

KRAJOWY PROGRAM „ROZPOZNANIE FORMACJI I STRUKTUR DO BEZPIECZNEGO GEOLOGICZNEGO SKŁADOWANIA CO₂ WRAZ Z ICH PLANAMI MONITOROWANIA”

POLISH NATIONAL PROGRAMME „ASSESSMENT OF FORMATIONS AND STRUCTURES FOR SAFE CO₂ GEOLOGICAL STORAGE, INCLUDING MONITORING PLANS”

ADAM WÓJCICKI¹

Abstrakt. Krajowy program „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania” jest realizowany na zamówienie Ministerstwa Środowiska, przez konsorcjum złożone z PIG–PIB (lider), AGH, GIG, INiG, IGSMiE PAN i PBG. Strategicznym celem krajowego programu, obejmującego praktycznie cały obszar Polski wraz z ekonomiczną strefą Bałtyku, jest dostarczenie Ministerstwu Środowiska informacji niezbędnych do podjęcia decyzji koncesyjnych, zgodnie z wymogami odnośnej dyrektywy unijnej.

Dotychczas ukończono prace w zakresie rozpoznania formacji i struktur geologicznych w rejonie Bełchatowa, a dla wytypowanej struktury wykonano analizy szczegółowe. Jednocześnie prowadzi się podobne prace dla rejonu południowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i uruchamia się prace w kolejnych rejonach kraju.

Słowa kluczowe: geologiczna sekwestracja CO₂, poziomy wodonośne solankowe, właściwości zbiornikowe, rejon Bełchatowa.

Abstract. The National Programme “Assessment of formations and structures for safe CO₂ geological storage, including monitoring plans”, ordered by Ministry of Environment, is carried out by consortium consisting of PGI–NRI, AGH UST, CMI, OGI, MEERI PAS and PBG. The strategic goal of the national programme, covering practically the whole territory of Poland and the Baltic economic zone is to deliver to the Ministry information necessary for permitting decisions after requirements of the relevant EU directive.

To this moment works on the assessment of geological formations and structures in Bełchatów area and for a selected structure detailed assessment has been completed. Simultaneously similar works for the area of southern part of SCB have been carried out and works for other areas of the country are being launched.

Key words: CO₂ geological sequestration, saline aquifers, reservoir properties, Bełchatów area.

WSTĘP

W odpowiedzi na potrzeby gospodarki narodowej w zakresie przyszłego wdrożenia technologii geologicznej sekwestracji CO₂ na skalę przemysłową, poprzedzonego jej przetestowaniem w instalacjach demonstracyjnych, Ministerstwo Środowiska uruchomiło krajowy program „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania”,

realizowany przez konsorcjum złożone z kluczowych instytucji zajmujących się tą problematyką w Polsce (PIG–PIB – lider, AGH, GIG, INiG, IGSMiE PAN i PBG).

W ramach tego projektu, realizowanego w ciągu czterech lat (2008–2012 r.), przewidziano współpracę z partnerami przemysłowymi, w szczególności planującymi projekty demonstracyjnych elektrowni o obniżonej emisji CO₂ (program

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: adam.wojcicki@pgi.gov.pl

unijny ETP ZEP – Europejskiej Platformy Technologicznej Zeroemisyjnych Elektrowni na Paliwa Kopalne), oraz zagranicznymi partnerami badawczo-rozwojowymi, w tym w szczególności ze służbami geologicznymi.

Strategicznym celem krajowego programu jest dostarczenie Ministerstwu Środowiska informacji niezbędnych do podejmowania w przyszłości decyzji o przyznawaniu koncesji na rozpoznawanie potencjalnych złóż węgla i ich zagospodarowywanie, zgodnie z wymogami dyrektywy unijnej dotyczącej geologicznego składowania CO₂.

Prace dotyczą całego obszaru Polski wraz z ekonomiczną strefą Bałtyku i obejmują właściwie dziesięć podprojektów w ramach pierwszego segmentu (regionalnego – osiem rejonów kraju dla poziomów wodonośnych solankowych oraz opcje składowania dla złóż węglowodorów i metanu z pokładów węgla – MPW) i pięciu w ramach drugiego. W drugim segmencie przewidziano szczegółowe prace dla pięciu potencjalnych złóż węgla – trzech dla struktur w poziomach wodonośnych solankowych i po jednym dla opcji składowania dla złóż węglowodorów i metanu pokładów węgla.

