



Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej,
Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki
Instytut Fizyki
Katedra Biofizyki
Pracownia Spektrometrii Mas

Plac Marii Curie-Skłodowskiej 1, 20-031 Lublin
tel. (+48 81) 5376178, fax (+48 81) 537 61 91
e-mail: Andrzej.Pelc@mail.umcs.pl

Lublin, 10.01.2025

Dr hab. Andrzej Pelc,
prof. UMCS

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Barbary Benisiewicz
pt. "Badania wrażliwości drzew na suszę oraz wzrost koncentracji CO₂
z wykorzystaniem izotopów stabilnych węgla oraz współczynnika efektywnego
wykorzystania wody"**

Przewidywania przyszłych zmian klimatycznych wymaga poznania przeszłej zmienności klimatu i oddziaływania różnorodnych czynników środowiskowych na klimat. Dendrochronologia i analiza stabilnych izotopów węgla w słojach drzew stanowią dwa potężne narzędzia w badaniach klimatu. Badając wzrost drzew i markery biochemiczne zachowane w rocznych przyrostach drzew można zrekonstruować przeszłe warunki klimatyczne z wysoką rozdzielczością czasową i zasięgiem przestrzennym. Metody te uzupełniają inne proxy-paleoklimatyczne, bazujące na badaniach rdzeni lodowych, osadów oraz nacieków w jaskiniach, zapewniając roczne lub nawet sezonowe zapisy temperatury, opadów i dynamiki obiegu atmosferycznego CO₂.

Kluczowe aspekty dendrochronologii istotne dla badań klimatycznych obejmują analizę szerokości rocznych przyrostów drzew. Szerokość słoików drzew jest wrażliwa na czynniki środowiskowe, takie jak temperatura, opady i wilgotność gleby. W regionach o klimacie umiarkowanym szerokie słoje często wskazują na korzystne warunki wzrostu, takie jak ciepłe, wilgotne lata, podczas gdy wąskie słoje oznaczają stres środowiskowy.

Porównując wzory słojów na wielu drzewach w danym regionie można ustalić chronologię regionalną sięgającą nawet kilkaset (czy tysięcy) lat wstecz. Szczególne znaczenie ma tu badanie drzew rosnących na dużych szerokościach geograficznych i wysokościach - są one szczególnie przydatne w rekonstrukcji temperatury, ponieważ ich wzrost jest głównie ograniczony przez ten parametr stanu. Z kolei w regionach suchych i półsuchych szerokości słojów drzew są silniej skorelowane z opadami, co czyni je idealnymi do badań hydrologicznych. Zapisy dendrochronologiczne są kalibrowane względem współczesnych (około 100 lat wstecz) danych klimatycznych zbieranych w stacjach meteorologicznych w celu opracowania modeli rekonstrukcji klimatu – te dane również wykorzystwała Doktorantka.

Analiza stabilnych izotopów węgla w słojach drzew zapewnia dodatkowy wgląd w przeszłe warunki klimatyczne i środowiskowe. Na wartość $\delta^{13}\text{C}$ w słojach drzew wpływają głównie dwa procesy frakcjonowania izotopowego - podczas przewodnictwa CO_2 przez aparaty szparkowe oraz w samym procesie fotosyntezy. Skład izotopowy węgla ($\delta^{13}\text{C}$) w celulozie słojów drzew odzwierciedla ich fizjologiczne reakcje na czynniki środowiskowe, takie jak dostępność wody i atmosferyczne stężenie CO_2 . Procesy te są również powiązane z warunkami środowiskowymi, takie jak stres wodny, temperatura i natężenie światła. Np. w okresach suszy aparaty szparkowe częściowo zamykają się, aby oszczędzać wodę co powoduje, że rośliny pobierają mniej dwutlenku węgla (CO_2) z atmosfery, a fotosynteza staje się bardziej ograniczona przez dostępność CO_2 . W wyniku tego procesu stosunek izotopów węgla w roślinie zmienia się, a wartości $\delta^{13}\text{C}$ rosną.

