

## Spis treści

1.1.17 ZARZĄDZANIE RYZYKIEM GEOLOGICZNEGO SKŁADOWANIA CO <sub>2</sub> .....	5
Obiekt solankowy w rejonie Bełchatowa .....	5
Ocena ryzyka składowania CO <sub>2</sub> , w tym skutków potencjalnych wycieków (GIG) .....	8
Analiza i ocena ryzyka niekontrolowanego wycieku CO <sub>2</sub> .....	9
Charakterystyka ryzyka geologicznego dla formacji ostrowieckiej.....	18
Scenariusze rozwoju zagrożeń związanych z wydostawaniem się CO <sub>2</sub> do atmosfery.....	20
Wnioski.....	22
Ocena ryzyka składowania CO <sub>2</sub> w tym opis potencjalnych zagrożeń wyciekami CO <sub>2</sub> i migracją solanki (INiG) .....	23
Identyfikacja czynników ryzyka składowania CO <sub>2</sub> w solankowych poziomach struktury zawodnionej Budziszewice-Zaosie.....	23
Analiza obszaru zatlaczania CO <sub>2</sub> pod kątem określenia ryzyka nieszczelności pułapki złożowej.....	35
Wpływ ewentualnej ucieczki CO <sub>2</sub> na ludzi.....	42
Wpływ ewentualnej ucieczki CO <sub>2</sub> na zwierzęta i rośliny .....	44
Podsumowanie.....	45
Ocena ryzyka geologicznego składowania, w tym zagadnienia bezpieczeństwa składowania i integralności składowiska (AGH) .....	46
Ocena ryzyka geologicznego osnowy strukturalnej .....	47
Geologiczne ryzyko związane z przestrzennym rozkładem horyzontów uszczelniających i zbiornikowych oraz ich jakością .....	53
Analiza ryzyka w ocenie własności zbiornikowych.....	57
Obiekt solankowy w rejonie GZW .....	61
Ocena ryzyka geologicznego składowania CO <sub>2</sub> dla zbiornika Cieszyn-Skoczów-Czechowice (GIG) .....	65
Budowa geologiczna rejonu zbiornika Cieszyn – Skoczów – Zebrzydowice.....	67
Ocena wpływu składowania CO <sub>2</sub> w zbiorniku „Cieszyn – Skoczów – Czechowice” na poziomy hydrogeologiczne .....	73

Identyfikacja potencjalnych źródeł zagrożeń związanych ze składowaniem CO <sub>2</sub> w rejonie zbiornika „Cieszyn – Skoczów – Czechowice” .....	87
Analiza zagrożeń na podstawie przeprowadzonych symulacji komputerowych .....	114
Lokalizacja modelu teleskopowego.....	114
Opracowanie rankingu i kwantyfikacji ryzyka dla rozpatrywanego zbiornika .....	130
Wnioski.....	150
Ocena ryzyka geologicznego składowania w obrębie obiektu w poziomach solankowych w rejonie GZW (AGH) .....	152
Konstrukcja modelu strukturalnego.....	154
Trzeci obiekt solankowy .....	163
Identyfikacja geologicznych zagrożeń związanych ze składowaniem CO <sub>2</sub> w poziomach solankowych w rejonie Choszczna i Suliszewa (GIG) .....	175
Zarys budowy geologicznej rejonu zbiornika Choszczno i Suliszewo.....	178
Analiza zagrożeń geologicznych .....	180
Ocena wpływu składowania CO <sub>2</sub> w poziomach solankowych rejonu Choszczno-Suliszewo na poziomy wodonośny.....	194
Podsumowanie.....	207
Ocena ryzyka geologicznego składowania CO <sub>2</sub> w strukturze południowej Niecki Poznańskiej (INiG) .....	209
Analiza dostępnych danych geologicznych i wiertniczych .....	209
Analiza obszaru zatłaczania CO <sub>2</sub> pod kątem określenia ryzyka nieszczelności pułapki złożowej.....	213
Modelowanie migracji CO <sub>2</sub> do skał nadkładu w megastrukturze poznańskiej .....	223
Analiza stanu technicznego istniejących odwiertów w aspekcie zachowania szczelności w środowisku kwaśnym.....	236
Badania laboratoryjne trwałości kamienia cementowego w środowisku kwaśnym w warunkach otworopodobnych.....	237
Identyfikacja czynników ryzyka składowania CO <sub>2</sub> w rejonie złóż Grodzisk-Ujazd-Bukowiec-Paproć .....	276
Wykonanie wstępnych analiz ryzyka dla obiektu w poziomach solankowych Choszczno-Suliszewo (AGH) .....	289
Dane wejściowe do stworzenia modelu ryzyka .....	290



Bazowe modele wykorzystane do analizy ryzyka.....	292
Analiza ryzyka.....	296
Wykonanie finalnych analiz ryzyka dla obiektu w poziomach solankowych Choszczno-Suliszewo (AGH) .....	307
Opracowanie (aktualizacja) szczegółowego modelu statycznego ośrodka geologicznego składowiska dolnojurajskiego w rejonie Choszczna .....	307
Ryzyko w przemyśle naftowym.....	331
Klasyfikacja ryzyka wydobycia zasobów a magazynowanie CO <sub>2</sub> .....	334
Analiza czułości parametrów geologicznych.....	335
Wynik modelowania ryzyka .....	340
Podsumowanie.....	350
Struktury naftowe.....	351
Ryzyko geologicznego składowania CO <sub>2</sub> w strukturze naftowej na przykładzie złoża Wilków (AGH)	354
Analiza ryzyka geologicznego w rejonie złoża gazu ziemnego Wilków .....	354
Modelowanie dynamiczne w celu sprawdzenia szczelności bariery między złożami Wilków i Szlichtyngowa.....	364
Wnioski.....	375
Ocena ryzyka geologicznego składowania CO <sub>2</sub> w strukturze złoża Nosówka (INiG) .....	376
Ryzyko związane z geologicznym składowaniem CO <sub>2</sub> .....	378
Modelowanie migracji CO <sub>2</sub> do skał nadkładu złoża Nosówka .....	408
Analiza stanu technicznego istniejących odwiertów w aspekcie zachowania szczelności w środowisku kwaśnym.....	428
Badania laboratoryjne trwałości kamienia cementowego w środowisku kwaśnym w warunkach otworopodobnych.....	440
Identyfikacja czynników ryzyka składowania CO <sub>2</sub> w szcerpanym złożu ropy naftowej Nosówka	475
Podsumowanie i wnioski.....	489
Obiekt w pokładach węgla .....	491
Ocena ryzyka składowania CO <sub>2</sub> w pokładach węgla rejonu Pawłowice – Mizerów (GIG).....	500

Identyfikacja geologicznych źródeł zagrożenia związanego ze składowaniem CO <sub>2</sub> w pokładach węgla w rejonie Pawłowice-Mizerów .....	500
Ocena wpływu składowania CO <sub>2</sub> w pokładach węgla rejonu Pawłowice-Mizerów na poziomy wodonośne .....	521
Ocena i kwantyfikacja ryzyka związanego ze składowaniem CO <sub>2</sub> w pokładach węgla w rejonie Pawłowice-Mizerów .....	542
Identyfikacja zagrożeń .....	544
Ocena wpływu zagrożeń na środowisko naturalne i ludzi .....	548
Wnioski .....	557

## 1.1.17 ZARZĄDZANIE RYZYKIEM GEOLOGICZNEGO SKŁADOWANIA CO<sub>2</sub>

### Obiekt solankowy w rejonie Bełchatowa

(Adam Wójcicki)

Ryzyko geologicznego składowania zdefiniowane jest (Chadwick et al., 2008) jako iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia i skutków zagrożenia. Z ryzykiem geologicznym, dotyczącym szczelności i integralności kompleksu składowania, związane są zagadnienia wpływu wycieków dwutlenku węgla (do słodkich wód podziemnych i atmosfery; to ostatnie ma aspekt lokalny i globalny, związany z emisją CO<sub>2</sub> do atmosfery) oraz solanki (do wód podziemnych) na środowisko oraz zdrowie i bezpieczeństwo ludzi. Poza tym mamy jeszcze ryzyko ekonomiczne, związane z opłacalnością inwestycji oraz ryzyko akceptacji społecznej dla inwestycji i szereg innych.

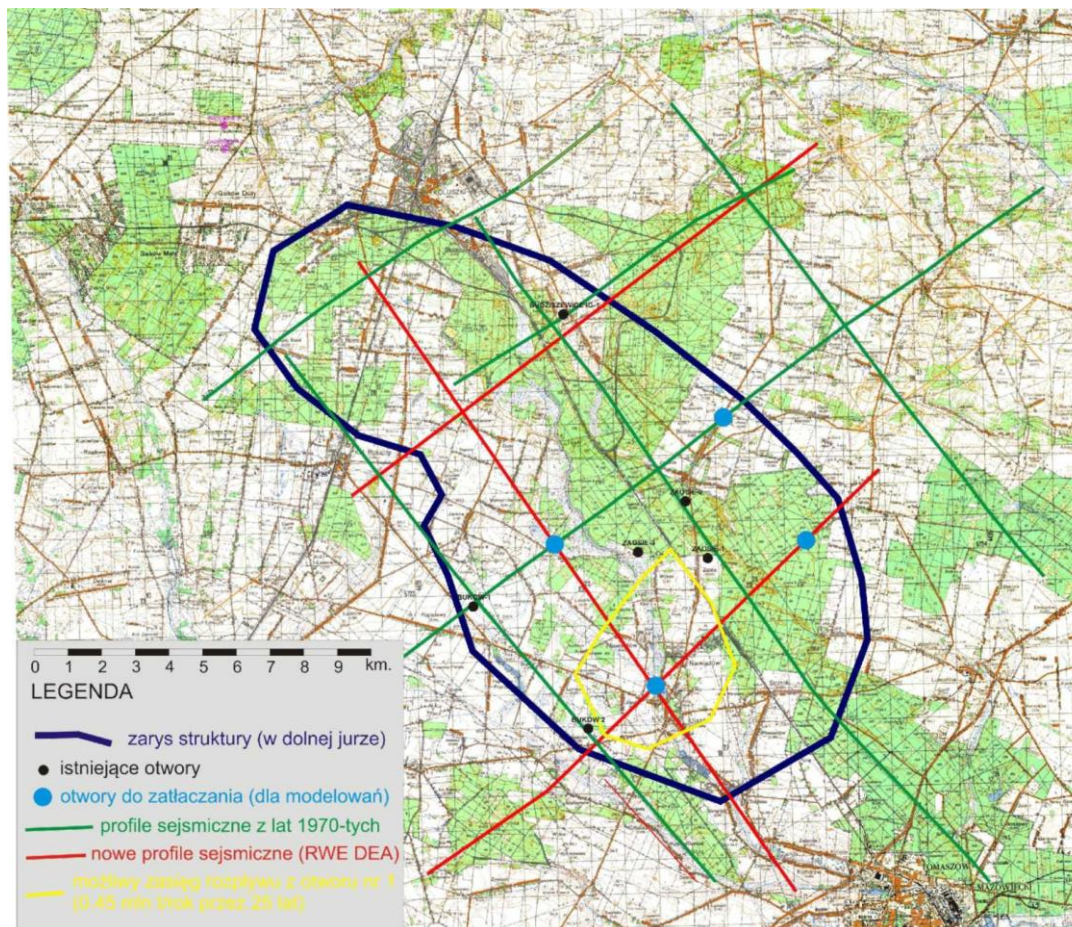
Na **Fig. 1.1.17\_1** przedstawiono rozkład skupisk ludzkich w rejonie struktury i otworów (symulacyjnych) do zatłaczania oraz istniejących otworów nawiercających jurę i głębsze formacje. Lokalizacja otworów symulacyjnych (modelowanie procesów zatłaczania) została wybrana orientacyjnie, na podstawie znanej geometrii struktury i przebiegu wykorzystanych linii sejsmicznych. Ostateczna lokalizacja może być wybrana dopiero w wyniku uzgodnień z władzami lokalnymi i właścicielami gruntów, przez inwestora w przypadku wyboru tej struktury, jako składowiska dla projektu demonstracyjnego firmy PGE Elektrownia Bełchatów S.A.

W następnych podrozdziałach przedstawiono analizy różnych aspektów ryzyka geologicznego składowania wykonane przez GIG (skutki wycieków i ich możliwe źródła w naszym przypadku), INiG (możliwości wystąpienia wycieków dwutlenku węgla i migracji solanki) i AGH (zagadnienia integralności składowiska i wykonalności składowania). Jako podstawę do analiz przyjęto metodologię z podręcznika najlepszych praktyk projektów CO2STORE, SACS i SACS2 (Chadwick et al., 2008), w szczególności analizę FEP (Feature-Events-Procedures). Zagadnienia te zostały szczegółowo scharakteryzowane w poszczególnych podrozdziałach poniżej<sup>1</sup>.

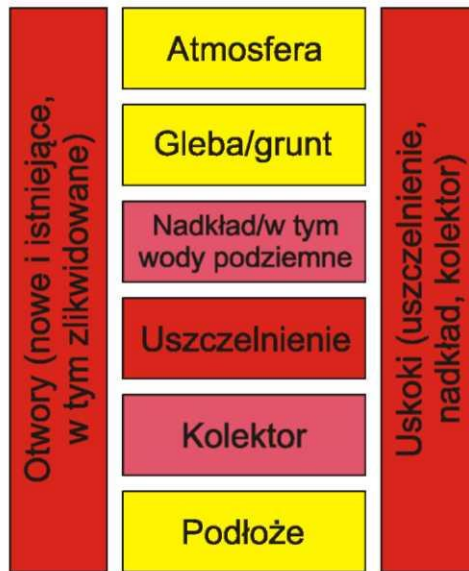
Podstawowe zagadnienia planu ryzyka obejmującego powyższy zakres prac przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_2**, przy czym odcieniami koloru czerwonego zaznaczono elementy krytyczne dla przedsięwzięcia geologicznego składowania (ciemniejszy odcień oznacza większą wagę niż jaśniejszy) a żółtym nie tak ważne, choć również istotne. Najistotniejsze w naszym przypadku dla bezpieczeństwa geologicznego składowania dwutlenku węgla jest jakość uszczelnienia, brak uskoków przecinających je i nadkład, oraz szczelność nowych (przewidzianych do odwiercenia w przypadku wyboru struktury na składowisko) i starych zlikwidowanych otworów wiertniczych. Prawie równie ważna jest jakość kolektora i ochrona słodkich wód podziemnych (górnójurajski nieudokumentowany GZWP nr 404).

---

<sup>1</sup> Zgodnie z zapisami Dyrektywy i najlepszymi praktykami dla rozpatrywanej struktury opracowuje się coraz to lepszy model statyczny, prowadzi symulacje zatłaczania, analizy ryzyka i opracowuje plany monitoringu, odpowiednio po uzupełniających pracach polowych (takich, jakie np. robiło PGE), szczegółowych pracach polowych, przy testowym zatłaczaniu, w trakcie pełnoskalowego zatłaczania, po zakończeniu zatłaczania. Niniejsze prace stanowiły etap „zerowy”, gdyż rozpoczęto od danych archiwalnych.



**Fig.1.1.17\_1** Mapa topograficzna w rejonie Budziszewice-Zaosie - rozkład skupisk ludzkich w rejonie struktury i otworów (symulacyjnych) do zatlaczania



**Fig.1.1.17\_2** Podstawowe zagadnienia planu ryzyka dla struktury Budziszewice-Zaosie

Bardziej szczegółowe analizy ryzyka przeprowadziły zespoły GIG, INiG i AGH (patrz poniżej). GIG wykonał przeglądowe analizy i oceny ryzyka w oparciu o dotychczasowe wyniki badań prowadzonych przez członków konsorcjum w ramach segmentu II, w szczególności zadań 1.1.15 i 1.1.16. INiG podobnie, z tym że z naciskiem na zagadnienia odnoszące się szczelności pułapki złożowej rozpatrywanego potencjalnego składowiska, w tym zagrożeń wyciekami CO<sub>2</sub> i migracją solanki. Natomiast AGH wykonał analizy niepewności określenia parametrów kompleksu składowania (zbiornik i uszczelnienie) w aspekcie bezpieczeństwa składowania i integralności składowiska.

## **Ocena ryzyka składowania CO<sub>2</sub>, w tym skutków potencjalnych wycieków (GIG)**

**(Aleksandra Koterak, Józef Dubiński, Piotr Rosmus)**

**GIG** wykonał analizy i oceny ryzyka w oparciu o dotychczasowe wyniki badań prowadzonych przez członków konsorcjum w ramach segmentu II.

Składowanie dwutlenku węgla w formacjach geologicznych niesie za sobą ryzyko niekontrolowanego wydostania się gazu poza zbiornik, co może być wynikiem przenikania przez warstwowe struktury geologiczne wskutek różnicy ciśnień pomiędzy gazem a otaczającymi formacjami geologicznymi, przenikaniem przez „rozluźnione” wpływem CO<sub>2</sub> struktury bądź też przez wykonane w trakcie realizacji otwory wiertnicze. Analiza i ocena ryzyka geologicznego składowania dwutlenku węgla uwzględnia wszystkie możliwe drogi migracji dwutlenku węgla. W analizie uwzględniono wyniki wcześniejszych opracowań, tj. uwarunkowania petrofizyczne i termodynamiczne, wyniki przeprowadzonych badań i analiz geofizyczno - geologicznych oraz charakterystykę hydrogeologiczną formacji ostrowieckiej obiektu w rejonie Bełchatowa i geochemiczną płynów złożowych z uwzględnieniem reakcji CO<sub>2</sub> ze skałami i solankami. Zakres opracowania obejmuje:

- 1) Analizę geologiczną, hydrogeologiczną i petrograficzną zbiornika,
- 2) Zidentyfikowanie czynników kształtujących i wpływających na wysokość ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub>,
- 3) Analizę modelowań rozptywu dwutlenku węgla w wybranej strukturze geologicznej dla określonych czasookresów oraz ilości zatłaczanego gazu,
- 4) Analizę i ocenę ryzyka geologicznego składowania dwutlenku węgla w wybranej formacji geologicznej
- 5) Opracowanie kryteriów akceptowalności ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w formacjach solankowych formacji ostrowieckiej dla obiektu Bełchatów.

## **Analiza i ocena ryzyka niekontrolowanego wycieku CO<sub>2</sub>**

Zgodnie z wymaganiami Dyrektywy 2009/31/WE, w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla „*celem bezpiecznego dla środowiska geologicznego składowania CO<sub>2</sub> jest stałe hermetyczne składowanie CO<sub>2</sub> 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.

W ocenie ryzyka wykorzystano wyniki modelowania dynamicznego dwuwariantowego: testowego, w którym zatłaczanie prowadzone było otworem nr 1, w ilości 20 000 Mg przez rok oraz docelowego gdzie symulacja zatłaczania obejmowała cztery otwory po 450 000 Mg CO<sub>2</sub>/rok przez okres 25 lat, czas symulacji do 200 lat po zakończeniu zatłaczania.

Do oceny ryzyka wykorzystano bazę Quintessa (Quintessa FEP database (Features, Events and Processes). Na jej podstawie opracowano i przedstawiono najważniejsze zagrożenia dla analizowanego kolektora formacji ostrowieckiej.

### **Charakterystyka zagrożeń związanych z geologicznym składowaniem CO<sub>2</sub>**

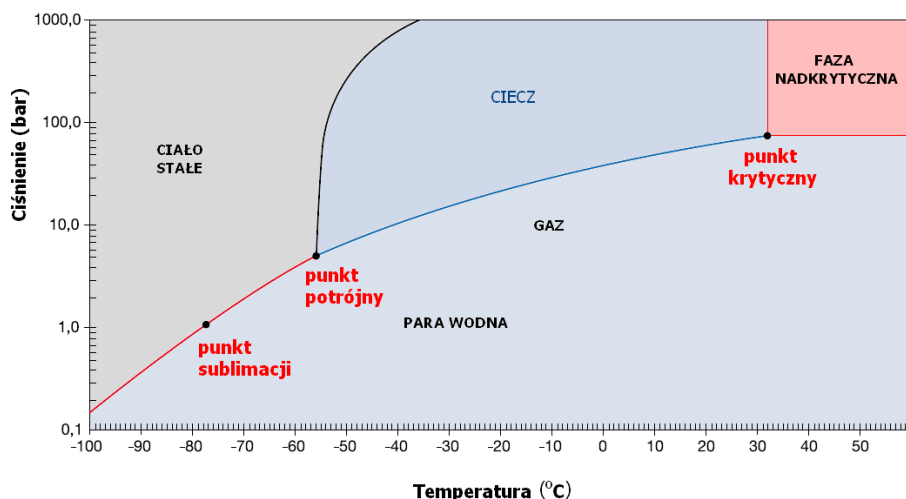
W celu właściwej oceny czynników wpływających na wysokość ryzyka należy zidentyfikować i ocenić () potencjalne skutki słabych ogniw systemu geologicznego składowania CO<sub>2</sub>.

- Potencjalnymi ścieżkami ucieczek zatłaczanego CO<sub>2</sub> w wybrane formacje geologiczne mogą być:
- system porów słabo przepuszczalnych warstw skalnych, jeżeli ciśnienie wejściowe przewyższa ciśnienie kapilarne w górotworze,
- system spękań i szczelin w górotworze w tym uskoki,
- ścieżki antropogeniczne, jak na przykład źle zabezpieczone lub opuszczone otwory produkcyjne ropy i gazu.
- Bezpieczeństwo podziemnego składowania dwutlenku węgla zależy od właściwego wyboru lokalizacji, który, zgodnie z Dyrektywą uwzględniać powinien (Dyrektywa 2009/31/WE):
- geologię i geofizykę;
- hydrogeologię (w szczególności występowanie wody gruntowej przeznaczonej do spożycia, poziomów i pięter wodonośnych);
- inżynierię zbiornika (w tym wyliczenia wolumetryczne objętości porów dla celów zatłaczania CO<sub>2</sub> i ostatecznej pojemności składowania);

- geochemię (współczynniki rozpuszczalności, współczynniki mineralizacji);
- geomechanikę (przepuszczalność, ciśnienie szczelinowania);
- sytuację sejsmiczną;
- obecność i stan naturalnych i antropogenicznych dróg, w tym odwiertów eksploatacyjnych i otworów wiertniczych, które mogłyby stanowić drogi wycieków.

### Charakterystyka zagrożeń powodowanych przez CO<sub>2</sub>

Dwutlenek węgla to nieorganiczny związek chemiczny, tlenek węgla na IV stopniu utlenienia. W temperaturze pokojowej jest to bezbarwny, bezwonny i niepalny gaz, dobrze rozpuszczalny w wodzie i cięższy od powietrza (ok. 1,5 raza). Pod normalnym ciśnieniem przechodzi ze stanu stałego do gazowego (sublimuje) z pominięciem fazy ciekłej w temperaturze -78,5°C. Pod zwiększonym ciśnieniem (5.1 bar = 0.51 MPa) można go jednak skroplić w temperaturze -57°C (**Fig.1.1.17\_3**). W naturze występuje w stanie wolnym w atmosferze i związanym (np. jako składnik wapieni - CaCO<sub>3</sub>). Rozpuszczalność CO<sub>2</sub> w wodzie wzrasta z podwyższaniem temperatury i maleje wraz z obniżaniem ciśnienia. Rozpuszczalność CO<sub>2</sub> w wodzie także maleje wraz ze wzrostem zasolenia.



**Fig.1.1.17\_3** Obszary termodynamiczne dla dwutlenku węgla (na podstawie: IPCC, 2005; Rybicki & Łaciak, 2008)

Powszechnie występująca nazwa „suchy lód” określa dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>) w stanie stałym. Produkt ten nazywamy lodem suchym ponieważ sublimując (utleniając) się oddaje do otoczenia swoją temperaturę -73°C nie zostawiając przy tym wody. Suchy lód sublimuje pod ciśnieniem atmosferycznym w temperaturze -78,9°C, pobierając ciepło przemiany 573 kJ/kg. Wartość ta w porównaniu z lodem (wodnym), jest większa 1,9 razy w przypadku tej samej masy, a 3,3 razy większa w przypadku jednakowej objętości. Woda w połączeniu z suchym lodem przyspiesza proces sublimacji. Suchy lód otrzymuje się z gazowego CO<sub>2</sub>(przez sprężanie otrzymuje się cykl ciekły, następnie stały CO<sub>2</sub>). W laboratoriach najczęściej wykorzystuje się duże



ciepło parowania skroplonego CO<sub>2</sub>- strumień wylewanej z butli cieczy oziębia się tak silnie, że ulega częściowemu zestaleniu. Jest to materiał bezzapachowy, bezsmakowy, nietrujący, niepalny, obojętny, bakteriostatyczny o twardości 2 w skali Mohr'a. Gazowy CO<sub>2</sub> jest cięższy od powietrza a w dużych stężeniach tworzy chmurę tzw. „zimną mgłę”. Ze względu na niską temperaturę suchego lodu (poniżej -70°C) powinno się go przenosić w specjalnych izolowanych pojemnikach. Nie powinno się dotykać gołymi rękoma tylko specjalnym szczypcami w rękawicach ochronnych.

## **Ocena narażenia**

Ocena narażenia przeprowadzana jest na podstawie charakterystyki środowiska, działalności ludności nad kompleksem składowania. W celu kompleksowej oceny ryzyka niezbędne jest opracowanie szczegółowej charakterystyki środowiska nad kompleksem składowania w przypadku przejścia projektu z fazy przed - operacyjnej do operacyjnej. W opracowaniu przedstawiony został szereg symulacji oraz opracowane na ich podstawie scenariusze rozwoju zagrożeń związanych z wydostawaniem się CO<sub>2</sub> do atmosfery.

## **Ocena skutków**

### **Ocena skutków - wpływ CO<sub>2</sub> na jakość wody**

CO<sub>2</sub> w wodzie częściowo występuje w postaci kwasu węglowego. Jest ważnym składnikiem odżywczym, bez którego rośliny nie mogą dobrze się rozwijać. Stężenie CO<sub>2</sub> ma ponadto wpływ na wartość odczynu pH i twardość węglanową. Rośliny pobierają do fotosyntezy dwutlenek węgla z wody, początkowo w formie gazu CO<sub>2</sub>, potem zaś uzyskują dwutlenek węgla z dwuwęglanu wapnia, co w konsekwencji podnosi wartość pH. Oznacza to, że im większa jest twardość węglanowa tym mniej znajduje się w wodzie dostępnego CO<sub>2</sub>. Optymalną zawartością dwutlenku węgla w wodzie wydaje się wartość pomiędzy 5 - 15 mg/l a graniczną 30 mg/l i należy uważać nad przekroczeniem granicznej wartości, gdyż może wystąpić przyducha ryb. Rys 1.1.17\_4 przedstawia zależność pH on od stężenia CO<sub>2</sub> w wodzie morskiej i solankach dla temperatur 0°C i 25°C.

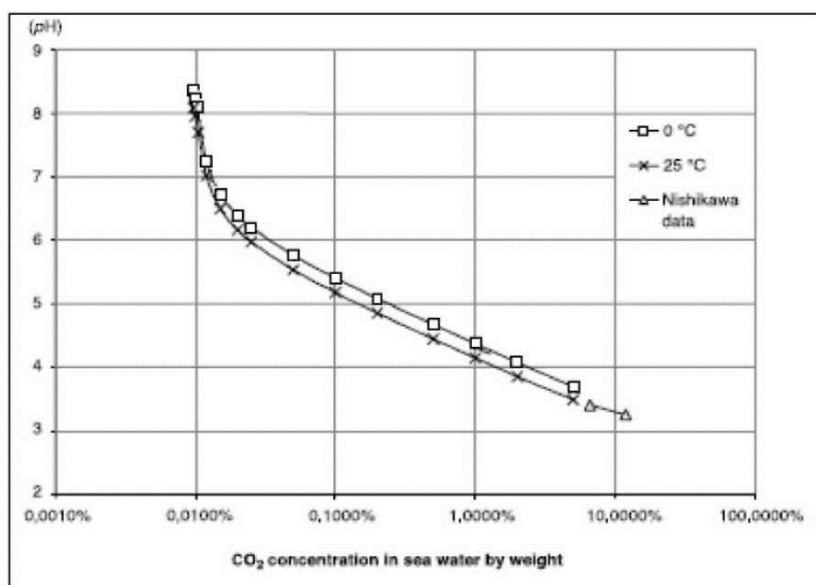


Fig.1.1.17\_4 Zależność pH od stężenia CO<sub>2</sub> w wodzie morskiej i solankach

### Ocena skutków - wpływ CO<sub>2</sub> na zdrowie i życie

Dwutlenek węgla jest produktem spalania i oddychania. Jest wykorzystywany przez rośliny w procesie fotosyntezy. Tworzy się przy utlenianiu i fermentacji substancji organicznych. Występuje w kopalniach, cukrowniach, gorzelniach, wytwórniach win, silosach zbożowych, browarach i studzienkach kanalizacyjnych. W małych stężeniach nie jest trujący, w większych stężeniach dwutlenek węgla jest szkodliwy dla zdrowia a nawet zabójczy, a jego działanie powoduje powstawanie hiperkapii a co za tym idzie kwasicy oddechowej i w następstwie obrzęku mózgu.

Tab.1.1.17\_1 Higieniczne kryteria bezpieczeństwa

Stężenie CO <sub>2</sub> % objętości	Wpływ na człowieka	Poziom ryzyka
0.04	powietrze w naturze	akceptowalny
0.07	powietrze w wolnej przestrzeni w mieście	
0.08	wzrastająca wrażliwość zapachowa	
0.1	maksymalna akceptowalna zawartość CO <sub>2</sub>	
0.14	maksymalne akceptowalne stężenie w pomieszczeniach biurowych	tolerowalny

0.4	maksymalna wartość w izbie klasowej	nietolerowalny
0.5	NDS - 5000ppm, 9000mg/m <sup>3</sup>	
2	fizjologiczna wartość krótkotrwale tolerowana	
3	trudności z oddychaniem	
4-5	zjawisko bezwładu	
5-10	dawka śmiertelna przy długotrwałym wdychaniu	
>10	gaśnięcie świecy	
>30	natychmiastowa śmierć na skutek porażenia ośrodka oddechowego	

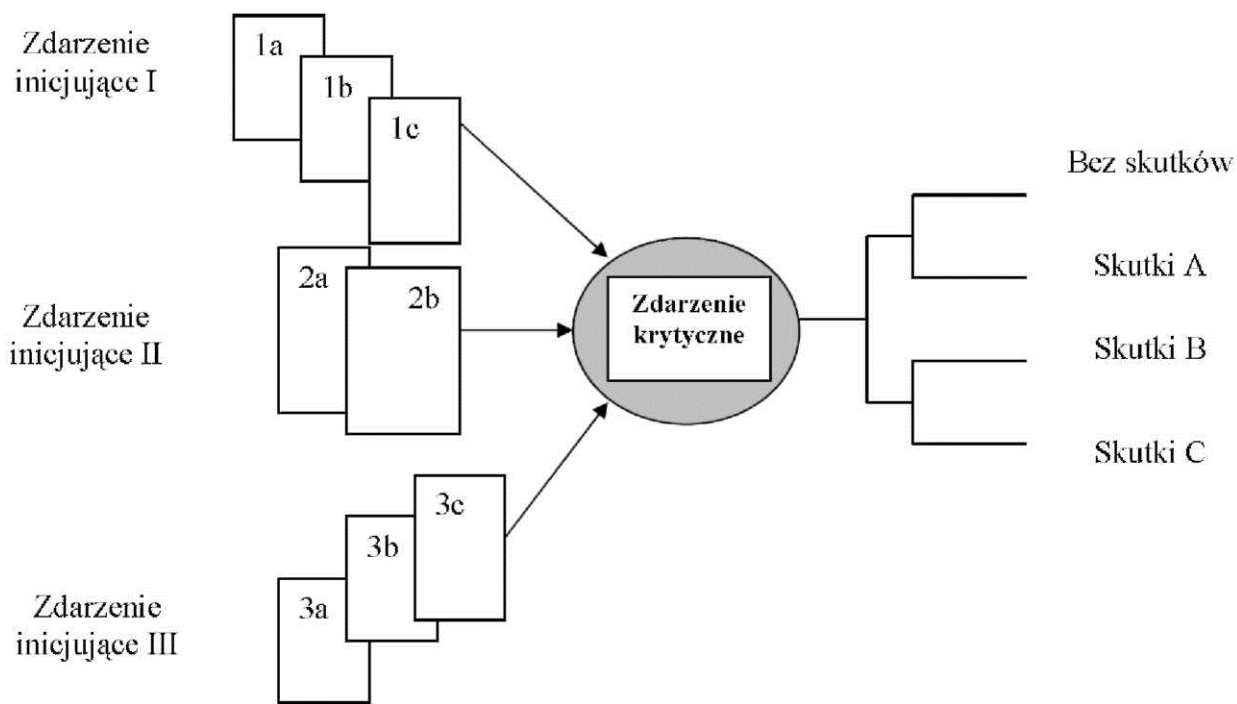
### Metodologia szacowania ryzyka niekontrolowanego wycieku CO<sub>2</sub>.

Przyjęta metodologia oceny ryzyka oparta została na następujących założeniach:

- przyjęciu higienicznych kryteriów wpływu CO<sub>2</sub> na zdrowie ludzi i środowisko (zgodnie z **Tab.1.1.17\_1**)
- tworzeniu scenariuszy rozwoju niebezpiecznych zdarzeń,
- doborze odpowiednich metod profilaktyki i prewencji dla zapobiegania rozwojowi scenariusza zdarzeń lub ograniczania skutków tych zdarzeń tzw. warstw zabezpieczeń.

Określenie możliwych scenariuszy (ciągów) zdarzeń awaryjnych wiąże się z koniecznością odpowiedzi na szereg pytań, na przykład (patrz też **Fig.1.1.17\_5**):

- co się stanie gdy określone składowisko zawiedzie,
- co się stanie gdy zostanie popełniony błąd (np. obsługi),
- co się stanie gdy wystąpią np. wstrząsy sejsmiczne,
- co się stanie gdy nastąpi niekontrolowana erupcja CO<sub>2</sub> na przykład przez źle zabezpieczony otwór.



**Fig.1.1.17\_5** Schemat scenariusza rozwoju zagrożenia

Metoda ta wymaga wyczerpującej wiedzy o składowisku i stosowania modeli logicznych, aby odpowiedzieć zadowalająco na to pytanie (zobacz też Risk assessment...TNO, 2006). Podstawowymi elementami postępowania w tym wypadku są:

1. Szczegółowe zapoznanie się z warunkami składowania CO<sub>2</sub>. Dla kompleksowej oceny bezpieczeństwa składowiska (Larsen et al., 2007) koniecznym jest uzyskanie i przeanalizowanie informacji obejmujących (wg Dyrektywy 2009/31/WE):

a) geologię i geofizykę zbiornika;

b) hydrogeologię (w szczególności występowanie pitnej wody gruntowej);

c) inżynierię zbiornika (w tym wyliczenia wolumetryczne objętości porów dla celów zatłaczania CO<sub>2</sub> i ostatecznej pojemności składowania, warunków ciśnieniowych i temperaturowych, zmian wartości ciśnienia w funkcji zatłaczania gazu do formacji, łącznego współczynnika i czasu zatłaczania);

d) geochemię (współczynniki rozpuszczalności, współczynniki mineralizacji);

e) geomechanikę (przepuszczalność, ciśnienie szczelinowania);

f) sytuację sejsmiczną (ocenę potencjału indukowanych wstrząsów);

g) obecność i stan naturalnych i antropogenicznych dróg, które mogłyby stanowić drogi wycieków.

2. Identyfikacja "zdarzeń inicjujących" tj. tych zdarzeń, które mogą zapoczątkować scenariusz wypadku. Ogólnie wszystkie zdarzenia początkujące mogą być podzielone na dwie główne klasy: zdarzenia "wewnętrzne" i zdarzenia "zewnętrzne". Zdarzenia wewnętrzne to te, które wynikają z niesprawnego funkcjonowania, ewentualnie uszkodzenia pojedynczego elementu składowiska lub całych systemów. Włącza się przy tym w tę klasę zdarzenia wynikające z błędów obsługi operatorskiej, monitoringu zagrożenia itp. lub zdarzenia zewnętrzne spowodowane są przez inne przyczyny, komplementarne do ww. W związku z wagą właściwego wyboru zdarzeń początkujących dla ich wyznaczenia stosuje się często różnorodne procedury formalne systematycznej selekcji. Jej pierwszym krokiem jest określenie niepożądanego skutku, jakim jest uwolnienie (ucieczka) CO<sub>2</sub> ze składowiska. Drugim krokiem jest identyfikacja wszystkich możliwych źródeł ucieczek CO<sub>2</sub> na obszarze analizowanego składowiska. Trzecim krokiem jest określenie stanów eksploatacyjnych obiektu, które wpływają na wielkość uwolnień. Czwarty krok to ustalenie wszystkich "barier" zabezpieczających przed uwolnieniem substancji niebezpiecznych z ich potencjalnych źródeł. Na końcu ustala się możliwe mechanizmy naruszenia tych barier. Przykłady zdarzeń inicjujących ucieczki CO<sub>2</sub> ze składowiska przedstawione zostały na **Fig.1.1.17\_6**.

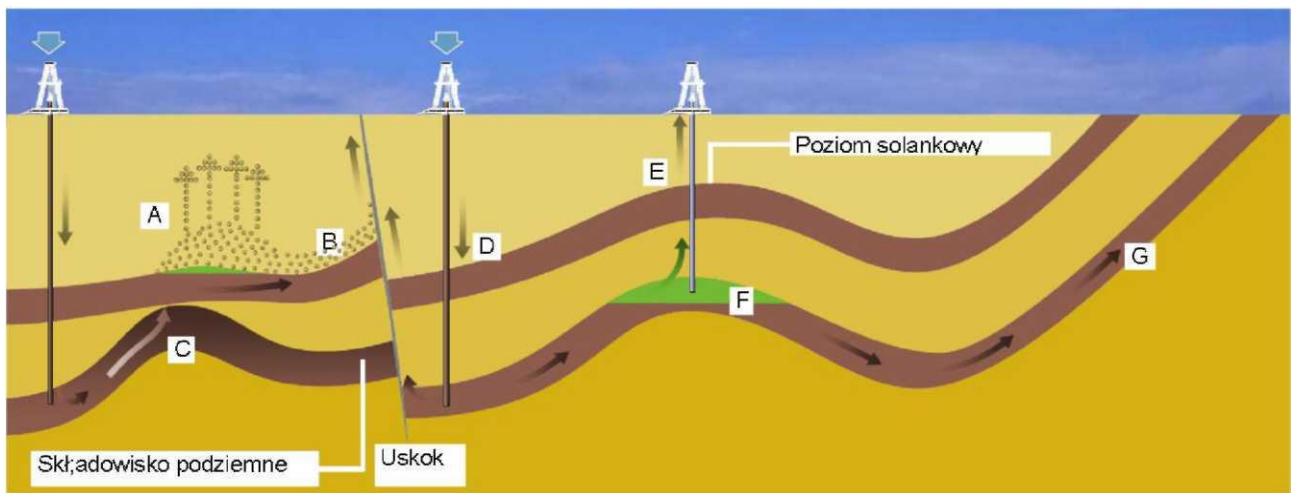


Fig.1.1.17\_6 Mechanizm potencjalnych ucieczek zatłoczonego do górotworu CO<sub>2</sub>

A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.
Ciśnienie CO <sub>2</sub> przewyższa ciśnienie kapilarne w górotworze i następuje wypływ poprzez mułowce i piaskowce drobnoziarniste	Uwolnione CO <sub>2</sub> przedostaje się z A do wyższych poziomów solankowych wzdłuż uskoku	CO <sub>2</sub> przedostaje się poprzez szczelinę w górotworze do wyższych poziomów solankowych	Zatłaczane CO <sub>2</sub> migruje w górę na skutek przekroczenia ciśnienia przepuszczalności uskoku	CO <sub>2</sub> wydostaje się poprzez źle uszczelniony nieczynny otwór	Naturalny przepływ wody rozpuszcza CO <sub>2</sub> i transportuje go na zewnątrz zamknięcia	Rozpuszczone CO <sub>2</sub> wydostaje się do atmosfery

### Środki zaradcze

A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.
Wypompować i oczyszczać wodę gruntową	Wypompować i oczyszczać wodę gruntową	Usunąć CO <sub>2</sub> i zatłoczyć w gdzie indziej	Zmniejszyć ciśnienie lub szybkość zatłaczania	Uszczelnić otwór poprzez zacementowanie	Przechwycić i ponownie zatłoczyć CO <sub>2</sub>	Przechwycić i ponownie zatłoczyć CO <sub>2</sub>

3. Analiza możliwych konsekwencji dla środowiska na skutek niekontrolowanego uwolnienia się dwutlenku węgla. Zadanie to pociąga za sobą konstrukcję odpowiednich modeli logicznych (zwykle drzew zdarzeń - Gerstenberger et al., 2008), które wyrażają odpowiedzi obiektu poprzez możliwe warianty progresji zdarzeń. Progresja zdarzeń jest zdefiniowana jako ciąg kolejno po sobie następujących zdarzeń po zdarzeniu początkującym. W przypadku ucieczki CO<sub>2</sub> decydujące znaczenie na zakres skutków mają warunki pogodowe i topografia terenu. W tym przypadku funkcje bezpieczeństwa są wyrażone w kontekście działań, które muszą zostać podjęte i zrealizowane w ramach procesu zapobiegania skutkom nieprzewidywanych

ucieczek CO<sub>2</sub>. Zdefiniowane są trzy główne rodzaje podejmowanych działań które tworzą tzw. warstwy ochronne:

- zapobieganie,
- kontrolowanie,
- ograniczanie.

**Tab.1.1.17\_2** Zdefiniowane obszary działań.

Warstwa	Rodzaj środka	Uwagi
I. Zapobiegania	<ul style="list-style-type: none"> <li>- -Staranny dobór składowiska</li> <li>- -Określenie prawdopodobnych dróg uciezek CO<sub>2</sub> ze składowiska, konstrukcyjnymi i eksploatacyjnymi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ocena oddziaływania na środowisko.</li> </ul>
II. Ochrony	<ul style="list-style-type: none"> <li>- -System monitoringu</li> <li>- -Działanie operatora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wysoka niezawodność systemu</li> </ul>
III. Minimalizacji skutków	<ul style="list-style-type: none"> <li>- -System jeden telefon</li> <li>- -Skuteczny system ratownictwa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dobra komunikacja ze społeczeństwem</li> <li>- Umowy z PSP i własne brygady ruchome z helikopterem</li> </ul>

## Charakterystyka ryzyka geologicznego dla formacji ostrowieckiej

Najważniejsze z punktu widzenia bezpieczeństwa geologicznego składowania dwutlenku węgla w formacji ostrowieckiej zidentyfikowane i przeanalizowane zagrożenia przedstawione zostały w tabeli poniżej (Tab. 1.1.17\_3; wg. Quintessa FEP database, „Best practice”, Chadwick et al., 2008).

Tab.1.1.17\_3 Ocena skutków najważniejszych zagrożeń dla formacji ostrowieckiej ("Mapa" ryzyka).

Właściwości zbiornika	Charakterystyka	Zagrożenie	Uwagi
<b>Miąższość</b>	W strefach bocznych miąższość waha się w granicach 55-63 m jednak w szczycie struktury maleje do jedynie 15 m (Zaosie 1)	Zgodnie z zaleceniami miąższość kolektora powinna wynosić powyżej 30m; wskaźnikiem negatywnym jest miąższość poniżej 20m	Bezpośrednim uszczelnieniem dla tego poziomu zbiornikowego są ilaste utwory formacji gielniowskiej o znacznej miąższością w szczytowych i pnwsch. partiach antykliny Budziszewic (do 98 m).
<b>Hydrogeologia</b>	Magazynowanie na małych głębokościach - nieco poniżej 800 m	Możliwość migracji do wód o wyższych horyzontach ze względu na zbliżoną do wody gęstość	Zagrożenie minimalizowane poprzez obecność „podwójnej” izolacji (drugi kolektor z nadkładem)
Właściwości warstw izolujących	Charakterystyka	Zagrożenie	Uwagi
<b>Nadkład</b>	Ilaste utwory formacji gielniowskiej	Ścienienie na płd. zach. skłonie struktury; miąższość poniżej zakładanej dla poziomów uszczelniających (ok. 35 m, zamiast 50 m)	Przy przejściu do fazy operacyjnej niezbędny dodatkowy monitoring w obrębie ścienienia nadkładu kolektora
<b>Nadkład</b>	Ilaste utwory formacji gielniowskiej, formacja drzewicka, formacja ciechocińska	Ewentualne zagrożenie spowodowane przerwaniem ciągłości nadkładu formacji kolektora, minimalizowane jest poprzez obecność w wyższych warstwach kolektora w formacji drzewickiej	Przy ocenie ryzyka dla kolektora formacji drzewickiej należy uwzględnić ewentualne jego zasilanie przez CO <sub>2</sub> z kolektora formacji ostrowieckiej
<b>Uskoki</b>	Uskok w triasie na wschód od otworów Buków-1 i Buków-2	brak	Wg sejsmiki nie obejmuje jury
Uwarunkowania antropogeniczne	Charakterystyka	Zagrożenie	Uwagi
<b>Lokalizacja otworów wiertniczych</b>	Występowanie w obrębie formacji wiertniczych	Niewłaściwe uszczelnienie - potencjalne drogi migracji CO <sub>2</sub>	Przy przejściu do fazy operacyjnej niezbędna jest kontrola stanu likwidacji (uszczelnienia) otworów



<b>Działalność eksploatacyjna</b>	Brak	Brak	
<b>Warunki zatłaczania</b>	<b>Charakterystyka</b>	<b>Zagrożenie</b>	<b>Uwagi</b>
<b>Nadciśnienie</b>	Wyniki symulacji i modelowań dynamicznych zatłaczania	Ciśnienie CO <sub>2</sub> przewyższa ciśnienie kapilarne w górotworze	Z przeprowadzonych symulacji wynika iż mimo występujących ograniczeń spowodowanych wysokością ciśnienia hydrostatycznego brak jest przesłanek do rozszczelnienia struktury. Szczególną uwagę (wg wyników modelowania) należy zwrócić na zmiany ciśnienia przy otworach zatłaczających po kilkudziesięciu latach zatłaczania

## Scenariusze rozwoju zagrożeń związanych z wydostawaniem się CO<sub>2</sub> do atmosfery

Zgodnie z opisaną powyżej metodologią opracowano szereg scenariuszy rozwoju niebezpiecznych zdarzeń związanych z możliwością uwolnienia się ze składowiska CO<sub>2</sub>.

W każdym scenariuszu uwzględniono następujące czynniki zewnętrzne mające wpływ na wielkość skutków:

- ilość uwolnionej substancji
- rodzaj terenu (gęstość zabudowy, bliskość akwenów wodnych)
- pora roku i dnia - temperatura powietrza
- prędkość wiatru,
- wilgotność powietrza.

Założone zostały następujące poziomy stężenie CO<sub>2</sub>:

- 1000 ppm stężenie akceptowalne,
- 5000 ppm stężenie dopuszczalne,
- 2000 ppm stężenie niedopuszczalne

Korzystając z ogólnie dostępnego programu ALOHA przeprowadzona została szczegółowa analiza rozwoju zdarzeń po punktowej ucieczce CO<sub>2</sub> z górotworu. Przyjęto następujące założenia:

- rodzaj wypływu CO<sub>2</sub> - miejscowy,
- rodzaj terenu - otwarta przestrzeń,
- prędkość wiatru - zmienna w granicach od 1 m/s do 9 m/s,
- wielkość emisji - 0,1 m<sup>3</sup>/s do 0,3 m<sup>3</sup>/s.

Dla maksymalnej emisji CO<sub>2</sub> równej 0,3 m<sup>3</sup>/s (tzn. ponad 2 tony/godzinę) dokonano podobnych analiz dla obszaru zabudowanego oraz wodnego. Zbiorcze wykresy przedstawione zostały na **Fig. 1.1.17\_7 – Fig. 1.1.17\_9**.

Nie analizowano zjawisk katastroficznych, jak np. erupcja CO<sub>2</sub> oraz sytuacji kumulowania się CO<sub>2</sub> w zagłębieniach terenu.

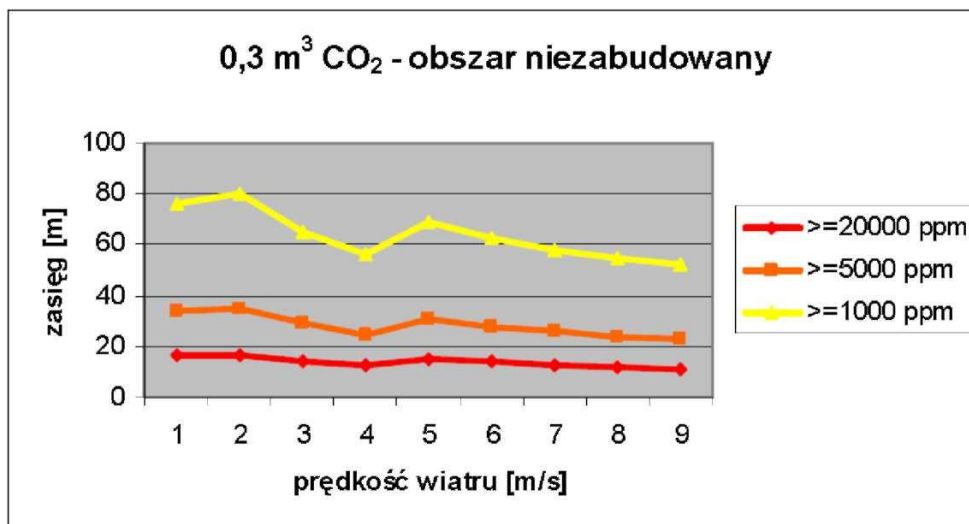


Fig.1.1.17\_7 Zasięgi stężeń CO<sub>2</sub> w terenie niezabudowanym w przypadku emisji 0,3 m<sup>3</sup>/s CO<sub>2</sub>

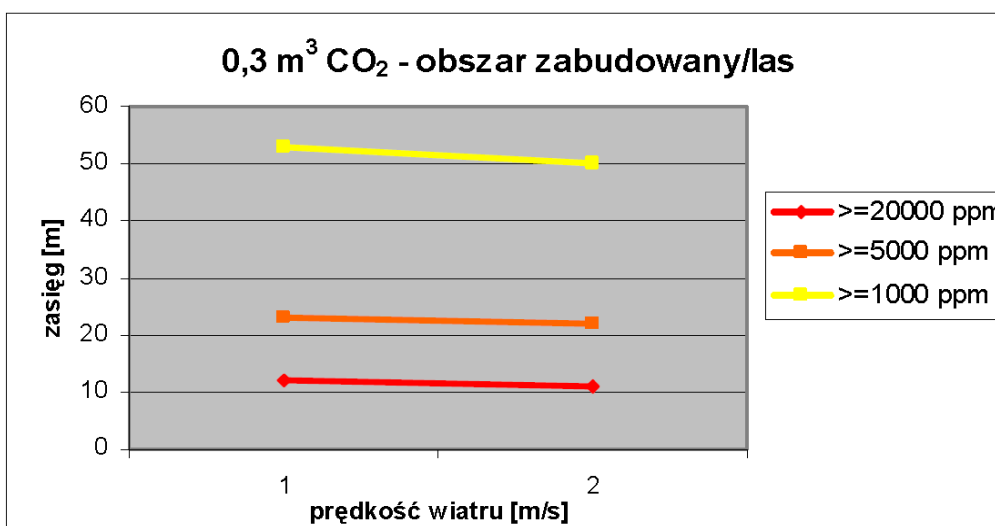


Fig.1.1.17\_8 Zasięgi stężeń CO<sub>2</sub> w terenie zabudowanym w przypadku emisji 0,3 m<sup>3</sup>/s CO<sub>2</sub>

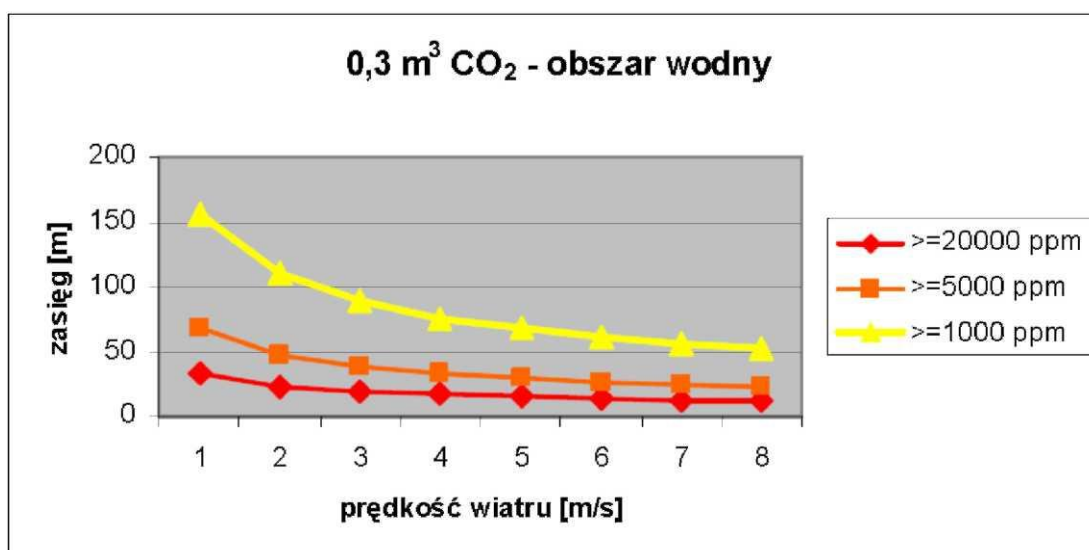


Fig.1.1.17\_9 Zasięgi stężeń CO<sub>2</sub> na obszarze wodnym w przypadku emisji 0,3 m<sup>3</sup>/s CO<sub>2</sub>

## Wnioski

1. Składowanie dwutlenku węgla w formacjach geologicznych niesie za sobą ryzyko niekontrolowanego wydostania się gazu poza zbiornik, co może być wynikiem przenikania przez warstwowe struktury geologiczne wskutek różnicy ciśnień pomiędzy gazem a otaczającymi formacjami geologicznymi, przenikaniem przez „rozluźnione” wpływem CO<sub>2</sub> struktury bądź też przez wykonane w trakcie realizacji otwory wiertnicze. Analiza i ocena ryzyka geologicznego składowania dwutlenku węgla uwzględniać musi wszystkie możliwe drogi migracji dwutlenku węgla w zależności od warunków petrofizycznych i termodynamicznych oraz zastosowane w fazie projektowania i wykonania rozwiązania techniczne zapobiegające i kontrolujące to zagrożenie, a ponadto winna uwzględniać wyniki przeprowadzonych badań i analiz geofizyczno - geologicznych, charakterystykę hydrogeologiczną formacji wodonośnych i geochemiczną płynów złożowych z uwzględnieniem reakcji CO<sub>2</sub> ze skałami i solankami.

2. Analiza i ocena ryzyka przedmiotowej formacji przeznaczonej do geologicznego składowania dwutlenku węgla nie wykazała znaczących zagrożeń mogących spowodować ucieczki gazu poza zbiornik. Wynika to z faktu iż formacja ostrowiecka posiada dość dobre warunki uszczelniające a dodatkowo bezpośrednio nad warstwą nadkładu zalega drugi z analizowanych kolektorów. Można więc założyć, że ewentualne przerwanie szczelności zbiornika spowoduje migrację CO<sub>2</sub> do kolektora formacji drzewickiej.

3. Dużym utrudnieniem w przedmiotowej analizie jest niewystarczająca ilość danych niezbędnych do jej wykonania. Wynika to z faktu równoległej realizacji poszczególnych zadań w zakresie charakterystyki formacji przeznaczonej do składowania. W związku z tym w przypadku przejścia projektu do fazy realizacji koniecznym jest ponowne przeprowadzenie oceny uwzględniającej ostateczne wyniki przeprowadzonych badań i analiz.

4. W oparciu o wpływ stężeń CO<sub>2</sub> powietrza na organizm człowieka, faunę i florę oraz dane literaturowe określono kryteria szacowania ryzyka oraz wielkości graniczne dla stężeń akceptowalnych, dopuszczalnych i niedopuszczalnych.;

- <1000 ppm stężenie akceptowalne,

- 5000 ppm stężenie dopuszczalne,

- >5000 ppm do 20000 ppm stężenie tolerowalne ale w krótki okresie czasu,

- >20000 ppm stężenie niedopuszczalne.

5. Korzystając z programu ALOHA przeprowadzona została szczegółowa analiza szeregu scenariuszy rozwoju zdarzeń po miejscowej ucieczce CO<sub>2</sub> z górotworu. Z analizy tej wynika, że duże stężenia, wyższe od dopuszczalnych, występują tylko w bezpośredniej bliskości źródła emisji CO<sub>2</sub>. Zasięg strefy podwyższonych stężeń, w granicach dopuszczalnych, rozciąga się do 100m w przy czym najwyższe stężenia występują przy wiatrach o prędkości do 4 m/s. Większe zagrożenie dla fauny i flory stanowi możliwość długotrwałego utrzymywania się CO<sub>2</sub> zagłębieniach terenu. 6. Akweny wodne sprzyjają rozprzestrzenianiu się chmury CO<sub>2</sub> a ponadto rozpuszczony w wodzie dwutlenek węgla powoduje zakwaszenie wody co prowadzi do zamierania życia.

## **Ocena ryzyka składowania CO<sub>2</sub> w tym opis potencjalnych zagrożeń wyciekami CO<sub>2</sub> i migracją solanki (INiG)**

**(Bogdan Filar, Mariusz Miziołek, Wacława Piesik-Buś, Jadwiga Zamojcin, Dorota Piróg, Iwona Byś, Władysława Kędra, Mariusz Słyś)**

Podziemne struktury geologiczne wykorzystywane są na świecie do magazynowania gazu ziemnego od 1915 roku. Należy podkreślić to, że struktury solankowe przeznaczone do składowania dwutlenku węgla różnią się od złóż gazu ziemnego tym, że ich szczelność nigdy wcześniej nie była sprawdzana. W związku z tym, najważniejszy etap możliwości składowania CO<sub>2</sub> w podziemnej strukturze polega na sprawdzeniu szczelności całej pułapki, w której projektuje się magazynować gaz. Etap ten polega na kompilacji wszystkich dostępnych danych (wiertniczych, sejsmicznych, geofizycznych, eksploatacyjnych i laboratoryjnych) w celu potwierdzenia przydatności struktury do składowania CO<sub>2</sub>. W oparciu o wymienione dane wykonano mapę stropu oraz miąższości warstwy uszczelniającej potencjalne poziomy magazynowe. Wykonane mapy były konieczne do oceny szczelności skał uszczelniających. W następnej kolejności dokonano analizy czynników ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w warstwach jury i triasu. W pracy przedstawiono również opis ryzyka związanego z ewentualnymi ucieczkami dwutlenku węgla, w tym ocenę wpływu ucieczek dwutlenku węgla na ludzi, zwierzęta i rośliny.

### **Identyfikacja czynników ryzyka składowania CO<sub>2</sub> w solankowych poziomach struktury zawodnionej Budziszewice-Zaosie**

Głównym celem podziemnego składowania CO<sub>2</sub> jest ograniczenie wpływu działalności ludzkiej na zmiany klimatyczne poprzez redukcję emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Magazynowanie CO<sub>2</sub> w głębokich strukturach solankowych jest stosunkowo nową technologią. Podziemne magazynowanie gazów wymaga wytypowania odpowiedniej struktury geologicznej. Podstawowym problemem związanym z wyborem takiej struktury jest niewielka ilość danych. Bazując na skąpych danych bardzo trudno jest jednoznacznie ocenić przydatność struktury do magazynowania CO<sub>2</sub>. Jednakże bez względu na posiadane dane każda analizowana struktura powinna spełniać minimum podstawowych kryteriów koniecznych do jej konwersji na podziemne składowisko dwutlenku węgla. Podstawowym kryterium, które musi spełnić wytypowana struktura jest jej szczelność, odpowiednie zamknięcie pułapki oraz szczelność skał nadkładu (skał uszczelniających warstwy magazynowe od góry). Należy pamiętać, że szczelność struktury zawodnionej, w porównaniu do złóż ropy naftowej i gazu ziemnego nigdy nie była sprawdzona. O ile struktury, w których powstały złoża węglowodorów są szczelne, o tyle nie mamy bezpośredniego dowodu na to, że struktura zawodniona będzie szczelna po zatłoczeniu do niej CO<sub>2</sub>. Należy pamiętać, o tym, że zatłoczenie CO<sub>2</sub> do wytypowanych warstw wymaga przekroczenia ciśnienia hydrostatycznego, co samo w sobie niesie ryzyko rozszczenia pułapki. Niestety mała ilość danych związana jest również z analizą ryzyka składowania CO<sub>2</sub> w strukturze Budziszewice-Zaosie. Dane z analizowanej struktury pozwalają jedynie na wstępne określenie jej szczelności. Należy pamiętać o tym, że parametr ten wymaga dalszych szczegółowych badań (co byłoby możliwe w ramach monitoringu zerowego).

Zarządzanie ryzykiem geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w poziomach solankowych struktury Budziszewice-Zaosie jest trudne ze względu na małą ilość danych. Oszacowanie ryzyka podziemnego składowania CO<sub>2</sub> jest bardzo ważne, gdyż w przypadku rozszczenia struktury lub braku szczelności może dojść do skażenia środowiska powierzchniowego jak i podziemnego (zasobów wody pitnej).

W celu prawidłowego zdefiniowania ryzyka składowania CO<sub>2</sub> w poziomach solankowych struktury Budziszewice autorzy opracowania wykorzystali bazę wiedzy Quintessa FEP (Features - cech, Events - wydarzeń i Processes - procesów). Baza zawiera informację na temat około 200 czynników związanych z ryzykiem podziemnego składowania CO<sub>2</sub>. Bezpłatny dostęp do bazy można uzyskać logując się na portalu [www.quintessa.org](http://www.quintessa.org). Czynniki FEP zostały wybrane pod kątem bezpieczeństwa długotrwałego składowania dwutlenku węgla w strukturach podziemnych. Baza posiada strukturę hierarchiczną, w której wszystkie czynniki zostały zgrupowane w osiem kategorii, ponumerowanych od 0 do 7. Kolejne grupy czynników ryzyka zawierają:

0 - parametry dotyczące podstaw, założeń i zakresu analizy ryzyka,

1 - czynniki zewnętrzne, geologiczne, klimatyczne oraz aktywność ludzką,

2 - dane związane bezpośrednio z magazynowaniem CO<sub>2</sub> w strukturze podziemnej,

3 - parametry związane z chemicznymi własnościami dwutlenku węgla oraz z jego transportem,

4 - opis geosfery całego systemu magazynowania, włączając w to geologię, hydrogeologię i geochemię,

5 - dane związane z odwiertami, występującymi i planowanymi do odwiercenia na strukturze,

6 - parametry dotyczące środowiska „przypowierzchniowego”,

7 - opis wpływu składowania CO<sub>2</sub> na ludzi, faunę i florę.

W **Tab.1.1.17\_4** przedstawiono opis poszczególnych czynników ryzyka zgodny ze schematem zaproponowanym w bazie Quintessa FEP.

Przedstawiony opis czynników ryzyka składowania CO<sub>2</sub> w strukturze Budziszewice-Zaosie pozwala na wyselekcjonowanie parametrów, które na tle obecnie posiadanej wiedzy mogą mieć negatywny wpływ na podjęcie decyzji związanej z uruchomieniem inwestycji składowania. Do czynników, które mogą stworzyć największe ryzyko należy zaliczyć szczelność struktury oraz wpływ ewentualnej ucieczki (migracji CO<sub>2</sub>) na ludzi, zwierzęta i rośliny.

W wypadku, gdy struktura jest stosunkowo wysoką antykliną to szczelność struktury zależy głównie od szczelności skał nadkładu leżących bezpośrednio nad warstwami magazynowymi. Struktura Budziszewice posiada dwa potencjalne horyzonty magazynowe, jurę dolną i trias dolny. W związku z tym, że poziom triasu posiada znacznie gorsze parametry od poziomu jurajskiego oraz prognozowane ciśnienie składowania przekracza o 37% ciśnienie hydrostatyczne, to zdecydowano się przeprowadzić analizę szczelności skał nadkładu dla warstw jurajskich. Należy podkreślić, że przeprowadzenie analizy nadkładu dla warstw jurajskich nie wyklucza możliwości składowania CO<sub>2</sub> w warstwach triasu, jednakże analiza szczelności nadkładu dla triasu powinna obejmować badania laboratoryjne wykonane na rdzeniach. Powinno określić się ciśnienie graniczne, powyżej którego nadkład zaczyna przepuszczać składowane CO<sub>2</sub>.

**Tab.1.1.17\_4** Opis czynników ryzyka (baza Quintessa FEP).

<b>FEP kategoria</b>	<b>FEP klasa</b>	<b>FEP</b>	<b>Przegląd czynników</b>
0. Podstawy analizy ryzyka	0.1 Cel analizy		Ocena ryzyka podziemnego składowania CO <sub>2</sub> w warstwach zawodnionych struktury Budziszewice-Zaosie. Składowany CO <sub>2</sub> będzie emitowany przez elektrownię Bełchatów.
	0.2 Docelowe punkty zainteresowania		Zidentyfikowanie ryzyka nieszczelności struktury, wpływu składowania na zanieczyszczenie warstw podziemnych i powierzchniowych.
	0.3 Przestrzenny zakres analizy		Warstwy nadkładu (uszczelnienia) oraz obszary powierzchniowe położone w pobliżu struktury Budziszewice-Zaosie. Analiza ryzyka dotyczy terenów rolniczych oraz małych skupisk ludzkich. Struktura usytuowana jest w odległości około 7 km na północ od Tomaszowa Mazowieckiego.
	0.4 Zakres czasowy badania		200 lat
	0.5 Założenia sekwestracyjne		Analiza ryzyka jest przeprowadzona dla zakładanego scenariusza magazynowania CO <sub>2</sub> wychwyconego z emisji elektrowni Bełchatów. Składowana ilość CO <sub>2</sub> podczas 25 lat zatłaczania będzie wynosić 45 milionów ton (1,8 mln ton rocznie). CO <sub>2</sub> będzie zatłaczane do warstwy solankowej jury i triasu.
	0.6 Założenia dot. przyszłej działalności ludzkiej		Zakłada się, że odwierty zatłaczające zostaną zlikwidowane (zgodnie z wymogami obowiązującego prawa) po zakończeniu zatłaczania CO <sub>2</sub> . W związku z tym działalność ludzka zostanie ograniczona do monitorowania struktury.
	0.7 Aspekty prawne		Składowanie CO <sub>2</sub> w strukturze Budziszewice będzie spełniać wymogi: Prawa geologicznego i górniczego, Ustawy o ochronie środowiska i Prawa budowlanego. Inwestor musi posiadać prawo do własności terenu, na którym,

			zostaną zbudowane instalacje do zatłaczania CO <sub>2</sub> . Wymagana jest akceptacja społeczna dla całego przedsięwzięcia.
	0.8  Modele symulacyjne i dostępność danych		Struktura została odkryta odwiertami Buków-1, Buków-2, Zaosie-1, Zaosie-2, Zaosie-3 oraz Budziszewice IG-1. Słabe rozpoznanie sejsmiczne, w większości z lat 1970-tych oraz niewielka ilość danych w znaczącym stopniu utrudniają pełną analizę przydatności struktury zawodnionej Budziszewice do składowania CO <sub>2</sub> .
1. Czynniki zewnętrzne	1.1 Parametry geologiczne	1.1.1 Tektonika	W skrzydle SW struktury wyznaczono 3nuskoki o niewielkich zrzutach. Uskoki zaczynają się w cechszynie, kończą w triasie.
		1.1.2 Aktywność wulkaniczna	Nie występuje aktywność wulkaniczna.
		1.1.3 Trzęsienia ziemi	Nie występowały.
		1.1.4 Hydrotermiczna aktywność	Nie występuje aktywność hydrotermiczna.
		1.1.5 Wpływ hydrogeologii na zmiany geologiczne	Nie przewiduje się wpływu.
		1.1.6 Wpływ erozji na składowanie CO <sub>2</sub>	Nie przewiduje się wpływu erozji na składowanie.
		1.1.8 Uderzenie meteorytem	Zakłada się, że uderzenie meteorytem o takiej wielkości, która spowodowałaby rozszczelnienie struktury jest mało prawdopodobne.
	1.2 Czynniki klimatyczne	1.2.1 Globalna zmiana klimatu	Globalna zmiana klimatu nie wpłynie na ryzyko składowania CO <sub>2</sub> w podziemnej strukturze.
		1.2.2 Regionalna i lokalna zmiana klimatu	Nie będzie miała wpływu z powodów opisanych w punkcie 1.2.1.
		1.2.3 Zmiana poziomu morza	Nie będzie miała wpływu.
	1.3	1.3.1	Działalność ludzka prowadzi do emisji CO <sub>2</sub> , a



	Przyszła aktywność ludzka	Wpływ człowieka na klimat	co za tym idzie wpływa na globalne ocieplenie
		1.3.2 Działalność wiertnicza	Wykonywanie głębokich wierceń w obszarze struktury jest mało prawdopodobne z powodu braku zasobów naturalnych. Płytkie wiercenia hydrogeologiczne są możliwe, jednakże nie osiągną one głębokości składowania CO <sub>2</sub> , nie przewiercą skał uszczelniających poziom magazynowy.
		1.3.3 Rozwój społeczeństwa	Zmiany społeczne nie wpłyną na bezpieczeństwo składowania CO <sub>2</sub> .
		1.3.4 Rozwój technologiczny	Rozwój technologiczny przyczyni się do lepszego monitoringu oraz do lepszego radzenia sobie z ewentualnymi ucieczkami CO <sub>2</sub> .
		1.3.5 Aktywność ludzka na powierzchni	Występuje możliwość prac budowlanych, które naruszą powierzchnię terenu zlokalizowaną nad strukturą. Prace te nie będą miały wpływu na warstwy zawodnione, w których przewiduje się składowanie CO <sub>2</sub> .
		1.3.6 Wykorzystanie wody pitnej	Rozszczelnienie struktury może spowodować skażenie wody pitnej. Jednak jest to mało prawdopodobne, gdyż głębokość studni w większości nie przekracza 100 m.
		1.3.7 Wpływ CO <sub>2</sub> na przyszłe operacje geologiczne	Składowanie CO <sub>2</sub> nie wpłynie na operacje geologiczne, ponieważ w badanym obszarze nie występują zasoby węglowodorów.
		1.3.8 Eksplzje i katastrofy	Ewentualne eksplozje i katastrofy nie będą miały wpływu na głęboko położone struktury solankowe.
2. Magazynowanie CO <sub>2</sub>	2.1 Przebieg zatłaczania do zamknięcia projektu	2.1.1 Założenie projektowe	Zatłaczanie zostanie prowadzone 4 otworami do formacji jurajskich i triasowych. Założenia zakładają, że: 1. CO <sub>2</sub> będzie składowane w fazie ciekłej; 2. zatłoczone CO <sub>2</sub> nie „wyjdzie” poza pułapkę.
		2.1.2 Pojemność składowania, tempo	Prognozuje się zatłoczenie 1,8 mln ton CO <sub>2</sub> rocznie przez 25 lat czterema odwiertami co stanowi ułamek całkowitej pojemności.

		zatlaczania	
		2.1.3 Skład zatłaczanego CO <sub>2</sub>	Skład zatłaczanego gazu będzie zgodny z normami.
		2.1.4 Harmonogram inwestycji	Na obecnym etapie harmonogram inwestycji nie jest znany.
		2.1.5 Monitoring składowiska	Przewiduje się monitorowanie ciśnień, szczelności odwiertów, składu zatłaczanego gazu. Możliwe jest wykorzystanie geofizyki otworowej i powierzchniowej, w tym sejsmiki.
		2.1.6 Kontrola jakości zatłaczanego gazu	Wykorzystanie chromatografu do monitorowania jakości zatłaczanego CO <sub>2</sub> .
		2.1.7 Nieprzewidywane zdarzenia	Zatlaczanie będzie odbywać się zgodnie z procedurami przewidzianymi w Prawie geologicznym i górniczym, jednakże powinno się przygotować plan działania na wypadek wystąpienia erupcji i nieszczelności odwiertów.
		2.1.8 Ciśnienie składowania	Ciśnienie składowania CO <sub>2</sub> przekraczające ciśnienie hydrostatyczne jest głównym czynnikiem ryzyka. Symulacje wykazały, że ciśnienie składowania w warstwach jurajskich przewyższy ciśnienie hydrostatyczne o około 20%, natomiast analogiczne przewyższenie dla triasu wyniesie około 37%.
	2.2 Operacje po zakończeniu zatlaczania	2.2.1 Monitorowanie struktury	Monitorowanie geochemiczne.
		2.2.1 Awaryjne szczypanie zatłoczonego CO <sub>2</sub>	Istnieje możliwość awaryjnego szczypania zatłoczonego CO <sub>2</sub> poprzez odwiercenie dodatkowego odwiertu w szczycie struktury.
3. Własności i oddziaływanie CO <sub>2</sub>	3.1 Własności CO <sub>2</sub>	3.1.1 Fizyczne własności CO <sub>2</sub>	Zakłada się składowanie CO <sub>2</sub> w fazie ciekłej. Przeprowadzone symulacje wykazują, że po 200 latach CO <sub>2</sub> będzie w większości rozpuszczone w wodzie
		3.1.2 Zachowanie się faz CO <sub>2</sub>	W przypadku jury istnieje prawdopodobieństwo występowania fazy gazowej (lub ciekłej), ze względu na najwyższy punkt struktury wynoszący 775 m.
		3.1.3 Rozpuszczalność CO <sub>2</sub>	Określono wg danych laboratoryjnych oraz symulacji
	3.2	3.2.1	Symulacje wykazały, że podczas

	Wpływ CO <sub>2</sub> na strukturę	Wpływ ciśnienia składowania na skały uszczelniające nadkładu	składowania CO <sub>2</sub> ciśnienie maksymalne w jurajskim horyzoncie magazynowym przekroczy ciśnienie hydrostatyczne o 20%. Dużo większe ryzyko rozszczelnienia wiąże się ze składowaniem CO <sub>2</sub> w triasie, gdzie przewyższenie wyniesie 37%. Biorąc pod uwagę doświadczenia uzyskane z magazynowania gazu ziemnego w strukturach zawodnionych, to ciśnienie w jurze nie powinno wpłynąć na szczelność skał uszczelniających. Natomiast szczelność warstw triasu powinna zostać przeanalizowana szczegółowo. Szczelność skał nadkładu powinna zostać potwierdzona poprzez badania przeprowadzone na rdzeniach, zarówno dla jury jak i triasu.
		3.2.2. Wpływ ciśnienia składowania na płyny złożowe	Przekroczenie ciśnienia hydrostatycznego spowoduje wyparcie solanki z części struktury w wyniku ściśliwości oraz rozpuszczenie się CO <sub>2</sub> w solance.
		3.2.3 Reakcje z węglowodorami	Bazując na aktualnym rozpoznaniu geologicznym należy stwierdzić, że w rejonie składowania CO <sub>2</sub> nie występują węglowodory.
		3.2.4 Wypieranie solanki ze struktury	Bazując na rezultatach symulacji można stwierdzić, że wypierana solanka nie osiągnie powierzchni ziemi.
		3.2.5 Wywołanie ruchów sejsmicznych	Nie stanowi realnego zagrożenia.
		3.2.6 Podniesienie lub opadnięcie terenu	Ze względu na małe ilości zatłaczanego CO <sub>2</sub> nie stanowi realnego zagrożenia.
		3.2.7 Wpływ temperatury na strefę złożową	Podwyższona temperatura zatłaczanego CO <sub>2</sub> może wpłynąć na rozpuszczanie się skał w strefie przyodwiertowej prowadząc do zwiększenia porowatości w strefie przyodwiertowej.
		3.2.8 Reakcje CO <sub>2</sub> z barierami chemicznymi	Nie analizowano.
		3.2.9	Istnieje ryzyko zanieczyszczenia metalami

		Zanieczyszczenie metalami ciężkimi	ciężkimi warstwy przeznaczonej do składowania CO <sub>2</sub> .
		3.2.10 Rozpuszczanie minerałów	Istnieje możliwość rozpuszczenia minerałów, jednakże wg literatury jest to problem marginalny (i w perspektywie setek lat).
		3.2.11 Wymiana jonów	Dyfuzja przez skały uszczelniające nadkład jest możliwa jej efekt nie był badany w bieżącym opracowaniu.
		3.2.12 Skład chemiczny zatłaczanego gazu	Dokładny skład chemiczny zatłaczanego gazu obecnie nie jest znany.
		3.2.13 Tworzenie się hydratów gazowych	Problem nie był analizowany.
		3.2.14 Procesy mikrobiologiczne	Nie analizowano
4. Geosfera	4.1 Geologia	4.1.1 Lokalizacja	Struktura Budziszewice -Zaosie położona jest 7 km na północny-zachód od Tomaszowa Mazowieckiego w województwie łódzkim.
		4.1.2 Zasoby naturalne	Nie występują w najbliższym otoczeniu struktury.
		4.1.3 Typ skały zbiornikowe)	Piaskowce formacji drzewickiej (górnny pliensbach-jura dolna) o miąższości od 43m do 146m, ostrowieckiej (synemur) podobnie.
		4.1.4 Geometria zbiornika	Antyklina
		4.1.5 Aktualna eksploatacja skał zbiornikowych	Wytypowane warstwy jurajskie i triasu nie są eksploatowane.
		4.1.6 Formacje uszczelniające od góry	łłowce, mułowce i pyłowce formacji ciechocińskiej o miąższości od kilkudziesięciu do stu kiludziesięciu metrów.
		4.1.7 Dodatkowe uszczelnienie	Na skrzydłach antykliny bezpośrednio nad kolektorem występują skały ilasto-mułowcowe o miąższości 10-15m.
		4.1.8 Litologia	Poziom magazynowy składa się z piaskowców średnioziarnistych o wielkości ziaren kwarcu 0,27-0,30 mm.
		4.1.8.1 Diageneza	Piaskowce zawierają śladowe ilości spoiwa ilastego typu matriks oraz niewielkie ilości cementu kwarcowego i węglanowego.
		4.1.8.2	Piaskowce jury średnioziarniste o dobrej

		Struktura porowatości	porowatości od 13% do 27%. Piaskowce triasu słaba porowatość od kilku do kilkunastu procent.
		4.1.9 Niejednorodność	Zbiornik magazynowy jest w miarę jednorodnie wykształcony pod względem własności kolektorskich na całym obszarze struktury.
		4.1.10 Uskoki, szczeliny	W skrzydle SW struktury wyznaczono 3 uskoki o niewielkich zrzutach. Uskoki zaczynają się w cechszynie, kończą w triasie. Uskoki nie stanowią zagrożenia dla magazynowania CO <sub>2</sub> w warstwach jurajskich.
		4.1.11 Nieudokumentowane zagrożenia	Na obecnym etapie rozpoznania struktury brak jest danych pozwalających na przewidywanie nieudokumentowanych zagrożeń.
		4.1.12 Pionowy gradient geotermiczny	Temperatura warstw jurajskich jest obniżona w stosunku do głębokości zalegania (lokalnie niski gradient geotermiczny).
		4.1.13 Ciśnienie występujące w skałach zbiornikowych	Przewiduje się, że ciśnienie w warstwach zbiornikowych jest zgodne z ciśnieniem hydrostatycznym.
		4.1.14 Mechaniczne własności skał zbiornikowych	W obecnej analizie nie były badane mechaniczne własności skał zbiornikowych, poza ciśnieniem progowym dla nadkładu.
		4.1.14 Własności petrofizyczne	Wyrywkowe dane rdzeniowe (użyte do kalibracji krzywych geofizyki wiertniczej) nie pozwalają na precyzyjne określenie przestrzennego rozkładu parametrów petrofizycznych.
	4.2 Płyny złożowe	4.2.1 Własności płynów złożowych	W warstwach jurajskich występuje solanka o niewielkiej mineralizacji, rzędu 10 mg/l.
		4.2.2 Hydrogeologia	Niewielka ilość badań hydrogeologicznych nie pozwala na precyzyjne określenie parametrów.
		4.2.3 Węglowodory	Nie występują, biorąc po uwagę negatywne wyniki poszukiwań.
5. Odwierty	5.1 Wiercenie	5.1.1 Likwidacja	Odwierty zatłaczające zostaną zlikwidowane zgodnie z obowiązującymi procedurami.

	i konstrukcja	odwiertów zafalczających	
		5.1.2 Konstrukcja i wyposażenie odwiertów	Konstrukcja i wyposażenie odwiertów zafalczających będzie zgodna z wymogami prawa. Odwierty zostaną wyposażone w zawory wgłębne.
		5.1.3 Rekonstrukcje odwiertów	Nie planuje się na obecnym etapie.
		5.1.4 Odwierty obserwacyjne	Planuje się wykonanie odwiertów obserwacyjnych w przepuszczalnych warstwach znajdujących się powyżej warstw uszczelniających poziom zbiornikowy.
	5.2 Szczelność i likwidacja odwiertów	5.2.1 Likwidacja odwiertów	Odwierty zostaną zlikwidowane poprzez zapięcie korka mechanicznego i wykonanie korka cementowego.
		5.2.2 Rozszczelnienie  odwiertu	Występuje ryzyko rozszczelnienia odwiertu w wyniku słabego stanu zacementowania rur okładzinowych. W takiej sytuacji może dojść do powolnej ucieczki CO <sub>2</sub> .
		5.2.2  Erupcje	Wystąpienie erupcji jest mało prawdopodobne.
		5.2.3 Ruchy górotworu	Prawdopodobieństwo wystąpienia ruchów górotworu, które spowodowałyby zniszczenie szczelności odwiertów jest marginalne.
6. Środowisko poziemne i naziemne	6.1 Środowisko naziemne	6.1.1 Topografia i morfologia	Ewentualne zmiany topograficzne i morfologiczne nie będą miały wpływu na głęboko zmagazynowane CO <sub>2</sub> .
		6.1.2 Ziemia i osady	Ziemia może zostać zanieczyszczona w wyniku ewentualnego rozszczelnienia się magazynu.
		6.1.3  Erozja ziemi	Erozja nie będzie miała wpływu na podziemne składowanie CO <sub>2</sub> .
		6.1.4 Atmosfera i meteorologia	Zmiany meteorologiczne nie będą miały wpływu na poziomy magazynowe.
		6.1.5 Hydrogeologia	Zmiany hydrogeologiczne nie będą miały wpływu na poziomy zbiornikowe.
		6.1.6 Przypowierzchniowe warstwy wodonośne	Nie przewiduje się ucieczek CO <sub>2</sub> , jednakże jeśli wystąpiłyby to istnieje ryzyko zanieczyszczenia tych wód.
		6.1.7 Przypowierzchniowa flora i fauna	Środowisko flory i fauny może zostać zagrożone tylko w wyniku erupcji (awarii). Małe ucieczki CO <sub>2</sub> nie stanowią realnego

			zagrożenia.
	6.2 Zachowanie się ludzi	6.2.1 Charaktery ludzi	Składowanie nie wpłynie na zachowanie się ludzi.
		6.2.1 Dieta, odżywianie	Nie ma wpływu.
		6.2.2 Styl życia	Istnieje ryzyko związane z protestami ludzi przeciwko budowie podziemnego składowiska CO <sub>2</sub> w pobliżu miejsca zamieszkania.
		6.2.3 Korzystanie z gruntów i wody	Nie ma większego znaczenia, gdyż teren ochronny wokół odwiertów jest niewielki.
		6.2.4 Budynki	Budynki związane z infrastrukturą potrzebną do składowania CO <sub>2</sub> będą wykonane zgodnie z prawem budowlanym.
7. Wpływ inwestycji	7.1 Własności systemu składowania	7.1.1 Utrata szczelności	Magazyn zostanie zaprojektowany z założeniem pełnej szczelności całego systemu składowania. Założenie to jest poprawne gdyż obecnie funkcjonuje około 100 podziemnych magazynów gazu ziemnego wykonanych w warstwach wodonośnych zlokalizowanych na głębokości od 500 do 1500 m.
	7.2 Wpływ na środowisko fizyczne	7.2.1 Zanieczyszczenie wód gruntowych	Mało prawdopodobne, jednakże istnieje potencjalne ryzyko w przypadku nieszczelności całego systemu składowania CO <sub>2</sub> (odwierty+poziom magazynowy).
		7.2.2 Wpływ na grunty	Nie analizowano.
		7.2.3 Uwolnienie do atmosfery	Możliwe w przypadku rozszczelnienia struktury. W takim przypadku konieczny będzie zakup certyfikatów emisyjnych.
		7.2.4 Wpływ na hydrogeologię	Zatłaczanie CO <sub>2</sub> może wpłynąć na parametry hydrogeologiczne.
		7.2.5 Wpływ na chemizm	Zatłaczanie CO <sub>2</sub> w ograniczonym stopniu wpłynie na chemizm solanki i skały zbiornikowe).
		7.2.6 Wpływ na topografię	Ze względu na niewielkie ilości zatłaczanego CO <sub>2</sub> wpływ na topografię terenu będzie marginalny.
	7.3 Wpływ na florę i faunę	7.3.1 Efekt „uduszenia”	Uduszenie zwierząt i ludzi z powodu nadmiernej koncentracji CO <sub>2</sub> w powietrzu jest mało prawdopodobne.
		7.3.2	Długotrwała ucieczka CO <sub>2</sub> ze składowiska

		Wpływ CO <sub>2</sub> na rośliny	może spowodować koncentrację dwutlenku węgla w warstwach powierzchniowych co może lokalnie wpłynąć na wegetację roślin.
	7.4 Wpływ na ludzi	7.4.1 Wpływ CO <sub>2</sub> na zdrowie ludzi	Ewentualna ucieczka nie będzie miała wpływu na zdrowie ludzi, gdyż koncentracja CO <sub>2</sub> w powietrzu szybko spadnie. Jedynie erupcja może mieć ograniczony wpływ na zdrowie ludzi, którzy będą znajdować się w strefie zagrożenia. Zakłada się, że wpływ będzie krótkotrwały, ponieważ erupcja zostanie szybko zlikwidowana lub ludzie ewakuowani.
		7.4.2 Toksyczność związków zatłaczanych	Zakłada się, że zatłaczany gaz będzie czysty. Istnieje ryzyko występowania metali ciężkich.
		7.4.3 Wpływ na środowisko ekologiczne	Długotrwała ucieczka CO <sub>2</sub> z horyzontu magazynowego może mieć wpływ na zmianę środowiska naturalnego.



## **Analiza obszaru zatłaczania CO<sub>2</sub> pod kątem określenia ryzyka nieszczelności pułapki złożowej**

Obszar zatłaczania czyli rejon Budziszewice-Zaosie położony jest w południowej części mezozoicznego wału środkowopolskiego, określonego mianem wału kutnowskiego. Południowo-wschodnia część tego wału wydzielana jest jako antyklina Gielniowa, która w kierunku południowo-wschodnim przechodzi w NE obrzeżenie Gór Świętokrzyskich. Rozpatrywana tu antyklina Budziszewice-Zaosie obejmuje południową część antykliny Gielniowa i jest położona na N od Tomaszowa Mazowieckiego. Struktura w rozpoznanej wiertniczo części zbudowana jest z utworów: permu, triasu i jury.

### **Ocena szczelności struktury pod kątem strukturalnym**

- W „Raportie merytorycznym nr 1” z I segmentu dla rejonu Bełchatowa (Wójcicki (red.), 2009) pkt.1.1.3 zostały przedstawione: regionalna mapa strukturalna stropu jury, środkowej, dolnej i triasu, mapa strukturalna stropu triasu górnego i mapa strukturalna stropu środkowego pstrego piaskowca. Opracowane mapy dają podstawę do oceny strukturalnej antykliny Budziszewice-Zaosie.
- Strop środkowego pstrego piaskowca - w tej części profilu antyklina ma kształt antykliny linijnej w formie wrzeciona o osi biegnącej na kierunku NW-SE. Kulminacja struktury wznosi się tu na izohipsie ok.-2200 m ppm. Zamknięcie strukturalne znajduje się na izohipsie nieco poniżej -2400 m ppm, na której to antyklina łączy się z niedużą, drugą kulminacją na tej strukturze, położonej na NW od antykliny Budziszewice-Zaosie. Na nieco większej głębokości, bo poniżej -2500 m, leży zamknięcie strukturalne w części SE struktury. Dalej w kierunku SE strop podnosi się przechodząc w NW obrzeżenie gór świętokrzyskich. W związku z tym można stwierdzić, że wysokość względna struktury wynosi ok. 200 m do pierwszego zamknięcia strukturalnego oraz 300 m do drugiego zamknięcia strukturalnego. Wysokość struktury rzędu 200-300 m należy uznać za bardzo pozytywny wynik.
- Strop triasu górnego - wznosi się do izohipsy -900 do -1000 m ppm. Budowa strukturalna antykliny w tej części profilu stratygraficznego ulega wyraźnej przebudowie w stosunku do niższych wydzieli stratygraficznych. Partia szczytowa składa się z 2 kulminacji: wyższej na izohipsie -900 m ppm, położonej w SE części struktury i niższej na izohipsie około -1000 m ppm położonej w części NW struktury. Obie kulminacje uzyskują łączność na izohipsie ok.-1100 m ppm. Zamknięcie całej struktury znajduje się na izohipsie ok.-1300 m ppm poniżej której struktura Budziszewic-Zaosia łączy w kierunku SE z obrzeżeniem Gór Świętokrzyskich. Wysokość względna struktury względem zamknięcia strukturalnego wynosi więc 300-400 m, czyli w stosunku do stropu środkowego pstrego piaskowca zwiększa się o ok. 100 m.
- Strop jury środkowej, dolnej i triasu - przebieg osi struktury nawiązuje do kierunku NW-SE czyli takiego jak w starszych strukturach. Jednak w stosunku do nich następuje pewna przebudowa struktury. Mianowicie strefa pułapki zostaje ograniczona do rejonu SE struktury, która w tej części osiąga kulminację na izohipsie ok. -300 m, natomiast zamknięcie struktury znajduje się na izohipsie ok.-400 m ppm w części SE. Tam poniżej tej izohipsy następuje połączenie ku SE z obrzeżeniem Gór Świętokrzyskich. Wysokość struktury w stropie jury dolnej i środkowej jest więc rzędu 100 m czyli ok. 200-300 m mniej aniżeli w stropie triasu. Taka wysokość znacząco obniża pojemność pułapki złożowej w skałach zbiornikowych jury.

