

Prof. dr hab. Andrzej Kowalczyk

Warszawa, 12.10.2024r.

Instytut Nauk o Ziemi

Wydział Nauk Przyrodniczych

Uniwersytet Śląski w Katowicach

Wpłynęło dnia

2024-10-18

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Anny Gądek

pt.: „Współczesne odsączeniowe żłobki krasowe na Wyżynie Krakowskiej: rozmieszczenie i geneza”

Promotor: prof. dr hab. Michał Gradziński

Poniższa recenzja została wykonana na podstawie decyzji Rady Dyscypliny Nauk o Ziemi i środowisku na Uniwersytecie Jagiellońskim oraz umowy zawartej przeze mnie z Uniwersytetem Jagiellońskim.

Ocena rozprawy

Celem rozprawy jest wyjaśnienie genezy odsączeniowych żłobków krasowych na podstawie własnych badań eksperymentalnych Autorki, przeprowadzonych na wybranych poligonach badawczych, usytuowanych na Wyżynie Krakowskiej. Praca ma charakter poznawczy, jej wyniki wnoszą nowe aspekty poznania o powstawaniu tych jakże specyficznych form krasowych, a w ogólnym wymiarze jest to wkład do poznania procesów denudacji krasowej.

Rozprawa liczy 166 stron, jest podzielona na 7 rozdziałów, opatrzona streszczeniem i wstępem oraz spisem 189 pozycji literatury, stanowiącej istotne wsparcie zarówno w planowaniu eksperymentu, jak również w omawianiu i dyskusji uzyskanych wyników. Dokumentację badań stanowi 5 załączników tabelarycznych, oraz 55 figur i 6 tabel zamieszczonych w tekście, jednakże nie zestawionych w formie spisów.

Odsączeniowe żłobki krasowe, to jedne z najmniejszych form powstałych jako efekt denudacji chemicznej. Występują masowo na powierzchni skał węglanowych i są dostępne do bezpośredniej obserwacji. Z dostępnej literatury, w tym przede wszystkim wykorzystanej i cytowanej w rozprawie, można wnosić, że formy te nie cieszyły się dużym zainteresowaniem badaczy. Dlatego doceniam zainteresowanie Autorki tą problematyką oraz trud i niezwykłą staranność i rzetelność oraz konsekwencję z jaką realizowała podjęte badania, których wyniki są przedmiotem opiniowanej dysertacji.

Pierwszym rozdziałem merytorycznym, po wstępie i przedstawieniu stosowanej w pracy terminologii, jest **rozdział 3**, w którym Autorka charakteryzuje obszar badań, którym jest południowa część Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. Omawia ona w sposób syntetyczny budowę geologiczną i koncentruje się na dokładniejszym omówieniu głównych formacji skalnych odsłaniających się na powierzchni terenu, którymi są skały węglanowe – wapienie paleozoiku (dewonu i karbonu) oraz jury górnej. Ponadto omawia rzeźbę terenu, szatę roślinną, a także warunki klimatyczne i zanieczyszczenia. W tym omówieniu nie ma dokładniejszej prezentacji wybranych poligonów badawczych, poza ich wymienieniem i pokazaniem lokalizacji na mapie topograficznej (Fig. 3.3). Ponieważ przedstawiona charakterystyka obszaru jest w skali „makro”, czy wobec tego można przyjąć, że to co przedstawiono jako ogólną charakterystykę obszaru badań można również odnieść do skali poligonów, a więc do skali „mikro”? Wybrane poligony badawcze są usytuowane w „dolinkach podkrakowskich” – trzy poligony, i dwa w granicach administracyjnych Krakowa. Są usytuowane w Dolinie Eliaszkówki, Dolinie Raclawki, oraz Dolinie Będkowskiej, a także na terenie Lasku Wolskiego i na terenie Obserwatorium

1

Astronomicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Piąty poligon badawczy został zlokalizowany w Bieszczadach na terenie Parku Krajobrazowego Doliny Sanu. Jednakże brak jest uzasadnienia dla wyboru poligonu w Bieszczadach, można się tylko domyslać na podstawie tekstu w dalszej części pracy, w rozdz. 3.2.2, że chodziło o teren znacznie odbiegający stanem zanieczyszczenia powietrza od rejonu Krakowa.

W tytule **podrozdziału 3.1** napisano „*Odsączeniowe żłobki krasowe - lokalizacja i ogólna charakterystyka obszaru*”. Z tego można wnosić, że chodzi o lokalizację żłobków krasowych, a nie poligonów badawczych, chociaż w tekście nie ma to odzwierciedlenia. Zatem tytuł tego podrozdziału nie zupełnie odpowiada jego treści.

