

RADOSŁAW TARKOWSKI\*, WOJCIECH KRÓLIK\*\*

## Montoring wycieków CO<sub>2</sub> z podziemnych składowisk przy wykorzystaniu biosensora

### Słowa kluczowe

Podziemne składowanie CO<sub>2</sub>, diagnoza i monitorowanie zagrożeń, biosensor, biomonitoring, geobiomonitoring, ochrona środowiska

### Streszczenie

Artykuł omawia założenia projektu badawczego dotyczącego dostosowania mikrobiologicznych metod analitycznych do potrzeb kontroli średniego stężenia CO<sub>2</sub> w otoczeniu, poprzez budowę i kalibrację odpowiedniego czujnika — biosensora. Istotą projektu jest zastosowanie wyizolowanych drobnoustrojów zdolnych do wzrostu na ubogim podłożu różnicującym i do przyswajania CO<sub>2</sub>, w celu określenia średniego stężenia CO<sub>2</sub> na podstawie przyrostu biomasy mikroorganizmicznej w zadanym interwale czasowym. Autorzy proponują wytworzenie biosensora do określenia średniego stężenia CO<sub>2</sub> w bezpośrednim jego otoczeniu (patrz na terenach naturalnych wycieków CO<sub>2</sub> i podziemnych składowisk). Przyjęta idea konstrukcji biosensora pozwala na jego zastosowanie w kontroli średniego stężenia jakiegokolwiek gazu podlegającego składowaniu o ile jest on substratem dla któregośkolwiek z poznanych szlaków metabolicznych drobnoustrojów.

### Wprowadzenie

Opcja podziemnego składowania CO<sub>2</sub>, wśród licznych problemów wymaga pewności, że zatłaczany do struktur geologicznych dwutlenek węgla nie będzie wydostawał się na powierzchnię dzisiaj jak również długo po zakończeniu składowania. W celu weryfikacji

---

\* Doc. dr hab. inż., \*\* mgr, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; tarkowski@min-pan.krakow.pl

Recenzował prof. dr hab. inż. Roman Ney

skuteczności podziemnego składowania CO<sub>2</sub> wykorzystuje się różne metody diagnozy i monitoringu: geofizyczne, satelitarne i inne. Autorzy proponują wykorzystanie w tym celu bakterii i zbudowanie biosensora, który w sposób tani, wydajny i dokładny pozwoli określić średnie stężenie CO<sub>2</sub> w jego otoczeniu i będzie mógł być wykorzystany do biomonitoringu wycieków CO<sub>2</sub>, zarówno naturalnych jak i sztucznych.

Artykuł przedstawia cel i założenia projektu badawczego dotyczącego wytworzenia biosensora. Celem naukowym projektu jest dostosowanie mikrobiologicznych metod analitycznych do potrzeb kontroli średniego stężenia CO<sub>2</sub> w otoczeniu, poprzez budowę i kalibrację odpowiedniego czujnika — biosensora, z wykorzystaniem odpowiednich bakterii i podłoży. Istotą przyjętych założeń jest wiedza o silnej specjalizacji niektórych mikroorganizmów w zakresie minimalnych wymagań troficznych, co pozwala rozwiązać problem zastosowania tanich, wydajnych i dokładnych metod mikrobiologicznych w określeniu średniego stężenia CO<sub>2</sub> w bezpośrednim otoczeniu biosensora (patrz na terenach naturalnych wycieków CO<sub>2</sub> i podziemnych składowisk).

Przedstawiany pomysł jest nowatorski. Ani w Polsce, ani na świecie, nie przeprowadzono dotąd tego typu badań. Zważywszy na przedstawione ujęcie metodologiczne jest to nowa jakość w nowopowstałej problematyce monitoringu dotyczącego podziemnych składowisk gazów w ogólności. Przyjęta idea konstrukcji biosensora pozwala na jego zastosowanie w kontroli średniego stężenia jakiegokolwiek gazu podlegającego składowaniu o ile jest on substratem dla któregośkolwiek z poznanych szlaków metabolicznych drobnoustrojów. Efektem końcowym realizacji projektu będzie wytworzenie biosensora wraz z krzywą kalibracyjną.