## Ocena szczelności struktury pod kątem tektoniki uskokowej

Na wspomnianych wcześniej mapach strukturalnych **Fig.1.1.3-32, 33 i 34** oraz przekrojach sejsmicznych przez strukturę Budziszewic przedstawionych na **Fig.1.1.3\_21 i Fig.1.1.3\_22** (Wójcicki (red.), 2009) została zinterpretowana strefa dyslokacyjna o przebiegu NW-SE, częściowo przebiegająca przez SW skrzydło antykliny i w związku z tym mogąca mieć wpływ na szczelność struktury. W odniesieniu do poszczególnych poziomów przedstawianych na mapach strukturalnych, ocena wpływu uskoku na szczelność jest następująca:

- Strop środkowego pstręgo piaskowca - strefa uskokowa rozcina strop na głębokości ok.-2600 m ppm, podczas gdy zamknięcie struktury znajduje się na głębokości -2500 m, z tego wynika, że uskok nie będzie miał negatywnego znaczenia na szczelność struktury i jej objętość.
- Strop triasu górnego - uskok przecina SW skrzydło struktury Budziszewic w jej części zachodniej na izohipsie -1200 m ppm podczas, gdy zamknięcie struktury następuje głębiej, bo na głębokości -1300 m ppm. Wobec tego w przypadku nieszczelności uskok szczelność struktury należałoby ograniczyć do izohipsy ok. 1100-1150 m czyli 100-150 m wyżej. Biorąc pod uwagę jednak fakt, że na przekrojach sejsmicznych strefa uskokowa wygasa w dolnej części utworów kajpru uskok nie powinien zaznaczać się już w stropie triasu górnego. W związku z tym jeszcze raz należy przeanalizować zasięg strefy uskokowej w tej części triasu.
- Strop jury środkowej triasu - wobec tego, że na profilach sejsmicznych strefa uskokowa wygasa w utworach kajpru, to nie powinna być już uwidoczniana w stropie jury jak to przedstawiono na **Fig.1.1.17\_10 - Fig.1.1.17\_11** i w związku z tym nie będzie miała znaczenia dla szczelności utworów jury.



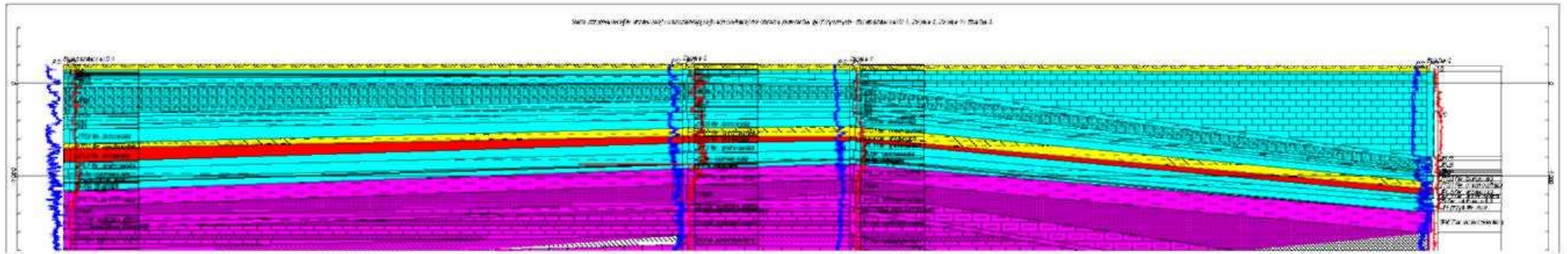


Fig.1.1.17\_10 Serie zbiornikowe (zaznaczona drzewicka, poza tym rozpatrywane jest jako najbezpieczniejsza formacja ostrowiecka, ewentualnie razem z zagajską) oraz uszczelniające (główna to ciechocińska, druga - gielniowska) w obrazie pomiarów geofizyki wiertniczej

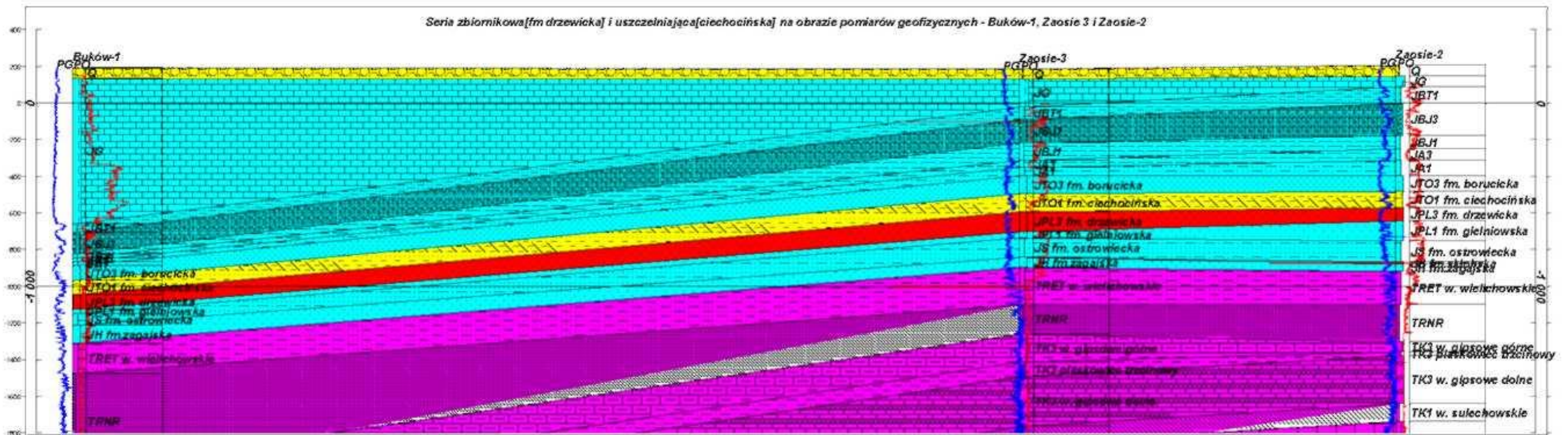


Fig.1.1.17\_11 Serie zbiornikowe (zaznaczona drzewicka, poza tym rozpatrywane jest jako najbezpieczniejsza formacja ostrowiecka, ewentualnie razem z zagajską) oraz uszczelniające (główna to ciechocińska, druga - gielniowska) w obrazie pomiarów geofizyki wiertniczej dla rejonu Buków-Zaosie

## Ocena szczelności struktury ze względów hydrogeologicznych

Według pierwotnych opróbowań i badań wód złożowych pobranych z jury dolnej w otworze Budziszewice IG-1, Zaosie 2 i 3 wody te należały do solanek o mineralizacji rzędu 3,62 do 9,1 g/dm<sup>3</sup>, czyli są to wody o średniej mineralizacji. Według danych zawartych w tabeli 1.1.5.9 w „Raporcie nr 1” głównym składnikiem wód dolnej i środkowej jury w rejonie Budziszewic-Zaosia są: Na, Ca i K. W wodzie z otworu Budziszewice IG-1 stwierdzono również: Mg, Br i J. Wskaźnik Na/Cl świadczący o stopniu wymiany jonowej solanek w rejonie struktury przedstawiony jest w tabeli 1.1.6.6 wspomnianego raportu. Według tych danych dla wód jury dolnej wynosi on w zbadanych otworach:

- Budziszewice IG-1 - Na/Cl = 0,96, Cl/Br = 194
- Zaosie 2 - Na/Cl = 0,54
- Zaosie 3 - Na/Cl = 0,69

Według tych oznaczeń zaliczono zbadane wody do różnych typów klas genetycznych. Budziszewice IG-1 - klasa 3, Zaosie 2 - klasa 2, Zaosie 3 - klasa 4. Klasyfikacja genetyczna wód przedstawiona w **Tab. 1.1.17.5** wskazuje, że zbadane wody dolnej i środkowej jury wykazują różny stopień metamorfizmu wód. Generalnie można stwierdzić, że niski stopień mineralizacji oraz klasyfikacja genetyczna zbadanych wód wskazuje, że wody tego obszaru podlegają infiltracji wód powierzchniowych, przy czym różne poziomy mogą podlegać temu procesowi w różnym zakresie, związanym zapewne ze zmianami facjalnymi poziomów zbiornikowych. Infiltracja wód powierzchniowych ma miejsce przede wszystkim od strony południowo-wschodniej czyli od wychodni skał dolnej i środkowej jury na obrzeżu Gór Świętokrzyskich. Należy tu zaznaczyć, że żadne z wykonanych badań nie dotyczy bezpośrednio wód z formacji drzewickiej, albowiem z interwału tej formacji nie pobrano próbek wody w żadnym otworze (dotyczą starszych ogniw jury dolnej). Słabą mineralizację wód pokazują również pomiary oporności geofizycznej przedstawione na **Fig.1.1.17\_10** i **Fig. 1.1.17\_11**. Przedstawione na rysunkach wykresy oporności wskazują, że cały profil jury i przystropowa część triasu charakteryzuje się podniesioną opornością skał zbiornikowych, co należy wiązać z wysłodzaniem wód złożowych. To z kolei związane jest z częściowo lądowym pochodzeniem osadów, a częściowo z możliwą infiltracją wód powierzchniowych.

## Serie uszczelniające

Główną serię uszczelniającą stanowią iłowce i mułowce należące do formacji ciechocińskiej. Trzon utworów tej formacji stanowią wspomniane iłowce i mułowce, dodatkowo w postaci wkładek występują też piaskowce, szczególnie liczne w środkowej części interwału serii uszczelniającej. Według analizy dostępnych karotaży geofizycznych seria uszczelniająca charakteryzuje się dwudzielnością tzn. na większości otworów występuje dolna i górna seria łupkowa, każda miąższości 30-40 m (górna część bardziej miąższa), które są rozdzielone piaskowcami miąższości ok. 10-20 m np.: Zaosie 1, 2 i 3. Rozrost tych piaskowców ma miejsce w kierunku wschodnim, natomiast w kierunku południowym (Buków 1 i 2) obserwuje się spadek miąższości tej wkładki piaskowcowej i jej zanik. Wobec tego zasadniczym staje się pytanie czy dalej w kierunku SE piaskowce rozwija się, aż do zaniku serii ilastej czy też przeciwnie, zanika. W pierwszym przypadku miałyby miejsce utrata szczelności, co całkowicie eliminowałoby tę strukturę w poziomie pliensbachu (i prawdopodobnie też synemuru) do celów sekwestracji CO<sub>2</sub>. Zmiany facjalne serii uszczelniającej zobrazowane przez pomiary geofizyczne przedstawiono na **Fig.1.1.17\_10** i **11**. Całkowita miąższość serii



uszczelniającej, czyli formacji ciechocińskiej na odwierconych otworach zmienia się w przedziale od 53 do 120 m, co szczegółowo przedstawia **Tab.1.1.17\_5**.

**Tab.1.1.17\_5** Charakterystyka głównej serii uszczelniającej – formacji ciechocińskiej.

Nazwa odwiertu	Głębokość serii uszczelniającej (fm. ciechocińskiej)		Miąższość całk. [m]	Charakter serii uszczelniającej
	od	do		
<b>Buków 1</b>	1158	1235	77,0	dwudzielna
<b>Buków 2</b>	1240	1316,5	76,5	dwudzielna
<b>Budziszewice IG-1</b>	850	903	53,0	jednodzielna
<b>Zaosie 1</b>	653	773	120	dwudzielna z hor. piaskowcowym
<b>Zaosie 2</b>	686	775	89	dwudzielna z hor. piaskowcowym
<b>Zaosie 3</b>	680	775	95,0	dwudzielna

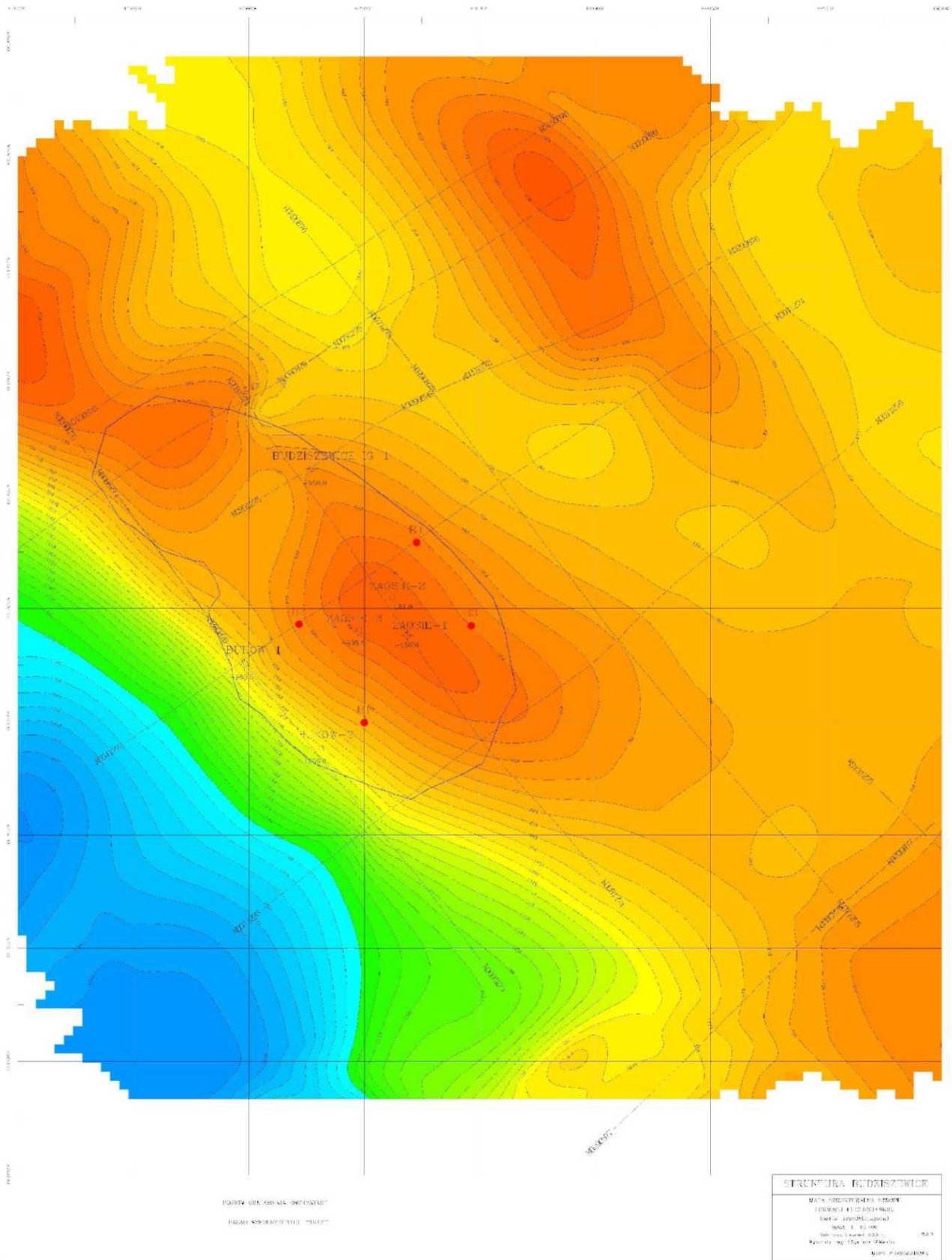
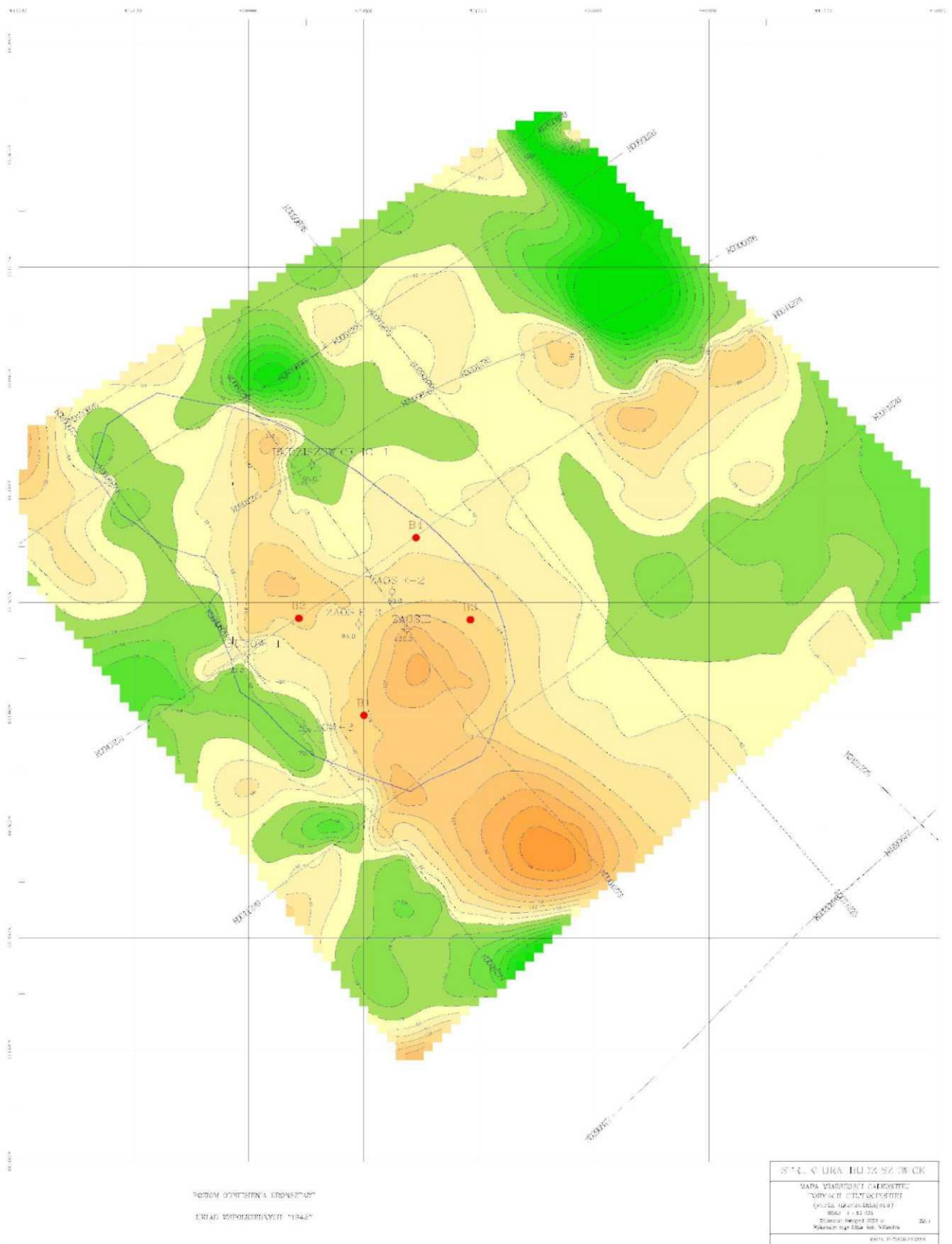


Fig.1.17\_12 Mapa stropu formacji ciecocińskiej (zarys struktury zaznaczono granatową linią)



**Fig.1.1.17\_13** Mapa miąższości formacji ciechocińskiej (zarys struktury zaznaczono granatową linią)

Powyższe dane zawarte w **Tab.1.1.17\_5**, a opracowane w ramach rozdziału 1.1.3 były podstawą do kalibracji profili sejsmicznych i razem z nimi posłużyły do opracowania mapy stropu serii uszczelniającej, czyli formacji ciechocińskiej oraz jej mapy miąższości całkowitej, które przedstawione są na **Fig.1.1.17\_12** i **Fig. 1.1.17\_13**. Opracowana mapa strukturalna stropu formacji ciechocińskiej wskazuje, że w obrębie przyjętego konturu struktury Budziszewice występują 2 kulminacje. Przy generalnym kierunku struktury NW-SE, jedna z kulminacji znajduje się w części SE druga w części NW. Szczyt kulminacji południowo-wschodniej występuje na głębokości 500450 m ppm w rejonie otworów Zaosie 1 (-456 m), Zaosie 2 (-481,0 m) i Zaosie 3 (-495,0 m). Kulminacja północno-zachodnia występuje w obrębie konturu struktury jedynie fragmentarycznie, albowiem ta część struktury rozwija się dalej w kierunku NW. W części konturowej wysokość kulminacji osiąga izohipsę ok.-550 m. Obie kulminacje rozdziela poprzeczne obniżenie schodzące do izohipsy -700 m. We wschodniej części tego obniżenia położony jest odwiert Budziszewice IG-1 na wys.-650 m ppm. W przekroju poprzecznym antyklina Budziszewic w stropie formacji ciechocińskiej charakteryzuje się stromym zapadaniem skrzydła SW i bardziej łagodnym skrzydłem NW. W kierunku SE strop uszczelnienia obniża się do izohipsy -750 m, poniżej której w kierunku południowo-wschodnim łączy się z obrzeżeniem Gór Świętokrzyskich. Wysokość względna struktury w stropie formacji ciechocińskiej wynosi więc co najmniej 250 m w części wschodniej i 200 m w części zachodniej. Druga z opracowanych map to mapa miąższości całkowitej formacji ciechocińskiej. Została otrzymana przez odjęcie od mapy stropu formacji ciechocińskiej, mapy stropu formacji drzewickiej. Otrzymana mapa charakteryzuje się dosyć dużym zróżnicowaniem miąższościowym. W obrębie konturu struktury miąższość zmienia się od 60 m, na NW i W struktury, do 130 m w części SE.

Największe miąższości występują wzdłuż centralnej części struktury i są rzędu 90-130 m. W kierunku skrzydeł miąższość spada do 60-100 m. Najniższa wartość miąższości 53 m, została stwierdzona na odwiercie Budziszewice IG-1. Bezpośrednio na N od tego otworu i jednocześnie przyjętego konturu struktury, została stwierdzona w oparciu o profile sejsmiczne strefa o obniżonej miąższości, która spada tu do poniżej 10 m. Tak niska wartość miąższości, gdyby została potwierdzona eliminuje strukturę z dalszych badań. Przedstawiony rozkład miąższości, pokazuje miąższość całkowitą serii uszczelniającej łącznie z wkładkami piaskowców, które jak wspomniano występują w jej obrębie. Na podstawie analizy krzywych geofizycznych w poszczególnych otworach należy przypuszczać, że miąższość serii uszczelniającej trzeba będzie zmniejszyć o około 10-20 m. Biorąc pod uwagę rozrost piaskowców w kierunku NE i E należy przypuszczać, że w części południowej i zachodniej ubytek miąższości serii uszczelniającej będzie mniejszy zaś w kierunku NE i E będzie większy.

### **Wpływ ewentualnej ucieczki CO<sub>2</sub> na ludzi**

Analizę wpływu CO<sub>2</sub> na ludzi należy przeprowadzić dwukierunkowo. Pierwszym kierunkiem będzie analiza bezpośredniego wpływu dwutlenku węgla na ludzi w przypadku wystąpienia ucieczki CO<sub>2</sub> ze składowiska. Drugim kierunkiem analizy jest określenie pośredniego wpływu na ludzi w wyniku zanieczyszczenia środowiska, jakie może wystąpić w przypadku rozszechnienia się struktury magazynowej. Należy podkreślić, że pomimo tego, że dwutlenek węgla jest gazem nietoksycznym, to może być groźny dla życia ludzkiego, w przypadku wysokiej koncentracji gazu w powietrzu wdychanym przez ludzi.

Koncentracja CO<sub>2</sub> w powietrzu wynosząca powyżej 10% powoduje utratę przytomności, zmienia pH krwi oraz powoduje wiotczenie mięśni odpowiedzialnych za oddychanie, co w konsekwencji może prowadzić do nadciśnienia (Benson i zespół, 2002). Tak duża koncentracja może wystąpić tylko w przypadku erupcji



odwiertu. Biorąc pod uwagę obecną technologię stosowaną w eksploatacji złóż gazu ziemnego i ropy naftowej należy stwierdzić, że wystąpienie erupcji odwiertu jest mało prawdopodobne. Aktualnie w procesach podziemnego magazynowania gazu ziemnego powszechnie stosuje się zawory wgłębne, które automatycznie zamykają się w przypadku wystąpienia nagłej różnicy ciśnień, spowodowanej niekontrolowanym wypływem gazu z odwiertu.

Znacznie trudniej jest opanować powolny wypływ CO<sub>2</sub>, który może wystąpić w przypadku rozszczelnienia się płaszcza cementowego uszczelniającego rury okładzinowe oraz rozszczelnienia się skał nadkładu. Pomimo tego, że wypływ gazu ze składowiska będzie powolny, to jednak przejściowo może wystąpić zagrożenie dla ludzi.

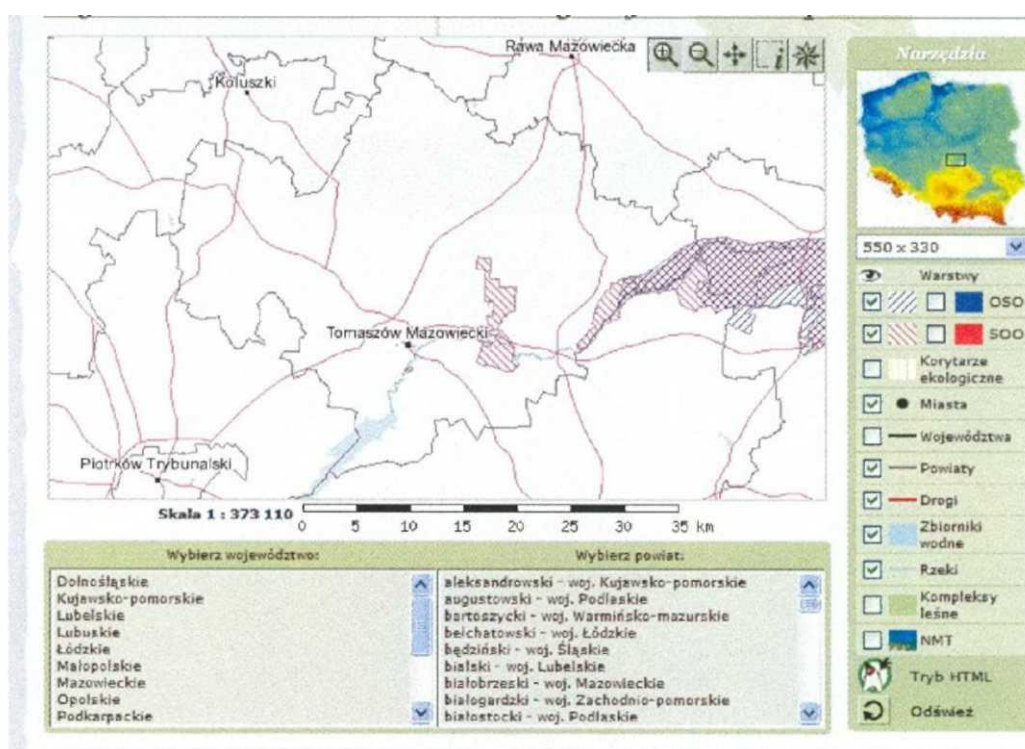
Jak już wcześniej stwierdzono, ryzyko poważnego zagrożenia ludzi spowodowanego erupcją lub rozszczelnieniem się magazynu jest niewielkie, pomimo tego, że składowanie CO<sub>2</sub> wymaga przewyższenia ciśnienia hydrostatycznego od 20% (jura) do 37% (trias). W związku z tym odwierty magazynowe powinny być sytuowane w odpowiedniej odległości od skupisk ludzkich.

Na **Fig.1.1.17\_1** przedstawiono lokalizację struktury Budziszewice wraz z odwiertami symulacyjnymi (potencjalnymi odwiertami do zatłaczania) na tle występujących skupisk ludzkich. Analizując położenie poszczególnych odwiertów zatłaczających CO<sub>2</sub> należy stwierdzić, że odwierty „wschodni” i „zachodni” są zlokalizowane w generalnie niezamieszkałych terenach rolniczych, w związku z tym ewentualna erupcja lub ich nieszczelność nie stwarza bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia ludzi. W świetle przedstawionej informacji położenie pozostałych dwóch odwiertów „południowego” i „północnego” powinno zostać przeprojektowane ze względu na niedostateczną ich odległość od skupisk mieszkalnych (w miarę możliwości przesunięte o przynajmniej paręset metrów).

Należy pamiętać również o tym, że każda inwestycja, aby mogła zostać przeprowadzona musi uzyskać akceptację społeczną. Struktura Budziszewice swoim zasięgiem obejmuje gminę Ujazd (głównie), na terenie której mieszka około 8000 osób oraz w mniejszym stopniu gminę Budziszewice (około 2200 osób). Dodatkowo struktura (jej kontur na SE) położona jest w odległości zaledwie 7 km od Tomaszowa Mazowieckiego (około 66 000 osób). Biorąc pod uwagę doświadczenia związane z analogicznymi problemami występującymi w przemyśle naftowym (eksploatacja złóż gazu ziemnego i PMG) należy stwierdzić, że uzyskanie akceptacji społeczeństwa dla całej inwestycji będzie trudne. Jeśli nawet uzyska się zgodę na realizację inwestycji to wydaje się mało prawdopodobne, aby inwestor uzyskał zgodę na odwiercenie otworów „południowego” i „północnego” w prezentowanej obecnie lokalizacji. Należy pamiętać o tym, że uzyskanie koncesji na podziemne składowanie CO<sub>2</sub>, zgodnie z „Prawem geologicznym i górniczym” wymaga posiadania przez inwestora tytułu prawnego (własność lub akt dzierżawy) do terenu na którym będzie prowadzona inwestycja. Dodatkowo ewentualna ucieczka CO<sub>2</sub> spowodowana rozszczelnieniem się magazynu lub przetłoczenie pułapki, w której projektuje się składowanie dwutlenku węgla może spowodować skażenie wód pitnych. Związane jest to z tym, że jest mało prawdopodobne, aby zatłaczane CO<sub>2</sub> pozyskane z elektrowni Bełchatów, było w 100% wolne od zanieczyszczeń toksycznych. Należy podkreślić, że wody górnourajskie (GZWP nr 404, nieudokumentowany) stanowią w tym rejonie zbiornik wody pitnej dla potencjalnie dużej ilości osób, w związku z tym ich ewentualne skażenie (chodzi o migrację pomiędzy dolnourajską formacją ciechocińską a poziomami wody pitnej jury górnej, pomiędzy którymi mamy szereg poziomów uszczelniających jury środkowej, ale nie są one odpowiedniej jakości, gwarantującej zatrzymanie migrującego dwutlenku węgla w fazie gazowej) miałyby potężne negatywne konsekwencje.

## Wpływ ewentualnej ucieczki CO<sub>2</sub> na zwierzęta i rośliny

Lokalizacja struktury Budziszewice została przedstawiona na **Fig.1.1.17\_1**. W celu określenia wpływu ewentualnej ucieczki CO<sub>2</sub> na zwierzęta przeanalizowano występowanie na terenie struktury obszarów chronionych, stref Natura 2000. **Fig.1.1.17\_14** prezentuje aktualną mapę obszarów Natura 2000 uzyskaną z portalu <http://natura2000.mos.gov.pl/>. Analizując mapę można stwierdzić, że aktualnie na terenie struktury nie występują strefy Natura 2000 (patrz też **Fig.1.1.14\_1**). Najbliższy obszar chroniony, specjalny obszar ochrony siedlisk (SOO) występuje w odległości około 10 km na południowy wschód od struktury. W odległości około 20 km na ESE od projektowanego zasięgu rozprzestrzeniania się zatłaczanego CO<sub>2</sub> występuje obszar specjalnej ochrony ptaków (OSO). W związku z przedstawioną mapą można stwierdzić, że projektowana inwestycja nie naruszy obszarów aktualnie chronionych.



**Fig.1.1.17\_14** Mapa obszarów NATURA 2000 dla rozpatrywanego rejonu

Należy podkreślić, że ewentualna erupcja lub ucieczka dwutlenku węgla może mieć negatywny wpływ na zwierzęta w jej bezpośrednim sąsiedztwie, gdyż duża koncentracja CO<sub>2</sub> w powietrzu może doprowadzić do uduszenia się zwierząt.

Wpływ małych ilości CO<sub>2</sub> na rośliny jest pozytywny, ponieważ dwutlenek węgla bierze udział w fotosyntezie. Doświadczenia prowadzone w ramach projektu „Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment Project (FACE) finansowanego przez USDA ([www.uswcl.ars.ag.gov](http://www.uswcl.ars.ag.gov)) wykazały, że niewielkie stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze pozytywnie wpływają na plony zbóż. Niestety rośliny potrzebują tlenu do wzrostu systemu korzeniowego. Duże koncentracje CO<sub>2</sub> w glebie powodują obumieranie korzeni, a co za tym idzie całych roślin. W rejonach, w

których CO<sub>2</sub> w naturalny sposób wydostaje się z warstw podziemnych w efekcie aktywności wulkanicznej można zauważyć obumieranie roślin.

## Podsumowanie

Magazynowanie CO<sub>2</sub> w głębokich strukturach solankowych jest stosunkowo nową technologią. Podstawowym problemem związanym z wyborem struktury jest niewielka ilość danych. Zarządzanie ryzykiem geologicznego składowania dwutlenku węgla w poziomach solankowych struktury Budziszewice-Zaosie wymagało zidentyfikowania poszczególnych czynników ryzyka. Analiza ryzyka została opracowana w oparciu o bazę wiedzy Quintessa FEP (Features - cech, Events - wydarzeń i Processes - procesów). Przeprowadzona analiza wykazała, że największe ryzyko składowania CO<sub>2</sub> w strukturze Budziszewice-Zaosie związane jest ze szczelnością pułapki. Stąd wykonano mapę stropu oraz miąższości warstwy uszczelniającej poziomy składowania jury dolnej, gdyż poziomy ten posiadają znacząco lepsze parametry magazynowe niż poziom triasu. Poziom triasu został potraktowany jako poziom rezerwowy z powodu znacznego przekroczenia ciśnienia hydrostatycznego (o około 37%) podczas składowania założonych ilości gazu. Parametry magazynowe poziomu triasu dolnego nie gwarantują możliwości zatłoczenia zakładanej ilości dwutlenku węgla. W dalszej części opracowania INiG przedstawiono analizę wpływu składowania CO<sub>2</sub> na ludzi, zwierzęta i rośliny. Wykonane prace pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- składowanie CO<sub>2</sub> w warstwach jurajskich niesie mniejsze ryzyko rozszczelnienia struktury, ze względu na ciśnienie składowania, które przewyższa ciśnienie hydrostatyczne o około 20%,
- warstwy ciechocińskie uszczelniające poziom jurajski zbudowane są z dwóch serii łupkowych o miąższości 30-40 m każda oraz rozdzielającej je wkładki piaskowców o miąższości 10-20 m. W związku z tym szczelność nadkładu wymaga dodatkowych badań, gdyż istnieje ryzyko jej nieszczelności,
- analiza wpływu składowania CO<sub>2</sub> na ludzi, zwierzęta i rośliny wykazała, że znaczące zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt może wystąpić tylko w wypadku wystąpienia erupcji odwiertowej. Wystąpienie erupcji CO<sub>2</sub> jest mało prawdopodobne ze względu na stosowane obecnie zawory wgłębne.

## Ocena ryzyka geologicznego składowania, w tym zagadnienia bezpieczeństwa składowania i integralności składowiska (AGH)

(Bartosz Papiernik, Grzegorz Machowski, Wojciech Machowski, Michał Michna)

Ważnym warunkiem decydującym o możliwości zatłaczania dwutlenku węgla jest szczelność struktury do tego celu przeznaczonej, zarówno przed jak i po zakończeniu zatłaczania. Jest to związane z tym, że CO<sub>2</sub> w pewnych warunkach temperatury i ciśnienia, występuje w postaci gęstej fazy gazowej (nadkrytycznej). Gęstość ta jest większa niż w warunkach naturalnych, ale mimo to mniejsza niż gęstość solanki, przez co ma tendencję do migracji w pionie (Tarkowski, Stopa 2007). Ważnym czynnikiem w aspekcie podziemnego zatłaczania jest również wystarczająco duża plastyczność oraz wytrzymałość warstw izolujących. Ma to na celu uniknięcie zjawiska szczelinowania i ostatecznie przebicia warstw pod wpływem nadmiernego ciśnienia podczas zatłaczania (Tarkowski 2005). Pod względem szczelności najlepszymi miejscami, rozpatrywanymi pod względem podziemnego składowania CO<sub>2</sub>, a przy tym odizolowanymi od warstw otaczających są naturalne pułapki dla płynów złożowych, takie jak: całkowicie albo częściowo szczerpane złoża ropy naftowej i gazu ziemnego, a także głębokie poziomy wodonośne.

Składowanie CO<sub>2</sub> powinno się odbywać poniżej strefy aktywnej wymiany wód i tam gdzie cyrkulacja wód podziemnych nie jest intensywna (Tarkowski 2005). Obecność wystłdzonych wód może wskazywać na otwarcie struktury - spowodowane występowaniem drożnych uskoków kontaktujących z powierzchnią terenu lub bezpośrednią łączność analizowanej struktury z obszarem infiltracji wód słodkich w rejonie wychodni warstw zbiornikowych.

Na potrzeby oceny niektórych aspektów analizy ryzyka geologicznego zmodyfikowano (uszczegółowiono) model statyczny struktury Budziszewic-Zaosia (patrz rozdział **1.1.16**). W tym celu Zespół pracowników Katedry Surowców Energetycznych, WGGiOŚ, AGH wykonał wstępne ilościowe modelowania z wykorzystaniem programu Petrel 2009.1. Wykorzystując procedurę *Uncertainty Analysis* obliczono modele wskazujące ryzyko związane w modelowaniu strukturalnym osnowy geometrycznej potencjalnych warstw zbiornikowych i uszczelniających wchodzących w skład modelu statycznego struktury Budziszewic-Zaosia. W wyniku zastosowania procedury modelowania geometrycznego, na podstawie modelu litologicznego zrekonstruowano przestrzenną rozciągłość potencjalnych kompleksów uszczelniających i zbiornikowych. Ponadto bazując na zasadach analizy ryzyka oraz procedurach *Uncertainty Analysis* dostępnych w programie Petrel dla parametrów zailenia i porowatości efektywnej wykonano zmodyfikowane modele pesymistycznej, realistycznej i optymistycznej wartości wymienionych parametrów.

## Ocena ryzyka geologicznego osnowy strukturalnej

Uszczegółowiony w ramach niniejszego zadania model geometryczny struktury Budziszewic-Zaosia obejmuje pięć sekwencji stratygraficznych (*zones*) podzielonych na zmienną ilość proporcjonalnych warstw:

- A. Toark górny (5 warstw)
- B. Toark dolny (fm. ciechocińska, 6 warstw)
- C. Pliensbach (15 warstw)
- D. Synemur - hetang (20 warstw)
- E. Retyk (10 warstw)

Jakość map (gridów 2D) tworzących osnowę strukturalną modelu 3D oraz przestrzenną dystrybucję danych wejściowych wykorzystanych do ich opracowania przedstawia **Fig.1.1.17\_15**. Pokazuje on, że wykorzystywane mapy są stosunkowo słabo kontrolowane danymi wejściowymi. Utrudnia to realistyczną ocenę geometrii struktury, a zwłaszcza ukształtowania jej zamknięcia strukturalnego.

Ocenę ryzyka jakości modelu 3D umożliwia procedura *Uncertainty Analysis*, którą można wykorzystać w programie Petrel do obliczenia alternatywnych, stochastycznych wariantów powierzchni strukturalnych wchodzących w skład modelu 3D (*horizons*). Stochastycznie oceniane ryzyko jest obliczane z wykorzystaniem poniższego równania :

$$S_r = S_{bc} + U_{1s} * U_{sgs}$$

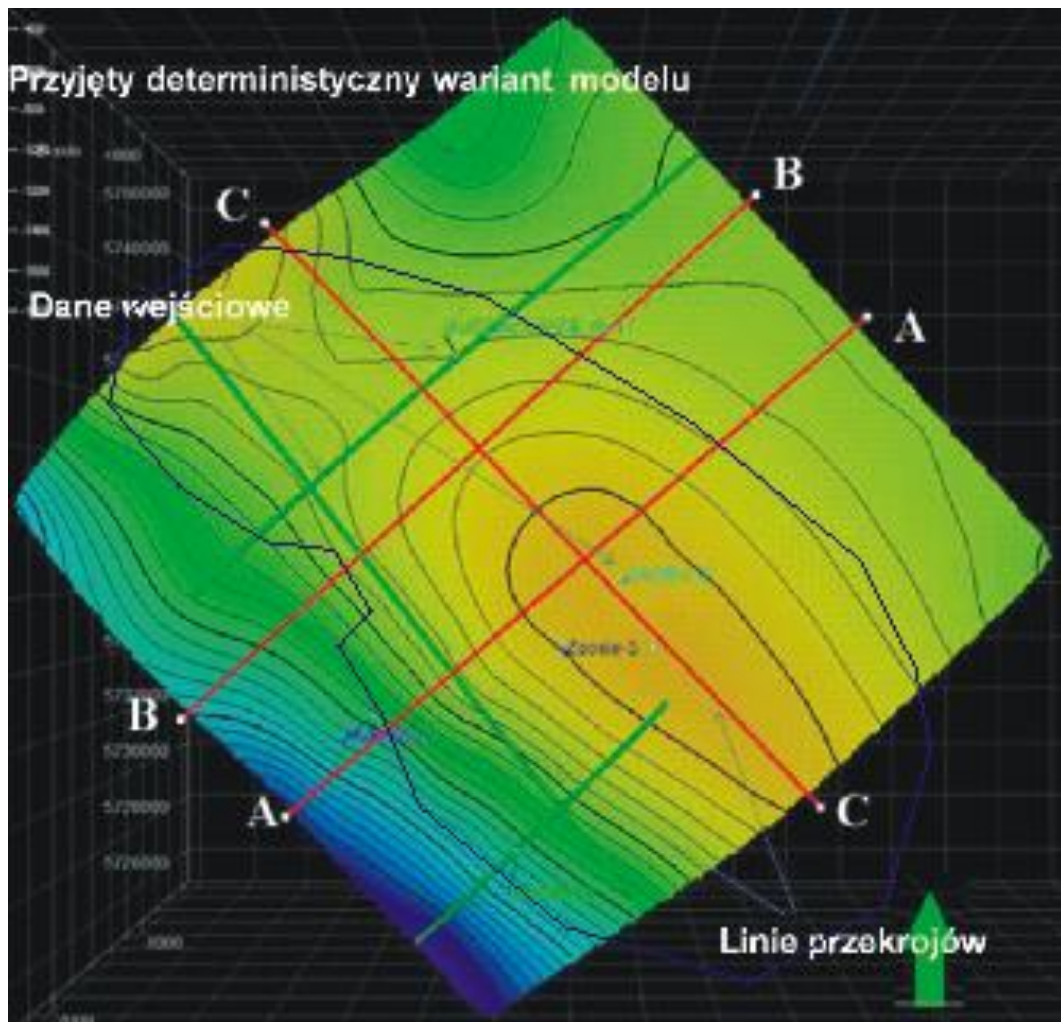
gdzie:

$S_r$  = obliczony wariant powierzchni (*Surface realization*)

$S_{bc}$  = wejściowa powierzchnia obliczana w sposób deterministyczny

$U_{1s}$  = błąd głębokości wynoszący 1 odchylenie standardowe ( $s$ ) - może być powierzchnią lub wartością stałą

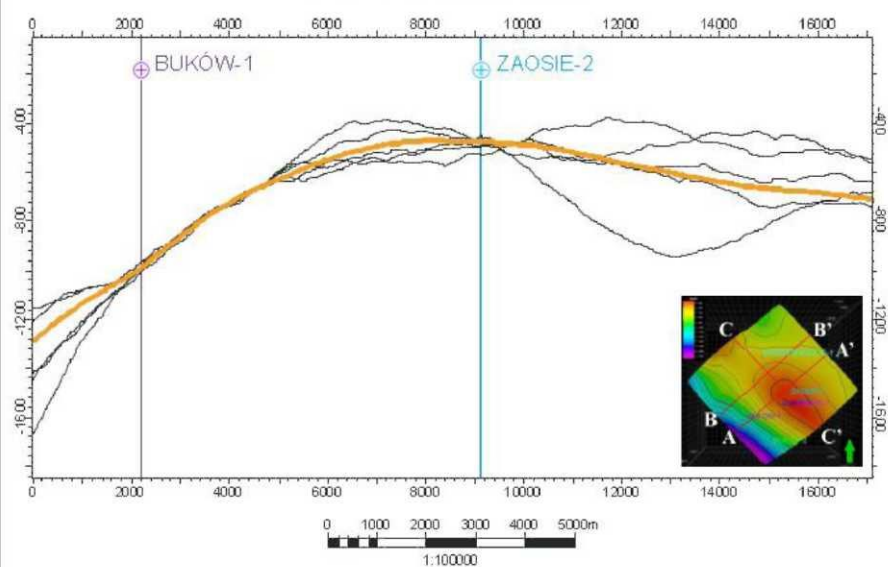
$U_{sgs}$  = Powierzchnia obliczona algorytmem SGS (średnia =0,  $s=1$ , jej odchyłka od powierzchni wejściowej w miejscu występowania danych wejściowych wynosi 0).



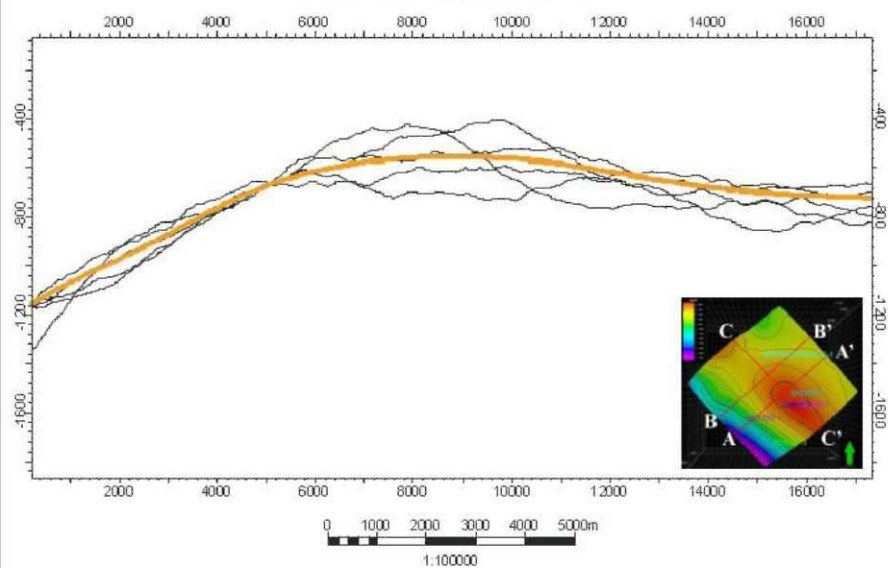
**Fig.1.1.17\_15** Mapa stropu formacji ciechocińskiej wraz z danymi wejściowymi wykorzystanymi do jej opracowania - przykład wygładzonego, deterministycznego grida 2D wykorzystanego do opracowania osnowy strukturalnej modelu 3D (kontur struktury zaznaczono granatową linią)

Ponieważ do opracowania modelu 3D wykorzystywano gotowe modele 2D do oceny ryzyka w modelu strukturalnym wykorzystano odchylenie standardowe obliczona jako stała dla danej powierzchni strukturalnej. W wyniku wielokrotnego zastosowania procedury obliczany jest szereg równie prawdopodobnych stochastycznych powierzchni strukturalnych, które są w pełni zgodne z powierzchnią obliczona w sposób deterministyczny i danymi wejściowymi. Wstępna analiza modelu parametrycznego wykazała, że stosunkowo największe znaczenie dla celów magazynowania będą miały trzy sekwencje: warstwy ciechocińskie, (Jto1), utwory pliensbachu oraz sekwencja synemuru i hetangu. Dla nich wykonano bardziej szczegółowe analizy ryzyka związanego z ukształtowaniem powierzchni stropowej. Modelowania ryzyka modelu strukturalnego wykonano na przekrojach A, B, C zaznaczonych na **Fig.1.1.17\_15\_** a wyniki przedstawiono na **Fig.1.1.17\_16**.

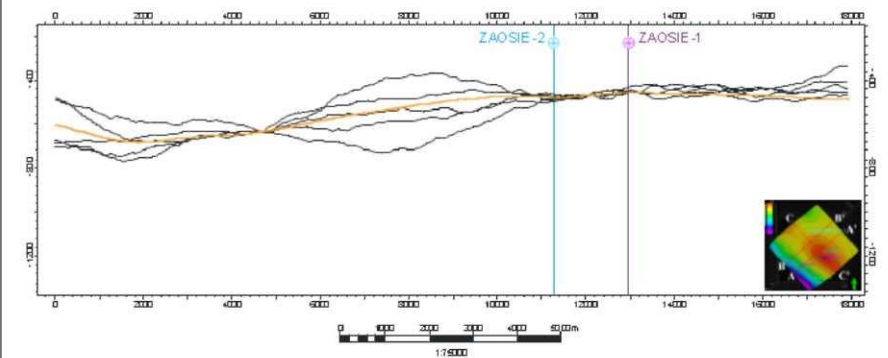
# STROP CIECHOCIŃSKA PRZEKRÓJ - A'



# PRZEKRÓJ B - B'

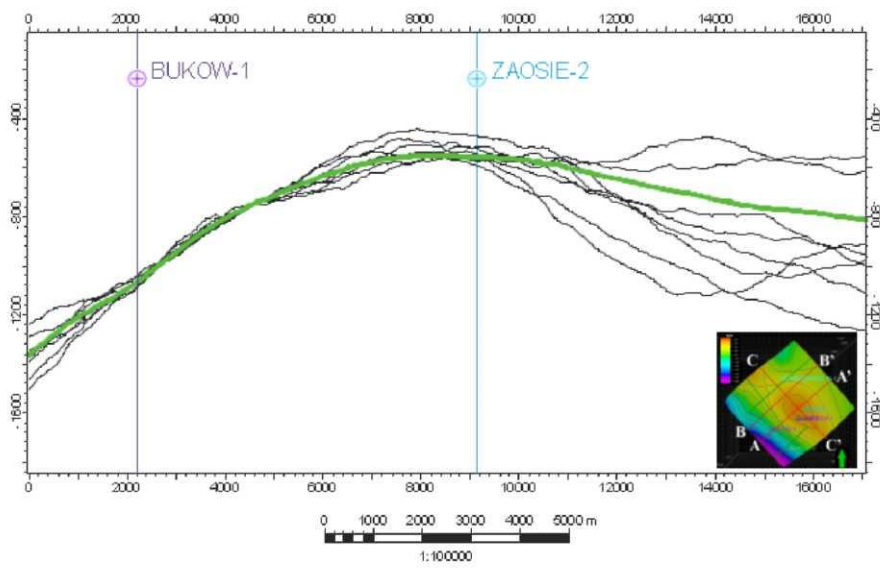


# STROP CIECHOCIŃSKA PRZEKRÓJ C - C'

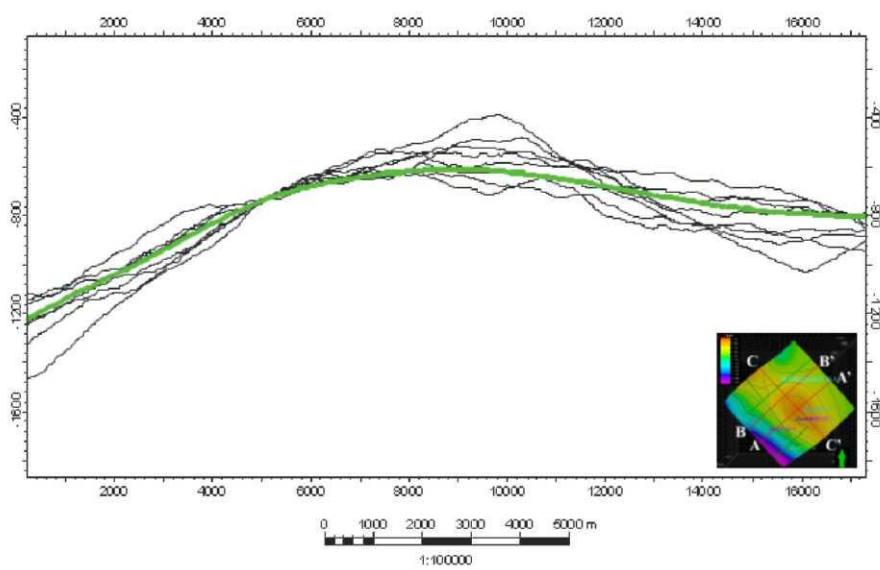




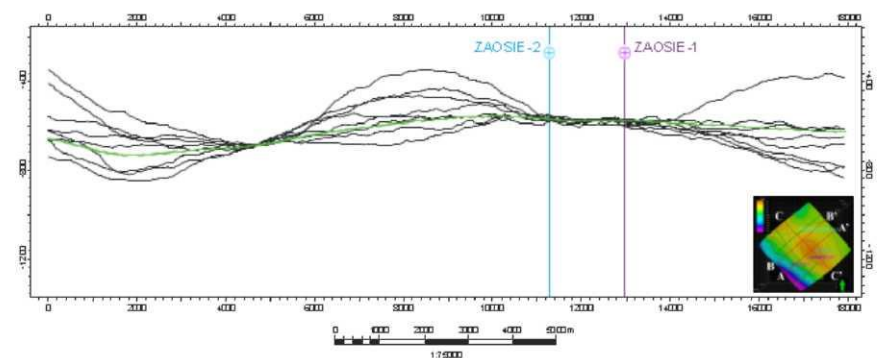
# STROP PLIENSBACH PRZEKRÓJ A - A'



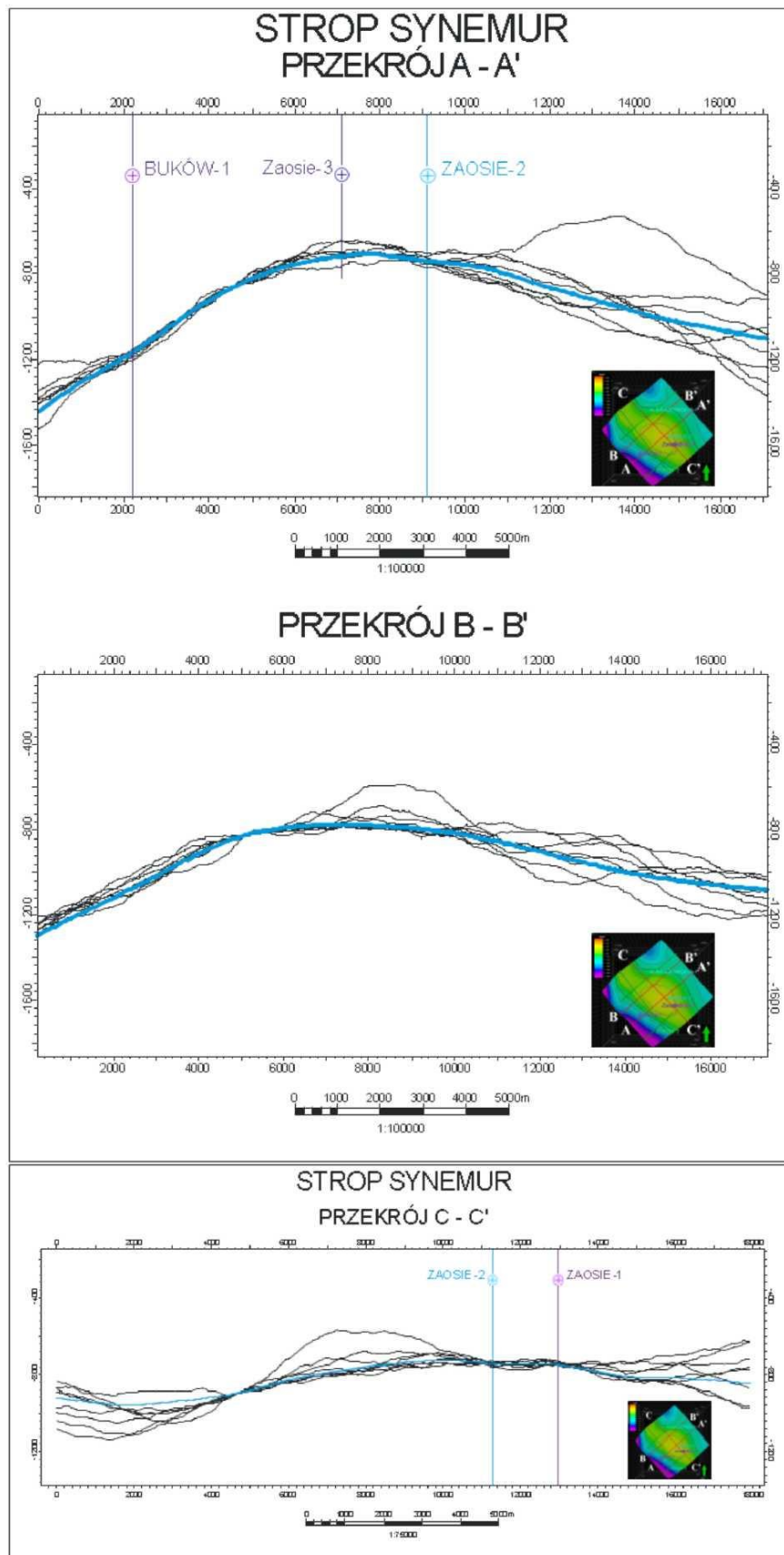
# PRZEKRÓJ B - B'



# STROP PLIENSBACH PRZEKRÓJ C - C'







**Fig.1.1.17\_16** Ukształtowanie powierzchni stropu poszczególnych horyzontów dla modelu dolnej jury w wariantach stochastycznych (czarny) i deterministycznym (żółty, zielony i niebieski)

Zamieszczone wyżej rysunki wyraźnie pokazują jak poważne może być ryzyko związane z błędami interpretacji strukturalnej. Jest on szczególnie duże w strefach słabo kontrolowanych danymi, takich jak rejon struktury Zaosia. By lepiej zilustrować skalę ryzyka wykonano zestaw diagramów pseudo 3D i teoretyczne obliczenia powierzchni i objętości potencjalnej pułapki strukturalnej ograniczonej powierzchnią stropu warstw ciechocińskich oraz hipotetycznym konturem złoża położonym na głębokości 650 m ppm (**Fig.1.1.17\_17**). Przedstawione na rysunku objętości nie odzwierciedlają rzeczywistej objętości pułapki złożowej, lecz całkowita objętość przestrzeni zamkniętej wymienionymi powierzchniami. Rysunki oraz przedstawione obliczenia pokazują, że w zależności od przyjętego wariantu powierzchnia i objętość struktury magazynowej może się różnić o około 30%.

Uzyskane wyniki pokazują również że obecny przestrzenny zasięg w miarę dokładnego modelu 3D jest obecnie zbyt mały i uniemożliwia ocenę geometrii zamknięcia pułapki od SE.

Porównując rysunki 1.1.16\_1 i 1.1.17\_15 widać że przekroje A i C są dość dobrze kontrolowane przez profile sejsmiczne 4-12-74K i 8-12-74K i stąd warianty stochastyczne odbiegające jakościowo od obrazu sejsmicznego są bardzo mało prawdopodobne.

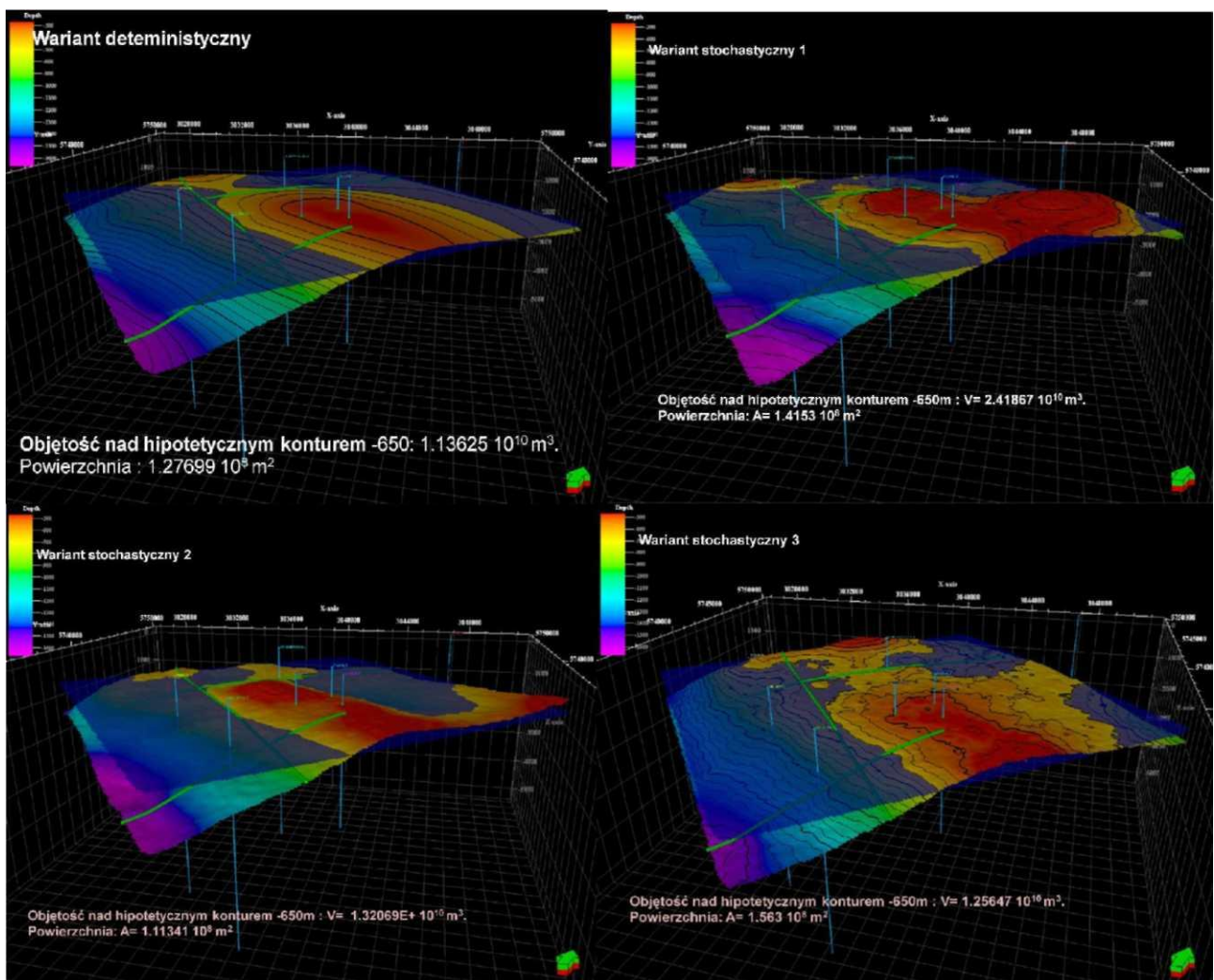


Fig. 1.1.17\_17 Struktura Zaosia obserwowana w stopie warstw ciechocińskich (model deterministyczny i modele stochastyczne - „mapa ryzyka”)

## Geologiczne ryzyko związane z przestrzennym rozkładem horyzontów uszczelniających i zbiornikowych oraz ich jakością

Modyfikacja modelu statycznego obejmowała również ponowne obliczenie modeli parametrycznych – litologii, zailenia oraz porowatości efektywnej.

Wykorzystano do tego celu algorytmy stochastyczne SIS oraz SGS. Dla każdego z wymienionych parametrów obliczono 5 lub 6 równie prawdopodobnych wariantów (*realisation*). Ostateczne modele parametrów zbiornikowych powstały w wyniku „uśredniania” modeli cząstkowych, zaś model litologiczny reprezentuje litologie najczęściej występującą w poszczególnych realizacjach. Ten sposób przetwarzania jest stosowany w przypadku wykorzystania modeli stochastycznych w celu zwiększenia wiarygodności uzyskanych rozwiązań. Podstawowym wynikiem zastosowana w/w procedury jest zwiększenie ciągłości przestrzennej warstw (Fig.1.1.17\_18). Równocześnie model jest zdecydowanie mniej arbitralny niż obliczony technikami deterministycznymi (np. Kriging).

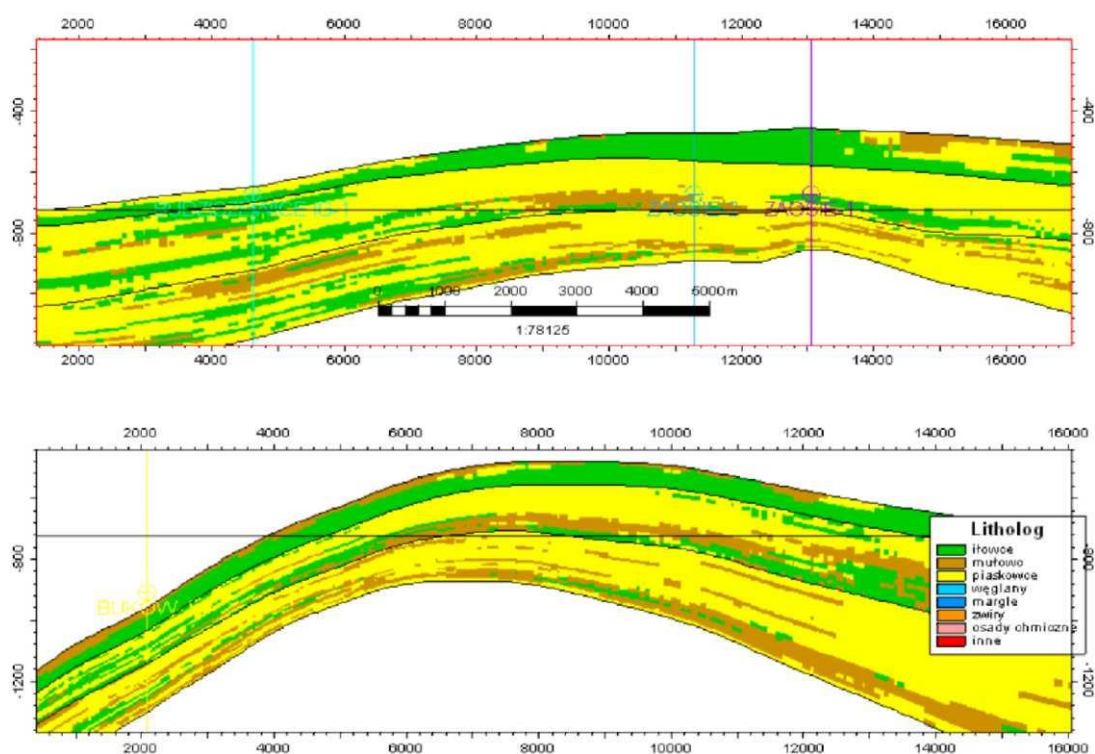
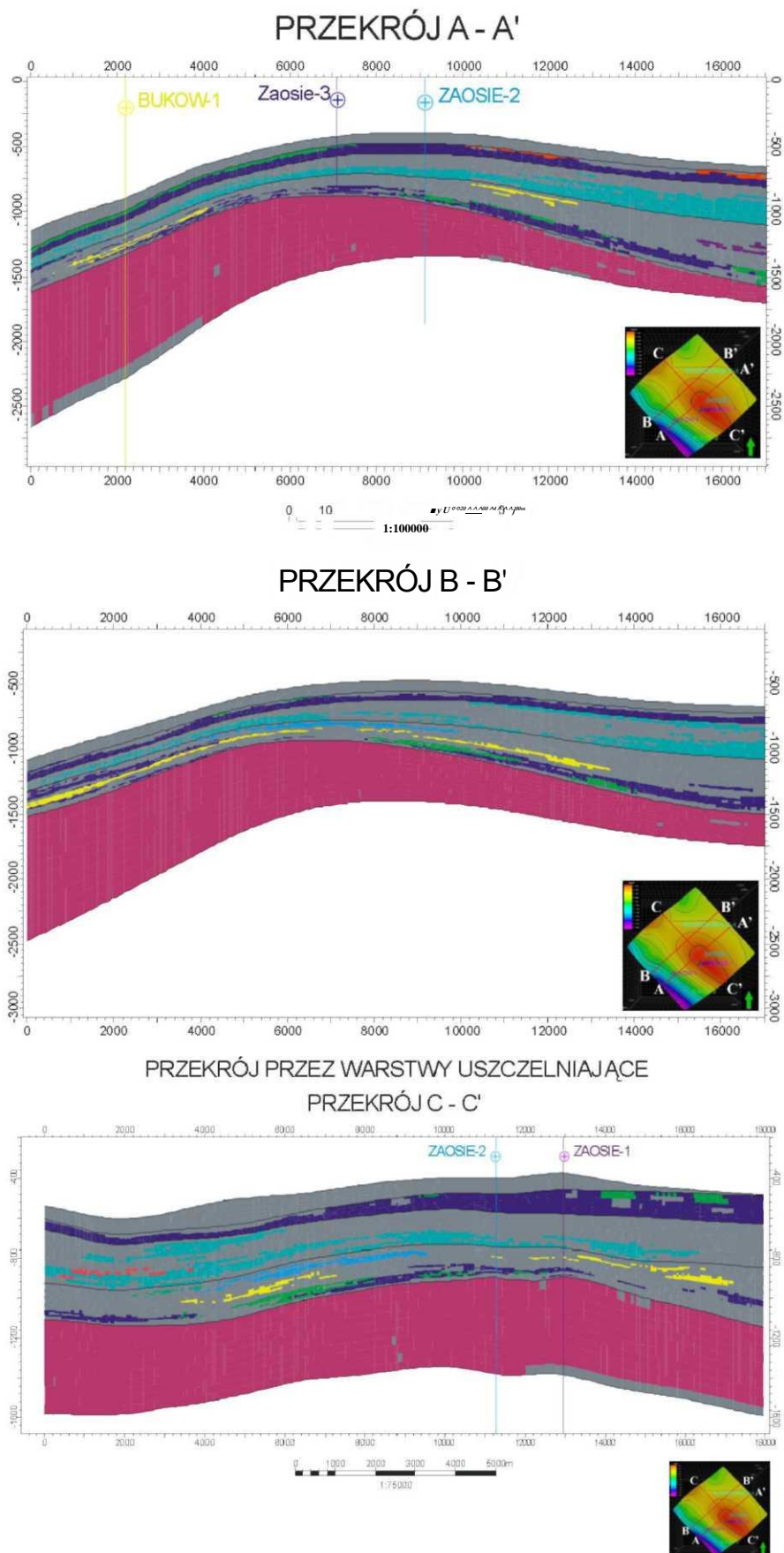


Fig.1.1.17\_18 Wynikowy model litologiczny powstały w wyniku przetworzenia pięciu wariantów stochastycznych modelu litologicznego.

### Model rozprzestrzenienia połączonych kompleksów uszczelniających i zbiornikowych

Na podstawie modelu wynikowego modelu litologicznego w programie Petrel wykonano modelowanie geometryczne umożliwiające wymodelowanie w obrębie wyróżnionych sekwencji stratygraficznych połączonych kompleksów stanowiących potencjalne uszczelnienie i zbiorniki. Modele uszczelnień obejmują połączone ze sobą komórki modelu 3D zbudowane w przewadze z ilowców bądź mułowców. Pokrywy te zrekonstruowano oddzielnie dla wymienionych litologii i połączono w jeden model uszczelnień mułowcowo ilastych.

Wszystkie przedstawiane modele parametryczne obliczono na podstawie danych geofizycznych pochodzących z 3 odwiertów. Ogranicza to znacząco ich wiarygodność, można jednak na tej podstawie wyciągnąć wstępne wnioski na temat ciągłości pokryw uszczelniających i zbiornikowych a także na temat ich jakości.



**Fig.1.1.17\_19** Przestrzenna dystrybucja potencjalnych kompleksów uszczelniających



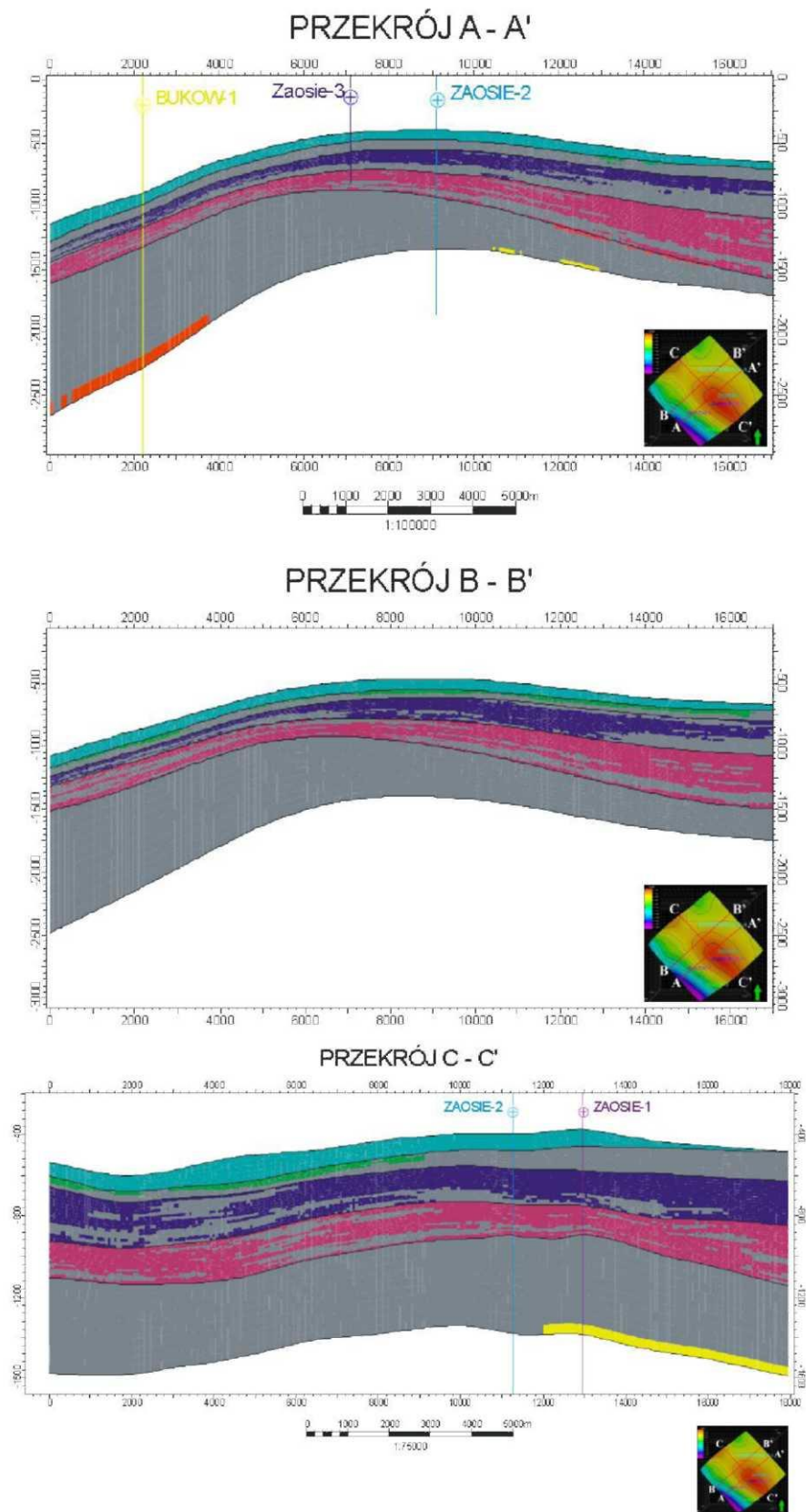


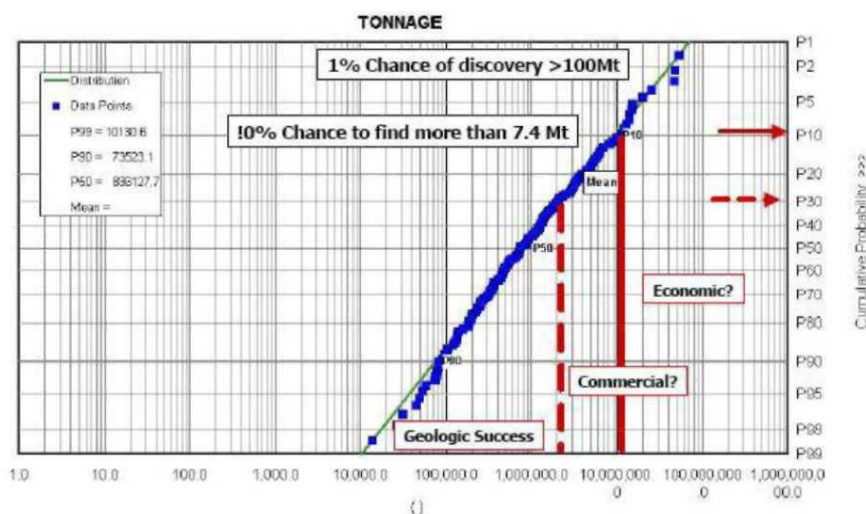
Fig.1.1.17\_20 Przestrzenna dystrybucja potencjalnych kompleksów zbiornikowych.

Przedstawiane na przekrojach (**Fig.1.1.17\_19**) poszczególne ciągłe warstwy uszczelniające są wyróżnione kolorami. Rysunki te pozwalają dostrzec, że ciągłe pokrywy uszczelniające o największej miąższości występują w przyspągowych partiach warstw ciechocińskich. Stosunkowo duża rozciągłość cechuje również kompleks uszczelniający rozwinięty głównie w przyspągowych partiach pliensbachu. Jednakże względu na znaczącą redukcję jego miąższości, obserwowaną na przekroju B-B' w przysiosowej części struktury Zaosia, należy go uznać za potencjalne uszczelnienie niższej jakości. Podobnie wygląda sytuacja w kompleksie synemur - hetang. Można tu zaobserwować liczne potencjalne uszczelnienia jednak mają one raczej lokalny zasięg i nie tworzą ciągłych pokryw w osiowej części antykliny Zaosia. Rozprzestrzenienie połączonych kompleksów piaskowcowych, stanowiących potencjalne kolektory przedstawiono na **Fig.1.1.17\_20**.

Przedstawiony obraz (**Fig.1.1.17\_20**) pozwalają zaobserwować występowanie połączonych, miąższach kompleksów potencjalnych skał zbiornikowych w obrębie sekwencji górnego toarku (model nie obejmuje jej górnoaaaleńskiego uszczelnienia ze względu na małą głębokość pograżenia tego kompleksu). Kompleksy zbiornikowe o dużej miąższości i rozciągłości występują również w profilu pliensbachu oraz synemuru - hetangu. Ze względu na obecność ciągłego uszczelnienia w nadkładzie najbardziej perspektywicznym poziomem wydają się być twory pliensbachu.

### Analiza ryzyka w ocenie własności zbiornikowych

Do podstawowych technik obiektywizacji uzyskiwanych wyników np. w aspekcie szacowania zasobów należy współcześnie tzw. metoda probabilistyczna (MP) czy inaczej techniki szacowania ryzyka (*risk assessment*) (Ross 2001, Heiberg, Swinkles 2001 Swinkles 2001) Metody te wykorzystują analizę rozkładów prawdopodobieństwa, określając, jako kluczowe dla estymacji wartości prawdopodobieństwa P10, P50 (medianę) i P90.



**Fig.1.1.17\_21** Schemat szacowania zasobów w wykorzystaniu metody probabilistycznej.

Pod pojęciem P90 rozumiemy odczytaną z kumulatywnej krzywej rozkładu prawdopodobieństwa wartość odpowiadającą percentylowi 90%. W terminologii MP, wartość ta odpowiada 90% pewności, że odkryte

zasoby będą wynosić co najmniej tyle, ile liczba odczytana dla P90 (**Fig.1.1.17\_21**). Szacowane w ten sposób zasoby są bardzo niskie (*Low Estimate*) i są określane jako udowodnione (*Proved= 1P*). Wartości odczytywane dla mediany (percentyla 50%) są określane w terminologii MP jako P50. Odpowiadają one najbardziej prawdopodobnemu scenariuszowi poszukiwań. Liczbowe wartości odpowiadające P50 są w literaturze anglojęzycznej określane jako zasoby udowodnione i prawdopodobne (*Proved and Probable = 2P*) lub inaczej jako najbardziej prawdopodobne (*Most Likely*). Zasoby policzone dla P50 wynoszą nie mniej niż wartość odczytana z krzywej rozkładu. Zasoby obliczane dla percentyla 10% (P10) to wariant najbardziej optymistyczny. Oszacowana w ten sposób wielkość zasobów jest najwyższa, jednakże prawdopodobieństwo ich odkrycia jest najniższe. Zasoby takie określane są jako udowodnione, prawdopodobne plus możliwe do odkrycia (*Proved plus, Probable plus Possible=3P*). Przedstawiona poniżej ocena ryzyka bazuje na tych założeniach, wprowadzając pewne modyfikacje w wyniku, których warianty pesymistyczny i optymistyczny są liczone z zastosowaniem procedury zbliżonej do modelowań strukturalnych. W zaproponowanym rozwiązaniu model realistyczny jest to uśredniona wartość parametru, obliczona w wyniku uśrednienia kilku realizacji (wariantów) modelu parametru, warianty optymistyczny i pesymistyczny powstają poprzez dodanie modelu wartości jednego odchylenia standardowego parametru:

$$M_o = M_r + M_{sd}$$

$$M_p = M_r - M_{sd}$$

Gdzie:

$M_p$  - wariant pesymistyczny modelu

$M_o$  - wariant optymistyczny modelu

$M_r$  - wariant realistyczny modelu

$M_{sd}$  - model odchylenia standardowego parametru

$M_{sd}$  jest obliczany na podstawie tych samych wariantowych modeli stochastycznych (realizacji), które wykorzystano do obliczenia wyników modeli parametrów (tu porowatości i zailenia). Otrzymane w ten sposób modele w wariantach optymistycznym i pesymistycznym konturują w populacji o rozkładzie normalnym granice tzw. tła obejmujące 68% przypadków (Krawczyk, Słomka 1991). Normalności rozkładów nie testowano statystycznie lecz w wyniku modelowania własności petrofizycznych w programie Petrel następuje normalizacja rozkładów statystycznych.

#### **Parametry zbiornikowe horyzontów uszczelniających**

Wariant realistyczny modelu zailenia obliczono w wyniku uśredniania arytmetycznego modeli 5 realizacji stochastycznych modelu zailenia. Estymowano je stosując algorytm stochastyczny Sequential Gaussian Simulation (SGS) z wykorzystaniem sterowania procesu estymacji modelem litologicznym (*facies conditioning*). Pesymistyczny wariant modelu zailenia obliczono w wyniku odjęcia od modelu uśrednionego (realistycznego) modelu odchylenia standardowego. Wariant optymistyczny modelu zailenia kompleksów obliczono poprzez dodanie do uśrednionych wartości zailenia obliczonych w modelu realistycznym modelu odchylenia standardowego (**Fig.1.1.17\_22**).

Podobnie postąpiono w przypadku pozostałych parametrów zbiornikowych (np. porowatości efektywnej poziomów piaskowcowych - **Fig.1.1.17\_23**).



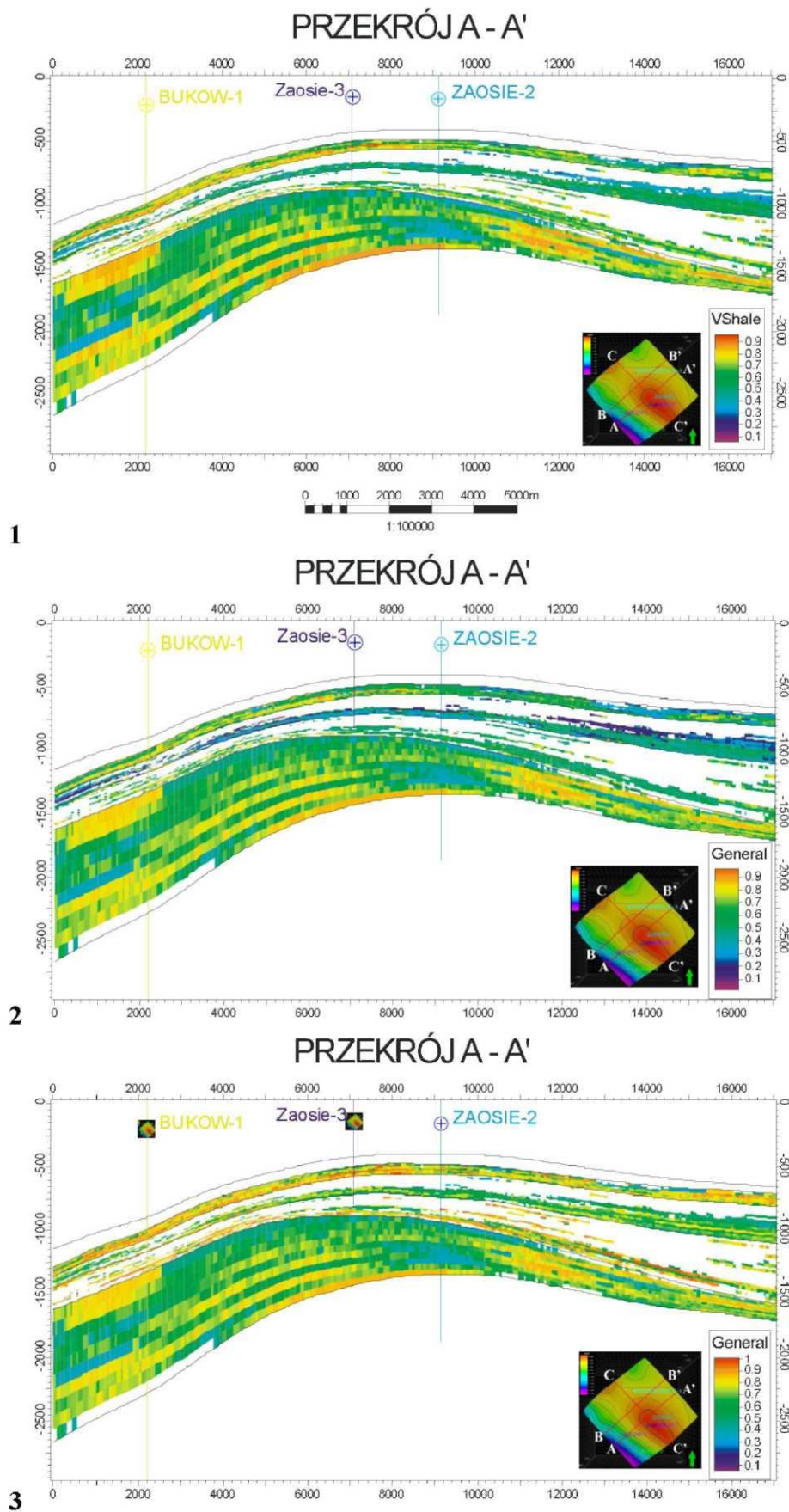
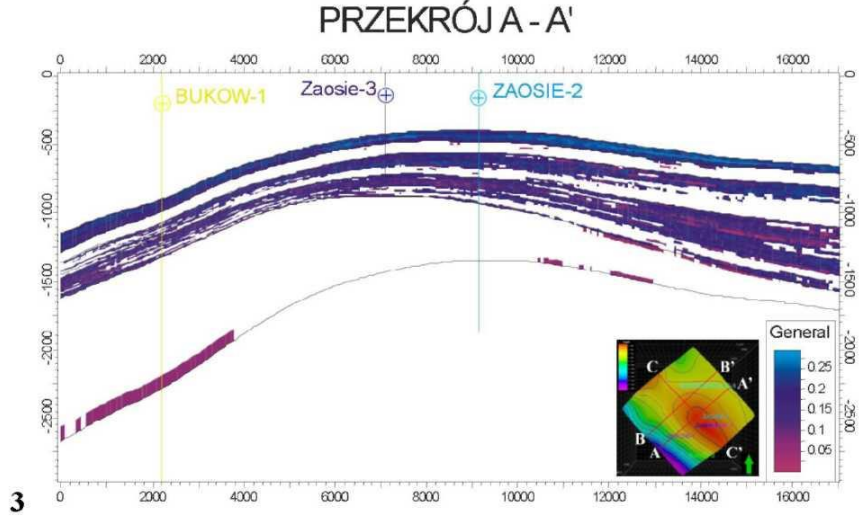
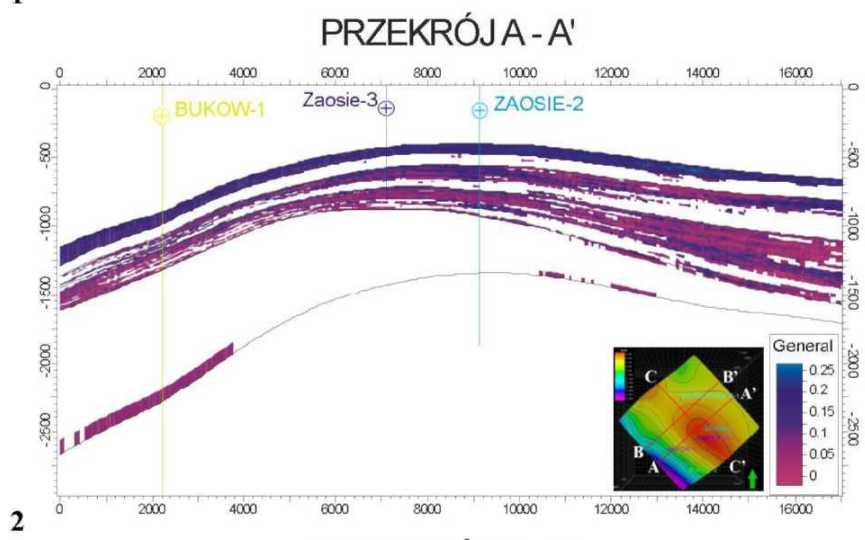
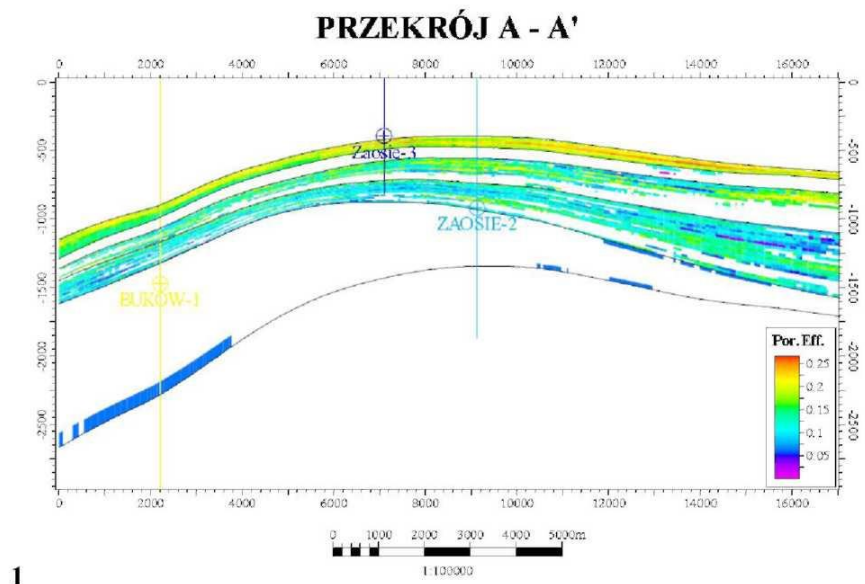


Fig.1.1.17\_22 Model uśrednionego zailenia potencjalnych kompleksów uszczelniających - model realistyczny (1), pesymistyczny (2) i optymistyczny (3).



**Fig.1.1.17\_23** Model porowatości efektywnej kompleksów piaskowców - model realistyczny (1), pesymistyczny (2) i optymistyczny (3).

## Obiekt solankowy w rejonie GZW

(Adam Wójcicki, Janusz Jureczka)

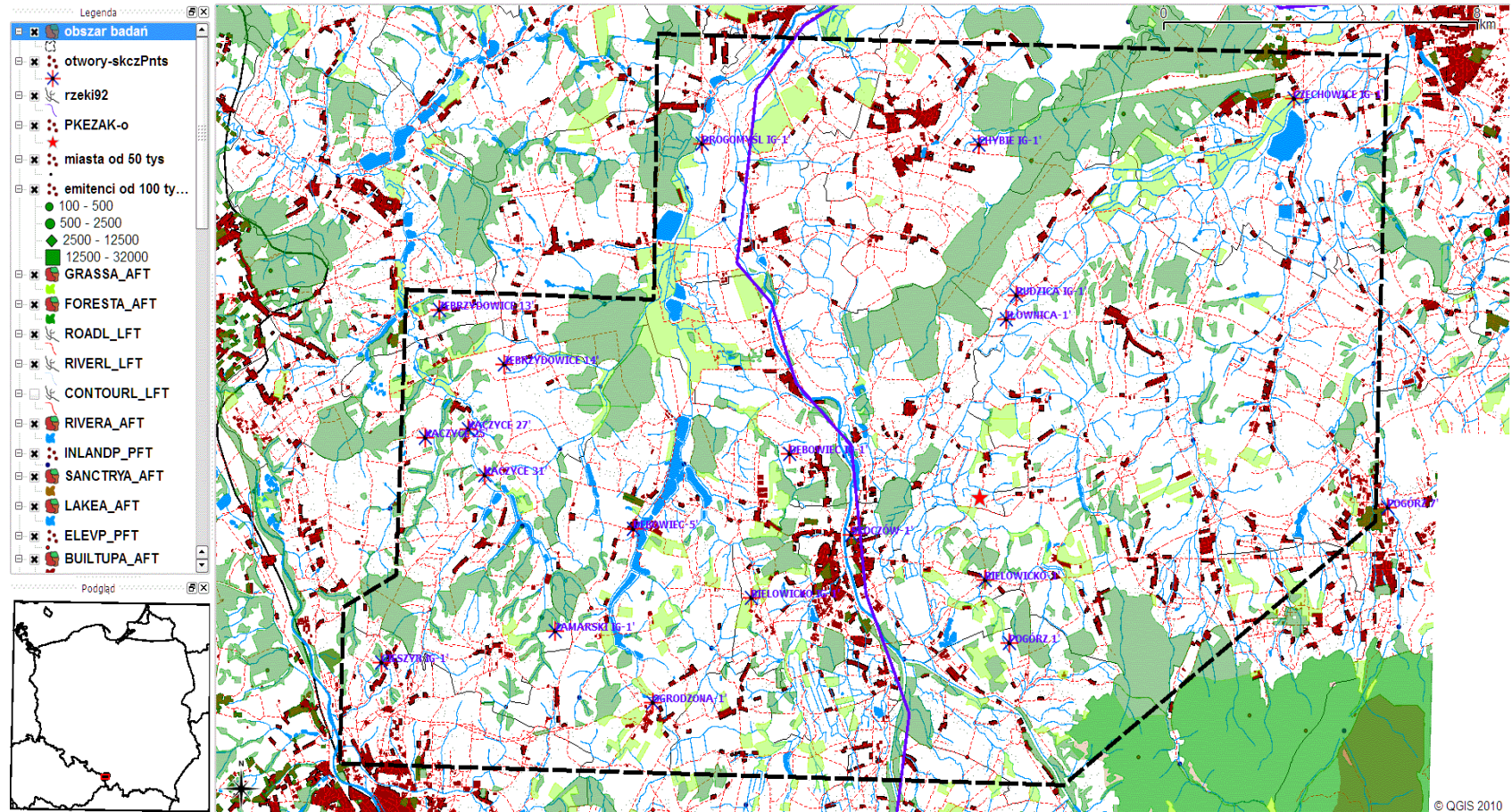
Ryzyko geologicznego składowania zdefiniowane jest (Chadwick et al., 2008) jako iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia i skutków zagrożenia. Z ryzykiem geologicznym, dotyczącym szczelności i integralności kompleksu składowania, związane są zagadnienia wpływu wycieków dwutlenku węgla (do słodkich wód podziemnych i atmosfery; to ostatnie ma aspekt lokalny i globalny, związany z emisją CO<sub>2</sub> do atmosfery) oraz solanki (do wód podziemnych) na środowisko oraz zdrowie i bezpieczeństwo ludzi. Poza tym mamy jeszcze ryzyko ekonomiczne, związane z opłacalnością inwestycji oraz ryzyko akceptacji społecznej dla inwestycji i szereg innych.

Na **Rys. 1** przedstawiono rozkład skupisk ludzkich w rejonie struktury i otworów (symulacyjnych) do zatłaczania oraz istniejących otworów. Lokalizacja otworów symulacyjnych (modelowanie procesów zatłaczania) została wybrana orientacyjnie, na podstawie znanej geometrii struktury i przebiegu wykorzystanych linii sejsmicznych. Ostateczna lokalizacja może być wybrana przez inwestora dopiero w wyniku uzgodnień z władzami lokalnymi i właścicielami gruntów.

W następnych podrozdziałach przedstawiono analizy różnych aspektów ryzyka geologicznego składowania.

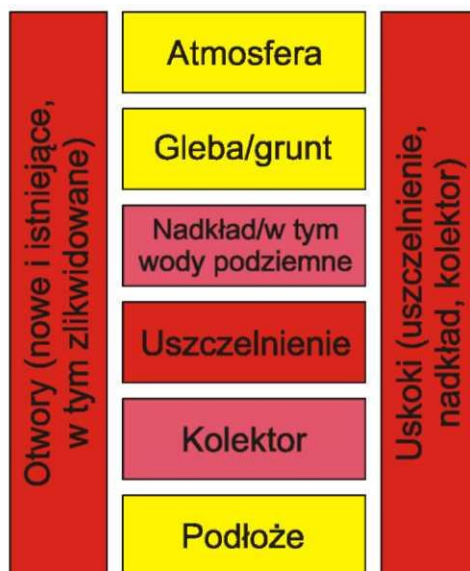
GIG wykonał przeglądowe analizy i oceny ryzyka w oparciu o dotychczasowe wyniki badań prowadzonych przez członków konsorcjum w ramach segmentu II, w szczególności zadań **1.1.15** i **1.1.16**. Jako podstawę do analiz przyjęto metodologię z podręcznika najlepszych praktyk projektów CO2STORE, SACS i SACS2 (Chadwick et al., 2008), w szczególności analizę FEP (Feature-Events-Procedures). Natomiast AGH wykonał analizy niepewności określenia parametrów kompleksu składowania (zbiornik i uszczelnienie) w aspekcie bezpieczeństwa składowania i integralności składowiska. Ponadto INiG przeanalizował ryzyka związane z nieszczelnością starych, w tym zlikwidowanych, otworów wiertniczych, z tym że zostały one omówione łącznie w rozdziale dotyczącym struktur naftowych (rejon Skoczów-Czechowice obejmuje też brzeżną strefę Karpat i Zapadliska Przedkarpackiego, podobnie jak rejon złoża Nosówka - w obu przypadkach stosowana była podobna technologia wierceń, z uwagi na podobne warunki geologiczne).





**Rys. 1** Mapa topograficzna obszaru badań (dane cyfrowe VMAP Level2, zestawił - **Adam Wójcicki**); gwiazdką zaznaczono jeden z możliwych punktów zatłaczania, ciemnoczerwone obszary to zabudowa miejska i wiejska (linie kropkowane - drogi), zielone to obszary leśne, żółtozielone – łąki a kolorem niebieskim zaznaczono zbiorniki i ciekі wodne.

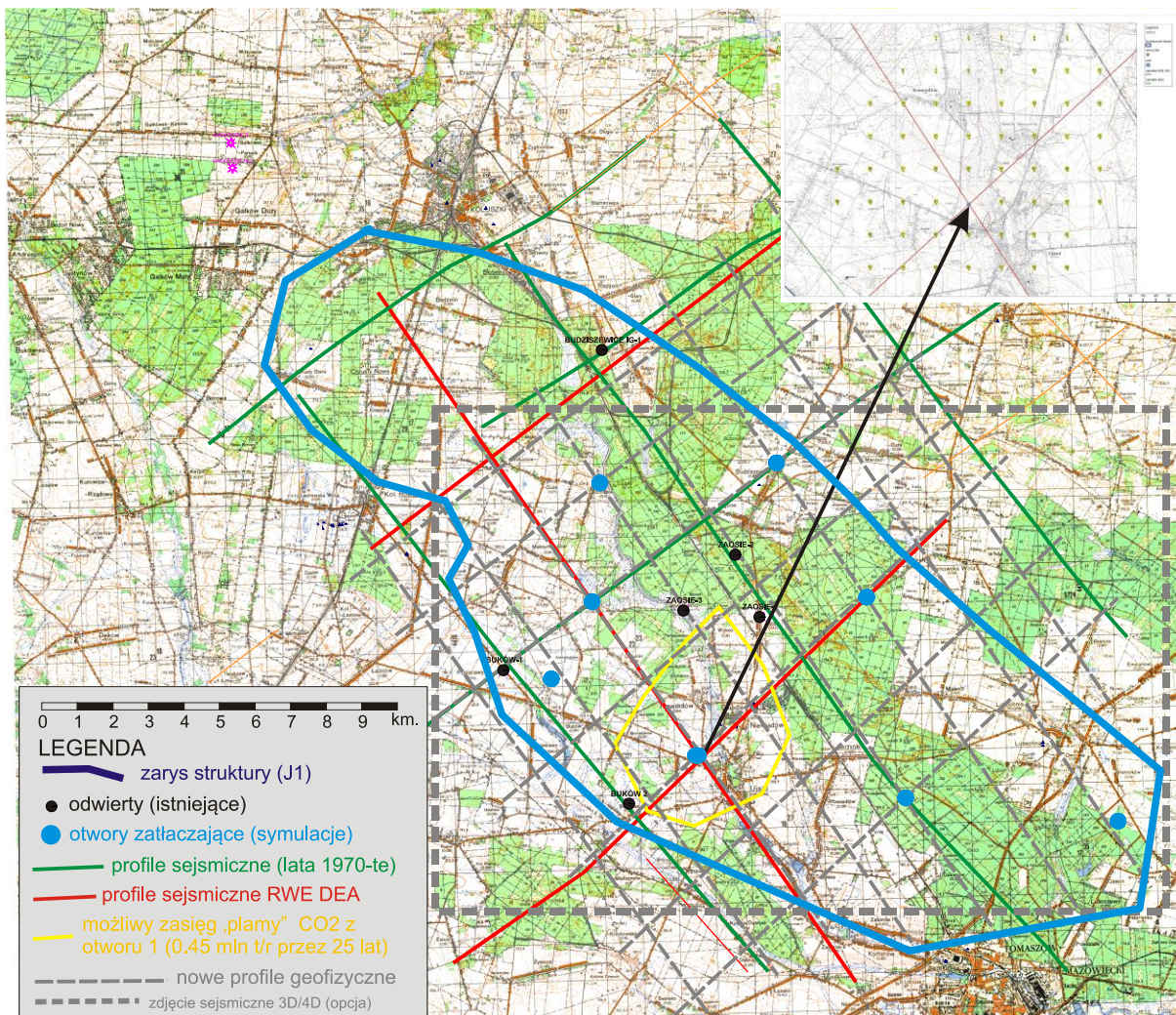
Podstawowe zagadnienia planu ryzyka obejmującego powyższy zakres prac przedstawiono na **Rys. 2**, przy czym odcieniami koloru czerwonego zaznaczono elementy krytyczne dla przedsięwzięcia geologicznego składowania (ciemniejszy odcień oznacza większą wagę niż jaśniejszy) a żółtym nie tak ważne, choć również istotne. Najistotniejsze w naszym przypadku dla bezpieczeństwa geologicznego składowania dwutlenku węgla jest jakość uszczelnienia, brak uskoków przecinających je i nadkład, oraz szczelność nowych (przewidywanych do odwiercenia w przypadku wyboru struktury na składowisko) i starych, zlikwidowanych otworów wiertniczych. Prawie równie ważna jest jakość kolektora i ochrona słodkich wód podziemnych.



**Rys. 2** Podstawowe zagadnienia planu ryzyka dla obiektu Skoczów-Czechowice

Z uwagi na niedostateczną pojemność struktury (dynamiczna pojemność nieco ponad 20 mln ton - zadanie **1.1.16**, co nie wystarcza nawet do składowania emisji z niedużej elektrowni lub większego bloku energetycznego) analizowano także inne scenariusze składowania CO<sub>2</sub> z instalacji w Kędzierzynie. Jedną z tych opcji było wykorzystanie struktury Budziszewice-Zaosie, rozpatrywanej jako jedno z potencjalnych składowisk dla projektu demonstracyjnego CCS PGE Bełchatów. Wyniki symulacji (**1.1.16**), zależnie od wariantu, w tym ilości i konfiguracji otworów zatłaczających, wskazywały na możliwość zatłoczenia od około 50 do 120 mln ton CO<sub>2</sub>. W drugim przypadku, po zweryfikowaniu jej geometrii, umożliwiło by to wykorzystanie struktury na potrzeby dwóch projektów demonstracyjnych (**Rys. 3**). Bezpieczne składowanie takich ilości CO<sub>2</sub> (rzędu 5 mln ton rocznie) byłoby możliwe przy wykorzystaniu do 7 otworów iniekcyjnych. W przypadku niewybrania przez PGE tej struktury, wykorzystanie jej przez PKE/Tauron pozostaje sprawa otwartą, jednakże istotny problem stanowiłby koszt transportu (odległość w prostej linii ponad 200 km).





**Rys. 3** Zweryfikowany zarys struktury Budziszewice-Zaosie z lokalizacją (symulacyjnych) otworów zatłaczających, na tle mapy topograficznej

Ponadto została przeprowadzona przez PIG-PIB analiza metodyczna oceny zagrożeń związanych ze składowaniem na podstawie badań geochemicznych powietrza glebowego wykonanych za pomocą analizatora GA. Badania te miały na celu określenie tła dla zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym, która podlega sezonowym zmianom z uwagi na okres wegetacyjny i związane z nim procesy biogeochemiczne w glebie.

## Ocena ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> dla zbiornika Cieszyn-Skoczów-Czechowice (GIG)

(Jarosław Chećko, Eleonora Solik-Heliasz, Piotr Rozmus, Tadeusz Bromek, Magdalena Głogowska, Aleksandra Koterka, Tomasz Urych, Robert Warzecha, Michał Gut)

Problematyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> jest obecnie szeroko podejmowana nie tylko w Polsce ale i na całym świecie. Dzieje się tak dlatego, że w chwili obecnej technologia CCS uważana za najbardziej obiecującą technologię umożliwiającą „redukcję” emisji dwutlenku węgla. Zgodnie z założeniami unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji, wychwycony i bezpiecznie składowany dwutlenek węgla uważany jest za niewyemitowany.

Składowanie dwutlenku węgla w formacjach geologicznych niesie za sobą ryzyko niekontrolowanego wydostania się gazu poza zbiornik, co może być wynikiem następujących czynników:

- przenikania przez warstwowe geologiczne wskutek różnicy ciśnień pomiędzy zatłaczanym gazem, a otaczającymi formacjami geologicznymi,
- przenikaniem przez „rozluźnioną” pod wpływem CO<sub>2</sub> strukturę skalną,
- wykonania w trakcie realizacji zatłaczania CO<sub>2</sub> lub nieczynne otwory wiertnicze.
- system uskoków i spękań

Zgodnie z założeniami dyrektywy CCS ocena ryzyka prowadzona być powinna na wszystkich etapach prowadzenia technologii CCS tj. od momentu projektowania czyli już w fazie przed operacyjnej jak również w trakcie i po zakończeniu zatłaczania tj. w fazie operacyjnej i pooperacyjnej. Już w fazie przedoperacyjnej, czyli podczas wyboru lokalizacji do podziemnego składowania dwutlenku węgla, prowadzona być powinna właściwa identyfikacja zagrożeń i ich ocena. Jest to bowiem czynnik determinujący możliwość przejścia do fazy operacyjnej.

Ryzyko definiowane jest jako „możliwość pojawienia się strat dóbr szczególnie chronionych w wyniku zdarzeń niepożądanych, które mogą powstać w rozpatrywanym fragmencie systemu człowiek - technika - środowisko w określonym przedziale czasu. Przyjmując, że dobrem szczególnie chronionym jest życie i zdrowie człowieka, definicja ta wiąże pojęcie zagrożenia bezpieczeństwa z pojęciem ryzyka poprzez kategorię ekonomiczną, jaką jest pojęcie straty”. (Krzemiński, Krause).

W przypadku oceny ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> zgodnie z założeniami EPA (EPA, 2008) stosowane mogą być ogólne założenia dotyczące oceny ryzyka i jego zarządzaniem zawarte w wielu normach i aktach prawnych, jak np.: ISO 31000:2009.

Zgodnie z jej założeniami może być ona stosowana do wszystkich rodzajów ryzyka, niezależnie od jego charakteru.

Ocenę ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> należy prowadzić w 3 podstawowych etapach:

1. identyfikacja zagrożeń
2. oszacowanie ryzyka
3. ustalenie rankingu ocen ryzyka

przy czym w celu oszacowania ryzyka należy ustalić prawdopodobieństwo wystąpienia danego zagrożenia oraz ciężkość ich następstw.

Ryzyko związane z geologicznym składowaniem dwutlenku węgla można określić jako zależność prawdopodobieństwa oraz skutków wycieku CO<sub>2</sub> z formacji geologicznej w określonych przedziałach czasu i konsekwencji tego wycieku dla środowiska naturalnego, zdrowia i bezpieczeństwa ludzi.

$$R = f(P, S)$$

gdzie:

R – ryzyko

P – prawdopodobieństwo

S – skutki

Założenia te zostały wykorzystane podczas realizacji projektu. Prace skoncentrowano na właściwej analizie zagrożeń i ich ocenie przy wykorzystaniu wyników modelowania numerycznego. W przypadku wystąpienia znaczących zagrożeń wykonano dodatkowe analizy pozwalające właściwie ocenić wysokość ryzyka.

### **Położenie i zagospodarowanie terenu**

Zbiornik Cieszyn-Skoczów-Czechowice znajduje się w południowo-zachodniej części GZW i jego bezpośrednim obrzeżeniu, a od swojej zachodniej strony przylega do granicy polsko-czeskiej. Jego powierzchnia to około 370,82 km<sup>2</sup>. Jest to obszar ciągnący się od granicy z Republiką Czeską (rejon Cieszyna-Jastrzębia) poprzez okolice Czechowic-Dziedzic. Nie jest to cały obszar występowania warstw dębowieckich, ponieważ te kontynuują się dalej w kierunku wschodnim, a potem południowo-wschodnim. Jednak wyznaczony zbiornik ma w tym rejonie najkorzystniejsze parametry do składowania CO<sub>2</sub>.

Jest to jednocześnie obszar dwóch jednostek alpejskich: zapadliska przedkarpackiego w części północnej i nasunięcia karpackiego, które przykrywa jego południową część.

Obszar ten należy prawie w całości do dorzecza Wisły. Niewielka zachodnia część zbiornika znajduje się w dorzeczu Odry. W omawianym rejonie zbiornika znaczenie ma fakt, jego położenie w obszarze źródłowym Wisły, gdzie jest wiele ujęć wodnych przeznaczonych na cele komunalne. Od strony północno-wschodniej przylega on także do dużego rezerwaru wody pitnej - Zbiornika Goczałkowickiego.

W południowej części zbiornika Cieszyn-Skoczów-Czechowice położona jest miejscowość Skoczów. Część południowo-zachodnia badanego obszaru znajduje się w bezpośredni sąsiedztwie północnych dzielnic Cieszyna, a północno-wschodnia i wschodnia w pobliżu Czechowic-Dziedzic i Bielska-Białej. Poza wyżej



wymienionymi większymi skupiskami, obszar charakteryzuje się nieregularną zabudową wiejską z dużą ilością gruntów ornych. Lasy zajmują niewielką powierzchnię analizowanego terenu.

Ponadto zbiornik Cieszyn-Skoczów-Czechowice graniczy z następującymi obszarami złóż węgla kamiennego:

- na północy w odległości około 3,8 km znajdują się obszary pól rezerwowych Pawłowice rej. i Kobiór-Pszczyna. Pomiędzy zbiornikiem, a polami rezerwowymi występuje zbiornik wody pitnej Goczałkowice;
- na północnym-wschodzie w odległości około 5 km z KWK Brzeszcze-Silesia, Ruch Silesia;
- na północnym-zachodzie z KWK Pniówek oraz w odległości około 0,6 km z obszarem złożowym Bzie-Dębina;
- od strony zachodniej w niewielkiej części występuje na obszarach złożowych Zebrzydowic i nieczynnej kopalni Morcinek.

Warstwy dębowieckie w rejonie analizowanego zbiornika zostały rozpoznane głównie w oparciu o dane pochodzące z otworów wiertniczych, a także badania sejsmiczne. Rozpoznanie tego obszaru jest nieregularne. Duże zagęszczenie otworów wiertniczych występuje na obszarach złożowych węgla kamiennego i złóż gazu tj. centralnej, północno-zachodniej i zachodniej części badanego zbiornika. Południowa i południowo-wschodnia część jest słabo rozpoznana. Generalnie stopień rozpoznania maleje w kierunku wschodnim. Poza otworami wiertniczymi cenną informację dla rozpoznania wnoszą profile badań sejsmicznych mające w większości przebieg N-S.

## **Budowa geologiczna rejonu zbiornika Cieszyn – Skoczów – Zebrzydowice**

### **Tektonika**

Budowa geologiczna rejonu zbiornika Cieszyn-Skoczów-Czechowice szczegółowo została opisana w raportach nr 3 i 4 (segment I i II) „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO<sub>2</sub> wraz z ich programem monitorowania”, zamieszczonych na stronie [www.pgi.gov.pl](http://www.pgi.gov.pl).

W obrębie utworów paleozoicznych na północny-wschód od granic omawianego zbiornika rozciąga się rozległa struktura zwana niecką główną. W tym rejonie warstwy karbonu i dewonu zalegają monoklinalnie w kierunku północnym. Lokalnie w strefach przyuskokowych obserwuje się formy fleksuralne. Obszar, do którego należy zbiornik, ukształtowany jest przez tektonikę dysjunktywną. W tej części zagłębia dominują uskoki równoleżnikowe o zrzutach przekraczających 100 m. Na zrębowo-schodowy charakter wpływają uskoki i strefy uskokowe, z których najważniejsze to: strefa uskokowa Żory-Jawiszowice o zrzucie ok. 1100 m oraz Ruptawa-Czechowice-Marcyporęba o zrzucie do 600 m. Zrzuca ona osady paleozoiku na południe. W kierunku zachodnim wielkość zrzutu uskoku „ruptawskiego” maleje do około 400÷550 m (Kotas, 1987). Uskok ten tworzy prawdopodobnie szerszą i bardziej skomplikowaną strefę dyslokacji nieciągłych. Obie te strefy uskokowe położone są poza obszarem zbiornika, na północ od niego. Na terenie samego zbiornika biegnie uskok Zebrzydowice-Ligota, zrzucający osady karbonu na południe. Jego amplituda osiąga maksymalnie 350 m. Uskok ten biegnie równolegle do strefy Ruptawa-Czechowice. Pozostałe uskoki mające

wpływ na budowę tego obszaru, to Zebrzydowice-Rudzica i Zamarski-Hermanice zrzucające utwory karbonu ku północy, o 300÷350 m.

Dodatkową cechą budowy tego rejonu jest występowanie łagodnych ugięć warstw w formie synklin lub antyklin. Tego rodzaju rozległe niecki (brachysynkliny) występują w okolicy Pruchnej i Drogomyśla oraz w rejonie Strumienia. Jest to jednocześnie obszar uskoku Zebrzydowice-Ligota.

Budowa geologiczna rejonu zbiornika Cieszyn-Skoczów-Czechowice jak i całego obszaru GZW została ukształtowana w wyniku nakładającej się na siebie działalności sedimentacyjno-diastraficznej dwóch cykli orogenicznych: waryscyjskiego i alpejskiego (Wójcicki, 2009). Osady powstałe w wyniku działalności tych dwóch cykli oddziela morfologicznie zróżnicowana powierzchnia stropu paleozoiku, będąca efektem głównie erozji. Luka sedimentacyjna powstała w tym okresie obejmuje osady od permu do dolnego miocenu. W strukturze morfologii stropu karbonu można wydzielić szereg ważniejszych jednostek morfologicznych obniżonych i wyniesionych o rozciągłości generalnie równoleżnikowej. Elementy wyniesione w literaturze dotyczącej tego regionu definiowane są jako grzbiety, a obniżenia jako doliny. Do ważniejszych jednostek należy Grzbiet Pawłowic, który w kierunku wschodnim kontynuuje się w kierunku Jawiszowic. Grzbiet ten obejmuje północną część obszaru i występuje nad skłonem morfologicznym utworzonym wzdłuż strefy uskoku Ruptawa-Czechowice-Marcyporęba. Na południe od tej strefy występuje grzbiet Dziedzic-Kobiernic obejmujący część centralną zbiornika Cieszyn-Skoczów-Czechowice. Grzbiet ten od północnego-zachodu rozcięty jest doliną Strumienia, od północnego-wschodu doliną Wilamowic, a od południa doliną Bielska. Dolina Bielska w kierunku zachodnim łączy się przypuszczalnie z dolinami Strumienia i Skoczowa (Jura, 2001). Tak zróżnicowana morfologia podłoża warstw dębowieckich ujawnia się w ich zmiennej grubości, rośnie ona w obniżeniach morfologicznych podłoża, a w okolicy dawnych grzbietów następuje jej redukcja.

W utworach nadkładu warstw dębowieckich nie stwierdzono jednoznacznie występowania uskoku.

## **Litostratygrafia**

### ***Utwory podłoża warstw dębowieckich***

Warstwy dębowieckie w rejonie zbiornika Cieszyn-Skoczów-Czechowice przeważnie zalegają bezpośrednio na karbonie (utwory produktywne + kulm) lub osadach starszego miocenu, w znacznie mniejszym stopniu na serii węglanowej dolnego karbonu i dewonu.

### ***Utwory węglanowe dewonu środkowego, górnego i karbonu dolnego***

W obrębie utworów węglanowych dewonu środkowego, górnego i karbonu dolnego wyróżnia się dwie serie; starszą dolomityczną i młodszą wapienną (Kotas, 1982). Starsza seria o względnie stałej miąższości 250÷290 m, zbudowana jest ciemnoszarych i czarnych dolomitów. W ich obrębie sporadycznie pojawiają się wkładki margli i mułowców. W literaturze określa się ich wiek na eifel. Młodszą serię budują głównie wapień organodetrytyczne i organogeniczne. W górnej części profilu tej serii (karbon dolny) pojawiają się wkładki mułowców, tufitów i lidytów. Jej wiek określony jest na fran, famen, turnej i wizen dolny. Nie potwierdzono przerwy sedimentacyjnej między dewonem a karbonem. Miąższość całego kompleksu jest od 200 do 800 m.

## **Karbon**

Prefliszowa asocjacja węglanowa (wapień węglowy) dewonu środkowego, górnego i karbonu dolnego przechodzi w klastyczne utwory pochodzenia morsko-deltowego, odpowiadające utworom fliszowym (Kotas, 1995). Na górnej serii karbonu dolnego leżą więc zgodnie mułowcowo-piaszczyste utwory asocjacji fliszowej, na tym obszarze praktycznie bezwęglowe (Jureczka, Kotas, 1995). Wiek warstw karbonu górnego określany jest na górny wizen i dolny namur A. Seria w północnej i zachodniej części GZW reprezentowana jest przez warstwy malinowickie. Są one korelowane z warstwami zalaskimi pojawiającymi się od linii Ustroń–Czechowice–Krzeszowice w kierunku południowo-wschodnim zagłębia (Jureczka, Kotas, 1995). Miąższość całego kulmu w części zachodniej GZW jest największa i przekracza 1000 m. Pełny profil tych osadów na obszarze zbiornika Cieszyn-Skoczów-Czechowice poznany został praktycznie tylko w otworze Rudzica IG-1.

Powyżej tego poziomu następują zmiany litologiczne. Morskie osady przechodzą w utwory molasowe (tzw. karbon produktywny) zawierające pokłady węgla. Leżą one zgodnie na osadach asocjacji fliszowej. Całą serię węglonośną karbonu charakteryzuje dwudzielna budowa: dolna część to seria paraliczna i górna, określana jako osady kontynentalne (lądowe) górnosląskiej serii piaskowcowej, serii mułowcowej i krakowskiej serii piaskowcowej. Górną część oddziela luka sedymentacyjna od niższej ległej serii paralicznej.

Seria paraliczna wiekowo zaliczana jest do Namuru A. Na terenie zbiornika serię tą obejmuje tylko jeden otwór Czechowice IG-1. Istnieją także w południowej części otwory przemysłu naftowego, jednak nikłe wyniki badań z tych otworów nie nadają się do charakterystyki. Maksymalna miąższość, jaką stwierdzona na omawianym obszarze, dochodzi do 2000 m. W dolnej części profilu litostratygraficznego są piaskowce, wyżej natomiast dominują iłowce i mułowce. Licznie pojawiające się pokłady węgla rzadko przekraczają grubość 0,5 m. W utworach tych zaznaczają się okresowe wpływy morza w formie poziomów (horyzontów) morskich.

Górnosląska seria piaskowcowa zaliczana jest do namuru B-C. Jest ona pierwszą serią tzw. osadów kontynentalnych karbonu produktywnego GZW. Maksymalna miąższość, jaką osiąga w rejonie zbiornika to około 500 m. Cechą charakterystyczną tej serii jest przewaga piaskowców z wkładkami zlepieńców w jej dolnej części, a w górnej mułowców i iłowców. Serię tę cechuje także występowanie grubych pokładów węgla.

Seria mułowcowa wiekowo reprezentuje osady westfalu A i dolnej części westfalu B. Należy ona do drugiej z kolei serii osadów kontynentalnych. Cała seria mułowcowa występuje w tym rejonie do linii uskokowej Ruptawa-Jawiszowice-Marcyporęba. Na omawianym terenie osiąga ona miąższość maksymalnie około 1000 m. Utwory, z jakich jest zbudowana to iłowce i mułowce. Rzadziej w profilu litostratygraficznym występują piaskowce. Dominują więc utwory drobnoklastyczne. Pokłady węgla są liczne, cienkie i zmienne. Miąższość ich dochodzi maksymalnie do 3 m.

W rejonie zbiornika Cieszyn-Skoczów-Czechowice nie stwierdzono utworów najmłodszej serii osadów kontynentalnych tzw. Krakowskiej Serii Piaskowcowej zaliczanej do westfalu B-C. Na tym terenie zostały one całkowicie zerodowane. KSP pojawia się dopiero idąc na wschód i północny-wschód od granic zbiornika.

## **Miocen**

Pełny profil osadów starszego miocenu został rozpoznany dość dobrze na podstawie dwóch otworów znajdujących się w obrębie zbiornika Cieszyn-Skoczów-Czechowice. Są to Cieszyn IG-1 i Bielowicko IG-1.

W rejonie cieszyńskim w najniższej części profilu osadów molasowych dolnego miocenu wyróżniono formację zebrzydowicką. Są to głównie iłowce, rzadziej mułowce lekko wapniste. Maksymalna miąższość tej formacji, jaką dotychczas stwierdzono to około 150 m. Wypełniają one najprawdopodobniej dna dolin w rejonie Skoczowa i Kończyc (Buła, Jura, 1983).

Nad formacją zebrzydowicką leżą osady formacji dębowieckiej. Zostały one także zdefiniowane przez Bułę i Jurę (1983), w której wyróżniono dwa ogniwa: starsze zamarskie i młodsze dębowieckie (w tym opracowaniu rozumiane jako warstwy dębowieckie). Ogniwo zamarskie powstałe w wyniku spływów grawitacyjnych fliszu karpackiego, zbudowane jest głównie z łupków, mułowców, margli i brekcji mułowcowo–piaszczystych oraz licznych porwaków podłoża. Osady te poprzedzielane są warstwami gruboławicowych zlepieńców i osadów żwirowych. Wiek tych osadów określony jest na baden lub granicę pomiędzy badenem a karpatem (karpatianem). Ogniwo zamarskie pojawia się w rejonie Skoczowa w niższych partiach dolin. Maksymalna stwierdzona miąższość tych osadów to 320 m w otworze Bielowicko IG-1.

W rejonie zbiornika Cieszyn-Skoczów-Czechowice w podłożu warstw dębowieckich, w formie izolowanych płatów, pojawiają się osady klastyczne tzw. formacji kłodnickiej. Ich miąższość to kilka-kilkanaście metrów. Są to utwory powstałe z wietrzenia niżej położonych osadów karbonu górnego.

### **Warstwy dębowieckie**

Warstwy dębowieckie budują piaskowcowe i zlepieńcowate utwory grubo klastyczne. Idąc od spągu warstw dębowieckich obserwuje się wyraźną gradacją uziarnienia, od najgrubszych (na obszarze zbiornika są to zlepieńce drobnoziarniste) do drobniejszych w kierunku stropu (piaskowce różnoziarniste). Na obszarze Cieszyn-Skoczów-Czechowice w profilu warstw dębowieckich przeważają piaskowce drobnoziarniste. Głównymi składnikami warstw dębowieckich biorąc pod uwagę skład petrograficzny są okruchy skał karbońskich budujących GZW tzn. skał ilasto-mułowcowych, piaskowców, syderytów, rzadziej węgla kamiennych a także okruchy skał węglanowych, magmowych, krystalicznych i metamorficznych (kwarcyty, łupki mikowo-chlorytowe). Spoiwo jest typu kontaktowego lub porowego. Najczęściej ma ono charakter masy detrytycznej scementowanej grubokrystalicznym kalcytem.

### **Miąższość i głębokość zalegania**

Największe miąższości warstw dębowieckich w obszarze Cieszyn-Skoczów-Czechowice przekraczające 250 m występują w południowej, wschodniej i zachodniej części obszaru. W części centralnej, północno-wschodniej, północno-zachodniej, południowo-zachodniej i południowej są obszary, gdzie miąższość warstw gwałtownie maleje, a nawet warstwy wyklinowują się. Miąższość warstw w omawianym rejonie jest bardzo zmienna. Generalnie maleje w kierunku północnym i południowym.

Głębokość zalegania warstw dębowieckich waha się od -400 m n.p.m. do -1100 m n.p.m. Warstwy dębowieckie w części północno-wschodniej, północno-zachodniej, zachodniej i centralnej położone są stosunkowo płytko. W części wschodniej warstwy pojawiają się dopiero poniżej -1000 m n.p.m. Na całym obszarze warstwy dębowieckie zalegają poniżej 500 m licząc od powierzchni terenu.

## **Profil nadkładu warstw dębowieckich**

Nadkład warstw dębowieckich tworzą utwory miocenu - należące do formacji skawińskiej, nasunięcia karpackiego oraz czwartorzędu.

Formacja skawińska ma znaczne rozprzestrzenienie i praktycznie na całym tym obszarze przykrywa osady warstw dębowieckich. Z niewielkimi wyjątkami leży ona bezpośrednio na osadach paleozoiku. Formacja skawińska to utwory ilasto-mułowcowe i mułowcowo-margliste, z nielicznymi przewarstwieniami piaskowców. Formacja ta kończy sedimentację molasy mioceńskiej. Jej wiek określany jest na baden. Miąższość osadów Formacji skawińskiej jest zmienna od 0 w rejonie Cieszyna do 1100 m w rejonie Zebrzydowic.

W końcowej fazie procesów orogenicznych Karpat na osady tej formacji lub bezpośrednio na warstwy dębowieckie zostały nasunięte jednostki płaszczowin podśląskiej i śląskiej fliszu karpackiego. Miąższość tych utworów waha się od 800 do 1000 m.

Czwartorzęd budują piaski i żwiry z przewarstwieniami glin i iłów. Jego miąższość waha się od 10 do 40 m, z wyjątkiem dolin rzecznych gdzie jest większa.

## **Hydrogeologia**

Występujące w obrębie utworów karbonu i dewonu piaskowce i wapienie charakteryzują się przepuszczalnością szczelinowo-porową. Umożliwia to kontakt między poziomami wodonośnymi. Lokalnie występują słabo przepuszczalne utwory zaliczane do starszego neogenu.

Zbiornik wód podziemnych związany z warstwami dębowieckimi ma charakter porowy, zakryty i nieodnawialny. W zachodniej części jest on drenowany przez kopalnie znajdujące się po czeskiej stronie, a w części północno-zachodniej przez kopalnie Jastrzębskiej Spółki Węglowej. Ciśnienia piezometryczne w spągu warstwy napinającej wynoszą od 2,9 do 10,4 MPa. Wraz z głębokością wzrastają ich wartości.

Skały budujące zbiornik Cieszyn-Skoczów-Czechowice są średnio porowate (0,12÷28,4%; śr.=10,3%), od słabo przepuszczalnych do nieprzepuszczalnych i słabo lub praktycznie nieodsączalne. Współczynniki filtracji są od  $4,15 \cdot 10^{-9}$  m/s do  $1,9 \cdot 10^{-4}$  m/s. Zbiornik dębowiecki zawiera wody słone i solanki typu Cl-Na, a sporadycznie Cl-Na-Ca; Cl-HCO<sub>3</sub>-Na. Suche pozostałość jest w granicach od 10,6 do 98,0 g/dm<sup>3</sup>.

Nadkład omawianych utworów zbudowany jest z utworów praktycznie nieprzepuszczalnych ilasto-mułowcowych, okresu neogeńskiego, należącej do formacji skawińskiej. Ich zmienna miąższość osiąga nawet 1100 m. Jedynie w rejonie Cieszyna zanika całkowicie.

Zbiorniki znajdujące się w obrębie górnośląskiej serii piaskowcowej, wykazały niekorzystne parametry hydrogeologiczne (zwłaszcza przepuszczalność) i nie nadają się do składowania. Według S. Nagy i in. 2010 problematyczne jest także wykorzystanie kolektorów serii węglanowej jako rezerwowego poziomu dla składowania dwutlenku węgla. Jest to podyktowane niedostateczną informacją z otworów i niską przewidywalnością zdolności chłonnych kompleksów wodonośnych tej serii. Badania serii węglanowej zostały wykonane dla rejonu Bielska-Białej. Seria mułowcowa karbonu produktywnego jak dotychczas nie była brana pod uwagę jako zbiornik przydatny do składowania. Zasadniczo skały ilaste tej serii zaliczane do warstw orzeskich i załęskich rozdzielają dwa główne kompleksy wodonośne karbonu górnego

Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, z których górny należy do Krakowskiej Serii Piaskowcowej, a dolny zaliczany jest do Górnośląskiej Serii Piaskowcowej. Te dwa kompleksy litostratygraficzne tworzą jednocześnie niezależne (choć częściowo powiązane) kompleksy wodonośne (Bromek i in., 2009). Na obszarze proponowanego zbiornika brak jest jednak osadów KSP. GSP w części wschodniej zbiornika Cieszyn-Skoczów-Czechowice zalega dość płytko, co powoduje pewne ograniczenie dla składowania (Wójcicki, 2009).

## Ocena wpływu składowania CO<sub>2</sub> w zbiorniku „Cieszyn – Skoczów – Czechowice” na poziomy hydrogeologiczne

Zgodnie z tytułem, w niniejszym podrozdziale zawarto ocenę oddziaływania przyszłego składowiska dwutlenku węgla na wybrane elementy środowiskowe, to jest:

- wyrobiska górnicze kopalń węgla kamiennego i zasięgi ich drenażu,
- ujęcie wód geotermalnych
- złoża gazu ziemnego,

jak również wyprzedzająco określono:

- zmiany w składzie fizykochemicznym wód, jakie mogą mieć miejsce na skutek iniekcji CO<sub>2</sub> do utworów zbiornikowych, to jest do poziomu wodonośnego warstw dębowieckich.

Zasięg składowiska CO<sub>2</sub> Skoczów-Czechowice został wyznaczony w Państwowym Instytucie Geologicznym - Państwowym Instytucie Badawczym.

### Wpływ zatłaczania CO<sub>2</sub> na środowisko wód podziemnych i skał

#### Chemizm wód zbiornikowych

Poziom warstw dębowieckich zawiera wody reliktywne o mineralizacji do około 98 g/l. Reprezentują one typ Cl-Na, w głębszych partiach Cl-Na-Ca a w płytszych Cl-HCO<sub>3</sub>-Na. Są to wody twarde, o odczynie od słabo kwaśnego do słabo zasadowego. Na uwagę zasługuje stężenie jonu wapnia. Jego zawartość rośnie w kierunku największych przegłębień stropu warstw dębowieckich, do około 4500 mg/l. Wskazuje to na wzbogacenie wód w najgłębszych partiach w jon Ca<sup>2+</sup> kosztem Na<sup>+</sup>. Jedynie w zachodniej części badanego rejonu (od pola górniczego Kaczyce na południu po pole Bzie na północy) zawartość jonu Ca<sup>2+</sup> jest mniejsza i nie przekracza 2500 mg/l.

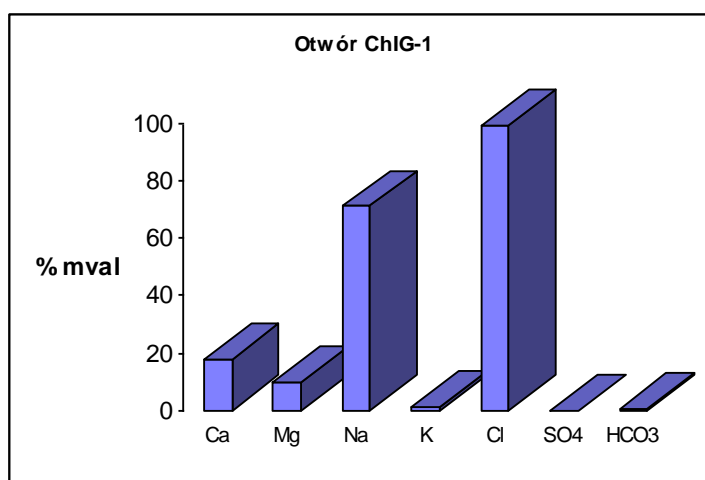


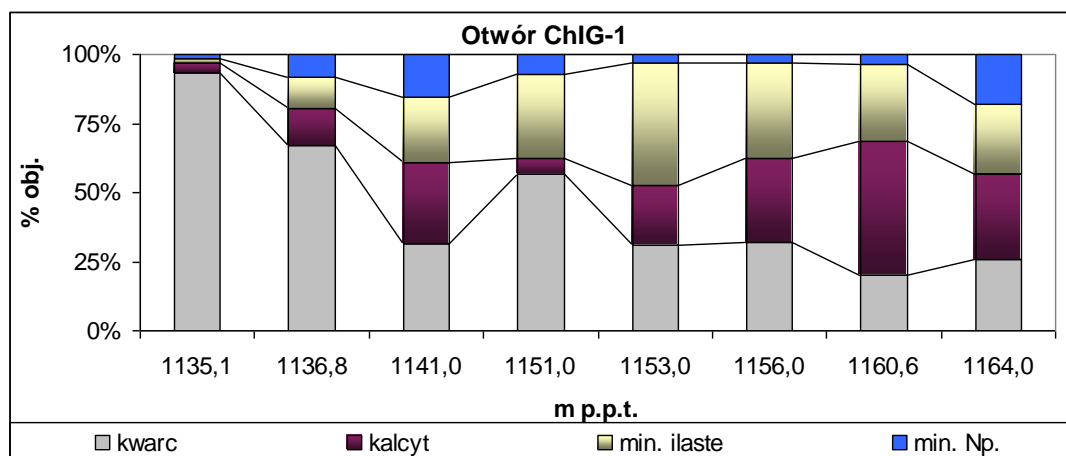
Fig. 1.1.17\_24 Skład fizykochemiczny wód w rejonie składowiska Skoczów-Czechowice

Znaczne stężenie jonu Ca może być czynnikiem generującym reakcje fizykochemiczne na kontakcie CO<sub>2</sub> – wody podziemne. Zagadnienie to będzie przedmiotem modelowania omówionego w dalszej części pracy.

### Skład mineralogiczny skał serii zbiornikowej

Podstawowymi minerałami stwierdzonymi w utworach warstw dębowieckich są: kwarc, minerały ilaste, kalcyt i minerały nieprzeźroczyste – **Fig. 1.1.17\_25**. Utwory warstw dębowieckich zawierają spoiwo ilaste i węglanowe (kalcytowe). Nie stwierdzono kierunkowej zmienności zawartości spoiwa ilastego i kalcytowego w płaszczyźnie horyzontalnej (Solik-Heliasz 1986). Zamieszczony wykres wskazuje jednak na tendencję rosnącą zawartości kalcytu z głębokością zalegania warstw, oraz na zmniejszanie się zawartości kwarcu w skale.

Znaczna zawartość kalcytu w skale, dochodząca do 50% objętościowych, może generować reakcje fizykochemiczne w trakcie zatłaczania CO<sub>2</sub>. Obecnie składniki skał i wód podziemnych znajdują się w stanie równowagi. O reakcyjności utworów poziomu wodonośnego (wód i skał) zadecyduje w pierwszym rzędzie skład wód podziemnych.



**Fig. 1.1.17\_25** Skład mineralny utworów warstw dębowieckich w rejonie składowiska Skoczów-Czechowice (Solik-Heliasz 2010b)

### Model oddziaływania CO<sub>2</sub> na wody podziemne

Zatłaczaniu CO<sub>2</sub> do poziomu wodonośnego będzie towarzyszyło szereg reakcji fizykochemicznych. Opracowano dwa modele cyfrowe przy wykorzystaniu programu Phreeqc. Określono zmiany ilościowe i jakościowe, które zajądą w serii zbiornikowej. W modelu przyjęto następujące założenia:

Czas zatłaczania: 50 lat

Punkty badań znajdują się w odległości: 250 i 1000 m od otworu tłoczego



Ilość zatłaczanego CO<sub>2</sub>: 100 tys. ton/rok

Temperatura w serii zbiornikowej: 35<sup>o</sup> C

Chemizm wód: jak na **Fig. 1.1.17\_24**

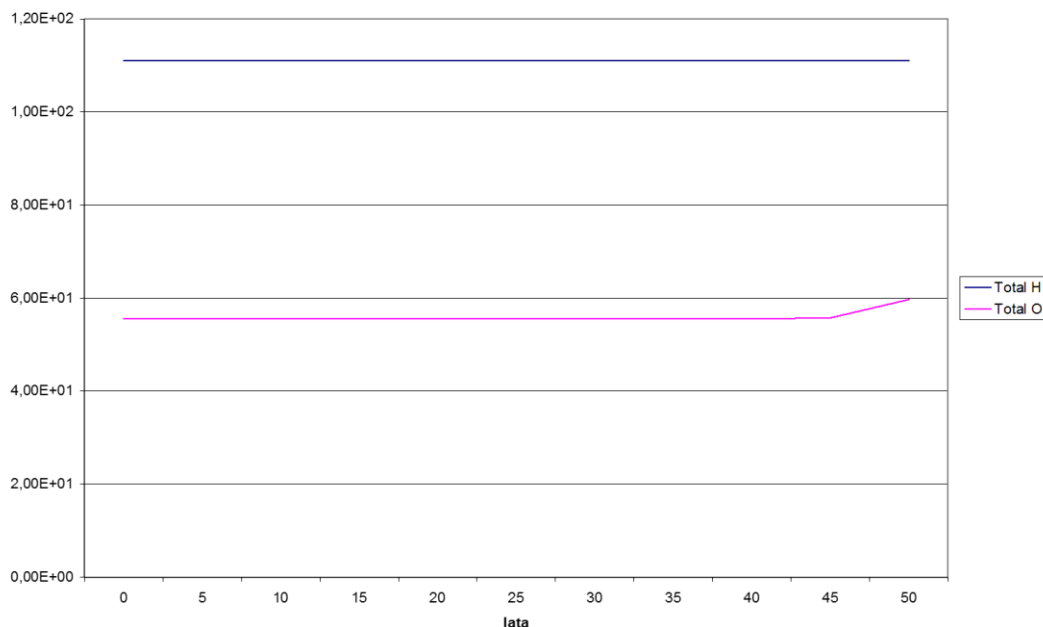
Wyniki przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_26 - Fig. 1.1.17\_35**.

Z obliczeń wynika, że w odległości 250 i 1000 m od otworu iniekcyjnego medium wodno-gazowe będzie roztworem nienasyconym. Nie dojdzie do wytrącania związków chemicznych. Jednak zmiany jakościowe wody zaznaczą się w odległości 250 m od otworu iniekcyjnego około 5 lat wcześniej, niż w punkcie oddalonym o 1000 m od otworu.

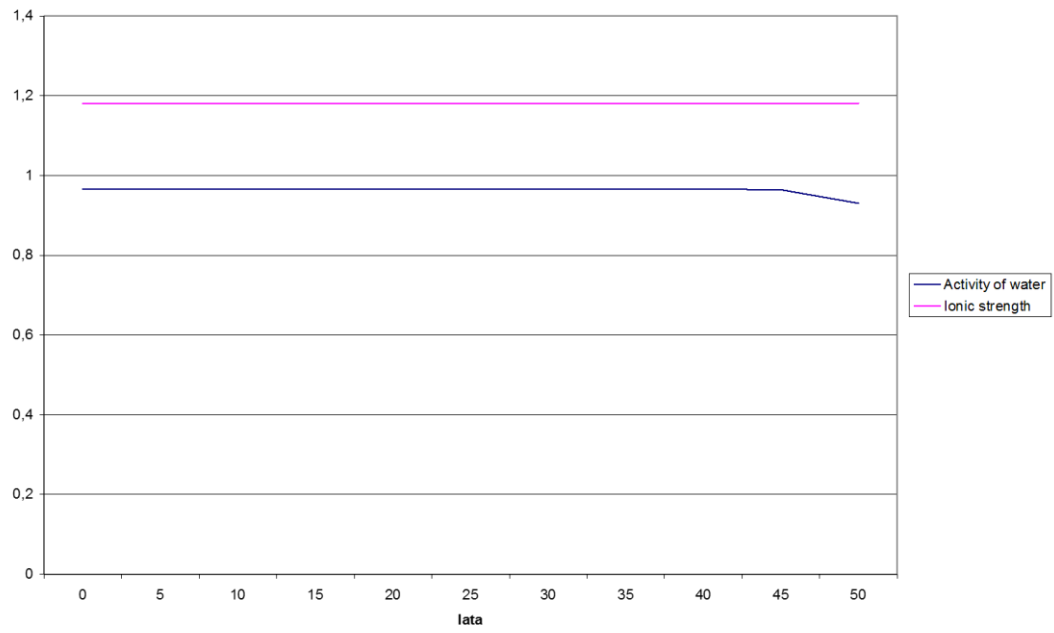
Po około 45 latach w niewielkim stopniu zmniejszy się aktywność wody; zawartość jonów H<sup>+</sup> nie zmieni się, natomiast jonów O<sup>2-</sup> nieznacznie wzrośnie – **Fig. 1.1.17\_26, 27, 31, 32**.

Największe zmiany będą dotyczyły odczynu wody, który po 30-35 latach zmieni się na kwaśny (zmiana pH z 6,3 do 3) – **Fig. 1.1.17\_28 i Fig. 1.1.17\_33**. Po około 25-30 latach wzrośnie wskaźnik nasycenia niektórych jonów (**Fig. 1.1.17\_29 i Fig. 1.1.17\_34**). Ponadto po około 25-30 latach, w zależności od odległości od otworu tłocznego, zaznaczy się skokowy wzrost wskaźnika nasycenia wody w: kalcyt, aragonit i magnezyt (**Fig. 1.1.17\_30 i Fig. 1.1.17\_35**). Wartość ich wskaźnika SI wyniesie około -4. Wskaźnik nasycenia dla dolomitu wzrośnie z -11 do około -6, a dla gipsu i anhydrytu nie zmieni się, i przez cały okres zatłaczania CO<sub>2</sub> będzie wynosił około -2,5.

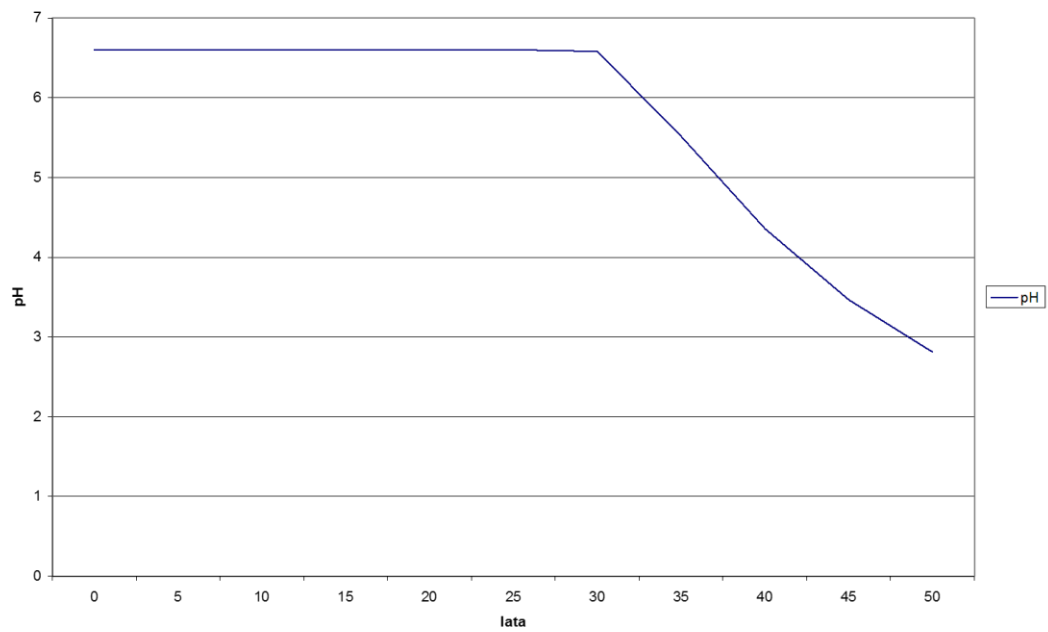
Zmiany jakościowe w wodach podziemnych w odległości 250 m od otworu iniekcyjnego CO<sub>2</sub> w okresie 50 lat zatłaczania.



**Fig. 1.1.17\_26** Zmienność w czasie całkowitej ilości H i O w wodzie



**Fig. 1.1.17\_27** Zmienność w czasie aktywności roztworu oraz jego siły jonowej



**Fig. 1.1.17\_28** Zmienność pH w czasie

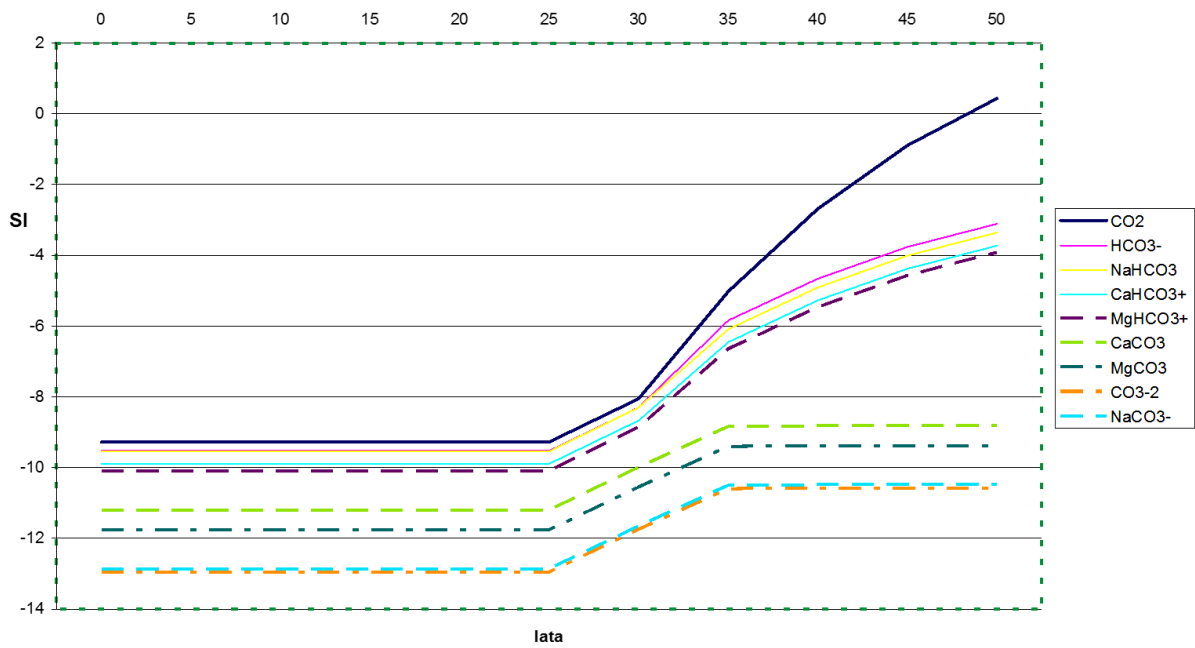


Fig. 1.1.17\_29 Zmienność wskaźnika SI głównych składników jonowych w czasie

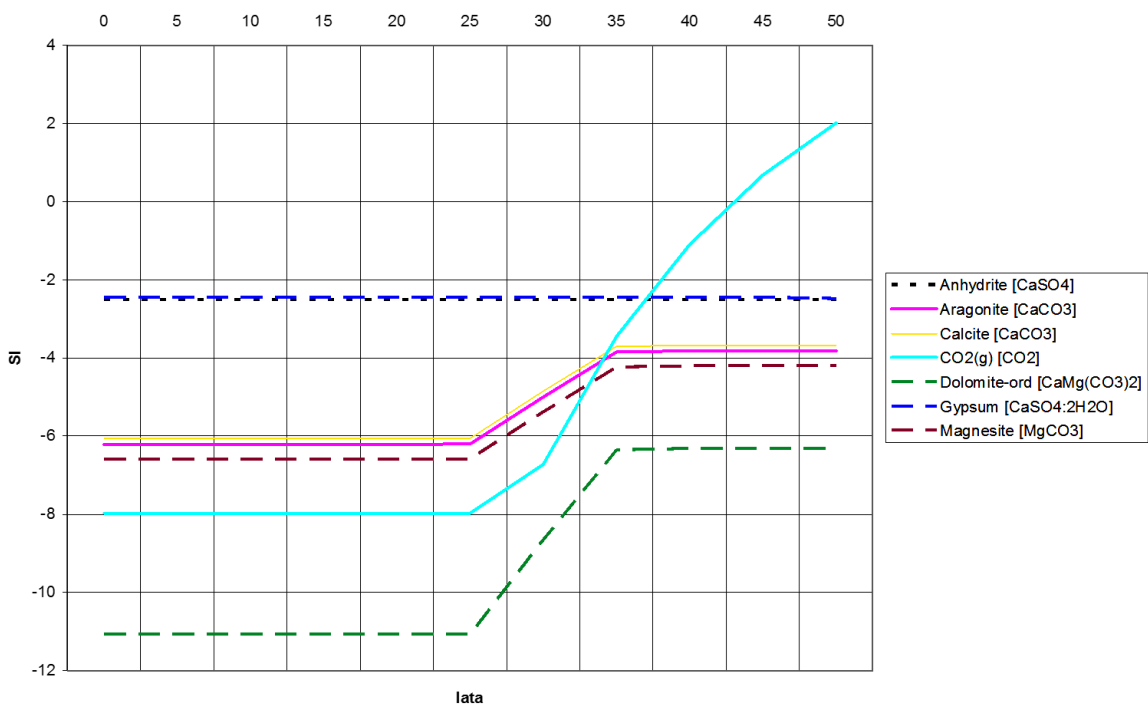
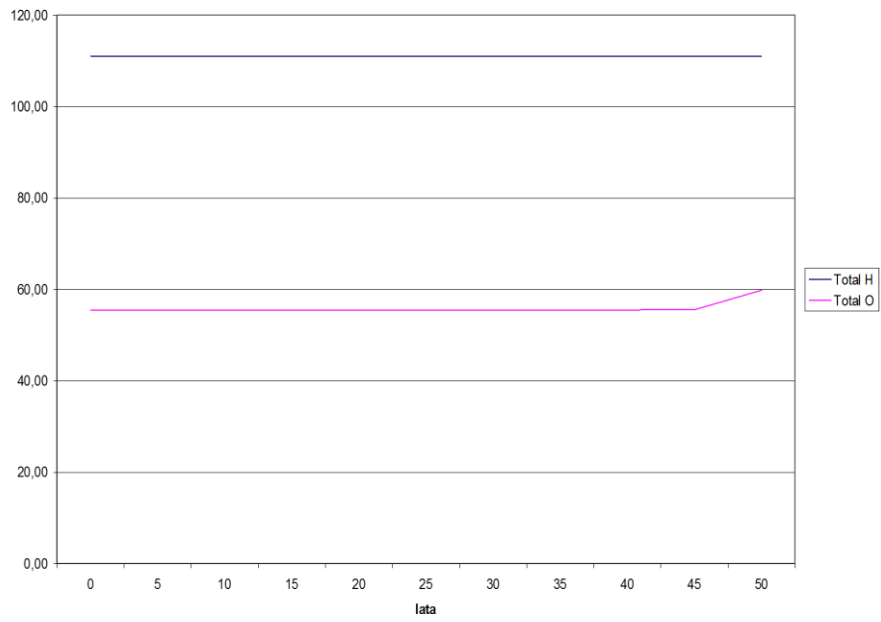
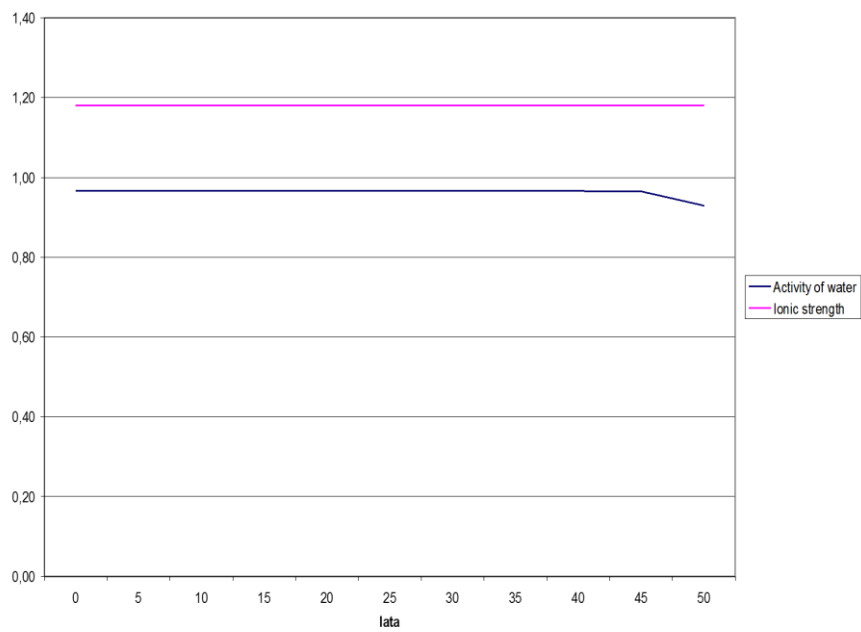


Fig. 1.1.17\_30 Zmienność wskaźnika SI głównych związków chemicznych w czasie. Zmiany jakościowe w wodach podziemnych w odległości 1000 m od otworu iniekcyjnego CO<sub>2</sub> w okresie 50 lat zatlaczania.



**Fig. 1.1.17\_31** Zmienność w czasie całkowitej ilości H i O w wodzie



**Fig. 1.1.17\_32** Zmienność w czasie aktywności roztworu oraz jego siły jonowej

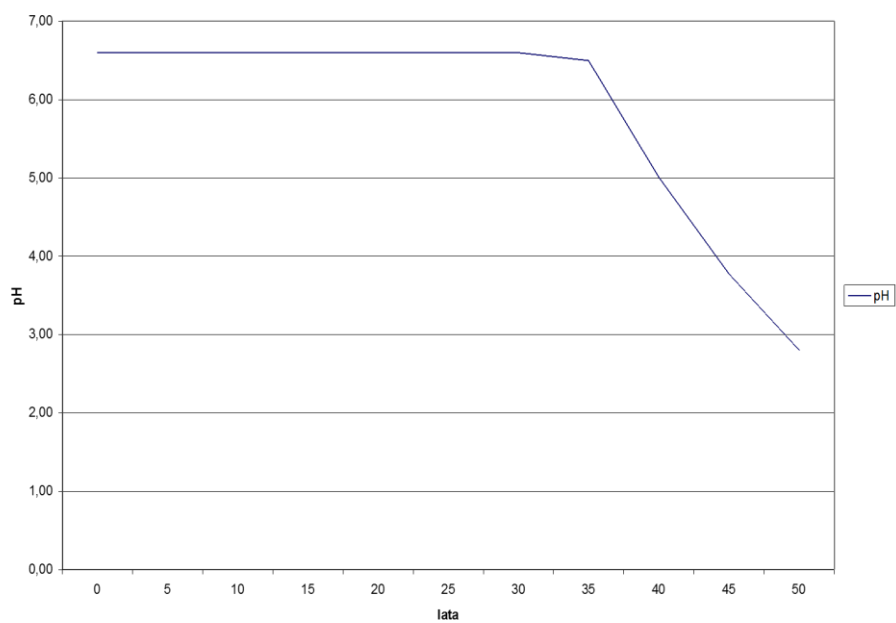


Fig. 1.1.17\_33 Zmienność pH w czasie

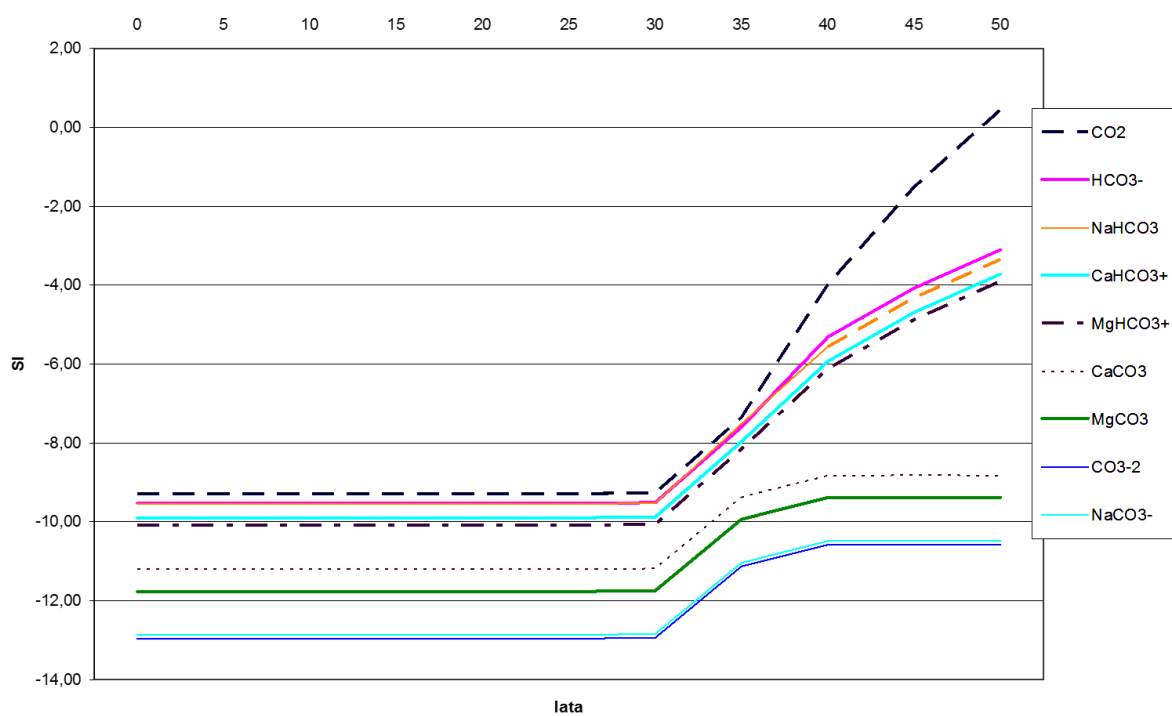


Fig. 1.1.17\_34 Zmienność wskaźnika SI głównych składników jonowych w czasie

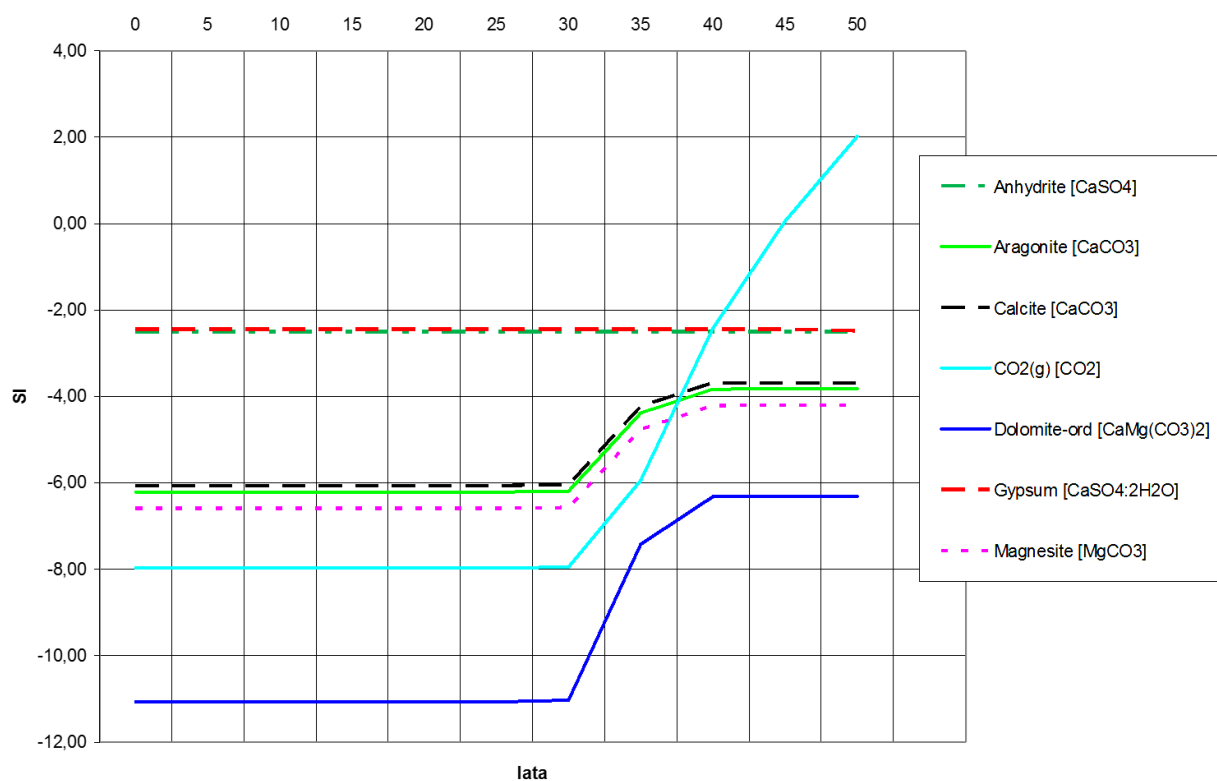


Fig. 1.1.17\_35 Zmienność wskaźnika SI głównych związków chemicznych w czasie

### Analiza oddziaływania składowiska CO<sub>2</sub> na obszary drenażu górniczego

Składowisko ditlenku węgla Skoczów-Czechowice zostało wskazane w rejonie o dużym nagromadzeniu różnych elementów środowiskowych. Utworami zbiornikowymi są zawodnione osady warstw dębowieckich. Określenie optymalnego rejonu do składowania CO<sub>2</sub> jest podstawowym warunkiem udanej inwestycji związanej z CCS (*carbon capture and storage*).

Z dotychczasowych prac badawczych wynika, że składowisko nie może negatywnie oddziaływać na główne elementy naturalne (geologiczne, środowiskowe) i techniczne (Dubiński, Solik-Heliasz 2007, Solik-Heliasz 2009, 2010a,b, Solik-Heliasz w druku). Oznacza to, że składowisko musi być szczelne oraz znajdować się poza zasięgiem ich wpływu.

W toku prac badaniom poddano czynniki, które mogą oddziaływać:

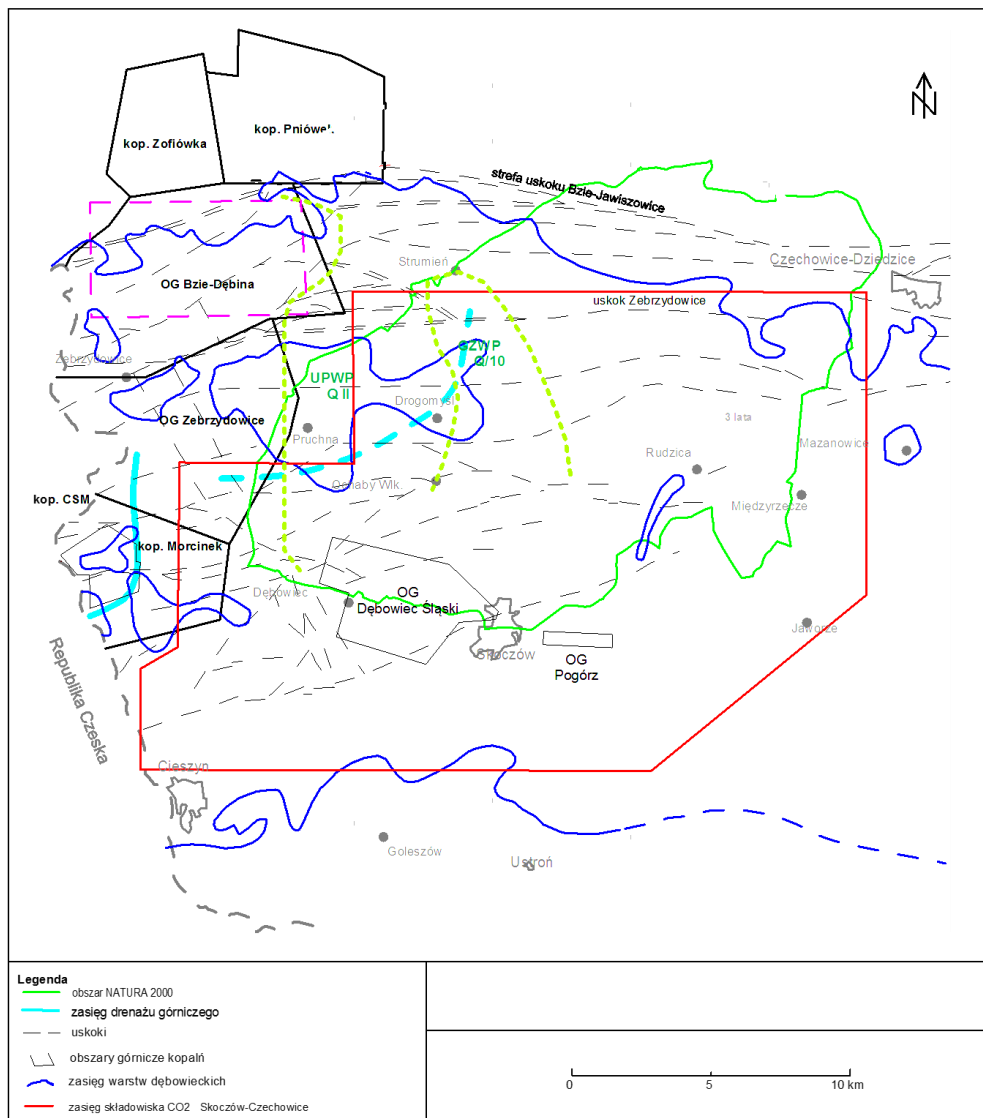
- na przebieg podziemnego składowania dwutlenku węgla w rejonie składowiska Skoczów-Czechowice
- bezpieczeństwo podziemnego składowania w tym rejonie.

Poniżej zanalizowano możliwe interakcje zatłaczanego CO<sub>2</sub> z:

- z wodami podziemnymi w obszarze drenażu górniczego,

- przedsięwzięciami utylitarnymi w rejonie przedmiotowego składowiska.

Rozpatrywane elementy przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_36**.



**Fig. 1.1.17\_36** Lokalizacja składowiska Skoczów-Czechowice na tle górnictwa podziemnego i obiektów prawnie chronionych.

### Oddziaływanie CO<sub>2</sub> na lej depresji w poziomie warstw dębowieckich

Analiza możliwości migracji CO<sub>2</sub> w kierunku obszaru górniczego kopalni Morcinek

W latach 1986-1998 w obszarze górniczym kopalni węgla kamiennego Morcinek prowadzono odwodnienie poziome wodonośnego warstw dębowieckich przy pomocy 118 otworów drenażowych. Otwory zostały odwiercone z wyrobisk górniczych do poziomu warstw dębowieckich. Efektem było obniżenie ciśnienia



piezometrycznego wody w rejonie szybów głównych kopalni, do wielkości 0,2 MPa nad spągami warstw, na powierzchni około 1,1 km<sup>2</sup>. Odwodnienie poziome kontynuowane jest w czeskich kopalniach węgla, m.in. ČSM, która sąsiaduje z kopalnią Morcinek. Efektem jest wytworzenie połączonego leja depresji w poziomie warstw dębowieckich oraz powstanie łączności hydraulicznej tego poziomu z karbońskim piętrzem wodonośnym. W 1999 roku zasięgiem leja był objęty cały obszar górniczy kopalni Morcinek.

Od 1998 roku wyrobiska kopalni Morcinek są zatapiane. Równocześnie postępuje odtworzenie ciśnienia w poziomie warstw dębowieckich oraz zmniejszanie się promienia leja depresji. Zjawisko to nie jest jednak monitorowane, stąd można wnioskować jedynie na podstawie pośrednich obserwacji, że obecnie zasięg leja depresji może być w przybliżeniu zgodny z zasięgiem wyrobisk górniczych polskiej kopalni – co zobrazowano na **Fig. 1.1.17\_36**. Tak więc warstwy dębowieckie w obszarze kopalni Morcinek nadal pozostają w obszarze obniżonego ciśnienia, m.in. w wyniku drenażu prowadzonego w kopalni ČSM.

- Granica składowiska Skoczów-Czechowice znajduje się w odległości 1,4 km od zasięgu leja depresji w poziomie warstw dębowieckich. W rzeczywistości odległość ta może być mniejsza. Oznacza to, że przy takiej lokalizacji składowiska istnieje realne zagrożenie przepływu CO<sub>2</sub> ze spływem podziemnym w kierunku wyrobisk górniczych kopalni Morcinek.

Analiza możliwości migracji CO<sub>2</sub> w kierunku zawodnionego nadkładu w obszarze górniczym kopalni Bzie

W obszarze górniczym Bzie-Dębina planowana jest do 2018 roku budowa nowej kopalni Bzie. Minimalna odległość projektowanego składowiska CO<sub>2</sub> do granicy obszaru górniczego Bzie wyniesie 285 m (**Fig. 1.1.17\_36**). Eksploatacja złoża węgla kamiennego będzie prowadzona po częściowym odwodnieniu poziomu warstw dębowieckich. W efekcie odwodnienia wytworzony zostanie lej depresji, który będzie się rozszerzał w miarę powiększania się powierzchni rozcięcia złoża węgla. Ze względów bezpieczeństwa niezbędne okazało się wyznaczenie zasięgu leja depresji. Do określenia maksymalnego promienia leja w warstwach dębowieckich wykorzystano równanie Dupuit (Rogoż 2007):

$$\lg R = 2,73 \frac{kms}{Q} + \lg r_0 \quad (1)$$

gdzie:  $k$  - współczynnik filtracji

$m$  – miąższość warstwy wodonośnej

$s$  – wytworzona depresja zwierciadła wody

$Q$  – przewidywany doływ wód do wyrobisk górniczych

$r_0$  – promień zastępczy wyrobisk górniczych.

W obliczeniach uwzględniono promień zastępczy wyrobisk górniczych o wymiarach 8 km x 4 km, co odpowiada, docelowemu zasięgowi wyrobisk w kopalni Bzie. Szacuje się, że zasięg ten może być osiągnięty po 15 latach eksploatacji, czyli około 2033 roku.

Przewidywany promień leja depresji,  $R$ , w warstwach dębowieckich w obszarze kopalni Bzie, wyniesie:

$R = 5600$  m.

Oznacza to, że przy maksymalnym rozcięciu złoża węgla w kopalni Bzie, zatłaczany dwutlenek węgla znajdzie się w zasięgu drenującego oddziaływania otworów odwadniających tej kopalni.

### **Oddziaływanie CO<sub>2</sub> na wyrobiska górnicze i złoża gazu**

W najbliższym sąsiedztwie składowiska Skoczów-Czechowice znajdują się obszary górnicze dwóch kopalń węgla kamiennego: zlikwidowanej kopalni Morcinek oraz projektowanej kopalni Bzie. Poniżej przedstawiono analizę oddziaływania składowiska na wyrobiska tych kopalń.

#### **Obszar górniczy kopalni węgla Morcinek i kopalń czeskich**

Od 1998 roku wyrobiska kopalni Morcinek są zatapiane. Przebieg piętrzenia wód nie jest jednak monitorowany. Według prognoz sprzed 2000 roku, wyrobiska górnicze powinny być zatopione w ciągu około 12 lat (Dokumentacja 1987). Można przypuszczać, że obecnie lej depresji w karbońskim piętrze wodonośnym został w znacznym stopniu wypełniony. W przypadku przedostania się chmury CO<sub>2</sub> w rejon wyrobisk, gaz przedostanie się poprzez istniejące otwory drenażowe do wyrobisk górniczych kopalni Morcinek. Migrację ułatwi konstrukcja otworów; otwory te nie były rurowane, tak więc obecnie będą częściowo zaciśnięte, tym niemniej będą ułatwiały komunikację wód (i gazów) między poziomami wodonośnymi w warstwach dębowieckich i karbonu. Migracja CO<sub>2</sub> może prowadzić do:

1. zwiększenia ciśnienia medium wodno-gazowego w zatopionych zrobach górniczych;
2. wypierania metanu zawartego w zlikwidowanych wyrobiskach górniczych;
3. zagrożenia stateczności filara bezpieczeństwa istniejącego między kopalnią Morcinek i ČSM;
4. dyfuzji CO<sub>2</sub> poprzez filar bezpieczeństwa do wyrobisk czynnej kopalni ČSM.

Wyrobiska górnicze kopalni Morcinek są oddzielone od wyrobisk sąsiedniej kopalni czeskiej ČSM filarem bezpieczeństwa o szerokości 100 m (Frolik, Solik-Heliasz 2003). Szerokość filara została wyznaczona przy uwzględnieniu istniejącego ciśnienia wód podziemnych. W przypadku dotarcia chmury CO<sub>2</sub> do poziomu karbońskiego, zwiększy się ciśnienie medium wodno-gazowego w zrobach górniczych. Na filar bezpieczeństwa będzie oddziaływało większe ciśnienie, niż pierwotne. W związku z tym zanalizowano, czy w takich warunkach szerokość filara będzie wystarczająca.

W analizie rozważono dwie wielkości ciśnienia:

I/ o 50% większego, niż obecnie istniejącego w wyrobiskach górniczych, to jest 10,8 MPa,

II/ o wielkości 12 MPa.

Minimalną szerokość filara bezpieczeństwa określono ze wzoru *Slesariewa*:

$$D_{kr} = g \cdot \sqrt{60 \cdot p}, \quad (2)$$

gdzie:  $g$  – wysokość wyrobiska,  $p$  – docelowe ciśnienie w zbiorniku.

Minimalna szerokość filara powinna wynosić:

- dla wariantu I, 89,1 m;
- dla wariantu II, 93,9 m.

Filar bezpieczeństwa istniejący między kopalniami Morcinek i ČSM ma więc wystarczającą szerokość. Wzrost ciśnienia w zatopionych zrobach górniczych do 12 MPa nie spowoduje utraty stateczności filara bezpieczeństwa.

Jednak wzrost ciśnienia w zatopionych wyrobiskach górniczych może również spowodować zwiększenie infiltracji wód przez filar bezpieczeństwa. Natężenie infiltracji określono ze wzoru *Dupuit* (Rogoż 2007). Przy obecnym ciśnieniu wody w spażu wyrobisk górniczych wynoszącym 7,2 MPa, infiltracja wód przez filar wynosi 9,1 l/s. Wyniki obliczeń wykazały, że przy wzroście ciśnienia do 10,8 MPa filtracja wód wyniesie 13,6 l/s, a przy ciśnieniu 12 MPa 15,1 l/s. Oznacza to wzrost przepływu wód przez filar bezpieczeństwa w porównaniu do stanu obecnego. Ponieważ woda będzie nośnikiem ditlenku węgla, istnieje również możliwość migracji CO<sub>2</sub> poprzez filar do wyrobisk czynnej kopalni ČSM.

Podsumowując należy stwierdzić, że odległość między składowiskiem Skoczów-Czechowice i (rzutem pionowym) wyrobisk górniczych kopalni Morcinek jest zbyt mała. Istnieje możliwość migracji CO<sub>2</sub> do wyrobisk górniczych kopalni Morcinek. Podwyższenie ciśnienia medium wodno-gazowego w zrobach spowoduje wzrost przepływu wód i zawartego w nich CO<sub>2</sub> przez filar bezpieczeństwa do wyrobisk czynnej kopalni ČSM.

- Zaproponowany zasięg składowiska Skoczów-Czechowice nie gwarantuje bezpieczeństwa dla zbiornika wód utworzonego w zrobach górniczych kopalni Morcinek oraz dla wyrobisk górniczych czynnej kopalni ČSM.

### **Obszar górniczy kopalni Bzie**

Eksploracja złoża węgla będzie się odbywała po wcześniejszym odwodnieniu poziomych wodonośnych warstw dębowieckich. Podobnie, jak w kopalni Morcinek, będzie prowadzona przy wykorzystaniu otworów drenażowych, wierconych z wyrobisk dołowych (Dokumentacja 2005). Jak wspomniano wcześniej, lej depresji w poziomie warstw dębowieckich znajdzie się w obszarze składowiska CO<sub>2</sub>.

- W związku z powyższym istnieje zagrożenie możliwością migracji dwutlenku węgla ze składowiska Skoczów-Czechowice do wyrobisk górniczych kopalni Bzie. Pojawienie się ditlenku węgla w wyrobiskach górniczych kopalni Bzie może stwarzać zagrożenie dla załóg górniczych oraz dla pracującego sprzętu.
- Składowisko sąsiaduje również z regionalną strefą tektoniczną Bzie-Jawiszowice. Sprawia to, że nie można wykluczyć migracji CO<sub>2</sub> do wyrobisk górniczych kopalni Pniówek, odległych o zaledwie 4,5 km – zwłaszcza przy zatłaczaniu ditlenku węgla pod ciśnieniem większym, niż obecne ciśnienie hydrostatyczne.

### **Oddziaływanie CO<sub>2</sub> na ujęcie wód geotermalnych w Jaworzu**

W rejonie Jaworza koło Bielska-Białej rozpatruje się możliwość eksploatacji wód geotermalnych z poziomu warstw dębowieckich i dewonu do celów balneologicznych. Projektowane ujęcie wód geotermalnych znajdzie się w obszarze składowiska Skoczów-Czechowice – **Fig. 1.1.17\_36**.

Eksploatacja wód otworem geotermalnym nie wytworzy leja depresji. Będzie to prawdopodobnie dublet otworów składający się z otworu eksploatacyjnego i iniekcyjnego. W efekcie ta sama ilość wody, która będzie wypompowana na powierzchnię, po jej ochłodzeniu na powierzchni terenu zostanie z powrotem zatłoczona do tych samych poziomów wodonośnych, miocenu i dewonu.

Eksploatacja wód geotermalnych na obszarze składowiska dwutlenku węgla, grozi uwolnieniem się CO<sub>2</sub> do atmosfery w trakcie pompowania wód otworem wydobywczym. Oznacza to zagrożenie dla obsługi wiercenia oraz dla okolicznej ludności. Jej skutkiem będzie również „zanieczyszczenie” dwutlenkiem węgla wód w poziomie dewońskim, w trakcie ich zawrotu i zatłaczania.

Zatłaczanie CO<sub>2</sub> w obszarze składowiska Skoczów-Czechowice wyklucza możliwość budowy ujęcia wód geotermalnych w miejscowości Jaworze.

### **Oddziaływanie CO<sub>2</sub> na złoża gazu Dębowiec i Pogórz**

W zasięgu projektowanego składowiska znajduje się częściowo wyeksploatowane złożo gazu Dębowiec (**Fig. 1.1.17\_36**). Złożo występuje w utworach serii skawińskiej i zalega na głębokości średnio 350-450 m p.p.t. Według danych archiwalnych złożo nawiercono licznymi, płytkimi otworami wiertniczymi o głębokości do około 400 m; jednak min. 4 otwory są głębsze i przewiercają strop utworów karbonu. Są to: Db IG-1, Db-5, Bi IG-1 i Sko-1.

Głębokie otwory wiertnicze mogą ułatwić migrację CO<sub>2</sub> z poziomu warstw dębowieckich do złoża gazu. Wówczas niezamierzonym skutkiem będzie wypieranie metanu przez dwutlenek węgla i w efekcie intensyfikacja wydobywania CH<sub>4</sub>. W następnym etapie, po odpowiednio dużym wypełnieniu struktury węglowodorami, dwutlenek węgla może migrować płytszymi otworami na powierzchnię terenu. Z tego względu przed uruchomieniem projektowanego składowiska CO<sub>2</sub> należy wszystkie zbędne otwory w sposób szczelny zlikwidować. Niektóre otwory po stwierdzeniu ich zadawalającego stanu technicznego mogą być po uszczelnieniu przeznaczone do obserwacji procesu zatłaczania.

Odrębnym problemem jest możliwość migracji CO<sub>2</sub> z warstw dębowieckich, poprzez serię ilastą, do złoża gazu. Na izolację składa się kompleks ilów, ilowców z cienkimi przewarstwieniami piaskowców i mułowców. Wertykalna odległość między stropem warstw dębowieckich, a spągiem IV horyzontu zgazowanych piasków wynosi od 275 m (otwór Sk-17) do 388 m (otwór D-5) oraz około 1000 m (w N części składowiska). Utwory ilaste mają współczynnik filtracji poniżej 10<sup>-9</sup> m/s – są więc praktycznie nieprzepuszczalne. Oznacza to możliwość znikomej migracji CO<sub>2</sub> w kierunku złoża gazu.

- Ocenia się, że złożo gazu Dębowiec może być wykorzystane jako bufor bezpieczeństwa w przypadku składowania CO<sub>2</sub> w niżej zalegającym poziomie wodonośnym warstw dębowieckich.

Podobne warunki występują w częściowo wyeksploatowanym złożu gazu ziemnego Pogórz. Występuje ono również w utworach serii skawińskiej. Migracja CO<sub>2</sub> ze składowiska do złoża gazu, a następnie w kierunku powierzchni terenu mogą umożliwić głębokie otwory wiertnicze.

- Przed zatłaczaniem CO<sub>2</sub> wszystkie otwory będą wymagały uszczelnienia.

## Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań modelowych przy użyciu programu Phreeqc stwierdzono, że:

1. Zatłaczanie CO<sub>2</sub> w obszarze składowiska Skoczów-Czechowice w ilości 100 tys. ton/rok spowoduje w odległości 250 m od otworu iniekcyjnego spadek pH wody w okresie 30-50 lat zatłaczania dwutlenku węgla, z 6,6 do około 3. Po 25 latach zatłaczania zaznaczy się wzrost stężenia w wodach podziemnych m.in. jonów: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CaHCO<sub>3</sub><sup>+</sup> oraz zawartości kalcytu, aragonitu i magnezytu; ich wskaźnik nasycenia wyniesie około -4.
2. Zatłaczanie CO<sub>2</sub> w ilości 100 tys. ton/rok po 35 latach spowoduje w odległości 1000 m od otworu iniekcyjnego stopniowe zmiany odczynu wody na silnie kwaśny (do pH=3) oraz po 30 latach wzrost wskaźnika nasycenia dla kalcytu, aragonitu i magnezytu. Roztwór będzie niedosycony i nie zajdzie wytrącanie związków chemicznych, które zakłóciłyby przebieg iniekcji CO<sub>2</sub>.

W odniesieniu do oddziaływania składowiska Skoczów-Czechowice (o zasięgu przedstawionym na **Fig. 1.1.17\_36**) na górnictwo podziemne stwierdzono, że:

3. Istnieje zagrożenie przepływu CO<sub>2</sub> w poziomie warstw dębowieckich ze składowiska w kierunku wyrobisk górniczych kopalń węgla kamiennego Morcinek i Bzie. Składowisko będzie również stwarzało potencjalnie zagrożenie dla wyrobisk kopalni węgla Pniówek.
4. Złóża gazu Dębowiec i Pogórz mogą być wykorzystane jako bufor bezpieczeństwa w przypadku składowania CO<sub>2</sub> w niżej zalegającym poziomie wodonośnym warstw dębowieckich.
5. Warunkiem bezpiecznego zatłaczania CO<sub>2</sub> będzie uszczelnienie wszystkich otworów istniejących w obszarze złóż gazu i poza nimi, dowierconych do poziomu warstw dębowieckich.
6. Eksploatacja składowiska Skoczów-Czechowice uniemożliwi budowę ujęcia wód geotermalnych w miejscowości Jaworze.

## **Identyfikacja potencjalnych źródeł zagrożeń związanych ze składowaniem CO<sub>2</sub> w rejonie zbiornika „Cieszyn – Skoczów – Czechowice”**

### **Analiza zagrożeń geologicznych**

#### **Opis czynników ryzyka na podstawie bazy Quintessa FEP (Features Events Processes)**

Do określenia zagrożenia mogącego powstać w wyniku zatłaczania dwutlenku węgla do poziomów solankowych w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice posłużono się bazą wiedzy Quintessa FEP (*Features Events Processes*). Baza ta stanowi źródło informacji dotyczących geologicznego składowania CO<sub>2</sub> i może być stosowana do oceny bezpieczeństwa składowiska oraz jego wydajności. Do bazy można uzyskać bezpłatny dostęp po uprzedniej rejestracji ([www.quintessa.org](http://www.quintessa.org)).

FEP jest podzielona na osiem kategorii (0÷7), a te z kolei na klasy i podklasy wraz z omówieniem ich znaczenia. Szczegółowe informacje dla każdego z wymienionych czynników zostały zebrane w formie publikacji i stron internetowych.

Kategorie w bazie FEP zostały zestawione w następujący sposób:

- 0** – określa zakres i czynniki, które należy uwzględnić w analizie zagrożeń;
- 1** – obejmuje czynniki zewnętrzne podzielone na geologiczne, klimatyczne i aktywność ludzką;
- 2** – magazynowanie dwutlenku węgla z podziałem na etapy przed, w trakcie i po zakończeniu składowania;
- 3** – własności dwutlenku węgla jego oddziaływanie i procesy zachodzące po zatłoczeniu do górotworu;
- 4** – geosfera jest kategorią dotyczącą geologii, hydrogeologii i płynów złożowych;
- 5** – dotyczy otworów zatłaczających ich konstrukcji, likwidacji, uszczelnienia oraz otworów monitorujących składowisko po jego zamknięciu;
- 6** – środowisko przypowierzchniowe z rozbiem na środowisko lądowe, morskie oraz zachowania ludzkie;
- 7** – uwzględnia wpływ inwestycji i jej skutki na środowisko, człowieka oraz zasoby naturalne.

W niniejszej pracy niektóre z wymienionych kategorii i klas nie zostały omówione z powodu braku związku z badanym rejonem lub niedostatecznego stanu rozpoznania zbiornika Cieszyn-Skoczów-Czechowice.

Tab. 1.1.17\_6 Opis czynników ryzyka (baza Quintessa FEP).

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
0.Podstawa analizy ryzyka	Cel analizy		Analiza została przeprowadzona dla procesu zatłaczania CO <sub>2</sub> do poziomu solankowego warstw dębowieckich.
	Końcowy punkt analizy		Wpływ składowiska na otoczenie geologiczne i powierzchnię.
	Przestrzenny zakres analizy		Skąły podłoża zbiornika, utwory zbiornikowe, warstwa izolacyjna, nadkład.
	Zakres czasowy analizy		Zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE.
	Założenia dotyczące magazynowania CO <sub>2</sub>		Przy pojemności zbiornika około 44 mln ton okres zatłaczania zależec będzie od ilości CO <sub>2</sub> dostarczonego do zbiornika w ciągu roku.
	Założenia dotyczące przyszłej działalności ludzkiej		Składowanie CO <sub>2</sub> może wpłynąć na przyszłą działalność ludzką.
	Regulacje prawne		Składowanie będzie spełniać wymogi ustaw dotyczących prawa geologicznego i górnictwa, ochrony środowiska i Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE.
	Modele symulacyjne i dostępność danych		Utwory warstw dębowieckich zostały zbadane kilkudziesięcioma otworami wiertniczymi na podstawie wyników modelowania numerycznego.
1.Czynniki zewnętrzne	Czynniki geologiczne	Tektonika	W podłożu stwierdzono występowanie kilku dyslokacji dysjunktywnych. W utworach zbiornikowych i uszczelniających nie stwierdzono zaburzeń tektonicznych.
		Działalność wulkaniczna i magmowa	Nie dotyczy.
		Trzęsienia ziemi	Nie występowały.
		Aktywność hydrotermiczna	Nie występowała.
		Wpływ hydrogeologii na zmiany geologiczne	Przeprowadzono analizę reakcyjności. Przewiduje się stosunkowo małe zmiany, które nie wpłyną na składowanie CO <sub>2</sub>
		Procesy erozyjne na	Nie dotyczy.



		dużą skalę	Nie dotyczy.
		Uderzenie meteorylem	
	Czynniki klimatyczne	Globalna zmiana klimatu	Uwzględniono wpływ CO <sub>2</sub> na powierzchnię przy nieszczelnościach otworów z uwzględnieniem warunków klimatycznych regionu.
		Regionalna i lokalna zmiana klimatu	
		Zmiana poziomu morza	
		Wpływ zlodowaceń (efekty)	
		Wpływ lodowców i lądolodów na składowisko CO <sub>2</sub>	
		Wpływ ciepłego klimatu	
		Hydrologiczna i hydrogeologiczna reakcja na zmiany klimatyczne	
		Reakcja na zmiany klimatyczne	
	Przyszła aktywność ludzka	Wpływ człowieka na klimat	Z wyjątkiem działalności wiertniczej inne działania nie będą miały wpływu na głęboko położone składowisko CO <sub>2</sub> .
		Wpływ poziomu wiedzy i motywacji	
		Rozwój społeczeństwa i instytucji	
		Rozwój technologiczny	
		Działalność wiertnicza	
Aktywność górnicza			
Aktywność ludzka na powierzchni			
Gospodarka wodna			
Wpływ CO <sub>2</sub> na przyszłe operacje geologiczne	Możliwość wpływu składowanego CO <sub>2</sub> na zbiornik wód geotermalnych w miejscowości Jaworze. Przejście do fazy operacyjnej może uniemożliwić budowę ujęcia tych wód		
Eksplzje i katastrofy			
2. Magazynowanie CO <sub>2</sub>	Przed zakończeniem procesu składowania CO <sub>2</sub>	Założenia projektowe	CO <sub>2</sub> będzie zatłaczany w fazie nadkrytycznej dwoma otworami.
		Ilość zatłoczonego	W zależności od ilości zatłaczanego

		CO <sub>2</sub> , tempo zatłaczania	CO <sub>2</sub> , przy pojemności zbiornika 44 mln ton.
		Skład zatłoczonego CO <sub>2</sub>	Zgodny z wymogami.
		Harmonogram inwestycji	Nie jest opracowany na tym etapie.
		Monitoring zatłaczania CO <sub>2</sub>	Jest przewidziany w trakcie zatłaczania. Będzie obejmował monitorowanie ciśnień, szczelności, składu zatłaczanego gazu. Do tych celów zostanie wykorzystana geofizyka otworowa i powierzchniowa oraz monitoring chemiczny.
		Kontrola jakości zatłoczonego CO <sub>2</sub>	Jak wyżej.
		Wypadki i nieprzewidywane zdarzenia	Odpowiednie procedury zostaną opracowane razem z projektem.
		Ciśnienie składowania	Dobór ciśnienia będzie ograniczony występującym ciśnieniem hydrostatycznym i ciśnieniem szczelinowania.
Po zakończeniu procesu składowania CO <sub>2</sub>	Monitoring zatłoczonego CO <sub>2</sub>	Monitorowanie zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE.	
3. Własności, oddziaływanie i transport CO <sub>2</sub>	Własności CO <sub>2</sub>	Własności fizyczne i zachowanie się faz CO <sub>2</sub>	Przewidywana głębokość i temperatura wskazują, że CO <sub>2</sub> będzie występował w stanie nadkrytycznym.
		Rozpuszczalność i tworzenie nowych związków pod wpływem wody i CO <sub>2</sub>	Ocena wymaga badań laboratoryjnych uwzględniających mineralizację wody i skład petrograficzny skał zbiornikowych. Zagadnienie to będzie rozwiązane w oparciu o symulacje komputerowe.
	Oddziaływanie CO <sub>2</sub>	Wpływ ciśnienia na skały uszczelniające nadkładu	Określenie ciśnień zatłaczania w aspekcie oceny szczelności nadkładu zostały podane w opracowaniu.
		Wpływ ciśnienia składowania na płyny złożowe	Ciśnienie składowania spowoduje falę nadciśnienia w płynach złożowych, co w konsekwencji może przyczynić się do zwiększenia dopływu do odległych ujęć wód podziemnych i dopływów do kopalń oraz spowoduje zwiększenie ściśliwości całego

			układu.
		Reakcje z węglowodorami	Nie przewiduje się reakcji z występującymi w tym rejonie złożami gazu.
		Wypieranie solanki ze struktury	Proces będzie miał miejsce w związku z zwiększonym ciśnieniem zatłaczania CO <sub>2</sub> .
		Warunki i procesy mechaniczne	Nie badano wpływu CO <sub>2</sub> na skały, nie przewiduje się również zmian własności mechanicznych skał ewentualnie spowodowanych przez proces szczelinowania.
		Indukowanie ruchów sejsmicznych	Nie przewiduje się.
		Obniżenie lub podwyższenie powierzchni terenu	Nie przewiduje się.
		Wpływ temperatury na strefę złożową	Wymaga analizy.
		Chemizm wód	Zatłoczenie CO <sub>2</sub> spowoduje zmianę pH wody w zbiorniku. Nie wpłynie to jednak na składowanie CO <sub>2</sub>
		Oddziaływanie CO <sub>2</sub> na bariery chemiczne	Wymaga analizy.
		Zanieczyszczenie metalami ciężkimi	Istnieje prawdopodobieństwo zanieczyszczenia metalami ciężkimi warstwy zbiornikowej.
		Faza mineralna: - rozpuszczanie i wytrącanie się minerałów; - wymiana jonowa.	Procesy te będą zachodziły w bardzo długim okresie czasu. Wyniki modelowania zostały przedstawione w rozdziale 4
		Skład chemiczny zatłoczonego gazu	Aktualnie skład chemiczny zatłoczonego gazu nie jest znany.
		Tworzenie się hydratów gazowych	Na obecnym etapie nie analizowano.
		Biogeochemia	
		Procesy mikrobiologiczne	
4.Geosfera	Geologia	Położenie geograficzne	Zbiornik znajduje się w południowej części GZW w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice.
		Zasoby naturalne	W podłożu zbiornika występują nieudokumentowane pokłady węgla kamiennego. Natomiast w sąsiedztwie istnieją czynne i nieczynne kopalnie węgla kamiennego i pola rezerwowe.

			Ponadto w rejonie zbiornika występują wody termalne, złoża gazu i kruszywa naturalnego.
		Typ skał zbiornikowej	Zlepieńiec i piaskowiec.
		Geometria zbiornika	Zbiornik warstwowy.
		Aktualna eksploatacja skał zbiornikowych	Nie są eksploatowane.
		Formacja uszczelniająca	Iły i ilowce formacji skawińskiej.
		Dodatkowe uszczelnienie	Nie występuje.
		Litologia:	Zlepieńce i piaskowce.
		- Lityfikacja/ Diagenеза;	
		- Struktura porowatości.	Średnia porowatość efektywna wynosi 10,3 %.
		Niejednorodność	Zbiornik jest jednorodnie wykształcony w całym obszarze omawianej struktury.
		Uskoki, szczeliny	Warstwy zbiornika i nadkładu nie są zruszczonowane, natomiast w podłożu występuje kilka dyslokacji dysjunktywnych.
		Nieudokumentowane zagrożenia	Ze względu na bliskie występowanie złóż węgla i wody termalnej problem ten musi być szczegółowo rozpatrzony przed podjęciem decyzji o budowie stanowiska pilotowego.
		Pionowy gradient geotermiczny	Wynosi od 3,2÷3,6 °C/100m
		Ciśnienie wody występujące w stropie warstwy zbiornikowej	7,3÷9,0 MPa
		Mechaniczne własności skał zbiornikowych	Własności mechaniczne warstw dębowieckich w granicach zbiornika nie były badane.
		Własności petrofizyczne	Średnia przepuszczalność 39,3 mD, średnia porowatość efektywna 10,3 %, średnia gęstość objętościowa: piaskowców 2,5 g/cm <sup>3</sup> , zlepieńców 2,48 g/cm <sup>3</sup> .
	Płyny złożowe	Własności płynów złożowych	Mineralizacja wyrażona wartościami suchej pozostałości kształtuje się w przedziale od 30,0÷65,3 g/dm <sup>3</sup> . Są to wody słone i solanki głównie typu Cl-Na oraz rzadziej Cl-Na-Ca. Odczyn pH waha

			się w granicach 5,2÷9,9.
		Hydrogeologia	Jak w opisie warunków geologicznych.
		Węglowodory	Nie występują w warstwach zbiornikowych.
5.Otworki wiertnicze	Wiercenie i konstrukcja	Likwidacja otworów zatłaczających	Zagadnienia zostaną opracowane i ujęte w projekcie pilotażowym.
		Konstrukcja i wyposażenie odwiertów	
		Rekonstrukcje odwiertów	
		Odwierty monitorujące (obserwacyjne)	
		Dokumentacja otworowa	
	Likwidacja odwiertów i ich szczelność	Likwidacja i uszczelnienie odwiertów	
		Rozszczelnienie odwiertu	
		Erupcje	
		Archiwalne otworki wiertnicze	
		Ruchy górotworu w miejscu występowania odwiertów	
6.Środowisko przypowierzchniowe	Środowisko lądowe	Topografia i morfologia	Zmiany topograficzne i morfologiczne nie będą miały wpływu na zmagazynowane CO <sub>2</sub> .
		Gleba i osady	Może zostać zanieczyszczona w wyniku awarii w trakcie transportu i zatłaczania.
		Erozja i depozycja	Nie przewiduje się.
		Atmosfera i meteorologia	Nie analizowano.
		Reżim hydrologiczny i bilans wodny	Zmiany hydrologiczne nie będą miały wpływu na zbiornik.
		Wody powierzchniowe i przypowierzchniowe	Możliwe wpływ na wody powierzchniowe i poziomy wód przypowierzchniowych w przypadku ucieczek CO <sub>2</sub> .
		Lądowe systemy ekologiczne flora i fauna lądowa	Zagrożenie może wystąpić w przypadku awarii systemu, lub ucieczek CO <sub>2</sub> ze składowiska. Wpływ na środowisko został przeanalizowany wariantowo w

			zależności od ilości uwolnionego CO <sub>2</sub>
	Środowisko morskie	Cechy wybrzeża	Nie ma związku z analizowanym zbiornikiem.
		Lokalna oceanografia	
		Osady morskie	
		Flora i fauna morska	
		Morskie systemy ekologiczne	
	Zachowanie się ludzi	Cechy człowieka	Przeanalizowano w wypadku ucieczek CO <sub>2</sub> .
		Dieta, odżywianie	
		Styl życia	
		Korzystanie z wody i gruntów	
		Charakterystyka lokalnej społeczności	
		Budynki	Teren charakteryzuje się niską zabudową o nieregularnym rozprzestrzenieniu.
7. Wpływ inwestycji	Własności systemu składowania	Wydajność systemu: -Utrata szczelności i wycieki	Możliwe przy ucieczkach CO <sub>2</sub> przez nieczynne, źle zlikwidowane otwory wiertnicze.
	Wpływ na środowisko fizyczne	Zanieczyszczenie wód podziemnych	Zanieczyszczenie wód podziemnych w tym użytkowego zbiornika GZWP jest mało prawdopodobne.
		Wpływ na grunty	Możliwe tylko w przypadku awarii obszar wpływu zależny od ilości uwolnionego gazu.
		Uwolnienie do atmosfery	Możliwe tylko w przypadku awarii.
		Wpływ na eksploatację zasobów naturalnych	Może ograniczyć eksploatację złóż węgla kamiennego w sąsiednich polach rezerwowych.
		Wpływ na hydrogeologię	Przy prawidłowym udostępnianiu zbiornika otworami wiertniczymi nie wystąpią zmiany hydrogeologiczne.
		Wpływ na chemizm	Zatłaczanie CO <sub>2</sub> w bardzo ograniczonym stopniu wpłynie na chemizm.
		Wpływ na zjawiska sejsmiczne	Nie przewiduje się.
		Wpływ na topografię	Ewentualny wpływ procesu zatłaczania na topografię będzie minimalny.
		Wpływ na oceany	Nie ma związku z analizowanym zbiornikiem.
	Wpływ na florę	Wpływ CO <sub>2</sub> na	Ewentualna powolna migracją CO <sub>2</sub> do

	i faunę	zwierzęta	warstw przypowierzchniowych nie powinna wpływać na zwierzęta. W przypadku terenów o gęstej uprawie istnieje duże ryzyko negatywnego wpływu na zwierzęta.
		Wpływ CO <sub>2</sub> na rośliny	Wpływ na roślinność zależy od ilości uwolnionego CO <sub>2</sub> i miejsca wycieku. Problem ten poddano szczegółowej analizie
		Ekotoksykologia zanieczyszczeń	Nie analizowano.
		Efekt ekologiczny	Nie analizowano.
		Modyfikacja systemów mikrobiologicznych	Nie analizowano.
	Wpływ na ludzi	Wpływ CO <sub>2</sub> na zdrowie ludzi	Może dojść do uduszenia w przypadku awarii i wypływu dużych ilości CO <sub>2</sub> . Przyjmuje się, że tego typu zdarzenie będzie krótkotrwałe i szybko zostaną podjęte działania prewencyjne z ewakuacją ludzi włącznie.
		Toksyczność związków zatłaczanych	Nie przewiduje się zatłaczania związków toksycznych.
		Wpływ fizycznych uszkodzeń gruntu na ludzi	Nie przewiduje się.
		Wpływ na środowisko ekologiczne	Istnieje bardzo małe prawdopodobieństwo migracji CO <sub>2</sub> po bardzo długim okresie czasu. Co zostanie zauważone w monitoringu po zamknięciu składowiska.

Zagrożenia związane ze szczelnością warstwy izolacyjnej i z istniejącymi oraz zlikwidowanymi otworami wiertniczymi

Ryzyko związane z sekwestracją CO<sub>2</sub> występuje we wszystkich etapach technologicznych i obejmuje następujące procesy:

- wychwytywania CO<sub>2</sub>;
- transportu CO<sub>2</sub>;
- zatłaczania CO<sub>2</sub>;
- geologicznego magazynowania CO<sub>2</sub>;
- działań po zamknięciu składowiska.



Ryzyko związane z wychwytywaniem, transportem oraz procesem zatłaczania generalnie jest dostatecznie rozpoznane, w związku z tym jego ograniczenie jest możliwe. Najtrudniejsze w procesie geologicznego składowania jest wyeliminowanie ryzyka związanego z budową geologiczną i warunkami panującymi w zbiorniku zlokalizowanym w warstwach wodonośnych i w ich otoczeniu.

Bezpieczeństwo składowania CO<sub>2</sub> w warstwach geologicznych zależy od wielu czynników, a mianowicie:

- występowania wymaganej miąższości i jakości utworów uszczelniających;
- braku szczelin (głównie uskokowych) przecinających warstwę izolacyjną;
- braku źle zlikwidowanych otworów wiertniczych przewiercających warstwy izolacyjne;
- braku łączności hydraulicznej między zbiornikiem i poziomami użytkowymi wód podziemnych i powierzchniowych;
- dobrych i stabilnych parametrów zbiornikowych (porowatości, przepuszczalności) składowiska;
- braku lub bardzo ograniczonego oddziaływania CO<sub>2</sub> na skały i wody złożowe.

#### **Analiza zagrożenia ze strony składowiska CO<sub>2</sub>**

Podstawowym parametrem decydującym o bezpieczeństwie pracy zbiornika jest występowanie utworów izolacyjnych (nieprzepuszczalnych) w nadkładzie warstwy wodonośnej. Najlepiej aby utwory te charakteryzowały się niskim współczynnikiem przepuszczalności, stałą miąższością, jednolitym wykształceniem litologicznym dużym zasięgiem poziomym oraz brakiem zaburzeń tektonicznych.

Ewentualna migracja CO<sub>2</sub> przez warstwę izolacyjną charakteryzującą się wymienionymi cechami może mieć jedynie miejsce w przypadku przepływu CO<sub>2</sub> wynikającego głównie z przepuszczalności tej warstwy.

Wydatek jednostkowy określony w m<sup>3</sup>/rok/m<sup>2</sup> można wyznaczyć z dużym przybliżeniem adaptując np. wzory na przepuszczalność pionową w próbach skał (Wilk; 1969)

$$Q = K \cdot \frac{A \cdot (p_1^2 - p_2^2)}{2 \cdot n \cdot M} \quad (1)$$

gdzie:

$Q$  – wielkość przepływu,  $m^3 / rok / m^2$  ;

$K$  – współczynnik przepuszczalności,  $m^2$  ;

$A$  – powierzchnia zbiornika,  $m^2$  ;

$p_1$  – ciśnienie w zbiorniku,  $MPa$  ;

$p_2$  – ciśnienie atmosferyczne,  $MPa$  ;

$n$  – lepkość dynamiczna płynu,  $Pa \cdot s$  ;

$M$  – miąższość warstwy izolacyjnej,  $m$  .

Istotnym elementem ochrony warstwy izolacyjnej jest niedopuszczanie do naruszenia jej ciągłości wskutek występowania zjawiska szczelinowania. Zjawisko to można wyeliminować dobierając odpowiednio ciśnienie zatłaczania, które można określić stosując przybliżony wzór (Rogoż, 2004).

$$P_z < M_n \cdot \gamma_g \quad (2)$$

gdzie:

$P_z$  – ciśnienie płynu w otworze mierzone na głębokości serii chłonnej,  $MPa$  ;

$M_n$  – miąższość utworów zalegających powyżej serii chłonnej,  $m$  ;

$\gamma_g$  – średni ważony ciężar objętościowy nadległego górotworu,  $MN/m^3$  .

lub dla określenia ciśnienia mierzonego na głowicy otworu tłocznego ( $p_g$  )

$$p_g < M_n \cdot (\gamma_g - \gamma_c) \quad (3)$$

gdzie:

$M_n$  i  $\gamma_g$  – jak we wzorze (2);

$\gamma_c$  – ciężar objętościowy zatłoczonego płynu,  $MN/m^3$  .

Wystąpienie zjawiska szczelinowania będącego wynikiem zatłaczania można również określić na drodze rozważań geomechanicznych. Do tego celu niezbędna jest jednak znajomość parametrów wytrzymałościowych górotworu.

Według dotychczasowego rozpoznania warstwy dębowieckie przykryte są utworami formacji skawińskiej reprezentowanej przez: iłowce pylaste, przechodzące w ił, mułowce i mułowce piaszczyste z wkładkami piaskowców. Osiągają one bardzo dużą miąższość dochodzącą do 250 m. Charakteryzują się współczynnikiem filtracji wynoszącym  $10^{-8}$  i  $10^{-9} m/s$  i zgodnie z przyjętą klasyfikacją (Pazdro, 1990) należą do skał nieprzepuszczalnych. Uwzględniając wymogi kryteriów dotyczące wyznaczenia składowania  $CO_2$  w zakresie minimalnej warstwy izolacyjnej wynoszącej 50 m to w przypadku zbiornika w warstwach dębowieckich wielkość ta jest kilkakrotnie większa.

Wymienione parametry wyraźnie wskazują, że z punktu widzenia przepuszczalności tzw. międzyziarnowej zbiornik ten jest dostatecznie izolowany i wyklucza możliwość migracji  $CO_2$  w kierunku powierzchni.

Szczelność ta może być zaburzona jedynie w przypadku przepływów szczelinowych. Jak wiadomo

przepuszczalność szczelinowa określana jest wzorem:

$$K = \frac{1}{12 \cdot d} \cdot (b + d \cdot \Delta E)^3 \quad (4)$$

gdzie:

$K$  – współczynnik przepuszczalności,  $m^2$ ;

$b$  – rozwartość szczeliny,  $m$ ;

$d$  – długość szczeliny,  $m$ ;

$\Delta E$  – ewentualny przyrost odształcenia w kierunku prostopadłym do szczeliny.

Przepuszczalność szczelinowa rośnie z trzecią potęgą rozwarcia szczeliny i w związku z tym odgrywa zasadniczą rolę w przepływach płynów w górotworze.

Jak wcześniej wykazano warstwa izolacyjna utworów skawińskich nie jest zaburzona uskokami, jak również przy odpowiednim doborze ciśnienia zatłaczania, nie wystąpi jej szczelinowanie, co w efekcie gwarantuje, że nieprzepuszczalny charakter warstwy izolacyjnej nie zostanie zaburzony.

Podłoże warstw dębowieckich stanowią utwory karbońskie. Górotwór karboński jest zaangażowany tektonicznie głównie w formie tektoniki dysjunktywnej. Istniejąca sieć uskokuwa o przebiegu równoleżnikowym i o zróżnicowanych zrzutach nie jest dokładnie zbadana. Przyjmuje się, że szczeliny uskokowe są zaciśnięte, co przy niskiej przepuszczalności warstw karbońskich pozwala przypuszczać, że ewentualnie zatłaczany dwutlenek węgla może jedynie nieznacznie migrować do utworów karbonu. Ze względu na słabe rozpoznanie warstw podłoża zbiornika, zagadnienie ewentualnej migracji CO<sub>2</sub> nie może być obecnie jednoznacznie określone.

Naturalna szczelność warstwy izolacyjnej może być naruszona otworami wiertniczymi przecinającymi całą grubość tej warstwy i dochodzącymi do utworów stanowiących warstwy zbiornikowe.

Nie zlikwidowane lub źle zlikwidowane otwory stanowią dobre drogi połączeń dla cieczy i gazów między zbiornikiem i powierzchnią terenu. Dodatkowym niekorzystnym elementem w przypadku otworów jest brak informacji o ich lokalizacji lub informacja ta jest niedokładna.

W granicach przewidywanego zbiornika stwierdzono istnienie otworów wiertniczych, które same w sobie stanowią stosunkowo łatwą drogę migracji zatłoczonego do górotworu dwutlenku węgla, dlatego tak ważną jest ich lokalizacja oraz zapoznanie się z ogólnym ich stanem technicznym i sposobem likwidacji. W niniejszej pracy przyjęto, że nie stanowią zagrożenia otwory, które nie dowiercają się do formacji zbiornikowej tj. gdy różnica między ich głębokością, a głębokością występowania stropu warstw dębowieckich jest większa od 100 m (**Tab. 1.1.17\_8**).

Na terenie potencjalnego zbiornika i w niedalekiej odległości od niego około 2 km zlokalizowanych jest 140 otworów wiertniczych, z których 31 to otwory wykonane w latach 1942÷1957, 54 otwory datowane są na lata 1961÷2003, w pozostałych otworach data wiercenia nie została ustalona. Dla część zarchiwizowanych otworów tj. 25 nie ustalono poza współrzędnymi występowania szczegółowych danych (**Tab. 1.1.17\_10**) dla

pozostałych otworów dane często są niekompletne i sprowadzają się tylko do wiedzy na temat ich głębokości. W trakcie analizy zlokalizowano 62 otwory wiertnicze, które nawiercają warstwy dębowieckie lub ich głębokość do formacji zbiornikowej jest mniejsza od 100 m (**Tab. 1.1.17\_7**). W **Tab. 1.1.17\_9** zestawiono otwory o głębokości od 925 do 1815 m, w których nie stwierdzono występowania warstw dębowieckich.

Otwory są rozmieszczone w nierównomiernej siatce na powierzchni całego zbiornika. Ich duże zagęszczenie występuje w rejonie zbiornika gazu „Dębowiec”, gdzie zarchiwizowano 46 otworów, które w przeważającej części poza czterema otworami nawiercającymi karbon mają głębokość około 300÷500 m (**Tab. 1.117\_7, 8, 10**). Znaczna ilość otworów zlokalizowana została w rejonie obszaru górniczego nieczynnej kopalni „Morcinek”, który sąsiaduje z potencjalnym zbiornikiem. Najmniejsze zagęszczenie otworów występuje we wschodniej części zbiornika, gdzie jest najslabsze rozpoznanie. Większość ze zarchiwizowanych otworów na tym terenie dowierca się do karbonu i może stanowić potencjalne miejsca ucieczki CO<sub>2</sub>.

Przed uruchomieniem procesu składowania dwutlenku węgla konieczne jest wykonanie następujących prac w celu zmniejszenia zagrożenia migracji CO<sub>2</sub>:

- zapoznanie się z dokumentacją istniejących i archiwalnych otworów wiertniczych, pozwalającą na zdobycie wiedzy na temat stanu technicznego otworu i przeprowadzonym (lub nie) sposobie likwidacji;
- zlokalizowanie głębokich otworów i wykonanie badań dających pewność co do ich szczelności;
- jeśli to konieczne, należy przeprowadzić powtórny likwidację otworu wiertniczego;
- niektóre otwory mogą zostać wykorzystane do monitoringu składowiska.

**Tab. 1.1.17\_7** Zestawienie otworów nawiercających warstwy dębowieckie w rejonie potencjalnego zbiornika i jego sąsiedztwie.

<b>Nazwa otworu</b>	<b>Symbol otworu</b>	<b>Współ. X ukt. 65</b>	<b>Współ. Y ukt. 65</b>	<b>Dł.geo. ukt. 84</b>	<b>Sz.geo. ukt. 84</b>	<b>Rzędna [m]</b>	<b>Głębokość [m]</b>	<b>Rok wiercenia</b>	<b>Stratygrafia na dnie</b>
Cieszyn 2	Cie-2	215046	813743	183907,8	494520,5	290,00	821,8	1953	b.d.
Bielowicko IG-1	Bi IG-1	222744	817980	184531,8	494738,8	361,75	1770,0	1988	warstwy malinowickie
Bielowicko 1	Bi	228685	818555	185028,6	494757,5	345,00	1208,1	1954	b.d.
Brzezówka IG-1	Brz IG-1	211873	820152	183627,7	494847,6	285,00	1588,6	1961	b.d.
Bzie Dębina 16	BD-16	218000	830500	184131,6	495422,7	248,56	1345,0	1980	karbon
Bzie Dębina 8	BD-8	219129	831678	184228,7	495501,8	260,30	1700,0	1978	karbon
Chybie IG-1	Ch IG-1	228241	828720	185005,7	495326,7	259,85	1800,0	1984	namur
Cieszyn 1	Cie-1	213341	812977	183742,9	494455,6	271,00	900,0	1953	b.d.
Cieszyn IG-1	Cie IG-1	213376	816221	183743,8	494640,8	326,89	1654,0	1980	karbon
Cieszyn 6	Cie-6	217830	814257	184126,9	494537,9	301,40	1103,0	1962	b.d.
Czechowice IG-1	Cze IG-1	236266	830010	185647,2	495408,8	249,80	1511,0	1982	warstwy malinowickie
Dębowiec IG-1	Db IG-1	223632	821376	184615,8	494928,8	311,26	1981,0	1981	warstwy malinowickie
Dębowiec 3	Db-3	219830	820121	184305,4	494847,6	277,31	1173,0	1948	b.d.
Dębowiec 5	Db-5	219688	819534	184258,8	494828,0	272,00	1640,0	1949	b.d.

Drogomyśl IG-1	Dr IG-1	221215	828551	184413,8	495320,8	260,67	1982,0	1978	namur
Drogomyśl IG-57	Dr IG-57	220868	826204	184356,2	495204,4	261,00	1500,0	1966	karbon
Łowica 1	Ł-1	229054	824671	185046,6	495115,6	275,00	888,9	1954	b.d.
Jasienica 2	Jas-2	234746	822441	185531,8	495003,8	323,00	1148,0	1988	b.d.
Jaworze IG-1	Jael IG-1	234464	818827	185517,5	494806,3	350,00	1525,0	1979	b.d.
Jaworze IG-2	Jael IG-2	235664	819043	185617,2	494813,9	352,00	1650,0	1980	b.d.
Kaczyce 14	Ka-14	212400	821500	183653,0	494930,7	276,74	1500,0	1979	karbon
Kaczyce 18	Ka-18	212300	823300	183647,6	495028,9	255,31	1501,0	1978	karbon
Kaczyce 19	Ka-19	212603	822342	183703,8	494958,8	262,00	1512,0	1977	karbon
Kaczyce 20	Ka-20	213138	821289	183730,8	494924,8	278,00	1441,7	1978	karbon
Kaczyce 21	Ka-21	213800	820300	183803,3	494852,1	268,42	1652,0	1988	karbon
Kaczyce 22	Ka-22	214100	819200	183818,6	494816,5	286,18	1500,0	1980	karbon
Kaczyce 23	Ka-23	215189	819489	183913,8	494826,8	282,30	1551,0	1984	karbon
Kaczyce 23bis	Ka-23bis	215175	819331	215440,9	475068,7	281,87	1551,0	1984	karbon
Kaczyce 25	Ka-25	213900	822600	183807,8	495006,5	274,18	1530,0	1987	karbon
Kaczyce 26	Ka-26	214400	821400	183833,1	494927,7	267,90	1500,3	1978	karbon
Kaczyce 27	Ka-27	215500	821800	183928,6	494940,8	268,74	1650,0	1987	karbon
Kaczyce 28	Ka-28	216300	819500	184008,5	494826,5	283,11	1504,0	1986	karbon

Kaczyce 29	Ka-29	211900	822700	183627,7	495009,5	270,91	1640,0	1986	karbon
Kaczyce 30	Ka-30	213604	821908	218017,0	473500,2	271,09	1535,0	1986	karbon
Kaczyce 31	Ka-31	216000	820700	183953,3	494905,3	256,08	1662,0	1986	karbon
Kalembice 1	Kal-1	212997	816563	183723,8	494651,8	335,00	1236,0	1979	b.d.
Kalembice 4	Kal-4	211582	817651	183613,8	494726,8	254,00	1104,0	1978	b.d.
Kończyce wielkie 1	KW-1	214000	819800	183813,4	494835,9	b.d.	1206,0	b.d.	b.d.
Kończyce 1	Ko-1	214016	820915	183814,1	494912,5	255,00	1206,0	1953	karbon
Kowale 2	Kow-2	231550	824452	185251,8	495108,8	324,00	1000,0	2003	b.d.
Krasna 1	Kra-1	217411	814475	184105,8	494544,8	326,00	2892,0	1992	b.d.
Łazy k/Bielska 1	Łazy-1	232027	821640	185315,8	494937,8	364,00	901,0	1988	b.d.
Międzyrzecze	Mrz-M1	235825	823739	185625,8	495045,5	290,00	1443,6	1951	b.d.
Międzywiec H-2	Mie-H2	224579	816122	184703,8	494638,8	310,00	1053,0	1970	b.d.
Nierodzim H-1	Nie-H1	226174	813338	184823,8	494508,8	327,12	980,0	1969	b.d.
Ogrodzona 1	Og-1	220316	815454	184330,9	494616,4	329,64	1097,0	1948	b.d.
Pogórz 1	Pog-1	229342	817102	185101,8	494710,8	354,00	1251,3	1954	b.d.
Pogórz 6	Pog-6	233270	821350	217448,5	493152,4	b.d.	802,6	b.d.	b.d.
Roztropice 2	Roz	229431	823342	185105,8	495032,8	318,00	902,0	1988	b.d.
Roztropice 3	Roz-3	232949	824976	185401,8	495125,8	331,80	2121,0	1996	b.d.



Rudzica IG-1	Rud IG-1	229294	825227	185058,3	495133,6	263,61	1600,0	1986	warstwy malinowickie
Skoczów 1	Sko-1	225247	819519	184736,4	494828,5	286,72	1249,0	1949	b.d.
Strumień 2	St-2	216288	819114	184008,8	494814,8	278,00	1106,0	1978	b.d.
Warszowice-Pawłowice 11	WP-11	224124	818100	184640,8	494742,8	257,50	1200,0	1974	b.d.
Warszowice-Pawłowice 27	WP-27	219490	819967	184248,8	494842,8	267,50	1320,0	1974	b.d.
Zabłocie	Zabl-1	223595	830614	184612,4	495427,9	257,47	1096,0	1949	karbon
Zabłocie	Zab	223894	830428	184627,7	495421,7	257,50	1099,7	1949	karbon
Zamarski IG-1	Zam IG-1	217780	817069	184123,8	494708,8	349,09	1820,0	1981	karbon
Zebrzydowice 12	Ze-12	215036	825947	183904,8	495155,8	270,10	1900,0	1981	karbon
Zebrzydowice 13	Ze-13	214691	824589	183847,8	495111,8	272,40	1614,0	1981	karbon
Zebrzydowice 14	Ze-14	216364	823377	184011,8	495032,8	287,90	1589,0	1981	karbon
Zebrzydowice IG-53	Ze IG-53	213319	826047	183738,4	495158,5	259,70	1622,3	1967	karbon

**Tab. 1.1.17\_8** Zestawienie płytkich otworów nie dowiercających do warstw dębowieckich w rejonie potencjalnego zbiornika i jego sąsiedztwie.

Nazwa otworu	Symbol otworu	Współ. X ukt. 65	Współ. Y ukt. 65	Dł.geo. ukt. 84	Sz.geo. ukt. 84	Rzędna [m]	Głębokość [m]	Rok wiercenia	Stratygrafia na dzień
Dębowiec 1	Db-1	219910	819935	184309,8	494841,8	274,90	396,1	1946	b.d.
Dębowiec 24	D-24	220980	819830	215936,3	480870,0	b.d.	417,7	b.d.	b.d.
Dębowiec 26	Db-26	220610	819930	215736,7	480500,1	b.d.	396,9	b.d.	b.d.
Dębowiec 29	Db-29	221100	820850	216955,5	480990,5	b.d.	464,0	b.d.	b.d.
Dębowiec 30	Db-30	220410	821170	217275,7	480301,1	b.d.	297,0	b.d.	b.d.
Dębowiec 31	Db-31	220130	820360	216466,4	480020,9	b.d.	451,6	b.d.	b.d.
Dębowiec 32	DW-32	222600	819000	184523,7	494811,0	b.d.	593,7	b.d.	b.d.
Dębowiec 33	DW-33	223400	819100	184603,7	494814,3	b.d.	638,2	b.d.	b.d.
Dębowiec 34	DW-34	222800	818300	184533,8	494748,3	b.d.	644,0	b.d.	b.d.
Dębowiec 39	DW-39	222900	818680	214786,0	482788,0	b.d.	700,1	b.d.	b.d.
Dębowiec 40	Db-40	219100	821650	217756,1	478992,3	280,00	500,5	1956	b.d.
Dębowiec 42	Db-42	217800	820950	217057,3	477692,8	278,00	501,0	1957	b.d.
Dębowiec 43	Db-43	219800	820710	216816,4	479691,3	b.d.	350,5	b.d.	b.d.

Dębowiec 44	Db-44	219490	821090	217196,3	479381,7	b.d.	357,4	b.d.	b.d.
Dębowiec 6	Db-6	219330	820280	216386,9	479221,4	b.d.	694,5	b.d.	b.d.
Dębowiec 2	Db-2	220331	820750	216856	480221,9	280,44	485,0	1947	b.d.
Dębowiec 29	Db-29	221633	821289	184435,8	494925,8	275,85	464,0	1953	b.d.
Dębowiec 4	Db-4	221190	819800	215906,2	481079,8	317,12	477,2	1948	b.d.
Dębowiec 41	Db-41	218583	817993	184203,3	494738,1	280,00	709,4	1956	b.d.
Dębowiec 7	Db-7	220635	821910	184345,8	494945,8	272,41	594,6	1949	b.d.
Kowale 1	Kow-1	229249	821334	185056,4	494927,3	312,74	605,8	1948	b.d.
Pogórz 2	Pog-2	229303	817411	185059,8	494720,8	320,00	786,8	1954	b.d.
Pogórz 3	Pog-3	227125	818897	184910,8	494808,8	302,00	737,7	1955	b.d.
Pogórz 4	Pog-4	231585	819107	185253,8	494815,8	335,00	805,4	1955	b.d.
Pogórz 7	Pog-7	238883	820526	185858,8	494901,8	330,00	815,0	1957	b.d.
Pogórz 5	Pog-5	238542	823986	185841,8	495053,8	330,00	802,5	1956	b.d.
Simoradz 1	S-1	221990	820190	216295,5	481879,5	b.d.	391,0	b.d.	b.d.
Simoradz 10	Sim-10	222900	819600	184538,6	494830,4	b.d.	569,0	b.d.	b.d.
Simoradz 11	S-11	222470	820480	216585,0	482359,3	b.d.	397,6	b.d.	b.d.
Simoradz 12	S-12	223720	820050	216154,6	483608,2	b.d.	456,0	b.d.	b.d.
Simoradz 13	S-13	223660	820530	216634,4	483548,5	b.d.	528,7	b.d.	b.d.

Simoradz 14	S-14	223570	821010	217114,1	483458,8	b.d.	565,8	b.d.	b.d.
Simoradz 2	S-2	223070	820680	216784,6	482959,0	b.d.	533,7	b.d.	b.d.
Simoradz 20	S-20	222490	819500	215605,7	482378,8	b.d.	503,4	b.d.	b.d.
Simoradz 21	S-21	222120	819880	215985,6	482009,2	b.d.	457,2	b.d.	b.d.
Simoradz 22	S-22	221390	819610	215716,2	481279,6	b.d.	417,2	b.d.	b.d.
Simoradz 23	S-23	222810	820130	216255,1	482698,9	b.d.	553,7	b.d.	b.d.
Simoradz 25	S-25	223360	819700	215805,1	483248,3	b.d.	555,0	b.d.	b.d.
Simoradz 8	Sim-8	221120	820100	216206,1	481010,0	b.d.	399,2	b.d.	b.d.
Simoradz 9	S-9	222480	819950	216055,4	482369,0	b.d.	432,0	b.d.	b.d.
Simoradz 13	Sim-13	222929	820019	184540,7	494844,1	333,68	528,7	1951	b.d.
Simoradz 3	Sim-3	221080	821430	217535,2	480970,8	283,27	580,8	1949	b.d.
Skoczów 17	Sko-17	224200	819900	184643,6	494840,2	b.d.	615,0	b.d.	b.d.
Wilamowice 32	Wi-32	222743	817795	184531,4	494732,7	300,00	593,7	1954	b.d.

**Tab. 1.1.17\_9** Zestawienie głębokich otworów nie stwierdzających warstw dębowieckich.

<b>Nazwa otworu</b>	<b>Symbol otworu</b>	<b>Współ. X ukt. 65</b>	<b>Współ. Y ukt. 65</b>	<b>Dł.geo. ukt. 84</b>	<b>Sz.geo. ukt. 84</b>	<b>Rzędna [m]</b>	<b>Głębokość [m]</b>	<b>Rok wiercenia</b>	<b>Stratygrafia na dnie</b>
Drogomyśl 1	Dr-1	222606	826353	184523,7	495209,4	262,00	925,9	1949	karbon
Cieszyn 5	Cie-5	216143	812719	184002,8	494447,8	299,66	1134,5	1962	b.d.
Kaczyce 11	Ka-11	211900	818700	183628,6	494760,0	284,55	1500,0	1985	karbon
Kaczyce 12	Ka-12	212908	819066	183719,8	494812,8	284,60	1500,0	1978	karbon
Kaczyce 13	Ka-13	212573	820149	183702,8	494847,8	286,80	1561,5	1978	karbon
Kaczyce 15	Ka-15	211600	822000	183612,9	494946,8	278,80	1502,0	1978	karbon
Pruchna IG-56	Pr IG-56	217777	827357	184121,7	495241,8	267,16	1250,5	1968	karbon
Pruchna-III	Pr-III	217772	826029	184121,3	495158,1	288,00	1815,5	1942	b.d.
Strumień 3	St-3	216089	819516	183958,8	494827,8	283,00	1102,0	1978	b.d.

**Tab. 1.1.17\_10** Zestawienie otworów, w których poza współrzędnymi nie ustalono szczegółowych danych.

<b>Nazwa otworu</b>	<b>Symbol otworu</b>	<b>Współ. X ukł. 65</b>	<b>Współ. Y ukł. 65</b>	<b>Dł.geo. ukł. 84</b>	<b>Sz.geo. ukł. 84</b>	<b>Rzędna [m]</b>	<b>Głębokość [m]</b>	<b>Rok wiercenia</b>	<b>Stratygrafia na dnie</b>
Drogomyśl-IV	Dr-IV	225600	826500	184752,9	495214,0	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Ochaby Wielkie 1	OW-1	223300	824900	184557,9	495122,0	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Bronów-I	Brn-I	234100	828000	185458,5	495302,9	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Bronów-II	Brn-II	233000	829000	185403,4	495335,2	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Bzie Dębina 15	BD-15	219500	830400	184246,8	495419,7	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Czechowice-Dziedzice ?	Ce-e	237750	829260	225350,5	497633,6	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Drogomyśl I	Dr-I	222130	826680	222781,0	482023,0	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Drogomyśl II	Dr-II	223100	826660	222760,4	482992,3	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Kaczyce 17	KaD-17	212130	823020	219129,0	472027,8	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Kończyce Małe XIX/1	KM-XIX/1	214720	826190	222295,4	474617,8	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Kończyce Małe XVII/2	KM-XVII/2	214410	825380	221486,1	474307,6	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Kończyce Wielkie XVIII	KW-XVIII	214740	821730	217838,5	474635,3	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.

Ligota-a	Lig-a	235890	828100	224192,4	495774,3	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Ligota-II	Lig-II	235200	829000	185553,6	495335,3	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Ligota-III	Lig-III	235100	829700	185548,6	495357,9	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Ligota-IV	Lig-IV	234000	830500	185453,4	495423,8	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Ochaby Małe	OM	223300	822720	218823,0	483190,0	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Pogwizdów-XIII	Pgw-XIII	212000	819400	183633,5	494822,7	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Pruchna 12	Pr-12	218700	825900	184207,5	495153,9	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Pruchna 16	Pr-16	217300	824400	184057,6	495105,2	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Rudzica	Rud	233200	823800	185413,6	495046,9	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Simoradz 26	S-26	223370	820530	216634,5	483258,7	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Simoradz 27	S-27	221870	819920	216025,8	481759,4	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Simoradz 17	Sim-17	223900	819800	184628,6	494837,0	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Zamarski	Zam	215500	816000	183929,2	494633,1	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.

## Ochrona zasobów

### Oddziaływanie składowiska na Obszary Natura 2000

Oddziaływanie składowiska Cieszyn-Skoczów-Czechowice na występujące w obrębie zbiornika i jego bezpośrednim sąsiedztwie zwierzęta i rośliny wykonano analizując dane pochodzące z systemu natura 2000.

System Natura 2000 jest tworzony w oparciu o podstawy prawne zawarte w dyrektywie Rady 79/409/EWG z dnia 2 kwietnia 1979 roku w sprawie ochrony dzikich ptaków i dyrektywie Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 roku w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory. Obie dyrektywy zostały przeniesione do polskiego prawa i zawarte głównie w ustawie z dnia 16 kwietnia 2004 roku o ochronie przyrody.

Obszary Natura 2000 są europejską siecią ekologiczną mającą na celu ochronę zagrożonych składników różnorodności biologicznej kontynentu europejskiego. Składają się z dwóch typów terenów chronionych:

- obszary specjalnej ochrony ptaków (OSO),
- specjalne obszary ochrony siedlisk (SOO),

które tworzone są wyłącznie na podstawie kryteriów naukowych.

Na rozpatrywanym obszarze oraz w jego sąsiedztwie występują oba w/w typy terenów chronionych tj.

- obszar OSO „Dolina Górnej Wisły” – znajdujący się w centralnej części potencjalnego zbiornika (nr 1 **Fig. 1.1.17\_37**). W jego granicach znajduje się Jezioro Goczałkowickie (obszar SOO „Zbiornik Goczałkowicki – Ujście Wisły i Bajerki” nr 2 **Fig. 1.1.17\_37**) wraz z przyległymi stawami hodowlanymi, na których prowadzona jest hodowla karpia. Powierzchnia obszaru wynosi 24740,2 ha i występuje na niej co najmniej 29 gatunków ptaków z Załącznika I Dyrektywy Ptasiej oraz 8 gatunków z Polskiej Czerwonej Księgi (PCK). W trakcie okresu lęgowego obszar ten stanowi siedliska dla około 1% populacji krajowej różnych gatunków ptaków m.in.: bączka, dzierzby czarno czelnej, rybitwy białowąsej. Teren ten ma rangę ostoi ptasiej o znaczeniu międzynarodowym. W granicach obszaru „Dolina górnej Wisły” poza „Zbiornikiem Goczałkowickim ...” znajdują się następujące obszary SOO:
  - „Pierściec” (nr 3 **Fig. 1.1.17\_37**) – obszar o powierzchni 1702,1 ha obejmujący swoim obszarem wieś położoną 6 km na północ od Skoczowa wraz z zabytkowym młynem i żerowiskiem nietoperzy *rhinolophus hipposideros* (Załącznik II Dyrektywy Rady 92/43/EWG);
  - jeden z obszarów „Cieszyńskich Źródeł Tufowych (nr 4 **Fig. 1.1.17\_37**);
- „Cieszyńskie Źródła Tufowe” – ostoja znajdująca się w zachodniej części Pogórza Śląskiego o powierzchni 266,9 ha. W jej skład wchodzi cztery izolowane obszary, z czego w obrębie potencjalnego zbiornika lub jego niedalekim sąsiedztwie można wyróżnić trzy (nr 4, 5, 6 **Fig. 1.1.17\_37**). W obszarze stwierdzono występowanie dziewięciu rodzajów siedlisk z Załącznika I Dyrektywy Rady 92/43/EWG. Ostoja jest najlepiej zachowany i wykształcony na taką skalę



obszarem występowania czynnych tufów wapiennych, którym towarzyszą zbiorowiska mchów brunatnych ze związku *Cratoneurion commutati*.

- „Beskid Śląski” - obszar występuje na niewielkim terenie potencjalnego zbiornika w jego południowo-wschodniej części (nr 7 **Fig. 1.1.17\_37**) i jest ostoją fauny typowej dla puszczy karpackiej. Zidentyfikowano tu 17 typów siedlisk z Załącznika I Dyrektywy Rady 92/43/EWG oraz 21 gatunków z Załącznika II Dyrektywy Rady 92/43/EWG. Teren ten charakteryzuje się występowaniem największej liczby jaskiń, schronisk skalnych w obrębie polskich Karpat Zewnętrznych oraz licznymi lasami jaworowymi porastającymi jego północną część z miesięcznicą trwałą *Lunario-Aceretum*.

Obecne zagrożenia niniejszych terenów związane są głównie z postępującą urbanizacją i związanym z nią napływem ludzi, zmianą charakteru zabudowy i użytkowania gruntów rolnych. Intensywny rozwój w tym rejonie może doprowadzić do zajmowania obecnych terenów leśnych przeznaczonych na rozbudowę istniejącej infrastruktury komunikacyjnej.

Zagrożenie dla występującej na tym terenie fauny i flory związane z procesem zatłaczania dwutlenku węgla może wystąpić w trakcie jego powolnego wycieku ze zbiornika i koncentracji w warstwie przyglebowej lub akumulacji niebezpiecznych stężeń CO<sub>2</sub> w jaskiniach lub schroniskach skalnych. Niewielkie stężenie dwutlenku węgla ma pozytywny wpływ na roślinność – procesy fotosyntezy, w przypadku większych stężeń zostaną uruchomione procesy obumierania korzeni roślinnych. Ucieczka CO<sub>2</sub> i jego koncentracja w powietrzu może wywołać uduszenie zwierząt.

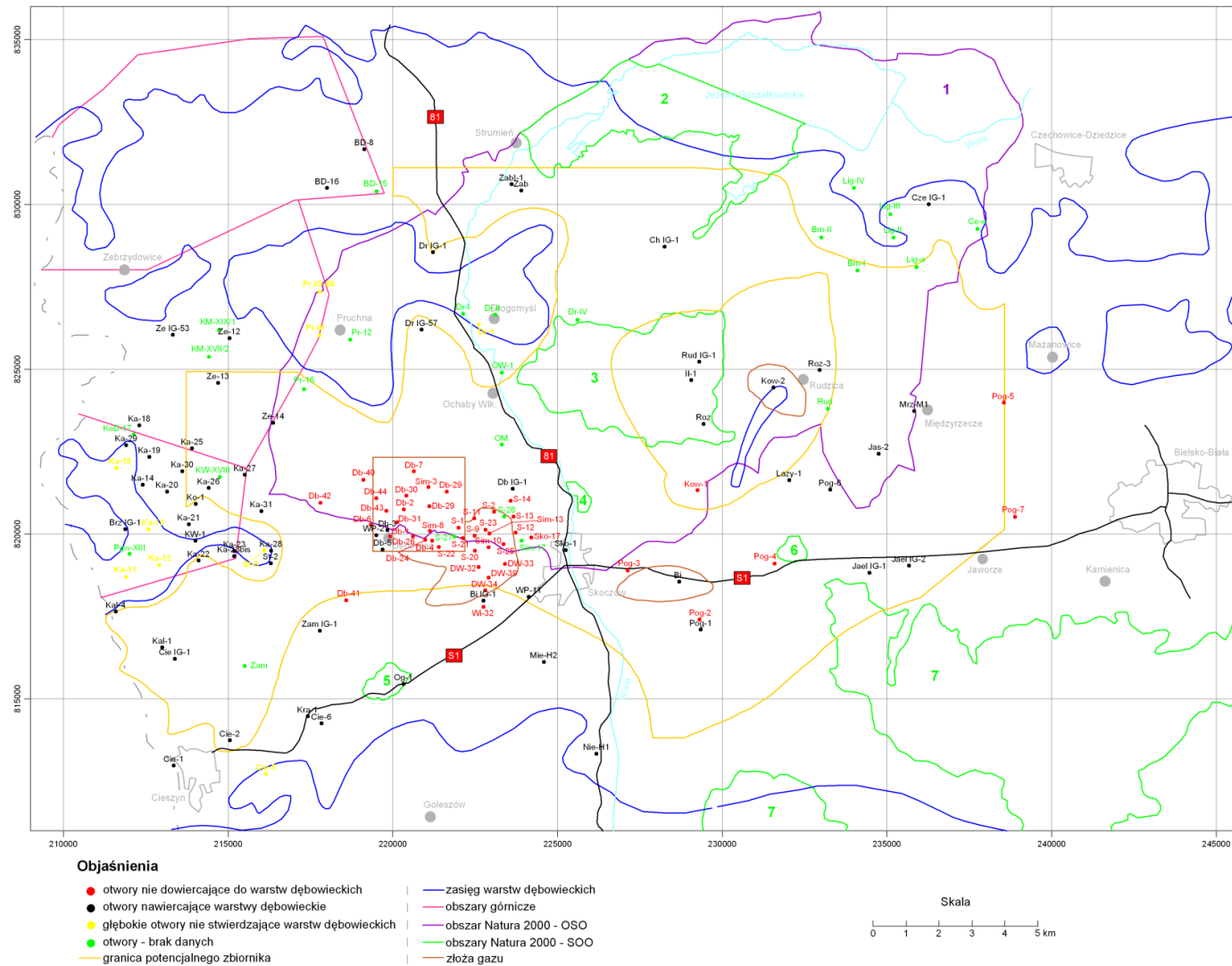


Fig. 1.1.17\_37 Mapa sytuacyjna rejonu badań  
17-112

### **Oddziaływanie składowiska na ujęcia wód użytkowych i termalnych**

W rejonie potencjalnego składowiska znajduje się główny zbiornik wód podziemnych GZWP Q/9 będący bazą zasobową dla zaopatrzenia ludności (Rózkowski, Chmura 1996).

W niedalekiej odległości od potencjalnego zbiornika w Jaworzu rozpatruje się możliwość wykorzystania wód geotermalnych do celów balneologicznych.

Nie przewiduje się oddziaływania, potencjalnego składowiska na zbiornik wód podziemny GZWP Q/9.

### **Podsumowanie**

Przeprowadzono ocenę warunków geologicznych, hydrogeologicznych, górniczych i środowiskowych. W analizie ujęto aspekty dotyczące oddziaływania składowiska na: środowisko naturalne człowieka, faunę i florę, ujęcia wód użytkowych i termalnych, zasoby różnych złóż. Sporządzono zestawienie otworów wiertniczych występujących w rejonie zbiornika i jego sąsiedztwie oraz dokonano oceny potencjalnego zbiornika pod kątem jego szczelności.

W rejonie potencjalnego zbiornika zlokalizowano 140 otworów wiertniczych, które są łatwą drogą migracji zatłoczonego CO<sub>2</sub>, dlatego przed przystąpieniem do prac związanych z zatłaczaniem dwutlenku węgla konieczne jest zapoznanie się z ich stanem technicznym i ewentualnym sposobem likwidacji. Należy brać pod uwagę konieczność przeprowadzenia ponownej likwidacji niektórych otworów wiertniczych.

Na podstawie dotychczasowych prac oraz dostępnych danych stwierdzono, że z punktu widzenia przepuszczalności zbiornik jest dostatecznie izolowany co wyklucza możliwość migracji dwutlenku węgla w kierunku powierzchni.

W oparciu o obecny stan rozpoznania i wiedzę literaturową nie stwierdzono jednoznacznie występowania uskoków w utworach nadkładu warstw dębowieckich.

Utwory karbońskie będące podłożem warstw dębowieckich są zaangażowane tektonicznie głównie w formie tektoniki dysjunktywnej. Uskoki mają zwykle przebieg równoleżnikowy i charakteryzują się zróżnicowaną wielkością zrzutów. Z uwagi na słabe rozpoznanie warstw podłoża nie określono jednoznacznie czy istnieje możliwość migracji zatłoczonego dwutlenku węgla do utworów karbonu.

Nie przewiduje się oddziaływania zatłoczonego CO<sub>2</sub> na zbiornik wód podziemnych GZWP Q/9, dotyczy to również możliwości wykorzystania wód z poziomu warstw dębowieckich i dewonu do celów balneologicznych w pobliskim Jaworzu.

Całość analizowanych czynników została zebrana i skomentowana w bazie Quintessa FEP (*Features Events Prozesse*). Baza jest dostępna na stronie [www.quintessa.org](http://www.quintessa.org) w formie bezpłatnej.

## Analiza zagrożeń na podstawie przeprowadzonych symulacji komputerowych

### Lokalizacja modelu teleskopowego

Szczegółowy model numeryczny zlokalizowany został w rejonie planowanego otworu *Iskrzyczyn 1* i obejmuje swym zasięgiem obszar o powierzchni 24,36 km<sup>2</sup> (Fig. 1.1.17\_38). Przeprowadzono symulacje rozptyłu dwutlenku węgla zatłoczonego do poziomów solankowych w warstwach dębowieckich oraz w zalegających poniżej warstwach zamarskich.

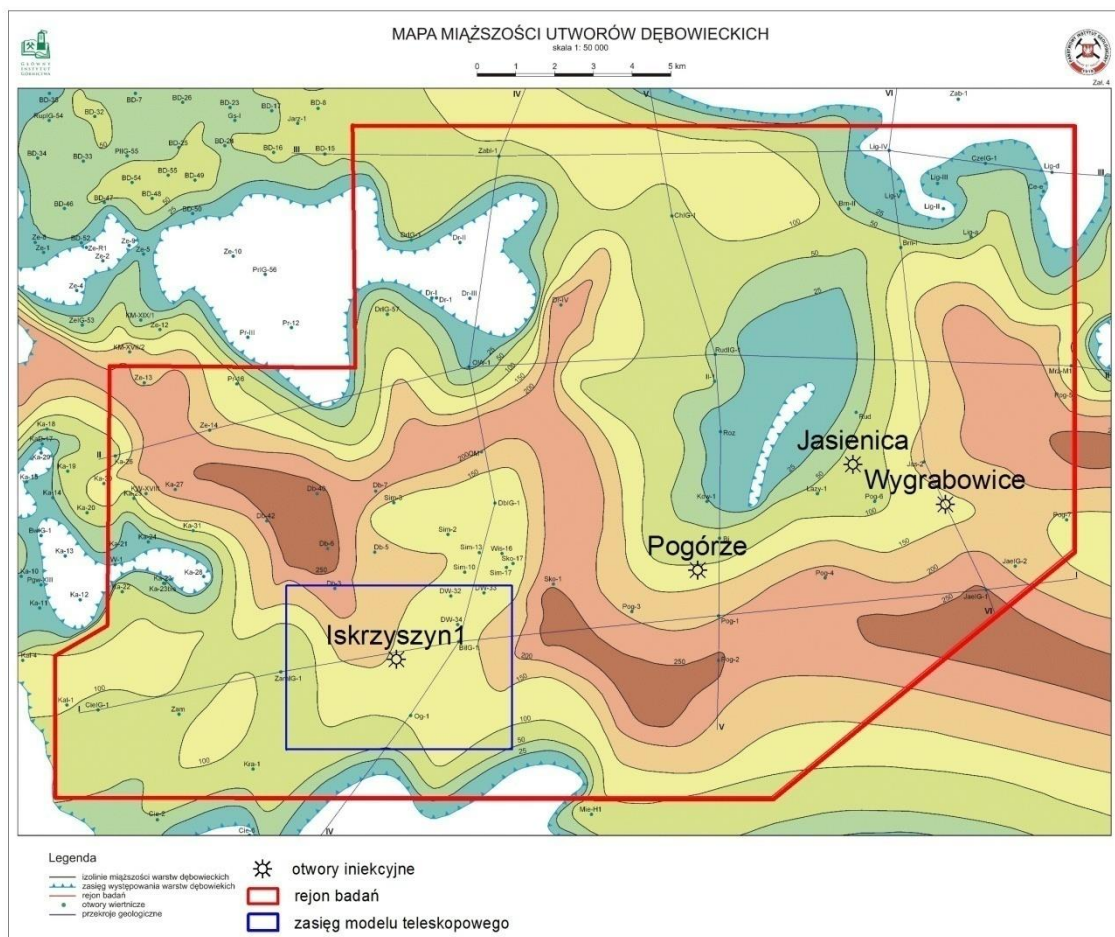
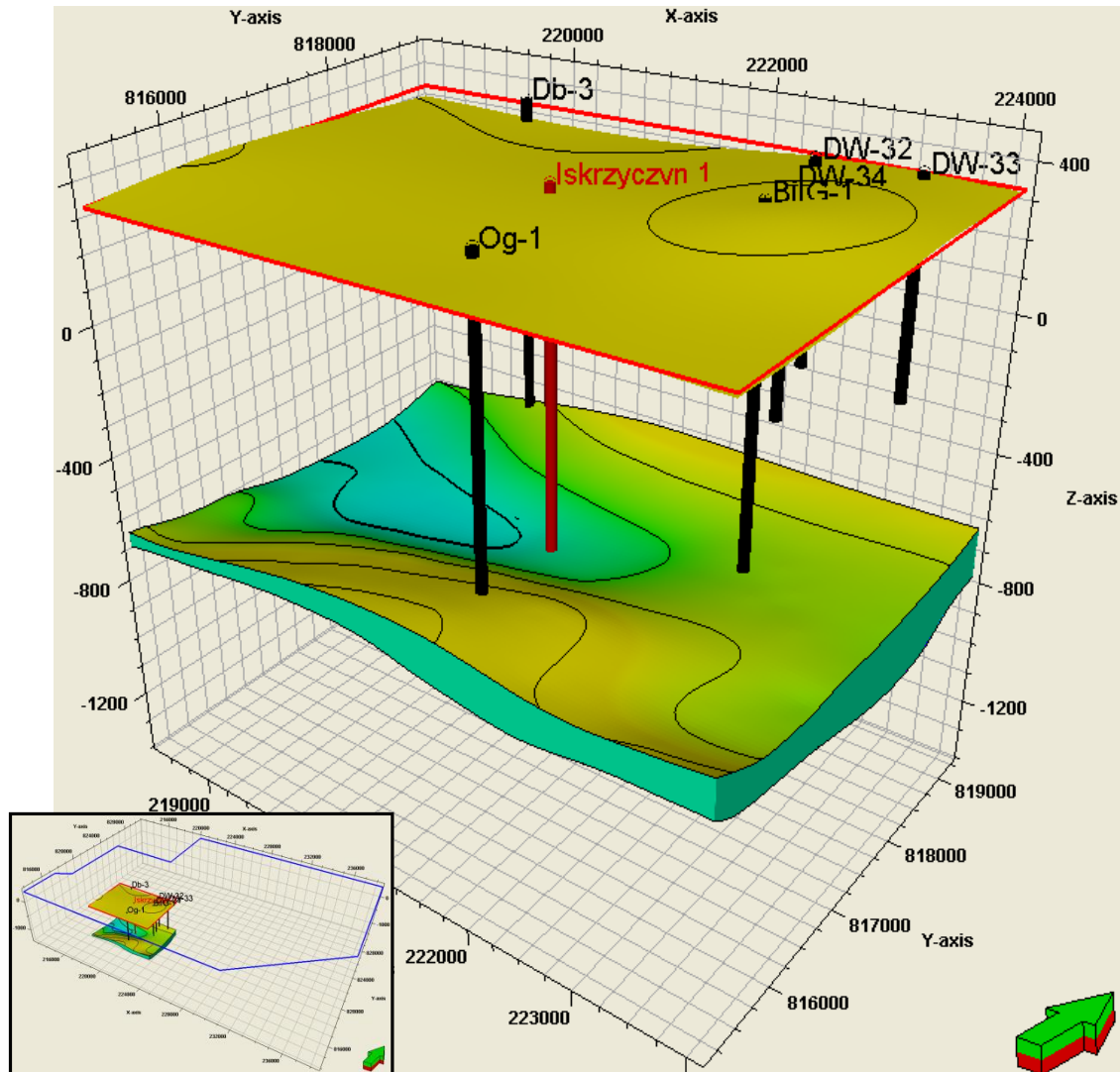


Fig. 1.1.17\_38 Lokalizacja modelu teleskopowego na tle mapy miąższości warstw dębowieckich

Dwutlenek węgla w opracowanym modelu zatłaczany jest do warstw dębowieckich i zamarskich za pomocą otworu iniekcyjnego *Iskrzyczyn 1*. Zakładany otwór nawierca strop warstw dębowieckich na głębokości około 1020 m. Profil tego otworu zakłada miąższość warstw dębowieckich wynoszącą 140 m, a warstw zamarskich – 220 m.

Zasięg modelu teleskopowego wyznaczono na podstawie wcześniej przeprowadzonych w tym rejonie symulacji. Stwierdzono, iż przyjęta ilość zatłaczanego dwutlenku węgla rozprzestrzeni się w promieniu do 3 km od miejsca iniekcji w czasie 200 lat od zakończenia iniekcji.

W obrębie modelu występuje sześć starych zlikwidowanych otworów wiertniczych, z czego trzy z nich (DW-32, DW-33, DW-34) to otwory płytkie, nie nawiercające stropu warstw dębowieckich. Ich lokalizację przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_39**, a szczegółowe dane dotyczące tych otworów zamieszczono w **Tab. 1.1.17\_11**.



**Fig. 1.1.17\_39** Lokalizacja otworów wiertniczych w modelu strukturalnym

**Tab. 1.1.17\_11** Dane dotyczące zlikwidowanych otworów wiertniczych.

Nazwa otworu	Symbol otworu	Współ. X ukł. 1965	Współ. Y ukł. 1965	Rzędna [m]	Głębokość [m]	Rok wiercenia
Bielowicko IG-1	BiIG-1	222749	817836	361.75	1770.0	1988
Ogrodzona 1	Og-1	220316	815454	329.64	1097.0	1948
Dębowiec 3	Db-3	219552	819229	277.31	1173.0	1948
Dębowiec 32	DW-32	222532	819030	333.84	593.7	b.d.
Dębowiec 33	DW-33	223382	819121	336.72	638.2	b.d.
Dębowiec 34	DW-34	222705	818304	352.86	644.0	b.d.

Lokalizację zlikwidowanych otworów wiertniczych w rejonach pozostałych trzech otworów symulacyjnych (Pogórze, Jasienica, Wygrabowice) przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_40.** i **Fig. 1.1.17\_41.** Ponadto na poniższych rysunkach umieszczono kontury mioceńskich złóż gazu ziemnego „Dębowiec Śląski” i „Pogórz”.



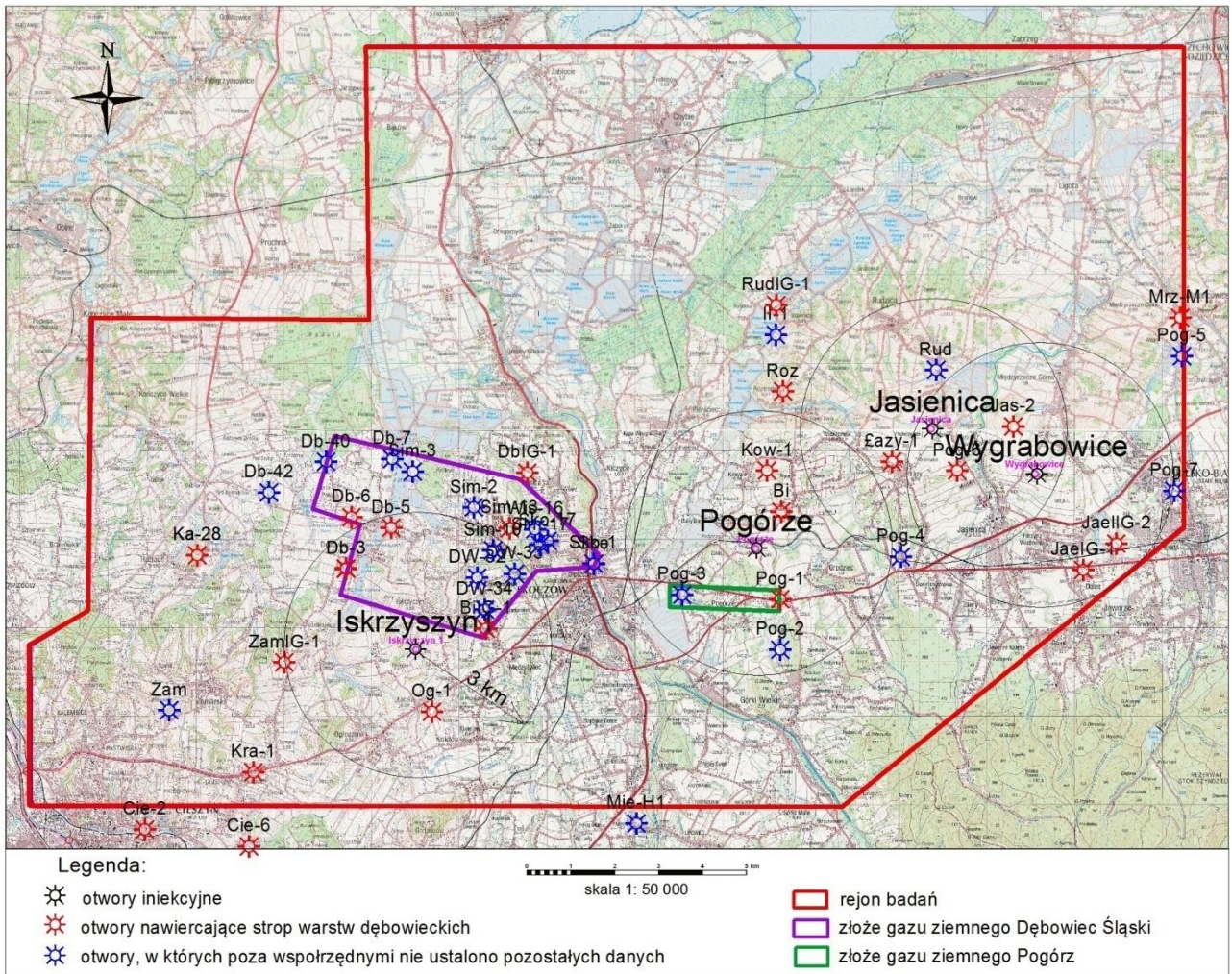
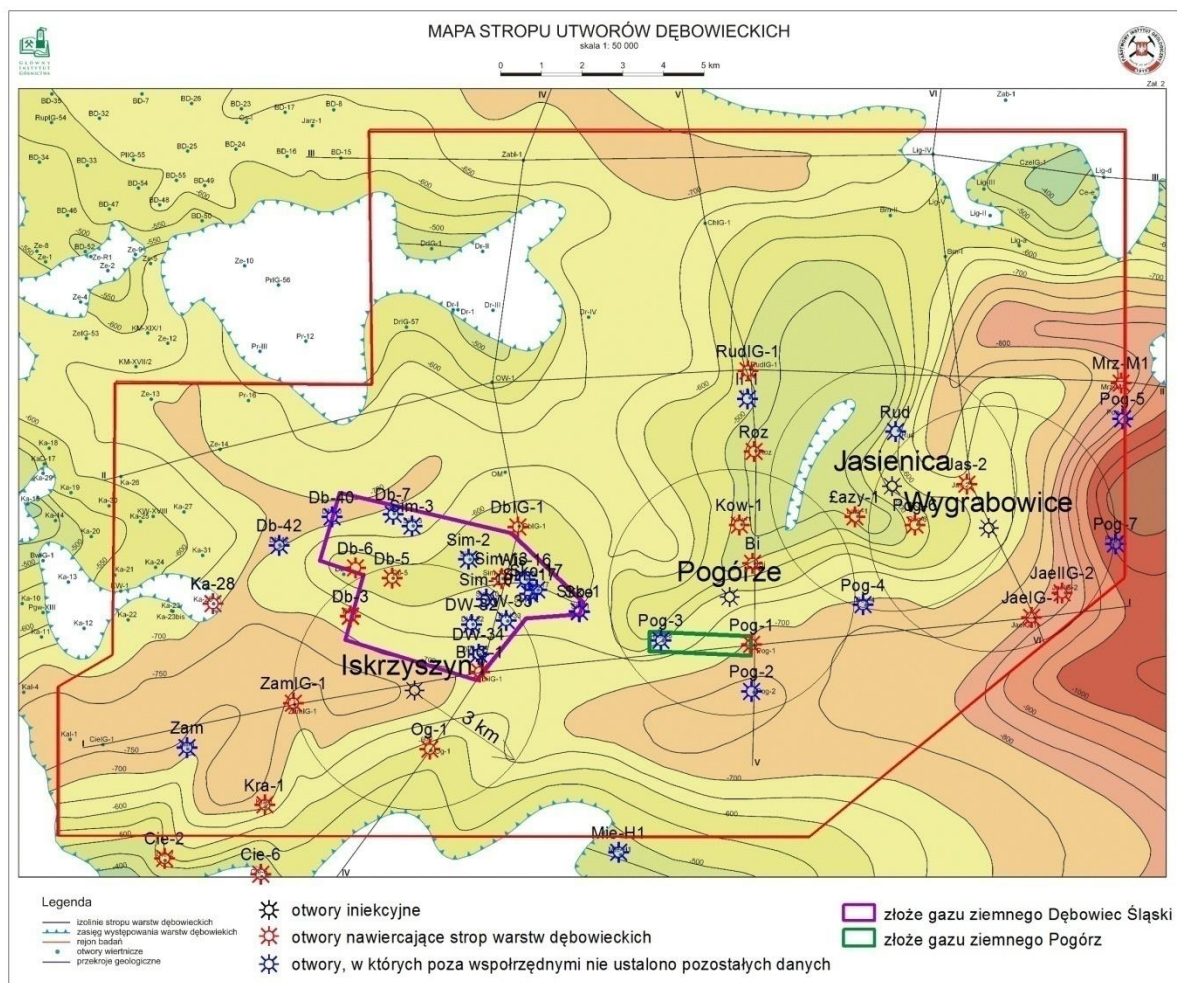


Fig. 1.1.17\_40 Lokalizacja otworów wiertniczych na mapie topograficznej



**Fig. 1.1.17\_41** Lokalizacja otworów wiertniczych na mapie stropu utworów dębowieckich

### Struktura modelu numerycznego

Opracowany model obejmuje przedział głębokościowy od -200 do -1300 m n.p.m. Pole powierzchni modelu to 24,36 km<sup>2</sup> (5,2 x 4,8 km). W płaszczyźnie poziomej podzielono go na komórki o boku 200 m, a także zagęszczono dodatkowo siatkę modelu w obrębie otworów. Natomiast w osi pionowej dokonano podziału na warstwy o średniej miąższości 35 m. W efekcie uzyskano rozdzielczość modelu wynoszącą 37x33x13 (15873 komórek). Parametry fizyczne ośrodków skalnych przyjętych w modelu zebrano w **Tab. 1.1.17\_12**. Strukturę modelu numerycznego przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_42** i **Fig. 1.1.17\_43**.



**Tab. 1.1.17\_12** Parametry fizyczne ośrodków skalnych przyjętych w modelu.

<b>Ośrodek</b>	<b>Gęstość [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Porowatość [%]</b>	<b>Przepuszczalność [m<sup>2</sup>]</b>		
			X	Y	Z
skały nadkładu	2535	1	1,0E-21	1,0E-21	1,0E-21
w-wy dębowieckie	2490	10	3,5E-14	3,5E-14	3,5E-14
w-wy zamarskie	2555	9	2,0E-14	2,0E-14	2,0E-14

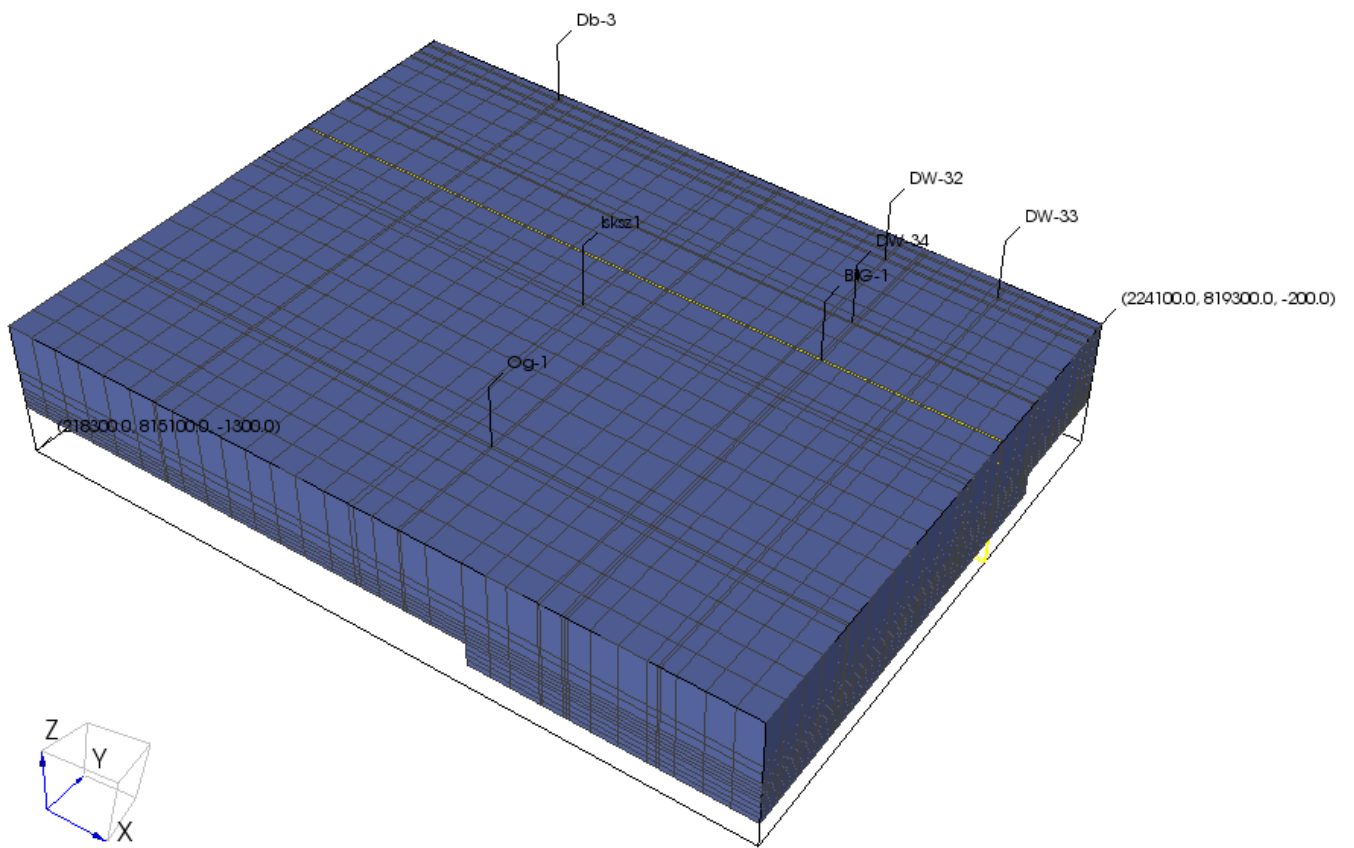


Fig. 1.1.17\_42 Struktura modelu numerycznego



Fig. 1.1.17\_43 Model numeryczny wraz z naniesioną mapą topograficzną

## Wyniki symulacji komputerowych

Modelowanie procesu zatłaczania CO<sub>2</sub> przeprowadzono w następujących wariantach:

### Wariant I

Symulacja obejmuje zatłaczanie CO<sub>2</sub> jednym otworem iniekcyjnym *Iskrzyżycze 1* przez okres 25 lat; ilość zatłaczanego dwutlenku węgla wynosi 450 tys. Mg CO<sub>2</sub>/rok; cały okres symulacji wraz z obserwacją zatłoczonego CO<sub>2</sub> do górotworu wynosi 230 lat (**Tab. 1.1.17\_13**). Założono, że wszystkie stare otwory wiertnicze zawarte w modelu są szczelne, a więc nie mają wpływu na rozptył dwutlenku węgla.

### Wariant II

Różnica w stosunku do wariantu I polega na tym, iż wszystkie otwory w modelu potraktowano jako źle zlikwidowane, a więc wszystkie są nieszczelne i stanowią zagrożenie dla bezpieczeństwa geologicznego składowania dwutlenku węgla. Pozostałe parametry modelowania nie zostały zmienione.

**Tab. 1.1.17\_13** Zestawienie parametrów przeprowadzonych symulacji.

Ilość CO <sub>2</sub> [kg/s]		Ilość CO <sub>2</sub> [tys. Mg/rok]	Czas trwania iniekcji [lata]	Czas trwania symulacji [lata]
w-wy dębowieckie	w-wy zamarskie			
9,51	4,76	450 (300+150)	25	230

Na poniższych wykresach przedstawiono zmiany nasycenia CO<sub>2</sub> w miejscu iniekcji w warstwach dębowieckich (**Fig. 1.1.17\_43**) i zamarskich (**Fig. 1.1.17\_44**). Na obydwu wykresach zaobserwowano w trakcie iniekcji wzrost nasycenia gazem do około 93% jednak po krótkim czasie od zaprzestania iniekcji nasycenie to gwałtownie spada i dąży do wartości nasycenia pierwotnego tj. około 5%.

Zmiany nasycenia i ciśnienia w stropie zbiornika w obrębie otworu Iskrzyczyn przedstawiono na rysunkach **Fig. 1.1.17\_45** i **Fig. 1.1.17\_46**.

Na **Fig. 1.1.17\_46** przedstawiono zmiany nasycenia gazem w otworach Og-1 oraz BiIG-1. W trakcie trwania iniekcji CO<sub>2</sub> nie zaznacza się wzrost nasycenia, natomiast w momencie dotarcia „chmury” dwutlenku węgla do nieszczelnego otworu następuje przepływ gazu do warstw nadległych oraz związany z tym bezpośrednio wzrost nasycenia gazem komórek w obrębie nieszczelnych otworów (**Fig. 1.1.17\_47**). Zmiany ciśnienia w tych otworach przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_48**.

W płytkich otworach (DW-32, DW-33, DW-34), które także przyjęto w modelu jako źle zlikwidowane, nie stwierdzono zmian ciśnienia i wzrostu nasycenia gazem.

Na **Fig. 1.1.17\_49** i **Fig. 1.1.17\_50** przedstawiono kolejne fazy rozptywu zatłaczanego dwutlenku węgla. Nieszczelność warstw nadkładu zaznacza się wyraźnie na rysunkach **Fig. 1.1.17\_50B**, **Fig. 1.1.17\_50C** i **Fig. 1.1.17\_50D**, na których widoczny jest wzrost nasycenia gazem komórek warstwy nadkładu w obrębie źle zlikwidowanych otworów BiIG-1 oraz Og-1.

Sg

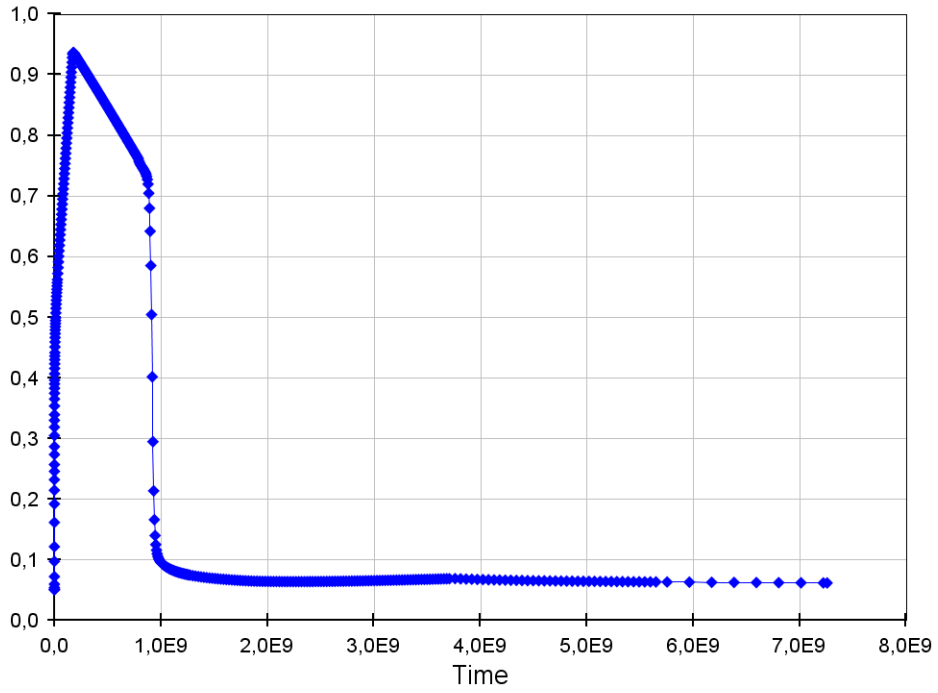


Fig. 1.1.17\_43 Przebieg zmian nasycenia CO<sub>2</sub> w miejscu iniekcji (w-wy dębowieckie) w czasie do 200 lat po zakończeniu iniekcji CO<sub>2</sub>

Sg

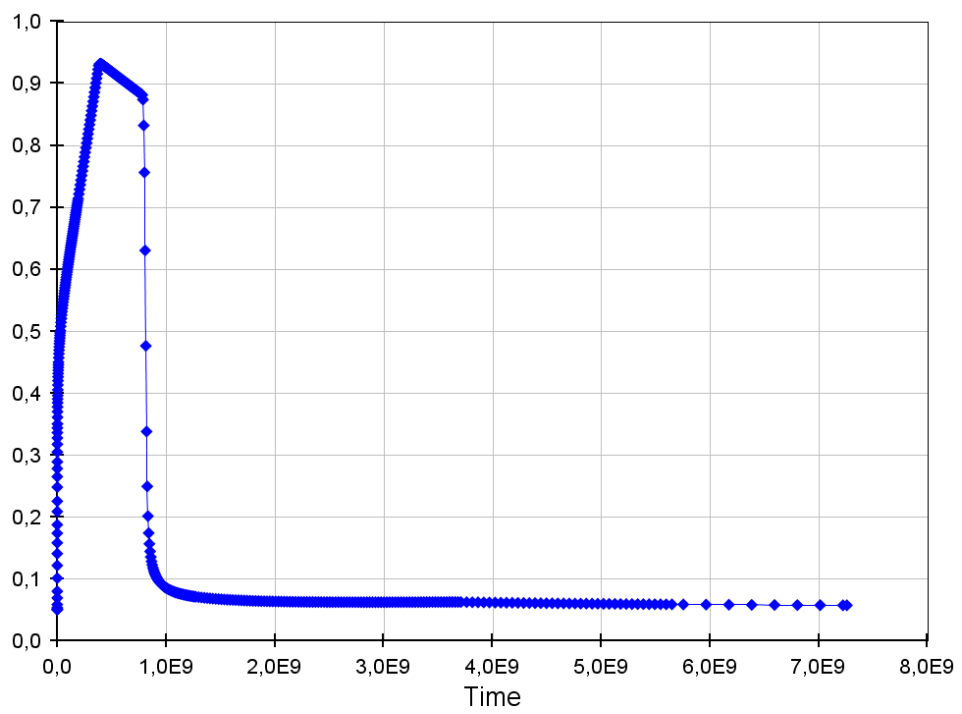


Fig. 1.1.17\_44 Przebieg zmian nasycenia CO<sub>2</sub> w miejscu iniekcji (w-wy zamarskie) w czasie do 200 lat po zakończeniu iniekcji CO<sub>2</sub>

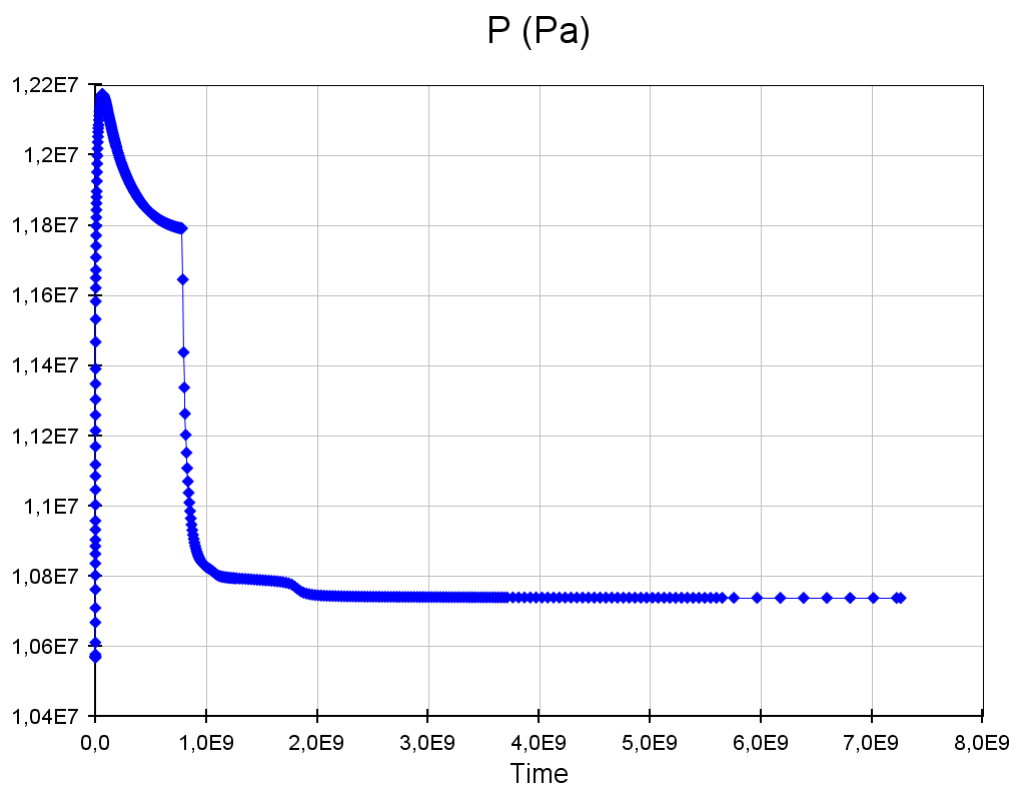


Fig. 1.1.17\_45 Przebieg zmian ciśnienia w komórce położonej w stropie zbiornika warstw dębowieckich

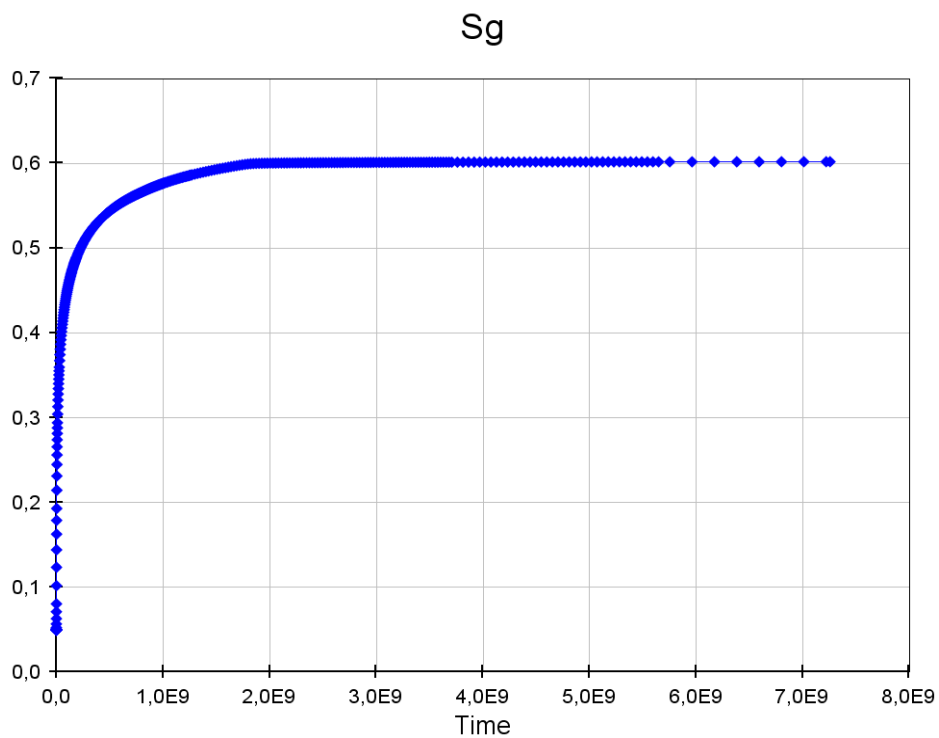
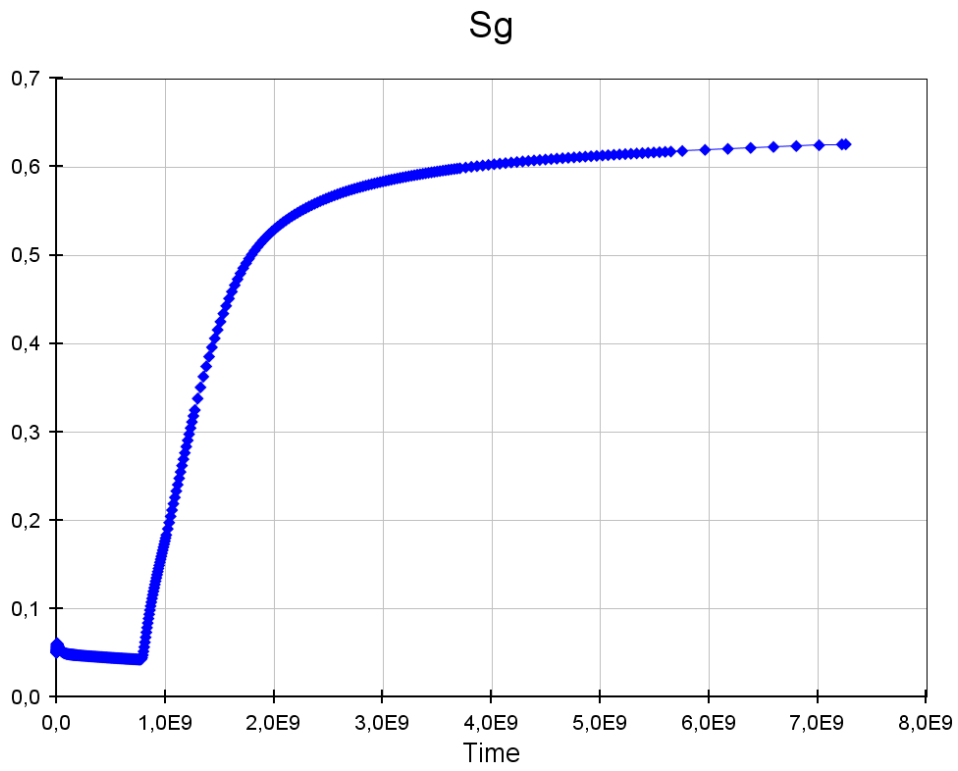
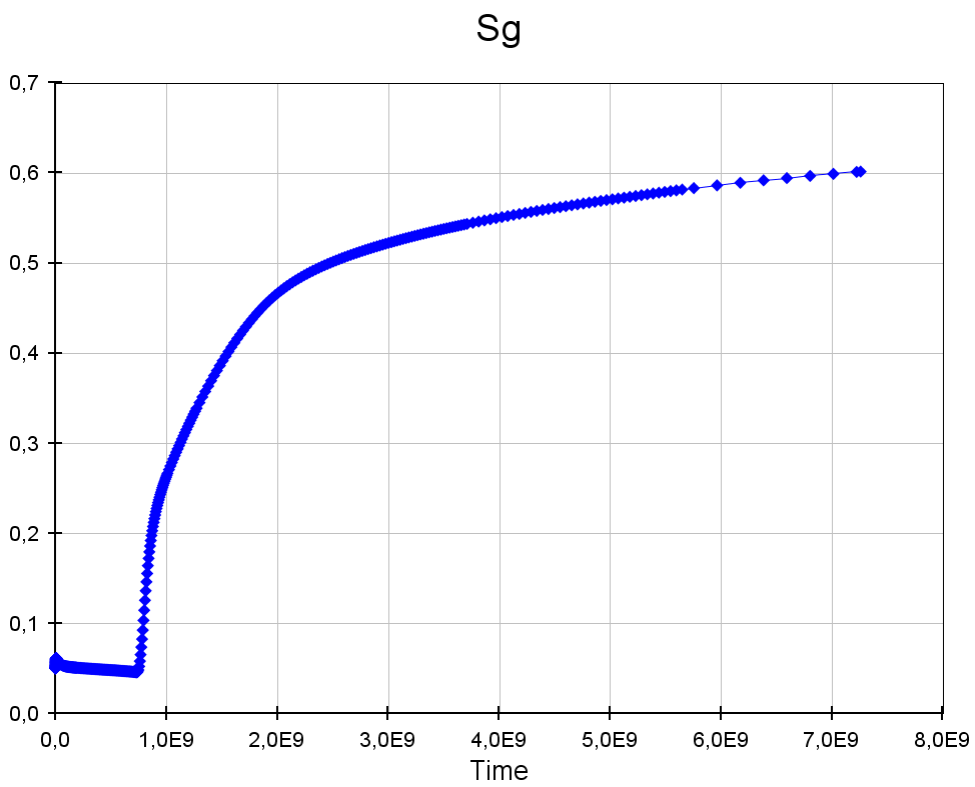


Fig. 1.1.17\_46 Przebieg zmian nasycenia  $CO_2$  w komórce położonej w stropie zbiornika warstw dębowieckich

A)



**B)**

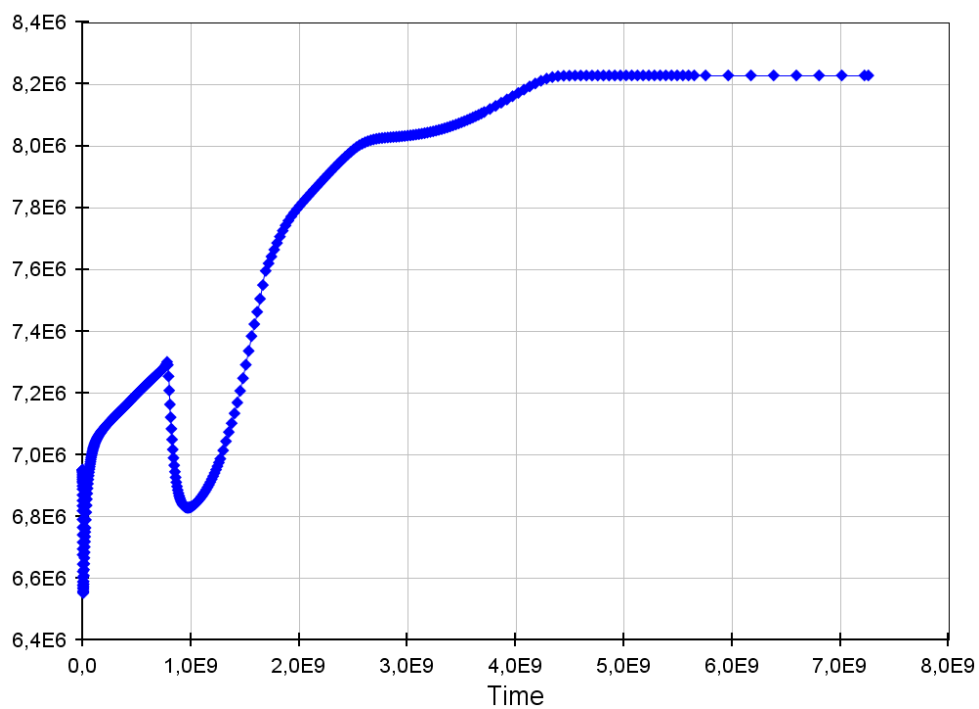


**Fig. 1.1.17\_47** Zmiany nasycenia w obrębie nieuszczelnionych otworów

(**A** – otwór Og-1, **B** – otwór BiIG-1)

A)

P (Pa)



B)

P (Pa)

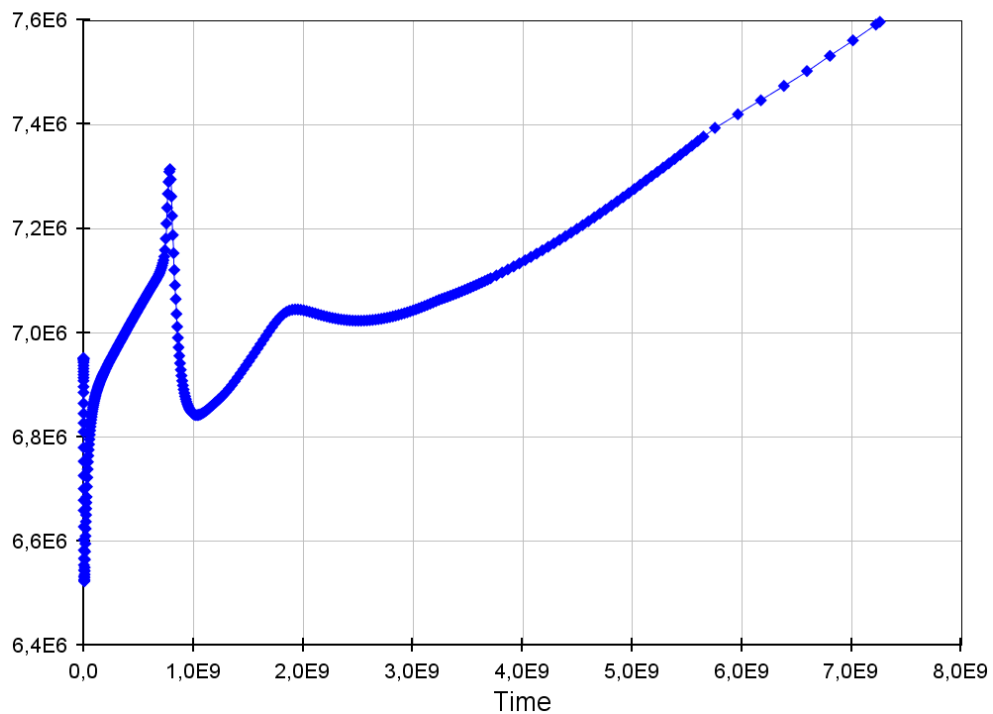
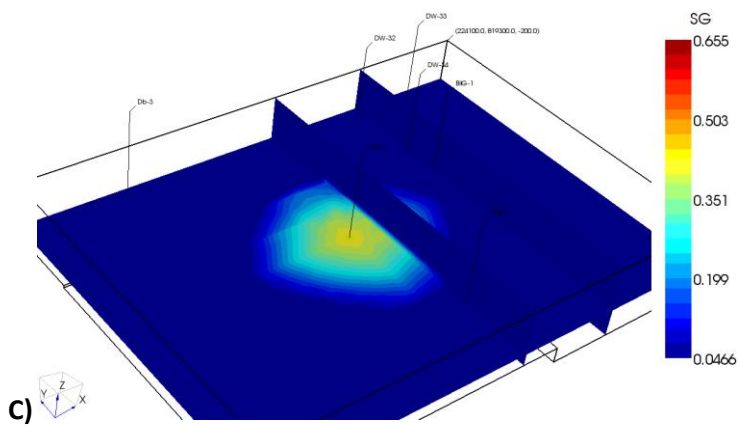
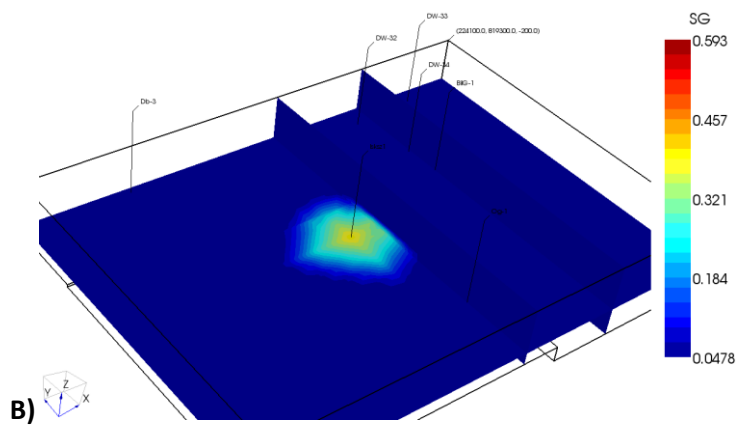
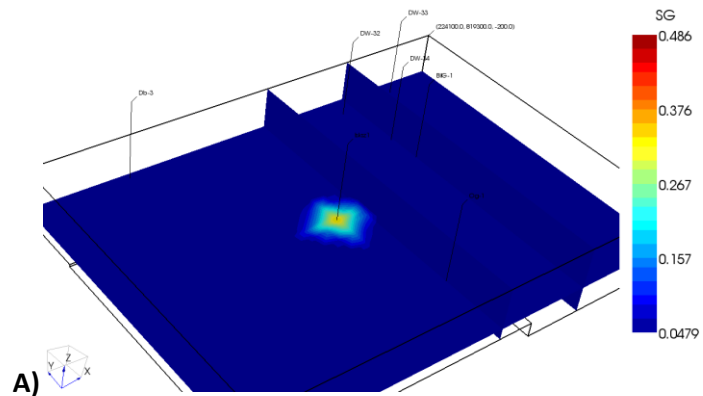


Fig. 1.1.17\_48 Zmiany ciśnienia w obrębie nieszczelnych otworów



(A – otwór Og-1, B – otwór BilG-1).



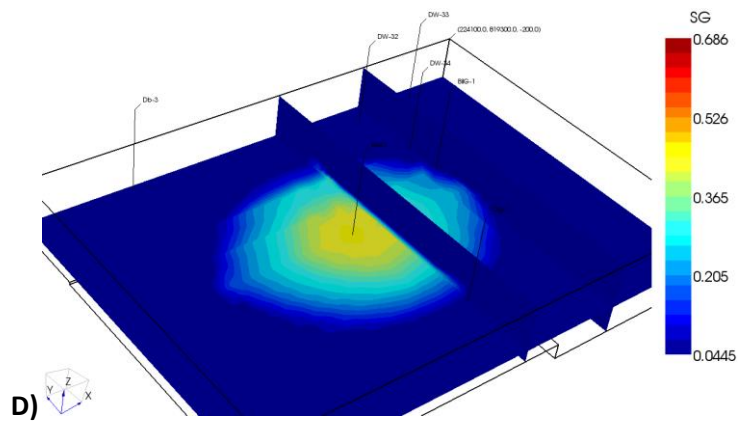
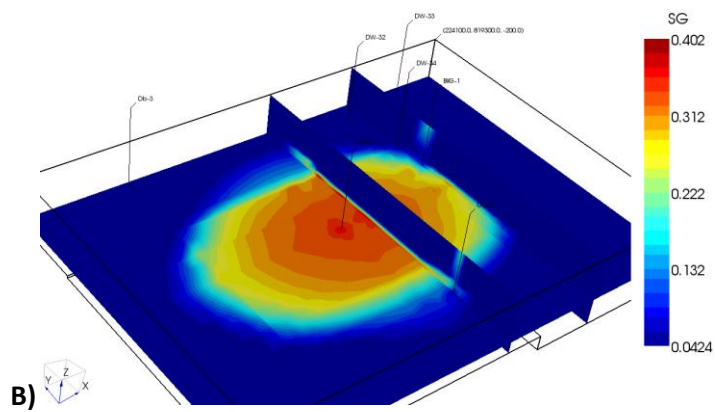
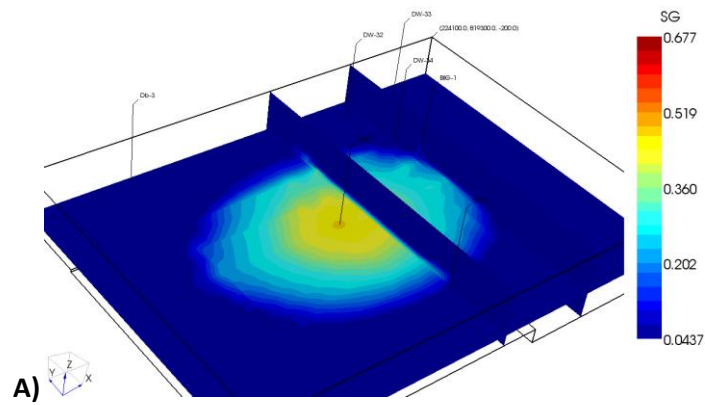
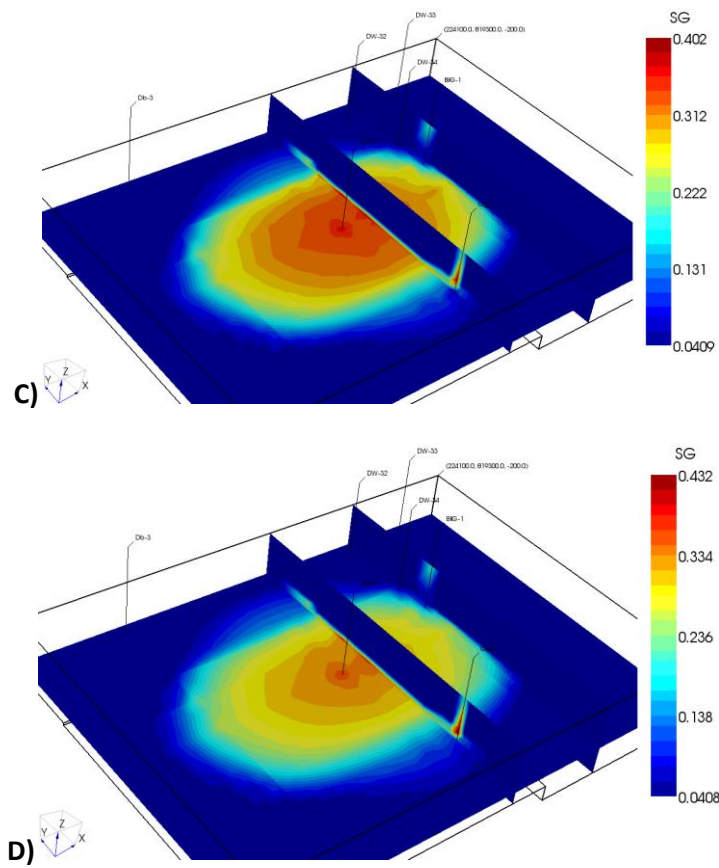


Fig. 1.1.17\_49 Zmiany nasycenia CO<sub>2</sub> w stropie zbiornika (A - po 1 roku iniekcji, B – po 5 latach iniekcji, C - po 10 latach, D - po 20 latach iniekcji)





**Fig. 1.1.17\_50** Zmiany nasycenia CO<sub>2</sub> w stropie zbiornika (A - po 25 latach (koniec iniekcji), B - 50 lat po zakończeniu iniekcji, C - 100 lat po zakończeniu iniekcji, D - 200 lat)

## Opracowanie rankingu i kwantyfikacji ryzyka dla rozpatrywanego zbiornika

### Ryzyko związane z geologicznym składowaniem dwutlenku węgla

Problematyka ocena ryzyka geologicznego składowania dwutlenku węgla została przybliżona w poprzednich rozdziałach.

W niniejszym opracowaniu do oceny ryzyka wykorzystany został ranking zagrożeń zaproponowany przez Lepinski J. (Jim Lepinski, 2010) będący wynikiem realizacji projektu departamentu Energii USA, DE-FE0001112.

Według autorów wspomnianej pracy w ryzyko geologicznego składowania CO<sub>2</sub> można zdefiniować jako iloraz trzech parametrów, tj. P - prawdopodobieństwo awarii, S - Ciężkość następstw, D - Możliwość wykrycia (wzór 1). Każdemu z parametrów przypisana została odpowiednia ranga w zakresie od 1-5. Materiał ten był podstawą opracowania odrębnej interpretacji, która przedstawiona została w od **Tab. 1.1.17\_15a – Tab. 1.1.17\_15c**.

$$\text{Ryzyko} = P \times S \times D \quad [1]$$

gdzie:

P = prawdopodobieństwo awarii

S = Ciężkość następstw

D = Możliwość wykrycia

### Identyfikacja zagrożeń

W celu właściwej oceny czynników wpływających na wysokość ryzyka zidentyfikowano i oceniono potencjalne skutki słabych ogniw systemu geologicznego składowania CO<sub>2</sub>. Potencjalnymi ścieżkami ucieczek zatłaczanego CO<sub>2</sub> w wybrane formacje geologiczne rejonu Cieszyn – Skoczów – Czechowice mogą być:

- system porów słabo przepuszczalnych warstw skalnych, jeżeli ciśnienie wejściowe przewyższa ciśnienie kapilarne w górotworze,
- system spękań i szczelin w górotworze w tym uskoki,
- ścieżki antropogeniczne, jak na przykład źle zabezpieczone lub opuszczone otwory produkcyjne ropy i gazu.

Bezpieczeństwo podziemnego składowania dwutlenku węgla zależy od właściwego wyboru lokalizacji, dlatego też zgodnie z założeniami Dyrektywy CCS uwzględniono (Dyrektywa 2009/31/WE):

- geologię i geofizykę;

- hydrogeologię (w szczególności występowanie wody gruntowej przeznaczonej do spożycia, poziomów i pięter wodonośnych jak również geotermię);
- inżynierię zbiornika (w tym wyliczenia wolumetryczne objętości porów dla celów zatłaczania CO<sub>2</sub> i ostatecznej pojemności składowania);
- geochemię (współczynniki rozpuszczalności, współczynniki mineralizacji);
- geomechanikę (przepuszczalność, ciśnienie szczelinowania);
- sytuację sejsmiczną;
- obecność i stan naturalnych i antropogenicznych dróg, w tym odwiertów eksploatacyjnych i otworów wiertniczych, które mogłyby stanowić drogi wycieków.

Zagrożenia występujące w rejonie Cieszyn – Skoczów – Czechowice zostały zidentyfikowane podczas realizacji poprzednich etapów opracowania. Identyfikacja zagrożeń zestawiona została w punkcie 5 opracowania. Wykorzystana w tym celu została baza Quintessa, która jest narzędziem wsparcia do oceny bezpieczeństwa długotrwałego składowania dwutlenku węgla w formacji geologicznej. W dalszym opracowaniu przedstawione zostaną wybrane zagrożenia, które mają znaczący wpływ na składowanie CO<sub>2</sub> w rejonie Cieszyn – Skoczów – Czechowice.

**Tab. 1.1.17\_14** Identyfikacja zagrożeń analizowanego rejonu.

Zagrożenie	Charakterystyka
Miąższość warstw składowiska	Największe miąższości warstw dębowieckich w obszarze Cieszyn – Skoczów – Czechowice przekraczają 250 m, są obszary, gdzie miąższość warstw gwałtownie maleje, a nawet warstwy wyklinowują się. Miąższość warstw w omawianym rejonie jest bardzo zmienna. Generalnie maleje w kierunku północnym i południowym.
Zaleganie warstw składowiska	Głębokość zalegania warstw dębowieckich waha się od -400 m n.p.m. do -1100 m n.p.m.
Nadkład	Miąższość osadów Formacji skawińskiej jest zmienna od 0 w rejonie Cieszyna do 1100 m w rejonie Zebrzydowic
Hydrogeologia zbiornika	Zbiornik ma charakter porowy, zakryty i nieodnawialny. W zachodniej części jest on drenowany przez kopalnie znajdujące się po czeskiej stronie, a w części północno-zachodniej przez kopalnie Jastrzębskiej Spółki Węglowej.

Wyrobyiska górnicze kopalń węgla kamiennego i zasięgi ich drenażu,	<ul style="list-style-type: none"> <li>– odległość między składowiskiem Skoczów-Czechowice i (rzutem pionowym) wyrobisk górniczych kopalni Morcinek jest zbyt mała. Istnieje możliwość migracji CO<sub>2</sub> do wyrobisk górniczych kopalni Morcinek.</li> <li>– Kopalnia Bzie, lej depresji w poziomie warstw dębowieckich znajdzie się w obszarze składowiska CO<sub>2</sub>.</li> <li>– nie można wykluczyć migracji CO<sub>2</sub> do wyrobisk górniczych kopalni Pniówek, odległych o zaledwie 4,5 km – zwłaszcza przy zatłaczaniu ditlenku węgla pod ciśnieniem większym, niż obecne ciśnienie hydrostatyczne</li> </ul>
Ujęcie wód geotermalnych	W rejonie Jaworza koło Bielska-Białej rozpatruje się możliwość eksploatacji wód geotermalnych z poziomu warstw dębowieckich i dewonu do celów balneologicznych. Przed przejściem do fazy operacyjnej należy przeanalizować możliwość ucieczki CO <sub>2</sub> .
Złoża gazu ziemnego,	Ocenia się, że złożo gazu Dębowiec może być wykorzystane jako bufor bezpieczeństwa w przypadku składowania CO <sub>2</sub> w niżej zalegającym poziomie wodonośnym warstw dębowieckich. Konieczność uszczelnienia otworów wiertniczych.
Uskoki	Warstwy zbiornika i nadkładu nie są zuskokowane, natomiast w podłożu występuje kilka dyslokacji dysjunktywnych.
Nieczynne i aktywne otwory wiertnicze	Na terenie potencjalnego zbiornika i w niedalekiej odległości od niego około 2 km zlokalizowanych jest 140 otworów wiertniczych
Ścienienia, szczeliny w górotworze	CO <sub>2</sub> przedostaje się do wyższych poziomów solankowych
Nieudokumentowane zagrożenia	Ze względu na bliskie występowanie złóż węgla i wody termalnej problem ten musi być szczegółowo rozpatrzony przed podjęciem decyzji o budowie stanowiska pilotowego.

## Ocena skutków

### **Wpływ na ludzi**

Wpływ dwutlenku węgla na organizm ludzki określany są jedynie w przypadku pomieszczeń zamkniętych i to w przypadku oddziaływania krótkoterminowego. Takie narażenie na CO<sub>2</sub> na poziomie poniżej 3% powoduje tylko czasowy i odwracalny wpływ na zdrowie taki jak zwiększona częstotliwość oddechów (ok. dwukrotny), bóle głowy, pocenie się, wzrost ciśnienia krwi i częstotliwości pulsu. Po przekroczeniu tego poziomu następuje czterokrotny wzrost częstości oddychania a po ok. 30 minutach ekspozycji może pojawić

się odczucie braku swobody oddychania. Objawy stają się bardziej dotkliwsze w momencie przekroczenia stężenia 5% (Benson i wsp., 2002; CEC, 2007). Wysokie stężenia CO<sub>2</sub> mogą być śmiertelne dla ludzi przy stosunkowo krótkiej ekspozycji (Benson i in., 2002).

Trudniejszym aspektem jest określenie długoterminowego wpływu CO<sub>2</sub> na organizm ludzki. Badania prowadzone w tym zakresie nie wykazały żadnych dowodów negatywnego wpływu na zdrowie w przypadku chronicznej ekspozycji na CO<sub>2</sub> poniżej 1% (IPCC, 2005). Ponadto, w literaturze przytaczane są wyniki badań wskazujące na fakt, że wpływ CO<sub>2</sub> w stężeniu do 3% może doprowadzić do fizjologicznej adaptacji i nie powodować negatywnych skutków zdrowotnych (Benson i in., 2002).

Zagrożeniem mogą być sytuacje gdy wyciek CO<sub>2</sub> ze składowiska będzie miał miejsce w zagłębieniach terenu lub na terenach zurbanizowanych, ma on bowiem tendencje do gromadzenia się przy podłożu – jest bowiem 1,5 cięższy od powietrza.

### ***Wpływ na ekosystem***

Wpływ dwutlenku węgla na rośliny badany był przez wielu naukowców na całym świecie. Zainteresowanie tym problemem związane jest z faktem iż dwutlenek węgla jest niezbędnym gazem w fotosyntezie. W czasie fotosyntezy wodę i dwutlenek węgla są przetwarzane w cukier prosty – glukozę.

Liczne badania nad wzbogacaniem powietrza w szklarniach i komorach wzrostu roślin w CO<sub>2</sub> sugerują, że wzrost większości roślin powinien wzrosnąć o 30% średniej z przewidywane podwojenie stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze. W ślad za naukowcami z Agricultural Research Service (ARS) w US Department of Agriculture i pracownikami z Brookhaven National Laboratory naukowcy z Akademii Rolniczej w Szczecinie przeprowadzili szereg badań wykonanych na próbkach zbóż ozimych, z których wynika iż podwyższone stężenie wpłynęło korzystnie wywołując zwiększenie mierzonych parametrów nawet przy potrojonym i poczwórnym stężeniu CO<sub>2</sub> (Janicki W., Brzóstowicz A., 2005).

O ile w przypadku podwyższonego stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze jego wpływ na roślinność może przybrać charakter pozytywny to ocena wpływu dwutlenku węgla na glebę wymaga odrębnej analizy. Zawartość dwutlenku węgla w glebie jest zmienna i stanowi różnicę między ilością wytwarzaną w glebie w jednostce czasu, a ilością uchodzącą do atmosfery w tymże czasie w wyniku wymiany gazowej z atmosferą. Zawartość tlenu i dwutlenku węgla w powietrzu glebowym jest ważnym czynnikiem decydującym o aktywności mikroorganizmów glebowych. Zarówno bowiem aktywność drobnoustrojów, jak i procesy wzrostu i plonowania roślin wyższych są ściśle związane ze składem powietrza glebowego. Jednak przy całej ważności omawianych zagadnień w piśmiennictwie brak jest dotychczas ilościowych wskaźników tej zależności. Wpływ CO<sub>2</sub> na glebę opisany został również w Raporcie IPCC (IPCC, 2005), który opiera się na wynikach badań poligonowych geologicznego składowania CO<sub>2</sub>. O ile dwutlenek węgla może mieć pozytywny wpływ na szybkość wzrostu niektórych gatunków roślin to dla innych gatunków może mieć skutek dokładnie odwrotny. Do zjawiska obumierania roślinności dochodzi jednak tylko na obszarze bezpośredniego wpływu CO<sub>2</sub> ze składowiska, w promieniu kilku metrów.

Brak jest danych dotyczących wpływu CO<sub>2</sub> na zwierzęta. Z „Technical Support Document” opublikowanego przez EPA w 2008 wynika, że gdy stężenie CO<sub>2</sub> na obszarze bytowania zwierząt osiągnie ponad 40% powodować to może zmiany w zachowaniu zwierząt a nawet paraliż u ptaków. Przypuszcza się, że w przypadku płazów i gadów tolerancja jest nieco większa (EPA, 2008).

### Wpływ na wody gruntowe i poziomy hydrogeologiczne

Składowany w formacji geologicznej CO<sub>2</sub> może dwutlenek węgla bądź też pod wpływem zmian ciśnienia solanka lub inne płyny złożowe wydostają się poza składowisko. Zgodnie z materiałami EPA (EPA, 2008) może to mieć znaczący wpływ na zmianę ilości rozpuszczonych w wodach pitych substancji, co skutkować będzie ich nieprzydatnością do spożycia.

### Oszacowanie ryzyka

Dla oceny ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w analizowanym rejonie przyjęte wartości parametrów zostały przedstawione w **Tab.1.1.17\_15a – Tab. 1.1.17\_15c**. Na podstawie tych parametrów i przy wykorzystaniu opracowanego na potrzeby pracy grafu ryzyka (**Fig. 1.1.17\_51**) określana jest wielkość ryzyka dla poszczególnych zagrożeń. Zasady kwantyfikacji ryzyka przedstawione natomiast zostały w **Tab. 1.1.17\_16**.

**Tab. 1.1.17\_15a** Parametry oceny ryzyka. Prawdopodobieństwo.

Ranga	Prawdopodobieństwo P (1-5)
5	Bardzo prawdopodobne –ponad 75% możliwość wystąpienia zagrożenia*
4	Prawdopodobne – możliwość wystąpienia zagrożenia między 51 a 75% *
3	Możliwe – możliwość wystąpienia zagrożenia 11 do 50% *
2	Mało prawdopodobne – od 1 do 10% *
1	Nieprawdopodobne – poniżej 1 % *

*\*Od momentu zatłaczania do 50 lat po zakończeniu.*

**Tab. 1.1.17\_15b** Parametry oceny ryzyka. Ciężkość następstw.

Ranga	Ciężkość następstw S (1-5)
5	Katastrofa – zamieranie elementów ekosystemu na dużym obszarze. Koszty powyżej 50 mln \$. Zamknięcie składowiska
4	Poważne - zamieranie elementów ekosystemu na małym obszarze. Straty w zakresie od 5 mln \$ do 50 mln \$. Zawieszenie zezwolenia na składowanie. Ewakuacja okolicy
3	Znaczące – powodujące stałe uszkodzenia. Straty materialne w zakresie od 500 tys. \$ do 5 mln \$.
2	Umiarkowane – powodujące czasowe uszkodzenia. Koszty w zakresie 50 tys. – 500 tys. \$.
1	Lekkie – mikrouszkodzenia. Straty poniżej 50 tys. \$.



Tab. 1.1.17\_15c Parametry oceny ryzyka. Możliwość wykrycia.

Ranga	Możliwość wykrycia D (1-3)
3	Prawie niemożliwe – brak dostępnych metod ułatwiających wykrycie i kontrolę
2	Umiarkowana – umiarkowane prawdopodobieństwo wykrycia podczas bieżącej kontroli
1	Prawie pewne – Bieżąca kontrola prawie na pewno wykryje awarie. Niezawodne wykrywanie kontroli są znane z podobnych procesów

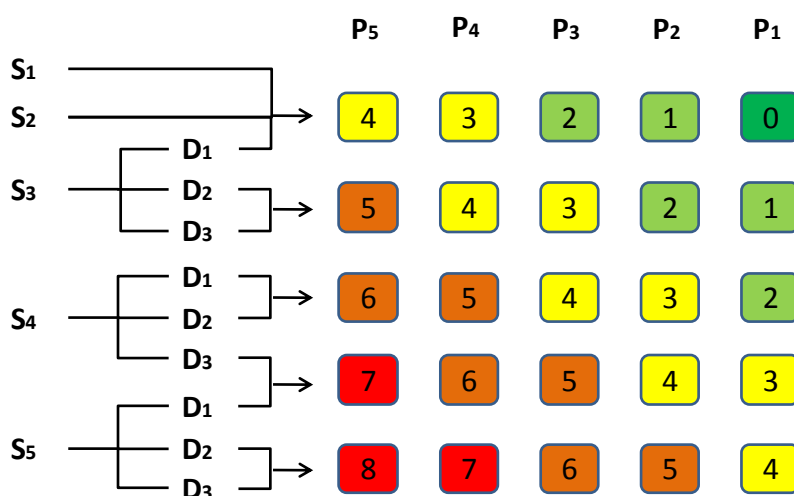


Fig. 1.1.17\_51 Graf oceny ryzyka (wg opr. A. Koterasy).

Tab. 1.1.17\_16 Kwantyfikacja ryzyka.

Kategoria ryzyka	Dopuszczalność	Wartość
Ryzyko bardzo duże	Nietolerowalne	7 – 8
Ryzyko duże	Niepożądane	5 – 6
Ryzyko średnie	Istotne	3 – 4
Ryzyko małe	Akceptowalne	1 – 2
Ryzyko pomijalne	Minimalne	0

Kierując się opisaną wcześniej metodologią postępowania przeanalizowana i oceniono ryzyko dla rejonu Cieszyn – Skoczów – Czechowice. Wyniki przedstawione zostały w **Tab. 1.1.17\_15**.

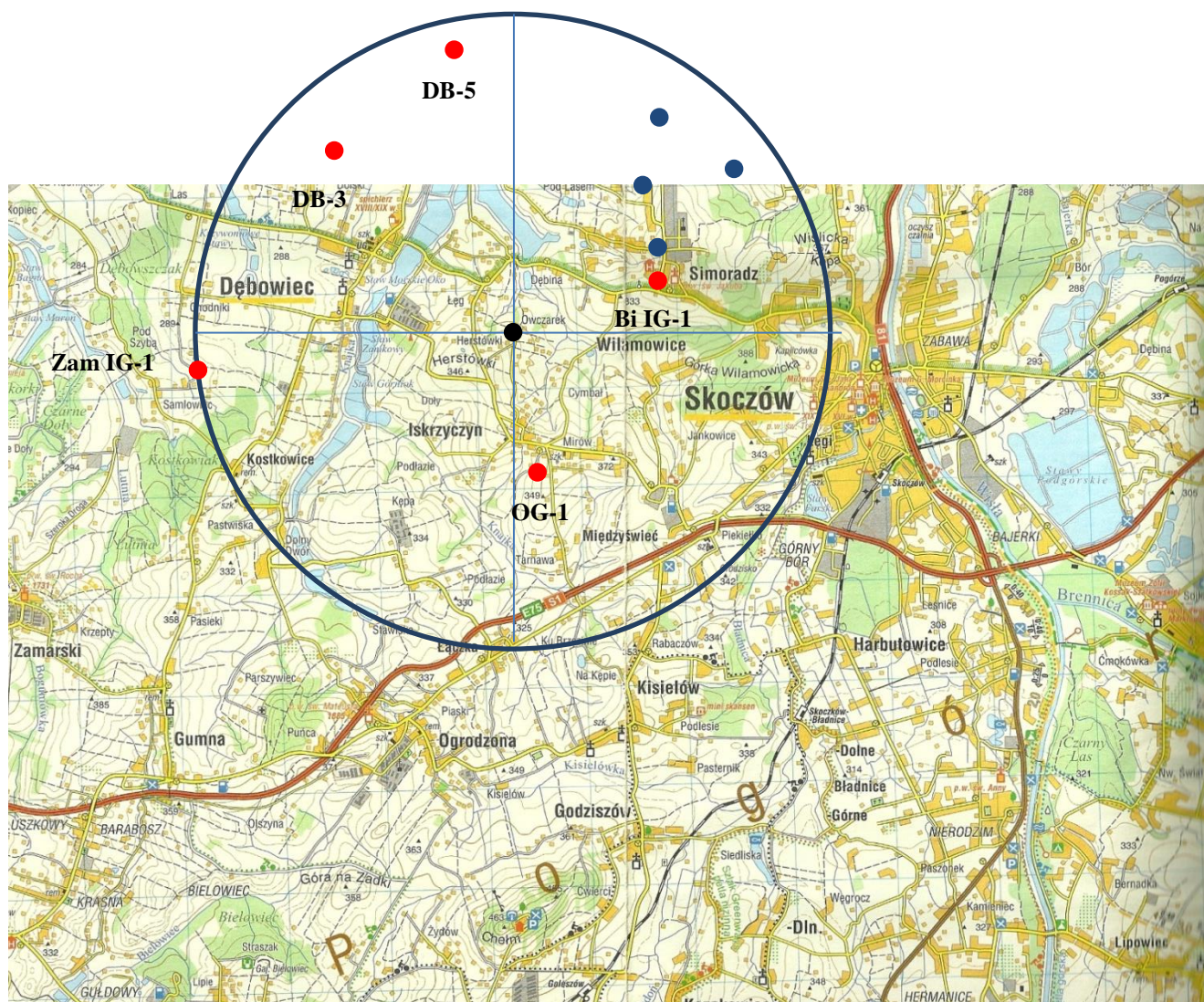
Odrębną analizę wykonano dla zagrożeń dla powierzchni. Zagrożenie to może być generowane głównie przez wycieki dwutlenku węgla przez nieczynne, źle zlikwidowane otwory wiertnicze znajdujące się licznie w zasięgu składowiska. Analiza ta przedstawiona została w ocenie ryzyka na powierzchni.

**Tab. 1.1.17\_17** ocena ryzyka wybranych zagrożeń dla rejonu Cieszyn – Skoczów – Czechowice

<b>Zagrożenie</b>	<b>Kategoria ryzyka</b>	<b>Dopuszczalność</b>
Miąszość warstw składowiska	Ryzyko pomijalne	Minimalne
Zaleganie warstw składowiska	Małe	Akceptowalne
Nadkład	Małe	Akceptowalne
Hydrogeologia zbiornika	Małe	Akceptowalne
Wyrobiska górnicze kopalń węgla kamiennego i zasięgi ich drenażu,	Ryzyko średnie	Istotne
Ujęcie wód geotermalnych	Ryzyko średnie	Istotne
Złoża gazu ziemnego,	Małe	Akceptowalne
Uskoki	Małe	Akceptowalne
Nieczynne i aktywne otwory wiertnicze	Ryzyko średnie	Istotne
Ścienienia, szczeliny w górotworze	Małe	Akceptowalne

## Ocena ryzyka na powierzchni

### Charakterystyka powierzchni terenu nad składowiskiem CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_52** Obszar nad składowiskiem dla którego przeprowadzono ocenę zagrożeń spowodowanych wpływem CO<sub>2</sub> przez nieczynne otwory wiertnicze. Kolorem czerwonym zaznaczone zostały lokalizacje nieczynnych otworów mogących być źródłem potencjalnych ucieczek CO<sub>2</sub>.

Dla lepszej wizualizacji zagospodarowania terenu nad składowiskiem, szczególnie w okolicach przewidywanych ucieczek CO<sub>2</sub> przez otwory wiertnicze, posłużono się zdjęciami satelitarnymi pozyskanymi



z programu GOOGEL EARTH. Na zdjęciu Fig. 1.1.17\_53 uwidoczniono topografię całego terenu natomiast na zdjęciach Fig. 1.1.17\_54 do Fig. 1.1.17\_58 szczegółowe usytuowanie poszczególnych otworów w terenie.

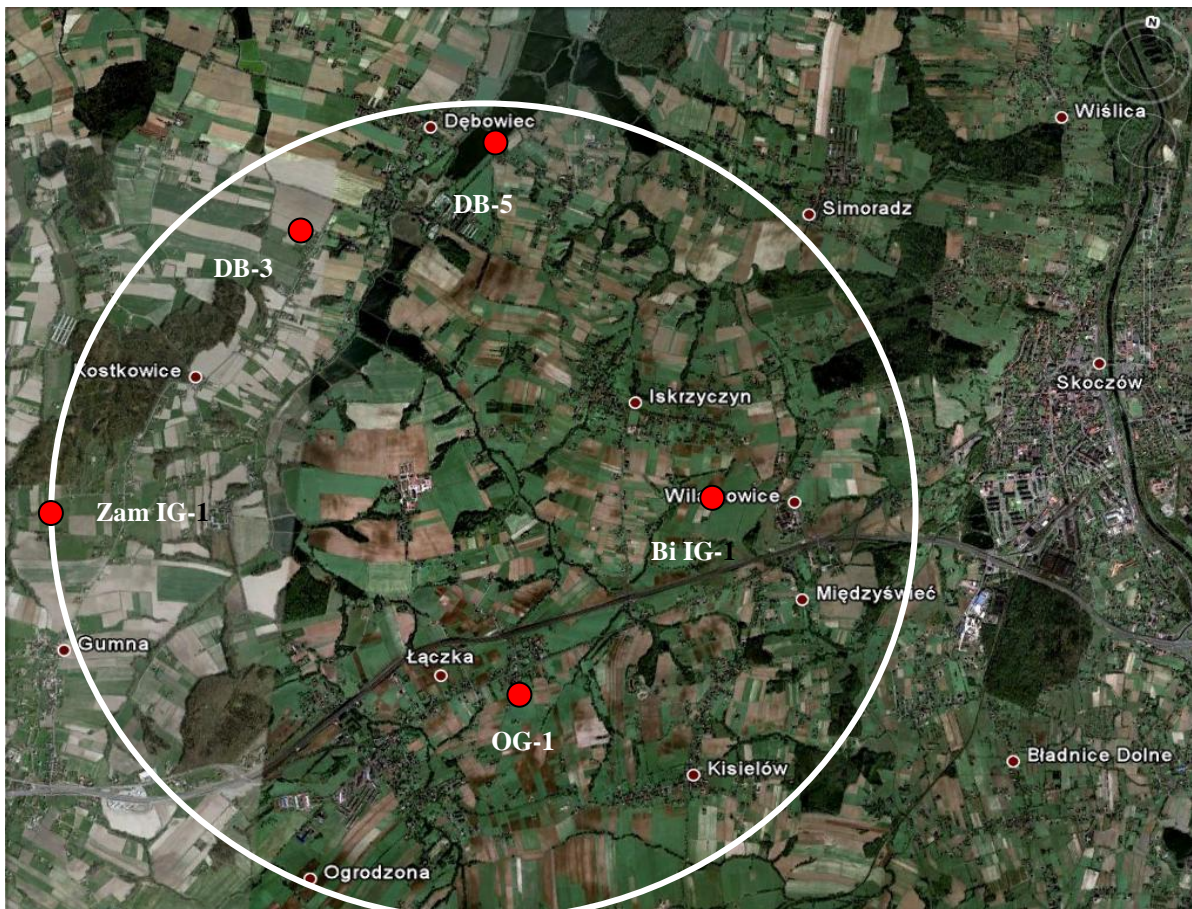


Fig. 1.1.17\_53 Widok satelitarny powierzchni terenu nad składowiskiem z naniesioną lokalizacją ocenianych otworów wiertniczych.

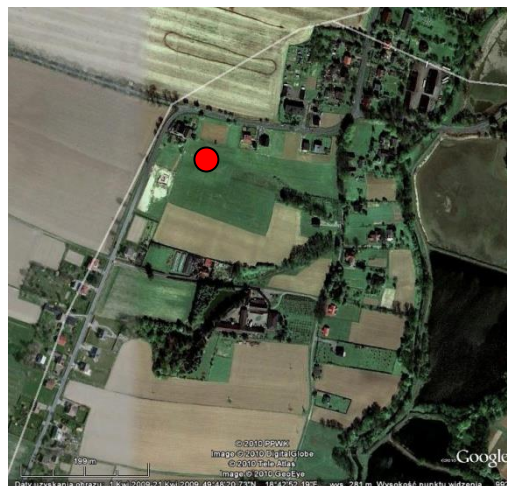
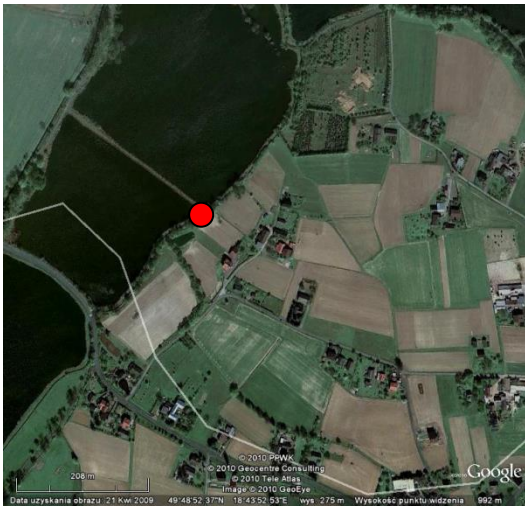
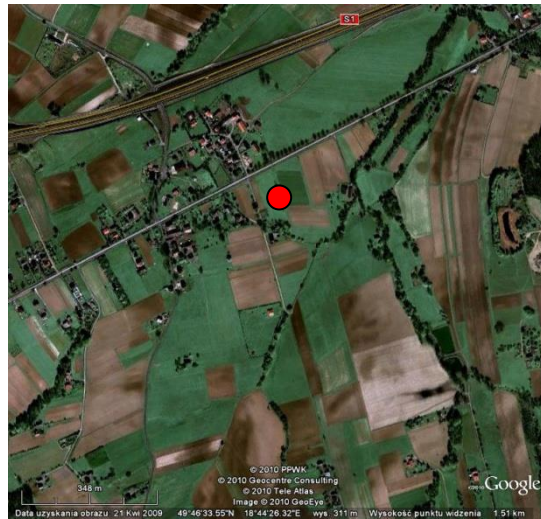


Fig. 1.1.17\_54 Widok na okolice otworu DB 3





**Fig. 1.1.17\_55** Widok na okolice otworu DB 5



**Fig. 1.1.17\_56** Widok na okolice otworu OG 1



**Fig. 1.1.17\_57** Widok na okolice otworu Zam IG 1



**Fig. 1.1.17\_58** Widok na okolice otworu BI IG 1

Z analizy szczegółowych fotografii pokazanych na **Fig. 1.1.17\_54** do **Fig. 1.1.17\_58** wynika, że wszystkie analizowane otwory usytuowane są na terenach upraw rolniczych z dala od zabudowań gospodarczych i osiedli ludzkich. Stanowi to podstawę do dokonania wspólnej dla wszystkich otworów analizy wpływu ucieczek CO<sub>2</sub> z podziemnego składowiska na poziom zagrożenia dla życia i zdrowia ludzi oraz środowiska naturalnego.

Dla oceny zagrożeń dla ludzi i środowiska naturalnego przyjęto następujące wspólne założenia:

- Rodzaj wpływu CO<sub>2</sub> – miejscowy

- Rodzaj terenu – otwarta przestrzeń
- Prędkość wiatru – zmienna w granicach od 1 m/s do 9 m/s
- Wielkość emisji – 0,1 m<sup>3</sup>/s do 0,3 m<sup>3</sup>/s

Założone zostały następujące poziomy stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu ze względu na możliwość stworzenia zagrożeń dla ludzi i środowiska

- 1000 ppm stężenie akceptowalne,
- 5000 ppm stężenie dopuszczalne (poziom NDS),
- 20000 ppm stężenie niedopuszczalne.

Korzystając z ogólnie dostępnego programu ALOHA przeprowadzona została szczegółowa analiza rozwoju zdarzeń po punktowej ucieczce CO<sub>2</sub> z górotworu poprzez rozszczelnione otwory wiertnicze.

Przeprowadzona została szczegółowa analiza poniższych scenariuszy rozwoju zagrożeń związanych z wydostawaniem się CO<sub>2</sub> do atmosfery, w których uwzględniono następujące czynniki zewnętrzne mające wpływ na wielkość skutków:

- Ilość uwolnionej substancji,
- Rodzaj terenu - otwarta przestrzeń,
- Temperatura powietrza 20°C,
- Prędkość wiatru,
- Wilgotność powietrza – 50%.

Przeanalizowane zostały poniższe, prawdopodobne scenariusze rozwoju zagrożenia po ucieczce CO<sub>2</sub> ze składowiska (**Tab. 1.1.17\_18**).

**Tab. 1.1.17\_18** Założenia przyjęte w scenariuszach ucieczek CO<sub>2</sub> z podziemnego składowiska

Kolejny scenariusz	Ilość uwolnionej substancji			Prędkość wiatru (m/s)			
	m <sup>3</sup> /s	kg/s	kg/dobę	1	2	3	4
Scenariusz nr 1	0,1	0,197	17 073	1	2	3	4
Scenariusz nr 2	0,15	0,296	25609	1	2	3	4
Scenariusz nr 3	0,17	0,336	29023	1	2	3	4
Scenariusz nr 4	0,19	0,375	32438	1	2	3	4

Scenariusz nr 5	0,21	0,415	35852	1	2	3	4				
Scenariusz nr 6	0,24	0,474	40974	1	2	3	4				
Scenariusz nr 7	0,32	0,632	54632	1	2	3	4	5	6	7	8

Nie analizowano zjawisk katastroficznych, jak np. erupcja CO<sub>2</sub> oraz sytuacji kumulowania się CO<sub>2</sub> w zagłębieniach terenu.

Szczegółowo zasięgi zagrożeń dla poszczególnych scenariuszy przedstawione zostały na poniższych wykresach.

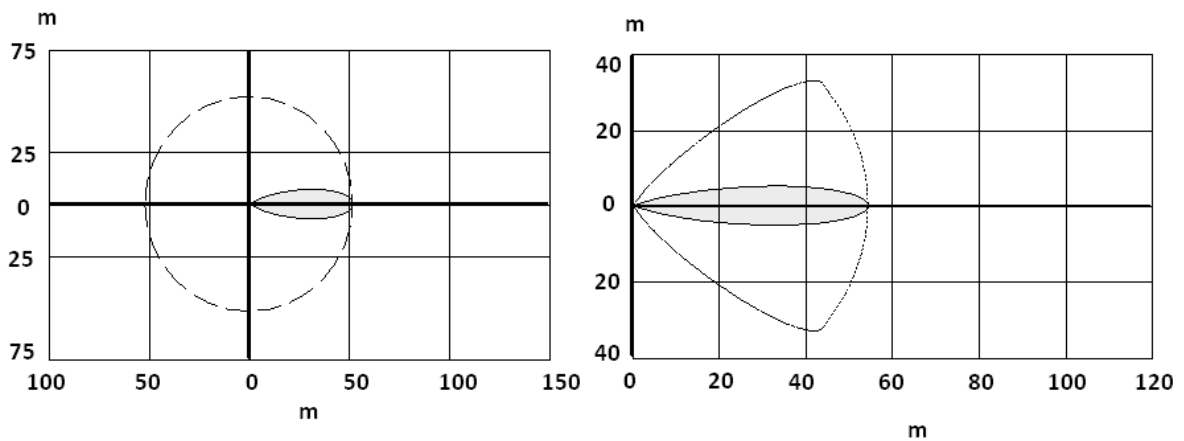
**Scenariusz nr 1**

Uwalnianie CO <sub>2</sub>	Rodzaj terenu	Temperatura otoczenia
<b>0,1 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>otwarta przestrzeń</b>	<b>20°C</b>

Dla prędkości wiatru od 1 do 4 m/s stężenia CO<sub>2</sub> są niższe od 1000 ppm.

**Scenariusz nr 2**

Uwalnianie CO <sub>2</sub>	Rodzaj terenu	Temperatura otoczenia
<b>0,15 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>otwarta przestrzeń</b>	<b>20°C</b>



Wykres 2a. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 1 m/s

Wykres 2b. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 2 m/s

█  $\geq 1000 \text{ ppm} < 5000 \text{ ppm}$

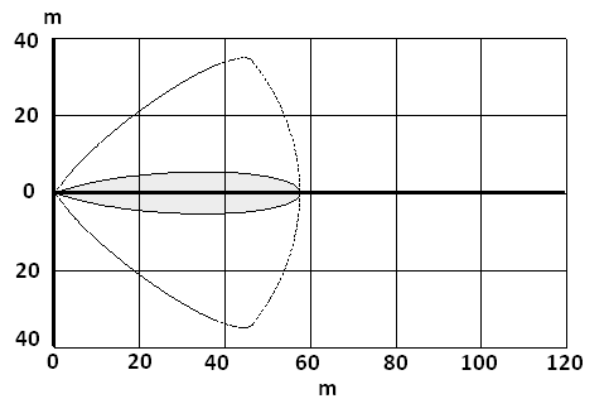
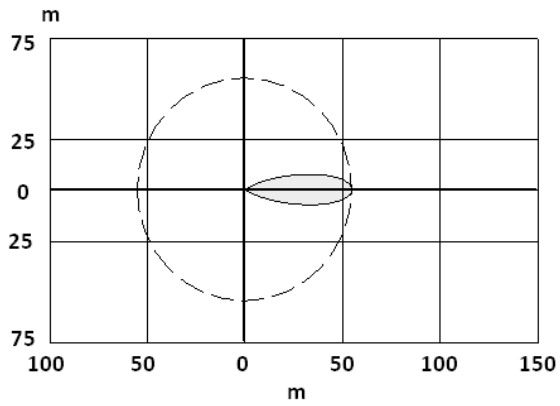
--- „granica zasięgu”

Dla prędkości wiatru 3 do 4 m/s stężenia CO<sub>2</sub> są niższe od 1000 ppm.



**Scenariusz nr 3**

Uwalnianie CO <sub>2</sub>	Rodzaj terenu	Temperatura otoczenia
<b>0,17 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>otwarta przestrzeń</b>	<b>20°C</b>



Wykres 3a. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 1 m/s

Wykres 3b. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 2 m/s

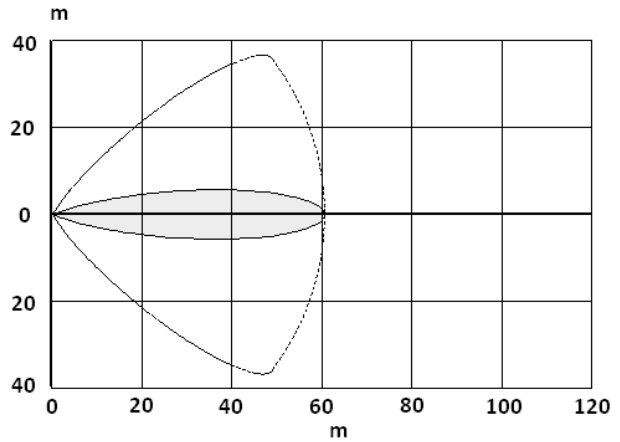
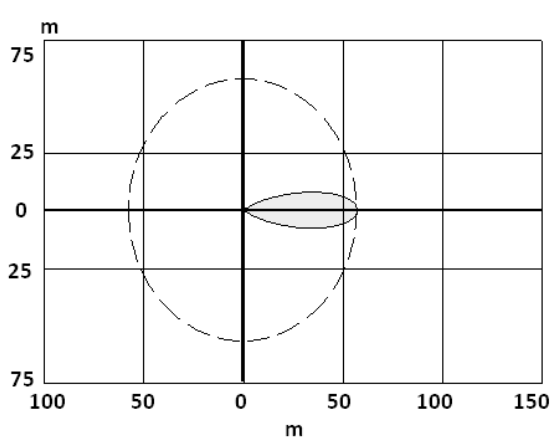
█  $\geq 1000 \text{ ppm} < 5000 \text{ ppm}$

--- „granica zasięgu”

Dla prędkości wiatru 3 i 4 m/s stężenia CO<sub>2</sub> są niższe od 1000 ppm.

**Scenariusz nr 4**

Uwalnianie CO <sub>2</sub>	Rodzaj terenu	Temperatura otoczenia
<b>0,19 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>otwarta przestrzeń</b>	<b>20°C</b>



Wykres 4a. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 1 m/s

Wykres 4b. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 2 m/s

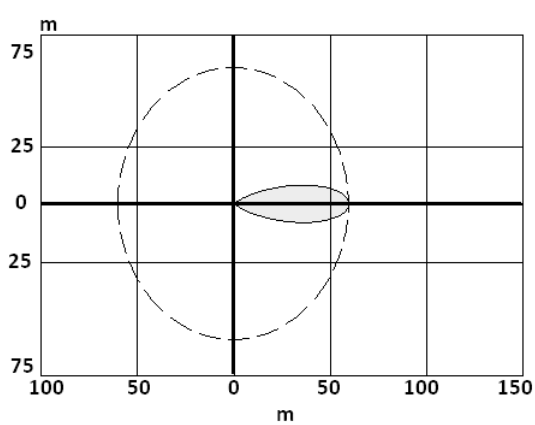
█  $\geq 1000 \text{ ppm} < 5000 \text{ ppm}$

- - - - „granica zasięgu”

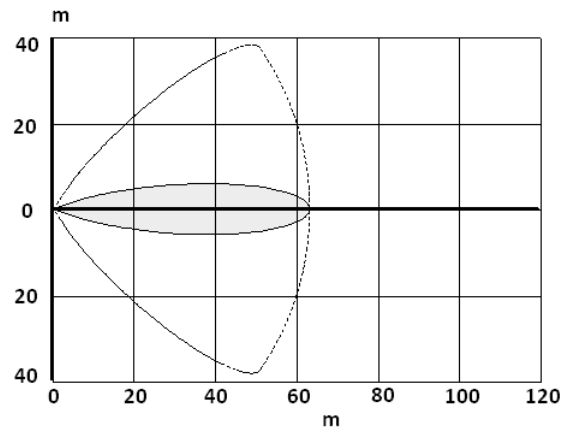
Dla prędkości wiatru 3 i 4 m/s stężenia CO<sub>2</sub> są niższe od 1000 ppm.

**Scenariusz nr 5**

Uwalnianie CO <sub>2</sub>	Rodzaj terenu	Temperatura otoczenia
<b>0,21 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>otwarta przestrzeń</b>	<b>20°C</b>



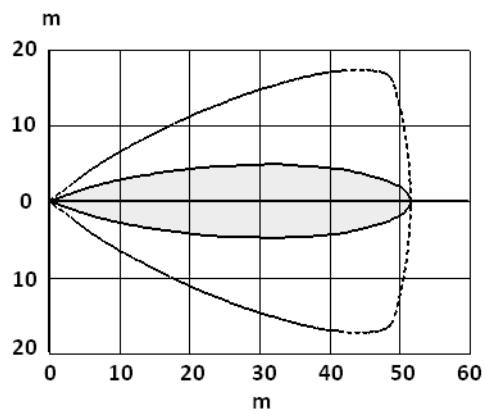
Wykres 5a. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 1 m/s



Wykres 5b. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 2 m/s

█  $\geq 1000 \text{ ppm} < 5000 \text{ ppm}$

--- „granica zasięgu”



Wykres 5c. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 3 m/s

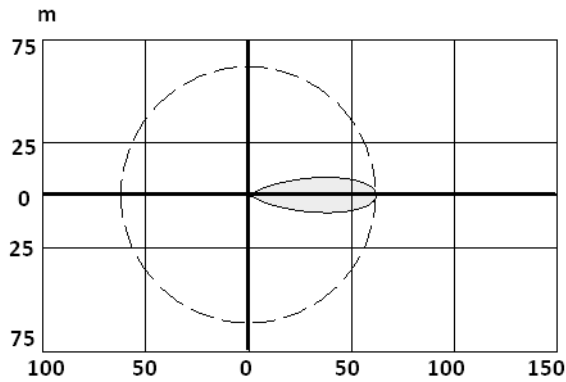
█  $\geq 1000 \text{ ppm} < 5000 \text{ ppm}$

--- „granica zasięgu”

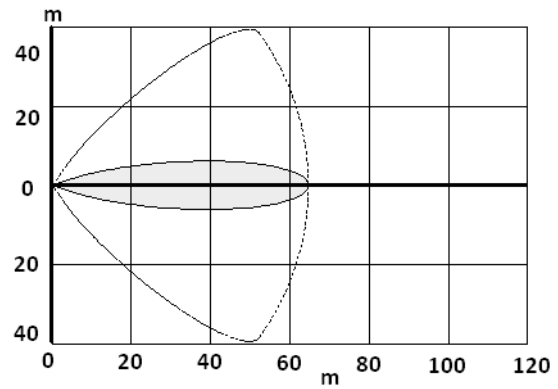
Dla prędkości wiatru 4 m/s stężenia CO<sub>2</sub> są niższe od 1000 ppm.

**Scenariusz nr 6**

Uwalnianie CO <sub>2</sub>	Rodzaj terenu	Temperatura otoczenia
<b>0,24 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>otwarta przestrzeń</b>	<b>20°C</b>

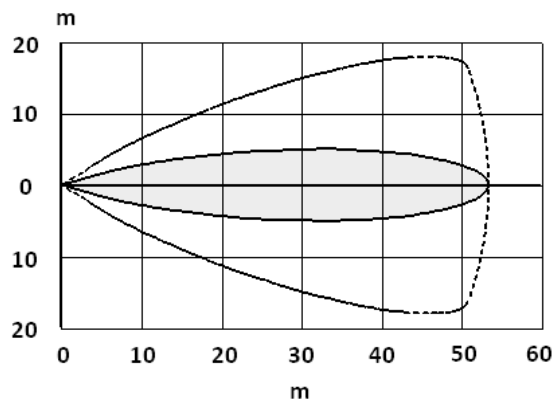


Wykres 6a. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 1 m/s



Wykres 6b. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 2 m/s

$\geq 1000 \text{ ppm} < 5000 \text{ ppm}$   
 - - - - - „granica zasięgu”



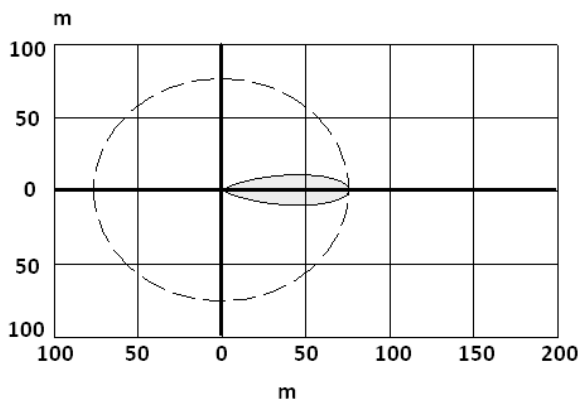
Wykres 6c. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 3 m/s

$\geq 1000 \text{ ppm} < 5000 \text{ ppm}$   
 - - - - - „granica zasięgu”

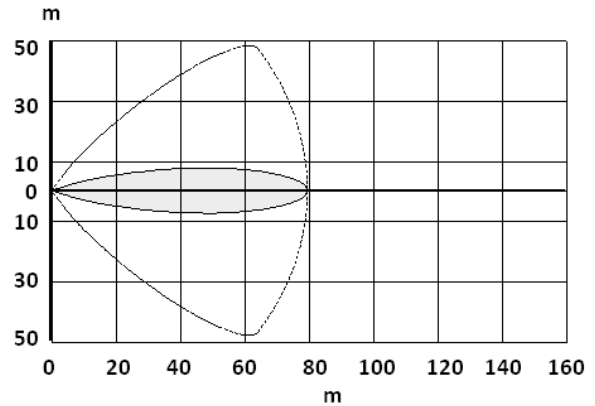
Dla prędkości wiatru 4 m/s stężenia CO<sub>2</sub> są niższe od 1000 ppm.

**Scenariusz nr 7**

Uwalnianie CO <sub>2</sub>	Rodzaj terenu	Temperatura otoczenia
<b>0,32 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>otwarta przestrzeń</b>	<b>20°C</b>



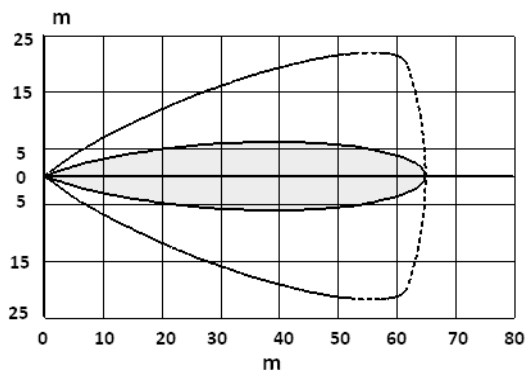
Wykres 7a. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 1 m/s



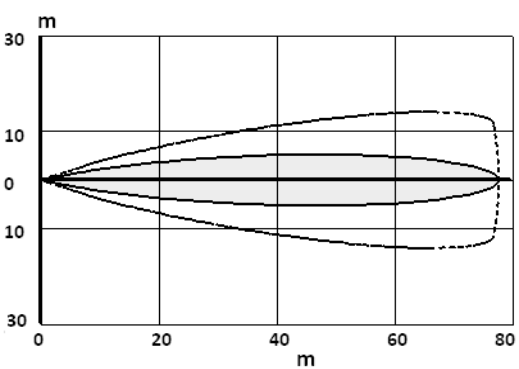
Wykres 7b. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 2 m/s

█  $\geq 1000 \text{ ppm} < 5000 \text{ ppm}$

--- „granica zasięgu”



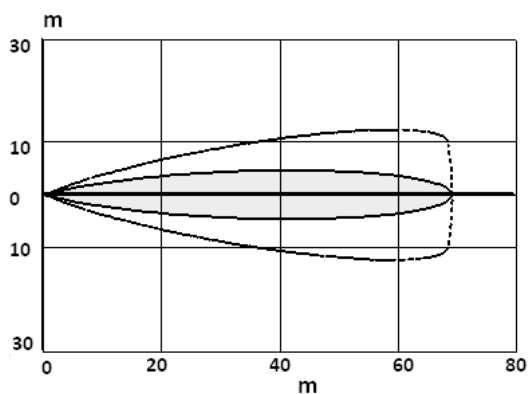
Wykres 7c. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 3 m/s



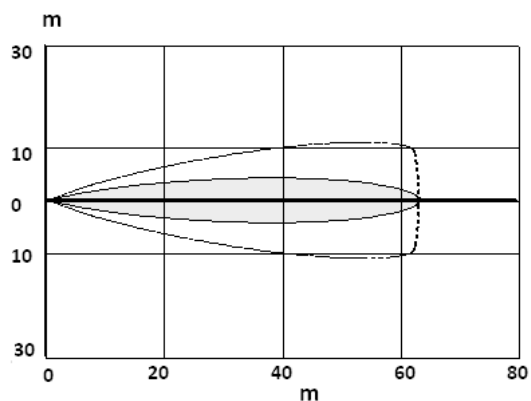
Wykres 7d. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 4 m/s

█  $\geq 1000 \text{ ppm} < 5000 \text{ ppm}$

--- „granica zasięgu”



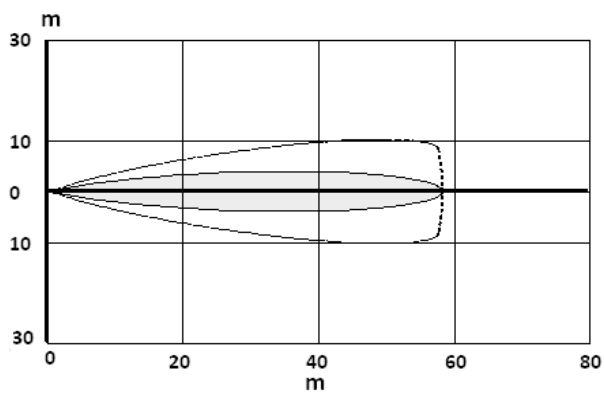
Wykres 7e. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 5 m/s



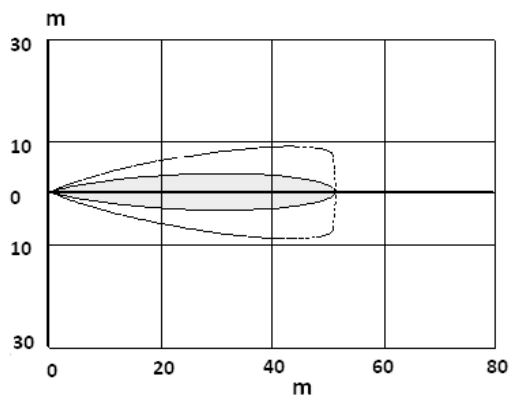
Wykres 7f. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 6 m/s

█  $\geq 1000 \text{ ppm} < 5000 \text{ ppm}$

- - - - - „granica zasięgu”



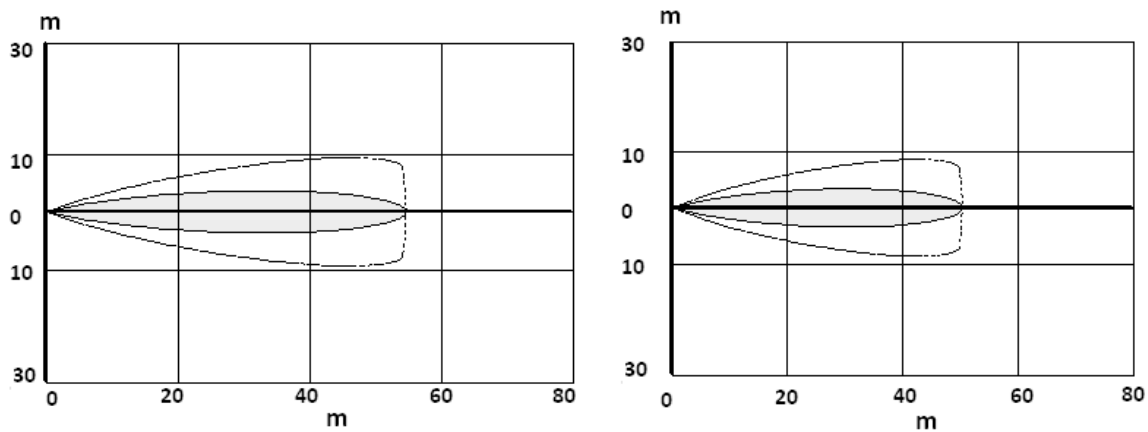
Wykres 7g. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 7 m/s



Wykres 7h. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 8 m/s

█  $\geq 1000 \text{ ppm}$

- - - - - „granica zasięgu”

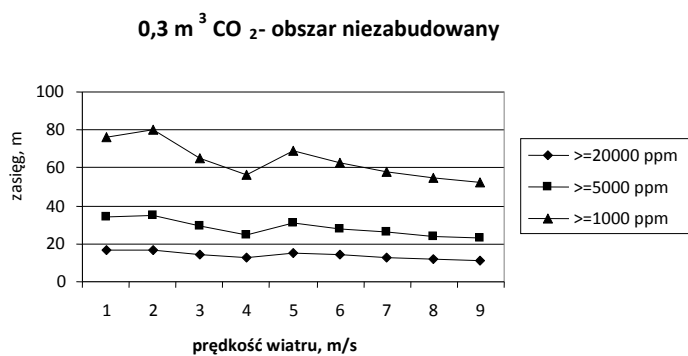


Wykres 7gi. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 9 m/s

Wykres 7j. Zasięg strefy zagrożenia przy prędkości wiatru: 10 m/s

$\geq 1000$  ppm  
 - - - - - „granica zasięg”

Dla prędkości wiatru 11 m/s i więcej stężenia CO<sub>2</sub> są niższe od 1000 ppm.



Wykres 8. Wykres zbiorczy dla scenariusza nr 7

## Wnioski

Ocena ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w rejonie Cieszyn – Skoczów – Czechowice pozwoliła na analizę i ocenę zagrożeń dla tego rejonu. W wyniku przeprowadzonych prac ustalono, że:

1. Ewentualne przejście do fazy operacyjnej wymaga wykonania dodatkowych badań rejonu. Informacja geologiczna z otworów wiertniczych będąca podstawą prac wymaga uaktualnienia. Znacząca część danych pochodzi bowiem z otworów wykonywanych w latach 1940 – 1990, których celem w większości nie było rozpoznanie warstw dębowieckich.
2. Na podstawie dotychczasowych prac oraz dostępnych danych stwierdzono, że z punktu widzenia przepuszczalności zbiornik jest dostatecznie izolowany co wyklucza możliwość migracji dwutlenku węgla w kierunku powierzchni.
3. W oparciu o obecny stan rozpoznania i wiedzę literaturową nie stwierdzono jednoznacznie występowania uskoków w utworach nadkładu warstw dębowieckich.
4. Utwory karbońskie będące podłożem warstw dębowieckich są zaangażowane tektonicznie głównie w formie tektoniki dysjunktywnej. Uskoki mają zwykle przebieg równoleżnikowy i charakteryzują się zróżnicowaną wielkością zrzutów. Z uwagi na słabe rozpoznanie warstw podłoża nie określono jednoznacznie czy istnieje możliwość migracji zatłoczonego dwutlenku węgla do utworów karbonu.
5. Zatłaczanie CO<sub>2</sub> w obszarze składowiska Skoczów-Czechowice spowoduje stopniowe zmiany odczynu wody na silnie kwaśny oraz wzrost wskaźnika nasycenia dla kalcytu, aragonitu i magnezytu. Roztwór będzie jednak niedosycony więc nie zajdzie wytrącanie związków chemicznych, które zakłóciłyby przebieg iniekcji CO<sub>2</sub>.
6. Istnieje zagrożenie przepływu CO<sub>2</sub> w poziomie warstw dębowieckich ze składowiska w kierunku wyrobisk górniczych kopalń węgla kamiennego Morcinek i Bzie. Składowisko będzie również stwarzało potencjalnie zagrożenie dla wyrobisk kopalni węgla Pniówek.
7. Warunkiem bezpiecznego zatłaczania CO<sub>2</sub> będzie uszczelnienie wszystkich otworów istniejących w obszarze złóż gazu i poza nimi, dowieconych do poziomu warstw dębowieckich.
8. Uwzględniając wyniki modelowania i przeprowadzone symulacje w obrębie otworu Iskrzyczyn koniecznym jest rozpoznanie stanu likwidacji wszystkich otworów znajdujących się w obrębie zasięgu składowanego CO<sub>2</sub>. Prowadzone symulacje wskazują wyraźnie na możliwości ucieczki CO<sub>2</sub> z tych otworów.
9. Ze względu na bliskość składowiska Skoczów-Czechowice z poziomem wód geotermalnych w miejscowości Jaworze przy przejściu do fazy operacyjnej projektu należy rozważyć możliwość wpływu składowania CO<sub>2</sub> na ten zbiornik co może wpłynąć na możliwość budowy ujęcia tych wód.
10. Analizowany obszar nad składowiskiem CO<sub>2</sub> to teren rolniczy z rozproszoną zabudową wiejską. Nieczynne otwory wiertnicze zlokalizowane są na terenach upraw rolniczych w znacznej odległości od ludzkich zabudowań. Takie ich usytuowanie stwarza korzystne warunki dla rozcieńczania przez



wiatr chmur wydobywającej się chmury gazu. Poniżej prędkości wiatru 2 m/s przeważa efekt pełzania chmury CO<sub>2</sub> nad powierzchnią terenu, a powyżej prędkości 2 m/s efekt rozcieńczenia zalegającej chmury.

11. Emisja CO<sub>2</sub> na poziomie 0,1 m<sup>3</sup>/s do 0,3m<sup>3</sup>/s nie powinna stwarzać większego zagrożenia dla życia ludzi i środowiska naturalnego, ze względu na występujące w otwartej przestrzeni stężenia CO<sub>2</sub> o wartościach dopuszczalnych od 1000 ppm do 5000 ppm (0,1 % do 0,5%). Są to stężenie niższe od NDS, które wynosi 5000 ppm.
12. Dużych stężeń, zagrażających życiu i środowisku naturalnemu należy spodziewać się tylko w bezpośredniej bliskości miejsca uciezek CO<sub>2</sub> oraz w zagłębieniach terenu. Miejsca te powinny być objęte systemem szczególnego nadzoru i monitoringu.
13. Ze względu na uprawnych charakter rejonu składowiska należy zwrócić szczególną uwagę na możliwość wypływu CO<sub>2</sub> w gęstych uprawach, gdzie przewiew jest praktycznie niemożliwy co powodować będzie gromadzenie się CO<sub>2</sub> i powodować jego duże stężenie w tym rejonie.

# Ocena ryzyka geologicznego składowania w obrębie obiektu w poziomach solankowych w rejonie GZW (AGH)

(Bartosz Papiernik, Grzegorz Machowski, Wojciech Machowski, Michał Michna)

## Modelowanie w rejonie południowego obrzeżenia GZW

Kluczowym elementem analizy w strefie południowego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego jest określenie szczelności stref uskokowych ze szczególnym uwzględnieniem formacji dębowieckiej jako potencjalnego zbiornika z punktu widzenia sekwestracji CO<sub>2</sub>.

Elementy ryzyka wymagające oceny na tym obszarze jest określenie potencjalnej zmienności parametrów zbiornikowych w kategoriach analizy probabilistycznej. Dotyczy to nie tylko warstw dębowieckich ale również ich podłoża, włącznie z utworami klastycznego karbonu i węglanowego karbonu i dewonu, które są rozcięte potężnymi dyslokacjami o regionalnym charakterze i cechują się bardzo zróżnicowanym reliefem posterozyjnym.

Warstwy dębowieckie stanowią najbardziej perspektywiczny (neogeński) zbiornik z punktu widzenia potencjalnego zatłaczania CO<sub>2</sub>. Najczęściej zalega on bezpośrednio na utworach karbonu, bądź starszego miocenu, a także w niektórych rejonach na dolnokarbońskich i dewońskich utworach węglanowych, oraz terygenicznym utworach serii węglanowej dolnego karbonu i dewonu. Wiekowo skały, które go budują odpowiadają sedimentacji 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. 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.

Warstwy dębowieckie były deponowane dolinach rzecznych często rozwiniętych w strefach, gdzie erozja była ułatwiona w efekcie występowania dyslokacji w podłożu. Przestrzenne relacje warstw dębowieckich, skał podłoża oraz występujących w nim uskoków sprawiają, że do najważniejszych elementów ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> na omawianym obszarze należy zaliczyć zdaniem autorów szczelność podłoża i występujących w nim dyslokacji. Aby przeanalizować możliwość lateralnej migracji węglowodorów w skałach podłoża autorzy zmodyfikowali model strukturalno-parametryczny opracowany w pierwszym segmencie tematu dla strefy Cieszyn - Bielsko Biała. Uzupełniając go o model uskokowy utworów paleozoiku oraz sekwencje stratygraficzne karbonu klastycznego oraz karbonu –dewonu węglanowego.

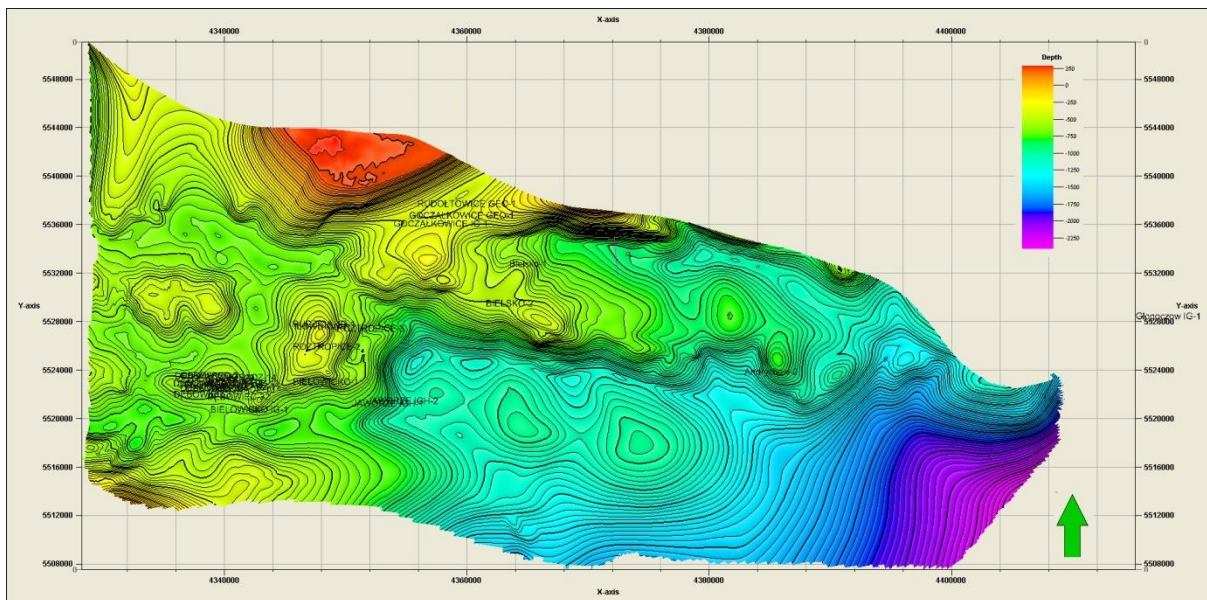


Fig. 1.1.17\_59 Mapa strukturalna stropu warstw dąbowieckich (na podstawie Jureczka et al. 2005).

## Dane wejściowe

Osnowę strukturalną modelu 3D zbudowano na podstawie wycinków regionalnych map strukturalnych opracowanych w formie regularnych siatek interpolacyjnych (grid 2D) o oczku 100 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 2009)
- Mapę strukturalną spągu fliszu Karpackiego (Oszczypko, Papiernik w: Górecki et al. 2010);
- Mapę strukturalną stropu warstw dąbowieckich (Jureczka et al 2005) (dane wejściowe opracowane przez PIG w formie wektorowej);
- Mapę miąższości warstw dąbowieckich (Jureczka et al 2005) (dane wejściowe opracowane przez PIG w formie wektorowej);
- Mapę strukturalną stropu karbonu (Jureczka et al 2005) (dostarczona jako grid 2D w programie Surfer.
- Mapę strukturalną stropu paleozoiku (bez permu) i prekambriu w formie archiwalnej (Buła, Habryn et al. 2008a)
- Mapę strukturalną spągu kompleksu karbońskich skał klastycznych (kulmu) na bloku górnośląskim i małopolskim, w formie archiwalnej (Buła, Habryn et al.,. 2008b).
- Mapę strukturalną spągu kompleksu dewońsko-karbońskich skał węglanowych na bloku górnośląskim i małopolskim, w formie archiwalnej (Buła, Habryn et al. 2008c).

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, Papiernik 2010) . Dane scyfrowane do formatu XYZ przetworzono do postaci regularnych siatek interpolacyjnych (grid 2D) w programie Petrel.

Gridy 2D odzwierciedlające ukształtowanie powierzchni paleozoicznych zostały opracowane na podstawie regionalnych modeli wykonanych przez B Papiernika (Górecki et al. 2010)

Danymi wejściowymi do tworzenia modelu uskokowego były scyfrowane z regionalnych map stropu paleozoiku, spągu kulmu oraz spągu kompleksu węglanowego dewonu i karbonu (Buła et al. 2008), lokalnie na wschodzie modyfikowano je na podstawie map opracowanych przez Geofizykę Kraków. Ślady uskoków (pionowe) które zostały wzbogacone o interpretację na podstawie przekrojów zamieszczonych w sprawozdaniu z tego rejonu przez PIG Warszawa (Wójcicki et al. 2010). Ze względu na regionalny charakter modelu i brak interpretacji sejsmicznych opracowano stosunkowo uproszczony model uskokowy (*Fault Model*).

## **Konstrukcja modelu strukturalnego**

### **Konstrukcja modelu uskokowego**

Na analizowanym obszarze przeprowadzono konstrukcję sieci uskoków paleozoicznych. W przeważającej części uskoki zostały zdefiniowane jako pionowe. Aby tego dokonać wcześniej przekroje jako mapy bitowe zostały skalibrowane i osadzone w trójwymiarowym modelu. Przy pomocy operacji *Fault modelling* ślady przecięcia uskoków ze spągiem dewońsko-karbońskim zostały przetworzone do postaci trójwymiarowych powierzchni. Powierzchnie te we wstępnej fazie modelowania były pionowe jednakże w rejonie gdzie dostępne były przekroje, kształty uskoków został wzbogacone w kierunku upadu zgodnie z trendem obecnym na przekrojach. Uskoki zostały zgodnie z istniejącą wiedzą ograniczone od dołu spągiem dewońsko-karbońskim i sięgają do stropu paleozoiku gdzie wygasają. Całkowita ilość uskoków została określona na 47.

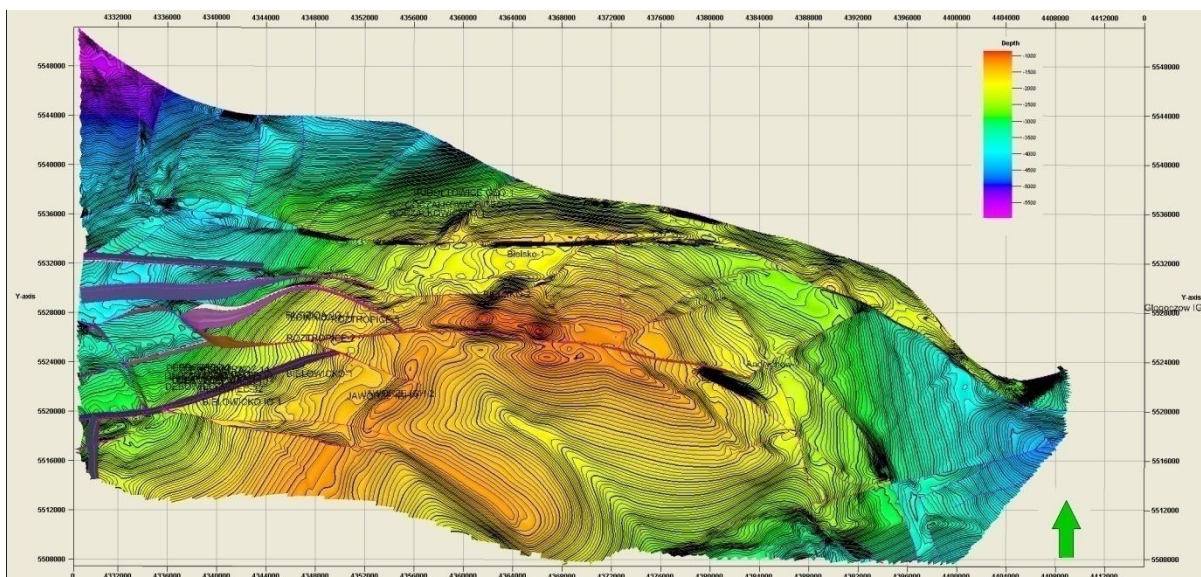


Fig. 1.1.17\_60 Mapa strukturalna z naniesionymi uskokami

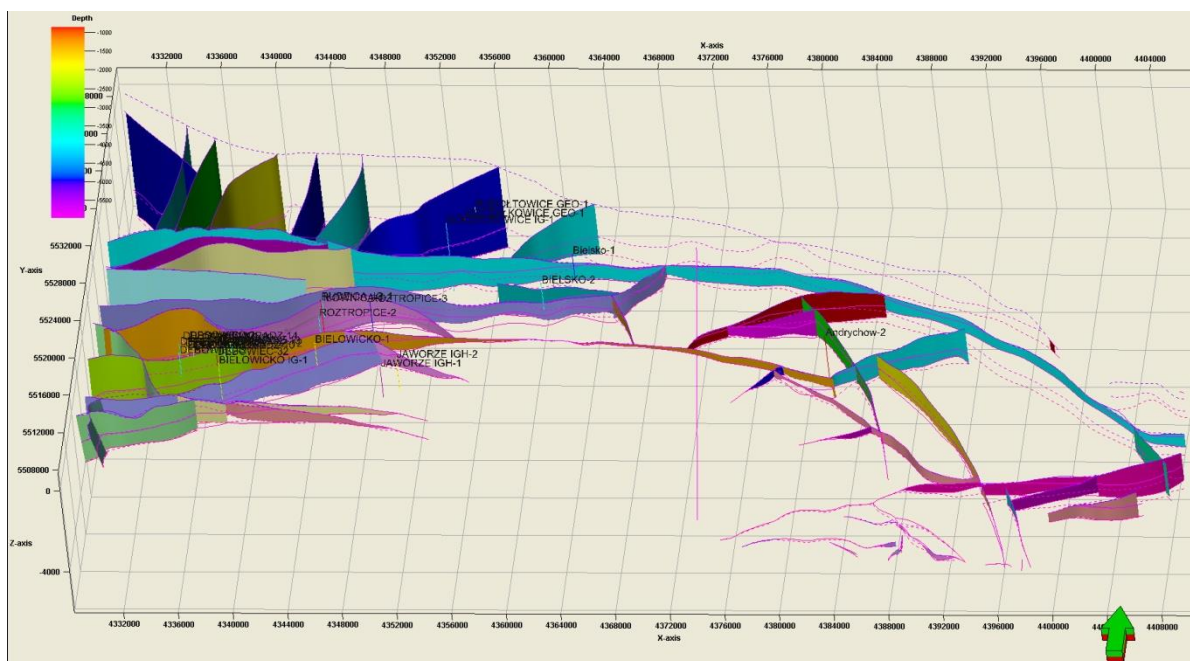


Fig. 1.1.17\_61 Opracowany model sieci uskoków paleozoicznych

Przedstawiony model uskokowy wykorzystano do opracowania modelu strukturalno-parametrycznego obejmującego następujące kompleksy stratygraficzne:

- Flisz
- Miocen

- Warstwy dębowieckie
- Warstwy zamarskie
- Jura górna
- Trias dolny
- Karbon klastyczny
- Karbon-dewon węglanowy

Przy pomocy procedury *Layering* horyzonty zostały podzielone na 25-cio metrowe warstwy. Wyjątek stanowi flisz który ze względu na małe znaczenie w trakcie modelowania oraz w celu ograniczenia wielkości modelu został podzielony na warstwy o miąższości 200 m.

Na stworzony model składa się z ok 21 000 000 komórek . Obecne w modelu uskoki spowodowały podzielenie modelu na 41 segmentów.

#### **Analiza parametrów uskoków przy pomocy procedury *Fault Analysis* w programie Petrel**

Metodą równania standardowego (Manzocchi et al., 1999) obliczono parametry 47 uskoków. Do parametrów tych należą:

- Współczynnik przewodności (*Transmissibility Multiplier* )
- Zawartość mączki ilastej - *Shale Gouge Ratio (SGR)*
- Przepuszczalność uskoków (*Fault permeability*)
- Przemieszczenie się uskoków (*Fault displacement*)
- Szerokość strefy uskokowej (*Fault thickness*)

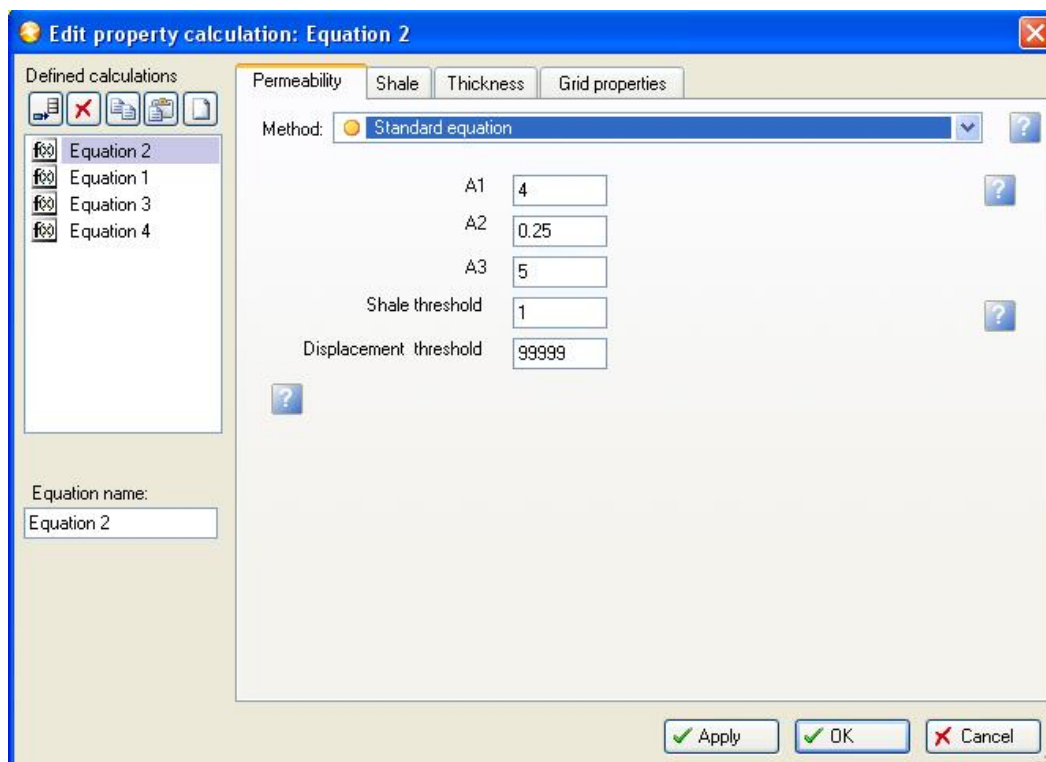


Fig. 1.1.17\_62 Okno wyboru metody określenia parametrów uskoku.

### Współczynnik przewodności (*Transmissibility Multiplier*)

W trzecim wariantcie obliczania współczynnika przewodności wykorzystano następujące ustawienia:

- Próg zailenia– 0,2
- Wartość zailenia została wyznaczona z modelu litologicznego
- Rozstęp między skrzydłami uskoku został ustalony z zależności – Zrzut uskoku X 0.01.

### Wyniki

W miejscach oznaczonych kolorem czerwony współczynnik przewodności jest równy 1. Dla tak przyjętych parametrów średnia wartość współczynnika przewodności wynosi 0,9. Wartość minimalna została określona na 0 a wartość maksymalna wynosi 1. Poniżej widoczny jest rozkład współczynnika przewodności.



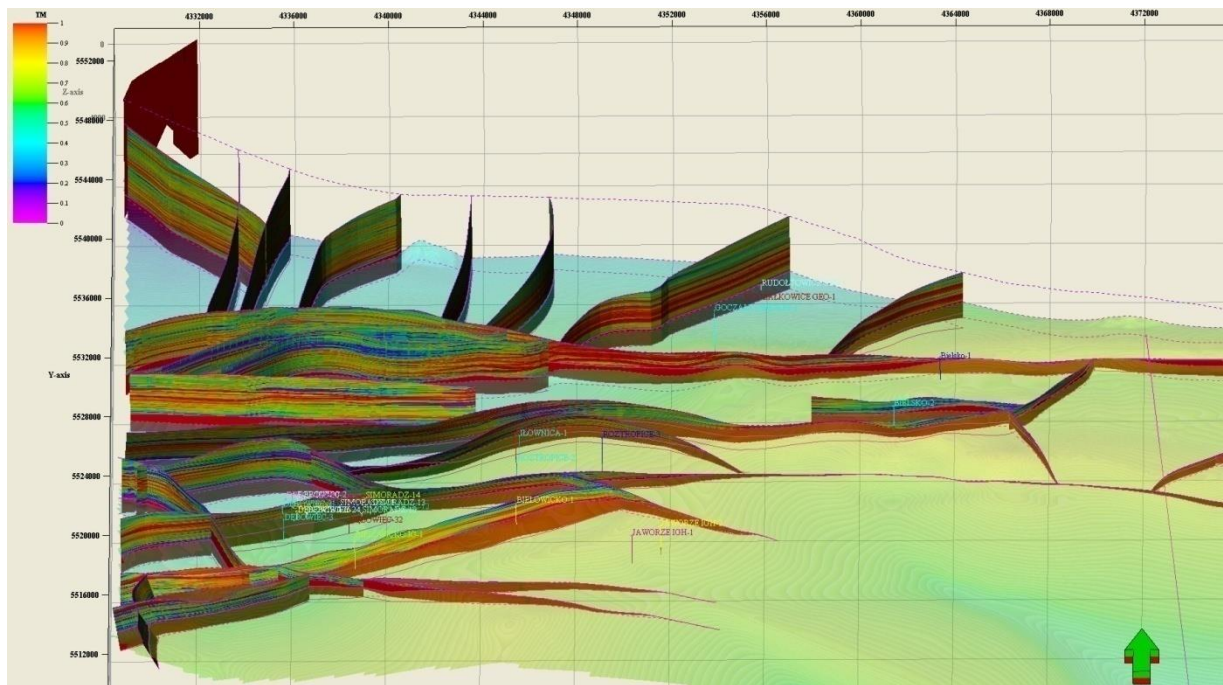


Fig. 1.1.17\_63 Rozkład regionalny współczynnika przewodności.

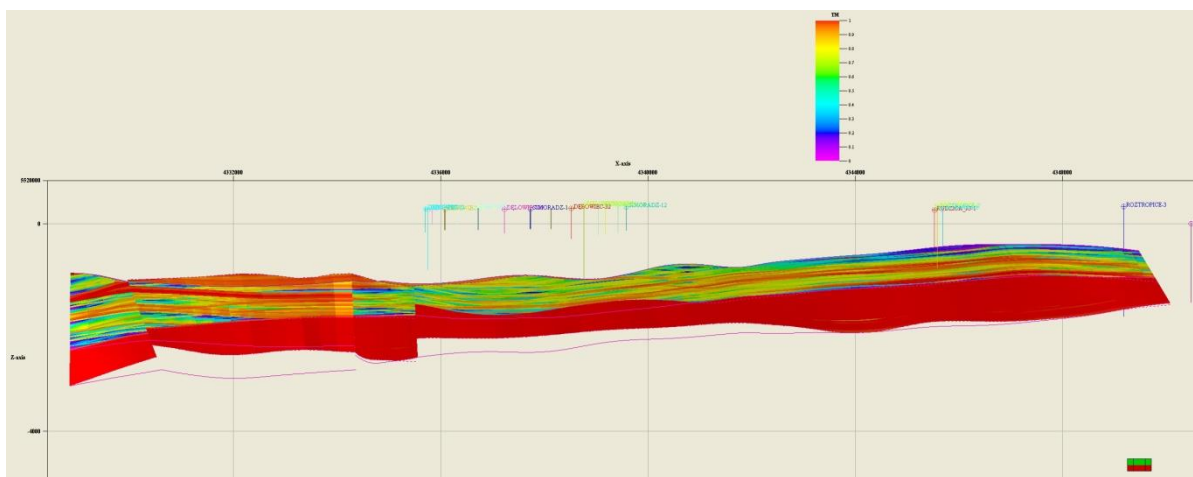


Fig. 1.1.17\_64 Współczynnik przewodności widoczny na 1 z uskoków.

### Zawartość mączki ilastej - *Shale Gouge Ratio (SGR)*

Parametr Zawartość mączki ilastej *Shale Gouge Ratio (SGR)* Został określony dzięki wykorzystaniu opcji *Standard Equation* w module *Fault Analysis*. Przyjmuje się że próg 20 % odpowiada granicy między uskokami przepuszczalnymi a nieprzepuszczalnymi. Na poniższych figurach widoczne jest iż dolna część modelowanych uskoków (poniżej stropu kulmu) została określona jako przepuszczalna. W partiach wyższych zawartość mączki ilastej wskazuje na doskonałe uszczelnienie uskoków. Wartość minimalna



wynosi 0, wartość maksymalna 0.73 natomiast średnia parametru SGR została określona na poziomie 0.27 co potwierdza wspomniane uszczelnienie.

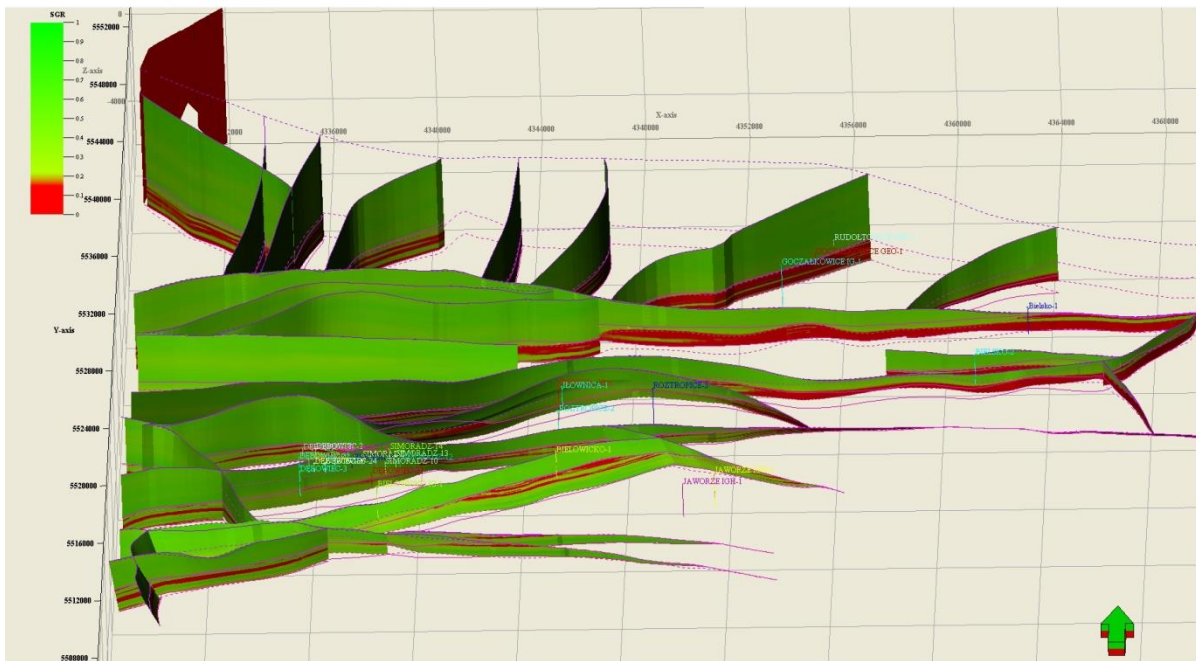


Fig. 1.1.17\_65 Rozkład regionalny współczynnika SGR.



Fig. 1.1.17\_66 Współczynnik SGR widoczny na 1 z uskoków.

## Modele przemieszczenia uskoków (*Fault displacement*)

Dzięki procedurze Fault Analysis było możliwe określenie przesunięcia uskoków. Wartość tego parametru waha się od 0 do 975m. Średnie przemieszczenie uskoków to 126m. Rozkład stref obrazujący przemieszczenie uskoków widoczne jest na poniższych rysunkach.

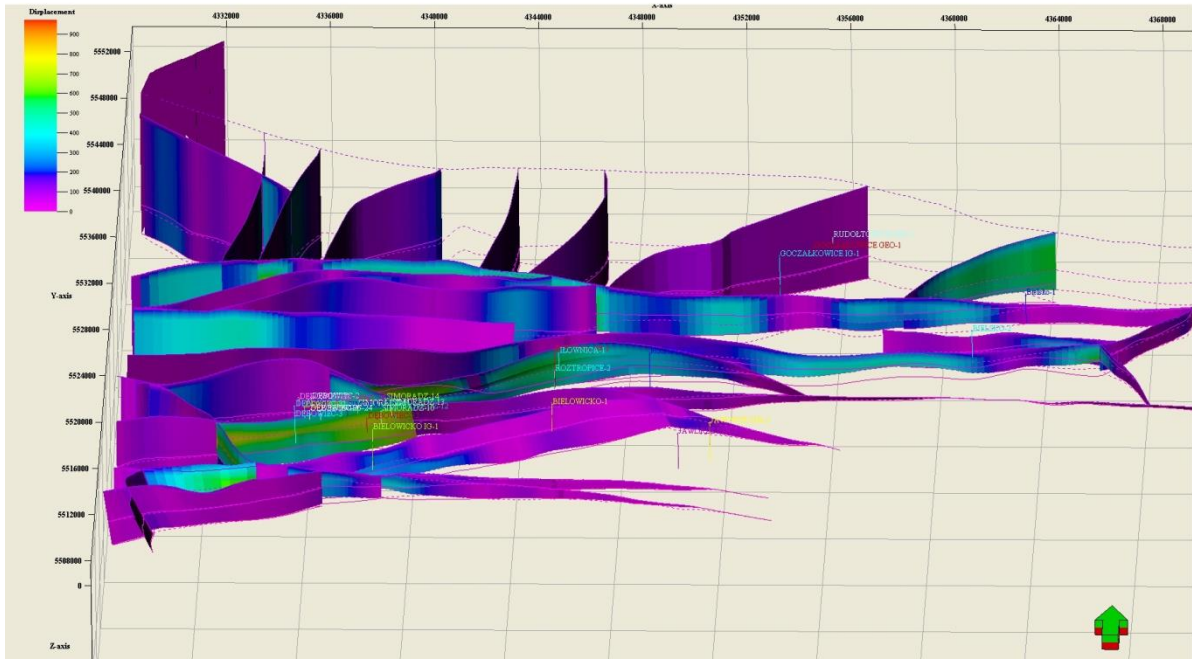


Fig. 1.1.17\_67 Rozkład regionalny współczynnika przemieszczenia uskoków.

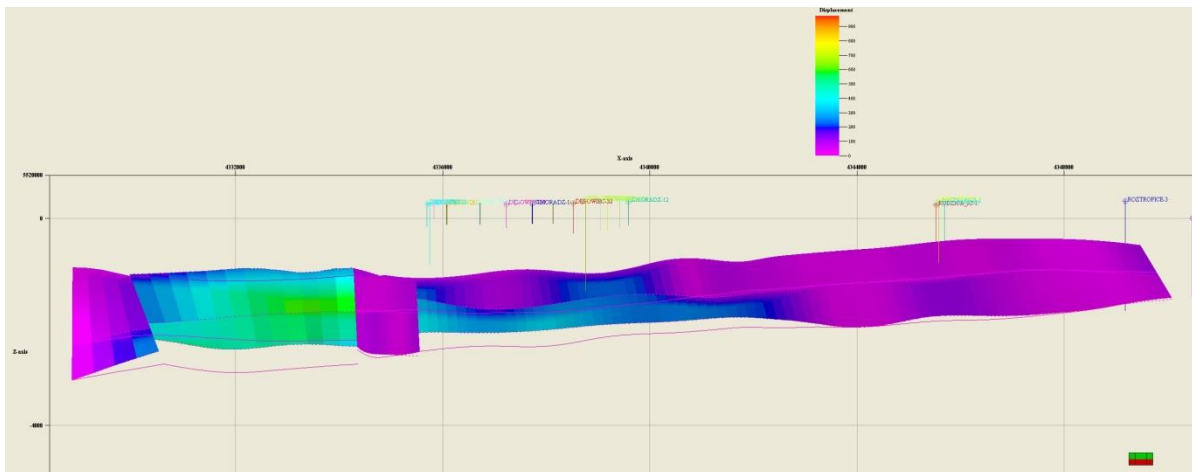


Fig. 1.1.17\_68 Współczynnik przemieszczenia widoczny na 1 z uskoków.

### Model przepuszczalność uskoków (*Fault permeability*)

Określono również parametr przepuszczalności uskoków (*Fault permeability*). Do tego celu wykorzystano procedurę *Standard Equation*. Wartości przepuszczalności uskoków wahają się w przedziale od 0 mD do 1mD. Średnia została określona na poziomie 0. Przestrzenny rozkład tego parametru widoczny jest na poniższych rysunkach.

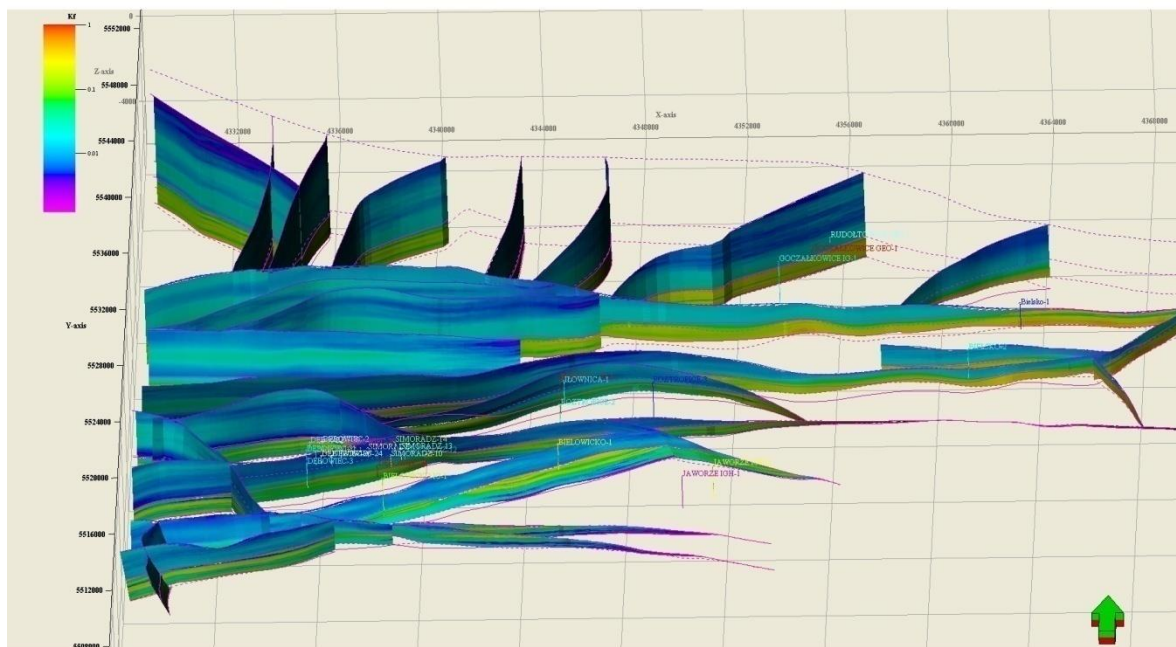


Fig. 1.1.17\_69 Rozkład regionalny współczynnika przepuszczalności uskoków.

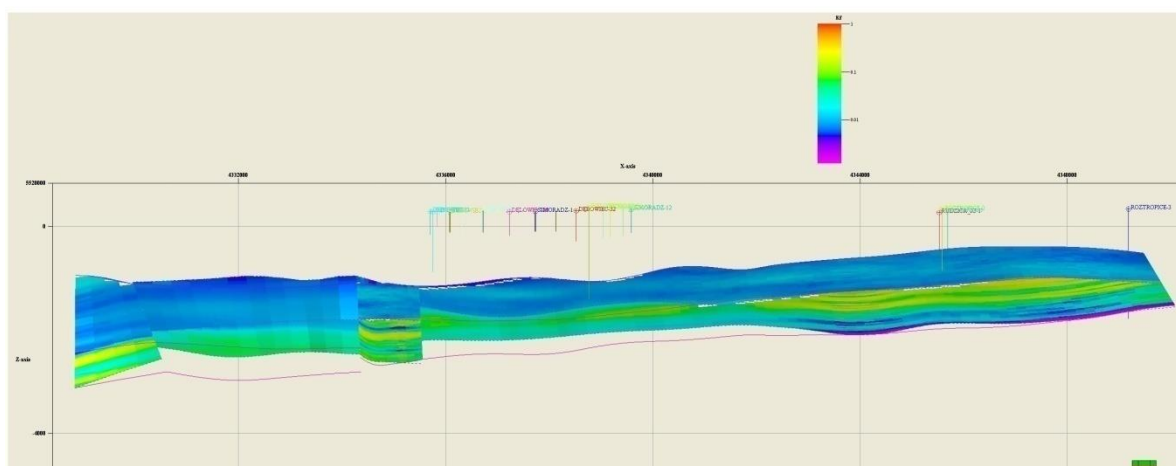


Fig. 1.1.17\_70 Współczynnik przepuszczalności widoczny na 1 z uskoków.

### Szerokość strefy uskokowej (*Fault thickness*)

W modelu została określona również szerokość strefy uskokowej która zawiera się w granicy 0-1.07 m ze średnią wartością 0.76. Rozkład tego parametru widoczny jest na rysunkach poniżej.

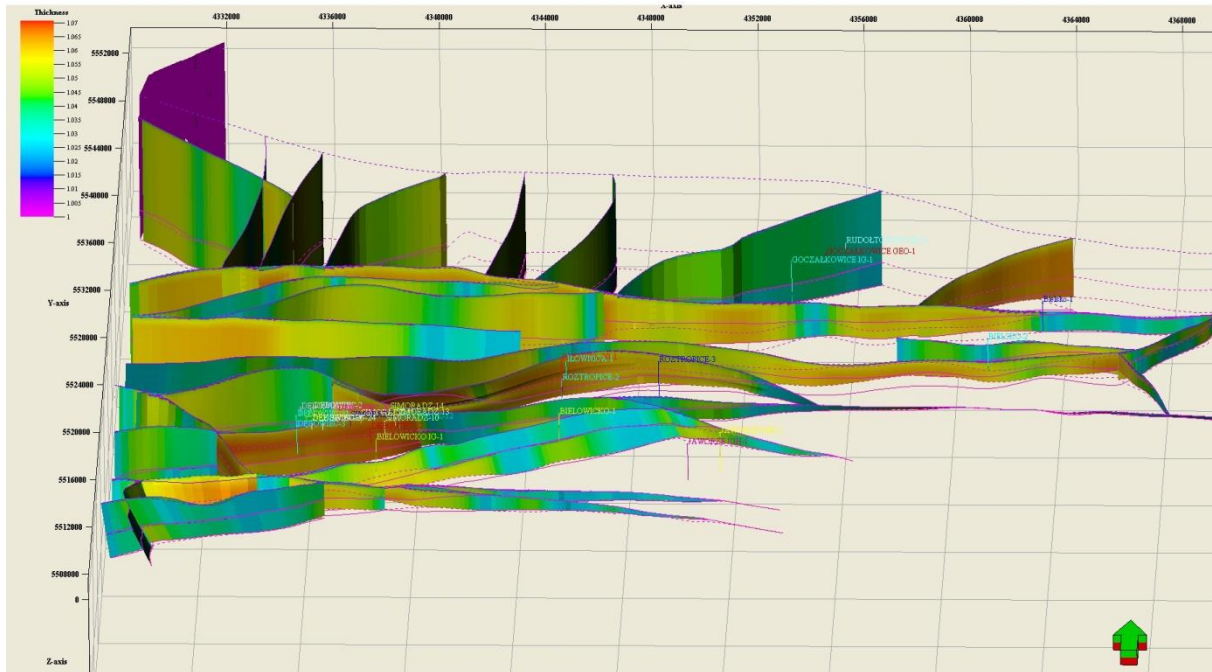


Fig. 1.1.17\_71 Rozkład regionalny współczynnika szerokości strefy uskokowej.

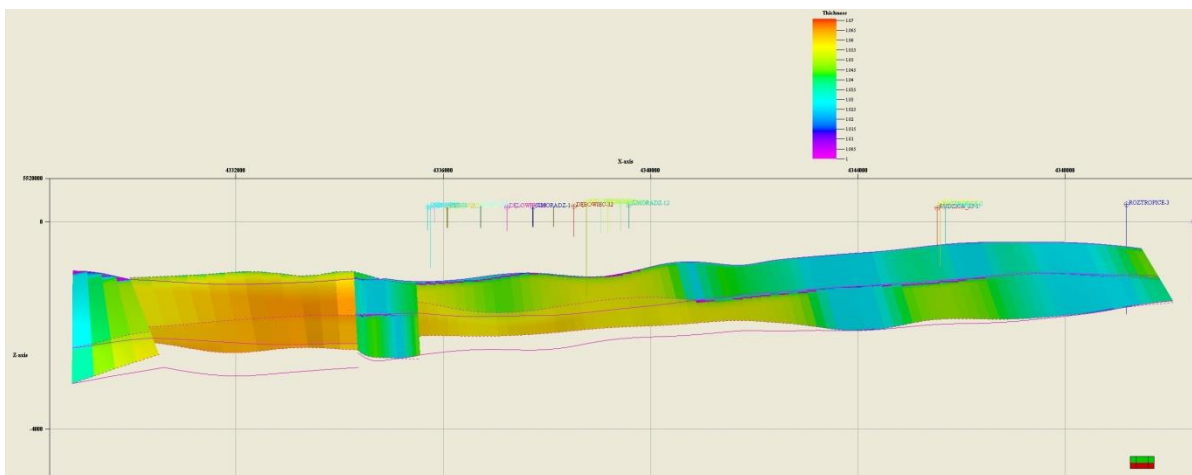


Fig. 1.1.17\_72 Współczynnika szerokości strefy uskokowej widoczny na 1 z uskoków.

## Trzeci obiekt solankowy

Ryzyko geologicznego składowania zdefiniowane jest (Chadwick et al., 2008) jako iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia i skutków zagrożenia. Z ryzykiem geologicznym, dotyczącym szczelności i integralności kompleksu składowania, związane są zagadnienia wpływu wycieków dwutlenku węgla (do słodkich wód podziemnych i atmosfery; to ostatnie ma aspekt lokalny i globalny, związany z emisją CO<sub>2</sub> do atmosfery) oraz solanki (do wód podziemnych) na środowisko oraz zdrowie i bezpieczeństwo ludzi. Poza tym mamy jeszcze ryzyko ekonomiczne, związane z opłacalnością inwestycji oraz ryzyko akceptacji społecznej dla inwestycji i szereg innych.

Prace zostały wykonane przez następujących partnerów konsorcjum: **AGH, INiG, GIG** oraz **PIG-PIB**).

Uzgodniono że jako trzeci obiekt w poziomach solankowych zostaną opracowane dwa obiekty/struktury:

- Choszczno-Suliszewo w rejonie NW Polski, ewentualnie na potrzeby aglomeracji szczecińskiej
- Grodzisk-Ujazd-Bukowiec (Niecka Poznańska - megastruktura solankowa, w stropie której występują też złoża gazu) w rejonie Wielkopolski, ewentualnie na potrzeby aglomeracji poznańskiej.

Dla struktury Choszczno-Suliszewo podstawowym kolektorem są piaskowce dolnej jury natomiast megastruktura Niecki Poznańskiej obejmuje kolektor czerwonego spągowca.

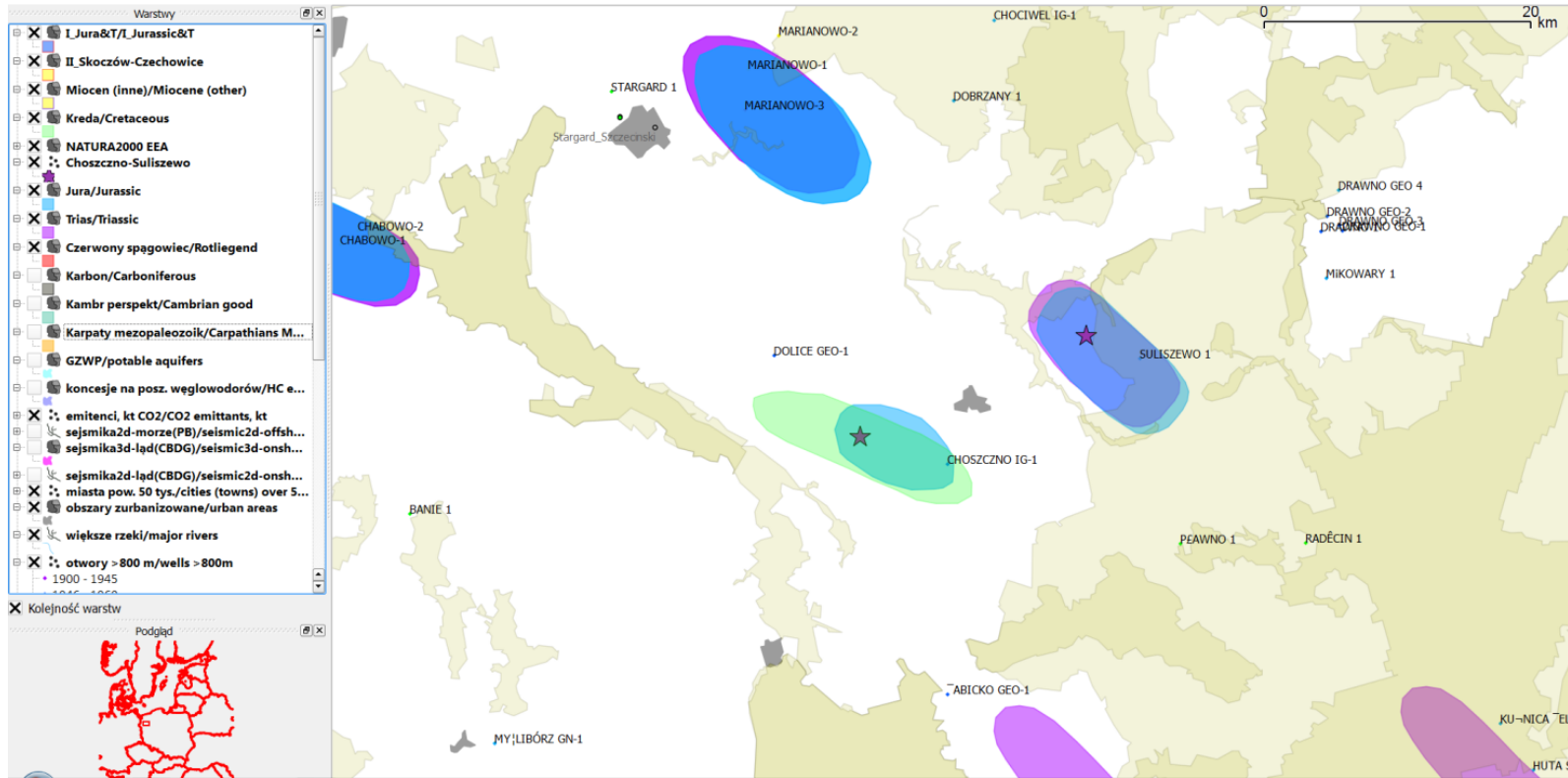
W następnych podrozdziałach przedstawiono analizy różnych aspektów ryzyka geologicznego składowania dla obu struktur.

GIG wykonał przeglądowe analizy i oceny ryzyka w oparciu o dotychczasowe wyniki badań prowadzonych przez członków konsorcjum w ramach segmentu II, w szczególności zadań **1.1.15** i **1.1.16**. Jako podstawę do analiz przyjęto metodologię z podręcznika najlepszych praktyk projektów CO2STORE, SACS i SACS2 (Chadwick et al., 2008), w szczególności analizę FEP (Feature-Events-Procedures). Z kolei AGH wykonał analizy niepewności określenia parametrów kompleksu składowania (zbiornik i uszczelnienie) w aspekcie bezpieczeństwa składowania i integralności składowiska dla dwóch różnych wariantów modeli kompleksu składowania w dolnej jurze i związanych z nimi scenariuszy składowania.

Natomiast INiG przeanalizował ryzyka związane ze składowaniem CO<sub>2</sub> w obrębie megastruktury Niecki Poznańskiej w tym zagrożeń wyciekami CO<sub>2</sub> i migracją solanki związanych zarówno z warunkami geologicznymi jak i występowaniem dużej ilości starych otworów wiertniczych.

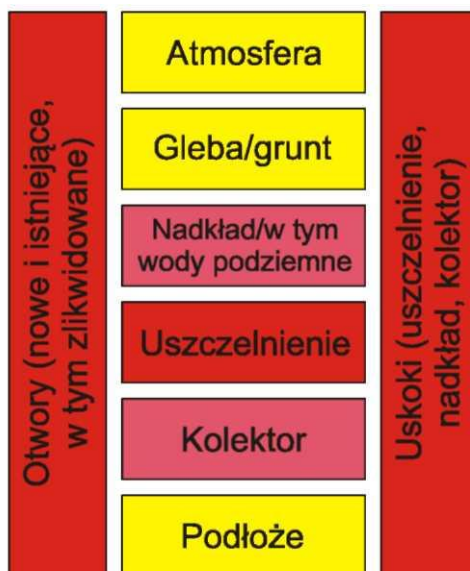
Na **Rys. 4** przedstawiono rozkład skupisk ludzkich w rejonie struktury Choszczno-Suliszewo i otworów (symulacyjnych) do zatłaczania oraz istniejących otworów nawiercających jurę i głębsze formacje. Lokalizacja otworów symulacyjnych (modelowanie procesów zatłaczania) została wybrana orientacyjnie, na podstawie znanej geometrii struktury i zasięgu obszarów NATURA2000. Ostateczna lokalizacja może być wybrana przez inwestora dopiero w wyniku uzgodnień z władzami lokalnymi i właścicielami gruntów.





**Rys. 4** Mapa obszaru badań rozkład skupisk ludzkich w rejonie struktury i otworów (symulacyjnych) dla optymalnego wariantu zatłaczania oraz obszarów NATURA2000

Podstawowe zagadnienia planu ryzyka obejmującego powyższy zakres prac przedstawiono na **Rys. 5**, 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 jakość uszczelnienia, brak uskoków przecinających je i nadkład, oraz szczelność nowych (przewidzianych do odwiercenia w przypadku wyboru struktury na składowisko) i starych, zlikwidowanych otworów wiertniczych. Prawie równie ważna jest jakość kolektora i ochrona słodkich wód podziemnych.



**Rys. 5** Podstawowe zagadnienia planu ryzyka dla obiektu Choszczno-Suliszewo

Ponadto dla obiektu Choszczno-Suliszewo przeprowadzono weryfikację i kwantyfikację ryzyk geologicznego składowania na podstawie schematu - rejestru ryzyk przyjętego w programie NER300 (**zał. 1**).

## Zał. nr 1 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (Choszczno-Suliszewo)

<b>Kategorie Ryzyka</b> Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka		Szacowana Wartość Ryzyka (po działaniu ograniczającym ryzyko)	
	Ranking Ryzyka		Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala	Skala	Skala
	Niska	Niskie	Niska	Niskie
Średnia	Średnie	Średnia	Średnie	
Wysoka	Wysokie	Wysoka	Wysokie	

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>2</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>3</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>4</sup>	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość po działaniu ogran.
1	Wybór Składowiska	Możliwe konflikty interesów (obszary chronione)	Brak uzgodnienia na użytkowanie składowiska	Sponsor Projektu	100	Komercyjne-Kontrakt	Średnia	Średnie	Wysoka	Lokalizacja elementów infrastruktury składowiska (otwory zatłaczające, monitoringowe) poza obszarami chronionymi NATURA2000.	Niskie	Niska	Niska
2	Szczegółowe Rozpoznanie Składowiska	Własności zbiornikowe składowiska gorsze niż oczekiwano (negatywny wpływ zuskokowania, składu mineralnego, mineralizacji solanki, mikroorganizmów, etc.)	Wyższe koszty budowy składowiska	Wykonawca prac na szczegółowe rozpoznanie składowiska	100	Techniczne (geologia, inżynieria złożowa)	Niska	Średnie	Niska	Wykorzystanie wyników z otworów badawczych na potrzeby zaprojektowania odpowiednio większej ilości otworów iniekcyjnych celem osiągnięcia odpowiedniej wydajności zatłaczania i założonej pojemności składowania.	Niskie	Niska	Niska

<sup>2</sup> Tam gdzie ryzykiem dotknięta jest więcej niż jedna strona, oszacować proporcje wpływu na każdą ze stron.

<sup>3</sup> Wartość ryzyka powinna, o ile to możliwe, być identyfikacja

<sup>4</sup> Działania ograniczania ryzyka powinny odnosić się do określonych aktywności lub grup aktywności w ramach Programu Projektu tak aby można było udokumentować że działania ograniczające zostały podjęte. Należy podać odniesienia do zadań Projektu.



# Załącznik nr 1 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (Choszczno-Suliszewo)

<b>Kategorie Ryzyka</b> Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka		Szacowana Wartość Ryzyka (po działaniu ograniczającym ryzyko)	
	Ranking Ryzyka		Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala	Skala	Skala
	Niska	Niskie	Niska	Niskie
Średnia	Średnie	Średnia	Średnie	
Wysoka	Wysokie	Wysoka	Wysokie	

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>2</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>3</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>4</sup>	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość po działaniu ogran.
3	Koncesja na Składowanie	Niedostateczne dowody na bezpieczeństwo składowania	Koncesja nieprzyznana lub odroczone – niedotrzymanie harmonogramu projektu	Wykonawca prac na szczegółowe rozpoznanie składowiska	100	Techniczne (geologia, inżynieria złożowa), Środowisko	Średnia	Średnie	Wysoka	Konstrukcja szczegółowego modelu kompleksu składowania z wykorzystaniem wszelkich dostępnych informacji geologicznych (nowe dane z rozpoznania szczegółowego, dane archiwalne, rdzenie wiertnicze, karotaż.	Niskie	Niska	Niska
4	Szczegółowe Rozpoznanie Składowiska & Koncesja na Składowanie	Brak wsparcia politycznego (rząd, władze lokalne)	Zablokowanie projektu składowania	Sponsor Projektu	100	Polityczno/Społeczne	Średnia	Średnie	Wysoka	Wsparcie dla krajowego programu akceptacji społecznej dla CCS (Ministerstwo Gospodarki?), lobbying projektu CCS w kręgach rządowych i władzach lokalnych, w tym ewentualnie przedstawienie wyników projektu demo CCS PGE.	Niskie	Niska	Niska
5	Szczegółowe Rozpoznanie	Brak akceptacji społecznej (władze)	Zablokowanie projektu	Sponsor	100	Polityczno/Społeczne	Średnia	Średnie	Wysoka	Przygotowanie i uruchomienie kampanii	Niskie	Niska	Niska

# Zał. nr 1 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (Choszczno-Suliszewo)

<b>Kategorie Ryzyka</b> Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka		Szacowana Wartość Ryzyka (po działaniu ograniczającym ryzyko)	
	Ranking Ryzyka		Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala	Skala	Skala
	Niska	Niskie	Niska	Niskie
Średnia	Średnie	Średnia	Średnie	
Wysoka	Wysokie	Wysoka	Wysokie	

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>2</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>3</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>4</sup>	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość po działaniu ogran.
	Składowiska & Koncesja na Składowanie	lokalne, mieszkańcy odnośnych gmin, organizacje pozarządowe)	składowania	Projektu						informacyjnej i akceptacji społecznej dla projektu CCS w odnośnej gminie, powiecie i województwie (we współpracy z organizacjami pozarządowymi, agendami rządowymi).			
6	Budowa Składowiska	Wypadki na miejscu, awarie w (nowych) otworach	Konsekwencje dla bezpieczeństwa, zdrowia i środowiska, koszty nadzwyczajne	Wykonawca prac na szczegółowe rozpoznanie składowiska  Sponsor Projektu	80  20	Techniczne (wiertnictwo)	Średnia	Średnie	Średnia	Wybór doświadczonego wykonawcy na budowę składowiska.  Opracowanie planu postępowania w przypadkach awaryjnych (plan alarmowy).	Niskie	Niska	Niska
7	Funkcjonowanie Składowiska i Likwidacja	Podniesienie/osiadanie powierzchni wskutek zatłaczania CO2	Ograniczone szkody infrastruktury na powierzchni w miejscu(ach) zatłaczania	Operator Składowiska		Techniczne (geomechanika)	Niska	Średnie	Niska	Monitoring i prognozowanie podniesienia (osiadania).	Niskie	Niska	Niska
8	Funkcjonowanie Składowiska i	Wycieki CO2 do wód podziemnych (wraz z	Ograniczenie wykorzystania lokalnych	Operator	100	Środowisko, Społeczne	Niska	Wysokie	Niska	Integralność podstawowego	Niskie	Niska	Niska

# Załącznik nr 1 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (Choszczno-Suliszewo)

<b>Kategorie Ryzyka</b> Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka		Szacowana Wartość Ryzyka (po działaniu ograniczającym ryzyko)	
	Ranking Ryzyka		Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala	Skala	Skala
	Niska	Niskie	Niska	Niskie
	Średnia	Średnie	Średnia	Średnie
	Wysoka	Wysokie	Wysoka	Wysokie

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>2</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>3</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>4</sup>	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość po działaniu ogran.
	Likwidacja	wypieraniem solanki, metali ciężkich) naturalnymi drogami ucieczki	(pitnych) wód podziemnych, opóźnienia projektu wskutek potrzebnych działań zapobiegawczych i związane z tym nadzwyczajne koszty, w najgorszym przypadku utrata koncesji	Składowiska						uszczelnienia i jakość uszczelnień nadległych, zapobiegających wszelkim wyciekom do utworów przypowierzchniowych, jest przedmiotem Planu Zagospodarowania Składowiska (badania przewidziane w fazie budowy składowiska) i Raportu Oddziaływania na Środowisko składowiska i zatwierdzanego jako część dokumentacji do wniosku koncesyjnego na składowanie. Celem wykrycia takiego (nieprawdopodobnego) zdarzenia zaprojektowano monitoring środowiskowy, powierzchniowy i przypowierzchniowy.			

# Zał. nr 1 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (Choszczno-Suliszewo)

<u>Kategorie Ryzyka</u> Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne- Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka		Szacowana Wartość Ryzyka (po działaniu ograniczającym ryzyko)	
	Ranking Ryzyka		Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala	Skala	Skala
	Niska	Niskie	Niska	Niskie
Średnia	Średnie	Średnia	Średnie	
Wysoka	Wysokie	Wysoka	Wysokie	

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>2</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>3</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>4</sup>	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość po działaniu ogran.
										Solanka (pod podwyższonym ciśnieniem) może być w ostateczności wypompowana na powierzchnię.			
9	Funkcjonowanie Składowiska i Likwidacja	Wycieki CO2 do gleby naturalnymi drogami ucieczki	Lokalne oddziaływanie na środowisko; florę i faunę, opóźnienia projektu wskutek potrzebnych działań zapobiegawczych i związane z tym nadzwyczajne koszty, w najgorszym przypadku utrata koncesji	Operator Składowiska	100	Środowisko	Niska	Średnie	Niska	Integralność podstawowego uszczelnienia i jakość uszczelnień nadległych, zapobiegających wszelkim wyciekom do utworów przypowierzchniowych, jest przedmiotem Planu Zagospodarowania Składowiska (badania przewidziane w fazie budowy składowiska) i Raportu Oddziaływania na Środowisko składowego i zatwierdzanego jako część dokumentacji do wniosku koncesyjnego na składowanie. Celem	Niskie	Niska	Niska

# Zał. nr 1 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (Choszczno-Suliszewo)

<b>Kategorie Ryzyka</b> Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka		Szacowana Wartość Ryzyka (po działaniu ograniczającym ryzyko)	
	Ranking Ryzyka		Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala	Skala	Skala
	Niska	Niskie	Niska	Niskie
	Średnia	Średnie	Średnia	Średnie
	Wysoka	Wysokie	Wysoka	Wysokie

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>2</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>3</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>4</sup>	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość po działaniu ogran.
										wykrycia takiego (nieprawdopodobnego) zdarzenia zaprojektowano monitoring środowiskowy, powierzchniowy i przypowierzchniowy.			
10	Funkcjonowanie Składowiska i Likwidacja	Migracja CO2 ponad podstawowe uszczelnienie	Opóźnienia projektu wskutek potrzebnych działań zapobiegawczych i związane z tym nadzwyczajne koszty, w najgorszym przypadku utrata koncesji	Operator Składowiska	100	Środowisko	Niska	Średnie	Niska	Integralność podstawowego uszczelnienia i jakość uszczelnień nadległych, zapobiegających wszelkim wyciekom do utworów przypowierzchniowych, jest przedmiotem Planu Zagospodarowania Składowiska (badania przewidziane w fazie budowy składowiska) i Raportu Oddziaływania na Środowisko składanego i zatwierdzanego jako część dokumentacji do	Niskie	Niska	Niska

# Załącznik nr 1 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (Choszczno-Suliszewo)

<b>Kategorie Ryzyka</b> Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka		Szacowana Wartość Ryzyka (po działaniu ograniczającym ryzyko)	
	Ranking Ryzyka		Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala	Skala	Skala
	Niska	Niskie	Niska	Niskie
Średnia	Średnie	Średnia	Średnie	
Wysoka	Wysokie	Wysoka	Wysokie	

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>2</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>3</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>4</sup>	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość po działaniu ogran.
										wniosku koncesyjnego na składowanie. Celem wykrycia takiego (nieprawdopodobnego) zdarzenia zaprojektowano monitoring środowiskowy, powierzchniowy i przypowierzchniowy			
11	Funkcjonowanie Składowiska i Likwidacja	Wyciek CO2 przez stare otwory	Lokalne oddziaływanie na środowisko, opóźnienia projektu wskutek potrzebnych działań zapobiegawczych (korekta planu monitoringu) i związane z tym nadzwyczajne koszty, w najgorszym przypadku utrata koncesji	Operator Składowiska	100	Środowisko	Niska	Średnie	Niska	Badania szczelności otworów i monitoring przewidziano w ramach Planu Zagospodarowania Składowiska i będą one stosownie wykonywane.  W przypadku awarii otwór zostanie zacementowany i zamknięty (najprawdopodobniej to i tak będzie zrobione w trakcie likwidacji składowiska z uwagi na	Niskie	Niska	Niska

# Zał. nr 1 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (Choszczno-Suliszewo)

Kategorie Ryzyka Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka		Szacowana Wartość Ryzyka (po działaniu ograniczającym ryzyko)	
	Ranking Ryzyka		Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala	Skala	Skala
	Niska	Niskie	Niska	Niskie
Średnia	Średnie	Średnia	Średnie	
Wysoka	Wysokie	Wysoka	Wysokie	

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>2</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>3</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>4</sup>	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość po działaniu ogran.
										korozyjność CO2 w perspektywie długoterminowej).			
12	Funkcjonowanie Składowiska i Likwidacja	Wyciek CO2 przez nowe otwory (injektory, monitoringowe, kontrolne)	Lokalne oddziaływanie na środowisko, opóźnienia projektu wskutek potrzebnych działań zapobiegawczych (korekta planu monitoringu) i związane z tym nadzwyczajne koszty, w najgorszym przypadku utrata koncesji	Operator Składowiska	100	Środowisko	Niska	Średnie	Niska	Wybór materiału o wystarczającej jakości i parametrach bezpieczeństwa (np. cementów). Monitoring stanu technicznego otworów.  W przypadkach awaryjnych będzie konieczna przeróbka nieprawidłowo funkcjonującego otworu. Podczas likwidacji składowiska otwory zostaną zacementowane i zamknięte.	Niskie	Niska	Niska
13	Funkcjonowanie Składowiska i Likwidacja	Migracja horyzontalna CO2 w obrębie kompleksu składowania o zasięgu większym niż	Opóźnienia projektu wskutek potrzebnych działań zapobiegawczych (korekta planu monitoringu) i związane z	Operator Składowiska	100	Środowisko	Niska	Średnie	Niska	Zasięg migracji jest przedmiotem Planu Zagospodarowania Składowiska (badania przewidziane w fazie	Niskie	Niska	Niska

# Załącznik nr 1 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (Choszczno-Suliszewo)

<u>Kategorie Ryzyka</u> Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka		Szacowana Wartość Ryzyka (po działaniu ograniczającym ryzyko)	
	Ranking Ryzyka		Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala	Skala	Skala
	Niska	Niskie	Niska	Niskie
	Średnia	Średnie	Średnia	Średnie
	Wysoka	Wysokie	Wysoka	Wysokie

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>2</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>3</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>4</sup>	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość po działaniu ogran.
		oczekiwano	tym nadzwyczajne koszty, w najgorszym przypadku utrata koncesji							budowy składowiska) i Raportu Oddziaływania na Środowisko składanego i zatwierdzanego jako część dokumentacji do wniosku koncesyjnego na składowanie. W razie konieczności program monitoringu zostanie skorygowany tak aby objąć większy obszar.			



## **Identyfikacja geologicznych zagrożeń związanych ze składowaniem CO<sub>2</sub> w poziomach solankowych w rejonie Choszczna i Suliszewa (GIG)**

**(Jarosław Chećko, Magdalena Głogowska, Aleksandra Koteras, Eleonora Solik-Heliasz, Robert Warzecha, Tomasz Urych, Anna Wątor)**

W dotychczasowych pracach związanych z analizą zagrożeń geologicznych wynikających z zatłaczania dwutlenku węgla do poziomów solankowych ryzyko geologicznego składowania było definiowane jako iloczyn *prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia i skutków zagrożeń (wpływy)* (Chadwick et al., 2008).

Niniejsze zagrożenia można odnieść do wielu dziedzin tj.: zdrowia, bezpieczeństwa, gospodarki, akceptacji społecznej, które w sposób szczegółowy przedstawia baza danych FEP (*Feature Events Procedures*).

Analiza zagrożeń geologicznych została oparta o wcześniejsze opracowania niniejszego projektu oraz o dotychczasowe doświadczenia Głównego Instytutu Górnictwa (GIG) oraz literaturę światową m.in. Best practice for the storage of CO<sub>2</sub> in saline aquifers, bazę Quintessa FEP (*Features Events Processe*), CO2STORE.

Za główne zagrożenia wynikające z geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w poziomach solankowych uznano:

- oddziaływania składowiska na faunę i florę występującą zarówno na obszarach Natura 2000 jak i poza nimi,
- wpływ planowanego składowiska na ujęcia wód użytkowych i termalnych,
- połączenia (płaszczyny uskokowe, otwory wiertnicze) pomiędzy zbiornikiem i powierzchnią terenu.

W trakcie realizacji zadania korzystano z dotychczasowych opracowań wykonanych w ramach niniejszego projektu.

### **Położenie i zagospodarowanie terenu**

Do przeprowadzenia prób zatłaczania CO<sub>2</sub> do poziomów solankowych w północno-zachodniej części Polski we wcześniejszych etapach projektu wytypowano dwa rejony tj.: Choszczno i Suliszewo, znajdujące się na terenie województwa zachodniopomorskiego.

Rejon Choszczno leży na terenie powiatów choszczeńskiego i stargardzkiego pomiędzy miastami Pełczyce i Choszczno (**Fig. 1.1.17\_73**), przy czym znaczna jego część występuje w powiecie choszczeńskim. Jego przybliżona lokalizacja obejmuje następujące gminy: Choszczno, Pełczyce (powiat choszczeński) oraz Dolice (powiat stargardzki). Obszar badanego zbiornika charakteryzuje się rozproszoną zabudową wiejską z niewielką ilością terenów leśnych. Dominującą rolę odgrywają pola uprawne i łąki. Analizowany teren znajduje się w odległości około 25 km od miast Pyrzyce i Stargard Szczeciński, które korzystają lub korzystały z ciepła pozyskiwanego z wód geotermalnych.

Zbiornik „Suliszewo” znajduje się na północny-wschód w odległości około 12 km od zbiornika „Choszczno” (**Fig. 1.1.17\_73**). Podobnie jak w rejonie wyżej wymienionego zbiornika na danym terenie dominują łąki i

pola uprawne przy nieco większym udziale terenów leśnych. Badany obszar charakteryzuje się nieregularną zabudową wiejską i znajduje się na terenie powiatu choszczeńskiego w granicach gmin: Choszczno, Recz i Drawno. Analizowany obszar występuje w większej odległości niż zbiornik „Choszczno” tj. około 35 km od miast Pyrzyce i Stargard Szczeciński. W granicach zbiornika „Suliszewo” znajdują się zarówno funkcjonujące jak i projektowane obszary chronione utworzone w ramach programu Natura 2000.

Oba obszary zostały rozpoznane w oparciu o dane pochodzące z otworów wiertniczych i badania sejsmiczne. Na terenie potencjalnych zbiorników odwiercono po jednym głębokim otworze, pozostałe znajdują się w znacznych odległościach od analizowanych rejonów. Stosunkowo duże zagęszczenie otworów występuje na północny-wschód od zbiornika „Suliszewo” w rejonie Kalisza Pomorskiego (**Fig. 1.1.17\_73**), pozostałe są rozmieszczone w nieregularnej siatce głównie na północ i południe od opracowywanych rejonów. Cenną informację dla rozpoznania wnoszą profile badań sejsmicznych mające w większości przebieg z NE-SW i NW-SE.

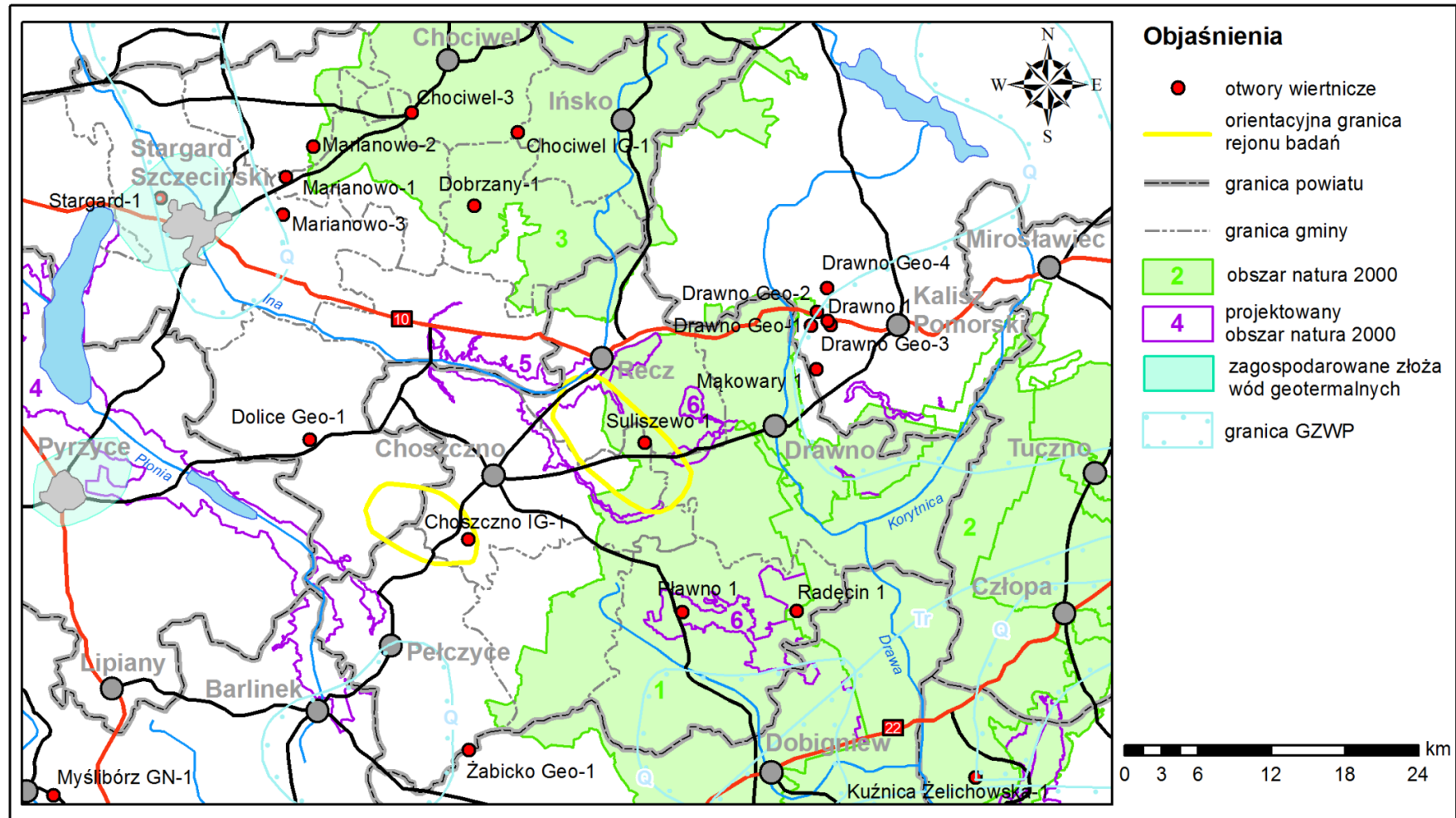


Fig. 1.1.17\_73 Mapa lokalizacyjna rejonu Choszczno i Suliszewa

## Zarys budowy geologicznej rejonu zbiornika Choszczno i Suliszewo

Geologia terenu objętego niniejszą analizą została opracowana na podstawie prac R. Dadleza w „Budowa geologiczna niecki szczecińskiej i bloku Gorzowa” (Jaskowiak-Schoeneichowa, 1979) oraz Jaskowiak-Schoeneichowa M. (red.), 1978.

Potencjalne zbiorniki „Choszczno” i „Suliszewo” znajdują się w obrębie niecki szczecińskiej, z obszaru której wyodrębniono rejon tzw. właściwej niecki szczecińskiej oraz blok Gorzowa. Granica pomiędzy jednostkami przebiega wzdłuż strefy dyslokacyjnej Pyrzyce-Krzyż-Szamotuły, składającej się z dwóch struktur: Pyrzyce-Krzyż o przebiegu zbliżonym do równoleżnikowego oraz Krzyż-Szamotuły o kierunku NW-SE.

Obszar właściwej niecki szczecińskiej można podzielić na trzy jednostki: Stargardu, Ińska i Kalisza Pomorskiego. Oba analizowane zbiorniki występują w rejonie jednostki Stargardu, która od południa graniczy z blokiem Gorzowa, natomiast od północnego-wschodu z jednostką Ińska i Kalisza Pomorskiego.

Jednostka Stargardu ma kształt zbliżony do trójkąta, wewnątrz którego znajduje się strefa silnego wyciśnięcia soli i przylegające do niej dwa wały solne Chabowo-Choszczno oraz Szczecin-Marianowo. Wał Chabowo-Choszczno przebiega wzdłuż południowej granicy trójkąta. Wzdłuż krawędzi północno-wschodniej przebiega pas struktur solnych, Goleniów-Dobrzany. Podłoże jednostki Stargardu stanowi skłon zapadający ku północy i wschodowi.

Dotychczasowe badania przeprowadzone w rejonie zbiornika Choszczno nie potwierdziły występowania uskoków w utworach zbiornikowych i nadkładu, które mogą stanowić potencjalne źródło migracji dwutlenku węgla. Należy jednak wyróżnić dwie dyslokacje występujące na obszarze jednostki stargardzkiej. Uskok Pyrzyce-Krzyż przebiegający wzdłuż południowej granicy niecki szczecińskiej przecinający dolną część kompleksu (głównie cechszтын, rzadziej cechszтын i trias) oraz uskok o przebiegu z NW-SE występujący na północ od potencjalnego zbiornika Choszczno przecinający cały kompleks.

Nadkład potencjalnych zbiorników w analizowanym rejonie zbudowany jest z osadów czwartorzędu, trzeciorzędu, kredy oraz jury górnej i środkowej.

Osady czwartorzędu zbudowane są z glin, żwirków, piasków i mułków, które powstały w wyniku procesów glacialnych i interglacialnych. Miąższość pokrywy czwartorzędowej w rejonie zbiornika „Choszczno” wynosi około 148,0 m, natomiast „Suliszewo” 163,0 m.

Osady trzeciorzędowe na obszarze analizowanego rejonu charakteryzują się zmienną miąższością od około 3,0 m w rejonie Choszczna do 63,0 m w okolicach Suliszewa. Trzeciorzęd stanowią osady środkowooligocenyjskie składające się głównie z ciemnobrunatnych ilów z wtrąceniami mułków oraz bardzo drobnoziarnistych piasków ilastych.

W wykształceniu litologicznym kredy górnej dominującą rolę odgrywają margle, wapienie margliste i pelityczne oraz opoka marglista. Miąższość kredy górnej w analizowanym rejonie wynosi około 800,0 m.

Osady dolnokredowe (alb, hoteryw) w górnej części profilu budują wapienie margliste, natomiast w dolnej utworzy marglisto-piaszczyste oraz ilasto-piaszczyste. W południowo-zachodniej części niecki szczecińskiej

osady dolnokredowe ulegają znacznej redukcji, a ich miąższość waha się od 5,0 do 30,0 m. W analizowanym rejonie od 12,5 (zbiornik „Choszczno”) do 20,0 m (zbiornik „Suliszewo”).

W utworach jury górnej wyróżnia się osady oksfordu dolnego i środkowego. Oksford dolny reprezentowany jest przez osady margli i mułowców marglistych, natomiast środkowy przez mułowce z wkładkami wapienia mułowcowego, wapienie oolitowe i mułowce margliste. Osady jury środkowej charakteryzują się dwudzielnością. Górną część profilu stanowią osady górnego keloweju zbudowane z mułowców piaszczystych i marglistych, poniżej których występują dolomity margliste i mułowce dolomityczne. Sumaryczna miąższość osadów jury górnej i środkowej w analizowanym obszarze wynosi od 167 do 180 m.

Lias stanowi serię zbiornikową dla potencjalnych zbiorników „Choszczno” i „Suliszewo”.

Utworami uszczelniającymi serię zbiornikową są dolnojurajskie warstwy gryfickie (toark dolny) o miąższości od 70 („Choszczno”) do 40 m („Suliszewo”), które dzielą się na dwa ogniwa: górne i dolne. Ogniwo górne stanowią głównie iłowce i mułowce, natomiast dolne reprezentują osady ingresji morskiej składające się głównie z łupków ilastych z wkładkami syderytu i piaskowca dolomitycznego.

Najkorzystniejsze parametry do składowania dwutlenku węgla w obrębie struktury „Choszczno” i „Suliszewo” wykazują dolnojurajskie warstwy komorowskie wieku górny pliensbach (domer) oraz warstwy radowskie i mechowskie wieku synemur. Zbudowane są głównie z piaskowców drobnoziarnistych z wkładkami ilastymi.

Miąższość warstw komorowskich w niecce szczecińskiej waha się między 70 a 180 m, z czego w obrębie zbiornika „Choszczno” wynosi 100 m, natomiast „Suliszewo” około 80 m. Grubość warstw radowskich i mechowskich wynosi odpowiednio 120 i 80 m.

Osady warstw łobeskich stanowią serię podścielającą warstwy komorowskie. Wiek warstw łobeskich określono na pliensbach dolny - karyks. W ujęciu ogólnym warstwy łobeskie na obszarze niecki szczecińskiej zbudowane są z osadów ilasto-mułowcowo-piaszczystych. Grubość serii podścielającej warstwy komorowskie w rejonie analizowanych zbiorników wynosi od 20 („Choszczno”) do 40 m („Suliszewo”). Poniżej utworów zbiornikowych zalegają iłowce ciemnoszare wieku trias górny (retyk).

## Analiza zagrożeń geologicznych

### Opis czynników ryzyka na podstawie bazy Quintessa FEP (*Features Events Processe*)

Na bezpieczeństwo procesu sekwestracji składa się wiele czynników technologicznych takich jak: wychwytywanie, transport, zatłaczanie i geologiczne magazynowanie CO<sub>2</sub> oraz zamknięcie składowiska.

Wśród zagrożeń geologicznych należy wyróżnić: szczelność warstwy izolacyjnej występującej w nadkładzie warstwy wodonośnej, połączenia hydrauliczne między zbiornikiem, a poziomami użytkowymi wód podziemnych i powierzchniowych, istniejące i archiwalne otwory wiertnicze oraz sposób ich likwidacji, występowanie uskoków i ich przewodność hydrauliczna.

Do identyfikacji zagrożeń wynikających z zatłaczania dwutlenku węgla do solanek w rejonie Choszczna i Suliszewa posłużono się bazą *Quintessa FEP (Features Events Processes)*. Analizie zostały poddane tylko te kategorie i klasy niniejszej bazy, które miały związek z badanym rejonem.

**Tab. 1.1.17\_19** Opis czynników ryzyka (baza Quintessa FEP)

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
0.Podstawa analizy ryzyka	Cel analizy		Analiza została przeprowadzona dla procesu zatłaczania CO <sub>2</sub> do poziomów solankowych wieku górnego pliensbach i synemur (jura dolna).
	Końcowy punkt analizy		Wpływ składowiska na otoczenie geologiczne i powierzchnię terenu.
	Przestrzenny zakres analizy		Skały podłoża zbiorników, utwory zbiornikowe, warstwa izolacyjna, nadkład.
	Zakres czasowy analizy		Zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE.
	Założenia dotyczące magazynowania CO <sub>2</sub>		Okres zatłaczania zależy będzie od ilości CO <sub>2</sub> dostarczonego do zbiornika w ciągu roku.
	Założenia dotyczące przyszłej działalności ludzkiej		Składowanie CO <sub>2</sub> nie wpłynie na przyszłą działalność ludzką.
	Regulacje prawne		Składowanie będzie spełniać wymogi ustaw dotyczących prawa geologicznego i górniczego, ochrony środowiska i Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
			2009/31/WE.
	Modele symulacyjne i dostępność danych		Utwory zbiornikowe wieku górnego plejstocenu (domek) zostały zbadane kilkoma otworami wiertniczymi. Modele symulacyjne są w trakcie opracowania.
1.Czynniki zewnętrzne	Czynniki geologiczne	Tektonika	Dotychczasowe rozpoznanie nie potwierdza występowania uskoków w skałach zbiornikowych i nadkładzie.
		Działalność wulkaniczna i magmowa	Nie stwierdzono.
		Trzęsienia ziemi	Nie występowały.
		Aktywność hydrotermiczna	Nie występowała.
		Wpływ hydrogeologii na zmiany geologiczne	Nie wystąpią.
		Procesy erozyjne na dużą skalę	Nie dotyczy.
		Uderzenie meteorytem	Nie występują w znaczącej skali.
	Czynniki klimatyczne	Globalna zmiana klimatu	Nie dotyczy i nie rozważano.
		Regionalna i lokalna zmiana klimatu	
		Zmiana poziomu morza	
		Wpływ zlodowaceń (efekty)	
		Wpływ lodowców i lądolodów na składowisko CO <sub>2</sub>	
		Wpływ ciepłego klimatu	
		Hydrologiczna i hydrogeologiczna reakcja na zmiany klimatyczne	
		Reakcja na zmiany klimatyczne	
Przyszła aktywność ludzka	Wpływ człowieka na klimat	Redukcja dwutlenku węgla.	
	Wpływ poziomu	Nie będzie mieć wpływu.	

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
		wiedzy i motywacji	
		Rozwój społeczeństwa i instytucji	
		Rozwój technologiczny	Może wpłynąć na ograniczenie emisji CO <sub>2</sub> .
		Działalność wiertnicza	Będzie ograniczona.
		Aktywność górnicza	Nie przewiduje się.
		Aktywność ludzka na powierzchni	Składowanie CO <sub>2</sub> nie wpłynie na przyszłą działalność ludzką.
		Gospodarka wodna	Może być ograniczona.
		Wpływ CO <sub>2</sub> na przyszłe operacje geologiczne	Ograniczy działalność wiertniczą i eksploatacyjną.
		Eksplodacje i katastrofy	Nie przewiduje się.
2. Magazynowanie CO <sub>2</sub>	Przed zakończeniem procesu składowania CO <sub>2</sub>	Założenia projektowe	Zatłoczenie CO <sub>2</sub> w fazie nadkrytycznej dwoma otworami odpowiednio po jednym dla zbiorników „Choszczno” i „Suliszewo”
		Ilość zatłoczonego CO <sub>2</sub> , tempo zatłaczania	W zależności od ilości otworów tłocznych CO <sub>2</sub> .
		Skład zatłoczonego CO <sub>2</sub>	Zgodny z wymaganiami.
		Harmonogram inwestycji	Nie jest opracowany na tym etapie.
		Monitoring zatłaczania CO <sub>2</sub>	Jest przewidziany w trakcie zatłaczania. Będzie obejmował monitorowanie ciśnień, szczelności, składu zatłaczanego gazu. Do tych celów zostanie wykorzystana geofizyka otworowa i powierzchniowa oraz monitoring chemiczny.
		Kontrola jakości zatłoczonego CO <sub>2</sub>	Będzie prowadzona.
		Wypadki i nieprzewidywane zdarzenia	Odpowiednie procedury zostaną opracowane razem z projektem.
		Ciśnienie składowania	Dobór ciśnienia będzie ograniczony głównie ciśnieniem szczelinowania.



Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
	Po zakończeniu procesu składowania CO <sub>2</sub>	Monitoring zatłoczonego CO <sub>2</sub>	Monitorowanie zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE.
3. Własności, oddziaływanie i transport CO <sub>2</sub>	Własności CO <sub>2</sub>	Własności fizyczne i zachowanie się faz CO <sub>2</sub>	Przewidywana głębokość i temperatura wskazują, że CO <sub>2</sub> będzie występował w stanie nadkrytycznym.
		Rozpuszczalność i tworzenie nowych związków pod wpływem wody i CO <sub>2</sub>	Zagadnienie to będzie rozwiązane w oparciu o symulacje komputerowe.
	Oddziaływanie CO <sub>2</sub>	Wpływ ciśnienia na skały uszczelniające nadkładu	Nie będzie mieć wpływu na uszczelniające skały nadkładu w przypadku właściwego doboru ciśnienia zatłaczania.
		Wpływ ciśnienia składowania na płyny złożowe	Ciśnienie składowania spowoduje falę nadciśnienia w płynach złożowych, co w konsekwencji może przyczynić się do zwiększenia dopływu do odległych ujęć wód podziemnych.
		Reakcje z węglowodorami	Nie przewiduje się reakcji.
		Wypieranie solanki ze struktury	Proces będzie miał miejsce w związku z zwiększonym ciśnieniem zatłaczania CO <sub>2</sub> .
		Warunki i procesy mechaniczne	Nie badano wpływu CO <sub>2</sub> na skały, nie przewiduje się również zmian własności mechanicznych skał ewentualnie spowodowanych przez proces szczelinowania.
		Indukowanie ruchów sejsmicznych	Nie przewiduje się.
		Obniżenie lub podwyższenie powierzchni terenu	Może wystąpić w minimalnym zakresie.
		Wpływ temperatury na strefę złożową	Nie jest rozpoznane i wymaga analizy.
		Chemizm wód	Zatłoczenie CO <sub>2</sub> spowoduje zmianę pH wody w zbiorniku.
		Zanieczyszczenie metalami ciężkimi	Istnieje prawdopodobieństwo zanieczyszczenia metalami ciężkimi warstwy zbiornikowej.

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
		Faza mineralna: - rozpuszczanie i wytrącanie się minerałów; - wymiana jonowa.	Procesy te mogą zachodzić w bardzo długim okresie czasu na kontakcie ze skałami otaczającymi.
		Skład chemiczny zatłoczonego gazu	Na obecnym etapie nie jest znany skład chemiczny gazu.
		Tworzenie się hydratów gazowych	Na obecnym etapie nie analizowano.
		Biogeochemia	
		Procesy mikrobiologiczne	
4.Geosfera	Geologia	Położenie geograficzne	Zbiorniki znajdują się w obrębie niecki szczecińskiej – jednostka Stargardu.
		Zasoby naturalne	W rejonie zbiornika występują wody termalne i GZWP
		Typ skał zbiornikowej	Piaskowiec
		Geometria zbiornika	Antyklina
		Aktualna eksploatacja skał zbiornikowych	Nie są eksploatowane.
		Formacja uszczelniająca	Dolnojurajskie utwory warstw gryfickich (iłowce, mułowce, łupki ilaste).
		Dodatkowe uszczelnienie	Nie występuje.
		Litologia	Piaskowiec drobnoziarnisty.
		Struktura porowatości	Średnia porowatość wynosi: „Choszczno” – 24,6 % (w-wy komorowskie), 26,1 % (w-wy radowskie + mechowskie); „Suliszewo” – 26,2 % (w-wy komorowskie), 27,6 % (w-wy radowskie + mechowskie).
		Niejednorodność	Zbiornik jest jednorodnie wykształcony w całym obszarze omawianej struktury.
		Uskoki, szczeliny	Dotychczasowe rozpoznanie nie potwierdza występowania uskoków w skałach zbiornikowych i nadkładzie.
		Nieudokumentowane zagrożenia	Ze względu na bliskie występowanie wody termalnej problem ten musi być szczegółowo rozpatrzony przed

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
			podjęciem decyzji o budowie stanowiska pilotowego.
		Pionowy gradient geotermiczny	Wynosi 3 °C/100m
		Ciśnienie wody występujące w stropie warstwy zbiornikowej	W wyniku zatłaczania nastąpi wzrost ciśnienia w stropowej partii kolektora, o 0,5-1 MPa w zależności od wariantu zatłaczania, a w rejonie Choszczna dodatkowo w izolacyjnej warstwie toarku, o 0,5-1,2 MPa.
		Mechaniczne własności skał zbiornikowych	Brak danych.
		Własności petrofizyczne	<p><b>Średnia przepuszczalność: „Choszczno”</b> – 2209,9 mD (w-wy komorowskie), 2831,6 mD (w-wy radowskie+mechowskie);  <b>„Suliszewo”</b> – 2719,5 mD (w-wy komorowskie), 3582,4 mD (w-wy radowskie+mechowskie)</p> <p><b>Średnia porowatość:</b>  <b>„Choszczno”</b> – 24,6 % (w-wy komorowskie), 26,1 % (w-wy radowskie+mechowskie);  <b>„Suliszewo”</b> – 26,2 % (w-wy komorowskie), 27,6 % (w-wy radowskie+mechowskie)</p> <p><b>Średnie zailenie:</b>  <b>„Choszczno”</b> – 23 % (w-wy komorowskie), 14 % (w-wy radowskie+mechowskie);  <b>„Suliszewo”</b> – 19 % (w-wy komorowskie), 10 % (w-wy radowskie+mechowskie)</p>
	Płyny złożowe	Własności płynów złożowych	Będzie określone w innym opracowaniu
		Hydrogeologia	Będzie określone w innym opracowaniu
Węglowodory		Brak danych.	
5.Otwory wiertnicze	Wiercenie i konstrukcja	Likwidacja otworów zatłaczających	Zagadnienia zostaną opracowane i ujęte w projekcie pilotażowym.
		Konstrukcja i wyposażenie	

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
		odwiertów	
		Rekonstrukcje odwiertów	
		Odwierty monitorujące (obserwacyjne)	
		Dokumentacja otworowa	
	Likwidacja odwiertów i ich szczelność	Likwidacja i uszczelnienie odwiertów	
		Rozszczelnienie odwiertu	
		Erupcje	
		Archiwalne otwory wiertnicze	
		Ruchy górotworu w miejscu występowania odwiertów	
	6. Środowisko przy powierzchni	Środowisko lądowe	
Gleba i osady			Nie przewiduje się.
Erozja i depozycja			Nie przewiduje się.
Atmosfera i meteorologia			Nie analizowano.
Reżim hydrologiczny i bilans wodny			Składowanie CO <sub>2</sub> nie będzie miało wpływu na zmiany reżimu hydrologicznego.
Wody powierzchniowe i przypowierzchniowe			Ponieważ nie przewiduje się ucieczek CO <sub>2</sub> to nie będzie mieć wpływu na wody powierzchniowe i poziomy wód przypowierzchniowych.
Lądowe systemy ekologiczne flora i fauna lądowa			Nie przewiduje się wpływu. Zagrożenie może wystąpić w przypadku awarii systemu.
Środowisko morskie		Cechy wybrzeża	Nie ma związku z analizowanym składowiskiem.
		Lokalna oceanografia	
		Osady morskie	
		Flora i fauna morska	
Zachowanie się ludzi		Morskie systemy ekologiczne	Nie analizowano.
		Cechy człowieka Dieta, odżywianie	

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
		Styl życia	Nie przewiduje się.
		Korzystanie z wody i gruntów	
		Charakterystyka lokalnej społeczności	
		Budynki	
7. Wpływ inwestycji	Własności systemu składowania	Wydajność systemu: -Utrata szczelności i wycieki	Nie przewiduje się.
	Wpływ na środowisko fizyczne	Zanieczyszczenie wód podziemnych	Zanieczyszczenie wód podziemnych w tym użytkowych zbiorników GZWP jest mało prawdopodobne.
		Wpływ na grunty	Nie przewiduje się.
		Uwolnienie do atmosfery	Możliwe tylko w przypadku awarii lub nieszczelności otworu wiertniczego.
		Wpływ na eksploatację zasobów naturalnych	Może mieć wpływ na eksploatację wód termalnych rejonu Pyrzowic i Stargardu Szczecińskiego.
		Wpływ na hydrogeologię	Nie przewiduje się.
		Wpływ na chemizm	Zatłaczanie CO <sub>2</sub> w bardzo ograniczonym stopniu wpłynie na chemizm.
		Wpływ na zjawiska sejsmiczne	Nie przewiduje się.
		Wpływ na topografię	Ewentualny wpływ procesu zatłaczania na topografię będzie minimalny.
		Wpływ na oceany	Nie ma związku z analizowanym składowiskiem.
	Wpływ na florę i faunę	Wpływ CO <sub>2</sub> na zwierzęta	Ewentualna powolna migracją CO <sub>2</sub> do warstw przypowierzchniowych nie powinna wpływać na zwierzęta.
		Wpływ CO <sub>2</sub> na rośliny	Nie przewiduje się negatywnego wpływu na szatę roślinną badanego rejonu.
		Ekotoksykologia zanieczyszczeń	Nie analizowano.
		Efekt ekologiczny	Nie analizowano.
		Modyfikacja systemów mikrobiologicznych	Nie analizowano.

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
	Wpływ na ludzi	Wpływ CO <sub>2</sub> na zdrowie ludzi	Może dojść do wypływu dużych ilości CO <sub>2</sub> w przypadku awarii.
		Toksyczność związków zatłaczanych	Nie przewiduje się zatłaczania związków toksycznych.
		Wpływ fizycznych uszkodzeń gruntu na ludzi	Nie przewiduje się.
		Wpływ na środowisko ekologiczne	Istnieje bardzo małe prawdopodobieństwo migracji CO <sub>2</sub> po bardzo długim okresie czasu. Ewentualne wycieki będą zauważone przez monitoring po zamknięciu składowiska.

### Zagrożenia związane ze szczelnością warstwy izolacyjnej oraz z istniejącymi i zlikwidowanymi otworami wiertniczymi

Jednym z głównych parametrów geologicznych mającym bezpośredni wpływ na cały proces składowania CO<sub>2</sub> jest szczelność zbiornika, którą gwarantują utwory izolacyjne w nadkładzie warstwy wodonośnej.

Na obecnym etapie rozpoznania nie wykazano by warstwa izolacyjna była zaburzona uskokami, jak również przy odpowiednim doborze ciśnienia zatłaczania, nie wystąpi jej szczelinowanie, co w efekcie gwarantuje, że nieprzepuszczalny charakter warstwy izolacyjnej nie zostanie zaburzony.

Ryzyko niekontrolowanego przemieszczania się dwutlenku węgla może prowadzić do jego wycieku. Jedną z potencjalnych dróg ucieczki CO<sub>2</sub> są otwory wiertnicze dlatego ważna jest ich lokalizacja oraz zapoznanie się z ich ogólnym stanem technicznym i sposobem likwidacji. W oparciu o poprzednie opracowania niniejszego projektu, za najbardziej niekorzystne przyjęto otwory naruszającą warstwę izolacyjną

Analizie poddano 19 głębokich otworów wiertniczych zlokalizowanych do 30 km od obu wytypowanych zbiorników, z czego trzy otwory tj.: Dolice Geo-1, Żabicko Geo-1 oraz Drawno Geo-3 nie nawiercają warstwy zbiornikowej. Dystans jaki dzieli niniejsze otwory od warstwy zbiornikowej wynosi odpowiednio około: 240, 297 i 3,5 m. Przyjmując powyższe założenie uznano, że otwory Dolice Geo-1 i Żabicko Geo-1 nie stanowią po

Rozpoznanie analizowanych rejonów przez otwory wiertnicze jest stosunkowo niewielkie – w rejonie samych zbiorników występuje po jednym głębokim otworze wiertniczym – Choszczno IG-1 i Suliszewo 1. Pozostałe głębokie otwory są rozmieszczone w nieregularnej siatce i występują w znacznych odległościach od granic analizowanych zbiorników.

Najbliżej zbiornika Choszczno około 7 km występuje otwór Dolice Geo-1, nieco dalej około 16 km znajdują się otwory Pławno 1 i Żabicko Geo-1. Wokół zbiornika Suliszewo znajduje się szereg otworów wiertniczych zlokalizowanych w odległości od około 8 do 18 km (**Fig. 1.1.17\_73**). Na północny-wschód od granicy

zbiornika Suliszewo występuje duże zagęszczenie otworów wykonanych w latach 50-tych i 60-tych ubiegłego wieku.

Stosunkowo duża ilość głębokich odwiertów występuje również na północny-zachód od obu potencjalnych zbiorników.

Z uwagi na trudności z pozyskaniem informacji odnośnie otworów występujących w rejonie OG Pырzyce i Stargard Szczeciński, ustalono jedynie ich głębokość.

Zakład geotermalny w Pырzycach posiada w sumie cztery odwierty, dwa wydobywcze Pырzyce GT-1 i Pырzyce GT-3 oraz dwa zatłaczające Pырzyce GT-2 i Pырzyce GT-4. Ich głębokość wynosi około 1630 m, co pozwala na pobór wody ze słabo zwięzłych piaskowców warstw mechowskich i ponowne jej zatłoczenie do utworów zbiornikowych.

Ciepłownia w Stargardzie Szczecińskim dysponuje dwoma otworami wiertniczymi GT-1 (produkcyjny) i GT-2 (zatłaczający) o głębokości około 2670 m.

**Tab. 1,1,17\_20** Zestawienie głębokich otworów wiertniczych zlokalizowanych w rejonie zbiornika Choszczno i Suliszewo

<b>Lp.</b>	<b>Nazwa otworu</b>	<b>Współ. X ukł. 92</b>	<b>Współ. Y ukł. 92</b>	<b>Rzędna [m]</b>	<b>Głębokość [m]</b>	<b>Rok wiercenia</b>	<b>Stratygrafia na dnie</b>
1.	Choszczno IG-1	590589.27	258572.20	65,0	1500,5	1960	synemur dolny
2.	Suliszewo 1	598485.11	273020.97	95,0	1726,0	1961	trias
3.	Dolice Geo-1	598723.15	245597.62	39,0	1179,0	1960	jura
4.	Pławno 1	584632.44	276070.76	86,0	2886,1	1971	perm
5.	Radęcin 1	584698.70	285445.29	77,5	2767,0	1971	perm
6.	Żabicko Geo-1	573346.29	258618.56	95,0	1030,4	1960	jura
7.	Mąkowary 1	604491.19	287037.33	95,0	2670,0	1969	trias
8.	Marianowo-1	620160.56	243650.61	59,2	2917,0	1990	trias
9.	Marianowo-2	622670.43	245914.14	52,3	2100,0	1989	trias
10.	Marianowo-3	617078.26	243391.26	53,7	2045,0	1991	trias
11.	Dobrzany-1	617803.37	259077.70	80,0	2261,9	1961	trias górny



<b>Lp.</b>	<b>Nazwa otworu</b>	<b>Współ. X ukt. 92</b>	<b>Współ. Y ukt. 92</b>	<b>Rzędna [m]</b>	<b>Głębokość [m]</b>	<b>Rok wiercenia</b>	<b>Stratygrafia na dnie</b>
12.	Chociwel IG-1	623842,32	262084,06	95,0	2906,7	1963	jura dolna
13.	Chociwel-3	625436,24	253920,20	87,5	3361,0	1987	trias dolny
14.	Stargard-1	618465,02	233409,01	32,5	5444,0	1976	karbon?
15.	Drawno-1	608007.87	286582.88	100,0	3228,0	1957	perm górny
16.	Drawno Geo-1	608058.61	288216.47	115,0	826,6	1958	jura
17.	Drawno Geo-2	609161.37	287079.45	100,0	1529,9	1959	trias
18.	Drawno Geo-3	608440.70	287973.98	115,0	1002,9	1959	lias
19.	Drawno Geo-4	611103.74	287926.00	105,0	1603,0	1968	trias

## Ochrona zasobów

### Oddziaływanie składowiska na Obszary Natura 2000

Wpływ potencjalnych składowisk „Choszczno” i „Suliszewo” na faunę, florę znajdującą się na terenie niniejszych zbiorników oraz ich sąsiedztwie wykonano w oparciu o bazę systemu Natura 2000. W Polsce program Natura 2000 funkcjonuje na podstawie prawa Unii Europejskiej (Dyrektywa Rady 79/409/EWG i 92/43/EWG) oraz ustawie z dnia 16 kwietnia 2004 roku o ochronie przyrody.

Obszary Natura 2000 składają się z dwóch typów terenów chronionych: obszary specjalnej ochrony ptaków (OSO) i specjalne obszary ochrony siedlisk (SOO).

Na obszarze potencjalnego składowiska „Choszczno” nie występują obszary Natura 2000. Jedynie w odległości około 3,5 km na zachód od jego granicy projektowany jest obszar SOO – *Dolina Płoni i Jezioro Miedwie* (Fig. 1.1.17\_73 nr 4).

W rejonie składowiska „Suliszewo” oraz w jego sąsiedztwie występują następujące typy terenów chronionych:

- obszar SOO – *Lasy Puszczy nad Drawą* – występujący w centralnej i południowo-zachodniej części składowiska (Fig. 1.1.17\_73 nr 1). Powierzchnia obszaru wynosi 190279 ha. Występuje na niej m.in. około 38 gatunków ptaków z Załącznika I Dyrektywy Ptasiej, 14 gatunków z Polskiej Czerwonej Księgi (PCK). Teren stanowi jedno z najważniejszych w Polsce lęgówisk żurawia.
- projektowany obszar OOS – *Dolina Inny* – jego teren rozciąga się wzdłuż zachodniej granicy potencjalnego składowiska w nieznacznym stopniu pokrywa teren zbiornika w północnej i południowej jego części. W ujęciu ogólnym jest to obszar ważny dla ochrony bioróżnorodności (16 rodzajów siedlisk), na którym zlokalizowane są najgłębsze i najaktywniejsze hydrologiczne torfowiska źródłiskowe z wodą wydobywającą się pod znacznym ciśnieniem hydrostatycznym (Fig. 1.1.17\_73 nr 5). Projektowana powierzchnia terenu chronionego wynosi 4471,8 ha.
- obszar SOO – *Uroczyska Puszczy Drawskiej* – zlokalizowany jest na wschód od rejonu zbiornika i tylko jego projektowana część w niewielkim stopniu pokrywa się ze składowiskiem (Fig. 1.1.17\_73 nr 2, 6). Obszar jest bardzo ważny dla zachowania zasobów torfowisk przejściowych i alkalicznych, a także jezior różnych typów. Jest to także obszar liczego występowania i bardzo dobrego zachowania rzek włosienicznikowych.
- obszar OSO – *Ostoja Ińska* – oddalony około 4 km na północ od analizowanego terenu (Fig. 1.1.17\_73 nr 3). Obszar ma duże znaczenie dla fauny, w szczególności dla ptaków oraz płazów (12 gatunków) i gadów (4 gatunki) ze względu na duży udział dobrze zachowanych siedlisk podmokłych. Bardzo ważna ostoja bielika i kilku innych gatunków drapieżnych. Powierzchnia obszaru wynosi 87710,9 ha.

Ewentualny, powolny wyciek dwutlenku węgla ze zbiornika i jego koncentracja w warstwie przyglebowej będzie stanowić zagrożenie dla występującej na danym rejonie fauny i flory. Niewielkie stężenie CO<sub>2</sub> z uwagi na procesy fotosyntezy ma pozytywny wpływ na roślinność, natomiast jego większe ilości uruchamiają procesy obumierania korzeni roślin.

## **Oddziaływanie składowiska na ujęcia wód użytkowych i termalnych**

Na północny zachód od potencjalnych zbiorników geologicznego składowania „Choszczno” i „Suliszewo” występują ciepłownie termalne „Pyrzyce” i „Stargard Szczeciński”.

Ciepłownia „Pyrzyce” funkcjonuje od 1997 roku i zaopatruje praktycznie całe miasto w ciepło. Obszar górniczy ciepłowni znajduje się w odległości około 20 km od zbiornika „Choszczno” i około 35 km od „Suliszewa”.

Zakład ujmuje wody dolnojurajskie znajdujące się w drobnoziarnistych, słabo zwięzłych piaskowcach warstw mechowskich na głębokości od 1585,1 do 1625,0. Wydobywane wody termalne są wysoko zmineralizowaną solanką o temperaturze osiągającej 64°C w złożu i 61°C na powierzchni (Biernat, Kulik, Noga, Kosma, 2011).

Ciepłownia w Stargardzie Szczecińskim rozpoczęła produkcję ciepła w 2005 roku i od samego początku borykała się z wieloma poważnymi problemami natury technicznej, co spowodowało jej zamknięcie w 2010 roku. W ubiegłym roku zakład zmienił właściciela, w wyniku czego może dojść do jego reaktywacji. Obszar górniczy „Geotermii Stargard” znajduje się w odległości około 23 km od północnej granicy zbiornika „Choszczno” oraz 30 km od „Suliszewa”.

Temperatura wody dostarczanej przez otwór wydobywczy wynosi 86,9°C przy mineralizacji zbliżonej do mineralizacji wody w Pyrzycach (Nowak, Stachel, 2004).

Zatłaczanie CO<sub>2</sub> do zbiorników „Choszczno” i „Suliszewo” może mieć wpływ w przyszłości na eksploatację wód termalnych rejonu Pyrzowic i Stargardu Szczecińskiego.

W rejonie potencjalnych składowisk „Choszczno” i „Suliszewo” znajdują się główne zbiorniki wód podziemnych (morenowe, sandrowo-morenowe) GZWP wieku czwarto i trzeciorzędowego, stanowiące obszary wysokiej i najwyższej ochrony.

Nie przewiduje się oddziaływania, potencjalnych składowisk na zbiornik wód podziemny położonych powyżej warstwy izolacyjnej przy założeniu, że technologia zatłaczania nie spowoduje przebiegów hydraulicznych.

## Ocena wpływu składowania CO<sub>2</sub> w poziomach solankowych rejonu Choszczno-Suliszewo na poziomy wodonośne

Ocena wpływu składowania dwutlenku węgla w rejonie antyklin Choszczna i Suliszewa, na poziomy wodonośne została obejmująca analizę:

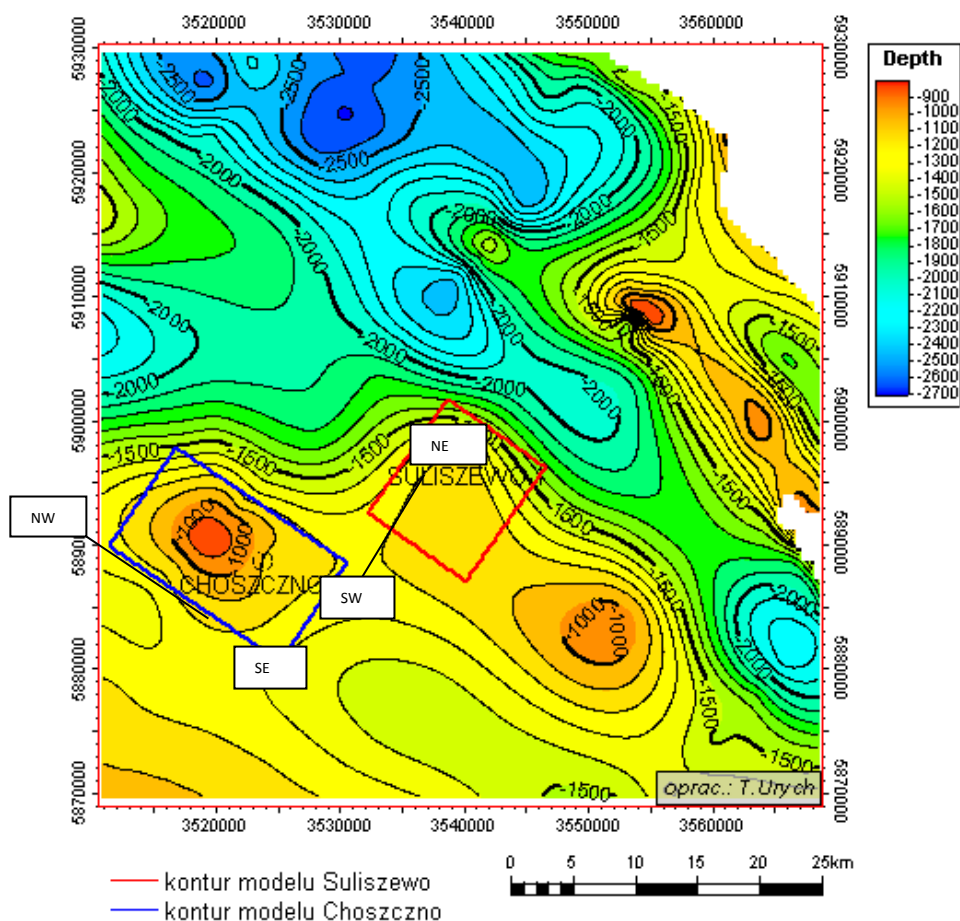
1. efektywności zatłaczania CO<sub>2</sub> do poziomów wodonośnych dolnej jury;
2. przemieszczania się gazu w poziomie wodonośnym i jego izolacji;
3. zmian ciśnienia,

które zostały opracowane na podstawie wykonanych modeli cyfrowych.

### Dane wyjściowe do modeli cyfrowych

Dane wyjściowe do przedstawionych w dalszej części opracowania modeli cyfrowych dostarczył zrealizowany przez zespół AHG model statyczny struktur Choszczna i Suliszewa (Papiernik i in. 2011). Zasadnicza różnica w wyjściowych parametrach hydrogeologicznych, w porównaniu do wcześniejszego opracowania GIG (Solik-Heliasz i in. 2011), dotyczyła porowatości i przepuszczalności utworów kolektora, to jest warstw komorowskich pliczbachu górnego. W **Tab. 1.1.17\_21** przedstawiono wartości współczynnika przepuszczalności pochodzące ze wspomnianego modelu statycznego. Przepuszczalność warstw komorowskich jest w nim 3-5 krotnie wyższa, od przepuszczalności określonej na podstawie archiwalnych badań laboratoryjnych przedstawionych w cytowanej powyżej pracy GIG.

Można oczekiwać, że stwierdzone na podstawie przytoczonego modelu, **bardzo dobre parametry zbiornikowe utworów warstw komorowskich dolnej jury**, będą decydowały o możliwościach i efektywności podziemnego składowania dwutlenku węgla w rejonach Choszczna i Suliszewa (**Fig. 1.1.17\_74**).



**Fig. 1.1.17\_74** Zasięgi modeli numerycznych w rejonie struktur Choszczna i Suliszewo na tle izolinii stropu warstw komorowskich (z zaznaczonymi liniami przekrojów rozkładów nasycenia CO<sub>2</sub>)

**Tab. 1.1.17\_21** Parametry hydrogeologiczne utworów warstw Komorowskich

Zbiornik	Współczynnik przepuszczalności (1) mD	Współczynnik porowatości (1) %	Miąższość m
Choszczno	94,73-3688,66 średnio 300-1600; w rejonie otworu iniekcyjnego średnio 1450	8,64-27,83	79,3
Suliszewo	512,1-3676,22 średnio 1400-2500; w rejonie otworu iniekcyjnego średnio 1400	19,91-27,79	-

(1) na podstawie: Papiernik i in. 2011

## Analiza przemieszczania się CO<sub>2</sub> w poziomach wodonośnych kolektora oraz w jego nadkładzie

Przedmiotem badań modelowych była zasadniczo piaskowcowa seria warstw komorowskich pliensbachu oraz w szerszym ujęciu piaskowce zalegające poniżej, do stropu triasu. Ich miąższość w rejonie obydwóch antyklin jest zbliżona; przedstawiono ją w **Tab. 1.1.17\_22**. Jednocześnie analizowano wpływ iniekcji na ilasty nadkład toarku.

**Tab. 1.1.17\_22** Miąższość utworów dolnej jury.

Zbiornik	Miąższość utworów pliensbachu, synemuru i hetangu m	Miąższość utworów toarku m
Choszczno (otwór Choszczno IG-1)	264,5 (*)	71,5
Suliszewo (otwór Suliszewo-1)	ok. 301	ok. 85

(\*) – nie dowercono do stropu triasu

Modele opracowano przy wykorzystaniu programu Petrasim. Założono w nich iniekcję CO<sub>2</sub> po jednym otworze w obszarze każdej z antyklin, w dwóch przedziałach głębokościowych (**Tab. 1.1.17\_23**). W zbiorniku Choszczno przewidziano zatłaczanie CO<sub>2</sub> otworem Choszczno-2 zlokalizowanym na W od istniejącego otworu Choszczno IG1, a w rejonie zbiornika Suliszewo, w istniejącym otworze Suliszewo-1.

Analizowano wpływ iniekcji w dwóch wariantach:

Wariant 1 (w. 1) - zatłaczanie łącznie  $1 \cdot 10^6$  Mg CO<sub>2</sub>/rok;

Wariant 2 (w. 2) - zatłaczanie łącznie  $2 \cdot 10^6$  Mg CO<sub>2</sub>/rok.

Przewidziano prowadzenie zatłaczania w obszarach obydwóch zbiorników przez okres 25 lat. Łączna ilość zatłoczonego CO<sub>2</sub> wyniesie  $25 \cdot 10^6$  Mg w wariantcie 1 oraz  $50 \cdot 10^6$  Mg w wariantcie 2. Wyznaczone ciśnienie zatłaczania gazu (zamieszczone w **Tab. 1.1.17\_23**) nie przekroczy ciśnienia szczelinowania skał zbiornikowych, które określono według wzorów Eatona oraz Hubberta i Willisa, na odpowiednio 16,55 oraz 16,34 MPa.

**Tab. 1.1.17\_23** Parametry zatłaczania CO<sub>2</sub>

Zbiornik	Rzędna powierzchni terenu m n.p.m.	Rzędne iniekcji m	Ciśnienie zatłaczania CO <sub>2</sub> bar / MPa
Choszczno	98,5	-1123,5- -1140,5 -1244,5- -1267,0	124,5 / 12,45
Suliszewo	95,0	-1187,0- -1207,0 -1285,5- -1306,0	130,5 / 13,05

Przedmiotem analiz była migracja dwutlenku węgla:

1. rozpuszczonego w wodzie;
2. swobodnego.

Przez „rozpuszczony CO<sub>2</sub>” rozumiana jest całkowita ilość dwutlenku węgla znajdująca się w wodach podziemnych (Macioszczyk 1987, Słownik hydrogeologiczny). Chociaż Ciężkowski rozumie pod tym terminem sumę „rozpuszczonego” CO<sub>2</sub> oraz CO<sub>2</sub> „gazowego” w postaci pęcherzyków gazu (Ciężkowski red. 2002). „Rozpuszczony” CO<sub>2</sub> można podzielić na:

- wolny (swobodny; występuje w postaci CO<sub>2(aq)</sub> i H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>);
- związany (występuje w jonach HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> i CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>).

## Rejon Choszczna

### Swobodny CO<sub>2</sub>

Wyniki modelowania wykazały, że zasięg występowania dwutlenku węgla rozpuszczonego w wodzie będzie większy, od zasięgu występowania dwutlenku węgla swobodnego.

Swobodny CO<sub>2</sub> będzie się gromadził w (**Fig. 1.1.17\_75** i **Fig. 1.1.17\_76**):

- 1/ strefie przyotworowej otworu iniekcyjnego, w zasięgu kolektora,
- 2/ stropowej partii kolektora;
- 3/ nadkładzie, w ilastych utworach toarku.

Po 25 latach zatłaczania, swobodny CO<sub>2</sub> będzie się kumulował w strefie przyotworowej, gdzie jego nasycenie w wariancie 1 wyniesie (w skali bezwymiarowej, zmieniającej się od 0 do 1) 0,4, a w stropowej partii 0,9. Gaz ten będzie się przemieszczał w kierunku NW, to jest kopuły antykliny, i gromadził w przystropowej partii kolektora. Jego nasycenie będzie malało w miarę wzrostu odległości od otworu iniekcyjnego, od 0,9 do około 0,3.

W wariancie 2 zasięg CO<sub>2</sub> będzie zbliżony, jedynie nasycenie dwutlenkiem węgla będzie większe; w stropowej partii kolektora przekroczy wartość 0,9.

W obydwóch wariantach zatłaczany dwutlenek węgla nie osiągnie spągowych partii utworów dolnej jury.

Istotne jest, iż **iniekowany dwutlenek węgla już po 10 latach będzie migrował w rejonie kopuły Choszczna do izolacyjnego nadkładu toarku (Tab. 1.1.17\_24)**. W osiowej partii antykliny stwierdzono osłabioną izolację w utworach ilastych, wyrażająca się zawartością frakcji ilowej <75%. W wariancie 1 gaz wypełni stropową partię utworów toarku, a w wariancie 2 – niemal cały profil toarku. W obydwóch wariantach nasycenie CO<sub>2</sub> sięgnie 0,9.

Dodatkowo rozkład nasycenia po 50 latach od rozpoczęcia wskazuje na migrację gazu z przystropowej partii kolektora do ilastego nadkładu. W efekcie zmniejszy się nasycenie swobodnym CO<sub>2</sub> w kolektorze do około 0,3 oraz powiększy się zarówno zasięg, jak i nasycenie, do 0,9, w nadkładzie, w osiowej partii antykliny.

W okresie od 50 do 200 lat zasięg strefy nasycenia swobodnym CO<sub>2</sub> zasadniczo nie ulegnie zmianie, i wyniesie około 5 km (Tab. 1.1.17\_24).

W rejonie antykliny Choszczna utwory toarku, podobnie jak pozostałe osady dolnej jury, będą lokalnie stanowiły kolektor CO<sub>2</sub>. Izolację składowiska będą stanowiły ilaste i margliste utwory jury środkowej i górnej oraz kredy.

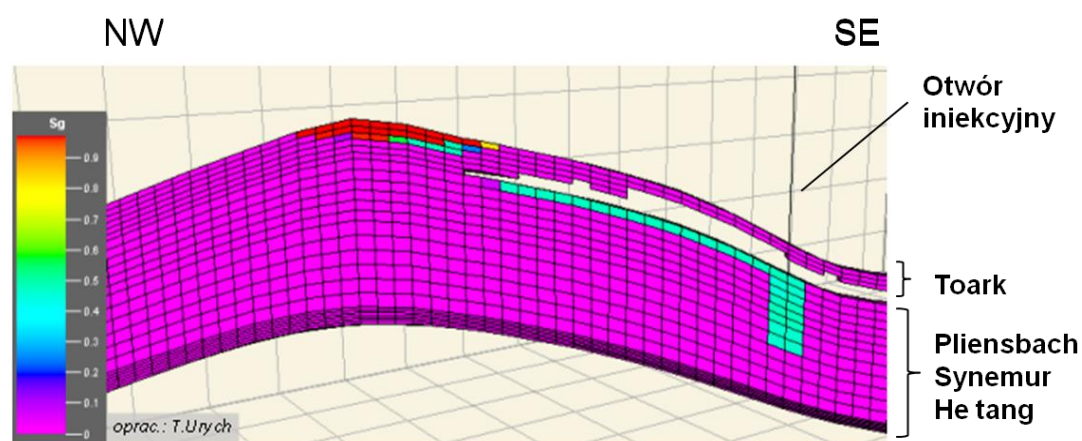


Fig. 1.1.17\_75 Rozkład nasycenia swobodnym CO<sub>2</sub> w strukturze po 25 latach od rozpoczęcia zatłaczania (model Choszczno, wariant 1)

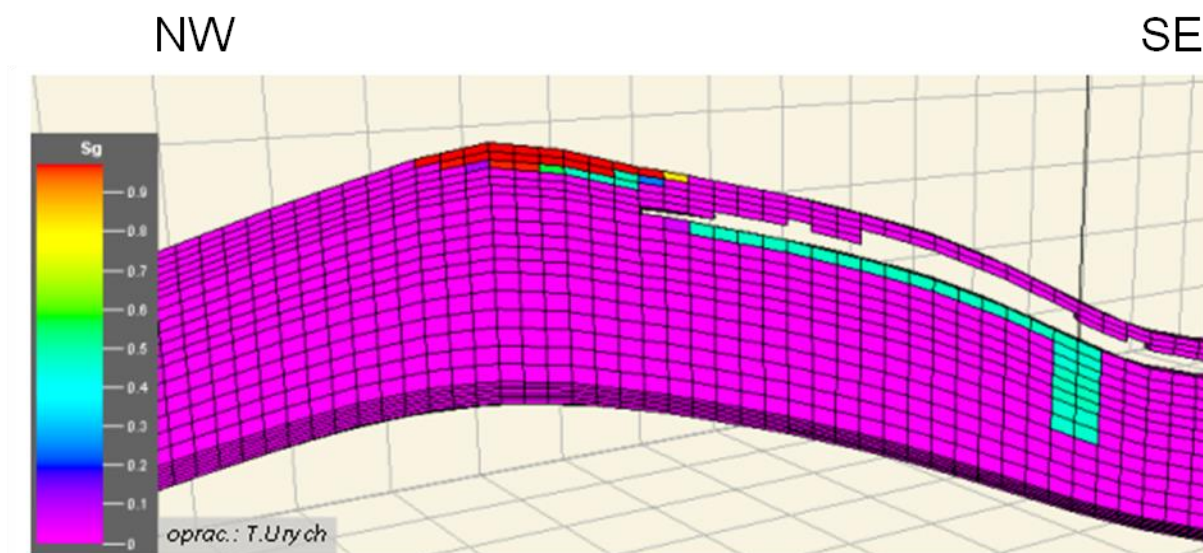


Fig. 1.1.17\_76 Rozkład nasycenia swobodnym CO<sub>2</sub> w strukturze po 50 latach od rozpoczęcia zatłaczania (model Choszczno, wariant 1)



**Tab. 1.1.17\_24** Zasięg strefy nasycenia warstwy kolektora swobodnym CO<sub>2</sub> w wariantie 2, w rejonie Choszczna

Interwał czasu (w latach)	Zasięg zatłaczania (m)
10	3500 (rozpoczęcie częściowego przepływu CO <sub>2</sub> do warstw uszczelnienia)
25	4600
50	5000
100	5050
200	5070

#### Rozpuszczony CO<sub>2</sub>

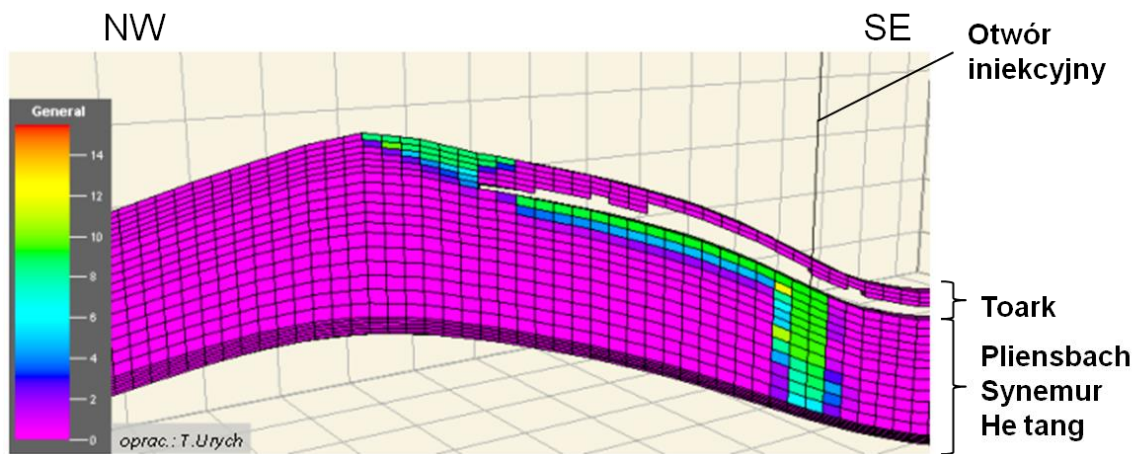
W rejonie antykliny Choszczna, rozpuszczony CO<sub>2</sub> będzie się gromadził, podobnie jak swobodny CO<sub>2</sub>, w:

- 1) strefie przyotworowej, od stropu do spągu kolektora,
- 2) stropowej partii kolektora, i będzie się rozciągał w kierunku NW od otworu iniekcyjnego, to jest w kierunku najwyższej partii antykliny Choszczna,
- 3) izolacyjnych utworach toarku,.

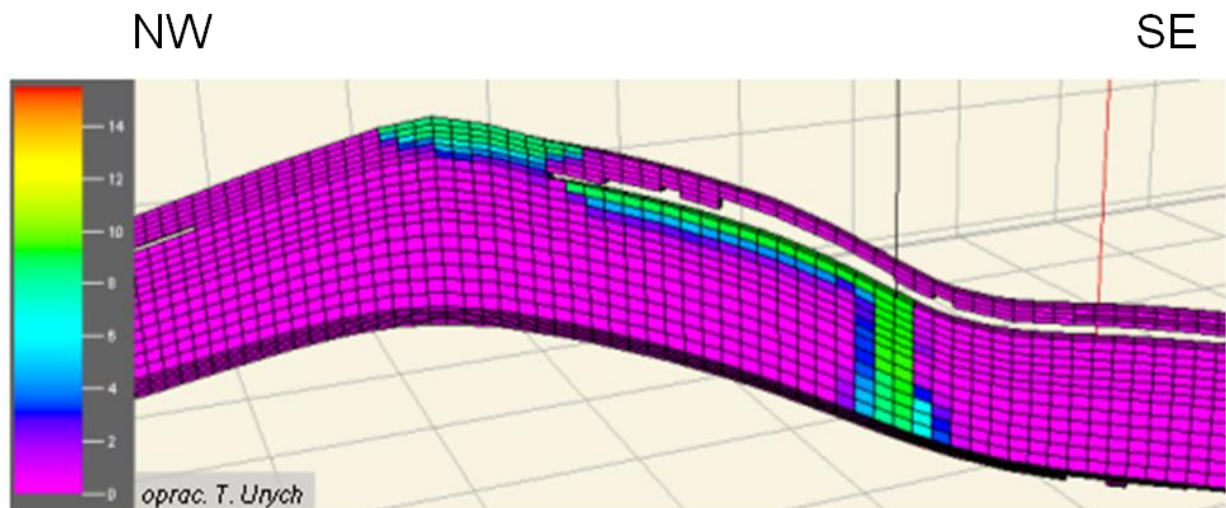
Zasięg CO<sub>2</sub> w wariantie 2 będzie większy, niż w wariantie 1, podobnie, jak zasięg po 50 latach iniekcji będzie większy, w porównaniu do zasięgu po 25 latach (**Fig. 1.1.17\_77, Fig. 1.1.17\_78, Fig. 1.1.17\_79**).

Z punktu widzenia bezpieczeństwa istotne jest, że dwutlenek węgla będzie migrował do ilastych utworów toarku, zalegających bezpośrednio w stropie kolektora. Nastąpi przepływ gazu do nadkładu kolektora. Obszar migracji wystąpi w osiowej partii antykliny Choszczna, w której utwory nadkładu lokalnie wykazują obniżone własności izolacyjne, m.in. zailenie poniżej 75%.

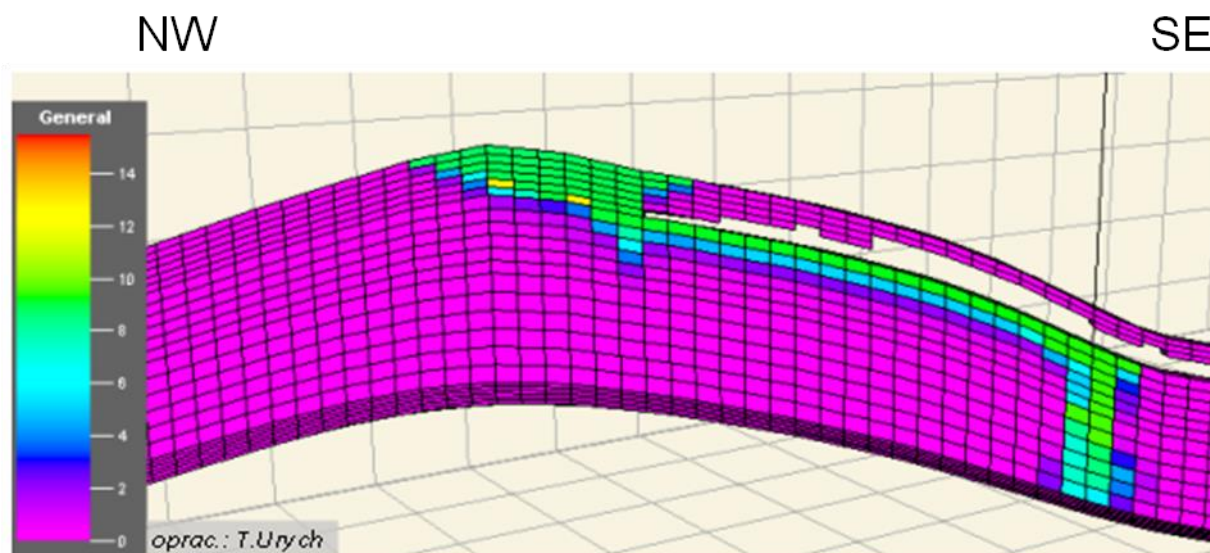
Nasycenie dwutlenkiem węgla rozpuszczonym w wodzie wyniesie w stropowej partii kolektora oraz w strefie przyotworowej w wariantie 1, 10 nm<sup>3</sup> gazu na 1m<sup>3</sup> wody, a w spągowej partii kolektora około 2 nm<sup>3</sup><sub>g</sub>/m<sup>3</sup><sub>w</sub>. W utworach toarku, w szczytowej partii antykliny, nasycenie w wariantie 1 będzie zbliżone, jednak w wariantie 2 lokalnie wyniesie około 12 nm<sup>3</sup><sub>g</sub>/m<sup>3</sup><sub>w</sub>.



**Fig. 1.1.17\_77** Rozkład nasycenia rozpuszczonego CO<sub>2</sub> w strukturze Choszczna po 25 latach od rozpoczęcia zatłaczania (wariorant 1)



**Fig. 1.1.17\_78** Rozkład nasycenia rozpuszczonego CO<sub>2</sub> w strukturze Choszczna po 50 latach od rozpoczęcia zatłaczania (wariorant 1)



**Fig. 1.1.17\_79** Rozkład nasycenia rozpuszczonego CO<sub>2</sub> w strukturze Choszczna po 25 latach od rozpoczęcia zatłaczania (wariant 2)

#### Rejon Suliszewa

**W rejonie tym stwierdzono istotną różnicę, w porównaniu do antykliny Choszczna, w zakresie efektów zatłaczania CO<sub>2</sub>.** Jako pierwsze, chmura CO<sub>2</sub> będzie się przemieszczała w kierunku na SW od otworu tłoczego Suliszewo-1. Po drugie, uznano, że spągowa partia iłów toarku stanowi szczelną izolację, do której dwutlenek węgla nie będzie migrował. Oznacza to, że kolektorem dwutlenku węgla będą jedynie osady od pliensbachu do hetangu.

Zarówno swobodny, jak i rozpuszczony CO<sub>2</sub> będą się koncentrowały w dwóch partiach:

- 1/ w strefie przyotworowej,
- 2/ w stropowej partii kolektora.

Różnica będzie dotyczyła zasięgu chmury CO<sub>2</sub>.

#### Swobodny CO<sub>2</sub>

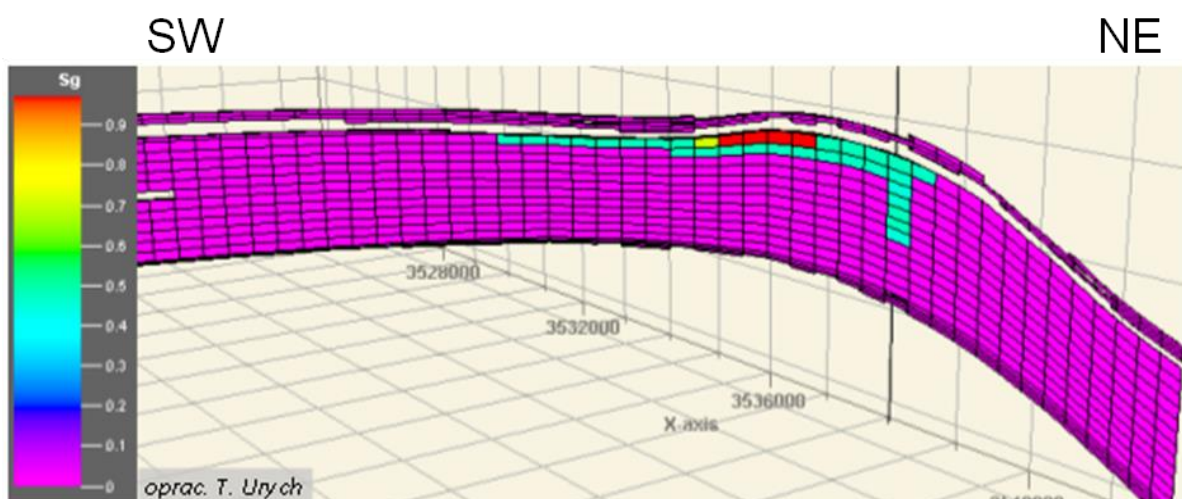
W wariantcie 1 po 50 latach zatłaczania nasycenie swobodnym CO<sub>2</sub>, w strefie przyotworowej, wyniesie około 0,4. Zaznaczy się ono tylko do głębokości iniekcji. Większe nasycenie będzie dotyczyło stropowej partii kolektora, gdzie osiągnie wartość 0,9 (**Fig. 1.1.17\_80**).

W wariantcie 2 po 25 latach od rozpoczęcia iniekcji nasycenie gazem w stropowej partii kolektora wyniesie do 0,9, a po 50 latach zmniejszy się do przeciętnie 0,4 (**Fig. 1.1.17\_81** i **Fig. 1.1.17\_82**); będzie temu odpowiadał wzrost nasycenia rozpuszczonego CO<sub>2</sub>, co przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_84** i **Fig. 1.1.17\_85**.

W wariantcie 2 zasięg swobodnego CO<sub>2</sub> będzie się stopniowo powiększał, od 2 kilometrów po 10 latach zatłaczania, do 8 kilometrów po 200 latach (Tab. 1.1.17\_25). W ujęciu planarnym składowisko Suliszewo będzie większe i bardziej „mobilne”, od składowiska Choszczno.

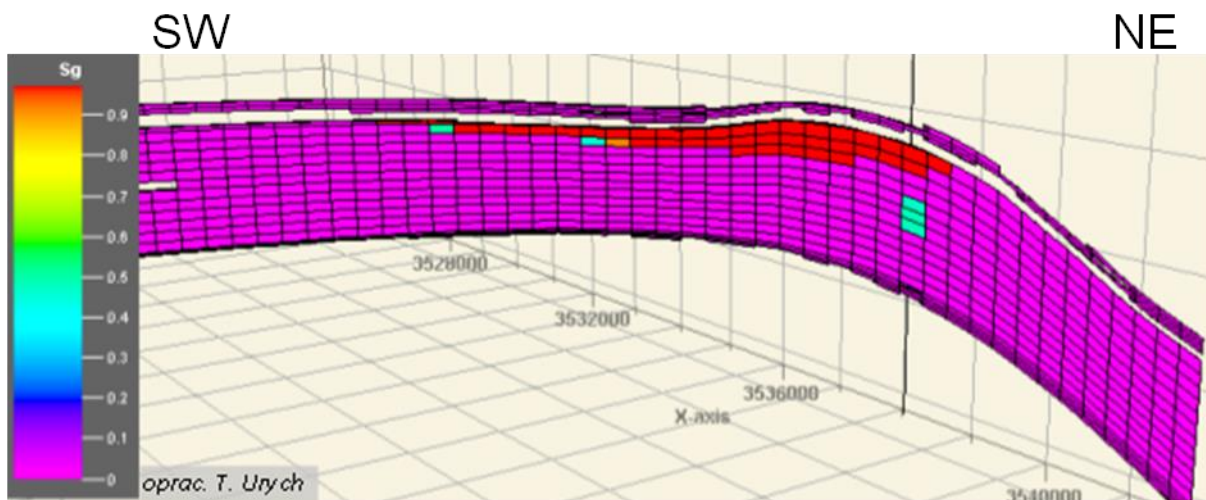
**Tab. 1.1.17\_25** Zasięg strefy nasycenia swobodnym CO<sub>2</sub> w wariantcie 2, w rejonie Suliszewa

Lata od rozpoczęcia zatłaczania	Zasięg zatłaczania (m)
10	2000
25	4000
50	5200
100	6500
200	8000

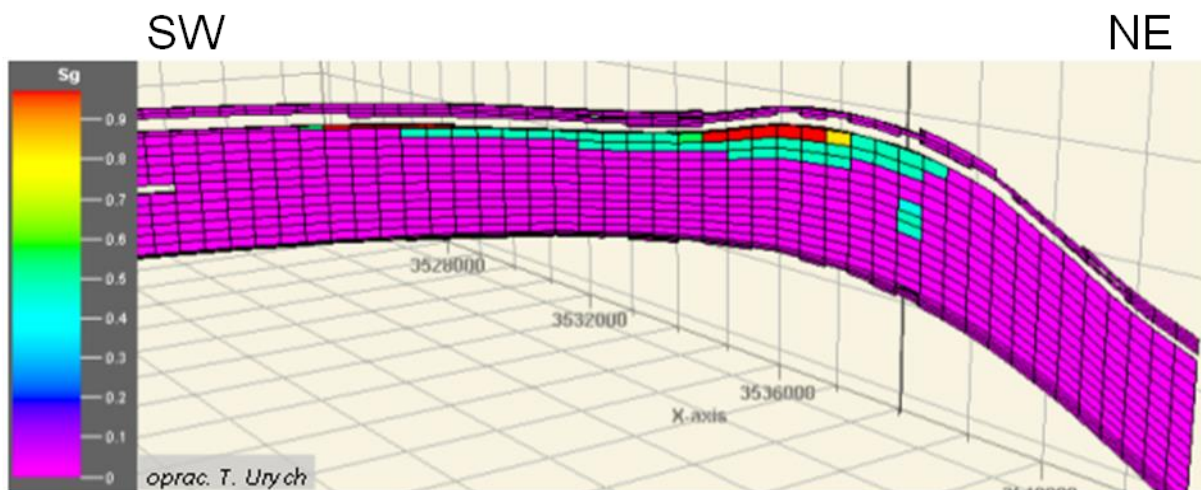


**Fig. 1.1.17\_80** Rozkład nasycenia swobodnym CO<sub>2</sub> w strukturze Suliszewa po 50 latach od rozpoczęcia zatłaczania (wariant 1)





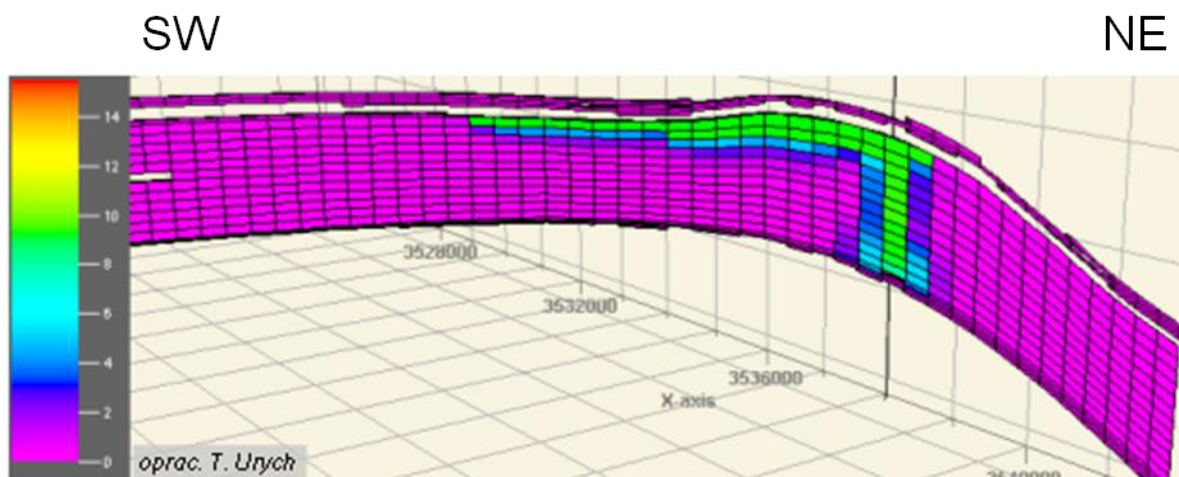
**Fig. 1.1.17\_81** Rozkład nasycenia swobodnym CO<sub>2</sub> w strukturze Suliszewa po 25 latach od rozpoczęcia zatłaczania (wariant 2)



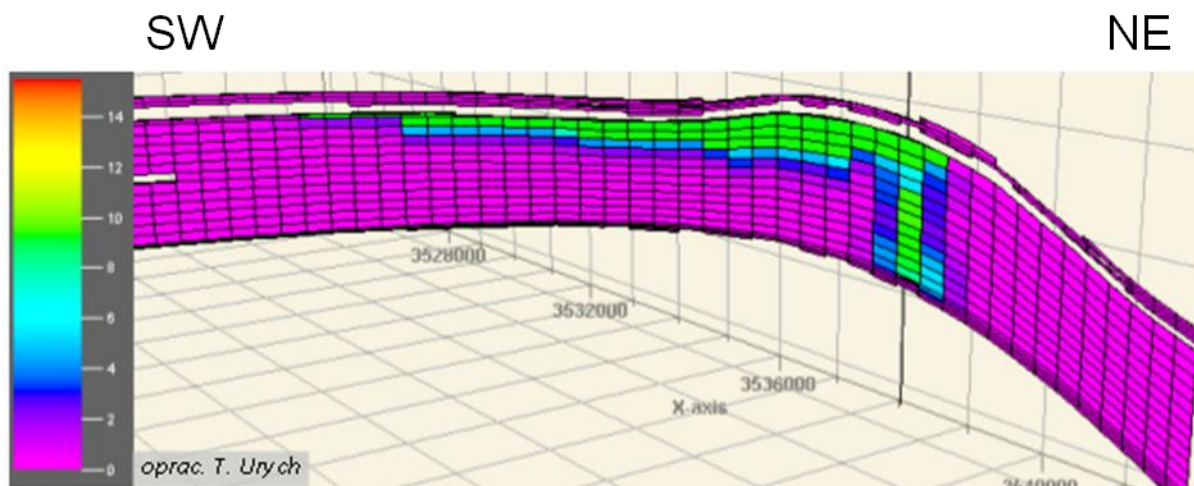
**Fig. 1.1.17\_82** Rozkład nasycenia swobodnym CO<sub>2</sub> w strukturze Suliszewa po 50 latach od rozpoczęcia zatłaczania (wariant 2)

#### Rozpuszczony CO<sub>2</sub>

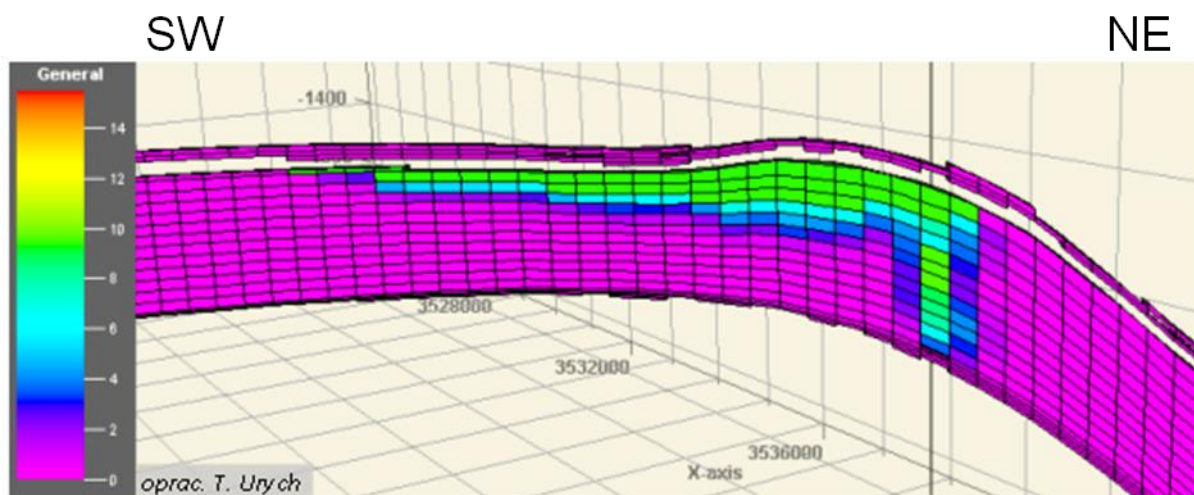
Nasycenie rozpuszczonym CO<sub>2</sub> będzie miało w strefie przyotworowej nieco większy zasięg, i zaznaczy się niemal do stropu triasu. Wyniesie ono do 10 nm<sup>3</sup><sub>g</sub>/m<sup>3</sup><sub>w</sub> zarówno w rejonie otworu iniekcyjnego, jak i w stropie kolektora. W wariantcie 2 będzie (nieznacznie) większe, niż w wariantcie 1 (**Fig. 1.1.17\_83** - **Fig. 1.1.17\_85**).



**Fig. 1.1.17\_83** Rozkład nasycenia rozpuszczonym CO<sub>2</sub> w strukturze Suliszewa po 50 latach od rozpoczęcia zatłaczania (wariant 1)



**Fig. 1.1.17\_84** Rozkład nasycenia rozpuszczonym CO<sub>2</sub> w strukturze Suliszewa po 25 latach od rozpoczęcia zatłaczania (wariant 2)



**Fig. 1.1.17\_85** Rozkład nasycenia rozpuszczonym CO<sub>2</sub> w strukturze Suliszewa po 50 latach od rozpoczęcia zatłaczania (wariant 2)

#### **Zasięgi CO<sub>2</sub> w wariantach 1 i 2 zatłaczania**

W wariantach 1 i 2 ilość zatłaczanego dwutlenku znacząco różni się. Jest to odpowiednio  $1 \cdot 10^6$  Mg CO<sub>2</sub>/rok i  $2 \cdot 10^6$  Mg CO<sub>2</sub>/rok. Poniżej przedstawiono podsumowanie dotyczące efektywności zatłaczania gazu do kolektorów w obydwóch wariantach, które częściowo przedstawiono już we wcześniejszej części tekstu. Porównano największe zasięgi, które będą dotyczyć dwutlenku węgla rozpuszczonego w solance.

- W rejonie Choszczna zasięgi CO<sub>2</sub> w wariantach 1 i 2 po 25 latach zatłaczania obrazują **Fig. 1.1.17\_77** i **Fig. 1.1.17\_78**. Dwutlenek węgla będzie się gromadził: 1/ w rejonie otworu iniekcyjnego, wypełniając utwory dolnej jury do stropu triasu, oraz 2/ w stropie kolektora, jak również 3/ w izolacji toarku. Zasięg chmury CO<sub>2</sub> w wariantcie 2 będzie większy, niż w wariantcie 1. Maksymalne nasycenie utworów gazem nie przekroczy  $10 \text{ nm}^3_{\text{g}}/\text{m}^3_{\text{w}}$ .
- W rejonie Suliszewa zasięgi CO<sub>2</sub> w wariantach 1 i 2 przedstawiono na r **Fig. 1.1.17\_83** i **Fig. 1.1.17\_85**. Dla porównania wybrano okres 50 lat, bowiem to składowisko będzie się cechowało większą „mobilnością” (to jest zmianami zasięgu w czasie) w porównaniu do składowiska Choszczno. I tutaj dwutlenek węgla będzie się gromadził w 1/ strefie przyotworowej i wypełniał utwory dolnej jury niemal do stropu triasu, oraz 2/ w partii stropowej kolektora. W wariantcie 2 jego pionowy zasięg będzie większy, niż w wariantcie 1. Maksymalne nasycenie solanki gazem nie przekroczy  $10 \text{ nm}^3_{\text{g}}/\text{m}^3_{\text{w}}$ .

Zatłoczony dwutlenek węgla będzie się w **odmienny sposób** zachowywał w rejonie obydwóch składowisk. W rejonie Choszczna jego zasięg w okresie do 200 lat w zasadzie nie zmieni się (**Tab. 1.1.17\_24**), natomiast w rejonie Suliszewa będzie wzrastał (**Tab. 1.1.17\_25**).

Uzyskane wyniki wskazują, iż przy przyjętych parametrach utworów dolnej jury, wyznaczone kolektory będą wykazywały **rezerwę pojemności składowania CO<sub>2</sub>**, w porównaniu do ilości rozważanych w wariantach 1 i 2.

### Zmiany ciśnienia na skutek zatłaczania dwutlenku węgla

Na skutek zatłaczania dwutlenku węgla nastąpią zmiany ciśnienia w kolektorze. W rejonie Choszczna zmiany będą również dotyczyły utworów toarku. Odpowiednie wartości zamieszczono w **Tab. 1.1.17\_26**.

**Tab. 1.1.17\_26** Zmiany ciśnienia po 25 latach zatłaczania CO<sub>2</sub>

Składowisko	Wariant	Wydajność zatłaczania 10 <sup>6</sup> Mg/rok	Sumaryczna ilość CO <sub>2</sub> 10 <sup>6</sup> Mg	Wzrost ciśnienia (bar)		
				Ciśn. denne	Ciśn. w warstwie stropowej kolektora	Ciśn. w stropie uszczelnienia
Choszczno	1	1	25	6	5	5
	2	2	50	7	10	12
Suliszewo	1	1	25	3,5	5	0
	2	2	50	4	9,5	0

Wyniki symulacji wskazują, że w obszarach obydwóch składowisk nastąpi wzrost ciśnienia w stropowej warstwie kolektora, przy czym, wzrost ten będzie większy od wzrostu w partii dennej otworu lub porównywalny do niego. W rejonie Choszczna wzrost ten będzie również dotyczył izolacyjnej warstwy toarku. Z kolei w rejonie Suliszewa nie nastąpią zmiany ciśnienia w stropie izolującej warstwy uszczelniającej.



## Podsumowanie

W pracy zawarto aspekty dotyczące oddziaływania składowiska na środowisko naturalne człowieka, faunę i florę oraz zasoby różnych złóż. Sporządzono zestawienie otworów wiertniczych występujących w rejonie zbiorników i jego sąsiedztwie oraz dokonano oceny potencjalnych zbiorników pod kątem ich szczelności.

1. Potencjalne zagrożenia geologiczne powstałe w wyniku składowania dwutlenku węgla w poziomach solankowych związane są z następującymi czynnikami:
  - szczelnością i ciągłością warstwy izolacyjnej skał zbiornikowych,
  - wpływem zatłoczonego CO<sub>2</sub> na skały otaczające,
  - własnościami fizycznymi i mechanicznymi warstw zbiornikowych i skał otaczających,
  - naruszeniem pierwotnych warunków górotworu otworami wiertniczymi,
  - hydrogeologicznymi i ochroną wód.
2. W odległości 30 km od potencjalnych zbiorników „Choszczno” i „Suliszewo” zlokalizowano 19 otworów wiertniczych będących stosunkowo łatwą drogą migracji zatłoczonego CO<sub>2</sub>. Dlatego w pracach poprzedzających sekwestrację dwutlenku węgla należy uwzględnić szczegółowe zapoznanie się z ich stanem technicznym i ewentualnym sposobem likwidacji. Należy również uwzględnić konieczność przeprowadzenia ponownej likwidacji niektórych otworów wiertniczych.
3. Słabe jest rozpoznanie tektoniki złoża uniemożliwia przeprowadzenie jednoznacznej oceny możliwości migracji CO<sub>2</sub> do górotworu oraz ewentualnie na powierzchnię terenu.
4. Na podstawie parametrów zbiornikowych uzyskanych na podstawie wcześniej opracowanego modelu statycznego – Papiernik i in. 2011 (w tym przepuszczalności w obszarach antyklin Choszczna, średnio 300-1600 mD oraz Suliszewa, 1400-2500 mD) stwierdzono, że piaskowcowe utwory dolnej jury w przedmiotowych rejonach wykazują bardzo dobre warunki do tworzenia składowisk dwutlenku węgla.
5. Rozważano możliwość zatłaczania dwutlenku węgla w dwóch wariantach: w. 1 1·10<sup>6</sup> Mg/rok i w.2, 2·10<sup>6</sup> Mg/rok przez okres 25 lat. Warunki składowania w obydwóch rejonach będą zbliżone. Zasięg zatłaczania CO<sub>2</sub> w wariantcie 2 będzie większy niż w wariantcie 1. Obszarowo zasięg składowiska Choszczno po 25 latach zatłaczania gazu będzie mniejszy, niż składowiska Suliszewo (**Tab. 1.1.17\_24 i Tab. 1.1.17\_25**)
6. W obydwóch wariantach zasięg rozpuszczonego CO<sub>2</sub> obejmie w strefie przyotworowej profil osadów od pliensbachu po trias (około 300 m). Zasięg swobodnego CO<sub>2</sub> będzie mniejszy i sięgnie do głębokości zatłaczania gazu. W rejonie obydwóch składowisk dwutlenek węgla zgromadzi się również w stropowej partii kolektora pliensbachu. Chmura CO<sub>2</sub> rozciągnie się w rejonie antykliny Choszczna w kierunku na NW od otworu tłocznego, a w rejonie antykliny Suliszewa w kierunku na SW od otworu. W obydwóch składowiskach nasycenie utworów zbiornikowych dwutlenkiem węgla będzie zbliżone; w przypadku rozpuszczonego CO<sub>2</sub> osiągnie wartość 10 nm<sup>3</sup> gazu na 1 m<sup>3</sup> wody, a w przypadku swobodnego CO<sub>2</sub> przekroczy wartość 0,9.
7. Istotną różnicą jest, iż w rejonie Choszczna rolę kolektora przejmują również izolacyjne ilaste utwory toarku. Przepływ CO<sub>2</sub> do tego kompleksu nastąpi już po 10 latach zatłaczania CO<sub>2</sub>. Nasycenie dwutlenkiem węgla izolacji toarku będzie podobne, jak w kolektorze (do około 0,9), jednak w wariantcie 1 dwutlenek węgla zgromadzi się w jego stropowej partii, a w wariantcie 2 obejmie lokalnie całe ogniwo toarku.

8. Dodatkowo stwierdzono, że po 50 latach od rozpoczęcia zatłaczania w rejonie Choszczna nastąpi zmniejszenie nasycenia CO<sub>2</sub> (zarówno swobodnego, jak i rozpuszczonego) w stropowej partii kolektora, i jej częściowa degazacja na korzyść izolacji. Z kolei w rejonie Suliszewa zmiany będą polegały na stopniowym zmniejszaniu się nasycenia swobodnym CO<sub>2</sub> na korzyść wzrostu zasięgu rozpuszczonego CO<sub>2</sub>.
9. W wyniku zatłaczania nastąpi wzrost ciśnienia w stropowej partii kolektora, o 0,5-1 MPa w zależności od wariantu zatłaczania, a w rejonie Choszczna dodatkowo w izolacyjnej warstwie toarku, o 0,5-1,2 MPa.
10. Przedstawione wyniki wymagają potwierdzenia badaniami *in situ*, albowiem mogą wskazywać, iż na kolektory CO<sub>2</sub> nadają się nie tylko zawodnione serie piaskowcowe, ale również słabo izolacyjne serie ilasto-piaszczyste. Może to mieć wpływ na bezpieczeństwo podziemnego składowania – chociaż ze względu na miąższość ilastego i marglistego nadkładu w zasięgu antyklin Choszczna i Suliszewa, obydwa składowiska ocenia się jako szczelne.

Wszystkie opracowane czynniki zostały zebrane i skomentowane w bazie Quintessa FEP (*Features Events Prozesse*). Baza jest dostępna na stronie [www.quintessa.org](http://www.quintessa.org) w formie bezpłatnej.

# Ocena ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w strukturze południowej Niecki Poznańskiej (INiG)

(Jan Lubaś, Wiesław Szott, Piotr Bętkowski, Marcin Rzepka, Sławomir Szuflita, Marcin Kremieniewski, Edyta Dębińska, Łukasz Kut, Szczepan Filip)

Prezentowana praca jest kolejną z cyklu przedsięwzięć dotyczących analizy ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w geologicznych strukturach węgłbnych.

Pierwsza z nich wykonana w INiG w 2009 r dotyczyła zarządzania ryzykiem geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w głębokich solankowych poziomach wodonośnych na przykładzie struktury Budziszewice.

Następna, wykonana w INiG w roku 2010 obejmowała wymienione zagadnienia w odniesieniu do częściowo szcerpanych złóż ropy naftowej na przykładzie złoża Nosówka.

Obecnie przygotowana dotyczy z kolei magastruktury niecki poznańskiej, a właściwie jej znacznego fragmentu obejmującego rejon szcerpanych złóż gazu ziemnego Grodzisk-Ujazd-Bukowiec-Paproć. Obszar ten jest południowo-zachodnim fragmentem niecki poznańskiej, który ograniczony jest od zachodu i południa wałem wolsztyńskim. Stanowi on dobrą strukturę dla potrzeb sekwestracji CO<sub>2</sub>. W pracy określone zostanie ryzyko nieuszczelnienia zarówno mega struktury złożowej jak również odwiertów ją penetrujących.

## Analiza dostępnych danych geologicznych i wiertniczych Budowa geologiczna niecki poznańskiej

W niecce poznańskiej główną warstwą zbiornikową są skały czerwonego spągowca reprezentowane przez utwory saksonu i autunu. Składają się one głównie z piaskowców drobnoziarnistych i średnioziarnistych z domieszką materiału grubszego. Spoiwa łączące te osady mają charakter ilasto—wapnisto-żelaziste, od rodzaju spoiwa zależy w znacznym stopniu przepuszczalność i porowatość kolektorów. Znaczna zmienność rodzaju spoiwa w omawianym profilu powoduje duże zmiany własności zbiornikowych skał.

Utwory czerwonego spągowca nagromadziły się w morfologicznych obniżeniach poorogenicznych i rozwinęły się po intensywnych ruchach tektonicznych orogenezy waryscyjskiej. Przykrywają one niezgodnie starsze utwory paleozoiczne, głównie karbońskie (Karnkowski, 1993) Z uwagi na mocno urzeźbiony rejon górzysto-pagórkowaty, gdzie względne różnice wysokości dochodziły do kilkuset metrów sedimentacja osadów permskich, a w szczególności czerwonego spągowca rozpoczynała się w największych obniżeniach. Wał wolsztyński w znaczącej większości nie przykryty osadami czerwonego spągowca, wokół którego w różnego typu strukturach nastąpiło nagromadzenie się gazu, tworzy pewnego rodzaju zaporę dla węglowodorów migrujących z głębi basenu ku strefom brzeżnym. Dla potrzeb składowania CO<sub>2</sub> określono południowo zachodni fragment niecki poznańskiej, który ograniczony jest od zachodu i południa wałem wolsztyńskim (**Fig. 1.1.17\_86**). W kierunku północno wschodnim nasyczone wodą. utwory czerwonego spągowca zanurzają się do głębokości 5 tys. m., co również stanowi swego rodzaju zamknięcie, gdyż zatłaczane gazy mają tendencję do przemieszczania się ku górze. Całość przykryta jest szczelnie

ewaporatami cechsztyńskimi. Wydzielony fragment stanowi więc doskonałą megastrukturę dla potrzeb sekwestracji CO<sub>2</sub>.

Dla omawianego obszaru wykonano model geologiczny przedstawiony na **Fig. 1.1.17\_87**.

Zasadniczą rolę w formowaniu się złóż odegrały cechy zbiornikowe kolektora oraz pułapki skalne. W zależności od litologii skał i ich form strukturalnych utworzyły się określone typy złóż. Na północ od wału wolsztyńskiego tworzy się pochylony ku północnemu wschodowi płaskowyż o pustynnym reliefie, gdzie zarysowują się niewielkie kulminacje pochodzenia eolicznego. Te wyniesienia morfologiczne nasycone były gazem (obecnie wyeksploatowane). W omawianym obszarze występują również pułapki litologiczne, w miejscach wyklinowania lub zaniku cech zbiornikowych utworów czerwonego spągowca. np. złoża Ujazd i Paproć.

Są to jednak struktury o niewielkich rozmiarach. Brak jest większego morfologicznego zróżnicowania powierzchni podcechsztyńskiej na swobodne wydzielanie gazu migrującego poprzez fazę wodną i powstanie większych złóż. Tylko najwyższe wyniesienia rzędu 20-40 m są nasycone gazem ziemnym w postaci fazy gazowej. Ważną cechą dla prawie wszystkich złóż jest to, że pułapki złożowe są wypełnione w zupełności do tzw. zamknięcia strukturalnego (Dudek et al., 1990). Rozmiary pułapek złożowych są zwykle małe, powierzchnie wynoszą od 0.5 – 2.6 km<sup>2</sup>. Wysokość pułapek dla większości złóż wynosi 4-20 m. Jedynie kilka złóż posiada wysokość 30-40 m a złożo Paproć wyjątkowo 140 m. W złożach uwidacznia się częściowy napór wód złożowych.

### **Wody wgłębne**

Wody złożowe czerwonego spągowca w postaci solanek chlorkowo-sodowo-wapniowych posiadają wysoką mineralizację w granicach 220 -320 g/.m<sup>3</sup>. Pomiary nasycenia wód wgłębnych gazem ziemnym wykonane próbnikiem złoża wykazały zawartość rozpuszczonego gazu w ilości 2.4 ndm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup>. Wg interpretacji geologów mamy do czynienia z syfonem nasyconym gazem, który prawie do pełna napełniony jest wodą. Migrujący poprzez fazę wodną gaz po wypełnieniu lokalnych niewielkich pułapek został zablokowany od góry szczelnym ekranem ewaporatów cechsztyńskich i zaczął rozprzestrzeniać się na boki mega struktury. Zjawisko to pozwoliło w efekcie na nasycenie megaakifera gazem rozpuszczonym w fazie wodnej.. Cały więc poziom czerwonego spągowca wypełniony jest wodą nasyconą gazem ziemnym, jedynie niewielkie podniesienia morfologiczne bądź jego wyklinowania w postaci pułapek litologicznych wypełnione są lub były gazem. Obliczenia szacunkowe określają ilość rozpuszczonego gazu w obrębie niecki poznańskiej na poziomie 100 mld. Nm<sup>3</sup> gazu, przy założeniu średniej miąższości poziomów zawodnionych 100 m, porowatości 10 % i powierzchni 5000 km<sup>2</sup> (Karnkowski, 1979).

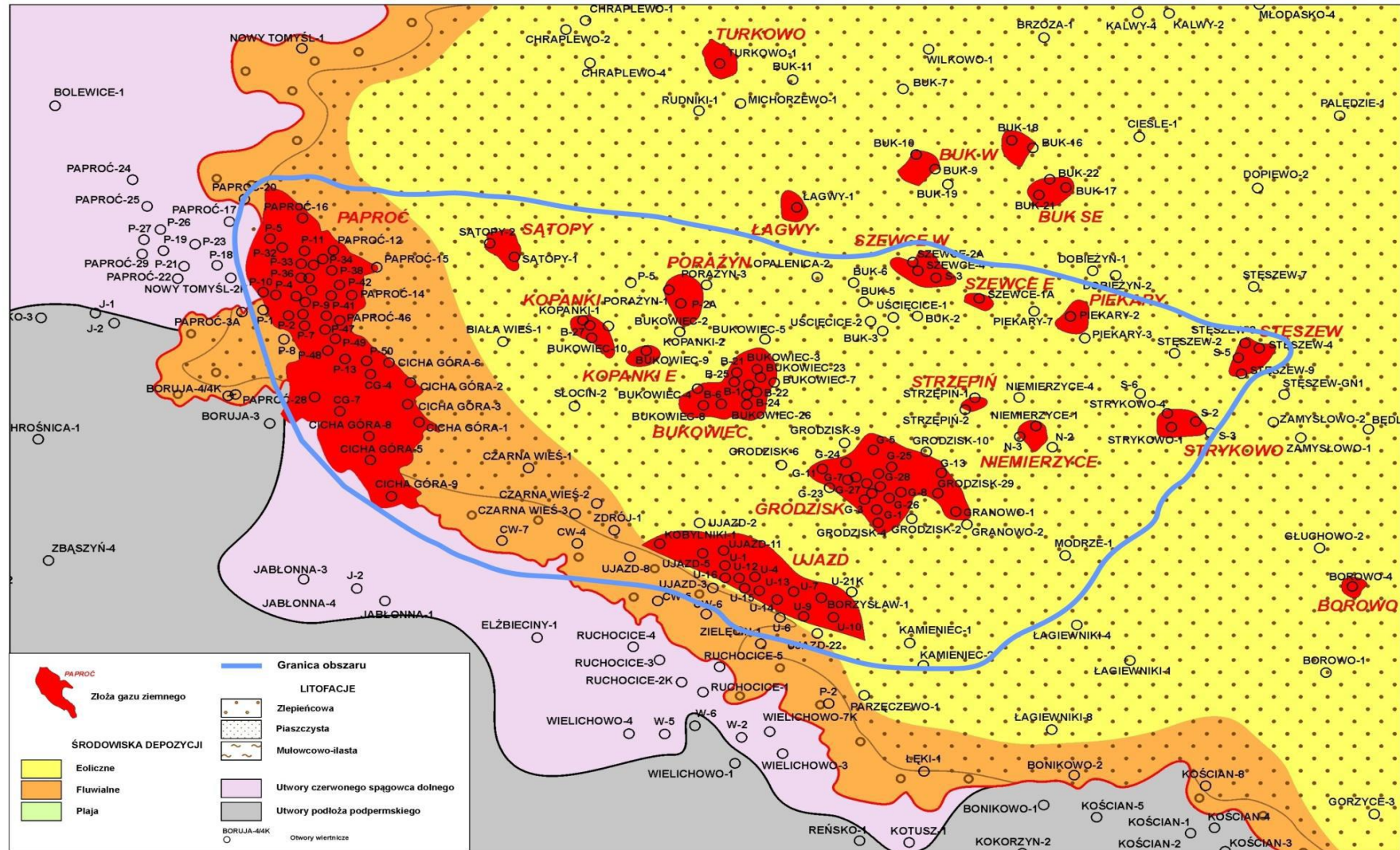


Fig. 1.1.17\_86 Granice obszaru Niecki Poznańskiej wydzielone dla potrzeb projektu składowania CO<sub>2</sub>

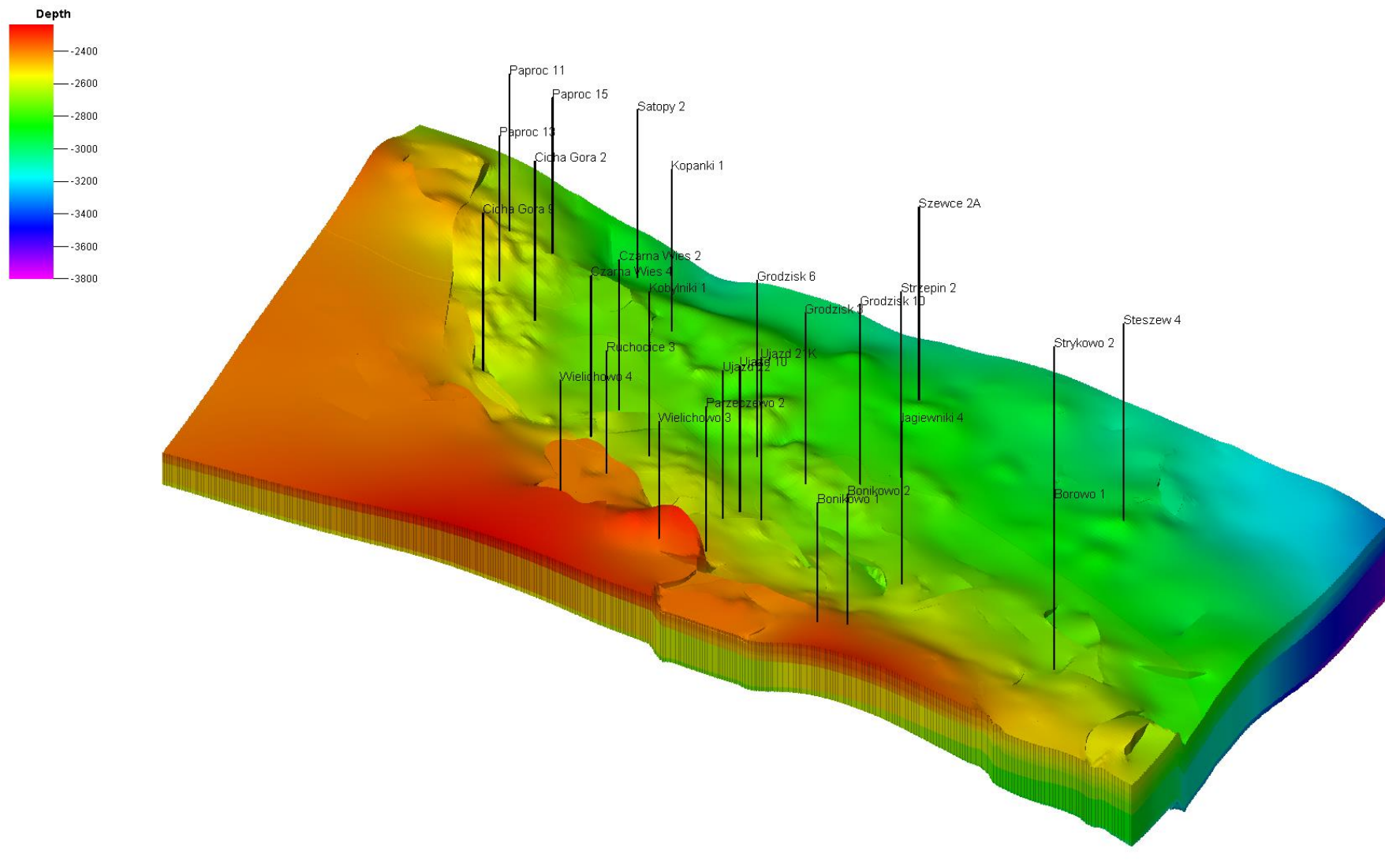


Fig. 1.1.17\_87 Model geologiczny wydzielonego fragmentu niecki poznańskiej dla potrzeb projektu geologicznego składowania CO<sub>2</sub> (Szott et al., 2011)



## **Analiza obszaru zatłaczania CO<sub>2</sub> pod kątem określenia ryzyka nieszczelności pułapki złożowej Stratygrafia megastruktury południowej części niecki poznańskiej**

Obszar potencjalnego zatłaczania CO<sub>2</sub> w południowej części niecki poznańskiej to rejon złóż Paproć – Grodzisk – Ujazd- Bukowiec

Pod względem geologicznym w rejonie można wydzielić następujące jednostki stratygraficzne:

- Czwartorzęd – miąższości do 80 - 150 m, reprezentowany przez ropy, gliny oraz piaski plejstocenu i holocenu
- Trzeciorzęd – o miąższości do 150 -200 m , to oligoceńskie ropy ciemno szare i szaro-oliwkowe oraz mioceńska seria buro węglowa składająca się z mułowców jasnoszarych, ropy węglistych, ropy brunatnych oraz piaskowców
- Kreda tylko lokalnie, np. w rejonie Paproci o miąższości do 70 m, reprezentowana przez mułowce z wkładkami piaskowców oraz wapienie margliste i margle
- Jura reprezentowana jest przez utwory liasu w postaci mułowców i piaskowców szarych i ciemnoszarych z przewarstwieniami ropy węglistych o miąższości 300-550 m
- Trias reprezentowany jest przez utwory pstrygo piaskowca, wapienia muszlowego kajpru i retyku. Pstry piaskowiec w postaci ropy węglistych, ropy węglistych, dolomitów oraz piaskowców i mułowców, miąższość do ok. 600 m. Wapień muszlowy z częścią wapienną, anhydrytowo dolomityczną oraz wapienno-marglista o łącznej miąższości ok. 250 m. Kajper wykształcony w postaci ropy węglistych z wkładkami piaskowców i mułowców oraz przez serie gipsowe z anhydrytami. Retyk, jego utwory to ropy węglistych i margle brunatno-szare i szarozielone o strukturze zlepieńcowatej oraz ropy szare z wytraceniemi syderycznymi, miąższość 200 – 350 m
- Cechsztyń wykazujący w tej części niecki poznańskiej silne zróżnicowanie, duże wahania miąższości i facji o łącznej miąższości w granicach 400 – 500 m. Sedymentację cyklu Werra rozpoczyna osiagający lokalnie do 0.5 m miąższości poziom łupków miedzionośnych. Wapień podstawowy posiada miąższość od 0.8 do 5.5 m. Nad wapieniem podstawowym rozwinęły się ewaporaty – anhydryt dolny 18-100 m, sól najstarsza o miąższości od 6.5 m (Ujazd 6) do 147 m (Grodzisk 3) i anhydryt górny prawie niezmienniej miąższości 40-50 m. Sedymentację cyklu Strassfurt rozpoczyna poziom dolomitu głównego grubości około 40 m. Przykrywa go anhydryt o miąższości 10-20 m. Sól Strassfurtu (sól starsza) mają miąższość na poziomie 48 m (Grodzisk 3) do 99 m (Paproć 3A). Anhydryt kończący II cykl sedymentacyjny cechsztyń ma niewielką 3-4 metrową miąższość. Sedymentację cyklotemu Leine rozpoczyna szary ropy solny o kilkumetrowej miąższości, następnie anhydryt główny o miąższości w granicach 18-82 m oraz sole młodsze, których miąższość wykazuje zmienność w granicach 53.5 m (Ujazd 5) do 131 m (Paproć 6). Cyklotem Aller reprezentowany jest przez dwa pakiety ropy czerwonych rozdzielonych wkładką soli najmłodszych o łącznej miąższości od 23 m (Paproć 2) do 65 m (Ujazd 5)
- Czerwony spągowiec, jego dolna część autun zbudowana jest z osadów ilasto-piaszczystych a następnie serii eruptywnej. Są to skały wylewne typu trachybazaltów, ryodacytów i ryolitów. Z kolei górny czerwony spągowiec tworzą osady saksonu pochodzenia fluwialnego i eolicznego w

postaci drobno i średnioziarnistych piaskowców. Miąższość czerwonego spągowca w tym obszarze sięga 600 m.

### Ocena szczelności pod względem strukturalnym

Skałami zbiornikowymi złoża megastruktury południowej części niecki poznańskiej są jak już wspomniano drobno i średnio ziarniste piaskowce czerwonego spągowca. W okresie przełomu karbonu i permu erodowany materiał wypełnia lokalne obniżenia terenu. W końcowym okresie autunu zaznaczyły się silne ruch pionowe fazy saalskiej na założeniach tektoniki orogenu kaledońskiego i waryscyjskiego. Mający w tym okresie wulkanizm doprowadził do powstania znacznej miąższości skał wylewnych, które w dalszym etapie były źródłem osadów saksonu. Subsydencja pustynnych terygeniczných osadów czerwonego spągowca spowodowała ugięcie całego dna basenu permskiego co doprowadziło do transgresji morskiej. Utwory cechsztynu reprezentowane przez ewaporaty leżą na górnej serii osadowej lub eruptywnej. W cechsztynie następuje okres ciszy orogenicznej. Kompleks tych utworów stanowi doskonałą barierę geologiczną, oddzielającą utwory karbonu i permu od utworów młodszych. Jedynie działanie w okresie późniejszym halokinezy wytworzyło wiele form w postaci wysadów, jednak poza rozpatrywanym obszarem południowej części niecki poznańskiej. Również w okresie triasu zapanował okres kontynentalnej i epikontynentalnej sedimentacji, co miało wpływ na ukształtowanie skał nadkładu.

Ogromna miąższość ewaporatów cechsztyńskich, a szczególnie utworów soli najstarszej, młodszej i najmłodszej o łącznej miąższości dochodzącej do 300 m zapewnia doskonałą szczelność rozpatrywanej mega struktury w planie pionowym.

Analizując z kolei ukształtowanie rozpatrywanej części niecki, co pokazano na przekrojach modelu geologicznego (**Fig. 1.1.17\_88 - Fig. 1.1.17\_91**) zauważyć można doskonałe uszczelnienie w południowo-zachodniej i zachodniej części niecki. Uwidaczniają to przekroje geologiczne warstw złożowych z zaznaczoną tektoniką uskokową oraz znaczącym zanikiem przepuszczalności skały złożowej (**Fig. 1.1.17\_90 i Fig. 1.1.17\_91**). Zarówno od strony zachodniej jak i południowej istnieje doskonałe zamknięcie warstw złożowych czerwonego spągowca, który wyklinowując się traci własności przepuszczalności. Swoistego rodzaju zamknięciem są również uskoki uwidocznione na **Fig. 1.1.17\_90 i Fig. 1.1.17\_91**. Brak jest natomiast zamknięcia warstw złożowych w części południowo-wschodniej, co uwidacznia wykres przepuszczalności zamieszczony na **Fig. 1.1.17\_89**. We wschodniej części warstwy złożowe zachowują dobrą przepuszczalność i na głębokości 2600 m brak jest dobrego zamknięcia. Dlatego odwierty zatłaczające CO<sub>2</sub> powinny znajdować się na w północno-zachodniej części niecki poznańskiej, na linii Sątopy, Porążyn Buk, Szewce, głębokość zatłaczania rzędu 2700 – 2800 m. Wstępnie proponowane odwierty to: Sątopy 2, Sątopy 1, Bukowiec 2, Szewce 2A, Szewce 1A, Piekary 3. Obszar zatłaczania pokazano na mapach **Fig. 1.1.17\_92, Fig. 1.1.17\_93**. Wówczas zatłaczany CO<sub>2</sub> migrował będzie w kierunku południowo-zachodnim, a więc w kierunku złóż Paproć, Cicha Góra, Ujazd wymiatając rozpuszczony metan w wodach podścielających te złoża i otaczających je od strony północno-wschodniej. Zasadniczy kierunek migracji przyjmie więc gradient południowo-zachodni i nie dotrze do południowo-wschodniej części megastruktury, gdzie jej zamknięcie praktycznie nie istnieje. W części południowo-zachodniej powinien natomiast powstać szczelny zbiornik zamknięty granicami litologicznymi czerwonego spągowca od strony południowo-zachodniej oraz



ewaporatami cechsztyńskimi od góry. Wymiatany metan powinien częściowo uzupełnić zasoby złóż Paproć-Cicha Góra i Ujazd.

Koncepcję tą należy sprawdzić na modelu symulacyjnym mega struktury poznańskiej.

