

Recenzja rozprawy doktorskiej

Pana mgr Mohita Phulary

pod tytułem „Wood anatomical traits and dendroclimatic response of Arctic and high mountain plants to contemporary environmental changes”

wykonanej na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach, w Instytucie Nauk o Ziemi
pod kierunkiem naukowym dr hab. Magdaleny Opały-Owczarek, prof. UŚ oraz prof. dr hab. Piotra
Owczarka

Podstawę formalną wykonania recenzji stanowi uchwała nr 62/2025 Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego z dnia 13 maja 2025 r., wydana na podstawie art. 190 ust. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2024 r., poz. 1571 ze zm.).

Na wstępie, chcąc podkreślić znaczenie podjętej przez pana mgr Mohita Phularę tematyki badawczej, pragnę zaznaczyć, że praca ta wpisuje się w aktualny, dynamicznie rozwijający się nurt badań nad wpływem współczesnych zmian klimatycznych na funkcjonowanie ekosystemów w strefach zimnych. Zagadnienia dotyczące anatomicznej reakcji roślin drzewiastych i krzewiastych na zmienność warunków środowiskowych, a w szczególności ich odpowiedź na stresy klimatyczne, mają ważne znaczenie nie tylko dla lepszego zrozumienia procesów adaptacyjnych w skali lokalnej i regionalnej, ale również dla modelowania przyszłych scenariuszy zmian w przyrodzie nieożywionej i ożywionej.

W czasach, gdy konsekwencje globalnego ocieplenia są coraz bardziej widoczne, również w Arktyce i w wysokich górach, badania takie jak zaprezentowane w rozprawie doktorskiej Pana Mohita Phulary nabierają szczególnego znaczenia, zarówno z punktu widzenia nauki podstawowej, jak i aplikacyjnej. Praca ta nie tylko dostarcza nowych danych empirycznych z regionów o różnym charakterze klimatycznym i geograficznym (Spitsbergen, Islandia, Karpaty, Himalaje), ale także wnosi istotny wkład do rozwoju metod dendrochronologicznych jako narzędzia w rekonstrukcji i analizie dynamiki środowiska.

Warto podkreślić, że również z punktu widzenia glaciologa wyniki te mają istotne znaczenie. Roślinność strefy peryglacjalnej, będąca częścią krajobrazu postglacjalnego, dostarcza ważnych informacji o tempie i charakterze przemian środowiska po ustąpieniu lodowców oraz o wpływie ich topnienia na funkcjonowanie między innymi ekosystemów tundrowych i wysokogórskich.

Rozprawa doktorska mgr Mohita Phulary składa się z serii powiązanych merytorycznie artykułów, z których każdy koncentruje się na konkretnym gatunku lub regionie, opisując i analizując zapis współczesnych zmian klimatycznych w przyrostach rocznych krzewów i krzewinek. Stanowi ją spójny tematycznie cykl pięciu artykułów naukowych pod wspólnym tytułem: „*Wood anatomical traits and dendroclimatic response of Arctic and high mountain plants to contemporary environmental changes*”, opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych, indeksowanych w międzynarodowych bazach danych. Zbiór ten został uzupełniony o ponad 40-stronicowy autoreferat w języku angielskim, który zawiera następujące główne rozdziały: *Streszczenie* (również w j. polskim), *Introduction, Study area, Types of vegetation, Materials and methods, Results and interpretation, Synthesis and Discussion, Conclusions, References*. W autoreferacie Doktorant w sposób przejrzysty, logiczny i systematyczny przedstawia zarówno ogólne założenia badawcze, jak i szczegółowe odniesienia do poszczególnych publikacji, które stanowią zasadniczy element osiągnięcia naukowego. Są to 3 opublikowane i 2 w recenzji prace:

1. **Phulara, M.**, Opała-Owczarek, M. & Owczarek, P. (2022). *Climatic signals on growth ring variation in Salix herbacea: comparing two contrasting sites in Iceland*. Atmosphere, 13, 718.
2. **Phulara, M.**, Balzano, A., Opała-Owczarek, M., Owczarek, P. & Merela, M. (2024). *Insights from roots to stems: Comparative wood anatomy and dendroclimatic investigation of two Salix species in Iceland*. Forests, 15(10), 1707.
3. **Phulara, M.**, Opała-Owczarek, M., Szymański, W., Ślopek, J., Węgrzyn, M., Łupikasza, E., Korabiewski, B. & Owczarek, P. (2025). *Multiple factors controlling polar willow growth in the High Arctic (Svalbard): Implications for future prediction of tundra productivity*. Manuscript under review in *Global Ecology and Conservation*.
4. Owczarek, P., **Phulara, M.**, Shuber, P., Korabiewski, B., Błaś, M. & Opała-Owczarek, M. (2024). *Varied growth response of high alpine Rhododendron myrtifolium and forest zone tree species to climate warming in the Eastern Carpathians, Ukraine*. Dendrochronologia, 85, 126198.
5. **Phulara, M.**, Opała-Owczarek, M., Owczarek, P., Bast, A., Bhatt, I. D. & Gärtner, H. (2025). *Tracing aphid infestations through wood anatomical markers: Insights from Rhododendron campanulatum D. Don of the Himalayan region*. Manuscript under review in *Dendrochronologia*.

