



UNIWERSYTET
MIKOŁAJA KOPERNIKA
W TORUNIU

Wydział Nauk o Ziemi
i Gospodarki Przestrzennej

Toruń, 08.09.2023 r.

dr hab. Marcin Świtoniak, prof. UMK

Katedra Gleboznawstwa i Kształtowania Krajobrazu

Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej

Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu

Ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń

Tel. 56 611-25-55; swit@umk.pl

Wpłynęło dnia
2023-09-19

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Anny Zielonki pt.
„Czynniki kształtujące zasób węgla organicznego w Arktyce Wysokiej (Spitsbergen)
i ocena możliwości oszacowania biomasy nadziemnej z wykorzystaniem
danych teledetekcyjnych Sentinel-2”**

Recenzję wykonano na zlecenie Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie reprezentowanego przez Zastępcę Przewodniczącego Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku, dr hab. Anitę Bokwę, prof. UJ. zgodnie z uchwałą podjętą przez wyżej wymienioną Radę Dyscypliny nr 1214a.510.15.2023 z dnia 12.07.2023 roku. Recenzja została sporządzona na podstawie analizy manuskryptu pracy doktorskiej pt. *„Czynniki kształtujące zasób węgla organicznego w Arktyce Wysokiej (Spitsbergen) i ocena możliwości oszacowania biomasy nadziemnej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych Sentinel-2”*.

Praca doktorska była realizowana w Pracowni Gleboznawstwa i Geografii Gleb Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej, pod kierunkiem prof. dr hab. Marka Drewnika, jako promotora.

1. Uzasadnienie wyboru tematu pracy oraz celu badań

Badania zasobów materii organicznej związanych ze środowiskiem glebowym (zarówno żywej biomasy nadziemnej i podziemnej, jak i próchnicy glebowej) są kluczowym elementem pozwalającym na zrozumienie obiegu węgla od skali lokalnej po globalną. Precyzyjne oszacowywanie tych zasobów jest niezbędne do określenia i przewidywania zmian procesów odpowiedzialnych za przepływ i gromadzenie się tego pierwiastka w środowisku. Ponieważ pedosfera jest na styku pozostałych elementów geosfery i odznacza się jednymi z największych zasobów materii organicznej, jest to szczególnie istotne w kontekście przeciwdziałania zmianom klimatycznym, nierozzerwalnie związanym z globalnym obiegiem węgla. Arktyka należy do obszarów najbardziej wrażliwych na zmiany klimatyczne i ze względu na znaczne rozbieżności



różnych modeli przewidujących tempo i kierunek zmian poszczególnych jej komponentów środowiskowych jest wyjątkowo ważnym obszarem badań monitoringowych. Znaczne zasoby węgla zgromadzone w glebach arktycznych, w przypadku ocieplania atmosfery, przyspieszonej mineralizacji próchnicy i zwiększonego uwalniania gazów cieplarnianych, mogą stać się kardynalnym czynnikiem dodatniego sprzężenia zwrotnego w przypadku wzrostu temperatur na Ziemi. Badania podjęte w recenzowanej pracy doktorskiej wpisują się więc w ważny, ogólnościowy trend poszukiwania nowych, zautomatyzowanych metod określania zasobów węgla organicznego w środowisku wyjątkowo podatnym na ich zmiany. Nie bez znaczenia jest też fakt, że ze względu na małą dostępność badanego środowiska – wartość prowadzonych tam badań jest szczególna.

Pani mgr Anna Zielonka w swojej rozprawie podjęła próbę określenia zasobów i czynników kształtujących zasoby węgla organicznego zarówno w postaci żywej biomasy nadziemnej i podziemnej oraz glebowej materii organicznej w wybranych obszarach Spitsbergenu (w Dolinie Adventdalen i na Półwyspie Brøgger) oraz wypracowania metod oszacowania biomasy nadziemnej z wykorzystaniem danych satelitarnych. Niniejsza praca prezentuje wciąż dość rzadko spotykane w obszarach Arktyki, oryginalne ujęcie kompleksowe, łączące szczegółowe badania terenowe z interpretacją danych teledetekcyjnych.

