

Potencjał geologicznego składowania CO₂ w głębokich, nieeksploatowanych pokładach węgla Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

Adam Wójcicki¹

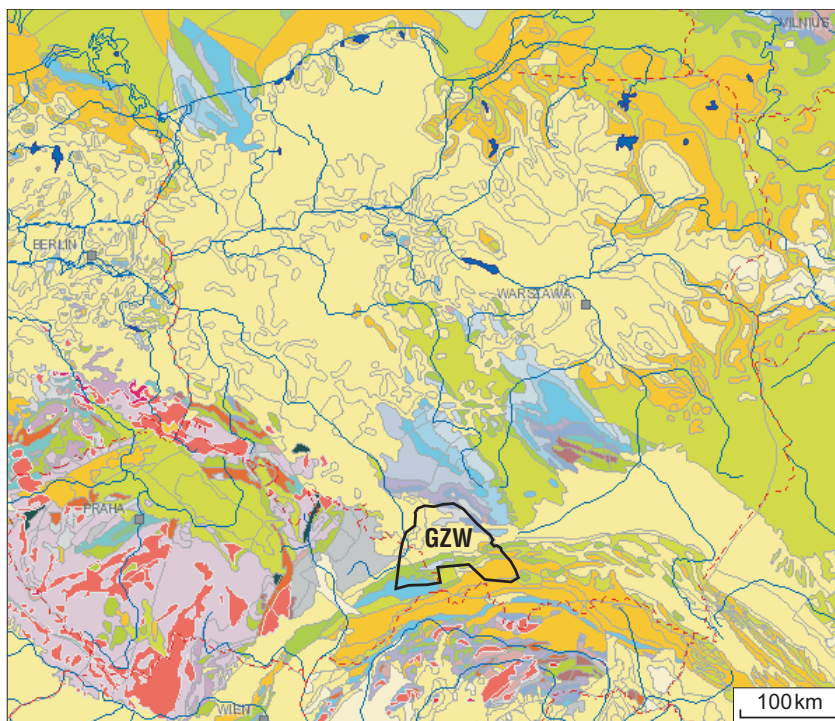


W niniejszym artykule zaprezentowano wybrane wyniki międzynarodowego projektu 6. Programu Ramowego — EU GeoCapacity (strona projektu: www.geocapacity.eu) w zakresie po-

tencjału geologicznego składowania CO₂ w głębokich, nieeksploatowanych pokładach węgla, zawierających metan (MPW) w Polsce, a konkretnie dla obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). W projekcie EU GeoCapacity, który jest poświęcony rozpoznaniu możliwości geologicznego składowania CO₂ w Europie, w tym w ujęciu ilościowym i ekonomicznym, uczestniczy 19 partnerów z krajów Europy, 3 partnerów przemysłowych oraz partner chiński (Dalhoff & Vangkilde-Pedersen, 2007). Jednym z zadań projektu jest rozpoznanie możliwości geologicznego składowania CO₂ w głębokich, nieeksploatowanych pokładach węgla zawierających metan, jako sposobu wzmocnienia wydobycia metanu z tych pokładów.

Technologie, zwaną w skrócie CO₂-ECBMR, zastosowano po raz pierwszy w basenie San Juan w stanie Nowy Meksyk, USA, w połowie lat 90-tych XX w. (Davis et al., 2004). Węgiel kamienny eksploatowany w tym rejonie odróżnia się właściwościami petrofizycznymi od węgla karbońskich z zagłębi w Europie (w tym GZW), zwłaszcza pod względem stosunkowo wysokiej przepuszczalności i niskiego stopnia uwęglenia (bo jest wieku kredowego). W związku z powyższym, w międzynarodowym projekcie 5. Programu Ramowego RECOPOŁ (polski partner — Główny Instytut Górnictwa) przeprowadzono prace badawcze i doświadczalne w zakresie rozpoznania możliwości geologicznego składowania CO₂ w głębokich, nieeksploatowanych pokładach węgla wieku karbońskiego (Kaniów, południowa część GZW) celem wzmocnienia wydobycia metanu z tych pokładów (Pagnier et al., 2005). Prace te są kontynuowane w międzynarodowym projekcie 6PR MOVECBM (Jura, Krzystalik & Skiba, 2007). Generalnie wniosek z przeprowadzenia projektów RECOPOŁ i MOVECBM jest taki, że technologia CO₂-ECBMR może być zastosowana w warunkach geologicznych GZW i innych zagłębi węgla kamiennego w Europie o podobnej charakterystyce.