Należy w tym miejscu podkreślić, że Doktorant jest pierwszym autorem aż 4 publikacji, a także współautorem pracy niewchodzącej w skład osiągnięcia naukowego stanowiącego rozprawę doktorską.

Analizując przedstawiony przez Doktoranta spójny tematycznie cykl publikacji można sądzić, że dodatkowa ocena przez recenzenta zamieszczonych prac wydaje się w pewnym sensie zbędna.

Każda z tych prac przed opublikowaniem została szczegółowo sprawdzona i oceniona pod względem wymagań formalnych stawianych pracom naukowym, przez redakcje poszczególnych czasopism. Dodatkowo poddano je ocenie merytorycznej przez co najmniej dwóch niezależnych recenzentów, którzy najczęściej są uznanymi autorytetami w danej dziedzinie wiedzy. Opublikowanie pracy w danym czasopiśmie oznacza, że przeszła ona z pozytywnym wynikiem każdy z tych etapów. Jednak niezależnie od faktu, iż publikacje stanowiące rozprawę doktorską były recenzowane, szczegółowa ich analiza, jak również synteza przedstawionego opracowania, a także obowiązek recenzenta, wskazują na konieczność wyrażenia opinii, postawienia pewnych pytań i podjęcia dyskusji naukowej.

W przedstawionej do oceny pracy doktorskiej pan mgr Mohit Phulara podjął się trudnego i poznawczo istotnego zadania określenia, jak rośliny z ekstremalnych środowisk reagują anatomicznie i przyrostowo na zmienne czynniki klimatyczne. Jest to temat o dużym znaczeniu nie tylko poznawczym, ale i aplikacyjnym. Autor za pomocą analiz dendrochronologicznych i anatomicznych drewna ocenił jak wybrane gatunki roślin arktycznych i wysokogórskich adaptują się do zmieniających się warunków środowiskowych i czy pełnią rolę wskaźników tych zmian. Już sam wybór tematu świadczy o szerokich horyzontach badawczych Doktoranta oraz jego zdolności do dostrzegania istotnych problemów naukowych o charakterze interdyscyplinarnym. Rozprawa łączy bowiem wiedzę z zakresu botaniki, geografii fizycznej, klimatologii, ekologii roślin i nauk o środowisku, wykorzystując nowoczesne metody ilościowej analizy mikroskopowej drewna oraz interpretacji danych klimatycznych.

Już w streszczeniu opracowania wyraźnie widać ogrom pracy i innowacyjność przeprowadzonych badań. Poprzez analizę wzorców wzrostu, struktur ksylemu i korelacji z warunkami klimatycznymi Doktorant określił między innymi wpływ współczesnego ocieplenia na zbiorowiska roślinne w ekstremalnych siedliskach, które objął swoimi badaniami. Wykorzystując analizy dendroklimatologiczne w pracy przedstawiono nowe chronologie przyrostowe dla różnych gatunków oraz określono ich reakcję dendroklimatyczną. Tematyka ta jest niezwykle aktualna, zwłaszcza w kontekście przyspieszających zmian klimatycznych w strefach zimnych, gdzie systemy ekologiczne należą do szczególnie wrażliwych.

W tym miejscu zwraca moją uwagę fakt, że Doktorant dość często posługuje się sformułowaniami wskazującymi, iż dany gatunek reaguje „pozytywnie” lub „negatywnie” na określone czynniki klimatyczne, np. wzrost temperatury powietrza. Warto byłoby jednak pogłębić tę kwestię w kontekście biologiczno-ekologicznym, czy reakcje te rzeczywiście dają się jednoznacznie sklasyfikować jako korzystne lub niekorzystne? Z punktu widzenia indywidualnego gatunku odpowiedź może być relatywnie prosta, jednak w szerszej skali środowiskowej sytuacja ta staje się bardziej złożona. Wzrost temperatury może bowiem przyspieszać rozwój roślin w regionach zimnych, wydłużać okres wegetacyjny czy zwiększać produkcję biomasy. Równocześnie jednak, skutkuje on np. topnieniem lodowców, zmianami w bilansie wodnym, przekształceniami siedlisk czy

destabilizacją struktur geomorfologicznych. W tym kontekście zasadne byłoby zasygnalizowanie, że ocena danego czynnika jako „pozytywnego” powinna być dokonywana z uwzględnieniem skali czasowej, przestrzennej i funkcjonalnej, a nie wyłącznie w odniesieniu do jednego gatunku czy sezonu. Warto też postawić bardziej ogólne pytanie: czy w przyrodzie jako całości można w ogóle mówić o zjawiskach jednoznacznie pozytywnych lub negatywnych, czy raczej są to zawsze kwestie względne i zależne od kontekstu?

