

## Spis treści

Spis treści .....	1
1.1.11 OKREŚLENIE OBSZARÓW, NA KTÓRYCH MOŻNA BĘDZIE LOKALIZOWAĆ SKŁADOWISKA CO <sub>2</sub> .....	3
Rejon I - Bełchatów .....	3
Rejon II - GZW .....	7
Rejon III - Mazowsze .....	9
Rejon IV - brzeżna strefa Karpat i Zapadliska Przedkarpackiego .....	12
Kompleks węglanowy .....	12
Kompleksy klastyczne i podsumowanie dla rejonu IV .....	26
Rejon V - Lubelszczyzna (i Podlasie) .....	29
Utwory karbonu .....	29
Utwory kambru .....	33
Rejon VI - Wielkopolska - Kujawy .....	34
Perm .....	34
Mezozoik .....	35
Rejon VII - NW Polska .....	38
Rejon VIII - Łeba-Bałtyk oraz NE Polska .....	43
Złoża węglowodorów .....	47
Pokłady węgla .....	50
Określenie obszarów, na których można będzie lokalizować składowiska CO <sub>2</sub> – rejon GZW i pokłady węgla (1.1.35 - GIG) .....	53
Poziomy solankowe .....	53
Pokłady węgla .....	60
Określenie obszarów, na których można będzie lokalizować składowiska CO <sub>2</sub> – struktury naftowe, konflikty interesów (1.1.36 - INiG) .....	66
Kryteria określające przydatność struktur naftowych na potrzeby geologicznego składowania CO <sub>2</sub> .....	66

Wybór struktur naftowych dla potrzeb sekwestracji w oparciu o uzgodnienia z operatorem złóż – PGNiG S.A. ....	73
PODSUMOWANIE I SEGMENTU (1.1.1 – 1.1.11) .....	82
Cel i zakres prac .....	82
Wyniki prac.....	86

## 1.1.11 OKREŚLENIE OBSZARÓW, NA KTÓRYCH MOŻNA BĘDZIE LOKALIZOWAĆ SKŁADOWISKA CO<sub>2</sub>

Niniejszy rozdział dotyczy podsumowania dotychczas zgromadzonych i opracowanych materiałów (zadania 1.1.1 – 1.1.10), jak również rankingu i rekomendacji struktur dla poszczególnych obszarów i opcji składowania CO<sub>2</sub>. Bilans pojemności po ostatecznej weryfikacji struktur przedstawiono w rozdziale 1.1.2.

### Rejon I - Bełchatów

(Adam Wójcicki i zespoły 1.1.1 – 1.1.10)

Prace dla rejonu I wykonywano w I półroczu 2009 roku i wtedy rozpatrywano poniższe struktury (patrz też rozdziały 1.1.1 i 1.1.2 dla rejonu I oraz **Fig 1.1.11\_1**; sprawa struktury Wojszyce jest omówiona w szczegółach w dalszej części niniejszego podrozdziału). Wytłuszczone są te, które mają potencjał składowania wystarczający dla projektu demonstracyjnego (w projekcie demo CCS Bełchatów zakładano wychwyty 1.8 mln ton CO<sub>2</sub> rocznie, a więc należy przyjąć minimum 45 mln ton przez cały okres życia instalacji), zaś kolejność struktur odpowiada ich rankingowi;

(Wojszyce)<sup>1</sup>

- Budziszewice-Zaosie

- Lutomiersk & Tuszyn

- Kliczków-J

- Jeźów

- Gomunice

- Gidle

Struktura Budziszewice-Zaosie jest najlepiej rozpoznana sejsmiką i otworami i z tego między innymi względu została wybrana do analiz drugiego segmentu (zadania 1.1.14 – 1.1.18). Chociaż najważniejszy kolektor pliensbachu występuje w najwyższej partii (otwór Zaosie-2) na granicy obszaru nadkrytycznego<sup>2</sup>, zawsze jest możliwe zaproponowanie wiercenia na jego skłonie, gdzie mamy głębokości ponad 1 km i wchodzimy poniżej hipotetycznej strefy wydźwignienia solanki.

Struktura Lutomiersk jest bardzo słabo rozpoznana sejsmiką i słabo otworami – określenie jej przydatności wymagałoby nowych prac sejsmicznych (rozpoznawczych, nie monitoringu zerowego). Leży ona przy walnej strefie uskoku i prawdopodobnie możliwa jest migracja zatłaczanego dwutlenku węgla i solanki do

---

<sup>1</sup> Struktura Wojszyce jest formalnie zakwalifikowana do rejonu III (Mazowsze).

<sup>2</sup> W szczycie struktury (głębokość 770 m) CO<sub>2</sub> będzie znajdował się w fazie ciekłej w warunkach ciśnienia nadkrytycznego

rezerwowego GZWP aglomeracji łódzkiej (w przypadku zatłaczania do formacji borucickiej J2/J1; formacja drzewicka wydaje się bezpieczna, ale występuje już dość głęboko).

Struktura Kliczków-J to właściwie odcinek rowu jurajskiego, do którego prawdopodobnie nie da się zatłoczyć zbyt wielkich ilości dwutlenku węgla. Jest ona niedostatecznie rozpoznana (nie była atrakcyjna dla poszukiwań naftowych).

Struktura Tuszyn ma podobną sytuację jak Lutomiersk, z tym że pierwszy kolektor występuje w bajosie (środkowa jura) a drugi w formacji borucickiej.

Struktura Jeżów jest w przypadku kolektorów jury za płytko i nie ma wg sejsmiki dobrego uszczelnienia – możliwe lokowanie jedynie w dolnym triasie.

Struktury Gomunice i Gidle omówiono wcześniej jako mniej perspektywiczne, z uwagi na skomplikowaną tektonikę w ich otoczeniu i niedostateczne rozpoznanie tych obszarów i zjawisk jak na wyrokowanie o ich przydatności. Jako wstępnie wykluczone nie zostały one w ogóle uwzględnione w bilansie potencjału składowania i aplikacji GIS (zadanie 1.1.2)

Struktura Wojszyce leży stosunkowo daleko od Bełchatowa i stąd pierwotnie nie była w ogóle rozpoznawana (jest na pograniczu rejonu I i III). Poza otworami Wojszyce IG-..., które znajdują się na jej NW krańcu tak naprawdę nie ma dla niej rozpoznania otworami (stan na rok 2009 – w roku 2010 odwiercono w ramach projektu demo CCS PGE otwór Kaszewy <sup>3</sup>). Sytuację dodatkowo komplikuje obecność obszaru NATURA 2000 w jej centrum, co utrudniłoby jej rozpoznawanie i ewentualny transport dwutlenku węgla rurociągami (**Fig. 1.1.11\_1**). Podobnie jak Lutomiersk, wymaga ona rozpoznania sejsmicznego i (w szczególności) otworowego, co wykonano w roku 2010 w ramach projektu demo CCS PGE Bełchatów (otwór Kaszewy 1, sejsmikę 2D oraz grawimetrię szczegółową) – struktura Wojszyce okazała się następnie mieć najlepsze parametry geologiczno-złożowe spośród wyżej wymienionych struktur. Ponadto PGE wykonało prace na południowym skraju strefy Lutomiersk-Tuszyn (otwór Pabianice 1, sejsmikę 2D oraz grawimetrię szczegółową), która okazała się (jak antycypowano wcześniej) mniej bezpieczna i pojemna niż struktura Budziszewic, przynajmniej dla zatłaczania takich ilości CO<sub>2</sub> jakie dawałby projekt demonstracyjny CCS PGE Bełchatów.

W momencie zakończenia prac dla rejonu I (połowa 2009 roku) można było jedynie stwierdzić, że jedynie struktura Budziszewice-Zaosie, mimo swoich wszystkich wad, nadaje się do szczegółowego rozpoznania na bazie materiałów archiwalnych przewidzianego w II Segmencie (**Fig. 1.1.11\_2**).

Poza przypadkiem Wojszyc (też wchodzi tu w rachubę koncesja naftowa z, może nieco odległą perspektywą wydobycia węglowodorów – wiercenie w rejonie Kutna, na gaz związany w czerwonym spągowcu, w końcu dało jednak wynik negatywny) nie stwierdzono dla pozostałych istotnych konfliktów interesów.

---

<sup>3</sup> Otrzymano od PGE zgodę na wykorzystanie danych z tego otworu, lecz nie na ich publikację .

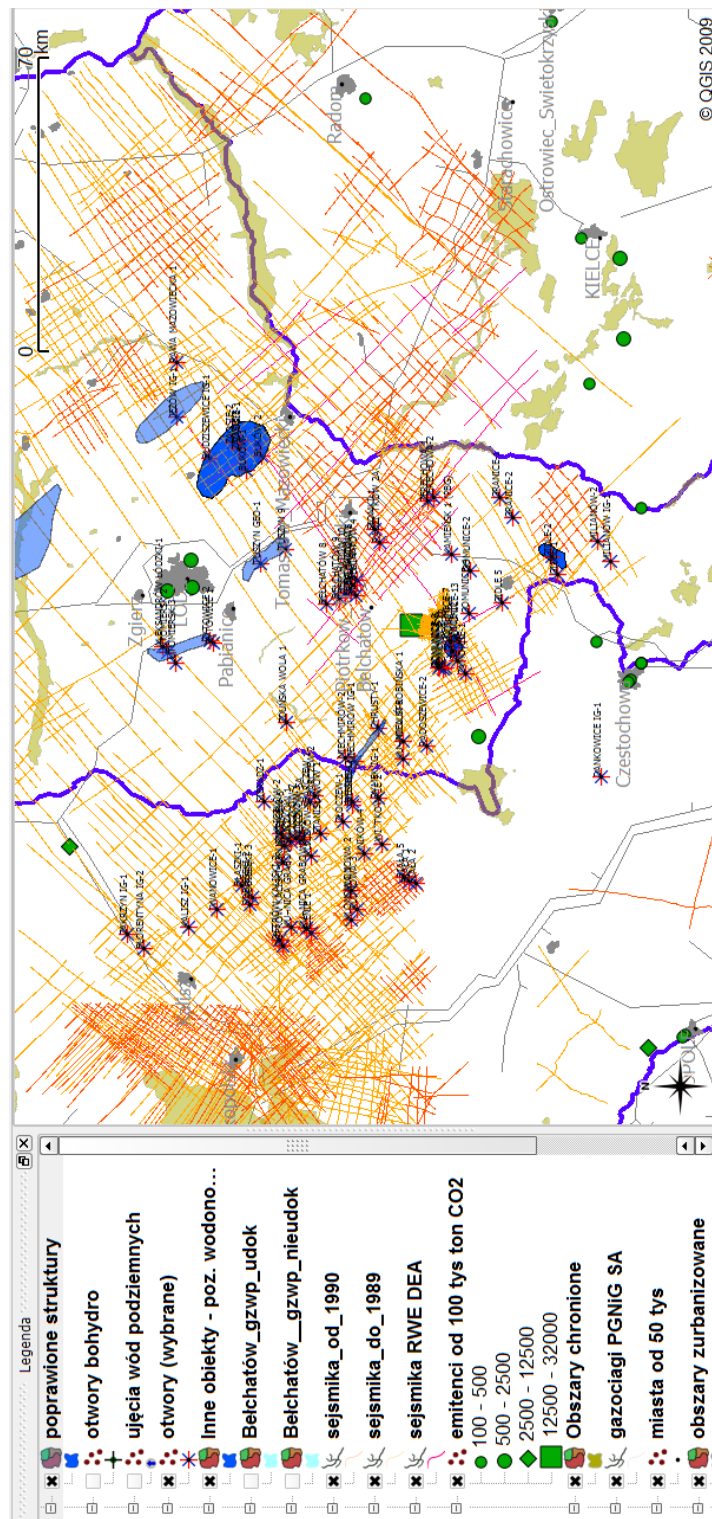


Fig. 1.1.11\_1 Rozpatrywanestruktury

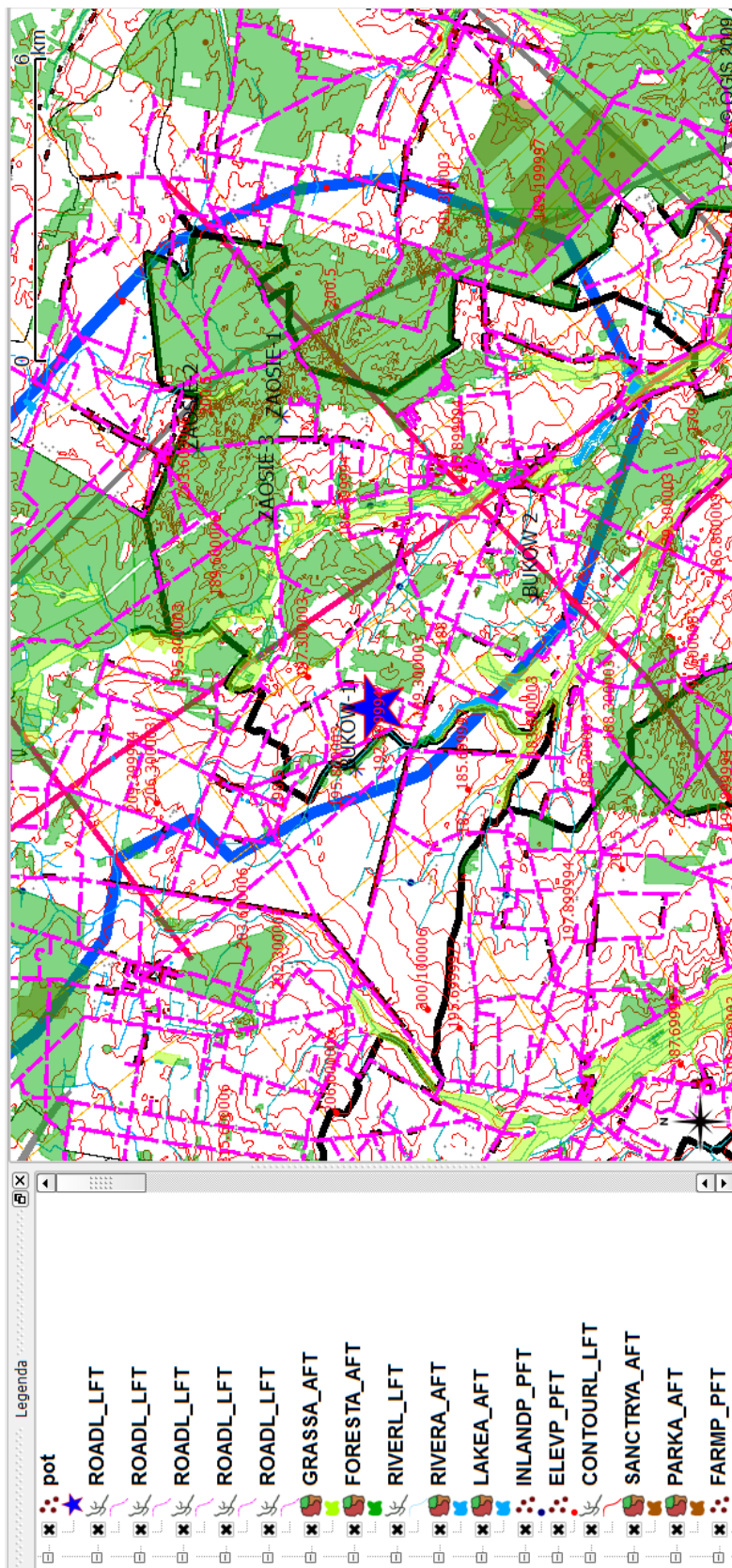
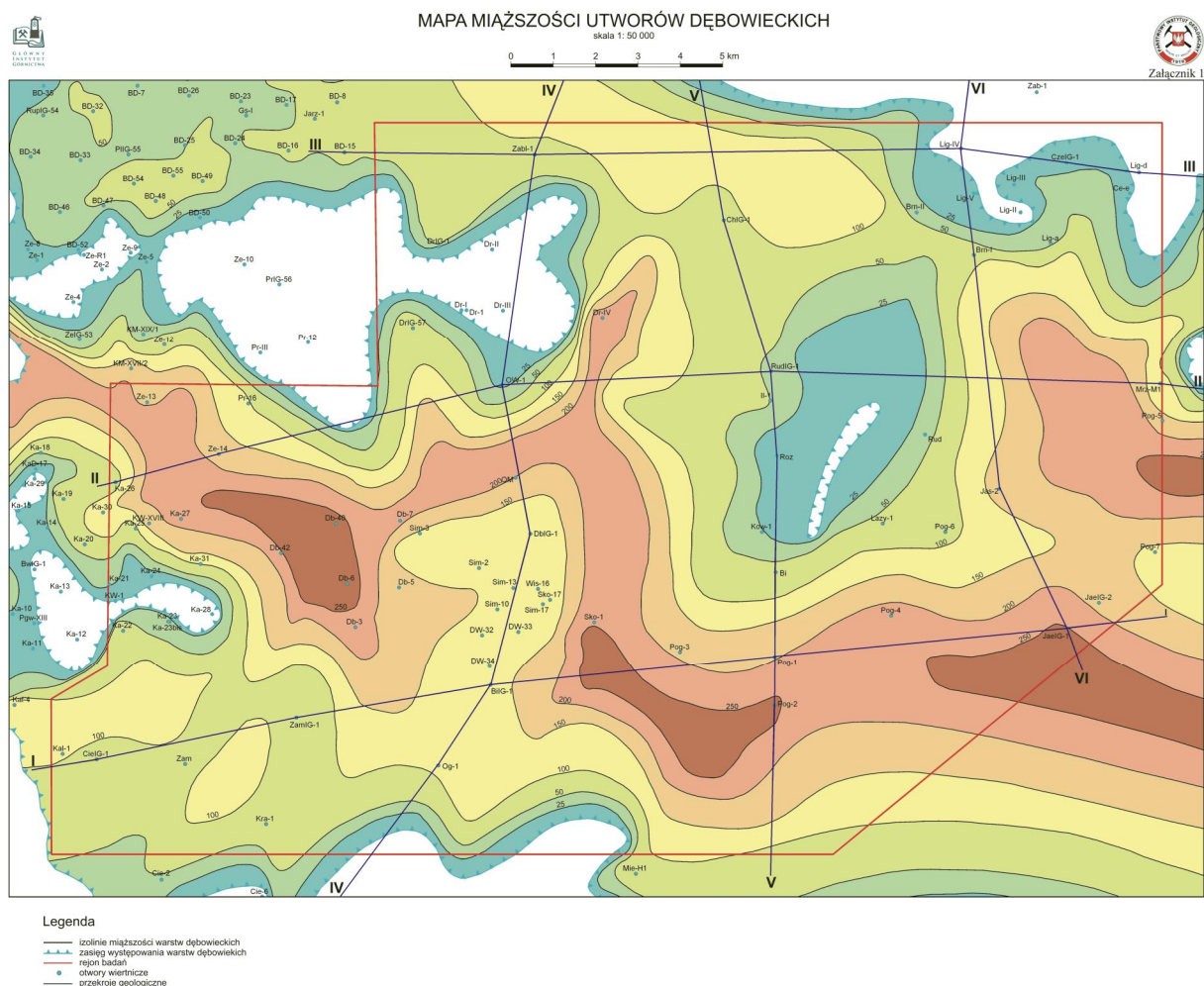


Fig. 1.1.11\_2 Rejon struktury Budziszewice-Zaosie z jednym z możliwych miejsc zatlaczania

## Rejon II - GZW (Janusz Jureczka, Adam Wójcicki)



**Fig. 1.1.11\_3** Wytypowany obszar do geologicznego składowania CO<sub>2</sub> – rejon Cieszyn-Skoczów-Czechowice, zachodnia część obszaru występowania warstw dębowieckich

W rejonie GZW wybrano jako formację perspektywiczną miocenijskie warstwy dębowieckie, charakteryzujące się lepszymi własnościami zbiornikowymi niż formacje karbońskie. W rozdziale 1.1.1 wytypowano dwa obiekty położone są poza obszarami czynnych kopalń węgla kamiennego, a także poza obszarami aktualnie projektowanych kopalń, charakteryzujące się dobrym uszczelnieniem (Skoczów-Czechowice i Kęty-Andrychów). Pierwszy obiekt jest większy (tzn. o większym potencjale składowania) i lepiej rozpoznany niż drugi, a w szczególności charakteryzuje się lepszymi własnościami zbiornikowymi.

Stąd, z punktu widzenia analiz przeprowadzonych w ramach niniejszego raportu (rozdziały 1.1.1 – 1.1.9 dla rejonu II) uznano, że najbardziej odpowiedni do geologicznego składowania wydaje się rejon Cieszyn-Skoczów-Czechowice (**Rys. 1.1.1.11**), który został wybrany jako przedmiot 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 w zadaniu **1.1.35**, wykonanym przez zespół GIG we współpracy z PIG-PIB) w postaci jednego jedynego obiektu możliwego do wykorzystania do składowania CO<sub>2</sub> w poziomach solankowych w rejonie GZW.

Jak podano w zadaniu **1.1.7** i **1.1.35** dla rejonu II możliwe konflikty interesów odnośnie wykorzystania obszaru składowiska dotyczą jego fragmentów pokrytych obszarami NATURA 2000, obszarami zurbanizowanymi czy występujących w jego obrębie niewielkich złóż węglowodorów. Dotyczą one jedynie niezbyt wielkiej części obszaru obiektu Skoczów-Czechowice i zostało to uwzględnione przy typowaniu lokalizacji otworów zatłaczających w II Segmencie (patrz też zadania/rozdziały **1.1.14**, **1.1.15**, **1.1.16**, **1.1.17** i **1.1.18** dla obiektu solankowego w rejonie GZW).

Jeśli chodzi o pojemność obiektu to niestety wystarcza on na potrzeby jednego emitenta średniej wielkości – np. niedużego bloku energetycznego albo małej elektrociepłowni (za mała nawet dla optymalnego wariantu projektu demonstracyjnego CCS PKE&ZAK Kędzierzyn, zarzuconego w 2010 roku, dla którego zgodnie z umową miał być wykonany niniejszy scenariusz i analizy dla rejonu GZW; w instalacji przewidziano wychwyty do 2,8 mln ton, czyli co najmniej 70 mln ton przez cały okres życia zakładu). Stąd ewentualne potrzeby emitentów z rejonu GZW mogłyby być zaspokajane w innych, bardziej odległych rejonach kraju (poziomy solankowe w Polsce centralnej, złoża gazu w południowej Wielkopolsce).



## Rejon III - Mazowsze

(Adam Wójcicki i zespoły 1.1.1 – 1.1.10)

Ostateczna weryfikacja listy znanych struktur w rejonie Mazowsza (**Fig. 1.1.11\_4**) została wykonana w ramach zadania 1.1.2 dla rejonu III, w oparciu o wyniki uzyskane w zadaniach 1.1.1, 1.1.3 – 1.1.9 i informacje zgromadzone w bazie danych (1.1.10). Odrzucono tam definitywnie szereg struktur, dla których były istotne wątpliwości, co do bezpieczeństwa i wykonalności geologicznego składowania CO<sub>2</sub>.

To co pozostało to głównie ciąg sąsiadujących i/lub nakładających się na siebie struktur (na tym samym obszarze mogą występować struktury i w jurze i dolnej kredzie) pomiędzy Warszawa/Puszcą Kampinoską a Płockiem, stąd w zasadzie rejon Mazowsza to rejon Warszawa-Płock z punktu widzenia potrzeb emitentów. Dwie duże elektrociepłownie w Warszawie (Żerań na północy i Siekierki na południu) mają w sumie emisje CO<sub>2</sub> (wg „Interaktywnego atlasu prezentującego możliwości geologicznego składowania CO<sub>2</sub>...”) wynoszące prawie 6 mln ton rocznie. Rafineria w Płocku to emitent podobnej wielkości jak elektrociepłownie w Warszawie łącznie (ponad 6 mln ton CO<sub>2</sub> rocznie).

Dla struktury solankowych w rejonie Mazowsza można z punktu widzenia potrzeb emitentów, pojemności, bezpieczeństwa i wykonalności składowania dokonać następującego rankingu i podać orientacyjne scenariusze składowania:

- antykliny Bielska-Bodzanowa (poziomy solankowe w jurze – dwa sąsiadujące elementy Bielsk i Bodzanów, ponad nimi nierozdzielony element Bielsk-Bodzanów w kredzie dolnej) w sumie o największym potencjale, wystarczającym na potrzeby i Warszawy i Płocka;
- antyklina Sierpca (poziomy solankowe w jurze i dolnej kredzie) o potencjale w zasadzie wystarczającym na potrzeby i Warszawy i Płocka czy ewentualnie Płocka i innych, mniejszych emitentów na położonych na zachód (Włocławek) czy NW (Toruń);
- antyklina Dzierżanowa (dolna kreda), położona niedaleko od Warszawy i w miarę dobrze rozpoznana, o pojemności dostatecznej na potrzeby dwóch elektrociepłowni warszawskich;
- antyklina Kamionek (jura), położona niedaleko Płocka, o pojemności dostatecznej na rafinerii w Płocku;
- antykliny Sochaczewa i Wyszogrodu (dolna kreda), słabiej rozpoznane, każda z nich może stanowić strukturę rezerwową dla Warszawy;
- struktura Żyrów (dolna kreda), o dość małej pojemności, może być użyteczna dla pobliskich małych emitentów z aglomeracji warszawskiej, z tym że jej szczelność wymagałaby szczegółowych badań<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Koreferent (J. Szewczyk, 2013) stwierdził, że z pewnością ma tam miejsce czarno hydrauliczna kreda dolnej jury (ale nie wiadomo czy ta z dolnym trzeciorzędem, gdzie występują wody użytkowe).

Struktura Wojszyc, leżąca na pograniczu rejonów I i III, została uwzględniona powyżej, w podrozdziale dla rejonu Bełchatowa.

Podsumowując, rekomendowany scenariusz dla składowania CO<sub>2</sub> w przypadku dużych emitentów z Warszawy obejmuje wykorzystanie struktury Dzierżanowa, ewentualnie rejonu Bodzanowa struktur Bielsk-Bodzanów albo np. struktury Sochaczewa. Dla Płocka odpowiednie byłoby wykorzystanie rejonu Bodzanowa struktur Bielsk-Bodzanów, albo struktury Sierpca, albo Kamionek.

Jeśli chodzi o konflikty interesów wykorzystania zasobów naturalnych zostały one omówione w rozdziale **1.1.7** dla rejonu III – brak istotnego zagrożenia dla użytkowych wód podziemnych, obszary NATURA 2000 tylko w obrębie jednej struktury, nikłe perspektywy na odkrycie gazu łupkowego na obszarze wytypowanych struktur.



## **Rejon IV - brzeżna strefa Karpat i Zapadliska Przedkarpackiego**

### **Kompleks węglanowy**

**(Józef Chowaniec, Wojciech Ryłko, Robert Patorski, Anna Tomasz, Adam Tomasz)**

Przy typowaniu potencjalnych zbiorników (magazynów) CO<sub>2</sub> należy uwzględnić szereg kryteriów zarówno natury geologicznej jak i bezpieczeństwa środowiska oraz ekonomicznych.

#### **Do kryteriów geologicznych zaliczamy:**

- głębokość zalegania skał zbiornikowych;
- miąższość warstwy zbiornikowej;
- porowatość efektywną;
- przepuszczalność;
- mineralizację wód złożowych
- tektonikę warstw zbiornikowych i nieprzepuszczalnego nadkładu;
- miąższość nadkładu.

Utwory zbiornikowe projektowanego składowiska CO<sub>2</sub> muszą 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).

#### **Kolejnym zespołem kryteriów jest zespół czynników związanych z bezpieczeństwem środowiska.**

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

- bezpieczeństwa składowania,
- oddziaływania na środowisko / „kolizyjności” składowiska

Aby zapewnić bezpieczeństwo składowania CO<sub>2</sub> 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.

Optymalne jest, aby projektowane składowisko CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> i wynikającego z tego zagrożenia, oraz zdecydować o lokalizacji danego składowiska.

### **Przy projektowaniu magazynu CO<sub>2</sub> istotną rolę gra również czynnik ekonomiczny.**

Składowisko powinno się znajdować w optymalnej odległości od emitenta CO<sub>2</sub>. Duża odległość będzie wymagała długiej drogi transportu CO<sub>2</sub>. Wpłynie 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.

### **Selekcja struktur**

Pierwszą wstępną selekcję struktur przydatnych do składowania CO<sub>2</sub> oparto o podstawowe kryteria geologiczne: głębokość zalegania stropu warstwy solankowej na głębokości, co najmniej 1000 m, ale nie większej niż 3000-3200 m oraz występowanie nad jej stropem utworów nieprzepuszczalnych o miąższości nie mniejszej niż 50 m. To ostatnie kryterium jest spełnione w całym regionie IVA, gdyż wszędzie nadkład stanowi kilkusetmetrowa seria ilastych utworów miocenu ( w większości warstwy skawińskie, a dodatkowo w części południowej kompleks utworów fliszowych. Również nieprzepuszczalny ekran stanowią w swojej większości utwory mezozoiku. Przyjęcie tych założeń znacznie ograniczyło możliwości wyznaczenia potencjalnych składowisk w obrębie regionu IVA (zapadlisko przedkarpackie i front Karpat zewnętrznych).

Na podstawie podanych powyżej kryteriów i po określeniu warunków geologicznych, jakie decydują o miejscu składowania oraz po uwzględnieniu aspektów środowiskowych, w tym zwłaszcza uwzględnienia obszarów silnie zurbanizowanych, do dalszych badań zostały wytypowane cztery obszary: pierwszy z nich to rejon (zbiornik) Kalwaria Zebrzydowska, drugi to zbiornik Gdowa, trzeci Niepołomic a czwarty to rejon (zbiornik) Grobli.

Wytypowane obszary charakteryzują się rzadką zabudową i nie kolidują z występującymi na obszarze IVA rezerwatami przyrody. Częściowo jednak, ponad wytypowanymi obszarami na powierzchni terenu występują obszary Natura 2000. Na wytypowanych obszarach, jako warstwę zbiornikową (magazynową) przyjęto utwory dewońsko-karbońskiej serii węglanowej. Jej szczegółowa charakterystyka litologiczno-facjalna i petrograficzno-petrofizyczna przedstawiona została w rozdziałach **1.1.3** i **1.1.5** (Chowaniec et al. 2010a).

W efekcie ostatecznej selekcji, jako najbardziej godne uwagi uznano rejony Niepołomic i Grobli, nazywane dalej „Zbiornik Niepołomic” i „Zbiornik Grobli”.

Położenie tych zbiorników przedstawiono na Mapie Geologicznej Polski w skali 1:200 000 (mapa utworów powierzchniowych) arkusze Tarnów (Jurkiewicz, Woźniński, 1979) i Nowy Sącz (Burtan i in., 1981), oraz Mapie

Hydrogeologicznej Polski 1:200 000 arkusz Nowy Sącz, Tatry Wysokie (Chowaniec i in., 1981) i arkusz Tarnów (Kowalczevska, 1984).