Jednocześnie w międzynarodowym projekcie 5PR GESTCO (*Oszacowanie Europejskiego Potencjału Geolo-*



Ryc. 1. Lokalizacja GZW na tle mapy geologicznej odkrytej IGME 5000 (red. BGR, 2006)

gicznego Składowania CO₂ Pochodzącego ze Spalania Paliw Kopalnych), w którym uczestniczyli partnerzy badawczy z kilku państw UE15 oraz Norwegii, opracowano m.in. założenia metodyczne i wykonano analizy dla określania potencjału geologicznego składowania CO₂ w głębokich, nieeksploatowanych pokładach węgla zawierających metan dla złóż i zagłębi węglowych w Holandii, Niemczech i Belgii (Bergen & Wildenborg, 2002; May, 2003; Tongeren & Laenen, 2001). Generalnie można stwierdzić, że metodyka określania potencjału geologicznego składowania CO₂ w głębokich, nieeksploatowanych pokładach węgla zawierających metan jest oparta na oszacowaniu zasobów wydobywalnych metanu z punktu widzenia technologii CO₂-ECBMR oraz współczynnika zastępowania CH₄ przez CO₂ w pokładach węgla. W ramach projektu EU GeoCapacity wykorzystano wspomniane założenia metodyczne i przeprowadzono analizy dla złóż i zagłębi węglowych na obszarze Bułgarii, Czech, Hiszpanii, Polski, Rumunii, Słowenii i Węgier (Wójcicki et al., 2007).

W niniejszej pracy przedstawiono założenia metodyczne i wybrane wyniki pierwszego, już zakończonego, etapu prac dla Polski w zakresie potencjału CO₂-ECBMR, a konkretnie dla GZW. Pozostałe polskie zagłębia węglowe nie były analizowane ze względu na gorsze warunki geologiczno-złożowe lub słabsze rozpoznanie zasobów MPW w ich obrębie.

¹Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych, ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa; Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; adam.wojcicki@pgi.gov.pl

Charakterystyka GZW, w tym jego metanoności

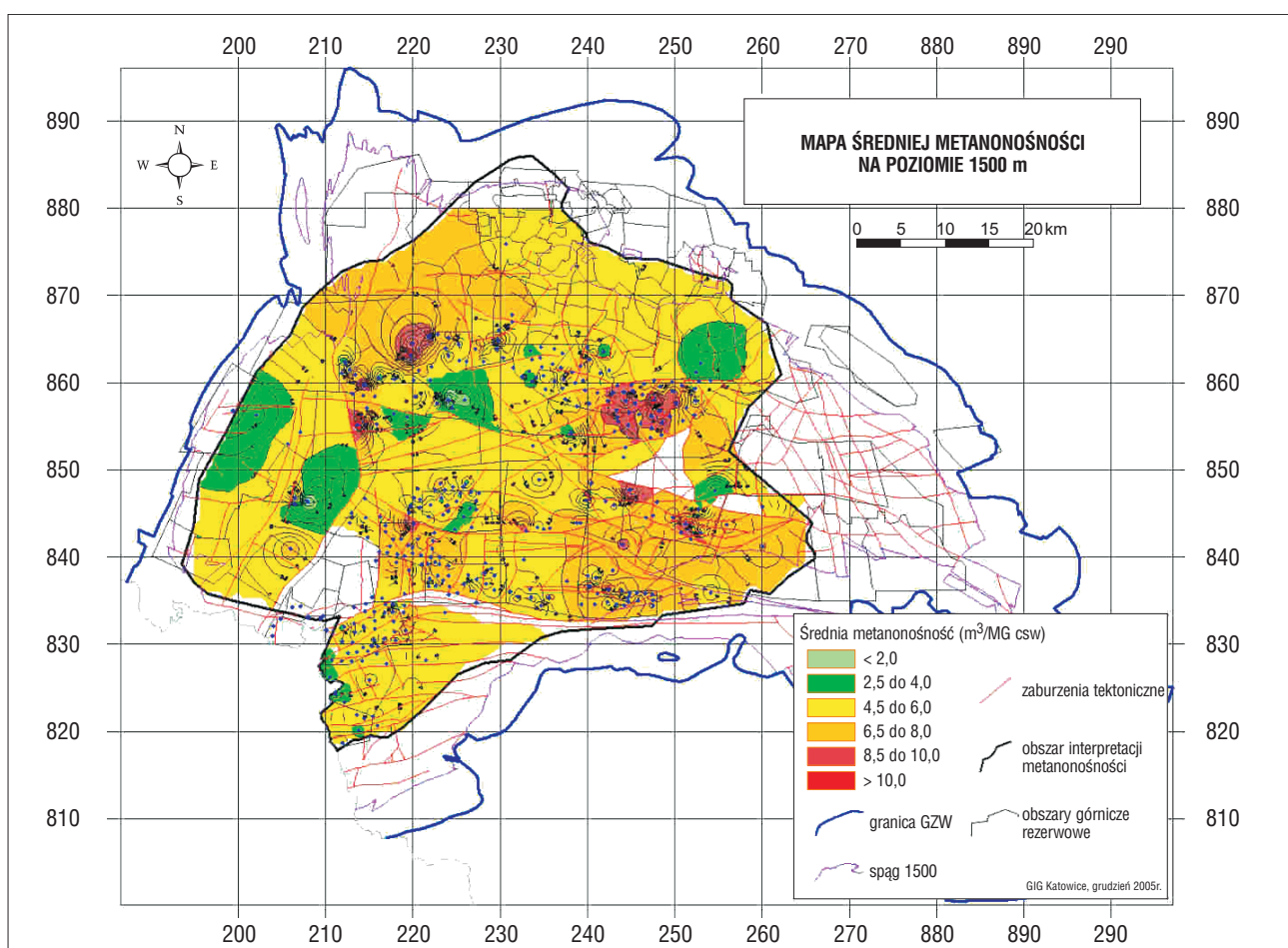
Górnśląskie Zagłębie Węglowe jest położone w południowej części Polski (ryc. 1) oraz w niewielkiej części na terytorium Republiki Czeskiej. Węgiel kamienny występuje w formacjach westfalu i namuru w górnym karbonie (Osika, 1990). Eksploatację tego surowca rozpoczęto tam jeszcze w XVIII w. Aktualnie w polskiej części zagłębia eksploatacja węgla kamiennego jest prowadzona w 39 kopalniach, których roczna produkcja wynosi około 90 mln ton (Przeźniósł, 2006). Stopień uwęglenia generalnie wzrasta ku zachodowi i wraz z głębokością (Jureczka et al., 2005). Do głębokości 1000 m przeważnie występuje węgiel energetyczny, głębiej i ku zachodowi pojawia się węgiel koksujący, a bardzo głęboko — nawet antracyt. Karbon produktywny jest przykryty w południowej części GZW (ryc. 2) utworami mioceniowymi (Zapadlisko Przedkarpackie) i Karpat fliszowych, na północy zaś neogeńskimi lub triasowymi o niewielkiej miąższości lub też występuje na powierzchni.