W związku z tym skład izotopowy $\delta^{13}\text{C}$ można także wykorzystać do obliczenia wewnętrznej efektywności wykorzystania wody (iWUE), która odzwierciedla stosunek asymilacji węgla do utraty wody. Zmiany iWUE w czasie zapewniają wgląd w to, jak drzewa reagują na wzrost stężenia atmosferycznego CO_2 i zmieniające się warunki klimatyczne. Tak więc analizując wartości $\delta^{13}\text{C}$ w słojach drzew, można stwierdzić występowanie przeszłych susz jak i otrzymać informacje o zmianach stężenia atmosferycznego CO_2 . Na przykład spadek wartości $\delta^{13}\text{C}$ w czasie może wskazywać na wilgotniejszy klimat lub rosnący poziom CO_2 . Połączenie danych dotyczących stabilnych izotopów z pomiarami szerokości słojów drzew zwiększa wiarygodność rekonstrukcji klimatu. podczas gdy dane o szerokości słojów mogą wskazywać na rok suszy, analiza $\delta^{13}\text{C}$ może dostarczyć dodatkowych informacji o dotkliwości i fizjologicznym wpływie suszy na drzewa. Porównując zapisy z okresu przedindustrialnego i postindustrialnego, badania słojów drzew pomagają w ilościowym określeniu zakresu antropogenicznego wpływu na klimat i ekosystemy.

Badania dendrologiczne są również nieocenione w diagnozowaniu stanu zdrowotnego drzew. Analiza pierścieni przyrostu czy ocena struktury drewna umożliwia wczesne wykrycie problemów zdrowotnych w drzewostanie, takich jak choroby, uszkodzenia mechaniczne czy stresy środowiskowe (np. zmiany klimatyczne). Tego typu badania pozwalają na podjęcie działań mających na celu poprawę kondycji zdrowotnej lasów.

Badania pani mgr inż. Barbary Benisiewicz wpisują się w nowoczesne trendy badań dendrologicznych. Doktorantka zajęła się w sposób kompleksowy kwestią powiązania otrzymanych danych dendrologicznych (szerokość słoju, $\delta^{13}\text{C}$, wielkością komórek, iWUE) z danymi klimatycznymi i ogólną kondycją drzew. Celem rozprawy jest również próba określenia jak będzie się zmieniała kondycja drzew danego gatunku (sosny zwyczajnej) pod wpływem prognozowanych zmian klimatycznych. W celu określenia cech przyrostów rocznych drzew (chronologia i anatomia drzew) Doktorantka stosuje mikroskopię optyczną z wspomaganą odpowiednim oprogramowaniem. Trzeba tu nadmienić, że część tych badań została wykonana na Uniwersytecie Campania „Luigi Vanvitelli” we Włoszech. Analiza izotopów stabilnych węgla została natomiast wykonana za pomocą techniki IRMS w Laboratorium ^{14}C i Spektrometrii Mas Politechniki Śląskiej. Na obiekty badawcze Doktorantka wybrała drzewa z obszaru o dużej urbanizacji, by dodatkowo zbadać wpływ czynników antropogenicznych na stan drzewostanu. Badala sosny rosnące w lasach pod jurysdykcją Nadleśnictwa Świerklaniec oraz Nadleśnictwa Opole.

Przedstawioną do oceny rozprawę można podzielić na dwie główne części. Pierwsza to zwięzły opis podstawowych pojęć związanych z dendrologią, i frakcjonowaniem izotopowym węgla. W tej części pracy zawarty jest również opis materiału badawczego oraz zastosowanych technik pomiarowych. Zaprezentowano tu również wybrane, najważniejsze wyniki badań Doktorantki. Ta część pracy zawiera także odpowiedniki w języku angielskim.

Druga część pracy to zbiór pięciu połączonych tematycznie prac, których pani mgr inż. B. Benisiewicz jest współautorem. Wkład Doktorantki w prace badawcze związane z powstaniem publikacji – jak wykazują oświadczenia pozostałych współautorów był wiodący i wynosił od 50 do 70%. Doktorantka brała udział zarówno w fazie wstępnej badań (planowanie i wybór drzew do badań), preparatyce próbek, analizach dendrologicznych, opracowaniu danych jak i pisaniu artykułu. O rozwoju naukowym Doktorantki w czasie pracy badawczej związanej z doktoratem świadczy również chronologia podejmowanych wyzwań opisanych w publikacjach. Początkowo analizuje pojedyncze osobniki drzew, by stopniowo rozszerzyć obiekt badawczy do szerszej grupy drzew zdrowych i z oznakami złej kondycji,

przy równoczesnych pomiarach coraz szerszej gamy parametrów dendrologicznych. Cztery z wymienionych artykułów naukowych zostały opublikowane w dobrych periodykach, natomiast jeden artykuł jest fazy recenzji.

