

Elżbieta Papińska\*, Dorota Michalska-Hejduk\*\*,  
Arkadiusz Niewiadomski\*, Wojciech Tołoczko\*

## WYDZIELANIE CO<sub>2</sub> Z GLEB LEŚNYCH I ŁĄKOWYCH W BOLIMOWSKIM PARKU KRAJOBRAZOWYM

### CO<sub>2</sub> EMISSION FROM FOREST AND MEADOW SOILS ON LOCATIONS OF BOLIMOWSKI LANDSCAPE PARK

**Słowa kluczowe:** dwutlenek węgla, próchnica glebowa, oddychanie gleb.

**Key words:** carbon dioxide, soil humus, soil respiration.

*Paper presents the results of studies taken out in the area of Bolimowski Landscape Park. Different forest and meadow ecosystems under the aim of CO<sub>2</sub> emission and humus content were researched. Measured CO<sub>2</sub> emissions on locations with litter were different from litter deprived stands. Highest values of CO<sub>2</sub> emissions were measured in stands with high moisture (fresh meadow, marshy forest and Molinio pinetum stands). Studied ecosystems demonstrated the dependence with pH, humus content and soil moisture.*

#### 1. WPROWADZENIE

Wymiana gazowa w układzie gleba – atmosfera, obok wiązania i uwalniania CO<sub>2</sub> przez oceany i głębsze warstwy litosfery, uważana jest przez wielu naukowców za jeden z głównych elementów obiegu węgla w środowisku przyrodniczym [Archer 2007; Rastogi i in. 2002; Rykowski 1999]. Zwiększająca się emisja tlenu węgla(IV), pochodzącego ze źródeł antropogenicznych i naturalnych, według wielu badaczy wpływa na tempo zmian klimatycznych przez zwiększenie efektu cieplarnianego [Archer 2007; Rykowski 1999]. Dużą rolę w zmniejszeniu koncentracji CO<sub>2</sub> przypisuje się ekosystemom leśnym, które w procesie fotosyntezy wiążą największe jego ilości [Harmon i in. 1990; Janssens i in. 2000; Moren,

---

\* Dr Elżbieta Papińska, dr Arkadiusz Niewiadomski, dr Wojciech Tołoczko – Katedra Geografii Fizycznej, Uniwersytet Łódzki, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź; kontakt: tel. 42 665 59 30; e-mail: epapin@uni.lodz.pl; e-mail: arek\_niew@interia.pl; e-mail: glebozn@uni.lodz.pl

\*\* Dr Dorota Michalska-Hejduk – Katedra Geobotaniki i Ekologii Roślin, Uniwersytet Łódzki, ul. Banacha 12/16, 90-237 Łódź; kontakt: tel. 42 635 44 06; e-mail: dhejduk@biol.uni.lodz.pl

Lindroth 2000; Rykowski 1999]. W procesie oddychania glebowego, obejmującego oddychanie korzeni oraz rozkład materii organicznej przez mikrobioty glebowe, pewna ilość CO<sub>2</sub> wraca z powrotem do atmosfery.

Wielu badaczy zwraca uwagę na zmienność wydzielania CO<sub>2</sub> zależną od kategorii użytkowej gleb, systemu uprawy, nawożenia oraz składu gatunkowego i wieku roślinności [Furczak 2006; Gołębiowska, Ryszkowski 1977; Harmon i in. 1990; Jezierska-Tys, Świca 2004; Rochette i in. 1991; Sainju i in. 2008; So i in. 2001; Wielgosz, Szember 2006; Wyczółkowski i in. 2006]. Z drugiej strony na mechanizm emisji i pochłaniania CO<sub>2</sub> wpływają również właściwości gleb, takie jak: wilgotność, temperatura, gęstość, odczyn i zawartość materii organicznej [Fang, Moncrieff 2001; Rastogi i in. 2002; Smith i in. 2003].

Celem niniejszych badań był pomiar emisji CO<sub>2</sub> z gleb wykazujących zmienne właściwości fizyczne, fizykochemiczne i chemiczne oraz reprezentujących ekosystemy zróżnicowane pod względem siedliskowym.