W kilkunastu kopalniach, równoległe z eksploatacją węgla kamiennego, prowadzi się eksploatację metanu (MPW) jako kopaliny towarzyszącej. Działalność górnicza w polskich kopalniach jest prowadzona najczęściej dla przedziału głębokości 500–1000 m, czasami płycej (300–500 m) lub głębiej (do 1250 m). Weryfikacja bazy zasobowej złóż MPW dla przedziału głębokości 500–1250 m p.p.m. (ok. 750–1500 p.p.t.) została wykonana w ostatnich latach w Oddziale Górnośląskim PIG (Kwarciański et al., 2006). Dla kopalń czynnych analizowa-

wano zasoby poza zasięgiem aktualnej eksploatacji, w przypadku kopalń zlikwidowanych i złóż niezagospodarowanych dla całego przedziału głębokości 750–1500 m p.p.t. Wykorzystano do tego celu dokumentacje złożowe oraz informacje i wyniki analiz laboratoryjnych na próbkach węgla z setek otworów wiertniczych. W rezultacie otrzymano dla 42 złóż węgla/MPW zasoby geologiczne metanu pokładów węgla wynoszące 186,06 mld m³, a zasoby wydobywalne bilansowe 111,19 mld m³. Te ostatnie dotyczą obszaru złoża, gdzie zawartość metanu przekracza 4,5 m³/tonę węgla, a zasoby geologiczne — obszar wyznaczony przez kontur złoża. Natomiast dla głębokości większych od 1500 m nie prowadzono tego rodzaju obliczeń, jedynie szacowano, że zasoby prognostyczne MPW dla całego obszaru GZW mogą sięgać 350 mld m³.

W tej chwili MPW z głębokich pokładów węgla są eksploatowane komercyjnie w dwóch przypadkach jako kopalina główna — w głębokim otworze w obrębie złoża *Silesia Głęboka* oraz w głębokim otworze na obszarze zlikwidowanej kopalni węgla *Morcinek*. Wspomnieć należy, że nie jest w nich stosowana technologia CO₂-ECBMR, ani inne sposoby wzmocnienia produkcji metanu.

W południowej części GZW, w miejscowości Kaniów położonej niedaleko Czechowic-Dziedzic, w latach 2003–2004 prowadzono w ramach projektu 5PR RECOPOL (koordynator TNO, polski partner — GIG) eksperyment zatłaczania CO₂ do głębokich pokładów węgla. Przeprowadzono zatłaczanie łącznie około 700 t CO₂ do dwóch pokładów węgla położonych na głębokości ponad 1100 m, poniżej



Ryc. 2. Mapa średniej zawartości metanu (w czystej substancji węglowej) na głębokości 1500 m (wg Głównego Instytutu Górniczego)

zakresu głębokościowego koncesji na wydobycie węgla kamiennego z występującego tam złoża Brzeszcze (Pagnier et al., 2005). W tym okresie z każdej zatłoczonej tony CO₂ otrzymano (dodatkowo) około 10 m³ metanu. W następnym roku zlikwidowano otwory zatłaczające i produkcyjne, a aktualnie (od 2006 r.), w ramach projektu MOVECBM, jest prowadzony monitoring CO₂ zatłoczonego do górotworu (Jura, Krzystalik & Skiba, 2007).