Prezentowane pomysł wykorzystania bakterii w celu monitoringu (geobiomonitoringu) składowania CO<sub>2</sub> wpisuje się w działalność Pracowni Geotechnologii IGSMiE PAN dotyczącej podziemnego składowania CO<sub>2</sub>, w szczególności w badania monitoringu składowania.

## **1. Problem monitoringu podziemnego składowania CO<sub>2</sub>**

Rosnąca koncentracja antropogenicznego CO<sub>2</sub> w atmosferze i jej wpływ na zmiany klimatyczne, leżą u podstaw badań zmierzających do ograniczenia emisji tego gazu do atmosfery (White i in. 2004). Składowanie CO<sub>2</sub> emitowanego przez przemysł, w głębokich formacjach geologicznych, jest rozważane jako metoda redukcji emisji tego gazu do atmosfery (Tarkowski, Uliasz-Misiak 2003, 2005a). Jako miejsca podziemnego składowania rozważane są złoża węglowodorów, głębokie nie eksploatowane pokłady węgla, poziomy wodonośne (Emberley i in. 2002; Holloway 2002; Herzog i in. 2000; Tarkowski, Uliasz-Misiak 2003). Podziemne składowanie CO<sub>2</sub> niesie za sobą różnego rodzaju zagrożenia dla ludzi i środowiska, w skali globalnej lub lokalnej. Monitoring podziemnego składowania CO<sub>2</sub> leży u podstaw pomyślnego przeprowadzenia całego zabiegu, a organy nadzorcze będą wymagały zapewnienia, że podziemne składowanie jest bezpieczne i nie spowoduje znaczących zmian w środowisku (Benson, Myer 2002).

Po zatłoczeniu CO<sub>2</sub> do podziemnych składowisk, należy się liczyć z wyciekami (dyfundowaniem, ucieczką) tego gazu poprzez nieszczelności w złożu do warstw skalnych, a następnie do atmosfery. Należy więc kontrolować rozprzestrzenianie się CO<sub>2</sub> w złożu i poza nim tak aby podziemne składowanie było efektywne i bezpiecznie dla środowiska. W 6 PR UE, w projektach dotyczących geologicznej sekwestracji CO<sub>2</sub>, do zagadnień monitoringu wycieków tego gazu poza składowisko przywiązuje się obecnie dużą wagę. Dlatego też oprócz stosowanych drogich i skomplikowanych metod kontroli migracji CO<sub>2</sub> w złożu i poza nim, poszukuje się prostych metod, które umożliwiłyby szybką informację o ewentualnej ucieczce CO<sub>2</sub> poprzez skały i głębię do atmosfery. Proponowany biosensor powinien spełnić powyższe oczekiwania.

Wycieki gazu z podziemnego składowiska dwutlenku węgla mogą następować przez nieszczelności w otworach zatłaczających i obserwacyjnych lub przez naturalne drogi migracji takie jak uskoki (Moberg i in. 2002; Emberley i in. 2002). Dlatego też dla każdej instalacji zatłaczania CO<sub>2</sub> należy opracować system monitoringu i kontroli, poczynając od momentu wyboru miejsca lokalizacji składowania CO<sub>2</sub>, a kończąc na monitoringu po zakończeniu procesu składowania i zamknięciu składowiska. Głównym celem monitoringu podziemnego składowania CO<sub>2</sub> jest śledzenie lokalizacji gazu pod ziemią, kontrola czy otwory zatłaczające w trakcie zatłaczania i po jego zakończeniu nie wykazują nieszczelności, weryfikacja ilości dwutlenku węgla zatłoczonego pod ziemię jak również kontrola parametrów związanych z zatłaczaniem. Dodatkowe cele to kontrola jakości wód podziemnych, ekosystemów i bezpieczeństwa ludzi na terenach potencjalnie narażonych na wyciek CO<sub>2</sub> z miejsca składowania i inne.