Dobór obszaru badań uważam za bardzo trafny – oba obszary odznaczają się znacznym (jak na warunki arktyczne) rozwojem roślinności i pokrywy glebowej przy jednocześnie odmiennych warunkach klimatycznych, związanych z różnicami położenia w innych fragmentach fiordów. Dzięki temu badania są reprezentatywne zarówno dla obszarów wyeksponowanych na działanie czynników oceanicznych (Półwysep Brøgger) jak i położonych w głębi lądu (Dolina Adventdalen).

2. Struktura pracy

Treść zawarta w rozprawie odpowiada pod względem merytorycznym tytułowi pracy. Układ pracy jest zgodny z zasadami i wymaganiami stawianymi tego typu opracowaniom naukowym. Dysertacja obejmuje łącznie 114 stron standardowego wydruku komputerowego w formacie A4. Oprócz tekstu w pracy zawarto 29 rycin oraz 18 tabel. Całość została podzielona na 6 rozdziałów – do których zaliczam również (nieuwzględniony w numeracji przez Autorkę) końcowy rozdział zawierający wnioski. W końcowej części pracy umieszczono spis literatury, rycin, tabel oraz aneks z trzema załącznikami zawierającymi szczegółowe dane w podziale na właściwości badanych



gleb, zasoby żywej biomasy wraz z oznaczeniem klas wilgotności gleby i rodzajem dominującego saprolitu oraz wartości wybranych indeksów obliczonych z Sentinel-2 dla powierzchni badawczych.

Pomimo, iż praca nie jest bardzo obszerna to jej zawartość można uznać za esencjonalną, dzięki czemu dysertacja zawiera wszystkie niezbędne pod względem merytorycznym elementy. Główna część manuskryptu poprzedzona jest streszczeniem w języku polskim oraz angielskim oraz wykazem stosowanych skrótów. Rozdział 1 – wstęp podzielony został na wprowadzenie do tematyki – z podkreśleniem rangi zagadnienia, przeglądem głównych pozycji literatury i obecnego stanu wiedzy dotyczących: a) zasobów żywej biomasy nadziemnej w Arktyce i możliwości jej oszacowania na podstawie danych teledetekcyjnych, b) zasobów biomasy podziemnej w podziale na żywą i martwą (próchnicę); c) relacji pomiędzy wymienionymi powyżej komponentami. Na końcu rozdziału znajduje się dobrze opisany i sprecyzowany cel i zakres pracy oraz pytania i hipotezy badawcze. W rozdziale drugim opisano metody badawcze – kryteria wyboru powierzchni badawczych, badania terenowe i laboratoryjne oraz wykonane analizy i modele statystyczne. W kolejnym rozdziale przedstawiono obszar badań – od ogólnego opisu środowiska przyrodniczego Spitsbergenu (położenie, budowa geologiczna, rzeźba terenu, warunki klimatyczne, roślinność, pokrywa glebowa) po charakterystykę obszarów badawczych (Dolina Adventdalen i Półwysep Brøgger) i lokalizację szczegółowych powierzchni badawczych (łącznie 51 powierzchni). Rozdział 5 - wyniki jest dosyć obszerny – liczy ponad 20 stron. Podzielono go tematycznie zgodnie z podejmowanymi w pracy zagadnieniami na: a) zróżnicowanie pokrycia terenu na powierzchniach badawczych; b) charakterystykę badanych gleb; c) żywą biomasę nadziemną i zawarty w niej zasób węgla organicznego; d) zasoby żywej biomasy podziemnej; e) zasoby glebowego węgla organicznego f) relacje pomiędzy komponentami biomasy oraz g) opis czynników determinujących zasób węgla organicznego. Na zakończenie rozdziału przedstawiono wartości wskaźników spektralnych danych Sentinel-2. Dyskusja wyników (rozdział 5) liczy 12 stron i podzielono ją na dyskusję nad zasobami biomasy w poszczególnych komponentach (w nazwie rozdziału zabrakło – zasobów węgla organicznego) oraz ocenę możliwości zastosowania materiałów teledetekcyjnych w oszacowaniu nadziemnej biomasy i zasobów węgla. Główną część manuskryptu kończy 9 odrębnych, dobrze sprecyzowanych, konkretnych wniosków. Powyższy układ jest przejrzysty i trafnie skonstruowany, świadczy o starannym przemyśleniu sposobu uporządkowania treści. Pewien niewielki niedosyt pozostawia brak swego rodzaju podsumowania zawierającego opis konieczności dalszych wątków/aspektów badawczych które powinny być kontynuacją przedstawionych badań. Każda praca badawcza pozostawia bowiem niedosyt, który po przełożeniu na słowa może być wskazówką dla rozwinięcia dotychczasowych osiągnięć. W manuskrypcie nie znalazłem też opisu źródeł finansowania badań.



