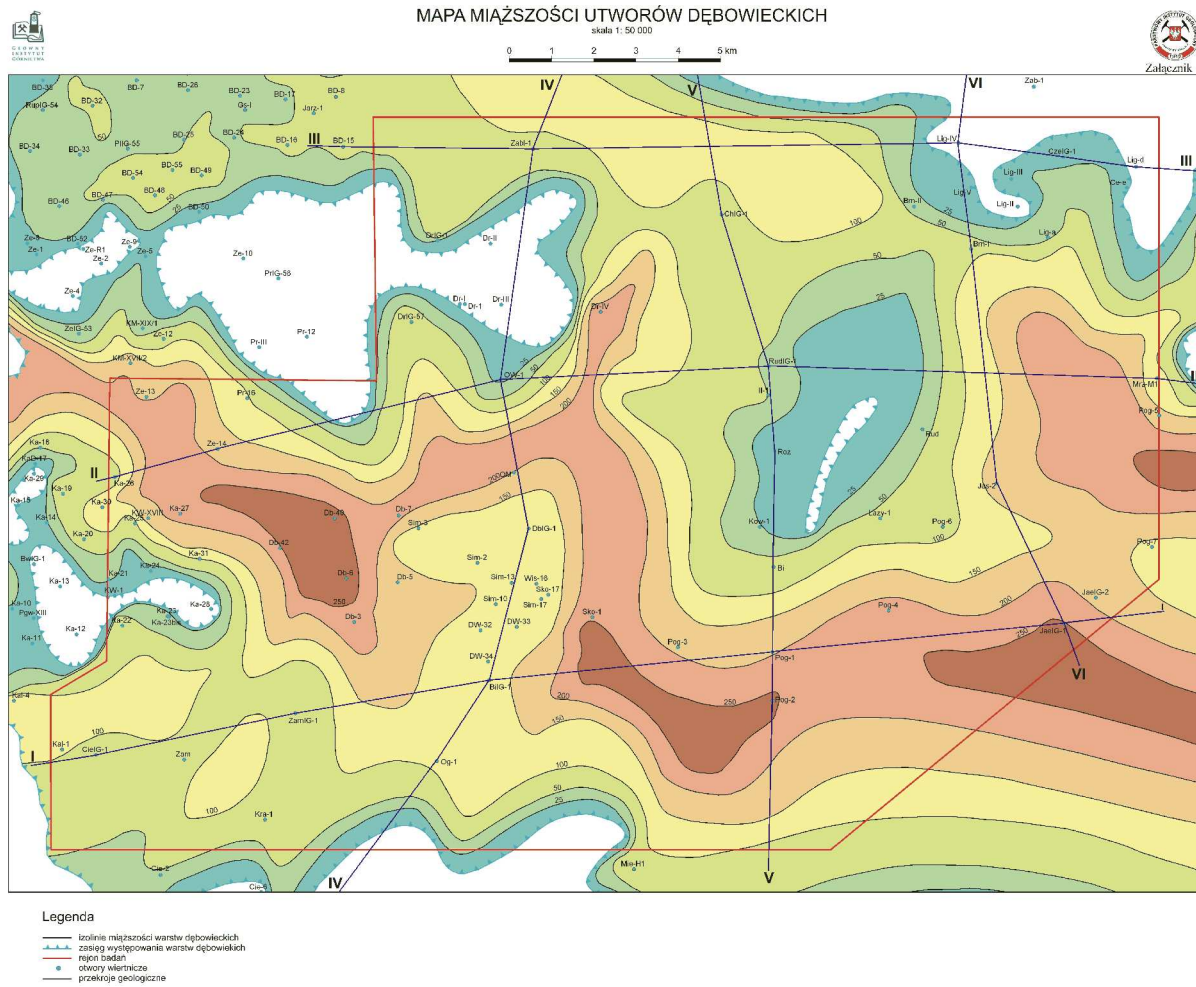


1.1.11 Określenie obszarów, na których można będzie lokalizować składowiska CO₂ (Podsumowanie)



Rys. 1.1.11.1. Wytypowany obszar do geologicznego składowania CO₂ – rejon Cieszyn-Skoczów-Czechowice, zachodnia część obszaru występowania warstw dębowieckich

Z punktu widzenia analiz przeprowadzonych w ramach niniejszego raportu (rozdziały 1.1.1 – 1.1.9) najbardziej odpowiedni do geologicznego składowania wydaje się rejon Cieszyn-Skoczów-Czechowice (Rys. 1.1.1.11) i będzie on przedmiotem analiz w ramach II Segmentu dla rejonu GZW. Z uwagi na nieporównywalność innych formacji zbiornikowych i obiektów w rejonie badań nie prezentujemy rankingu formacji i struktur a jedynie podajemy wynik końcowy analiz (opartych o założenia scharakteryzowane poniżej).

Kompleksowe założenia metodyczne odnośnie ustalenia i stosowania kryteriów wyboru potencjalnego składowiska opracował zespół GIG (Robert Warzecha, Eleonora Solik-Heliasz).

Ranking miejsc składowania CO₂ został wykonany w formie zestawienia poszczególnych struktur wytypowanych do geologicznego składowania dwutlenku węgla. Jego celem było jak najwierniejsze odzwierciedlenie przydatności wybranych struktur w oparciu o przyjęte kryteria oceny. W doborze kryteriów oceny zostały uwzględnione następujące zagadnienia:

- warunki geologiczne (m.in. parametry zbiornikowe, szczelność nadkładu);

- bezpieczeństwo składowania;
- efektywność składowania (m.in. odległość od emitenta, pojemność wybranej struktury i żywotność składowiska);
- oddziaływanie na środowisko (m.in. kolizyjność inwestycji z otaczającym je środowiskiem).

Każdej z wyżej wymienionych kwestii została przyporządkowana odpowiednia wartość liczbową będąca „wagą” oceny. Zastawienie wszystkich cech danego miejsca składowania z uwzględnieniem przyjętych „wag” ustala kolejność w rankingu, a tym samym użyteczność poszczególnych miejsc lokowania dwutlenku węgla.

