**Streszczenie**

Szybki rozwój gospodarczy, postępujący od końca XVIII w. i obejmujący również rolnictwo doprowadził do gwałtownego wzrostu stężenia gazów cieplarnianych (GHG)
w atmosferze, takich jak metan (CH4) i ditlenek węgla (CO2), skutkując postępującym globalnym ociepleniem. Rolnictwo odpowiada za 10-12% całkowitej, antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych, w tym za blisko połowę globalnej emisji metanu. Z drugiej strony, ditlenek węgla jako jeden z najistotniejszych gazów cieplarnianych również pochodzi w dużej mierze z produkcji rolniczej. Roczna, globalna emisja CO2, wynikająca ze zmian sposobów użytkowania gruntów jest oszacowana na około 1,3 Gt C. Stanowi to blisko połowę węgla, który w ciągu roku zostaje globalnie zdeponowany na lądzie tj. 3 Gt C.

Nasilające się zmiany klimatyczne wraz z intensyfikacją rolnictwa prowadzą do degradacji gleb. Rzutuje to na spadek produktywności pól uprawnych, lecz w pierwszej kolejności degradacja gleb objawia się w postaci pogorszenia ich struktury i właściwości fizykochemicznych, a także spadku bioróżnorodności i aktywności mikrobiologicznej.
W dalszej perspektywie prowadzi to do zubożenia całych ekosystemów oraz problemów
z zaopatrzeniem w żywność.

Postępująca degradacja gleb i nasilające się zmiany klimatyczne sprawiają, że coraz intensywniej poszukuje się rozwiązań, prowadzących do zatrzymania lub opóźnienia tych niekorzystnych zjawisk. Wzrost produkcji roślinnej doprowadził również do znacznego nagromadzenia resztek pożniwnych i odpadów roślinnych pochodzących z przemysłu przetwórczego, stąd poważnym wyzwaniem jest racjonalne zagospodarowanie rosnących ilości biomasy odpadowej. Produkcja biowęgla i wzbogacenie gleb biowęglem może okazać się rozwiązaniem pozwalającym sprostać współczesnym wyzwaniom, przed którymi stoi obecnie rolnictwo, tj. ochrona gleb przed degradacją, ograniczenie emisji i zwiększenie pochłaniania gazów cieplarnianych z rolnictwa oraz racjonalne zagospodarowanie biomasy odpadowej.

W niniejszej rozprawie doktorskiej określono wieloaspektowy potencjał aplikacyjny wybranych biowęgli, jako materiału poprawiającego właściwości i aktywność metanotroficzną gleby płowej. Celem niniejszej pracy była charakterystyka biowęgli powstałych z biomasy odpadowej (zrębków drzewnych, łusek słonecznika, łodyg malin i łodyg ziemniaków), obejmująca m.in. właściwości fizykochemiczne i potencjał biowęgli do pochłaniania metanu
z atmosfery, a także wieloaspektowa ocena roli i przydatności wybranych biowęgli
w ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych z gleby płowej.

Materiał badawczy stanowiły próbki biowęgla, powstałe w procesie pirolizy
z wybranych rodzajów biomasy odpadowej tj. zrębków drzewnych, łusek słonecznika, a także łodyg malin i łodyg ziemniaków, stanowiących nową w tego typu zastosowaniach biomasę. Materiałem badawczym w kolejnych etapach pracy była gleba płowa (*Haplic Luvisol*), pobrana z poletek doświadczalnych utrzymywanych jako ugór, na których zaaplikowano biowęgiel
ze zrębków drzewnych w dawkach 10, 20 i 30 Mg ha-1, oraz biowęgiel z łusek słonecznika, zastosowany w szerokim zakresie dawek od 1 do 100 Mg ha-1.