Monitoring składowania CO<sub>2</sub> prowadzony jest przy wykorzystaniu różnych metod (Benson, Myer 2002; Benson i in. 2002a, 2002b; Tarkowski i in. 2005) również takich, które są bardzo kosztowne. Stosowane są metody geofizyczne, metody geochemiczne, satelitarne, i inne. Autorzy proponują wykorzystanie w tym celu drobnoustrojów i zbudowanie biosensora, który w sposób tani, wydajny i dokładny pozwoli określić średnie stężenie CO<sub>2</sub> w jego otoczeniu i będzie mógł być wykorzystany do biomonitoringu wycieków CO<sub>2</sub>, zarówno naturalnych i sztucznych. Biosensor byłby wykorzystany zarówno w monitoringu operacyjnym, jak i monitoringu weryfikacyjnym i środowiskowym. (por. Chalaturnyk, Gunter 2004).

## **2. Cel naukowy i istota proponowanych badań**

Celem naukowym proponowanych badań jest dostosowanie mikrobiologicznych metod analitycznych do potrzeb kontroli średniego stężenia CO<sub>2</sub> w otoczeniu, poprzez budowę i kalibrację odpowiedniego czujnika — biosensora, z wykorzystaniem odpowiednich bakterii i podłoży. Istotą przyjętych założeń jest wiedza o silnej specjalizacji niektórych drobnoustrojów w zakresie minimalnych wymagań troficznych, co pozwala rozwiązać problem zastosowania tanich, wydajnych i dokładnych metod mikrobiologicznych w określeniu

średniego stężenia CO<sub>2</sub> w otoczeniu biosensora (patrz na terenach naturalnych wycieków CO<sub>2</sub> i podziemnych składowisk).

Istotą projektu jest zastosowanie wyizolowanych drobnoustrojów zdolnych do wzrostu na ubogim podłożu różnicującym i do przyswajania CO<sub>2</sub> w celu określenia średniego stężenia CO<sub>2</sub> na podstawie przyrostu biomasy mikroorganizmicznej w zadanym interwale czasowym.

Ani w Polsce, ani na świecie, nie przeprowadzono dotąd tego typu badań. Zważywszy nowatorskie ujęcie metodologiczne jest to nowa jakość w nowopowstałej problematyce monitoringu dotyczącego podziemnych składowisk gazu w ogólności. Przyjęte podstawy konstrukcji biosensora pozwalają na jego zastosowanie w kontroli średniego stężenia jakiegokolwiek gazu podlegającego składowaniu o ile jest on substratem dla któregośkolwiek z poznanych szlaków metabolicznych drobnoustrojów.

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnym i Energią PAN prowadzi prace w celu uruchomienia w Polsce badawczej instalacji podziemnego składowania CO<sub>2</sub> na jednym ze sczerpanych złóż ropy naftowej. W chwili obecnej realizowana jest naukowa usługa badawcza na zamówienie Ministra Środowiska, finansowana ze środków wypłacanych przez NFOŚiGW pt.: *Badania in situ podziemnego zatłaczania dwutlenku węgla w złożu węglowodorów, przy wykorzystaniu wytworzonej, prototypowej instalacji — etap I. Określenie możliwości zatłaczania CO<sub>2</sub> w wybranym złożu węglowodorów*. Jednym z istotnych problemów jest wskazanie metod monitoringu wycieków CO<sub>2</sub>. Dlatego też badania terenowe i pobór próbek w ramach wnioskowanego Projektu zaplanowano również na obszarze przyszłego podziemnego składowiska CO<sub>2</sub>.

### 3. Istniejący stan wiedzy w zakresie prezentowanego tematu badań

Migracja CO<sub>2</sub> do przypowierzchniowych warstw gleby może powodować widoczne zmiany w biocenozie glebowej. Normalna zawartość CO<sub>2</sub> w warstwie ornej gleby waha się w granicach od 0,05 do 0,3% (De Jong i in. 1972, 1974). Liczne badania wskazują, że organizmy glebowe w bardzo małym stopniu reagują na zmiany zawartości CO<sub>2</sub> w glebie (Firestona i in. 1999; Gołębiowska i in. 1984; Sadowsky i in. 1997; Weyman-Kaczmarkowa i in. 2004). Ponadto w oparciu o dane literaturowe (Sedjo, Toman 2001; Earthlab 2003; U.S. Climate Change Technology Program 2003) należy stwierdzić, że nie znamy efektywnych wskaźników pochłaniania CO<sub>2</sub> w glebach. Istnieją dobrze poznane metody monitorowania przyswajania dwutlenku węgla i produkcji biomasy roślinnej, zwykle wiążące się z poborem próbek z badanej lokalizacji. Ponadto stosowane są metody zdalnego pomiaru, przy użyciu satelitów albo lotów na niskim pułapie. Obiecujące są perspektywy związane z rozwojem samych kamer jak i stosowanych filtrów czy technologii laserowych. Dane uzyskiwane tymi metodami w wysokim stopniu korelują się z wielkościami otrzymanymi za pomocą metod naziemnych. (U.S. Climate... 2003; Sedjo, Toman 2001).

