



Badania stężenia CO₂ w powietrzu podglebowym w rejonie Tarnowa pod kątem monitoringu składowania dwutlenku węgla

*Radosław Tarkowski, Barbara Uliasz-Misiak,
Magdalena Wdowin, Katarzyna Batkiewicz*

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN

1. Wstęp

Badania stężenia CO₂ w powietrzu podglebowym są prowadzone w różnych celach. Pomiary takie wykonywane są w rejonach występowania szczaw oraz wycieków endogenicznego dwutlenku węgla w celu oceny racjonalnej gospodarki tymi wodami oraz określenia zagrożenia, jakie dwutlenek węgla może stanowić dla ludzi. Tego typu badania prowadzono w rejonie sudeckim (Duszniki Zdrój, Kudowa Zdrój, Szczawno Zdrój) oraz karpackim (Tylicz, Krynica, Muszyna, Szczawnik, Żegiestów, Krościenko) [1, 2]. W latach 1999÷2001, w rejonie likwidowanych kopalń węgla kamiennego w Wałbrzyskim Zagłębiu Węglowym, prowadzono pomiary koncentracji CO₂ w powietrzu podglebowym [3].

Bezpośrednie pomiary stężenia CO₂ w wodzie lub gruncie stanowią istotną część monitoringu geologicznego składowania tego gazu. Pozwalają one kontrolować koncentrację CO₂ w przypowierzchniowych warstwach ziemi, w glebie, w ujęciach wód, w pobliżu otworu zatłaczającego, otworów monitoringowych i zlikwidowanych [4]. Długotrwały monitoring może pozwolić na obserwacje potencjalnych ucieczek dwutlenku węgla ze składowiska.

Geologiczne składowanie antropogenicznego CO₂ wymaga opracowania odpowiednich metod monitoringu wskazujących, że jest ono prowadzone bezpiecznie, efektywnie i bez skutków ubocznych dla środowiska. Monitoring składowania CO₂ prowadzony jest przy wykorzystaniu różnych metod geofizycznych, geochemicznych, mikrobiologicznych i innych [5]. Stosowane techniki monitoringu są zapożyczone z przemysłu naftowego, magazynowanie gazu ziemnego, bezziornikowego składowania odpadów w formacjach geologicznych, monitoringu wód podziemnych, badań ekosystemów i inne [5, 6, 7].

Powierzchniowe pomiary geochemiczne strumienia i koncentracji dwutlenku węgla były prowadzone w ramach monitoringu geologicznego składowania dwutlenku węgla w projektach Weyburn, RECOPOL, MOVECBM, CO2SINK. Projekt RECOPOL i jego kontynuacja MOVECBM realizowane w Kaniowie w latach 2006÷2008, dotyczyły m.in. monitoringu oraz weryfikacji składowania CO₂ w pokładach węgla. W ramach tych projektów prowadzono ciągłe pomiary stężenia CO₂ w glebie i strumienia tego gazu. Pomiary prowadzono przy użyciu sensorów na podczerwień umiejscowionych na głębokości ok. 2 m, w okolicach otworu zatłaczającego. W trakcie badań prowadzonych w latach 2004÷2008 nie stwierdzono migracji zatłoczonego gazu na powierzchnię [8].

Prezentowany artykuł przedstawia wyniki badań koncentracji dwutlenku węgla w powietrzu podglebowym prowadzonych na obszarze pomiędzy Jastrząbka Stara a Różą, 30 km na NE od Tarnowa (S Polska). Były one realizowane przez zespół z IGSMiE PAN od 2005 do 2008 roku w ramach zadania: *Unieszkodliwianie gazów cieplarnianych (Wstępne badania i analiza danych do monitoringu podziemnego składowania CO₂ na złożu ropy naftowej Jastrząbka Stara część I, II, III i IV)*, w celu ustalenia tła stężenia tego gazu w powietrzu podglebowym na wybranym obszarze [9, 10, 11, 12].

2. Metodyka badań

Jedną z metod monitoringu wykorzystywaną w celu kontroli szczelności podziemnego składowiska oraz instalacji technicznej zatłaczania CO₂ są pomiary koncentracji tego gazu w strefie przypowierzchniowej – w powietrzu podglebowym. Są one skuteczne i tanie, a wykorzystywane do badań urządzenia są łatwe do transportu i proste w obsłu-

dze. Większość stosowanych technik pomiaru stężenia CO₂ w gruncie oparta jest na absorpcji promieniowania podczerwonego przez dwutlenek węgla [13, 14].