Metodyka określania potencjału CO₂-ECBMR (GESTCO)

Pojemność składowania CO₂ w głębokich, nieeksploatowanych pokładach węgla S szacowano w raportach projektu GESTCO (Bergen & Wildenborg, 2002; May, 2003; Tongeren & Laenen, 2001) używając następującego wzoru:

$$S = PGIP \times ER \times CO_2d$$

gdzie:

PGIP — zasoby wydobywalne metanu dla technologii CO₂-ECBMR,

ER — współczynnik zastępowania metanu przez dwutlenek węgla,

CO₂d — gęstość dwutlenku węgla w warunkach normalnych.

W przypadku węgla energetycznych i koksujących współczynnik ER wynosi najczęściej 2–3 (Tongeren van, P.C.H. & Laenen B., 2001a), zależnie od stopnia uwęglenia (dla niższego stopnia uwęglenia, tzn. węgla energetycznych, jest wyższy) i stanu skupienia CO₂ (to znaczy czy na danej głębokości CO₂ występuje w tzw. stanie nadkrytycznym, wysokogęstościowym). Jeśli dwutlenek węgla występuje w stanie nadkrytycznym (od głębokości minimalnej 800–1000 m, zależnie od stopnia geotermicznego i ciśnienia w górotworze), to współczynnik zastępowania ER może dla węgla kamiennych o relatywnie niskim stopniu uwęglenia sięgać do 4 (Mazumder S. & Wolf K.H., 2003; Bergen van F., & Wildenborg T., 2002), a dla węgla brunatnych nawet do 7–9 (Gluskoter et al., 2002).

Jednakże doświadczenia projektu RECOPOL (Pagnier et al., 2005; Jura, Krzystalik & Skiba, 2007) sugerują optymalny przedział głębokości dla geologicznego składowania CO₂ w pokładach węgla GZW w granicach 1000–2000 m. Wynika to poza uwarunkowaniami złożowymi z faktu, że na większości obszaru GZW wydobycie węgla prowadzi się na głębokościach mniejszych niż 1000 m. W tym przedziale głębokość CO₂ występuje w tzw. fazie nadkrytycznej. Jednocześnie wiadomo (Jureczka et al., 2005), że stopień uwęglenia dla tych głębokości jest stosunkowo wysoki — dla znacznej części GZW można zauważyć w tym przedziale przewagę węgla koksujących nad energetycznymi.

Stąd w niniejszych rozważaniach przyjęto, że średni współczynnik zastępowania metanu przez dwutlenek węgla ER dla GZW wynosi 2,5.

Wartość zasobów wydobywalnych metanu PGIP, wspomnianą powyżej, liczy się według następującego wzoru (Bergen & Wildenborg, 2002; May, 2003; Tongeren & Laenen, 2001):

$$PGIP = \text{obszar} \times \text{miąższość pokładów węgla} \times \text{gęstość węgla} \times (1 - \text{zawartość popiołu} - \text{zawartość wilgoci}) \times$$

zawartość metanu [m³/t] x współczynnik kompletności x współczynnik wydobywania.