Z kolei organizmy chemolitoautotroficzne pochodzące z głębokich warstw wodonośnych mogą rozwijać się w obecności wodoru i CO<sub>2</sub>, czyli być producentami węgla organicznego,

rozpoczynając heterotroficzny łańcuch żywnościowy w środowisku podziemnym, niezależny od procesów fotosyntezy. Różnorodne tlenowe mikroorganizmy odpowiedzialne za utlenianie metanu zostały już poznane i wyizolowane z wielu rozmaitych podziemnych środowisk, a ich występowanie w podziemnym środowisku beztlenowym wymaga dalszych badań. W przypadku występowania metanu w gruncie poniżej strefy badanej, z uwagi na powyższe, obecność jego metabolitów może zaciemniać obraz monitorowanych stężeń CO<sub>2</sub>.

Przy dostępności wodoru atomowego i CO<sub>2</sub>, w ekstremalnym środowisku głębinowym, możliwy jest rozwój mikroorganizmów autotroficznych. Stevens i McKinley (1995) wykazali, iż jest to proces zachodzący w środowisku niezależnie od występowania materii organicznej czy tlenu pochodzącego z fotosyntezy.

Na styku stref metanogenezy i redukcji siarczanów bakterie metanogeniczne przypuszczalnie utleniają metan do CO<sub>2</sub> i wodoru, gdzie woda jest akceptorem elektronów. Prawdopodobnie dzieje się tak w przypadku małego ciśnienia parcjnego H<sub>2</sub>. Następnie H<sub>2</sub> jest utleniany przez bakterie redukujące siarczany (Kotelnikova 2001; Etiope i in. 2001; Ortoleva i in. 1998).

Istnieją publikacje z tematyki pokrewnej dotyczące zastosowania procesów biologicznych w uzyskiwaniu agregatów mineralnych oraz wysokiego stopnia wiązania CO<sub>2</sub> w trakcie bakteryjnego utleniania siarczków. Wyniki potwierdziły wcześniejsze dane autorów, iż temat jest jeszcze nierozpoznany, choć istnieje wiedza, która może być zaadoptowana do tego zadania. W jeszcze większym stopniu jest to widoczne u bakterii termofilnych w równoległym szybkim wzroście biomasy bakteryjnej, co może być wykorzystane w połączeniu z pozyskiwaniem energii słonecznej do stworzenia technologii opartej na recyklingu CO<sub>2</sub>. Ta obiecująca technologia powstawała w trakcie prac nad wzrostem bakterii na siarczku żelaza uzyskiwanym z siarczanów żelaza przy użyciu energii słonecznej. Proces katalityczny pozwalał na redukcję siarczanów do siarczków na elektrodzie węglowej przy 120°C. Energia fotowoltaiczna została użyta do tej reakcji i do uzyskiwania odpowiednich temperatur. Siarkowodor jest od razu wprowadzany do roztworu zawierającego kationy Fe<sup>+2</sup>, który stanowi składnik hodowli bakteryjnej asymilującej CO<sub>2</sub>. Stwierdzono, iż napędzany energią słoneczną proces biohydrometalurgicznego wiązania CO<sub>2</sub> osiąga sprawność przewyższającą biologiczne procesy fotosyntetyczne o rząd wielkości. Ponadto można go przeprowadzać na terenach jałowych, ubogich w wodę. Bakteryjna biomasa jest wysokiej jakości i może być używana do produkcji energii, tworzyw czy nawet w produkcji żywności (Tributsch 2003).

Zainteresowanie budzi także zastosowanie procesów mikrobiologicznych w uzyskiwaniu agregatów mineralnych. W Wielkim Słonym Jeziorze, w czasie niskiego poziomu lustra wody w latach siedemdziesiątych XX wieku, przy powierzchni jeziora pojawiło się wiele alg co wyzwoliło procesy biogeochemiczne skutkujące tworzeniem osadów bogatych w CO<sub>2</sub>. Anaerobowe bakterie redukujące Fe<sup>+3</sup> wytrącają z roztworu czy też przekształcają krystaliczne bądź amorficzne tlenki żelaza do fazy krystalicznej jak magnetyt, syderyt, wiwanit, siarczek żelaza II oraz maghemit. Biologiczna konwersja CO<sub>2</sub> do słabo rozpuszczalnych związków jak syderyt czy węglan wapnia przy użyciu bakterii redukujących kationy metali

z popiołów lotnych zawierających metale oraz innych odpadów może również stanowić tanią metodę sekwestracji CO<sub>2</sub> (Harvey et al. 2002).

Można także zaproponować wykonanie czujnika mikrobiologicznego opartego na zdolności niektórych drobnoustrojów do wzrostu w specyficznych warunkach. Czujnik miałby postać pojemnika o ściankach przepuszczalnych dla gazów, w którym zawarte byłoby odpowiednie podłoże, ze znaną ilościowo domieszką odpowiednich drobnoustrojów i umieszczony na zadanej głębokości w gruncie. Kontrola okresowa polegałaby na korelacji wzrostu kolonii drobnoustrojów w określonych interwałach z uprzednio otrzymanym w warunkach laboratoryjnych wzorcem.

Proponowane urządzenie do badania ilościowego średniego stężenia CO<sub>2</sub> w otoczeniu jest pierwszym na świecie tego typu narzędziem i wpisuje się w zakres badań geomikrobiologicznych. Łączy w sobie aplikacyjno-inżynierskie rozwiązania z dorobkiem mikrobiologii w opisywanym zakresie. Jest zatem biosensor pionierską próbą uzyskania urządzenia pomiarowego wysokiej dokładności opartego na wykorzystaniu właściwości organizmów żywych w aspekcie ich ukierunkowania bytowego oraz wymagań troficznych.

Stosowane do tej pory rozwiązania mają efektywność ograniczoną do wyników jakościowych, wspominając chociażby wiekową już metodę wykrywania szkodliwych gazów w kopalniach przy wykorzystaniu oswojonych zwierząt. Zatem w wątku jakościowym niniejszy projekt jest kontynuacją wielowiekowych doświadczeń w zastosowaniu organizmów żywych do wykrywania zagrożeń dla ludzi. Natomiast w wątku ilościowym w aspekcie monitoringu średniego stężenia CO<sub>2</sub> jest to praca pionierska.

#### 4. Sposób rozwiązania problemu

Realizacja prac będzie dotyczyła zbudowania i kalibracji biosensora do celów monitoringu wycieków CO<sub>2</sub>. W tym celu zostanie przeprowadzona analiza danych dotyczących metod geochemicznych i mikrobiologicznych stosowanych w identyfikacji wycieków CO<sub>2</sub> i zagadnień pokrewnych. We wstępnej fazie prac wykonane będą badania terenowe oraz laboratoryjne w celu określenia tła koncentracji CO<sub>2</sub> w gruncie i profilu mikrobiologicznego wybranych obszarów, w tym przyszłego podziemnego składowiska tego gazu. Dokonane zostaną pomiary stężenia CO<sub>2</sub> i innych gazów w gruncie oraz przeprowadzona zostanie hodowla bakterii w laboratorium na podłożach różnicujących. Prace te mają doprowadzić do izolacji i identyfikacji mikroorganizmów przydatnych do rozpoznania wycieków CO<sub>2</sub>. Badania laboratoryjne na dalszym etapie badań będą dotyczyły hodowli bakterii w atmosferze wzbogaconej CO<sub>2</sub> na ubogim podłożu różnicującym. Przynależność gatunkowa drobnoustrojów zdolnych do wzrostu w zadanych warunkach zostanie określona, a dla wybranego szczepu/szczepów bakterii zostanie przeprowadzona analiza DNA. Kolejnym etapem będzie wytworzenie biosensora i testy w warunkach laboratoryjnych zadanych własności. Kalibracja i próby terenowe wytworzonego biosensora oraz czytnika preparatów będą dotyczyły prób laboratoryjnych — hodowli w zadanym stężeniu [%] CO<sub>2</sub>, a uzyskane wyniki