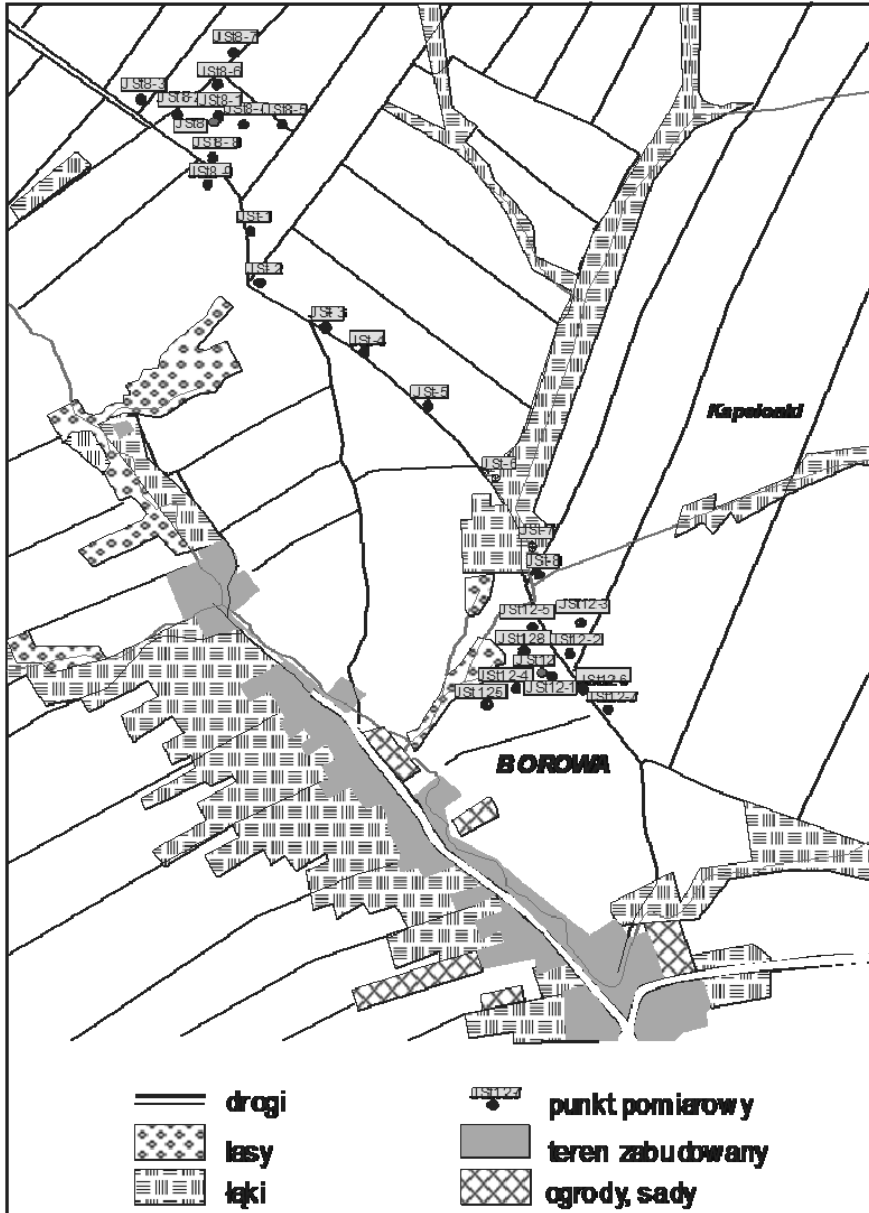
Badania stężenia CO₂ w powietrzu podglebowym na obszarze złoża Jastrząbka Stara miały na celu określenie tła tego gazu na tym terenie. Pomiary prowadzone były przez trzy lata, w sezonie wiosennym, letnim i jesiennym. W roku 2008 przeprowadzono również pomiary w sezonie zimowym.

Złoże ropy naftowej Jastrząbka Stara/Tarnowa (SE Polska) jest w końcowym stadium eksploatacji. Zostało ono wytypowane na miejsce lokalizacji badawczej instalacji zatłaczania CO₂ [15, 16]. Złoże to może stanowić interesujący poligon doświadczalny do przetestowania wpływu zatłaczania dwutlenku węgla na wzrost wydobycia ropy naftowej (CO₂-EOR).

Prezentowane wyniki badań obejmują etap wstępny związany z monitoringiem (zerowym) podziemnego zatłaczania CO₂, mającym na celu ustalenie tła CO₂ w gruncie. Określenie tła może służyć porównaniu z pomiarami kontrolnymi tego gazu w trakcie i po zatłoczeniu do złoża dwutlenku węgla. Stwierdzenie ewentualnego wzrostu jego stężenia może świadczyć o wycieku dwutlenku węgla ze składowiska.