W pierwszej części opisu pan mgr Mohit Phulara dokonał krótkiego wprowadzenia, w którym starannie, z poprawnością merytoryczną oraz językową zawarł przegląd aktualnego stanu wiedzy na temat funkcji drewna w roślinach naczyniowych, a także specyfiki roślin tundrowych oraz wysokogórskich. Autor jasno prezentuje skalę problemu klimatycznego w strefach zimnych, dobrze uzasadnia potrzebę badań w Arktyce i regionach alpejskich /wysokogórskich/ oraz podkreśla unikatowość niskich krzewów jako bioindykatorów.

Następnie mgr Mohit Phulara jasno i przejrzysto zdefiniował cele pracy, zarówno ogólne, jak i szczegółowe, które w sposób logiczny wynikają z treści wprowadzenia. Dla porządku recenzji poniżej wymieniam te hipotezy badawcze:

1. Tundra and high-mountain shrubs and dwarf shrubs are highly effective indicators of contemporary climate change.
2. The growth reaction of different dwarf shrub species to varying environmental variables differs within the Arctic region, reflecting species-specific sensitivities.
3. Contemporary increases in temperature can influence tundra communities positively (tundra greening) or negatively (tundra browning), thereby modifying growth-ring variability.
4. High-altitude shrubs are highly sensitive to recent climate changes, with Rhododendron species serving as reliable bio-monitoring indicators for understanding these environmental shifts.

Z kolei cele, odnoszące się bezpośrednio do wskazanych wcześniej luk badawczych i wyzwań w istniejącej literaturze, obejmują:

1. Develop new growth-ring chronologies for selected Arctic and high-mountain shrub and dwarf shrub species, focusing on wood anatomical traits and their relationship with contemporary climate variables.
2. Investigate the spatial variability in the climate sensitivity of dwarf shrub species, examining how different species and populations respond to temperature and precipitation changes.
3. Investigate how a single species from a heterogeneous region and multiple species in a homogeneous region respond to climate change.

Cele i założenia badawcze zostały w większości sformułowane przejrzysto i poprawnie, co stanowi mocną stronę tej części rozprawy.

W dalszej części pracy Doktorant w interesujący i przemyślany sposób scharakteryzował obszar badań, który obejmował stanowiska terenowe zlokalizowane w różnych strefach klimatycznych i geograficznych obszarów zimnych: subarktycznej (Islandia), arktycznej (Spitsbergen), wysokogórskiej w strefie umiarkowanej (Wschodnie Karpaty) oraz wysokogórskiej w strefie subtropikalnej (Zachodnie Himalaje). Część danych pozyskano z istniejących kolekcji Uniwersytetu Śląskiego i Uniwersytetu Wrocławskiego (Islandia, Karpaty), natomiast nowe próbki zebrano podczas wypraw terenowych do Środkowego Spitsbergenu oraz indyjskich Himalajów. W każdym z tych regionów analizowano inny gatunek wskaźnikowy, dobrany zgodnie z jego ekologiczną specyfiką i reprezentatywnością: *Salix herbacea* i *S. arctica* – Islandia, *Salix polaris* – Spitsbergen, *Rhododendron myrtifolium* – Karpaty, *Rhododendron campanulatum* – Himalaje. Tak zróżnicowany dobór lokalizacji i gatunków pozwala na przeprowadzenie przekrojowych porównań i ocenę uniwersalności reakcji roślin niskopiennych na czynniki klimatyczne. W szczególności należy pochwalić klarowne porównania między regionami oraz wskazanie różnic wynikających z topografii, pokrycia śnieżnego, wpływu oceanicznego, itp.

Pomimo precyzyjnych i rzetelnych opisów lokalizacji badawczych, można pokusić się o kilka sugestii oraz wskazać obszary, które warto byłoby dodatkowo doprecyzować. W przypadku Islandii Autor słusznie zdecydował się na porównanie dwóch kontrastujących ze sobą stanowisk: Mýrdalur, położonego w pobliżu czapy lodowej Mýrdalsjökull oraz Afréttur, reprezentującego chłodniejszy, suchszy obszar wyżynny. Taki dobór lokalizacji należy uznać za trafny i bardzo dobrze dopasowany do celów analiz porównawczych. Również wybór silnie dotkniętego współczesnym ociepleniem klimatu regionu Centralnego Spitsbergenu należy ocenić pozytywnie, zwłaszcza ze względu na dostępność wysokiej jakości danych meteorologicznych i długich serii pomiarowych. Niemniej, warto może było rozważyć /a może w przyszłości?/, czy do analiz nie mogłyby zostać włączone również obszary o bardziej intensywnym współczesnym topnieniu lodowców. Z własnych badań wiem, że takie obszary istnieją np. w północno-zachodniej części Spitsbergenu i charakteryzują się bardzo dynamicznymi procesami odsłaniania powierzchni, co sprzyja szybkiemu rozwojowi sukcesji roślinnej oraz powstawaniu nowych zbiorowisk tundrowych. Ujęcie takiego zróżnicowania środowiskowego mogłoby dodatkowo wzbogacić kontekst ekologiczny rozprawy. Pozostałe obszary badawcze nie budzą moich zastrzeżeń i zostały dobrze uzasadnione zarówno pod względem geograficznym, jak i ekologicznym.

