



Państwowy Instytut Geologiczny Państwowy Instytut Badawczy

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

www.pgi.gov.pl

państwowa służba
geologiczna
państwowa służba
hydrogeologiczna

Konsorcjum
projektu



ROZPOZNANIE FORMACJI I STRUKTUR DO BEZPIECZNEGO GEOLOGICZNEGO SKŁADOWANIA CO₂ WRAZ Z ICH PROGRAMEM MONITOROWANIA, RAPORT MERYTORYCZNY NR 4: **SEGMENT II**, REJON **GZW**

Koordynator projektu:

dr inż. Adam Wójcicki

Koordynator regionalny:

mgr Janusz Jureczka

Dyrektor PIG-PIB,

Przewodniczący Komitetu Sterującego Projektu:

doc. dr hab. Jerzy Nawrocki



**"WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA ŚRODOWISKA ZA ŚRODKI FINANSOWE
WYPŁACONE PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA I
GOSPODARKI WODNEJ"**

Warszawa, czerwiec 2010

WYKONAWCY

IMIĘ I NAZWISKO	INSTYTUCJA	IMIĘ I NAZWISKO	INSTYTUCJA
mgr Janusz Jureczka	PIG-PIB	mgr inż. Michał Gut	GIG
dr inż. Adam Wójcicki	PIG-PIB	dr hab. inż. Stanisław Nagy, prof. nzw.	AGH
dr Lidia Razowska-Jaworek	PIG-PIB	dr hab. inż. Ludwik Zawisza, prof. nzw.	AGH
mgr Włodzimierz Krieger	PIG-PIB	dr inż. Jan Macuda	AGH
mgr inż. Michał Rolka	PIG-PIB	dr inż. Rafał Smulski	AGH
mgr inż. Marek Gałka	PIG-PIB	dr inż. Czesław Rybicki	AGH
mgr inż. Sławomir Wilk	PIG-PIB	dr inż. Bartosz Papiernik	AGH
mgr Jan Kwarciński	PIG-PIB	dr inż. Grzegorz Machowski	AGH
mgr Anna Chmura	PIG-PIB	mgr inż. Barbara Czopek	AGH
dr inż. Jadwiga Wagner	PIG-PIB	mgr inż. Wojciech Machowski	AGH
mgr inż. Zbigniew Kaczorowski	PIG-PIB	mgr inż. Michał Michna	AGH
inż. Jacek Chelmiński	PIG-PIB	mgr inż. Michał Maruta	AGH
mgr inż. Maciej Tomaszczyk	PIG-PIB	mgr inż. Andrzej Pasternacki	AGH
dr inż. Jarosław Chećko	GIG	Urszula Bryła	AGH
dr Eleonora Solik-Heliasz	GIG	dr inż. Grzegorz Leśniak	INiG
dr Przemysław Bukowski	GIG	mgr Tomasz Bąk	PBG
dr inż. Magdalena Głogowska	GIG	Zdzisław Żuk	PBG
mgr Iwona Augustyniak	GIG		
mgr inż. Tomasz Urych	GIG		
mgr inż. Robert Warzecha	GIG		

Spis treści

WSTĘP.....	4
1.1.14 ZEBRANIE SZCZEGÓŁOWYCH INFORMACJI GEOLOGICZNYCH, GEOFIZYCZNYCH, HYDROGEOLOGICZNYCH, ZŁOŻOWYCH, GEOMECHANICZNYCH. 5	
Charakterystyka hydrodynamiczna rejonu Cieszyn-Skoczów-Czechowice.....	10
Parametry złożowe serii węglanowej w południowej części GZW (rejon Bielska).....	14
Własności zbiornikowe i filtracyjne dla rozpatrywanego obiektu	19
Analiza danych grawimetrycznych	21
1.1.15 OPRACOWANIE SZCZEGÓŁOWYCH STATYCZNYCH MODELI OŚRODKA GEOLOGICZNEGO SKŁADOWISK.....	25
Model statyczny dla warstw wodonośnych utworów dębowieckich i ich podłoża (GIG).....	28
Model statyczny warstw wodonośnych – obiektu w poziomach solankowych w rejonie GZW (AGH).....	40
Modelowania dynamiczne, analizy ryzyka i program monitoringu - Podsumowanie.....	54
Literatura.....	56

WSTĘP

Niniejszy raport merytoryczny dotyczy prac prowadzonych w ramach projektu rozwojowego zamówionego przez Ministerstwo Środowiska – krajowego programu „*Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania*”, finansowanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (umowa trójstronna nr 408/2008/15u-07/FG-GO-Tx/D z dnia 11.12.2008), realizowanego przez Konsorcjum w następującym składzie:

- Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB – lider)
- Akademia Górniczo-Hutnicza (AGH)
- Główny Instytut Górnictwa (GIG)
- Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią (IGSMiE PAN)
- Instytut Nafty i Gazu (INiG)
- Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych sp. z o.o. (PBG)

Strategicznym celem krajowego programu jest dostarczenie Ministerstwu Środowiska informacji niezbędnych dla podejmowania w przyszłości decyzji o przyznawaniu koncesji na rozpoznawanie potencjalnych składowisk i ich zagospodarowywanie, w nawiązaniu do Dyrektywy unijnej dotyczącej geologicznego składowania CO₂ i jej transpozycji na prawo krajowe.

Prace dotyczą całego obszaru Polski wraz z ekonomiczną strefą Bałtyku. W ośmiu rejonach kraju, wybranych zarówno ze względu na potrzeby gospodarki narodowej jak i znane w chwili obecnej możliwości geologicznego składowania, przewidziano w szczególności wykonanie gruntownego rozpoznania potencjalnych składowisk CO₂ w poziomach wodonośnych solankowych. Ponadto przedmiotem szczegółowych analiz są opcje geologicznego składowania CO₂ w złożach węgłowodorów (z możliwością wspomaganie wydobywania) i w głębokich, nieeksploatowanych pokładach węgla z odzyskiem metanu. Pozwoli to na wskazanie potencjalnych składowisk CO₂, spełniających podstawowe kryteria geologiczne oraz bezpieczeństwa i oddziaływania na środowisko.

Poza tym przewidziano szczegółowe przebadanie sześciu potencjalnych składowisk, z tego trzech dla poziomów wodonośnych solankowych (w trzech rejonach), jednego złoża ropy i jednego złoża gazu oraz jednego obiektu w pokładach węgla, co zakończy się programami monitoringu składowiska. Przedsięwzięcie jest ważne dla gospodarki narodowej z uwagi na możliwość szybkiego wdrożenia jego wyników, praktycznie natychmiast po zakończeniu etapu prac odnoszącego się do danego rejonu i potencjalnego składowiska, czym zainteresowanych jest w tej chwili szereg podmiotów przemysłowych.

Niniejszy raport obejmuje wybrane wyniki prac realizowanych dla II segmentu (opcja – poziomy wodonośne solankowe) w drugim z rejonów – w rejonie Górnego Śląska (GZW). Prace były realizowane Oddział Górnośląski PIG-PIB i Główny Instytut Górnictwa, a ponadto przez AGH, PBG i INiG.

Prace te wykonano na potrzeby projektu demonstracyjnej elektrowni poligeneracyjnej PKE&ZAK Kędzierzyn, o obniżonej emisji CO₂. Uruchomienie elektrowni, produkującej energię elektryczną (300 MW), ciepło i metanol (0.5 mln t/rok), gdzie przewidziano wychwyt, transport i geologiczne składowanie dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych, planowane jest na rok 2015. Docelowo (po roku 2015) przewiduje się składowanie **0.7-2.8 mln ton** dwutlenku węgla rocznie w formacjach geologicznych (wg *Studium Wykonalności projektu CCS Kędzierzyn 2010*, niepublikowanego).

W niniejszym raporcie zamieszczono wyniki prac realizowanych dla II segmentu w rejonie GZW, zakończonych w I półroczu 2010 roku, dla wytypowanego w I segmencie obiektu w poziomach solankowych Cieszyn-Skoczów-Czechowice (zgodnie z harmonogramem rzeczowo-finansowym zakończenie prac dla ww. obiektu przewidziano w II półroczu 2010 roku).

1.1.14 ZEBRANIE SZCZEGÓŁOWYCH INFORMACJI GEOLOGICZNYCH, GEOFIZYCZNYCH, HYDROGEOLOGICZNYCH, ZŁOŻOWYCH, GEOMECHANICZNYCH

Prace zostały wykonane przez następujących partnerów konsorcjum: **PIG-PIB** (zasadniczo Oddział Górnośląski), **GIG**, **AGH**, **PBG** i **INiG**. Dla obiektu Cieszyn-Skoczów-Czechowice podstawowym kolektorem są piaskowce i zlepieńce dolnomiocenkich warstw dębowieckich, uszczelnione nadkładem iłowcowo-mułcowym formacji skawińskiej (i fliszu na S) o miąższości setek metrów.

W ramach tego zadania opracowano, na podstawie zgromadzonych informacji geologicznych, geofizycznych, hydrogeologicznych, złożowych, geomechanicznych, wstępną charakterystykę obszaru potencjalnego składowiska wraz z otoczeniem (z tego GIG charakterystykę hydrodynamiczną, AGH parametry złożowe dla drugorzędneho kolektora - serii węglanowej).

W oparciu o dane zgromadzone w trakcie realizacji I segmentu dla GZW (Wójcicki & Jureczka (red.), 2009) opracowano bazę informacji dotyczących obiektu Cieszyn-Skoczów-Czechowice i przeanalizowano następujące problemy:

- występowanie zagrożeń sejsmicznością (brak naturalnych trzęsień Ziemi o magnitudzie ponad 4 stopnia w skali Richtera w tym rejonie w ciągu ostatnich 800 lat, tego rodzaju zagrożenia można wiązać raczej z działalnością górniczą w sąsiedztwie obszaru potencjalnego składowiska, co zostało przeanalizowane w ramach I segmentu, gdzie uznano że nie ma z tego tytułu istotnego zagrożenia dla rozpatrywanego rejonu);
- możliwości wycieków dwutlenku węgla ze składowiska (przeanalizowano to generalnie w raporcie z I Segmentu brak walnych stref uskokowych przecinających nadkład kolektorów warstw dębowieckich (dolny miocen), wyklucza wycieki na większą skalę, natomiast problemem może być lokalnie szczelność starych, zlikwidowanych otworów nawiercających miocen i podłoże;
- możliwości oddziaływania wytypowanego podziemnego składowiska dwutlenku węgla na bezpieczeństwo i zdrowie ludzi oraz środowisko (ewentualne awarie na miejscu zatłaczania mogą wpłynąć na bezpieczeństwo i zdrowie ludzi na powierzchni, natomiast miąższość i jakość nadkładu uszczelniającego praktycznie wyklucza przedostanie się dwutlenku węgla do płytszych kolektorów, zawierających wody wysłodzone i słodkie, a więc potencjalnie użytkowe);
- występowanie konfliktów interesów odnośnie wykorzystywania składowiska (odległość od cennych zasobów naturalnych, w tym chronionych ostoi fauny i flory, zasobów wód użytkowych i węglowodorów; w rejonie potencjalnego składowiska nie prowadzi się podziemnej eksploatacji złóż surowców mineralnych, choć w jego dalszym sąsiedztwie znajdują się obszary czynnych kopalń i złoża węglowodorów; na rozpatrywanym obszarze znajduje się szereg mniejszych skupisk miejskich i wiejskich (Fig. 1.1.14.1), na jego północnym i południowo-wschodnim skraju występują planowane i zatwierdzone obszary NATURA 2000 a na południowym – obszar chronionego krajobrazu;
- nie ma problemów z dostępnością przemysłowych źródeł emisji dwutlenku węgla (będzie to w pierwszej kolejności instalacja demonstracyjna PKE&ZAK Kędzierzyn, ale w sąsiedztwie potencjalnego składowiska mamy jeszcze szereg mniejszych i większych przemysłowych źródeł emisji (Fig. 1.1.14.2).
- możliwości transportu strumienia dwutlenku węgla siecią rurociągów do potencjalnego składowiska (brak jest poważniejszych przeszkód na drodze z Kędzierzyna do centralnej części rozpatrywanego rejonu – szczegółowe wytyczenie trasy może być rozpatrywane przez inwestora w uzgodnieniu z właścicielami gruntów).

Tabela 1.1.14.1 Baza informacji o wybranych otworach z rejonu Cieszyn-Skoczów-Czechowice (Janusz Jureczka & zespół OG PIG-PIB).

Otwór	Bielowicko IG-1	Chybie IG-1	Czechowice IG-1	Cieszyn IG-1	Dębowiec IG-1	Drogomyśl IG-1	Jaworze IG-1	Rudzica IG-1	Zamarski IG-1
Rdzenie	dostępny	zlikwid.	zlikwid.	zlikwid.	zlikwid.	zlikwid.	zlikwid.	zlikwid.	zlikwid.
Geofizyka wiertnicza	archiwalne, reinterpretacja	archiwalne	archiwalne	archiwalne	archiwalne, reinterpretacja	archiwalne	archiwalne	archiwalne, reinterpretacja	archiwalne, reinterpretacja
Analizy petrofizyczne	archiwalne	archiwalne	archiwalne	-	archiwalne	archiwalne	-	archiwalne	archiwalne
Analizy petrograficzne	archiwalne	archiwalne	archiwalne	-	archiwalne	archiwalne	-	archiwalne	archiwalne
Analizy hydrogeologiczne	archiwalne (laborator)	archiwalne	archiwalne	archiwalne	archiwalne (laborator)	archiwalne (laborator)	archiwalne (bezpośred)	archiwalne (laborator)	archiwalne

Obszar badań pokryty jest stosunkowo gęsto otworami przewiercającymi miocen i jego podłoże (Fig 1.1.14.1-3). Niestety duża część rdzeni z otworów wiertniczych nie zachowała się do chwili obecnej i stąd np. spośród otworów PIG tylko w jednym przypadku dostępny jest rdzeń dla rozpatrywanych odcinków (Tab. 1.1.14.1).

Praktycznie we wszystkich głębokich otworach dostępne są wyniki profilowań geofizyki wiertniczej, ale tylko dla niewielu prowadzona była interpretacja pod kątem określenia litologii i parametrów petrofizycznych. Wynika to po części z faktu że rozpoznanie obszaru badań było w większym stopniu ukierunkowane na potrzeby dokumentowania zasobów węgla kamiennego w górnym karbonie (gdzie najistotniejsze były rdzenie a nie geofizyka wiertnicza; z uwagi na ogromną zmienność parametrów fizycznych w obrębie formacji węglonośnych geofizyka wiertnicza jest mniej przydatna w tym przypadku) niż np. dla określenia własności nadkładu mioceńskiego.

Analizy petrofizyczne i petrograficzne próbkach rdzeni dostępne są w większości otworów. Wynika z nich że porowatości i przepuszczalności formacji piaskowcowych i zlepieńcowych warstw dębowieckich charakteryzuje znaczna zmienność. Porowatości efektywne wynoszą średnio niewiele ponad 10% (minimum dla geologicznego składowania) a przepuszczalność średnio około 40 mD. W przypadku podłoża miocenu (górnego karbonu) w obrębie krakowskiej serii piaskowcowej obserwujemy nieco lepsze własności zbiornikowe niż dla warstw dębowieckich a dla górnośląskiej serii piaskowcowej – gorsze.

Analizy hydrogeologiczne obejmują zarówno badania bezpośrednie próbnikami w otworach jak i analizy laboratoryjne (czasami tylko albo bezpośrednie albo laboratoryjne – w takim przypadku jest to zaznaczone w Tabeli 1.1.14.1).

Na potrzeby dalszych zadań II segmentu (w szczególności 1.1.15) opracowano dla rozpatrywanego obszaru mapy stropu i spągu warstw dębowieckich a także mapy formacji w obrębie podłoża paleozoicznego i starszego (w sumie dla 9 formacji geologicznych od górnego karbonu po prekambryj). Mapy te (Fig. 1.1.14.3) zostały omówione i wykorzystane w ramach zadania 1.1.15.

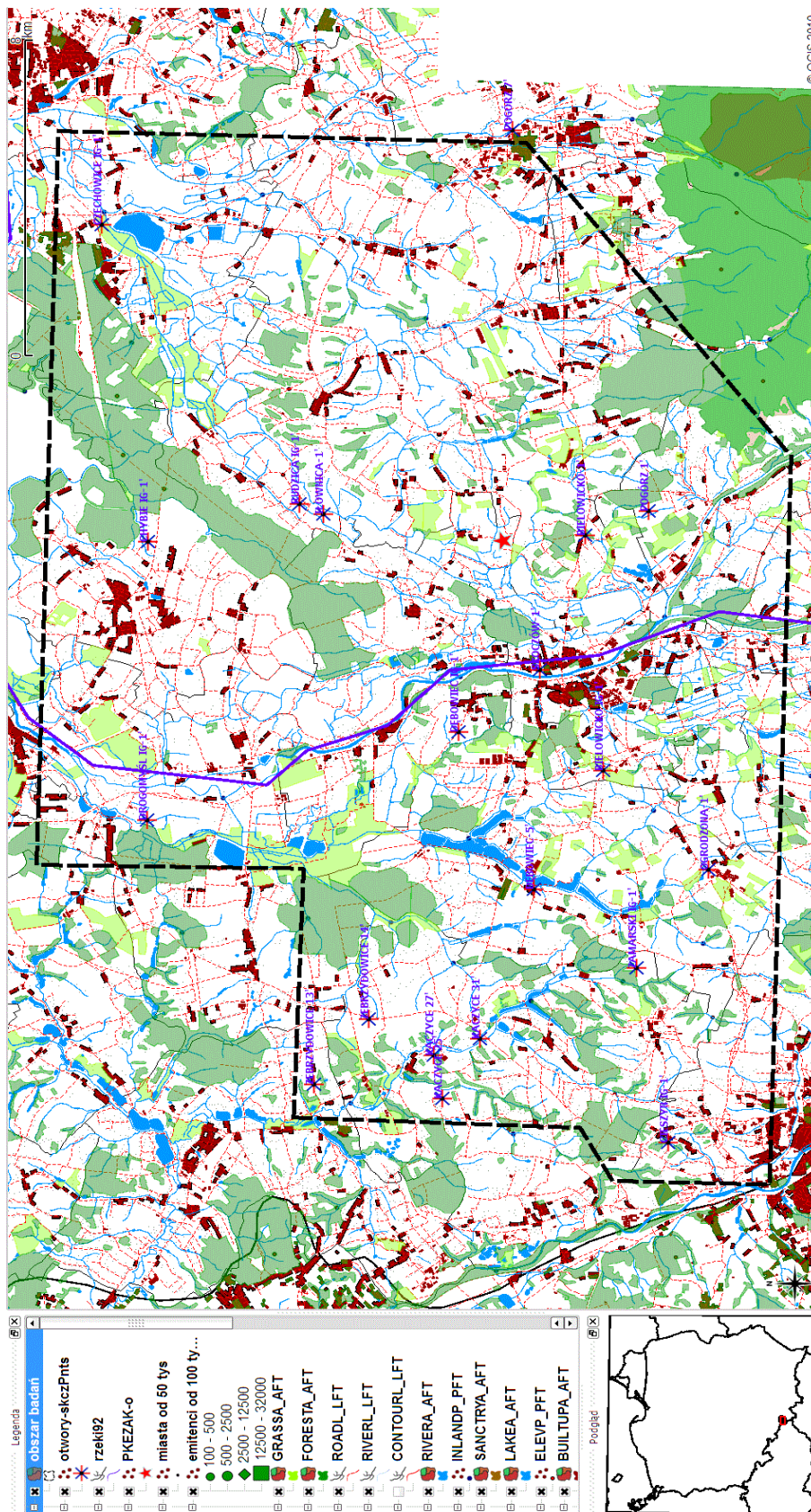


Fig. 1.1.14.1 Mapa topograficzna obszaru badan (dane cyfrowe VMAP Level2, zestawil - Adam Wójcicki); gwiazdką zaznaczono jeden z możliwych punktów zatlaczania, ciemnoczerwone obszary to zabudowa miejska i wiejska (linie kropkowane - drogi), zielone to obszary leśne, żółtozielone – łąki a kolorem niebieskim zaznaczono zbiorniki i cieki wodne.

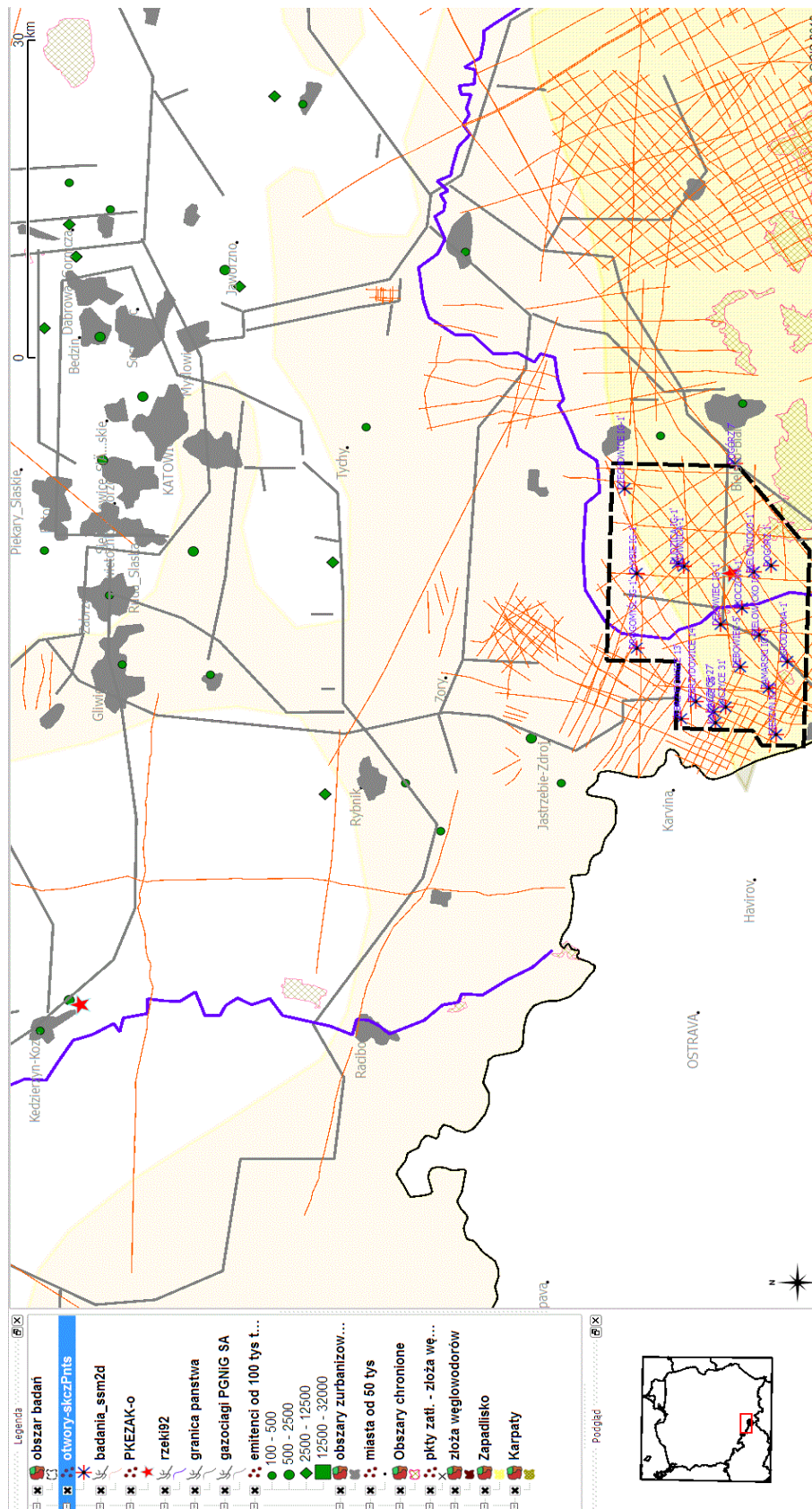


Fig. 1.1.14.2 Obszar badań na tle GZW (zestawił – Adam Wójcicki); gwiazdkami zaznaczono możliwy punkt zatłaczania i planowaną instalację demonstracyjną w Kędzierzynie; zaznaczono też lokalizację badań sejsmicznych (czerwone linie), otworów, zatwierdzonych obszarów chronionych (zielona kratka).

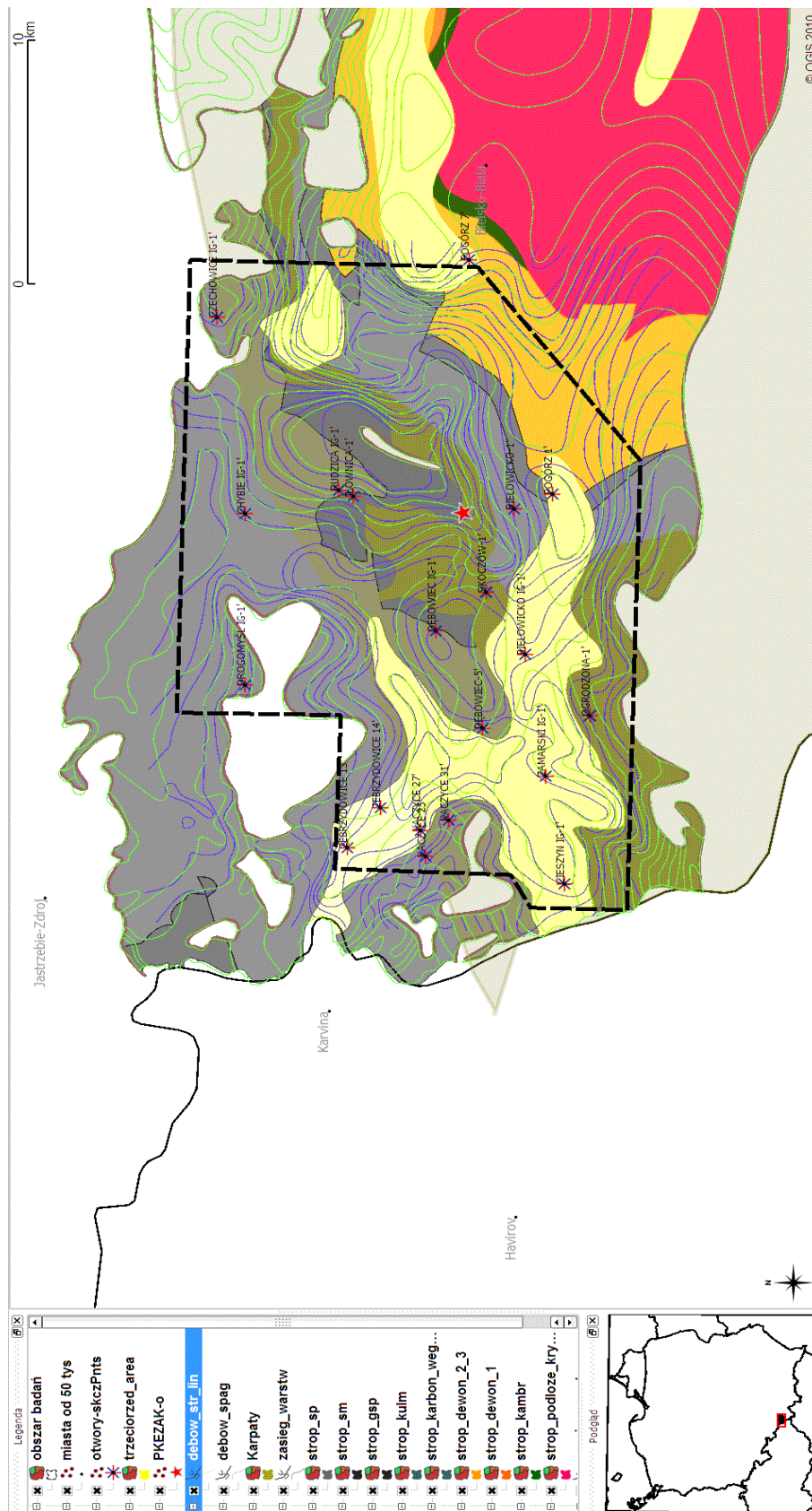


Fig. 1.1.14.3 Zestawienie danych geologicznych dla obszaru badań (Janusz Jureczka & Michał Rolka); mapy stropu i spągu warstw dębowieckich w formie izolinii, dla podłoża zaznaczono odpowiednimi kolorami zasięgi poszczególnych formacji geologicznych.

