



Państwowy Instytut Geologiczny  
Państwowy Instytut Badawczy

ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa, tel 022 849 53 51, fax 022 849 53 42, sekretariat@pgi.gov.pl  
Sąd Rejonowy dla m. st. Warszawy w Warszawie, XIII Wydział Gospodarczy KRS, Nr 0000122099; NIP PL 5250008040

[www.pgi.gov.pl](http://www.pgi.gov.pl)

państwowa służba  
geologiczna  
państwowa służba  
hydrogeologiczna

Konsorcjum  
projektu



**ROZPOZNANIE FORMACJI I STRUKTUR DO BEZPIECZNEGO GEOLOGICZNEGO  
SKŁADOWANIA CO<sub>2</sub> WRAZ Z ICH PROGRAMEM MONITOROWANIA,  
RAPORT MERYTORYCZNY NR 2: SEGMENT II, REJON BĘLCHATÓW**

Koordynator projektu:

Dyrektor PIG-PIB,  
Przewodniczący Komitetu Sterującego Projektu:

*dr inż. Adam Wójcicki*

*doc. dr hab. Jerzy Nawrocki*



**"WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA RODOWISKA ZA RODKI FINANSOWE  
WYPŪACONE PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY RODOWISKA I  
GOSPODARKI WODNEJ"**

Warszawa, grudzień 2009

## WYKONAWCY

IMIĘ I NAZWISKO	INSTYTUCJA	IMIĘ I NAZWISKO	INSTYTUCJA
dr inż. Adam Wójcicki	PIG-PIB	prof. dr hab. inż. Józef Dubiński	GIG
doc. dr hab. Marek Jarosiński	PIG-PIB	doc. dr hab. inż. Grzegorz Mutke	GIG
mgr Katarzyna Sobień	PIG-PIB	doc. dr hab. inż. Jan Wachowicz	GIG
dr Anna Feldman-Olszewska	PIG-PIB	dr inż. Jarosław Chećko	GIG
mgr inż. Teresa Adamczak	PIG-PIB	dr inż. Adam Lurka	GIG
doc. dr hab. Magdalena Sikorska-Jaworowska	PIG-PIB	dr inż. Krystyna Stec	GIG
dr Magdalena Pańczyk	PIG-PIB	dr Eleonora Solik-Heliasz	GIG
Dr Aleksandra Kozłowska	PIG-PIB	dr inż. Piotr Rozmus	GIG
Leszek Giro	PIG-PIB	mgr inż. Aleksandra Koterias	GIG
mgr Wanda Narkiewicz	PIG-PIB	mgr Michał Bednarski	GIG
mgr inż. Grzegorz Wróbel	PIG-PIB	mgr inż. Robert Warzecha	GIG
mgr inż. Sylwia Kijewska	PIG-PIB	mgr inż. Robert Siata	GIG
mgr inż. Paweł Poprawa	PIG-PIB	mgr inż. Jacek Chodacki	GIG
inż. Jacek Chelmiński	PIG-PIB	mgr inż. Tomasz Urych	GIG
mgr Maciej Tomaszczyk	PIG-PIB	doc. dr hab. inż. Radosław Tarkowski	IGSMiE PAN
mgr Łukasz Nowacki	PIG-PIB	dr hab. inż. Barbara Uliasz-Misiak	IGSMiE PAN
dr Lidia Razowska-Jaworek	PIG-PIB	prof. dr hab. inż. Sylwester Marek	IGSMiE PAN
Tadeusz Grudzień	PIG-PIB	dr Lidia Dziewińska	IGSMiE PAN
dr hab. inż. Stanisław Nagy, prof. nzw.	AGH	dr hab. Inż. Krzysztof Labus	IGSMiE PAN
prof. dr hab. inż. Andrzej Gonet	AGH	mgr inż. Magdalena Wdowin	IGSMiE PAN
prof. dr hab. inż. Henryk Marcak	AGH	doc. dr hab. inż. Jan Lubaś	INiG
prof. dr hab. inż. Stanisław Stryczek	AGH	dr inż. Grzegorz Leśniak	INiG
prof. dr hab. inż. Jakub Siemek	AGH	mgr inż. Krzysztof Sowizdzał	INiG
dr hab. inż. Rafał Wiśniowski	AGH	dr Wiesław Szott	INiG
mgr inż. Łukasz Klimkowski	AGH	dr inż. Piotr Łętkowski	INiG
mgr inż. Rafał Sedlaczek	AGH	inż. Andrzej Gołąbek	INiG
prof. dr hab. inż. Wojciech Górecki	AGH	mgr inż. Krzysztof Miłek	INiG
mgr inż. Bartosz Papiernik	AGH	Andrzej Rychlicki	INiG
mgr inż. Marek Hajto	AGH	mgr inż. Bogdan Filar	INiG
mgr inż. Grzegorz Machowski	AGH	mgr inż. Mariusz Miziołek	INiG
mgr inż. Wojciech Machowski	AGH	mgr inż. Barbara Piesik-Buś	INiG
mgr inż. M. Michna	AGH	mgr inż. Jadwiga Zamojcin	INiG
mgr inż. M. Maruta	AGH	inż. Władysława Kędra	INiG
mgr inż. A. Pasternacki	AGH	mgr Tomasz Bąk	PBG