## 2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Dotychczasowe kompleksowe badania środowiska przyrodniczego były prowadzone przez zespół autorski głównie na obszarze Załęczańskiego Parku Krajobrazowego [Laskowski i in. 2001; Papińska, Tołoczko 2002]. W tym przypadku wybrana powierzchnia testowa znajdowała się w mezoregionie Równiny Łowicko-Błońskiej, w dolinie rzeki Rawka, około 10 km na północny wschód od Skierniewic, w obrębie Bolimowskiego Parku Krajobrazowego. Park utworzono w 1986 r. w celu ochrony kompleksów leśnych z rzadko spotykanymi w Polsce Środkowej polanami śródleśnymi (np. najbardziej znany rezerwat Polana Siwica), zajętyymi przez podmokłe i wilgotne zbiorowiska łąkowe i torfowiskowe. Niezwykłym walorem tego obszaru jest dolina Rawki, która jako jedna z ostatnich w Polsce Środkowej, zachowała swój naturalny charakter i została objęta ochroną rezerwatową w 1983 r.

Duża zmienność warunków siedliskowych badanego terenu manifestuje się wykształceniem różnych zbiorowisk roślinnych. Dominują ekosystemy leśne, reprezentowane przez zbiorowiska borowe o różnym stopniu żyzności i wilgotności, oraz łąkowe, łągowe i olsy. Znaczną powierzchnię zajmują również ekosystemy łąkowe, także cechujące się dużym zróżnicowaniem.

Badania terenowe, prowadzone na tym obszarze od wielu lat [Czyżewska 1999; Jakubowska-Gabara 1999; Kucharski, Pisarek 1999], pozwoliły na dokładną dokumentację roślinności rzeczywistej i wyznaczenie transektów, wzdłuż których prowadzono badania emisji CO<sub>2</sub> z gleb.

Koncentrację CO<sub>2</sub> nad powierzchnią gruntu mierzono metodą komorową w modyfikacji W. Tołoczko i A. Niewiadomskiego (w tym tomie), z wykorzystaniem reakcji Wardera [Bednarek i in. 2004; Turowska, Deka 1993]. Pomiary prowadzono na stanowiskach ze ściółką oraz pozbawionych ściółki przez usunięcie roślinności (runa, krzewów, siewek drzew), ce-

lem uchwycenia wpływu ściółki na wielkość emisji. W ten sposób starano się zbadać, czy płytka strefa korzeniowa najmniejszych roślin i siewek może istotnie wpłynąć na ilość wydzielanego CO<sub>2</sub>.

Badania emisji CO<sub>2</sub> z gleb prowadzone na każdym ze stanowisk, obejmowały 2 cykle 24-godzinne – w 2 powtórzeniach w przypadku stanowisk pozbawionych ściółki i w 3 powtórzeniach na stanowiskach ze ściółką. Badania prowadzono w suche dni (bez opadów) pierwszej dekady czerwca 2008 r. Do oznaczenia zawartości węgla organicznego, z każdego ze stanowisk, pobrano po 5 próbek z poziomów próchnicznych badanych gleb, a wyniki uśredniono. Zawartość węgla organicznego w glebach oznaczono metodą Tiurina. Wartość pH w H<sub>2</sub>O i w 1 mol·dm<sup>-3</sup> KCl oznaczono potencjometrycznie. Korelację między wydzielaniem CO<sub>2</sub> i właściwościami gleb obliczono za pomocą współczynnika korelacji rangowej Spearmana przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

### 3. WYNIKI BADAŃ

Większość badanych gleb stanowiły utwory piaszczyste (piaski luźne, gliniaste), z wyjątkiem siedlisk łąkowych, których głębsze poziomy genetyczne organoleptycznie wykazały uziarnienie gliniaste. W obrębie opisywanych stanowisk występowały znaczne różnice składu gatunkowego roślinności oraz warunków wilgotnościowych – od suchych po wilgotne, a nawet podmokłe.

Siedliska borowe (stanowiska 1, 2 i 3) cechowały się niewielkim zróżnicowaniem gatunkowym, z wyjątkiem boru wilgotnego, dzięki czemu możliwe było uzależnienie wielkości wydzielania CO<sub>2</sub> od wilgotności. Drzewostan na wszystkich trzech stanowiskach borowych tworzyła sosna (*Pinus sylvestris*) z domieszką brzozy brodawkowatej (*Betula pendula*). W runie boru suchego dominowały porosty z rodzaju *Cladonia* sp. i mszaki. W borze świeżym runo tworzyły przede wszystkim dwa gatunki borówek – borówka czarna (*Vaccinium myrtillus*) i brusznica (*Vaccinium vitis-idaea*).

Stanowisko 4 było zajęte przez monokulturę sosnową na siedlisku grądu wysokiego, na co wskazywała obecność dobrze rozwiniętego podszytu z charakterystycznymi dla grądu gatunkami, takimi jak leszczyna (*Corylus avellana*) i trzmielina zwyczajna (*Euonymus europaea*).

Stanowisko 5 reprezentowało siedlisko grądu typowego *Tilio-Carpinetum betuli* z takimi gatunkami, jak: dąb szypułkowy (*Quercus robur*), grab zwyczajny (*Carpinus betulus*), lipa drobnolistna (*Tilia cordata*), leszczyna pospolita (*Corylus avellana*), trzmielina brodawkowata (*Euonymus verrucosus*), gwiazdnica wielkokwiatowa (*Stellaria holostea*) i in. Dużą różnorodność biologiczną wykazały także zbiorowiska łągu i łąki. Drzewostan łągu (stanowisko 6) tworzyła olsza czarna (*Alnus glutinosa*), w podszytcie zaś dominowała czeremcha zwyczajna (*Padus avium*). Runo tworzyły m.in. takie gatunki jak: kościenica wodna (*Malachium aquaticum*), pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica*) oraz gatunki leśne charak-

terystyczne dla klasy *Quercus-Fagetea*. Łąka świeża (stanowisko 8) odznaczała się dużym pokryciem warstwy zielonej, którą tworzyły typowe gatunki łąkowe, z przewagą gatunków charakterystycznych rzędu *Arrhenatheretalia*. Najuboższą gatunkowo murawę szczotlichową (stanowisko 7) tworzyła przede wszystkim szczotlicza siwa (*Corynephorus canescens*), szczaw polny (*Rumex acetosella*), jasioniec piaskowy *Jasione montana* oraz mszaki z rodzaju płonnik (*Polytrichum* sp.).

Odczyn gleb badanych siedlisk leśnych nie odbiegał znacznie od warunków naturalnych. Silne zakwaszenie gleb, zwłaszcza siedlisk borowych, wynikało z aktywności kwasów

**Tabela 1.** Wartość pH i zawartość próchnicy w badanych glebach

**Table 1.** Value pH and humus content in researched soils

Stanowisko	Typ siedliska	Poziom genetyczny	pH		Zawartość materii organicznej	
			w KCl	w H <sub>2</sub> O	C org. [g·kg <sup>-1</sup> ]	próchnica [g·kg <sup>-1</sup> ]
1	Bór suchy (Bs) <i>Cladonio-Pinetum</i>	A / Ees	3,20	3,60	11,4	19,7
		Bv	4,45	5,10	–	–
		C	5,10	5,50	–	–
2	Bór świeży (Bśw) <i>Leucobryo-Pinetum</i>	A	3,40	3,65	8,6	14,8
		Ees	4,20	4,20	–	–
		Bfe	4,30	4,55	–	–
		C1	4,60	5,10	–	–
3	Bór wilgotny (Bw) <i>Molinio-Pinetum</i>	C2	4,70	5,20	–	–
		A	2,95	3,60	43,6	75,1
		Ees	4,40	4,40	–	–
		Bhfe	4,10	4,30	6,0	10,3
4	Monokultura sosny na siedlisku grądu <i>Tilio-Carpinetum</i>	C	3,60	4,20	–	–
		A / Ees	3,30	3,80	13,5	23,3
		Bhfe	4,40	5,00	–	–
		Bfe	5,50	5,90	–	–
5	Grąd typowy <i>Tilio-Carpinetum betuli</i>	C	5,10	5,50	–	–
		A	3,30	3,80	10,3	17,7
		C1	4,20	4,50	3,5	6,1
		C2	4,60	4,85	–	–
6	Łęg (Lt) <i>Fraxino-Alnetum</i>	Ad	3,55	4,00	12,2	21,0
		C	4,40	4,70	–	–
		II C	6,00	6,30	–	–
		III C	7,10	7,55	–	–
7	Murawa szczotlichowa (M) <i>Corynephorum canescens</i>	A	4,00	4,30	2,7	4,7
		Ees	4,20	4,20	–	–
		Bhfe	4,20	4,50	3,0	5,2
		C	4,30	4,45	1,3	2,2
8	Łąka świeża z rzędu <i>Arrhenatheretalia</i> (Ł)	Ad	3,60	4,30	9,7	16,8
		A2	3,70	4,00	4,8	8,3
		C	4,70	5,20	–	–

**Objaśnienia:** – nie określono.

humusowych powstających z rozkładu igieł sosnowych. Podobne wartości pH gleb stwierdzono w obrębie pozostałych siedlisk (tab. 1). Niższe pH w grądzie (stanowisko 5.) wynikało z jego stokowego położenia (nachylenie 40°) i przemysłowego charakteru gospodarki wodnej. Najwyższe wartości pH gleb zmierzone w łągu (stanowisko 6.) ujawniły okresowy kontakt wód gruntowych z głębszymi poziomami profilu glebowego, co powodowało dopływ substancji zasadowych z Rawki.

Zawartość węgla organicznego w poziomach akumulacyjnych badanych gleb była niewielka (tab. 1). Jedynie na stanowisku 1 – boru wilgotnego – zawartość węgla organicznego była nieco większa.

Pomiary wydzielania CO<sub>2</sub> wykazały w większości mniejszą emisję z gleb w miejscach pozbawionych ściółki niż ze ściółką (tab. 2). Dotyczy to zwłaszcza gleb siedlisk grądowych (stanowisko 4 i 5) oraz łągu (stanowisko 6). W siedlisku łąki świeżej (stanowisko 8) wykazano zależność odwrotną, co może oznaczać, że darń, a ściślej – duża gęstość części nadziemnych roślin, może ograniczać uwalnianie CO<sub>2</sub>. Różnice te są jednak niewielkie.

**Tabela 2.** Wydzielanie CO<sub>2</sub> z badanych gleb

**Table 2.** CO<sub>2</sub> emissions from researched soils

Stano- wisko	Wydzielanie CO <sub>2</sub> z gleby, w g(CO <sub>2</sub> )·m <sup>-2</sup> ·doba <sup>-1</sup>						
	pozbawionej ściółki			ze ściółką			
	próbka 1	próbka 2	średnio	próbka 1	próbka 2	próbka 3	średnio
1	3,45	2,82	3,13 ±0,45	3,83	3,83	3,78	3,81 ±0,02
2	4,14	4,40	4,27 ±0,19	4,40	4,53	4,22	4,39 ±0,15
3	4,27	4,18	4,22 ±0,06	4,88	4,88	4,66	4,81 ±0,12
4	4,88	3,61	4,25 ±0,90	3,56	3,56	3,10	3,41 ±0,27
5	4,18	3,34	3,76 ±0,59	3,96	4,75	4,09	4,27 ±0,42
6	4,97	5,06	5,02 ±0,06	5,48	5,72	5,72	5,64 ±0,14
7	4,91	4,88	4,90 ±0,02	5,02	5,17	5,19	5,13 ±0,10
8	5,92	6,12	6,02 ±0,14	5,98	5,63	5,87	5,83 ±0,18

W toku badań stwierdzono ponadto zależność między wydzielaniem CO<sub>2</sub> z gleby i stanem uwilgotnienia siedlisk. Uwidacznia się ona zwłaszcza na stanowiskach zajętych przez bory (stanowiska 1–3). Wśród nich największe wartości emisji CO<sub>2</sub> zanotowano w siedliskach boru wilgotnego, najmniejsze zaś – w siedlisku boru suchego (tab. 2). Największe wartości emisji CO<sub>2</sub> zanotowano w siedliskach łąkowym oraz łągowym, również cechujących się zwiększonym uwilgotnieniem, warunkowanym bliskością doliny rzecznej i płytko występującym zwierciadłem wód gruntowych.

Analiza związków korelacyjnych wykazała, że im większa wartość pH, tym większa ilość wydzielanego CO<sub>2</sub> (tab. 3). Związek określono jako silny. Ma to potwierdzenie w tym, że bakterie glebowe wymagają obojętnego lub lekko kwaśnego odczynu gleby, a mikroflo-

**Tabela 3.** Wartości współczynnika korelacji między wydzielaniem CO<sub>2</sub>, pH i zawartością próchnicy**Table 3.** Values of correlation coefficient between CO<sub>2</sub> emission, pH and humus content

Właściwości gleby	CO <sub>2</sub> wydzielony z gleb:	
	pozbawionych ściółki	ze ściółką
pH w KCl	0,73*	0,62
pH w H <sub>2</sub> O	0,78*	0,65
Zawartość próchnicy	-0,33	-0,31

**Objaśnienia:**

\* Wyniki istotne statystycznie.

ra grzybowa rozwija się lepiej w warunkach odczynu kwaśnego. Interesujące jest to, że na stanowiskach pozbawionych ściółki zależność ta była silniejsza, co może świadczyć o tym, że odczyn gleb wpływa na wymianę gazową między glebą i atmosferą. Biorąc pod uwagę warunki troficzne poszczególnych gatunków roślin, a także rozwój mikrobioty glebowej i zależność od pH należy tezę tę jednoznacznie potwierdzić, na co wskazują także inni autorzy [Brady, Weil 2001; Jezierska-Tys, Świca 2004].

Wartości współczynnika korelacji zależności między zawartością węgla organicznego w poziomach próchnicznych badanych gleb a wydzielaniem CO<sub>2</sub> były ujemne, dlatego nie udało się potwierdzić wpływu zasobności gleb w materię organiczną na wydzielanie z nich CO<sub>2</sub>. Należałoby jednak zbadać zachodzące w glebie procesy rozkładu materii organicznej, bowiem dopiero skutki tych procesów są uważane za najbardziej intensyfikujące wydzielanie CO<sub>2</sub> z powierzchni gleby.

**4. WNIOSKI**

1. Zróżnicowanie siedlisk wpłynęło na zróżnicowanie ilości CO<sub>2</sub> wydzielanego z gleb. Emisja CO<sub>2</sub> w siedliskach leśnych była mniejsza niż w nieleśnych. Ponadto, na stanowiskach zajętych przez siedliska o większym uwilgotnieniu (bór wilgotny, łąg) wydzielanie CO<sub>2</sub> z gleb było większe niż na stanowiskach boru suchego i świeżego.
2. Odczyn gleby może w istotny sposób modyfikować wydzielanie CO<sub>2</sub>, wpływając na skład i aktywność mikrobioty glebowej oraz warunki bytowania roślin na poszczególnych stanowiskach.
3. Przeprowadzone badania nie wykazały zależności ilości wydzielonego CO<sub>2</sub> od zawartości węgla organicznego. Wpływ na to mogło mieć zbyt duże zróżnicowanie badanych siedlisk.

**PIŚMIENNICTWO**

- ARCHER D. 2007. Global warming – Understanding the forecast. Blackwell Publishing: 194.
- BEDNAREK R., DZIADOWIEC H., POKOJSKA U., PRUSINKIEWICZ Z. 2004. Badania ekologiczno-gleboznawcze. WN PWN, Warszawa: 344.

- BRADY N. C., WEIL R. R. 2001. The nature and properties of soils (XIII edition). Prentice-Hall International: 960.
- CZYŻEWSKA K. 1999. Murawy napiaskowe Bolimowskiego Parku Krajobrazowego. [W:] K. Czyżewska [red.]. Roślinność Bolimowskiego Parku Krajobrazowego. Monographiae Botanicae 85: 211–232.
- FANG C., MONCRIEFF J. B. 2001. The dependence of soil CO<sub>2</sub> efflux on temperature. Soil Biology and Biochemistry 33 (2): 155–165.
- FURCZAK J. 2006. Aktywność biochemiczna gleby płowej pod soją uprawianą w różnych systemach. Acta Agrophysica 8 (4): 815–824.
- GOŁĘBIOWSKA J., RYSZKOWSKI L. 1977. Energy and carbon fluxes in soil compartments of agroecosystems. Ecological Bulletin 25: 274–283.
- HARMON M. E., FERRELL W. K., FRANKLIN J. F. 1990. Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young growth forest. Science 247: 699–702.
- JAKUBOWSKA-GABARA J. 1999. Roślinność leśna Bolimowskiego Parku Krajobrazowego. [W:] K. Czyżewska [red.]. Roślinność Bolimowskiego Parku Krajobrazowego. Monographiae Botanicae 85: 27–99.
- JANSSENS I. A., KOWALSKI A. S., LONGDOZ B., CEULEMANS R. 2000. Assessing forest soil CO<sub>2</sub> efflux: an in situ comparison of four techniques. Tree Physiology, 20 (1): 23–32.
- JEZIERSKA-TYS S., ŚWICA K. 2004. Wpływ symulowanych kwaśnych opadów na aktywność mikrobiologiczną gleby. Annales UMCS, Sectio E, 59: 1161–1166.
- KUCHARSKI L., PISAREK W. 1999. Roślinność łąk Bolimowskiego Parku Krajobrazowego. [W:] K. Czyżewska [red.]. Roślinność Bolimowskiego Parku Krajobrazowego. Monographiae Botanicae 85: 139–176.
- LASKOWSKI S., PAPIŃSKA E., TOŁOCZKO W. 2001. Różnorodność przyrodnicza Załęczańskiego Parku Krajobrazowego na przykładzie wybranych stanowisk. Problemy Ekologii Krajobrazu, t. 9: 99–112.
- MOREN A-S., LINDROTH A. 2000. CO<sub>2</sub> exchange at the floor of a boreal forest. Agricultural and Forest Meteorology 101 (1): 1–14.
- PAPIŃSKA E., TOŁOCZKO W. 2002. Walory abiotyczne Załęczańskiego Parku Krajobrazowego. [W:] J. Kurowski i P. Witosławski [red.]. Funkcjonowanie parków krajobrazowych w Polsce. Wyd. UŁ, Łódź: 189–193.
- RASTOGI M., SINGH S., PATHAK H. 2002. Emission of carbon dioxide from soil. Current Science 82 (5): 510–517.
- ROCHETTE P., DESJARDINS R. L., PATTEY E. 1991. Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. Canadian Journal of Soil Science 71 (2): 189–196.
- RYKOWSKI K. 1999. Rola ekosystemów leśnych oraz drewna w kontrolowaniu absorpcji i emisji węgla. [W:] Zmiany i zmienność klimatu Polski, ich wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka. Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Łódź, 4-6 listopada 1999: 225–244.

- SAINJU U. M., JABRO J. D., STEVENS W. B. 2008. Soil carbon dioxide emissions and carbon content as affected by irrigation, tillage, cropping system and nitrogen fertilization. *Journal of Environmental Quality* 37: 98–106.
- SMITH K. A., BALL T., CONEN F., DOBBIE K. E., MASSHEDER J., REY A. 2003. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science* 54: 779–791.
- SO H. B., DALAI R. C., CHAN K. Y., MENZIES N. M., FREEBAIRN D. M. 2001. Potential of conservation tillage to reduce carbon dioxide emission in Australian soils. [W:] D.E. Scott, R. H. Mohtar, G. C. Steinhardt [red.]. *Sustaining the global farm. Selected papers from the 10<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Meeting, May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory*: 821–826.
- TUROWSKA M., DEKA M. 1993. *Laboratorium analizy ilościowej*. Wyd. UŁ, Łódź: 160.
- WIELGOSZ E., SZEMBER A. 2006. Wpływ wybranych roślin na liczebność i aktywność drobnoustrojów glebowych. *Annales UMCS, Sectio E* 61: 107–119.
- WYCZÓŁKOWSKI A. I., WYCZÓŁKOWSKA M., DĄBEK-SZRENIAWSKA M. 2006. Biologiczna aktywność gleb pod roślinami w wybranym płodozmianie. *Acta Agrophysica* 8 (1): 275–284.