### Zbiornik Niepołomice

Zbiornik Niepołomice zlokalizowany jest w południowej części arkusza Tarnów Mapy Geologicznej Polski 1:200 000 i północnej części Mapy Geologicznej Polski 1:200 000, arkusz Nowy Sącz (**Fig. 1.1.11\_5**). W podobnej pozycji jest on na analogicznych arkuszach Mapy Hydrogeologicznej Polski (**Fig. 1.1.11\_6**).

### Kryteria geologiczne i hydrogeologiczne.

Poziom magazynowy w obrębie tego zbiornika stanowi eifelsko-wizeński kompleks węglanowy<sup>5</sup>, reprezentowany przez wapień oraz dolomity, z przeławiczeniami margli, iłowców, brekcji wapiennych i silikoklastyków. Utwory te są wykształcone w dwóch facjach, platformowej i basenowej. Obie te facje często przeplatają się w profilach, w niektórych przypadkach cały profil kompleksu węglanowego jest reprezentowany przez jedną z nich. Kompleks węglanowy leży na ogół zgodnie na silikoklastykach dewonu dolnego, tylko niekiedy w jego podłożu znajdują się utwory starszego paleozoiku. Bezpośredni nadkład kompleksu węglanowego stanowią utwory jury lub permu. Jego miąższość waha się w szerokich granicach, od kilkuset do prawie dwóch tysięcy metrów. Na tych utworach zalega kilkusetmetrowa seria ilastych utworów miocenu.

Poziom magazynowy rozpoznany został ośmioma otworami zlokalizowanymi na obszarze zbiornika (**Tabela 1.1.11\_1**).

**Tabela 1.1.11\_1** Parametry otworów dla zbiornika Niepołomice

Nazwa otworu	współrzędne			Okres wykonania	Gł. Końcowa (m)	Poziom zbiornikowy			zarurowanie	Stan obecny
	x	y	z (m)			Strop (m)	Spąg (m)	stratygrafia		
Niepołomice 3	4448080,0	5546750,0	190,0	VIII-XII.1966	2031,5	876,0	1955,0	D <sub>2+3</sub>	Rury 13 3/8"-122,0m cementowane do wierzchu 9 5/8"-722,0m cementowane do wierzchu	zlikwidowany
Niepołomice 11	4445500,0	5544750,0	195,0	XII.1965-IV.1966	1980,0	885,0	1765,0	D <sub>2+3</sub>	Rury 13 3/8"-144,5m cementowane do wierzchu 9 5/8"-682,7m cementowane do 361,5	zlikwidowany
Puszcza 1	4453840,0	5545950,0	201	IX.1960-I.1961	1202,0	905,0	1202,0	D <sub>2+3</sub>	Rury 13 3/8"-14,0m cementowane do wierzchu 9 5/8"-105,8m cementowane	zlikwidowany
Puszcza 4	4454150,0	5543450,0	211,0	VI-X.1962	1196,4	1095,0	1196,4	D <sub>2+3</sub>	Rury 6 5/8"-114,0m cementowane do wierzchu 4 1/2"-1125,0m cementowane	zlikwidowany
Puszcza 14	4452220,0	5549470,0	190,0	-	1642,0	801,0	1510,0	D <sub>2+3</sub>	-	-
Tropiszów 1	4443730,0	5552360,0	202,0	-	1932,3	755,0	1932,3	D <sub>2+3</sub>	-	-
Wyciąże 1	4441650,0	5547550,0	193,0	XI.1965-III.1966	2000,0	782,5	1867,0	D <sub>2+3</sub>	Rury 13 3/8"-151,5m cementowane do wierzchu 9 5/8"-573,0m	zlikwidowany
Wyciąże 4	4438300,0	5547400,0	192,0	IX.1965-II.1966	1850,0	1673,0	1724,0	D <sub>2+3</sub>	Rury 13 3/8"-27,0m cementowane do wierzchu 9 5/8"-263,0m 6 5/8" cementowane od 800,0m wierzchu	zlikwidowany

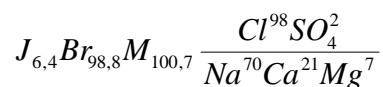
<sup>5</sup> Mamy tu, podobnie jak dla zbiornika Grobla, miąższość nadkładu mioceńskiego a także nasunięcia karpaccie, które stanowi dobrą barierę. Natomiast górna jura nie posiada dobrego, podstawowego uszczelnienia (dolna kreda obejmuje kolektory, a lokalnie zbiorniki wód śródkich).

Strop poziomu węglanowego zalega na głębokościach od 755.0 m (Tropiszów 1) do 1673.0 m (Wyciąże 4), jego spąg zalega odpowiednio na głębokościach 1196.4 m (Puszcza 4) do 1955.0 m (Niepołomice 3). Powierzchnie stropu i spągu tego poziomu aproksymowano w programie Surfer metodą kriginu i „inverse distance” (Fig. 1.1.11\_7). Jego miąższość zawsze przekracza 50.0 m na ogół osiągając wartości kilkuset metrów.

Porowatość skał tego kompleksu określona laboratoryjnie na próbkach rdzeni wiertniczych nie przekracza na ogół 5%, rzadko osiągając 10%. Takie wartości nie kwalifikują tych utworów, jako poziomy zbiornikowe. Stoi to jednak w sprzeczności z wynikami przypiływów uzyskanych w rejonie Nosówek (złoże ropy), Jachówki i Lachowic, gdzie z utworów o podobnych parametrach uzyskano istotne przypiływy mediów. W kolektorach o charakterze szczelinowatym, mikroszczelinowatym, a często kawernistym, wartości tych parametrów określone laboratoryjnie często w istotny sposób odbiegają od rzeczywistych. Sytuacja taka prawdopodobnie jest wynikiem specyfiki prób do badań laboratoryjnych. Pobrane zostają najbardziej zwarte części rdzenia, które nie uległy destrukcji. Oznaczone tak porowatości przepuszczalności są bardzo niskie i nie odpowiadają rzeczywistym parametrom poziomu. Rzeczywiste wartości tych parametrów uzyskać można w wyniku hydrogeologicznego opróbowania poziomu (próbné pompowania, zatłaczanie), lub interpretacji profilowań geofizyki wiertniczej.

Chemizm wód (Chowaniec J., 2010b) występujących w osadach poziomu zbiornikowego (dewońsko-karbońskiego poziomu węglanowego) rozpoznany został względnie dokładnie.

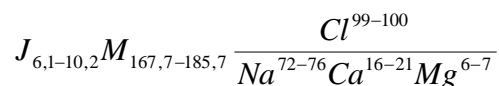
Uśredniony skład chemiczny poziomu dewońskiego jest następujący



Wody w dewonie występują na głębokości od 700 m do 3168 m, średnio na głębokości 1717,9 m.

Mineralizacja ogólna tych wód wynosi od 1,5 g/l do 214,5 g/l. Na podstawie średniego składu chemicznego wody dewońskie można zaliczyć do solanek jodowo-bromowych chlorkowo-sodowo-wapniowych (wg Szczukarewa). W klasyfikacji Sulina są to wody chlorkowo-wapniowe, należące do klasy Cl-Ca III wg L. Bojarskiego (1970). Średnia wartość stosunku  $\frac{rSO_4 \cdot 100}{rCl}$  wynosi 2,3, natomiast Br:Cl wynosi 0,0016.

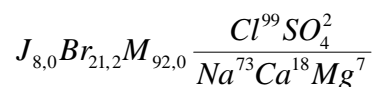
Najsilniej zmineralizowane wody w dewonie znane są z wierceń: Niepołomice-11 i Grobla-28 gdzie występują na głębokościach od 1767 do 2156 m.



Przy niższych mineralizacjach są to wody chlorkowo-sodowe, przy wyższych chlorkowo-sodowo-wapniowe. Według Sulina należą one do chlorkowo-wapniowych, klasa Cl-Ca III wg L. Bojarskiego (1970). Strefowość hydrochemiczna podobna do opisaną występuje również w obszarze położonym na NE od Krakowa, w rejonie Raclawice – Skalbmierz - Kazimierza Wielka

Chemizm wód karbońskich rozpoznano niezbyt licznymi wierceniami, usytuowanymi głównie w W części zapadliska. W synklinorium miechowskim istnieją tylko nieliczne analizy wód z karbonu.

Uśredniony skład chemiczny jest następujący



Mineralizacja ogólna zmienia się od 4,6 do 170,1 g/l.

Zbiornik Niepołomice ograniczony jest ze wszystkich stron dyslokacjami szczególnie dobrze widocznymi na mapie strukturalnej spągu kompleksu dewońsko karbońskich skał węglanowych (J. Chowaniec et al. 2010a; rozdział 1.1.4, rejon IVa) oraz na mapie geologiczno-strukturalnej stropu paleozoiku. Od zachodu zbiornik ten ograniczony jest strefą rozłamową Lubliniec Kraków (L-K). Widoczne jest podniesienie strefy Niepołomic w stosunku do przylegającego do niej od zachodu rowu Liplasu. Wzdłuż strefy tektonicznej Lubliniec-Kraków zrzut w kierunku zachodnim w obrębie kompleksu węglanowego wynosi 700m. Ku górze wielkość tego zrzutu wygasa osiągając w spągu utworów jurajskich 50 m i nie przekraczając 25 m w stropie tych utworów. Uskok ten całkowicie wygasa w stropie utworów platformowych. Od góry przykryty jest siedmuset metrowym uszczelniającym kompleksem utworów neogenu. Na tej granicy tektonicznej możliwy jest kontakt zbiornika Niepołomice z utworami permotriasu rowu Liplasu, również mogącego stanowić potencjalny zbiornik.

Wschodnią granicę Zbiornika Niepołomice stanowi podniesienie Puszczy. Ma ona również charakter tektoniczny dużej dyslokacji. Kompleks węglanowy zbiornika kontaktuje z utworami ediakaru podniesienia (horstu) Puszczy. Strefa dyslokacyjna ograniczająca od południowego zachodu horst Puszczy zaznacza się w obrębie utworów ediakaru, kambru, węglanowego kompleksu dewońskiego i sięga aż po utwory permotriasu. Miąższości utworów jury stwierdzone w otworach Puszcza 3 i Puszcza 4 wykluczają jej kontynuowanie się wyżej w utworach jurajskich. Opierając się na wynikach otworów Puszcza 3, Mikuszowice 1 i Strzelce Wielkie 1 możemy przyjąć, że wielkość wyniesienia utworów ediakaru w obrębie podniesienia Puszczy w stosunku do otworu Strzelce Wielkie 1 wynosi około 2700m. Dyslokacja ta ma charakter uszczelniający. Północną granicę Zbiornika Niepołomice wyznacza dyslokacja o przebiegu SW-NE. Na północ od niej znajdują dwie duże struktury. Bardziej zachodnia to horst Rzeszotar, bardziej wschodnia to obniżenie Marszowic. Wzdłuż tej dyslokacji utwory prekambru zrzucone są ku południowi o 1000 m. Dyslokacja ta wygasa w spągu utworów jurajskich. Wyraźnie widać, że odgrywa ona rolę uszczelniającą.

Południową granicę zbiornika Niepołomice stanowi dyslokacja Sobniów – Czchów o przebiegu NWW - SEE. Na północ od tej dyslokacji, w obrębie zbiornika, następuje wyraźne podniesienie utworów paleozoiku. Wielkość podniesienia ocenić można na 800m. Dyslokacja ta nie sięga wyżej, przemieszcza ona jedynie utwory paleozoiku. W południowej części zbiornika, na północ od dyslokacji Sobniów-Czchów następuje systematyczne podnoszenie się kompleksu węglanowego, wzdłuż szeregu dyslokacji niższego rzędu. W części podkarpackiej zbiornika, pomimo jego zdyslokowania mamy do czynienia z korzystną sytuacją uszczelniającą. Składają się na to dwa składniki. Po pierwsze dyslokacje nie przechodzą poza utwory paleozoiku, po drugie istnieje miąższy kompleks utworów ekranujących składający się z utworów jury platformowej, osadów neogenu autochtonicznego, osadów neogenu allochtonicznego-jednostki zgłobickiej oraz utworów fliszu karpackiego. Na obszarze pozakarpacim zbiornika sytuacja się komplikuje. Dyslokacje



obecne poprzednio jedynie w paleozoiku kontynuują się wyżej, dochodząc aż do spągu neogenu. Kompleksem uszczelniającym są tu jedynie utwory neogenu autochtonicznego o miąższości rzędu 750-300m.

#### **Kryteria związane z bezpieczeństwem środowiska.**

W północnej części zbiornika Niepołomice (**Fig. 1.1.11\_5**) dominują na powierzchni lessy i lessy piaszczyste. Centralną część zajmują utwory den dolinnych rzek Wisły i Raby. W najbardziej południowej części występują utwory fliszu karpackiego z czwartorzędowymi pokrywami lessowymi. W podłożu tych utworów występuje kilkusetmetrowej miąższości kompleks mioceńskich utworów molasowych stanowiących doskonałe uszczelnienie.

Z punktu widzenia hydrogeologicznego obszar zbiornika w części północnej obejmuje (**Fig. 1.1.11\_6**) region pierwszego rzędu przedkarpacki XXII, podregion tarnowski XXII 5 – rejon Brzeska Nowego-Niepołomic XXII 5A. W części południowej jest to region karpacki XXIII, a ściślej podregion zewnątrz karpacki XXIII 1.

Zbiornik Niepołomice zlokalizowany jest bezpośrednio na wschód od aglomeracji krakowskiej (**Fig. 1.1.11\_8**) i na północny zachód od Bochni. Obszar zbiornika przecinają: linia kolejowa Kraków-Przemyśl, droga krajowa E5 oraz autostrada A4. Centralną część obszaru zbiornika zajmuje Puszcza Niepołomicka zaliczana do obszaru Natura 2000 OSO (PLB1200002).

Na terenie zbiornika znajduje się osiem zlikwidowanych otworów wiertniczych sięgających poziomu zatafczania (tab. 1.1.11\_1). W tabeli podano ich lokalizacje, okres ich wykonania, zarurowanie, sposób zacementowania i likwidacji.

#### **Czynniki ekonomiczne.**

Obszar proponowanego zbiornika obejmuje 268,9 km<sup>2</sup>. Potencjalnymi użytkownikami zbiornika Niepołomice mogą być: Mittal Steel Poland S.A. Oddział Kraków, Elektrociepłownia Kraków S.A., Elektrownia Skawina S.A.

Odległości od potencjalnych emitentów, CO<sub>2</sub> do rejonu optymalnego odprowadzenia wynoszą odpowiednio w linii prostej:

Mittal Steel Poland S.A. Oddział Kraków – 13 km

Elektrociepłownia Krakow S.A. – 20 km

Elektrownia Skawina S.A. – 30 km.

Ze względu na dobrze rozwiniętą sieć kolejową i drogową istnieje możliwość transportu skroplonego dwutlenku węgla cysternami.

Na terenie zbiornika, w południowej jego części znajduje się duży obszar górniczy Łęzkowic-Bochni.

## Zbiornik Grobla

Zbiornik Grobla praktycznie w całości zlokalizowany jest w obrębie arkusza Tarnów Mapy Geologicznej Polski 1:200 000 (**Fig. 1.1.11\_5**). W podobnej pozycji jest on na analogicznym arkuszu Tarnów Mapy Hydrogeologicznej Polski (**Fig. 1.1.11\_6**).

### Kryteria geologiczne i hydrogeologiczne.

Poziom magazynowy w obrębie tego zbiornika litologicznie wykształcony jest analogicznie jak w przypadku zbiornika Niepołomice'

Poziom magazynowy rozpoznany został trzynastoma otworami zlokalizowanymi na obszarze zbiornika (**Tabela 1.1.11\_2**).

**Tabela 1.1.11\_2** Parametry otworów dla zbiornika Grobla

Nazwa otworu	współrzędne			Okres wykonania	Gł. Końcowa (m)	Poziom zbiornikowy			zarurowanie	Stan obecny
	szer	dł	wys n.p.m (m)			Strop (m)	Spąg (m)	stratygrafia		
Grobla 1	4459678,0	5555570,0	182.5	IV-XII.1961	1338.9	1246.0	1338.9	C <sub>1</sub>	Rury 9 5/8"-201.5m cementowane do wierzchu	zlikwidowany
Grobla 28	4460096,0	5553839,0	182.5	VI.1966-V.1967	3005.0	1109.5	3005.0	C <sub>1</sub> +D <sub>2+3</sub>	Rury 13 3/8"-253.0m cementowane do wierzchu 9 5/8"-1305.0 cementowane do wierzchu 6 5/8"-2451.0m cementowane do 1300.0m 4 1/2" cementowane w int. 2993.0-2752.0m	zlikwidowany
Grobla 33	4457400,0	5553900,0	180.0	XII.1967-III.1968	1210.0	-	-	C <sub>1</sub>	Rury 9 5/8"-145.0 cementowane do wierzchu 6 5/8"-597.0m cementowane do 1300.0m 4 1/2"-1204 cementowane	zlikwidowany
Grobla 34	4461648,0	5553040,0	182,0	-	803,0	-	-	J <sub>3</sub>	-	zlikwidowany
Grobla 36	4461113,0	5550510,0	184,5	-	799,0	-	-	J <sub>3</sub>	-	zlikwidowany
Grobla 49	4461915,0	5552210,0	184,0	IX-X.1964	771.1	-	-	J <sub>3</sub>	Rury 9 5/8"-147.3 cementowane do wierzchu 5 1/2"-597.0m cementowane do wierzchu	zlikwidowany
Grobla 89	4460713,0	5552930,0	183,0	IV.1966	702.5	-	-	J <sub>3</sub>	Rury 6 5/8"-154.0 cementowane do wierzchu 4 1/2"-664.5m cementowane do wierzchu	zlikwidowany
Dziewin 2	4462002,0	5549730,0	187,7	III.1965-IV.1966	3005.8	1203.0	3005.8	C <sub>1</sub> +D <sub>2+3</sub>	Rury 13 3/8"-259.3m cementowane do wierzchu 9 5/8"-1249.2 cementowane do wierzchu 6 5/8"-2487.6m cementowane do 1460.0m	zlikwidowany
Strzelce Wielkie 1	4465342,0	5552586,0	183,3	-	3850,0	2416,0	3718,0	C <sub>1</sub> +D <sub>2+3</sub>	-	zlikwidowany
Szczurowa 11	4474455,0	5557132,0	177,7	-	1714,0	1582,0	1714,0	D <sub>2+3</sub>	-	zlikwidowany
Rajsko 3	4471756,0	5553046,0	180,0	-	2500,0	1525,0	2468,0	D <sub>2+3</sub>	-	zlikwidowany
Waryś 5	4481132,0	5548095,0	191,0	-	1986,0	1665,0	1766,0	D <sub>2+3</sub>	-	zlikwidowany
Łętowice 20	4481577,0	5543038,0	204,2	-	2299,0	1888,0	2266,0	D <sub>2+3</sub>	-	zlikwidowany

Strop poziomu węglanowego zalega na głębokościach od 1109,5 m (Grobla 28) do 2416,0 m (Strzelce Wielkie 1), jego spąg zalega odpowiednio na głębokościach 1338,9 m (Grobla 1) do 3718,0 m (Strzelce Wielkie 1). Powierzchnie stropu i spągu tego poziomu aproksymowano w programie Surfer metodą krigingu i „inverse distance” (**Fig. 1.1.11\_9**) Jego miąższość zawsze przekracza 50.0 m na ogół osiągając wartości kilkuset metrów.

Porowatość i przepuszczalność kompleksu są analogiczne jak w przypadku zbiornika Niepołomice.

Chemizm wód złożowych jest identyczny jak w zbiorniku Niepołomice. Zbiornik Niepołomice i Zbiornik Grobla SA od siebie oddzielone podniesieniem podłoża „horst Puszczy”

Zbiornik Grobla obejmuje otwory dewońsko-karbońskiego kompleksu węglanowego. Na obszarze proponowanego zbiornika spąg dewońsko-karbońskiego kompleksu węglanowego zalega na głębokościach od 3400 m do 1600 m. W centrum zbiornika w stropie dewońsko-karbońskiego kompleksu węglanowego pojawiają się utwory kulmu i permu. Od zachodu zbiornik ten ograniczony jest wyniesieniem Puszczy. Wyniesienie to ma charakter horstu, na którym brak utworów paleozoicznych. Kontakt zbiornika Grobla z podniesieniem Puszczy możemy prześledzić na przekrojach geologicznych II-II' i IX-IX' (Chowaniec i in., 2010). Na przekroju IX-IX' granicą tą jest pionowa dyslokacja sięgająca aż utworów kredy. Utwory ediakaru, stanowiące spąg zbiornika wzdłuż tej dyslokacji są zrzucone ku wschodowi o 2600 m. Wielkość zrzutu stwierdzono na podstawie zalegania stropu utworów ediakaru w otworach Mikłuszowice 1 i Strzelce Wielkie 1. Wielkość zrzutu ku górze wygasa. W utworach jury wynosi ona około 170m. Potwierdzają to wyniki otworów Dziewin 2 i Strzelce Wielkie 1. W nadkładzie tej dyslokacji zalegają utwory miocenu o miąższości 550 m.

Na przekroju geologicznym II-II,' o kierunku SWW-NEE, utwory ediakaru ulegają również zrzutowi ku wschodowi o 1800m. Dyslokacja ta jak wszystkie inne wygasa ku górze. W utworach mezozoiku obserwowany zrzut jest znikomy, nie większy niż 50 m. Pokrywa mioceńska w tym miejscu ma miąższość 250 m.

Wschodnią granicę zbiornika Niepołomice stanowi wielka strefa dyslokacyjna Tarnów-Radłów-Dobiesławice (T-R-D) o kierunku NW-SE. W części północno-wschodniej zbiornika jego ograniczeniem jest również podniesienie Kwikowa w obrębie, którego na utworach ediakaru zalegają bezpośrednio osady mezozoiku. (jura i kreda). Granicę tą możemy prześledzić na przekrojach geologicznych IX-IX' oraz VIII-VIII' (Chowaniec i in., 2010a; rozdział 1.1.4, rejon IVa). Na przekroju IX-IX', wzdłuż dyslokacji Tarnów-Radłów-Dobiesławice obserwujemy zrzut utworów ediakaru ku południowemu zachodowi, w stosunku do otworu Kwików 1 rzędu 525 m. Dyslokacja ta w utworach mezozoiku charakteryzuje się znacznie mniejszym zrzutem rzędu 75 m. Dalej ku górze dyslokacja ta wygasa w spągu utworów neogenu. Miąższość utworów neogenu nad dyslokacją wynosi 525 m. Dokumentuje to otwór Szczurowa 11. Na przekroju VIII-VIII' obserwujemy wzdłuż tej dyslokacji, w jej południowo zachodnim skrzydle, obserwujemy podniesienie dewońsko-karbońskiego kompleksu węglanowego o 800 m, w stosunku do skrzydła północno-wschodniego. Ku górze dyslokacja ta przedłuża się w utwory jury i kredy. Utwory jurajskie w skrzydle południowo-zachodnim są w przeciwieństwie do utworów paleozoiku zrzucone. Wielkość zrzutu wynosi 75 m. Porównując kierunki pionowych przesunięć na przekrojach IX-IX' i VIII-VIII' należy przyjąć, iż uskok ten ma charakter nożycowy. Tym samym rozwarcie uskoku następuje w kierunku południowo wschodnim.

Granica północna zbiornika Grobla przebiega wzdłuż równoleżnikowej dyslokacji łączącej północne zworniki podniesień Puszczy (na zachodzie) i Kwikowa (na wschodzie). Granica południowa zbiornika Grobla przebiega wzdłuż dyslokacji Brzesko-Wierzchosławice (B-W) o kierunku zbliżonym do równoleżnikowego. Dyslokację tą można prześledzić wzdłuż przekroju geologicznego poprzecznego 8-8' (Chowaniec i in., 2010a; rozdział 1.1.4, rejon IVa). Dyslokacja ta zdaje się być południowym ograniczeniem, rozumianego w szerszym niż dotychczas zakresie, podniesienia Kwikowa. Południowo-wschodnie skrzydło tej dyslokacji jest zrzucone o około 350 m. Z przekroju tego (8 –8') wynika, że znajdujemy się już w marginalnej południowo-wschodniej części zbiornika Grobla. Miąższość dewońsko-karbońskiego kompleksu węglanowego spada tu do około 100

m. Centrum zbiornika jest pocięte szeregiem drugorzędnych dyslokacji o nieregularnym, chaotycznym przebiegu. Dyslokacje te zaznaczają się głównie w utworach ediakaru i paleozoiku. W mezozoiku ulegają one stopniowemu wygastaniu. Nie obserwuje się ich w stanowiących ekran utworach neogenu.

#### **Kryteria związane z bezpieczeństwem środowiska.**

Na obszarze zbiornika Grobla (**Fig. 1.1.11\_5**) dominują na powierzchni utwory den dolinnych rzek Wisły i Raby wcinające się w pokrywy czwartorzędowych glin lodowcowych. W najbardziej południowej części występują utwory fliszu karpackiego z czwartorzędowymi pokrywami lessowymi. W podłożu tych utworów występuje kilkusetmetrowej miąższości kompleks mioceńskich utworów molasowych stanowiących doskonałe uszczelnienie.

Z punktu widzenia hydrogeologicznego obszar zbiornika w części północnej obejmuje (**Fig. 1.1.11\_6**) region pierwszego rzędu przedkarpacki XXII, podregion tarnowski XXII 5 – rejon Brzeska Nowego-Niepołomic XXII 5A.

Zbiornik Grobla zlokalizowany jest bezpośrednio na północ od Brzeska (**Fig. 1.1.11\_8**) i na północny zachód od Tarnowa. Obszar zbiornika, w jego południowej części, przecinają: linia kolejowa Kraków-Przemyśl, droga krajowa E4 oraz autostrada A4.

W rejonie wyznaczonego zbiornika (**Fig. 1.1.11\_8**) mamy do czynienia z obszarami Natura 2000 OSO i SOO. Do obszaru Natura 2000 OSO należy najbardziej północno-wschodnia część Puszczy Niepołomickiej (PLB1200002). Naturę 2000 SOO reprezentują dwa rejony. Pierwszy z nich to dolina rzeki Gróbki (PLH120067), drugi to rejon „Koło Grobli” (PLH120008).

Na terenie zbiornika znajduje się trzynaście zlikwidowanych otworów wiertniczych sięgających poziomu zatłaczania (tab. 1.1.11\_2). W tabeli podano ich lokalizację, okres ich wykonania, zarurowanie, sposób zacementowania i likwidacji.

#### **Czynniki ekonomiczne.**

Obszar proponowanego zbiornika obejmuje 422,4 km<sup>2</sup>. Potencjalnymi użytkownikami zbiornika Grobla mogą być: Zakłady Azotowe w Tarnowie-Mościskach S.A.

Odległości od potencjalnego emitenta CO<sub>2</sub> do rejonu optymalnego odprowadzenia wynosi odpowiednio w linii prostej około 40 km

Ze względu na dobrze rozwiniętą sieć kolejową i drogową istnieje możliwość transportu skroplonego dwutlenku węgla cysternami.