ilościowe zostaną poddane analizie statystycznej celem znalezienia istotnych korelacji pomiędzy zmiennymi: lokalizacja, średnie stężenie CO<sub>2</sub>, rodzaj drobnoustrojów i liczebność drobnoustrojów, czas. Wyniki posłużą do wykreślenia krzywej kalibracyjnej oraz zbudowania modelu matematycznego. W trakcie dalszych prób terenowych również w przyszłym podziemnym składowisku CO<sub>2</sub> zostanie dokonana weryfikacja rezultatów. W końcowym etapie prac nastąpi złożenie czujnika w całość — opracowanie ostatecznego jego kształtu, końcowa weryfikacja laboratoryjna działania biosensora.

Prace zostaną wykonane w interdyscyplinarnym zespole badawczym składającym się z geologów, specjalistów od podziemnego składowania CO<sub>2</sub>, mikrobiologów i biologów, a podstawę naukowego warsztatu wnioskodawcy stanowi wiedza wykonawców projektu w zakresie podziemnego składowania i monitoringu podziemnych wycieków CO<sub>2</sub>, mikrobiologii, biologii molekularnej, dotychczasowa praca naukowa w zakresie stosowania drobnoustrojów o zadanych własnościach w przemyśle i ochronie środowiska poparta zgłoszeniami patentowymi.

### Podsumowanie

Zaproponowano dostosowanie mikrobiologicznych metod analitycznych do potrzeb kontroli średniego stężenia CO<sub>2</sub> w otoczeniu, poprzez budowę i kalibrację odpowiedniego czujnika — biosensora, z wykorzystaniem odpowiednich bakterii i podłoży.

Przyjęta idea konstrukcji biosensora pozwala na jego zastosowanie w kontroli średniego stężenia jakiegokolwiek gazu podlegającego składowaniu o ile jest on substratem dla któregoś z poznanych szlaków metabolicznych drobnoustrojów.

Biosensor będzie w pierwszej kolejności zastosowany do monitorngu wycieków CO<sub>2</sub> z podziemnych składowisk tego gazu.

### LITERATURA

- Barabasz W., Voříšek K., 2002 — Bioróżnorodność mikroorganizmów w środowiskach glebowych. Red. W. Barabasz, Akademia Rolnicza, Kraków, 23—34.
- Benson S., Myer L., 2002 — Monitoring to ensure safe and effective geologic sequestration of carbon dioxide, IPCC workshop on carbon dioxide capture and storage.
- Chaiken R.F., Dalverny L.E., 1995 — Leaching Pyrite From Coal Waste: Results of Diagnostic Study. Report of Investigations 9569, ISSN 1066—5552.
- Chalaturnyk R., Gunter W.D., 2004 — Geological storage of CO<sub>2</sub>: time frames, monitoring and verification. 7 International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-7), Vancouver, Canada, 5—9 September 2004.
- De Jong E., Schappert H.J.V., 1972 — Calculation of soil respiration and activity from CO<sub>2</sub> profiles in the soil. *Soil Sci.* 119, 328—333.
- De Jong E., Schappert H.J.V., MacDonald K.B., 1974 — Carbon dioxide evolution from virgin and cultivated soil as affected by management practices and climate. *Can. J. Soil Sci.* 54, 299—307.