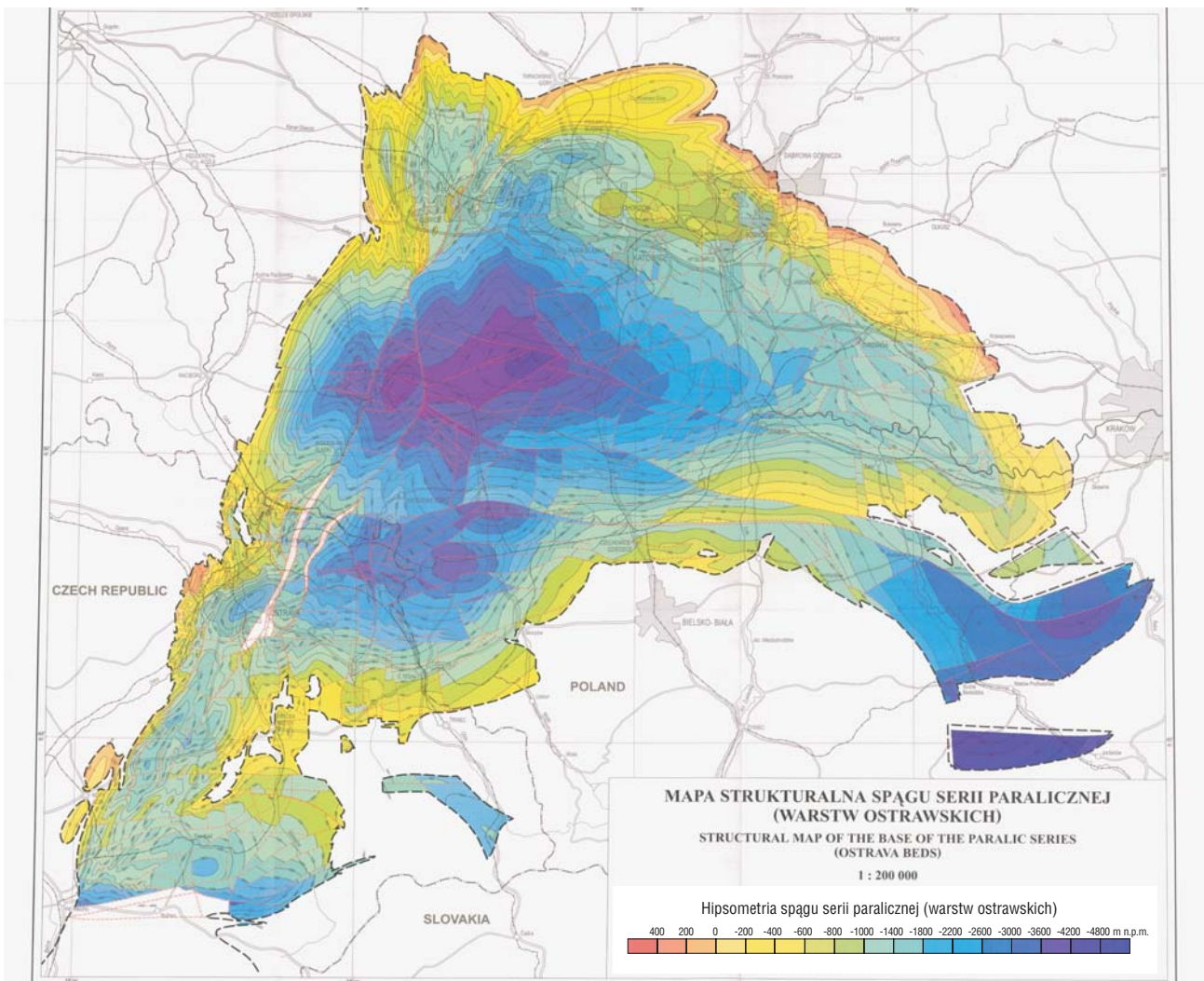
Innymi słowy, aby oszacować wspomniane zasoby wydobywalne, najpierw potrzebujemy informacji o objętości i masie pokładów węgla występujących na rozpatrywanym obszarze. W naszym przypadku najlepiej ograniczyć się do pokładów węgla o miąższości minimum 30 cm (a jeszcze lepiej przyjęć minimalną miąższość 60 cm, od której liczy się zasoby bilansowe dla MPW, zależnie od tego jakie informacje są dostępne). Ponadto interesuje nas raczej masa czystej substancji węgla (c.s.w.), a nie całych pokładów. Dalej ważną wielkością jest zawartość metanu w tonie węgla (c.s.w.), która jest wyznaczana drogą analiz laboratoryjnych. Współczynnik kompletności wskazuje, jaka część miąższości rozpatrywanego pokładu węgla bierze udział w wymianie metanu na dwutlenek węgla. Według doświadczeń projektu RECOPOL (Pagnier et al., 2005), współczynnik ten może wynosić 0,7. Współczynnik wydobywania oznacza jaką część zasobów geologicznych metanu można wydobyć i, według szacunków projektu GESTCO (Bergen van F., & Wildenborg T., 2002), jaka ich część może zawierać się w przedziale 0,2–0,9; najprawdopodobniej 0,4–0,8. Dla niniejszych rozważań przyjęto średni współczynnik wydobywania 0,6.