Na terenie wydzielonego zbiornika Grobla znajduje się osiem obszarów górniczych. Są to obszary:

Grobla 2 – stan aktualny

Grądy Bocheńskie – Borek - stan aktualny

Dąbrówka - stan aktualny

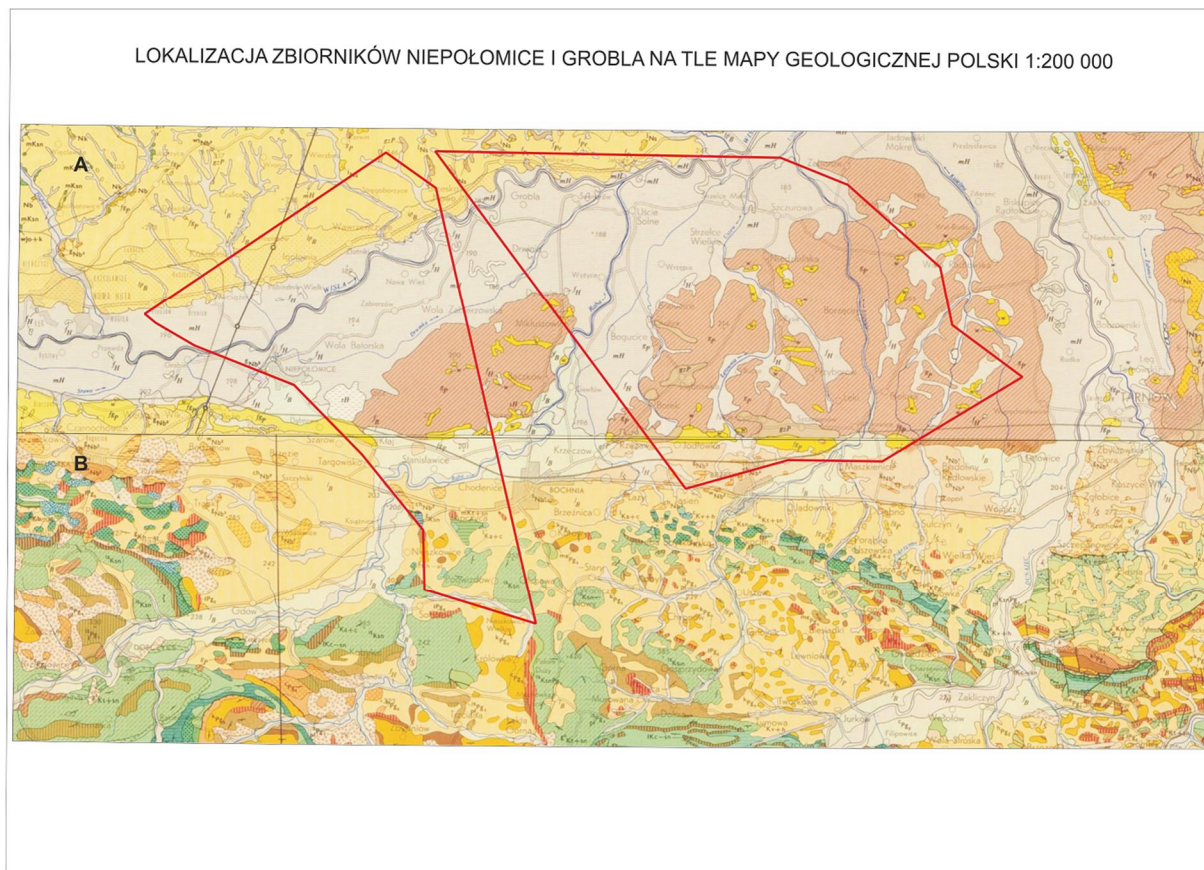
Rysie i stan aktualny

Rajsko - stan aktualny

Rylowa - stan aktualny

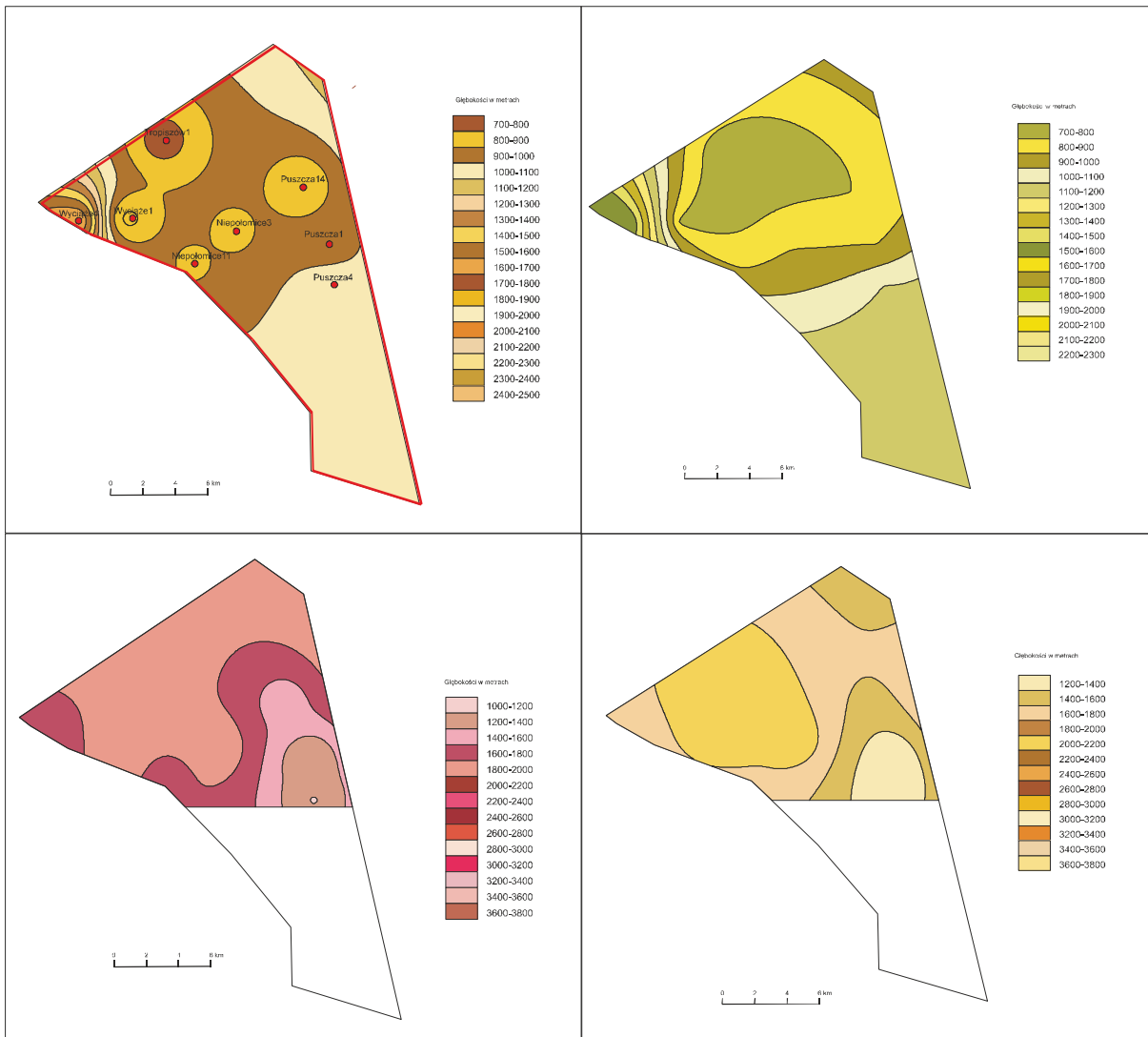
Szczepanów-2 - stan aktualny

Łązy - stan aktualny



**Fig. 1.1.11\_5** Lokalizacja zbiorników Niepołomice i Grobla na tle Mapy Geologicznej Polski 1:200 000, Mapa utworów powierzchniowych, arkusze Tarnów (A) i Nowy Sącz (B)





**Fig. 1.1.11\_7** Zbiornik Niepołomice – Strop (górną) i spąg (dół) powierzchni poziomego zbiornikowego aproksymowane odpowiednio metodą „Inverse distance” (lewa strona) i "Kriging" (prawa strona)

LOKALIZACJA ZBIORNIKÓW NIEPOŁOMICE I GROBLA NA TLE SZKICU ADMINISTRACYJNO GOSPODARCZEGO

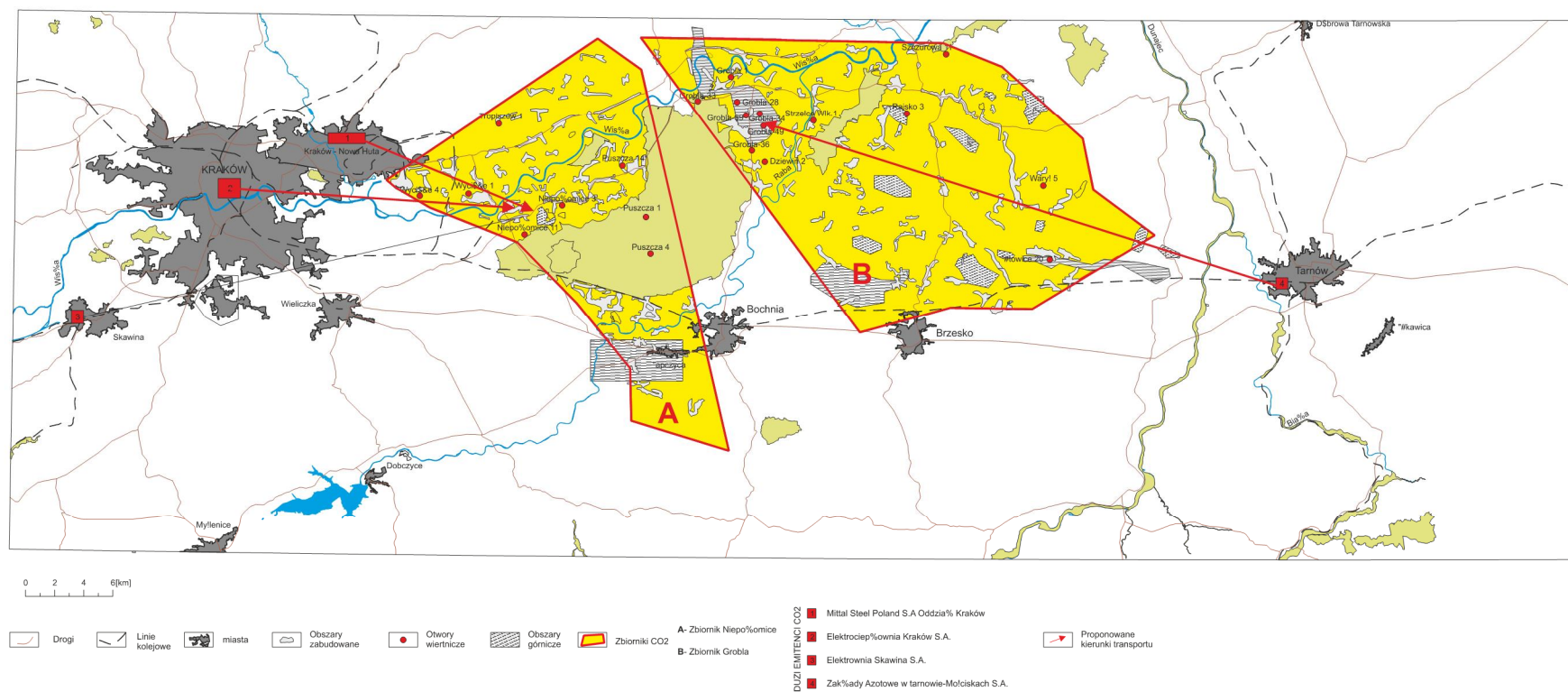
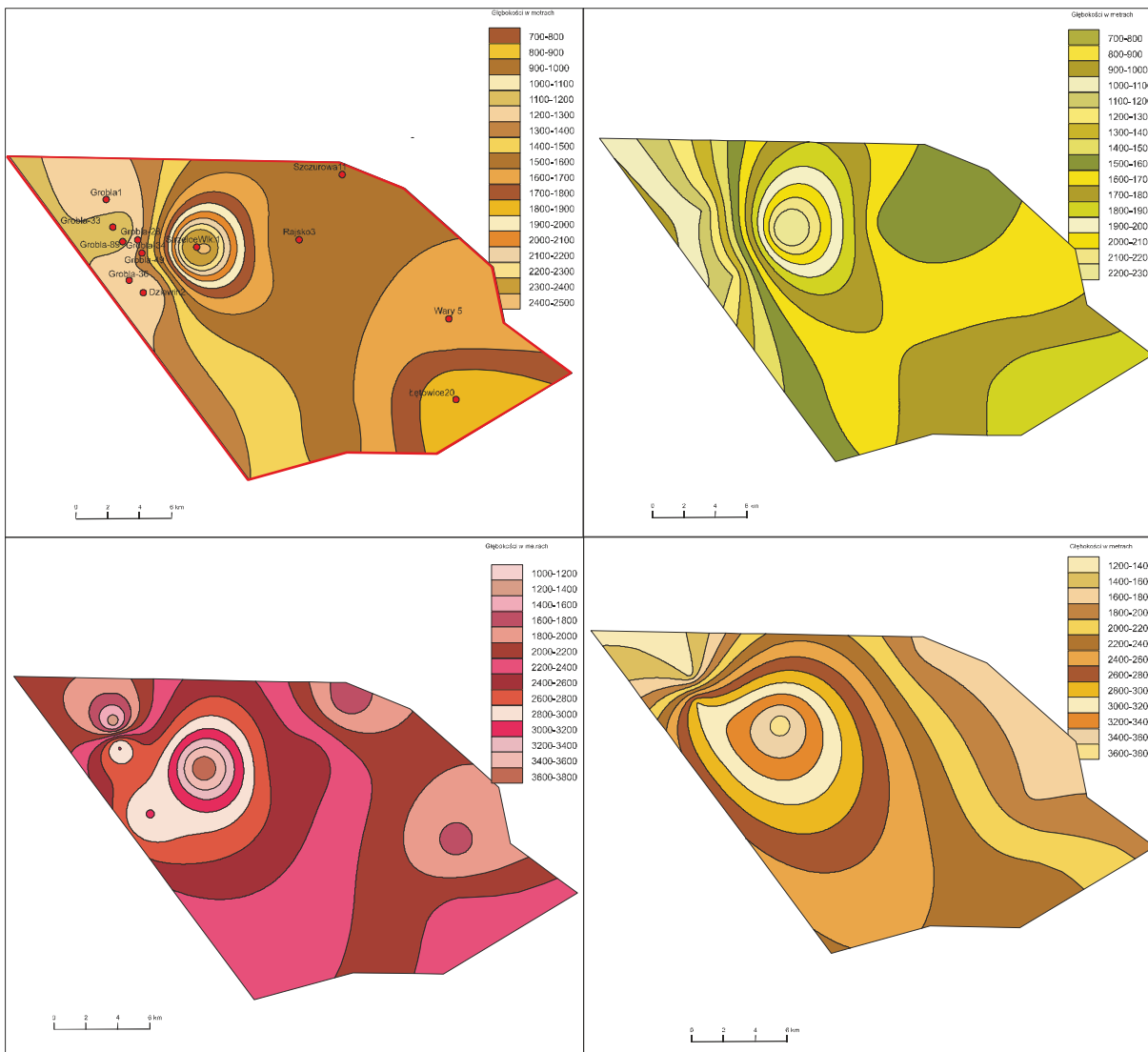


Fig. 1.1.11\_8 Lokalizacja zbiorników Niepołomice i Grobla na tle szkicu administracyjno-gospodarczego





**Fig. 1.1.11\_9** Zbiornik Grobla – Strop (góra) i spąg (dół) powierzchni poziomu zbiornikowego aproksymowane odpowiednio metodą „Inverse distance” (lewa strona) i "Kriging" (prawa strona)

## **Kompleksy klastyczne i podsumowanie dla rejonu IV (Adam Wójcicki)**

Ostateczna weryfikacja listy znanych struktur w rejonie brzeżnej strefy Karpat i Zapadliska została wykonana w ramach zadania **1.1.2** dla rejonu IV, w oparciu o wyniki uzyskane w zadaniach **1.1.1**, **1.1.3** – **1.1.9** i informacje zgromadzone w bazie danych (**1.1.10**). Poniżej przedstawiono rezultaty tej weryfikacji (**Fig. 1.1.11\_10**).

W rozdziale **1.1.2** dla rejonu IVA (**Fig. 1.1.11\_10**) analizowany był ponadto, obok obiektów w kompleksie węglanowym karbońsko-dewońskim, ponadto rejon Zatoki Gdowskiej, zazębiający się częściowo z obszarem zbiornika Niepołomice, omawianego powyżej. Kolektorem w rejonie Zatoki Gdowskiej są utwory piaskowców i zlepieńców jury klastycznej, zasadniczo środkowej.

Natomiast kompleksy węglanowe scharakteryzowane w poprzednim podrozdziale (opracowanie autorskie zespołu Oddziału Karpackiego PIG-PIB wykonane przez J. Chowańca i in.) wydają się mieć przeszacowany potencjał składowania (patrz rozdział **1.1.2**, rejon IV; kompleks węglanowy oraz podsumowanie dla rejonu IV). W przypadku ośrodka szczelinowo-porowego, jakim są węglany, porowatość efektywna jest bardzo zmienna. Sytuacja geologiczna implikuje, że efektywność składowania (Vangkilde-Pedersen et al., 2009) odpowiada tu raczej wartościom dla fragmentu regionalnego zbiornika – formacji geologicznej (parę procent) niż dla pojedynczej dobrej struktury antyklinalnej na Niżu (parędziesiąt procent), tzn. zbiorniki Niepołomice i Grobla nie są typowymi strukturami, tylko wydzielonymi fragmentami basenu karbońsko-dewońskiego, a ich własności zbiornikowe są raczej słabe.

Rejon wschodni (IVB), obejmujący małe struktury w formacjach miocenu na wschód od Tarnowa w sąsiedztwie złóż, został określony jako nieperspektywiczny w przypadku geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w poziomach solankowych. Z punktu widzenia sekwestracji struktury te one nieistotne, chyba, że byłyby traktowane łącznie z sąsiednimi złożami gazu.

Sugerowany ranking obiektów:

- Zatoka Gdowska (utwory klastyczne jury, bardziej przewidywalne, jeśli chodzi o parametry złożowe i zachowanie się CO<sub>2</sub> zatłoczonego do kolektora od zbiorników węglanowych);
- zbiorniki węglanowe Niepołomice i Grobla (równoważna pozycja; Niepołomice ma więcej obszarów chronionych a Grobla złóż gazu na swoim obszarze; jeden jest łatwiej dostępny od strony Krakowa a drugi - Tarnowa).

Maksymalny realny scenariusz dla aglomeracji krakowskiej to wykorzystanie łącznie zbiornika Niepołomice i Zatoki Gdowskiej oraz ewentualnie niedużego złoża gazu łąka na potrzeby Huty Arcelor Mittal (elektrociepłownia, wielki piec oraz cementownia w Nowej Hucie to około 3,5 mln ton CO<sub>2</sub> rocznie wg „Interaktywnego atlasu...”) i elektrociepłowni w Krakowie (około 2 mln ton rocznie), ale również jest możliwe, że po szczegółowych badaniach geologiczno-geofizycznych okaże się że obydwa obiekty wystarczą tylko na potrzeby Nowej Huty (a na potrzeby elektrociepłowni miejskiej w Krakowie trzeba będzie wykorzystać jeszcze obiekt Grobla).

Natomiast dla obiektu Grobla nie będzie problemem zaspokojenie potrzeb instalacji Zakładów Azotowych w Tarnowie (emisja około 0,83 mln ton wg „Interaktywnego Atlasu...”).

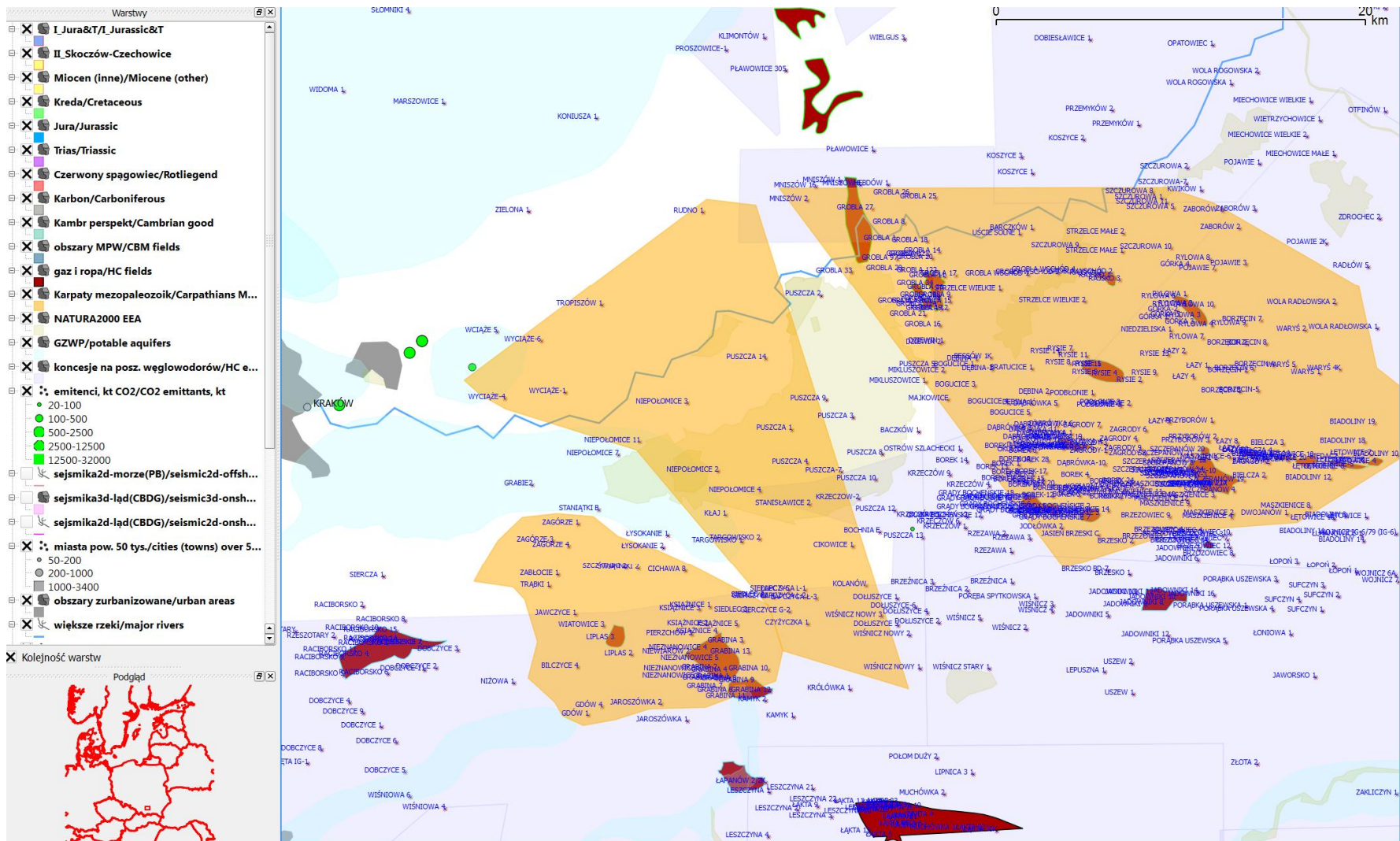


Fig. 1.1.11\_10 Obiekty solankowe w rejonie IVA: Zatoka Gdowska (jura klastyczna - lewy), Niepołomice (węglanowy - centrum) i Grobla (węglanowy, prawy)

## Rejon V - Lubelszczyzna (i Podlasie)

(Adam Wójcicki)

### Utwory karbonu

W zadaniu **1.1.19** i **1.1.23** IGSMiE analizował 5 obiektów/struktur solankowe w utworach karbonu górnego na północ, NW i zachód od Lublina: blok Stężycy, blok Rycic, blok Baranowa, blok Abramowa, blok ĆSM.

W zadaniu **1.1.2**, w oparciu o analizy wykonane w rozdziale **1.1.3** dla rejonu Lubelszczyzny dla utworów karbonu (M. Waksmundzka) oraz model kolektorów i uszczelnień karbonu wykonany w rozdziale **1.1.8** dla tego rejonu (Krzysztof Czuryłowicz), dokonano weryfikacji stref perspektywicznych dla geologicznego składowania CO<sub>2</sub>. Zrezygnowano ze struktur/obiektów z **1.1.19** i **1.1.23** - wykreślono obszar perspektywiczny, w którym występują odpowiednie facje kolektorskie i uszczelnienia, zamiast wspomnianych obiektów/struktur, których lokalizacja ma słaby związek z rozkładem parametrów zbiornikowych kompleksu składowania. Obszar ten rozciąga się od Stężycy do Lublina i dalej na wschód/północny wschód (**Fig. 1.1.11\_1**).

Stąd nie można podać rankingu struktur a jedynie możliwe scenariusze dla obszaru perspektywicznego dla sekwestracji w rejonie Lubelszczyzny.

W jego obrębie można podać wiele potencjalnych punktów zatłaczania, zależnie od potrzebnego scenariusza (czy elektrociepłownię z Lublina – 0,9 mln ton CO<sub>2</sub> rocznie czy instalacje Zakładów Azotowych Puław – 1,3 mln ton rocznie wg „Interaktywnego Atlasu...”), zgodnie z wynikami zadania **1.1.3** dla rejonu V (M. Waksmundzka):

- Stężycza 1, 2
- Rycice 2
- Dęblin 7
- Wilczanka 1
- Abramów 1
- Kock 2
- Glinnik 2
- Lubartów IG 3
- Nasutów 1
- Lublin IG 2
- Łęczna IG-25
- Świdnik IG-1
- Lublin IG-1

- Piaski IG-2
- Łączna IG-13
- Busówno IG-1
- Łączna IG-9

Orientacyjnie można powiedzieć że z powyższej listy otwory do Glinnika 2 i Nasutowa 1 włącznie mogą być odpowiednie dla Puław (niewielka odległość dla rurociągu – kilkanaście – dwadzieścia kilka km) zaś Glinnika 2 i Nasutowa 1 w dół – dla elektrociepłowni w Lublinie (obecnych i planowanych) gdzie punkty załączania mogą znajdować się w odległościach czasami nawet mniejszych od 10 km.

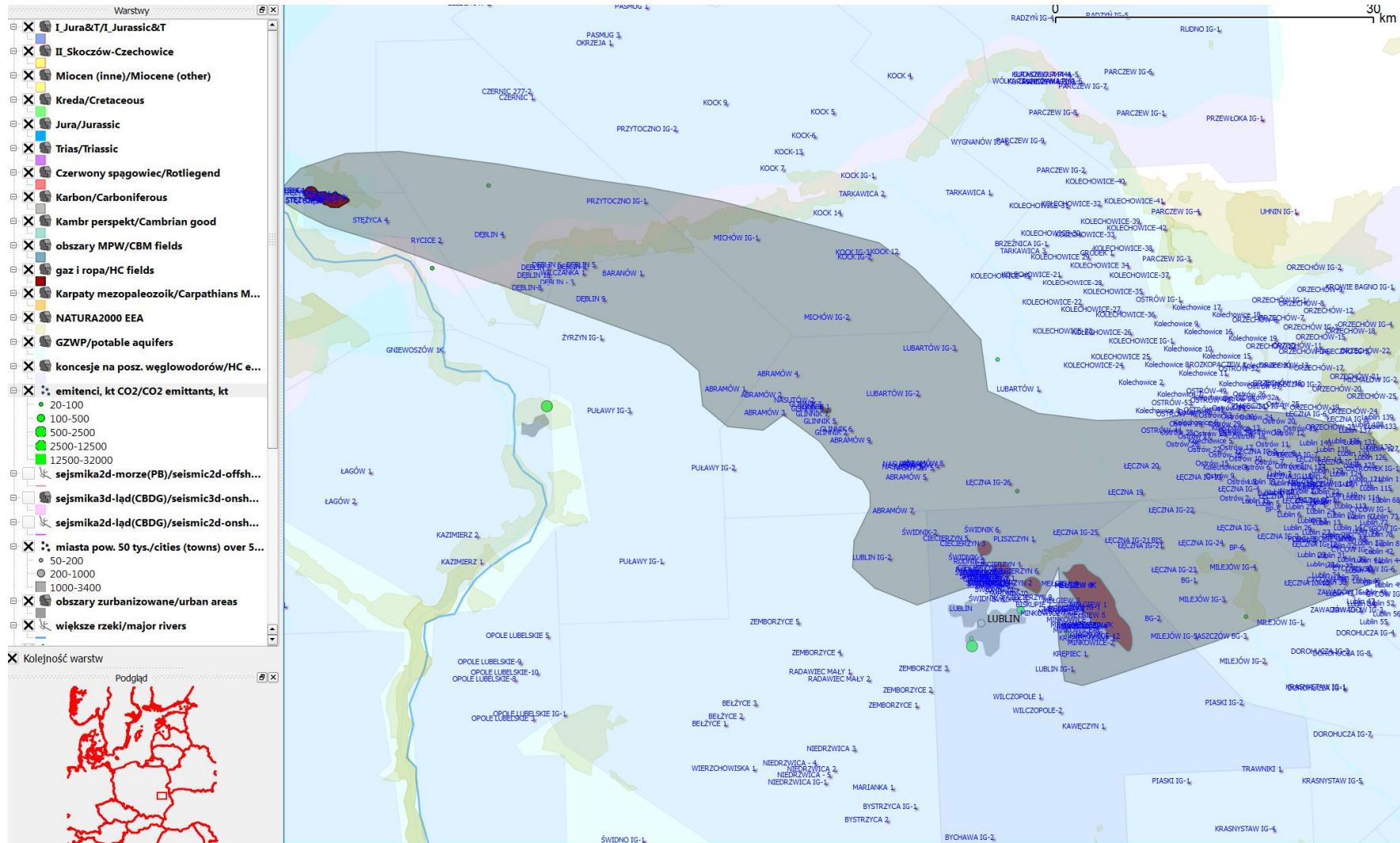


Fig. 1.1.11\_11 Obszar perspektywiczny dla składowania CO<sub>2</sub> w karbonie, w rejonie Lubelszczyzny

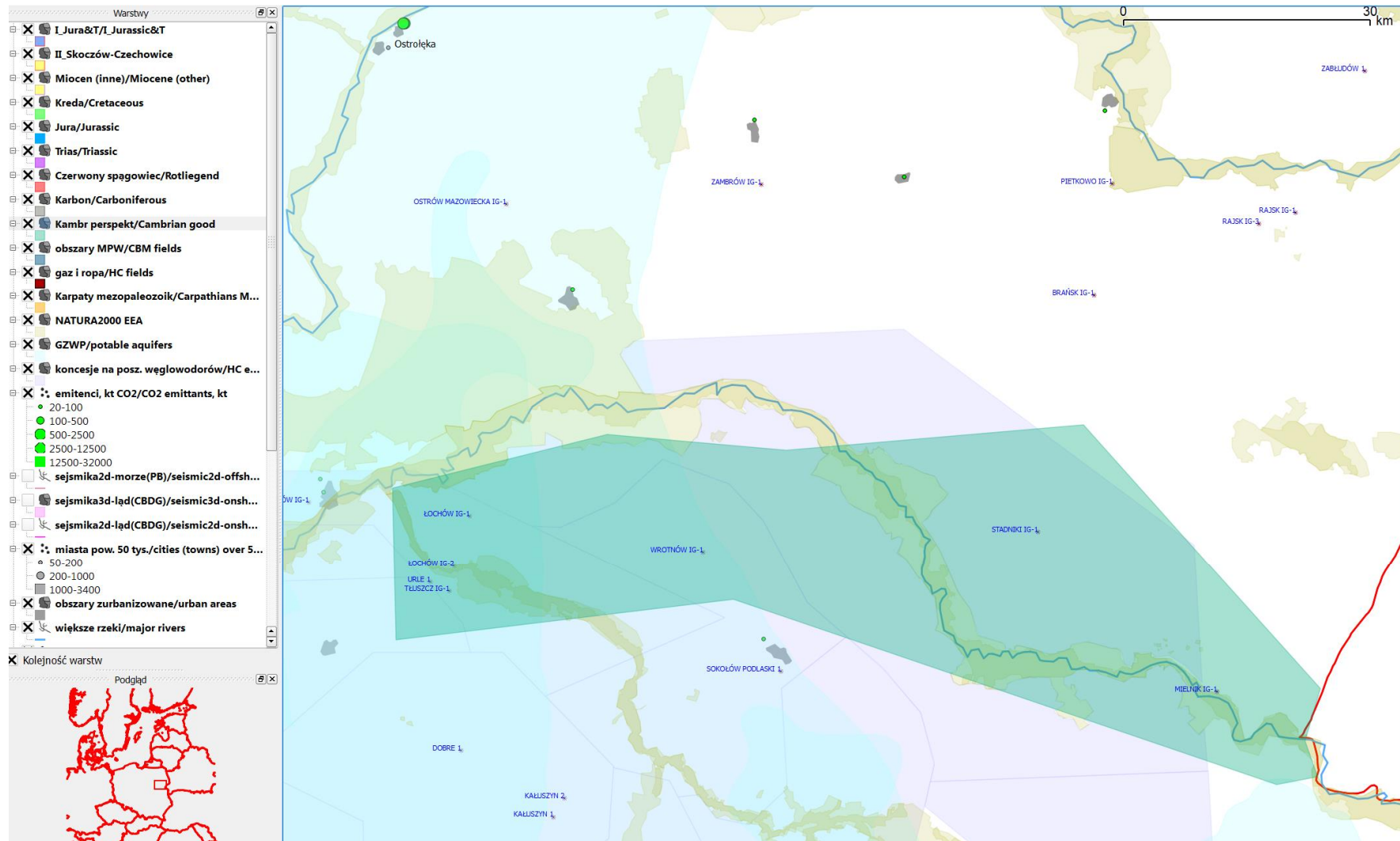


Fig. 1.1.11\_12 Obszar perspektywiczny dla składowania CO<sub>2</sub> w kambrze, w rejonie Podlasia



## Utwory kambru

Natomiast w rejonie Podlasia w rozdziale 1.1.1 (Jolanta Paczeńska) stwierdzono w kilku otworach, niekiedy znacznie oddalonych od siebie, występowanie dwóch piaskowcowych poziomów kolektorskich kambru o miąższości sumarycznej wynoszącej co najmniej 200 metrów i dobrych własnościach zbiornikowych. Jednakże obszar ten (Fig. 1.1.11\_12) prawie nie jest rozpoznany sejsmiką (tylko skrajnie zachodni fragment) i stąd jedyne wiarygodne informacje na temat budowy strukturalnej kompleksu kambryjskiego pochodzą właściwie tylko z ekstrapolacji danych ze wspomnianych otworów. Mamy tu więc kolektor regionalny, a właściwie kilka mniejszych obszarów wokół otworów Tłuszcz IG1, Łochów IG1, Łochów IG 2, 7- Wrotnów IG 1, Stadniki IG 1, 10-Mielnik IG.