Niezależnie od powyższych drobnych uwag, należy podkreślić, że omawiana część rozprawy, poparta licznymi odniesieniami do literatury, świadczy o bardzo dobrej orientacji Doktoranta w aktualnym stanie badań oraz o jego umiejętności doboru obszarów badawczych w szerokim kontekście naukowym. Szczególnie wartościowe pod tym względem wydaje się uzupełnienie o podrozdział „*Climate warming trends across study regions*”, w którym przedstawiono zróżnicowane tempo ocieplenia w poszczególnych regionach badawczych w latach 1993–2022.

Ważnym uzupełnieniem pracy, zasługującym na wyróżnienie jest syntetyczno-przeglądowy opis analizowanych typów roślinności. Jest on istotny dla zrozumienia przyjętych kryteriów doboru gatunków. Autor omawia zwięźle cechy morfologiczne badanych roślin i ich ekologiczne znaczenie.

Następnie mgr M. Phulara przeprowadził szczegółową analizę licznych zastosowanych metod badawczych terenowych, laboratoryjnych oraz analitycznych, dzieląc je na *Field sampling*, *Laboratory and wood anatomical traits analysis*, *Dendrochronological and dendroclimatological*. Zastosowano szeroki wachlarz technik terenowych (pobieranie całych krzewinek, rejestracja pozycji DGPS, dokumentacja fitosocjologiczna), laboratoryjnych (mikrotomy, barwienie, obrazowanie mikroskopowe, analiza ilościowa) oraz statystycznych (analizy korelacyjne, regresja segmentowa, analiza zmian trendów NDVI). Doktorant przeanalizował wszystkie zastosowane metody badawcze z dużą rozważą naukową, mając pełną świadomość ich potencjalnych ograniczeń oraz możliwych źródeł błędów. W sposób wyczerpujący i zgodny z wymaganiami dla tego typu prac naukowych przedstawiono zarówno dane pomiarowe, jak i metody badawcze. Świadczy to o rzetelnym podejściu Doktoranta do analizy materiału badawczego oraz o jego umiejętności krytycznej oceny stosowanych technik badawczych.

Zasadniczą część osiągnięcia naukowego stanowi rozdział *Wyniki i interpretacja*, w którym zaprezentowano wyniki przeprowadzonych badań. Nawiązują one do załączonych publikacji wchodzących w skład rozprawy. Każdy z artykułów wnosi istotny wkład do zrozumienia anatomicznych reakcji roślin na zmiany klimatyczne w strefach zimnych i wysokogórskich, zarówno w ujęciu lokalnym, jak i porównawczym. Pierwszym z nich jest artykuł pt. "*Climatic signals on growth ring variation in Salix herbacea: comparing two contrasting sites in Iceland*". Stanowi on próbę uchwycenia klimatycznych uwarunkowań zmienności przyrostów rocznych u *Salix herbacea* na dwóch silnie kontrastujących stanowiskach na Islandii: Mýrdalur, położonym w pobliżu czapy lodowej Mýrdalsjökull (wilgotnym i cieplejszym), oraz Afréttur, bardziej kontynentalnym, suchym i chłodniejszym. Głównym celem pracy była ocena potencjału dendrochronologicznego *S. herbacea* oraz identyfikacja głównych czynników środowiskowych wpływających na jej wzrost. Praca stanowi pierwszą próbę stworzenia chronologii przyrostów rocznych *S. herbacea* oraz zbadania jej wrażliwości klimatycznej.

Szczególnie interesujące są wyniki wskazujące na zróżnicowaną wrażliwość *S. herbacea* na zmienne klimatyczne w zależności od siedliska. Autor stwierdza, że o ile na stanowisku Mýrdalur dominującym czynnikiem wpływającym na przyrost okazała się suma opadów, o tyle w Afréttur istotniejszym czynnikiem była temperatura w miesiącach letnich. Oczywiście należy się z tym zgodzić i podkreślić, że *Salix herbacea* stanowi również cenny wskaźnik zmian klimatycznych. Interesujące byłoby w tym kontekście poznanie opinii Doktoranta na temat potencjalnych scenariuszy w sytuacji, gdyby opady np. w wilgotnym rejonie Mýrdal zaczęły się zmniejszać. Zastanawia także odwrotna sytuacja czyli kwestia wpływu wód roztopowych, zwłaszcza w lokalizacjach położonych w pobliżu czoła lodowców, które w ostatnich latach topnieją w sposób szczególnie intensywny. Takie procesy

prowadzą do gwałtownych zmian warunków siedliskowych, często sprzyjając kolonizacji nowych powierzchni przez roślinność tundrową, ale też generując stresy wodne w okresach niskich opadów i wysokiego parowania.

