



# METODYKA

**Maciej Szanser**

Zakład Ekologii Gleby  
Instytutu Ekologii PAN  
Dziekanów Leśny  
05-092 Łomianki

## Krytyczny przegląd metod oznaczania dyfuzji CO<sub>2</sub> stosowanych w ekologicznych badaniach gleby

Critical review of methods measuring CO<sub>2</sub>  
release in ecological investigations of soils

### 1. Wstęp

Przemiany węgla są istotnymi wskaźnikami intensywności procesów biotycznych i abiotycznych zachodzących w glebie.

Jednym ze sposobów badania mineralizacji węgla jest ocena dyfuzji CO<sub>2</sub> z gleby (Singh i Gupta 1977). Dyfuzja CO<sub>2</sub> jest miarą intensywności wszystkich procesów glebowych, zarówno biologicznych — oddychania mikroorganizmów, korzeni oraz fauny glebowej, jak i niebiologicznych (fizyczno-chemicznych) — chemicznego utleniania (Lundergardh 1927 wg Singha i Gupty 1978). Ten ostatni proces fizyczno-chemiczny jest szczególnie zaznaczony przy wysokich temperaturach (Bunt i Rovira 1954). W glebach wapiennych, tzn. zawierających CaCO<sub>3</sub> mogą powstawać w wyniku rozkładu węglanów duże ilości CO<sub>2</sub>. Proces ten może stanowić 60% całkowitej dyfuzji dwutlenku węgla (Coleman i in. 1980). Badania dyfuzji CO<sub>2</sub> mają istotne znaczenie, gdyż dają możliwość szybkiej oceny aktywności gleby bez zbytejnego naruszenia jej struktury.

Porównania oznaczeń dyfuzji dla różnych środowisk dokonali Schlessinger (1977), Singh i Gupta (1978) oraz Coleman i in. (1980).

W tabeli I przedstawiono zakresy wartości dyfuzji CO<sub>2</sub> glebowego w różnych typach środowisk strefy umiarkowanej otrzymane dwiema metodami. Najniższą dyfuzją CO<sub>2</sub> charakteryzują się środowiska podmokłe. Natomiast pozostałe systemy wykazują znaczne podobieństwo pod względem wartości oddychania. Wydaje się, że ten fakt znajduje

Tab. I. Zakresy dyfuzji CO<sub>2</sub> (mg · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>) średnio za sezon wegetacyjny przy użyciu dwóch metod badawczych w różnych środowiskach strefy umiarkowanej  
 Ranges of CO<sub>2</sub> release in mg · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>, measured by two methods, during the vegetation period in different environments of temperate zone

Środowisko Environment	Absorpcja w ługu (roztwór) Absorption method (alkali solution)		Absorpcja w podczere- wieni Infrared gas analysis	Autorzy Authors
	statyczna static	przepływ po- wietrza przez badany układ air current		
Lasy Forests	242—449(13) max 1170—2340 <sup>a</sup>	4376—5263(3)	750—830(1)	Takai i in. (et al.) (1977) Singh i (and) Gupta (1977)
Łąki Meadows	189—573(15) max 2799 <sup>b</sup>	8130—9549(1)	135—493(3)	Singh i (and) Gupta (1977) Redmann i (and) Abouguendia (1978) Coleman i in. (et al.) (1980) Szanser (nie publ. — unpubl.)
Pola uprawne Croplands	268—440(3) <sup>c</sup>	565—613(2)	3300(1)	Singh i (and) Gupta (1977)
Środowiska podmokłe Wetlands	137—280(3) <sup>d</sup>	—	—	Singh i (and) Gupta (1977)

(1), (2) itd. — Liczba środowisk badanych. <sup>a</sup> Lundegardh 1924 wg Singha i Gupty (1977).  
<sup>b</sup> Makarow 1958 wg Singha i Gupty (1977). <sup>c</sup> Absorpcja w wapnie sodowanym. <sup>d</sup> Tylko wartości  
 średnie dla trzech stanowisk.

(1), (2) etc. — Number of sites investigated. <sup>a</sup> Lundegardh 1924 after Singh and Gupta (1977).  
<sup>b</sup> Makarow 1958 after Singh and Gupta (1977). <sup>c</sup> Absorption in soda-lime, <sup>d</sup> Only mean values  
 for 3 sites.

potwierdzenie w przeprowadzonych przez Ryszkowskiego (inf. ustna) analizach porównawczych produkcji pierwotnej różnych ekosystemów tej samej strefy klimatycznej.

## 2. Podstawowe metody oznaczania dyfuzji CO<sub>2</sub> z gleby

### 2.1. Wprowadzenie

Można wyróżnić dwie grupy metod oznaczania dyfuzji CO<sub>2</sub> glebo-  
 wego: terenowe i laboratoryjne.