Stąd nie można podać rankingu struktur a jedynie możliwe scenariusze dla obszaru perspektywicznego dla sekwestracji w rejonie Podlasia.

Otwory te można przyjąć jako potencjalne punkty zatłaczania dla różnych scenariuszy. Jednak jedynym większym emitentem w pobliżu jest elektrownia w Ostrołęce (ponad 0,5 mln ton rocznie, a więc w zasadzie dla takiej emisji wystarczyłby jeden otwór, w przypadku nowych bloków kolejne). Ranking tych możliwych miejsc zatłaczania przedstawia się następująco, jeśli chodzi o korzystne własności zbiornika i występowanie po drodze obszarów NATURA 2000:

- Stadniki IG-1;
- Wrotnów IG-1 i Mielnik IG-1;
- Tłuszcz IG1, Łochów IG1, Łochów IG 2.

## Rejon VI - Wielkopolska - Kujawy

(Adam Wójcicki)

Rejon ten właściwie składa się z dwóch podrejonów – permskiego na obszarze Wielkopolski/Monokliny Przedsudeckiej (Fig. 1.1.11\_13) i mezozoicznego na obszarze wschodniej Wielkopolski-Kujaw/Niecki Mogileńsko-Łódzkiej (Fig. 1.1.11\_14).

Ostateczna weryfikacja listy znanych struktur w rejonie VI (Fig. 1.1.11\_13 i 14) została wykonana w ramach zadania 1.1.2 dla rejonu III, w oparciu o wyniki uzyskane w zadaniach 1.1.1, 1.1.3 – 1.1.9 i informacje zgromadzone w bazie danych (1.1.10). Odrzucono tam definitywnie szereg struktur, dla których były istotne wątpliwości, co do bezpieczeństwa i wykonalności geologicznego składowania CO<sub>2</sub>.

### Perm

Dla obszaru Wielkopolski/Monokliny Przedsudeckiej (Fig. 1.1.11\_13) zakwalifikowano trzy struktury w permie, podane poniżej w kolejności ich rankingu, wraz z propozycjami scenariuszy CCS.

- ✓ Megastruktura Niecki Poznańskiej charakteryzuje się dostatecznymi, lokalnie raczej dobrymi własnościami zbiornikowymi i szczelnym nadkładem. Występuje stosunkowo głęboko, na granicy zalecanej przydatności do sekwestracji, ale za to posiada ogromny potencjał składowania. Leży ona w pobliżu (odległość około 20 km) aglomeracji poznańskiej gdzie mamy przemysłowe źródła emisji (elektrociepłownie) o wielkości 1,7 mln ton CO<sub>2</sub> rocznie (wg „Interaktywnego Atlasu...”) a zatłaczanie CO<sub>2</sub> do kolektora solankowego czerwonego spągowca wspomogłoby w dalszej perspektywie efektywność wykorzystania występujących w jej stropie złóż gazu (patrz też zadania 1.1.15 – 18 z II Segmentu, dla trzeciego obiektu solankowego – Niecki Poznańskiej).
- ✓ Struktura Kowalowo posiada raczej dobre własności zbiornikowe i miększy nadkład cechsztyński. Występuje stosunkowo płytko, w otoczeniu/sąsiedztwie złóż gazu w południowej części Monokliny Przedsudeckiej. W jej bezpośrednim sąsiedztwie nie ma większych emitentów CO<sub>2</sub> natomiast około 50 km na SE znajduje się aglomeracja wrocławska z elektrociepłowniami o rocznej emisji około 1,5 mln ton.
- ✓ Obiekt Radnica posiada raczej dobre własności zbiornikowe (najlepsze z trzech struktur/obiektów tu rozpatrywanych), mimo relatywnie znacznej głębokości. Nie jest to typowa struktura antyklinalna, ale raczej fragment/undulacja skłonu zachodniej części Monokliny Przedsudeckiej. Problemem może tu być sąsiedztwo obszaru NATURA przy jej południowym skraju (co oznacza utrudnienia dla przyszłych prac polowych dla pełniejszego rozpoznania obszaru). Najbliższym większym emitentem jest Zielona Góra (elektrociepłownia o rocznej emisji 0,6 mln ton).

## Mezozoik

Dla obszaru wschodniej Wielkopolski-Kujaw/Niecki Mogileńsko-Łódzkiej wytypowano struktury w kredzie jurze i triasie (**Fig. 1.1.11\_14**).

Z punktu widzenia bezpieczeństwa składowania, wykonalności i własności zbiornikowych można ustalić następujący ranking i propozycje scenariuszy sekwestracji:

- ✓ Antyklina Brześcia Kujawskiego obejmują mięjsze zbiorniki formacji borucickiej (górny toark oraz w mniejszym stopniu dolny aalen) a także szereg zbiorników w obrębie formacji drzewickiej i ostrowieckiej (dolny plienschbach – górny synemur). Jest to przykład wielopoziomowego systemu sekwestracyjnego o znacznej pojemności. Najbliższym większym emitentem są Zakłady Azotowe (i ciepłownia miejska) we Włocławku, ale ich emisja to tylko 0,4 mln ton rocznie (wg „Interaktywnego Atlasu...”), ale potencjał struktury wystarczyłby swobodnie do składowania emisji z położonych w odległości około 55 km elektrowni PAK na węgiel brunatny w Koninie i Pątnowie (w sumie około 10 mln ton rocznie) i jeszcze zostanie go sporo.
- ✓ Antyklina Konar obejmuje zbiorniki formacji borucickiej (górny toark oraz w mniejszym stopniu dolny aalen) a także szereg zbiorników w obrębie formacji drzewickiej i ostrowieckiej (dolny plienschbach – górny synemur) oraz w utworach pstrego piaskowca. W odległości do około 25 km na NW, rejonie (i na zachód od) Inowrocławia znajduje się kilka większych i mniejszych przemysłowych źródeł emisji CO<sub>2</sub> (elektrociepłownie zakładów sodowych w Inowrocławiu i Janikowie, ciepłownie miejskie, cementownia w Piechcinie), co daje w sumie około 3 mln ton rocznie, a stanowi to po przeliczeniu na dziesiątki lat funkcjonowania instalacji, ułamek potencjału struktury.
- ✓ Antykliny Turka, Wartkowic i Trześniewa to struktury w kredzie dolnej, średniej wielkości, których przydatność do składowania nie jest do końca pewna (kreda dolna jest w łączności hydraulicznej z jurą, a uszczelnienie kredy dolnej to kompleks węglanowo-marglisty o miąższości rzędu kilometra). Jedna-dwie wystarczyłyby do składowania emisji z elektrowni PAK na węgiel brunatny Adamów w Turku (zakład leży w obrębie struktury Turka; emisja roczna około 4 mln ton CO<sub>2</sub>). Antyklina Trześniewa leży w większości w obszarze NATURA 2000.

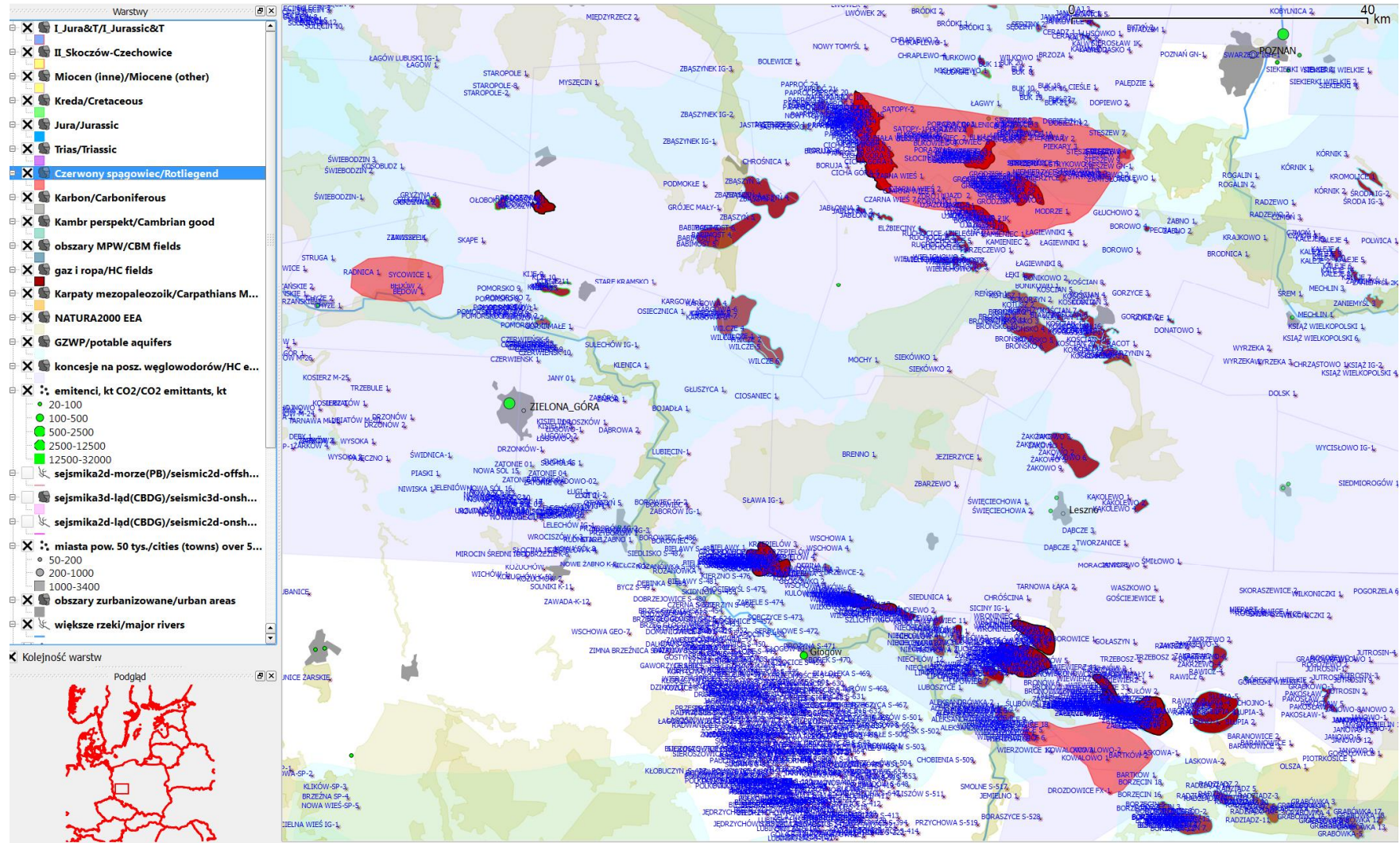


Fig. 1.1.11\_13 Struktury w utworach permu w rejonie VI



## **Rejon VII - NW Polska**

**(Adam Wójcicki)**

Ostateczna weryfikacja listy znanych struktur w rejonie VI (**Fig. 1.1.11\_15i 16**) została wykonana w ramach zadania **1.1.2** dla rejonu III, w oparciu o wyniki uzyskane w zadaniach **1.1.1, 1.1.3 – 1.1.9** i informacje zgromadzone w bazie danych (**1.1.10**). Odrzucono tam definitywnie szereg struktur, dla których były istotne wątpliwości co do bezpieczeństwa i wykonalności geologicznego składowania CO<sub>2</sub>.

Rejon ten można podzielić na dwa podrejon: Szczecina, na zachodzie, gdzie mamy struktury w dolnej jurze, ewentualnie dodatkowo w górnym triasie oraz rejon Koszalina, na wschodzie, gdzie mamy struktury w dolnym triasie.

Dla obszaru całej NW Polski zakwalifikowano w sumie 8 struktur mezozoicznych (w tym dwie dwupoziomowe, w dolnej jurze i górnym triasie), podane poniżej w kolejności ich rankingu (z uwagi na bezpieczeństwa składowania, wykonalności i własności zbiornikowych), wraz z propozycjami scenariuszy CCS.

## Rejon Szczecina (Fig. 1.1.11 15)

- ✓ Antyklina Choszczna-Suliszewa w utworach dolnej jury o doskonałych własnościach zbiornikowych. Mniejsza z nich – Choszczno - wystarczy na potrzeby wszystkich emitentów w rejonie Szczecina (duża elektrownia Dolna Odra, elektrownie i elektrociepłownie w Szczecinie, huta, zakłady chemiczne w Policach – w sumie jest to mniej niż 6 mln ton CO<sub>2</sub> rocznie wg „Interaktywnego Atlasu”) nawet włączając elektrociepłownię w Gorzowie Wlkp (0,5 mln ton CO<sub>2</sub> rocznie) i innych pomniejszych emitentów na południe od Szczecina i zachód od Gorzowa Wlkp. Antyklina Suliszewa(Radęcina-Pławna) w większości leży na obszarze NATURA 2000 i stąd niewielka jej część może być dostępna do lokowania otworów zatłaczających (konkretnie rejon kulminacji Suliszewo – otwór Suliszewo 1, ale w zadaniach **1.1.16** i **1.1.17** II Segmentu – trzeci obiekt solankowy i tak wykazano że mogą być tam zatłaczane nawet setki mln ton).
- ✓ Antyklina Chabowa, która obejmuje poziomy kolektorskie dolnej jury i górnego triasu (podwójna struktura) również może pomieścić emisje elektrowni Dolna Odra i aglomeracji szczecińskiej, od których obu jest oddalona o mniej niż 20 km.
- ✓ Antyklina Marianowa to również podwójna struktura (dolna jura – podstawowy kolektor, górny trias -drugorzędny), o podobnym potencjale jak antyklina Chabowa. Jednak jest rozpatrywana jako potencjalny, strategiczny (euro-)magazyn gazu na potrzeby podmiotów polskich i niemieckich
- ✓ Antyklina Trzebieży jest położona na północ od Szczecina, przy Zalewie, prawie całość jej obejmuje obszar NATURA 2000. Jest to struktura o najmniejszym potencjale w tym obszarze (rejon Szczecina), ale też z naddatkiem starczyłaby na potrzeby aglomeracji szczecińskiej.

W rejonie Szczecina mamy więc problem z wykorzystaniem potencjału struktur, wielokrotnie przekraczającego potrzeby emitentów. Natomiast odległość do innych dużych emitentów w Polsce jest znaczna, rzędu 200 km i więcej. Możliwe byłoby lokowanie emisji z pobliskich zakładów w Niemczech, ale poza tym, że na razie takich spraw nie rozpatruje przygotowana nowelizacja prawa geologicznego i górniczego w zakresie implementacji dyrektywy unijnej w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla, byłby to też duży problem medialny, ekscytujący zwłaszcza i wyborców i polityków.

### Rejon Koszalina (Fig. 1.1.11 16)

Jest to dalszy ciąg rankingu, ponieważ struktury w triasie dolnym nie mają tak dobrych właściwości zbiornikowych i pojemności jak te w jurze w rejonie Szczecina, natomiast większe pojemności niż struktury w rejonie Szczecina w triasie górnym (drugorzędny poziom struktur jurajskich).

Antyklina Debrzna leży pomiędzy Koszalinem a Bydgoszczą. Najbliższy emitent to zakłady drzewne w Szczecinku (52 tys. ton), Piła w odległości około 50 km a dopiero w odległości ponad 60 km mamy Bydgoszcz z elektrociepłowniami o rocznej emisji około 1,4 mln ton, co struktura pomieściłaby z naddatkiem.

Antykliny Wierzchowa i Koszalina wydają się odpowiednie do lokowania CO<sub>2</sub> z niewielkich (pod względem emisji) ciepłowni w Koszalinie i Słupsku (odległość około 60 km), emisjach 70 i 90 tys. ton każda, przy czym wymagałoby to wykorzystania jedynie drobnego ułamka potencjału każdej ze struktur.

Jeszcze bardziej niż w rejonie zachodnim, we wschodniej części rejonu VII zaznacza się brak dużych emitentów, mogących wykorzystać potencjał struktur. Najbliższym dużym emitentem jest Bydgoszcz, z którego jest jednak równie blisko do ogromnych struktur mezozoicznych w rejonie Kujaw.



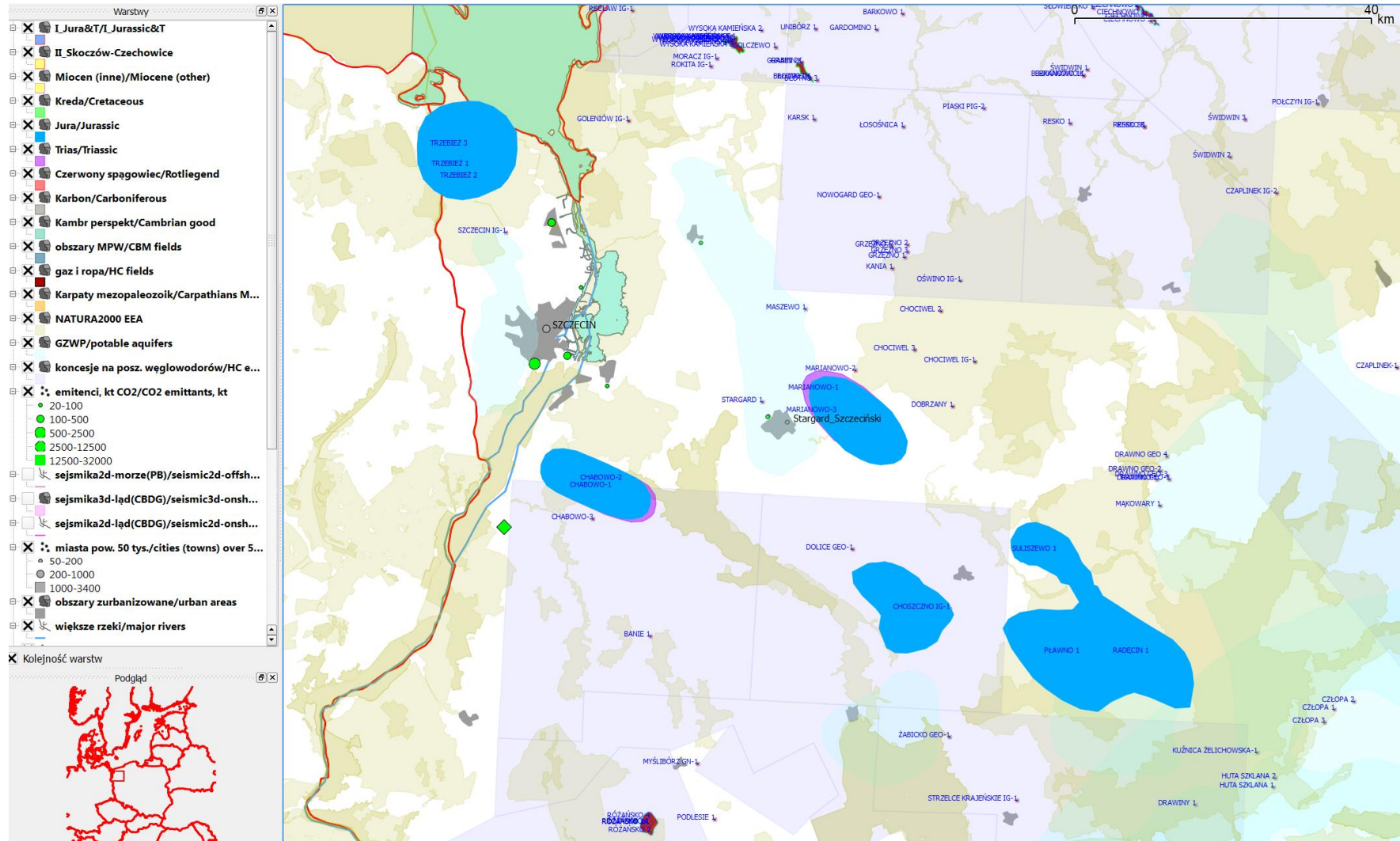


Fig. 1.1.11\_15 Struktury w utworach jury (i triasu górnego) w rejonie Szczecina

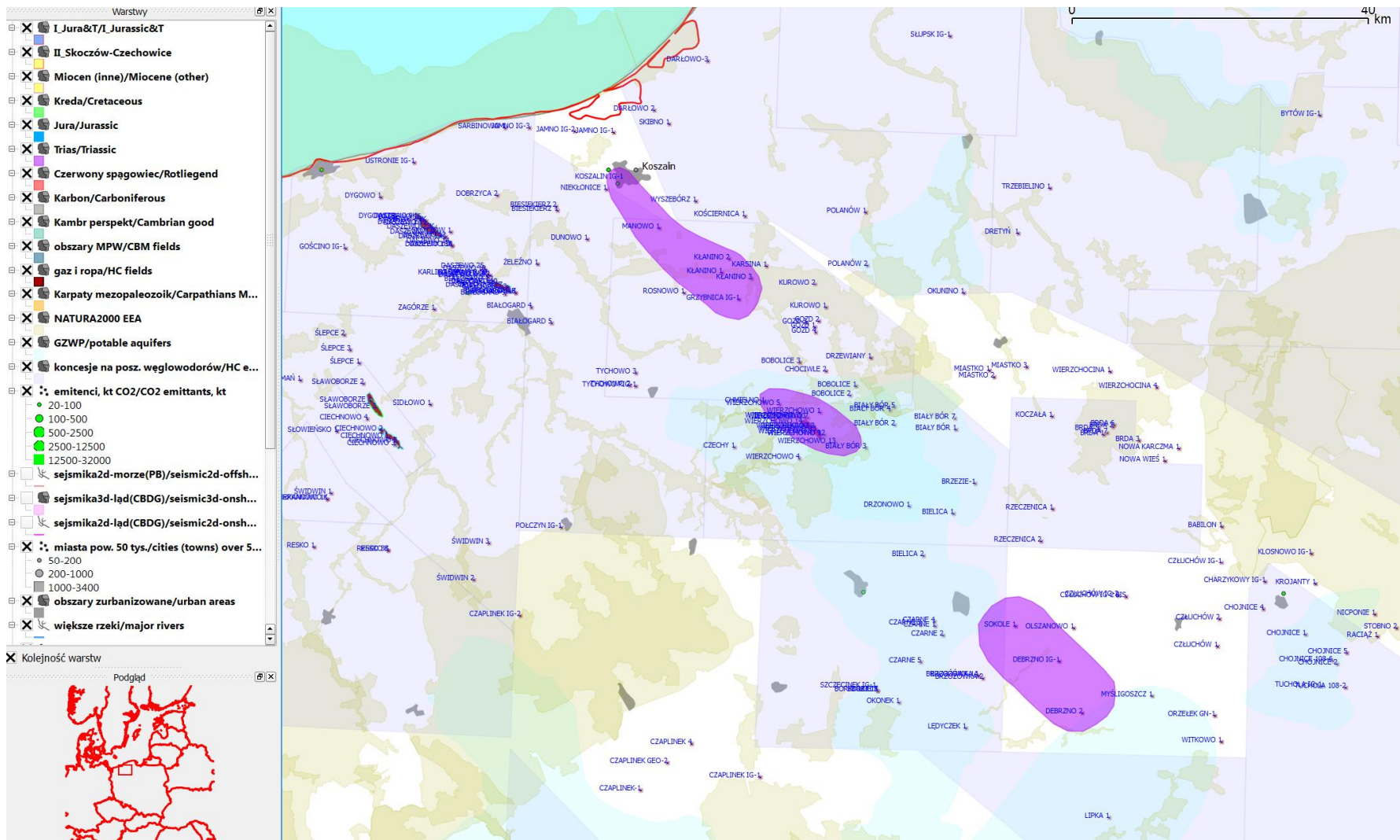


Fig. 1.1.11\_16 Struktury w utworach triasu dolnego w rejonie Koszalina

## **Rejon VIII - Łeba-Bałtyk oraz NE Polska**

**(Adam Wójcicki, Jolanta Paczeńska)**

Dla rejonu VIII, czyli Polski północnej wraz ekonomiczną strefą Bałtyku, oraz północno-wschodniej podstawowym kolektorem są formacje piaskowców kambryjskich (zasadniczo kambru środkowego). Struktury w obrębie triasu na pograniczu rejonu VIII i VII zostały przedyskutowane w podrozdziale dotyczącym rejonu VII (struktury w rejonie Koszalina). Natomiast na lądzie w obszarze ścisłego rejonu VIII, tzn. mniej więcej na terytorium województwa pomorskiego wykluczono z rozważań formacje i struktury w obrębie triasu dolnego z uwagi na niedostateczne własności zbiornikowe i/lub nieodpowiednią głębokość.

Do tej pory nie było analiz (przynajmniej tych finansowanych ze środków publicznych) dotyczących możliwości geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w poziomach solankowych kambru na Bałtyku i przyległym obszarze lądowym.

W rejonie VIII mamy dwa obszary występowania kolektora kambryjskiego perspektywiczne dla geologicznego składowania dwutlenku węgla.

### **Blok B**

Pierwszy, na morzu – blok B, albo północny (**Fig. 1.1.11\_17**), obejmuje obszar zbiornika kambryjskiego – regionalnego kolektora w obrębie polskiej strefy ekonomicznej Bałtyku, dla odpowiedniego do składowania CO<sub>2</sub> przedziału głębokości. Zbiornik o dostatecznych własnościach występuje w północnej części tego obszaru (południową granicę wspomnianego podobszaru wyznaczają lokalizacje złóż węglowodorów). Jest to zbiornik regionalny o skomplikowanej tektonice, złożony z szeregu bloków przedzielonych strefami uskokowymi, które lokalnie mogą być barierą dla rozptywu mediów złożowych, o czym świadczy występowanie pułapek węglowodorowych w sąsiedztwie niektórych stref uskokowych (np. złożo B3).

Możliwy scenariusz wykorzystania poziomów solankowych kolektora kambryjskiego na morzu objąłby lokowanie emisji emitentów z Trójmiasta (większość to instalacje w Gdańsku – elektrociepłownie miejskie, rafinerie LOTOSU i niezbyt wielka elektrociepłownia w Gdyni) o łącznej emisji rocznej poniżej 4 mln ton CO<sub>2</sub> (wg „Interaktywnego Atlasu...”). Wymaga to drobnego ułamka pojemności strefy perspektywicznej. Możliwa też jest współpraca z partnerami bałtyckimi (Finlandia, Szwecja) w zakresie wykorzystania regionalnego kolektora kambryjskiego w południowym i środkowym Bałtyku dla potrzeb wszystkich zainteresowanych (na razie proponowane regulacje prawne w zakresie implementacji dyrektywy unijnej w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla nie przewidują transgranicznego składowania).

## **Blok E**

Jest to obszar lądowy, położony generalnie na wschód od Elbląga, w pobliżu granicy z rosyjskim obwodem kaliningradzkim (**Fig. 1.1.11\_18**), charakteryzujący się raczej dobrymi własnościami zbiornikowymi kolektora kambryjskiego.

Podobnie jak w przypadku bloku B, najbardziej perspektywiczna wydaje się część wytypowanego obszaru. Jest to strefa na podniesieniu podłoża prekambryjskiego w rejonie otworów Pieszkowo 1, Zaręby 2, Henrykowo 1, Gładysze 1 - w części północnej, dostatecznie rozpoznanej sejsmiką 2D.

