

Szkoła letnia „Zintegrowana metodologia pomiarów przepływu węgla glebowego” (Monte Bondone, Włochy, 12–24 IX 2004 r.)

Szkoła letnia została zorganizowana przez Europejską Fundację Nauki (ESF) i Centrum Ekologii Alpejskiej (*Centro di Ecologia Alpina*) w Monte Bondone koło Trydentu we Włoszech. Centrum to mieści się na wysokości 1500 m n.p.m. w Dolomitach pośród wspaniałych lasów i łąk alpejskich. Było nas 28 osób z 12 krajów, w tym 3 z Polski. Nasi wykładowcy przybyli z 7 krajów. Zatem było to iście międzynarodowe grono, które bardzo szybko się zintegrowało w ciągu pierwszych dni zajęć. *Spiritus movens* tego przedsięwzięcia byli profesor Werner Kutsch z Uniwersytetu w Kiel w Niemczech (*Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*), dr Andreas Heinemeyer z Uniwersytetu w Yorku (*University of York*) w Wielkiej Brytanii oraz dr Michael Bahn z Uniwersytetu w Innsbrucku w Austrii (*Leopold-Franzens Universität Innsbruck*). Zajęcia (z przerwami na lunch i kawę popołudniową) odbywały się od 9 rano do 22.30. Byliśmy umęczeni wieczorem, lecz wiedza nam przekazywana była zajmująca. Jednego wieczoru „zbuntowaliśmy się” i przynieśli na ostatni wykład poduszki, które jednocześnie wyciągnęliśmy, kładąc je na ławkach.

Głównym celem szkoły było przekazanie jej uczestnikom wiedzy o obecnie wykorzystywanych technikach stosowanych do pomiaru zasobów i przepływu węgla glebowego. Celem zajęć było także testowanie, porównywanie i udoskonalanie dostępnych ostatnio procedur badawczych, głównie stosowanych w terenowych pomiarach dyfuzji CO₂ z gleb ekosystemów trawiastych i leśnych, oraz interpretacja danych i ocena udziału poszczególnych komponentów gleby (korzenie, mikroorganizmy) w gospodarce węglem. Ponadto prezentowano różne sposoby modelowania krążenia węgla. Ogółem wygłoszono 22 wykłady główne, uczestnicy zaprezentowali 9 referatów dotyczących aktualnie prowadzonych projektów badawczych, ponadto przedstawiono 5 prezentacji wyników z doświadczeń terenowych i laboratoryjnych przeprowadzonych w ramach szkoły.

We wstępnym wykładzie Werner Kutsch omówił ważność badania procesów przepływu węgla. Przy obecnie obserwowanych zmianach klimatycznych nie wiadomo jak gleby reagują na podwyższenie temperatury powietrza i zmiany ilości opadów. Ważne jest w tym kontekście ocenienie, jak utrzymać stały poziom żyzności gleby. Czynniki głównymi regulującymi odpływ CO₂, w tym dyfuzję, są temperatura i wilgotność. Czynniki te tłumaczą w 50–90% zmienność w ilości uwalnianego CO₂ w badaniach krótkookresowych. Natomiast zmien-

ność czasową i przestrzenną odpływu węgla z gleby można ocenić w badaniach długookresowych.

Jukka Pumpanen (Finlandia) omówił różne rodzaje urządzeń służących do pomiaru CO_2 glebowego, począwszy od pojemników otwartych dla przepływu powietrza, a kończąc na pojemnikach zamkniętych, bez wymiany powietrza. Z reguły stosuje się analizę gazu poprzez absorpcję w podczerwieni. Klasyczne metody pomiaru zawartości CO_2 poprzez absorpcję gazu w roztworze zasady potasowej lub sodowej oraz w granulowanym wapnie dalej są stosowane w badaniach jako równie dobre jak poprzednio wzmiankowane metody. Niezawodność systemów nie była związana z zasadą pomiaru gazu. Metody przepływowe i nieprzepływowe dają dobre wyniki, choć te drugie dają pomiary o 4–14% niższe. Ta informacja była ważna, gdyż potwierdzała fakt, że klasyczne techniki pomiarów respiracji gleby są nadal traktowane jako pełnowartościowe.