Pomiary zawartości dwutlenku węgla w powietrzu podglebowym były prowadzone w SE części złoża, na obszarze wokół i pomiędzy otworami JSt-12 i JSt-8, odległymi od siebie o około 1100 metrów [15, 16]. Na tym obszarze zlokalizowano 25 punktów pomiarowych. Zostały one rozlokowane w sąsiedztwie wymienionych otworów produkcyjnych oraz na polach uprawnych i łąkach przy drodze pomiędzy otworami. Dziewięć punktów pomiarowych zlokalizowanych było wokół otworu JSt-8, kolejnych 8 wokół otworu JSt-12 i 8 na drodze łączącej wymienione dwa otwory eksploatujące ropę naftową. Lokalizacja punktów pomiarowych była nieznacznie modyfikowana w trakcie badań (ze względu na zawodnienie terenu lub jego niedostępność). Pomiary koncentracji CO₂ prowadzone były również w punktach zastabilizowanych przy otworach produkcyjnych JSt-12 i JSt-8 (rys. 1).

Pomiary stężenia dwutlenku węgla wykonywano przy zastosowaniu sondy pomiarowej połączonej z detektorem MultiRaePlus IR o maksymalnym mierzonym stężeniu CO₂ – 5%. Sonda była umieszczana we wcześniej wykonanych otworach.



Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych
Fig. 1. Location of measurement points

W ramach prac badawczych opracowano metodykę wykonywania pomiarów koncentracji dwutlenku węgla. W celu wypracowania odpowiedniej metodyki pomiarowej przeprowadzono pomiary próbne, które miały na celu określenie czasu od wykonania otworu do pomiaru miernikiem oraz sposobu przygotowania otworu. Uzyskanie powtarzalności wyników świadczyło o poprawnie dobranej metodyce i wiarygodności pomiarów. Pomiary próbne wykonano na obszarze o jednolitym podłożu gdzie odwiercono cztery otwory o głębokości 80 cm i średnicy 4 cm (tab. 1). Jeden otwór pozostawiono odkryty (otwór 1), trzy przykryto korkiem (otwory 2, 3, 4). W otworach wykonano pomiary stężenia CO₂ po: 5 min., 20 min., 30 min., 60 min., 120 min., 240 min., 360 min., 480 min. i 1380 min. od odwiercenia otworu (tab. 1). Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że minimalny czas potrzebny na uzyskanie równowagi stężenia CO₂ w otworze wynosi około 60 minut, a otwór po odwierceniu należy uszczelnić od góry, aby nie następowało mieszanie się powietrza podglebowego z powietrzem atmosferycznym. W celu weryfikacji wyników pomiary próbne przeprowadzono dwukrotnie. Potwierdziły one, że czas stabilizacji stężenia CO₂ w otworze wynosi około 60 minut [17].

W celu odizolowania od powietrza atmosferycznego każdy z otworów został przykryty plastikowym korkiem.

Odwiercono po cztery otwory poszczególnych typów (A, B, C, D); w każdym z nich wykonano pomiary stężenia dwutlenku węgla w różnych interwałach czasowych (2; 2,5; 3; 3,5 h) (tab. 2). W otworze typu A, bezpośrednio po jego odwierceniu, zbadano stężenie CO₂ wynosiło ono 0,728%, a po upływie 30 minut wzrosło do 1,030%. Uśredniając wyniki pomiarów stężeń CO₂ dla poszczególnych typów otworów z określonymi interwałami czasowymi uzyskano następujące wartości: dla otworów typu A – 0,97%, typu B – 1,04%, typu C – 0,52%, D – 1,12%. Wartości stężeń uzyskane dla otworów typu A, B i D są zbliżone. Ze względu na to, że wyniki uzyskane w nieorurowanym otworze są najbardziej stabilne przyjęto, że pomiary koncentracji najlepiej jest wykonywać w otworach tego typu. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że stężenie dwutlenku węgla stabilizuje się po upływie około 2 godzin. Widoczne jest również, że w punktach w których wcześniej było mierzone stężenie CO₂, podczas kolejnych pomiarów uzyskiwane wyniki są coraz niższe, co potwierdza, że powietrze jest wysysane przez miernik [12].