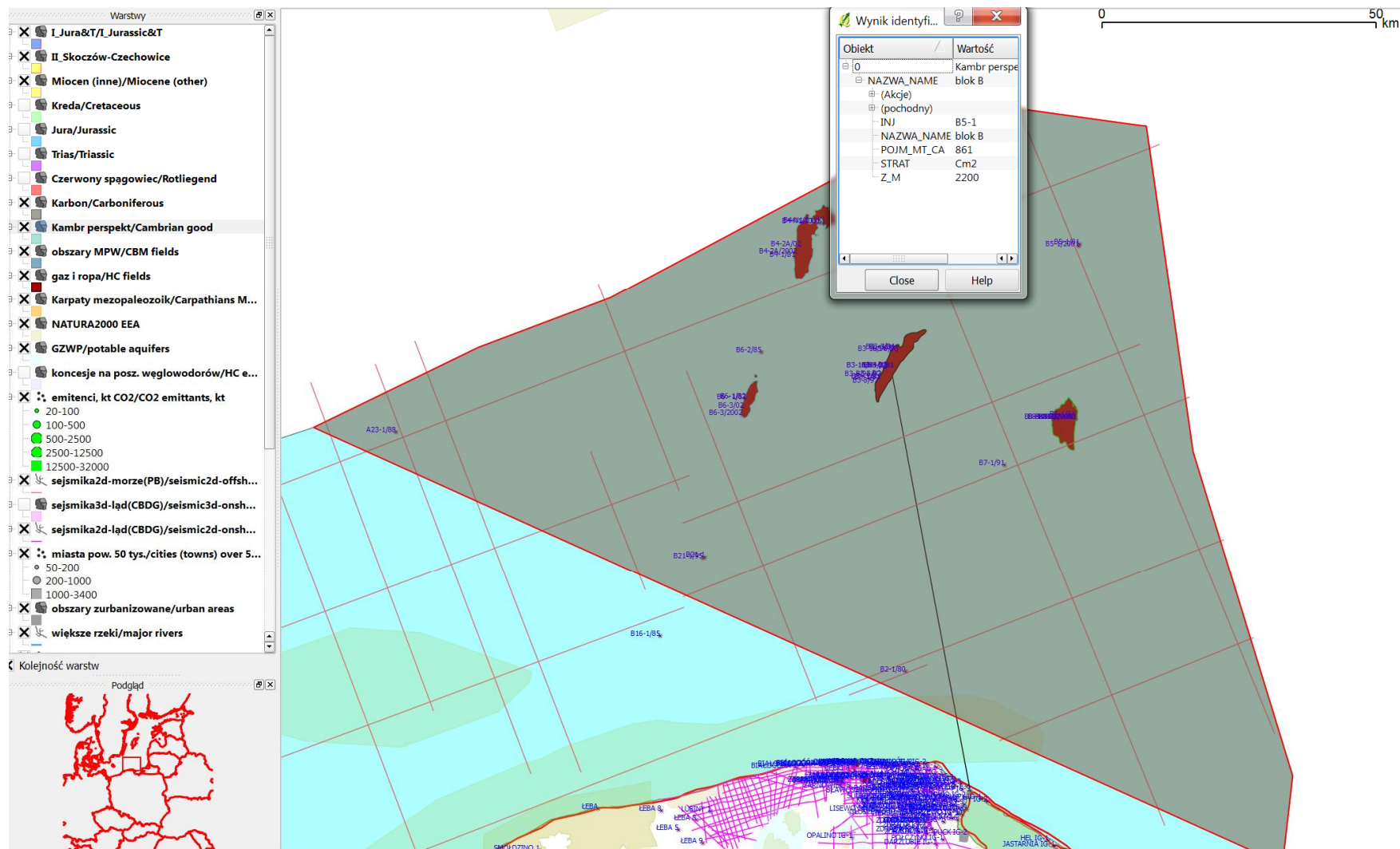


Fig. 1.1.11\_17 Obszar perspektywiczny dla składowania CO<sub>2</sub> w kambrze, na morzu, rejon VIII – blok B, północny

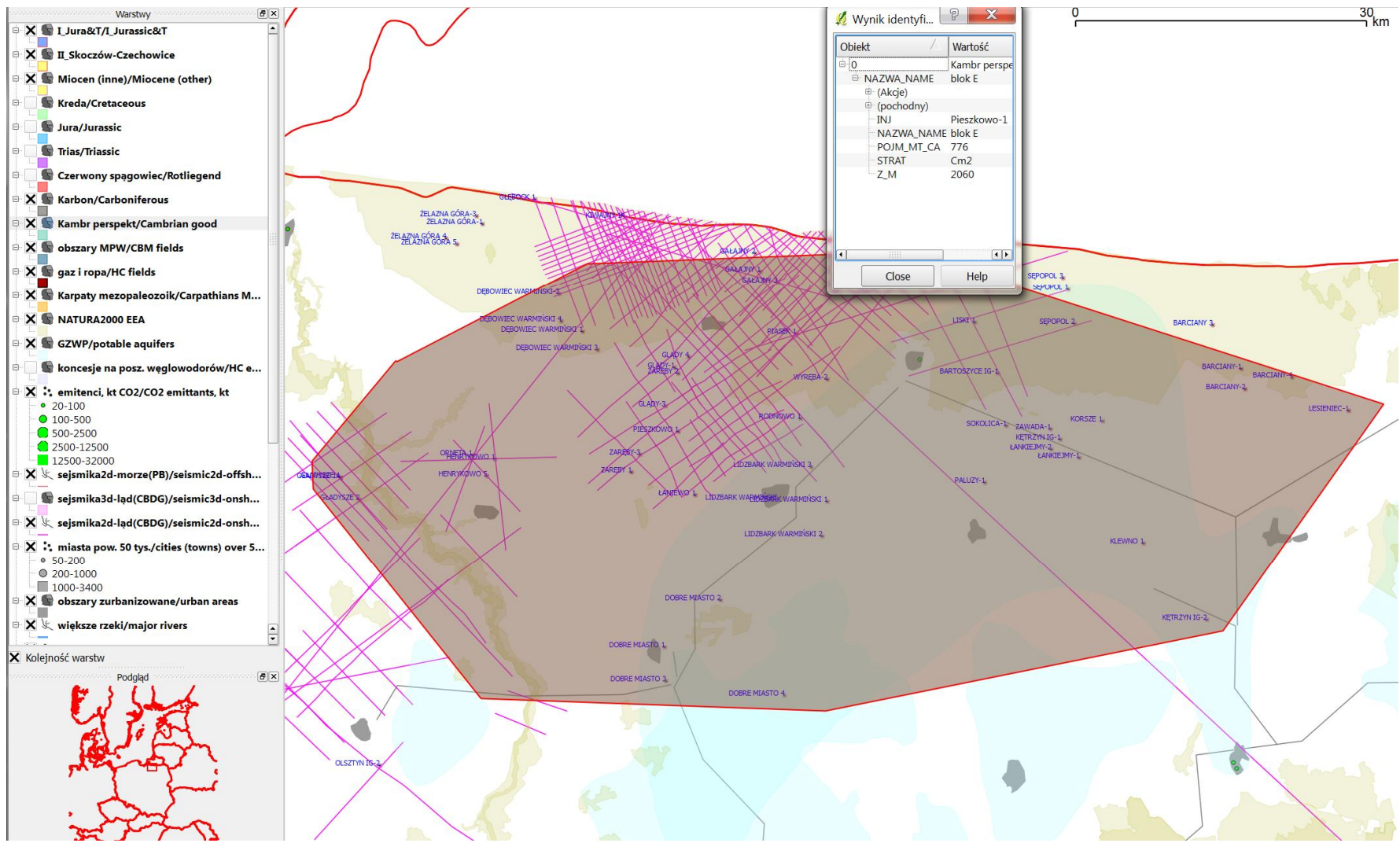


Fig. 1.1.11\_18 Obszar perspektywny dla składowania CO<sub>2</sub> w kambrze, na lądzie, rejon VIII – blok E

## Złóża węglowodorów

(Adam Wójcicki)

Jak wspomniano w zadaniu **1.1.2** dla opcji „Struktury naftowe”, po aktualizacji i weryfikacji wyników „Interaktywnego Atlasu...” w sumie uwzględniono jako potencjalne składowiska 48 złóż (właściwie to o kilka mniej, bo niektóre składają się z 2-4 rozłącznych części) występujących w Polsce zachodniej, północno-zachodniej, południowo-wschodniej i jedno na Bałtyku (B3 – szcerpane w istotnym stopniu)( **Fig. 1.1.1\_19**).

Jeśli chodzi o ranking struktur naftowych to w zasadzie mamy dwa przypadki – pierwszy czy chodzi o wspomaganie wydobycia węglowodorów czy o samo składowanie dwutlenku węgla w możliwie największej ilości.

W przypadku wspomagania wydobycia węglowodorów to mamy w zasadzie rozpatrywania głównie, a czasem tylko złoża ropy. W naszych warunkach krajowych złoża ropy powinno być jak największe, ponadto istotne są parametry głębokości, ciśnienia, temperatury, składu, ropy i historia jego eksploatacji (patrz też zadanie **1.1.36** - INiG), które wpływają na efektywność wspomagania wydobycia ropy. Ale najpierw jest ważne czy mamy dostępne złoża ropy, na których można by mniej lub bardziej efektywnie wspomagać wydobycie w odpowiednim okresie historii eksploatacji złoża.

W związku z tym można zaproponować następujący ranking wytypowanych (eksploatowanych szcerpywanych) 10 złóż ropy:

- BMB,
- B3,
- Kamień Pomorski,
- Nosówka,
- Radoszyn,
- Górzycza,
- Węglówka,
- Lubaczów,
- Jaszczew,
- Osobnica.

Co do złóż gazu to w zadaniu **1.1.16** (II Segment) AGH przeprowadziło modelowanie zatłaczania CO<sub>2</sub> do złoża gazu Wilków nie osiągając w symulacjach dodatkowej produkcji, natomiast INiG osiągnął pozytywne wyniki (dodatkowa produkcja gazu) dla złoża Łąka. Jednak, jeśli nawet uda się uzyskać wymierny efekt wspomagania wydobycia gazu przez zatłaczanie CO<sub>2</sub> do złoża to i tak przychód z tego tytułu jest nieporównywalny z przychodem dla eksploatacji złoża ropy.

Co do złóż gazu – potencjalnych składowisk to najbardziej atrakcyjne są złoża duże (jeśli chodzi o pierwotne zasoby wydobywalne), składające się najlepiej z jednego poziomu gazonośnego (góra dwóch) jak w permie na Monoklinie Przedsudeckiej a nie jak np. wielohoryzontowe złoża mioceńskie w rejonie frontu Karpat/Zapadliska.

Można w związku z tym zaproponować następujący ranking:

- Załęcze-Wiewierz, Żuchłów,
- Bogdaj-Uciechów,
- Wilków, Jodłówka,
- Tarchały,
- Tarnów Jura, Łąka,
- Paproć, Brzostowo, Bukowiec, Czeszów,
- Gorzysław, Góra, Jarocin, Ujazd
- Grochowice, Grodzisk Wlkp
- Przemyśl, Husów-Albigowa-Krasne,
- Jarosław, Mirocin,
- Tarnów miocen,
- Kielanówka-Rzeszów, Pilzno Południe, Rączyna, Zalesie,
- Stężycza.



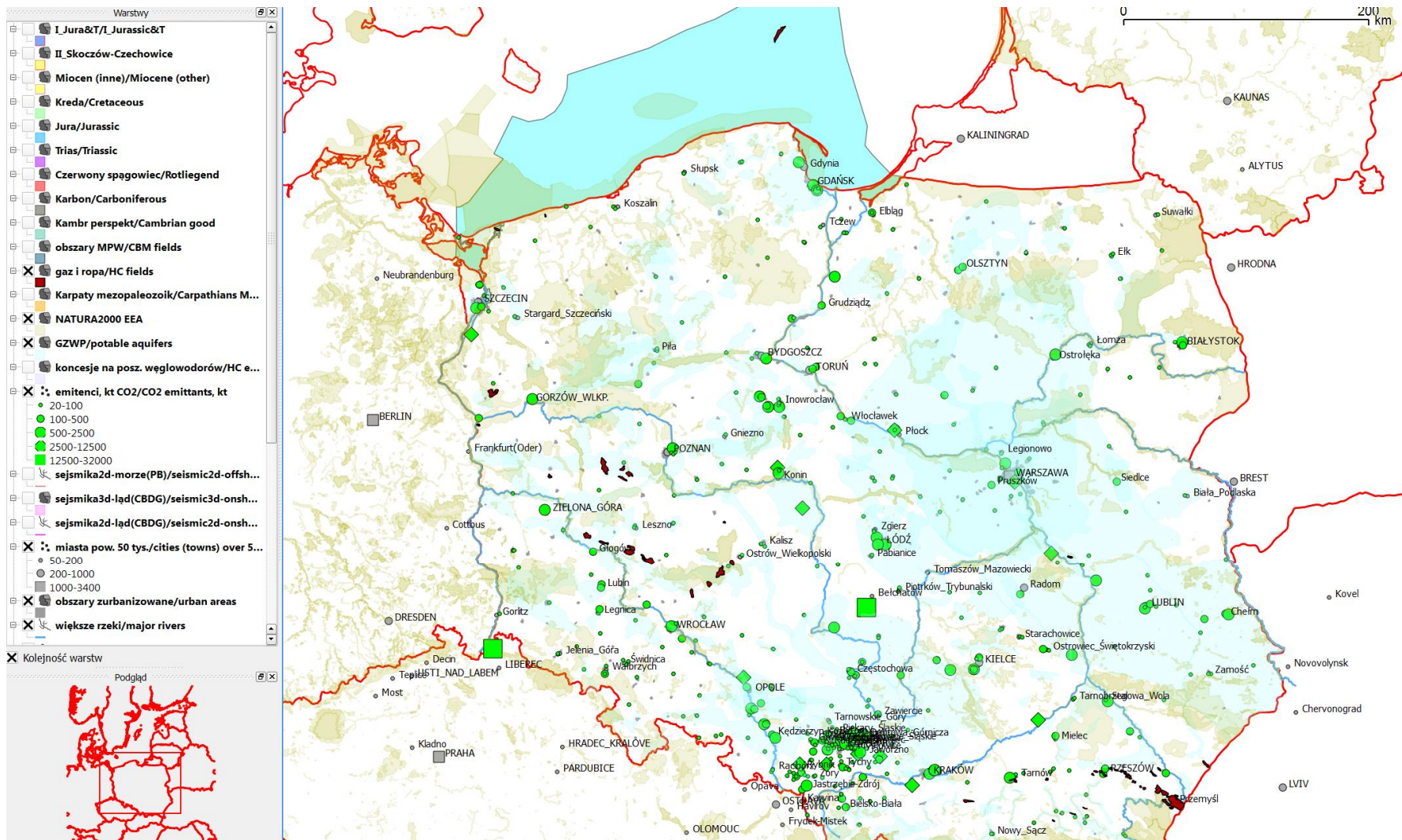


Fig. 1.1.11\_19 Rozpatrywane złoża węglowodorów

## Pokłady węgla

(Janusz Jureczka, Adam Wójcicki)

Zgodnie z wynikami prac wykonanych w ramach I Segmentu, potencjalne pod kątem składowania CO<sub>2</sub> rejony badań (Fig. 1.1.11\_20) znajdują się w centralnej i południowej części zagłębia na obszarze rozległej struktury zwanej niecką główną, ku południowi przechodzącej w drugą strukturę brachysynklinálną – nieckę skoczowską.

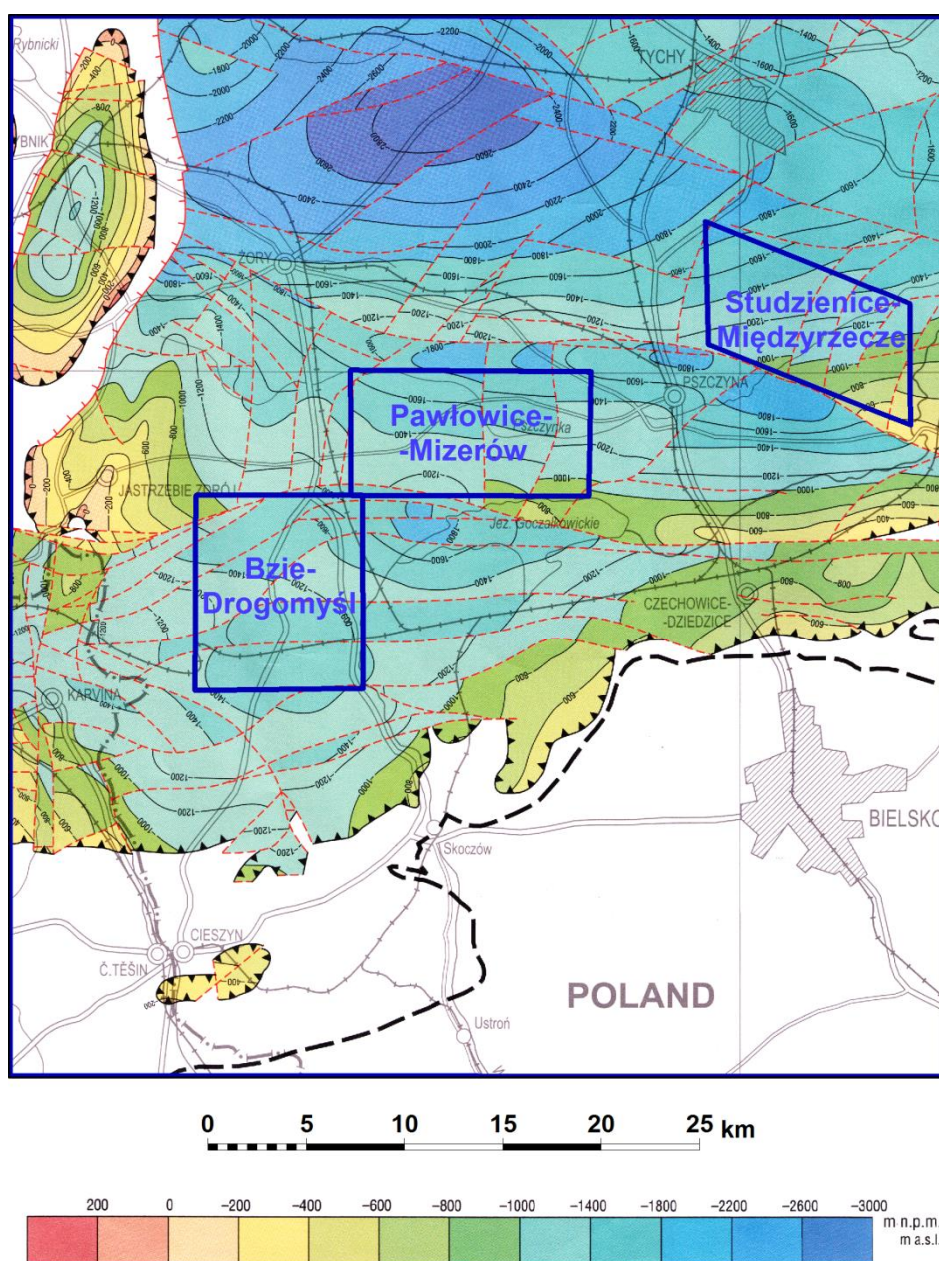


Fig. 1.1.11\_20 Położenie regionu centralno-południowego na tle mapy strukturalnej spągu górnośląskiej serii piaskowcowej (Jureczka i in., 2005)

Zostały one wybrane ze względu na powszechne występowanie poniżej głębokości 1000 m metanowych pokładów węgla, obecność w nadkładzie karbonu nieprzepuszczalnych utworów miocenu, istnienie dużych powierzchniowo obszarów odległych od czynnych kopalń węgla kamiennego oraz niski stopień zurbanizowania (Jureczka i in. 2011).

Są to następujące trzy rejony, położone generalnie na północ od obiektu solankowego Skoczów-Czechowice (Fig. 1.1.11\_20i21):

- ❖ Rejon Studzienice-Międzyrzecze w centralnej części GZW – w skrzydle wiszącym uskoku jawiszowickiego, bezpośrednio na zachód od kopalni „Brzeszcze” i zamkniętej kopalni „Czczott”;
- ❖ Rejon Pawłowice-Mizerów w centralnej części GZW – w skrzydle wiszącym uskoku ruptawskiego, bezpośrednio na wschód od kopalni „Pniówek”;
- ❖ Rejon Bzie-Drogomyśl w południowo-zachodniej części GZW – w skrzydle zrzuconym uskoku ruptawskiego, bezpośrednio na południe od kopalni „Pniówek”.

Najbardziej perspektywiczny do zastosowania technologii CO<sub>2</sub>-ECBMR wydaje się, na podstawie analiz przeprowadzonych w ramach zadań I Segmentu. Ponieważ zmienność lateralna rozkładu metanonośności pokładów węgla w określonych interwałach głębokości jest stosunkowo nieznaczna i wartości metanonośności porównywalne dla wszystkich trzech rejonów, rejon Pawłowice-Mizerów wybrano do dalszych analiz II Segmentu jedynie z uwagi na fakt, że był najlepiej rozpoznany otworowo, jeśli chodzi o informacje o zawartości metanu w pokładach węgla.

Zgodnie z wynikami zadania 1.1.16 II Segmentu dla pokładów węgla, przemysłowe wykorzystanie technologii CO<sub>2</sub>-ECBMR może objąć zatłoczenie do 200 tys. ton CO<sub>2</sub> do jednego otworu poziomego (przez parę lat – cały okres życia projektu ECBM) celem uzyskania produkcji kilkudziesięciu mln m<sup>3</sup> metanu. Dla tego celu nie warto budować rurociągu lecz raczej przewozić zakupiony CO<sub>2</sub> cysternami transportem drogowym lub kolejowym. W rejonie Górnego Śląska CO<sub>2</sub> jest np. produkowany na terenie Zakładów Azotowych Kędzierzyn.

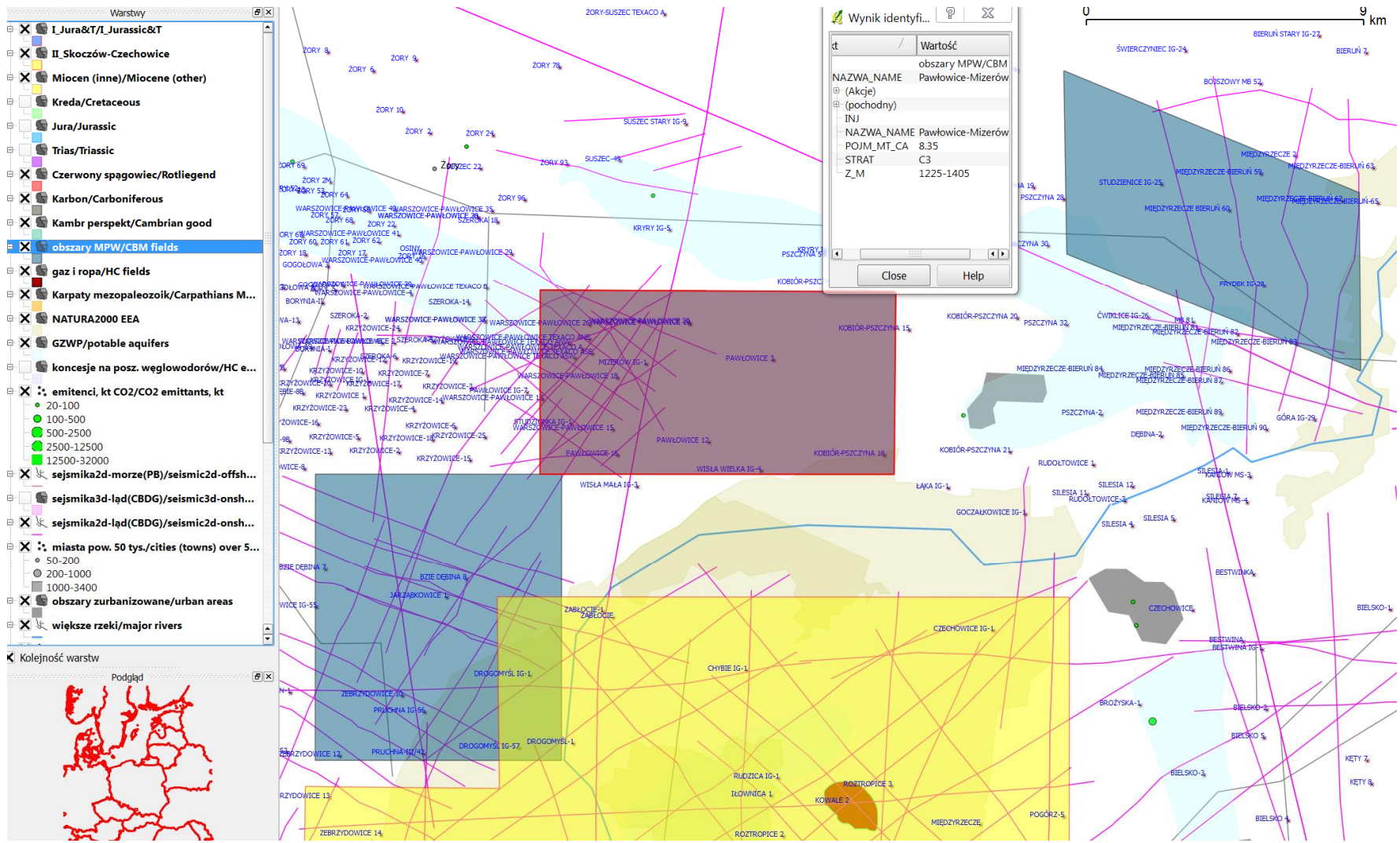


Fig. 1.1.11\_21 Obiekt w pokładach węgla Pawłowice-Mizerów

## **Określenie obszarów, na których można będzie lokalizować składowiska CO<sub>2</sub> – rejon GZW i pokłady węgla (1.1.35 - GIG)**

**Poziomy solankowe**  
**(Robert Warzecha, Eleonora Solik-Heliasz)**

**Kompleksowe założenia metodyczne odnośnie ustalenia i stosowania kryteriów wyboru potencjalnego składowiska opracował zespół GIG.**

Ranking miejsc składowania CO<sub>2</sub> 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 liczbowa 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 CO<sub>2</sub>**

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 CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub>.

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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>**

Przepisy Dyrektywy (2009) nakazują, aby podziemne składowisko zapewniło „hermetyczne magazynowanie CO<sub>2</sub>„ 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 CO<sub>2</sub> 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 wniosku geologicznego.

## **Oddziaływanie / „Kolizyjność” podziemnego składowiska**

Projektowane podziemne składowisko CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub>;
- 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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub>**

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 CO<sub>2</sub>
- ✓ zgodna z rozpoznaniem żywotność składowiska
- ✓ brak znaczących utrudnień w trakcie eksploatacji składowiska
- ✓ zgodna z założeniami ilość i jakość zatłaczanego CO<sub>2</sub>
- ✓ zgodny z projektem przebieg i długość rurociągu tłoczego.



**Trafność rozpoznania geologicznego jest podstawą sukcesu dotyczącego podziemnego składowania CO<sub>2</sub>.** 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 CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. Dotyczy to średnicy otworu, użytych materiałów, zastosowanych zabezpieczeń w otworze i in. Nie bez wpływu może być również jakość zatłaczanego CO<sub>2</sub> – 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>**

Wyniki dotychczasowych doświadczeń wskazują, że o wyborze danego miejsca na podziemne składowisko decyduje szereg czynników. Usystematyzowano je tworząc ranking cech warunkujących geologiczne składowanie CO<sub>2</sub>. Są to:

- ✓ Dobre rozpoznanie parametrów zbiornikowych rejonu składowiska z badań *in situ* i laboratoryjnych
- ✓ Optymalne wartości parametrów zbiornikowych składowiska CO<sub>2</sub>
- ✓ Dobra szczelność składowiska
- ✓ Zadawalająca (inwestora) pojemność składowania CO<sub>2</sub>
- ✓ Optymalna odległość składowiska do źródła emisji CO<sub>2</sub>

- ✓ Brak lub umiarkowana kolizyjność składowiska
- ✓ Brak lub umiarkowany zakres zjawisk i reakcji, które będą zachodzić w trakcie składowania CO<sub>2</sub>.

Podstawową zasadą przy wyborze miejsc pod składowisko CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. Ten stan można zmienić tylko poprzez odwiercenie nowych otworów badawczych i wykonanie niezbędnego zakresu badań.

Utwory zbiornikowe projektowanego składowiska CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> było prowadzone do przepuszczalnego kolektora skalnego w warunkach nadkrytycznych.

Mając na uwadze przepisy Dyrektywy (2009), przyszłe składowisko CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. Duża odległość będzie wymagała długiej drogi transportu CO<sub>2</sub>. Wpłynie 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> i wynikającego z tego zagrożenia, oraz zdecydować o lokalizacji danego składowiska.

W sposób zdecydowany nie kwalifikują się do składowania CO<sub>2</sub> (mimo korzystnych parametrów – jak powyżej) środowiska skalne, w których badania symulacyjne wskazują na możliwość intensywnego przebiegu zjawisk i reakcji fizykochemicznych, uniemożliwiających długoletnie zatłaczanie CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub>**
- **Szczelnością składowiska**
- **Pojemnością składowiska**
- **Odległością od składowiska do źródła emisji CO<sub>2</sub>**
- **„Kolizyjnością” składowiska (z innymi elementami środowiskowymi i przedsięwzięciami gospodarczymi).**

## **Pokłady węgla**

**(Robert Warzecha, Tadeusz Bromek, Jarosław Chećko, Eleonora Solik-Heliasz, Magdalena Głogowska, Tomasz Urych, Michał Gut)**

Zasady, w oparciu o które przeprowadzono ranking wcześniej wytypowanych i opracowanych rejonów przeznaczonych do geologicznego składowania dwutlenku węgla zostały opracowane w formie zestawienia. Jego głównym zadaniem będzie przedstawienie przydatności wybranych struktur w oparciu o przyjęte kryteria oceny. Obecnie zarówno w Unii Europejskiej jak i na Świecie nie ma jednolitych kryteriów, według których można by dokonać jednoznacznej oceny wytypowanych struktur do składowania CO<sub>2</sub> w pokładach węgla.

W niniejszej pracy zostały opracowane kryteria oceny składowisk w oparciu o dotychczasowe doświadczenia zarówno polskie jak i zagraniczne, w których uwzględniono następujące zagadnienia:

- stopień rozpoznania w obrębie wytypowanych rejonów;
- warunki geologiczne (m.in. tektonikę, koncentrację złóż węgla, zasoby metanu, parametry);
- efektywność składowania (m.in. pojemność wybranej struktury oraz ilość możliwego do wydobycia metanu);
- oddziaływanie na środowisko (m.in. kolizyjność przedsięwzięcia z otaczającym je środowiskiem).

Poszczególnym kryteriom oceny zostały przypisane wartości liczbowe stanowiące „wagę” oceny. Pozwoliło to na ustalenie najkorzystniejszego rejonu wytypowanego do magazynowania dwutlenku węgla w pokładach węgla, jak również umożliwiło pełne zobrazowanie „wad i zalet” poszczególnych rejonów.

Niniejsze opracowanie oraz przyjęte w nim założenia wraz z wskaźnikami wagowymi mają posłużyć jako ułatwienie w trakcie podejmowania decyzji odnośnie dalszych działań związanych z pracami nad składowaniem CO<sub>2</sub> w pokładach węgla w rejonie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW).

### **Określenie kryteriów składowania CO<sub>2</sub> w pokładach węgla**

Na podstawie dotychczasowych opracowań (m.in. Tarkowski red., 2005; Tarkowski, Stopa, 2007) dotyczących podziemnego składowania dwutlenku węgla, wybór miejsc składowania jest uzależniony od następującej grupy czynników:

- bezpieczeństwa składowania;
- oddziaływania składowiska i jego sprzeczność zarówno z innymi planowanymi inwestycjami jak i zasobami naturalnymi występującymi w danym regionie, które podlegają ochronie;

- efektywności składowania.

Powyższe parametry poza efektywnością składowania regulują przepisy Dyrektywy (2009), które nakazują, aby podziemne składowisko w trwały sposób gromadziło CO<sub>2</sub> w strukturach geologicznych, przy jednoczesnej minimalizacji ryzyka wycieku. Zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa składowania CO<sub>2</sub> dotyczą zarówno etapu zatłaczania jak i monitoringu składowiska oraz jego otoczenia po zakończeniu procesu lokowania dwutlenku węgla w wybranej strukturze geologicznej. Według wyżej wymienionej Dyrektywy państwa członkowskie UE nie powinny dopuszczać do sprzecznych ze sobą sposobów użytkowania terenu danego kompleksu skalnego w danym czasie. Ogólną zasadą jest, aby miejsce pod składowisko było w jak najmniejszym stopniu sprzeczne z innymi przedsięwzięciami technicznymi oraz uwarunkowaniami naturalnymi.

Na efektywność składowania CO<sub>2</sub> składa się wiele czynników m.in. trafność rozpoznania geologicznego, wydajność zatłaczania, żywotność składowiska, możliwość wystąpienia utrudnień w trakcie procesu składowania. Są one głównie związane z dostępnymi możliwościami technicznymi oraz ekonomią przedsięwzięcia i rzutują na finalny efekt prowadzonych prac.

Wytypowany rejon do geologicznego składowania dwutlenku węgla w pokładach węgla powinien charakteryzować się następującymi parametrami:

- pojemnością składowania CO<sub>2</sub> w pokładach węgla zadawalającą inwestora tzn. gwarantującą odpowiednio długą żywotność składowiska;
- bezpieczeństwem składowania dwutlenku węgla, związaną zarówno ze szczelnością utworów zalegających w stropie składowiska jak również w bocznych partiach złoża, tektoniką oraz wpływem otworów wiertniczych występujących w obszarze składowiska i w zasięgu jego wpływów (Dubieński, Solik-Heliasz, 2007; Tarkowski, Stopa, 2007). W rejonie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego należy również uwzględnić odległość składowiska i jego wpływ na pobliskie kopalnie.
- ochroną pozostałych zasobów występujących na danym terenie m.in. zbiorników wód podziemnych, których wartość naturalna może zostać pomniejszona lub ulec bezpowrotnej utracie.

