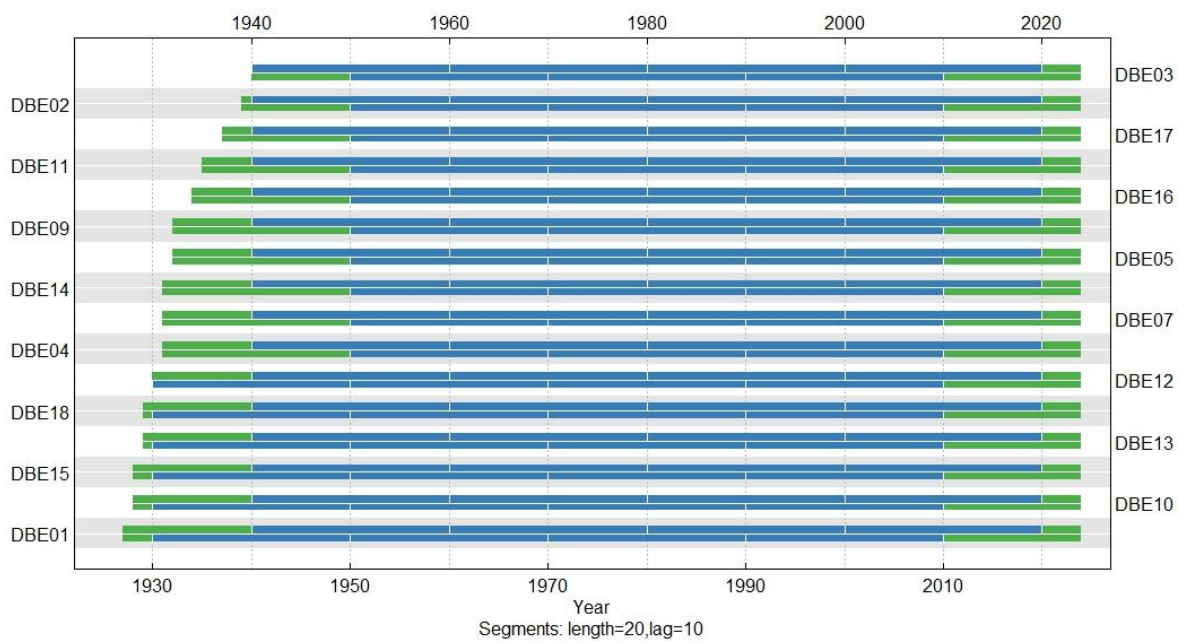
Ryc. S6 Zgodność korelacji segmentowych dla BMśw, stanowisko B



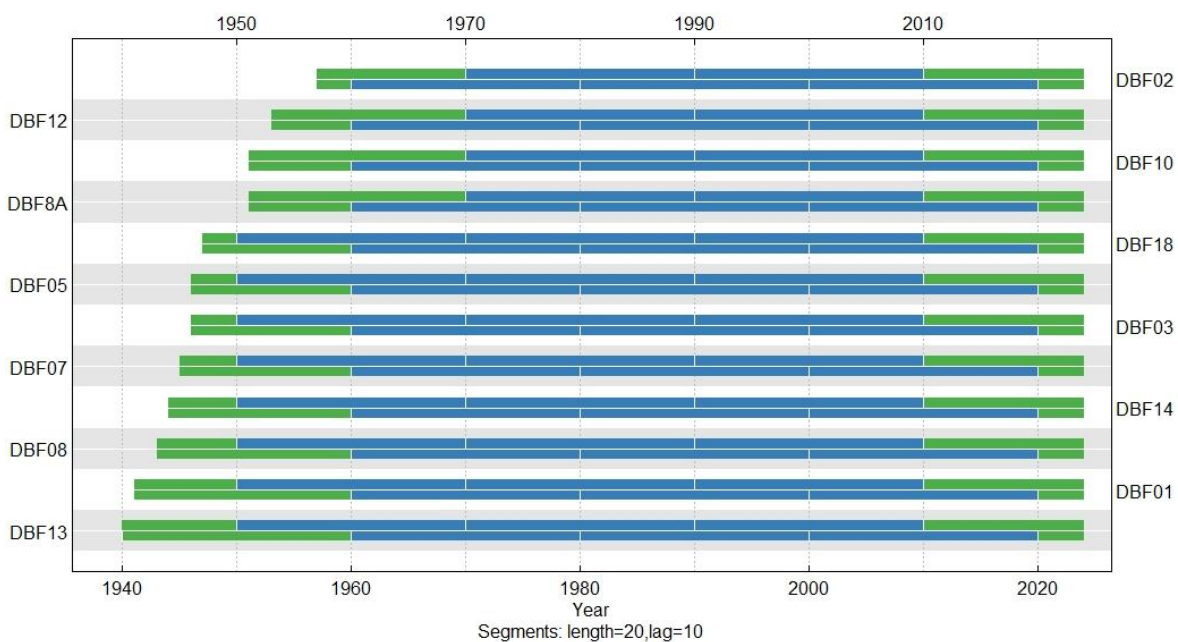
Ryc. S7 Zgodność korelacji segmentowych dla LMśw, stanowisko H