Wynikiem pierwszego segmentu jest wskazanie lokalizacji potencjalnych złóż CO₂ w Polsce, a rezultaty te posłużą jako podstawa decyzji koncesyjnych Ministerstwa

Środowiska w zakresie przyznawania koncesji na rozpoznawanie potencjalnych złóż węgla.

Rezultatem drugiego segmentu będzie opracowanie charakterystyki pięciu potencjalnych złóż węgla na podstawie dostępnych materiałów archiwalnych, zgodnie z zaleceniami załącznika nr 1 do „Dyrektywy w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla, w tym dwóch na potrzeby projektów demonstracyjnych elektrowni o obniżonej emisji (PGE Bełchatów i PKE/ZAK Kędzierzyn), proponowanych przez Polskę do programu unijnego ETP ZEP. Końcowym efektem tego segmentu będzie opracowanie planu monitoringu stanu początkowego dla potencjalnych złóż węgla, a także założeń do monitoringu w trakcie eksploatacji i po zamknięciu złóż węgla.

Do chwili obecnej ukończono pierwszy segment dotyczący rekomendacji lokalizacji potencjalnych złóż węgla dla projektu demonstracyjnego Bełchatów i prace w ramach drugiego, dla wytypowanej struktury Budziszewice–Zaosie. Prowadzone są prace w zakresie rozpoznania potencjalnych złóż węgla na potrzeby drugiej instalacji demonstracyjnej (PKE/ZAK Kędzierzyn) – właśnie rozpoczęto takie prace dla Mazowsza, a następnie dla rejonu zapadli-ska/frontu Karpat.

GEOLOGICZNE SKŁADOWANIE CO₂

Zgodnie z aktualną polityką Unii Europejskiej (patrz strona Komisji Europejskiej – Dyrekcji Generalnej ds. Środowiska) przyjmuje się, że redukcja antropogenicznej emisji dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych może być zrealizowana na trzy sposoby, poprzez:

- poprawę efektywności energetycznej i zmniejszenie zapotrzebowania na energię (w przemyśle, transporcie samochodowym, rolnictwie, budownictwie, usługach, sektorze gospodarki odpadami i w gospodarstwach domowych);
- wykorzystanie odnawialnych oraz alternatywnych źródeł energii (energia wiatru, słoneczna, biomasy, geotermalna, etc.);
- CCS – wychwytywanie i geologiczne składowanie CO₂ (tzw. geologiczna sekwestracja).

Geologiczna sekwestracja CO₂ to bezpieczne składowanie CO₂ pochodzącego ze spalania paliw kopalnych w instalacjach przemysłowych, w głębokich formacjach i strukturach geologicznych (fig. 1), docelowo przez setki lub tysiące lat. Proces ten obejmuje wychwytywanie CO₂ ze strumienia spalin, transport i zatłaczanie do wytypowanego złóż węgla.

W Polsce, podobnie jak w znacznej części Europy, rozpatrywane są trzy opcje geologicznego składowania dwutlenku węgla (Vangkilde-Pedersen i in., 2008):

1. Składowanie w głębokich poziomach wodonośnych solankowych – formacje te mają największy potencjał i są jak dotąd bezużyteczne dla człowieka.
2. Składowanie w szcerpanych złóżach węglowodorów – z możliwością wspomaganie wydobywania ropy (EOR), ewentualnie też gazu ziemnego (EGR).
3. Składowanie w głębokich, nieeksploatowanych pokładach węgla ze wspomaganie wydobywania metanu (ECBM).

POJEMNOŚCI FORMACJI I STRUKTUR GEOLOGICZNYCH

Podobnie jak w przypadku określania zasobów surowców energetycznych, czy też wód termalnych, szacowanie pojemności składowania CO₂ w formacjach i strukturach geologicznych ma charakter wielostopniowy. Na figurze 2 przedstawiono schemat szacowania wspomnianych pojemności (na podstawie literatury światowej, w tym: Bachu, Adams, 2003) dla poziomów wodonośnych solankowych,

które, pomimo że charakteryzują się na ogół znacznym potencjałem, są jednak stosunkowo słabo rozpoznane.

