

Zmienność stężeń gazów w powietrzu strefy aeracji środowiska naturalnego i przekształconego rolniczo

Krzysztof Józwiak¹

Variability of concentrations of gases in the air of the vadose zone in the natural and agriculturally converted environments.
Prz. Geol., 65: 1075–1079.

Abstract. The paper presents results of studies of gas concentrations in soil air of the vadose zone (O_2 , CO_2 , CH_4 , H_2S , NH_3) in natural (alder swamp and dune) and agriculturally modified (plough fields, permanent grassland) environments. Basing on the results of the field measurements dependence of gas exchange between aeration zone and atmosphere can be observed. Limited gas exchange between atmosphere and aeration zone results in increase of CO_2 concentration and decrease of O_2 content. The processes that regulate the concentrations of CO_2 and O_2 are: [1] variations of the temperature of the atmosphere and soil, [2] variations of soil moisture, [3] variations of atmospheric pressure. The oxygen concentration in the vadose zone decreases with increasing depth, while the CO_2 concentration increases. Analysis of the distribution of gases in the vadose zone against the mean daily temperature shows that the O_2 concentration was lower during cooler periods than during warm periods. An increase of soil moisture (e.g., resulting from the precipitation infiltration) is related to the O_2 concentration decrease and CO_2 concentration increase resulting from unfavourable conditions of gas exchange between soil and the atmosphere.

Keywords: gas composition of soil air; vadose zone, oxygen, carbon dioxide, methane, hydrogen sulphide, ammonia

Grunt jest układem trójfazowym. Do jego elementów składowych zalicza się fazę stałą, ciekłą oraz gazową. Właściwości gruntu zależą od składu poszczególnych faz, ich wzajemnego stosunku ilościowego oraz współdziałania między sobą. Powietrze gruntowe wypełnia pory w strefie aeracji w stale zmieniającym się stosunku woda–powietrze, zależnym od wartości wilgotności objętościowej. Część objętości porów w wilgotnej glebie zajęta przez powietrze nazywamy porowatością powietrzną (Rewut, 1980).

Porowatość powietrzna gruntu zależy m.in. od wielkości opadów oraz głębokości, a więc ulega zmianie w czasie i przestrzeni. Wartość porowatości powietrznej poniżej 10% jest określana jako krytyczna dla wzrostu roślin, poniżej tej wartości dochodzi do problemów w oddychaniu gleby (Lipiec, 2004). Powietrze glebowe nie tworzy wówczas ciągłych połączeń, zahamowana jest wymiana gazowa między glebą a atmosferą, co ogranicza oddawanie przez grunt CO_2 i pobieranie O_2 .

Stan napowietrzenia gruntu można także charakteryzować przez potencjał utleniająco-redukcyjny (Eh). W warunkach naturalnych wartości Eh gruntu zmieniają się od $-0,4$ V (w środowisku beztlenowym) do $+0,8$ V (w środowisku tlenowym) (Stępniewska i in., 2004).

Głównymi czynnikami wpływającymi na zmianę składu powietrza gruntowego oraz na szybkość, kierunek i wielkość wymiany powietrza są: [1] działalność mikroorganizmów i korzeni roślin wyższych, [2] temperatura, [3] wilgotność, [4] głębokość, [5] stopień napowietrzenia gleby, a także [6] ciśnienie atmosferyczne.

Temperatura – jej wzrost powoduje nagrzewanie się warstwy przypowierzchniowej, w wyniku czego następuje rozprężenie gazów i ich ucieczka do atmosfery. W sytuacji odwrotnej, przy spadku temperatury, występuje sprężanie gazów w powietrzu gruntowym i zasysanie gazów atmosferycznych w głąb profilu gruntowego. Procesy te zaznaczają się w dobowych wahaniami temperatury i dobrze korelują się ze zmianami stężeń gazów w grun-

tach piaszczystych. Ilościowo wymianę gazu opisuje prawo Gay-Lussaca, zgodnie z którym zmiana temperatury o $1^\circ C$ skutkuje rozprężeniem lub skurczeniem gazu o $1/273$ jego objętości, a więc wymiany takiej objętości.

Wilgotność gleby – dopływ wody (opad, kondensacja pary wodnej, czynniki antropogeniczne) do strefy aeracji prowadzi do wypierania powietrza z porów.