W warunkach terenowych określona powierzchnia gleby jest odizo-  
 lowana od otoczenia pojemnikami. Dyfundowany do tego pojemnika CO<sub>2</sub>  
 jest oznaczony ilościowo. Stosuje się także pompowanie powietrza przez

taki układ w celu zachowania równowagi aerodynamicznej wewnątrz pojemnika, zbliżonej do tej na zewnątrz naczynia pomiarowego (Minderman i Vulto 1973). Mamy wtedy w warunkach polowych zachowane w miarę naturalne wydzielanie CO<sub>2</sub>, natomiast nieznana jest objętość gleby, z której zachodzi proces dyfuzji. W celu zminimalizowania problemu objętości gleby można wykorzystać pojemniki, w których jest umieszczana badana gleba. Minderman i Vulto (1973) zastosowali w tym celu lizymetry.

W metodyce laboratoryjnej mamy do czynienia z określonymi objętościowo próbkami gleby w różny sposób preparowanymi i umieszczanymi w zamkniętych naczyniach. Co pewien czas pobiera się z tych pojemników próbki powietrza do analizy lub w ciągły sposób rejestruje się dyfuzję CO<sub>2</sub>, np. poprzez absorpcję w ługu lub wykorzystując respirometry.

W laboratorium trudno jest o utrzymanie warunków doświadczenia zbliżonych do terenowych. Podkreśla to wielu autorów, m.in. Singh i Gupta (1978). Dokonuje się w nim przede wszystkim analiz, w których wykorzystuje się dopływ prądu elektrycznego. Są więc np. stosowane konduktometry, aparaty do oznaczania gazów w absorpcji w promieniach podczerwonych, chromatografy gazowe i kalorymetry. W terenie wykorzystanie metody absorpcji w ługu eliminuje problem związany z ewentualnym brakiem dopływu prądu. Metody terenowe są często mniej dokładne, ale prostsze i szybsze w stosowaniu (Schlessinger 1977).

## 2.2. Absorpcja CO<sub>2</sub> w ługu

Ta grupa metod jest często stosowana w terenie (Haber 1958, Kubicka 1976, 1978, Redmann i Abouguendia 1978). Metoda Habera (1958) polega na ustawianiu do góry dnem pojemników średnicy 25 cm i wysokości 30 cm na powierzchni gleby. Wewnątrz umieszczone są na podstawkach buteleczki z 10 ml roztworu KOH jako absorbentem CO<sub>2</sub>. Ustawia się ten układ na 12 godzin, po czym miareczkuje się ług kwasem solnym wobec fenoloftaleiny i oranżu metylowego. Pojemniki powinny być umieszczone w pierścieniach bezpośrednio wbitych w glebę. Ma to na celu uniknięcie błędów w pomiarze wywołanych przenikaniem CO<sub>2</sub> z otoczenia. Modyfikacją tej metody jest zastosowanie zamiast naczynek z roztworem absorbenta plastikowej gąbki nasyconej roztworem ługu w celu osiągnięcia zwiększonej powierzchni absorpcji (Kirita 1971).

W laboratorium stosowała absorpcję CO<sub>2</sub> w roztworze ługu m.in. Kowalczyk (1973, 1977). W układzie badawczym umieszczano naczynka z wodą w celu zachowania stałej wilgotności powietrza. Ed-

w a r d s (1982) opracował udoskonaloną metodę absorpcji w ługu stałym (wapnie sodowanym), tj. mieszaninie NaOH i Ca(OH)<sub>2</sub>, oznaczając CO<sub>2</sub> metodą wagową. Polega ona na oznaczaniu ciężaru granulowanego wapna sodowanego przed i po ekspozycji.

### 2.3. Metoda respirometryczna

Respirometry są to zamknięte komory, w których mierzy się zmiany ciśnienia CO<sub>2</sub> lub O<sub>2</sub> za pomocą manometrów (Wójcik 1982a). Przy badaniach gleby można stosować np. respirometr Warburga (Chmielewski 1976) działający na zasadzie manometrycznej.

Wykorzystuje się bardziej skomplikowane systemy automatycznej rejestracji zmian zawartości CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub>. Stosuje się np. respirometry elektrolityczne, których zasada działania polega na tym, że wraz ze spadkiem ciśnienia w komorze respirometrycznej, wywołanym oddychaniem badanego systemu, następuje wzrost poziomu elektrolitu. Zachodzi wtedy kontakt między nim a elektrodą platynową (anodą). W rezultacie zostaje wytworzony O<sub>2</sub>. Gaz ten obniża lustro elektrolitu i wtedy następuje przerwanie jego kontaktu z elektrodą (Mishima 1977). W badaniach gleby ten typ respirometru stosowali Birek i Friend (1956) oraz Swaby i Passey (1953) (obie pozycje cyt. wg Singha i Gupty 1978).

Innymi respirometrami stosowanymi w badaniach oddychania gleby są respirometr Gilsona (Van Cleve i in. 1979) i Kałabuchowa-Skworcowa (Wójcik 1982a).

### 2.4. Konduktometryczne oznaczanie CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> jest absorbowane rozcieńczonym ługiem. Mierzy się zmiany przewodnictwa elektrycznego w roztworze, tzn. określa się zmiany stężenia węglanów wywołane faktem absorpcji CO<sub>2</sub> (Tranguillini 1981).