Ponadto pokłady węgla przeznaczone do magazynowania CO<sub>2</sub> przy jednoczesnym pozyskaniu metanu powinny charakteryzować się:

- przepuszczalnością nie mniejszą niż 1-5 mD. Przepuszczalność jest jednym z czynników określających efektywność składowania CO<sub>2</sub>. Jej wartości są zróżnicowane, ale generalnie jej wartość spada wraz ze wzrostem głębokości w wyniku zamykania płaszczyzn łupliwości wraz z wzrastającym ciśnieniem rzeczywistym (McKee i in., 1988; Enever i in., 1994, 1999; Sparks i in., 1995; Bustin, 1997). Przepuszczalność pokładów węgla znajdujących się głębiej niż 1500 m jest poniżej ogólnie wymaganej wartości do ekonomicznie uzasadnionej produkcji metanu (CBM) (Zuber i in., 1996);
- nieskomplikowaną budową geologiczną tzn. zbiornik powinien być minimalnie zuskokowany. Tektonika analizowanych rejonów została przedstawiona w rankingu w formie gęstości zuskokowania;

- niskim nasyceniem wodą, w przeciwnym razie pokłady węgla muszą być odwodnione, co pociąga za sobą dodatkowe koszty oraz problemy związane z gromadzeniem odpompowanej wody bądź jej zrzutami do cieków powierzchniowych;
- z uwagi na połączenie dwóch procesów tj. wydobycia metanu przy jednoczesnym zatłoczeniu CO<sub>2</sub>, pokłady węgla powinny zawierać zasoby metanu, których pozyskanie będzie ekonomicznie uzasadnione;
- stopień rozpoznania wytypowanych struktur powinien dawać podstawy do uzyskania rzetelnych wyników opracowań w przeciwnym razie konieczne jest wykonanie dodatkowych prac rozpoznawczych i weryfikacja dotychczasowych wyników m.in. oszacowania pojemności składowania;

Pokłady węgla brane pod uwagę, jako nadające się do składowania dwutlenku węgla powinny zalegać głębiej niż pokłady, które są potencjalnie rozważane pod kątem innego wykorzystania.

### **Ranking cech, określających wybór składowiska (rejonu)**

Charakterystykę wybranych miejsc zatłaczania CO<sub>2</sub> do pokładów węgla przeprowadzono tzw. metodą ekspercką. Przyjęto czynniki oceny wraz z przypisanymi im wartościami liczbowymi w przedziale od 1 do 4. Posłużono się mapą przedstawiającą rejon składowania na tle istniejącej infrastruktury budowlanej, górniczej oraz rejonów podlegających ochronie (rys. 1). Przypisując wartości liczbowe danym rejonom brano pod uwagę m.in. stopień kolizyjności wybranych składowisk zarówno z otaczającymi obiektami przyrodniczymi jak i infrastrukturą techniczną.

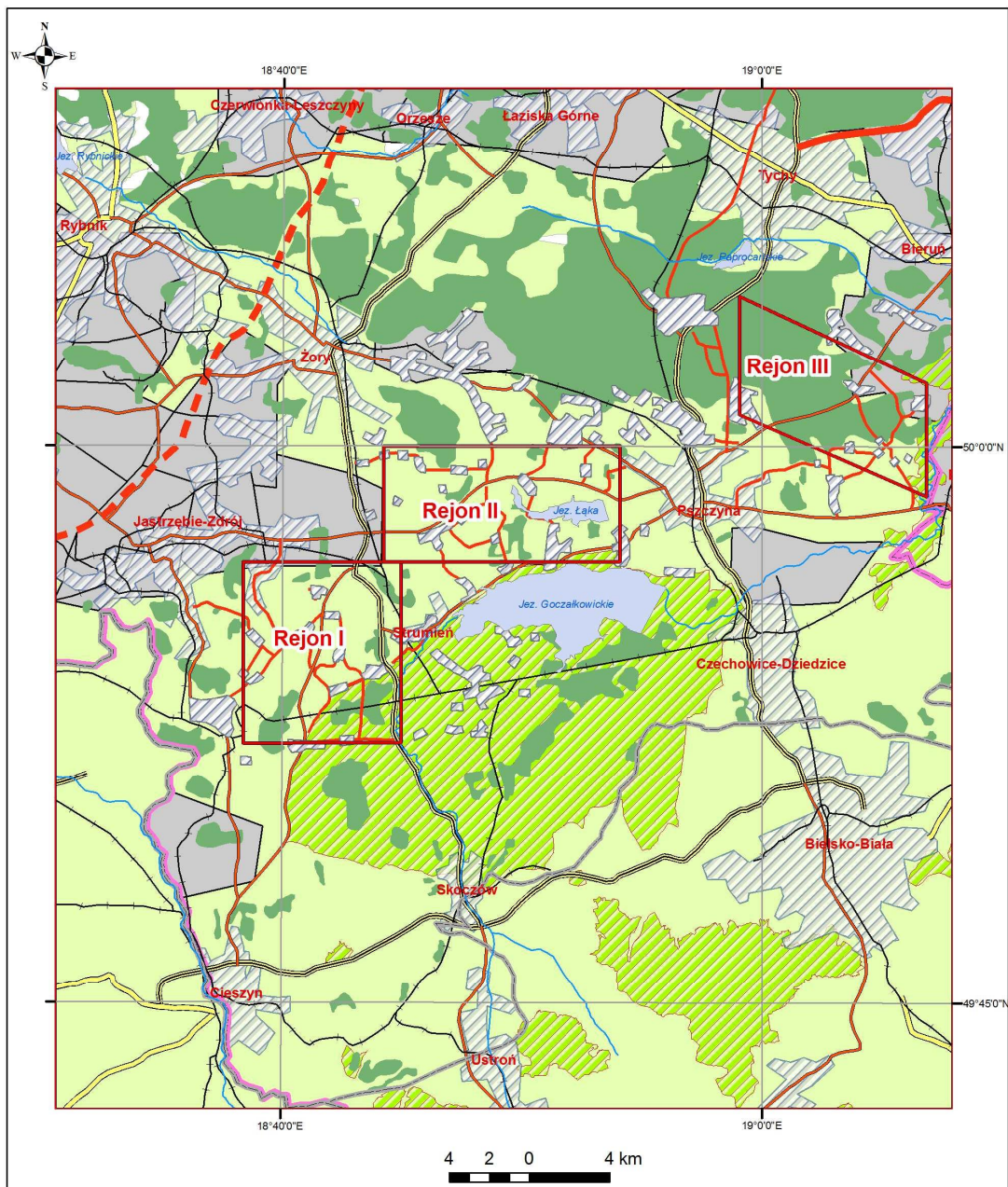
Do ustalenia najkorzystniejszego rejonu posłużono się następującymi czynnikami i wartościami punktowymi:

- przepuszczalność:
  - 1÷5 mD – **1**;
  - 5÷15 mD – **2**;
  - >15 mD – **3**;
- Gęstość zuskokowania:
  - do 1000 m/km<sup>2</sup> – **3**;
  - 1000÷1500 m/km<sup>2</sup> – **2**;
  - >1500 m/km<sup>2</sup> – **1**;
- odległość od granic obszaru górniczego:
  - 2,5 – 5 km – **1**;
  - >5 km – **2**;
- Miąższość warstwy nieprzepuszczalnej:
  - 50÷100 m – **1**;
  - >100 m – **2**;
- Tereny zabudowane I przemysłowe:
  - Zabudowane i przemysłowe – **1**;

- niezabudowane – **2**;
- tereny chronione, leśne, pola, łąki:
- tereny chronione – **1**;
- tereny leśne – **2**;
- pola, łąki – **4**;
  
- rozpoznanie geologiczne (ilość stwierdzeń na 1 km<sup>2</sup>):
- do 0,3 stwierdzeń – **1**;
- >0,3 stwierdzeń – **4**;
- Oszacowana pojemność:
- do 5 mln ton – **1**;
- > 5 mln ton – **2**;
- Zawartość metanu:
- do 4,5 m<sup>3</sup>/Mg<sub>CSW</sub> – **1**;
- > 4,5m<sup>3</sup>/Mg<sub>CSW</sub> – **2**;

Analizę w oparciu o powyższe wskaźniki oraz dotychczasowe wyniki prac zestawiono w formie tabeli (**Tabela 1.1.35\_1**)

Sposób oceny przydatności rejonów wytypowanych przez PIG do ewentualnego składowania CO<sub>2</sub> w pokładach węgla, umożliwia we wstępnym etapie prac przeprowadzenie ich selekcji i wyznaczenie najkorzystniejszego rejonu do dalszych badań i analiz. Z rozważanych trzech rejonów tj. Bzie-Drogomyśl (rejon I), Pawłowice (rejon II) i Międzyrzecze-Bieruń (rejon III) najwyższą ilość punktów uzyskał rejon Pawłowice (**Tabela 1.1.35\_1**).



- Objaśnienia:**
- granica GZW
  - rejon opracowania
  - Szlaki kolejowe
  - Autostrada
  - Planowana autostrada
  - Drogi główne dwujezdniowe
  - Drogi główne jednojezdniowe
  - Drogi drugorzędne jednojezdniowe
  - Granica administracyjna
  - Obszary miejskie
  - Obszary Natura 2000
  - obszary łąk, pastwisk, nieużytków
  - kompleksy leśne
  - Proponowane obszary Natura 2000
  - obszary górnicze

**Fig. 1.1.35\_1** Mapa sytuacyjna rejonu badań (opr. K. Kura)



**Tab. 1.1.35\_1** Ranking trzech rejonów wytypowanych do geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w pokładach węgla w obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

Rejon	Przepuszczalność [mD]	Gęstość zuskokowania [m/km <sup>2</sup> ]	Odległość od granic obszaru górniczego	Mięszczość warstwy nieprzepuszczalnej	Tereny Zabudowane i przemysłowe	Tereny chronione, leśne, pola, łąki	Rozpoznanie geologiczne (ilość stwierdzeń na 1 km <sup>2</sup> )	Oszacowana pojemność	Średnia zawartość metanu	Suma punktów
rejon I (Bzie-Drogomyśl)	b.d.	1	-	2	1	1	4	1	1	11
rejon II (Pawłowice)	b.d.	2	-	2	1	4	4	2	2	17
rejon III (Międzyrzecze-Bieruń)	b.d.	3	-	2	2	2	1	2	2	14

## **Określenie obszarów, na których można będzie lokalizować składowiska CO<sub>2</sub> – struktury naftowe, konflikty interesów (1.1.36 - INiG)**

(Jan Lubaś, Sławomir Szuflita, Jerzy Kuśnierczyk, Władysław Socha)

**Współwykonawcy z PGNiG SA: Tomasz Haduch, Piotr Misztak, Grzegorz Migiel, Michał Filipiak, Grzegorz Paliborek, Henryka Jandy**

### **Kryteria określające przydatność struktur naftowych na potrzeby geologicznego składowania CO<sub>2</sub>**

Złóża naftowe należą do pierwszej kategorii obiektów geologicznych pod względem przydatności dla celów geologicznego składowania CO<sub>2</sub>. Przez fakt, że nastąpiła w nich akumulacja węglowodorów postrzegane są one, jako efektywne i szczelne dla płynów pułapki mogące przechować CO<sub>2</sub> przez odpowiednio długi okres czasu. Znacząca ilość obiektów, które przez miliony lat stanowiły pułapkę stratygraficzną dla węglowodorów wchodzi obecnie w końcową fazę eksploatacji stanowiąc znaczący potencjał składowania. Złóża te przez lata eksploatacji zostały dobrze poznane i zagospodarowane, posiadają gotową infrastrukturę węgelną i powierzchniową, którą można wykorzystać do zatłaczania dwutlenku węgla a tym samym zminimalizować koszty sekwestracji. Ocenia się, że ponad 80 % struktur ropy i gazu może być wykorzystane dla potrzeb sekwestracji CO<sub>2</sub> (Kovscek, 2002).

Kolejnym sposobem zredukowania kosztów jest możliwość zwiększenia wydobycia ropy czy gazu podczas zatłaczania CO<sub>2</sub> a w konsekwencji zamknięcie obiegu dwutlenku węgla dla paliw kopalnych. Wyróżnić należy trzy podstawowe mechanizmy określające warunki składowania CO<sub>2</sub> w złożach ropy i gazu:

- pułapkowanie hydrodynamiczne CO<sub>2</sub> w fazie gazowej, najczęściej w stanie nadkrytycznym w przestrzeni porowej poniżej skał uszczelniających,
- rozpuszczanie w fazie wodnej lub ropnej,
- wiązanie chemiczne ze skałą złożową lub substancją organiczną.

Przystępując do kwalifikacji poszczególnych złóż dla celów sekwestracji należy ocenić możliwość zastosowania CO<sub>2</sub> w procesach wspomaganego wydobycia ropy (EOR). Rozpuszczający się w ropie zatłaczany dwutlenek węgla zmniejsza znacznie lepkość ropy w warunkach złożowych oraz zwiększa jej objętość. Zjawiska te znacznie ułatwiają proces wydobycia ropy. Parametrem określającym optymalne warunki wypierania ropy przez zatłaczany CO<sub>2</sub> jest tzw. minimalne ciśnienie zmieszania – MMP (minimum miscible pressure). W tych warunkach ciśnienia zachodzi całkowite rozpuszczenie CO<sub>2</sub> w fazie ropnej co powoduje blisko 100 % wyparcie fazy ciekłej z przestrzeni porowej. Wartość minimalnego ciśnienia zmieszania zależy od składu chemicznego ropy i jej gęstości i wzrasta wraz ze zwiększeniem gęstości ropy. Dlatego też uważa się, że dla celów sekwestracji gęstość ropy nie powinna przekraczać wartości 900 kg/m<sup>3</sup>.

W przypadku zmian ciśnienia i temperatury ulega zmianie stan skupienia CO<sub>2</sub>, który w niskich temperaturach jest ciałem stałym a wraz ze wzrostem temperatury przechodzi w stan pary.

W przypadku składowania CO<sub>2</sub> pod ciśnieniem przekraczającym ciśnienie krytyczne 7,38MPa i w temperaturze górotworu ponad 31,1 °C przechodzi on w stan nadkrytyczny, który spowoduje gwałtowny wzrost jego gęstości a tym samym zwiększa ilość zmagazynowaną w jednostce objętości. Podstawowym warunkiem efektywności składowania CO<sub>2</sub> jest zapewnienie warunków nadkrytycznych, a więc głębokości poniżej 800 m.

Dla celów sekwestracji niezbędne jest więc spełnienie podstawowych kryteriów umożliwiających składowanie dwutlenku węgla:

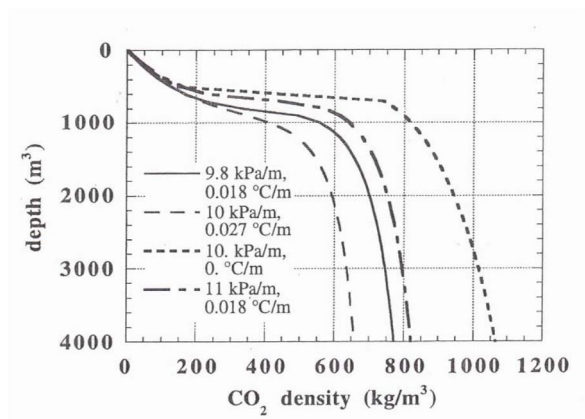
- odpowiednia faza eksploatacji złoża,
- głębokość zalegania złoża,
- pojemność złoża,
- ilość wody, ropy czy gazu w złożu,
- miąższość złoża,
- przepuszczalność skał złożowych.

#### **Kryteria doboru ropnych struktur złożowych**

Doświadczenia uzyskane w trakcie wdrażania poszczególnych projektów sekwestracyjnych wskazują na zasadność uwzględnienia kryteriów z zakresu inżynierii złożowej takich jak gęstość CO<sub>2</sub>, objętość porowa właściwa, chłonność skały wobec CO<sub>2</sub>, stopień oddziaływania złoża/poziom zawodniony oraz stopień odzysku ropy resztkowej. Zostaną one kolejnoscharakteryzowane w poniższej części opracowania.

#### Gęstość CO<sub>2</sub>

Jest to podstawowy czynnik uwzględniany w kryteriach doboru warunków sekwestracji, gdyż od tej wartości zależy ilość zmagazynowanego CO<sub>2</sub> w przestrzeni porowej skały kolektora w ramach pułapowania hydrodynamicznego. Gęstość CO<sub>2</sub> ulega znaczącym zmianom wraz z głębokością przy różnych wartościach gradientów geotermicznych i hydrostatycznych, **Fig. 1.1.36\_1**.



**Fig. 1.1.36\_1** Gęstość dwutlenku węgla w funkcji głębokości dla różnych gradientów hydrostatycznych i geotermicznych (Kovscek, 2002)

Należy zauważyć, że w warunkach realnego górotworu uwzględniając różne wielkości gradientu geotermicznego i hydrostatycznego gęstość CO<sub>2</sub> nawet w głębokości poniżej 4000m nie osiąga gęstości wody, w związku z czym w środowisku wodnym wykazuje on tendencje do migracji pionowej.

#### Pojemność właściwa, jednostkowa pojemność sekwestracyjna

Poszczególne obiekty sekwestracyjne charakteryzować się będą zróżnicowaną pojemnością składowania CO<sub>2</sub> w zależności od porowatości skały złożowej, jej części wypełnianej przez CO<sub>2</sub>, ciśnienia i temperatury złożowej. Pojemność właściwa jest więc dobrym wskaźnikiem definiującym potencjał sekwestracyjny.

Można go przedstawić równaniem:

$$C = \rho (1 - S_{or} - S_w) \Phi + S_w \Phi C_s(1)$$

gdzie;

$\rho$  – gęstość CO<sub>2</sub> [kg/m<sup>3</sup>]

$S_o$  – resztkowe nasycenie ropą

$S_w$  – resztkowe nasycenie wodą

$\Phi$  – porowatość jako ułamek

$C_s$  – ilość CO<sub>2</sub> rozpuszczającego się w wodzie

W tym przypadku ze względu na niewielką ilość ropy pozostającej w złożu pomija się rozpuszczalność w niej CO<sub>2</sub>.

## Chłonność

Jest miarą łatwości z jaką zatłaczany płyn przemieszcza się w ośrodku skalnym.

Można ją przedstawić równaniem:

$$I = q / (h \Delta p) = 2 \pi k / (\mu \ln (r_e / r_w)) (2)$$

$q$  – objętościowe natężenie przepływu

$h$  – miąższość złoża

$\Delta p$  – gradient ciśnienia pomiędzy otworem a złożem

$k$  – przepuszczalność złoża

$\mu$  – lepkość zatłaczanego medium

$r_e$  – promień oddziaływania odwiertu

$r_w$  – promień odwiertu

Dzięki względnie niskiej lepkości dwutlenku węgla w warunkach złożowych objętości zatłaczanego CO<sub>2</sub> są znaczące zarówno w dobrze jak i słabo przepuszczalnych skałach złożowych. Natomiast dla celów EOR bardziej korzystne są mniej przepuszczalne formacje skalne, z których zatłaczany CO<sub>2</sub> w większym stopniu wypiera pozostałą ropę naftową.

## Stopień odzysku ropy resztkowej

Parametr ten jest miarą efektywności zastosowania CO<sub>2</sub> w procesach EOR. Często korzysta się w tych przypadkach ze wskaźnika  $S_o\Phi$ , a więc ilorazu nasycenia resztkowego ropą orazporowatości. Zwykle dla wartości  $S_o\Phi$  większych od 0.05 – 0.07 projekt EOR jest przedsięwzięciem opłacalnym. Oczywiście im większa jest wartość  $S_o\Phi$  tym więcej ropy można odzyskać podczas danego zabiegu EOR. Dla wartości poniżej 0.05 szcerpane złoża ropy ze względu na niską efektywność odropienia należy traktować jako poziom solankowy.

## Oddziaływanie wody złożowej na poziom roponośny

W przypadku obecności aktywnej wody podścielającej szcerpane złoża ropy naftowej nastąpiła wcześniej ingerencja poziomu wodonośnego. Podczas zatłaczania CO<sub>2</sub> wystąpi zjawisko wypierania wtargniętej wcześniej do strefy roponośnej wody, wzrosną zatem opory przepływu zatłaczanego CO<sub>2</sub>.

## **Uwarunkowania inżynierii procesowej**

Oprócz kryteriów z zakresu inżynierii złożowej istotne są również uwarunkowania związane z usytuowaniem instalacji napowierzchniowych.

Czysty dwutlenek węgla jest obojętny chemicznie zarówno w postaci cieczy jak i w stanie nadkrytycznym i nie ma właściwości powodujących korozję. Jednakże zanieczyszczenia występujące w spalinach takie jak woda i dwutlenek siarki tworzą z dwutlenkiem węgla mieszaniny korodujące.

Dla celów zatłaczania wymagana czystość CO<sub>2</sub> powinna przekraczać 90%.

**Tabela 1.1.36\_1** Kryteria brzegowe wyboru struktur naftowych dla celów sekwestracji CO<sub>2</sub> oraz EOR

	Wskaźnik optymalny	Wskaźnik brzegowy
<b>Właściwości zbiornikowe</b>		
$S_o\phi$	$\geq 0,05$	$< 0,05$
$kh$ [m <sup>3</sup> ]	$\geq 10^{-14} - 10^{-13}$	$< 10^{-14}$ j
Pojemność właściwa [kg/m <sup>3</sup> ]	$> 10$	$< 10$
Uszczelnienie	odpowiednia charakterystyka nadkładu i minimalne uszkodzenia skał zbiornikowych	obszary narażone na rozszczelnianie uskoków
<b>Właściwości ropy</b>		
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$> 22$ API, $< 900$	$< 22$ API, $> 900$
$\mu$ [mPa]	$< 5$	$> 5$
Skład	duża zawartość frakcji C <sub>5</sub> -C <sub>12</sub> , niewielka ilość węglowodorów aromatycznych.	
<b>Czynniki powierzchniowe</b>		
Korozja	możliwość oczyszczania CO <sub>2</sub> do stopnia czystości 90%	H <sub>2</sub> O i H <sub>2</sub> S o stężeniu powyżej 500 ppm każdy
Rurociągi	źródło antropogenicznego CO <sub>2</sub> w obrębie 500 km do złoża	lokalizacja niekorzystna gdy odległość przekracza 500km
Synergia	wcześniej istniejąca produkcja ropy i obiekty na powierzchni oraz zdobyta wiedza.	nieznaczne doświadczenie przy realizacji projektów CO <sub>2</sub> -EOR

Jednym z głównym aspektów mających również wpływ na wybór danego złoża jest jego odległość od źródła CO<sub>2</sub>. Koszt budowy rurociągu jest bardzo duży i dlatego przyjęto że odległość źródła CO<sub>2</sub> do miejsca jego składowanie może wynosić maksymalnie 500 km (Kovscek, 2002).

Zatłaczanie CO<sub>2</sub> może się odbywać do wody znajdującej się poniżej złoża; w ten sposób możemy spowodować wyparcie ropy uwięzionej w pionowych kapilarach w strefie hydrofilowej. Zatłaczanie do wody złożowej powoduje również opóźnienie lub zminimalizowanie obiegu CO<sub>2</sub> od otworów zatłaczających do produkcyjnych.

W tabelicy **1.1.36\_1** przedstawiono w formie podsumowania wcześniej omówione kryteria brzegowe doboru szcerpanych struktur naftowych dla potrzeb sekwestracji CO<sub>2</sub> oraz wspomaganie wydobywania ropy – EOR (Kovscek, 2002; Show & Bachu, 2002).

### **Kryteria doboru częściowo szcerpanych złóż gazu ziemnego**

Złóża gazu ziemnego są równie potencjalnie dobrym kolektorem, dla składowania dwutlenku węgla. Złóża te powinny spełnić te same kryteria dotyczące właściwości zbiornikowych co złoża ropne.

Ścisłość dwutlenku węgla jest dużo większa od ścisłości gazu ziemnego w złożu, dzięki czemu możemy zmagazynować więcej CO<sub>2</sub> w tej samej objętości zajmowanej wcześniej przez CH<sub>4</sub>.

### **Składowanie CO<sub>2</sub> w szcerpanych złożach ropy naftowej**

Celem obliczenia pojemności składowania CO<sub>2</sub> w szcerpanych złożach ropy naftowej, bez jednoczesnej produkcji ropy naftowej przyjmuje się, że objętość płynów złożowych, jaka została wydobyta ze złoża jest ściśle związana z możliwą ilością magazynowanego CO<sub>2</sub>. Część objętości złoża zajmowana wcześniej przez ropę, która została zajęta przez wkraczającą wodę i nie może być wyparta przez zatłaczany CO<sub>2</sub> zostaje wówczas odjęta od objętości całkowitej powstałej w wyniku wydobywania ropy. Zakłada się, że w zależności od ilości wody 40%, 60% i 80% przestrzeni może zostać użyte do składowania CO<sub>2</sub> w szcerpanych złożach ropy.

Pojemność sekwestracji dla szcerpanych złóż ropy jest od 3 do 10 razy mniejsza w porównaniu z zatłaczaniem CO<sub>2</sub> wykorzystującym metodę EOR.

Inną metodą obliczania pojemności jest określenie jednostkowej objętości porowej, która może być wypełniona zatłaczanym CO<sub>2</sub> (patrz wzór 1 powyżej). O możliwej do zmagazynowania ilości dwutlenku węgla w złożu nie decyduje tylko jego gęstość w warunkach złożowych, głębokość zalegania złoża i jego temperatura. Porowatość skał złożowych, która może być tylko w pewnym ułamku wypełniona przez CO<sub>2</sub> również ma wpływ na pojemność magazynową.

### Składowanie CO<sub>2</sub> podczas procesów wspomaganego wydobycia ropy - EOR

Dla obliczenia ilości CO<sub>2</sub>, który może być potencjalnie składowany w procesach EOR należy wcześniej określić ilość dodatkowo wydobytej ropy z zastosowaniem CO<sub>2</sub> z poniższego równania wg ECOFYS:

$$OOIP = URR / ((API_{gęstość} + 5)/100) \quad (3)$$

gdzie:

OOIP – zasoby ropy pozostałej do wydobycia [Mg] (zasoby geologiczne minus ilość wydobytej ropy)

API – gęstość ropy w stopniach API

URR – wydobywalne zasoby ropy [Mg]

Ponieważ nie cała objętość ropy będzie w kontakcie z zatłaczanym CO<sub>2</sub>, dlatego przyjęto współczynnik 0,75.

$$OOIP = OOIP \times 0,75 \quad (4)$$

### Składowanie CO<sub>2</sub> w szcerpanych złożach gazu ziemnego

Ściśliwość CO<sub>2</sub> w typowych warunkach złożowych jest znacznie większa w porównaniu do gazu ziemnego. Oznacza to, że objętość porowa złoża może pomieścić znacznie większą objętość CO<sub>2</sub> zmierzoną w warunkach normalnych w porównaniu do metanu. Przyjmuje się, że około 75 % przestrzeni porowej złoża gazu może być zastąpione przez CO<sub>2</sub> (ECOFYS).

Ilość składowanego CO<sub>2</sub> w szcerpanym złożu gazu ziemnego można wyliczyć z zależności;

$$CO_{2G} = 0,75 \times V_{gaz} \times (Z_{gazu\ ziemnego}/Z_{CO2}) \times \rho_{NCO2} \quad (5)$$

gdzie:

CO<sub>2G</sub> – ilość potencjalnie składowanego CO<sub>2</sub> w szcerpanym złożu gazu [Mg]

V<sub>gaz</sub> – objętość gazu ziemnego w złożu, zasoby geologiczne [m<sup>3</sup>]

Z<sub>gazu ziemnego</sub> i Z<sub>CO2</sub> - ściśliwości

ρ<sub>NCO2</sub> – gęstość CO<sub>2</sub> w warunkach normalnych = 1.98 x 10<sup>-3</sup> Mg/m<sup>3</sup>



## **Wybór struktur naftowych dla potrzeb sekwestracji w oparciu o uzgodnienia z operatorem złóż – PGNiG S.A.**

Podczas spotkania w dniu 09.07.2009 w siedzibie PGNiG S.A. w Warszawie przedstawiciele zespołów roboczych z PGNiG S.A. pod przewodnictwem dyrektora Jarosława Polita, przedstawiciela PIG w osobie dr Adama Wójcickiego oraz przedstawiciela INiG w osobie doc. Jana Lubasia ustalono, że PGNiG przekaże listę złóż wytypowanych przez PGNiG dla potrzeb składowania dwutlenku węgla. W dniu 17. 09. 2009 drogą emailową przesłano wykaz złóż gazowych a mianowicie:

- Bogdaj-Uciechów
- Wilków
- Kielanówka-Rzeszów
- Tarnów-Miocen
- Zalesie
- Jodłówka
- Pilzno-Południe.

W rozmowie telefonicznej kierownika zadania Jana Lubasia oraz dyr. Jarosława Polita ustalono, że należy rozpatrzyć jeszcze złoża ropy naftowej a mianowicie:

- Kamień Pomorski
- Nosówka.