Ciśnienie atmosferyczne – wraz z jego wzrostem powietrze glebowe spręża się i wywiera większe ciśnienie na ośrodek gruntowy. Przy spadku ciśnienia atmosferycznego następuje rozprężenie powietrza w porach gruntu i jego część zostaje wyparta do atmosfery.

Procesy wymiany powietrza zachodzą wyłącznie w sytuacji, gdy dochodzi do zakłócenia równowagi termodynamicznej w określonym układzie. Kiedy równowaga ta między powietrzem glebowym a atmosferycznym zostanie ustalona, wówczas wymiana powietrza zostaje całkowicie przerwana.

Ważnym czynnikiem wymiany gazowej w strefie aeracji są procesy sorpcji. Według Paderewskiego (1999) w wyniku zetknięcia się fazy gazowej z powierzchnią fazy stałej część cząsteczek adsorbentu (gazu) zostaje zaadsorbowana na powierzchni ciała stałego. Typowymi izotermami opisującymi adsorpcję są izotermy: Henry'ego, Freundlicha oraz Langmuira. Odwołują się one do procesu adsorpcji czystego gazu, gdzie wystarcza znajomość trzech zmiennych: temperatury, ciśnienia i ilości zaadsorbowanego gazu. W przypadku adsorpcji mieszanin gazowych jest jeszcze wymagana znajomość składu fazy zaadsorbowanej oraz fazy gazowej w stanie równowagi. Do opisu zjawiska adsorpcji gazu w gruncie stosuje się najczęściej równanie Langmuira z rozszerzeniem Markhama i Bentona. W równaniu tym energia adsorpcji jest stała i niezależna od stopnia pokrycia powierzchni, a pomiędzy zaadsorbowanymi cząsteczkami nie ma wzajemnego oddziaływania. Ponadto maksymalna możliwa adsorpcja odpowiada warstwie monomolekularnej.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00–975 Warszawa; Krzysztof.Jozwiak@pgi.gov.pl.

Celem badań było określenie wzajemnych relacji między zawartością wybranych gazów (tłenu, dwutlenku węgla, metanu, siarkowodoru i amoniaku) w powietrzu gruntowym gleby i strefy aeracji oraz ich wpływu na procesy kształtujące skład chemiczny płytkich wód podziemnych strefy aktywnej wymiany.

OBSZAR BADAŃ

Do badań wybrano dwa niezależne obszary zlokalizowane w niewielkiej odległości od aglomeracji warszawskiej (ryc. 1). Badania wykonywano w środowisku naturalnym i przekształconym rolniczo. Środowiskiem naturalnym były obszar wydm i strefa bagien – oba położone w rejonie rezerwatu Sieraków (KPN). Środowisko przekształcone rolniczo stanowiły natomiast obszary pól uprawnych i łąk w rejonie Nowej Woli (powiat piaseczyński).

Poligon Sieraków – obszar wydm. Po rozpoznaniu profilu gruntowego do głębokości 3 m p.p.t. w strefie wydm zamontowano próbniki gazów glebowych na głębokościach 0,5; 1,0 i 1,5 m p.p.t.

Poligon Sieraków – obszar olsu. Wysokie położenie zwierciadła wody w torfach skutkowało stałym zalewaniem próbników gazów, w związku z czym zdecydowano, że próbniki będą na głębokościach 0,1 i 0,2 m p.p.t.

Poligon Nowa Wola – obszar pól uprawnych i łąk. Próbniki gazów zainstalowano na głębokościach 0,52; 1,0 i 2,0 m (łąki) oraz 0,5; 1,2 i 2,0 m (pola uprawne). Na obszarze łąk zwierciadło wód podziemnych znajdowało się na głębokości 1,98 m p.p.t. (średnia z okresu pomiarowego). W prowadzonych badaniach wyeliminowano próbniki płytko umieszczone, gdyż obejmowały warstwę orną gleby.