### 2.5. Absorpcja w promieniach podczerwonych

Badanie zawartości CO<sub>2</sub> jest związane z tym, że składniki lotne, jakimi są gazy dwuskładnikowe (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO itp.), mają zdolność absorbowania fal elektromagnetycznych o długościach znajdujących się w zakresie bliskim podczerwieni (Szyzko 1982). Porównuje się tutaj znaną ilość CO<sub>2</sub> w próbce wzorcowej z próbką pobranego powietrza w celu określenia zawartości CO<sub>2</sub> w badanym materiale (Tranguillini 1982).

## 2.6. Chromatografia gazowa

Polega ona na pobraniu próbek powietrza badanego układu do przyrządu wyposażonego w kolumny chromatograficzne, gdzie ocenia się osobno zawartość CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub>. Na podstawie porównań z krzywą wzorcową ocenia się zawartość CO<sub>2</sub> (S z y s z k o 1982); CO<sub>2</sub> oznaczany jest na konduktometrycznym detektorze.

## 2.7. Metody kalorymetryczne

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania możliwością wykorzystania metod kalorymetrycznych w badaniach aktywności gleby (S p a r l i n g 1981a, 1981b, W ó j c i k 1982a, 1982b). Stosowanie tych metod daje możliwość oceny aktywności układu poprzez badania energii cieplnej gleby. Wychodzono z założenia, że uwzględnia się całą aktywną biomasę organizmów glebowych w badanych glebach.

Ciepło wyprodukowane przez obiekt znajdujący się w kalorymetrze zależy tylko od ilości energii (ciepła), które charakteryzuje ów układ w początkowym okresie analiz i jest sumą różnych reakcji biotycznych i abiotycznych zachodzących w tych warunkach (S p a r l i n g 1981a). Niezależne oznaczanie dyfuzji CO<sub>2</sub> z próbek gleby przez S p a r l i n g a (1981a) miało na celu określenie istotności korelacji tego procesu z bilansem cieplnym analizowanych obiektów (omówiono ten problem w rozdziale 3.). Natomiast W ó j c i k (1982a) dokonał połączenia metod: kalorymetrycznej i respirometrycznej. Zastosował układ otwarty, tj. z dopływem O<sub>2</sub> i usuwaniem powstającego CO<sub>2</sub>, aby zapobiec zmianom bilansu ciepła wywoływanym obecnością tych gazów w naczyniu pomiarowym. Pomiar respirometryczny, tj. oznaczanie pochłaniania O<sub>2</sub>, jest dokonywany zarówno w czasie termostatowania próby, jak podczas pomiaru kalorymetrycznego.

Wydzielany CO<sub>2</sub> był absorbowany w roztworze ługu, ale nie oznaczany ilościowo.

Uzyskane wyniki dotyczące pochłaniania O<sub>2</sub> dzięki przeliczeniu na jednostki energii pozwoliły na dokonanie oceny udziału nie tylko oddychania tlenowego gleby w ogólnej aktywności, ale także poprzez różnice w ogólnym bilansie energetycznym i oddychaniu tlenowym dały podstawę do oceny oddychania beztlenowego (W ó j c i k 1982b).

## 3. Ocena metod oznaczania dyfuzji CO<sub>2</sub> glebowego

Absorpcja w ługu jest jedną z najczęściej stosowanych metod. Ma ona jednak wady wynikające często ze słabej absorpcji CO<sub>2</sub> i w związku z tym zachodzi konieczność wzajemnego dopasowania ilości i miana

stosowanego ługu i wielkości naczyń pomiarowych względem powierzchni badanego obszaru. Chodzi o uzyskanie jak największej czułości metody.

Wykazano, że istnieje zależność między mianem ługu, jego objętością a efektywnością absorpcji (Singh i Gupta 1977). Na przykład przy objętości 10 cm<sup>3</sup> efektywność absorpcji wzrasta wraz z mianem ługu: 0,1 n ( $45 \pm 2$  mg CO<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>); 1,25 n ( $282 \pm 6$  mg CO<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>). Powierzchnia absorpcji nie była w tych badaniach istotnym elementem, mogącym wpłynąć na jakość wyników, gdy stosowano odpowiednie stężenie absorbenta. Inni autorzy, np. Kirita (1971), wskazują na wpływ powierzchni absorpcji na uzyskane wyniki dyfuzji CO<sub>2</sub>.

Haber (1958) opracował wielkości naczyń pomiarowych i oznaczył procent błędu wynikający z nieprzereagowania całego ługu z CO<sub>2</sub> w różnych warunkach pomiarowych. Sztuczne obniżenie wyników wynosiło 25—30% kontroli. Yoneda i Kirita (1978 wg Nakane, Yamamoto i Tsubota 1983) dzięki zastosowaniu zamiast pojemnika gąbki plastikowej nasyconej ługiem uzyskali dane bardzo zbliżone do stwierdzonych przez Reinera (1968) metodą absorpcji w podczerwieni.