W artykule nr 1 (Wydawnictwo Politechniki Śląskiej) Autorzy podejmują próbę oceny wpływu warunków klimatycznych (temperatury i opadów) na roczne przyrosty dwu drzew (zdrowe i chore) jak i chronologii zmian przyrostów. Dodatkowo dzięki niedalekim od badanych drzew, położeniem huty cynku „Miasteczko Śląskie” podjęto próbę rozpoznania wpływu emitowanych przez nią zanieczyszczeń (głównie SO₂) na wzrost drzew. Zaobserwowano spowolnienie wzrostu drzew w związku z intensywną emisją zanieczyszczeń do atmosfery. Zauważono również zmianę szerokości rocznych przyrostów w zależności od temperatury i wielkości opadów. Dostrzeżone korelacje między tymi wielkościami są bardziej wyraźne dla chorych drzew. Te obserwacje poprowadziły Doktorantkę do kolejnej fazy badań na większej populacji drzew.

Artykuł nr 2 (Geochronometria, 2023) dotyczy badań dendrologicznych (iWUE, szerokość rocznych przyrostów i $\delta^{13}\text{C}$) w grupie drzew zdrowych i chorych na obszarze Nadleśnictwa Świerklaniec. Przedstawiono tu chronologie szerokości przyrostów drzewa dla obu grup osobników. Co ciekawe stwierdzono, że charakter zależności czynnika RWI od wieku drzewa praktycznie nie różni się dla drzew zdrowych i chorych. Odmienną sytuację prezentuje zależność $\delta^{13}\text{C}$ od wieku przyrostu. W tym wypadku obserwujemy wzbogacenie ok. 1 ‰ w izotop ¹³C przyrostów dla drzew chorych. Zaobserwowano również, że obie grupy drzew cechują się odmienną czułością na wilgotność i obecność zanieczyszczeń. Ponadto drzewa zdrowe można scharakteryzować poprzez mniejszy indeks iWUE. Interesującym spostrzeżeniem jest również to, że czynnik iWUE zmienia się w zależności od stężenia zanieczyszczeń atmosfery - dwutlenku siarki. Indeks iWUE rośnie wraz ze zwiększaniem stężenia SO₂ w atmosferze.

W artykule nr 3 (Geochronometria, 2023, str. 135) opisano badania drzew z Nadleśnictwa Opole (po 5 drzew zdrowych i z oznakami słabej kondycji). Na tym obszarze w ostatnich latach zaobserwowano wzmożone wymieranie sosen w związku z występowaniem susz. W ramach badań określono parametry GLK i RWI jak również poddano analizie anatomie komórek - określono zarówno grubość sianek jak i powierzchnię komórek ksylemu. Chronologiczny zapis RWI wskazuje, że mniej więcej od 1998 roku index RWI dla drzew chorych ma mniejszą wartość niż dla drzew zdrowych (autorzy podają, że ta tendencja jest najbardziej wyraźna dla lat 2010 – 2022). Interesujący jest fakt, że to wzrost drzew osłabionych jest bardziej skorelowany ze zmianami warunków klimatycznych – temperatury

i wilgotności. Taki stan rzeczy sugeruje, że drzewa zdrowe są bardziej odporne na zmianę warunków klimatycznych niż drzewa o gorszej kondycji. Również cechy anatomiczne (grubość ścianek i powierzchnia komórek) drzew zdrowych mają większe wartości niż w wypadku drzew osłabionych dla obu rozpatrywanych okresów czasu (1976 - 2009 oraz 2009 - 2022).

Kolejna publikacja nr 4 (Forest, 2024) skupia się na opisie wpływu suszy na wzrost i zmiany fizjologiczne sosny zwyczajnej. Analizowano zmiany w grupach po pięć osobników drzew zdrowych i z oznakami złej kondycji z rejonu Nadleśnictwa Opole. Okazuje się, że indeks standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego (SPEI) dla obu grup drzew w miesiącach suszy osiąga niskie wartości – co pokazuje negatywny wpływ suszy na wzrost drzew. Wskaźnik przyrostu powierzchni przekroju (BAI) dla drzew chorych cechuje się tendencją spadkową wraz z wiekiem drzewa, a dla drzew zdrowych zależność ta wygląda odmiennie tzn. BAI zwiększa się. Zależności $\delta^{13}\text{C}$ od czasu pokazuje, że wartość $\delta^{13}\text{C}$ w słojach obu grup drzew rośnie wraz z wiekiem drzewa, odzwierciedlając również wzrost średniej temperatury podczas sezonu wzrostu drzew. Niezwykle interesujące jest także obserwacja, że w przypadku drzew o dobrej kondycji wzrost wskaźnika iWUE powoduje wzrost BAI. Takiej korelacji nie obserwowano dla drzew chorych. Taki wynik sugeruje, że drzewa zdrowe mają zdolność do przystosowania się do zmieniających warunków klimatycznych, a drzewa chore tej cechy nie posiadają.