Kolejnym artykułem jest *“Insights from roots to stems: Comparative wood anatomy and dendroclimatic investigation of two Salix species in Iceland”*, w którym mgr Mohit Phulara przedstawia analizę cech anatomicznych i wzorców wzrostu *Salix arctica* i *Salix herbacea*, dwóch powszechnie występujących gatunków karłowatych wierzb w Islandii, w celu zrozumienia ich reakcji na zmiany środowiskowe. Doktorant zwraca uwagę m.in. na istotne różnice między badanymi gatunkami: *S. arctica* charakteryzuje się większymi naczyniami i włóknami w łodygach i korzeniach w porównaniu do *S. herbacea*. Wzorce wzrostu również się różnią. *S. arctica* wykazuje ogólną tendencję wzrostową, podczas gdy *S. herbacea* cechuje się systematycznym spadkiem. Ponadto *S. arctica* pozytywnie reaguje na wyższe temperatury, natomiast *S. herbacea* wykazuje pozytywną reakcję na zwiększone opady, ale gorzej znosi wzrost temperatur, co czyni ją wskaźnikiem suszy.

Zgadzam się z Doktorantem, że uzyskane wyniki podkreślają znaczenie zintegrowanych analiz anatomicznych drewna dla lepszego zrozumienia skutków zmian klimatu na arktyczne krzewy, oferując cenne i nowe spojrzenie na złożoność ekspansji krzewów zarówno w ich części nadziemnej, jak i podziemnej. Należy jednak zachować pewną naukową ostrożność w formułowaniu uogólnień, ponieważ procesy te są najczęściej determinowane przez złożoną interakcję wielu wzajemnie przenikających się czynników klimatycznych oraz specyficznych cech biologicznych analizowanych gatunków. Mimo wysokiej jakości artykułu, warto byłoby szerzej rozwinąć kontekst potencjalnych skutków zmniejszających się opadów w przyszłości, zwłaszcza w strefach charakteryzujących się dotychczas wysokim bilansem wodnym. Zasadne wydaje się również uwzględnienie roli roztopów lodowcowych oraz procesów sukcesji roślinnej zachodzących na terenach odsłaniających się w wyniku ich zaniku. Nie jest to zarzut, lecz raczej sugestia kierunku przyszłych badań, które Autor mógłby oprzeć także na dostępnych danych z rejonów czoł lodowców intensywnie topniejących w Islandii. Mając na uwadze szczegółowość i rzetelność prowadzonych przez Doktoranta analiz, nie mam wątpliwości, że również ten aspekt zostałby opracowany z najwyższą starannością. Niezależnie od powyższych refleksji, należy wyraźnie podkreślić, że artykuł stanowi istotny wkład w poszerzanie wiedzy o roli roślin tundrowych i subarktycznych jako bioindykatorów zmian klimatu, a jego porównawcze podejście oraz wysoki poziom metodologiczny czynią go ważnym elementem całej rozprawy.

Z kolei w manuskrypcie *„Multiple factors controlling polar willow growth in the High Arctic (Svalbard): Implications for future prediction of tundra productivity”*, Autor podjął się zadania wyjaśnienia złożonych uwarunkowań wzrostu *Salix polaris* w warunkach arktycznych. Praca oparta jest na danych zebranych w rejonie środkowego Spitsbergenu i stanowi wartościowy wkład w badania nad produktywnością tundry w kontekście zmian klimatu. Doktorant potwierdza, że regiony arktyczne ocieplają się szybciej niż średnia globalna, co prowadzi do istotnych zmian w wieloletniej zmarzlinie,

dynamice roślinności oraz dostępności składników odżywczych w glebie. Słusznie zauważa, że zrozumienie tych interakcji jest bardzo ważne dla prognozowania szybko zmieniającego się zachowania ekosystemów tundrowych. Uzyskane wyniki wskazują, że rośliny rosnące na niskich i wysokich wysokościach reagują odmiennie na zmienne klimatyczne: na niskich wysokościach wzrost jest determinowany wczesnoletnim ciepłem i dostępnością wilgoci, natomiast na większych wysokościach opiera się na temperaturach w połowie lata.

W tym miejscu pragnę zauważyć, że Autor trafnie podkreśla, iż wzrost liczby epizodów typu *Rain-on-Snow (ROS)* oraz szybki drenaż gleby prowadzą do suszy w późnym okresie letnim. Szczególnie interesujący i wartościowy wydaje się wątek sezonowego przesunięcia reakcji roślin na bodźce środowiskowe oraz rola ekstremalnych zjawisk pogodowych, w tym właśnie wspomnianych epizodów ROS. W związku z tym chciałbym zapytać, jak często obserwowano tego typu zjawiska w badanym regionie oraz czy ich częstotliwość była monitorowana w sposób ciągły. Dodam, że z własnych obserwacji prowadzonych w rejonie Kaffiöry wynika, iż epizody ROS występują tam coraz częściej z roku na rok, wpływając nie tylko na zmienność pokrywy śnieżnej na lodowcach, ale również na kondycję populacji reniferów, a co za tym idzie, także na zmiany w dynamice i składzie roślinności tundrowej.