METODA BADAŃ

Badania zawartości wybranych gazów (O_2 , CO_2 , CH_4 , H_2S , NH_3) w powietrzu gruntowym prowadzono na każdym z poligonów na głębokościach: 5, 10, 20, 50 i 100 cm. Założono możliwość modyfikacji głębokości pomiarowych na skutek sezonowych wahań zwierciadła wody. Badania stężeń gazów wykonywano w cyklu dwutygodniowym na wybranych poligonach w Kampinoskim Parku Narodowym (KPN; rezerwat Sieraków) oraz na polach uprawnych i łąkach w rejonie Nowej Woli, tak żeby można było udokumentować (poza rocznymi) również sezonowe fluktuacje stężeń gazów.

Zaplanowano roczne, systematyczne obserwacje terenowe, które trwały od 1.11.2009 r. do 28.03.2011 r. Badaniami terenowymi i laboratoryjnymi objęto pomiar stężeń wybranych gazów, badania parametrów fizykochemicznych wód strefy aeracji i saturacji oraz badania składu mineralnego skał. Łącznie wykonano 2376 pomiarów gazów w powietrzu strefy aeracji.

Do pomiaru stężeń gazów w powietrzu glebowym zastosowano dwa typy aparatów – TETRA i SEITRON. Aparat TETRA jest czterokanałowym miernikiem wyposażonym w czujniki elektrochemiczne – zakresy pomiarowe oraz ich rozdzielczość przedstawiono w tabeli 1.

Aparat SEITRON jest używany do terenowego pomiaru stężeń metanu w powietrzu. Wykorzystany w urządzeniu czujnik działa w podczerwieni, przez co musi znajdować się w środowisku pomiarowym. Cykl pomiarowy wyglądał następująco: próbnik gazowy podłączono do

Tab. 1. Zakres pomiarowy czujników

Table 1. Measuring range of sensors

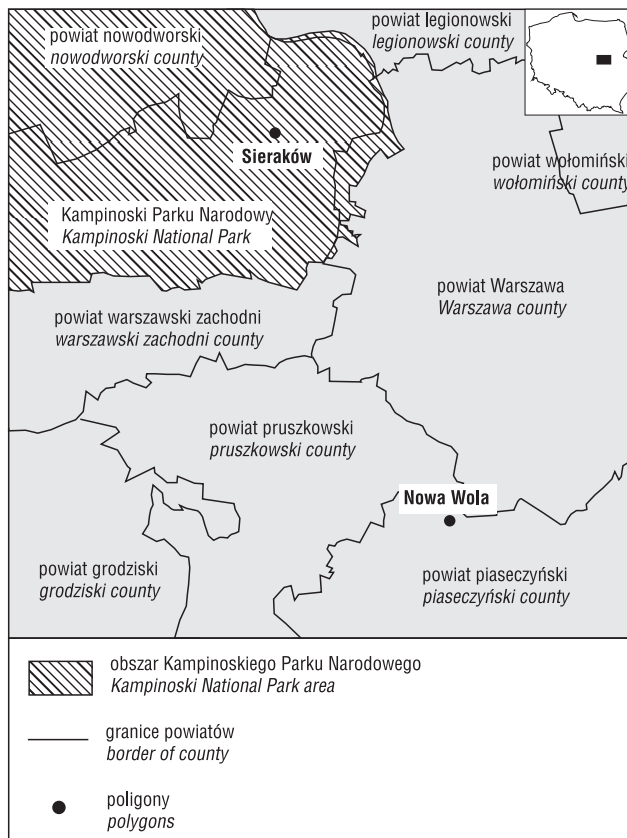
Gaz Gas	Jednostka Unit	Zakres Range	Rozdzielczość Resolution
CO_2	%	0–10	0,01
H_2S	ppm	0–50	1,0
NH_3	ppm	0–50	0,1
O_2	%	0–25	0,1
CH_4	ppm	0–10 000	0,1

hermetycznej komory przepływowej, w której znajdował się czujnik metanu, komorę następnie podłączono do aparatu typu TETRA.

WYNIKI BADAŃ

W glebach uprawnych na ogół zawartość CO_2 nie przekracza 10%, O_2 natomiast mieści się w granicach 15–21%. Większe zróżnicowanie składu chemicznego powietrza glebowego jest efektem podwyższonej działalności respiracyjnej gleby lub też czynników utrudniających wymianę gazów między powietrzem glebowym a powietrzem atmosferycznym. Obecność w powietrzu glebowym niewielkiej ilości zredukowanych form połączeń gazowych świadczy o występowaniu w glebie warunków beztlenowych.