### **Struktury złożowe zlokalizowane w obszarze działania PGNiG Oddział w Zielonej Górze (Fig. 1.1.36\_2, 3)**

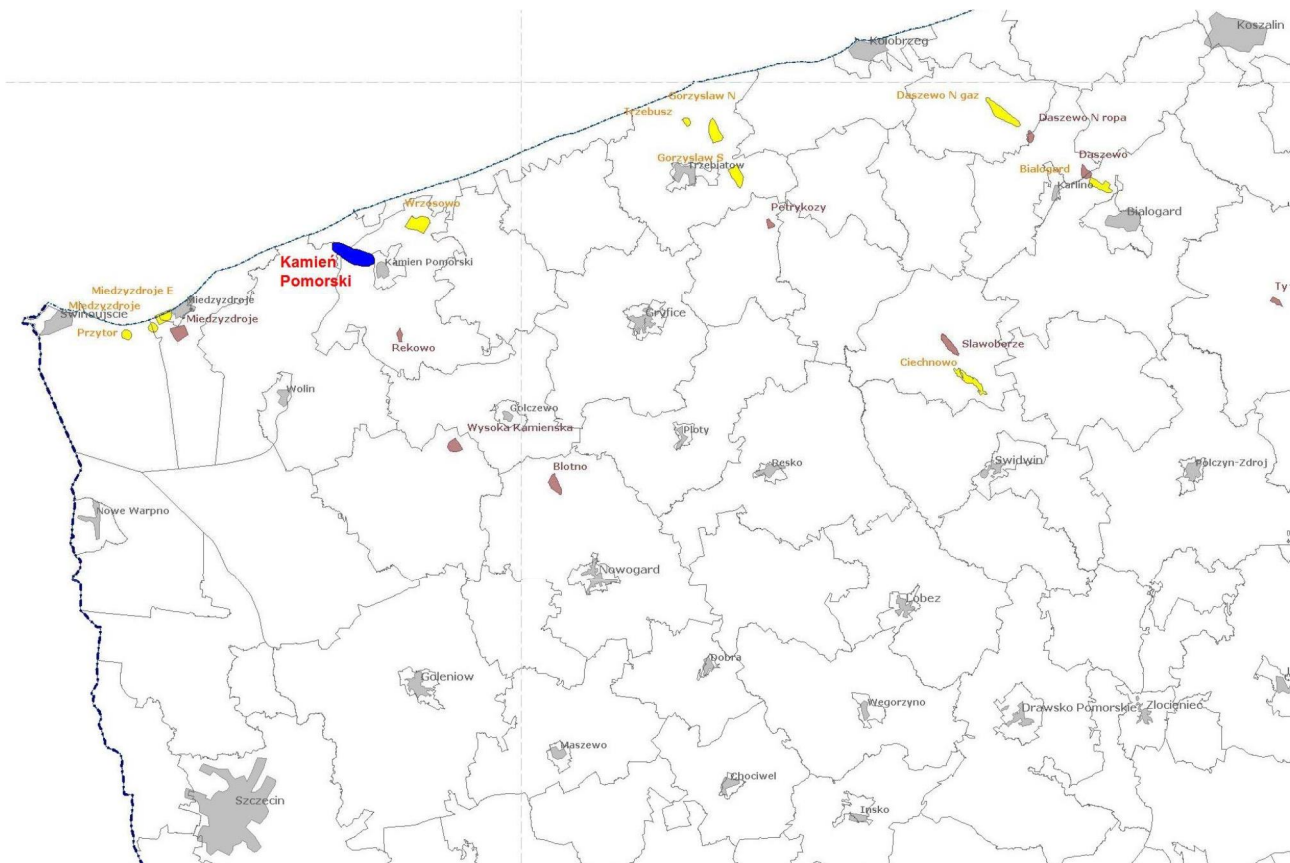
Strukturami zlokalizowanymi na obszarze działania PGNiG Oddziału w Zielonej Górze, które zostały poddane analizie pod kątem sekwestracji dwutlenku węgla są złoża gazowe

- Bogdaj-Uciechów
- Wilków

Dla potrzeb składowania dwutlenku węgla dla obszaru Niżu Polskiego zostało wytypowane jedno złożo ropne:

- Kamień Pomorski





**Fig. 1.1.36\_3** Mapa lokalizacji złóż na terenie działania PGNiG Oddział Zielona Góra część północna

#### **Struktury złożowe zlokalizowane w obszarze działania PGNiG Oddział w Sanoku (Fig. 1.1.36\_4)**

Strukturami zlokalizowanymi na obszarze działania PGNiG Oddziału w Sanoku, które zostały poddane analizie pod kątem sekwestracji dwutlenku węgla są złoża gazowe

- Kielanówka-Rzeszów
- Tarnów-Miocen
- Zalesie
- Jodłówka
- Pilzno-Południe.

Spośród złóż wytypowanych przez PGNiG dla potrzeb składowania dwutlenku węgla dla obszaru przedgórza Karpat zostało wytypowane jedno złożo ropne:

- Nosówka

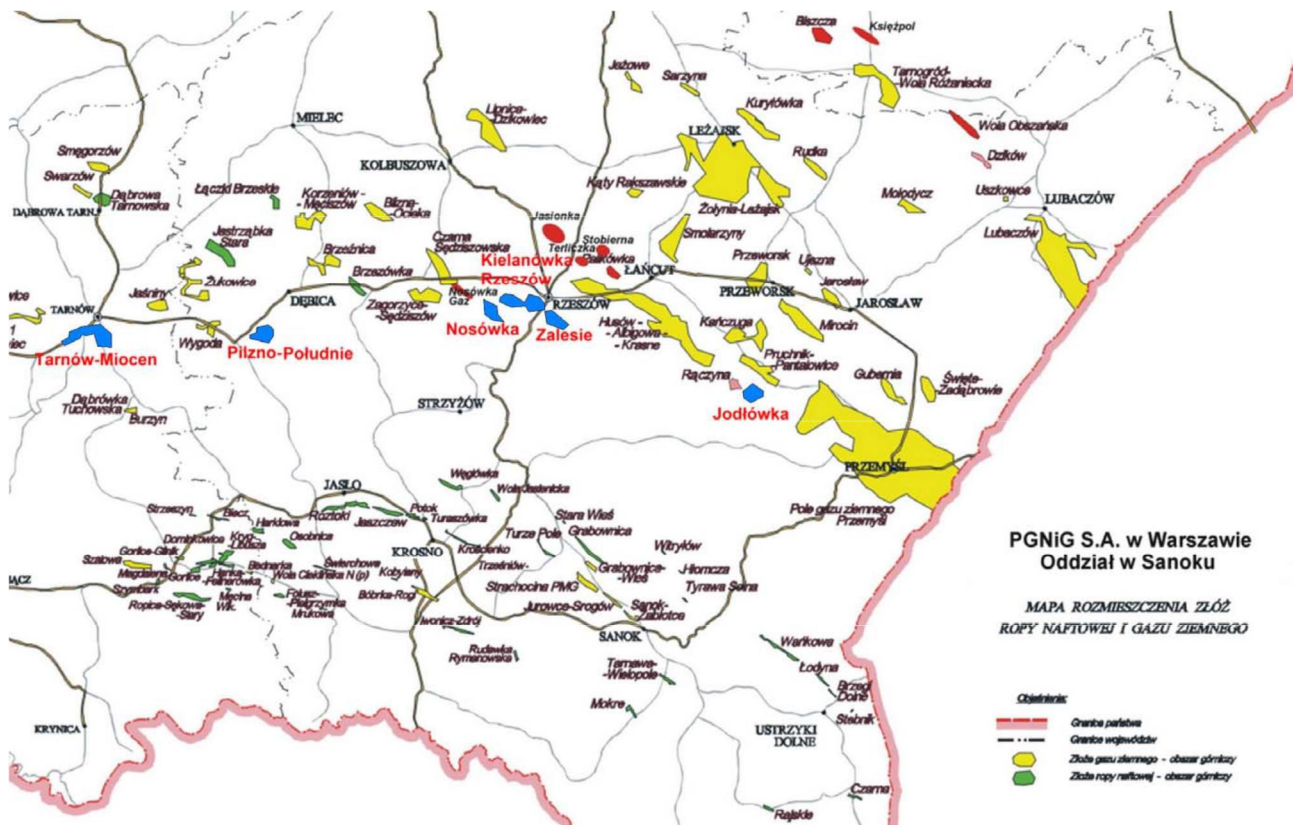


Fig. 1.1.36\_4 Mapa lokalizacji złóż na terenie działania PGNiG Oddział Sanok

(Jan Lubaś, Sławomir Szufflita)

### Ranking struktur naftowych

Rankingu wytypowanych złóż dokonano w oparciu o kryteria mające decydujący wpływ na możliwość wstępnej oceny przydatności struktur dla potrzeb sekwestracji CO<sub>2</sub>:

- Pojemność składowania
- Odległość złoża od najbliższego emitenta
- Wielkości emisji najbliższego emitenta
- Średni czas zapełnienia struktury zatłaczanym CO<sub>2</sub> przez najbliższego emitenta
- Stopień zurbanizowania terenu znajdującego się nad złożem
- Ochrona środowiska

Wymienione kryteria zostały przedstawione w formie tabelarycznej, w której poszczególne struktury otrzymały punkty w skali od 10 do 2. Kolorem zostały zaznaczone złoża ropne by wyróżniały się na tle złóż gazowych.

## Kryteria rankingowe

### Pojemność składowania

**Tabela 1.1.36\_2** Pojemność składowania

Lp.	Złoże	Pojemność składowania	Jednostka	Punkty rankingowe
1	Bogdaj-Uciechów	61,4	mln Mg CO <sub>2</sub>	10
2	Wilków	19,7	mln Mg CO <sub>2</sub>	9
3	Kielanówka-Rzeszów	14,7	mln Mg CO <sub>2</sub>	8
4	Tarnów-Miocen	11,7	mln Mg CO <sub>2</sub>	7
5	Zalesie	10,2	mln Mg CO <sub>2</sub>	6
6	Jodłówka	9,9	mln Mg CO <sub>2</sub>	5
7	Pilzno-Południe	8,8	mln Mg CO <sub>2</sub>	4
8	Kamień Pomorski	2	mln Mg CO <sub>2</sub>	3
9	Nosówka	1,9	mln Mg CO <sub>2</sub>	2

### Odległość złoża - najbliższy emitent

**Tabela 1.1.36\_3** Odległość w linii prostej od złoża do najbliższego emitenta

Lp.	Złoże	Najbliższy Emitent	Odległość [km]	punkty rankingowe
1.	Tarnów-Miocen	Zakłady Azotowe Tarnów-Mościce	4	10
2.	Zalesie	Elektrociepłownia Rzeszów	6	9
3.	Kielanówka-Rzeszów	Elektrociepłownia Rzeszów	7	8
4.	Nosówka	Elektrociepłownia Rzeszów	11	7
5.	Jodłówka	Huta Szkła Jarosław	23	6
6.	Pilzno-Południe	Zakłady Azotowe Tarnów-Mościce	28	5
7.	Kamień Pomorski	Zakłady Azotowe Police S.A.	49	4
8.	Bogdaj-Uciechów	Elektrociepłownia Wrocław	55	3
9.	Wilków	Zespół Elektrociepłowni Poznańskich S.A	97	2

Wielkość emisji najbliższego emitenta

**Tabela 1.1.36\_4** Wielkość emisji CO<sub>2</sub> najbliższego emitenta

Lp.	Złoże	Najbliższy Emitent	Wielkość emisji [mln ton]		punkty rankingowe
			od	do	
1.	Tarnów-Miocen	Zakłady Azotowe Tarnów-Mościce	1	5	10
2.	Pilzno-Południe	Zakłady Azotowe Tarnów-Mościce	1	5	10
3.	Bogdaj-Uciechów	Elektrociepłownia Wrocław	1	5	10
4.	Wilków	Zespół Elektrociepłowni Poznańskich S.A	1	5	10
5.	Zalesie	Elektrociepłownia Rzeszów	0,5	1	5
6.	Kielanówka-Rzeszów	Elektrociepłownia Rzeszów	0,5	1	5
7.	Nosówka	Elektrociepłownia Rzeszów	0,5	1	5
8.	Kamień Pomorski	Zakłady Azotowe Police S.A.	0,5	1	5
9.	Jodłówka	Huta Szkła Jarosław	~0,2		2

Średni czas zapełnienia struktury przez najbliższego emitenta

**Tabela 1.1.36\_5** Średni czas zapełnienia struktury przez najbliższego emitenta

Lp.	Złoże	Najbliższy Emitent	Wielkość emisji [mln ton]		Pojemność składowania [mln ton CO <sub>2</sub> ]	Średni czas zapełnienia przez najbliższego emitenta [lat]	Punkty rankingowe
			od	do			
1.	Jodłówka	Huta Szkła Jarosław	0,2	0,2	9,9	49,5	10
2.	Bogdaj-Uciechów	Elektrociepłownia Wrocław	1	5	61,4	36,84	9
3.	Wilków	Zespół Elektrociepłowni Poznańskich S.A	1	5	19,7	11,82	8
4.	Kielanówka-Rzeszów	Elektrociepłownia Rzeszów	1	5	14,7	8,82	7
5.	Tarnów-Miocen	Zakłady Azotowe Tarnów-Mościce	1	5	11,7	7,02	6
6.	Zalesie	Elektrociepłownia Rzeszów	1	5	10,2	6,12	5
7.	Pilzno-Południe	Zakłady Azotowe Tarnów-Mościce	1	5	8,8	5,28	4
8.	Kamień Pomorski	Zakłady Azotowe Police S.A.	0,5	1	2	3	3
9.	Nosówka	Elektrociepłownia Rzeszów	1	5	1,9	1,14	2

Stopień zurbanizowania terenu, pod którym znajduje się złoże

**Tabela 1.1.36\_6** Stopień zurbanizowania terenu, pod którym znajduje się złoże

Lp.	Złoże	Stopień Zurbanizowania	Punkty rankingowe
1.	<b>Bogdaj-Uciechów</b>	Teren głównie rolniczy, część południowa pokryta lasami i licznymi stawami hodowlanymi, niska gęstość zaludnienia	10
2.	<b>Wilków</b>	Teren rolniczy, 75% obszary leśne, część południowa obszary podmokłe i bagienne, niska gęstość zaludnienia	10
3.	<b>Jodłówka</b>	Teren głównie rolniczy, nieznaczna zabudowa, niska gęstość zaludnienia	10
4.	<b>Nosówka</b>	Tereny głównie rolnicze, gęsta sieć dróg, niska gęstość zaludnienia	10
5.	<b>Pilzno-Południe</b>	Teren zajmowany przez użytki rolne i zielone, tereny zabudowane oraz obszary leśne, niska gęstość zaludnienia	10
6.	<b>Kamień Pomorski</b>	W granicach złoża leży zachodnia część wyspy Wolin, Wyspa Chrząszczewska, Zalew Kamieński oraz teren w rejonie miasta Kamień Pomorski	5
7.	<b>Kielanówka-Rzeszów</b>	Teren w połowie zlokalizowany na terenach miejskich pozostały obszar to tereny przemysłowo-rolnicze, teren o dużej gęstości zaludnienia	4
8.	<b>Tarnów-Miocen</b>	Teren zlokalizowany głównie na terenach miejskich, gęsto zabudowany, duża gęstość zaludnienia	3
9.	<b>Zalesie</b>	Zwarta zabudowa miejska zarówno mieszkalna jak i przemysłowa, cały obszar architektonicznie rozplanowany, duża gęstość zaludnienia	3

Ochrona rodowiska (obszary chronione)

**Tabela 1.1.36\_7** Ochrona środowiska

Lp.	Złoże	Ochrona środowiska	punkty rankingowe
1.	<b>Bogdaj-Uciechów</b>	brak	10
2.	<b>Wilków</b>	brak	10
3.	<b>Kielanówka-Rzeszów</b>	brak	10
4.	<b>Tarnów-Miocen</b>	brak	10
5.	<b>Zalesie</b>	brak	10
6.	<b>Nosówka</b>	brak	10
7.	<b>Jodłówka</b>	Położone częściowo w granicach Przemysko-Dynowskiego Obszaru Chronionego Krajobrazu	4
8.	<b>Pilzno-Południe</b>	Rejon ten leży w Obszarze Chronionego Krajobrazu Pogórza Strzyżowskiego	4
9.	<b>Kamień Pomorski</b>	Obiekty Natura 2000: Zalew Kamieński i Dziwna- Obszar specjalnej ochrony ptaków, Ujście Odry i zalew Szczeciński - Specjalny obszar ochrony siedlisk, Złoże Kamień Pomorski znajduje się w sąsiedztwie Wolińskiego Parku Narodowego	2

## Podsumowanie rankingu (Tabele 1.1.36\_2-7)

Tabela 1.1.36\_8 Zestawienie zebranych punktów w rankingu

Lp.	Złoże	Pojemność składowania	Jednostka	punkty rankingowe
1.	Bogdaj-Uciechów	61,4	mln Mg CO <sub>2</sub>	52
2.	Wilków	19,7	mln Mg CO <sub>2</sub>	49
3.	Tarnów-Miocen	11,7	mln Mg CO <sub>2</sub>	46
4.	Kielanówka-Rzeszów	14,7	mln Mg CO <sub>2</sub>	42
5.	Zalesie	10,2	mln Mg CO <sub>2</sub>	38
6.	Jodłówka	9,9	mln Mg CO <sub>2</sub>	37
6.	Pilzno-Południe	8,8	mln Mg CO <sub>2</sub>	37
8.	Nosówka	1,9	mln Mg CO <sub>2</sub>	36
9.	Kamień Pomorski	2	mln Mg CO <sub>2</sub>	22

### Wybór struktur do badań szczegółowych

W dniu 27 stycznia 2010 r w Warszawie w siedzibie Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego odbyło się spotkanie przedstawicieli następujących jednostek:

- PIG – PIB
- PGNiG S.A.
- AGH
- GIG
- PAN
- INiG,

a więc członków konsorcjum oraz operatora złóż naftowych.

INiG przedstawił prezentację poszczególnych struktur naftowych i gazowych omawiając szczegółowo ich charakterystykę geologiczną, złożową oraz wszelkie aspekty związane zsekwestracją CO<sub>2</sub>. Przewiedziono również ocenę wg kryteriów rankingu.

W wyniku dyskusji wyłoniono dwie struktury do dalszych szczegółowych badań modelowych, a więc wykonanie modelu geologicznego i symulacyjnego tzn. trójwymiarowego komputerowego modelu dynamicznego procesów zatłaczania CO<sub>2</sub> do górotworu i zachodzących w trakcie zatłaczania i po jego zakończeniu zjawisk fizykochemicznych.



Są to złoża:

- ropy naftowej Nosówka
- gazu ziemnego Wilków.

## **PODSUMOWANIE I SEGMENTU (1.1.1 – 1.1.11)**

**(Adam Wójcicki, Janusz Jureczka)**

### **Cel i zakres prac**

Cele przedsięwzięcia odnosiły się do strategii państwa odnośnie Technologii Czystego Węgla w części nawiązującej do Dyrektywy unijnej o geologicznym składowaniu CO<sub>2</sub> („Wniosek dotyczący DYREKTYWY PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla oraz zmieniająca dyrektywy Rady 85/337/EWG, dyrektywy 2000/60/WE, 2001/80/WE, 2004/35/WE, 2006/12/WE i rozporządzenie (WE) nr 1013/2006”; przedstawiony przez Komisję, Bruksela 23 stycznia 2008 r; Dyrektywa przyjęta przez Radę Europejską 12 grudnia 2008, zatwierdzona przez Parlament Europejski w dniu 17 grudnia 2008) oraz zobowiązań naszego kraju wynikających z realizacji protokołu z Kioto i dalszych kroków podjętych przez UE w tym kierunku, jak limity przydzielone w ramach unijnego mechanizmu handlu uprawnieniami do emisji CO<sub>2</sub>.

Cele te dotyczyły w pierwszej kolejności rozpoznawania i udokumentowania formacji i struktur geologicznych odpowiednich do geologicznego składowania CO<sub>2</sub> pochodzącego z dużych, przemysłowych źródeł emisji, w związku z rozwojem energetyki zeroemisyjnej w ramach Programu Flagowego UE, zainicjowanego przez Zeroemisyjną Platformę Technologiczną UE (ZEP ETP). Wyniki prac miały być wykorzystane na potrzeby projektów demonstracyjnych elektrowni zeroemisyjnych w horyzoncie czasowym do 2015 roku (w momencie rozpoczęcia prac były to dwa takie projekty – PGE Bełchatów i PKE & ZAK Kędzierzyn; realizowany był tylko projekt PGE), do opracowania projektów w pełni komercyjnych elektrowni zeroemisyjnych planowanych do budowy po roku 2020 oraz przez jednostki naukowo - badawcze.

Zakres prac przewidzianych umową zasadniczo jest złożony z dwóch wzajemnie ząębających się segmentów (I – regionalnego i II - szczegółowego).

Segment I objął prace dla całego obszaru Polski, w szczególności analizy dla poziomów wodonośnych solankowych w ośmiu rejonach kraju (formacje (permo-)mezozoiczne w czterech rejonach: Bełchatowa, Warszawy, Wielkopolski-Kujaw i NW Polski; formacje paleozoiku GZW i jego otoczenia; formacje paleozoiku Lubelszczyzny; formacje paleozoiku wyniesienia łeby wraz z sąsiednim obszarem polskiej strefy ekonomicznej Bałtyku; formacje mezozoiku i paleozoiku podłoża brzeżnej strefy Karpat i Zapadliska Przedkarpacciego) oraz dwóch pozostałych opcji geologicznego składowania CO<sub>2</sub> (szczerpane i nieekonomiczne złoża węglowodorów, głównie w zachodniej i SE Polsce; głębokie nieeksploatowane pokłady węgla, głównie w GZW, w mniejszym stopniu w DZW i LZW).

Objął on realizację następujących zadań dla poszczególnych obszarów:

1) Charakterystyka formacji i struktur odpowiednich do geologicznego składowania CO<sub>2</sub> (pkt 1.1.1), na podstawie m. in. dotychczasowego stanu wiedzy nt. budowy geologicznej obszaru Polski oraz prac i badań dotyczących geologicznej sekwestracji dwutlenku węgla (w szczególności tych prowadzonych w Polsce i Europie); na bazie i jako rozwinięcie pracy "Interaktywny atlas prezentujący możliwości geologicznej sekwestracji dwutlenku węgla w Polsce w skali 1:500 000".

W skład tego punktu wchodzi ponadto następujące zagadnienia:

Opracowanie wstępnej oceny potencjału wspomaganego wydobycia ropy naftowej (EOR), gazu ziemnego (EGR) i metanu pokładów węgla (ECBM) poprzez zatłaczanie dwutlenku węgla do wybranych złóż;

Sukcesywne wprowadzanie informacji uzyskanych w trakcie realizacji segmentu I do bazy danych aplikacji 3-D dostępnej na serwerze PIG oraz archiwizowanie na DVD;

Charakterystyka znanych struktur mezozoicznych (pkt 1.1.19) (analizy dla formacji mezozoicznych kraju), realizowane przez IGSMiE;

Charakterystyka GZW i pokładów węgla (pkt 1.1.20), realizowane przez GIG;

Charakterystyka kolektorów P1 (tzn. dolnopermskich; pkt 1.1.22), realizowane przez INiG;

Charakterystyka parametrów złożowych (pkt. 1.1.21) (3 rejony, tzn. brzeżnej strefy Karpat i Zapadliska Przedkarpackiego, Wyniesienia Łeby i Lubelszczyzny, realizowane przez AGH.

2) Określenie (aktualizacja) bilansu sekwestracyjnego dla Polski (pkt 1.1.2), dla formacji i struktur scharakteryzowanych w punkcie 1.

W skład tego punktu wchodzi ponadto następujące zagadnienia:

Metodyka i określenie pojemności składowania dla znanych struktur (pkt 1.1.23), realizowane przez IGSMiE;

Potencjał składowania dla GZW i pokładów węgla (pkt. 1.1.24), realizowane przez GIG.

Warunki złożowe dla struktur naftowych – potencjał składowania (pkt 1.1.26), realizowane przez INiG.

3) Wykonanie przestrzennych, komputerowych modeli facjalnych potencjalnych poziomów zbiornikowych i poziomów ekranujących (pkt 1.1.3), z uwzględnieniem charakterystyki litofacjalno-sedymentologicznej poziomów zbiornikowych i uszczelniających poziomów ilastych w skali basenów sedymentacyjnych, oraz wyników interpretacji danych sejsmicznych, łącznie z analizami atrybutów sejsmicznych pod kątem bezpośredniej detekcji zmian facjalnych (*atrybuty analizowano w trakcie opracowywania modeli w Petrelu/Gocadzie*).

W ramach punktu 3) przewidziano wykonanie przez GIG zadania: Opracowanie przestrzennych modeli facjalnych dla GZW (pkt 1.1.27).

Punkt 3) obejmuje również Prace techniczne realizowane przez PBG - Opracowanie materiałów archiwalnych, zwłaszcza otworowych (pkt .1.4.2).

4) Analiza stref tektonicznych (pkt 1.1.4), w oparciu o wyniki interpretacji danych sejsmicznych oraz innych danych geofizycznych i geologicznych oraz teledetekcyjnych wraz z ilościową analizą potencjału uszczelniającego wytypowanych stref uskokowych dla ośmiu obszarów kraju.

W ramach punktu 4) przewidziano realizację zadań:

Weryfikacja modeli stref uskokowych i ich potencjału uszczelniającego (pkt 1.1.28), realizowane przez AGH.

Strefy uskokowe i sieć tektoniczna GZW (pkt 1.1.29), realizowane przez GIG

Punkt 4) obejmuje również Prace techniczne realizowane przez PBG - Opracowanie materiałów archiwalnych (pkt 1.4.2).

5) Analizy parametrów petrologicznych (zawartość węglanów i minerałów ilastych w próbkach rdzeni – w tym *cementów węglanowych*) i petrofizycznych (w tym zintegrowana analiza parametrów filtracyjnych) dla skał zbiornikowych i uszczelniających (pkt 1.1.5) skał ilastych oraz skał ewaporatowych dla ośmiu obszarów kraju – opracowanie tekstowe wyników badań laboratoryjnych (kilkadziesiąt analiz przypadających na jeden rejon objęty badaniami):

W skład tego punktu wchodzi także wykonanie przez PiG Prac terenowych Pobranie próbek skał zbiornikowych i uszczelniających z magazynów rdzeni (dla 400-500 otworów, próbki z kilkudziesięciu otworów dla każdego z 8 obszarów - pkt 1.2.1) i

Prac laboratoryjnych: Oznaczenia parametrów petrologicznych próbek skał zbiornikowych i uszczelniających (400-500 analiz, po kilkadziesiąt analiz dla każdego z 8 wybranych obszarów - pkt. 1.3.1), realizowanych przez PiG; Oznaczenia parametrów petrofizycznych próbek skał zbiornikowych i uszczelniających (450-550 analiz, po kilkadziesiąt analiz dla każdego z 8 wybranych obszarów oraz dla 1 struktury naftowej - pkt 1.3.2), realizowanych przez INiG.

6) Charakterystyka hydrogeologiczna formacji wodonośnych i geochemiczna płynów złożowych, w tym: reakcji dwutlenku węgla ze skałami i solankami oraz innych zjawisk fizyko-chemicznych; modeli hydrogeologicznych i hydrogeochemicznych – ocena przydatności do bezpiecznego podziemnego składowania dwutlenku węgla i zagrożeń dla zdrowia ludzi i środowiska związanych z geologiczną sekwestracją tego gazu.

W skład punktu 6) wchodzi ponadto następujące zagadnienia:

d) Parametry zbiornikowe i symulacje złożowe – potencjał składowania (pkt. 1.1.25) (zaawansowane symulacje komputerowe i laboratoryjne, w tym reaktywności CO<sub>2</sub> ze skałami, realizowane przez AGH;

e) Charakterystyka hydrogeochemiczna płynów złożowych (pkt 1.1.30) (formacje i struktury wodonośne Niżu i SE Polski oraz struktury naftowe), realizowane przez INiG;

f) Charakterystyka formacji wodonośnych GZW i chemizmu płynów złożowych w pokładach węgla (pkt 1.1.31), realizowane przez GIG.

7) Wyznaczenie stref wyłączonych z sekwestracji CO<sub>2</sub> (pkt 1.1.7) oraz Zagadnienia stanu technicznego i szczelności otworów - realizowane przez AGH.

W skład punktu 7) wchodzi ponadto następujące zagadnienia:

a) Przedstawienie modeli układów sekwestracyjnych w Polsce; modele parametryczne – dynamiczne (pkt 1.1.32), realizowane przez AGH;

b) Przedstawienie modeli układów sekwestracyjnych w Polsce; modele dla rejonu GZW i pokładów węgla (pkt 1.1.33), realizowane przez GIG.

8) Przedstawienie modeli układów sekwestracyjnych w Polsce i wskazanie stref oraz wybranych struktur o własnościach szczególnie korzystnych dla geologicznego składowania CO<sub>2</sub> (pkt 1.1.8).

9) Ocena rozprzestrzeniania się zatłoczonego CO<sub>2</sub> w mediach złożowych dla wytypowanych obszarów (pkt 1.1.9) (modele wstępne – wypieranie w kierunku pionowym, zasięg migracji w zależności od warunków petrofizycznych i termodynamicznych, możliwe drogi migracji, szacunkowe wydajności zatłaczania, rodzaj i ilość otworów zatłaczających).

Ponadto w ramach punktu 9) wybrane realizowane były przez GIG.

Natomiast AGH realizował prace: Ocena rozprzestrzeniania się zatłoczonego CO<sub>2</sub> w oparciu o komputerowe symulacje zatłaczania (pkt 1.1.34) (zaawansowane symulacje komputerowe i laboratoryjne, w tym przepuszczalności pionowej skał uszczelniających i ciśnienia progowego).

10) Budowa wielodostępnej bazy danych (pkt 1.1.10) na potrzeby przedsięwzięcia oraz aplikacji GIS/WebGIS.

Ponadto punktu 10) dotyczy pozycja Prac technicznych: Utrzymywanie bazy danych (pkt 1.4.1).

11) Określenie obszarów, na których można będzie lokalizować składowiska CO<sub>2</sub> (pkt 1.1.11 - podsumowujący I segment), w oparciu o wyniki niniejszych prac i wcześniejszych opracowań oraz w nawiązaniu do wytycznych projektowanej aktualnie dyrektywy w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla („Wniosek dotyczący Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla oraz zmieniającej dyrektywy Rady 85/337/EWG, 96/61/WE, dyrektywy 2000/60/WE, 2001/80/WE, 2004/35/WE, 2006/12/WE i rozporządzenie (WE) nr 1013/2006”):

a) podstawy do decyzji koncesyjnych na rozpoznawanie składowisk, zgodnie z wymogami projektowanej dyrektywy w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla;

b) bezpieczeństwo składowania CO<sub>2</sub> dla zdrowia ludzi i środowiska;

c) dostępność emitentów dwutlenku węgla do obiektu podziemnego składowiska;

d) transport strumienia dwutlenku węgla do składowiska;

e) wykonalność projektów prac geologicznych w celu określenia warunków geologicznych związku z podziemnym składowaniem dwutlenku węgla;

f) oszacowanie pojemności geologicznych składowisk dwutlenku węgla.

W ramach punktu 11) przewidziano ponadto realizację następujących zadań:

Określenie obszarów, na których można będzie lokalizować składowiska CO<sub>2</sub> – rejon GZW i pokłady węgla (pkt 1.1.35), realizowane przez GIG;

Określenie obszarów, na których można będzie lokalizować składowiska CO<sub>2</sub> – struktury naftowe, konflikty interesów (pkt 1.1.36), realizowane przez INiG.

## **Wyniki prac**

Dla poziomów/zbiorników solankowych w obrębie ośmiu rejonów kraju oraz struktur naftowych i pokładów węgla wykonano powyższy ramowy zakres prac I Segmentu, obejmujący prace kameralne w oparciu o archiwalne materiały geologiczno-geofizyczne i analizy laboratoryjne próbek skał rdzeni z wytypowanych otworów.

Wytypowano i przeanalizowano formacje perspektywiczne w przypadku poziomów solankowych dla poszczególnych obszarów (I-VIII), wyznaczonych w oparciu o warunki geologiczne i skupienia emitentów CO<sub>2</sub>:

I (Bełchatów) – Jura (piaskowce J1, J2), T;

II (GZW) – Miocen;

III (Mazowsze) - Jura (piaskowce J1, J2), T, Cr1;

IV (front Karpat/Zapadlisko) – podłoże (K - Cm);

V (Lubelszczyzna) – Karbon (piaskowce C3), J, Cm;

VI (Wielkopolska-Kujawy) – Perm (P1), T, J, Cr;

VII (NW) – Jura (piaskowce J1), T3, T1 – niewielki obszar morski;

VIII (Łeba-Bałtyk, w tym obszar morski – wschodnia część polskiej strefy ekonomicznej Bałtyku) – Cm2, T.