Podstawą wytypowania zbiornika do geologicznego składowania są ogólnie przyjęte kryteria, którym przyporządkowane są odpowiednie wartości dla poszczególnych parametrów.

Obejmują one następujące cechy lub czynniki t.j.:

- całkowitą pojemność składowania;
- głębokość zalegania skał zbiornikowych;
- miąższość warstwy zbiornikowej;
- porowatość efektywną;
- przepuszczalność;
- mineralizację;
- tektonikę warstw zbiornikowych i nieprzepuszczalnego nadkładu;
- miąższość nadkładu.

Nie można traktować wyżej wymienionych cech w sposób jednoznaczny na tym samym poziomie np. szczelności warstwy izolacyjnej z odległością od emitenta. Dlatego kolejny etap prac będzie dotyczyć m.in. opracowania odpowiednich współczynników wagowych, które pozwolą na przeprowadzenie rankingu opracowanych zbiorników. Poza rankingiem rozważony zostanie stan bezpieczeństwa składowania.

Uwarunkowania geologiczne określające możliwość podziemnego składowania CO₂

Wyniki dotychczasowych prac wskazują (m.in. Solik-Heliasz, Kubica 2007a,b,c, 2008, Solik-Heliasz i in. 2008, Solik-Heliasz, Warzecha 2008, Solik-Heliasz 2009, Tarkowski red. 2005, Tarkowski, Stopa 2007), że możliwości podziemnego składowania zależą od 3 grup czynników:

- bezpieczeństwa składowania,
- oddziaływania / „kolizyjności” składowiska,
- efektywności składowania.

W cytowanych powyżej przepisach prawnych dotyczących podziemnego składowania dwutlenku węgla (CCS) położono silny nacisk na zagadnienia związane z bezpieczeństwem składowania CO₂. Kwestie te są istotne zarówno na etapie eksploatacji składowiska, jak i po jego zamknięciu. Takie podejście nakłada duże wymagania względem projektantów, którzy dokonują analizy warunków geologicznych i kwalifikują miejsca nadające się do geologicznego składowania CO₂.

Drugim czynnikiem jest kwestia oddziaływania / „kolizyjności” (tj. ewentualne konflikty interesów) podziemnego składowiska z innymi przedsięwzięciami gospodarczymi oraz uwarunkowaniami środowiskowymi. W ujęciu szczegółowym dotyczy to szerokiej palety zagadnień, które są charakterystyczne dla miejsca składowania oraz w zasięgu jego oddziaływania (Bachu i in. 1994, Bradshaw i in. 2007, Chadwick i in. 2008).

Obowiązujące przepisy prawne nie odnoszą się do efektywności podziemnego składowania, ale jest to czynnik priorytetowy dla przedsiębiorców i operatorów składowiska. Wśród interesujących zagadnień są kwestie pojemności składowania, natężenia zatłaczania, długości transportu CO₂ i in., które rzutują na ekonomikę całego przedsięwzięcia CCS.

W literaturze często wykorzystuje się termin „*ryzyko geologicznego składowania*”. Pod tą

nazwą na ogół rozumie się zespół czynników z zakresu bezpieczeństwa składowania, oddziaływania / „kolizyjności” składowiska oraz efektywności składowania. Poniżej rozwinięto i zanalizowano poszczególne kategorie czynników.

Bezpieczeństwo składowania CO₂

Przepisy Dyrektywy (2009) nakazują, aby podziemne składowisko zapewniło „hermetyczne magazynowanie CO₂”, w okresie wielolecia. W praktyce oznacza to trwałe uwięzienie dwutlenku węgla w strukturach geologicznych. Miejsce do składowania musi być szczelne tak, aby nie istniało „znaczące ryzyko wycieku”. Jest to rygorystyczne wymaganie – rzadko stosowane w innych przedsięwzięciach gospodarczych (za wyjątkiem być może podziemnego składowania materiałów niebezpiecznych, w tym promieniotwórczych).

Aby zapewnić bezpieczeństwo składowania CO₂ należy zagwarantować szczelność podziemnego składowiska ze strony (Dubiński, Solik-Heliasz 2007, Tarkowski, Stopa 2007):

- Utworów zalegających w stropie składowiska;
- Utworów zalegających w spągu składowiska;
- Utworów zalegających w bocznych partiach składowiska;
- Uskoków przebiegających w utworach składowiska, w jego stropie i w spągu;
- Starych otworów wiertniczych występujących w obszarze składowiska i w zasięgu jego wpływów.

Przepisy nie precyzują, jakie parametry należy analizować przy typowaniu miejsc pod składowiska oraz czy dane wielkości są korzystne z punktu widzenia procesu składowania. Z doświadczeń wynika, że przedmiotem analizy muszą być wszystkie parametry określające warunki geologiczne, hydrogeologiczne, hydrochemiczne, inżynierskie, wytrzymałościowe oraz parametry charakteryzujące termikę górotworu (Solik-Heliasz, Dubiński 2008, Solik-Heliasz 2008, 2009a).

• Ocenę szczelności dokonuje hydrogeolog na podstawie dostępnych danych, wyników symulacji oraz posiadanego doświadczenia. Istotne jest, aby w przypadku braku danych lub ich niejednoznaczności, określił on ryzyko przedstawionego wnioskowania geologicznego.