W kolejnej publikacji „*Varied growth response of High Alpine Rhododendron myrtifolium and forest zone tree species to climate warming in the eastern Carpathians, Ukraine*”, Doktorant, na podstawie chronologii szerokości słoików uzyskanych z 97 drzew i krzewów, stwierdza między innymi, że analiza ich szerokości dla *Rhododendron myrtifolium* (strefa wysokogórska) oraz świerka i jodły (strefa leśna) wykazała odmienne reakcje na ocieplenie klimatu. Krzewy rosnące powyżej granicy lasu pozytywnie reagują na wzrost temperatur w sezonie ciepłym, podczas gdy drzewa leśne wykazują negatywną reakcję, głównie z powodu stresu suszy. Z kolei *R. myrtifolium* zyskuje na wcześniejszym topnieniu śniegu i umiarkowanym ociepleniu lata, natomiast drzewa iglaste coraz silniej odczuwają skutki późnoletnich susz.

W tym miejscu nasuwa się pytanie, być może pozornie kolokwialne, ale istotne z ekologicznego punktu widzenia, czy taki rozwój sytuacji należy postrzegać jako zjawisko korzystne czy niekorzystne? Czy ekspansja krzewów w obszarach górskich, odbywająca się kosztem lasów, jest procesem pozytywnym z perspektywy długoterminowej stabilności ekosystemów? Są to niezwykle istotne zagadnienia, ponieważ zrozumienie złożonych interakcji pomiędzy zmianami klimatycznymi a wzrostem i rozmieszczeniem roślinności stanowi istotny element zarówno w modelowaniu prognoz rozwoju tych obszarów, jak i w projektowaniu skutecznych strategii ochrony przyrody w obliczu postępujących zmian środowiskowych.

W ostatnim z przedstawionych manuskryptów „*Tracing aphid infestations through wood anatomical markers: Insights from Rhododendron campanulatum in the Himalayan region*” mgr M. Phulara przedstawił interesujące analizy mikroskopowe *Rhododendron campanulatum*, które wykazały charakterystyczne zmiany w drewnie, świadczące o żerowaniu mszyc, a różnice w intensywności

śladów mogą wynikać z odmiennej odporności roślin. Na szczególną uwagę zasługuje obserwacja Doktoranta, iż mszyce występowały regularnie w wysokich partiach Himalajów już od 1951 roku, co podważa dotychczasowe przekonania o ograniczeniach wysokościowych dla tego typu owadów. Doktorant trafnie zauważa, że zakłócenia biotyczne, takie jak żerowanie mszyc, występują w sposób losowy i zaburzają granice słoików przyrostowych w wielu próbkach, co może znacząco wpływać na interpretację sygnałów klimatycznych. Wskazuje również, że tego typu czynniki, wcześniej pomijane, powinny być uwzględniane w modelach rekonstrukcji klimatu, aby uniknąć błędnych wniosków o warunkach środowiskowych w przeszłości. Pragnę wyrazić zaznaczyć, że stanowi to ważne uzupełnienie klasycznych analiz dendroklimatycznych, a także istotny i nowatorski wkład w poznanie biotycznych interakcji w środowiskach wysokogórskich oraz dowodzi wysokiego poziomu oryginalności prowadzonych badań.

W dalszej części autoreferatu Doktorant przeprowadził interesującą dyskusję wyników, którą ujął w podrozdziałach: *Growth variations and climatic sensitivities*, *Species- and site-specific responses*, *Integrating findings across Arctic and Alpine regions*, *Regional comparisons and global implications* oraz *Limitations and future directions*. Stanowią one spójną i przekonującą syntezę uzyskanych wyników. Autor umiejętnie pokazuje, że choć temperatura powietrza pozostaje głównym czynnikiem napędzającym ekspansję krzewów, to coraz częściej znaczenie zyskują inne czynniki wtórne, takie jak opady, dostępność wilgoci, pokrywa śnieżna /w tym zjawiska ROS/, a także stresory biotyczne.

Zwraca On między innymi uwagę, że na Islandii *Salix herbacea* wykazuje silną korelację zarówno z zimowymi, jak i letnimi opadami, podczas gdy *Salix arctica* reaguje przede wszystkim na letnie temperatury, co odzwierciedla jej większą wrażliwość na warunki termiczne. Podobnie na Svalbardzie *Salix polaris* wykazuje wyraźną zależność wzrostu od temperatury na wyższych wysokościach, natomiast na niższych, wcześniejsze topnienie śniegu i dobrze przepuszczalne gleby przesuwają ograniczenie wzrostu w stronę dostępności wody. Wydaje mi się, że w przyszłości warto byłoby zwrócić uwagę również na nalodzia, które często występują na przedpolach lodowców spitsbergeńskich. W sprzyjających warunkach mogą one istotnie wpływać na lokalny reżim wilgotnościowy i dostępność wody w okresie wegetacyjnym, a tym samym kształtować warunki wzrostu roślin.

Pan mgr M. Phulara stwierdza również, że cechy anatomiczne drewna odgrywają istotną rolę w kształtowaniu odporności poszczególnych gatunków. Przykładowo, w centralnym Spitsbergenie badania terenowe pokazują, że *Salix polaris* na stanowiskach wyżej położonych korzysta z wilgoci zatrzymywanej przez wieloletnią zmarzlinę, natomiast na niższych wysokościach szybkie topnienie śniegu i dobrze przepuszczalne gleby prowadzą do sezonowego stresu suszy. W tym kontekście interesujące byłoby poznanie opinii Doktoranta na temat przyszłej roli wieloletniej zmarzliny w warunkowaniu dostępności wody. Jak jego zdaniem zmieniająca się w ostatnich latach, często katastrofalnie degradowana, zmarzlina wpłynie w nadchodzących dekadach na zdolność roślin

tundrowych do utrzymywania odpowiedniego poziomu nawodnienia i przetrwania w warunkach nasilających się zmian klimatycznych?