Charakterystyka hydrodynamiczna rejonu Cieszyn-Skoczów-Czechowice

Jarosław Chećko, Przemysław Bukowski, Iwona Augustyniak – GIG

W ramach niniejszego zadania dokonano zebrania informacji geologicznych, hydrogeologicznych oraz złożowych do realizacji poszczególnych zadań związanych z Górnośląskim Zagłębiem Węglowym (wytypowanym obszarem w jego obrębie). W ramach zbierania informacji geologicznych, uzupełniono je o niezbędne informacje dotyczące szczelności uskoków z obszarów kopalń czynnych jak również innych niezbędnych danych hydrogeologicznych i geomechanicznych. Dokonano w szczególności charakterystyki hydrodynamicznej dla obszaru wytypowanego do dalszych badań – rejonu (obiektu) Cieszyn-Skoczów-Czechowice.

Sytuacja hydrodynamiczna na obszarze badań

Analizowany obszar badań rozciąga się od okolic Dębowca na wschodzie po Jaworze, Międzyrzecze na zachodzie i od okolic Strumienia i Czechowic Dziedzic na północy po Cieszyn na południu (Fig. 1.1.14.4).

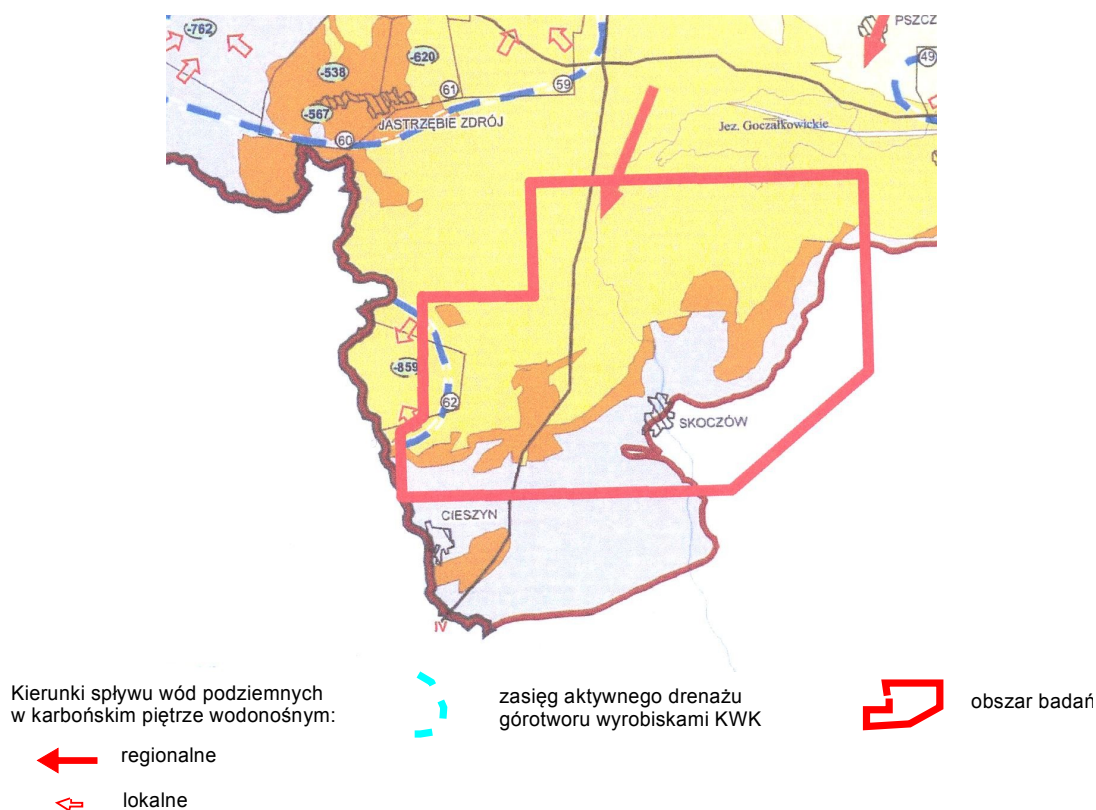


Fig. 1.1.14.4 Mapa dynamiki karbońskiego piętra wodonośnego GZW wg Chmury, Wagner (vide: Rózkowski red. 2004)

Wody poziomu warstw dębowieckich są solankami typu Cl-Na, których mineralizacja mieści się w granicach od około 5 g/dm³ do około 65 g/dm³. Są to wody o twardości od średniej po bardzo twardą, zmieniającą się w zakresie wartości od 12 do 317⁰ n. Cechą charakterystyczną solanek jest znikoma zawartość SO₄²⁻ od kilku do (sporadycznie) kilkuset mg/dm³.

Poziom wodonośny w utworach dębowieckich jest poziomem wodno-gazowym. W wodzie rozpuszczony jest gaz, głównie metan. Badania wykazują, że w 1 m³ wody jest rozpuszczone 1,9 m³ gazu o ciśnieniu 0,1 MPa (Solik-Heliasz 1986).

Ciśnienie wody poziomu wodonośnego w utworach dębowieckich zmienia się w zakresie od 3 do 7 MPa. Statyczne zwierciadło wody warstw dębowieckich występuje na głębokości od 329 do 103 m poniżej poziomu terenu, czyli na rzędnych -60 do +228 m (Tabela 1.1.14.2).

Tabela 1.1.14.2 Otwory badawcze wykorzystane do analizy dynamiki wód podziemnych

Nr otworu	Rok*	X	Y	Z	Rzędna zwierciadła wody [m]
BD-16	1980	830451,13	217978,36	248,56	+111,56
BD-47	1983	829157,73	213613,23	247,67	+107,67
BD-49	1982	829736,45	215953,55	232,64	+21,64
BD-8	1978	831586,23	219125,34	260,24	+157,24
ChIG-1	1984	828811,43	228250,01	259,85	+114,65
CzeIG-1	1982	830167,39	236335,65	249,80	+133,80
DrIG-57	1967	826275,83	220914,63	260,95	+124,15
JaeIG-1	1979	819166,63	236350,43	355,00	+228,50
Ka-19	1977	822228,65	212669,44	261,95	+25,95
Ka-20	1977	821157,40	213169,05	277,10	-22,90
Ka-21	1988	820215,02	213750,59	268,42	-60,58
Ka-25	1987	821527,80	214375,25	274,18	-45,82
Ka-26	1978	822623,29	213897,18	267,90	+22,90
Mie-H1	bd	813379,78	226174,34	323,00	+173,00
Og-1	1948	815930,64	221513,75	329,64	+214,64
Sko-1	1948	819321,25	225194,70	286,70	+36,70
ZamIG-1	1981	817053,81	218164,52	349,09	+31,09
ZeIG-53	bd	826002,61	213048,70	259,70	+41,70

**tlustym drukiem zaznaczono otwory z okresu budowy kopalni „Morcinek lub po rozpoczęciu przez nią eksploatacji górniczej*

Miąszość warstw dębowieckich zmienia się od 0 do 250 m (Fig. 1.1.14.5). Utwory warstw dębowieckich wypełniają głównie deniwelacje stropu karbonu. Najbardziej miększe są osady zdeponowane w największych obniżeniach stropu karbonu, a ich brak stwierdza się najczęściej w rejonie wypiętrzeń i kopuł. W granicach obszaru badań największe miąższości warstw dębowieckich do 250 m występują w pasie centralnym o kierunku przebiegu z zachodu na wschód.

Spąg warstw dębowieckich występuje na rzędnych -450 ÷ -1000 m. Warstwy te zalegają dyskordantnie na utworach karbonu a konfiguracja ich powierzchni spągowej jest ściśle związana z erozyjnym reliefem stropu utworów karbońskich.

Wartości współczynnika filtracji warstw dębowieckich w obszarze badań określony metodami polowymi wahają się od $5,4 \cdot 10^{-8}$ do $1,9 \cdot 10^{-4}$ m³/s.

MAPA ZWIERCIAŁA WÓD PODZIEMNYCH WARSTW DĘBOWIECKICH
NA TLE MAPY MIĄŻSZOŚCI UTWORÓW DĘBOWIECKICH (wg PIG)

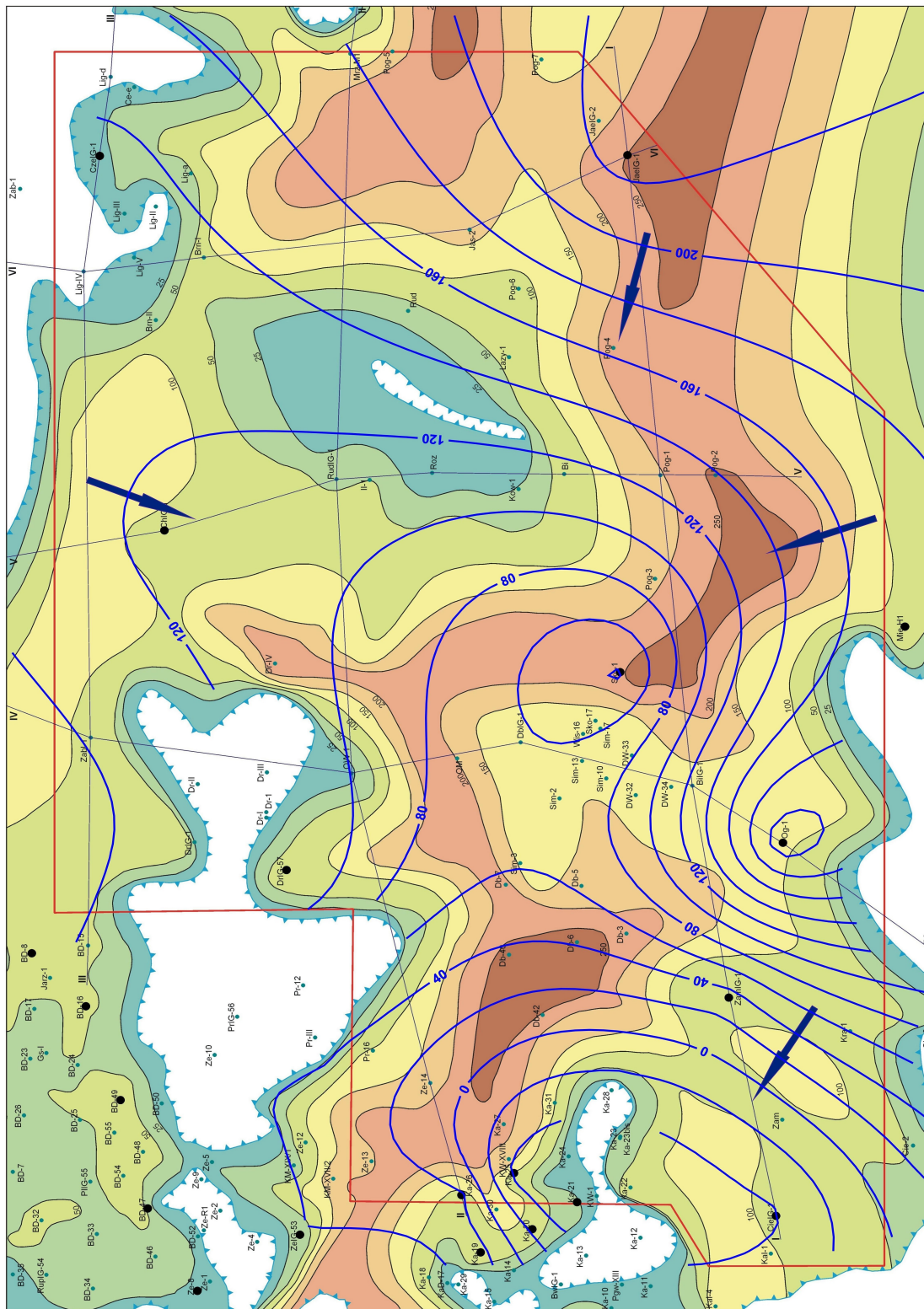


Fig. 1.1.14.5 Mapa zwierciadła wód podziemnych warstw dębowieckich na tle mapy miąższości utworów dębowieckich.

Z badań laboratoryjnych wykonanych przez GIG dla próbek pobranych z otworów w rejonie Kaczyce, Zebrzydowice i Bzie Dębina zlokalizowanym na zachód i północny-zachód od obszaru badań, wynika iż utwory warstw dębowieckich charakteryzują się zmiennymi, na ogół dobrymi parametrami pojemności oraz niskimi parametrami wytrzymałościowymi. Wartości współczynników filtracji wynosiły od $1,0 \cdot 10^{-12}$ do $3,9 \cdot 10^{-5}$ m³/s, porowatość efektywna 2,07÷30,11%, współczynnik pojemności sprężystej $6,95 \cdot 10^{-5}$ ÷ $4,269 \cdot 10^{-4}$ MPa, wytrzymałość na ciskanie w 2,9÷71,7 MPa, a na rozciąganie 0,1÷2,8 MPa (Solik-Heliasz 1986).

Stan rozpoznania hydrogeologicznego jest słaby. Wynika to zapewne ze słabego zagęszczenia siatki otworów badawczych na przeważającej części obszaru. W zachodniej i północno-zachodniej części obszaru jest nieco lepszy, co wiąże się z rozpoznaniem prowadzonym w rejonach górnictwa węglowego w związku z dokumentowaniem złóż węgla. Dotyczy to głównie terenu górniczego obecnie zlikwidowanej kopalni „Morcinek” oraz południowych kopalń rejonu rybnicko-jastrzębskiego. Informacje o położeniu zwierciadła wody warstw dębowieckich (Tabela 1.1.14.1) w analizowanym obszarze pochodzą z różnych okresów od 1948 po 1988 rok .

Zatem dane o położeniu zwierciadła wody w obrębie poziomu warstw dębowieckich należy traktować orientacyjnie, zwłaszcza w kontekście budowy kopalni „Morcinek” podjętej pod koniec lat 70. XX wieku. Różnoczasowe informacje o położeniu zwierciadła wody, przy słabym rozpoznaniu badanego obszaru, mają bezpośrednie przełożenie na interpretację w kształtowaniu powierzchni piezometrycznej zwierciadła wody warstw dębowieckich i ocenę kierunków spływu wód. Generalny kierunek spływu wód w obszarze badań jest zachodni (Fig. 1.1.14.5). W rejonie badań wartości spadków hydraulicznych wód podziemnych warstw dębowieckich wahają się od 0,0008 do 0,01. Spadki najmniejsze występują w północnej, wschodniej oraz centralnej części obszaru, natomiast największe na południu. W zdecydowanej przewadze ogólny kierunek wzrostu wartości spadków hydraulicznych odpowiada kierunkowi spływu wód podziemnych warstw dębowieckich (z północnego wschodu na południowy zachód oraz ze wschodu na zachód).

W wyniku prowadzonego do 1999 r. w kopalni „Morcinek” (rejon Kaczyce) odwadniania poziomu wodonośnego warstw dębowieckich oraz karbońskiego poziomu warstw rudzkich utworzył się lokalnie lej depresji wywołany robotami górnictwymi prowadzonymi przez tą kopalnię (Sikorowska-Maykowska 2001, Rózkowski red. 2004, Fig. 1.1.14.4). Najniższy poziom wyrobisk w kopalni „Morcinek” położony był na rzędnej -859 m. Spąg warstw dębowieckich na obszarze kopani występuje na rzędnej około -500 m. Obecnie, po likwidacji kopalni i rozpoczęciu procesu zatapiania jej wyrobisk górniczych następuje powolne ograniczanie zasięgu leja depresji i odbudowa zwierciadła wody w wyrobiskach górniczych i otaczającym je górotworze. Nie jest znana aktualna rzędna zwierciadła wody w obrębie byłej kopalni „Morcinek”. Uważa się jednak, że zwierciadło wody w zatapianych wyrobiskach może znajdować się jeszcze poniżej spągu warstw dębowieckich.

Parametry złożowe serii węglanowej w południowej części GZW (rejon Bielska)

Stanisław Nagy, Ludwik Zawisza, Jan Macuda, Rafał Smulski, Czesław Rybicki - AGH

Dla rejonu południowej części GZW wybrano do badań potencjalne obszary warstw wodonośnych umiejscowione m.in. w warstwach dębowieckich i serii węglanowej w rejonie Bielska-Białej.

Poziom wodonośny serii i serii węglanowej (dolny karbon oraz górny i środkowy dewon) w rozpatrywanej części Górnosląskiego Zagłębia Węglowego (rejon Bielska-Białej) związany jest z kompleksem złożonym z wapieni i dolomitów z cienkimi wkładkami margli lub piaskowców. Wodonośność serii węglanowej uzależniona jest głównie od stopnia spękań i skrasowienia górotworu. Seria dębowiecka i seria węglanowa stanowią najbardziej zasobny oraz najbardziej perspektywiczny pod kątem możliwości zatłaczania CO₂ poziom wodonośny GZW poniżej głębokości 700 m ppt.

W rejonie południowego obrzeżenia górnosląskiego zagłębia węglowego (rejon Bielska) rozpoznane zostały następujące piętra wodonośne:

- czwartorzędowe,
- kredowo-paleogeńskie,
- trzeciorzędowe - neogeńskie, w którym wyróżniono poziomy wodonośne formacji skawińskiej oraz ogniwa dębowieckiego,
- paleozoiku, w obrębie którego wyróżniono poziom wodonośny serii węglanowej dolnego karbonu, górnego i środkowego dewonu oraz poziom wodonośny dewonu dolnego i kambru.

Występowanie izolujących utworów trzeciorzędowych związanych z formacją skawińską, uniemożliwia zasilanie niżej zalegających poziomów wodonośnych przez wody atmosferyczne, a także izoluje je zarówno od wód powierzchniowych jak również od wód słodkich występujących w czwartorzędzie. W związku z tym poziomy wodonośne ogniwa dębowieckiego, serii węglanowej karbonu, dewonu środkowego i górnego oraz osadów klastycznych dewonu dolnego i kambru są praktycznie nieodnawialne i występują w nich wody reliktowe. Podobny obszar przeznaczony został na cele sekwestracyjne w USA w Arizonie (zob. Beyer J.H., 2008).

Poziom wodonośny serii węglanowej dolnego karbonu oraz górnego i środkowego dewonu związany jest z masywnym kompleksem złożonym z wapieni i dolomitów z cienkimi wkładkami margli lub piaskowców. Miąższość serii jest zmienna, od zera w rejonie położonym na południe od otworu Kęty 3 do 800-1000 m w kierunku zachodnim (otwór Krasna 1 - 858 m), północnym (otwór Goczałkowice IG-1 - 820 m) i północno-wschodnim.

W otworze Kęty MT-3 serię węglanową nawiercono w interwale 1002-1452 m (miąższość 450 m). Seria węglanowa przykryta jest na ogół klastycznymi utworami karbonu i tylko w południowej części obszaru występuje bezpośrednio pod nakładem trzeciorzędu. W strefie wychodni serii węglanowej na powierzchnię podmiocęńską możliwy jest rozwój zjawisk krasowych, biorąc pod uwagę czasokres (od permu do miocenu) w jakim seria węglanowa pozostawała odsłonięta oraz zróżnicowany charakter morfologii powierzchni podmiocęńskiej. Zjawiska krasowe odnotowano w wielu otworach i to zarówno leżących bezpośrednio w strefie wychodni (Kęty 3 i 8) jak również w otworach zlokalizowanych w pewnym oddaleniu od wychodni (MT-3 Kozy, Bestwina IG-1 i inne).

Seria węglanowa reprezentowana przez wapienie i dolomity, tworzy zbiornik hydrogeologiczny, w którym prowadzenie wody jest uzależnione głównie od stopnia spękań i skrasowienia węglanowego górotworu. Silne zaangażowanie tektoniczne rejonu badań oraz procesy krasowe umożliwiły powstanie systemu szczelin i pustek krasowych decydujących o charakterze szczelinowo-krasowym warstw wodonośnych. Na skutek procesów diagenety, kompaktacji,

rekrytalizacji i cementacji nastąpiło częściowe zaciśnięcie szczelin i pustek oraz zmniejszenie przepuszczalności górotworu, nie mniej jednak seria węglanowa stanowi najbardziej zasobny poziom wodonośny w rozpatrywanym rejonie badań oraz najbardziej perspektywiczny pod kątem możliwości zastosowania głębokiego zatłaczania.

Własności mikrohydrauliczne skał węglanowych są słabo rozpoznane na rozpatrywanym obszarze.

Porowatość skał serii węglanowej

Porowatość określona na drodze badań laboratoryjnych dotyczących obszaru badań, wykazuje wartości w granicach 0,1-11,7%, przeciętnie ok. 0,9-1,5%. Około 85% badanych prób charakteryzowało się porowatością poniżej 2% (Kotas A., Rózkowski A., Karwasiecka M., 1973). W otworze Goczałkowice IG-1 średnia wartość porowatości serii wynosi 1,05%. Niewielką porowatość (średnio 1,1%) wykazywały również utwory węglanowe w otworze Ustroń IG-3, a poniżej 1% w otworze Krasna 1. Badania porowatości wykonane w otworze MT-3 Kozy na próbach pobranych w interwale 1008-1447 m wykazały porowatości odpowiednio: 0,11-11,71% (średnio 3,47%). Należy zaznaczyć, że oznaczenia porowatości ustalane na drodze laboratoryjnej dotyczyły wyłącznie porowatości międzyziarnowej, a nie określały porowatości szczelinowej i krasowej.

Porowatość górotworu węglanowego określona karotażem geofizycznym w otworach: Andrychów 2, 3, 4; Bielsko 5; Goczałkowice IG-1; Kęty 7, 9; Kryspinów 1; Mogilany 1; Piotrowice 1; Spytkowice 200; Tomice 1; Wysoka 1, 2; Zagacie 1 waha się od 1,5 do 11%, średnio 3,9%. Przedział ufności średniej porowatości, określony na poziomie ufności 0,95 dla wyników badań karotażowych mieści się w granicach 3,3-4,5%. Uwzględniając klasyfikację Z. Pazdro (1983) badane skały należy zaliczyć do słabo porowatych.

Współczynnik odsączalności grawitacyjnej skał węglanowych

WOG serii węglanowej określony został dla zbioru zaledwie kilku prób pochodzących z otworu Bestwina IG-1. Uzyskano średnią wartość 1,0%. Uwzględniając klasyfikację Z. Pazdro (1983) opisywane skały należy zaliczyć do praktycznie nieodsączalnych.

Współczynnik przepuszczalności

Przepuszczalność skał określona została dla zbioru zaledwie 8 próbek pobranych z otworu Bestwina IG-1 oraz 8 próbek z otworu MT-3. Określa on wyłącznie przepuszczalność przestrzeni porowej górotworu. W otworze Bestwina IG-1 współczynnik przepuszczalności jest zmienny w granicach 0,1-2,49 mD (średnio ok. 1,21 mD). W przeliczeniu na współczynnik filtracji badane skały charakteryzują się średnią przepuszczalnością hydrauliczną rzędu $1,16 \times 10^{-8}$ m/s. W otworze MT-3 uzyskano niskie współczynniki przepuszczalności w granicach 0,002-0,410 mD (średnio 0,080 mD) na próbach pobranych z interwałów 1008-1447 m. Górotwór węglanowy może charakteryzować się podwyższoną przepuszczalnością w przypadku jego skawernowania na skutek procesów krasowych. Wyraźne skawernowanie skał węglanowych oprócz otworu MT-3 obserwowano w otworach Bestwina IG-1; Kęty 3, 8; Jaworze IG-2 i innych, nie przeprowadzono jednak w nich badań hydrogeologicznych w interwałach skrasowiałych.

Obszerniejszych danych o przepuszczalności i wodonośności skał serii węglanowej w tym również na podstawie wyników badań polowych dostarczyły odwiercone w kilku ostatnich latach otwory: Krasna 1; Ustroń C-1 oraz Kozy MT-3.

Wodoność, ciśnienia, chłonność

Wodoność serii węglanowej określono w oparciu o wyniki opróbowań próbnikiem złoża, szczypania łyżką wiertniczą oraz na podstawie próbnych pompowań. W otworze Krasna 1 w strefie występowania utworów węglanowych dewonu tj. na odcinku 1943-2801 m zapięto w trakcie wiercenia 10-krotnie próbnik złoża w różnych interwałach głębokości. Tylko w 4 przypadkach stwierdzono przyływy solanki w ilości 2,7-13,2 m³/h (Niemczyk B., Wróbel R., 1994). Przepuszczalność w 2 badanych poziomach była wysoka (35,0 mD oraz 109mD), pomimo, że badania laboratoryjne próbek rdzeni wykazywały na ogół niską porowatość rzędu 1%.

W otworze Kozy MT-3 zapięte próbniki w utworach serii węglanowej na głębokościach 1001-1060 i 1001-1140 m potwierdziły wysoką przepuszczalność i bardzo dobre własności zbiornikowe serii węglanowej oraz ciśnienie złożowe równe 8,58 MPa.

Próbnik zapięty w otworze Goczałkowice IG-1 na głębokości 2035-2060 m wykazał ciśnienie złożowe 16,15 MPa oraz dopływ 0,4 m³/h przy depresji s=250 m (po kwasowaniu).

Węglanowa seria dewońska została przebadana we wszystkich otworach za wodami leczniczymi w Ustroniu. W otworze U-3 wydajność wynosiła Q=6,0 m³/h przy depresji s=3,0 m, a w otworze U-3A wyniosła Q=6,77 m³/h przy s=3,9 m. Niższe wydajności uzyskano w otworze U-2, tj. Q=0,035 m³/h przy s=507 m (przed kwasowaniem) oraz Q=0,0515 m³/h przy s=189 m (po kwasowaniu).

Współczynniki filtracji obliczone na podstawie próbnych pompowań wynoszą od $0,98 \times 10^{-9}$ – $2,47 \times 10^{-9}$ m/s w otworze U-2 do $1,36 \times 10^{-6}$ — $1,97 \times 10^{-6}$ m/s w otworze U-3. W otworze C-1 współczynnik filtracji wynosił średnio $5,1 \times 10^{-9}$ m/s (przed kwasowaniem) a po zabiegu kwasowania $1,2 \times 10^{-6}$ m/s, a więc wzrósł 235 razy. W otworze C-1 zwierciadło wody ustabilizowało się na głębokości 124,25 m p.p.t.

Obszerne informacje dotyczące wodoności i ciśnień poziomu wodonośnego serii węglanowej uzyskano w trakcie badań przeprowadzonych w otworze Kozy MT-3. Zwierciadło wody ustabilizowało się na głębokości 142,0 m p.p.t. (ciśnienie złożowe wyniosło 8,6 MPa). Przeprowadzone próbne pompowanie wykazało wydajności dopływu od Q=5,1 m³/h przy s=9,3 m do Q= 41,4 m³/h przy s=93,5 m po zabiegu kwasowania. Współczynnik filtracji określono na $k=4 \times 10^{-7}$ m/s co odpowiada przepuszczalności warstwy kolektorowej ok. 40 mD.

Badania chłonności (Jawor, 1993; Wagner 1997) poziomu wodonośnego serii węglanowej zostały przeprowadzone w otworach Ustroń C-1, Krasna 1 i Kozy MT-3, poprzez zatłaczanie solanki. Po zabiegu kwasowania w otworze Ustroń C-1 chłonność zdecydowanie wzrosła i tak, przy porównywanym ciśnieniu 2 MPa wyniosła 120 m³/h, czyli wzrosła praktycznie o dwa rzędy wielkości. Podobną chłonność osiągnięto po zabiegu kwasowania w otworze Kozy MT-3.

Badania w otworach Krasna 1 i Kozy MT-3 oraz w szczególności testy "Production Log" wykazały, że skały serii węglanowej są niejednolite pod względem kolektorowym. W różnych interwałach głębokościowych występują strefy o podwyższonej chłonności związane ściśle ze strefami o silnie rozwiniętej wtórnej porowatości (szczelinowatości i skrasowieniu).