Oddziaływanie / „Kolizyjność” podziemnego składowiska

Projektowane podziemne składowisko CO₂ nie może negatywnie oddziaływać na obecne i planowane przedsięwzięcia gospodarcze lub uwarunkowania środowiskowe. Oddziaływanie to określono w skrócie mianem „kolizyjności” podziemnego składowania lub składowiska. Według Dyrektywy (2009) zadaniem państw członkowskich UE jest, aby „nie dopuszczać do sprzecznych ze sobą sposobów użytkowania danego kompleksu skalnego w danym czasie”

„Kolizyjność” procesu składowania dotyczy zarówno •obszaru składowiska CO₂, jak i •obszaru przewidywanego oddziaływania procesu składowania. Można wyróżnić elementy bardziej i mniej kolizyjne. Aby ocenić „kolizyjność” danego miejsca pod składowisko należy przeprowadzić badania w zakresie:

- Zgodności parametrów utworów zbiornikowych przyszłego składowiska (miąższości, głębokości zalegania, przepuszczalności i porowatości i in.) z wielkościami zalecanymi, wynikającymi z dotychczasowego stanu wiedzy;
- Możliwości reakcji danego ośrodka skalnego i wód podziemnych z zatłaczanym CO₂;
- Oddziaływania podziemnego składowania na obecne i projektowane przedsięwzięcia gospodarcze (ujęcia wód pitnych i termalnych, podziemne wyrobiska górnicze, wyrobiska kopalń odkrywkowych, planowaną eksploatację złóż, otwory drenażowe i in.);
- Oddziaływania inwestycji CCS na uwarunkowania środowiskowe: zabudowę na powierzchni terenu (miasta, koleje, drogi, obiekty przemysłowe i obiekty użyteczności publicznej), obecność elementów prawnie chronionych (obszarów Natura 2000, parków narodowych, rezerwatów, cieków powierzchniowych, jezior – zwłaszcza

zagospodarowanych turystycznie, i in.).

Należy określić skalę zjawisk oraz obszar przewidywanego oddziaływania procesu składowania. Niektóre zmiany będą zachodzić nie tylko w obszarze podziemnego składowiska CO₂, ale i poza nim. Wśród spodziewanych zmian należy poddać badaniom:

- zmiany kierunku przepływu wód podziemnych,
- zmiany w polu ciśnień,
- zmiany wielkości dopływów i/lub przepływów wód podziemnych, i ich reperkusje fizyczne.

Ogólną zasadą jest, aby miejsce pod składowisko było w jak najmniejszym stopniu „kolizyjne” z innymi przedsięwzięciami technicznymi oraz uwarunkowaniami naturalnymi. Analizując zagadnienie „kolizyjności” składowiska należy kierować się: bezpieczeństwem (dla ludzi, środowiska oraz istniejących i planowanych inwestycji) oraz czynnikiem ekonomicznym (to jest możliwymi stratami, kosztami wprowadzenia dodatkowych zabezpieczeń i in.).

Efektywność składowania CO₂

Podziemne składowanie dwutlenku węgla musi być efektywne. Musi go charakteryzować zespół cech fizycznych, technicznych i ekonomicznych, pozwalających osiągnąć założony efekt finalny. Składa się na nią wiele czynników, w tym:

- trafność rozpoznania geologicznego
- zgodna z oczekiwaniami wydajność zatłaczania CO₂
- zgodna z rozpoznaniem żywotność składowiska.
- brak znaczących utrudnień w trakcie eksploatacji składowiska
- zgodna z założeniami ilości i jakości zatłaczanego CO₂
- zgodny z projektem przebieg i długość rurociągu tłoczego.

Trafność rozpoznania geologicznego jest podstawą sukcesu dotyczącego podziemnego składowania CO₂. Instalacja do zatłaczania jest projektowana pod kątem parametrów konkretnego ośrodka skalnego – jego chłonności i pojemności oraz ich zmienności przestrzennych, warunków ciśnieniowych i in. Jeśli jakiś element warunków geologicznych został źle oceniony, wówczas pojawiają się rozbieżności między parametrami technicznymi instalacji CCS a warunkami naturalnymi panującymi w składowisku. Efektem rozbieżności są awarie i różnego typu utrudnienia w trakcie eksploatacji składowiska, które generują koszty.

Bodaj najbardziej kosztownym błędem może być zła ocena • chłonności utworów składowiska oraz • pojemności składowania CO₂. Skutkiem mniejszej od oczekiwanej, chłonności utworów, jest potrzeba odwiercenia dodatkowych otworów iniekcyjnych, a to jest źródłem wzrostu nakładów finansowych. Również mniejsza od spodziewanej pojemność składowania CO₂ pogarsza wynik ekonomiczny całej inwestycji; skraca bowiem żywotność składowiska.

Trudności w trakcie eksploatacji składowiska mogą być efektem zarówno złego lub niepełnego rozpoznania parametrów utworów tworzących składowisko, jak i mogą być natury technicznej. Zwłaszcza konstrukcja otworu iniekcyjnego jest tym elementem, który może znacząco wpływać na wydajność zatłaczania CO₂. Dotyczy to średnicy otworu, użytych materiałów, zastosowanych zabezpieczeń w otworze i in. Nie bez wpływu może być również jakość zatłaczanego CO₂ – jeśli odbiega od założeń – oraz fluktuacje w jego dostawie (np. przerwy w zatłaczaniu), które mogą generować inne od zakładanych zjawiska i w efekcie powodować wzrost kosztów eksploatacji składowiska.

Na efektywność składowania rzutuje również dobra praca rurociągu tłoczego, a na etapie jego realizacji, zgodna z założeniami długość i trasa przebiegu rurociągu. Rurociągi tłoczne są kosztownym elementem instalacji CCS. Wzrost długości przesyłu CO₂ przyczynia się do podwyższenia kosztów całego przedsięwzięcia. Z kolei niezbyt odpowiednia trasa przebiegu rurociągu może generować dodatkowe koszty, np. z tytułu opłat za korzystanie ze środowiska naturalnego.