Tabela 1. Zestawienie wyników próbných pomiarów stężeń CO₂ (%) w zadanych odstępach czasu

Table 1. Results of CO₂ contents (%) measurements in given periods of time

Nr otworu	5 min	20 min	30 min	60 min	120 min	240 min	360 min	480 min	1380 min
1	1,34	1,68	1,78	1,85	1,81	1,89	1,87	1,84	1,82
2	1,34	1,6	1,73	1,73	1,70	1,81	1,75	1,73	1,79
3	1,87	1,79	1,95	1,9	1,90	2,13	2,11	2,02	2,13
4	1,62	1,89	1,82	1,93	2,00	2,04	2,04	2,02	2,06

Tabela 2. Stężenia CO₂ w różnych typach otworów i w różnych interwałach czasowych

Table 2. CO₂ contents in different types of wells and different time intervals

Typ otworu	Interwały czasowe			
	2 godziny	2,5 godziny	3 godziny	3,5 godziny
A	0,95	0,72	0,61	0,56
A	-	0,98	0,79	0,56
A	-	-	0,94	0,68
A	-	-	-	1,00
B	2,64	1,82	1,73	1,42
B	-	0,46	0,43	0,39
B	-	-	0,73	0,47
B	-	-	-	0,32
C	0,43	0,41	0,45	0,37
C	-	0,47	0,46	0,39
C	-	-	0,56	0,51
C	-	-	-	0,63
D	0,74	0,57	0,68	0,61
D	-	1,20	0,87	0,79
D	-	-	1,20	1,15
D	-	-	-	1,34

Poprawność przyjętej metodyki potwierdziły kolejne badania przeprowadzone na złożu Jastrząbka Stara. W pobliżu otworu JSt-12 odwiercono 16 otworów:

- Typ A – otwory nieorurowane,
- Typ B – otwory z rurą nieperforowaną PCV,

- Typ C – otwory z rurą perforowaną PCV (perforacja rury na długości 20 cm od dna otworu),
- Typ D – otwory nieorurowane zasypane piaskiem.

Uwzględniając wyniki badań metodycznych przyjęto następujący schemat postępowania przy badaniach zawartości CO₂ w powietrzu podglebowym:

- zlokalizowanie punktów pomiarowych przy pomocy GPS-u,
- odwiercenie otworów o głębokości 80 cm i średnicy 4 cm, przy użyciu wiertnicy ręcznej,
- odizolowanie otworów od kontaktu z powietrzem atmosferycznym poprzez zatkanie otworu korkiem; pomiar stężenia CO₂ w powietrzu glebowym na dnie otworu po upływie około 2 godzin.

3. Wyniki pomiarów koncentracji CO₂

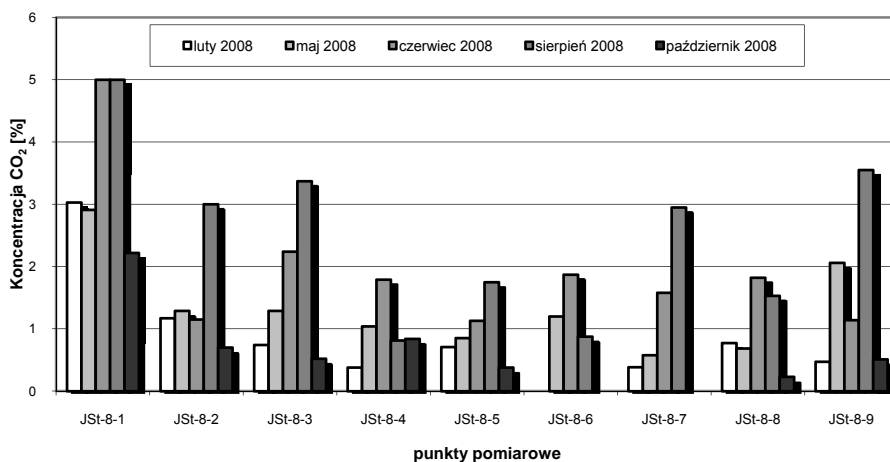
Badania koncentracji dwutlenku węgla w powietrzu glebowym, na złożu Jastrząbka Stara w latach 2006÷2008 prowadzone były 12-krotnie, w sezonie wiosennym, letnim, jesiennym w latach 2006÷2007 oraz zimowym w 2008 roku. Łącznie wykonano około 300 pomiarów.

Stężenia dwutlenku węgla pomierzone w latach 2006÷2008 wahały się w bardzo szerokim zakresie od około 0,15% do 5% (tab. 3).

W rejonie otworu produkcyjnego JSt-8 stężenia CO₂, w badanym okresie, tylko w 5 punktach (JSt8-1, JSt8-2, JSt8-7, JSt8-9) osiągnęły 5% – (por. tab. 3), wszystkie w miesiącach letnich (czerwiec – sierpień). Wartości stężeń CO₂ w tych punktach w poszczególnych miesiącach są w większości przypadków zbliżone do siebie. Podwyższone stężenia stwierdzono w punkcie JSt8-1, znajdującym się przy otworze produkcyjnym JSt-8. Najniższe stężenia CO₂ zaobserwowano w maju, październiku oraz lutym (2008 r.) (rys. 2).