W celu określenia pojemności składowania na potrzeby konkretnej inwestycji (np. projektu demonstracyjnego CCS) należy nie tylko wybrać mniejsze obszary/struktury, których warunki geologiczne umożliwiają zatłaczanie, ale również wziąć pod uwagę konflikt interesów (zakłady geo-

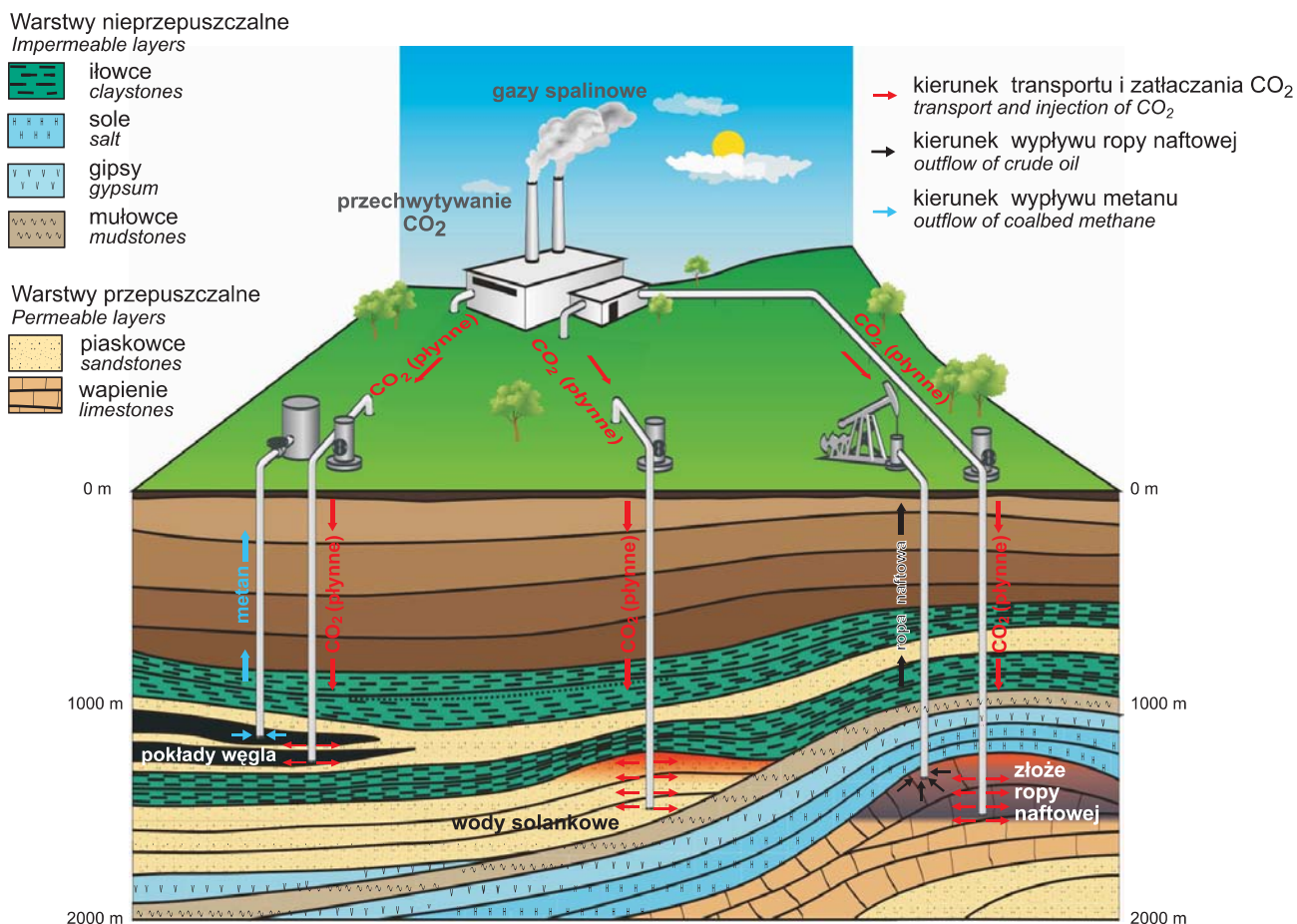


Fig. 1. Schemat ideowy geologicznej sekwestracji CO₂ w polskich warunkach (wystawa „Klimat a węgiel”, PIG-PIB, 2009; opracowanie – firma graficzna Bloor)