W podsumowaniu dysertacji doktorskiej mgr Mohit Phulara w sposób rzeczowy, a zarazem z dojrzałą rozważką naukową przedstawił najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych badań. Szacunek budzi wyodrębnienie przez Autora najważniejszych priorytetów badawczych na przyszłość, które mogą znacząco pogłębić wiedzę na temat zmian roślinności w wrażliwych ekosystemach arktycznych i wysokogórskich: *Extending Chronologies, Remote Sensing Integration, Biotic Factors in Modeling and Winter Disturbances*. Dzięki tak kompleksowemu ujęciu zagadnienia, Doktorant nie tylko w istotny sposób poszerzył wiedzę o funkcjonowaniu krzewów w warunkach zmieniającego się klimatu, ale również dostarczył cennych wskazówek dla dalszych badań i modelowania zmian w ekosystemach zimnych regionów Ziemi.

Z punktu widzenia glaciologa i badacza procesów peryglacialnych, pragnę zwrócić uwagę, że badania prowadzone były w obszarze o silnej dynamice krajobrazowej, w tym w sąsiedztwie topniejących lodowców. Zatem należy stwierdzić, że dodatkowym walorem rozprawy mgr Mohita Phulary, nie w pełni podkreślonym w pracy, jest jej potencjał aplikacyjny w kontekście glaciologii i badań nad topnieniem lodowców. Rośliny, które Autor analizował na obszarach takich jak np. Svalbard czy Islandia, zasiedlają zazwyczaj obszary, które jeszcze niedawno były pokryte lodem. Tym samym stanowią one tzw. gatunki pionierskie, a ich rozwój, tempo wzrostu oraz zmiany anatomiczne odzwierciedlają lokalne zmiany mikroklimatyczne po ustąpieniu lodu. Ponieważ klasyczne wskaźniki glaciologiczne (np. długość jezora, bilans masy) nie zawsze są dostępne dla mniejszych lodowców lub w okresach historycznych, to właśnie zmienne anatomiczne tych roślin mogą pełnić rolę wskaźników wtórnych, pośrednio dokumentujących zmiany lodowców. Tym samym, praca mgr M. Phulary nie tylko poszerza granice klasycznej dendroklimatologii, ale także wnosi cenny wkład do interdyscyplinarnych badań nad skutkami topnienia lodowców.

Przedstawione uwagi, mające w większości charakter porządkowy, wyjaśniający lub dyskusyjny, w żaden sposób nie umniejszają wartości naukowej recenzowanej rozprawy. Nie wpływają one również na jej jednoznacznie pozytywną i bardzo wysoką ocenę, która wynika z odpowiedniego poziomu merytorycznego, rzetelności przeprowadzonych badań, a także istotnego wkładu w rozwój wiedzy na temat rozwoju roślinności w ekstremalnych warunkach polarnych i wysokogórskich oraz ich reakcji na zmienne czynniki klimatyczne

Pragnę zaznaczyć, że w przypadku rozprawy doktorskiej mającej postać cyklu publikacji wieloautorskich zadaniem recenzenta jest również ocena indywidualnego wkładu kandydata do stopnia naukowego doktora w powstanie pracy zbiorowej. Analiza przedstawionej dokumentacji deklarujących udział oraz opis zadań i prac w poszczególnych publikacjach mgr Mohita Phulary świadczy o jego znaczącym zaangażowaniu na każdym etapie badań. Doktorant odegrał wiodącą rolę w prowadzeniu badań, analiz oraz koncepcji i przygotowaniu manuskryptów do publikacji i jest w

pełni uprawniony do przedstawienia prezentowanego ich cyklu publikacji jako podstawy ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora.

Stwierdzam, że pan mgr Mohit Phulara podjął się bardzo trudnego zadania kompleksowego opisu i analizy odpowiedzi arktycznych i wysokogórskich krzewów na współczesne zmiany klimatyczne. Uwzględniając pięć najważniejszych gatunków (*Salix herbacea*, *S. arctica*, *S. polaris*, *Rhododendron myrtifolium* i *R. campanulatum*) oraz szeroką amplitudę warunków klimatycznych (od Islandii i Svalbardu, po Karpaty Wschodnie i Himalaje) Doktorant ukazał, jak istotne jest łączenie analiz dendrochronologicznych, cech anatomicznych drewna oraz obserwacji ekologicznych, by zrozumieć dynamikę wzrostu w kontekście interakcji czynników abiotycznych (temperatura, opady, degradacja zmarzliny, topnienie śniegu) i biotycznych (żerowanie mszyc).