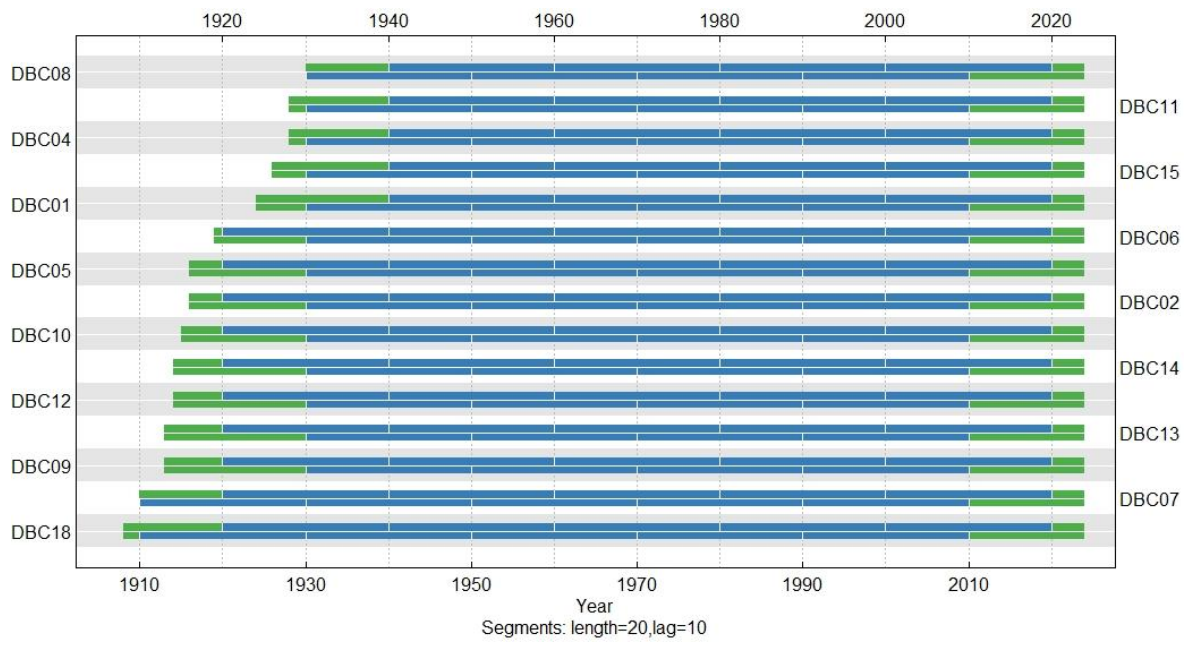
Ryc. S8 Wartość korelacji w poszczególnych segmentach (20-leciach) dla LMśw, stanowisko H



Ryc. S9 Zgodność korelacji segmentowych dla LMśw, stanowisko E



Ryc. S10 Zgodność korelacji segmentowych dla Lśw, stanowisko F



Ryc. S11 Zgodność korelacji segmentowych dla Lśw, stanowisko C