W **rozdziale 4.** zatytułowanym *Materiały i metody* Autorka przedstawia szczegółowo zakres i metody zastosowanych badań, poczynając od uzasadnienia wyboru i lokalizacji reprezentatywnych stanowisk badawczych – wytypowano trzy takie stanowiska na trzech poligonach. Na poligonie czwartym, w Dolinie Będkowskiej nie ustanowiono stanowiska ze względu na trudną dostępność do poboru próbek wody. Ponadto na dwóch stanowiskach, wspomnianych przeze mnie uprzednio, Autorka przeprowadziła badania eksperymentalne na przygotowanych płytkach wapieni. Wszystkie stanowiska były umieszczone pod drzewami i badania dotyczyły żłobków tam umieszczonych i wód spływających po korze drzewa (woda zasilająca) oraz żłobkiem.

Autorka zastosowała szereg metod badań, którymi objęła zarówno skały, na których formują się żłobki - badania petrograficzne i mineralogiczne oraz wody spływające po powierzchni drzew i żłobków. Dodajmy, że pomysłem oryginalnym, zrealizowanym w tych badaniach było objęcie nimi żłobków występujących wyłącznie pod drzewami.

Do badań hydrochemicznych pobierano wodę w wielu seriach, w zależności od poligonu, od 4. dla Łasku Wolskiego, 9 serii dla Doliny Eliaszkówki i 11 serii dla Doliny Racławki. Dla stanowisk eksperymentalnych wykonano 14 serii opróbowania wody na terenie Obserwatorium Astronomicznego i 11 serii na stanowisku w Bieszczadach. Na stanowiskach w Dolinie Eliaszkówki, w Łasku Wolskim i w Bieszczadach w każdej serii pobierano 3 próbki: wody opadowej, wody zasilającej żłobek i wody wypływającej. W Dolinie Racławki pobierano wodę wypływającą z dwóch punktów I i II, zatem łącznie były to 4 próbki wody. Opróbowanie dla każdego stanowiska wykonywano w jednym dniu po opadzie. Liczba pobieranych próbek podczas jednego opróbowania nie zawsze była taka sama, ze względu na nie dostateczną ilość wody spływającej po korze drzewa lub w żłobku. W czasie opróbowania wód w większości przypadków wykonywano pomiar pH oraz przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW) wody.

Ponadto Autorka wykonała badania kory drzew: wytypowała na trzech wspomnianych poligonach po trzy drzewa z trzech gatunków, łącznie na każdym poligonie badaniami objęto po 9 drzew, pod którymi były usytuowane współczesne żłobki krasowe. Łącznie uzyskano w sześciu seriach po 27 próbek kory. Badania polegały na pobraniu kory w suchych warunkach i następnie po odpowiedniej procedurze uzyskano wyciąg wodny z próbki, dla którego wykonano pomiary pH i przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW) wody. Oprócz wymienionych badań Autorka wykonała badania laboratoryjne próbek wody i na podstawie wyników tych analiz wykonała obliczenia indeksu nasycenia SI wody względem kalcytu wykorzystując do tego celu program PhreeQC. Określiła także tempo rozpuszczania płytek węglanowych. W laboratorium ING UJ określono także porowatość otwartą dla 22 wybranych próbek skalnych. W oparciu o obserwacje terenowe oraz analizy statystyczne dokonała opisu żłobków, zawierające dane o parametrach i ukształtowaniu powierzchni skalnych, o rozmieszczeniu żłobków, ich kształcie i przebiegu oraz o powstawaniu żłobków i ich szerokości. Dla celów analizy wpływu zanieczyszczenia powietrza na powstawanie żłobków pozyskano dane z Głównego Inspektoratu

Ochrony Środowiska o zawartości SO₂ i PM10. Dla wielu zbiorów danych wykonano, jeśli to było możliwe i uzasadnione, analizy statystyczne obejmujące test normalności rozkładu oraz sprawdzono jednorodność wariancji w grupach danych. Zastosowano również szereg innych metod - testów do określania zależności pomiędzy różnymi parametrami stosownie do zasadności ich zastosowania w sensie merytorycznym. Analizy statystyczne wykonano korzystając z programów PAST 4.13 oraz STATISTICA 13. Podsumowując tę część pracy należy podkreślić bardzo szeroki zakres wykonanych badań i zastosowanych metod, rzetelność w ich przeprowadzeniu oraz udokumentowaniu w postaci graficznej – map, zdjęć i wykresów oraz tabelarycznej, w tekście i w załącznikach.

W rozdziale 5 przedstawiono opracowane wyniki przeprowadzonych badań. Ze względu na wielość zastosowanych metod oraz zakres badań, liczbę pozyskanych informacji i danych liczbowych jest on jednym z dwóch najobszerniejszych w pracy.

Pierwszym zaprezentowanym problemem jest rozmieszczenie odsączeniowych żłobków krasowych i charakterystyka podłoża skalnego, na którym one występują. Tej analizy dokonano na podstawie 200 zespołów odsączeniowych: 156 na wychodniach wapieni paleozoiku i 44 zespoły na wychodniach wapieni jury; łącznie wykonano pomiary dla 1608 żłobków. Rozmieszczenie zinwentaryzowanych żłobków zostało przedstawione bardzo precyzyjnie na mapach numerycznego modelu terenu, odrębnie dla każdego z czterech poligonów badawczych. Rozmieszczenie żłobków powiązano z gatunkami drzew, pod którymi zinwentaryzowano zespoły tych żłobków. Były to drzewa: klon zwyczajny, klon jawor, olsza czerwona, brzoza brodawkowata, grab zwyczajny, tulipanowiec amerykański, buk zwyczajny, świerk pospolity, sosna zwyczajna dąb szypułkowy, dąb bezszypułkowy i lipa drobnolistna – razem 8 gatunków drzew, a dodatkową kategorią był ślad po drzewie wyciętym lub spróchniałym, niezidentyfikowanym. Wiek drzew jest zróżnicowany od ok. 18 do ok. 156 lat. Wykonano ocenę zależności pomiędzy parametrami drzew, powierzchni skalnych i żłobków na podstawie wyliczonych współczynników korelacji Pearsona. Stwierdzono istotną zależność pomiędzy liczbą żłobków na powierzchni skalnej, a wiekiem drzewa - im starsze drzewo, tym więcej żłobków. Nie ma natomiast istotnego statystycznie związku pomiędzy wiekiem drzew, a długością żłobków. Cechy litologiczne podłoża skalnego – wapieni, określa monomineralny skład - wysoka zawartość kalcytu, oraz niska porowatość otwarta i silne scementowanie. Charakterystykę podłoża skalnego uzupełniają pomiary nachylenia powierzchni skalnych, na których formują się żłobki i ich ekspozycja, oraz średnie nachylenie, wynoszące 67°. Te wyniki badań i analizowane problemy zostały opracowane z należytą starannością i wyczerpująco, dzięki czemu Autorka w sposób zobiektywizowany dokumentuje i uzasadnia formułowane wnioski.

Następnym z kluczowych problemów badawczych jest scharakteryzowanie współczesnych żłobków odsączeniowych na podstawie wykonanych badań własnych Autorki. Przedstawiono morfologię żłobków, którą ilościowo opisują: długość, szerokość i głębokość żłobków i profil przekroju poprzecznego. Cechy te analizowano w powiązaniu m.in. z nachyleniem powierzchni skalnej i spękaniami skały, a także z gatunkiem drzewa. Istotną zależność głębokości żłobków od gatunku drzewa stwierdzono jedynie dla dwóch gatunków. Kolejna stwierdzona zależność - im mniejsze nachylenie powierzchni skalnej tym większa średnia głębokość żłobków i większa szerokość w części inicjalnej. Długość żłobków jest bardzo zróżnicowana w przedziale od 2 do 47 cm, ale maksymalna długość wyniosła 55 cm. Zależności geometrii żłobków od cwieku skał podłoża - wychodnie jury i paleozoiku - nie są tak oczywiste, nawet jeśli statystycznie istotna, bowiem niewielka jest różnica pomiędzy długością żłobków na wychodniach paleozoiku i jury. Z analizy krętości żłobków wynika wniosek, że żłobki o większej krętości występują na powierzchniach skalnych o niewielkim nachyleniu pod sosną zwyczajną (dotyczy to tylko tego gatunku drzewa). Istotny statystycznie jest także związek

między szerokością i głębokością żłobków a gatunkiem drzewa – odnosi się to jednak tylko do dębu szypułkowego.

Jeśli chodzi o rozmieszczenie przestrzenne żłobków to występują żłobki pojedyncze, ale częściej są to zespoły żłobków. Odległości między nimi wynoszą od kilku mm do kilku cm i zależą od rozmieszczenia punktów dostawy wody, od ukształtowania powierzchni skalnej oraz od obecności spękań. Liczba żłobków rośnie wraz z wiekiem drzewa, a także ze wzrostem nachylenia powierzchni skalnej. Obecność szczelin skalnych często ogranicza kontynuację żłobka. Jest to związane z drenażem wody przez szczeliny. W treści tego rozdziału znajduje się tabela 5.3 „Wyniki dwuczynnikowej analizy”, dla której odpowiedni komentarz znajduje się w rozdz. 5.8, zatem tam jest jej miejsce.

Charakterystyki geometryczne żłobków, a także ich przestrzenne rozmieszczenie, tempo i czynniki ich formowania, to efekt działania wody, a przede wszystkim jej własności fizykochemicznych. Ten problem, to problem denudacji chemicznej masywów skał węglanowych, niewątpliwie najważniejszy w pracy, jest przedmiotem **rozdziału 5.6**. Autorka analizuje własności wody opadowej, wody zasilającej - spływającej z drzewa i wypływającej ze żłobka, czyli zmiany na drodze przepływu, będące miarą intensywności denudacji chemicznej skał i powstawania żłobków: pH i PEW, stan nasycenia wody Si względem kalcytu, węgiel organiczny -TOC, a także stężenia jonów Ca, HCO₃, SO₄, NO₃, NH₄. Badania te i ich analiza, której celem było stwierdzenie różnic wartości parametrów i stężeń na drodze spływu wody, zostały wykonane dla pięciu stanowisk: Dolina Raclawki, Dolina Eliaszków, Las Wolski, Obserwatorium Astronomiczne, Bieszczady.

- **Odczyn pH** wody wypływającej jest wyższe w stosunku do wody opadowej i znacznie wyższe w stosunku do wody zasilającej spływającej z drzewa, której odczyn jest kwaśny lub lekko kwaśny – pH pomiędzy 4 a 5; wyjątkiem są Bieszczady, gdzie pH wody zasilającej jest minimalnie wyższe od wody opadowej, a wody wpływającej jest wyższe od obydwu wód.

- **PEW** – zakres wartości wody opadowej PEW (Fig.5.31) jest niższy od zakresu dla wody zasilającej i wypływającej, jednakże statystycznie istotna jest różnica tylko dla stanowiska w Dolinie Eliaszków i w Bieszczadach. Identyczny jest wynik porównania wartości PEW dla wody zasilającej i wypływającej – istotny tylko dla tych samych dwóch stanowisk.

- Indeks Si** nasycenia wody względem kalcytu – wartości średnie wskazują na wyraźny trend spadku indeksu Si wody zasilającej w stosunku do wody opadowej, co świadczy o wzroście agresywności tej wody względem podłoża skalnego w trakcie spływu po pniach drzew. Ten trend jest zachowany dla każdego stanowiska, pomimo, że dla większości stanowisk nie stwierdzono istotności różnic pomiędzy wartościami Si dla wody opadowej i zasilającej. Ten barak Autorka tłumaczy dużym rozrzutem wartości. Istotne statystycznie są natomiast różnice pomiędzy wartościami średnimi PEW pomiędzy wodą zasilającą i wypływającą –wzrost jest wyraźny w każdym przypadku, co świadczy o osłabniętej agresywności wody względem kalcytu.

- **Stężenia jonów Ca** – obserwowany jest trend wzrostowy tych wartości na drodze przepływu wody w żłobku w każdym przypadku, a analiza statystyczna wskazuje na istotność tych różnic dla większości stanowisk. Wzbogacanie wody w jony Ca i znormalizowana różnica stężenia Ca na 1 m drogi przepływu, wskazują na różnice w dynamice procesu rozpuszczania -największa dla stanowiska Lasku Wolskiego (Fig. 5.34).

- **Stężenia jonów HCO₃** – wartości średnie wzrastają zarówno podczas spływu wody po pniach drzew, jak również na drodze spływu wody w żłobku. Trend ten jest zachowany dla wszystkich stanowisk, mimo że brak jest statystycznej istotności tych różnic.

- **Stężenia jonów SO_4** - dosyć czytelny jest trend wzrostowy wartości średnich dla wody spływającej (zasilającej) i wypływającej.

Stężenia jonów NO_3 i jony NH_4 – podobnie jak w przypadku wyżej omówionych następuje stopniowy wzrost średnich wartości stężeń, i wzrost wartości na wypływie jest oczywisty. Brak jest jednakże statystycznej istotności różnic.

TOC – wartości średnie w wodzie zasilającej są wyższe niż w wodzie opadowej, a w wodzie wypływającej są zbliżone lub nieco tylko niższe, a różnice pomiędzy wartościami wody opadowej, a wody zasilającej i wody wypływającej są statystycznie istotne.

Na podstawie testów Pearsona określono statystycznie istotne korelacje pomiędzy wybranymi parametrami i stężeniami jonów. Ze wzrostem stężenia jonów SO_4 następuje spadek wartości pH; świadczy to o rosnącej agresywności wody względem wapieni podłoża. Ze wzrostem wartości pH następuje wzrost wartości SI, co świadczy o słabnącej agresywności wody; podobnie ze wzrostem stężeń jonów NH_4 następuje wzrost pH wody wypływającej. Brak jest natomiast istotnego wpływu jonów NO_3 na wartości pH oraz brak jest istotnej korelacji pomiędzy TOC oraz pH. Tu należy zauważyć, że Autorka, mimo że sygnalizuje możliwość wskazania parametrów hydrochemicznych wpływających na wzrost agresywności wody względem podłoża węglanowego, to po zaprezentowaniu wyników nie odnosi się do tego problemu – brakuje wniosku.

Analiza zmian sezonowych stężeń jonów SO_4 związanych z zanieczyszczeniem atmosfery dowodzi, że podwyższone wartości stężeń tego jonu w wodzie wystąpiły jedynie w lutym. Natomiast wartości stężeń jonów SO_4 w wodzie zasilającej są blisko dwukrotnie wyższe od tych w wodzie opadowej. Zatem zmiany te w wodzie zasilającej nawiązują do zmian w wodzie opadowej, czyli w lutym. Generalnie ta sezonowa zmienność jest bardzo słaba. Ale Autorka nie kwituje tego faktu wnioskiem o znaczeniu bądź o braku wpływu tego czynnika na formowanie się żłobków. Ostatnim problemem badawczym podjętym przez Autorkę było badanie pH i przewodności elektrolitycznej właściwej kory drzew. Autorka na podstawie przeprowadzonej analizy kwituje wyniki wnioskiem, że rozkład wartości pH i PEW kory jest związany głównie z gatunkiem drzewa, a nie z sezonowością. Najniższe wartości pH ma kora sosny zwyczajnej – pH ok. 3, a najwyższe wartości ma kora drzew liściastych, buku zwyczajnego i lipy drobnolistnej – pH pow. 4,5 oraz że te wartości nie mają żadnego związku z sezonowością.

Rozdział 6 zatytułowany *Dyskusja* jest szerokim omówieniem i podsumowaniem uzyskanych wyników badań, a głównie jest tu zawarta interpretacja wyników, w której Autorka odwołuje się, i słusznie, do właściwej dla tych zagadnień literatury. Pierwszym problemem podjętym w tej dyskusji jest omówienie tych czynników, które wskazują i decydują o agresywności wody zasilającej żłobki, dzieląc je na czynniki zewnętrzne i wewnętrzne. O wzroście agresywności wody świadczą: spadek wartości pH, wzrost wartości PEW jako pochodnej zwiększonej mineralizacji, wzrost stężenia jonów SO_4 i NO_3 , wzrost zawartości związków organicznych (TOC) oraz spadek indeksu nasycenia SI względem kalcytu. Wniosek uzasadniony: woda zasilająca jest bardziej agresywna w stosunku do podłoża węglanowego niż woda z opadu bezpośredniego. Jest to dowód na to, że wzrost agresywności wody opadowej następuje podczas spływu wody na skutek kontaktu z drzewami.

Czynnikiem zewnętrznym decydującym o zmianie chemizmu wody opadowej są zanieczyszczenia w powietrzu i zdeponowane na drzewach, bowiem stan chemiczny wody opadowej odzwierciedla stan zanieczyszczenia powietrza. Wskazują na to różnice pomiędzy chemizmem wody zasilającej z rejonu Krakowa i z Bieszczad, gdzie zanieczyszczenie powietrza jest znacznie mniejsze.

Przejawem i potwierdzeniem tego wniosku jest wzrost zawartości siarczanów w wodzie zasilającej żłobki w stosunku do analogicznych wartości w wodzie z bezpośredniego opadu. Tak więc zanieczyszczenie powietrza i związana z tym sucha depozycja są czynnikami zewnętrznymi odpowiedzialnymi za wzrost zawartości siarczanów w wodzie zasilającej, zmniejszenie pH i wzrost PEW, czyli za modyfikację chemizmu wody zasilającej i wzrost jej agresywności. Dodatkowym potwierdzeniem wpływu zanieczyszczeń, które mogą przenikać do kory zewnętrznej drzew i zmieniać jej własności, są niższe wartości pH i wyższe wartości PEW kory.

Znaczny, bo nawet trzykrotny wzrost stężenia węgla organicznego (TOC) w wodzie zasilającej zdaniem Autorki wskazuje na wzbogacanie tej wody w związki organiczne wymywane z liści, gałęzi i pni drzew. Domyślać się można, że jest to czynnik wewnętrzny mający wpływ na modyfikację chemizmu wody. Jednakże o ile Autorka w tekście rozdziału 6.1 wskazuje jednoznacznie na czynniki zewnętrzne mające wpływ na modyfikację chemizmu wody, to czym są czynniki wewnętrzne jednoznacznego wskazania nie ma.

Na dynamikę formowania się żłobków wpływ zdaniem Autorki mają: zmiany własności fizykochemicznych wody spływającej wzdłuż żłobków, oraz ubytek masy skały obserwowany w eksperymencie na przykładzie płytek wapiennych, a także zmiany mikrotopografii żłobków. Autorka na dowód przywołuje wynik porównania na tym samym stanowisku powierzchni skalnej i geometrii żłobków w odstępie 21 lat. Wynik obserwacji, wprowadzie nie potwierdzony ilościowo, nie budzi zastrzeżeń. Jednakże zaobserwowane przez Autorkę różnice to moim zdaniem jest efekt i potwierdzenie formowania się żłobków, natomiast brak jest przesłanek do wnioskowania o dynamice formowania się żłobków.

Zmiany fizykochemiczne wody spływającej w żłobkach są odpowiedzialne za tempo formowania się żłobków, a miarą tempa rozwoju żłobków przyjętą przez Autorkę jest znormalizowany do 1 m wzrost stężenia jonu Ca. Wniosek z porównania tej miary dla wszystkich stanowisk badawczych jest taki, że tempo to jest bardzo podobne, za wyjątkiem stanowiska w Bieszczadach, gdzie agresywność wody jest zdecydowanie mniejsza niż w rejonie Krakowa, a znormalizowany przyrost stężenia jonu Ca jest największy. Uzasadnienia tej różnicy Autorka nie podaje.

Próbę oceny tempa formowania się żłobków Autorka podjęła na podstawie wyników eksperymentu na płytkach przez siebie umieszczonych. Uzyskano wynik - od 0,0017 do 0,0022 g/cm/rok, co odpowiada tempu rozpuszczania od 6,161 do 8,245 um/rok. Odnosząc się do wyników eksperymentów publikowanych w literaturze Autorka stwierdza, że trudno jest z tymi wynikami porównywać wyniki własne ze względu na różne warunki eksperymentów.

W **podrozdziale 6.3** Autorka podejmuje wyjaśnienie wpływu podłoża skalnego na powstawanie współczesnych żłobków odsączeniowych. Porównuje cechy podłoża z własego eksperymentu - wapienie paleozoiku i wapienie jury górnej - z wynikami badań zamieszczonymi w literaturze. Cechy litologiczne wapieni z eksperymentu Autorki są właściwie takie same: są to skały silnie scementowane, mają niską porowatość, są jednorodne pod względem wielkości ziarn budujących skałę i są praktycznie pozbawione domieszek niewęglanowych. Na takim podłożu rozwijają się żłobki o niewielkich rozmiarach, i to nie tylko te z eksperymentu Autorki, ale także znane z wielu innych eksperymentów i opisywane w licznych publikacjach. Autorka odpowiada także na postawione przez siebie pytanie, dlaczego żłobki takie nie formują się w wielu innych formacjach wapieni występujących na Wyżynie Krakowskiej, jak na przykład dość powszechnie występujących tu wapieni skalistych. Wskazuje ona, podobnie jak inni badacze dla innych regionów i eksperymentów, na cechy takie jak mniejsza spistość skał, duże zróżnicowanie wielkości ziarn, znaczna porowatość i wyższa zawartość domieszek niewęglanowych. Cechy te sprzyjają wnikaniu wody pod powierzchnię skał, przyczyniając się do ich

dezintegracji. Takie skały są podatne na wietrzenie, nie tworzą się na nich powierzchnie gładkie, więc nie sprzyjają skoncentrowanemu spływowi wody. Dyskusja zaprezentowana przez Autorkę w tym rozdziale pod dostarcza ciekawych argumentów i jest dobrze poparta wynikami z literatury.

W **podrozdziale 6.4** Autorka wyjaśnia cechy żłobków oraz omawia czynniki, które o tych cechach decydują. Wyróżnia dwa czynniki, koncentrację spływu i związane z tym punktowe zasilanie żłobków. Jest to fakt, ponieważ wszystkie żłobki uwzględnione w badaniach Autorki są usytuowane pod drzewami różnych gatunków. Z tego względu koncentruje się na cechach drzew, które decydują o koncentracji wody na drzewie i intensywności spływu wody po pniach. Na podstawie badań własnych oraz korzystając z doświadczeń publikowanych w literaturze Autorka wskazuje i uzasadnia, że najintensywniejszy spływ charakteryzuje buk, ze względu na geometrię, pokrój jego korony i gładką korę. Najmniejszą intensywnością charakteryzuje się sosna ze względu na znaczną szorstkość i chropowatość kory i ustawienie gałęzi, niekiedy nie sprzyjających koncentracji wody na pniu. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym koncentracji wody zasilającej żłobki jest skupianie spływu wody po stronie nachylonej pnia. W przypadku spływu wody po pniach strużkami niezależnymi, ma miejsce punktowe zasilanie wodą i w ten sposób powstają żłobki równoległe.

Omawiając geometrię żłobków Autorka zwraca uwagę na zmniejszanie się ich głębokości i szerokości. Na drodze spływu wody dochodzi do wypłykania i zaniku żłobków. Jest to spowodowane zmniejszaniem się agresywności wody wzdłuż drogi spływu. Cechy te eksponuje Autorka z badań własnych oraz wspiera te obserwacje doniesieniami literaturowymi. Przekrój żłobków jest na ogół U-kształtny, chyba że jest to żłobek o znacznej krętości i wtedy jest on asymetryczny. Wynika to z przemieszczenia strugi i jej energii na stronę wypukłą. Jest to zjawisko analogiczne do rzeki meandrującej, w której nurt przenosi się na stronę wypukłą, a brzeg na ogół jest bardziej stromy, a koryto asymetryczne. Rozszerzenia w górnej części żłobków, w ok. 60 %, są spowodowane obecnością zagłębień proksymalnych, które są zdaniem Autorki, wynikiem rozbryzgiwania się wody skapującej na powierzchnię skalną i bardzo intensywnego rozpuszczania skały. Takimi są żłobki formujące się pod sosnami, z których spływająca woda charakteryzuje się największą agresywnością. Innym procesem wpływającym na szerokość żłobków jest rozpuszczanie ich ścian i oboczne łączenie się żłobków sąsiadujących w jeden element. Powierzchnia żłobków zbadanych przez Autorkę jest gładka, co jej zdaniem jest wynikiem równomiernego rozpuszczania wszystkich komponentów skały. Jest to zdaniem Autorki cechą odróżniającą te żłobki od innych typów żłobków opisywanych w literaturze.

Większość badanych żłobków cechuje dużą krętość (rozdzielenie od żłobków o małej krętości jest arbitralne Autorki). Ok. 60 % żłobków o dużej krętości powstało na powierzchniach nachylonych do ok. 40°. Natomiast na powierzchniach o dużym nachyleniu, powyżej 60° dominują żłobki o małej krętości. Badania Autorki dowodzą, że żłobki o dużej krętości są wynikiem małej prędkości spływu i ograniczonej jej ilości. Mała dostawa wody, która jest na ogół obserwowana pod sosną, decyduje o tym, że powstające tam żłobki, niezależnie od nachylenia podłoża, mają znaczną krętość. W przypadku intensywnej dostawy wody, jak ma to miejsce pod bukiem, strużki wody spływają bezpośrednio w dół, zgodnie z nachyleniem powierzchni i wtedy formują się żłobki o prostym przebiegu.

Kolejny diskutowany przez Autorkę problem to układ przestrzenny żłobków i orientacja zespołów żłobków. W swoich badaniach Autorka opisuje dwa typy układu przestrzennego żłobków: układ równoległy i zbieżny (dendrytyczny). Układ równoległy dominuje na powierzchniach płaskich, znacznie nachylonych oraz gdy żłobki są znacznie oddalone od siebie. Układ zbieżny jest typowy dla powierzchni wklęsłych i dla żłobków o dużej krętości, na powierzchniach o niewielkim nachyleniu. Kolejnym czynnikiem wpływającym na rozmieszczenie żłobków, który podejmuje Autorka, jest obecność spękań podłoża, które zaburzają pierwotny układ przestrzenny żłobków w zespołach. Autorka stwierdziła także żłobki, z niewielkim przepływem wody, przecięte szczeliną, która na ogół przejmuje wodę, przez co

zaburzeniu ulega pierwotny układ przestrzenny żłobków. Wiek drzewa również ma wpływ na rozmieszczenie żłobków, ze względu na to, że wraz z wiekiem następuje rozrost drzewa i następuje kreowanie nowych linii spływu wody i zamieranie istniejących. Dlatego pod starszymi drzewami istnieją rozleglejsze zespoły złożone z wielu żłobków. Badania Autorki nie dostarczają jednoznacznych wniosków co do znaczenia ekspozycji powierzchni skalnej na formowanie się żłobków. Większość powierzchni ma ekspozycję na NW, W i SW. Jednakże dobór tych powierzchni nie jest losowy. Dlatego też Autorka, powołując się także na literaturę, właściwie nie formułuje, i słusznie, wniosku o znaczeniu i wpływie wiatrów wiejących w przewadze z kierunku zachodniego i niosących zanieczyszczenia ze Śląska na rozmieszczenie żłobków objętych badaniami Autorki.

Wyjaśnienie problemu wieku żłobków odsączeniowych w rejonie, w którym prowadzono badania, jest wobec obiektywnych zastrzeżeń obarczone dużym stopniem niepewności. Jedno, co nie ulega wątpliwości w wywodzie Autorki, to graniczny wiek żłobków - są one młodsze niż drzewa, pod którymi się znajdują. I tak najstarsze drzewo ma 156 lat, a najmłodsze niespełna 20 lat. Najwięcej drzew jest w przedziale wiekowym 41-60 lat. Autorka sugeruje, że potrzeba co najmniej kilku lat, aby woda mogła spływać po pniu. Zatem jeśli podążać tokiem myślenia Autorki, to wg wieku drzewa w Dolinie Eliaszków - 55 lat - wiek żłobków szacuje na nie więcej niż 50 lat. I podobny wiek sugeruje dla żłobków w Lasku Wolskim, gdzie wiek drzewa to ok. 67 lat. Pytanie i wątpliwość, jakie w tym miejscu się nasuwa, to czy żłobki formowały się razem z drzewem, nieomalże od jego początku, a może później, czy znacznie później? Zapewne zależało to od warunków i czynników determinujących formowanie się żłobków. Ta wątpliwość pozostaje.

Autorka podejmuje także problem oboczny do wieku żłobków, ale także interesujący z punktu widzenia tempa formowania się i „żywności” żłobków. Porównuje wyniki badań własnych z lat 2015-2018 i i wyniki innego badacza z roku 2007. Średnie wartości pH wynoszą wg Autorki 4,10 (najniższa 3,32), a wartości pH sprzed 17 lat były nieco niższe – średnia 3,82, a najniższa 2,76. Ponadto istotna jest także różnica przyrostu stężenia jonów Ca w wodzie wypływającej w stosunku do wody zasilającej. Otóż w badaniach z 2007 r. przyrost ten był znacznie większy i wynosił 10,82 mg/l, a wg Autorki obecnie średnia wartość wynosi 1,79 mg/l. Z tych porównań Autorka formułuje wniosek o większej agresywności wody zasilającej w tamtym okresie oraz że proces rozpuszczania był znacznie intensywniejszy niż obecnie. W konsekwencji stwierdza, że w tamtym okresie żłobki formowały się szybciej niż obecnie. Jako przyczynę spadku tempa formowania się żłobków Autorka podaje znaczne zanieczyszczenia powietrza wówczas i jego znaczące zmniejszenie w okresie badań własnych. A skoro powstawanie żłobków jest związane z kumulacją zanieczyszczeń w koronach i pniach drzew, które następnie są uwalniane z opadami, to należy zauważyć, że wówczas zanieczyszczenie atmosfery w skali regionalnej i ponad regionalnej wyrażone zawartością SO_2 było znacznie wyższe niż w okresie badań Autorki. A spadek koncentracji SO_2 skutkuje spadkiem stężenia jonów SO_4 , wg cytowanej przez Autorkę literatury o ok. 25 %. Z tego Autorka wyciąga przypuszczenie, a właściwie wniosek, że badane żłobki odsączeniowe w obecnej formie powstawały głównie u schyłku XX w. Ten wniosek o wpływie zanieczyszczeń i spadku tego wpływu wraz ze spadkiem zanieczyszczenia powietrza na formowanie się żłobków odsączeniowych Autorka wspiera powołując się na podobne wnioski z badań publikowanych w literaturze.

W ostatnim **podrozdziale 6.6** Autorka bardzo jednoznacznie opisuje różnice pomiędzy żłobkami odączeniowymi będącymi przedmiotem jej badań i formami podobnymi lub zbliżonymi, co do formy. Różnica polega na tym, że żłobki te powstają pod drzewami, pod wpływem wody spływającej z drzewa. Jest więc różnica pod względem warunków czy środowiska powstania żłobków, jak i genezy. I tym różnią się od dotychczas rozpoznanych form i opisanych w literaturze. Ponadto Autorka akcentuje fakt, że nie są szerzej znane, zbadane i opisane formy krasowe, jak te zbadane przez Autorkę, których

powstanie jest tak znacząco uwarunkowane antropogenicznym zanieczyszczeniem powietrza. A zatem usytuowanie żłobków pod drzewami oraz zanieczyszczenie powietrza, to warunki odróżniające obiekt badań Autorki od innych rejonów i badanych tam form krasowych, które Autorka przywołuje z literatury.

Rozprawę kończą **wnioski**. W sposób bardzo treściwy Autorka wypunktowuje najważniejsze osiągnięcia swoich badań. Uważam, że w tak skróconej formie wnioski te niezupełnie oddają ogrom i zakres badań oraz wartość uzyskanych wyników i wniosków z nich wynikających. Ale pełniejsze ich zaprezentowanie wymagałoby raczej szerszego podsumowania poprzedzającego te najważniejsze i skrótowo przedstawione wnioski.

Podsumowanie i uwagi końcowe

Rozprawę będącą przedmiotem niniejszej opinii uważam za dzieło wartościowe ze względu na:

- podjęcie trudnego pod względem realizacji ale niezmiernie ważnego w sensie poznawczym problemu badawczego,
- zgromadzenie ogromnego zasobu wyników badań własnych uzyskanych w trybie żmudnych prac i badań terenowych, w niełatwych czasem warunkach,
- bardzo obszerne i szczegółowe ale konieczne udokumentowanie uzyskanych wyników w formie figur i tabel zamieszczonych w tekście i w załącznikach,
- wyczerpującą i popartą wynikami innych badań publikowanych w literaturze interpretację, analizę i dyskusję uzyskanych wyników,
- bardzo dobry język rozprawy, klarowne prezentowanie wyników badań i formułowanie wniosków szczegółowych,
- ze względu na specyfikę podjętego problemu badawczego oraz oryginalność badań i uzyskanych wyników rozprawa ma znaczący wkład do dyscypliny nauki o Ziemi i środowisku
- nieliczne uchybienia w formułowaniu tekstu i równie nieliczne wątpliwości Autora wyrażone w tekście niniejszej opinii, mogą być przedmiotem dyskusji podczas obrony rozprawy doktorskiej.

Wniosek

Na podstawie sporządzonej opinii stwierdzam, że praca bazuje na oryginalnych badaniach własnych Autorki i jest dziełem samodzielnym. Autorka wykazała się umiejętnością programowania i realizacji badań naukowych, znajomością stosownej literatury, a więc wiedzą teoretyczną, umiejętnością formułowania celów badawczych, prezentowania wyników, dyskusji oraz wnioskowania. Autorka tą rozprawą dała dowód, że jest dojrzałą badaczką i może podejmować dalsze wyzwania badawcze. Nieliczne uchybienia, a raczej niedopowiedzenia lub wątpliwości Autora niniejszej opinii nie umniejszają wysokiej wartości rozprawy.

Odnosząc się zatem do przepisów określonych w art. 13 ust.1 Ustawy z dnia 13.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki stwierdzam, że rozprawa jest oryginalnym i samodzielnym osiągnięciem Autorki, a zatem:

- stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego,
- potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną doktorantki,
- potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wobec powyższego wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr Anny Gądek do dalszego postępowania.