Artykuł nr 5 (w recenzji) dotyczy badań wpływu koncentracji CO_2 w atmosferze na funkcjonowanie drzew dotkniętych suszą. Obiektem zainteresowań był drzewa z obu wspomnianych wcześniej obszarów lasów. Stwierdzono, że dla drzew z obu nadleśnictw zarówno indeks iWUE jak i zawartość CO_2 w przestrzeniach międzykomórkowych drzewa rosły wraz ze zwiększeniem stężenia atmosferycznego CO_2 .

Badania Doktorantki oraz otrzymane przez nią wyniki pokazują, że badania dendrochronologiczne są bardzo użyteczne w określeniu wpływu warunków klimatycznych i zanieczyszczeń na wzrost drzew. Muszę podkreślić, że uzyskane wyniki są bardzo interesujące, a ich interpretacja uwzględnia wielopłaszczyznowość procesów środowiskowych. Warto podkreślić, że podjęta tematyka jak i rezultaty badań mają ogromny potencjał aplikacyjny i duże znaczenie ekonomiczne.

Z obowiązku recenzenta powinienem również wskazać słabsze strony przedłożonej do oceny rozprawy doktorskiej. Związane są one głównie z niekompletnymi opisami procedur preparatki czy pomiarów. Moim zdaniem zbyt skromny jest również zawarty w rozprawie

opis technik pomiarowych (np. IRMS). Trzeba jednak tu dodać, że główna część pracy to zbiór publikacji Doktorantki.

Moje uwagi:

1. Czy we wzorze 5 (str. 7) nie powinna znaleźć się również zależność od szerokości aparatu szparkowego?
2. Brak definicji współczynnika GLK (str. 9)
3. Rysunki na stronie 15 pochodzą z artykułu nr 3, a nie nr 4.
4. Artykuł nr 1: a) str. 46, co oznacza wielkość sample depth, b) jaki jest powód, że w dane z tabeli 1 nie pokrywają się dla drzew chorych i zdrowych?
5. Artykuł nr 2: Jaki jest powód tego, że $\delta^{13}\text{C}$ dla drzew zdrowych i chorych mają zdecydowanie inne wartości nawet w bardziej odległej przeszłości. Na rysunku 5 wskaźnik iWUE rośnie wraz z zwiększeniem stężenia SO_2 (lata ok. 1970 – 1986) dla obu grup drzew. W jaki sposób otrzymano wykresy z rysunku 6 pokazujące różne zachowania iWUE w funkcji koncentracji SO_2 dla obu grup drzew?
6. Artykuł nr 4: Brak definicji współczynników R (tabela 1). Jaki był powód analizy wielkości dendrologicznych dla zmieszanych próbek z danej grupy drzew, a nie z próbek pochodzących od pojedynczych osobników?
7. Artykuł nr 5. Jak zmierzono zawartość CO_2 w przestrzeniach międzykomórkowych liści (Rys. 3)?

Chciałbym również, by podczas obrony Doktorantka odniosła się do zagadnienia - czy bazując na danych dendrologicznych jesteśmy w stanie przewidzieć, czy dane drzewo usycha i kiedy nastąpi jego obumarcie?

Podsumowując, rozprawa prezentuje wysoki poziom treści, a zastosowana metodologia w pełni odpowiada przedmiotowi i celowi pracy. Autorka współpracuje na polu naukowym z innymi badaczami z zagranicy i wprowadza nowe/poznane techniki analiz w swojej macierzystej Uczelni. Potrafi analizować uzyskane przez siebie wyniki, a dyskusja odnosi się także do innych wyników z literatury. Uważam, że zaprezentowane w rozprawie badania i ich wyniki są bardzo ważne i oryginalne, o dużym potencjale aplikacyjnym. Praca jest napisana starannie – zauważyłem w niej jedynie parę (!) drobnych błędów edytorskich. Wszelkie niedociągnięcia zauważone w pracy, a zawarte w recenzji mają raczej niewielkie znaczenie i nie mają większego wpływu na jakość pracy i jej wysoką ocenę.

Wniosek końcowy

Moim zdaniem recenzowana praca zatytułowana "Badania wrażliwości drzew na suszę oraz wzrost koncentracji CO₂ z wykorzystaniem izotopów stabilnych węgla oraz współczynnika efektywnego wykorzystania wody", autorstwa mgr inż. Barbary Benisiewicz spełnia wszystkie wymagania dotyczące rozpraw doktorskich stawiane w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668 z późn. zm.) w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora. Biorąc powyższe pod uwagę, składam wniosek do Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Politechniki Śląskiej w Gliwicach o przyjęcie rozprawy złożonej przez mgr inż. Barbarę Benisiewicz i dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