➤ **Ranking cech, określających możliwość geologicznego składowania CO₂**

Wyniki dotychczasowych doświadczeń wskazują, że o wyborze danego miejsca na podziemne składowisko decyduje szereg czynników. Usystematyzowano je tworząc ranking cech warunkujących geologiczne składowanie CO₂. Są to:

- **Dobre rozpoznanie parametrów zbiornikowych rejonu składowiska z badań *in situ* i laboratoryjnych**
- **Optymalne wartości parametrów zbiornikowych składowiska CO₂**
- **Dobra szczelność składowiska**
- **Zadawalająca (inwestora) pojemność składowania CO₂**
- **Optymalna odległość składowiska do źródła emisji CO₂**
- **Brak lub umiarkowana kolizyjność składowiska**
- **Brak lub umiarkowany zakres zjawisk i reakcji, które będą zachodzić w trakcie składowania CO₂.**

Podstawową zasadą przy wyborze miejsc pod składowisko CO₂ jest, aby dany rejon był rozpoznany otworami wiertniczymi z wykonanymi badaniami polowymi (geologicznymi i geofizycznymi) oraz laboratoryjnymi. Przy wyznaczaniu miejsca pod składowisko trzeba dysponować dużą liczbą konkretnych danych, z tego względu bazowanie jedynie na metodzie analogii hydrogeologicznej rejonu potencjalnego składowiska, do rejonów już rozpoznanych jest niewystarczające. Może to być jednak metoda uzupełniająca. Powodem jest fakt, że wodonośce cechują się na ogół dużą zmiennością wykształcenia litologicznego oraz zmiennością parametrów zbiornikowych. Zadawalające parametry w jednej partii, nie oznaczają podobnych w innej. Tak więc •brak otworów badawczych i •wyników badań parametrów zbiornikowych (zwłaszcza *in situ*), lub ich mała ilość ewentualnie słaba jakość, dyskwalifikują dany rejon do składowania CO₂. Ten stan można zmienić tylko poprzez odwiercenie nowych otworów badawczych i wykonanie niezbędnego zakresu badań.

Utwory zbiornikowe projektowanego składowiska CO₂ muszą również wykazywać optymalne wartości parametrów geologicznych (głębokości, miąższości poziomu, jego rozciągłości, ciśnienia, temperatury i in.). Obecnie zalecane wartości parametrów powinny wynosić (Chadwick i in. 2008): głębokość składowiska >800 m, miąższość >20 m, porowatość >10%, przepuszczalność >200 mD. Jednak praktyka innych ośrodków naukowych, np. BRGM dopuszcza porowatość już od 8%, a doświadczenia polskie wskazują, że miąższość wodonośca powinna wynosić >50 m (Solik-Heliasz, Kubica 2007c). Tak więc nie ma reguły dotyczącej wartości poszczególnych parametrów. Naczelną zasadą jest, aby zatłaczanie CO₂ było prowadzone do przepuszczalnego kolektora skalnego w warunkach nadkrytycznych.

Mając na uwadze przepisy Dyrektywy (2009), przyszłe składowisko CO₂ musi być szczelne. Szczelność muszą zapewnić zarówno utwory zalegające w nadkładzie składowiska, jak i w jego spągu, i bocznych partiach, oraz uskoki. Muszą być ponadto szczelne istniejące otwory wiertnicze, zlokalizowane na obszarze składowiska. Jeśli warunek ten nie jest spełniony, wówczas należy przeprowadzić uszczelnienie otworów. Od wyników uszczelnienia zależy możliwość uruchomienia składowiska.

Podziemne składowisko CO₂ musi również mieć zadawalającą pojemność składowania. Na ogół składowiska o większej pojemności są korzystniejsze, niż mniejsze – ale nie ma na to reguły. Dla małego zakładu przemysłowego wystarczające może być małe, ale za to blisko położone składowisko. Na etapie poszukiwania miejsca pod składowisko inwestor powinien więc przedstawić założenia do przyszłej inwestycji, to jest: określić minimalną pojemność składowiska, przewidywany okres składowania (w latach) oraz natężenie zatłaczania (co będzie wpływało na liczbę otworów iniekcyjnych). Dane te będą rzutowały na koszty przyszłej inwestycji. Natomiast możliwość osiągnięcia założonych danych wyjściowych powinna zostać potwierdzona w toku badań symulacyjnych ośrodka skalnego.

Składowisko powinno się znajdować w optymalnej odległości od emitenta CO₂. Duża odległość będzie wymagała długiej drogi transportu CO₂. Wpłyne to na koszty inwestycji oraz może przesądzić o celowości wyboru danego składowiska. Wyniki dotychczasowych doświadczeń wskazują (Chadwick i in. 2008, Solik-Heliasz, Kubica 2007), że w Polsce optymalna odległość od zakładu przemysłowego do składowiska wynosi do około 120 km.

Optymalne jest, aby projektowane składowisko CO₂ nie było kolizyjne z obecnymi lub projektowanymi przedsięwzięciami gospodarczymi i uwarunkowaniami środowiskowymi, to jest zabudową na powierzchni, obszarami chronionymi i in. W praktyce jest to trudne do zrealizowania. Należy więc dokonać oceny wpływu zatłaczania CO₂ i wynikającego z tego zagrożenia, oraz zdecydować o lokalizacji danego składowiska.

W sposób zdecydowany nie kwalifikują się do składowania CO₂ (mimo korzystnych parametrów – jak powyżej) środowiska skalne, w których badania symulacyjne wskazują na możliwość intensywnego przebiegu zjawisk i reakcji fizykochemicznych, uniemożliwiających długoletnie zatłaczanie CO₂. Największe zagrożenie może pochodzić ze strony kolmatacji utworów składowiska, jak również wstrząsów górotworu (zwłaszcza większych), oraz intensywnie przebiegających zjawisk termicznych. Przypuszcza się, że zjawisk tych nie można całkowicie uniknąć - jednak ich skala nie może być przyczyną ryzyka ekonomicznego i/lub grozić szybkim zamknięciem składowiska.

Przy wyborze lub ocenie podziemnych składowisk dwutlenku węgla, należy się głównie kierować następującymi kryteriami:

- **Zakresem i wiarygodnością rozpoznania geologicznego rejonu projektowanego składowiska CO₂**
- **Szczelnością składowiska**
- **Pojemnością składowiska**
- **Odległością od składowiska do źródła emisji CO₂**
- **„Kolizyjnością” składowiska (z innymi elementami środowiskowymi i przedsięwzięciami gospodarczymi).**

Literatura

Bachu S., Gunter W.D., Perkins E.H., 1994 – Aquifer disposal of CO₂, hydrodynamic and mineral trapping. *Energ. Conv. and Manag.*, 35 (4);

Bilans ..., 1990 – Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31.12.1998. Praca zbiorowa pod redakcją S. Przeniosły. Wyd. Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa.

Bilans ..., 2008 – Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31.12.2007. Praca zbiorowa pod redakcją S. Przeniosły. Wyd. Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa.

Bojarski L., 1969 – Zastosowanie klasyfikacji hydrochemicznej przy poszukiwaniach naftowych. *Przegl. Geol.*, 3: 112-114.

Bojkowski K., Porzycki J., 1983 – Geological problems of coal basins in Poland. Wyd. Geologiczne, Warszawa.

Bradshaw J., Bachu S., Bonijoly D., Burruss R., Holloway S., Christensen N.P., Matiassen O.M., 2007 – CO₂ storage capacity estimation: Issues and development of standards. *International Journal of Greenhaus Gas Control*, 1 (1);

Bromek T., 1977 - Nowe metody ustalania współczynnika odsączalności i współczynnika ściśliwości objętościowej skał karbońskich. Praca doktorska. GIG Katowice (niepublikowana).

Bromek T., Chećko J., Jureczka J., 2009 – Wstępna ocena możliwości lokalizacji składowisk CO₂ w warstwach solankowych w rejonie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. GIG, Katowice.

Buła Z. & Żaba J. 2005 – Pozycja tektoniczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na tle prekambryjskiego i dolnopaleozoicznego podłoża [W]: *Geologia i zagadnienia ochrony środowiska w regionie górnośląskim*, red. J. Jureczka, Z. Buła, J. Żaba. Mat LXXVI Zjazdu PTG, Rudy k/Rybnika, 14-16.09.2005.

Buła Z., 2000 - Dolny paleozoik Górnego Śląska i zachodniej małopolski. Pr. Państw. Inst. Geol. 171. Warszawa.

Buła Z., Chmura A., Jureczka J., Rózkowski A., Wagner J., 1994 – Ocena możliwości wtłaczania słonych wód kopalnianych do zbiornika warstw dębowieckich (trzeciorzęd) w południowej części regionu górnośląskiego [W]: V Konferencja pt. „Problemy geologii i ekologii w górnictwie podziemnym”. Szczyrk, 12-14 października 1994. Wyd. GIG: 229-241.

Buła Z., Jachowicz M., Prichystal A., 1997 - Lower Paleozoic deposits of the Brunivistulicum. W: EUROPROBE: Trans-European Suture Zone-Meeting, 3-5 November 1997, Podsdam, Germany. Terra Nostra 11.

Buła Z., Jachowicz M., Żaba J. 1997 – Principal characteristics of the Upper Silesian Block and Małopolska Block border zone (southern Poland). *Geol. Mag.* 133 (7), Cambridge.

Buła Z., Jura D., 1983 - Uwagi o rozwoju molasy rowu przedgórskiego Karpat na Śląsku

Cieszyńskim. Przegl. geol. Nr 11.

Buła Z., Jura D., 1983a - Litostratygrafia osadów rowu przedgórskiego Karpat w rejonie Śląska Cieszyńskiego. Zesz. Nauk. AGH, t.9, z.1.

Buła Z., M. Jachowicz., 1996 - The Lower Paleozoic sediments in the Upper Silesian Block. Kwart. Geol. 40, 3.

Buła Z., Kotas A. 1994 – Mapa geologiczno-strukturalna utworów karbonu produktywnego. 1:100000. W: Atlas Geologiczny GZW. Część III. PIG. Warszawa.

Chadwick A., Arts R., Bernstone C., May F., Thibeau S., Zwiigel R. (red.), 2006 – Best practice for the storage of CO₂ in Saline Aquifers, observations and guidelines CO2STORE, dostępny na stronie: www.co2store.org.

Chadwick A., Arts R., Bernstone C., May F., Thibeau S., Zweigl P., 2008 – Best practice for the storage of CO₂ in saline aquifers. Keyworth, Nottingham, British Geological Survey.

Chowaniec J., Freiwald P., Łopuszańska M., Patorski R., Witek K., 2006 – Możliwości uzyskania zwykłych wód podziemnych w zachodniej części polskich karpat fliszowych. [W]: Hydrogeochemia'06. X Międzynarodowa konferencja naukowa pt. "Aktualne problemy hydrogeochemii". Sosnowiec-Złoty Potok, 23.06-24.06.2006. Sosnowiec.

Chudzińska B., 1980 – Próba klasyfikacji stopnia zaskokowania złóż kopalń węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, Przegląd górniczy 1980, nr 11.

CO2CRC, 2008 – Storage Capacity Estimation, Site Selection and Characterisation for CO₂ Storage Projects. Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies, Canberra. CO2CRC Report No. RPT08-1001, s. 52.

CSLF (Carbon Sequestration Leadership Forum), 2005 – A taskforce for review and development of standards with regards to storage capacity measurement; CSLF-T-2005-9 15, August 2005.

CSLF (Carbon Sequestration Leadership Forum), 2008 – Comparison between Methodologies Recommended for Estimation of CO₂ Storage Capacity in Geological Media by the CSLF Task Force on CO₂ Storage Capacity Estimation and the USDOE Capacity and Fairways Subgroup of the Regional Carbon Sequestration Partnerships Program; CSLF-T-2008-04, 21 April 2008.

Dembowski Z., 1972 – Ogólne dane o Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Pr. Inst. Geol., 61.

Demirmen F., 2007 – Reserves Estimation: The Challenge for the Industry. Journal of Petroleum Technology, May 2007, s. 80–89.

Doktor M., Gradziński R., 1999 – Środowiska depozycyjne rozpoznane w serii paralicznej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Documenta Geonica. Peres Publishers, Prague: 35-40.

Doktorowicz-Hrebniński S., 1935 – Mapa szczegółowa Polskiego Zagłębia Węglowego. Arkusz Grodziec. Objasnienia z. 2. Państw. Inst. Geol. Warszawa.

- Doktorowicz-Hrebnicki S., Bocheński T., 1952 – Podstawy i niektóre wyniki paralelizacji pokładów węgla w Zagłębiu Górnośląskim. *Geol. Biul. Inf.* 1: 13-14.
- Dubiński J., Solik-Heliasz E., 2007 – Uwarunkowania geologiczne dla składowania dwutlenku węgla. W: *Uwarunkowania wdrożenia zero-emisyjnych technologii węglowych w energetyce*. Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla. Zabrze.
- Dudek A., 1980 - The crystalline basement block of the Outer Carpathians in Moravia: Bruno-Vistulicum. *Rozpr. CS. Akad. Ved. R. Mat. Prir. Ved.* 90, 8.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla z dnia 23 kwietnia 2009 roku.
- Gabzdyl W., Gorol M., 2008 – Geologia i bogactwa mineralne Górnego Śląska i obszarów przyległych. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Gajowiec B., Gałka M., Jureczka J., Rózkowski A., Wagner J., 1994 – Budowa geologiczna i parametry zbiornikowe krakowskiej serii piaskowcowej GZW w aspekcie możliwości wtłaczania słonych wód kopalnianych [W:] *Problemy geologii i ekologii w górnictwie podziemnym*, GIG, KNG, SITG. Szczyrk.
- Garecka M., Marciniec P., Olszewska B., Wójcik A., 1996 – Nowe dane biostratygraficzne oraz próba korelacji utworów mioceńskich w podłożu Karpat Zachodnich. *Przegląd Geologiczny*, vol. 44, nr 5.
- Heflik W., Konior K., 1974 - Obecny stan rozpoznania podłoża krystalicznego w obszarze Cieszyn-Rzeszotary. *Biul. Inst. Geol.*, 273.
- Holloway S., 1996 – An overview of the Joule II project “The underground disposal of carbon dioxide Energy Conversion and Management”, 37 (6-8): 1149-1154.
- Holloway S., 2002 – Underground sequestration of carbon dioxide – a viable greenhouse gas migration [In]: *Proceedings of the 5th International Conference on Greenhouse Gas Control Technology (GHGT-5)*, Williams D. J., Durie R. A., McMullan P., Paulson C. A. J., Smith A., (eds.), 13-16 Aug. 2000, Cairns, Australia, CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria, Australia: 373-380.
- Holt J., Jensen J.T., Lindeberg E., 1995 – Underground storage of CO₂ in aquifers and oil reserved. *Energy Conversion and Management*, 36 (6-9), s. 519-522.
- Jura D., 2001 – Morfotektonika i ewolucja różnowiekowej niezgodności w stropie utworów karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Prace naukowe UŚ nr 1952*.
- Jureczka J., 1988 – Nowe dane o charakterystyce litostratygraficznej kontaktu serii paralicznej i górnośląskiej serii piaskowcowej karbonu zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Materiały XI Sympozjum Geologia Formacji Węglonośnych Polski*. Wyd. AGH, Kraków.
- Jureczka J., Aust J., Buła Z., Dopita M., Zdanowski A., 1995 – Geological map of the Upper Silesian Coal Basin (Carboniferous subcrop) 1:200 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- Jureczka J., Buła Z., Chmura A., Rózkowski A., Wagner J., 1994 – Ocena możliwości wtłaczania

słonnych wód kopalnianych w klastyczne osady ogniwa dębowieckiego w SW części GZW. Maszynopis. Arch. OG PIG Sosnowiec.

Jureczka J., Chmura A., Gałka M., Krieger W., Rózkowski A., Wagner J., 1994 – Geologiczne możliwości zatłaczania słonych wód w górotwór w regionie górnośląskim. Część II/1 Karbon produktywny - Krakowska Seria Piaskowcowa; Część II/2 Karbon produktywny - Górnośląska Seria Piaskowcowa.

Jureczka J., Dopita M., Gałka M., Krieger W., Kwarciański J., Martinec P., 2005 – Atlas geologiczno-złożowy polskiej i czeskiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Państwowy Instytut Geologiczny, Ministerstwo Środowiska, Warszawa.

Jureczka J., Kotas A. 1995 – Coal deposits Upper Silesian Coal Basin. [In]: The Carboniferous System in Poland. Prace PIG, 148: 164-173.

Jureczka J., Krieger W., Wilk S., 2009 – Zasoby perspektywiczne węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. [w] XIX Konferencja z cyklu „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”, 4-6.11.2009, PAN Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Kraków.

Karwasiecka M., Kwarciański J., 1994 – Zestawienie wyników badań laboratoryjnych dotyczących gazonośności węgla kamiennych GZW wraz z weryfikacją i wstępną analizą przestrzennej zmienności. PIG OG, Sosnowiec. Mat. Niepublikowane.

Kleczkowski A. S. (red.), 1966 – Podczwartorzędowe podłoże Kotliny Górnej Odry oraz jej wodonośność. [W]: Prace Geol. PAN, 25. Wyd. Geologiczne, Warszawa.

Kondracki J., 2000 – Geografia regionalna Polski. Wyd. Naukowe PWN.

Kotarba M., Pękała Z., Daniel J., Więclaw D., Smolarski L., 1995 – Rozkład głębokościowy zawartości metanu i węglowodorów wyższych w utworach węglonośnych górnego karbonu GZW [W]: Ney. R, Kotarba M. (red.) - Opracowanie modeli oraz bilansu generowania... Centrum PPGSMiE PAN, Kraków.

Kotas A. (1972) - Ważniejsze cechy budowy geologicznej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na tle pozycji tektonicznej i budowy głębokiego podłoża utworów produktywnych. Prob. geodyn. i tapan. t.1. Kom. Górn. PAN. Kraków.

Kotas A. (red.) 1994 – Coal-bed methane potential of the Upper Silesian Coal Basin, Poland. Prace Państw. Inst. Geol. 142. Warszawa.

Kotas A. 1972 – Ważniejsze cechy budowy geologicznej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na tle pozycji tektonicznej i budowy głębokiego podłoża utworów produktywnych. Komitet Górnictwa PAN, Problemy geodynamiki i tapan, t. I, Kraków.

Kotas A. 1985a – Uwagi o ewolucji strukturalnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. [W:] J. Trzepierczyński (red) – Tektonika Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Mat. Konf. Nauk., Sosnowiec. Wyd. Uniw. Śl., Katowice: 17-46.

Kotas A. 1985b – Structural evolution of the Upper Silesian Coal Basin (Poland). 10 Congr. Int.

Strat. Geol. Carb., Madrid 1983, Compt. Rend., 3: 459-469.

Kotas A., 1982 - Zarys budowy geologicznej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Przew. 54 Zjazdu Pol. Tow. Geol. w Sosnowcu. Wyd. Geol. Warszawa.

Kotas A., 1995 – Lithostratigraphy and sedimentologic – paleogeographic development. Upper Silesian Coal Basin. [In]: The Carboniferous system in Poland (ed. Zdanowski A., Żakowa H.). Prace Państw. Inst. Geol. 118.

Kotas A., Buła Z., Jureczka J., 1988 – Problematyka podziału litostratygraficznego górnośląskiej serii piaskowcowej karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w świetle zasad kodeksu stratygraficznego. Materiały XI Sympozjum Geologia Formacji Węglonośnych Polski, Formacja karbońska. Wyd. AGH. Kraków.

Kwarciński J., Krieger W., Bugała J., Strzezińska K., 1999 - Atlas geologiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego - skala 1 : 300000. Wyd. MOŚ, PIG, Warszawa.

Larsen M., Bidstrup T., Dalhoff F., 2003 – Mapping of deep saline aquifers in Denmark with potential for future storage, GESTCO final report, GEUS, Copenhagen.

Lipiarski I., 1997 – Wpływ procesów wietrzeniowych na węglonośne utwory westfalu we wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Mat. XX Sympozjum pt. „Geologia formacji węglonośnych Polski”: 47-52. Wyd. AGH, Kraków.

Lipiarski I., 2001 – Pstre utwory jako wynik fosylnego wietrzenia termicznego przeobrażenia utworów górnego karbonu w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Mat. XXIV Sympozjum pt. „Geologia formacji węglonośnych Polski”: 53-58. Wyd. AGH, Kraków.

Mc C a b e P.J., 1998 – Energy resources – Cornucopia or empty barrel? American Association of Petroleum Geologists Bulletin 82 (11), s. 2110–2134.

Moryc W., 2005 – Rozwój badań utworów miocenu w Karpatach Zachodnich na obszarze Bielsko-Kraków. Geologia, Kwartalnik AGH, t. 31, z. 1.

Moryc W., Heflik W., 1998 - Metamorphic rocks in the basement of the Carpathian between Bielsko-Biała and Cracow. Kwart. Geol. 42, 1.

Nieć M., 2006 – Problemy klasyfikacji zasobów złóż kopalin. Przegląd Górniczy 4, s. 21–27.

Orłowski S., 1975 - Lower Cambrian Trilobites from Upper Silesia (Goczałkowice borehole). Acta Geol. Pol. 25, 3.

Oszczypko N., 1999 – Przebieg miocenijskiej subsydencji w polskiej części zapadliska przedkarpackiego. Prace PIG t. 168.

Reserves and Resources Classification, definitions, and Guidelines: Defining the Standard, 2007. Journal of Petroleum Technology, December 2007, s. 63–67.

Rózkowski A., 2008 – Historia badań i stan rozpoznania hydrogeologicznego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i obszarów przyległych.

Rózkowski A., Chmura A., Gajowiec B., Jureczka J., Wagner J., 1995 – Ocena możliwości wtłaczania słonych wód w górotwór w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym i jego południowym obrzeżeniu. Współczesne Problemy Hydrogeologii; T. VII, cz.2. Kraków-Krynica.

Rózkowski A., red. 2004 – Środowisko hydrogeochemiczne karbonu produktywnego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wyd. UŚI. Katowice 2004.

Rudzińska-Zapaśnik T., 1997 – Poziomy wodonośne trzeciorzędu. [W]: Rózkowski A., Chmura A., Siemiński A. (red.), 1997 - Użytkowe wody podziemne Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jego obrzeżenia.

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. Konferencja GHGT-8 [8th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies], Trondheim, 19-22 czerwca 2006.

Siedlecka A., 1964 – Osady permu w północno-wschodnim obrzeżeniu Zagłębia Górnośląskiego. Roczn. PTG, 34, 3.

Solik-Heliasz E., 1986 - Warstwy dębowieckie jako źródło zagrożenia wodnego w wyrobiskach górniczych. Politechnika Śląska, "Górnictwo" z 149. Gliwice.

Solik-Heliasz E. (2004–2006): Określenie poziomów wodonośnych nadających się do sekwestracji i potencjału sekwestracji. W: Innovative in-situ CO₂ Capture Technology for Solid Fuel Gasification (Innowacyjna technologia do pochłaniania CO₂ in-situ w wysokotemperaturowym procesie gazyfikacji paliw stałych). Projekt STREP.

Solik-Heliasz E., Kubica J., Kura K., 2007a – Badania szczelności projektowanych zbiorników CO₂ w obszarze GZW. Dokum. GIG.

Solik-Heliasz E., Kubica J., 2007b – Wytypowanie miejsc do podziemnego składowania, kosztów składowania oraz określenie potencjału sekwestracji. W: Wstępna koncepcja INSTALACJI DEMONSTRACYJNEJ USUWANIA, TRANSPORTU I SKŁADOWANIA CO₂ dla Południowego Koncernu Energetycznego S.A. w Katowicach. Dokum. IChPW Zabrze.

Solik-Heliasz E., Kubica J. 2007c – Wytypowanie miejsc do podziemnego składowania, kosztów składowania oraz określenie potencjału sekwestracji W: Wstępna koncepcja INSTALACJI DEMONSTRACYJNEJ USUWANIA, TRANSPORTU I SKŁADOWANIA CO₂ dla Vattenfall Warszawa, Dokum. IChPW Zabrze.

Solik-Heliasz E., Kubica J., 2008 – Wytypowanie miejsc do podziemnego składowania, kosztów składowania oraz określenie potencjału sekwestracji. W: Instalacja demonstracyjna usuwania, transportu i składowania dwutlenku węgla dla BOT, Elektrowni Bełchatów”. Dokum. IChPW Zabrze.

Solik-Heliasz E., Warzecha R., Bromek T., 2008 – Szczegółowy zakres prac geologicznych (Mapa drogowa) dla PGE Elektrowni Bełchatów S.A. celem przyszłej realizacji zadania w zakresie podziemnego składowania CO₂. Dokumentacja GIG.

Solik-Heliasz E., Warzecha R. 2008 – Analiza geologiczna możliwości sekwestracji CO₂ w rejonie Elektrowni Dolna Odra z bloków 800 MW_{el} na parametry nadkrytyczne. Dokumentacja GIG.

Solik-Heliasz E., Dubiński J. 2008 – Osiągnięcia polskie i światowe w zakresie geologicznego składowania CO₂. Mat. Konferencji PKE „Czyste technologie węglowe” Sosnowiec-Katowice 1-2 października.

Solik-Heliasz E., 2008 - Czynniki geologiczne określające możliwość podziemnego składowania CO₂. Przegląd Górniczy, 11-12.

Solik-Heliasz E., 2009a – Uwarunkowania geologiczne i górnicze podziemnego składowania CO₂ w regionie górnośląskim. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko. Kwartalnik Nr 4/1.

Solik-Heliasz E., 2009 – Projekt Inicjatywa Technologiczna I: Opracowanie potencjalnej pojemności składowania CO₂ w głęboko położonych formacjach solankowych. Dokum. GIG.

Solik-Heliasz E. 2009B – Osiągnięcia polskie i światowe w zakresie geologicznego składowania CO₂. Mat. IV Konferencji naukowo-technicznej „Ochrona środowiska w energetyce”. Jaworzno 12-13 luty.

Solik-Heliasz E. (red.), 2009 – Atlas zasobów energii geotermalnej w regionie górnośląskim. Utwory neogenu, karbonu i dewonu. Wydawnictwo GIG, Katowice.

Ślęczka A., 1976 - Profil geologiczny otworu wiertniczego Sucha IG-1. Sprawozd. z pos. nauk. Inst. Geol. Kwart. Geol. 21/2.

Ślęczka A., 1982 - Profil utworów kambru w otworach położonych na południowy wschód od Goczałkowic. Przew. 54 Zjazdu Pol. Tow. Geol. w Sosnowcu. Wyd. Geol. Warszawa.

Tarkowski R., 2005 – Geologiczna sekwestracja CO₂. Studia, Rozprawy, Monografie, 132, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 106 s.

Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2005 – Emisja dwutlenku węgla w Polsce. [W:] Podziemne składowanie CO₂ w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych), R. Tarkowski (red.), Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków, s. 13-35.

Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2005a – Struktury geologiczne (poziomy wodonośne i złoża węglowodorów) dla podziemnego składowania CO₂ w Polsce. [W:] Podziemne składowanie CO₂ w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych), R. Tarkowski (red.), Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków, s. 69-111.

Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2006 - Possibilities of CO₂ sequestration by storage in geological media of major deep aquifers in Poland. Chemical Engineering Research and Design, 84(A9), p. 776-780.

Tarkowski R., Stopa J., 2007 – Szczelność struktury geologicznej przeznaczonej do podziemnego składowania dwutlenku węgla. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 23, z. 1, s. 129-137

Tołwinski A., 1950 - Brzeg Karpat. Acta Geol. Pol. 1/1.

Tomaś A., Zając R., 1996 - Utwory młodszego paleozoiku w podłożu polskich Karpat Zachodnich. Prz. Geol. 44, 5.

Turnau E., 1974 - Microflora from core samples of some Paleozoic sediments from beneath the Flysch Carpathians (Bielsko-Wadowice area, Southern Poland). Roczn. Pol. Tow. Geol. 44, 2/3.

Uliasz-Misiak B., 2008 – Pojemność podziemnego składowania CO₂ dla wybranych mezozoicznych poziomów wodonośnych oraz złóż węglowodorów w Polsce. Studia Rozprawy Monografie nr 142, Kraków, s. 114.

Wagner J., 1997 – Wybrane parametry hydrogeologiczne poziomów wodonośnych karbonu górnego niecki głównej w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. W: (Górski J. i Liszkowska E., red.) Współczesne problemy hydrogeologii Tom VII. Kiekrz k/Poznań 4-6 września 1997.

Wagner J., 1998 – Charakterystyka hydrogeologiczna karbonu produktywnego niecki głównej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Biuletyn PIG 383, 1998 r: str. 55- 96.

Wilk Z. (red.), 2003 – Hydrogeologia polskich złóż kopalin i problemy wodne górnictwa. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne. Kraków.

Wójcicki A., 2008 – CO₂ Storage Potential in Poland (after CASTOR WP1.2), First EAGE CO₂ Geological Storage Workshop, Budapest 29-30th September (referat).

Wójcicki A., 2009 (red.) - Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania, Raport merytoryczny nr 1: Segment I, rejon Bełchatów. Strona projektu: <http://skladowanie.pgi.gov.pl>

Vangkilde-Pedersen T., Anthonsen K. L., Smith N., Kirk K., Neele F., van der Meer B., Le Gallo Y., Bossie-Codreanu D., Wojcicki A., Le Nindre Y.-M., Hendriks C., Dalhoff F., Peter Christensen N. P., 2008 – GHGT-9 Assessing European capacity for geological storage of carbon dioxide – the EU GeoCapacity project, energy Procedia – Elsevier.