W tabeli 2 podano parametry statystyczne pomiarów gazów we wszystkich punktach badawczych.



Ryc. 1. Obszar badań

Fig. 1. The research area

Tab. 2. Podstawowe dane statystyczne zawartości CO₂, H₂S, NH₃, O₂, CH₄ w środowisku aeracji
Table 2. Basic statistical data on CO₂, H₂S, NH₃, O₂, CH₄ of the vadose zone

Sieraków – wydmy / dunes	0,5 m					1,0 m					1,5 m				
	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	CH ₄ [ppm]	H ₂ S [ppm]	NH ₃ [ppm]	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	CH ₄ [ppm]	H ₂ S [ppm]	NH ₃ [ppm]	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	CH ₄ [ppm]	H ₂ S [ppm]	NH ₃ [ppm]
Liczba pomiarów <i>Number of measurements</i>	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Min.	17,50	0,45	0,00	0,00	0,00	17,39	0,57	0,00	0,00	0,00	17,19	0,72	0,00	0,00	0,00
Maks.	20,90	1,12	0,00	0,00	0,00	20,80	1,09	0,00	0,00	0,00	20,60	1,25	0,00	0,00	0,00
Średnia <i>Average</i>	20,05	0,75	–	–	–	19,95	0,79	–	–	–	19,75	0,94	–	–	–
Mediana <i>Median</i>	20,20	0,71	–	–	–	20,09	0,77	–	–	–	19,89	0,93	–	–	–
Odchylenie stand. <i>Standard deviation</i>	0,65	0,19	–	–	–	0,65	0,15	–	–	–	0,65	0,15	–	–	–
Sieraków – bagna / marsh	0,1 m					0,2 m					X				
	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	CH ₄ [ppm]	H ₂ S [ppm]	NH ₃ [ppm]	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	CH ₄ [ppm]	H ₂ S [ppm]	NH ₃ [ppm]					
Liczba pomiarów <i>Number of measurements</i>	54	54	54	54	54	54	54	30	54	54					
Min.	17,50	0,32	0,00	0,00	0,00	17,40	0,25	0,00	0,00	0,00					
Maks.	20,80	1,64	7,00	0,00	0,20	20,90	1,08	12,00	0,00	0,60					
Średnia <i>Average</i>	19,97	1,19	0,76	–	0,01	19,99	0,68	2,10	–	0,02					
Mediana <i>Median</i>	20,10	1,21	0,00	–	0,00	20,10	0,69	1,00	–	0,00					
Odchylenie stand. <i>Standard deviation</i>	0,62	0,22	1,75	–	0,05	0,66	0,25	3,02	–	0,08					
Nowa Wola – łąki / meadows	0,52 m					1,0 m					2,0 m				
	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	CH ₄ [ppm]	H ₂ S [ppm]	NH ₃ [ppm]	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	CH ₄ [ppm]	H ₂ S [ppm]	NH ₃ [ppm]	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	CH ₄ [ppm]	H ₂ S [ppm]	NH ₃ [ppm]
Liczba pomiarów <i>Number of measurements</i>	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Min.	11,20	0,10	0,00	0,00	0,00	11,00	0,09	0,00	0,00	0,00	11,10	0,09	0,00	0,00	0,00
Maks.	20,50	0,25	0,10	0,00	0,00	20,10	0,23	0,10	1,00	0,00	19,40	0,22	0,10	1,00	0,00
Średnia <i>Average</i>	17,06	0,17	0,01	–	–	16,37	0,15	0,01	0,03	–	15,99	0,13	0,01	0,06	–
Mediana <i>Median</i>	17,50	0,18	0,00	–	–	16,80	0,16	0,00	0,00	–	16,60	0,13	0,00	0,00	–
Odchylenie stand. <i>Standard deviation</i>	2,82	0,03	0,03	–	–	2,82	0,03	0,02	0,17	–	2,67	0,03	0,02	0,24	–
Nowa Wola – pola uprawne / arable fields	0,5 m					1,2 m					2,0 m				
	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	CH ₄ [ppm]	H ₂ S [ppm]	NH ₃ [ppm]	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	CH ₄ [ppm]	H ₂ S [ppm]	NH ₃ [ppm]	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	CH ₄ [ppm]	H ₂ S [ppm]	NH ₃ [ppm]
Liczba pomiarów <i>Number of measurements</i>	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Min.	15,40	0,54	0,00	0,00	0,00	15,60	0,07	0,00	0,00	0,00	16,00	0,03	0,00	0,00	0,00
Maks.	19,60	3,77	1,00	0,00	0,00	19,70	2,94	1,00	0,00	0,00	20,10	0,18	1,00	0,00	0,00
Średnia <i>Average</i>	16,77	1,19	0,12	–	–	16,93	0,44	0,10	–	–	17,19	0,09	0,03	–	–
Mediana <i>Median</i>	16,10	0,92	0,00	–	–	16,30	0,26	0,00	–	–	16,60	0,09	0,00	–	–
Odchylenie stand. <i>Standard deviation</i>	1,24	0,72	0,29	–	–	1,21	0,56	0,28	–	–	1,19	0,04	0,17	–	–