Wykonano zaplanowane analizy fizykochemiczne materiału badawczego tj. pomiar odczynu (pH) i potencjału oksydoredukcyjnego (Eh), wyznaczenie zawartości węgla organicznego w glebie (SOC), rozpuszczonego węgla organicznego (DOC), i azotu azotanowego (V) (N-NO3) oraz zdolności zatrzymywania wody (pojemności wodnej, WHC). Próbki biowęgla oraz pobrane z poletek próbki gleby z dodatkiem biowęgla inkubowano
w dwóch warunkach wilgotności (odpowiadającym 60% i 100% WHC) w temperaturze 25 ºC,
z dodatkiem 1% CH4 (obj.). W tym czasie prowadzono regularne pomiary składu atmosfery gazowej w przygotowanych próbach za pomocą chromatografu gazowego. Wyizolowano również DNA z wybranych wariantów doświadczenia oraz przeprowadzono sekwencjonowania następnej generacji (NGS). Przeprowadzona analiza pozwoliła na scharakteryzowanie społeczności mikroorganizmów zasiedlających badaną glebę oraz lepsze poznanie zmian jakie zachodzą w mikrobiocie glebowej na skutek aplikacji biowęgla do gleby.

Badania wykazały, iż rodzaj biomasy, z której wytworzono biowęgiel (materiał wsadowy) oraz wilgotność karbonizatu silnie determinowały jego zdolność pochłaniania CH4. Ponadto w obydwu testowanych wilgotnościach biowęgiel z łodyg ziemniaków (łętów) wykazywał największą szybkość pochłaniania CH4, co wskazuje na wysoką użyteczność nowego biowęgla jako sorbentu CH4, a innowacyjność i praktyczność tego rozwiązania znalazła swoje odzwierciedlenie w postaci osiągnięcia patentowego.

Oprócz badań samych biowęgli, oceniono także ich potencjał mitygacji globalnego ocieplenia po dodatku do gleby. Doświadczenie, w którym uboga gleba płowa została wzbogacona biowęglem ze zrębków drzewnych, umożliwiło ocenę wpływu wybranych dawek biowęgla na środowisko glebowe z uwzględnieniem aspektu czasu oddziaływania biowęgla
w glebie. Udowodniono, iż dodatek biowęgla w dawce 30 Mg ha-1 podniósł m.in. pH
i pojemność wodną gleby, zwiększył liczebność i bioróżnorodność zbiorowisk metanotroficznych, doprowadził do wzrostu udziału bakterii metanotroficznych z rodzaju *Methylocystis*, a w konsekwencji trwale poprawił aktywność metanotroficzną gleby płowej. Co również istotne, obserwowany początkowo wzrost emisji CO2 nie utrzymał się po pięciu latach od wprowadzenia biowęgla do gleby.

Przedstawione w kolejnych badaniach efekty zastosowania biowęgla z łusek słonecznika w dawkach 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 Mg ha-1 również potwierdziły wielowymiarowe korzyści wynikające z tego zabiegu. Gleba płowa wzbogacona biowęglem
z łusek słonecznika w dawkach ≥ 40 Mg ha-1 w glebie o wilgotności odpowiadającej
60% WHC, a także ≥ 20 Mg ha-1 w glebie wysyconej wodą (100% WHC), charakteryzowała się zwiększoną zdolnością utleniania CH4 w porównaniu z kontrolą. Podczas gdy dodatek biowęgla ze zrębków drzewnych wzbogacił zbiorowiska metanotroficzne o bakterie z rodzaju *Methylocystis*, wysokie dawki (60, 80, 100 Mg ha-1) biowęgla z łusek słonecznika doprowadziły do znacznego wzrostu udziału metanotrofów z rodzaju *Methylobacter*. Wyniki przeprowadzonych doświadczeń potwierdzają pozytywną rolę badanych biowęgli
w kształtowaniu środowiska glebowego i stymulacji aktywności metanotroficznej gleby płowej.

Mimo, iż wprowadzanie biowęgla do gleby ma bardzo długą historię, to w naszej części świata, zabieg ten pozostają jak do tej pory głównie w sferze badań. Badania te są jak najbardziej uzasadnione, ponieważ biorąc pod uwagę trwałość biowęgla i potencjalny czas jego odziaływania, szczególnie istotne jest poznanie długofalowego wpływu tego dodatku na środowisko glebowe. Przedstawiona praca doktorska, ukazująca różne aspekty działania biowęgli (wytworzonych zarówno z szeroko dostępnej, jak i dopiero testowanej, niszowej biomasy) dostarcza informacji pomocnych w podjęciu decyzji o stosowaniu wzbogacenia gleby biowęglem, jak również może przyczynić się do upowszechnienia tego zabiegu.

**Słowa kluczowe:** gleba płowa (*Haplic Luvisol*), biowęgiel, efekt cieplarniany, metanotrofia, *Methylocystis*, *Methylobacter*