3. Merytoryczna i formalna ocena pracy

3.1. Zakres badań oraz przyjęte metody badawcze

Badaniami objęto 20 powierzchni badawczych w Dolinie Adventdalen i 31 powierzchni badawczych na Półwyspie Brøgger. Liczba powierzchni jest wystarczająca – niemniej jednak **nie wyjaśniono skąd wzięły się różnice** w ich ilości w obu tych obszarach. W celu doboru powierzchni zastosowano, bardzo trafnie, kryterium wartości wskaźnika NDVI od 0,2 do 0,6 (dla sezonu wegetacyjnego poprzedzającego badania terenowe). Kolejnym kryterium był rozkład normalny (dla obu obszarów) wartości wspomnianego wskaźnika. W obrębie poszczególnych powierzchni badawczych dominowały osady aluwialne i koluwalne, były one zlokalizowane na podobnej wysokości nad poziomem morza, generalnie na stokach względnie płaskich (choć w niektórych przypadkach o nachyleniu aż 10°) i z dala od kolonii ptaków – tak aby zminimalizować wpływ czynników lokalnie modyfikujących rozwój gleb i roślinności tundrowej. Powierzchnie badawcze miały wymiary 1x1 m (próbki biomasy pobierano ze stanowisk o wymiarach 0,2 x 0,2 m lub 0,4 x 0,4 m) i były reprezentatywne dla obszaru 1 piksela zdjęcia satelitarnego o wymiarach 10 x 10 m. Autorka nie podaje jednak, **czy w obrębie zasięgu poszczególnych pikseli powierzchnie gleb i roślinności były jednorodne czy może występowały tam kriogeniczne grunty strukturalne – takie jak kręgi lub wały kamieniste oraz poligony tundrowe itp. różnicujące powierzchnię gleb i rozmieszczenie roślinności.** Może to być kluczowe w wyjaśnieniu dlaczego nie udało się znaleźć jasnych powiązań między danymi teledetekcyjnymi, a wynikami pomiarów terenowych zasobów biomasy nadziemnej. Badania prowadzono latem 2018 roku (Dolina Adventdalen) oraz 2019 roku (Półwysp Brøgger). Niestety **nie znalazłem w pracy danych potwierdzających, czy oba sezony wegetacyjne były do siebie zbliżone pod względem pogodowym, a więc i możliwości rozwoju roślin** – szczególnie jest to istotne w przypadku biomasy roślin jednorocznych. Co prawda Autorka nie podjęła się prób porównań między oboma obszarami – być może wpłynęły na to różnice pogodowe między sezonami badawczymi uniemożliwiające takie porównanie. Do końca nie wiadomo też czy udział klas pokrycia terenu roślinnością w podziale na trawy, mchy, porosty, krzewinki oraz powierzchnie bez roślinności określono dla wszystkich stanowisk (0,2 x 0,2 m) czy wszystkich powierzchni (1x1 m) badawczych. Autorka określenia te stosuje w tekście zamiennie chociaż na rycinie 6 definiuje je w sposób rozłączny. Prawdopodobnie chodzi jednak o powierzchnie badawcze. W pracy **nie podano niestety nazw głównych gatunków roślin** – a w przypadku roślin tundrowych powszechnych na Spitsbergenie część z nich w bardzo specyficzny sposób kształtuje rozkład przestrzenny biomasy nadziemnej (np. poduszkowa lepnica bezłodygowa) lub ilość glebowej materii organicznej (np. płatki dębików ośmiopłatkowych tworzące kilkucentymetrowej miąższości poziomy organiczne).