Edwards (1982) zastosował zamiast roztworu ługu granulowane wapno sodowe. W celu uniknięcia sztucznie podwyższonych wyników opracował on współczynnik błędu wynikający z pochłaniania przez absorbent wody z otoczenia. Przy zastosowaniu odpowiedniej ilości absorbenta oraz dobranej wielkości szalek uzyskano korelację wyników z metodą absorpcji w podczerwieni sięgającą 0,99.

Dokonano porównania oceny dyfuzji CO<sub>2</sub> metodą absorpcji w roztworze ługu z metodą absorpcji w podczerwieni (Kucera i Kirkham 1971, Edwards i Sollins 1973). Także metody respirometryczna (Gilsona) i chromatografia gazowa zostały wspólnie ocenione przez Van Clevego i in. (1979).

Edwards i Sollins (1973) w badaniach terenowych wykazali, że przy temperaturze 20°C pomiary przy użyciu roztworu KOH jako absorbenta wynosiły 63% wartości wyników analizy w podczerwieni, a przy temperaturze 12°C wynosiły 90%. Przy wyższej temperaturze zmniejsza się rozpuszczalność CO<sub>2</sub> w ługu. Kucera i Kirkham (1971) w terenie (20—25°C) ocenili, że metodą absorpcji w ługu otrzymuje się wyniki stanowiące 61,3% wartości pomiarów uzyskanych w podczerwieni.

Van Cleve i in. (1979) także stwierdzili, że na poprawność uzyskanych ocen mają wpływ warunki temperaturowe (zachowano w tych doświadczeniach stałą wilgotność podłoża). Najniższe błędy uzyskiwano przy absorpcji w podczerwieni w temperaturach 5, 15 i 30°C, przy użyciu respirometru Gilsona w 10 i 20°C. Ogólne wartości uzyskane metodą absorpcji w podczerwieni były zawsze wyższe z wyjątkiem temperatury 30°C, kiedy to maksymalną respirację stwierdzono stosując

roztwór ługu. Zwrócić trzeba uwagę na ten ostatni fakt, gdyż widać, że jeżeli chodzi o metodę absorpcji w podczerwieni nie zawsze uzyskuje się dane wskazujące na jej większą czułość niż absorpcji w ługu. Potwierdzają to także Singh i Gupta (1978).

Van Cleve i in. (1979) stwierdzili też, że przy temperaturze 25°C czułość chromatografii gazowej wynosiła 3,8  $\mu\text{g CO}_2$ , zaś respirometru Gilsona 3,6  $\mu\text{g CO}_2$ . Minimalna czułość absorpcji w ługu wynosiła 44  $\mu\text{g CO}_2$ , absorpcji w podczerwieni 0,3  $\mu\text{g CO}_2$ . Chromatografia gazowa była najmniej czułą metodą. Autorzy wiązali ten fakt z użyciem w chromatografii gazowej objętościowych próbek powietrza, podczas gdy w pozostałych metodach stosowany był przepływ powietrza przez badany układ.

Wydaje się, że w sumie metody absorpcji w ługu mimo zastrzeżeń są dobre i można jednocześnie dokonywać dużej liczby pomiarów (Minderman i Vulto 1973). Także mimo faktu uzyskiwania sztucznie obniżonych wyników są dobrymi technikami wskaźnikowymi pozwalającymi na jednoczesne dokonywanie pomiarów dyfuzji CO<sub>2</sub> w różnych środowiskach, co jest ważne, gdy weźmiemy pod uwagę zmienność interesującego nas parametru dla naturalnych zespołów. Stwierdza to również Coleman (1973).

W sumie pomiary oddychania gleby w laboratorium są często nieadekwatne do wyników terenowych, np. dane uzyskane metodą Habera na glebach torfowych w warunkach terenowych i laboratoryjnych wskazują na sztuczne obniżenie wyników w szklarni w granicach 27—60% (Szanser nie publ.).

Redmann i Abouguendia (1978) w swoich badaniach nad respiracją gleby i jej komponentów stwierdzili wyższe wyniki dyfuzji CO<sub>2</sub> w warunkach laboratoryjnych niż w terenie. Autorzy ci podali także, że stosunek wyników uzyskanych w szklarni do terenowych wyniósł 1,3—2,3.

Ausmus i O'Neill (1978) zwrócili uwagę na potrzebę oznaczania oprócz dyfuzji CO<sub>2</sub> ubytków węgla organicznego wypłukiwanego z gleb. Prowadzili oni badania nad trzema mikrokosmosami (mikrośrodkami) glebowymi (nienaruszona bryła gleby leśnej, homogenizowana gleba, mieszanina gleby z piaskiem) o objętości 125 cm<sup>3</sup>. Przemywano te układy wodą deszczową o znanym składzie chemicznym i oznaczano ilości rozpuszczalnego węgla organicznego wchodzącego i wychodzącego z badanych układów. Równolegle oznaczano oddychanie próbek poprzez absorpcję CO<sub>2</sub> w ługu. Ilość węgla wchodzącego (rozpuszczalna frakcja organiczna) z wodą do systemów była podobna we wszystkich próbkach i bardzo niewielka, stanowiła ona 1,01—1,61% wartości węgla wymywanego z badanych próbek. Stwierdzono brak różnic w mineralizacji węgla między nienaruszoną i homogenizowaną glebą wydzielonego w formie CO<sub>2</sub>. Otrzymywano tutaj wartości 4,0—6,0  $\mu\text{g} \cdot 125 \text{ cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ .

Natomiast gleba z piaskiem charakteryzowała się obniżoną respiracją:  $2,8—4,0 \mu\text{g} \cdot 125 \text{ cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ .

W naruszonych próbkach gleby stwierdzono wzrost zawartości węgla łatwo wymywanego w stosunku do próbek nienaruszonych. Sumaryczna ność węgla organicznego wypłukiwanego w okresie 89 dni wynosiła średnio dla nienaruszonych próbek do  $1300 \mu\text{g} \cdot 125 \text{ cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ , a dla homogenizowanych stanowiła 69,7—346,2% wartości dla próbek nienaruszonych.

Wykorzystanie metod kalorymetrycznych dało możliwość skorelowania dyfuzji  $\text{CO}_2$  i innych badanych parametrów z oceną energetyki cieplnej. Wykazał to Sparling (1981a), który wykorzystując metody mikrokalorymetryczne otrzymał wysoką korelację wyników odpływu ciepła w różnych rodzajach gleb z wynikami respiracji podstawowej i respiracji biomasy — współczynnik korelacji wyniósł 0,81—0,99. Dane te potwierdzają Domsch i in. (1979) oraz Ross (1973).

Najniższą korelację uzyskano między respiracją biomasy a energetyką układu. Wyciągnięto stąd wniosek, że tylko część biomasy jest aktywna fizjologicznie (Sparling 1981a).

#### 4. Próby oceny oddychania poszczególnych komponentów glebowych

Jednym z najważniejszych problemów w badaniach dyfuzji  $\text{CO}_2$  glebowego jest określenie udziału różnych żywych i martwych składników gleby w dyfuzji  $\text{CO}_2$  (Richards 1979). Innym zadaniem badawczym jest ocena udziału oddychania beztlenowego, które jest bardzo różne w określonych rodzajach gleb (Wójcik 1982b, Clymo 1983).

Żeby uzyskać odpowiedź na pytanie, jaki jest udział poszczególnych komponentów w ogólnym oddychaniu gleby, konieczne jest oznaczenie biomasy organizmów glebowych i podziemnych organów roślinnych oraz skorelowanie tych danych z dyfuzją  $\text{CO}_2$ .

Poszczególne ekosystemy charakteryzują się różnymi proporcjami biomasy roślinnej nadziemnej i podziemnej. Określenie takiej proporcji dla różnych środowisk mogłoby pomóc w pośrednim oznaczeniu udziału korzeni w oddychaniu gleby. Interesujące dane dotyczące stosunku między podziemną a nadziemną biomasą roślinną w różnych typach zbiorowisk trawiastych podaje Titljanova (1977). Stwierdziła ona, że na łące bagiennej biomasa korzeni i innych części podziemnych roślin wynosi 142,0 t/ha, w stepie 21,3 t/ha i na łące na glebach mineralnych 23,3 t/ha. Łąka bagienna charakteryzuje się dużym stosunkiem biomasy podziemnej do nadziemnej — 13,2, podczas gdy wartość ta dla łąki mineralnej wynosi 4,5, a dla stepu 4,3. Oddzielenie różnych frakcji pod-



ziemnej biomasy roślinnej (martwej i żywej) zwłaszcza od torfu jest bardzo trudne i nie opracowano zadowalających metod.

Rozwiązanie problemu leży w znalezieniu pośrednich metod badawczych.

Pewną wskazówką co do możliwości oddzielenia frakcji organizmów od gleby mogą być badania rozwijane ostatnio, w których stosuje się zadymianie gleby substancjami gazowymi, zabijającymi organizmy glebowe. Zaproponowali tę metodę Jenkinson i Powlson (1976a, 1976b). W wymienionych pracach przedstawiono dane dotyczące oznaczania biomasy po potraktowaniu gleby różnymi fumigantami, z których najlepszy w tym przypadku okazał się eter. Glebę poddawano działaniu eteru wolnego od alkoholu przez okres 24 godz. Eter usuwano przez wymywanie go powietrzem, sześciokrotnie aż do czasu zaniku zapachu.

Stwierdzono, że dyfuzja CO<sub>2</sub> po fumigacji wzrosła 2,2-krotnie. Wzrost ten był spowodowany rozkładem zabitych organizmów glebowych. Oznaczono w ten sposób pośrednio ogólną biomase organizmów zawartych w glebie (Jenkinson, Powlson i Wedderburn 1976). W skład tej biomasy wchodziły mikroorganizmy rozkładające różne frakcje materii organicznej gleby oraz znajdujące się w formie przetrwalnikowej. Oceniono też biomase dżdżownic, których znana ilość była umieszczona w glebie.