Model strukturalno-parametryczny GZW

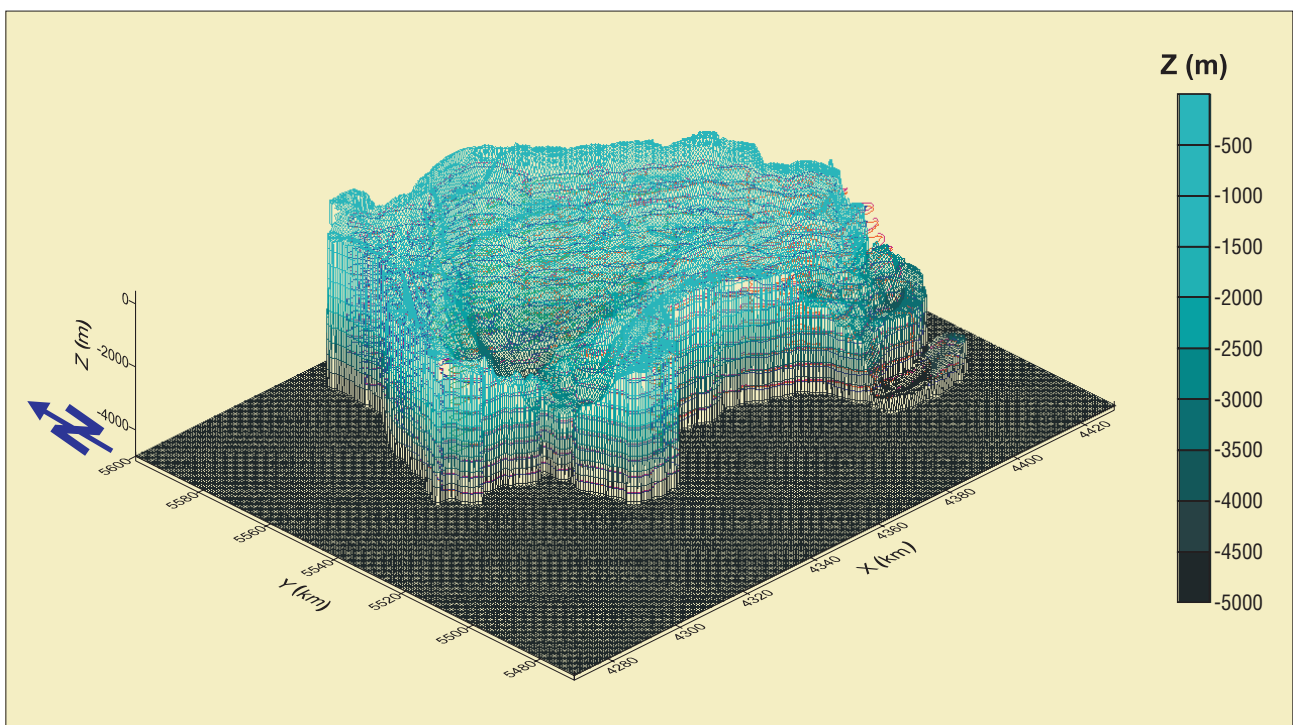
Model strukturalny GZW opracowano w oparciu o mapy stropów i spągów czterech podstawowych jednostek litostratygraficznych karbonu produktywnego (westfal-namur) z Atlasu geologiczno-złożowego GZW w skali 1 : 200 000 (Jureczka et al., 2005): krakowskiej serii piaskowcowej, serii mułowcowej, górnośląskiej serii piaskowcowej i serii paralicznej (ryc. 3). Mapy strukturalne ze wspomnianego atlasu zeskanowano i zdigitalizowano z najwyższą możliwą dokładnością. Wynikiem były zbiory izolinii, z których następnie wyinterpolowano gridy o „oczku” 0,5 x 0,5 kilometra. Wszystkie gridy zestawiono i nałożono na siebie, tworząc w ten sposób model przestrzenny formacji GZW (ryc. 4).

Dalszym krokiem w konstrukcji modelu strukturalno-parametrycznego było określenie udziału (miąższości) pokładów węgla w obrębie rozpatrywanych formacji. Niestety w Atlasie geologiczno-złożowym GZW tego rodzaju analizy zostały wykonane jedynie do głębokości 1250 m p.p.t. Stąd dla oszacowania zawartości węgla w obrębie wspomnianych wydzieleń wykorzystano szacunkowe informacje z opracowania Osiki (1990), odnośnie ich węglozasobności. W tabeli 1 przedstawiono szacunkowe procentowe zawartości maksymalne węgla w obrębie wspomnianych wydzieleń karbonu produktywnego. Zawartości te odnoszą się do pokładów węgla o miąższości minimum 0,3 metra. Poznanie miąższości poszczególnych formacji na podstawie modelu przestrzennego (ryc. 4) umożliwiło oszacowanie maksymalnej miąższości pokładów węgla dla całego obszaru i ewentualnie dla poszczególnych złóż.

Model parametryczny opracowano dla przedziału głębokości 1000–2000 metrów. Wykorzystano do tego celu mapę średniej zawartości metanu dla poziomu 1500 m p.p.t., opracowaną przez Główny Instytut Górnictwa,



Ryc. 3. Mapa spągu serii paralicznych namuru (wg Jureczka et al., 2005)



Ryc. 4. Model przestrzenny formacji karbonu produktywnego GZW (wg Jureczka et al., 2005)

Tab.1. Sumaryczne miąższości maksymalne pokładów węgla w obrębie wybranych formacji geologicznych GZW (wg Osika, 1990)