Zróznicowanie pokrycia terenu powierzchni badawczych jest znaczne. Analiza głównych składowych (PCA) wykonana osobno dla obu obszarów badawczych wskazała na największą rolę mchów w Dolinie Adventdalen oraz porostów i miejsc z brakiem roślinności w przypadku Półwyspu Brøgger.

W pracy znajduje się informacja, że profile glebowe poszczególnych powierzchni badawczych zostały opisane zgodnie ze standardami FAO a gleby zostały zaklasyfikowane zgodnie z WRB 2022. **Opisy morfologii profili (barwa, struktura) można by zatem umieścić w aneksie** – załącznik 1. Tymczasem podano jedynie ogólną symbolikę poziomów (A, B) i ich miąższość. Nie znalazłem również **informacji dotyczącej zawartości frakcji szkieletowej** – chociaż informacja o tym, że była ona oznaczana jest na str. 26. Zawartość ta mogłaby być brana pod uwagę we wzorze do obliczania zasobów węgla organicznego w glebach. Metoda ta jest prostsza od zastosowanej w recenzowanej pracy, gdzie „korektę szkieletowości” zastosowano przy określaniu gęstości objętościowej materiału glebowego. Przydałoby się również **wyjaśnienie dlaczego dla poziomów zaczynających się na kilku centymetrach głębokości (np. w Adv 2, 3, 4 itd.) i zawierających często ponad 2-3% węgla (wartość porównywalna z poziomami próchnicznymi naszych najżyźniejszych gleb – czarnoziemów i czarnych ziem) podano oznaczenia B (poziom wzbogacania) a nie A (poziom próchniczny)**. Z kolei przy klasach wilgotności (np. str. 111) zabrakło (z mojego subiektywnego punktu widzenia) klasy „świeżej” tym bardziej, że w wytycznych FAO w terenie określa się aż 6 klas wilgotności – „moisture status of soil” na stronie 50 przewodnika do oznaczeń gleb. Przy podawaniu pozycji systematycznej **warto również podać pełną nazwę gleb i listę kwalifikatorów** stwierdzonych w poszczególnych profilach – a nie tylko Turbic/Haplic Cryosols. Prawdopodobnie występowały tam też wśród głównych kwalifikatorów – Cambic (poziomy B?) oraz wśród uzupełniających – Dystric/Eutric, kwalifikatory uziarnienia oraz odnoszące się do poziomów próchnicznych – Humic/Ochric. Materiał glebowy pobierany był z założenia do głębokości 40 cm (w czterech warstwach po 10 cm miąższości). Z jednej strony jest to uzasadnione – ponieważ w wielu opracowaniach stosuje się taką właśnie miąższość (30 lub 40 cm), jako kluczową w oszacowywaniu zasobów próchnicy glebowej. W wielu analizowanych w pracy profilach na głębokości 30–40 cm udział węgla organicznego był jednak nadal duży (powyżej 2%). Brak ostrej granicy (nie podano takiej informacji) między badaną warstwą, a materiałem głębiej zalegającym wskazuje na znaczne ilości próchnicy poniżej tej głębokości. **Czy należy się zatem spodziewać, że obliczone zasoby węgla organicznego nie odzwierciedlają całkowitej puli tego pierwiastka zakumulowanego w badanych glebach?** W pracy warto byłoby umieścić taką informację.

W niektórych fragmentach pracy trudno jest nadążyć, czy Autorka ma na myśli zasoby biomasy czy węgla organicznego w tej biomase – tym bardziej, że oba elementy są omawiane często zamiennie. Przykładowo na stronie 50 opisywana jest żywa biomasa nadziemna ale z podaniem zasobów węgla organicznego – bez podania przelicznika z zasobów biomasy na



zasoby węgla. Na kolejnej stronie opisywane są zasoby żywej biomasy podziemnej – bez podawania zasobów węgla ale przy określeniu koncentracji tego pierwiastka w wybranych próbkach na poziomie 26,5 – 39,8%. Prawdopodobnie wynika to z trudności dokładnego określenia zawartości węgla w biomasy podziemnej – niemniej jednak takie niejednolite ujęcie w odniesieniu do poszczególnych komponentów (biomasa nadziemna i podziemna) utrudnia percepcję tekstu. Tym bardziej, że w załączniku nr 2 pojawiają się wartości opisujące zasoby biomasy nadziemnej, a nie jak to było w niektórych częściach pracy – węgla w nich zawartego. Podobnie jest przy zasobach zgromadzonych w próchnicy glebowej – na ogół Autorka omawia zasoby węgla, czasami jednak pojawiają się zasoby materii organicznej – w pracy nie znalazłem **jaka wartość współczynnika (prawdopodobnie chodzi o 1,72 ale w pracy wspomniano jedynie o współczynniku Waksmana ni podając jednocześnie do tego pozycji literatury) została zastosowana przy przeliczaniu tych danych.**

Przedstawione w pracy analizy laboratoryjne, statystyczne i wykonane modelowanie nie budzą zastrzeżeń. Przeprowadzone analizy pełnej selekcji zmiennych pozwoliły na określenie głównych czynników wyjaśniających zasoby węgla organicznego w biomasy nadziemnej obszaru Adventdalen (pokrycie terenu oraz wilgotność gleby) i Półwyspu Brøgger (pokrycie terenu oraz zawartość azotu). W tym drugim przypadku wartości C/N są prawdopodobnie jedynie pochodną zawartości wspomnianego pierwiastka. W odniesieniu do zasobów węgla organicznego w próchnicy glebowej najważniejsze w Dolinie Adventdalen okazały się – zawartość frakcji pyłowej oraz wilgotność gleby, co może potwierdzać okresowe niedobory wody w tych glebach. Na Półwyspie Brøgger – zasoby te były silnie związane ze zróżnicowaniem wartości pH. **Czy w tym przypadku można założyć, że pewien wpływ ma tu też obecność węglanu wapnia modyfikującego wartości pH i przyspieszającego mineralizację próchnicy?** Wraz ze wzrostem wartości pH zaobserwowano tu bowiem spadek zasobów SOC. W przypadku tego obszaru **niezrozumiałe jest w jaki sposób można interpretować głębokość interwału poboru próbek w charakterze zmiennej objaśniającej (predyktora) zasoby SOC** skoro we wszystkich stanowiskach interwały te (głębokości poboru materiału) były takie same a zasoby obliczane były dla całego profilu glebowego do głębokości 40 cm.

3.2. Dobór źródeł piśmienniczych

Doktorantka wykazała się dużą znajomością literatury przedmiotu, na co wskazuje chociażby bogaty spis literatury użytej w autoreferacie, zawierający 219 pozycji – głównie anglojęzycznych publikacji naukowych. Ze względu na ogromną ilość opracowań dotyczących zagadnień związanych z zasobami materii organicznej oraz poruszających tematykę środowiska glebowego obszarów polarnych zacytowany przegląd literatury oczywiście nie wyczerpuje wszystkich istotnych pozycji naukowych ale jest całkowicie wystarczający do przeprowadzenia rzetelnej dyskusji. Cytowane są głównie artykuły stosunkowo nowe (z ostatnich 20-30 lat),



przedstawiające aktualny stan wiedzy. Doktorantka mogłaby nieco rozszerzyć spis literatury o starsze publikacje, będące często swego rodzaju „prekursorami” lub istotnymi osiągnięciami w obrębie poszczególnych aspektów badań. W przypadku wykorzystania tekstu pracy do pisania artykułów naukowych sugerowałbym rozszerzenie niektórych wątków dyskusji o wyniki badań polskich autorów – szczególnie w kontekście zmian klimatycznych na Spitsbergenie i zasięgów lodowców (np. opracowania Przybyłaka, Soboty), charakterystyki pokrywy glebowej (np. Plichta - Gleby Kaffiøry, Spitsbergen; Dziadowiec – rozkład liści *Saxifraga oppositifolia* czy wydzielanie dwutlenku węgla z gleb Spitsbergenu). Niemniej jednak Autorka w sposób dojrzały i przemyślany podejmuje dyskurs naukowy z tezami i wnioskami sformułowanymi przez innych badaczy. Wiele pozycji literatury posłużyło też do scharakteryzowania obszaru badań, opisu metodyk analiz, itp. Sposób cytowania literatury jest prawidłowy i zgodny z ogólnie przyjętymi zasadami.

3.3. Dokumentacja tabelaryczna i graficzna

Szata graficzna (zdjęcia, ryciny) i zestawienia tabelaryczne w większości przypadków zostały przygotowane starannie i są komplementarne w stosunku do treści tekstowej manuskryptu. Wszystkie tabele i ryciny mają swoje odniesienie w tekście. Wykresy są generalnie przejrzyste i czytelne, w niektórych przypadkach (np. rycina 16) czcionka użyta w podpisie osi pionowej i poziomej jest zbyt mała – w tym wypadku wystarczy powiększyć obszar wykresu.

Kilka drobnych niedociągnięć, wartych skorygowania wymieniłem poniżej:

- W przypadku ryciny nr 1 wkradł się błąd techniczny (str. 9) ponieważ jest ona opisywana w tekście trzykrotnie, a konstrukcja tych opisów świadczy o pozostawieniu w manuskrypcie elementów roboczych, które powinny być usunięte.
- Na stronie 55 odnośnik do tabel 17 – 20 można uporządkować w kolejności chronologicznej i uprościć (Tab. 17, 18, 19, 29).
- W tabeli załącznika 1 w przypadku uziarnienia zawartość trzech głównych frakcji ziemistych nie zawsze sumuje się do 100% (czasami jest to 99 a czasami 101) co zapewne wynika z zaokrąglania do pełnych procentów. Należy to poprawić.
- W tabeli załącznika 1 warto umieścić zawartość frakcji szkieletowej oraz przy poszczególnych stanowiskach – pełną nazwę gleby.
- W tabelach 7 i 8 zamieszczono analogiczne dane powierzchni badawczych (nachylenie i wysokość w m n.p.m.) o różnej dokładności. W tabeli 8 proponuję je zaokrąglić tak jak w Tab. 7.

Ponadto, praca ma charakter (przynajmniej częściowo) terenowy i szkoda, że Autorka nie umieściła większej ilości dokumentacji fotograficznej – czy to środowiska, roślin, czy badanych profili glebowych. Te umieszczone na rycinie 7, 11 i 13 są bardzo pomniejszone i przez to słabej jakości.



3.4. Język i styl

Autoreferat został napisany poprawnym językiem z prawidłowym użyciem specjalistycznej terminologii, co wskazuje na opanowanie techniki pisanie prac naukowych przez Autorkę. Formułuje ona swoje poglądy w sposób jasny i zrozumiały, argumentując wnioski w sposób precyzyjny i poddając je klarownej dyskusji naukowej. W tekście doktoratu można jednak znaleźć nieliczne, drobne błędy edytorskie, językowe i terminologiczne. Z obowiązku recenzenta podaję ich listę, jest ona jednakże bardzo krótka i szczegółowa, co tylko potwierdza wysoką jakość językową pracy:

- str. 9, otwieranie nawiasu na końcu akapitów – zapewne przeoczenie elementów technicznych, o których pisałem już przy błędzie z podpisami ryciny 1;
- str. 10, słowo „pula” pojawia się w ostatnim akapicie bardzo często – lepiej użyć synonimy tego słowa (zasób, zapasy, rezerwuuar itd.);
- str. 33, Spistbergeńskiego – zamiana liter;
- str. 35, w przypadku lodowców typu spitsbergeńskiego Autorce raczej chodziło o lodowce sieciowe nie dendrytyczne (czyli inaczej Himalajskie);
- str. 35; 3 linia od dołu – „opisanego” zamienić na „opisane”;
- str. 27, 2 linia, „koncentracja” – zamienić na „koncentrację”;
- str. 28, ostatnia linia – dodać „w” – „dodatkowo w obu....”
- str. 50, trzecia linia od dołu - „cechował: zamienić na „cechowała”.

Ponadto w moim subiektywnym odczuciu Autorka często używa anglicyzmów, co w niektórych przypadkach warto zamienić na słowa zakorzenione od dawna w języku polskim, np.; dekompozycja – rozkład (str. 11)

3.5. Ogólna ocena pracy i uwagi dyskusyjne

Pani mgr Anna Zielonka podjęła interesujący, ważny i równocześnie ambitny temat badawczy, a uzyskane wyniki bardzo dobrze dokumentują wielkość i różnorodność zasobów materii organicznej w wybranych stanowiskach Doliny Adventdalen i Półwyspu Brøgger. W mojej opinii do największych osiągnięć niniejszej rozprawy należą:

- potwierdzenie znacznego zróżnicowania przestrzennego przy jednocześnie dużych zasobach węgla organicznego w formie próchnicy w glebach Arktyki. W pracy wskazano na kilkusetkrotnie większe zasoby węgla w martwej glebowej materii organicznej w porównaniu z żywymi, podziemnymi częściami roślin. Podobnie zresztą kształtują się te stosunki z biomasą nadziemną. Potwierdza to, jak ważnym elementem w obiegu węgla są gleby obszarów polarnych. Dla



porównania – opisane słabo ukształtowane gleby Arktyki zawierają kilkukrotnie większe zasoby węgla niż najbardziej powszechne w Polsce i intensywnie użytkowane rolniczo - gleby płowe;

- potwierdzenie braku możliwości łatwego zastosowania dostępnych obecnie danych teledetekcyjnych w oszacowywaniu biomasy roślin – nawet w przypadku ich części nadziemnych, nie wspominając o pozostałych – ukrytych pod powierzchnią gruntu komponentach środowiskowych;

- trafne zastosowanie zaawansowanych technik statystycznych przy określaniu czynników wiodących w kształtowaniu zasobów węgla organicznego.

- określenie różnic w czynnikach kształtujących zasoby węgla między środowiskiem obszarów wyeksponowanych na działanie czynników oceanicznych (Półwysep Brøgger) jak i położonych w głębi lądu (Dolina Adventdalen).