Dla rejonu Bełchatowa przeanalizowano szereg struktur w obrębie jury - niektóre z nich obejmują także poziomy solankowe w triasie (głównie w pstrym piaskowcu). Są to raczej duże struktury, o pojemności statycznej (efektywnej) od kilkudziesięciu do setek mln ton CO<sub>2</sub> każda, a w jednym przypadku nawet większej, dobrych własnościach zbiornikowych i wielopoziomowych kompleksach uszczelniających. Wytypowano do dalszych analiz w ramach II segmentu strukturę Budziszewice, dla której dostępne były informacje umożliwiające skonstruowanie wiarygodnych modeli. Nie ma tu raczej konfliktów z eksploatacją konwencjonalnych i niekonwencjonalnych złóż węglowodorów (poszukiwania gazu związanego w rejonie Kutna – w pobliżu największej struktury Wojszyce - nie dały pozytywnego wyniku) zaś obecność zbiorników wód podziemnych w kredzie lokalnie może ograniczyć wykorzystanie najpłytszych zbiorników

środkowojurajskich, tam gdzie analizy geochemiczne wskazują na możliwość kontaktu solanek z wodami podziemnymi o niższej mineralizacji (np. rejon Lutomiersk-Tuszyn).

W rejonie GZW wyznaczono jako zbiornik formację piaskowców warstw dębowieckich w obrębie miocenu (ewentualnie warstw zamarskich i stropowej części górnego karbonu), występującą w południowej części rozpatrywanego obszaru. Wspomniane piaskowce charakteryzują się przeciętnymi własnościami zbiornikowymi i raczej niską pojemnością składowania (statyczna/efektywna - rzędu kilkudziesięciu mln ton). Brak jest raczej konfliktów interesów z eksploatacją węglowodorów, pewien problem może stanowić wyłączenie fragmentów obszaru wskutek występowania obszarów chronionych NATURA 2000 i innych (z lokalizacji instalacji zatłaczania).

W rejonie Mazowsza (emitenci Warszawa-Płock) perspektywiczne są w zasadzie wszystkie formacje mezozoiczne - od kredy dolnej do triasu dolnego. większość struktur zlokalizowanych jest między Warszawą a Płockiem i mają one pojemności rzędu setek mln ton CO<sub>2</sub> każda, dobre własności zbiornikowe oraz wielopoziomowe uszczelnienia (najwyższe to miąższe kompleksy węglanowo-klastyczne dolnej kredy, co najmniej dwa w środkowej jurze oraz przynajmniej jedno w dolnej jurze). Zazębiają się one częściowo z zasięgiem peryferyjnej strefy możliwego występowania złóż gazu w łupkach. Ponieważ nie ma tu zbiorników wód podziemnych w kredzie (najgłębszy to trzeciorzędowy) nie wydaje się aby składowanie CO<sub>2</sub> stanowiło jakiegokolwiek zagrożenie dla wód pitnych. Poza jednym przypadkiem obszary chronione NATURA 2000 nie występują w obrębie struktur.

W rejonie brzeżnej strefy Karpat i Zapadliska w zasadzie poziomy solankowe perspektywiczne dla składowania CO<sub>2</sub> występują jedynie w podłożu mezopaleozoicznym w zachodniej części obszaru (generalnie na zachód od Tarnowa). Utwory miocenu w obrębie Zapadliska nie są perspektywiczne poza obszarami złóż gazu. Wyznaczono trzy obiekty - rejony składowania - jeden w klastycznych utworach jury w rejonie zatoki gdowskiej (na południe od Niepołomic) oraz dwa sąsiadujące z nim zbiorniki Niepołomice i Grobla w utworach węglanowych paleozoiku. Realistyczne pojemności składowania obiektów są rzędu kilkudziesięciu mln ton każdy, przy czym dla zbiorników węglanowych szacunki są obarczone znacznie większą dozą niepewności niż dla klastycznych. Fragmenty obszarów zbiorników węglanowych obejmują obszary chronione NATURA2000, nie ma natomiast istotnych konfliktów interesów z eksploatacją węglowodorów.

W rejonie Lubelszczyzny mamy zbiorniki w utworach górnego karbonu o przeciętnych do lokalnie dobrych własnościach zbiornikowych i dobrym uszczelnieniu w najwyższej części górnego karbonu, głównie w rejonie na północ i NW od Lublina. Pojemność tej strefy jest rzędu stu kilkudziesięciu mln ton. Najgłębszy zbiornik wód podziemnych występuje w formacjach górnej kredy (między nim a karbonem jest szereg barier stąd nie należy spodziewać się zagrożeń). Obszar perspektywiczny do składowania CO<sub>2</sub> zazębia się częściowo z zasięgiem peryferyjnej strefy możliwego występowania złóż gazu w łupkach. Na północ i północny wschód, w rejonie Podlasia, występuje słabo rozpoznany zbiornik kambryjski, o potencjale być może ponad miliard ton.

W rejonie Wielkopolski podstawowy zbiornik - permski to formacja piaskowców czerwonego spągowca o przeciętnych do dobrych własnościach zbiornikowych, przykryta miąższym kompleksem cechsztyńskim o doskonałych właściwościach uszczelniających. Pojemności struktur permskich są rzędu do stu-paruset mln ton. Zbiorniki wód podziemnych na obszarze struktur permskich są wieku kenozoicznego. Cały obszar obejmuje koncesje na poszukiwanie i wydobycie węglowodorów, ale zatłaczanie CO<sub>2</sub> do poziomów

solankowych niekoniecznie musi przeszkadzać w eksploatacji zagospodarowanych złóż gazu - może nawet poprawić efektywność wydobycia. Fragmenty obszarów perspektywicznych obejmują lub sąsiadują z obszarami NATURA2000. W rejonie Kujaw (rejon Konina z otoczeniem) występują perspektywiczne zbiorniki dolnej kredy i jury o pojemnościach rzędu stu-paruset mln ton. Część struktur w kredzie należy wykluczyć z uwagi na wskaźniki geochemiczne wskazujące na możliwość kontaktu solanek z płycej występującymi wodami podziemnymi i/lub położeniem w obrębie obszarów chronionych NATURA 2000.

W rejonie NW Polski mamy szereg struktur o pojemnościach rzędu setek mln ton (w szczególności w rejonie Szczecina i Koszalina) ze zbiornikami w obrębie dolnej jury, górnego i dolnego triasu, o dobrych własnościach zbiornikowych i dobrym uszczelnieniu. Na obszarze tym mamy zasadniczo kenozoiczne zbiorniki wód podziemnych (raczej nie ma zagrożenia) i w zasadzie brak konfliktów z eksploatacją węglowodorów.

Rejon Polski północnej i Bałtyku to głównie zbiornik kambryjski, zarówno na morzu (obejmuje eksploatowane złoża ropy i gazu) jak i na lądzie o pojemnościach kilkuset mln ton dla każdego z podobszarów i dobrym uszczelnieniu. Obszar lądowy (na wschód od Elbląga) obejmuje częściowo obszary chronione i koncesje poszukiwacze na węglowodory konwencjonalne (obszar peryferyjny, raczej mało perspektywiczny). Na obszarze morskim (wschodnia część polskiej strefy ekonomicznej Bałtyku) LOTOS wystąpił o koncesje na poszukiwanie węglowodorów niekonwencjonalnych (raczej ropy łupkowej - czas pokaże, co z tego wyniknie).

W przypadku złóż węglowodorów do sekwestracji może być użytecznych kilkadziesiąt struktur o odpowiedniej wielkości pierwotnych zasobów wydobywalnych i odpowiednim stopniu szcerpania.

Eksploatowane i wytypowane złoża węglowodorów grupują się w dwóch głównych prowincjach naftowych. Pierwsza z nich to rejon brzeżnej strefy Karpat (fliszowych) i Zapadliska Przedkarpacciego – SE część kraju, gdzie eksploatacja ropy naftowej i gazu ziemnego była prowadzona od wielu dziesięcioleci (ropy od II połowy XIX wieku). Węglowodory, głównie gaz ziemny, występują tam w formacjach neogenu (miocen), paleogenu i kredy. Druga prowincja to Polska zachodnia, gdzie złoża gazu występują w utworach permskich - cechsztynu i czerwonego spągowca. W NW części kraju mamy nieliczne złoża ropy i gazu (a nie samego gazu), z których największe – BMB koło Gorzowa Wlkp (pojemność rzędu 30-40 mln ton) jest nie jest szcerpane w znacznym stopniu, jeśli chodzi o pierwotne zasoby wydobywalne ropy, a nie tak wielkie złożo Kamień Pomorski w rejonie Wolina – w znacznym stopniu. Poza tymi prowincjami mamy jedyne eksploatowane od dłuższego czasu złożo ropy naftowej na Bałtyku – B3 i niewielkie złożo gazu i ropy Stężycza na Lubelszczyźnie. Pojemności składowania złóż wynoszą najczęściej od kilku do kilkudziesięciu mln ton CO<sub>2</sub>. Cztery złoża: Przemyśl na SE i Żuchłów, Załęcze-Wiewierz i Bogdaj-Uciechów na zachodzie, mają pojemności składowania ponad 50 mln ton. Dla kilku złóż ropy (NW Polska, SE Polska, Bałtyk) możliwe byłoby zatłaczanie CO<sub>2</sub>, przeważnie na niewielką skalę, celem wspomaganie wydobycia ropy naftowej, co prawdopodobnie byłoby opłacalne ekonomicznie nawet przy obecnych cenach uprawnień ETS. Wspomaganie wydobycia węglowodorów przez zatłaczanie CO<sub>2</sub> jest możliwe także dla szcerp(yw)anych złóż gazu, raczej tych największych, ale ewentualny przychód z takiej działalności byłby daleko mniejszy w przeliczeniu na tonę zatłoczonego CO<sub>2</sub> niż w przypadku złóż ropy.



Jeśli chodzi o zatłaczanie CO<sub>2</sub> do nieeksploatowanych pokładów węgla celem wspomaganie wydobycia metanu pokładów węgla to ograniczono się do analiz dla Zagłębia Górnośląskiego (GZW), dokładniej do jego części centralno-południowej. Analizy do wskazania trzech małych obszarów w części centralno-południowej GZW gdzie zastosowanie technologii CO<sub>2</sub>-ECBMR jest bezsprzecznie możliwe w realistycznej perspektywie czasowej. Pozostałe zagłębia węglowe (Dolnośląskie Zagłębie Węglowe, Lubelskie Zagłębie Węglowe) wydają się nieodpowiednie do składowania CO<sub>2</sub> z uwagi na zagadnienia bezpieczeństwa i/lub stopień udokumentowania zasobów MPW.

Ze względu na budowę geologiczną GZW, odległość od czynnych kopalń węgla kamiennego oraz brak zwartej zabudowy (chodzi o możliwe konflikty interesów i bezpieczeństwo składowania) do dalszych prac został wybrany obszar centralny i południowy, w którym wyznaczono trzy rejony i poddano je szczegółowej analizie pod względem geologii, węglizacji, podstawowych parametrów chemiczno-technologicznych węgla i metanoności. Spośród tych trzech rejonów najlepiej głębokimi wierceniami został rozpoznany rejon Pawłowice-Mizerów.

W rezultacie powyższych prac wytypowano szereg obiektów w poziomach solankowych (w tym ewentualnie na potrzeby planowanych na początku realizacji tematu projektów demonstracyjnych CCS w Bełchatowie i Kędzierzynie), złóż węglowodorów i obiekt w pokładach węgla, będących przedmiotem analiz szczegółowych ("case studies") w ramach II Segmentu, tzn. zadań 1.1.14 - 1.1.18. Prace te objęły wstępną charakterystykę potencjalnych składowisk zgodnie z zaleceniami podanymi w załączniku nr 1 do Dyrektywy unijnej w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla.

Wyniki prac, zarówno I jak i II Segmentu będą przydatne na potrzeby przyszłych decyzji koncesyjnych Ministerstwa Środowiska na rozpoznawanie potencjalnych składowisk oraz dla podmiotów ubiegających się o pozwolenie na budowę nowych bloków „CCS ready” gdzie wymagane jest wskazanie miejsc składowania (dla których dany podmiot w przyszłości ubiegałby się o koncesje na rozpoznanie potencjalnych składowisk) i wstępne studia wykonalności. Generalnie niniejsze prace nie są wystarczające do sporządzenia dokumentacji niezbędnej do uzyskania koncesji na składowanie CO<sub>2</sub> na skalę demonstracyjną lub przemysłową na danej strukturze<sup>6</sup>. Stanowią one jednak podstawę dla sporządzenia projektów robót geologicznych na wykonanie prac na potrzeby szczegółowego rozpoznania potencjalnego składowiska i ewentualnie monitoringu stanu początkowego, w tym nowych otworów badawczych (ewentualnie otworów do testowego zatłaczania CO<sub>2</sub>), nowych prac sejsmicznych i innych prac geofizycznych.

---

<sup>6</sup> Oczywiście, do uzyskania takiej koncesji (na składowanie) zawsze potrzebne będą wyniki nowych połowych prac szczegółowych i uzupełniających, realizowanych w ramach koncesji na rozpoznanie.

## Potencjał geologicznego składowania CO<sub>2</sub> dla Polski

(Adam Wójcicki)

Poniżej w **Tabelach 1 i 2** przedstawiono bilans potencjału składowania określonego w I segmencie (pojemności statyczne - efektywne) dla poziomów solankowych na obszarze Polski w rozbiu na rejony badań i formacje geologiczne.

**Tabela 1** Bilans pojemności składowania dla poziomów solankowych w Polsce w rozbiu na rejony

Rejon	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Ilość struktur	5	1	10	9	n/a	10	10	n/a
Pojemność mln t	2169	44	2649	253	1008	3584	2958	1637

**Tabela 2** Bilans pojemności składowania dla poziomów solankowych w Polsce w rozbiu na formacje

Rejon	miocen	kreda	jura	trias	perm	C3	C3-D2	kambr
Ilość struktur	7	10	16	7	3	n/a	2	n/a
Pojemność mln t	69	2486	6452	1460	1014	193	176	2645

Bilans w przypadku poziomów solankowych odnosi się do struktur i formacji scharakteryzowanych dla rejonów I-VIII w ramach rozdziału (1.1.11) i rozdziału 1.1.2.

W przypadku poszczególnych rejonów (**Tabela 1**) często mamy do czynienia ze strukturami i formacjami geologicznymi o różnym wieku, które też różnią się stopniem wiarygodności oszacowania potencjału składowania, a także bezpieczeństwa składowania.

Dla rejonu I (Bełchatów) zasadniczo uwzględniono w bilansie składowania struktury jurajskie (4 struktury – klastyczna jura dolna oraz najniższa środkowa), dla których wspomniany stopień wiarygodności jest relatywnie duży (np. Budziszewice-Zaosie), choć również zmienny dla poszczególnych struktur (chodzi o ilość i jakość dostępnych danych geofizycznych). Wyjątkiem jest jedna struktura dolnotriasowa (Jeżów T), dla której oszacowania oparte są na niepewnych i fragmentarycznych informacjach odnośnie własności zbiornikowych pstręgo piaskowca.

Rejon II (GZW) obejmuje obiekt Skoczów-Czechowice, o relatywnie dużym stopniu wiarygodności oszacowania potencjału składowania (warstwy dębowieckie – klastyczny dolny miocen).

Rejon III (Mazowsze) obejmuje struktury jurajskie (4 – klastyczna jura środkowa i/lub dolna) i dolnokredowe (6), dla których stopień wiarygodności oszacowania potencjału składowania, związany z jakością i ilością dostępnych danych geologiczno-geofizycznych jest relatywnie duży. Natomiast pewne wątpliwości może budzić sprawa bezpieczeństwa składowania w utworach dolnej kredy (też utwory klastyczne, ale nakład uszczelniający zbudowany jest utworów węglanowo-klastycznych), w szczególności w przypadku struktury Żyrowa.

Rejon IV (brzeźna strefa Karpat i Zapadliska Przedkarpackiego) obejmuje dwa obiekty w karbońsko-dewońskiej formacji węglanowej podłoża Zapadliska i nasunięcia karpackiego, dla których oszacowanie potencjału składowania charakteryzuje się raczej niskim stopniem wiarygodności i jeden obiekt w utworach klastycznych jury środkowej podłoża Zapadliska i nasunięcia karpackiego, o zdecydowanie lepszej wiarygodności. Ponadto we wschodniej części rejonu IV mamy jeszcze kilka struktur o bardzo małym potencjale (ale wiarygodnym), które mogłyby być wykorzystane jedynie łącznie z pobliskimi szczypanymi złożami gazu.

Rejon V (Lubelszczyzna oraz Podlasie) to formacja klastycznego karbonu górnego o bardzo zmiennych własnościach zbiornikowych (ale nie ma tu raczej problemu z jakością i ilością dostępnych danych geologiczno-geofizycznych), a jego NE część obejmuje formację klastycznego kambru środkowego na obszarze Podlasia, słabo, albo wcale nierozpoznaną badaniami sejsmicznymi. Stąd, z różnych względów, wiarygodność wartości pojemności przyjętych w bilansie nie jest zbyt wysoka, lecz możemy tu mówić raczej o niedoszacowaniu niż przeszacowaniu pojemności.

Rejon VI (Wielkopolska-Kujawy) obejmuje trzy dolnopermskie struktury (megastruktura Niecki Poznańskiej i dwie mniejsze – kolektorem są utwory klastyczne czerwonego spągowca), dość dobrze rozpoznane, jeśli chodzi o dane geofizyczno-geologiczne, stąd stopień wiarygodności oszacowania potencjału składowania jest dla nich relatywnie duży. Ponadto w rejonie Kujaw uwzględniono w bilansie jedną strukturę dolnotriasową i dwie jurajskie (też klastyczne), o znacznym stopniu wiarygodności oszacowania potencjału składowania. Istnieją natomiast wątpliwości odnośnie bezpieczeństwa i wykonalności składowania w przypadku trzech struktur dolnokredowych w rejonie Kujaw (gdzie nadkład uszczelniający zbudowany jest utworów węglanowo-klastycznych).

W rejonie VII (NW Polska) mamy 6 struktur triasowych i 4 jurajskie (we wszystkich przypadkach mamy kolektory klasyczne). Struktury te różnią się pomiędzy sobą ilością i jakością dostępnych danych geologiczno-geofizycznych, lecz generalnie sytuacja geologiczna („podręcznikowe” struktury antyklinalne, dobre naturalne pułapki związane z „poduszkami” solnymi w podłożu – np. struktury jurajskie Choszczno i Suliszewo) implikuje że stopień wiarygodności oszacowania potencjału składowania jest dla nich relatywnie duży.

Rejon VIII obejmuje formację klastycznego kambru środkowego, dla której wiarygodność wartości pojemności przyjętej w bilansie nie jest zbyt wysoka, lecz możemy tu mówić raczej o niedoszacowaniu niż przeszacowaniu pojemności.

Regionalne kolektory kambru (V, VIII) i karbonu (V) (nie są to struktury!) mają szacunkowy potencjał 2838 mln ton.

W sumie dla 45 struktur (I, II, III, IV, VI, VII) mamy pojemność 11 657 mln ton.

Odejmując struktury dolnokredowe, określane jako niepewne, otrzymujemy wartość **9171 mln ton**, dla 35 struktur/obiektów.

Potencjał do składowania w strukturach naftowych jest rzędu **784 – 1021 mln ton**. Są to w większości szcerpane złoża gazu; udział rozpatrywanych kilku złóż ropy naftowej, o różnym stopniu szcerpania, stanowi mniej niż 10% powyższych wartości.

Potencjał dla pokładów węgla można szacować na **20 – 100 mln ton** (pierwsza wartość dla możliwych koncesji na rozpoznanie w obrębie GZW, druga dla całego GZW – pokłady węgla na głębokościach 1-2 km).

Podsumowując, potencjał składowania poziomów solankowych jest o rząd wielkości większy od struktur naftowych, pokładów węgla mikroskopijny, a całość starczy teoretycznie na pół wieku emisji zakładów przemysłowych objętych ETS.

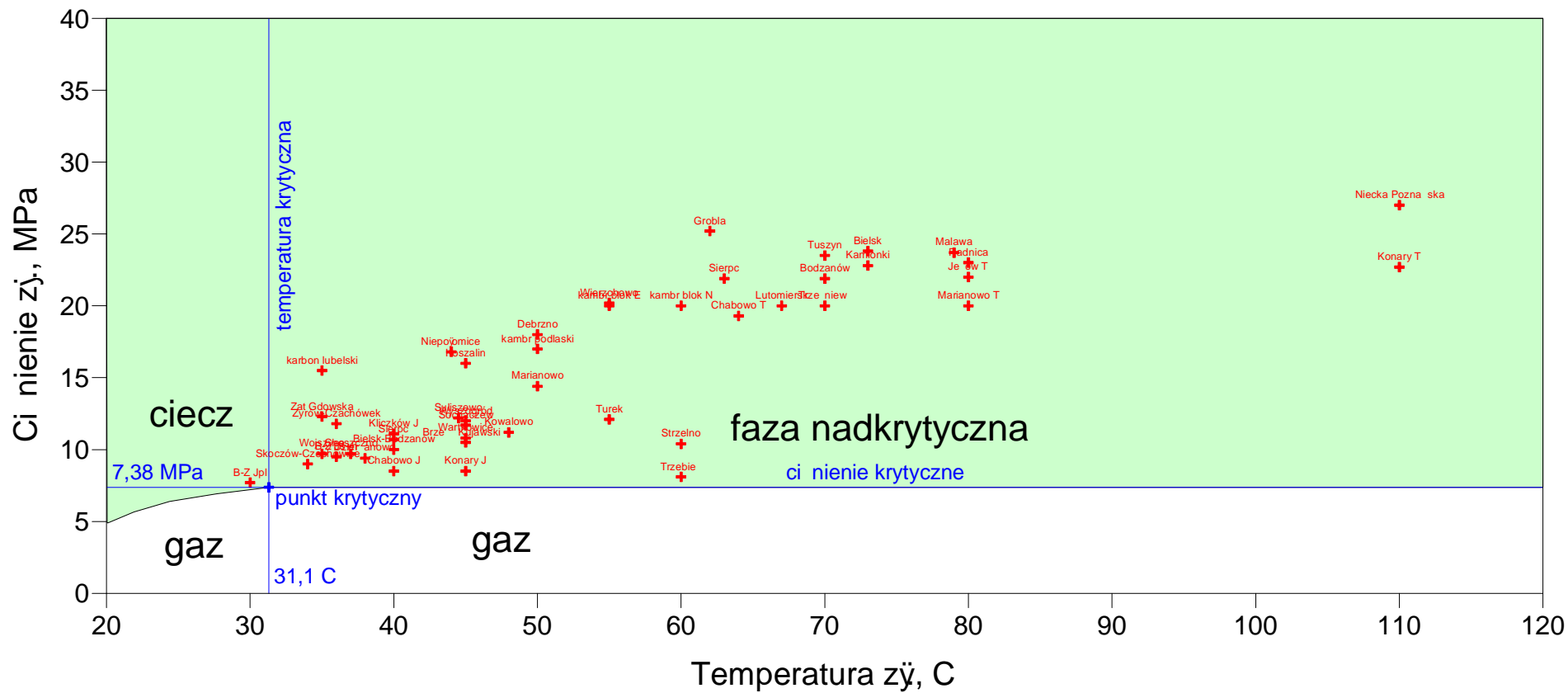
## **Warunki termodynamiczne dla struktur solankowych**

**(Adam Wójcicki)**

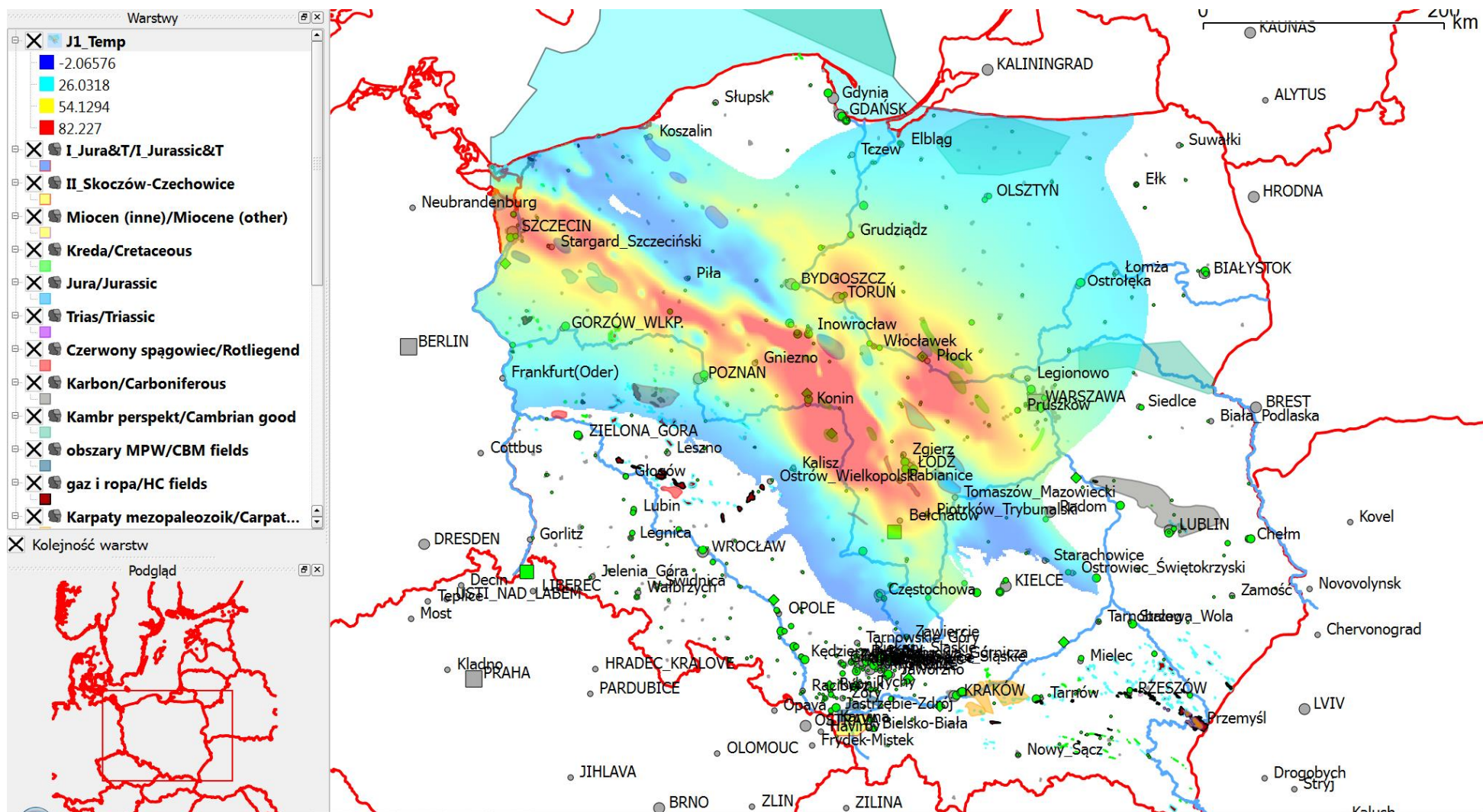
Dla zilustrowania jednego z czynników wpływających na bezpieczeństwo geologicznego składowania CO<sub>2</sub> dla struktur solankowych - stanu skupienia w jakim będzie się znajdował dwutlenek węgla zatłoczony do górotworu, wynikającego z panujących tam warunków termodynamicznych, zestawiono odnośne parametry na **Fig. A**. Na figurze zestawiono wartości ciśnienia i temperatury złożowej dla struktur i formacji solankowych wytypowanych w niniejszym rozdziale (**1.1.11**) oraz ujętych w bilansie (**1.1.2**). Dla typowych struktur antyklinalnych przyjęto wartości temperatury i ciśnienia złożowego występujące w ich szczytowych partiach. Temperatury i ciśnienia oszacowano na podstawie informacji z otworów, Atlasów geotermalnych (Górecki (red.) 2006 a, b) i innych opracowań () oraz założeń atlasu hydrochemiczno-hydrodynamicznego (Bojarski, 1996 – przyjęto stąd założenie że dla formacji mezozoicznych ciśnienie złożowe nie odbiega istotnie od ciśnienia hydrostatycznego, zaś dla formacji paleozoiku może być nieznacznie większe, zależnie od formacji). Wyjątkiem są tu obiekty i formacje nieukształtowane w formie antyklin (fragmenty regionalnych basenów sedymentacyjnych), dla których przyjmowano wartości średnie głębokości występowania stropu zbiornika (jak dla obiektu Skoczów-Czechowice w obrębie warstw dębowieckich, gdzie przyjęto średnią z przedziału głębokości 800-1000 m, odpowiadającemu temperaturom 32-36 °C; podobnie postąpiono dla formacji karbonu lubelskiego, kambru bałtyckiego i podlaskiego) czy też średnią głębokość występowania najlepszego zbiornika w obrębie węglanowego kompleksu karbońsko-dewońskiego w podłożu Zapadliska Przedkarpackiego i brzeżnej strefy Karpat (obiekty Niepołomice i Grobla).

Informacje te zestawiono na tle granic przejść fazowych dwutlenku węgla występującego w warunkach złożowych (**Rys. A**). Wyróżnia się w tym przypadku 3 fazy – gazową, ciekłą i nadkrytyczną (IPCC SR CCS, 2007), w zależności od tego czy ciśnienie złożowe i/lub temperatura przekracza wartość krytyczną. W naszym przypadku żadna ze struktur nie charakteryzuje się warunkami termodynamicznymi umożliwiającymi występowanie CO<sub>2</sub> w fazie gazowej, choć dla kilku struktur wartości ciśnienia i/lub temperatury zbliżają się obszarowi gdzie CO<sub>2</sub> występuje w fazie gazowej (np. w szczycie struktury B-Z dla zbiornika górnego pliensbachu CO<sub>2</sub> może występować w fazie ciekłej w warunkach ciśnienia nadkrytycznego; dla położonego 180 m głębiej zbiornika synemuru i hetangu dwutlenek węgla będzie w tym przypadku występować tylko w fazie nadkrytycznej).

Z uwagi występowanie szeregu zbiorników w obrębie poziomów solankowych (różnych formacji), ograniczono się do przedstawienia rozkładu temperatury na mapie w skali całego kraju tylko dla jednej formacji, która jednakże ma największe znaczenie (dolna jura). Aplikację GIS uzupełniono o warstwę obejmującą rozkład temperatury w stropie jury dolnej (na podstawie Atlasu geotermalnego – Górecki (red.) 2006a – **Rys. B**). Wspomniana mapa przedstawia jakościowo zmienność temperatur, związaną zarówno z głębokością występowania formacji dolnej jury jak i z rozkładem strumienia cieplnego (Szewczyk & Gientka, 2009).



Rys. A. Warunki termodynamiczne dla wytypowanych struktur i formacji solankowych (granice przejść fazowych za IPCC SR CCS, 2007)



Rys. B. Aplikacja GIS uzupełniona o mapę rozkładu temperatury w stropie jury dolnej (na podstawie Górecki (red.), 2006a)