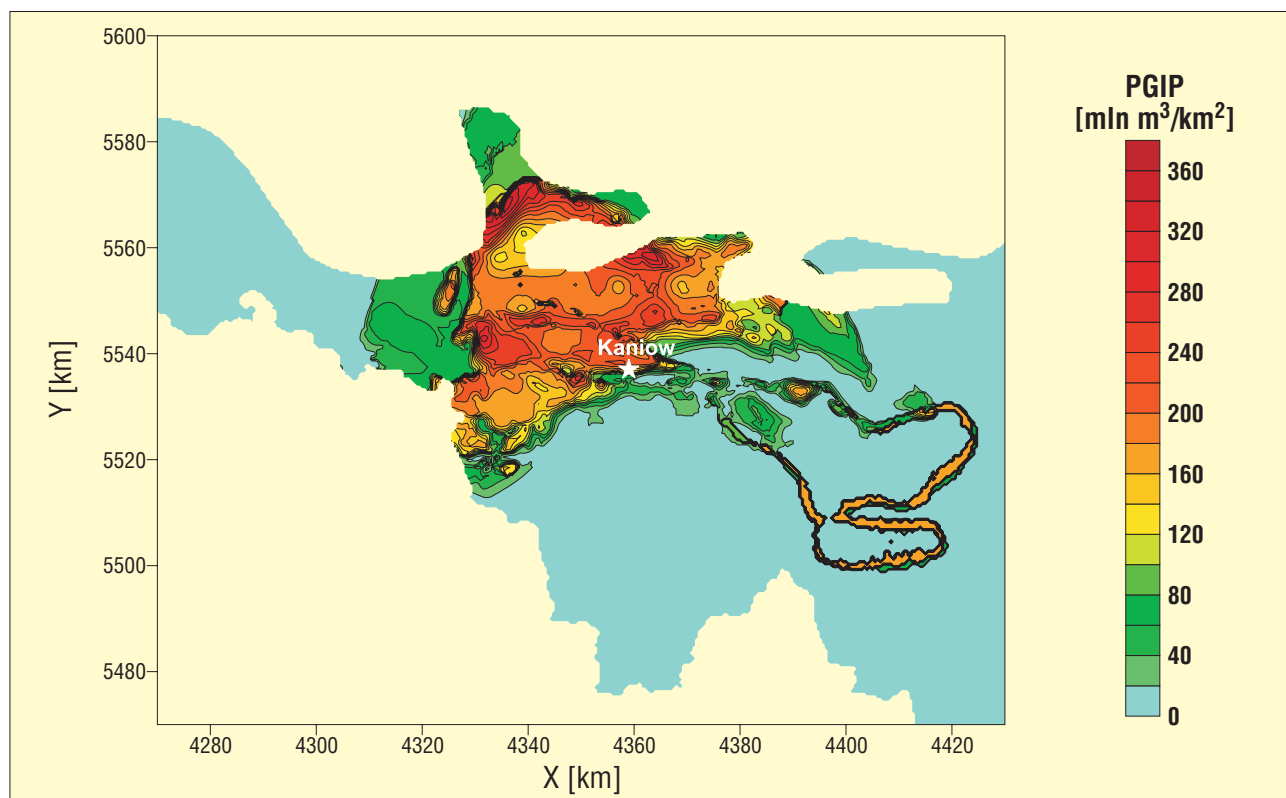
Nr	Formacja geologiczna	Maksymalny udział pokładów węgla [%]	Maksymalna sumaryczna miąższość pokładów węgla [m]
1	Krakowska seria piaskowcowa	3	48
2	Seria mułowcowa	5	120
3	Górnośląska seria piaskowcowa	7	80
4	Seria paraliczna	2	99

otrzymaną dzięki uprzejmości prof. P. Krzystolika (ryc. 2). Grid otrzymany po scyfrowaniu mapy został zestawiony z gridem miąższości pokładów węgla dla przedziału głębokości 1000–2000 m. Zgodnie z metodyką opisaną w poprzednim rozdziale, miąższość pokładów węgla pomnożona przez powierzchnię rozpatrywanego obszaru i gęstość węgla daje oszacowanie masy pokładów tego surowca. Aby otrzymać masę czystego węgla, należy uwzględnić jeszcze procentowy udział popiołu i wilgoci. Dla rozpatrywanego przedziału głębokości przyjęto wartości szacunkowe, ekstrapolowane na podstawie Atlasu GZW (Jureczka et al., 2005), wynoszące 13% dla zawartości popiołu i 1,3% dla zawartości wilgoci. Iloczyn masy czystej substancji węglowej i zawartości metanu daje w takim przypadku wartość zasobów geologicznych metanu, a uwzględnienie współczynników kompletności i wydobywania — zasoby wydobywalne metanu dla technolo-

gii ECBM, czyli tzw. PGIP. Wartość PGIP, pomnożona przez współczynnik zastępowania metanu przez dwutlenek węgla i gęstość CO_2 , daje oszacowanie potencjału składowania CO_2 w pokładach węgla występujących w rozpatrywanym przedziale głębokości.

Dyskusja wyników

Rezultaty obliczeń wydobywalnych zasobów metanu dla technologii ECBM dla głębokości 1000–2000 m przedstawiono na ryc. 5. W części północnej GZW wycięto obszar, gdzie nie występują utwory uszczelniające miocenu. Nie analizowano na tym etapie jeszcze zagadnień bezpieczeństwa obszarów zurbanizowanych i przemysłowych. Sumaryczne zasoby metanu dla rozpatrywanego obszaru oszacowano na 251 mld m^3 . Natomiast odpowiadający im potencjał geologicznego składowania wynosi

**Ryc. 5.** Mapa wydobywalnych zasobów metanu dla technologii ECBM, dla głębokości 1000–2000 m (na podstawie modelu z ryc. 4 i tab. 1)

1254 mln t CO₂. Oznacza to, że geologiczne składowanie CO₂ w głębokich nieeksploatowanych pokładach węgla może przyczynić się w znaczącym stopniu do redukcji emisji dwutlenku węgla w rejonie GZW, pod warunkiem, że technologia ECBM zostanie rozwinięta na skalę przemysłową i sprawdzona pod kątem zagrożeń dla lokalnej infrastruktury i mieszkańców. Ze względów ekonomicznych, bezpieczeństwa i procedur koncesyjnych prawdopodobnie niewielka część tych zasobów może być wykorzystana.