Idea of CO₂ geological sequestration for geological conditions of Poland (Exhibition “Climate and coal”, PGI-NRI, 2009; graphic by Bloor company)

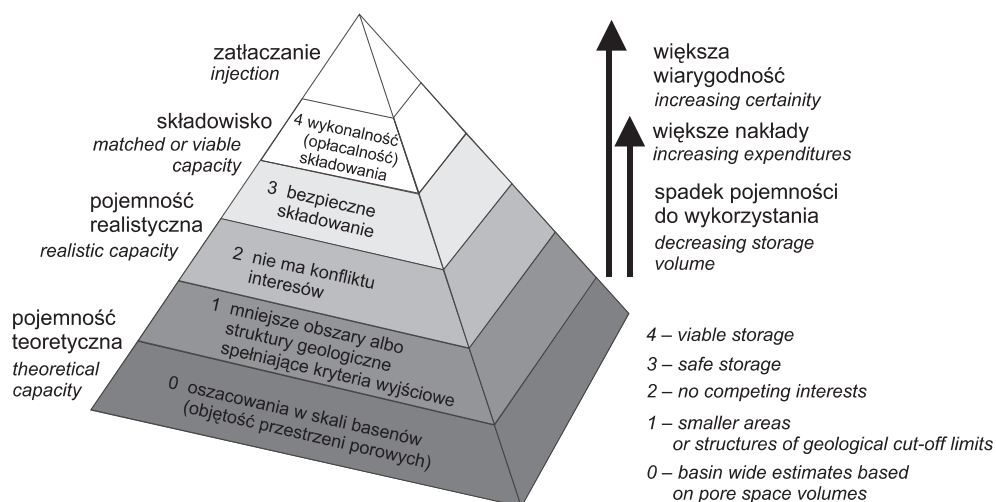


Fig. 2. Pojemności składowania CO₂ dla formacji i struktur geologicznych (opcja dla poziomów wodonośnych solankowych)

CO₂ storage capacities for geological formations and structures (saline aquifer option)

termalne, koncesje naftowe) związane z użytkowaniem danego obszaru i górotworu, a w szczególności zapewnić, że składowanie będzie bezpieczne dla ludzi i środowiska na-

turalnego. Wtedy dopiero można mówić o wykonalności i opłacalności inwestycji.

PRZEDMIOT I ZAKRES PRAC

Prace w ramach krajowego programu obejmują praktycznie cały obszar basenów osadowych Polski wraz z częścią Bałtyku (fig. 3).

Na tle wyników unijnego projektu badawczego EU Geo-Capacity (Vangkilde-Pedersen i in., 2008) oraz wcześniej realizowanego zadania badawczego WP1.2 projektu unijnego CASTOR (Scholtz i in., 2006), przedstawiono (fig. 3) orientacyjne obszary badań dla kolejnych etapów rozpoznawania formacji i struktur, gdzie byłoby możliwe bezpieczne geologiczne składowanie dwutlenku węgla w poziomach wodonośnych solankowych. Dwa z tych obszarów (I, II) zostały dobrane na potrzeby projektów demonstracyjnych instalacji o obniżonej emisji CO₂, które Polska zgłosiła do programu unijnego ETP ZEP, tzn. Bełchatów i Kędzierzyn. Dla wyznaczonych w ten sposób ośmiu obszarów, a także dla złóż węglowodorów i złóż metanu pokładów węgla (pokłady węgla poza zasięgiem eksploatacji górniczej – praktycznie wchodzi w rachubę jedynie Górnśląskie Zagłębie Węglowe GZW, pozostałe zagłębia – albo ze względu na warunki geologiczne, albo niewystarczający stopień rozpoznania zasobów MPW – prawdopodobnie nie kwalifikują się do tego rodzaju analiz) przewidziano wykonanie analiz geologicznych na podstawie dostępnych materiałów archiwalnych (harmonogram – patrz tab. 1), w celu wytypowania, oceny i rankingu występu-

jących tam struktur. Jako wytyczne do realizacji wspomnianego zakresu prac przyjęto metodykę dotychczas realizowanych projektów unijnych, w tym podręcznik najlepszych praktyk CO₂STORE (Chadwick i in., 2009). Jest to tzw. pierwszy segment, który obejmuje następujące zagadnienia:

- charakterystykę formacji i struktur odpowiednich do geologicznego składowania CO₂;
- określenie (aktualizację) bilansu sekwestracyjnego dla Polski;
- wykonanie przestrzennych modeli facjalnych potencjalnych poziomów zbiornikowych i ekranujących;
- analizę stref tektonicznych;
- laboratoryjne analizy petrologiczne i petrofizyczne;
- charakterystykę hydrogeologiczną formacji wodonośnych i geochemiczną płynów złożowych;
- wyznaczenie stref wyłączonych z sekwestracji CO₂;
- przedstawienie modeli układów sekwestracyjnych, stref i struktur o optymalnych właściwościach;
- ocenę rozprzestrzeniania się zatłoczonego CO₂ w mediach złożowych dla wytypowanych obszarów;
- budowę wielodostępnej bazy danych;
- określenie obszarów, na których można będzie lokalizować składowiska CO₂ oraz wytypowanie potencjalnych składowisk.

Tabela 1

Orientacyjny harmonogram prac
Approximate time frame of the project

Rok \ Rejon (opcja)	2008			2009			2010			2011			2012		
I (Bełchatów)					★			★							
II (GZW/otoczenie)						★		★							
III (Mazowsze)															
IV (zapadlisko/front Karpat)															
V (Lubelszczyzna)															
VI (Wielkopolska)															
VII (północno-wschodnia Polska)															
VIII (Łeba i Bałtyk)															
Węglowodory															
Pokłady węgla															

Kolor jasnoszary – pierwszy segment, ciemnoszary – drugi segment, czarny – drugi segment do wyboru, gwiazdka – raporty merytoryczne

Light grey – first segment, dark grey – second segment, black – second segment for one of three options, asterisk – reports



Fig. 3. Orientacyjne obszary badań (I–VIII) w ramach Krajowego Programu na tle dotychczasowego stanu wiedzy (projekty unijne CASTOR i EU GeoCapacity)

Approximate location of study areas (I–VIII) on the background of results of previous investigations (CASTOR and EU GeoCapacity projects)

Dla obszarów I i II (fig. 3) przewidziano wykonanie charakterystyki (analiz szczegółowych) dla wytypowanych struktur – potencjalnych składowisk (po jednej strukturze) zgodnie z zaleceniami załącznika nr 1 Dyrektywy unijnej w sprawie geologicznego składowania CO₂ (Dyrektywa 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.) i opracowanie dla nich programów monitorowania przed rozpoczęciem składowania, w trakcie i po jego zakończeniu. Także dla jednego z trzech obszarów (III, VI lub VII – fig. 3) zostanie wybrana struktura w poziomach wodonośnych solankowych, dla której zostaną wykonane wspomniane wyżej analizy. Ponadto zostanie wytypowane bliskie szczytowania złoża węglowodorów i złoża MPW. Dla tych pięciu obiektów (struktur) zostaną wykonane analizy tzw. drugiego segmentu, w następującym zakresie:

- zebranie szczegółowych informacji geologicznych, geofizycznych, hydrogeologicznych, złożowych i geomechanicznych dla wytypowanych składowisk;

- opracowanie szczegółowych statycznych modeli ośrodka geologicznego;
- modelowania dynamiczne procesów zatłaczania CO₂ do składowiska;
- zarządzanie ryzykiem geologicznego składowania CO₂;
- opracowanie programu monitoringu składowiska przed rozpoczęciem składowania CO₂ oraz założeń dla monitoringu w czasie eksploatacji składowiska i po jego zamknięciu.

Prace w ramach krajowego programu obejmują ponadto zagadnienia wspólne dla omówionych wyżej dziesięciu podprojektów segmentu pierwszego i pięciu segmentu drugiego:

- problematykę akceptacji społecznej dla geologicznego składowania CO₂;
- koordynację prac konsorcjum, kontakty z partnerami zewnętrznymi, rozpowszechnianie wyników, stronę internetową projektu, standaryzację i kontrolę jakości wyników.

PRACE ZAKOŃCZONE

Na potrzeby projektu demonstracyjnego PGE Bełchatów; scharakteryzowano siedem struktur (fig. 4), z których do analiz szczegółowych wybrano strukturę Budziszewice–

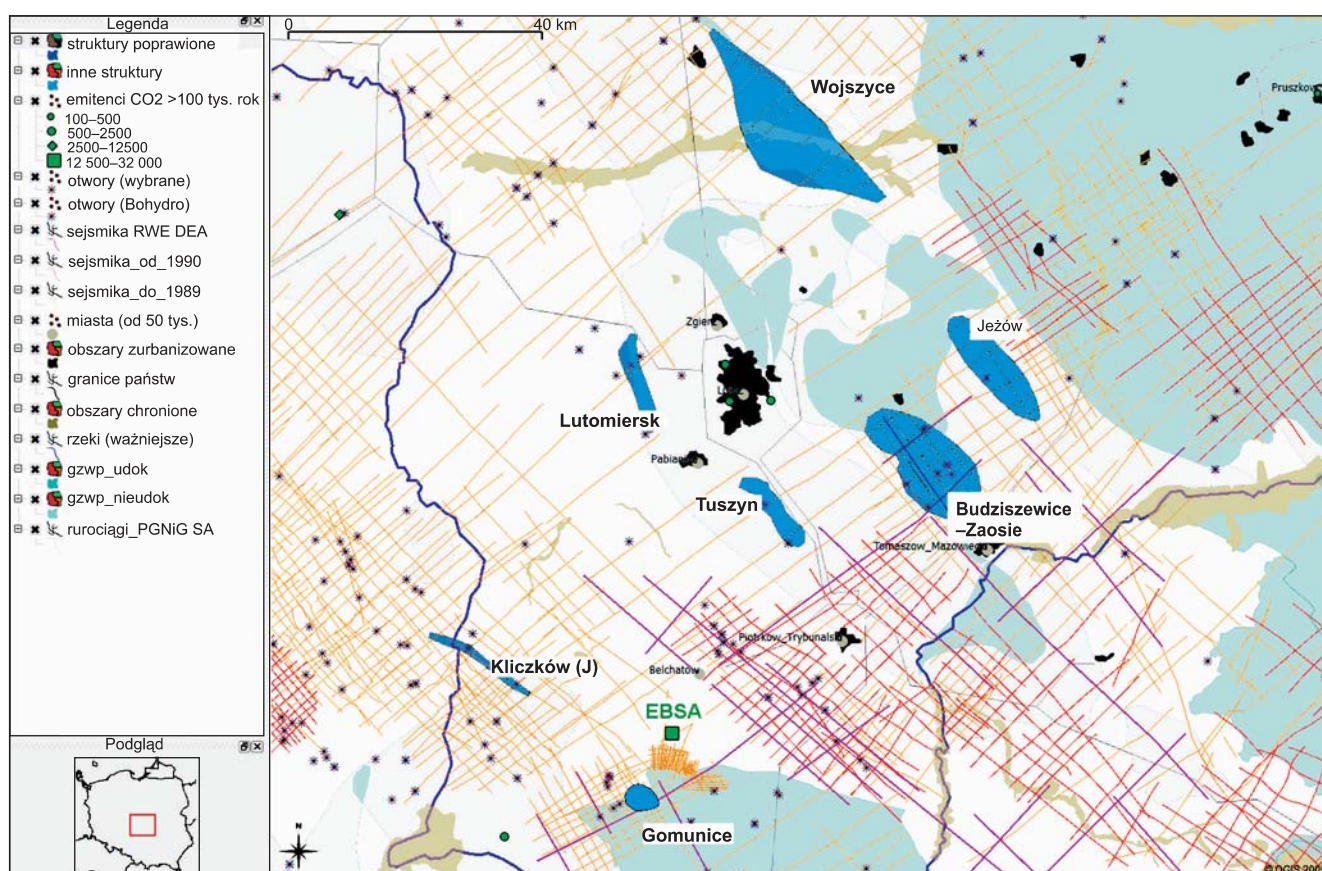


Fig. 4. Prace dla rejonu Bełchatowa wykonane w ramach pierwszego segmentu

Works for Bełchatów area – first segment

Zaosie. Najgłębszy kolektor w utworach jury dolnej (synemur i hetang) występuje tam na głębokości 900–1000 m w najwyższej części struktury, a 1200–1300 m na jej skłonie, gdzie mogłyby być zlokalizowane otwory zatłaczające, co wraz z występowaniem uszczelnienia o wystarczających parametrach gwarantuje odpowiednie warunki do geologicznego składowania CO₂ (odległość od elektrowni wynosi około 60 km). Struktura ta jest na tyle dobrze rozpoznana badaniami sejsmicznymi (14 profili, z tego 3 wykonane stosunkowo niedawno) i otworami (6 otworów przewiercających utwory jury), że możliwe było dla niej skonstruowanie na podstawie dostępnych materiałów archiwalnych modelu kompleksu składowania, o jakim mowa w załączniku nr 1 do Dyrektywy w sprawie geologicznego składowania CO₂ (Wójcicki, 2009a, b).

Pozostałe sześć struktur nie jest tak dobrze poznanych. Dwie z nich (Wojszyce k. Kutna i Lutomiernsk) wydają się również perspektywiczne do składowania CO₂, ale do określenia ich przydatności jako potencjalnych składowisk w rozumieniu wymogów dyrektywy niezbędne jest przeprowadzenie nowych prac sejsmicznych i wierceń badawczych – prace takie zostaną wykonane ze środków PGE Bełchatów/KE. Pozostałe struktury, według przeprowadzonych analiz, prawdopodobnie nie spełniają wszystkich wymogów bezpieczeństwa składowania (np. Gomunice) według kryteriów najlepszych praktyk wypracowanych w projektach unijnych realizowanych w latach 1993–2008, bądź mogą mieć niewystarczającą pojemność (np. Kliczków) i dlatego nie są rekomendowane na potrzeby projektu demonstracyjnego PGE Bełchatów.

Po wyborze struktury Budziszewice–Zaosie do analiz szczegółowych w ramach drugiego segmentu skonstruowano dla niej wstępny model statyczny, tzn. strukturalno-parametryczny. Następnie wykonano prace nad modelem kompleksu składowania (fig. 5) na potrzeby symulacji dynamicznych zatłaczania CO₂ do struktury (do utworów jury dolnej oraz triasu dolnego). W ramach tego etapu prac (tab. 1) przeprowadzono ocenę ryzyka związanego z zatłaczaniem CO₂ i zaplanowano monitoring stanu początkowego oraz zaproponowano metodykę i zakres monitoringu w trakcie i po zakończeniu zatłaczania CO₂. Ponadto wykonano projekty prac geologicznych na wiercenie otworów do testowego zatłaczania CO₂ dla dwóch innych struktur, które zaproponowano dla PGE Bełchatów jako struktury rezerwowe (struktura Wojszyce i Lutomiernsk–Tuszyń), dla których do opracowania modeli o porównywalnym stopniu szczegółowości, jak dla struktury Budziszewice–Zaosie niezbędne jest wykonanie rozpoznawczych prac sejsmicznych, grawimetrycznych i odwiercenie po jednym otworze badawczym w krytycznych miejscach struktur.

Od II kwartału 2009 r. prowadzono i aktualnie zakończono rozpoznanie formacji i struktur geologicznych w po-

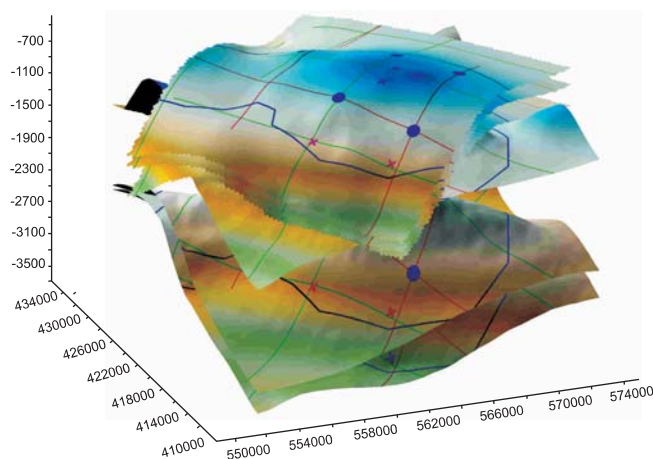


Fig. 5. Prace dla rejonu Bełchatowa – drugi segment; model centralnej części struktury Budziszewice–Zaosie z naniesionymi profilami sejsmicznymi

Profile sejsmiczne: zielone – z lat 70. XX wieku, czerwone – profile RWE Dea z lat 1999–2000; krzyżyki – istniejące otwory wiertnicze, kółka – otwory symulacyjne

Works for Bełchatów area – second stage;
model of central part of Budziszewice–Zaosie structure
with marked out seismic lines

Seismic lines: green – old, of 1970s; red – RWE Dea profiles of 1999–2000; crosses – existing wells, circles – simulated wells

ziomach wodonośnych solankowych w rejonie GZW (w szczególności na potrzeby projektu demonstracyjnego PKE/ZAK Kędzierzyn). Ustalono, że odpowiednie formacje i struktury są zlokalizowane w południowej części GZW. Zakres tych prac jest analogiczny do prac wykonanych w rejonie Bełchatowa.

PRACE W TRAKCIE REALIZACJI

W I półroczu 2010 r. dla wybranej struktury w poziomach wodonośnych solankowych w południowej części rejonu GZW zostanie wykonany model statyczny i dynamiczny kompleksu składowania, ocena ryzyka i plany monitoringu (analogicznie jak ma to miejsce w tej chwili dla struktury Budziszewice–Zaosie).

W II półroczu 2009 r. (patrz tab. 1 i fig. 4) rozpoczęto prace mające na celu rozpoznanie formacji i struktur geologicznych w poziomach wodonośnych solankowych w rejonie Mazowsza (rejon Włocławek–Płock–Warszawa–Kozienice), a także przygotowania do uruchomienia prac w rejonie zapadliska przedkarpackiego/brzeżnej strefy Karpat (rejon Trzebinia–Kraków–Rzeszów–Przemyśl).

LITERATURA

- BACHU S., ADAMS J.J., 2003 — Sequestration of CO₂ in geological media in response to climate change: Capacity of deep saline aquifers to sequester CO₂ in solution. *Energy Conversion and Management*, **44**, 20: 3151–3175.
- CHADWICK A., ARTS R., BERNSTONE C., MAY F., THIBEAU S., ZWEIGEL P. (red.), 2006 — Best practice for the storage of CO₂ in saline aquifers. Observations and guidelines from the SACS and CO₂STORE projects. Raport projektu CO₂STORE, dostępny na stronie: <http://www.co2store.org>.
- DYREKTYWA 2009/31/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO i RADY z dnia 23 kwietnia 2009 w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla oraz zmieniająca Dyrektywy Rady 85/337/EWG, 96/61/WE, Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE, 2001/80/WE, 2004/35/WE, 2006/12/WE i Rozporządzenie (WE) nr 1013/2006 oraz Accompanying document to the proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the geological storage of carbon dioxide Impact Assessment.
- SCHOLTZ P., FALUS G., GEORGIEV G., SAFTIC B., GORICNIK B., HLADIK V., LARSEN M., CHRISTENSEN N.P., BENTHAM M., SMITH N., WÓJCICKI A., SAVA C.S., KUCHARIC L., CAR M., 2006 — Integration of CO₂ emission and geological storage data from Eastern Europe – CASTOR WP1.2, GHGT-8 [8th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies], Trondheim, 19–22 June 2006 (poster).
- VANGKILDE-PEDERSEN T., LYNG ANTHONSEN K., SMITH N., KIRK K., NEELE F., MEER VAN DER B., LE GALLO Y., BOSSIE-CODREANU D., WÓJCICKI A., LE NINDRE I.-M., HENDRIKS C., DALHOFF F., CHRISTENSEN N.P., 2008 — GHGT-9 Assessing European capacity for geological storage of carbon dioxide – the EU GeoCapacity project, Energy Procedia. Elsevier.
- WÓJCICKI A. (red.), 2009a — Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania, Raport merytoryczny nr 1: Segment I rejon Bełchatów, dostępny na stronie projektu: <http://skladowanie.pgi.gov.pl/twiki/bin/view/CO2/WynikiPrac>.
- WÓJCICKI A. (red.), 2009b — Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania, Raport merytoryczny nr 2: Segment II, rejon Bełchatów.
- STRONA Internetowa Komisji Europejskiej – Dyrekcji Generalnej ds. Środowiska, poświęcona problematyce zapobiegania antropogenicznym zmianom klimatu: http://ec.europa.eu/environment/climat/climate_action.htm.