Tabela 3. Stężenia CO₂ w powietrzu podglebowym w punktach pomiarowych w latach 2006-2008 [%]
Table 3. Results of CO₂ contents in soil air in measurement points in 2006-2008 [in %]

Punkt pomiarowy	V	VII	X	IV	VI	VIII	X	II	V	VI	VIII	X
	2006	2006	2006	2007	2007	2007	2007	2008	2008	2008	2008	2008
JSt-8-1	1,75	(*)	(*)	2,33	3,44	3,13	3,72	3,03	2,91	5,00	5,00	2,22
JSt-8-2	1,62	5,00	0,55	1,32	1,07	2,40	0,74	1,17	1,29	1,15	3,00	0,70
JSt-8-3	0,88	(*)	0,54	0,76	1,15	4,68	1,14	0,74	1,29	2,24	3,37	0,52
JSt-8-4	1,05	2,86	0,68	1,29	1,68	1,19	0,74	0,38	1,04	1,79	0,81	0,84
JSt-8-5	1,29	(*)	0,55	0,42	1,00	1,68	0,63	0,71	0,85	1,13	1,75	0,38
JSt-8-6	0,79	1,05	0,29	0,30	1,42	1,25	0,47	(*)	1,20	1,87	0,87	(*)
JSt-8-7	2,53	5,00	0,43	0,45	1,87	1,54	1,01	0,38	0,58	1,58	2,95	(*)
JSt-8-8	1,01	1,73	0,52	0,31	4,21	1,02	0,66	0,77	0,69	1,82	1,53	0,23
JSt-8-9	0,54	5,00	0,60	0,34	2,73	1,29	1,95	0,47	2,06	1,14	3,55	0,51
JSt-1	4,42	5,00	0,15	(*)	1,11	0,76	1,45	0,48	2,44	1,98	1,73	0,85
JSt-2	5,00	5,00	0,44	1,00	0,88	1,81	5,00	0,69	5,00	4,42	5,00	2,95
JSt-3	5,00	5,00	0,63	0,74	2,44	1,67	5,00	0,76	2,44	1,67	3,31	1,03
JSt-4	(*)	5,00	0,88	(*)	5,00	4,36	4,47	0,44	2,33	5,00	5,00	4,00
JSt-5	(*)	5,00	1,27	0,93	5,00	3,68	2,51	0,60	0,98	3,75	5,00	1,78
JSt-6	4,42	4,91	0,87	0,57	5,00	1,71	(*)	0,55	0,83	3,44	3,00	4,30
JSt-7	3,79	4,86	2,42	(*)	2,95	4,89	0,94	0,80	1,04	3,68	5,00	1,88
JSt-8	(*)	5,00	(*)	1,23	2,20	1,42	2,95	0,74	0,88	1,27	1,70	0,35
JSt-12-1	(*)	5,00	0,92	1,23	2,20	1,42	2,95	0,48	0,88	1,27	1,70	0,35
JSt-12-2	2,35	4,78	0,29	0,50	3,82	0,85	2,51	0,69	0,62	1,07	1,93	0,63
JSt-12-3	1,45	0,49	0,68	0,66	2,26	1,82	3,75	0,76	1,50	1,98	3,58	0,99
JSt-12-4	1,82	4,61	0,64	0,84	1,87	1,15	2,73	0,44	1,21	1,20	1,46	0,97
JSt-12-5	0,99	3,10	0,63	0,42	2,51	5,00	0,85	0,60	0,67	2,04	3,27	0,03
JSt-12-6	0,96	3,50	0,51	0,87	2,11	2,44	2,91	0,55	0,62	1,39	1,92	0,32
JSt-12-7	0,92	3,30	0,68	0,44	1,51	0,98	2,24	0,80	1,02	1,70	1,65	1,24
JSt-12-8	0,74	2,90	0,71	0,79	1,79	1,68	0,94	0,74	1,19	1,33	1,16	0,50



Rys. 2. Koncentracja CO₂ w powietrzu podglebowym wokół otworu JSt-8, 2008 rok

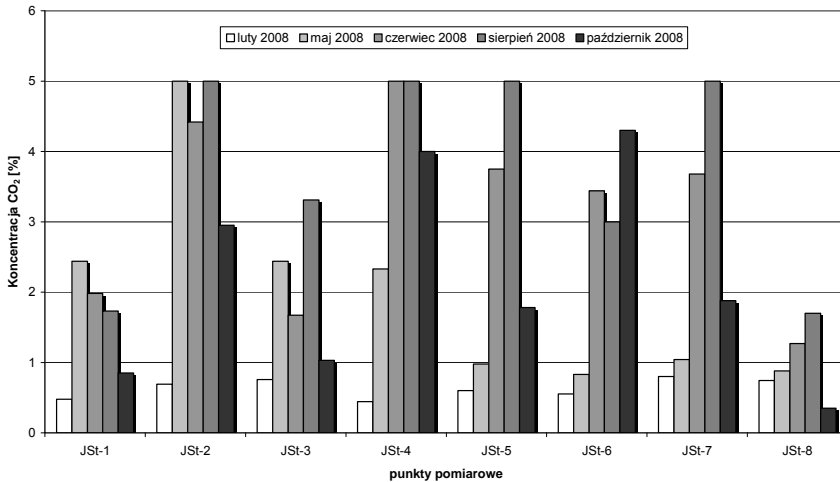
Fig. 2. CO₂ concentrations in soil air around of JSt-8 well, 2008