Metodyka określania potencjału geologicznego składowania CO₂ w głębokich pokładach węgla dla GZW może być stosowana w analogiczny sposób dla poszczególnych złóż węgla zawierających metan. W takim przypadku potrzebne są oczywiście dokładniejsze informacje o geometrii formacji węglonośnych, pokładach węgla i zawartości metanu.

Literatura

- BERGEN VAN F. & WILDENBORG T. 2002 — Inventory of storage potential of Carboniferous coal layers in the Netherlands. TNO Report NITG 02-031-B (GESTCO), Utrecht.
- DALHOFF F., VANGKILDE-PEDERSEN T. & the GeoCapacity group — Storage Capacity Calculations in Saline Aquifers. CO₂NET Annual Seminar, Lisbon, 6–7 November 2007.
- DAVIS D., OUDINOT A., SULTANA A. & REEVES S. 2004 — Coal-Seq 2.2: A Screening Model for ECBM Recovery and CO₂ Sequestration in Coal. Topical Report and Users Manual — ARI and US Department of Energy (www.coal-seq.com).
- GLUSKOTER H., MASTALERZ M. & STANTON R. 2002 — The Potential for Carbon Dioxide Sequestration in Coal Beds: New Evidence from Methane and Carbon Dioxide Adsorption Analyses of Coals from Lignite to Anthracite. Coalbed Methane Workshop in Hungary, Presentations, Sept. 23, 25–26. Budapest, CD-ROM.
- JURECZKA J., DOPITA M., GAŁKA M., KRIEGER W., KWARCINŃSKI J. & MARTINEC P. 2005 — Geological Atlas of Coal Deposits of the Polish and Czech Parts of the Upper Silesian Basin — 1:200 000 scale. PiG & Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- KWARCINŃSKI J., ROLKA M., WILK S., HOKSA H., KULESZ E., ŻÓŁCIŃSKI K., PEKAŁA Z., CHEČKO J., HADRO J., KURA K. 2006 — Weryfikacja bazy zasobowej metanu pokładów węgla jako kopaliny głównej na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Arch. CAG Warszawa.
- MAY F. 2003 — CO₂ storage capacity in unminable coal beds i Germany. GESTCO Project report, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- MAZUMDER S., WOLF K.H. 2003 — CO₂ injection for enhanced CH₄ production from coal seams: laboratory experiments and simulations. Proceedings of PETROTECH-2003, New Delhi.
- OSIKA R. (ed.) 1990 — Geology of Poland, volume VI Mineral Deposits. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- PRZENIOSŁO S. (ed.) 2006 — Bilans zasobów kopalini i wód podziemnych w Polsce. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- PAGNIER H., BERGEN VAN F., KRZYSTOLIK P., SKIBA J., JURA B., HADRO J., WENTINK P., DE-SMEDT G., KRETZSCHMAR H.J., FRÖBEL J., MÜLLER-SYRING G., KROOSS B., BUSCH A., WOLF K.-H., MAZUMDER S., BOSSIE-CODREANU D., CHOI X., GRABOWSKI D., HURTEVENT D., GALE J., WINTHAEGEN P., MEER VAN DER B., BRUINING H., REEVES S. & STEVENS S. 2005 — Reduction of CO₂ emission by means of CO₂ storage in coal seams in the Silesian Coal Basin in Poland. Workshop Szczyrk, Poland, March 2005 (abstract book).
- JURA B., KRZYSTOLIK P. & SKIBA J. 2007 — RECOPOP and MOVECBM projects, opportunities and challenges. CO₂NET Seminar, 6–7th November 2008, Lisbon, Portugal.
- TONGEREN VAN P.C.H. & LAENEN B. 2001 — Coalbed methane potential of the Campine Basin (N. Belgium) and related CO₂-sequestration possibilities. GESTCO WP Report, VITO.
- WÓJCICKI A. 2005 — Possibilities on geological sequestration of CO₂ in Poland. CASTOR WP1.2 Geological storage options for CO₂ reduction strategy (CASTOR WP1.2 country report), Archiwum PBG.
- Wójcicki A., Hladik V., Kolejka V., Hamor-Vido M., Hegedus E., Sava C.S., Car M., Markic M., Martinez R., Arenillas A., Suarez I. & Georgiev G. 2007 — The Assessment of CO₂-ECBMR potential in EU GeoCapacity Partner Countries — CO₂NET seminar, Lisbon 6–7th November 2007 (poster).

Praca wpłynęła do redakcji 25.06.2008 r.

Po recenzji akceptowano do druku 28.11.2008 r.

Polecamy:

