

STRESZCZENIE

Różnorodność biologiczna, w tym przede wszystkim różnorodność taksonomiczna oraz funkcjonalna roślin i jej wpływ na przebieg procesów ekosystemowych i funkcjonowania ekosystemów, pozostaje od dawna kluczowym przedmiotem badań nauk przyrodniczych na całym świecie. Pewne aspekty relacji między różnorodnością taksonomiczną i funkcjonalną a procesami oddychania gleby zostały poznane tylko w niektórych ekosystemach naturalnych, półnaturalnych oraz agrocenozach. Działalność człowieka w coraz większym stopniu wpływa na środowisko naturalne, istnieje pilna potrzeba zrozumienia, w jaki sposób zmiany te wpływają m.in., na oddychanie gleby, a tym samym na globalny obieg węgla.

Wielu badaczy uważa, że nowo powstałe siedliska będące efektem ubocznym eksploatacji surowców mineralnych stwarzają niepowtarzalną okazję do badania procesów sukcesji pierwotnej w szerokim zakresie różnorodnych warunków siedliskowych. Specyficzne biotyczne i abiotyczne warunki siedliskowe prowadzą do zrzeszania się tzw. *non-analogous species composition* zbiorowisk roślinnych o nieznanym dotąd składzie gatunkowym i prowadzą do powstania ekosystemów nazywanych *Novel Ecosystems* (*sensu* Hobbs i in., 2013; Keith i in. 2009). Według wielu badaczy nowe ekosystemy reprezentują odmienne niewystępujące wcześniej jednostki ekologiczne i powinny być identyfikowane i poznawane zgodnie z własnymi, niezależnie opracowanymi zasadami badania procesów biologicznych, i środowiskowych.

Górnictwo, eksploatacja surowców mineralnych znacząco przekształca krajobraz naturalny. Skomplikowane warunki siedliskowe obszarów pogórnich stanowią unikatowy układ eksperymentalny, który pozwala w wielkiej skali prowadzić badania spontanicznych procesów przyrodniczych. Stwarza to podstawę do realizacji studiów nad zrozumieniem funkcjonowania *Novel Ecosystems* (nowych ekosystemów), złożoności relacji między mikroorganizmami, roślinami oraz warunkami abiotycznymi i biotycznymi. Badania prowadzone w układach typu *Novel Ecosystems* pozwolą na poszerzenie rozumienia zależności w ekosystemach naturalnych i półnaturalnych.

Celem pracy jest **przeprowadzenie kompleksowej analizy wpływu czynników biotycznych i abiotycznych na przebieg procesów uwalniania dwutlenku węgla** w płatach roślinności spontanicznej występujących na mineralnym podłożu nowych ekosystemów rozwijających na hałdach skały płonnej, które powstały w związku z eksploatacją węgla kamiennego.

W ramach niniejszej pracy przeprowadzono kompleksową analizę wpływu warunków abiotycznych i biotycznych, różnorodności taksonomicznej i funkcjonalnej, spontanicznej roślinności na ilość uwalnianego CO₂ z mineralnego podłoża zwałów skały płonnej w nowo powstających ekosystemach, wykorzystując różnorodne metody badawcze. W celu określenia biomasy nadziemnej dominanta i gatunków towarzyszących zastosowano techniki pomiaru masy roślinnej, umożliwiające dokładne wyznaczenie udziału poszczególnych gatunków w strukturze zbiorowisk roślinnych i ekosystemu. Analizę procesów metabolicznych mikroorganizmów glebowych wspierały pomiary respiracji podłoża mineralnego, umożliwiając ocenę aktywności metabolicznej. Dodatkowo określono aktywność enzymatyczną, wyrażoną przez aktywność dehydrogenazy, ureazy, fosfatazy kwaśnej i zasadowej, co pozwoliło na ocenę funkcji biologicznych gleby oraz procesów biogeochemicznych. Analiza fauny glebowej, oparta na ilościowej ocenie obecności wazonkowców i nicieni, stanowiła kluczowy aspekt badawczy, pozwalający na zrozumienie dynamiki ekosystemu glebowego oraz relacji między organizmami. Przeprowadzono szczegółowe analizy fizykochemiczne podłoża, obejmujące m.in. pomiary pH, zawartości składników odżywczych oraz tekstury gleby. Te badania miały na celu zrozumienie fizycznych i chemicznych właściwości mineralnego podłoża gleby, kluczowych dla utrzymania różnorodności biologicznej oraz funkcjonowania procesów ekologicznych. Metody badawcze wykorzystane w ramach niniejszej pracy stanowiły kompleksowy zestaw narzędzi analizy ekosystemu, umożliwiający jak najpełniejsze zrozumienie jego struktury, funkcjonowania oraz interakcji między organizmami. Otrzymane wyniki mogą znacząco przyczynić się do rozwoju wiedzy przyrodniczej oraz mieć praktyczne implikacje dla ochrony i zarządzania środowiskiem naturalnym.

W pierwszej części rozprawy celem było zbadanie zależności między czynnikami abiotycznymi mineralnego podłoża zwałów skały płonnej a intensywnością uwalniania dwutlenku węgla. Skupiono się na analizie poziomów oddychania gleby w kontekście parametrów abiotycznych, takich jak zawartość wody, tekstura gleby, pH, zdolność zatrzymywania wody (WHC), wymienne kationy, zawartość azotu oraz przewodność elektrolityczna (EC). Porównano te parametry z uwalnianiem CO₂ z hałd kopalnianych w ekosystemach typu *Novel Ecosystem* w strefie korzeniowej płatów spontanicznych typów roślinności. Wbrew oczekiwaniom intensywność respiracji mineralnego podłoża zwałów skały płonnej nie jest związane wyłącznie z zawartością węgla. Wszystkie analizowane czynniki siedliskowe były istotne statystycznie, poza zawartością azotu ogólnego.

W kolejnym etapie badając zależności między czynnikami biotycznymi mineralnego podłoża zwałów skały płonnej a intensywnością uwalniania dwutlenku węgla, skoncentrowano się na analizie aktywności enzymatycznej, obecności nicieni i wazonkowców (liczebności) oraz ilości biomasy roślinności w kontekście różnorodności gatunkowej, oraz ilości materii organicznej (SOM *soil organic matter*) w mineralnym podłożu glebowym. Hipoteza badawcza zakładała, że w typach roślinności z większą ilością materii organicznej procesy respiracji podłoża będą przebiegały intensywniej, oraz że typy roślinności o wyższej aktywności enzymatycznej i liczniejszej obecności fauny glebowej w strefie korzeniowej charakteryzują się większą intensywnością oddychania podłoża mineralnego. Nasze wyniki pokazały, że podłoże płatów roślinności o większej ilości biomasy wykazują wyższe wartości respiracji, oddychają intensywniej. Badania wykazały, że ta zależność w płatach spontanicznej roślinności, tworzących nowo powstające ekosystemy na siedliskach mineralnych zwałów skały płonnej powstających po wydobyciu węgla kamiennego, jest dodatnio silna i statystycznie istotna między parametrami oddychania podłoża mineralnego i ilością biomasy roślinnej. Aktywność enzymów glebowych, takich jak dehydrogenaza, kwaśna fosfataza i zasadowa fosfataza w naszych badaniach była dodatnio skorelowana z ilością uwalnianego CO₂, jednak nie było korelacji między aktywnością ureazy a emisją CO₂ z gleby.

W trzeciej części pracy celem było określenie zależności między różnorodnością spontanicznej roślinności a intensywnością procesu respiracji mineralnego podłoża zwałów skały płonnej. Na podstawie wiedzy dostępnej z badań roślinności w ekosystemach naturalnych i półnaturalnych, przyjęto hipotezę, która zakłada, że im większa różnorodność w danym płacie roślinności, tym intensywniejsza respiracja. W pracy w pierwszej kolejności zidentyfikowano gradienty środowiskowe wpływające na różnorodność badanej roślinności zarówno pod względem taksonomicznym, jak i funkcjonalnym. Następnie przeanalizowano zależności między różnymi miarami zróżnicowania roślinności a parametrami oddychania podłoża glebowego. Ustalono, że intensywność oddychania podłoża mineralnego różni się w poszczególnych typach roślinności. Wbrew naszym oczekiwaniom oddychanie, uwalnianie CO₂ z podłoża mineralnego, było najwyższe w mniej zróżnicowanych typach roślinności. Wśród komponentów funkcjonalnych tylko dyspersja funkcjonalna (wskaźnik niskiego filtrowania siedlisk) jest słabo ujemnie i istotnie skorelowana z respiracją (SRL). Jednak wszystkie wskaźniki różnorodności funkcjonalnej są skorelowane, co wskazuje, że warunki sprzyjające zrzeszaniu się zbiorowisk roślinnych na mineralnym podłożu na hałdach skały płonnej w sposób odmienny niż w ekosystemach półnaturalnych i naturalnym. W związku

z tym wykazano, że respiracja jest zależny od wielu czynników abiotycznych i biotycznych w nowych ekosystemach i wymaga dalszych badań.

Poznanie i zrozumienie funkcjonowania układów typu *Novel Ecosystems* nowych ekosystemów oraz procesów prowadzących do współwystępowania najlepiej przystosowanych organizmów, oraz ich wzajemne relacje, umożliwi wykorzystanie tej wiedzy do wspomagania regeneracji funkcjonowania środowiska (usługi ekosystemowe i jakość życia ludzi). Wspomaganie powstawania układów typu nowych ekosystemów można uznać za lepszy sposób zarządzania terenami pogórnymi, niż podejmowanie ryzyka utraty czasu i środków finansowych na przywrócenie np. hałd pokopalnianych do stanu poprzedniego.

Zrozumienie zależności pomiędzy różnymi czynnikami abiotycznymi i biotycznymi oraz procesem oddychania gleby jest kluczowe dla oceny wpływu zmian środowiska na funkcjonowanie ekosystemów glebowych. Ponieważ działalność człowieka w coraz większym stopniu wpływa na środowisko naturalne, istnieje pilna potrzeba zrozumienia, w jaki sposób zmiany te wpływają na oddychanie gleby, a tym samym na globalny obieg węgla.

Podsumowując, przeprowadzone badania przynoszą nową wiedzę dotyczącą uwarunkowań zróżnicowania roślinności oraz oddziaływań między elementami biotycznymi i abiotycznymi na siedliskach mineralnych hałd pogórnymi. Do tej pory nie prowadzono szerokich analiz z uwzględnieniem czynników abiotycznych oraz biotycznych na pogórnymi podłożach mineralnych. Wnioski płynące z tych badań, mogą być kluczowe dla opracowania strategii zarządzania środowiskiem przyrodniczym oraz ochrony bioróżnorodności, uwzględniając wpływ różnych czynników na procesy respiracji przebiegające w podłożach mineralnych.

Postawione w pracy hipotezy zostały sfalsyfikowane. Wskazuje to, że przebieg badanych procesów: relacji między czynnikami biotycznymi i abiotycznymi, różnorodnością zbiorowisk roślinnych spontanicznie rozwijających się na mineralnym podłożu zwałów skały płonnej a procesami uwalniania dwutlenku węgla, w nowo powstających ekosystemach (*Novel ecosystems*), jest odmienny, niż w ekosystemach naturalnych i półnaturalnych.

Słowa kluczowe: respiracja gleby, hałdy pokopalniane, czynniki biotyczne, czynniki abiotyczne, różnorodność taksonomiczna, różnorodność funkcjonalna, nowe ekosystemy.