Stężenia CO₂ pomierzone w punktach zlokalizowanych wzdłuż drogi pomiędzy otworami produkcyjnymi JSt-8 i JSt-12 (tab. 3, rys. 3) są dużo wyższe w porównaniu do koncentracji wokół tych otworów. W kilkunastu przypadkach (maj, czerwiec – sierpień) dochodzą lub przekraczają one 5%. Najmniejsze stężenia dwutlenku węgla zaobserwowano wczesną wiosną (kwiecień), późną jesienią (październik) oraz zimą 2008 roku.

Koncentracja dwutlenku węgla w pobliżu otworu produkcyjnego JSt-12 (tab. 3, rys. 4) jest stabilna. Tylko dwukrotnie, w trakcie trzyletnich badań, osiągnęła ona w miesiącach letnich 5% (punkt JSt12-1 i JSt12-5). W okresie zimowym (2008 r.) stężenie CO₂ nie przekroczyło 2%, w większości punktów było poniżej 1%. Podwyższone koncentracje obserwowano jedynie w punkcie JSt 12-9 odwierconym w 2008 r., gdzie wartości stężeń CO₂ w miesiącach letnich przekroczyły 5%.

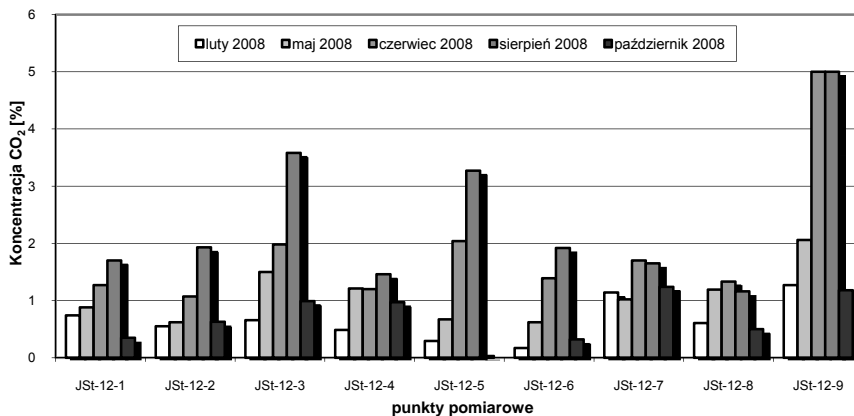
Pomiary stężenia CO₂ na obszarze złoża Jastrząbka Stara prowadzone w latach 2006÷2008 pozwoliły na przeprowadzenie obserwacji zmian koncentracji tego gazu w poszczególnych sezonach. Na ich podstawie można stwierdzić, że w miesiącach wiosennych stężenie było niskie, wzrastało w miesiącach letnich i spadało w miesiącach jesiennych. Zaobserwowano również, że wartości stężeń CO₂ w punktach pomiarowych powtarzały się w poszczególnych sezonach i były do siebie zbliżo-

ne. W niektórych punktach pomiarowych wartości stężenia CO₂ pomierzone w tych samych miesiącach w różnych latach różniły się między sobą, zwłaszcza w październiku.



Rys. 3. Koncentracja CO₂ w powietrzu podglebowym pomiędzy otworami JSt-8 i JSt-12, 2008 rok

Fig. 3. CO₂ concentrations in soil air between JSt-8 and JSt-12 wells in 2008



Rys. 4. Koncentracja CO₂ w powietrzu podglebowym wokół otworu JSt-12, 2008 rok

Fig. 4. CO₂ concentrations in soil air around of JSt-12 well, 2008

Zaobserwowano trend wzrostowy w miesiącach z intensywnym rozwojem roślinności oraz wyraźny spadek w miesiącach wczesnowiosennych i jesienno-zimowych. Sytuację tą najlepiej ilustrują wyniki uzyskane w 2008 roku (por. rys. 2÷4), kiedy podczas wszystkich pomiarów (za wyjątkiem lutego) panowały warunki atmosferyczne adekwatne dla danej pory roku.

Wartości koncentracji CO₂ uzyskane w punktach pomiarowych zlokalizowanych na drodze między otworami produkcyjnymi (tab. 3, rys. 3) były wyższe w porównaniu do wyników w innych punktach. Zauważalna była tutaj również sezonowość, jednak koncentracje CO₂ były zdecydowanie wyższe w porównaniu do pomiarów wokół otworów produkcyjnych. W wielu przypadkach stężenie przekraczało lub było zbliżone do 5%. Zaobserwowano również wpływ warunków atmosferycznych na podwyższoną koncentrację CO₂ w dniach upalnych lub o dużej wilgotności powietrza.

Uzyskane wyniki wskazują na istnienie zależności stężenia dwutlenku węgla od pory roku. Najwyższe stężenia uzyskano w lipcu i coraz niższe w czerwcu, sierpniu, maju, kwietniu, październiku i lutym. Wynik uzyskany w miesiącu zimowym był zbliżony do wartości uzyskanych w październiku lub kwietniu.

Oprócz wpływu temperatury i roślinności duże zróżnicowanie zawartości CO₂ stwierdzone na badanym obszarze może być dodatkowo spowodowane innymi przyczynami np. budową geologiczną, w tym rodzajem gruntu i gleby lub morfologią terenu.

Należy podkreślić, że obserwowane zawartości CO₂ w gruncie są znacznie wyższe od tych zaobserwowanych na innych obszarach [1].

4. Podsumowanie

Pomiary koncentracji dwutlenku węgla w powietrzu podglebowym, na obszarze pomiędzy Jastrząbka Stara i Różą, pozwoliły na opracowanie metodyki pomiarów oraz określenie stężeń CO₂ w powietrzu podglebowym. Badania wykonano w 25 punktach pomiarowych wokół dwóch otworów produkujących ropę naftową oraz przy drodze pomiędzy nimi, w 12 seriach pomiarowych.

Zaobserwowano zmienność stężenia tego gazu w zależności od pory roku oraz lokalizacji punktu pomiarowego. Najwyższe pomierzone stężenia CO₂ stwierdzono w miesiącach letnich na obszarze pól uprawnych

przy drodze pomiędzy otworami produkcyjnymi oraz w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Porównując wyniki uzyskane z poszczególnych lat zauważono ich powtarzalność. Podkreślić należy, że wyniki pomiarów stężeń CO₂ w powietrzu glebowym przekraczają często 1%, a nawet dochodzą do 5%, co znacznie odbiega od tych z innych obszarów (poniżej 0,5%).

Uzyskane wyniki prezentują obraz koncentracji CO₂ w powietrzu glebowym i można traktować jako tło tego gazu na badanym obszarze.

Podziękowania

Przeprowadzenie badań zawartości CO₂ w powietrzu glebowym było możliwe dzięki zgodzie i pomocy ze strony PGNiG S.A. Oddział w Sanoku, za co autorzy składają serdeczne podziękowanie.

Literatura

1. **Ciężkowski W [red.]:** *Występowanie, dokumentowanie i eksploatacja endogenicznego dwutlenku węgla w Polsce*. Wrocław: 221, 2002.
2. **Żak S, Przylibski TA, Ciężkowski W.:** *Określenie zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w Sudetach w rejonach występowania szczaw*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław: 87, 2008.
3. **Kotarba M. J.:** *Post-mining gas hazards: the purpose of near-surface geochemical surveys in the Wałbrzych Coal District. W: Gas hazard in the near-surface zone of the Wałbrzych Coal District caused by coal mine closure: geological and geochemical controls*. Maciej J. Kotarba (red.). Society of Research on Environmental Changes GEOSFERA. Kraków: 1-10, 2002.
4. **Strutt MH, Beaubien SE, Baubron JC, Brach M, Cardellini C, Gnanteri R, Jones DG, Lombardi S, Penner L, Quattrocchi F, Voltattorni N.:** *Soil Gas as a Monitoring Tool of Deep Geological Sequestration of Carbon Dioxide: Preliminary Results from the Encana. EOR Project in Weyburn, Saskatchewan (Canada)*. [In]: Proceedings of the 6th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-6), J. Gale and Y. Kaya (eds.), Oxford: Elsevier Science Limited: 391-396, 2003.
5. **Tarkowski R, Uliasz-Misiak B, Szarawarska E.:** *Monitoring podziemnego składowania CO₂*. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*; 21/2: 35-48, 2005.
6. **Benson SM, Apps J, Hepple R, Lippmann M, Tsang CF, Lewis C.:** *Health, Safety, and Environmental Risk Assessment for Geologic Storage of Carbon Dioxide: Lessons Learned from Industrial and Natural Analogues*. [In]: Proceedings of the 6th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-6), J. Gale and Y. Kaya (eds.), Oxford: Elsevier Science Limited: 243-246, 2003.

7. **Benson SM, Hepple R, Apps J, Tsang CF, Lippmann M.:** *Lessons Learned from Natural and Industrial Analogues for Storage of Carbon Dioxide in Deep Geologic Formations.* Earth Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBNL-51170:135, 2002.
8. **Vandeweyer V, van Bergen F, Winthagen P, Benedictus T, Kronimus A, Krzystalik P, Jura B, Skiba J.:** *Monitoring of CO₂ stored in the Enhanced Coalbed Methane pilot site in Kaniow (Poland).* Energy Proceedia, 1/1: 3407-3414, 2009.
9. *Wstępne badania i analiza danych do monitoringu podziemnego składowania CO₂ na złożu ropy naftowej Jastrząbka Stara część I.* Archiwum IGSMiE PAN, Kraków: 30, 2005.
10. *Wstępne badania i analiza danych do monitoringu podziemnego składowania CO₂ na złożu ropy naftowej Jastrząbka Stara część II.* Archiwum IGSMiE PAN, Kraków: 25, 2006.
11. *Wstępne badania i analiza danych do monitoringu podziemnego składowania CO₂ na złożu ropy naftowej Jastrząbka Stara część III.* Archiwum IGSMiE PAN, Kraków: 23, 2007.
12. *Wstępne badania i analiza danych do monitoringu podziemnego składowania CO₂ na złożu ropy naftowej Jastrząbka Stara część IV.* Archiwum IGSMiE PAN, Kraków: 23, 2008.
13. *Monitoring technologies for the Geological Storage of CO₂.* Report TSR025 DTI/Pub URN 05/1032: 28, March 2005.
14. **Pearce J, Chadwick A, Bentham M, Holloway S, Kirby G.:** *Technology status review – Monitoring Technologies for the Geological Storage of CO₂.* Report No. COAL R285 DTI/Pub URN 05/1033: 97, March 2005.
15. *Badania in-situ podziemnego zatłaczania dwutlenku węgla w złożu węglowodorów, przy wykorzystaniu wytworzonej, prototypowej instalacji – etap I. Określenie możliwości zatłaczania CO₂ w wybranym złożu węglowodorów.* Archiwum IGSMiE PAN, Kraków: 316, 2006.
16. **Tarkowski R:** *Badania podziemnego zatłaczania dwutlenku węgla do złoża węglowodorów z wykorzystaniem prototypowej instalacji.* Przegląd Geologiczny; 55/8: 660-662, 2007.
17. **Tarkowski R, Królik W, Uliasz-Misiak B, Wdowin M.:** *CO₂ contents in soil air for needs of carbon dioxide monitoring.* Slovac Geological Magazine:15-18, 2008.
18. *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla oraz zmieniająca dyrektywy Rady 85/337/EWG, 96/61/WE, dyrektywy 2000/60/WE, 2001/80/WE, 2004/35/WE, 2006/12/WE i rozporządzenie (WE) nr 1013/2006.*

CO₂ Concentration in Soil Air in Tarnow Vicinity for Carbon Dioxide Storage Monitoring

Abstract

Geological carbon dioxide storage has different kinds of risks for people and environment in global as well as in local scale. That's why monitoring is so important for the whole process of carbon dioxide storage. The main purpose is to follow gas migration under ground, to control seal of injection wells during and after injection, verification of injected carbon dioxide quality and also control of parameters connected with injection. Preparation and carrying out of geological storage monitoring of carbon dioxide is required by Directive of European Parliament and Council 2009/31/WE in case of geological storage from 23 of April 2009 [18].

One of the basic research connected with carbon dioxide storage monitoring is establishing of the CO₂ concentration (background) in the ground/soil air before starting the injection. Such a researches are done also during and after the end of injecting gas to underground reservoir. If the important differences in CO₂ concentration are stated they can suggest that gas has escaped.

Presented research results concern CO₂ concentration measurements in soil air in the area of Jastrzabka Stara oil field near Tarnow. Carbon dioxide injection as an Enhanced Oil Recovery (EOR) can increase oil production from the reservoir which is in the last exploitation stage. Carbon dioxide concentration measurements in ground/soil air were made between 2005-2008 using Detector MultiReaPlus based on IR radiation absorbance. To select appropriate research methodics the measurements were preceded by researches. They were made each time in drilling wells, 80 cm under ground in the area and between production wells JSt-8 and JSt-12. There were defined 25 sampling points in which about 300 measurements were done in all seasons.

Results of three years research showed that CO₂ concentration values change seasonal in the sampling points. Concentration changes were connected also with weather conditions (air temperature changes and precipitation). Localization of the sampling points have an important influence on the findings. Through the three years research the repeatability of research results in sampling points during circle of the seasons was found. Thanks to this research the background for CO₂ concentration in this area was established.