mgr inż. Mariusz Słyś	INiG	mgr inż. Cezary Ostrowski	PBG
prof dr hab. inż. Halina Jędrzejowska-Tyczkowska	INiG	mgr inż. Grzegorz Pacanowski	PBG
Irena Irlík	INiG	dr inż. Marek Wojdyła	PBG
Dorota Piróg	INiG	Zdzisław Żuk	PBG
mgr Iwona Byś	INiG		

## Spis treści

WSTĘP.....	5
1.1.14 ZEBRANIE SZCZEGÓŁOWYCH INFORMACJI GEOLOGICZNYCH, GEOFIZYCZNYCH, HYDROGEOLOGICZNYCH, Z/OBJĘTOŚCIOWYCH, GEOMECHANICZNYCH.	8
Analizy danych z otworów wiertniczych (PIG-PIB, AGH, GIG).....	8
Mapy sejsmiczne formacji mezozoiku oraz wyniki innych badań geofizycznych (PIG-PIB, PBG) .....	12
Oddziaływanie CO <sub>2</sub> -składowania z otaczającymi skałami (IGSMiE PAN).....	15
1.1.15 OPRACOWANIE SZCZEGÓŁOWYCH STATYCZNYCH MODELI OBRÓTKI GEOLOGICZNEGO SKŁADOWISKA.....	17
Model statyczny utworów dolnej jury (AGH).....	19
Modele gęstości i oporności (PBG).....	33
Charakterystyka antyklin Zaosia i Justynowa, w tym utworów triasu dolnego (IGSMiE PAN).....	36
Model statyczny utworów triasu dolnego (INiG).....	41
Charakterystyka i analiza warunków hydrogeologicznych dla struktury Budziszewice-Zaosie (GIG).....	48
Oznaczenia składu mineralnego próbek skał (PIG-PIB).....	60
1.1.16 MODELOWANIE DYNAMICZNE PROCESÓW ZATACZANIA CO <sub>2</sub> DO SKŁADOWISKA.....	65
Modelowania dynamiczne dla formacji jury dolnej (AGH, GEM).....	70
Modelowania dynamiczne dla formacji jury dolnej (GIG, PetraSim/TOUGH2).....	81
Modelowania dynamiczne dla formacji triasu dolnego (INiG, Petrel/Eclipse).....	96
1.1.17 ZARZĄDZANIE RYZYKIEM GEOLOGICZNEGO SKŁADOWANIA CO <sub>2</sub> .....	113
Ocena ryzyka składowania CO <sub>2</sub> , w tym skutków potencjalnych wycieków (GIG).....	115
Ocena ryzyka składowania CO <sub>2</sub> w tym opis potencjalnych zagrożeń wyciekami CO <sub>2</sub> i migracją solanki (INiG).....	126
Ocena ryzyka geologicznego składowania, w tym zagadnienia bezpieczeństwa składowania i integralności składowiska (AGH).....	144
1.1.18 OPRACOWANIE PROGRAMU MONITORINGU DLA WYTYPOWANYCH SKŁADOWISKA.....	157
Plan monitoringu powierzchniowego sejsmicznego, grawimetrycznego i elektromagnetycznego (PIG-PIB & PBG).....	159
Monitoring sejsmologiczny i metod tomografii pasywnej (GIG).....	165
Monitoring mikrobiologiczny i stężenia CO <sub>2</sub> w powietrzu podglebowym (IGSMiE PAN).....	171
Propozycja programu monitoringu parametrów kolektorów i uszczelnienia na podstawie planowanych prac z zakresu sejsmiki 4D (INiG).....	180
Plany monitoringu testowego zatłaczania CO <sub>2</sub> na jednej ze struktur rezerwowych (AGH & PIG- PIB).....	188
PODSUMOWANIE.....	193
Literatura.....	194

## WST P

Niniejszy raport obejmuje opracowanie wielowariantowych (alternatywnych) scenariuszy geologicznej sekwestracji CO<sub>2</sub> dla obiektu w poziomach wodonośnych solankowych w rejonie Bełchatowa, zgodnie z zaleceniami DYREKTYWY PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2009/31/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla oraz zmieniająca dyrektywę Rady 85/337/EWG, Euratom, dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE, 2001/80/WE, 2004/35/WE, 2006/12/WE, 2008/1/WE i rozporządzenie (WE) nr 1013/2006 - *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 140/114 z dnia 5 czerwca 2009 r.* (zwana dalej **Dyrektywą**). Zakres raportu, jak również ramowy zakres II Segmentu, odpowiada punktom **1.1.14-1.1.18** Karty Informacyjnej niniejszego tematu i jednocześnie poniżej scharakteryzowanym zapisom Dyrektywy. Stanowi to pierwsze w naszym kraju praktyczne wdrożenie wymogów Dyrektywy odnośnie charakterystyki potencjalnych składowisk, wykorzystujących dostępne materiały archiwalne.

Zgodnie z Dyrektywą, składowanie CO<sub>2</sub> w warstwach geologicznych będzie poprzedzone szczegółowymi badaniami potencjalnego składowiska. Zgodnie z załącznikiem nr 1 do Dyrektywy, analiza taka, określająca m. in. wpływ geologicznego składowania CO<sub>2</sub> na środowisko, będzie musiała zawierać następujące elementy:

- zebranie danych dla składowiska i jego otoczenia (na które może wpływać składowisko), czyli tzw. kompleksu składowania, w tym danych geologiczno-geofizycznych, hydrogeologicznych, danych odnośnie inżynierii zbiornika (w tym szacunkowych pojemności składowania), geochemii, geomechaniki, sytuacji sejsmicznej, obecności naturalnych i sztucznych potencjalnych dróg ucieczki CO<sub>2</sub> z górotworu (w tym otworów wiertniczych), a także rozkładu populacji, cennych zasobów (takie jak przyrodnicze w tym NATURA 2000) oraz działalności górniczej prowadzonej w rejonie składowiska i dostępcie różnic emisji dwutlenku węgla, w tym możliwości transportu (**1.1.14 Zebranie szczegółowych informacji geologicznych, geofizycznych, hydrogeologicznych, zóowych, geomechanicznych**)
- statyczne charakterystyk kompleksu składowania, czyli budowę jego trójwymiarowego modelu, obejmującą strukturę pułki geologicznej, własności geochemiczne i geomechaniczne zbiornika oraz własności przepływu w zbiorniku, własności nadkładu i otaczających formacji, charakterystyk systemu spławy i antropogenicznych potencjalnych dróg CO<sub>2</sub>, poziomego i pionowego zasięgu kompleksu składowania, objętości i rozkładu porów, stanu wyjściowego pęknięć i innych związanych z tym cech (**1.1.15 Opracowanie szczegółowych statycznych modeli o rodka geologicznego składowisk**)
- charakterystyk dynamicznego zachowania dwutlenku węgla podczas składowania, w tym potencjalnego wydajności zatęczenia i wycięciwości strumienia CO<sub>2</sub>, efektywność modelowania zachodzących procesów, procesy reakcji ze skałami, charakterystyk i wyniki symulacji w perspektywie krótko i długoterminowej (**1.1.16 Modelowania dynamiczne procesów zatęczenia CO<sub>2</sub> do składowiska**)
- charakterystyk wycięciwości oceny na zacięciwość przyjęte dla poszczególnych parametrów dla ww. symulacji dynamicznego zachowania się dwutlenku węgla oraz ocen ryzyka geologicznego składowania dwutlenku węgla, w tym potencjalne drogi wycięciu, wielkość wycięciu, parametry krytyczne wpływające na potencjalny wycięcie, wtórne skutki składowania CO<sub>2</sub> i wszelkie inne zagrożenia dla zdrowia ludzi i środowiska, ocenę narażenia i skutków tych zagrożenia dla ludzi i środowiska oraz związane z tym scenariusze (**1.1.17 Zarządzenie ryzykiem geologicznego składowania CO<sub>2</sub>**).

Obok powyższych informacji, zgodnie z Dyrektywą (Załącznik Nr 2) do uzyskania koncesji na składowanie niezbędne jest przedłożenie właściwemu organowi **Planu monitorowania**, który ma

by aktualizowany w trakcie zatraczenia i po jego zakończeniu. W ramach niniejszego raportu i tematu w szczególności przedstawiono propozycje monitoringu stanu początkowego (zerowego) składowiska i zalecenia dla monitoringu na dalszych etapach realizacji projektu demonstracyjnego (**1.1.18 Opracowanie programu monitoringu dla wytypowanych składowisk**).

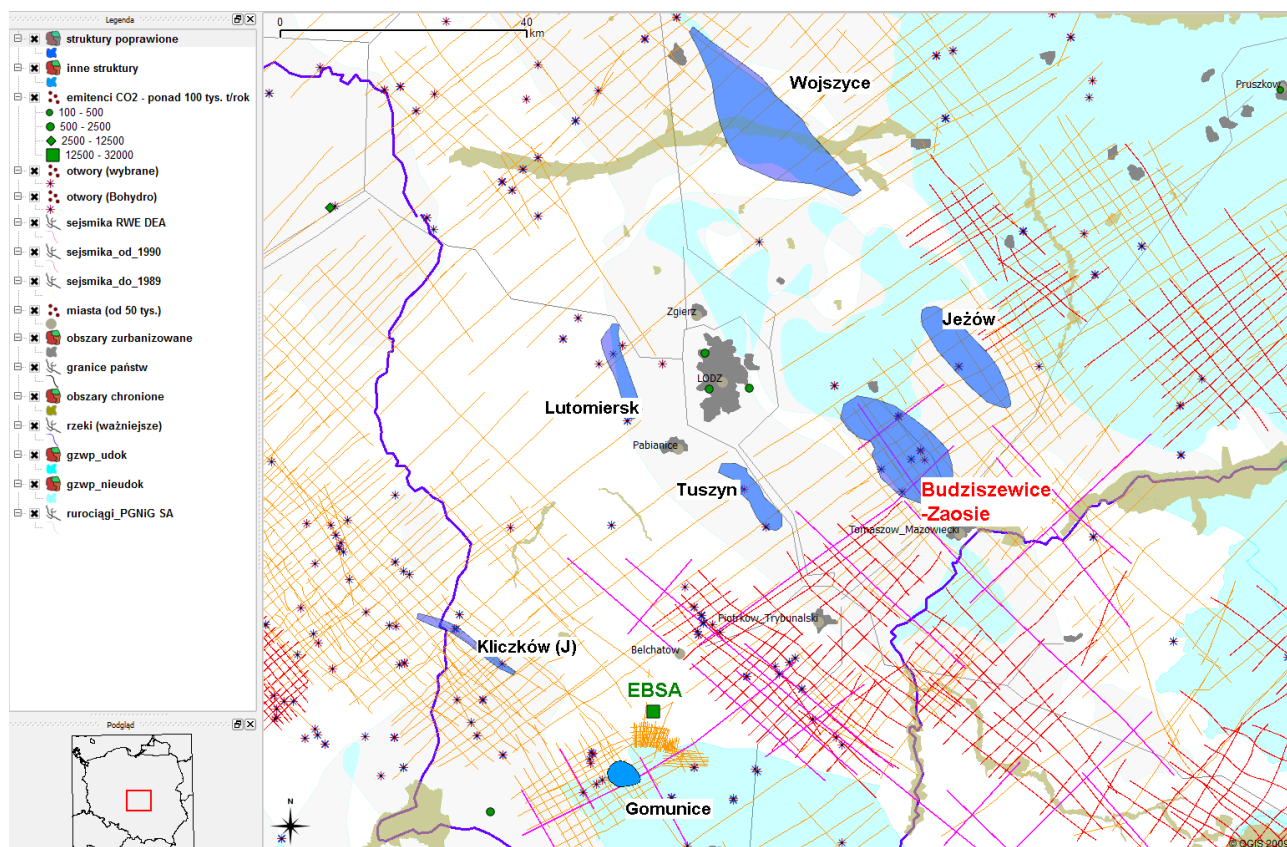


Fig. 1 Struktury analizowane w ramach I segmentu dla rejonu Bechatowa (raport merytoryczny: Wójcicki, 2009 (red.)). Kontury struktur (niebieskie) określono na podstawie map sejsmicznych formacji dolnej jury w skali 1:50 000.

W rezultacie prac wykonanych w ramach I segmentu dla rejonu Bechatowa do dalszych analiz wybrano struktur **Budziszewice-Zaosie** (Fig. 1 ó podstawowy kolektor to formacje piaskowców dolnej jury, drugorz dny ó pstry piaskowiec), dla której przeprowadzono wszystkie analizy przewidziane w zakresie ramowym dla II segmentu (patrz wy ej), na bazie dost pnych materiaów archiwalnych. Struktura ta jest najlepiej rozpoznana otworami (6 otworów) i sejsmik (3 profile z lat 1999-2000, 6 profili z lat 1970-tych nadaj cych si do wykorzystania) spośród wszystkich rozpatrywanych w rejonie Bechatowa. Nie spełia ona idealnie wszystkich podr cznikowych kryteriów przydatno ci na potencjalne składowisko dla projektu demonstracyjnego PGE Elektrownia Bechatów S.A., ale tylko dla niej mo na przeprowadzi w miar wiarygodne analizy przewidziane w ramach II segmentu, w oparciu o dost pne materiaó archiwalne.

Jako struktury/obiekty rezerwowe zaproponowano dla PGE EBSA kolejne struktury w rankingu: Lutomiersk i Wojszyce, które wydaj si spełia wspomniane kryteria nawet lepiej ni Budziszewice-Zaosie, ale mo e wynika to z faktu e s nieporównywalnie s abiej rozpoznane. Dla wspomnianych struktur rezerwowych przewidziano w najbli szym czasie wykonanie rozpoznawczych prac sejsmicznych (Nowak *et al.*, 2009a i 2009b) i odwiercenie po jednym otworze badawczym. Przewidziano w tym wykonanie jednego otworu w rejonie Pabianic, na SE od struktury Lutomiersk, w s siedztwie w zó tektonicznego, co umo liwi odpowied na pytanie na ile

bezpieczne może być geologiczne składowanie w utworach dolnej jury dla struktury Lutomierskiej i ewentualnie struktury Tuszyn (pomiędzy nimi wg map geologicznych w skali 1:500 000 występuje w rejonie Pabianic niewielkie podniesienie w permie, ale nie wiadomo czy odpowiada temu struktura w dolnej jurze) oraz jednego w szczytowej partii NW części struktury Wojszyce, w obrębie której brak jest otworów nawiercających jurę (siedzi dopiero w jej siedztwie). Po wykonaniu powyższych prac i opracowaniu ich wyników struktury te będą rozpoznane w porównywalnym stopniu jak struktura Budziszewice-Zaosie. Na potrzeby projektu demonstracyjnego zostanie wtedy wybrana przez PGE EBSA jedna z trzech struktur/obiektów, uwzględniając nie tylko informacje geologiczne ale także możliwe konflikty interesów (głębokie rezerwowe zbiorniki wód podziemnych, koncesje naftowe, możliwe i koszty transportu rurociągi, ewentualny opór mieszkańców i właścicieli gruntów).

Jako rozszerzenie niniejszego raportu (a konkretnie zadania *1.1.18*) sporządzono projekt prac geologicznych na potrzeby monitoringu potencjalnego składowiska projektu demonstracyjnego PGE EBSA w Budziszewice-Zaosie, którego szczególne charakterystyki przedstawiono w rozdziałach *1.1.14* i *1.1.17* oraz projekty prac geologicznych na wiercenie otworów do pilota owego zatęszczania dwutlenku węgla (Modliński et al., 2009a i 2009b).

Projekty prac geologicznych na wiercenie otworów do pilota owego zatęszczania dwutlenku węgla sporządzono, zgodnie z prośbą Ministerstwa Środowiska dla lokalizacji w bezpośrednim siedztwie otworów badawczych PGE EBSA przewidzianych do wykonania na strukturach/obiektach Lutomierskiej i Wojszyce. Dla jednej z tych lokalizacji (tam gdzie ruszy wiercenie pierwszego otworu badawczego) zostanie przeprowadzone testowe zatęszczanie dwutlenku węgla (prawdopodobnie do 40 tys. ton), jeszcze przed wyborem optymalnej struktury i składowiska przez PGE EBSA. Testowe zatęszczanie to inicjatywa Ministerstwa Środowiska mająca na celu stworzenie krajowego laboratorium badawczego dla geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w poziomach wodonośnych solankowych i analogicznego jak eksperyment Ketzin w Niemczech. Podobnie jak w Ketzin lokalizacja testowego zatęszczania nie będzie odpowiadała lokalizacji na potrzeby projektu demonstracyjnego (jeśli nawet spośród trzech struktur zostanie wybrana przez PGE EBSA docelowo ta sama co do testowego zatęszczania, to będzie to inna część struktury i raczej składowiska niż szczytowa partia), ale za to dostarczy cennych informacji *in-situ*, które będą użyteczne dla wszystkich innych struktur o podobnych warunkach geologicznych występujących w tym rejonie.