Na Fig. 1.1.14.6 pokazano jako przykład przebieg wielostopniowego testu hydrodynamicznego przeprowadzonego na otworze Kozy MT-3. Przedstawiono przebieg zmian ciśnienia (pressure) (bar) przeliczonego do poziomu hydrostatycznego odpowiadającego 968m ppt oraz wydajności (flow rate) m³/h w funkcji czasu trwania testu.

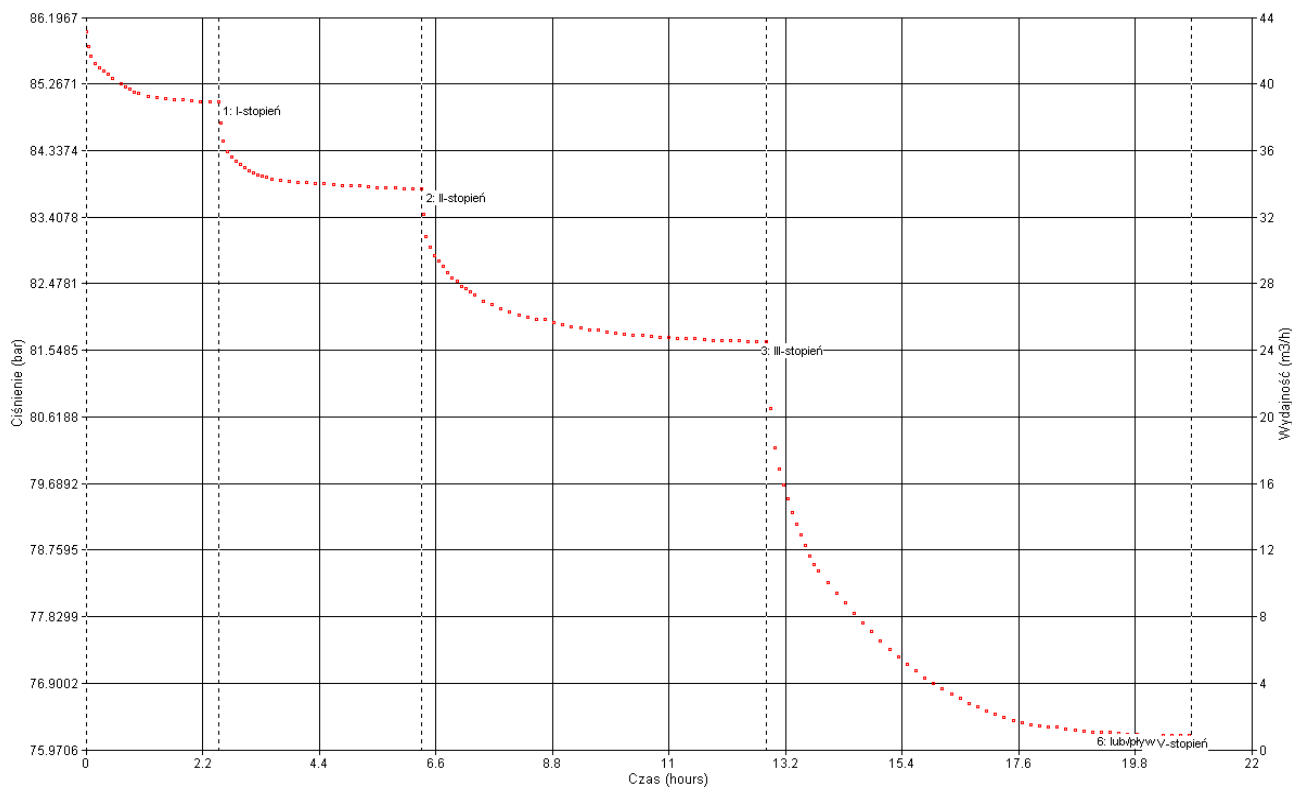


Fig. 1.1.14.6 Przebieg testu produkcyjnego w otworze Kozy MT3

Chemizm wód

Charakterystykę chemizmu wód serii węglanowej oparto o wyniki analiz chemicznych wód uzyskanych z szeregu otworów wiertniczych zlokalizowanych w rejonie badań, jak również w oparciu o wyniki analiz chemicznych wód pobranych z otworu MT-3.

W otworach sąsiadujących z otworem MT-3 mineralizacja ogólna wód serii węglanowej wynosi od 107 g/dm³ (otwór Kęty 7) do 132 g/dm³ (otwór Kęty 1). W wodach rejonu Ustronia mineralizacja ogólna zawiera się w granicach 70-140 g/dm³, a w otworze Krasna 1 od 137 g/dm³ do 157 g/dm³. Temperatura wód na wypływie była zmienna w granicach 40-100°C. W składzie gazowym wód dominował metan (CH₄).

Podobne wyniki uzyskano w otworze MT-3. Badana woda serii węglanowej charakteryzowała się mineralizacją ogólną rzędu 116,1-125,4 g/dm³ i temperaturą na wypływie ok. 38°C. Wartości wskaźników hydrochemicznych $r_{Na/Cl}=0,464$ oraz $r_{Cl/SO_4}=623,9$ informują o występowaniu wód w strefie redukcji, w warunkach pełnej izolacji i stagnacji wód w zbiorniku. Wskaźniki te wskazują na brak kontaktu hydraulicznego wód serii węglanowej ze współczesnymi wodami infiltracyjnymi. Według Michalika (1978), wody serii węglanowej są wodami kopalnymi, infiltracyjnymi, pochodzącymi z późniejszych transgresji wkraczających na garb cieszyńsko-kęski i wypełniającymi wcześniej powstałe szczeliny i próżnie krasowe. Pod względem chemicznym opisywane wody są solankami chlorkowo-sodowo-wapniowymi.

Trudny do określenia jest kierunek migracji tych wód. Wydaje się, że powolny ruch wód serii węglanowej odbywa się w kierunku północnym strefami uprzywilejowanymi, do których należą strefy dyslokacyjne i strefy silnie skrasowiałe.

Podsumowanie i wnioski

Brak jest wystarczających danych do określenia wszystkich istotnych parametrów złożowych dla rozpatrywanych otworów w rejonie Bielska (seria węglanowa). Braki w zakresie uzyskania rdzenia (tylko 8 prób) mogą wskazywać na duże skawernowanie (?) tych utworów.

Zmiana własności hydrogeologicznych (wskutek testów/zabiegów kwasowania w otworach) może spowodować zarówno zmniejszenie się chłonności w porównaniu do prognozy, może też okazać się, że przedstawiona prognoza zbyt pesymistycznie oceniła zdolności chłonne kompleksów wodonośnych serii węglanowej. Przypomnieć należy jeszcze raz, że w rozpatrywanych otworach nie wykonano żadnego badania hydrodynamicznego w trakcie wiercenia i po zakończeniu wiercenia, zaś badania na próbkach rdzenia w przypadku skał węglanowych nie pozwalają wyciągnąć, żadnych innych konstruktywnych wniosków.

Stąd wykorzystanie kolektorów serii węglanowej jako rezerwowego poziomu dla składowania dwutlenku węgla w południowej części GZW wydaje się w tej chwili problematyczne (z uwagi na niedostateczne informacje z otworów i niską przewidywalność zdolności chłonnych kompleksów wodonośnych serii węglanowej), przynajmniej dla rejonu Bielska.

Własności zbiornikowe i filtracyjne dla rozpatrywanego obiektu

Grzegorz Leśniak – GIG

W ramach realizowanego zadania projektu zebrano bazę danych petrofizycznych z wybranych odwiertów znajdujących się na wyznaczonym obiekcie Cieszyn-Skoczów-Czechowice w rejonie Kowale-Roztropice.

Zebrano dane zawierające wykonane analizy porowatości i przepuszczalności na rdzeniach wiertniczych wykonane przez laboratoria PGNiG (Tabele 1.1.14.3-5).

Tab. 1.1.14.3 – Wyniki analiz porowatości i przepuszczalności dla odwiertu Kowale - 2.

Lp.	Interwał [m]	Skryzynka	cm	Opis próbki	Ciepłota objętościowa g/cm ³	Porowatość [%]	Przepuszczalność [mD]
1	745-754	I	50-60	złocieniec			
2	745-754	I	90-100	złocieniec			
3	745-754	III	40-50	złocieniec			
4	745-754	IV	70-80	złocieniec			
5	745-754	VI	0-10	złocieniec			5,19
6	745-754	VIII	30-40	złocieniec			6,12
7	745-754	X	20-30	złocieniec			5,25
8	811-820	I	0-10	piaskowiec	2,48	7,38	1,90
9	811-820	I	20	piaskowiec	2,50	7,59	2,42
10	811-820	I	60-70	piaskowiec			
11	811-820	II	0-10	piaskowiec	2,46	8,42	0,45
12	811-820	II	20	piaskowiec	2,49	7,42	1,10
13	811-820	II	40	piaskowiec			0,67
14	811-820	II	50-60	piaskowiec	2,51	7,96	0,77
15	811-820	III	20	piaskowiec			
16	811-820	III	80-90	piaskowiec	2,40	10,06	1,20
17	811-820	III	30-40	piaskowiec			
18	811-820	IV	30-40	piaskowiec			
19	811-820	IV	60-70	piaskowiec	2,48	7,12	0,61
20	811-820	IV	90-100	piaskowiec			
21	811-820	V	0-10	piaskowiec	2,49	8,00	0,67
22	811-820	V	30-40	piaskowiec	2,58	5,74	0,77
23	811-820	V	85-90	piaskowiec	2,50	6,70	1,20
24	811-820	V	90-100	piaskowiec	2,50	6,71	0,61
25	811-820	VI	30-40	piaskowiec			
26	811-820	VI	90-100	piaskowiec	2,60	5,91	1,09
27	811-820	VII	30-40	piaskowiec	2,57	5,16	0,45
28	811-820	VII	85-90	piaskowiec	2,50	7,78	0,67
29	811-820	VIII	30-40	piaskowiec	2,64	2,87	0,38
30	811-820	VIII	80-90	piaskowiec	2,48	7,58	0,42
31	811-820	X	0-10	piaskowiec	2,48	7,85	0,53
32	811-820	X	30-40	piaskowiec	2,48	7,64	0,63
33	995-1000	I	0-10	mułowiec	2,64	1,65	n.p.
34	995-1000	I	40	łowiec	2,66	0,55	n.p.
35	995-1000	I	70-80	łowiec	2,79	1,13	n.p.
36	995-1000	II	20	łowiec	2,76	0,82	n.p.
37	995-1000	II	60-70	łowiec	2,73	1,85	n.p.
38	995-1000	IV	0-10	łowiec	2,62	1,34	n.p.
39	995-1000	IV	70	piaskowiec	2,57	4,25	n.p.
40	995-1000	IV	50-60	mułowiec	2,60	3,50	n.p.
41	995-1000	V	0-10	piaskowiec	2,64	3,64	n.p.
42	995-1000	V	20 X	mułowiec	2,64	1,62	n.p.

Tab. 1.1.14.4 - Wyniki analiz porowatości i przepuszczalności dla odwiertu Roztropice – 2

Lp.	Interwał [m]	Skrzynka	Opis próbki	Ciepłota objętościowa g/dm ³	Porowatość [%]	Przepuszczalność [mD]
1	396-400		łowce+p-ce	2,40	5,33	
2	531-537		m ułowce	2,32	10,83	
3	656-662		m ułowce			
4	716-722		p-ce+m ułowce	2,46	6,42	brak próbki
5	820-826		p-ce+łowce			
6	820-826	I	p-ce+łowce węgla	2,49	3,13	brak próbki
7	856-862	I	p-ce	2,46	6,47	brak próbki
8	892-898		p-ce	2,47	6,67	brak próbki

Tab. 1.1.14.5 - Wyniki analiz porowatości i przepuszczalności dla odwiertu Roztropice – 3

Lp.	Interwał [m]	Skrzynka	cm	Opis próbki	Ciepłota objętościowa g/dm ³	Porowatość [%]	Przepuszczalność [mD]
1	803-809	I		piaskowiec	2,45	10,66	rozupliwe
2	803-809	II		piaskowiec	2,59	7,30	
3	803-809	III		piaskowiec	2,43	9,40	
4	803-809	IV		piaskowiec	2,33	11,90	
5	1222-1227	II	0-10	łowce			
6	1222-1227	II	50	łowce			
7	1222-1227	III	10-20	łowce			
8	1222-1227	III	20-30	łowce			
9	1222-1227	III	30-40	łowce			
10	1222-1227	III	70-80	łowce			
11	1222-1227	IV	0-10	łowce			
12	1222-1227	IV	20-30	łowce			
13	1222-1227	V	0-10	łowce			
14	1371-1380	III		wapień	2,75	1,20	
15	1371-1380	IV		wapień			
16	1371-1380	V		wapień			
17	1371-1380	K		wapień			
18	1400-1409	I		wapień	2,80	0,00	0,00
19	1400-1409	III		wapień			
20	1400-1409	V		wapień			
21	1400-1409	VI		wapień			
22	1400-1409	VIII		wapień dołm. t.			
23	1400-1409	K		wapień	2,90	0,00	0,00
24	2068-2069	I	30-40	gnejs?			
25	2068-2069	I	30-40	kwarcyt			
26	1434-1443	II	85-100	wapień	2,78	0,99	0,00
27	1434-1443	VIII	0-20	wapień	2,80	0,00	0,00
28	1500-1509	III	80-100	brekcja ilwęgla.	2,70	0,00	0,00
29	1500-1509	K	10-20	wapień	2,82	0,00	rozupliwe
30	1569-1578	VI	30-40	wapień	2,71	0,00	0,00
31	1636-1645	V	30-50	wapień	2,70	0,00	0,00
32	1700-1709	IV	30-50	brekcja węglanowa	2,71	0,00	0,00
33	1700-1709	VIII	40-50	wapień	2,71	0,70	0,00
34	1775-1780	III	30-50	dołm. t.			rozupliwe
35	1845-1851	IV	0-10	wapień	2,88	0,00	0,00
36	1911-1917	VI	20-30	dołm. t.	2,83	0,00	0,00
37	1980-1989	VIII		łowce			
38	1980-1989	K		łowce			
39	2010-2011	I	0-20	złocieniec kwarcyt.	2,56	3,39	0,12

Analiza danych grawimetrycznych

Zdzisław Żuk - PBG

Dane grawimetryczne z rejonu południowej części GZW scharakteryzowano już w zadaniu 1.1.4 w ramach raportu dla I segmentu w rejonie GZW (Wójcicki A. & Jureczka J. (red.), 2009). Poniżej scharakteryzowano wyniki analiz dla danych grawimetrycznych wzdłuż sześciu profili w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice (patrz Fig. 1.1.14.7). Pionowe przekroje grawimetryczne sporządzono dla sześciu profili przebiegających wzdłuż lub w pobliżu profili sejsmicznych.

Pionowe przekroje grawimetryczne wykonane zostały na bazie filtrów częstotliwościowych typu BTWR. Danymi wejściowymi były wartości pola anomalii Bouguera (Fig. 1.1.14.7) interpolowane w siatce o boku 250 m, które poddano następującym operacjom:

- Transformacja mapy anomalii Bouguera w mapy anomalii rezydualnych filtrem BTWR dla stałych interwałów głębokościowych 250 m w przedziale 0-5 km (scharakteryzowanej bliżej w zadaniu 1.1.4 w raporcie z I segmentu dla GZW – Wójcicki A. & Jureczka J. (red.), 2009).
- Wyliczenie wartości anomalii dla każdego z założonych interwałów głębokościowych wzdłuż poszczególnych profili.
- Utworzenie dla każdego profilu zbiorów, które poddano procesowi standaryzacji i interpolacji do postaci siatki regularnej.
- Wykreślenie pionowych przekrojów grawimetrycznych na podstawie otrzymanych wartości siatki regularnej.

Otrzymane przekroje (Fig. 1.1.14.8-9) przedstawiają zmiany efektów grawimetrycznych od różnych kompleksów fizycznych wraz ze zwiększeniem się ich głębokości. Uściślają one obraz map transformowanych w zakresie pionowych zmian anomalii grawimetrycznych oraz wyznaczają zasięgi poziome i pionowe poszczególnych anomalii. Przedstawienie poniżej każdego przekroju wycinka mapy grawimetrycznej anomalii resztkowych wiąże anomalie mapy z odpowiednim interwałem przekroju grawimetrycznego. Można uważać, iż przedstawienie na omawianych załącznikach anomalii w postaci map transformowanych i pionowych przekrojów jest przestrzenną formą obrazu grawimetrycznego. Intensywność anomalii zaś odpowiada charakterystycznym wysoko i nisko gęstościowym kompleksom litologicznym w obrębie utworów miocenu i podłoża. Należy jednak tutaj również podkreślić iż dobór skali głębokościowej w przekrojach grawimetrycznych może być obciążony błędem wynikającym z przyjętych założeń i uproszczeń interpretacyjnych.

Do wykonania pionowych przekrojów grawimetrycznych użyto własnych programów TRANGRID, PRZEKRÓJ i WYKRES a także aplikacji CoreDRAW i SURFER.

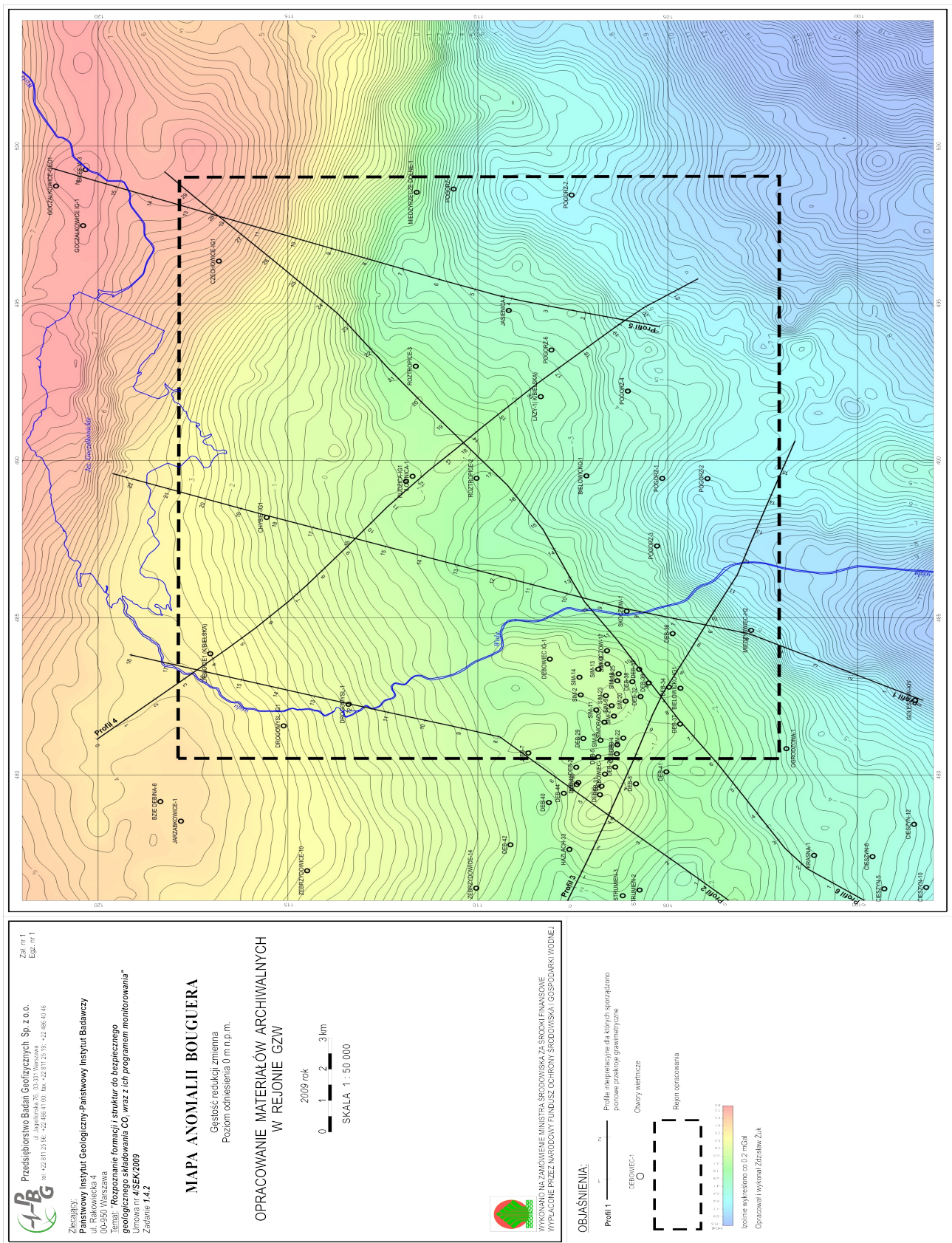


Fig. 1.1.14.7 Mapa anomalii Bouguera w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice.

Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.
 ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa
 tel. +22 811 25 56, +22 486 41 00, fax. +22 811 25 19, +22 486 40 46

Zal. nr 6
Egz. nr 1

Zlecający:
Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Rakowiecka 4
 00-950 Warszawa
 Temat: "Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania"
 Umowa nr 4/SEK/2009
 Zadanie 1.4.2

PIONOWY PRZEKRÓJ GRAWIMETRYCZNY
Profil 1
 Gęstość redukcji zmienna
 Poziom odniesienia 0 m n.p.m.

**OPRACOWANIE MATERIAŁÓW ARCHIWALNYCH
 W REJONIE GZW**
 2009 rok

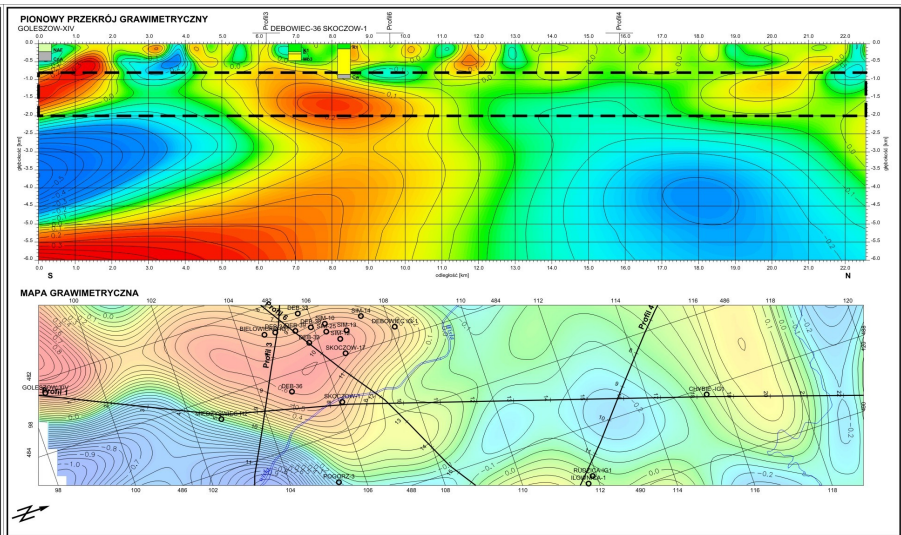
Skala pozioma 1 : 50 000
 Skala pionowa 1 : 50 000

OBJAŚNIENIA (MAPA GRAWIMETRYCZNA):
 Profil 1 ———— Profil interpretacyjny dla których sporządzono pionowe przekroje grawimetryczne
 DEBOWIEC-1 ○ Otwory wiertnicze
 Izolinie wykreślono co 0.05 mGal

OBJAŚNIENIA (PIONOWY PRZEKRÓJ GRAWIMETRYCZNY):
 Przynależny przedział głębokości przedstawiony na mapie grawimetrycznej

Opracował i wykonał Zdzisław Żuk

WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA ŚRODOWISKA ZA ŚRODKI FINANSOWE WYPŁACONE PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ



Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.
 ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa
 tel. +22 811 25 56, +22 486 41 00, fax. +22 811 25 19, +22 486 40 46

Zal. nr 7
Egz. nr 1

Zlecający:
Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Rakowiecka 4
 00-950 Warszawa
 Temat: "Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania"
 Umowa nr 4/SEK/2009
 Zadanie 1.4.2

PIONOWY PRZEKRÓJ GRAWIMETRYCZNY
Profil 2
 Gęstość redukcji zmienna
 Poziom odniesienia 0 m n.p.m.

**OPRACOWANIE MATERIAŁÓW ARCHIWALNYCH
 W REJONIE GZW**
 2009 rok

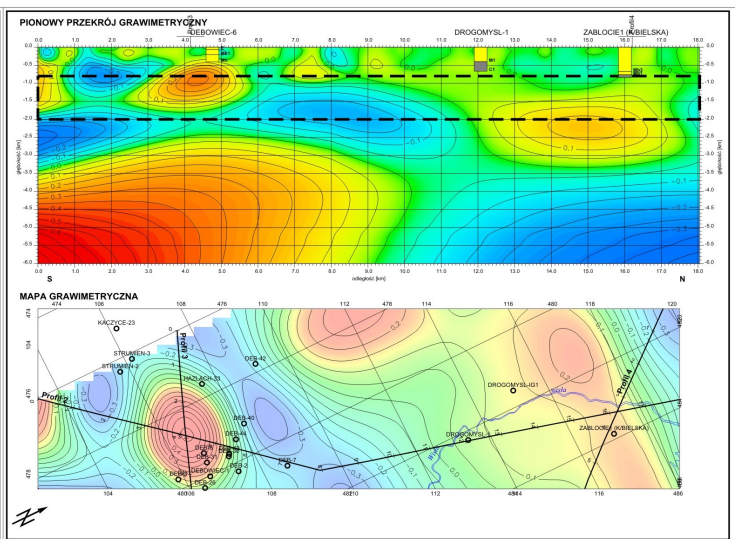
Skala pozioma 1 : 50 000
 Skala pionowa 1 : 50 000

OBJAŚNIENIA (MAPA GRAWIMETRYCZNA):
 Profil 1 ———— Profil interpretacyjny dla których sporządzono pionowe przekroje grawimetryczne
 DEBOWIEC-1 ○ Otwory wiertnicze
 Izolinie wykreślono co 0.05 mGal

OBJAŚNIENIA (PIONOWY PRZEKRÓJ GRAWIMETRYCZNY):
 Przynależny przedział głębokości przedstawiony na mapie grawimetrycznej

Opracował i wykonał Zdzisław Żuk

WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA ŚRODOWISKA ZA ŚRODKI FINANSOWE WYPŁACONE PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ



Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.
 ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa
 tel. +22 811 25 56, +22 486 41 00, fax. +22 811 25 19, +22 486 40 46

Zal. nr 8
Egz. nr 1

Zlecający:
Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Rakowiecka 4
 00-950 Warszawa
 Temat: "Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania"
 Umowa nr 4/SEK/2009
 Zadanie 1.4.2

PIONOWY PRZEKRÓJ GRAWIMETRYCZNY
Profil 3
 Gęstość redukcji zmienna
 Poziom odniesienia 0 m n.p.m.

**OPRACOWANIE MATERIAŁÓW ARCHIWALNYCH
 W REJONIE GZW**
 2009 rok

Skala pozioma 1 : 50 000
 Skala pionowa 1 : 50 000

OBJAŚNIENIA (MAPA GRAWIMETRYCZNA):
 Profil 1 ———— Profil interpretacyjny dla których sporządzono pionowe przekroje grawimetryczne
 DEBOWIEC-1 ○ Otwory wiertnicze
 Izolinie wykreślono co 0.05 mGal

OBJAŚNIENIA (PIONOWY PRZEKRÓJ GRAWIMETRYCZNY):
 Przynależny przedział głębokości przedstawiony na mapie grawimetrycznej

Opracował i wykonał Zdzisław Żuk

WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA ŚRODOWISKA ZA ŚRODKI FINANSOWE WYPŁACONE PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ

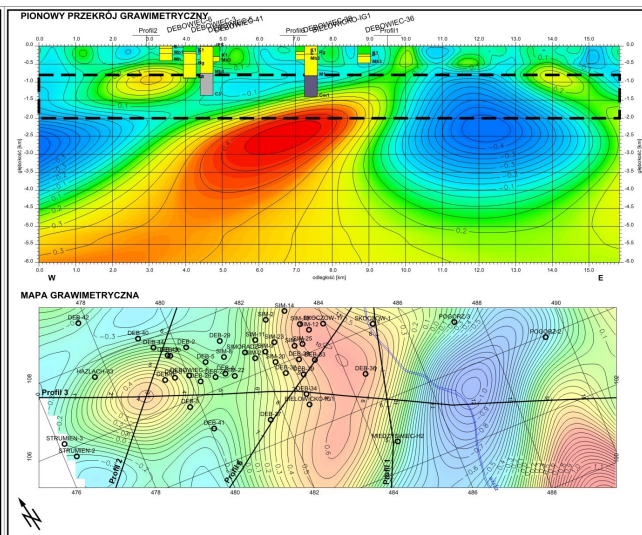



Fig. 1.1.14.8 Pionowe przekroje grawimetryczne wzdłuż profili 1, 2 i 3.

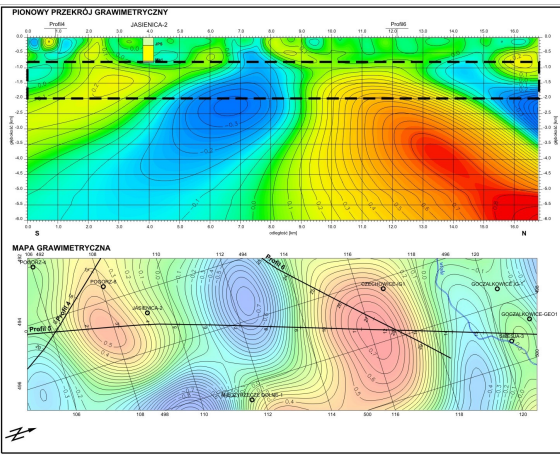

Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.
 ul. Rakowiecka 4, 00-950 Warszawa
 Tel. +22 811 25 56, Fax. +22 488 41 00, Ks. +22 811 25 18, +22 488 40 48
 Zleceniodawca: **Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy ul. Rakowiecka 4, 00-950 Warszawa**
 Temat: **"Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania"**
 Umowa nr 4/SEK/2009
 Zadanie 1.4.2


PIONOWY PRZEKRÓJ GRAWIMETRYCZNY
Profil 5
 Gęstość redukcji zmienna
 Poziom odniesienia 0 m n.p.m.
OPRACOWANIE MATERIAŁÓW ARCHIWALNYCH W REJONIE GZW
 2009 rok
 Skala pozioma 1 : 50 000
 Skala pionowa 1 : 50 000

OBJAŚNIENIA (MAPA GRAWIMETRYCZNA):
 Profil 1 ——— Profil interpretacyjny dla których sporządzono pionowe przekroje grawimetryczne
 ○ ——— Odczyty wiertnicze
 Liczelnik wykreślono co 0.05 mGal

OBJAŚNIENIA (PIONOWY PRZEKRÓJ GRAWIMETRYCZNY):
 ——— Przynależny przedział głębokości przedstawiony na mapie grawimetrycznej
 ——— Odczytany i wykonany Zdobych Żuk

WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA ŚRODOWISKA ZA ŚRODKI FINANSOWE WYPŁACANE PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ



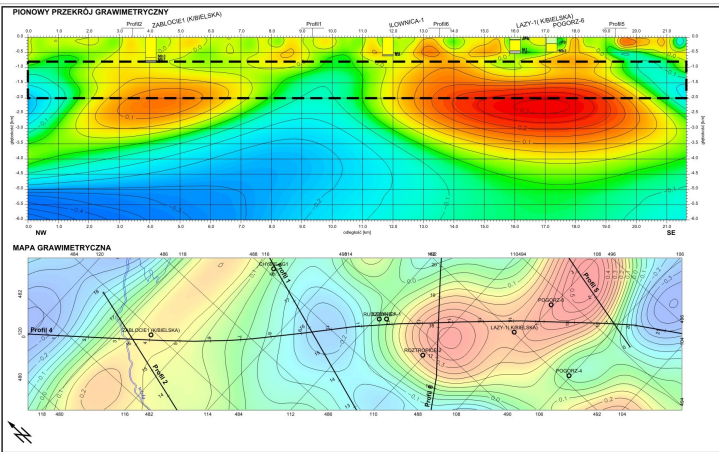

Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.
 ul. Rakowiecka 4, 00-950 Warszawa
 Tel. +22 811 25 56, Fax. +22 488 41 00, Ks. +22 811 25 18, +22 488 40 48
 Zleceniodawca: **Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy ul. Rakowiecka 4, 00-950 Warszawa**
 Temat: **"Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania"**
 Umowa nr 4/SEK/2009
 Zadanie 1.4.2


PIONOWY PRZEKRÓJ GRAWIMETRYCZNY
Profil 4
 Gęstość redukcji zmienna
 Poziom odniesienia 0 m n.p.m.
OPRACOWANIE MATERIAŁÓW ARCHIWALNYCH W REJONIE GZW
 2009 rok
 Skala pozioma 1 : 50 000
 Skala pionowa 1 : 50 000

OBJAŚNIENIA (MAPA GRAWIMETRYCZNA):
 Profil 1 ——— Profil interpretacyjny dla których sporządzono pionowe przekroje grawimetryczne
 ○ ——— Odczyty wiertnicze
 Liczelnik wykreślono co 0.05 mGal

OBJAŚNIENIA (PIONOWY PRZEKRÓJ GRAWIMETRYCZNY):
 ——— Przynależny przedział głębokości przedstawiony na mapie grawimetrycznej
 ——— Odczytany i wykonany Zdobych Żuk

WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA ŚRODOWISKA ZA ŚRODKI FINANSOWE WYPŁACANE PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ




Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.
 ul. Rakowiecka 4, 00-950 Warszawa
 Tel. +22 811 25 56, Fax. +22 488 41 00, Ks. +22 811 25 18, +22 488 40 48
 Zleceniodawca: **Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy ul. Rakowiecka 4, 00-950 Warszawa**
 Temat: **"Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania"**
 Umowa nr 4/SEK/2009
 Zadanie 1.4.2

PIONOWY PRZEKRÓJ GRAWIMETRYCZNY
Profil 6
 Gęstość redukcji zmienna
 Poziom odniesienia 0 m n.p.m.
OPRACOWANIE MATERIAŁÓW ARCHIWALNYCH W REJONIE GZW
 2009 rok
 Skala pozioma 1 : 50 000
 Skala pionowa 1 : 50 000

OBJAŚNIENIA (MAPA GRAWIMETRYCZNA):
 Profil 1 ——— Profil interpretacyjny dla których sporządzono pionowe przekroje grawimetryczne
 ○ ——— Odczyty wiertnicze
 Liczelnik wykreślono co 0.05 mGal

OBJAŚNIENIA (PIONOWY PRZEKRÓJ GRAWIMETRYCZNY):
 ——— Przynależny przedział głębokości przedstawiony na mapie grawimetrycznej
 ——— Odczytany i wykonany Zdobych Żuk

WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA ŚRODOWISKA ZA ŚRODKI FINANSOWE WYPŁACANE PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ

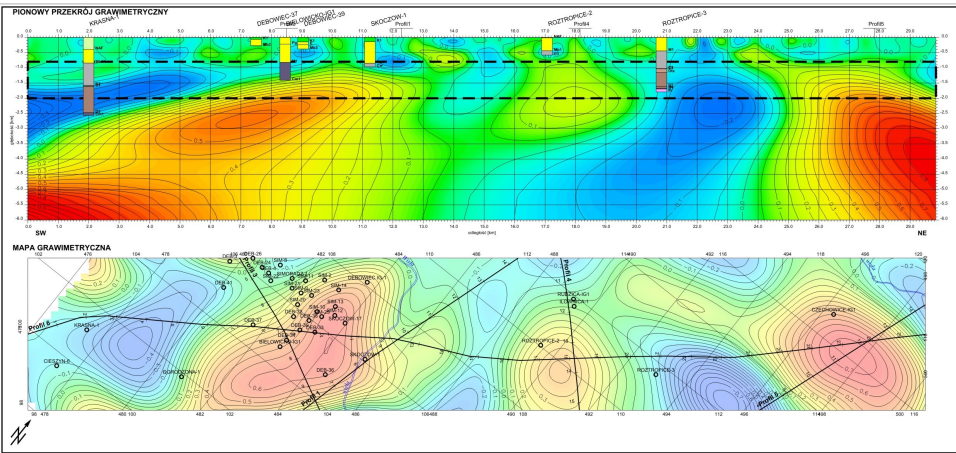


Fig. 1.1.14.9 Pionowe przekroje grawimetryczne wzdłuż profili 4, 5 i 6.

1.1.15 OPRACOWANIE SZCZEGÓŁOWYCH STATYCZNYCH MODELI OŚRODKA GEOLOGICZNEGO SKŁADOWISK

Na potrzeby konstrukcji modelu strukturalno-parametrycznego dla kompleksu składowania obiektu (potencjalnego składowiska) w poziomach solankowych w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice wykorzystano mapy strukturalne omawiane w rozdziale 1.1.15.



Fig. 1.1.15.1 Mapa stropu warstw dąbowieckich w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice.

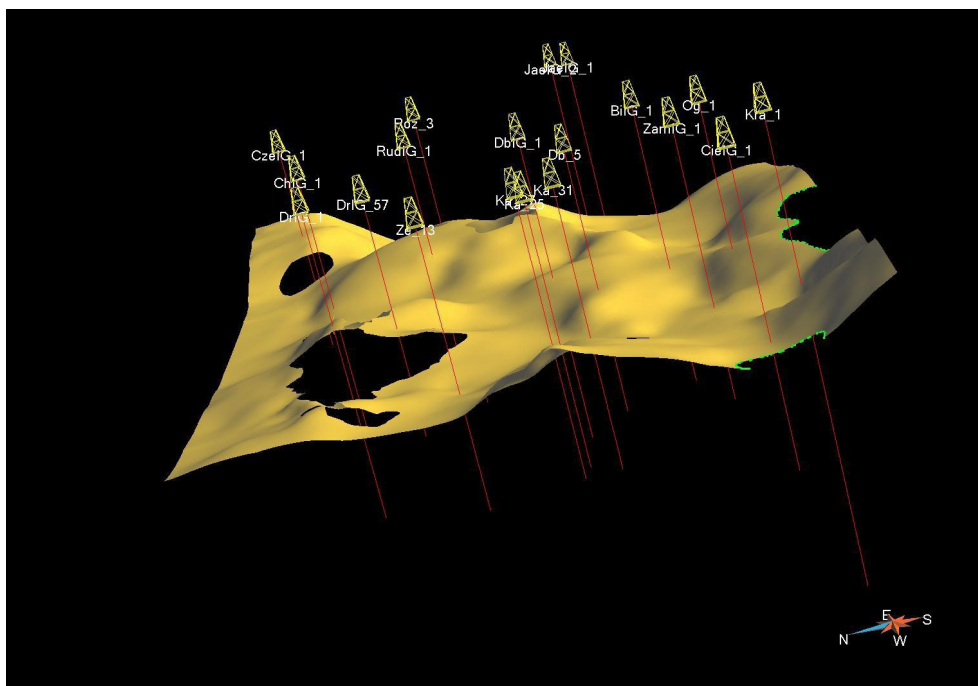


Fig. 1.1.15.2 Mapa spągu warstw dąbowieckich w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice.

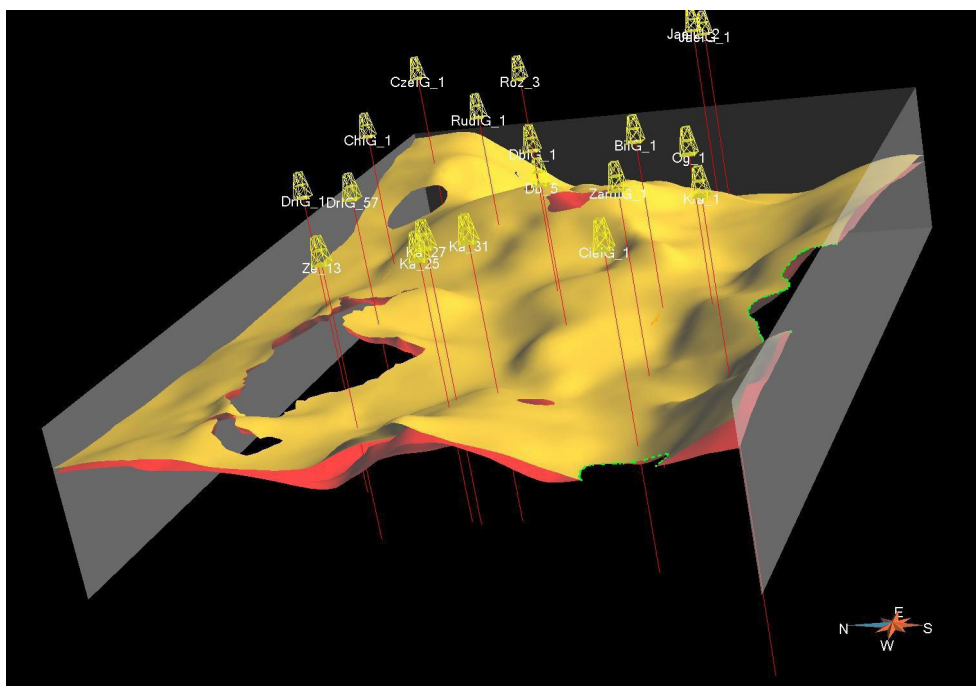


Fig. 1.1.15.3 Mapa układu sekwencyjnego warstw dębowieckich w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice.

Mapy te, obejmujące strop i spąg warstw dębowieckich (Fig. 1.1.15.1-3), ich nadkład oraz podłoże (Fig. 1.1.15.3) były podstawą do sporządzenia wstępnego modelu kompleksu składowania, zestawionego w programie GOCAD (**Maciej Tomaszczyk – PIG-PIB W-wa** oraz zespół **OG PIG-PIB**). Model ten objął też dostępne informacje z otworów (patrz tab. 1.1.14.1), w tym własności geochemiczne solanek, petrofizyczne skał i inne dane geologiczno-geofizyczne charakteryzujące rozkład parametrów zbiornikowych. W obrębie warstw dębowieckich (Fig. 1.1.15.1-3) nie uwzględniono uskoków, gdyż nie stwierdzono dla nich walnych stref uskokowych. Strefy takie natomiast występują w obrębie podłoża. Z uwagi na niedostępność „gotowych” map strukturalnych nie przeprowadzono na tym etapie reinterpretacji sejsmiki.

Wspomniany model posłużył m.in. do konstrukcji modeli statycznych opracowywanych przez **GIG** i **AGH** przy pomocy oprogramowania *Petrel* firmy *Schlumberger*. Prace **GIG** objęły „ściśle” obszar Cieszyn-Skoczów-Czechowice, zarówno dla warstw dębowieckich jak i podłoża, głównie w oparciu o informacje z analiz na próbkach rdzeni. Natomiast prace **AGH** dotyczyły większego obszaru, sięgającego w kierunku wschodnim Bielska i Andrychowa, również zarówno warstw dębowieckich jak i formacji ich podłoża (najniższy miocen, formacje piaskowcowe i węglanowe górnego paleozoiku). Modele statyczne są wykorzystywane jako podstawa do konstrukcji modeli (dynamicznych) procesów zatłaczania dwutlenku węgla do potencjalnego składowiska.

Jednakże szacowana pojemność składowania dwutlenku węgla dla rozpatrywanych składowisk jest ciągle niewystarczająca jeśli weźmiemy maksymalny wariant instalacji **PKE&ZAK Kędzierzyn** (w sumie **73 mln ton** przez przewidywany okres funkcjonowania instalacji), gdyż pojemność ta może sięgać maksymalnie **60 mln ton**.

MAPA ZWIERCADLA WÓD PODZIEMNYCH WARSTW DĘBOWIECKICH
 NA TLE MAPY MIAŻSZOŚCI UTWORÓW DĘBOWIECKICH (wg PIG)

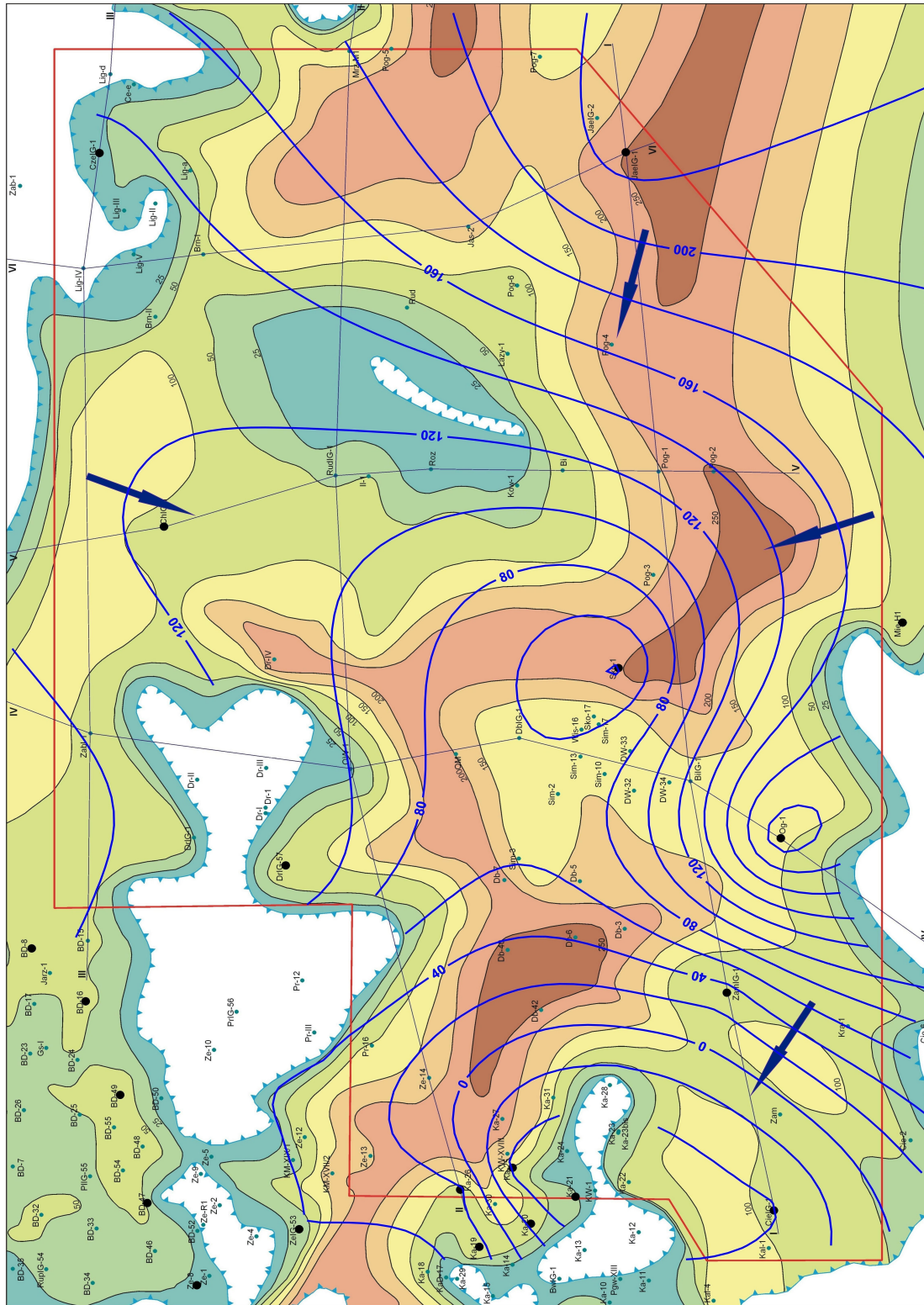


Fig. 1.1.15.4 Mapa podłoża warstw dębowieckich w rejonie Cieszyn-Czechowice-Skoczów.

Model statyczny dla warstw wodonośnych utworów dębowieckich i ich podłoża (GIG)

Jarosław Chećko, Eleonora Solik-Heliasz, Magdalena Głogowska, Tomasz Ulrych, Robert Warzecha, Michał Gut – GIG

MODEL STATYCZNY WARSTW DĘBOWIECKICH

Przedmiotem prac było opracowanie modelu strukturalno-parametrycznego dla poziomów solankowych kompleksu warstw dębowieckich w rejonie „Cieszyn-Skoczów-Czechowice”. Obszar ten został wybrany jako potencjalny rejon perspektywiczny do składowania CO₂. Prezentowany model wykonano w Głównym Instytucie Górnictwa przy wykorzystaniu oprogramowania *Petrel* firmy *Schlumberger*.

W opracowanym modelu uwzględniono budowę strukturalną potencjalnych kolektorów, nadkładu oraz warstw podścielających, a także tektonikę i rozkład parametrów zbiornikowych. Model ten stanowi podstawę do konstrukcji szczegółowego dynamicznego modelu kolektorów i uszczelnień obejmującego proces zatłaczania dwutlenku węgla do potencjalnego składowiska.

Modelowanie strukturalne

Dane wejściowe do wykonania modelu strukturalnego warstw dębowieckich oraz utworów starszych stanowiły siatki interpolacyjne spągu i stropu warstw dębowieckich wykonane w ramach realizacji I Segmentu dla rejonu GZW oraz powierzchnie strukturalne opracowane w oparciu o mapy stropów i spągów podstawowych jednostek litostratygraficznych karbonu produktywnego z Atlasu geologiczno-złożowego GZW w skali 1 : 200 000 (Jureczka et al., 2005). Ponadto konieczne było opracowanie szczegółowej mapy geologicznej kontaktu utworów warstw dębowieckich z utworami starszymi (Fig 1.1.15.4). Mapa ta została wykonana przez PIG-PIB OG i wykorzystana podczas modelowania podłoża warstw dębowieckich (Fig. 1.1.15.5).

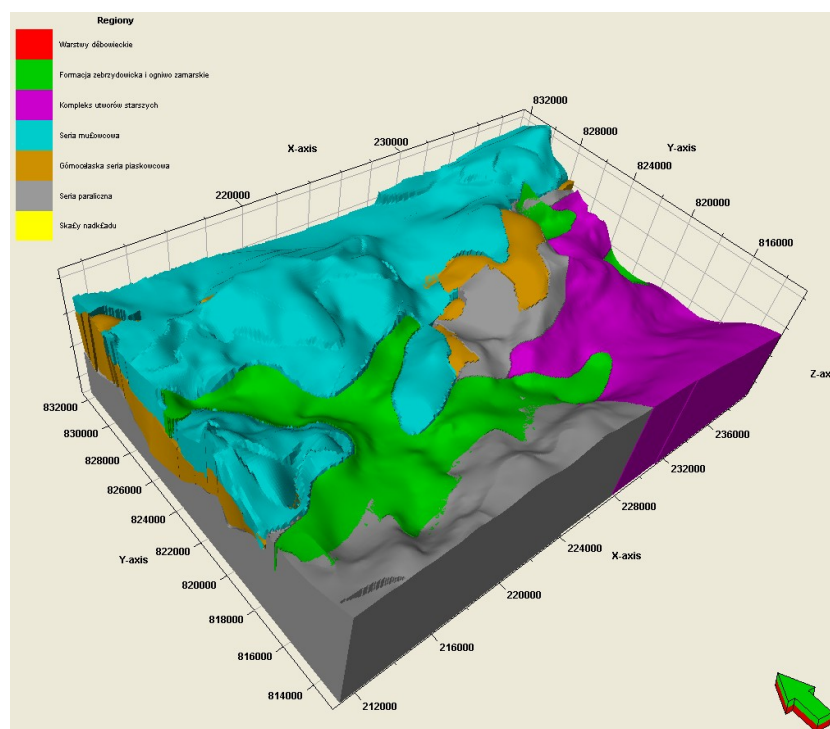


Fig. 1.1.15.5 Model podłoża warstw dębowieckich

Ze względu na skomplikowaną budowę geologiczną modelowanego obszaru (m.in. załeganie i zasięg występowania poszczególnych utworów) dla każdej jednostki litostratygraficznej sporządzono osobny grid 3D. Opracowany w ten sposób model statyczny składa się z następujących gridów (Fig. 1.1.15.6-7):

- a) nadkład (nieprzepuszczalne osady ilaste miocenu formacji skawińskiej oraz osady czwartorzędu),
- b) warstwy dębowieckie,
- c) formacja zebrzydowicka i ogniwo zamarskie,
- d) karbon produktywny (seria mułowcowa, górnośląska seria piaskowcowa, seria paraliczna),
- e) kompleks utworów starszych (kulm, karbon węglanowy, dewon środkowy i górny, podłoże krystaliczne).

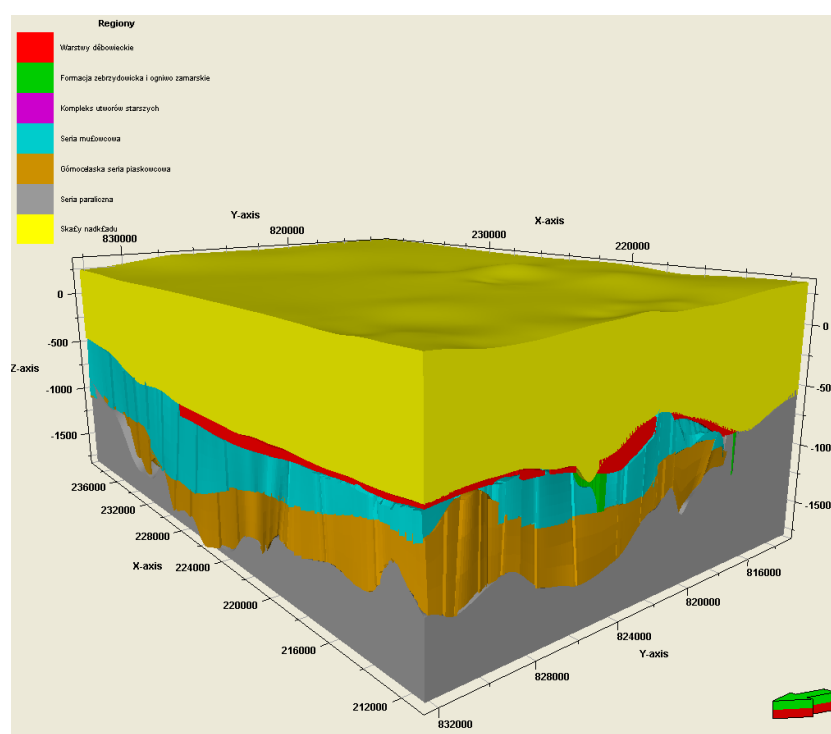


Fig. 1.1.15.6 Model kompleksu warstw dębowieckich wraz ze skałami podścielającymi oraz skałami nadkładu

Powierzchnia modelowanego obszaru wynosi 555,75 km². Jest to prostokątny obszar o wymiarach 28,5 x 19,5 km i obejmuje swym zasięgiem zbiornik wraz z pewnym marginesem wytypowany we wcześniejszym etapie prac. Ze względu na stosunkowo niewielką powierzchnię modelowanego obszaru zastosowano horyzontalną rozdzielczość budowanych gridów o wartościach 50 x 50 m lub też 100 x 100 m. Ze względu na brak jak do tej pory precyzyjnego określenia zasięgu głębokościowego zbiornika, jak również dokładnego wyznaczenia jednostek strukturalnych biorących udział w powiększeniu zbiornika warstw dębowieckich, zdecydowano się na omawiany powyżej sposób budowy modelu. Po wyjaśnieniu tych kwestii należy wyodrębnić z modelu interesujące strefy i zmodyfikować model w celu dostosowania go do potrzeb późniejszych symulacji dynamicznych.

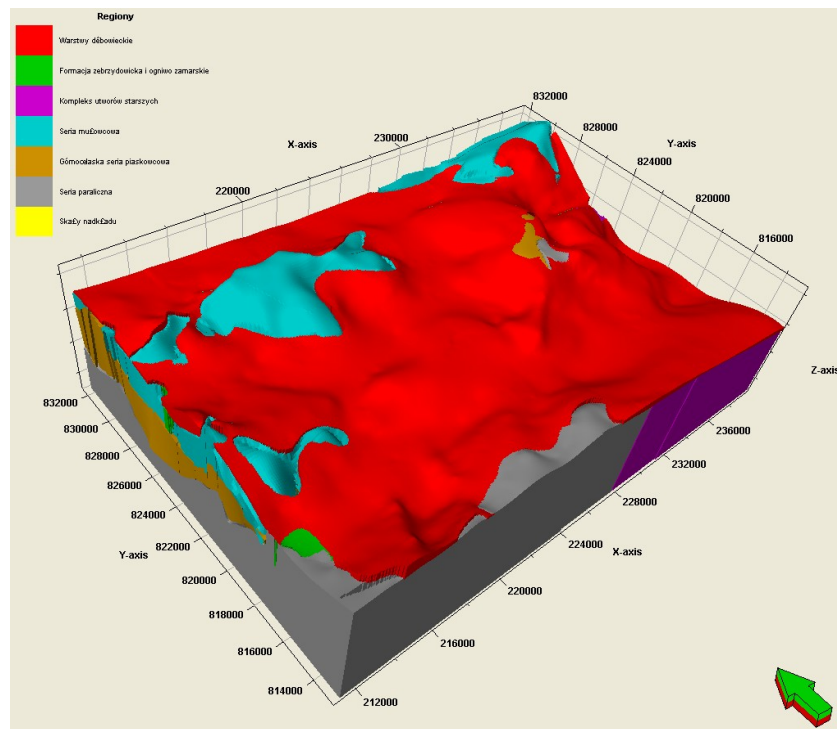


Fig. 1.1.15.7 Model warstw dębowieckich bez skał nadkładu

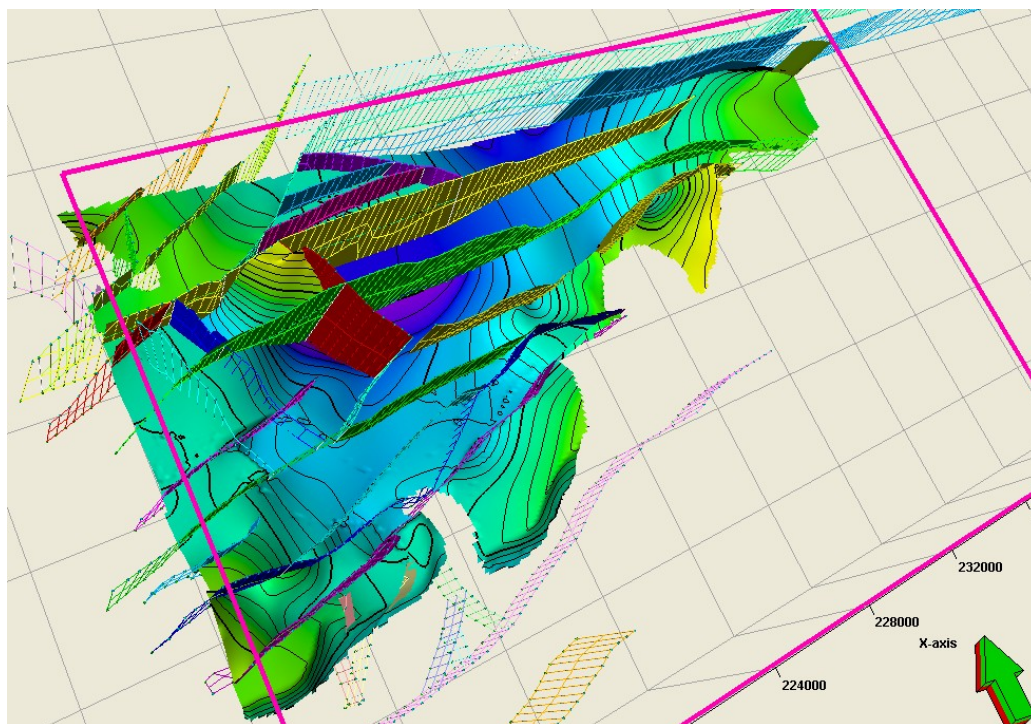


Fig. 1.1.15.8 Model uskokuw utworów karbonu produktywnego w podłożu warstw dębowieckich na tle mapy strukturalnej spągu serii mułowcowej

Modelowanie uskokowe

W obrębie zbiornika warstw dębowieckich oraz zalegających w ich podłożu utworów formacji zebrzydowickiej oraz ogniwa zamarskiego nie występują żadne uskoki. W opracowanym modelu 3D jedynie utwory karbonu produktywnego wykazują zaangażowanie tektoniczne. Aby to uwzględnić w opracowywanym modelu wykorzystano fragment modelu uskokowego wykonanego w ramach realizacji punktu 1.1.29 w I Segmencie dla rejonu GZW (Raport: Wójcicki & Jureczka (red.), 2009). W efekcie uzyskano model uskokowy zbudowany z 30-stu uskoków, z czego 52% stanowią uskoki liniowe, 35 % - uskoki listryczne, a 13 % to uskoki pionowe (Fig. 1.1.15.8).

Modelowanie litologiczne

Dane dotyczące utworów budujących warstwy dębowieckie, pochodzące z otworów wiertniczych, w zdecydowanej większości są bardzo ubogie i ograniczają się tylko do podania podstawowego typu litologicznego przewierconych skał. Poza tym część otworów wiercona była bezrdzeniowo. Poszerzony zakres informacji pochodzi głównie z otworów parametrycznych odwierconych w omawianym regionie przez PIG. Do tej grupy otworów w wyznaczonym rejonie badawczym zaliczyć można następujące otwory: Bielowicko IG-1, Chybie IG-1, Cieszyn IG-1, Czechowice IG-1, Dębowiec IG-1, Drogomyśl IG-1, Rudzica IG-1, Zamarski IG-1. Profil warstw dębowieckich w powyższych otworach był rdzeniowy, a uzyskane rdzenie były poddane szczegółowym makroskopowym badaniom litologiczno-facjalnym wraz z określeniem podstawowego składu petrograficznego.

Podstawowy materiał wejściowy wykorzystany do budowy modelu litologicznego warstw dębowieckich obejmował w sumie dane litologiczne z 18 otworów wiertniczych oraz 8 punktowych oznaczeń litologii w innych otworach. Poszczególnym typom litologii, przed wprowadzeniem do modelu, zostały przyporządkowane odpowiednie kody liczbowe (Tab. 1.1.15.1).

Tab. 1.1.15.1 Zestawienie wydzielen litologicznych kodowanych do postaci liczbowej

Code	Name	Color	Pattern
0	Piaskowce	Yellow	Small dots
1	Zlepieńce	Light green	Small dots
2	Iłowce	Brown	Horizontal dashes
3	Mułowce	Blue	Horizontal dashes
4	Zlepieńce gruboziarniste, głazowiska	Grey	Large circles
5	Brekcje	Cyan	Large circles

Otrzymane w ten sposób wyniki interpretacji otworowych w postaci dyskretnej poddano procesowi uśredniania (*Scale up well logs*). Dla danych litologicznych zastosowano statystyczny algorytm *Most of*, który przypisuje danemu interwałowi najliczniej reprezentowany typ litologiczny w tym interwale uśredniania. W przypadku *upscalingu* porowatości efektywnej stosowano uśrednianie arytmetyczne, a przepuszczalności – średnią geometryczną. O dokładności dopasowania uśrednionych danych w modelu decyduje głównie pionowa rozdzielczość modelu, a więc podział na warstwy litostratigraficzne. W zbiorniku warstw dębowieckich także określono podział na sekwencje (*Zones*).

Gruboklastyczne osady warstw dębowieckich charakteryzują się wyraźną gradacją uziarnienia w profilu pionowym. W profilach otworów występuje stopniowa zmiana wielkości ziaren od najgrubszych w spągu warstw (głazowiska, zlepieńce gruboziarniste z blokami skał o wielkości do 30 - 40 cm) do drobnych w stropie (piaskowce drobno- i średnioziarniste). W związku z tym w profilu osadów warstw dębowieckich można wyróżnić dwie warstwy:

- wyższa – piaszczysta z przewagą piaskowców średnio- i gruboziarnistych,
- niższa – zlepieńcowa z przewagą zlepieńców drobno- i średnioziarnistych.

Podczas konstrukcji modelu litologicznego warstw dębowieckich zastosowano sekwencyjny algorytm wskaźnikowy o nazwie *Sequential Indicator Simulation* należący do grupy algorytmów stochastycznych. Zastosowanie tej metodyki wynikało głównie z ograniczonej ilości dostępnych danych. W efekcie powstał model litologiczny, w którym warstwa wyższa składa się z piaskowców i zlepieńców ze znaczną przewagą piaskowców (ok. 66%). Warstwa niższa składa się ze zlepieńców, piaskowców, zlepieńców gruboziarnistych, głazowisk i brekcji, z których największy udział mają zlepieńce – ok. 60 %. Podsumowanie wyników modelowania litologii przedstawiono w Tab. 1.1.15.2. Wyniki modelowania litologicznego w poszczególnych strefach warstw dębowieckich przedstawiono na Fig. 1.1.15.9 i 10.

Tab. 1.1.15.2 Charakterystyka statystyczna modelu litologicznego

Warstwy dębowieckie - ogółem								
Cod e	Name	%	N	Intervals	Min	Mean	Max	Std
0	Piaskowce	55.3	742631	417661	0.0 (1)	78.0 (1.78)	465.9 (7)	54.9 7
1	Zlepieńce	27.14	364411	274892	0.0 (1)	65.6 (1.33)	355.8 (7)	46.9 7
2	Iłowce	9.8	131553	115857	32.9 (1)	45.4 (1.14)	200.0 (5)	15.8 1
3	Mułowce	4.83	64888	62016	32.9 (1)	41.8 (1.05)	160.0 (4)	8.78 7
4	Zlepieńce gruboziarniste, głazowiska	2.6	34903	34903	0.0 (1)	57.4 (1)	157.7 (1)	36.1 6
5	Brekcje	0.34	4506	4506	0.0 (1)	56.0 (1)	138.3 (1)	28.6 2
Zone1 - warstwa piaskowcowa								
Cod e	Name	%	N	Intervals	Min	Mean	Max	Std
0	Piaskowce	66.28	125377	125377	0.0 (1)	57.3 (1)	157.7 (1)	34.3 4
1	Zlepieńce	33.72	63794	63794	0.0 (1)	61.5 (1)	156.3 (1)	35.2 2
Zone2 - warstwa zlepieńcowa								
Cod e	Name	%	N	Intervals	Min	Mean	Max	Std
0	Piaskowce	19.99	37822	37822	0.0 (1)	59.9 (1)	154.5 (1)	33.5 8
1	Zlepieńce	59.17	111940	111940	0.0 (1)	58.8 (1)	157.7 (1)	34.8 1
4	Zlepieńce gruboziarniste, głazowiska	18.45	34903	34903	0.0 (1)	57.4 (1)	157.7 (1)	36.1 6
5	Brekcje	2.38	4506	4506	0.0 (1)	56.0 (1)	138.3 (1)	28.0

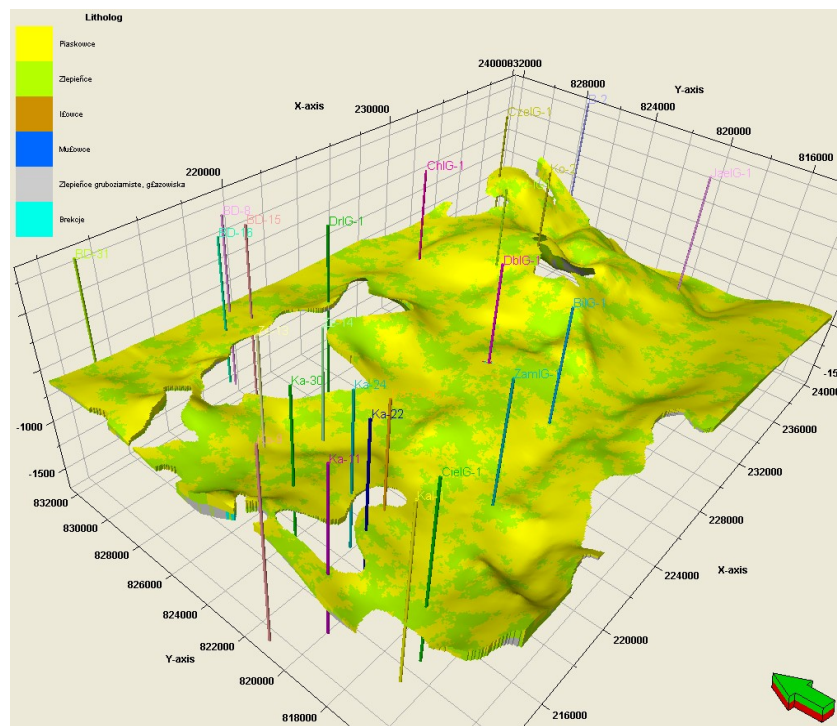


Fig. 1.1.15.9 Przestrzenny model litologiczny dla strefy piaszczystej warstw dębowieckich

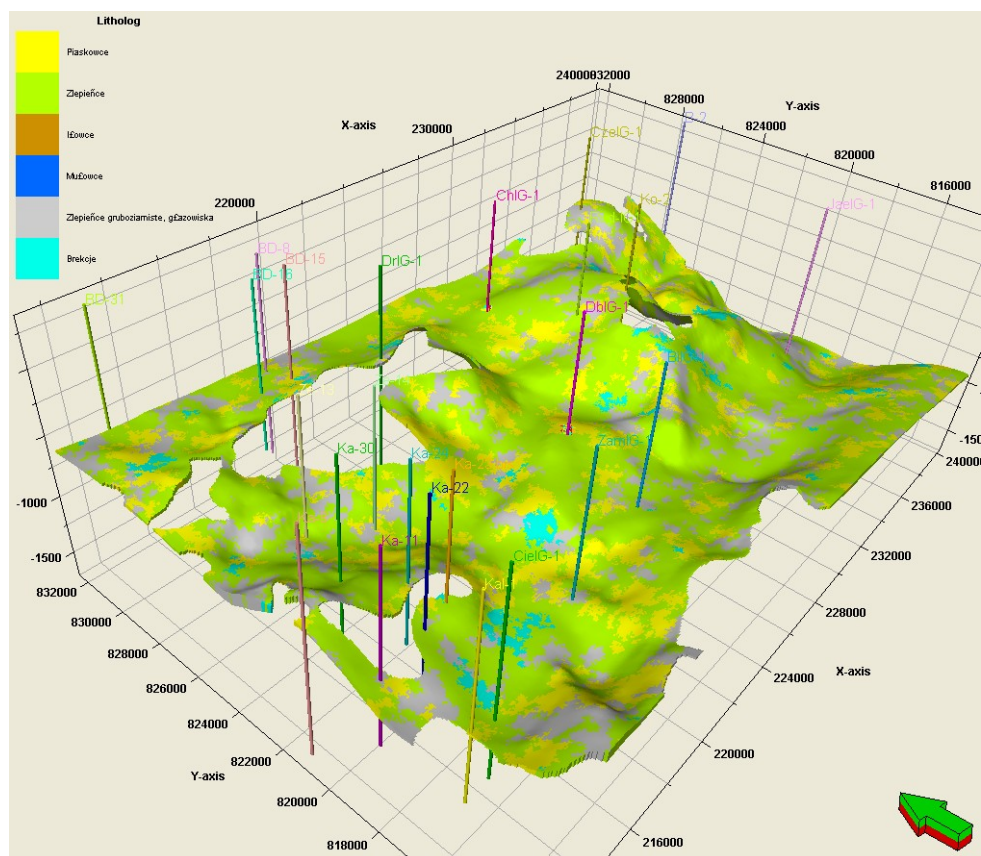


Fig. 1.1.15.10 Przestrzenny model litologiczny dla strefy zlepieńcowej warstw dębowieckich

Modelowanie parametrów petrofizycznych

Na etapie modelowania parametrów petrofizycznych warstw dębowieckich opracowano model porowatości efektywnej oraz model przepuszczalności. Podstawowy materiał wejściowy wykorzystany do budowy tych modeli obejmował laboratoryjne badania próbek z rdzeni 21 otworów wiertniczych. Próby do badań pochodziły z utworów gruboklastycznych – głównie piaskowców i zlepieńców, ale także z utworów drobnoklastycznych – mułowców i iłowców. Na podstawie dostępnych danych obliczone zostały modele otworowe. W przypadku *upscalingu* porowatości efektywnej stosowano uśrednianie arytmetyczne, a przepuszczalności – średnią geometryczną.

W procesie modelowania zmienności parametrów petrofizycznych zastosowane zostały inne algorytmy niż w przypadku modelu litologicznego. Wykorzystanie bowiem stochastycznego algorytmu sekwencyjnego *Sequential Gaussian Simulation* nie pozwoliło na uzyskanie zadowalających wyników. W celu osiągnięcia możliwie najbardziej ciągłej zmienności parametrów zastosowano deterministyczną metodę *Krigingu* w odmianie *Gslib*. Zarówno podczas modelowania rozkładu porowatości efektywnej, jak i przepuszczalności, wykorzystano kriging zwyczajny (*Ordinary*). Modelowanie przeprowadzono oddzielnie dla poszczególnych sekwencji (*Zones1* i *Zones2*) przy zastosowaniu procedury sterowania wcześniej opracowanym modelem litologicznym.

Podstawowe charakterystyki statystyczne modeli porowatości efektywnej oraz przepuszczalności zebrano w Tab. 1.1.15.3 i Tab. 1.1.15.4 Wyniki modelowania parametrów petrofizycznych przedstawiono na Fig. 1.1.15.11 i 12.

Tab. 1.1.15.3 Podstawowa charakterystyka statystyczna dotycząca modelu porowatości efektywnej warstw dębowieckich z uwzględnieniem podziału na sekwencje (*Zone1*, *Zone2*)

	DEB	DEB - Zone1	DEB - Zone2
Min:	2.2233	3.7336	2.5666
Max:	20.5764	20.5764	18.8147
Delta:	18.3532	16.8428	16.2481
Number of defined values:	1342892	189171	189171
Mean:	9.0331	9.7528	10.7798
Std. dev.	2.2504	1.9792	1.5598
Variance:	5.0643	3.9172	2.4329

Tab. 1.1.15.4 Podstawowa charakterystyka statystyczna dotycząca modelu przepuszczalności warstw dębowieckich z uwzględnieniem podziału na sekwencje (*Zone1*, *Zone2*)

	DEB	DEB- Zone1	DEB- Zone2
Min:	0	0	0
Max:	363	12	50
Delta:	363	12	50
Number of defined values:	1342892	189171	189171
Mean:	7	2	6
Std. dev.	9	1	7
Variance:	73	1	44

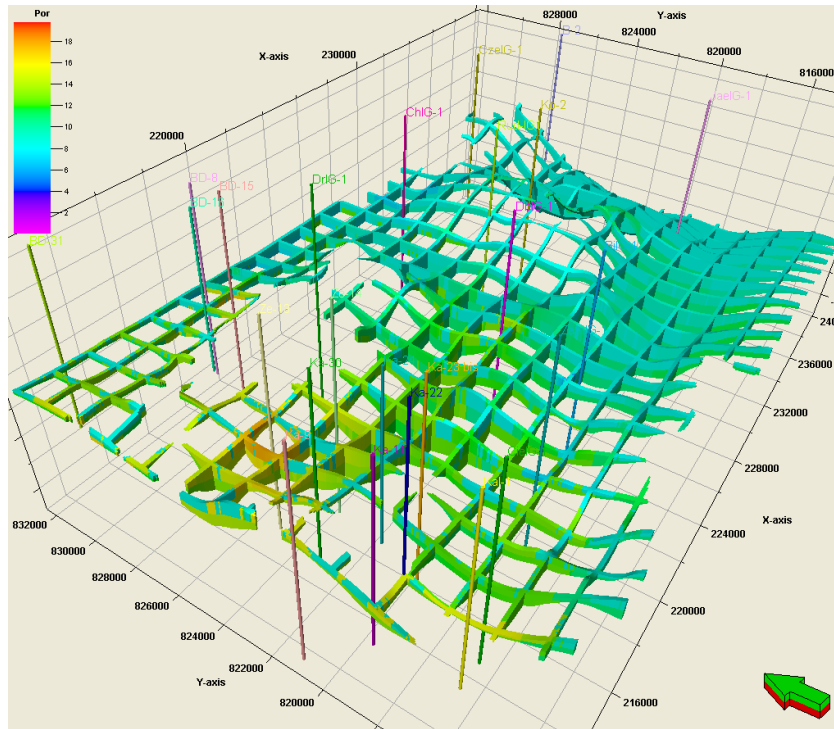


Fig. 1.1.15.11 Model porowatości efektywnej utworów warstw dębowieckich (diagram płotowy).

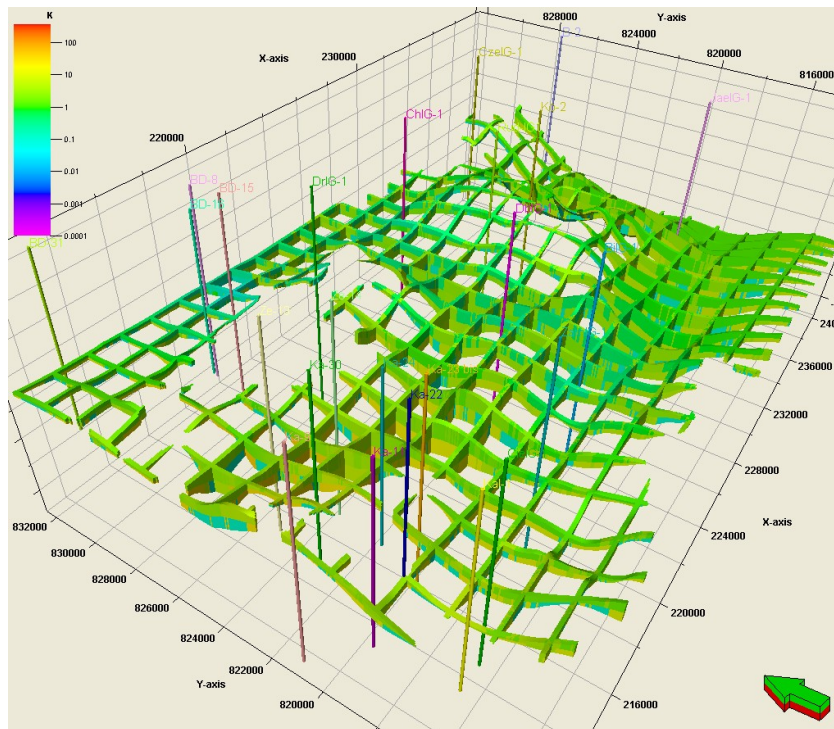


Fig. 1.1.15.12 Model przepuszczalności utworów warstw dębowieckich (diagram płotowy).

MODEL STATYCZNY PODŁOŻA WARSTW DĘBOWIECKICH

Podłoże warstw dębowieckich zbudowane jest z utworów prekambru, kambru, dewonu, karbonu i trzeciorzędu. Na przeważającej części terenu warstwy dębowieckie zalegają bezpośrednio na utworach karbonu produktywnego i kulmu. Ponadto w podłożu omawianych warstw zalegają osady starszego miocenu, a także w niewielkim stopniu utwory serii węglanowej dolnego karbonu i dewonu oraz serii terygeniczej dolnego dewonu i kambru. Nie jest też wykluczone bezpośrednie zaleganie warstw dębowieckich na prekambryjskim podłożu krystalicznym w rejonie na południe od Bielska (*Raport z I segmentu GZW – Wójcicki A. & Jureczka J. (red.), 2009; pkt 1.1.1*).

Występujące w podłożu utwory należące do karbonu, dewonu lub kambru charakteryzują się szczelinowo-porową przepuszczalnością w piaskowcach i wapieniach, co umożliwia kontakty hydrauliczne między poziomami. Lokalnie w podłożu występują słabo przepuszczalne utwory starszego neogenu. W związku z tym rozpatruje się niektóre formacje w podłożu zbiornika warstw dębowieckich jako dodatkowe zbiorniki.

W modelu statycznym uwzględniono zatem oprócz warstw dębowieckich następujące formacje:

- utwory starszego miocenu (formacja zebrzydowicka i ogniwo zamarskie),
- karbon – seria mułowcowa,
- karbon – górnośląska seria piaskowcowa,
- karbon – seria paraliczna,
- kompleks utworów starszych (kulm, karbon węglanowy, dewon środkowy i górny, podłoże krystaliczne).

Modelowanie litologiczne oraz modelowanie parametrów petrofizycznych przeprowadzono jednak tylko dla utworów starszego miocenu, serii mułowcowej i górnośląskiej serii piaskowcowej. Przestrzenny model litologiczny tych utworów przedstawiono na Fig. 1.1.15.13. Procentowy udział poszczególnych typów litologicznych w modelu podłoża warstw dębowieckich zamieszczono w Tab. 1.1.15.5.

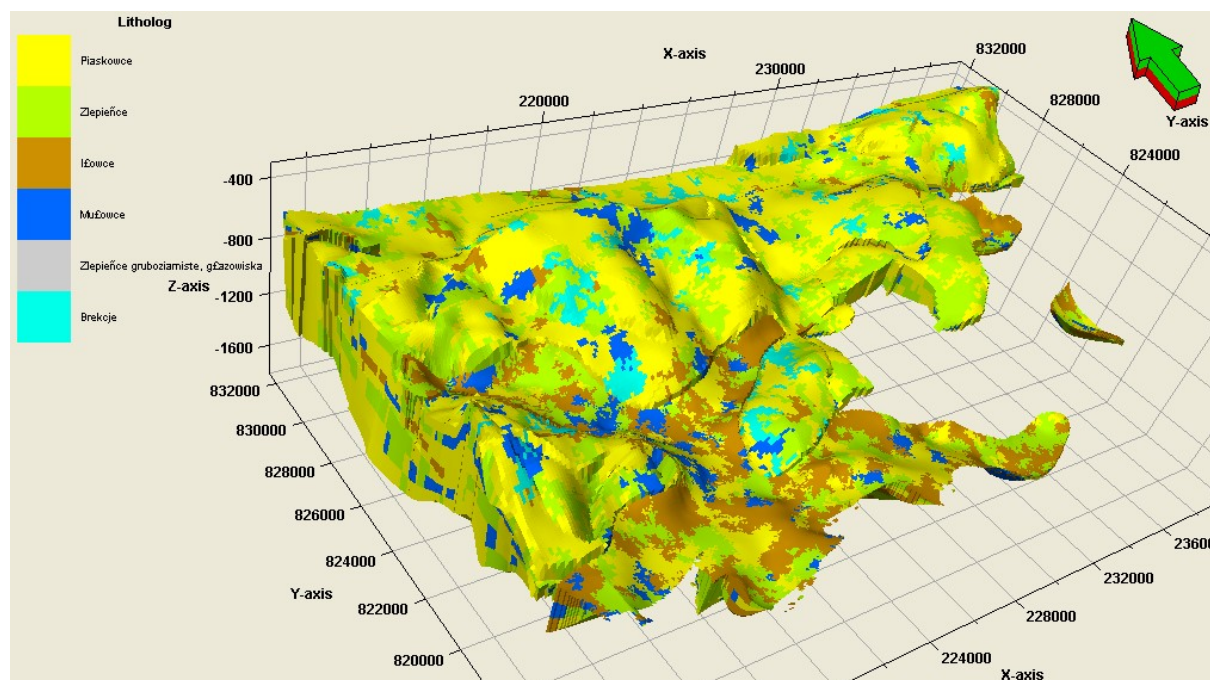


Fig. 1.1.15.13 Przestrzenny model litologiczny utworów podłoża warstw dębowieckich.

Tab. 1.1.15.5 Procentowy udział poszczególnych typów litologicznych w modelu.

Typ litologiczny	DEB	SM	GSP	ZAM+ZEB
Piaskowce	56.96	67.09	61.91	22.72
Zlepieńce	30.38	13.06	30.25	24.3
Iłowce	5.06	6.36	0	43.81
Mułowce	5.06	11.99	7.84	9.18
Zlepieńce gruboziarniste, głazowiska	2.53	0	0	0
Brekcje	0	1.5	0	0

Górnośląska seria piaskowcowa stanowi jednostkę litostratygraficzną o zmiennej miąższości dochodzącej maksymalnie do 500 m w części północno-zachodniej, jednak w kierunku południowo-wschodnim redukuje się całkowicie. Dolna część profilu tej serii jest zdominowana przez piaskowce z wkładkami zlepieńców, a w części górnej przeważają mułowce i iłowce. W opracowanym modelu omawianą serię nawierca 16 otworów, ale w tym przedziale głębokościowym dostępne były jedynie dane z 7 otworów wiertniczych.

Metodyka modelowania była zbliżona do procedur zastosowanych podczas modelowania parametrycznego warstw dębowieckich. W celu osiągnięcia możliwie najbardziej ciągłej zmienności parametrów zastosowano deterministyczną metodę *Krigingu* w odmianie *Gslib*. Zarówno podczas modelowania rozkładu porowatości efektywnej, jak i przepuszczalności, ze względu na niewielką ilość dostępnych danych wykorzystano kriging prosty (*Simple*).

Miąższość serii mułowcowej w opracowanym modelu osiąga wartość do 1100 m. Seria ta została podzielona na 5 sekwencji, nie różniących się znacznie procentowym udziałem poszczególnych typów litologicznych. Omawianą serię nawierca w modelu 13 otworów, ale dane dla tej serii są dostępne tylko dla 9 otworów wiertniczych. W tym przypadku zastosowano algorytm krigingu zwyczajnego w odmianie *Gslib*.

W niektórych rejonach obszaru występowania warstw dębowieckich w ich podłożu zalegają także osady trzeciorzędowe starszego miocenu o zróżnicowanej miąższości. Te warstwy są stosunkowo słabo rozpoznane. W modelu w obrębie tej jednostki zostały wykorzystane dane z 4 otworów wiertniczych.

Podstawowe charakterystyki statystyczne modeli porowatości efektywnej oraz przepuszczalności zebrano w Tab. 1.1.15.6 i Tab. 1.1.15.7 Wyniki modelowania parametrów petrofizycznych przedstawiono na Fig. 1.1.15.14 i Fig. 1.1.15.15. Dodatkowo rozkład parametrów petrofizycznych dla kompleksu warstw dębowieckich wraz ze skałami podłoża przedstawiono w postaci przekrojów na Fig. 1.1.15.16.

Tab. 1.1.15.6 Zestawienie podstawowych danych dotyczących porowatości efektywnej dla poszczególnych formacji

Porosity [%]	DEB	ZEB+ZAM	SM	GSP
Min:	2.2233	4.8453	3.48	2.4817
Max:	20.5764	14.0995	17.7264	16.17
Delta:	18.3532	9.2542	14.2464	13.6883
Mean:	9.1464	8.8223	9.0989	6.3468
Std. dev.	2.2073	2.6915	3.0119	1.2185
Variance:	4.872	7.2444	9.0716	1.4847

Tab. 1.1.15.7 Zestawienie podstawowych danych dotyczących przepuszczalności dla poszczególnych formacji

Permeability [mD]	ZEB+ZAM	DEB	SM	GSP
Min:	0	0	0	0
Max:	3	363	98	5
Delta:	3	363	98	5
Mean:	1	7	3	0
Std. dev.:	1	9	7	1
Variance:	1	73	50	0

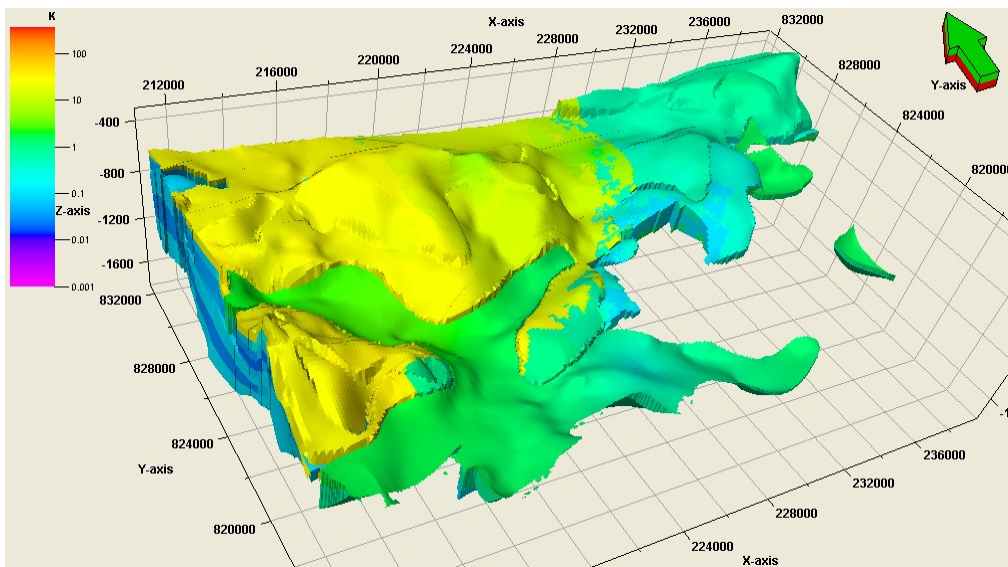


Fig. 1.1.15.14 Przestrzenny model przepuszczalności utworów podłoża warstw dębowieckich.

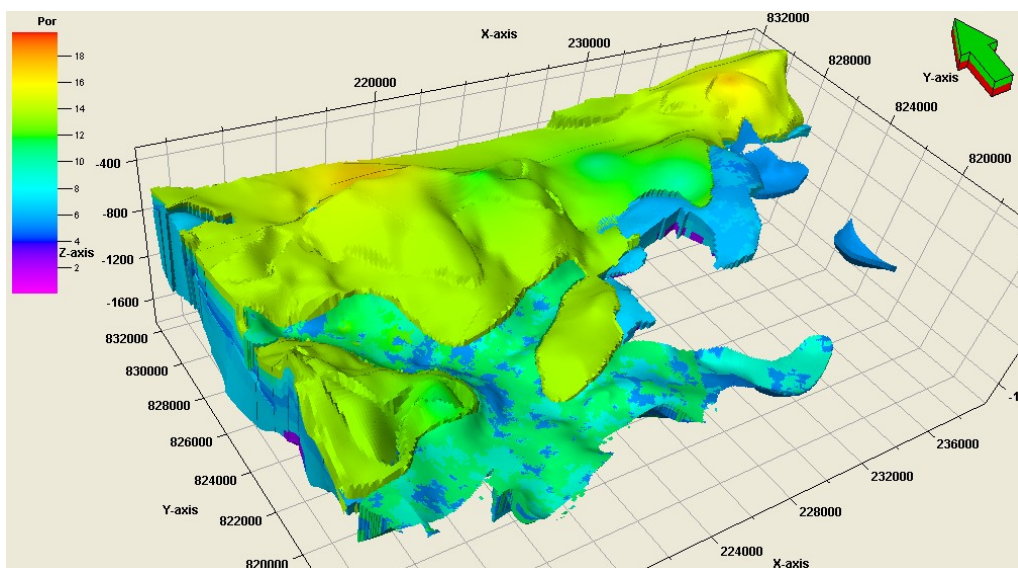
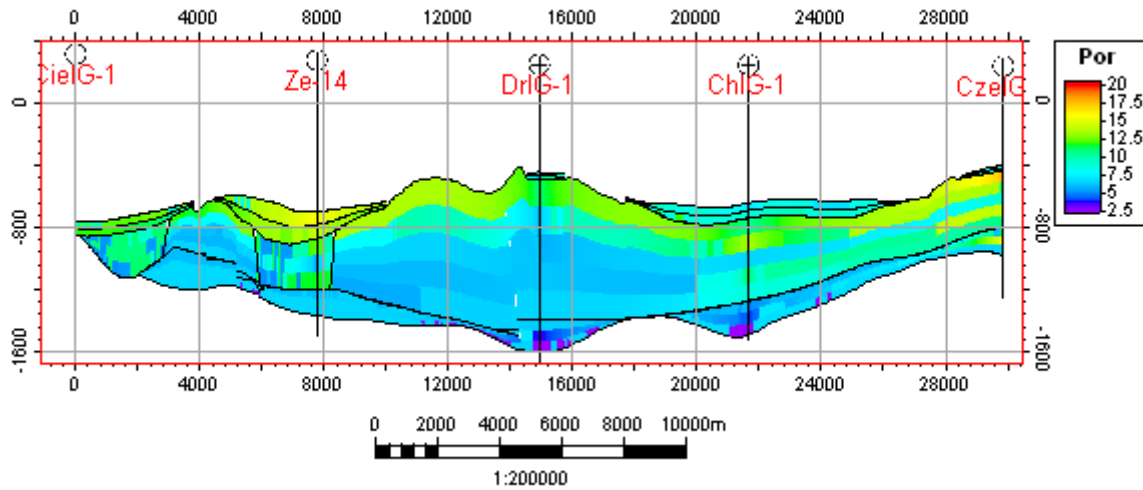
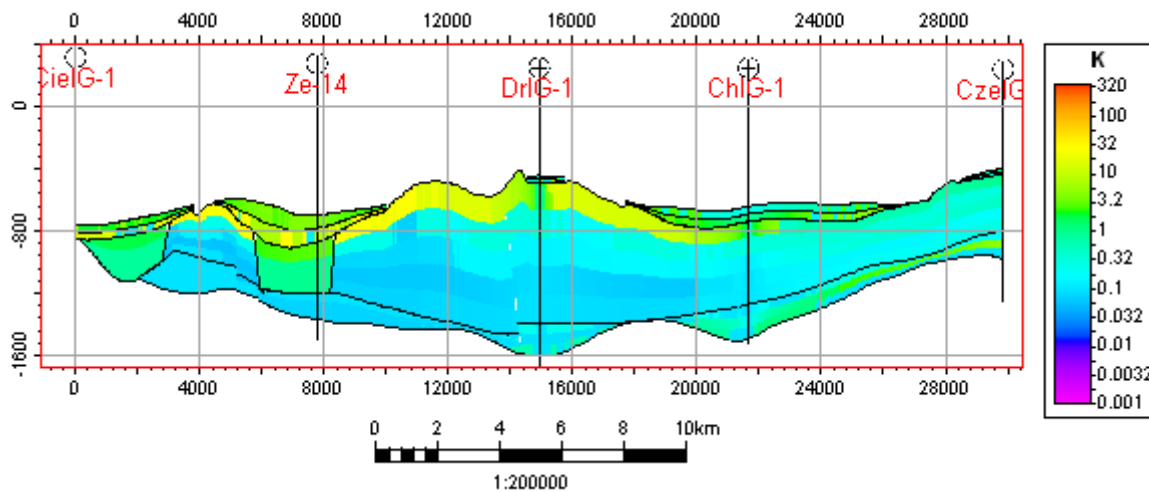


Fig. 1.1.15.15 Przestrzenny model porowatości efektywnej utworów podłoża warstw dębowieckich.

1)



2)



3)

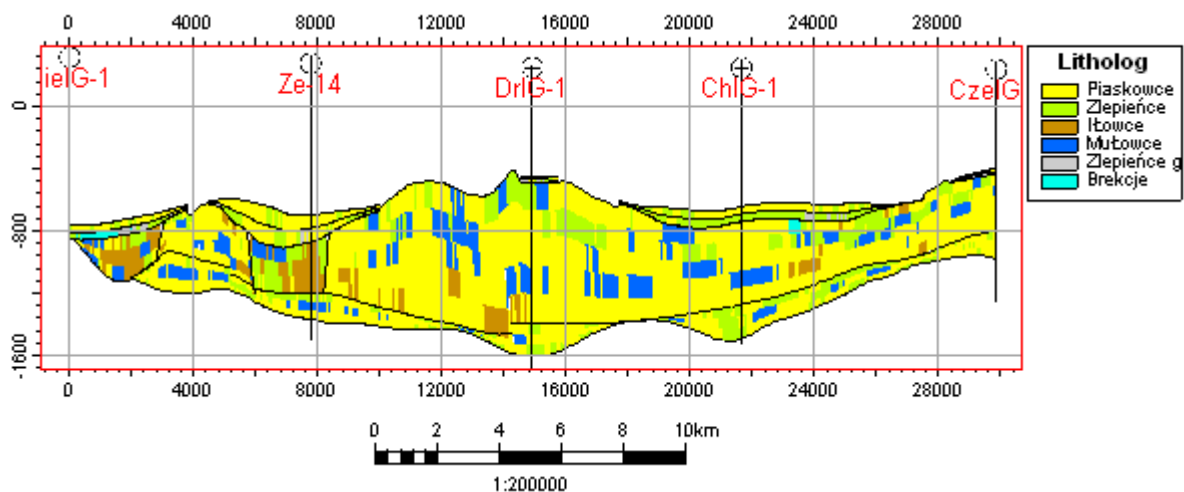


Fig. 1.1.15.16 Rozkład porowatości efektywnej (1), przepuszczalności (2) i litologii (3) w kompleksie warstw dębowieckich, formacji zebrzydwickiej, ogniwa zamarskiego, serii mułowcowej i górnśląskiej serii piaskowcowej.

Model statyczny warstw wodonośnych – obiektu w poziomach solankowych w rejonie GZW (AGH)

Bartosz Papiernik, Grzegorz Machowski, Barbara Czopek, Wojciech Machowski, Michał Michna, Michał Maruta, Andrzej Pasternacki, Urszula Bryła – AGH (KSE WGGiOŚ)

Model strukturalno parametryczny odzwierciedla szeroką strefę w rejonie Cieszyn - Bielska Biała - Andrychów. Celem przedstawionych modelowań jest ocena możliwości składowania CO₂ w obiektach solankowych rejonie południowego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Objęta badaniami strefa ma powierzchnię ok. 1000 km².

Jest ona dobrze rozpoznana wiertniczo, jednakże w większości z odwiertów położonych w tej strefie zawiera stratygrafię wymagającą weryfikacji. Poważny problem stanowi tu bardzo słaba jakość geofizyki wiertniczej i niewielka ilość oznaczeń laboratoryjnych w odwiertach.

Poważny problem stanowi szczególnie niska jakość profilowań pochodzących z odwiertów PIG, która uniemożliwia wykonanie wiarygodnych interpretacji strukturalno złożowych z wykonaniem standardowych procedur.

Przedstawiany model ma na celu wstępną ocenę przydatności utworów miocenu autochtonicznego do składowania dwutlenku węgla. Autorzy szczególnie dużą uwagę zwrócili na przyspągowe partie miocenu w tej strefie - warstwy dębowieckie oraz ogniwa miocenu występujące w ich podłożu.

Modelowania wykonano w programie Petrel znajdującemu się w posiadaniu WGGiOŚ AGH dzięki umowie o wspieraniu prac naukowo- badawczych i dydaktycznych zawartej między Wydziałem a firmą *Schlumberger Integrated Solutions*.

Charakterystyka geologiczna warstw dębowieckich

Warstwy dębowieckie stanowią najbardziej perspektywiczny (neogeński) zbiornik z punktu widzenia potencjalnego zatłaczania CO₂. Najczęściej zalega on bezpośrednio na utworach karbonu, bądź starszego miocenu, a także w niektórych rejonach na dolno karbońskich i dewońskich utworach węglanowych, oraz terygenicznym utworach serii węglanowej dolnego karbonu i dewonu. Wiekowo skały, które go budują odpowiadają sedymentacji badeńskiej. Stropowe uszczelnienie stanowią tutaj nieprzepuszczalne mułowce i iłowce formacji skawińskiej lub utwory fliszu karpackiego (od strony południowej).

Warstwy dębowieckie zbudowane są w przewadze ze zlepieńców, brekcji i piaskowców, których miąższość waha się w przedziale od maksymalnych wartości rzędu 275 m aż do zupełnego wyklinowania (Fig. 1.1.15.17). Duże różnice miąższości reprezentują stan morfologii paleozoicznego podłoża. Cechą szczególnie widoczną w profilu wspomnianego zbiornika jest istnienie gradacji normalnej ziaren – od największych typowych dla wiekowo najstarszych skał (zlepieńce gruboziarniste), aż po najmniejsze (piaskowce drobnoziarniste) w jego stropowej części.

DANE WEJŚCIOWE DO MODELOWANIA

Dane otworowe

Badany obszar cechuje jest dobrze rozpoznany wiertniczo. W badanej strefie i jej bezpośrednim otoczeniu występuje 100 odwiertów. Dane te wykorzystano częściowo do dowiązania map strukturalno - miąższościowych tworzących osnowę stratygraficzną.

Na badanym obszarze duży problem stanowi słabe - jakościowo i ilościowo rozpoznanie, zmienności petrofizycznej skał. W trakcie przygotowania do realizacji zadania koordynator tematu przekazał autorom wejściowe ("surowe") krzywe geofizyczne z 9 odwiertów położonych w zachodniej części obszaru badań (Tab. 1.1.15.8).

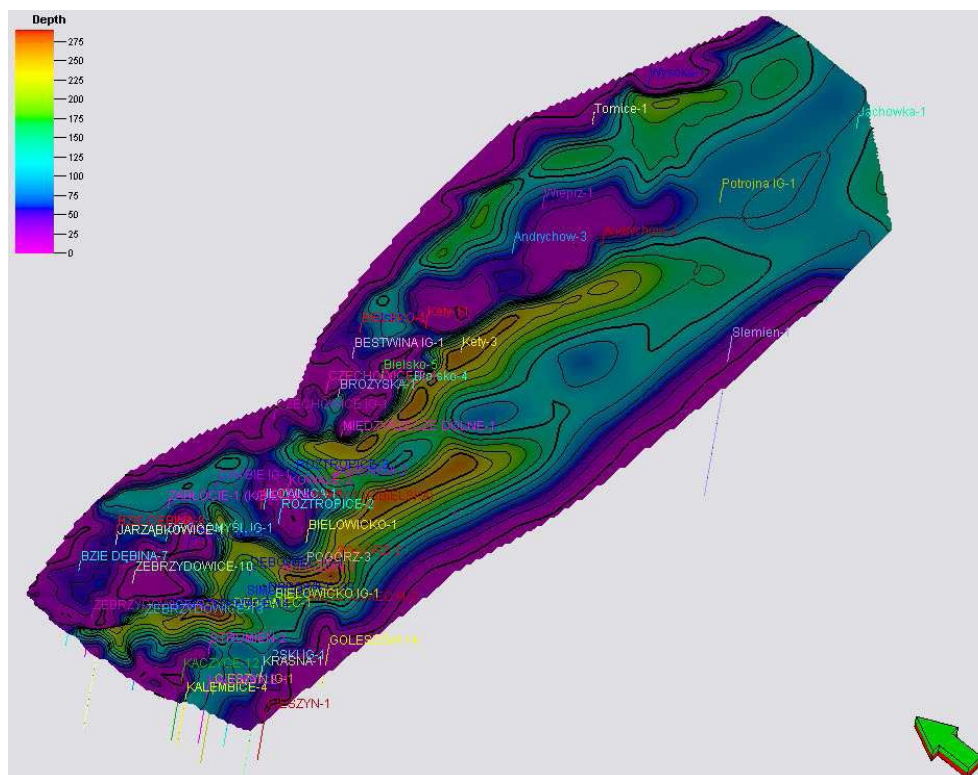


Fig. 1.1.15.17 Mapa miąższości w-w dębowieckich (z niektórymi otworami) na podstawie Jureczka *et al.* 2005.

Tabela 1.1.15.8 Zestawienie odwiertów przekazanych do interpretacji.

1	Bielowicko-1
2	Bielowicko IG-1
3	Chybie IG-1
4	Cieszyn IG-1
5	Czechowice IG-1
6	Drogomyśl IG-1
7	Dębowiec IG-1
8	Jaworze IGH-1
9	Zamarski IG-1

W odwiertach tych wykonano profilowania GR, NPHI, EL09, CALI, cechujące się zróżnicowaną jakością. W otworze Bielowicko IG-1 pomiary radiometryczne wykonane są przez prawdopodobnie podwójną kolumnę rur, dodatkowo stanowią różne odcinki pomiarowe. Przy braku informacji o parametrach wiercen łącznie radiometrii jest problematyczne. W innych otworach również pomiary radiometryczne w górnych odcinkach profili - w utworach miocenu - są z reguły wykonane w rurach.

Zastosowanie standardowej procedury interpretacji litologiczno-złożowej (Jarzyna *et al.*, 2003) nie pozwoliło uzyskać wiarygodnych wyników, powodując zaniżenie zailenia (Vcl) oraz zawyżenie porowatości (PHI). Równie niewiarygodne wyniki przetwarzania uzyskano we wszystkich odwiertach wymienionych w Tab. 1.1.15.8. Niesystematyczny błąd spowodował konieczność zindywidualizowania procedury przetwarzania dla każdego z wymienionych odwiertów. Wykorzystując laboratoryjne dane petrofizyczne, informację na temat litologii i stratygrafii podjęto ponowną próbę interpretacji.

W chwili obecnej zadowalające wyniki przetwarzania uzyskano tylko w dwóch odwiertach.

Po przeskalowaniu i znormalizowaniu krzywych wejściowych przeprowadzono interpretację w otworze Rudzica IG-1. Po uzupełnieniu danych wejściowych (dane z wierceń, laboratoryjne) po zinterpretowaniu otworu Zamarski IG-1, który ma stosunkowo dobrej jakości pomiary geofizyki otworowej, skoryguje się parametry wejściowe w otworze Rudzica IG-1, aby uściślić dane do obliczeń ilościowych.

Opisane trudności interpretacyjne sprawiły, że w obecnym etapie prac opracowany model w zachodniej części obszaru badań ma wybitnie trendowy charakter. Zdecydowanie lepsze rozpoznanie uzyskano w zachodniej części obszaru badań dzięki wykorzystaniu nie publikowanych danych wejściowych opracowywanych w KSE pod kątem geotermii w odwiertach Bielsko-1,-4,-5-Kęty-3,-11 Andrychów -2,-5, Wieprz-1, Tomice-1, Potrójna IG-1, Ślemień-1, Jachówka-1 (Czopek w: Górecki *et al.*, 2010) (Fig. 1.1.15.18).

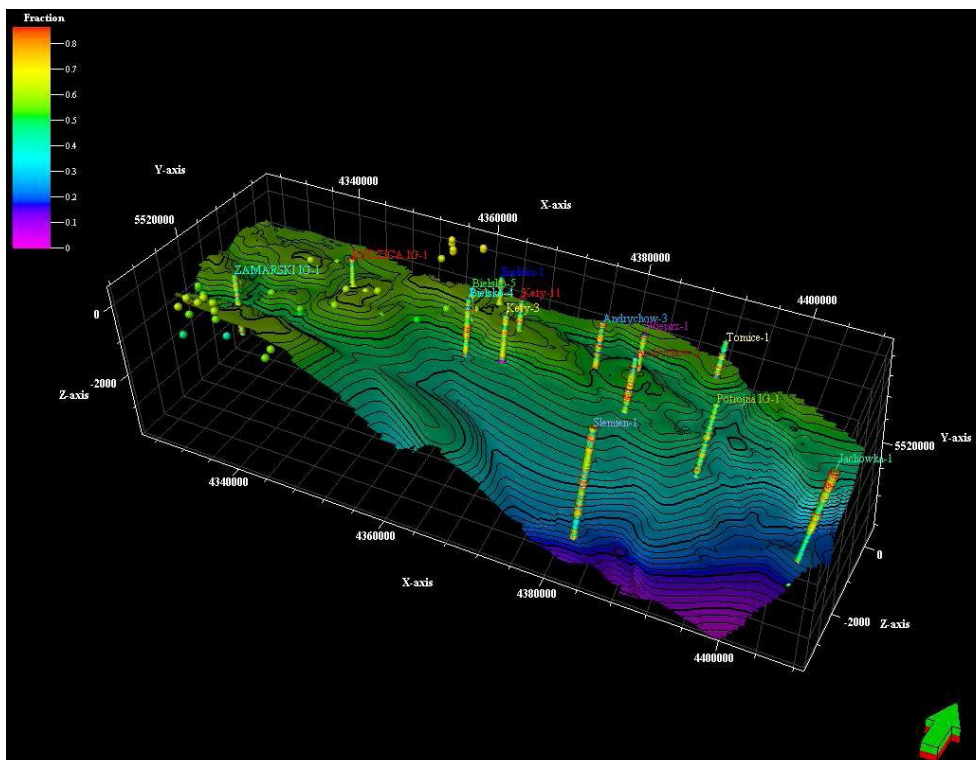


Fig. 1.1.15.18 Lokalizacja wierceń wykorzystanych do modelowań parametrycznych.

W w/w 12 odwiertach źródłowe krzywe geofizyczne wykazują zdecydowanie lepszą jakością pozwalając na bardziej wiarygodną interpretację krzywych porowatości (PHI), zailenia (VCL), nasycenia wodą (SW) i gęstości objętościowej (RHOB).

Dane laboratoryjne

W 17 odwiertach na obszarze badań (Tab. 1.1.15.9) wykorzystano zmienne ilości danych laboratoryjnych. Otwory prezentowane w poniższej tabeli zawierają dane laboratoryjne, które mogą zostać użyte do kalibracji krzywych geofizycznych, ale w momencie gdy wiarygodność modelu z wszystkich krzywych będzie satysfakcjonująca. Fig. 1.1.15.19 przedstawia przykład dystrybucji laboratoryjnych oznaczeń porowatości efektywnej profilu odwiertu Bielsko-5. Dane te są pobrane w nierównomiernych odstępach i są nieliczne a tym samym niereprezentatywne. Z tego względu należy uznać, że nie można ich użyć bezpośrednio do przestrzennego modelowania porowatości, ale konieczne jest ich wykorzystanie do interpretacji litologiczno-złożowej karotaży.

Tabela 1.1.15.9 Zestawienie odwiertów zawierających laboratoryjne oznaczenia parametrów zbiornikowych.

1	Bielowicko IG1
2	Bielsko-1
3	Bielsko-2
4	Bielsko-3
5	Bielsko-4
6	Bielsko-5
7	Chybie IG1
8	Dębowiec IG-1
9	Jarząbkowice-1
10	Jasienica-2
11	Krasna-1
12	Pogórz-3
13	Rudzica IG1
14	Strumień-2
15	Ustroń-1
16	Zabłocie-1 k/Bielska
17	Zamarskie IG1

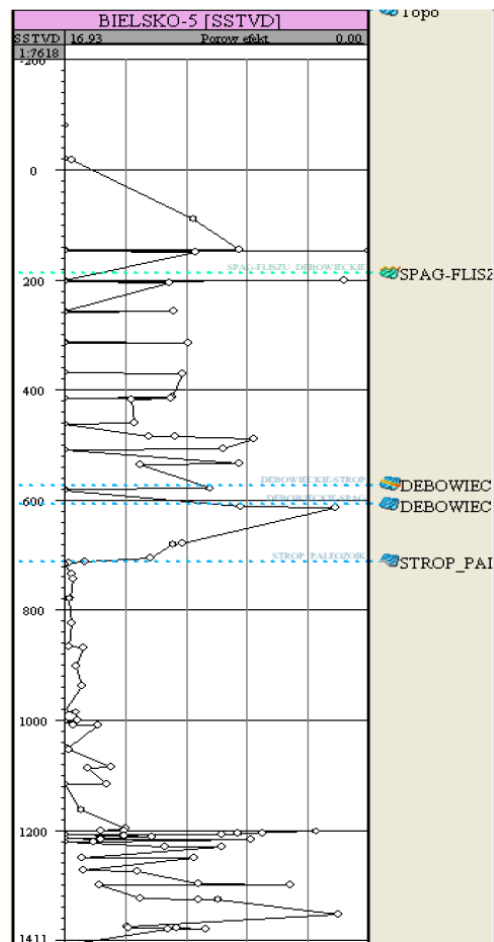


Fig. 1.1.15.19 Zestawienie pomiarów porowatości efektywnej w odwiercie Bielsko-5.

Dane wejściowe do opracowania osnowy strukturalnej modelu

Osnowę strukturalną modelu 3D zbudowano na podstawie wycinków regionalnych map strukturalnych opracowanych w formie regularnych siatek interpolacyjnych (grid 2D) o oczku 250 x 250 (grid 2D), w formacie: Petrel 2009.2. Do jej skonstruowania wykorzystano następujące materiały wejściowe:

- Mapę topograficzną w formie gridu Surfera (Tomaszczyk *et al.*, 2007);
- Mapę strukturalną spągu fliszu karpackiego (Oszczypko, Papiernik w: Górecki *et al.*, 2010);
- Mapę strukturalną stropu warstw dębowieckich (Jureczka *et al.*, 2005) (dane wejściowe opracowane przez PIG w formie wektorowej);
- Mapę miąższości warstw dębowieckich (Jureczka *et al.*, 2005) (dane wejściowe opracowane przez PIG w formie wektorowej);
- Mapę strukturalną stropu karbonu (Jureczka *et al.*, 2005) (dostarczoną jako grid 2D w programie Surfer);
- Mapę strukturalną stropu paleozoiku (bez permu) i prekambriu w formie archiwalnej.

Metodyka przetwarzania danych wykorzystana do opracowania modeli strukturalnych była indywidualnie dostosowana do zbioru danych wejściowych. Przykładowo materiały archiwalne poddano digitalizacji. Mapy w formacie wektorowym skalowano do odwzorowania 1942 (ArcMap) i przekształcano do formatu danych XYZ (z wykorzystaniem programu Digger 4). Gridy zapisane w programie Surfer przetworzono do formatu danych XYZ. (Papiernik *et al.*, 2008). Dane zapisane w formacie XYZ przetworzono do postaci regularnych siatek interpolacyjnych (grid 2D) w programie Petrel. na podstawie modelu stropu karbonu oraz strop paleozoiku (Buła, Habryn *et al.*, 2008) stworzono zmodyfikowany model stropu paleozoiku.

MODEL STRUKTURALNY

Na obszarze badań znajdują się liczne odwierty. Otwory gdzie stratygrafia była wystarczająco dokładna wstępnie dowiązano je do stropu powierzchni strukturalnej jednakże zabieg ten musi być powtórzony w przypadku opracowania szczegółowego modelu strukturalnego po zweryfikowaniu stratygrafii odwiertów przez pracowników PIG - PIB.

Powstały grid 3D policzono stosując spacjowanie poziome (I - J 500 x500m). W ostatecznej wersji osnowy strukturalnej modelu znalazły się następujące horyzonty:

- Powierzchnia terenu,
- Spąg fliszu,
- Strop warstw dębowieckich (Fig. 1.1.15.20, 23, 24),
- Spąg warstw dębowieckich (Fig. 1.1.15.21, 23, 24),
- Strop paleozoiku (Fig. 1.1.15.22).

Ze względu na postawione zadanie model wykazuje najwyższą rozdzielczość w horyzoncie warstw dębowieckich, które podzielono na 10 warstw o miąższości proporcjonalnie dopasowanych do całkowitej miąższości kompleksu. Również podłoże i nadkład w-w dębowieckich podzielono proporcjonalnie na 10 warstw. Ze względu na większą miąższości tych kompleksów na ogół miąższość wydzielonych warstw (*layers*) jest znacząco mniejsza. Przygotowany model strukturalny składa się z 384 432 węzłów 3D.

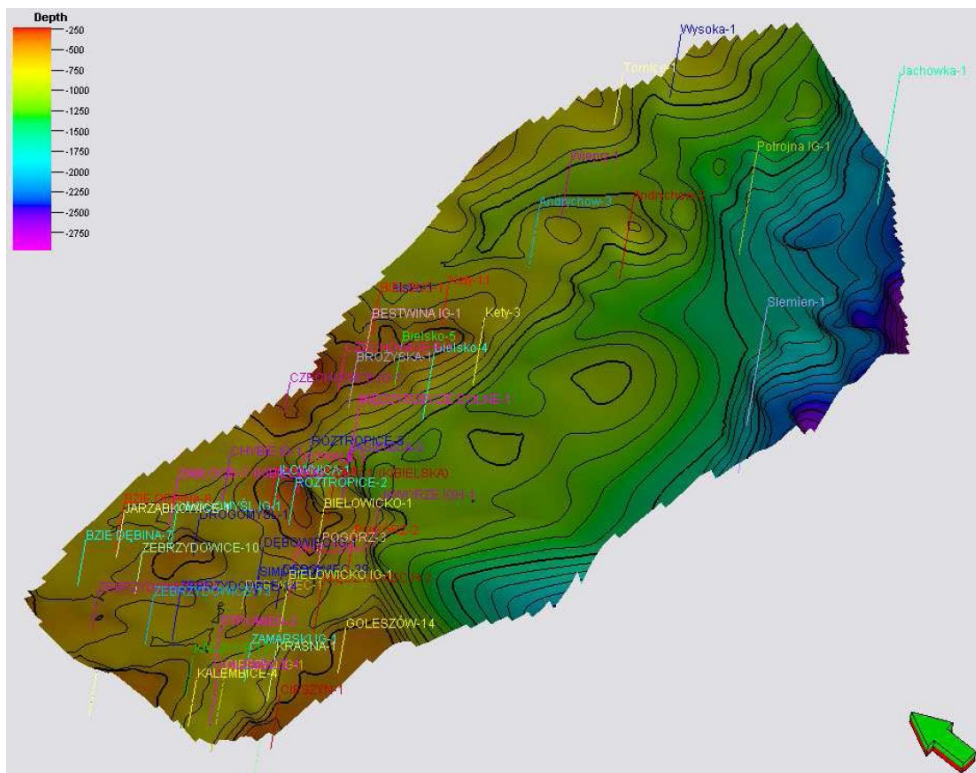


Fig. 1.1.15.20 Mapa strukturalna stropu w-w dębowieckich.

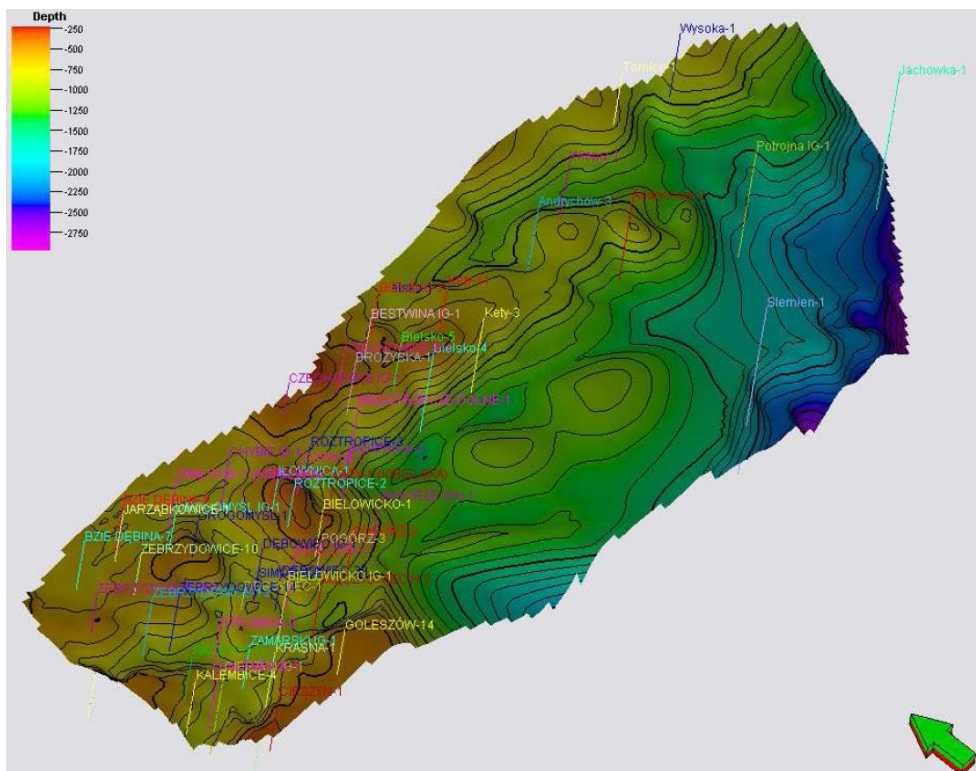


Fig. 1.1.15.21 Mapa strukturalna spągu w-w dębowieckich.

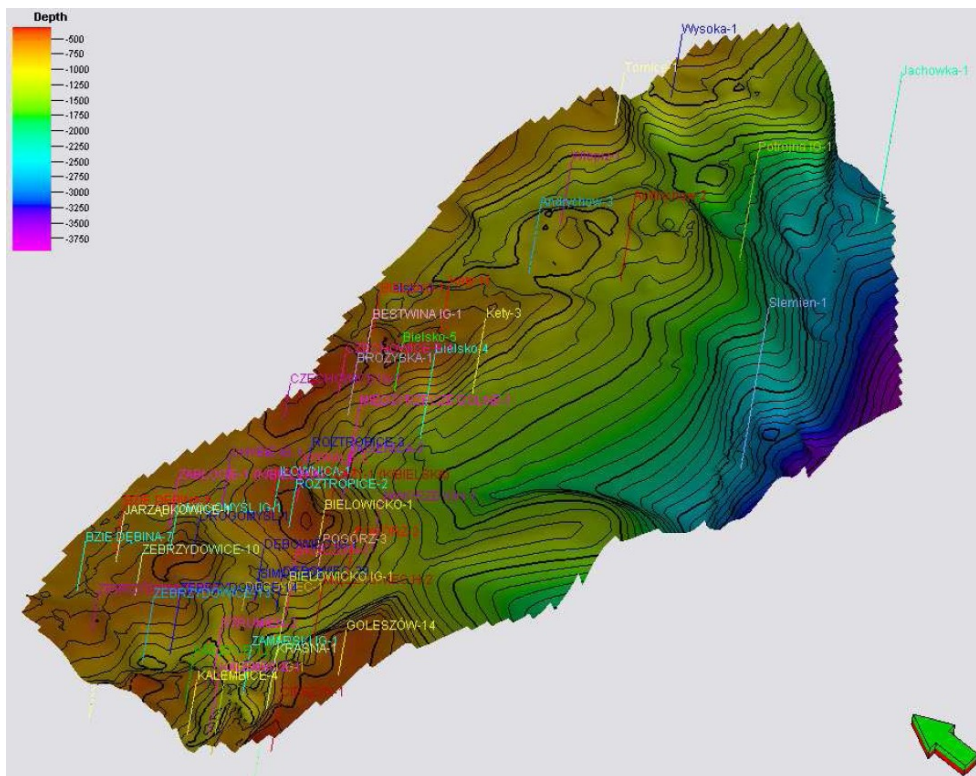


Fig. 1.1.15.22 Mapa strukturalna stropu paleozoiku.

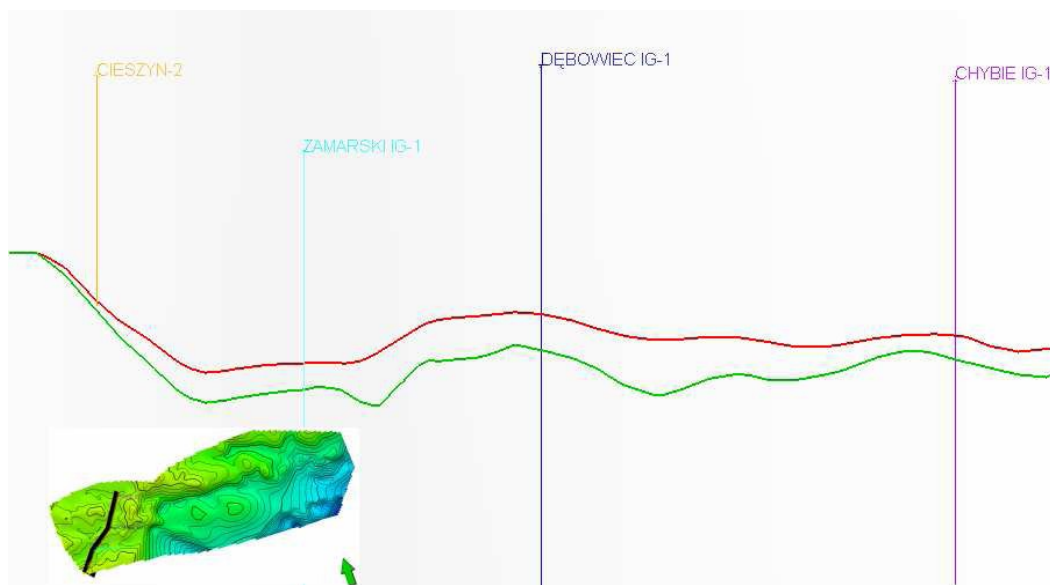


Fig. 1.1.15.23 Schemat regionalnego zalegania stropu i spągu w-w dąbrowieckich (rejon zachodni).

Opracowana osnowa strukturalną nie zawiera uskoków. Mimo to wydzielone powierzchnie strukturalne cechują się bardzo dużą deniwelacją i rozczłonkowaniem morfologii. Zróżnicowanie to jest z jednej strony spowodowane zanurzeniem się zapadliska przedkarpackiego pod Karpatami, a z drugiej strony bardzo silnym erozyjnym rozcięciem podmioceńskiej powierzchni niezgodności przez głębokie doliny, zbliżone do opisywanych z obszaru Moraw kanionów wypełnionych osadami paleogenu (Picha 1996, Picha et al 2006, Oszczypko et al. 2006).

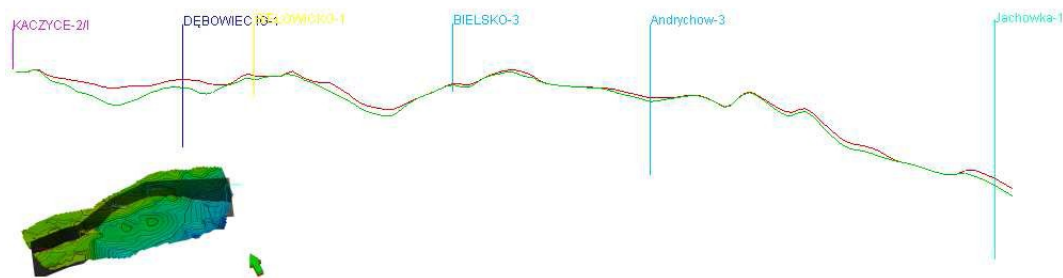


Fig. 1.1.15.24 Schemat regionalnego zalegania stropu i spągu w-w dębowieckich (całość).

MODEL PARAMETRYCZNY WARSTW DĘBOWIECKICH

Posiadane dane wejściowe pozwalają na wykonanie stosunkowo prostego przetwarzania numerycznego. Szczególnie limitującym czynnikiem zdaje się być brak dyskretnych krzywych litologicznych i facjalnych. Ten fakt połączony z oczekiwaniami na dopływ dodatkowych danych geofizycznych do pewnego stopnia wpływają na fakt, że przedstawione dalej modelowana wykonano w taki sposób by uzyskać prosty trendowy obraz, pozwalający wstępnie ocenić jakość mioceńskich skał zbiornikowych i uszczelniających. By osiągnąć ten cel modelowania parametryczne wykorzystano stosując algorytm *Kriging Interpolation* (Matheron 1963, 1970, Krieger 1970). Modelowania parametryczne przeprowadzono wykorzystując dane geofizyczne z 14 odwiertów.

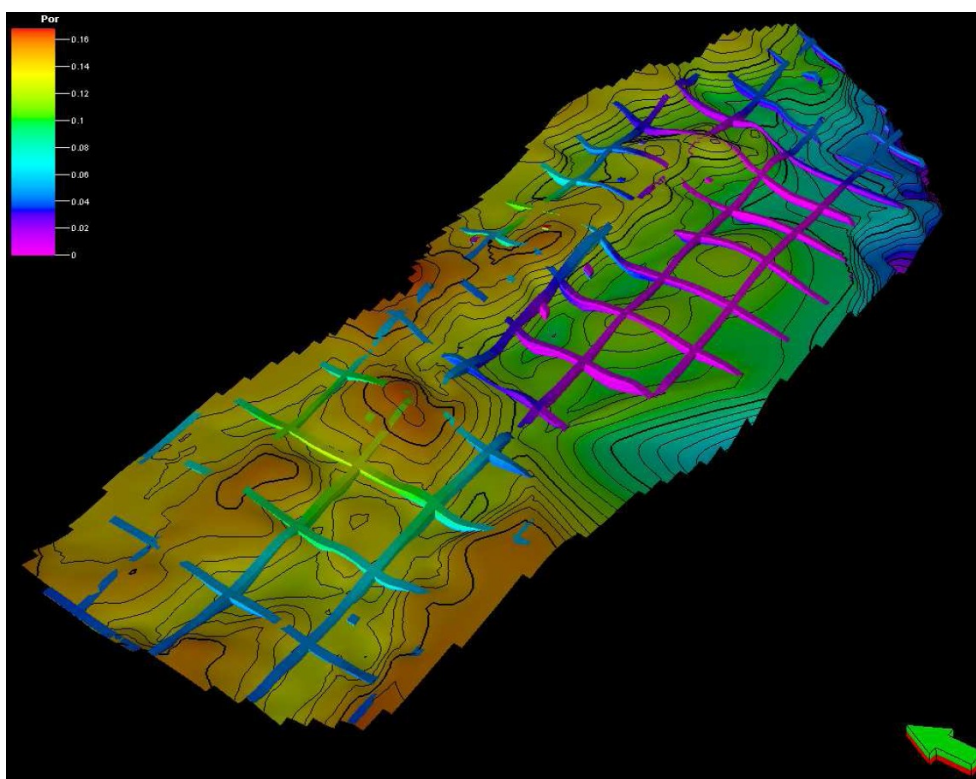


Fig. 1.1.15.25 Dystrybucja porowatości w obrębie w-w dębowieckich (na tle mapy spągu zbiornika).

Model porowatości

Wyniki modelowania porowatości przedstawiono w formie rysunków pseudo-trójwymiarowych, na których w formie diagramu płotowego położonego na spągu warstw dębowieckich przedstawiono porowatość warstw dębowieckich (Fig. 1.1.15.25).

Zróznicowanie porowatości w profilu pionowym obszaru badań przedstawiono na trzech przekrojach wglębnych, których położenie zaznaczono na Fig. 1.1.15.26.

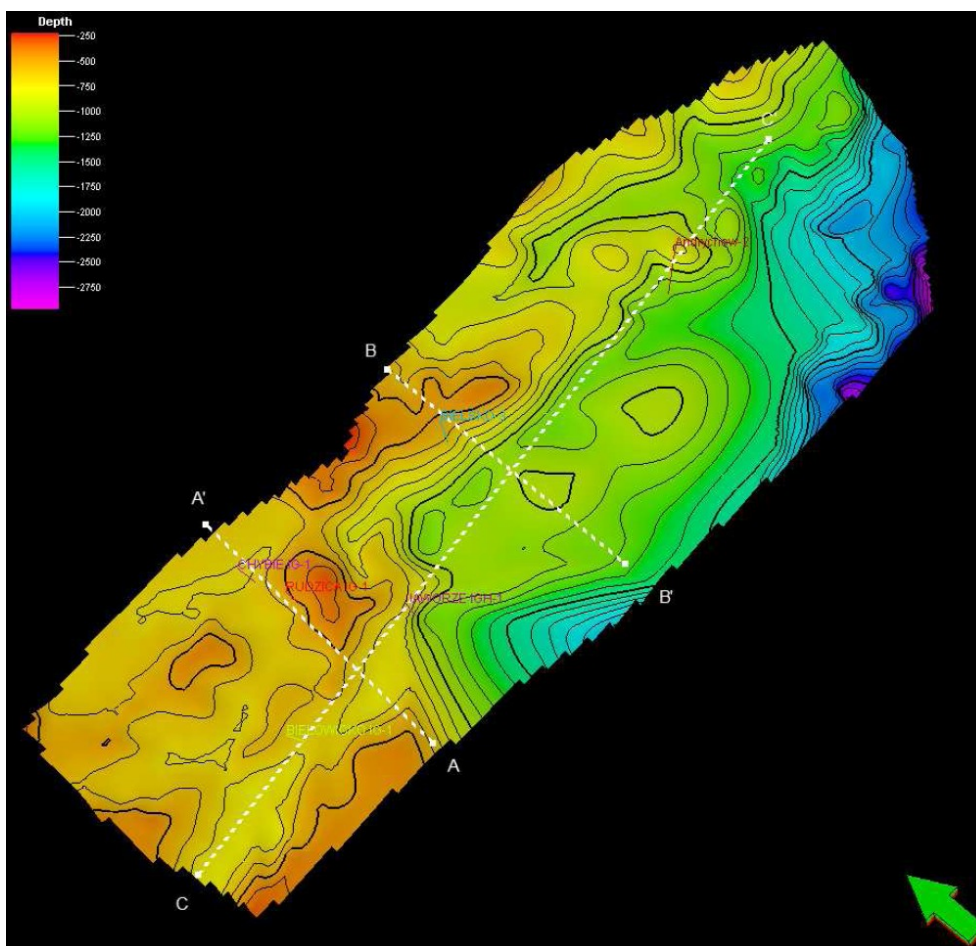


Fig. 1.1.15.26 Lokalizacja przekrojów na tle stropu w-w dębowieckich.

Uwidoczniona na wszystkich przekrojach Fig. 1.1.15.27-29 i 1.1.15.31-33 trójwarstwowa sekwencja stratygraficzna odzwierciedlająca zmienność w obrębie fliszu ze względu na duże uogólnienie nie może być interpretowana w sposób ilościowy. Daje ona generalne wyobrażenie na temat zmienności parametrów petrofizycznych fliszu.

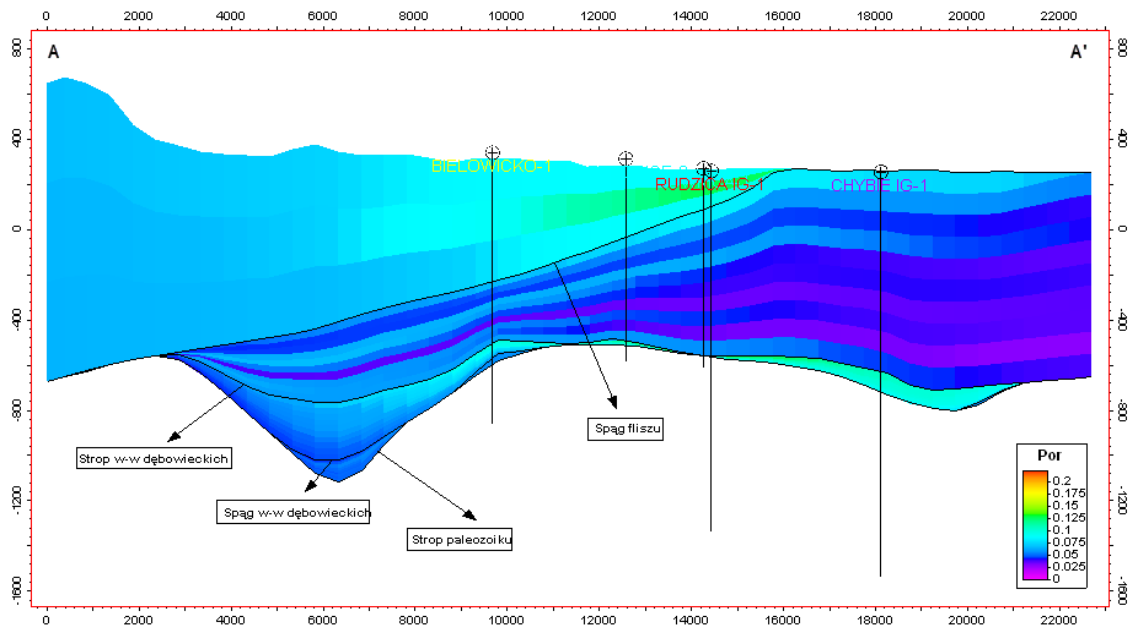


Fig. 1.1.15.27 Przekrój A-A' dla parametru porowatości.

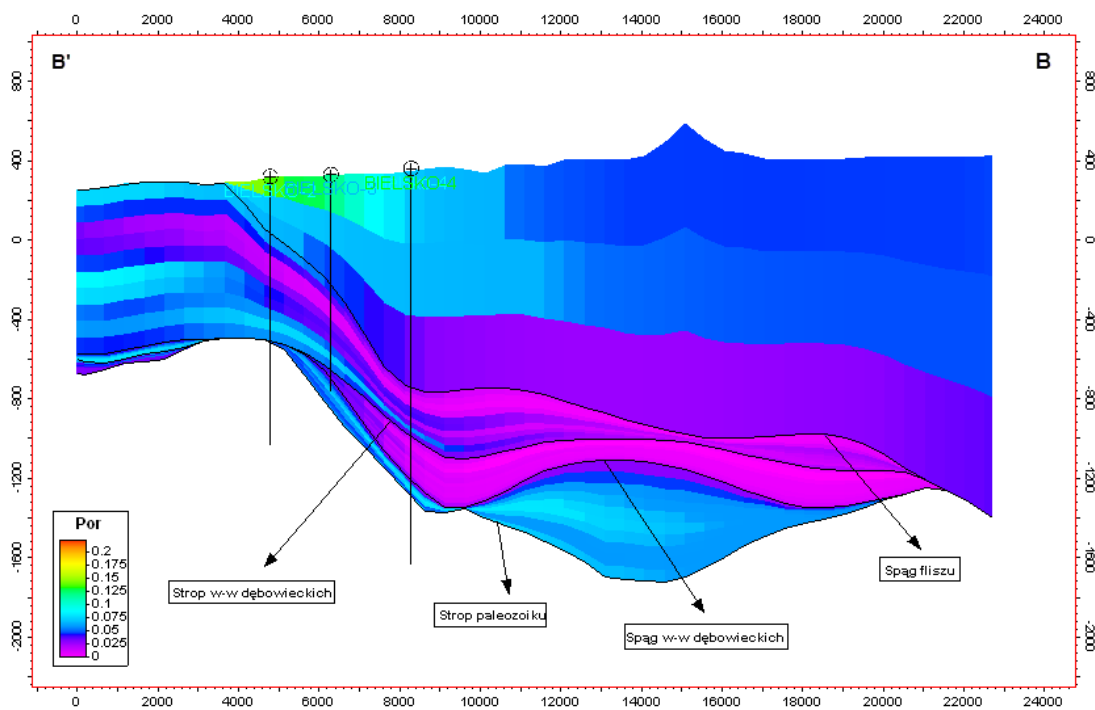


Fig. 1.1.15.28 Przekrój B'-B dla parametru porowatości.

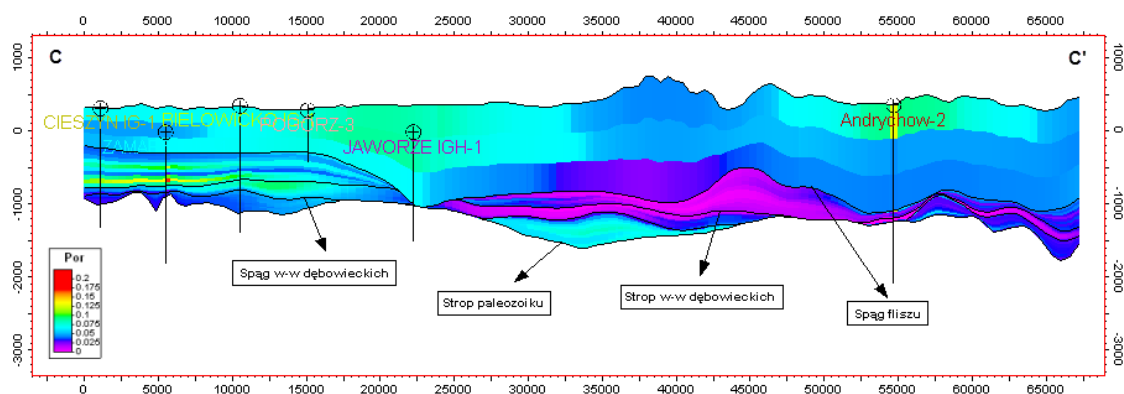


Fig. 1.1.15.29 Przekrój C-C' dla parametru porowatości.

Tabela 1.1.15.10 Charakterystyka zmienności parametru porowatości w modelu statycznym.

<i>Nadkład (Karpaty)</i>								
Name	Type	Min	Max	Delta	N	Mean	Std	Var
Property	Cont.	0.0085	0.2234	0.2149	20371	0.0584	0.0202	0.0004
<i>Nadkład (miocen)</i>								
Property	Cont.	0.0000	0.1675	0.1675	68471	0.0406	0.0199	0.0004
<i>Warstwy dębowieckie</i>								
Property	Cont.	0.0000	0.1682	0.1682	58120	0.0380	0.0303	0.0009
<i>Podłoże (paleozoik)</i>								
Property	Cont.	0.0028	0.2068	0.2041	56000	0.0413	0.0147	0.0002

Analizując zestawienie zmienności porowatości (Tab. 1.1.15.10) można stwierdzić, że parametr ten nie wykazuje zbyt optymistycznych wielkości dla potencjalnego zbiornika w warstwach dębowieckich. Uzyskane maksymalne wartości sięgające niespełna 17% mogą być jednak nieco „uśrednione” ilością danych wejściowych, a w rzeczywistości (lokalnie) mogą osiągać wyższe wartości. Mioceni nadkład cechuje się zbliżonymi własnościami, a w przypadku utworów karpaccy nawet lepszymi. Paleozoiczne podłoże zbiornika również posiada lepsze własności zbiornikowe, w którym prawdopodobnie znaczący udział mają utwory krakowskiej i górnośląskiej serii piaskowcowej (kompleks aktualnie nie modelowany).

Obserwacje na przekrojach i diagramach pseudo 3D pokazują, że na zachodzie lokalnie (Przekrój A-A') warstwy dębowieckie znajdują się w korzystnej sytuacji strukturalnej i jednocześnie wykazują porowatości przekraczające 10%. Ku wschodowi (Przekrój B'-B i C-C') następuje wyraźny spadek porowatości warstw dębowieckich, korzystne porowatości pojawiają się tu jednak w kompleksach podścielających.

Analiza zmian porowatości wskazuje, że na całym obszarze badań osady miocenu młodsze od warstw dębowieckich powinny stanowić skałę uszczelniającą, zwłaszcza w S i SE części obszaru badań, gdyż ich porowatość rzadko osiąga 5%.

Model zailenia

Model zailenia oparto na danych pochodzących z 14 odwiertów zastosowanych do opracowania modelu porowatości. Wyniki modelowania zilustrowano w identyczny sposób jak model porowatości.

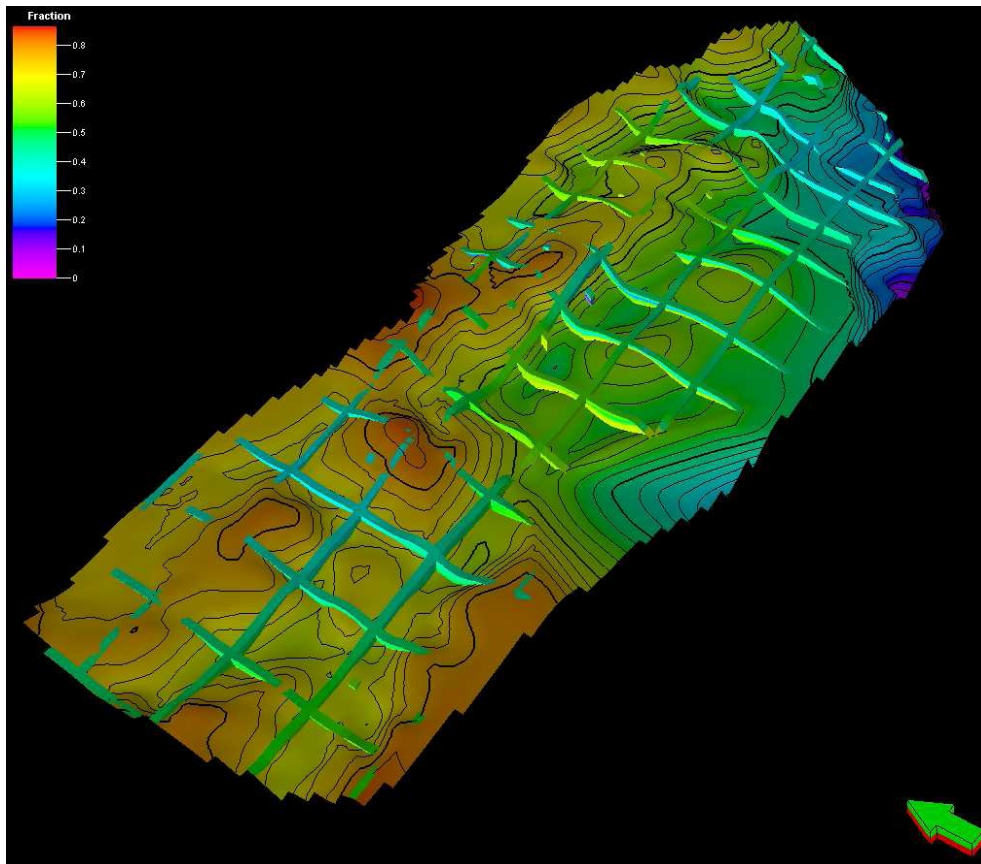


Fig. 1.1.15.30 Dystrybucja zailenia w obrębie w-w dębowieckich (na tle mapy spągu zbiornika).

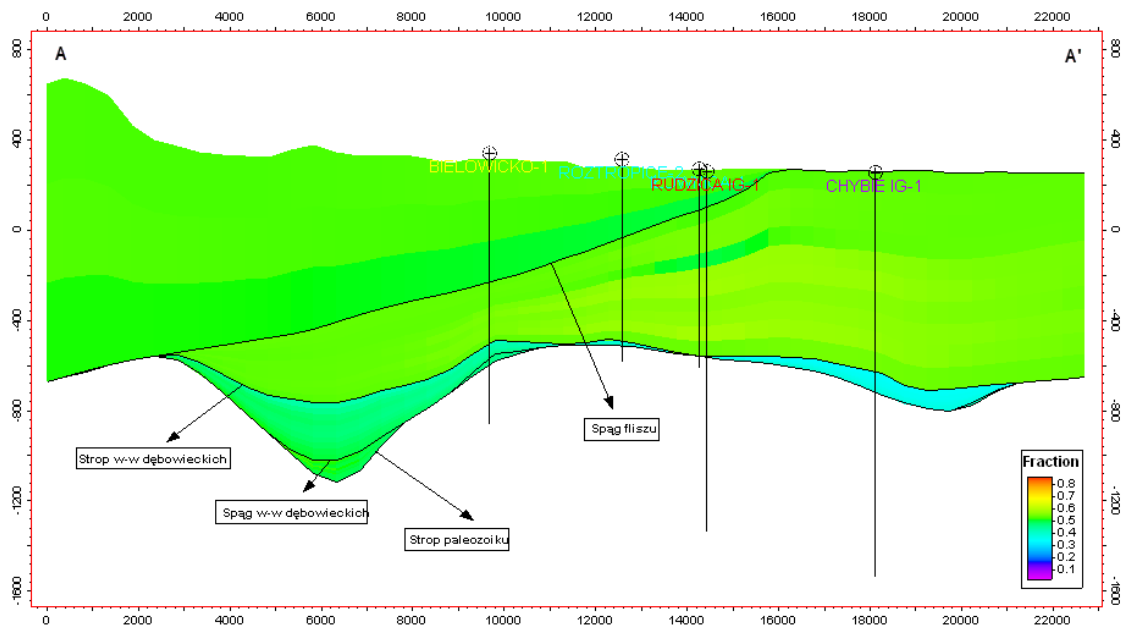


Fig. 1.1.15.31 Przekrój A-A' dla parametru zailenia.

Wyniki modelowania zailenia na Przekroju A-A' potwierdzają generalnie dobre właściwości zbiornikowe warstw dębowieckich w rejonie odwiertów Rudzica IG-1 i Chybie IG-1. Wskazują one na dość przeciętną jakość uszczelnienia warstw dębowieckich. Należy jednak pamiętać, że w zachodniej części obszaru badań w pełni wiarygodne modelowanie będzie możliwe dopiero po zakończeniu reinterpretacji krzywych z tego obszaru (m.in. Chybie, IG-1, Dębowiec IG-1 i Cieszyn IG-1).

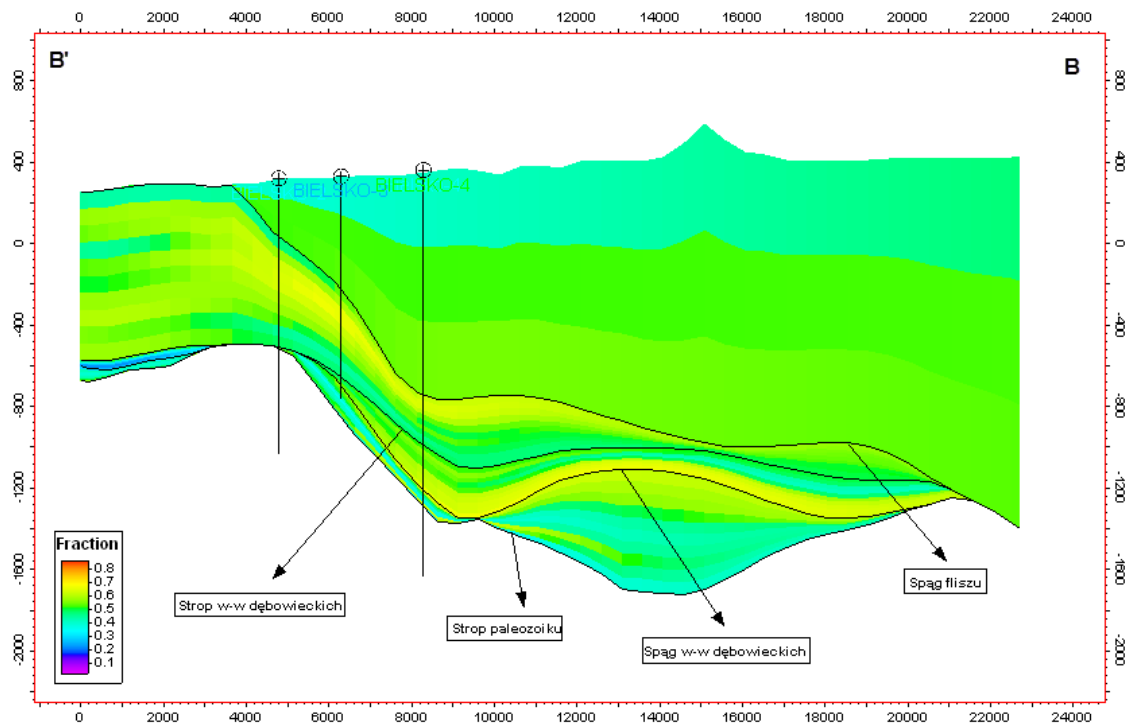


Fig. 1.1.15.32 Przekrój B'-B dla parametru zailenia.

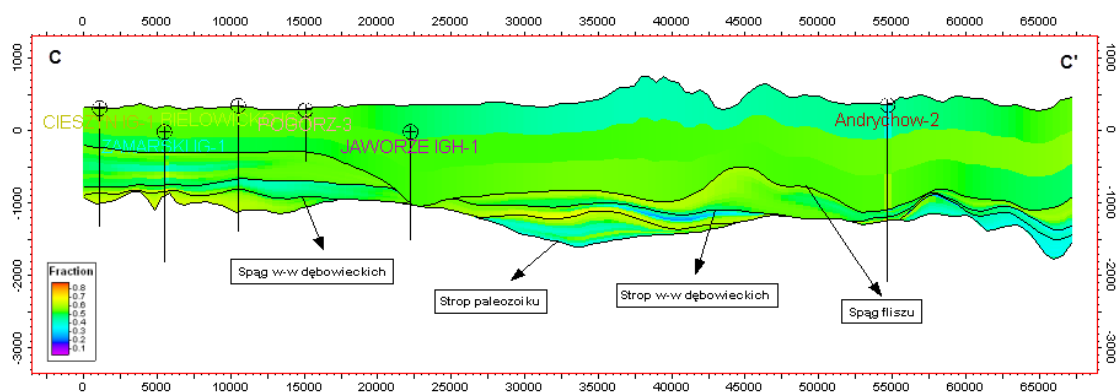


Fig. 1.1.15.33 Przekrój C-C' dla parametru zailenia.

W części wschodniej można zauważyć generalnie wysokie zailenie warstw dębowieckich zwłaszcza w strefie przyspągowej (Fig. 1.1.15.32). W tej części warstwy dębowieckie mogą stanowić doskonałe uszczelnienie dla niżej leżących warstw (ogniwa zamarskiego?).

Statystyczne podsumowanie modelowania zailenia dla wydzielonych kompleksów pokazuje, iż zarówno zbiornik dębowiecki, jak i potencjalne uszczelnienia nadkładu i podłoża, wskazują na zbliżone wartości parametru zailenia. Średnie ich wartości utrzymują się na poziomie 50%, a

ekstremalne dla w-w dębowieckich sięgają rzędu 80% - gdzie tym samym zbiornik traci korzystne własności hydrauliczne.

Tabela 1.1.15.11 Charakterystyka zmienności parametru zailenia w modelu statycznym.

<i>Nadkład (Karpaty)</i>								
Name	Type	Min	Max	Delta	N	Mean	Std	Var
Property	Cont.	0.2654	0.7405	0.4751	20371	0.5223	0.0358	0.0013
<i>Nadkład (miocen)</i>								
Property	Cont.	0.1812	0.8087	0.6275	68471	0.5367	0.0424	0.0018
<i>Warstwy dębowieckie</i>								
Property	Cont.	0.0273	0.7586	0.7312	58120	0.4734	0.0875	0.0077
<i>Podłoże (paleozoik)</i>								
Property	Cont.	0.0983	0.8635	0.7652	56000	0.4817	0.0937	0.0088

Podsumowanie

Przedstawione wyniki modelowania pokazują na teoretyczne możliwości bezpiecznego składowania dwutlenku węgla w utworach warstw dębowieckich jak i w leżących niżej warstwach zamarskich. W pełni wiarygodne wyniki modelowania będą możliwe po przeprowadzeniu szczegółowej reinterpretacji krzywych geofizycznych z 7 wierceń PIG położonych w zachodniej części obszaru badań i być może dodatkowych odwiertów PGNIG. Warunkiem uzyskania poprawnych oceny przydatności omawianej strefy dla CCS będzie również opracowanie modelu przepuszczalności, na podstawie krzywych geofizycznych i danych laboratoryjnych. Ze względu na bardzo skomplikowaną morfologię podłoża ważne będzie również stworzenie modelu statycznego przystropowych partii utworów karbonu.

Rozstrzygające znaczenie dla oceny przydatności warstw dębowieckich i zamarskich dla składowania dwutlenku węgla będą miały dynamiczne symulacje zatłaczania, które pozwolą rozstrzygnąć kierunki rozptywu CO₂ w tym złożonym strukturalnie rejonie.

MODELOWANIA DYNAMICZNE, ANALIZY RYZYKA I PROGRAM MONITORINGU - PODSUMOWANIE

Prace dotyczące modelowań dynamicznych procesów zatłaczania dwutlenku węgla do potencjalnego składowiska – obszaru Cieszyn-Skoczów-Czechowice przewidziano na II połowę 2010 roku (ale raport merytoryczny z II segmentu na koniec czerwca 2010, stąd w raporcie zawarto zasadniczo prace zakończone). Podobnie jest z pracami w zakresie analiz ryzyka i planów monitoringu.

Zgodnie z wymaganiami Dyrektywy 2009/31/WE, w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla „celem bezpiecznego dla środowiska geologicznego składowania CO₂ jest stałe hermetyczne składowanie CO₂ w taki sposób, aby uniemożliwić lub — w przypadku gdy nie jest to możliwe — w możliwie największym stopniu wyeliminować negatywne oddziaływanie na środowisko i zdrowie ludzkie oraz wszelkie zagrożenia dla nich.” Ocena ryzyka powinna wykonywana być w każdej z fazie realizacji przedsięwzięcia: przed – operacyjnej, operacyjnej oraz po – operacyjnej, i powinna wykorzystywać wyniki modelowania dynamicznego i przeprowadzoną charakterystykę bezpieczeństwa kolektora. Ocena ryzyka prowadzona jest kolejno poprzez charakterystykę zagrożeń, ocenę narażenia, ocenę skutków oraz charakterystykę ryzyka.

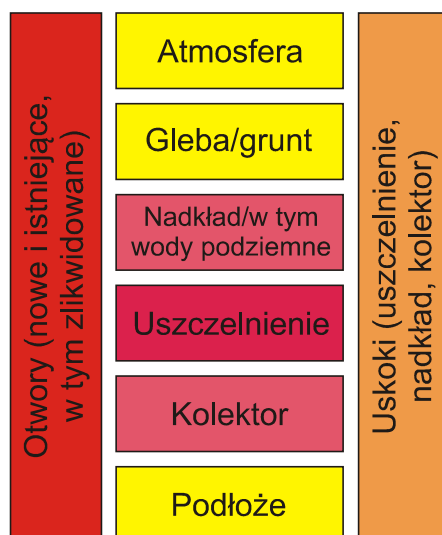


Fig. 1 Podstawowe zagadnienia planu ryzyka dla obiektu Cieszyn-Skoczów-Czechowice.

Podstawowe zagadnienia oceny ryzyka obejmującej powyższy zakres prac przedstawiono na Fig. 1, przy czym odcieniami koloru czerwonego zaznaczono elementy krytyczne dla przedsięwzięcia geologicznego składowania (ciemniejszy odcień oznacza większą wagę niż jaśniejszy) a żółtym nie tak ważne, choć również istotne. Najistotniejsze w naszym przypadku dla bezpieczeństwa geologicznego składowania dwutlenku węgla jest szczelność starych, zlikwidowanych otworów wiertniczych, następnie jakość uszczelnienia (nie zawsze ma najlepsze własności ale generalnie jest bardzo miększe), odpowiednie własności kolektorskie warstw zbiornikowych oraz brak uskoków przecinających je i nadkład (ma to znaczenie praktycznie tylko w przypadku podłoża paleozoicznego).

Jeśli chodzi o plany monitoringu i szczegółowego rozpoznania rozpatrywanego obiektu to przewiduje się analogiczny zakres powierzchniowych badań geofizycznych jak w przypadku struktury Budziszewice-Zaosie (Wójcicki (red.), 2009) tzn. w zakresie sejsmiki, grawimetrii, metod elektromagnetycznych oraz badań geochemicznych i biogeochemicznych w rejonie otworów

zatlaczających (IGSMiE PAN). Przy otworach planuje się także monitoring seismologicznych (sejsmika pasywna). Istotnym problemem jest rozprzestrzenienie obszarów chronionych (istniejących i planowanych obszarów NATURA 2000 oraz obszarów chronionego krajobrazu) na tym obszarze (Fig. 2), stąd mamy bardzo ograniczone możliwości badań geologiczno-geofizycznych na potrzeby szczegółowego rozpoznania i monitoringu potencjalnego składowiska. Praktycznie badania te można podjąć jedynie w południowej i wschodniej części rejonu Cieszyn-Skoczów-Czechowice (elipsy w kolorze jasnoniebieskim na Fig. 2 – w centrum każdej z tych elips można by zlokalizować otwór zatlaczający lub badawczy; ich lokalizacja odpowiada skłonom obiektu, który nie ma jednak charakteru antykliny lecz zagłębienia). Wynika to także z obecności obszarów zurbanizowanych (np. Skoczów) na rozpatrywanym obszarze.

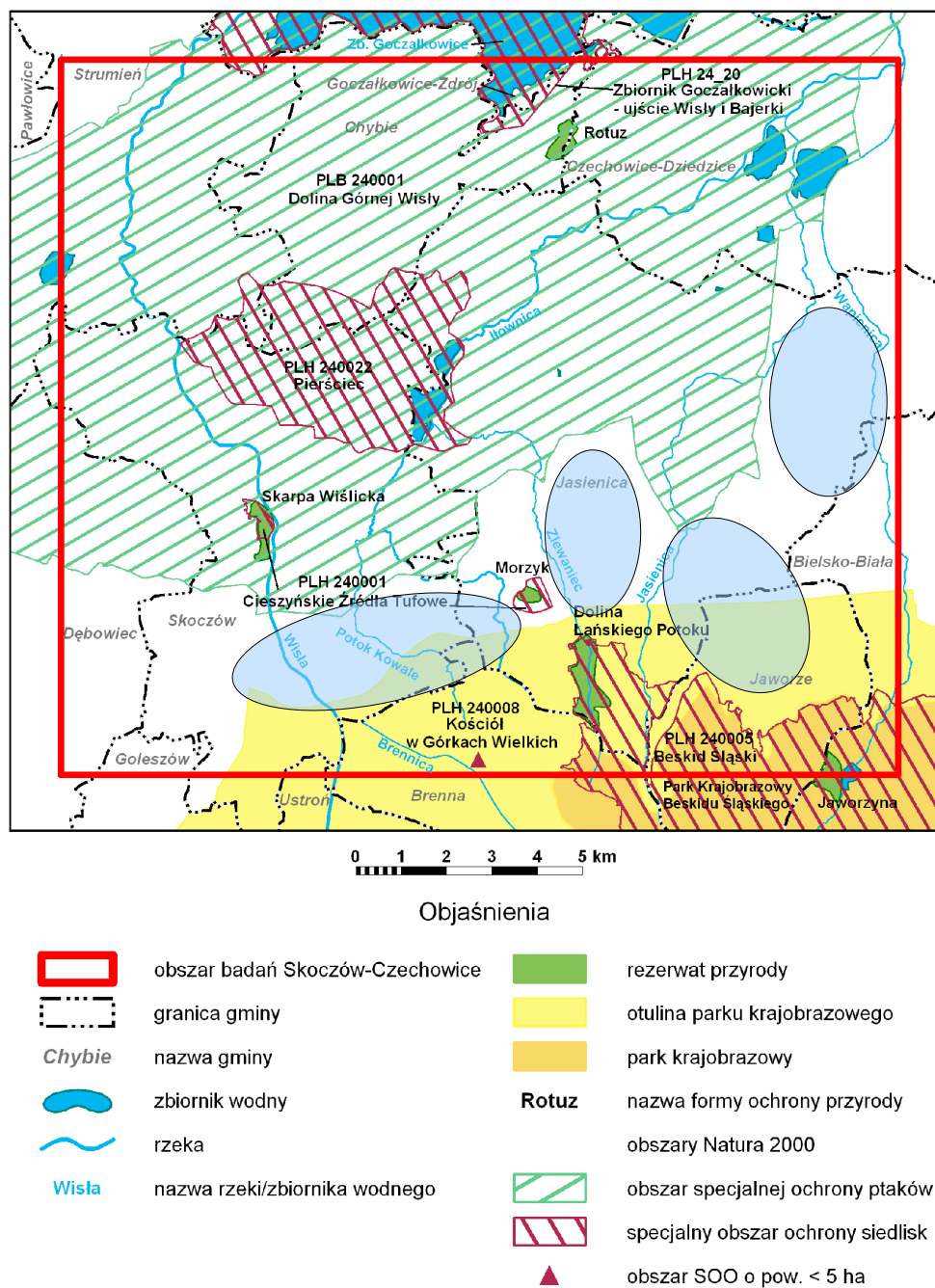


Fig. 1.1.16.2 Lokalizacja możliwych obszarów do zatlaczania dwutlenku węgla i monitoringu (elipsy).

Literatura

Beyer J.H., 2008 – *Regional Carbon Sequestration, WESTCARB Program, Regional Carbon Sequestration.*

Buła Z., Habryn R., (red.), 2008 – *Mapa strukturalna stropu paleozoiku (bez permu) i prekambriu mapa geologiczno-strukturalna stropu paleozoiku (bez permu) i prekambriu. Atlas geologiczno-strukturalny paleozoicznego podłoża Karpat zewnętrznych i Zapadliska Przedkarpaccykiego w skali 1:300 000. Ministerstwo Środowiska, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 8 map, tekst objaśniający, 75 str.*

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

Czopek B., 2010, *Interpretacja litologiczno-złożowa profili głębokich otworów wiertniczych (w: Atlas zasobów geotermalnych Karpat Zachodnich. Kierownik – W. Górecki (mat. niepublikowane, temat realizowany).*

Jawor E., 1993 – *Możliwości deponowania odpadów ciekłych przez ich płytkie i głębokie zatłaczanie do górotworu. Materiały konferencyjne, Kraków.*

Jureczka J., Buła Z., Chmura A., Rózkowski A., Wagner J., 1994 – *Ocena możliwości wtłaczania słonych wód kopalnianych w klastyczne osady ogniwa dębowieckiego w SW części GZW. Maszynopis. Arch. OG PIG Sosnowiec.*

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

Kotas A., Rózkowski A., Karwasiecka M., 1973 – *Sprawozdanie z wyników badań perspektyw występowania bitumitów w podłożu GZW. Arch. PIG Sosnowiec.*

Kriege D.V., 1966 – *Two-dimensional weighted moving-average trend surfaces for ore evaluation. In Proc. Symposium on Mathematical Statistics and Computer Applications in Ore Valuation. Mar. 7-8: Jour. South African Inst. Mining and Metallurgy, Johannesburg. p.13-38.*

Matheron G., 1963 – *Principles of geostatistics: Economic Geology 58, p. 1246 – 1266.*

Matheron, G., 1970 – *The Theory of Regionalized Variables and Its Applications. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, Fascicule 5, available from the Centre de Geostatistique de l'Ecole des Mines de Paris, 35 rue St. Honore, 77300 Fontainebleau, France.*

Niemczyk B., Talik J., Wróbel R., 1994 – *Nowe spojrzenie na chłonność utworów dewonu w świetle wyników badań uzyskanych w otworze Krasna –I. Przegląd Geologiczny nr 9, Warszawa.*

Oszczypko N., Papiernik B., 2010 – *Mapa strukturalna spągu nasunięcia karpaccykiego:(w: Atlas zasobów geotermalnych Karpat Zachodnich. Kierownik – W. Górecki (mat. niepublikowane, temat realizowany).*

Oszczypko N., Krzywiec P., Popadyuk I., Peryt T., 2006 – *Carpathian Foredeep Basin (Poland and Ukraine): Its Sedimentary, Structural, and Geodynamic Evolution*. In J. Golonka and F. J. Picha, eds., *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources: AAPG Memoir 84*, p. 293 – 350.

Papiernik B., Hajto M., Górecki W., Ślupczyński K., Machowski G., Krach J., Zajac A., Gancarz M., Jasnos J., Zych I., Szczygieł M., 2008 – *Zestawienie, przetwarzanie i geometryzacja zbiorów danych, konstruowanie modeli litostratygraficzno - miąższościowych i petrofizycznych*. CAG Warszawa.

Picha, F. J., Z. Stranik, O. Krejci, 2006 – *Geology and hydrocarbon resources of the Outer West Carpathians and their foreland, Czech Republic*, in J. Golonka and F. J. Picha, eds., *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources: AAPG Memoir 84*, p. 49-175.

Picha, F., 1996 – *Exploring for hydrocarbons under thrust belts— A challenging new frontier in the Carpathians and elsewhere: AAPG Bulletin*, v. 80, no. 10, p. 1547–1564.

Rózkowski A., red. 2004 – *Środowisko hydrochemiczne karbonu produktywnego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego. Katowice.

Sikorska-Maykowska M., red. 2001 – *Waloryzacja Środowiska przyrodniczego i identyfikacja jego zagrożeń na terenie województwa śląskiego*. Wyd. Państwowy Instytut Geologiczny i Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego. Warszawa.

Solik-Heliasz E., 1986 – *Warstwy dębowieckie jako źródło zagrożenia wodnego wyrobisk górniczych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo, z. 149, s. 435-447.

Tomaszczyk M., 2007, <http://www.opengeology.pl>

Wagner J., 1997 – *Ocena hydrogeologiczna możliwości recyrkulacji i głębokiego zatłaczania wód kopalnianych*. Dokumentacja PIG, Oddział Górnośląski w Sosnowcu, Sosnowiec.

Wójcicki A., 2009 (red.) - *Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania, Raport merytoryczny nr 2: Segment II, rejon Bełchatowa*. Strona projektu: <http://skladowanie.pgi.gov.pl>

Wójcicki A. & Jureczka J., 2009 (red.) - *Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania, Raport merytoryczny nr 3: Segment I, rejon GZW*. Strona projektu: <http://skladowanie.pgi.gov.pl>