Ivan Janssens (Belgia) omówił znaczenie typu roślinności w uwalnianiu CO_2 . Produktywność zespołów roślin, która jest zależna od dopływu węgla, składników pokarmowych z gleby, ilości opadów i nasłonecznienia itp., determinuje późniejsze jego uwalnianie. Prelegent opisał badania swojego zespołu, które potwierdziły hipotezę, że udział respiracji gleby w całkowitym oddychaniu ekosystemu jest znacznie większy w okresie zimowym niż letnim. W skali roku wielkość oddychania gleby w lasach stanowi połowę całkowitej produkcji brutto (GPP) i 63% całkowitego oddychania ekosystemu (TER). W tym kontekście interesujący był wykład Daniela Eproma (Francja), w którym autor opisywał badania nad oceną respiracji autotrofów i heterotrofów glebowych. Oddychanie gleby stanowi bowiem 2/3 wielkości tego parametru u roślin. Porównywano respirację gleby na poletkach, na których eliminowano wrastanie korzeni roślin do gleby, z poletkami z normalnym wzrostem korzeni. Okazało się, że zmiany w oddychaniu żywych (będących częścią układu autotroficznego) i martwych (rozkładających się przy udziale heterotrofów) korzeni nie przebiegały równolegle w sensie intensywności i determinowały ilość dyfundowanego z gleby CO_2 . Wraz ze starzeniem się zespołów roślin i wzrostem ich biomasy wzrasta udział oddychania autotrofów i wartość ich współczynnika metabolicznego Q_{10} w porównaniu z heterotrofami.

Udział korzeni roślin w respiracji gleby, poprzez analizę zależności oddychania korzeni od zmian środowiskowych (temperatura) i dostępności składników pokarmowych, były także szeroko omówione i zademonstrowane w doświadczeniach laboratoryjnych przez Lindsey Atkinson (W. Brytania) i Michaela Bahna (Austria). Oddychanie korzeni stanowi 8–52% CO_2 związanego przez rośliny w fotosyntezie oraz 33–60% całkowitego oddychania gleby. L. Atkinson omawia-

ła zjawisko aklimacji roślin (zmiany przystosowawcze ustroju powstające wskutek stałego przebywania organizmu w nowych warunkach klimatycznych, jest to również proces odwracalny) do zmian klimatycznych, w tym przypadku spadku temperatury. Następować może wtedy wzrost aktywności metabolicznej korzeni. Aby ocenić zakres tych zmian trzeba badać rozpiętość wartości czynnika metabolicznego Q_{10} oraz zakres aklimacji roślin przy zmianie temperatury otoczenia. Dane tego typu mogą posłużyć do oceny oddychania gleb w warunkach zmian klimatycznych i prognozowania dynamiki krążenia węgla w przyszłości.

Znaczący dla mnie był fakt, że niewiele miejsca poświęcono roli zwierząt glebowych w gospodarce węglem, podczas gdy oddychanie mikroorganizmów zostało obszernie omówione (H. Insam, Austria). Phil Ineson (W. Brytania) przedstawił rolę fauny glebowej w gospodarce węglem na przykładzie wazonkowców na torfowiskach w Wielkiej Brytanii. Ogółem stwierdza się, że rola fauny glebowej jest bardzo mała, gdyż stanowi ona niewielki procent aktywnych metabolicznie komponentów glebowych. Z drugiej zaś strony Markus Reichstein (Niemcy) w analizie modelowania oddychania gleby stwierdził, że organizmy glebowe, jak mikroflora i fauna, i ich interakcje są elementem zupełnie niedocenionym w tego typu badaniach. Tymczasem czynniki biotyczne są równie ważne jak abiotyczne. Możliwe jest też rozdzielenie tych czynników i analiza ich znaczenia, nawet w skali kontynentalnej, w oddychaniu gleb. M. Szanser na podstawie eksperymentów terenowych nad wpływem zadrzewień śródpolnych na glebę przylegających pól ornych wskazał na istotną rolę napowierzchniowej fauny glebowej w gospodarce węglem. W obecności zwierząt bezkręgowych wystąpił wzrost aktywności biologicznej gleby i przyspieszenie rozkładu ściółki.

Sporo czasu poświęcono omówieniu zagadnień związanych z analizą wpływu przepływu mas powietrza oraz innych czynników atmosferycznych (ciepło, wilgotność, zanieczyszczenia) na wielkość uwalniania i drogi przemieszczania się CO_2 w ekosystemach. Jedną z takich metod służących do oceny tego zjawiska jest ocena kowariancji wirów (*Eddy Covariance*) (I. Janssens, Belgia, B. Longdoz, Francja, J. Pumpanen, Finlandia, M. Rodeghiero, Włochy).

Nina Buchmann (Szwajcaria) przedstawiła metody izotopowe wykorzystywane w badaniach nad krążeniem węgla. Profesor Phil Ineson wraz z zespołem (W. Brytania) zademonstrował laboratorium terenowe do oznaczania udziału izotopów w emisji CO_2 . Był to wielki samochód – laboratorium, z którego wiodły dziesiątki metrów cienkich rurek podłączonych do komór z otwartym przepływem ustawionych na powierzchni gleby. Poprzez te urządzenia powietrze dostarczano do analizatora gazów w samochodzie i skład izotopowy CO_2 był na bieżąco oceniany.

Problemy związane z oceną zasobów węgla w glebie omówił m.in. Pete Falloon (W. Brytania) na podstawie badań z wykorzystaniem powszechnie stosowanych modeli czasowych i przestrzennych nad krążeniem węgla w różnych ekosystemach lądowych. Najczęściej wykorzystuje się w tych badaniach modele Rothamstedt i CENTURY. Pierwszy z nich powstał w Wielkiej Brytanii i stosowano go w badaniach nad glebami ornymi, drugi zaś został skonstruowany w USA podczas badań nad glebami preriowymi i jest wykorzystywany w analizach ekosystemalnych. W modelu Rothamstedt bierze się pod uwagę frakcje łatwo i trudno rozkładalne materii roślinnej, biomasę mikroorganizmów, zhumifikowaną materię organiczną, CO₂ itp. Natomiast w modelu CENTURY uwzględnia się dodatkowo biomasę podziemną i nadziemną roślin oraz masę ściółki i wyłukiwany węgiel. Ocenia się też stosunek zawartości lignin do azotu, C/N w materiale roślinnym oraz dopływ azotu atmosferycznego do gleby.

Zajęcia w szkole zakończyły się prezentacją wyników badań terenowych przez kilkusobowe zespoły słuchaczy. Ciekawy był fakt, że porównanie różnych urządzeń do pomiarów CO₂ w terenie, które uczestnicy ćwiczeń lub wykładowcy przywieźli ze sobą, nie wykazało dużych różnic między nimi. Natomiast ubocznym efektem badań była obserwacja, że jeżeli dużo ludzi przebywało w okolicy aparatów, to stwierdzano zmiany w emisji CO₂ (podwyższenie lub czasem obniżenie) związane z zakłóceniem funkcjonowania gleby. Ja byłem w zespole, który analizował wpływ ścinania części nadziemnych roślin na respirację gleby łąkowej. Zabieg ten obniżał emisję CO₂ następnego dnia po wycięciu roślin, wystąpił też wzrost uwilgotnienia gleby. W konkluzji stwierdzono, że nie da się jednoznacznie ocenić, czy należy ścinać części nadziemne roślin przy analizie respiracji gleby.

W ciągu tego okresu intensywnej pracy mieliśmy wolny czas tylko w ostatni weekend. W sobotę po południu udało się nam wybrać na wycieczkę górską, podczas której pogoda nam sprzyjała, jak zresztą przez prawie cały czas trwania zajęć. Natomiast w niedzielę pojechaliśmy na wycieczkę do Trydentu, gdzie degustowaliśmy włoską pizzę. Miasto Soboru Trydenckiego jest położone malowniczo w dolinie otoczonej wysokimi ścianami Dolomitów.

Maciej Szanser