Porównanie oceny biomasy metodą fumigacji z oceną bezpośrednią (liczenie mikroorganizmów pod mikroskopem fluorescencyjnym, ważenie dżdżownic) dało bardzo dobre rezultaty. Wykazano zgodność wyników dla większości gleb. Stosunek biomasy oznaczonej pośrednio do oznaczonej bezpośrednio wahał się w granicach 0,88—1,39 ze średnią 1,07.

Jenkinson i Powlson (1976a), a także Sparling (1981b) zwracają uwagę na to, że zakwaszenie gleby bądź wysoka zawartość materii organicznej mogą zmieniać mechanizmy mineralizacji węgla. Potwierdzeniem tego wniosku były nieudane próby określania biomasy metodą zadymiania w tych glebach.

Sparling (1981a, 1981b) podał np., że w przypadku zadymianego torfu (pH=3,18) następowało znaczne obniżenie intensywności dyfuzji CO<sub>2</sub>, nawet poniżej wartości próbek kontrolnych (niezadymionych). Z kolei Jenkinson i Powlson (1976a) stwierdzili, że nie udało się im oznaczyć biomasy mikroorganizmów metodą zadymiania w przypadku kwaśnych gleb leśnych (pH=3,9). Stosunek biomasy oznaczonej bezpośrednio do biomasy oznaczonej na podstawie dyfuzji CO<sub>2</sub> z próbek zadymionych wynosił 7,17. Innym źródłem błędu może być także duża zawartość węglanów w glebie (Jenkinson i Powlson 1976a).

Komppula i Mikola (1981)<sup>1</sup> opracowali metodę oznaczania

<sup>1</sup> Komppula J., Mikola J. 1981 — Separate measurement of biological and chemical CO<sub>2</sub>—production by milled peat — Dept. Biol., University of Iyva-skyla, Finland (maszynopis).

aktywności biologicznej torfu (ze składowisk) poprzez inaktywację systemu biologicznego fenolem lub tlenkiem etylenu.

Wykazali oni jednoznacznie, że oddychanie chemiczne torfu przy temperaturze 30°C stanowić może ok. 20% jego całkowitego oddychania (ok. 2,6  $\mu\text{l CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ). W wyższych temperaturach (70°C) osiąga ono 64  $\mu\text{l CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , tj. ok. 87% całkowitej aktywności torfu. Autorzy przypuszczają, że w temperaturze 70°C muszą być aktywne jeszcze pewne grupy mikroorganizmów w badanych próbkach. Wyniki tych badań, a także Mikoli i Kompouli (1981) sugerują, że w glebach organicznych może zachodzić intensywny proces mineralizacji na drodze abiotycznej w warunkach wysokich temperatur. Takie wysokie temperatury mogą występować przy dużym nasłonecznieniu, w warunkach naturalnych, na odwodnionych i słabo zadarnionych torfowiskach.

Na podstawie przytoczonych analiz wydaje się, że większym sukcesem zostały uwieńczone próby oceny oddychania mikroorganizmów niż części roślinnych w glebie, mimo wielu różnorodnych wysiłków (Gloser i Tesárová 1978, Redmann i Abouguendia 1978).

Można wnioskować, że dalsze rozwinięcie metod fumigacji gleby przyczyni się do oddzielenia mikroorganizmów od korzeni poprzez stosowanie selektywnych substancji zabijających.

Metody kalorymetryczno-respirometryczne połączone z metodą fumigacji pozwalają ocenić udział procesów biotycznych i abiotycznych w ogólnej dyfuzji dwutlenku węgla oraz udział organizmów heterotroficznych w tej dyfuzji.

Metody kalorymetryczne pozwalają ponadto na ocenę oddychania beztlenowego (Wójcik 1982a). Bardzo trudno ocenić wielkość oddychania beztlenowego w inny sposób, np. na drodze absorpcji, gdyż procesy te zachodzą różnymi drogami. W ich wyniku powstawać może np. metan, wodór, acetylen i inne ulatniające się związki, jak alkohole, kwasy, estry i ketony (Sikora i Keeney 1983).

Adamson i in. (1975 wg Sikory i Keeneya 1983) stwierdzili, że 10% węgla dodanego do gleby w formie glukozy w warunkach anaerobowych przekształciło się w wyżej wymienione produkty przemian.

## 5. Wnioski

1. Wyniki uzyskane za pomocą różnych technik pomiaru dyfuzji  $\text{CO}_2$  są rozbieżne. Stąd zachodzi potrzeba udoskonalania i ujednoczenia stosowanych metod pomiaru.

Z dotychczasowych stosowanych technik najbardziej czuła wydaje się być metoda absorpcji w podczerwieni.

Metody absorpcji  $\text{CO}_2$  w ługu są stopniowo udoskonalane i osiągają czułość zbliżoną do metod z zastosowaniem absorpcji w podczerwieni.

Ważnym czynnikiem zwiększającym czułość metody absorpcji w ługu jest zwiększenie powierzchni absorpcji, np. poprzez stosowanie porowatej gąbki nasyconej absorbentem.

2. Do pełnego obrazu procesów mineralizacji węgla obok pomiarów dyfuzji CO<sub>2</sub> powinno się stosować oznaczanie ilościowe węgla rozpuszczonego w wodzie.

3. Bardzo trudne jest określenie udziału w dyfuzji CO<sub>2</sub> oddychania poszczególnych frakcji systemu glebowego — roślin, mikroorganizmów, zwierząt, a także procesów abiotycznych.

Rozwiązanie tego problemu wydaje się tkwić m.in. w rozwoju technik fumigacyjnych, które zastosowano w przypadku mikroorganizmów glebowych oraz dużych bezkręgowców glebowych.

Inną dokładniejszą metodą mogłoby być połączenie omawianych technik badawczych, np. respirometrii z kalorymetrią i ewentualnie z fumigacją. Istnieje wtedy możliwość badania różnie traktowanych gleb (nie-naruszone, naruszone, frakcjonowane) i określania udziału poszczególnych frakcji badanego systemu w dyfuzji CO<sub>2</sub>, a także biomasy tychże elementów.

4. Wprowadzenie techniki respirometryczno-kalorymetrycznej daje możliwość uzyskania danych o procesach oddychania beztlenowego, na ogół pomijanego w badaniach.

5. Niektóre techniki nie mogą być wykorzystane we wszystkich rodzajach gleb, np. metoda fumigacji okazała się zawodna w glebach bardzo kwaśnych i o dużej zawartości materii organicznej.

## Piśmiennictwo

Ausmus B. S., O'Neill E. G. 1978 — Comparison of carbon dynamics of three microcosm substrates — *Soil Biol. Biochem.* 10: 425—429.

Bunt I. S., Rovira A. D. 1954 — Oxygen uptake and carbon dioxide evolution of heat sterilized soil — *Nature (Lond.)* 173: 1242—1242.

Clymo R. 1983 — Peat (W: *Ecosystems of the world*. 4A. Mires: Swamp, bog, fen and moor. General studies. Red. A. J. P. Gore) — Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York, 159—224.

Coleman D. C. 1973 — Soil carbon balance in a successional grassland — *Oikos*, 24: 195—199.

Coleman D. C., Sassen A., Breymeyer A. J., Dash M. C., Dommergues Y., Hunt H. W., Paul E. A., Schafer R., Ulehlova B., Zlotin R. J. 1980 — Decomposer subsystem (W: *Grasslands, systems analysis and man*. Red. A. J. Breymeyer, G. M. Van Dyne) — Cambridge University Press, Cambridge, 609—655.

Chmielewski K. 1976 — The influence of mineral fertilization on the urease and dehydrogenase activity in meadow soil — *Pol. ecol. Stud.* 2 (4): 315—321.

Domsch K. H., Beck T., Anderson I. P. E., Söderström B., Parkinson D., Trolldenier G. 1979 — A comparison of methods for soil microbial population and biomass studies — *Pfl—Ernähr. Bodenk.* 142: 520—533.

- Edwards N. T. 1982 — The use of soda—lime for measuring respiration rates in terrestrial systems — *Pedobiologia*, 23: 321—330.
- Edwards N. T., Sollins P. 1973 — Continuous measurement of carbon dioxide evolution from partitioned forest floor components — *Ecology*, 54: 406—412.
- Gloser I., Tesařová M. 1978 — Litter, soil and root respiration measurement. An improved compartmental analysis method — *Pedobiologia*, 18: 76—81.
- Gupta S. R., Singh J. S. 1977 — Effect of alkali concentration, volume and absorption area on the measurement of soil respiration in a tropical sward — *Pedobiologia*, 17: 223—239.
- Haber W. 1958 — Ökologische Untersuchung der Bodenatmung — *Flora*, 146: 109—157.
- Jenkinson D. S., Powlson D. S. 1976a — The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass — *Soil Biol. Biochem.* 8: 209—213.
- Jenkinson D. S., Powlson D. S. 1976b — The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform — *Soil Biol. Biochem.* 8: 167—177.
- Jenkinson D. S., Powlson D. S., Wedderburn R. W. M. 1976 — The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. III. The relationship between soil biovolume, measured by optical microscopy, and the flush of decomposition caused by fumigation — *Soil Biol. Biochem.* 8: 189—202.
- Kirita H. 1971 — Re-examination of the absorption method of measuring soil respiration under field conditions. IV. An improved absorption method using a disc of plastic sponge as absorbent holder — *Jap. J. Ecol.* 21: 119—127.
- Kowalczyk Z. 1973 — Badania procesów rozkładu substancji węglowych gleb torfowych o różnym stopniu zmurszenia — *Zesz. probl. Post. Nauk roln.* 146: 139—162.
- Kowalczyk Z. 1977 — Biological activity of soils in three sites of the Wizna fen — *Pol. ecol. Stud.* 3(3): 45—53.
- Kubicka H. 1976 — The effect of mineral fertilization on CO<sub>2</sub> evolution in meadow soil. I. part. — *Pol. ecol. Stud.* 2(4): 323—332.
- Kubicka H. 1978 — The effect of mineral fertilization on CO<sub>2</sub> evolution in meadow soil. Part II. — *Pol. ecol. Stud.* 4 (1): 167—178.
- Kucera C. L., Kirham D. R. 1971 — Soil respiration studies in tallgrass prairie in Missouri — *Ecology*, 52: 912—915.
- Mikola J., Komppula J. 1981 — Respiratory activity of milled peat: A rapid method of measurement and observations on the effects of moisture, temperature, pH and peat quality — *Soil Sci.* 131: 156—162.
- Minderman G., Vulto J. C. 1973 — Comparison of techniques for the measurement of carbon dioxide evolution from soil — *Pedobiologia*, 13: 73—80.
- Mishima J. 1977 — An electrolytic respirometer for insect population (W: Studies on methods of estimating population density, biomass and productivity in terrestrial animals. Red. M. Morisita) — University of Tokyo Press., 169—172.
- Nakane K., Yamamoto M., Tsubota H. 1983 — Estimation of root respiration rate in a mature forest ecosystem — *Jap. J. Ecol.* 33: 397—408.
- Redmann R. E., Abouguendia Z. M. 1978 — Partitioning of respiration from soil, litter and plants in a mixed grassland ecosystem — *Oecologia*, 36: 69—79.
- Reiners W. A. 1968 — Carbon dioxide evolution from the three Minnesota forest — *Ecology*, 49: 472—483.
- Richards B. N. 1979 — Wstęp do ekologii gleby — PWN, Warszawa, ss. 325.
- Ross D. J. 1973 — Some enzyme and respiratory activities of tropical soils from New Hebrides — *Soil Biol. Biochem.* 5: 559—567.

- Schlessinger W. H. 1977 — Carbon balance in terrestrial detritus — *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 8: 51—81.
- Sikora L. J., Keeney D. R. 1983 — Further aspects of soil chemistry under anaerobic conditions (W: *Ecosystems of the world*. P. A. Mires: swamp, bog, fen and moor. General studies. Red. A. J. P. Gore) — Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York, 159—224.
- Singh J. S., Gupta S. R. 1977 — Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems — *Bot. Rev.* 43: 449—527.
- Sparling G. P. 1981a — Microcalorimetry and other methods to assess biomass and activity in soil — *Soil Biol. Biochem.* 13: 93—98.
- Sparling G. P. 1981b — Heat output of the soil biomass — *Soil Biol. Biochem.* 13: 373—376.
- Szyszko E. 1982 — Instrumentalne metody analityczne — PZWL, Warszawa, ss. XII+623.
- Takai Y., Kanazawa S., Wada H., Asami T., Takeuchi H., Takeshima S. 1977 — Decomposition processes of organic matter in soil (W: *Ecosystem analysis of subalpine coniferous forest of the Shigayama IBP Area, Central Japan*. Red. Y. Kitazawa) — University of Tokyo Press, 167—179.
- Titljanova A. A. 1977 — Biologičeskij krugovorot ugleroda w travjanych biogeocenozach — *Nauka, Novosibirsk*, ss. 221.
- Tranguillini W. 1982 — Kausalanalyse der Primäproduktion: Der Kohlendioxid- und Wasserumsatz der Pflanzen (W: *Ökologische Feldmethoden*. Red. H. Janetschek) — Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 73—81.
- Wójcik W. 1982a — Direct calorimetry in soil activity studies. I. Method — *Ekol. pol.* 30: 3—27.
- Wójcik W. 1982b — Direct calorimetry in soil activity studies. II. Studies of forest soil activity — *Ekol. pol.* 30: 29—80.
- Van Cleve K., Coyne P. I., Goodwin E., Johnson A., Kelley M. 1979 — A comparison of four methods for measuring respiration in organic material — *Soil Biol. Biochem.* 11: 237—246.

## Summary

The paper presents various methods of investigating soil CO<sub>2</sub> release and discusses the possibilities of using them. Research methods of CO<sub>2</sub> release should be standardized. The possibility of improving the absorption method (alkali solution), very useful in field investigations, is confirmed.

However, the soil CO<sub>2</sub> release should not be the only indicator of mineralization of soil carbon.

Fractionation of respiration of different soil components faces some serious difficulties.

Much more successful are the investigations of respiration of microorganisms and saprophages using, amongst others, the fumigation method. But the necessity of using indirect research methods in this field is pointed out. The increasingly popular fumigation method is deceptive in the case of acid soils with a high organic matter content. The best seems to be a combination of few groups of methods, e.g. a respirometric-calorimetric method. Then it is possible to have an additional estimation of oxygen and oxygenless respiration in soils.