Mgr M. Phulara wykazał, że choć temperatura często stanowi początkowy impuls ekspansji krzewów, to w wielu przypadkach decydującym czynnikiem ograniczającym jest dostępność wody, zależna od warunków lokalnych. Wyjątkowo dojrzałe naukowo jest także wskazanie ograniczeń przeprowadzonych badań oraz jasno sformułowane postulaty dalszych kierunków badawczych, w tym integracji danych dendrochronologicznych z teledetekcją, uwzględniania biotycznych czynników w modelach klimatycznych oraz potrzeby pogłębionych analiz skutków ekstremalnych zjawisk zimowych. Praca jest dojrzała, przemyślana i wielowątkowa, a jej interdyscyplinarność i zasięg geograficzny dowodzą wysokich kompetencji badawczych Autora oraz jego umiejętności analitycznych. Tematyka rozprawy doskonale wpisuje się w aktualny nurt badań w zakresie nauk o Ziemi, szczególnie w kontekście ekosystemów polarnych i wysokogórskich. Na szczególne uznanie zasługuje szeroki wachlarz zastosowanych metod badawczych, który świadczy o głębokiej znajomości problematyki przez Doktoranta. Sposób formułowania wniosków potwierdza jego wysoką dojrzałość naukową.

Praca spełnia kryteria rozprawy doktorskiej, a jej struktura, forma i treść są na wysokim poziomie naukowym. Część wprowadzająca została starannie przygotowana, cele badawcze są jasno sformułowane, a zastosowane metody adekwatne do postawionych hipotez. Wyniki przedstawiono w sposób przejrzysty, a ich interpretacja oparta jest na rzetelnej analizie naukowej.

Podsumowując jestem przekonany, że przedstawiona rozprawa doktorska, stanowiąca spójny tematycznie cykl pięciu publikacji pod wspólnym tytułem „*Wood anatomical traits and dendroclimatic response of Arctic and high mountain plants to contemporary environmental changes*”, w pełni spełnia wymagania stawiane przez odpowiednie przepisy prawne dotyczące prac doktorskich i wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego o dopuszczenie mgr Mohita Phulary do dalszych etapów przewodu doktorskiego oraz o nadanie mu stopnia doktora nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku.

Wyróżnienie

Rozprawa mgr Mohita Phulary wyróżnia się wyjątkowo wysoką wartością naukową. Wynika ona zarówno z trafnie sformułowanej i aktualnej hipotezy badawczej, jak i z doskonałego doboru publikacji stanowiących spójną całość merytoryczną. Praca ta dostarcza kompleksowych odpowiedzi na najważniejsze pytania badawcze, a uzyskane wyniki nie tylko wzbogacają dotychczasową wiedzę o reakcjach roślinności na zmiany klimatu, ale również wnoszą nowatorskie, interdyscyplinarne podejście do badań środowiskowych.

Na szczególne uznanie zasługują porównania międzygatunkowe (np. *Salix arctica* vs. *Salix herbacea*) oraz międzyregionalne (Islandia, Spitsbergen, Karpaty, Himalaje), które ukazują złożoność reakcji krzewów arktycznych i alpejskich na zmieniające się warunki termiczne i wodne. Autor wnikliwie analizuje znaczenie mikrośrodowisk, takich jak retencja wilgoci przez wieloletnią zmarzlinę czy stres suszowy na dobrze przepuszczalnych stanowiskach. Świadczy to o głębokim zrozumieniu funkcjonowania ekosystemów tundrowych.

Wysoko należy ocenić również uwzględnienie komponentu biotycznego w interpretacjach dendroklimatycznych. Badania nad wpływem mszyc na anatomiczną strukturę drewna i przyrosty roczne w wysokich partiach Himalajów stanowią oryginalny wkład w rozwój nauk o zakłóceniach sygnału klimatycznego. Takie podejście znacząco wzbogaca modele rekonstrukcji klimatu, czyniąc je bardziej realistycznymi i czułymi na stresory biologiczne, dotąd często pomijane.

Atutem rozprawy jest jej szeroki zasięg biogeograficzny i porównawczy charakter. Praca łączy metody dendrochronologiczne, anatomiczne i ekologiczne, a analizy naukowe przeprowadzone w różnych strefach klimatycznych pozwalają na formułowanie wniosków o dużym znaczeniu dla botaniki, klimatologii i nauk o środowisku.

Warto także podkreślić potencjał wskazania niektórych gatunków roślin jako bioindykatorów zmian zachodzących w obrębie przedpól lodowców. Zmiany i sukcesje roślinności, szczególnie w kontekście wycofujących się lodowców Spitsbergenu, mogą dostarczać cennych danych pośrednich na temat tempa ich zaniku.

Wartość naukowa rozprawy wyraźnie wykracza poza standardowe ramy doktoratu. Interdyscyplinarność, wysoka jakość metodologiczna, nowatorskie podejście oraz znaczenie uzyskanych wyników dla dalszego rozwoju badań nad funkcjonowaniem i transformacją ekosystemów zimnych obszarów Ziemi przemawiają za jej szczególnym uhonorowaniem.

W związku z powyższym wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr Mohita Phulary jako pracy o wyjątkowej wartości merytorycznej i istotnym znaczeniu dla rozwoju badań w regionach arktycznych i wysokogórskich.