- EARTHLAB, 2003 — A Subterranean Laboratory and Observatory, to Study Microbial Life, Fluid Flow, and Rock Deformation. A Report to the National Science Foundation, June 2003.
- Emberley S., Hutcheon I., Shevalier M., Durocher K., Gunter W.D., Perkins E.H., 2002 — Geochemical monitoring of fluid — rock interaction and CO<sub>2</sub> storage at the Weyburn CO<sub>2</sub> injection enhanced oil recovery site, Saskatchewan, Canada. 6 International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-6), Kyoto, Japan, 1—4 October, 2002.
- Etiopie G., Gilichinsky D., Panieri G., Raschi A. — REPORT. IATA-CNR, Florence. 2001.
- Firestone Hu S., Chapin M.K., 1999 — Soil microbial feedbacks to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment. *Trends Ecol. Evol.* 14,11, 433—437.
- Gołębiewska J., Pędziwiłk Z., 1984 — CO<sub>2</sub> release as an index of biological activity of cultivated soil. *Acta Microbiol. Pol.* 33, 3/4, 249—256.
- Herzog H., Eliasson B., Kaarstad O., 2000 — Wylapywanie gazów cieplarnianych. *Świat Nauki*, Maj 2000: 58—65.
- Holloway S., 2002 — Underground sequestration of carbon dioxide — a viable greenhouse gas migration option. [In:] *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Int. Symp. On CO<sub>2</sub> Fixation and the Efficient Utilization of Energy (C&E 2002)*. March 4—6, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan: 373—380.
- Kotelnikova S., 2002 — Microbial production and oxidation of methane in deep subsurface. *Earth-Science Reviews*. 58, 367—395.
- Moberg R., Stewart D.B., Stachniak D., 2002 — The IEA Weyburn CO<sub>2</sub> monitoring and storage project. 6 International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-6), Kyoto, Japan, 1—4 October, 2002.
- Ortoleva P.J., Dove P., Richter F., 1998 — Geochemical Perspectives on CO<sub>2</sub> Sequestration. 11/2/98, p. 20.
- Sadowski M.J., Schortemeyer M., 1997 — Soil microbial responses to increased concentration of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Global Change Biol.* 3, 217—224.
- Sedjo R.A., Toman M., 2001 — Can Carbon Sinks Be Operational? RFF Workshop Proceedings, July 2001, Discussion Paper 01—26.
- Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2003 — Podziemne magazynowanie dwutlenku węgla. *Przegląd geologiczny* nr 5, p. 402—409.
- Podziemne składowanie CO<sub>2</sub> w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych). Tarkowski R. (red.). Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2005, ss. 172.
- Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2005 — Emisja dwutlenku węgla w Polsce. W: Tarkowski R. (red.) — *Podziemne składowanie CO<sub>2</sub> w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych)*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2005, p.13—36.
- Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., Szarawarska E., 2005 — Monitoring podziemnego składowania CO<sub>2</sub>. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, T. 21/2, p. 35—48.
- U.S. Climate Change Technology Program — *Technology Options for the Near and Long Term*, November 2003, p. 206.
- Weyman-Kaczmarkowa W., Głuchowska K., 2004 — Dynamika rozwoju bakterii przy wzroście dwutlenku węgla w atmosferze glebowej. *Acta Agraria et Silvestria*, ser. Agraria. 42, 451—456.
- White D.J., Burrowes G., Hajnal Z., Hirsche K., Hutcheon I., Majer E., Rostron B., Whittaker S., 2004 — Greenhouse gas sequestration in abandoned oil reservoirs: The International Energy Agency Weyburn pilot project. *GSA Today*, Volume 14, No 7, July 2004.



RADOSŁAW TARKOWSKI, WOJCIECH KRÓLIK

**UNDERGROUND CO<sub>2</sub> STORAGE FACILITIES LEAKAGE MONITORING SYSTEM BASED ON BIOSENSING TECHNOLOGY**

**Key words**

Underground CO<sub>2</sub> storage, threat identification and monitoring, biosensor, biomonitoring, geobiomonitoring, environment protection

**Abstract**

The paper presents baselines of a research project focused on accommodation and application of microbiological analysis methods within environmental CO<sub>2</sub> concentration monitoring process. The task is to be achieved by construction and calibration of a new sensing device — a biosensor. The core idea of the project is to use preliminarily found or genetically modified microorganisms able or enabled to grow in previously defined and engineered microenvironment, where sensor organism growth is only time and CO<sub>2</sub> concentration dependent. Authors propose to construct a biosensing device able to measure CO<sub>2</sub> supply within its direct environment (vide areas of natural CO<sub>2</sub> outflow and underground CO<sub>2</sub> storage facilities). The mentioned construction baselines allow employing the biosensor to monitor environmental supply of any gas being stored as far as it is a substrate for any known microbial metabolic pathway.