Lektura recenzowanej rozprawy nasunęła mi następujące (oprócz opisanych we wcześniejszych etapach recenzji) pytania i uwagi dyskusyjne:

- czy w przypadku gleb Arktyki, trudności w opracowaniu modeli określających zasoby materii organicznej nie wynikają z bardzo długotrwałego gromadzenia próchnicy w warunkach powolnego rozkładu i wyjątkowo surowego klimatu, przy jednocześnie niewielkiej ilości biomasy roślin? Przy takim układzie czynników nawet niewielka zmiana środowiskowa może wpływać na ilość biomasy nadziemnej i mocno zaburzać proporcje między poszczególnymi komponentami zawierającymi węgiel organiczny (rośliny/zasoby węgla glebowego), przez co aktualny stan biomasy nie odpowiada długoterminowym warunkom kształtowania się podziemnych zasobów glebowego węgla organicznego w przeszłości. Do tego dochodzi silna presja zwierząt roślinożernych (renifery), o której pisze autorka w dyskusji. Może warto podjąć próbę określenia wpływu jedynie czynników abiotycznych (z pominięciem PC1 i PC2) na wielkość zasobów węgla w próchnicy glebowej. Tu pomocne mogłyby być dokładne modele rzeźby terenu dające możliwość wyekstrahowania wielu istotnych parametrów otoczenia powierzchni badawczych – kształt stoku, ekspozycja, potencjalne warunki wilgotnościowe;

- brak wyraźnej korelacji między danymi z Sentinel-2 a wykonanymi pomiarami terenowymi zasobów biomasy może wynikać ze zbyt małych stanowisk badawczych – Autorka sama wskazuje na niejednorodność pokrywy glebowej (grunty strukturalne) i pokrywy roślinnej. Dodatkowym elementem przemawiającym za koniecznością poboru próbek z większej powierzchni jest charakter roślin tundrowych – wiele z nich tworzy lokalne, niewielkie, poduszkowe skupienia oddzielone od siebie miejscami o znikomej ilości biomasy. Znaczna zmienność biomasy na niewielkich przestrzeniach może zatem wymagać większych stanowisk poboru próbek, dających bardziej reprezentatywne wyniki.

- w rozdziale 2.4.3 nie podano z jakiego konkretnie okresu pochodziły dane satelitarne poddane próbom korelacji z wynikami terenowymi. Czy był to rok poprzedzający badania (te same jakie



użyto do doboru powierzchni badawczych) czy inny okres, np. odpowiadający terminowi terenowego poboru materiału do badań? Jeżeli był to ten pierwszy przypadek – czy mogło to wpłynąć na problem z określeniem korelacji między zdjęciami a badaniami terenowymi?

- w pracy zabrakło mi szerszego wątku dyskusyjnego nad ogólnymi zasobami węgla organicznego – zarówno w kontekście wyników innych autorów z obszarów arktycznych jak i danych dla niższych szerokości geograficznych. W przyszłości warto to wykorzystać przy pisaniu artykułów naukowych;

Reasumując, stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr Anny Zielonki pt. *„Czynniki kształtujące zasób węgla organicznego w Arktyce Wysokiej (Spitsbergen) i ocena możliwości oszacowania biomasy nadziemnej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych Sentinel-2”* wnosi istotny wkład do stanu wiedzy na temat zasobów materii organicznej i węgla oraz rozpoznania czynników je kształtujących w obszarach arktycznych. Szeroki zakres danych oraz ich rzetelna, wielowątkowa analiza osadzona w dobrej znajomości literatury świadczą o opanowaniu warsztatu badawczego przez Doktorantkę. Przedstawione w mojej recenzji uwagi krytyczne i dyskusyjne mają głównie charakter uzupełnień i poprawek redakcyjnych oraz nie wpływają na ogólnie pozytywną ocenę niniejszego doktoratu.

4. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę powyższe, stwierdzam, że recenzowana praca doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia przez nią pracy naukowej. Ponadto praca doktorska opowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim, wynikającym z **art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki** i może stanowić podstawę jej obrony publicznej. W związku z tym wnoszę o dopuszczenie Pani mgr Anny Zielonki do dalszych etapów w postępowaniu o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, dyscyplinie nauk o Ziemi i środowisku.

dr hab. Marcin Świtoniak, prof. UMK