Tlen

W strefie przypowierzchniowej najniższe obserwowane stężenia tlenu występowały późną zimą, zazwyczaj w okresie koniec grudnia–początek lutego w środowisku wydymowym – 17,5%, a w bagiennym – 17,5%. Z kolei w środowisku przekształconym antropogenicznie wartości ekstremalnie niskie występowały później o ok. 2 tygodnie niż w środowisku naturalnym KPN. Prawdopodobnie w większym stopniu wiąże się to z dłuższym okresem utrzymania się niskich temperatur na odkrytym, bezleśnym terenie Nowej Woli niż na poligonach badawczych w KPN. W środowisku antropogenicznym ekstremalnie niskie stężenia O_2 były już znacząco niższe: na obszarze łąk w strefie przypowierzchniowej min. 11,2%, a na polach – 15,4%.

W okresie wegetacyjnym zanotowano analogiczną tendencję, chociaż różnice pomiędzy środowiskami KPN a Nowej Woli nie były już tak duże. Stężenia O_2 na obszarze wydym w okresie wegetacyjnym zazwyczaj przekraczały 20% (maks. 20,9%, a więc tyle samo co w powietrzu atmosferycznym). Niewiele niższe były w środowisku bagiennym – najczęściej 20,1–20,4% O_2 . Na obszarze łąk Nowej Woli w okresie wegetacyjnym wahania zawartości tlenu sięgały do 3,2% (17,3–20,5% O_2 w powietrzu gruntowym). Nieznacznie większe wahania zaobserwowano w stropowej części strefy aeracji na obszarze pól uprawnych – sięgały 4,2% (15,4–19,6%). Znacząco niższą zawartość tlenu stwierdzono na obszarach wykorzystywanych rolniczo przez cały rok. Być może wiąże się to z nieco niższą przepuszczalnością powietrzną gruntów porolnych. W założeniu orka ma poprawiać m.in. właściwości powietrzne gleb, jednak równocześnie przyspiesza hydrolityczny rozkład krzemianów i glinokrzemianów zawartych w stropowej części strefy aeracji. Efektem tego jest zwiększanie zawartości frakcji ilastej w górnej części profilu. Dodatkowo w warunkach zmienionych antropogenicznie uprawa roślin oraz nawożenie wpływa na podwyższanie ilości materii organicznej. W takim układzie część zawartego tlenu w powietrzu glebowym zostaje zużyta podczas rozkładu tej materii.

Strefy głębsze badanych profili. Na obszarze wydym KPN wraz ze zwiększaniem się głębokości pomiarów zawartość tlenu spadała. Zmierzone zawartości O_2 są o ok. 0,2–0,3% (maks. do 0,4%) niższe niż w strefie przypowierzchniowej. Gradient zmian na odcinku 1,5 m profilu wydymowego jest więc stosunkowo niewielki. Z uwagi na głębokość całkowitą profilu bagiennego (0,2 m) trudno wyciągnąć jednoznaczne wnioski. Jednak także tutaj można zaobserwować nieznaczny, bo sięgający 0,1%, spadek zawartości tlenu wraz z głębokością.

Na polach uprawnych zaznacza się tendencja wzrostu zawartości O_2 wraz z głębokością – ok. 0,2–0,3% w okresie wegetacyjnym i 0,1–0,2% poza nim. Natomiast strefa ugorowanych łąk charakteryzuje się stałym spadkiem zawartości tego gazu w głąb profilu strefy aeracji. W skrajnych przypadkach pomiędzy próbnikami zainstalowanymi na głębokościach 0,52 i 2,0 m występowała różnica 1,5% (0,52 m p.p.t. – 20,5%; 2,0 m p.p.t. – 19,4%).

Dwutlenek węgla

W strefie przypowierzchniowej najniższe obserwowane stężenia CO_2 występowały w drugiej połowie sezonu wegetacyjnego, zazwyczaj w okresie koniec czerwca–początek

września. W tym okresie w środowisku wydymowym najniższe stężenia osiągały wartość 0,45% CO_2 , a w środowisku bagiennym – 0,32%. Najwyższe wartości notowane w miesiącach zimowych sięgały maksymalnie 1,12% w systemie wydymowym i 1,64% w bagiennym.

W środowisku przekształconym antropogenicznie brak jest korelacji w stosunku do okresu minimalnych stężeń CO_2 . Wartości minimalne przypadały na koniec okresu zimowego (luty–początek marca) i oscylowały wokół wartości 0,12–0,17% CO_2 w strefie przypowierzchniowej. Wartości maksymalne mierzono w drugiej połowie okresu wegetacyjnego (koniec czerwca–początek listopada) i sięgały maksymalnie 0,25% w systemie łąkowym i 3,77% na polu uprawnym.

Porównanie obydwu środowisk w zakresie strefy przypowierzchniowej wskazuje wyraźnie na dominującą rolę człowieka w wymuszaniu krążenia węgla w obiegu przyrodniczym systemów przekształconych antropogenicznie. W takim systemie stężenia CO_2 są nawet trzy- lub czterokrotnie wyższe niż w systemie naturalnym.

Strefy głębsze badanych profili. Na obszarze wydym KPN wraz ze wzrostem głębokości pomiarów zawartość CO_2 stale, aczkolwiek nieznacznie rosła. Ilość CO_2 na głębokości 1,5 m jest o ok. 0,11–0,17% wyższa niż w strefie przypowierzchniowej w zimie. W okresie koniec marca–początek września różnica sięga nawet do 0,28%. Gradient zmian na odcinku 1,5 m jest stosunkowo niewielki. W profilu bagiennym występuje odwrócenie tendencji obserwowanej w wydymach. Na głębokości 0,2 m zawartość CO_2 w powietrzu gruntowym jest mniejsza niż na głębokości 0,1 m. Różnice te są cykliczne – w okresie zimowym notowano o 0,36–0,99% CO_2 mniej niż w strefie glebowej. W porze letniej (czerwiec–sierpień) różnica ta malała do ok. 0,22–0,25%. Wyraźny trend spadkowy zaczęto odnotowywać w głębszym próbniku od początku września.

W środowisku ugorowanych łąk obserwuje się nieznaczny trend spadkowy zawartości CO_2 wraz z głębokością. W stosunku do warstwy najpłytszej na głębokości 2,0 m w piaskach średnioziarnistych zawartość gazu jest niższa o ok. 0,02–0,07%. Nie zaobserwowano żadnego powiązania z sezonem wegetacyjnym. Również na polach uprawnych zanotowano spadek zawartości CO_2 w funkcji głębokości. Jednak notowane różnice były większe i sięgały maksymalnie 3,59%. W odróżnieniu od łąk zaznaczyła się tu pewna sezonowość. W okresie zimowym różnice między próbnikiem najpłytszym (0,5 m p.p.t.) a najgłębszym (2,0 m p.p.t.) sięgały do 1,03%. W sezonie wegetacyjnym maksymalne różnice występowały na przełomie września i października – do 3,62%.

Metan, siarkowodór, amoniak

Niemal wszystkie pomiary metanu, siarkowodoru i amoniaku dały wyniki zerowe. Powodem jest dobre natlenienie badanych środowisk. Również mierzony potencjał redoks niemal zawsze wskazywał, że badane środowiska są utlenione, tylko nieliczne pomiary dawały wartości pozwalające zakwalifikować je jako przejściowe.

Ze względów metodycznych należy zauważyć, że rozdzielczość pomiarów na poziomie 1,0 ppm dla siarkowodoru jest zbyt duża. Pomiary z dokładnością 0,1 ppm dla amoniaku i metanu są natomiast zupełnie zadowalające.

PODSUMOWANIE

Głównymi gazami w powietrzu strefy aeracji są: tlen, azot, dwutlenek węgla oraz para wodna, a w mniejszych ilościach: metan, etylen, podtlenek azotu, siarkowodór, amoniak, wodór oraz tlenek węgla.

W celu określenia zmiany zawartości gazów w powietrzu strefy aeracji prowadzono w latach 2009–2011 systematyczne pomiary na stałych stanowiskach badawczych. Pomiary wykonywano na głębokości w przedziale 0,1–2,0 m p.p.t.

Obecność H_2S , NH_4 i CH_4 jest uzależniona od wielkości wymiany powietrznej z atmosferą i zawartości O_2 w powietrzu strefy aeracji. W badanych środowiskach gazy te nie występowały lub były obecne w niewielkich ilościach.

Na podstawie wyników pomiarów zaobserwowano zależność, że przy utrudnionej wymianie gazowej między powietrzem atmosferycznym a strefą aeracji następuje wzrost stężenia CO_2 , przy jednoczesnym spadku zawartości O_2 . Procesami, które regulują stężenia O_2 i CO_2 są zmiany temperatury gruntu i powietrza atmosferycznego, wilgotności oraz ciśnienia atmosferycznego.

Utrudniona wymiana gazowa i związane z nią zmiany stężenia gazów są także spowodowane głębokością. Dlatego też uzyskane wyniki wskazują, że wraz ze wzrostem głębokości wykonywanego pomiaru w powietrzu strefy aeracji zmniejsza się zawartość tlenu przy jednoczesnym wzroście stężenia dwutlenku węgla.

Istotnym czynnikiem regulującym wzajemny stosunek CO_2 i O_2 jest temperatura. Czynnikiem ten odgrywa znaczącą

rolę zarówno przy procesach mikrobiologicznych, jak i dyfuzji gazów do/z atmosfery.

Analizując rozkład stężeń gazów w powietrzu strefy aeracji na tle średniej dobowej temperatury, stwierdzono, że w okresach chłodnych zawartość O_2 była niższa niż w okresach ciepłych. Tym samym dla CO_2 zaistniała tendencja odwrotna.

Wraz ze wzrostem ciśnienia atmosferycznego, przy spadku temperatury, zawartość tlenu w powietrzu gruntowym wzrasta, przy równoczesnym spadku ilości CO_2 . Związane jest to z procesem dyfuzyjnego przemieszczania się gazów w głąb profilu. W sytuacji odwrotnej, gdy spada ciśnienie atmosferyczne następuje spadek zawartości O_2 w powietrzu gruntowym.

Wraz ze wzrostem wilgotności objętościowej gruntów (np. przechodzenie fali wilgotności po opadach) malała zawartość O_2 i wzrastało stężenie CO_2 w wyniku utrudnionego odpływu gazu do atmosfery oraz nastąpił większy rozkład materiału organicznego.

LITERATURA

- LIPIEC J., 2004 – Compaction effects on soil physical properties and root and shoot growth. [W:] Gliński J., Józefaciuk G., Stahr K. (red.), Soil – Plant – Atmosphere aeration and environmental problems. IA PAN, Lublin–Stuttgart: 124–133.
- PADEREWSKI M., 1999 – Procesy adsorpcyjne w inżynierii chemicznej. Wyd. Nauk.-Tech., Warszawa, s. 310.
- RÉWUT I.B., 1980 – Fizyka gleby. Państw. Wyd. Rolnicze i Leśne, Warszawa, s. 381.
- STĘPNIĘWSKA Z., FORMAL E., KOSIOROWSKA I., CHARYTONIUK P., 2004 – Soil aeration and pesticide decomposition. [W:] Gliński J., Józefaciuk G., Stahr K. (red.), Soil – Plant – Atmosphere aeration and environmental problems. IA PAN, Lublin–Stuttgart: 94–102.