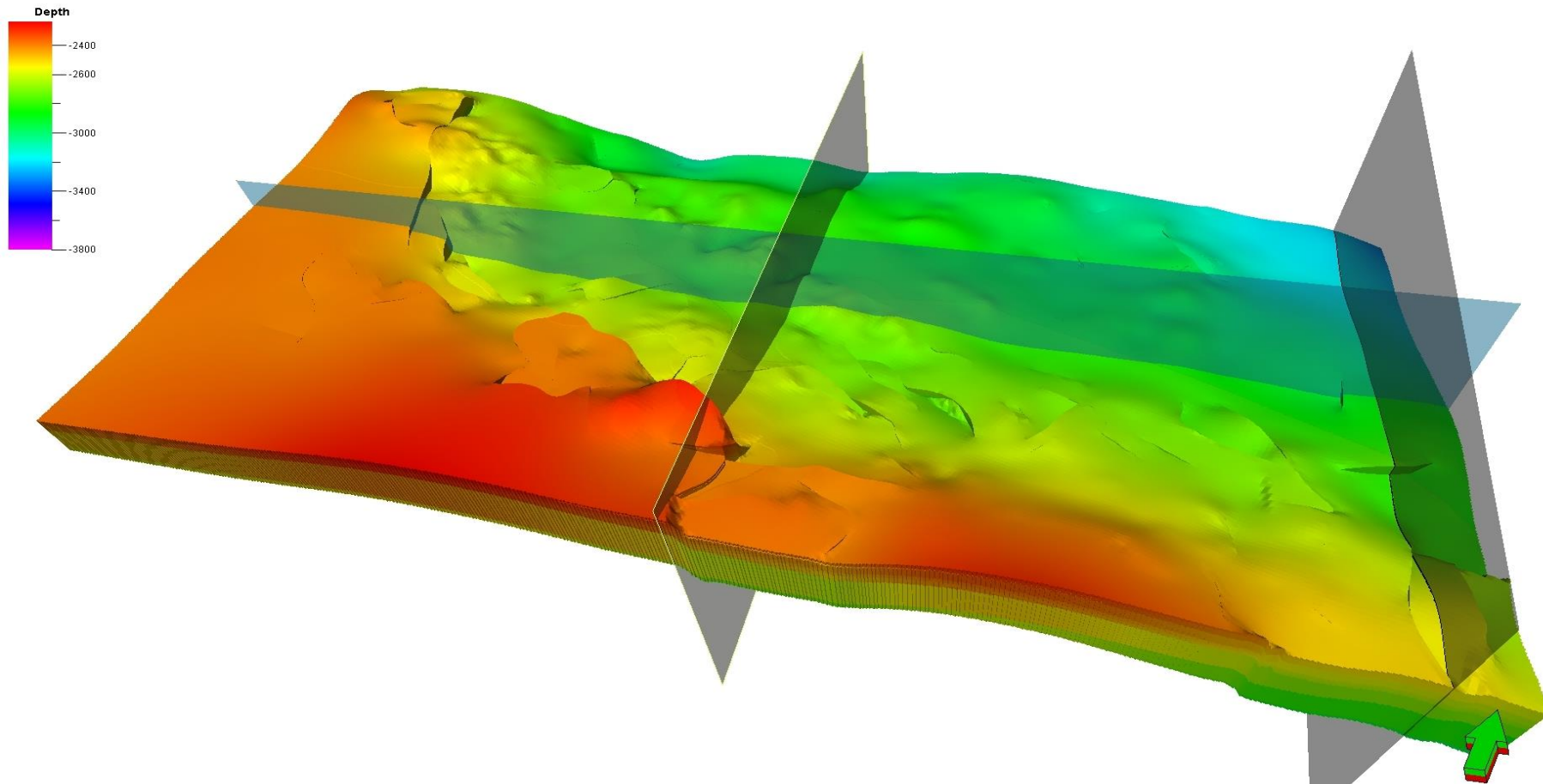


Fig. 1.1.17\_88 Model południowej części mega struktury niecki poznańskiej z naniesionymi lokalizacjami przekrojów pionowych

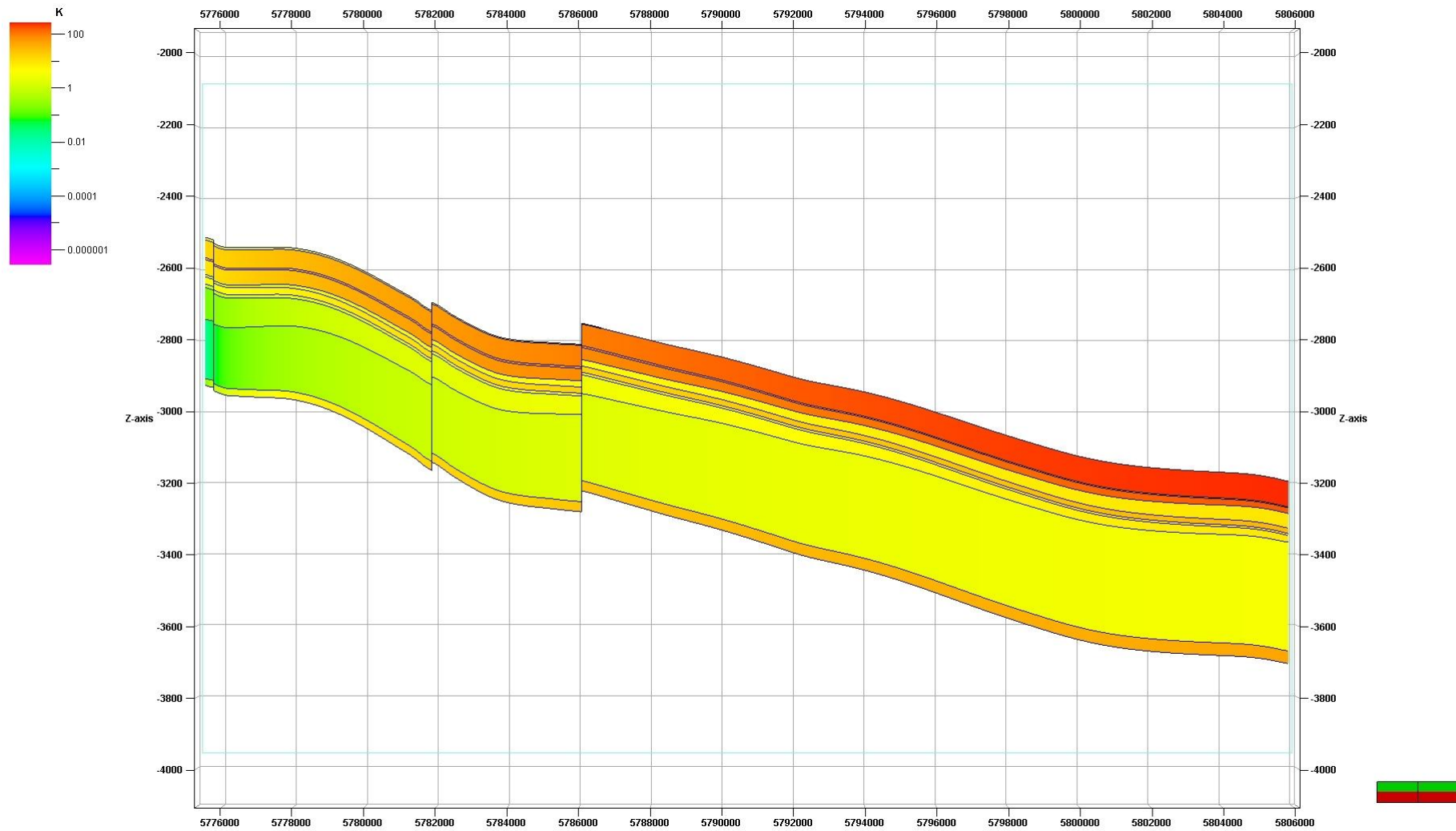


Fig. 1.1.17\_89 Przekrój pionowy wschodniej części niecki poznańskiej obrazujący zmianę przepuszczalności skały złożowej czerwonego spągowca

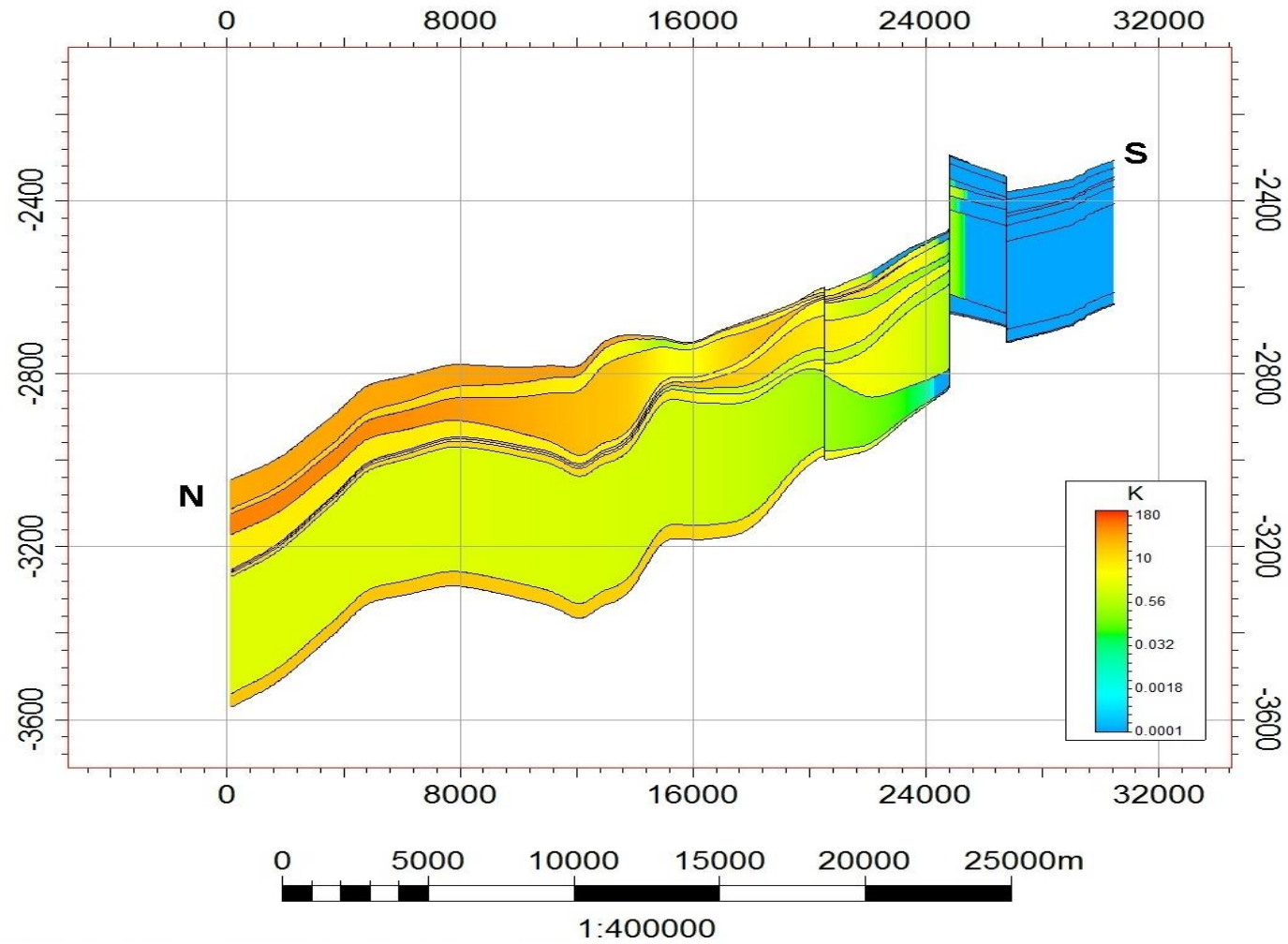


Fig. 1.1.17\_90 Przekrój pionowy przez południowo-zachodniej części niecki poznańskiej obrazujący zmianę przepuszczalności skały złożowej czerwonego spągowca

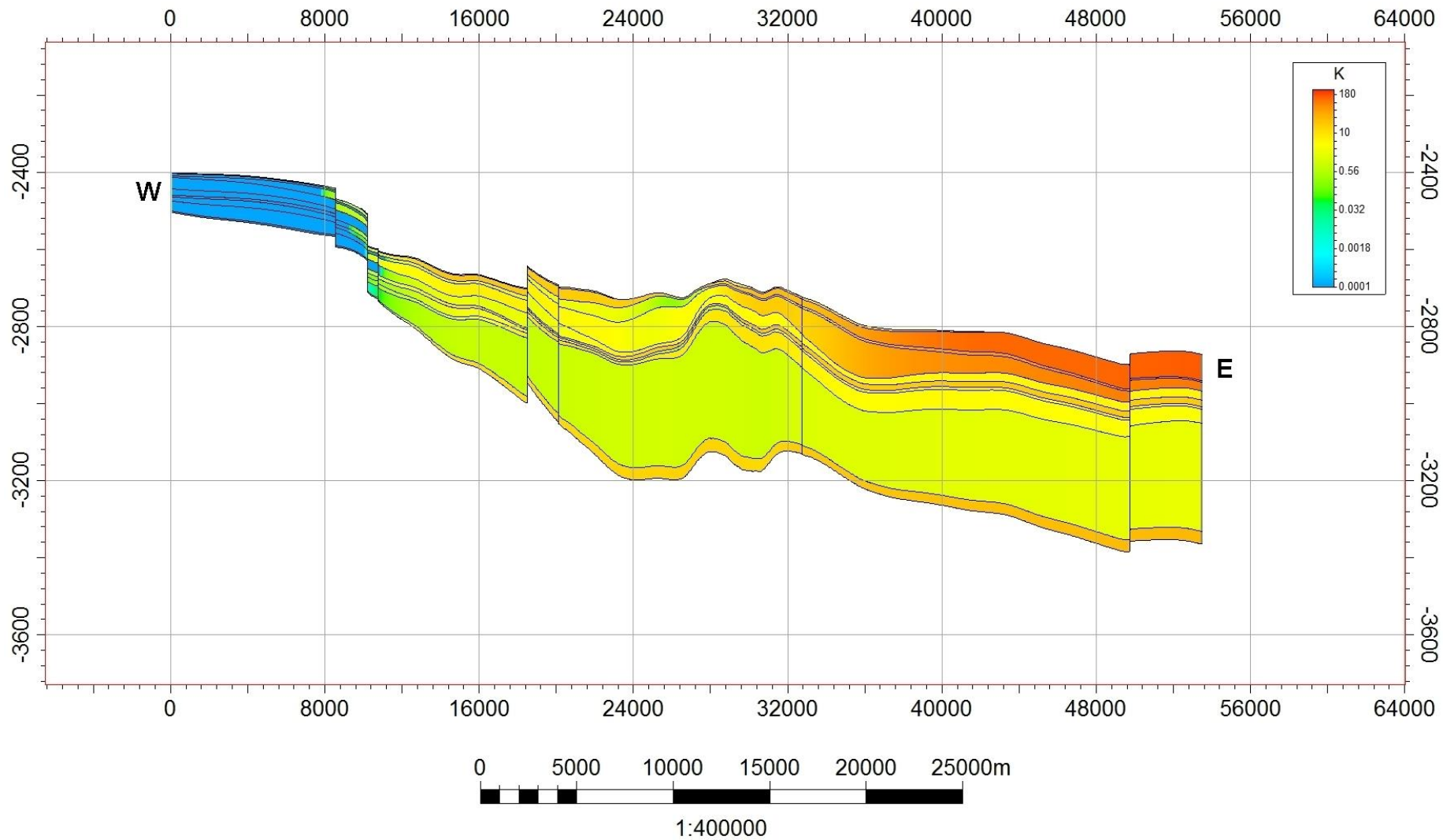


Fig. 1.1.17\_91 Przekrój pionowy przez oś wschód - zachód niecki poznańskiej obrazujący zmianę przepuszczalności skały złożowej



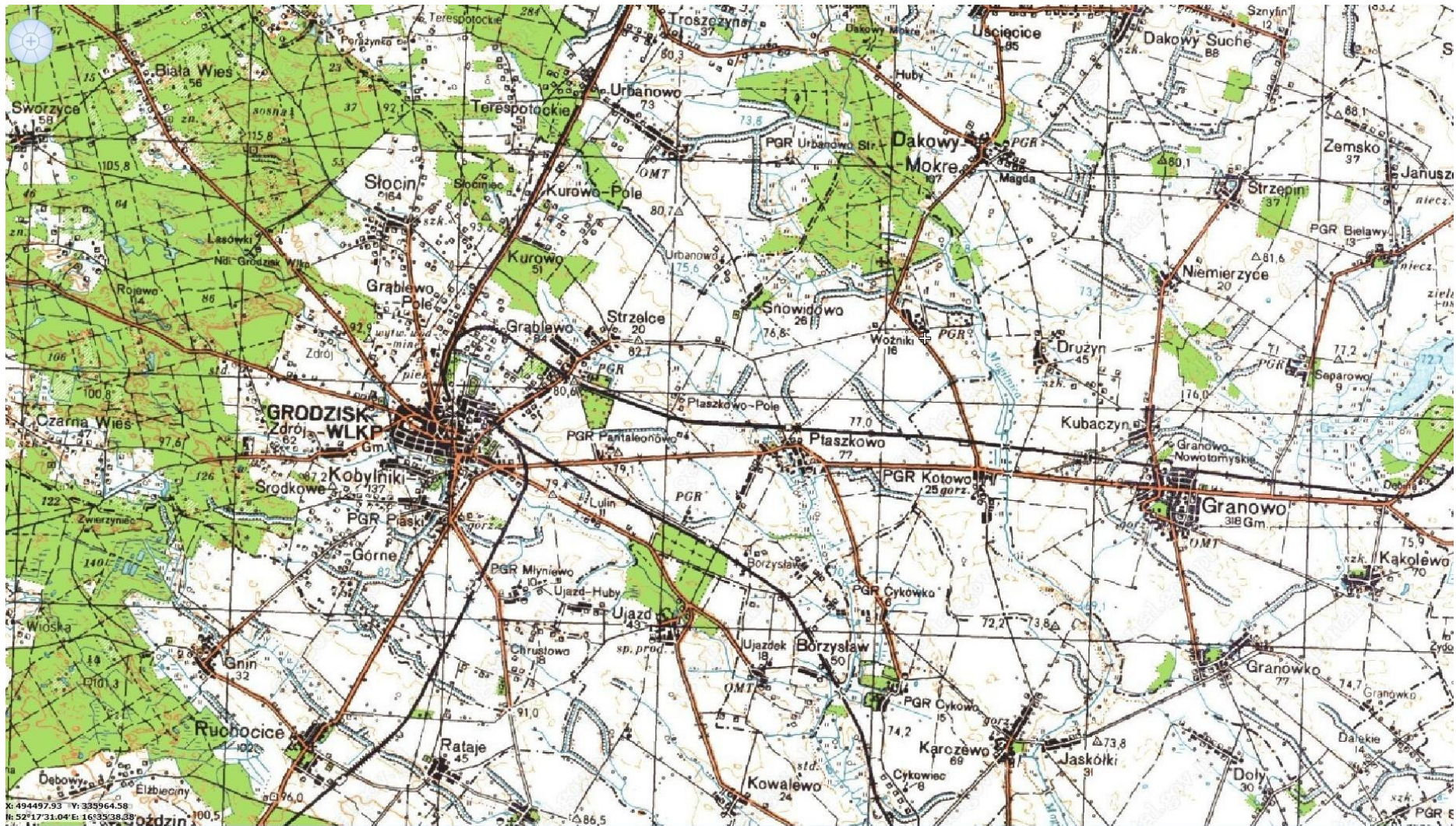


Fig. 1.1.17\_92 Mapa obszaru występowania złóż Grodzisk-Ujazd-Bukowiec





Fig. 1.1.17\_92a Rozszerzona mapa obszaru występowania złóż Paproć-Grodzisk-Ujazd-Bukowiec-Stęszew



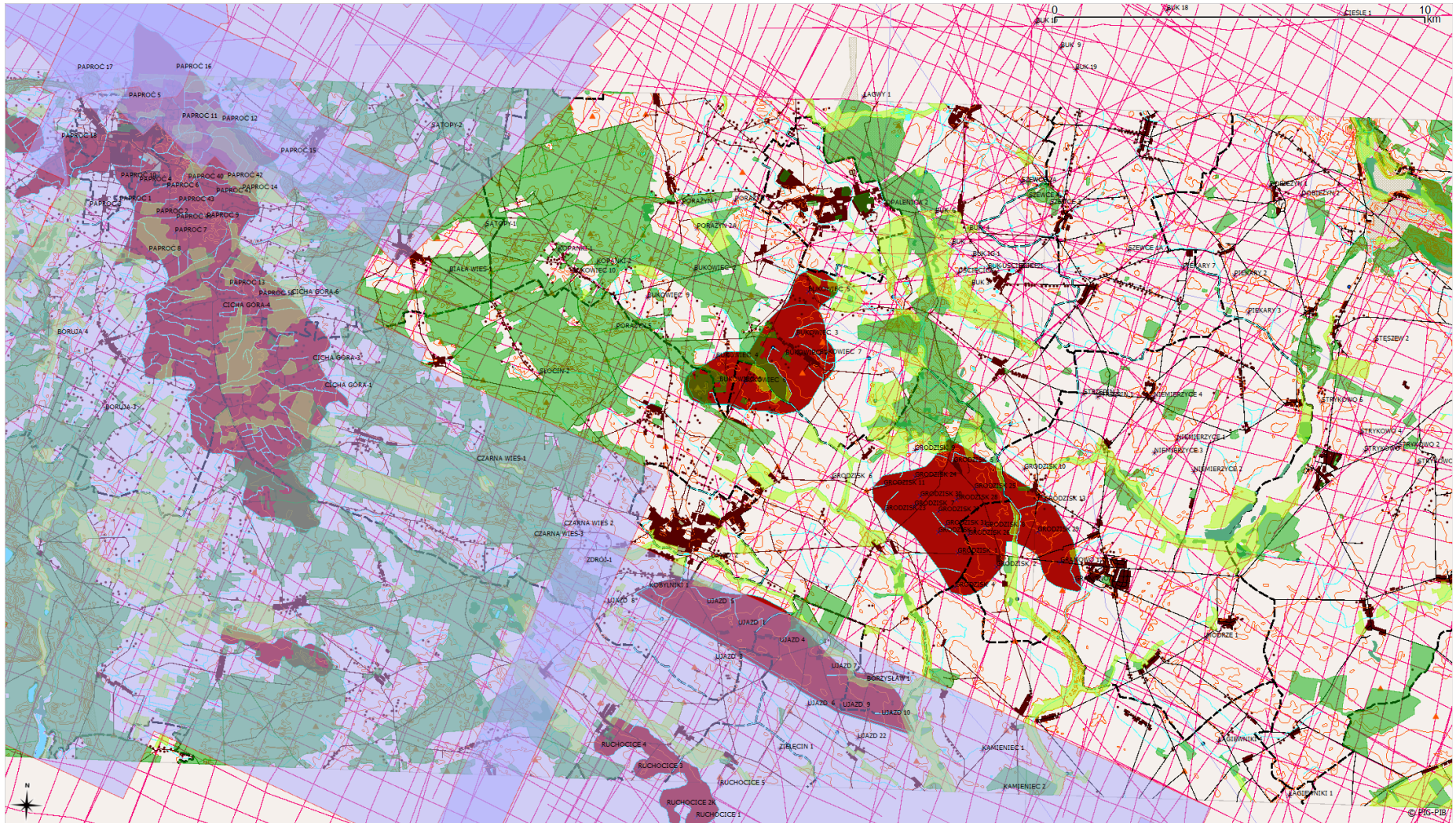


Fig. 1.1.17\_93 Mapa cyfrowa złóż gazu z naniesioną lokalizacją odwiertów



## **Ocena szczelności mega struktury pod kątem tektoniki uskokowej**

Dyslokacje tektoniczne permsko-mezozoicznego pietra strukturalnego są deformacjami nieciągłymi i mieszanymi. Dyslokacje stwierdzone w czerwonym spągowcu wykazują przesunięcia w pionie w granicach 100-400 m. Bloki zrzucone przy dyslokacjach WNW-ESE znajdują się po stronie NNE, a przy dyslokacjach zbliżonych do południkowych od strony zachodniej. Ewaporaty cechsztyńskie a szczególnie warstwy soli o sporej miąższości, która w tych warunkach wykazuje znaczną plastyczność wygaszają zasięg pionowy dyslokacji czyniąc nadkład nieprzepuszczalny dla gazów uwięzionych w złożach czerwonego spągowca. Plastyczne masy solne cechsztynu, jak też ilaste utwory triasu zabiżniły dyslokacje istniejące w podłożu utworów permskich uniemożliwiły dalszą ucieczkę z utworów permskich (Sokołowski, 1974). Można zatem stwierdzić, że zaburzenia tektoniczne stwierdzone w czerwonym spągowcu nie wpłyną negatywnie na szczelność nadkładu.

## **Modelowanie migracji CO<sub>2</sub> do skał nadkładu w megastrukturze poznańskiej**

Istnieje potrzeba oceny wielkości migracji zatłaczanego CO<sub>2</sub> do skał nadkładu na skutek niekorzystnych relacji sił kapilarnych w porównaniu do systemu węglowodorów. Należy zaznaczyć, że omawiany poniżej model nie odnosi się do nieszczelności innego typu takich jak wyindukowane w trakcie zatłaczania szczeliny, drogi ucieczki powstałe w obrębie uskoków czy nieszczelności w odwiercie.

### **Model przestrzenny nadkładu skał niecki poznańskiej**

W oparciu o dostępne dane otworowe zbudowano model strukturalny warstw nadkładu obejmujący całość obszaru Niecki Poznańskiej. Na **Fig. 1.1.17\_94** przedstawiono widok 3D dla wybranych przekrojów pionowych, przedstawiający układ stratygraficzny warstw nadkładu analizowanej struktury. Linia przecięcia przekrojów wyznacza lokalizację fragmentu nadkładu uwzględnionego w symulacjach procesu migracji dwutlenku węgla.

### **Opis modelu symulacyjnego**

W celu zbadania efektów migracji dwutlenku węgla do skał nadkładu Niecki Poznańskiej skonstruowano model symulacyjny obejmujący część złożową struktury oraz komplet warstw skał nadkładu sięgający od stropu skały złożowej do powierzchni terenu (blisko 2880 m miąższości). Skonstruowano 1-wymiarowy model składający się z 2878 bloków o miąższościach około 1 m w strefie nadkładu i 10 m w strefie zbiornikowej. Przyjęcie wysokiej rozdzielczości modelu w strefie nadkładu pozwoliło na dokładne modelowanie propagacji CO<sub>2</sub> w tym obszarze. Właściwości skał nadkładu (miąższości poszczególnych warstw geologicznych, porowatości i przepuszczalności bezwzględnych) przyjęto wg uzyskanych danych geologicznych („Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na niżu polskim” pod redakcją

Wojciecha Góreckiego), po uprzednim wygenerowaniu map strukturalnych poszczególnych warstw nadkładu (**Fig. 1.1.17\_95**).

Na podstawie ciśnień zmierzonych w złożu oraz wyznaczonego profilu ciśnień w skałach nadkładu określono minimalne ciśnienie progowe na stropie złoża spójne z faktem istnienia pułapki złożowej i wyznaczono jego wielkość jako  $\Delta P = 9$  MPa.

Dla pełnego opisu modelu, przy braku danych pomiarowych, przyjęto zależność przepuszczalności względnej gazu ( $CO_2$ ),  $k_{rg}$ , i wody  $k_{rw}$ , w postaci standardowych funkcji od nasycień zredukowanych odpowiednich płynów (**Fig. 1.1.17\_96** i **Fig. 1.1.17\_97**) tj.

$$k_{rg} = (S_g^*)$$

$$S_g^* = \frac{S_g - S_{g, \min}}{(1 - S_{w, \min}) - S_{g, \min}}$$

gdzie:

$$k_{rw} = (S_w^*)^\beta$$

$$S_w^* = \frac{S_w - S_{w, \min}}{1 - S_{w, \min}}$$

gdzie:

dla  $\alpha = 3$ ,  $\beta = 4$  oraz  $S_{w, \min} = 0.1$

W celu zbadania zależności migracji  $CO_2$  od  $S_{g, \min}$  obliczenia prowadzono dla dwóch różnych wartości parametru, tj.  $S_{gr} = 0.0$  i  $0.1$ .

Wobec braku danych pomiarowych dla omawianej struktury przyjęto typową zależność dla ciśnień kapilarnych w układzie woda-gaz przedstawioną na **Fig. 1.1.17\_98**.

Ponieważ wielkość rozpuszczalności  $CO_2$  w wodzie nasycającej skały nadkładu nie jest precyzyjnie określona, dlatego przedstawione wyniki uzyskano dla kilku różnych krzywych rozpuszczalności przedstawionych na **Fig. 1.1.17\_98**; oznaczonych jako  $R_s(1)$ ,  $R_s(2)$ ,  $R_s(3)$  i obejmujących bardzo szeroki zakres tego parametru. Uwzględniono również jako graniczny przypadek braku rozpuszczalności  $CO_2$  w wodzie oznaczony dalej jako  $R_s(0)$ .

Jako warunki początkowe i brzegowe symulowanego procesu przyjęto:

1. pełne nasycenie wodą,  $S_w = 1.0$ , skał nadkładu,
2. nasycenie skał zbiornikowych dwutlenkiem węgla powyżej kontaktu woda-gaz zgodnie z przyjętą krzywą ciśnień kapilarnych,
3. stałe ciśnienie gazu ( $CO_2$ ) na stropie złoża zarówno podczas fazy zatłaczania jak i późniejszej fazy relaksacji – warunek ten ma charakter zachowawczy gdyż w rzeczywistości należy oczekiwać spadku ciśnienia np. na skutek ucieczki gazu.

Schemat modelu symulacyjnego zastosowanego w pracy przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_99**.

Jako własności wody złożowej (dla  $T = 97^\circ C$ ) przyjęto zgodnie z otrzymanymi danymi:

gęstość w warunkach normalnych  $\rho_w = 1130 \text{ kg/m}^3$ ,

współczynnik objętościowy:  $B_w = 1.011 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,

lepkość:  $\mu_w = 0.66 \text{ cP}$ ,

ściśliwość:  $c_w = 4.5 \times 10^{-5} \text{ l/bar}$

przy ciśnieniu odniesienia  $p = 300 \text{ bar} = 30 \text{ MPa}$ .

Ponieważ ciśnienie progowe dla  $\text{CO}_2$  jest niższe od ciśnienia dla węglowodorów przyjęto jego wartość na poziomie 50% tego drugiego, tj.  $\Delta p = 0.45 \text{ MPa}$ .

### **Wyniki symulacji procesu migracji $\text{CO}_2$ do skał nadkładu Niecki Poznańskiej**

W celu zbadania zależności otrzymywanych wyników od wymienionych powyżej parametrów, przy braku ich precyzyjnego określenia, poniżej przedstawiono wyniki dla wielokrotnych wariantów uwzględniających zależność:

1. rozpuszczalności  $\text{CO}_2$  w wodzie,
2. wielkości ciśnienia na stropie złoża,
3. stopnia mobilności gazu wyrażonej parametru  $S_{g, \text{min}}$  – minimalne nasycenie mobilnego gazu.

### **Zależność od rozpuszczalności $\text{CO}_2$ w wodzie**

Symulacje wykonano dla 4 wariantów rozpuszczalności  $\text{CO}_2$  w wodzie, które odpowiadają podanym wcześniej rozpuszczalnościom:  $R_s(0)$ ,  $R_s(1)$ ,  $R_s(2)$ ,  $R_s(3)$ .

W trakcie symulacji utrzymywano stałe ciśnienie  $\text{CO}_2$  na stropie złoża równe ciśnieniu początkowemu i odpowiadające przewyższeniu ciśnienia progowego o 0,5 MPa.

W zadanych warunkach przyjęto mobilność gazu odpowiadającą nasyceniu minimalnemu  $S_{g, \text{min}} = 0.0$ . Po około 1600 latach zasięg migracji zależy od rozpuszczalności w sposób przedstawiony w **Tab. 1.1.17\_27**. W tabeli zamieszczono również prędkość migracji na koniec omawianego okresu oraz sumaryczny wypływ  $\text{CO}_2$  na jednostkę powierzchni stropu. Z **Tab. 1.1.17\_27** wynika, że zasięg migracji zmienia się w zależności od wielkości rozpuszczalności  $\text{CO}_2$  w wodzie w granicach od 17.42 m (bez rozpuszczalności) do 7.43 m (przy maksymalnej przyjętej rozpuszczalności), a jej prędkość odpowiednio od 1.1 m/100 lat do 0.5 m/100 lat (dla przyjętych przypadków granicznych). W tym czasie sumaryczna ilość gazu, który przemiegrował przez 1 m<sup>2</sup> stropu z części zbiornikowej do skał nadkładu zmienia się w zakresie od 8.15 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dla przypadku zerowej rozpuszczalności do 14.41 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dla przypadku maksymalnej przyjętej rozpuszczalności  $\text{CO}_2$  w wodzie.

Cechą charakterystyczną omawianego procesu migracji w zależności od rozpuszczalności  $\text{CO}_2$  w wodzie jest redukcja zasięgu i prędkości migracji przy jednoczesnym wzroście sumarycznego wypływu wraz ze wzrostem rozpuszczalności.

### **Zależność od ciśnienia na Stropie**

Wzrost ciśnienia na stropie złoża powyżej ciśnienia progowego powoduje intensyfikację przepływu CO<sub>2</sub> do skał nadkładu. Sytuację tę symulowano dla przypadku, gdy ciśnienie na stropie przewyższa ciśnienie progowe o 1 MPa.

Wyniki zasięgu migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu dla zerowej i maksymalnej rozpuszczalności CO<sub>2</sub> w wodzie zamieszczono w **Tab. 1.1.17\_28**. Porównując otrzymane wyniki z wynikami uzyskanymi dla przewyższenia ciśnienia o 0,5 MPa (**Tab. 1.1.17\_27**) obserwujemy zauważalny wzrost zasięgu i prędkości migracji: 20.43 m vs 17.42 m (1.29 vs 1.1 m/100 lat) dla zerowej rozpuszczalności oraz 14.0 m vs 7.43 m (0.88 vs 0.5 m/100 lat) dla maksymalnej rozpuszczalności.

W tabeli przedstawiono również sumaryczny wypływ CO<sub>2</sub> przez 1 m<sup>2</sup> powierzchni stropu do skał nadkładu. Należy zwrócić uwagę na istotny przyrost tej wielkości w porównaniu do wartości otrzymanych dla mniejszego przewyższenia ciśnienia (1 MPa vs 0,5 MPa), wynoszący 15.56 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> vs 8.15 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> w przypadku z zerową rozpuszczalnością i 54.5 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> vs 14.41 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> w przypadku maksymalnej rozpuszczalności.

### **Zależność od mobilności gazu**

Zależność od mobilności gazu analizowano przez modyfikację minimalnego nasycenia, dla którego gaz staje się mobilny. Poniżej przedstawiono wyniki dla zredukowanej mobilności poprzez zwiększeniu  $S_{g, \min}$  do wartości  $S_{g, \min} = 0.1$ . Symulacje prowadzono dla przewyższenia ciśnienia progowego o 0,5 MPa w dwóch wariantach rozpuszczalności dwutlenku węgla CO<sub>2</sub>,  $R_s(0)$  – brak rozpuszczalności i  $R_s(3)$  – maksymalna rozpuszczalność.

Zasięg migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu w tym przypadku przedstawiono w **Tab. 1.1.17\_29**. Zauważa się silne ograniczenie migracji gazu: jej zasięgu i prędkości w porównaniu z wartościami otrzymanymi dla  $S_{g, \min} = 0.0$ . Wartości zasięgu migracji oraz jej prędkości zostały przy ograniczeniu mobilności gazu zredukowane kilkukrotnie. Od wartości 17.42 m do 4.54 m (1.1 m/100 lat do 0.29 m/100 lat) dla przypadku bez rozpuszczalności i z 7.43 m do 3.57 m (0.5 m/100 lat) do 0.23 m/100 lat) dla przypadku maksymalnej rozpuszczalności CO<sub>2</sub> w wodzie. Natomiast wielkość wypływu CO<sub>2</sub> do skał nadkładu (**Tab. 1.1.17\_29**) jest ograniczona w mniejszym stopniu, tj. z 8.15 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> do 7.58 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dla zerowej rozpuszczalności oraz z 14.41 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> do 13.11 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dla maksymalnej przepuszczalności. Jest to efekt osiągnięcia przez CO<sub>2</sub> większych nasyceń w przypadku jego mniejszej mobilności.

## Podsumowanie

Wykonane symulacje procesu migracji CO<sub>2</sub> do skał nadkładu Niecki Poznańskiej wykazują bardzo ograniczony zasięg migracji nawet w najbardziej pesymistycznym z rozpatrywanych wariantów, dla którego wynosi on ponad 20 m powyżej stropu złoża na przestrzeni 1600 lat. Zakładając obserwowaną w tym czasie prędkość migracji na poziomie 1.29 m/100 lat oraz objęcie migracją tylko wapienia cechsztyńskiego i anhydrytu dolnego o sumarycznej miąższości około 116 m będzie wymagało blisko 9 tys. lat. Niezależnie od obliczeń symulacyjnych należy zauważyć fakt występowania w skałach nadkładu powyżej wyznaczonego zasięgu migracji, soli oraz anhydrytów o łącznej miąższości około 200 m nie posiadających praktycznie własności transportowych.

## Tabele i figury

**Tab. 1.1.17\_27** Niecka Poznańska. Zasięg migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu. Zależność od rozpuszczalności. Ciśnienie na stropie: 0,5 MPa powyżej ciśnienia progowego,  $S_{g,min} = 0.0$ .

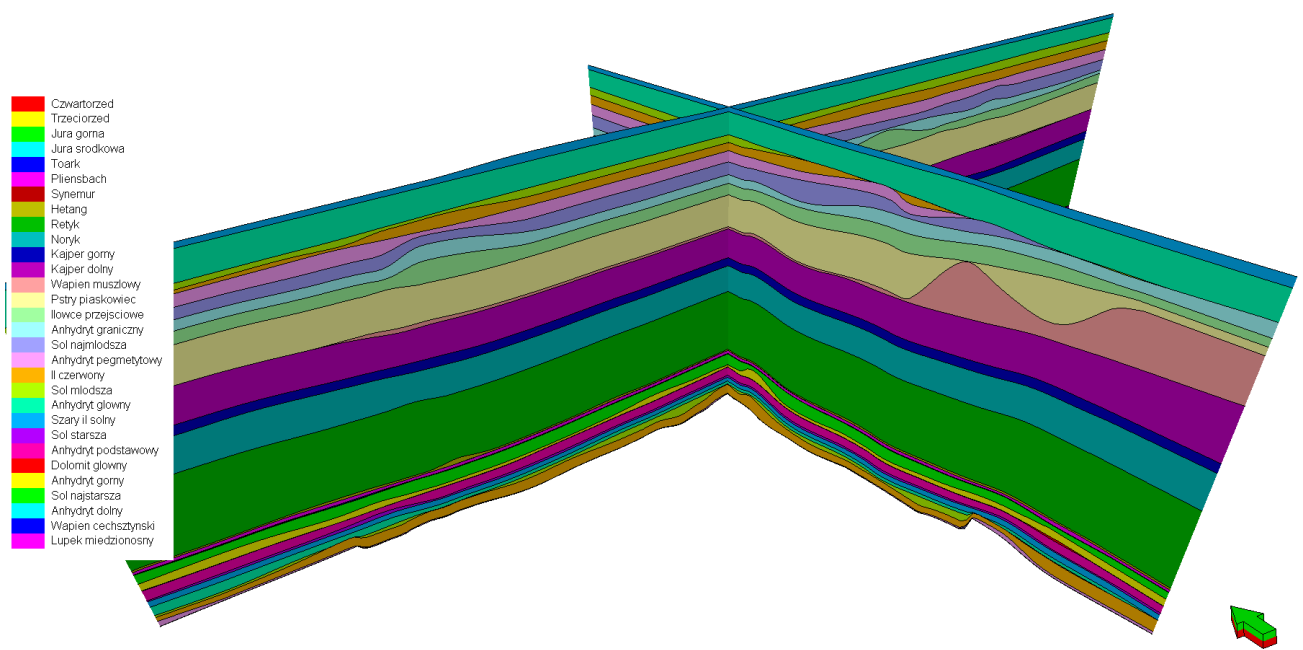
Krzywa rozpuszczalności	Zasięg migracji CO <sub>2</sub> , H, po 1600 latach sekwestracji [m]	Średnia prędkość migracji CO <sub>2</sub> po 1600 latach sekwestracji [m/100 lat]	Sumaryczny wypływ CO <sub>2</sub> do skał nadkładu przez jednostkową powierzchnię stropu po 1600 latach sekwestracji [Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
Rs(0)	17.42	1.1	8.15
Rs(1)	15.00	0.95	10.32
Rs(2)	12.4	0.78	13.12
Rs(3)	7.43	0.5	14.41

**Tab. 1.1.17\_28** Niecka Poznańska. Zasięg migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu. Zależność od rozpuszczalności.  
Ciśnienie na stropie: 1 MPa powyżej ciśnienia progowego,  $S_{g,min} = 0.0$ .

Krzywa rozpuszczalności	Zasięg migracji CO <sub>2</sub> , H, po 1600 latach sekwestracji [m]	Prędkość migracji CO <sub>2</sub> po 1600 latach sekwestracji [m/100 lat]	Sumaryczny wypływ CO <sub>2</sub> do skał nadkładu przez jednostkową powierzchnię stropu po 1600 latach sekwestracji [Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
Rs(0)	20.43	1.29	15.56
Rs(3)	15.00	0.88	54.5

**Tab. 1.1.17\_29** Niecka Poznańska. Zasięg migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu. Zależność od rozpuszczalności.  
Ciśnienie na stropie: 0,5 MPa powyżej ciśnienia progowego,  $S_{g,min} = 0.1$ .

Krzywa rozpuszczalności	Zasięg migracji CO <sub>2</sub> , H, po 1600 latach sekwestracji [m]	Prędkość migracji CO <sub>2</sub> po 1600 latach sekwestracji [m/100 lat]	Sumaryczny wypływ CO <sub>2</sub> do skał nadkładu przez jednostkową powierzchnię stropu po 1600 latach sekwestracji [Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
Rs(0)	4.54	0.29	7.58
Rs(3)	3.57	0.23	13.11

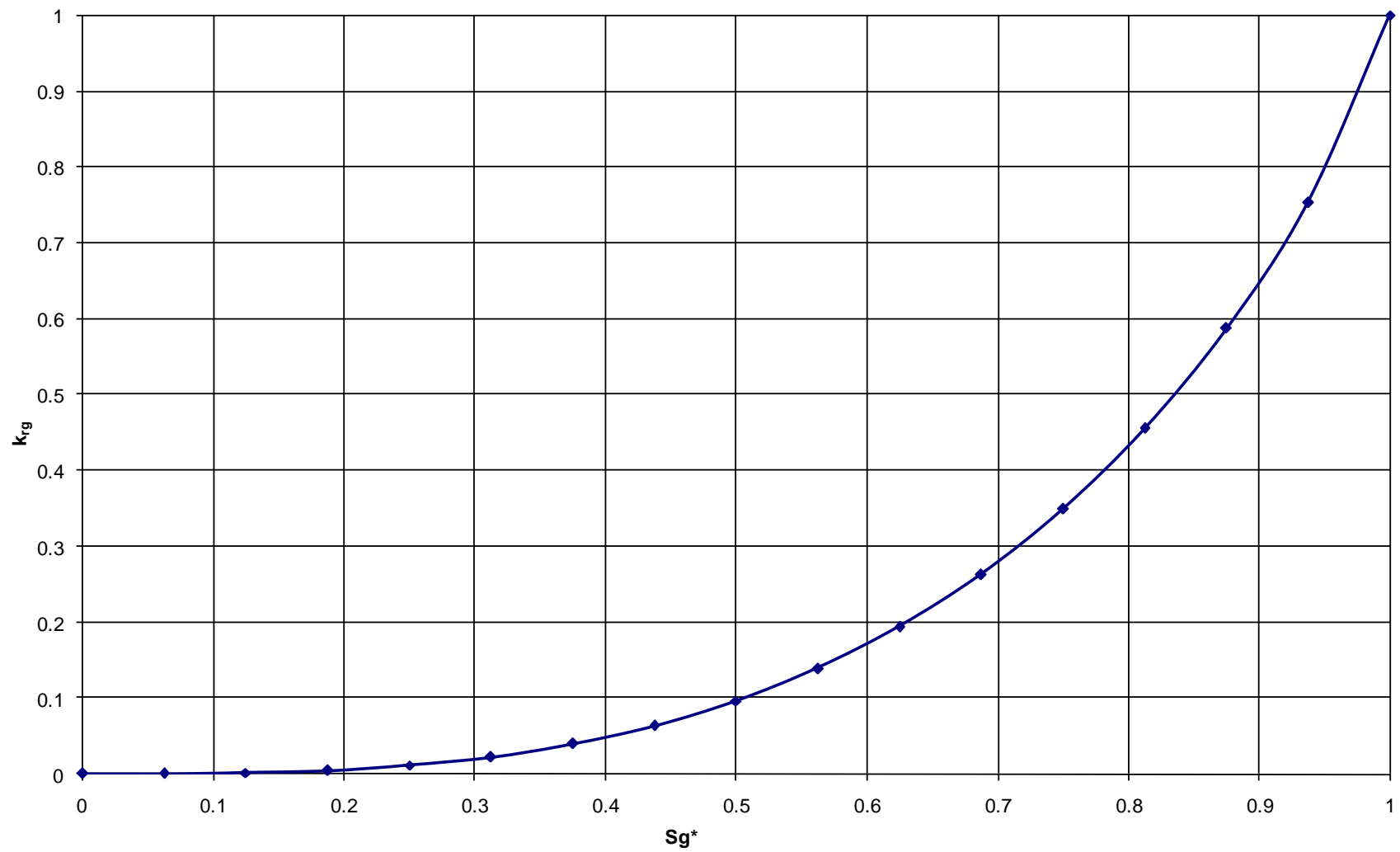


**Fig. 1.1.17\_94** Niecka Poznańska. Wybrane przekroje poprzeczne skał nadkładu

39.3 m - Czwartorzęd	$\phi = 15.0$ (?), $k = 50$ mD (?)	+ 82.4 m p.p.m.
185.4 m - Trzeciorzęd	$\phi = 15.0$ (?), $k = 50$ mD (?)	+ 43.1 m p.p.m.
64.5 m - Jura górna (Malm)	$\phi = 14.9$ , $k = 90$ mD	- 142.4 m p.p.m.
69.0 m - Jura środkowa (Dogger)	$\phi = 16.8$ , $k = 220$ mD	- 206.9 m p.p.m.
94.0 m - Toark	$\phi = 18.9$ , $k = 1100$ mD	- 275.9 m p.p.m.
110.6 m - Pliensbach	$\phi = 18.9$ , $k = 1100$ mD	- 369.8 m p.p.m.
76.0 m - Synemur	$\phi = 18.9$ , $k = 1100$ mD	- 480.4 m p.p.m.
101.6 m - Hetang	$\phi = 18.9$ , $k = 1100$ mD	- 556.4 m p.p.m.
288.3 m - Retyk	$\phi = 12.6$ , $k = 144$ mD	- 658.0 m p.p.m.
20.9 m - Noryk	$\phi = 12.6$ , $k = 144$ mD	- 946.3 m p.p.m.
272.1 m - Kajper górny	$\phi = 12.6$ , $k = 144$ mD	- 967.2 m p.p.m.
78.7 m - Kajper dolny	$\phi = 12.6$ , $k = 144$ mD	- 1239.3 m p.p.m.
254.9 m - Wapień muszlowy	$\phi = 15.0$ , $k = 350$ mD	- 1318.0 m p.p.m.
611.9 m - Pstry piaskowiec	$\phi = 15.0$ , $k = 100$ mD	- 1572.8 m p.p.m.
11.4 m - łowce przejściowe	$\phi = 1.5$ , $k = 0.0005$ mD	- 2184.7 m p.p.m.
34.8 m - Sól najmłodsza	$\phi = 1.5$ , $k = 0.0005$ mD	- 2196.0 m p.p.m.
1.5 m - Anhydryt pegmatytowy	$\phi = 1.5$ , $k = 0.0005$ mD	- 2230.9 m p.p.m.
4.4 m - łł czerwony	$\phi = 1.5$ , $k = 0.0005$ mD	- 2232.4 m p.p.m.
121.5 m - Sól młodsza	$\phi = 1.5$ , $k = 0.0005$ mD	- 2236.8 m p.p.m.
24.9 m - Anhydryt główny	$\phi = 1.5$ , $k = 0.0005$ mD	- 2358.3 m p.p.m.
1.3 m - Szary łł solny	$\phi = 1.5$ , $k = 0.0005$ mD	- 2383.3 m p.p.m.
93.2 m - Sól starsza	$\phi = 1.5$ , $k = 0.5$ mD	- 2384.6 m p.p.m.
23.3 m - Anhydryt podstawowy	$\phi = 1.5$ , $k = 0.0005$ mD	- 2477.8 m p.p.m.
44.4 m - Dolomit główny	$\phi = 15.0$ , $k = 200$ mD	- 2501.1 m p.p.m.
33.5 m - Anhydryt górny	$\phi = 1.5$ , $k = 0.0005$ mD	- 2545.5 m p.p.m.
2.5 m - Sól najstarsza	$\phi = 1.5$ , $k = 0.5$ mD	- 2579.0 m p.p.m.
107.3 m - Anhydryt dolny	$\phi = 1.5$ , $k = 0.0005$ mD	- 2581.4 m p.p.m.
7.7 m - Wapień cechsztyński	$\phi = 15.0$ , $k = 500$ mD	- 2688.7 m p.p.m.
0.7 m - Łupek miedzionośny	$\phi = 1.5$ , $k = 0.0005$ mD	- 2696.4 m p.p.m.
600 m - Czerwony spągowiec	$\phi = 12.5$ , $k = 350$ mD	- 2697.1 m p.p.m.

Fig. 1.1.17\_95 Niecka Poznańska. Struktura modelu skał nadkładu





**Fig. 1.1.17\_96** Niecka Poznańska. Przepuszczalność względna gazu,  $k_{rg}$ , w funkcji zredukowanego nasycenia gazem,  $S_g^*$

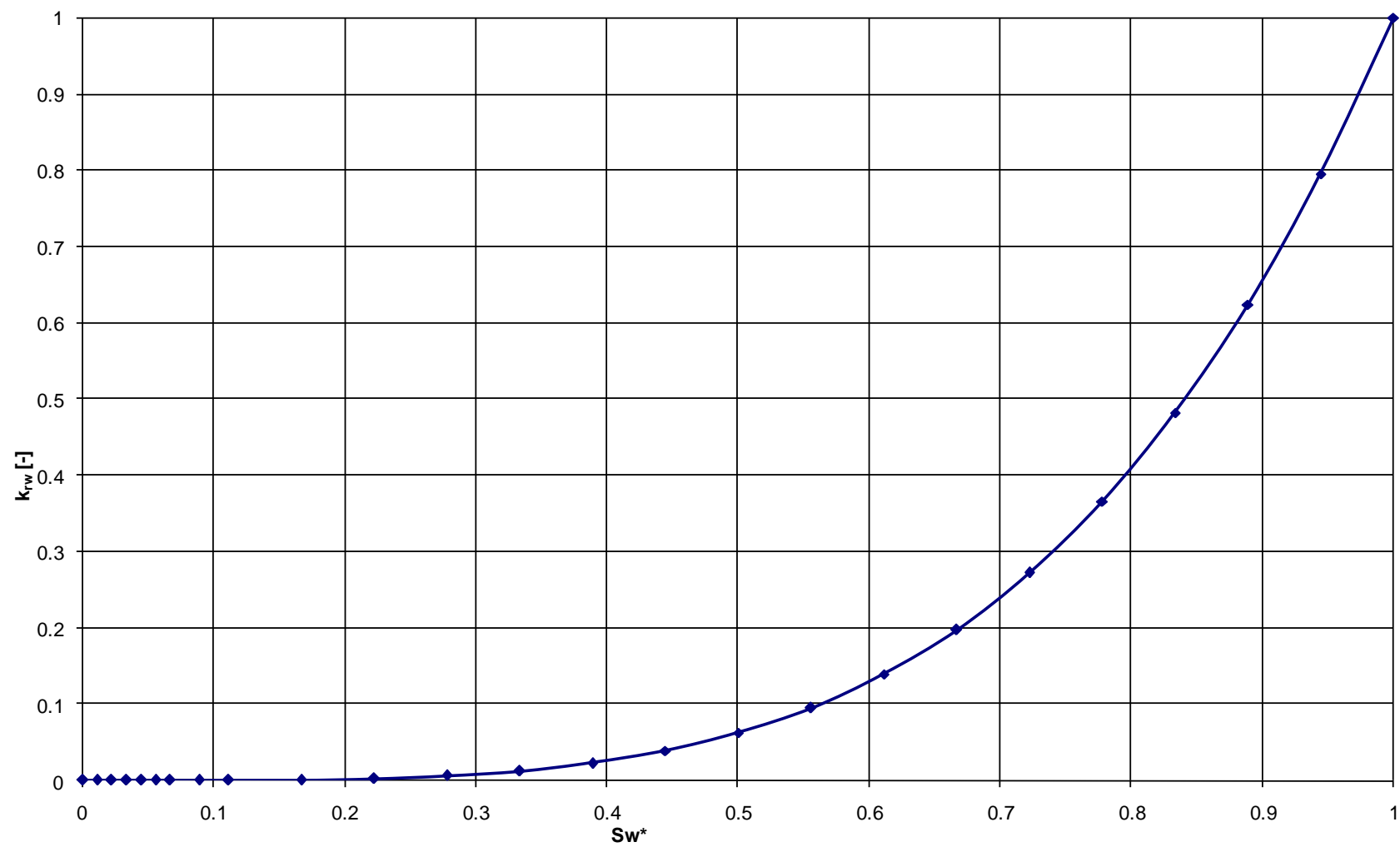


Fig. 1.1.17\_97 Niecka Poznańska. Przepuszczalność względna wody,  $k_{rw}$ , w funkcji zredukowanego nasycenia gazem,  $Sw^*$

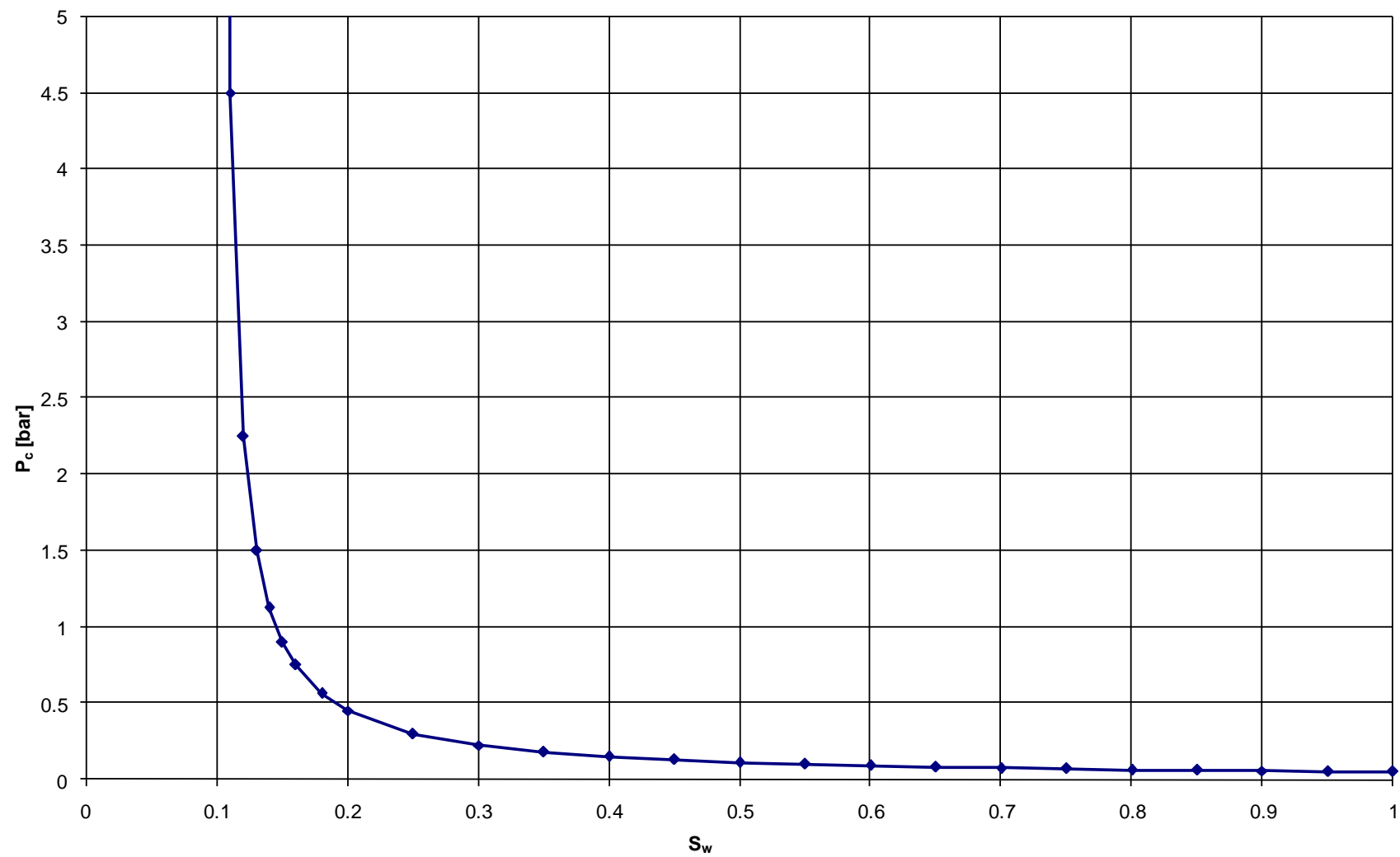


Fig. 1.1.17\_98 Niecka Poznańska. Ciśnienie kapilarne w układzie woda-gaz,  $P_c$ , w funkcji nasycenia wodą,  $S_w$

17-233

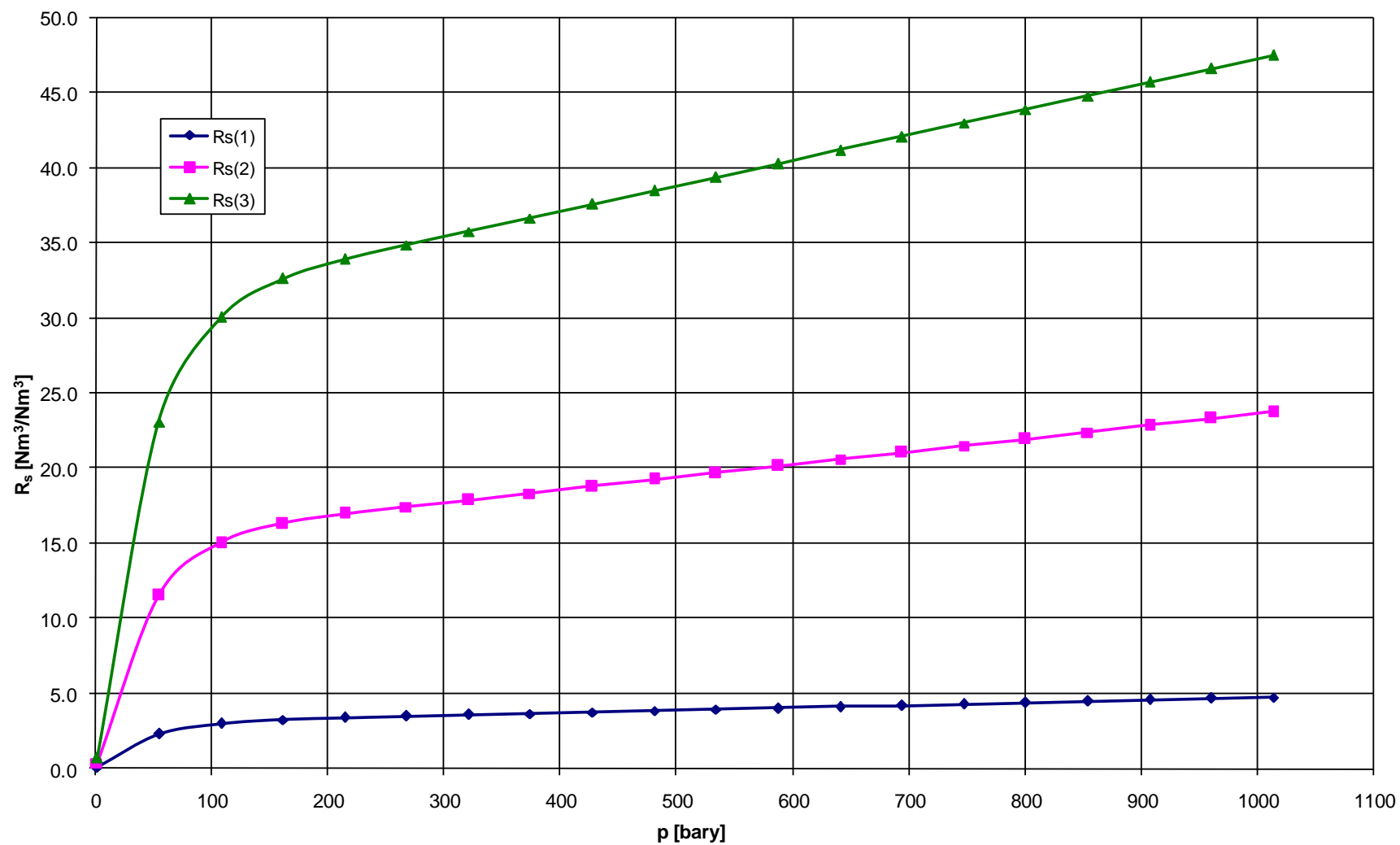
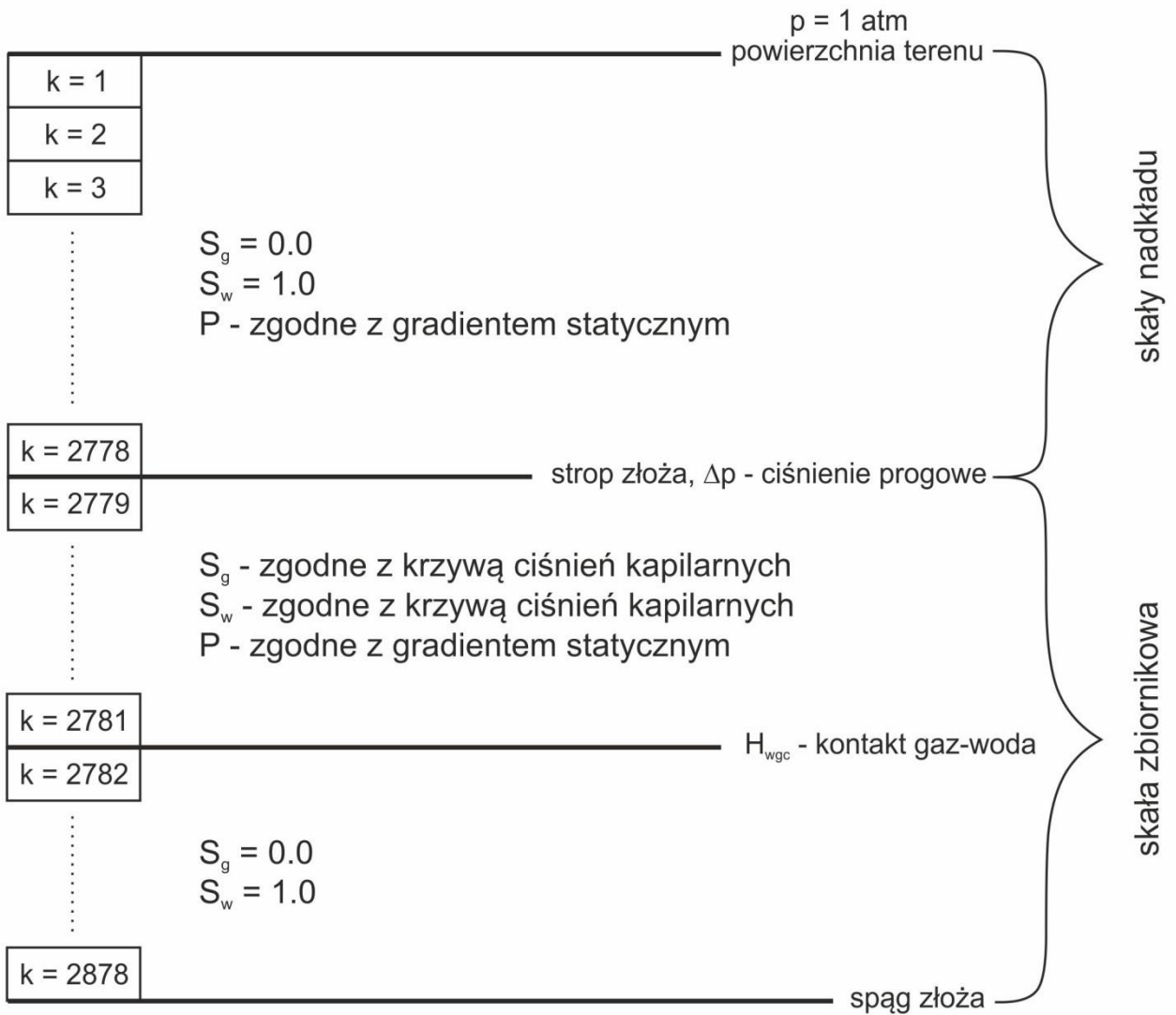


Fig. 1.1.17\_99 Niecka Poznańska. Rozpuszczalność CO<sub>2</sub> w wodzie złożowej, R<sub>s</sub>, w funkcji ciśnienia złożowego, p. Analizowane warianty 17-234



**Fig. 1.1.17\_100** Niecka Poznańska. Schemat modelu do symulacji migracji CO<sub>2</sub> do skał nadkładu. warunki brzegowe i początkowe

## **Analiza stanu technicznego istniejących odwiertów w aspekcie zachowania szczelności w środowisku kwaśnym**

Drogi przeciekania CO<sub>2</sub> zgromadzonego w strukturze geologicznej mogą występować wzdłuż istniejących odwiertów, które penetrują strukturę, bądź znajdują się w bezpośrednim jej sąsiedztwie.

Określenie nieszczelności zarówno w odwiertach wcześniej zlikwidowanych jak również w odwiertach zatłaczających CO<sub>2</sub>, które w późniejszym okresie, po zakończeniu cyklu napełniania struktury zostaną zamknięte stanowi ważny etap w ocenie ryzyka wystąpienia nieszczelności.

### **Ocena wyposażenia wglębnego i napowierzchniowego**

Drogi przeciekania CO<sub>2</sub> zgromadzonego w strukturze geologicznej mogą występować wzdłuż istniejących odwiertów, które penetrują strukturę, bądź znajdują się w bezpośrednim jej sąsiedztwie.

Określenie nieszczelności zarówno w odwiertach wcześniej zlikwidowanych jak również w odwiertach zatłaczających CO<sub>2</sub>, które w późniejszym okresie, po zakończeniu cyklu napełniania struktury zostaną zamknięte stanowi ważny etap w ocenie ryzyka wystąpienia nieszczelności.

Na załączonych rysunkach przedstawiono schematy odwiertów istniejących w analizowanym obszarze. Są to dwa rodzaje odwiertów: eksploatacyjnych i zlikwidowanych.

## **Badania laboratoryjne trwałości kamienia cementowego w środowisku kwaśnym w warunkach otworopodobnych**

Celem pracy były badania odporności korozyjnej kamieni cementowych przechowywanych w warunkach działania dwutlenku węgla. Próbkki badanych kamieni cementowych pochodziły z otworów Nosówka 7 i Paproć 38 wierconych w latach 70-tych i 80-tych XX wieku oraz z otworu Pabianice 1 wierconego w 2010 roku dla potrzeb badań nad magazynowaniem CO<sub>2</sub>. Badania prowadzono w wysokiej temperaturze oraz wysokim ciśnieniu przy użyciu skonstruowanej w 2010 roku aparatury do pomiaru korozji kamienia cementowego w środowisku CO<sub>2</sub>.

Zakres prac przedstawiał się następująco:

1. Kontynuacja badań laboratoryjnych rozpoczętych w 2010 roku dla kamieni cementowych pochodzących z otworów na złożu Nosówka oraz z otworu Pabianice 1.
2. Odtworzenie receptur zaczynów cementowych stosowanych w rejonie złóż Grodzisk – Ujazd – Bukowiec.
3. Badanie laboratoryjne trwałości kamienia cementowego w środowisku kwaśnym w warunkach otworopodobnych panujących w rejonie Grodzisk – Ujazd – Bukowiec.
4. Omówienie wyników badań.

W pracy zamieszczono:

- osiemnastomiesięczne wyniki badań kamienia cementowego stosowanego na otworze Nosówka 7 (rury 6 5/8”),
- piętnastomiesięczne wyniki badań kamienia cementowego użytego do uszczelnienia otworu Pabianice 1 (rury 9 5/8”),
- trzymiesięczne wyniki badań kamienia cementowego użytego do uszczelnienia rur 7” na otworze Paproć 38.

### **Zaczyny cementowe stosowane podczas wykonywania otworów na złożu Nosówka**

Na podstawie dostępnych materiałów zgromadzonych w archiwum w Kopalni Nosówka (z lat 1988 – 1993) uzyskano informację na temat receptur zaczynów stosowanych do uszczelniania rur okładzinowych w otworach Nosówka 1, Nosówka 2, Nosówka 5 i Nosówka 7. Dostępne materiały pochodziły z Laboratorium Ruchowego PNiG w Jaśle, z Laboratorium Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa Oddział w Krośnie oraz z protokołów sporządzonych na wiertni po wykonaniu zabiegu cementowania. W **Tab. 1.1.17\_30** zamieszczono dane dla poszczególnych otworów. Zamieszczono tam nazwę otworu, rodzaj cementowanych rur, temperaturę badania, nazwę jednostki prowadzącej pomiar, składniki zaczynu cementowego oraz ilości poszczególnych składników.

W większości przypadków stosowano zaczyny zawierające 50% cementu z ZSRR, z cementowni Chełm lub Rejowiec oraz 50% pyłu dymnicowego. Współczynnik wodno – cementowy oznaczany symbolem w/c wynosił 0,50 lub 0,55. Do opóźniania czasu wiązania używano cukru lub kwasu winowego. Badania zaczynów i kamieni cementowych w zależności od otworu i rodzaju rur prowadzono w temperaturach od 70 do 90°C.

**Tab. 1.1.17\_30** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożu Nosówka w latach 1988 – 1993

<b>OTWÓR</b> i średnica rur w calach, głębokość zapuszczania [m]	<b>Temperatura badania [°C]</b>	<b>Jednostka badająca lub miejsce zastosowania</b>	<b>Składniki zaczynu</b>	<b>Ilości poszczególnych składników</b>
<b>Nosówka 1 (rury 9 5/8)</b>	60	Laboratorium PNiG Jasło	Cement Chełm 350	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Cukier	0,03%
			Woda	w/c = 0,5
<b>Nosówka 1 (rury 9 5/8)</b>	60	Laboratorium PNiG Jasło	Cement Chełm 350	100%
			Cukier	0,03%
			Woda	w/c = 0,5
<b>Nosówka 1 (rury 6 5/8)</b>	70	Laboratorium PNiG Jasło	Cement ZSRR	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Woda	w/c = 0,5
<b>Nosówka 1 (rury 6 5/8)</b>	70	Laboratorium PNiG Jasło	Cement ZSRR	100 %
			Woda	w/c = 0,5
			Cukier	0,02 %
<b>Nosówka 1 (rury 6 5/8)</b>	90	Laboratorium IGNiG Krosno	Cement ZSRR	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Cukier	0,02
			Woda	w/c = 0,55



Nosówka 1 (rury 6 5/8, H=2465 m)	90	Zastosowanie na wiertni	Cement ZSRR	50% (15t)
			Pył dymnicowy	50% (15t)
			Cukier	0,02 (6,6 kg)
			Woda	w/c = 0,6 (18m <sup>3</sup> )
Nosówka 1 (rury 6 5/8, H=2465 m)	90	Zastosowanie na wiertni	Cement ZSRR	50% (22,5t)
			Pył dymnicowy	50% (22,5t)
			Cukier	0,02 (9 kg)
			Woda	w/c = 0,67 (30m <sup>3</sup> )
Nosówka 2 (rury 9 5/8, H= 2950m)	-	Zastosowanie na wiertni	Cement Chełm 350	50% (59t)
			Pył dymnicowy	50% (59t)
			Cukier (wg. IGNIG)	0,03%
			Woda	w/c = 0,68 (80m <sup>3</sup> )
Nosówka 2 (rury 9 5/8)	70	Laboratorium IGNiG Krosno	Cement Chełm 350	50%
			Popiół z Łęgu	50%
			Cukier	0,03%
			Woda	w/c = 0,55
Nosówka 2 (rury 9 5/8) czysty	70	Laboratorium IGNiG Krosno	Cement Chełm 350	100 %
			Cukier	0,03%
			Woda	w/c = 0,50
Nosówka 2 (rury 6 5/8 H= 3353m)	-	Zastosowanie na wiertni	Cement ZSRR	50% (16t)
			Pył dymnicowy	50% (16t)
			Cukier	0,03%
			Woda	40m <sup>3</sup>
Nosówka 2 (rury 6 5/8)	80	Laboratorium IGNiG Krosno	Cement ZSRR	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Cukier	0,032%
			Woda	w/c = 0,55

Nosówka 2 (rury 6 5/8 H=3353 m)	-	Zastosowanie na wiertni	Cement ZSRR	53,5 % (23t)
			Pył dymnicowy	46,5 % (20t)
			Cukier	0,032% (17,6kg)
			Woda	w/c = 0,55 (30 m <sup>3</sup> )
Nosówka 5 (rury 7) [głęb 3150]	80	Laboratorium PNiG Jasło	Cement ZSRR	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Cukier	0,01%
			Woda	w/c = 0,50
Nosówka 5 (rury 7 H=3150 m)	80	Laboratorium PNiG Jasło	Cement Ożarów 350	100%
			Cukier	0,01%
			Woda	w/c = 0,50
Nosówka 5 (rury 7 H=3150 m)	-	Zastosowanie na wiertni	Cement ZSRR	50% (30t)
			Pył dymnicowy	50% (30t)
			Cement ZSRR	100 % (60t)
			Cukier	0,01%
			Woda	w/c = 0,72 (86m <sup>3</sup> )
Nosówka 5 (rury 7 H=3150 m)	-	Zastosowanie na wiertni	Cement ZSRR	100 % (40,67t)
			Cukier	0,03% (15kg)
			Woda	w/c = 0,61 (25m <sup>3</sup> )
Nosówka 7	70	Laboratorium PNiG Jasło	Cement Chełm 350	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Cukier	0,01%
			Woda	w/c = 0,50
Nosówka 7	85	Laboratorium PNiG Jasło	Cement Rejowiec 350	100 %
			Cukier	0,05%

			Woda	w/c = 0,5
Nosówka 7	70	Laboratorium PNiG Jasło	Cement Chełm 350	50%
			Cukier	0,04%
			Dispersan	0,5%
			Woda	w/c = 0,50
Nosówka 7 (rury 6 5/8)	80	Laboratorium IGNiG Krosno	Cement Rejowiec 350	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Kwas winowy	0,05%
			Woda	w/c = 0,55
Nosówka 7 (rury 6 5/8)	80	Laboratorium IGNiG Krosno	Cement Rejowiec 350	100 %
			Kwas winowy	0,12%
			Woda	w/c = 0,50

**Zaczyny cementowe stosowane podczas uszczelniania otworów na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.**

Bazując na dostępnych materiałach z lat 1975 – 1985, zgromadzonych w archiwach, uzyskano informacje na temat receptur zaczynów stosowanych do uszczelniania rur okładzinowych w otworach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd. Materiały te pochodziły z Laboratorium Geologicznego ZPNiG w Zielonej Górze, Laboratorium Ruchowego PPN w Pile, Laboratorium PPN w Wołominie oraz z protokołów sporządzonych na wiertni po wykonaniu zabiegu cementowania. W **Tab. 1.1.17\_31** zamieszczono dane dla poszczególnych otworów. Określono w niej nazwę otworu, datę badania, głębokość i rodzaj cementowanych rur, temperaturę badania, skład zaczynu cementowego oraz ilości poszczególnych składników.

W większości przypadków stosowano zaczyny zawierające 100% cementu 400 z ZSRR oraz mieszaniny cementu 400 i 350. Używano także polskiego cementu portlandzkiego 350 z cementowni Kujawy. Współczynnik wodno – cementowy, oznaczany symbolem w/c, zazwyczaj wynosił 0,5 jednak w niektórych przypadkach dochodził do 0,7. Do opóźniania czasu wiązania najczęściej używano melasy i cukru, rzadziej kwasu winowego, natomiast do przyspieszania  $CaCl_2$ . Badania zaczynów w zależności od otworu i rodzaju rur prowadzono w temperaturach od 20 do 110°C.

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
Buk-17	1981.10.26	300m	30°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
Buk-17	1981.10.26 (Badanie lab.)	300m	30°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				CaCl <sub>2</sub>	3%	
Buk-17	1981.11.20	260m (13 3/8")		Cement 400 ZSRR		
Buk-17	1981.12.02 (Badanie lab.)	1500m	50°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5 0,6 0,7
Buk-17	1981.12.11	1561m (9 5/8")	50°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,6
Buk-17	1982.03.04 (Badanie lab.)	3000m	90°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5 0,6
Buk-17	1982.03.04 (Badanie lab.)	3000m	90°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5 0,6
				Kwas winowy	0,07%	
Buk-17	1982.03.04 (Badanie lab.)	3000m	90°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5 0,6
				NaCl	20%	
				Kwas winowy	0,07%	
Buk-17	1982.03.11 (Badanie lab.)	3000m	90°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				Cukier	0,1%	
Buk-17	1982.03.14	2920m (6 5/8")	90°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				Cukier	0,1%	

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
Buk-18	1977.03.25	247m (13 3/8")		Cement 400 i 350		
				CaCl <sub>2</sub>		
Buk-18	1977.05.13	2400m (9 5/8")	80°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				Melasa	0,08%	
Buk-18	1977.06.02	2700m	80±2°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Melasa	0,03%	
Buk-18	1977.06.02	2700m	80±2°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Melasa	0,02%	
Buk-18	1977.06.13	2720m (6 5/8")	80±2°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Melasa	0,02%	
Buk-18	1977.07.21	3049m (4 1/2")	110°C	Cement Kujawy 350	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Melasa	0,04%	
Bukowiec-7	1977.10.25	1455m (9 5/8")	60°C	Cement Portland	100%	0,5
Bukowiec-7	1977.12.18	2741m (6 5/8")	100°C	Cement Portland 350	100%	0,5
				Cukier	0,1%	

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
Bukowiec-8	1978.03.07	256m (13 3/8")	30°C	Cement Portland 350	100%	0,5
Bukowiec-8	1978.03.24	1460m (9 5/8")	50°C	Cement P-3		0,5
				Cement 400 ZSRR		
Bukowiec-24	1984.08.27 (Badanie lab.)	300m	20°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
Bukowiec-24	1984.09.20	1460m (9 5/8")	50°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
Bukowiec-24	1984.11.08	2746m (6 5/8")	70°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				Cukier	0,05%	
Bukowiec-26	1985.02.11 (Badanie lab.)	300m	30°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				CaCl <sub>2</sub>	3%	
Bukowiec-26	1985.02.11 (Badanie lab.)	300m	30°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
Bukowiec-26	1985.03.11	1445m (9 5/8")	50°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,6
Bukowiec-26	1985.07.27	2703m (6 5/8")	80°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				Cukier	0,05%	
Bukowiec-27	1985.10.04	300m (Badanie lab.)	20°C	Cement	100%	0,5
Bukowiec-27	1985.10.04	300m (Badanie lab.)	20°C	Cement	100%	0,5
				CaCl <sub>2</sub>	3%	

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
Bukowiec-27	1985.10.05	35m (20")		Cement 400 ZSRR	100%	
				CaCl <sub>2</sub>		
Bukowiec-27	1985.10.12	317m (13 3/8")		Cement 400 ZSRR		
				Cement 350		
Bukowiec-27	1985.10.23 (Badanie lab.)	1500m	50°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5 0,6
Bukowiec-27	1985.10.23 (Badanie lab.)	1500m	50°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,6 0,7
				Bentonit	3%	
Bukowiec-27	1985.10.31 (Badanie lab.)	1500m	50°C	Cement 350	100%	0,5 0,6
Bukowiec-27	1985.10.31 (Badanie lab.)	1500m	50°C	Cement 350	100%	0,6 0,7
				Bentonit	3%	
Bukowiec-27	1985.11.03	1505m (9 5/8")	50°C	Cement 400 ZSRR		0,6
				Portland 350		
				Pył dymnicowy	50%	
Bukowiec-27	1985.12.14 (Badanie lab.)	2800m	80°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5 0,6
Bukowiec-27	1985.12.14 (Badanie lab.)	2800m	80°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5 0,6

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
	lab.)			Cukier	0,05%	
				Cukier	0,05%	
Bukowiec-27	1985.12.20	2738m (6 5/8")	90°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				Cukier	0,05%	
Grodzisk-5	1977.04.03	1454m (9 5/8")	45°C	Cement 400 ZSRR	88,3%	0,5
				Cement 350	11,7%	
Grodzisk-5	1977.05.18 (Badanie lab.)	2700m	80±2°C	Cement 400 ZSRR (dla otw.zimn.)	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Melasa	0,02%	
Grodzisk-5	1991.05.23 (Badanie lab.)	2650m	80°C	Cement 350	100%	0,5
Grodzisk-5	1991.06.03 (Badanie lab.)	800m	40°C	Cement Portland 350	100%	0,5
Grodzisk-7	1976.08.05	295m (13 3/8")	20°C	Cement Portland 350	100%	0,5
				CaCl <sub>2</sub>	2%	
Grodzisk-7	1976.08.29	1337m (9 5/8")	45°C	Cement Portland 350		0,5
				Cement prod ZSRR		
Grodzisk-7	1976.11.17 (Badanie		80°C	Cement ZSRR	100%	0,5
				Cukier	0,04%	



**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
	lab.)					
Grodzisk-7	1977.01.11	1288m (6 5/8")	40°C	Cement ZSRR wiertniczy	100%	0,5
Grodzisk-7	1977.01.30	2774m (4 1/2")	70°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Cukier	0,17%	
Grodzisk-8	1977.03.24	285m (13 3/8")	20°C	Cement Portland 350		0,5
				Cement ZSRR		
				CaCl <sub>2</sub>	2%	
Grodzisk-8	1977.04.15	1448m (9 5/8")	50°C	Cement ZSRR		0,5
				Cement Portland 350		
Grodzisk-8	1977.06.08 (Badanie lab.)		80°C	Cement Portland 350	100%	0,5
				Cukier	0,04%	
Grodzisk-8	1977.06.08 (Badanie lab.)		80°C	Cement Portland 350	100%	0,5
Grodzisk-8	1977.06.15	2598m (6 5/8")	80°C	Cement ZSRR	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Cukier	0,04%	
Grodzisk-8	1977.07.01 (Badanie lab.)		90°C	Cement Portland 350	100%	0,5
				20% Solanka		
				Cukier	0,03%	

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
Grodzisk-8	1977.07.08	2772m (4 1/2")	90°C	Cement ZSRR	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Cukier	0,03%	
Grodzisk-13	1978.06.27	32m (20")		Cement ZSRR	100%	0,5
				CaCl <sub>2</sub>	0,4%	
Grodzisk-13	1977.07.09	302m (13 3/8")	20°C	Cement ZSRR	100%	0,5
				CaCl <sub>2</sub>	2%	
Grodzisk-13	1977.08.06	1500m (9 5/8")	45°C	Cement wiertni. ZSRR	100%	0,5
Grodzisk-13	1977.12.17	2788m (6 5/8") I sekcja	90°C	Cement ZSRR	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Blanose	0,15%	
Grodzisk-13	1978.01.15	2830m (4 1/2")	90°C	Cement ZSRR	100%	0,5
				Blanose	0,25%	
Grodzisk-13	1978.03.24	2830m (6 5/8")	45°C	Cement wiert. ZSRR	100%	0,5
Grodzisk-21	1978.06.02 (Badania lab.)		20°C	Cement ZSRR	100%	0,5
				CaCl <sub>2</sub>	3%	
Grodzisk-21	1978.06.23 (Badania lab.)		45°C	Cement ZSRR (do gor.otw.)	100%	0,5
Grodzisk-21	1978.08.22 (Badania lab.)		90°C	Cement Portland 350	100%	0,5
				Cukier	0,04%	
Grodzisk-22	1978.06.23		20°C	Cement wiert. ZSRR (do	100%	0,5

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
	(Badania lab.)			otw.zimn.)		
				CaCl <sub>2</sub>	3%	
Grodzisk-22	1978.06.27	306m (13 3/8")	20°C	Cement wiertni. ZSRR	100%	0,5
				CaCl <sub>2</sub>	3%	
Grodzisk-22	1978.10.17 (Badania lab.)		90°C	Cement ZSRR	100%	0,5
				Kwas winowy	0,07%	
Grodzisk-22	1978.10.17 (Badania lab.)		90°C	Cement ZSRR	100%	0,5
				Kwas winowy	0,05%	
Grodzisk-22	1978.11.14	2740m (6 5/8")	90°C	Cement ZSRR	100%	0,5
				Kwas winowy	0,07%	
Grodzisk-22	1978.11.17	2740m (6 5/8") II sekcja	90°C	Cement ZSRR i P-350		0,5
Grodzisk-22	1978.12.22	2775m (4 1/2")	90°C	Cement ZSRR	100%	0,5
Grodzisk-22	1991.07.15 (Badanie lab.)	2200m	60°C	Cement Portland 350	100%	0,5
Grodzisk-25	1991.10.09 (Badanie lab.)	2780m	70°C	Cement 350 Strzelce Opolskie	100%	0,5
Grodzisk-26	1983.06.04	25m (20")		Cement 400 ZSRR		
				CaCl <sub>2</sub>		
Grodzisk-26	1983.06.07	277m (13 3/8")		Cement 400 ZSRR		

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
Grodzisk-26	1983.06.17 (Badanie lab.)	1500m	50°C	Cement Portland 350	100%	0,5 0,6
Grodzisk-26	1983.06.17 (Badanie lab.)	1500m	50°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5 0,6
Grodzisk-26	1983.07.28 (Badanie lab.)	2750m	80°C	Cement Portland 350	100%	0,5 0,6
				Cukier	0,05%	
Grodzisk-26	1983.07.28	2750m	80°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5 0,6
				Cukier	0,05%	
Grodzisk-26	1983.08.01	2750m (6 5/8")	80°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				Cukier		
Grodzisk-27	1983.12.09	1500m	50°C	Cement Portland 350	100%	0,6
Grodzisk-27	1983.12.09 (Badania lab.)	1500m	50°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,6
Grodzisk-27	1983.12.11		50°C	Cement 350	75%	0,6
				Cement 400 ZSRR	25%	
				Cukier	0,1%	
Grodzisk-28	1984.10.27 (Badania lab.)	2780m	84±2°C	Cement 400 ZSRR (do gor.otw.)	100%	0,5
				NaCl	20%	

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
				Melasa	0,04%	
Grodzisk-28	1984.11.04 (Badania lab.)	1430m	45±2°C	Cement 400 ZSRR (do otw.zimn.)	100%	0,7
				Bentonit	3%	
Grodzisk-28	1984.11.04 (Badania lab.)	1430m	45±2°C	Cement 350	100%	0,7
				Bentonit	3%	
Grodzisk-28	1984.11.04 (Badania lab.)	1430m	45±2°C	Cement 350	100%	0,5
Kopanki-1	1977.11.19	1450m (9 5/8")		Cement Portland 350 + P-3 (ZSRR)		0,5
Kopanki-1	1978.02.08	2590m(6 5/8")	80°C	Cement P-3 ZSRR	100%	0,5
				Cukier	0,1%	
Kopanki-1	1978.08.31	2815,5m (4 1/2")	90°C	Cement 400 GOST	100%	0,5
				Cukier	0,1%	
Niemierzyce-1	1979.03.28 (Badanie lab.)	300m	22±2°C	Cement 350	100%	0,5
				CaCl <sub>2</sub>	2%	
Niemierzyce-1	1979.03.28 (Badanie lab.)	300m	22±2°C	Cement 350	100%	0,5
Niemierzyce-1	1979.04.25	1593m (9 5/8")	51°C	Cement 400 ZSRR	83,6%	0,5 0,7

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
				Cement 350	16,4%	
				Bentonit	4%	
				Melasa	0,01%	
Niemierzyce-1	1979.06.05 (badanie lab.)	2800m	85±2°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Melasa	0,03%	
Niemierzyce-1	1979.06.26	2804m (6 5/8")	85±2°C	Cement 400 ZSRR	66%	0,5
				Cement 350	34%	
				NaCl	20%	
				Melasa	0,03%	
Niemierzyce-1	1979.07.23	2973m (4 1/2")	100°C	Cement 350	100%	0,5
				Soda amoniakalna	0,6%	
				Kwas winowy	0,3%	
				Glikożel AS-60	1%	
				Lignopol 25%	0,8%	
				Oktanol		
Paproć - 38	1980.06.10 (Badanie lab.)	2700m ( 7 " )	70°C	Cement	50%	0,5
				Pył dymnicowy	50%	
				Cukier	0,05%	
Podrzewie-1	1980.06.10 (Badanie lab.)	2800m	85±2°C	Cement	100%	0,7 0,5
				Bentonit	4%	
				Melasa	0,04%	

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
Podrzewie-2	1980.03.20 (Badanie lab.)	300m	23±2°C	Cement 350	100%	0,5
				CaCl <sub>2</sub>	2%	
Podrzewie-2	1980.03.30	280m (13 3/8")		Cement 350		
				CaCl <sub>2</sub>		
Podrzewie-2	1980.06.12	2765m (9 5/8")	85°C	Cement 400	100%	0,5 0,7
				Bentonit	4%	
				Melasa	0,04%	
Podrzewie-2	1980.07.08 (Badanie lab.)	3100m	93±2°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Melasa	0,04%	
Podrzewie-2	1980.07.09	3070m (6 5/8")	95°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Melasa	0,08%	
Podrzewie-2	1980.10.12	3521m (4 1/2")	95°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,55
				Sól	17%	
				Oktanol	0,2 %	
				Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,5%	
				Kwas winowy	0,02%	
				CHC	0,8%	
CaCl <sub>2</sub>	2%					
Porążyn-2A	1978.01.05	1470m (9 5/8")	60°C	Cement P-3 GOST	100%	0,6

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
Porążyn-2A	1978.02.10	2770m (6 5/8")	80°C	Cement P-3 ZSRR		0,6-0,7
				Cukier	0,1%	
Stęszew-4	1978.12.29	215m (13 3/8")		Cement 350	100%	
				CaCl <sub>2</sub>		
Stęszew-4	1979.01.26 (Badanie lab)	1600m	50±2°C	Cement 350	100%	0,5
				Melasa	0,01%	
Stęszew-4	1979.01.29	1652m (9 5/8")	50°C	Cement 350	80,3%	0,5 0,9
				Cement 400 ZSRR	19,7%	
				Bentonit	4%	
Stęszew-4	1979.03.29 (Badanie lab.)		53±2°C	Cement 350	100%	0,5
Stęszew-4	1979.05.23 (Badanie lab.)	2900m	88±2°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Melasa	0,03%	
Stęszew-4	1979.06.28	2880m (6 5/8")	85±2°C	Cement 400 ZSRR	86%	0,5
				Cement 350	14%	
				NaCl	20%	
				Melasa	0,03%	
Stęszew-4 (wg rec. IN Krosno)	1979.07.22	3018m (4 1/2")	100°C	Cement 350	100%	0,5
				Soda amoniakalna	0,6%	



**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
				Kwas winowy	0,3%	
				Glikol AS-60	1%	
				Lignopol r-r 25%	0,8%	
				Oktanol		
Stęszew-8	1980.06.19 (Bad. lab.)	300m	23±2°C	Cement 350 Piła	100%	0,5
				CaCl <sub>2</sub>	2%	
Stęszew-8	1980.06.25 (Badania lab.)	300m	22±2°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				CaCl <sub>2</sub>	2%	
Stęszew-8	1980.09.08 (Badania lab.)	2350m	71±2°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,7
				Bentonit	4%	
				Melasa	0,03%	
Stęszew-8	1980.09.08 (Badania lab.)	2350m	71±2°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				Melasa	0,03%	
Stęszew-8	1980.09.11	2338m (9 5/8")	100°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5 0,9
				Bentonit	4%	
				Melasa	0,03%	
Stęszew-8	1980.11.07 (Badania lab.)	2900m	90±2°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Melasa	0,06%	
Stęszew-8	1980.11.09	2882m (6 5/8")	90°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
				NaCl	20%	
				Melasa	0,06%	
Strykowo-1	1980.03.15	1553m (9 5/8")	51±2°C	Cement 400 ZSRR	91,7%	0,5 0,7
				Cement 350	8,3%	
				Bentonit	4%	
Strykowo-1	1980.05.04	2689m (6 5/8")	85±2°C	Cement 400 ZSRR	90,6%	0,5
				Cement 350	9,4%	
				NaCl	20%	
				Melasa	0,04%	
Strykowo-1	1980.06.14	2920m (4 1/2")	91±2°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Melasa	0,04%	
Strykowo-4	1984.08.03 (Bad. lab.)	2400m	72±2°C	Cement 400 ZSRR (do otw. zimn.)	70%	0,7
				Mączka żużłowa	30%	
				Bentonit	3%	
				Melasa	0,09%	
Strykowo-4	1984.08.03 (Badania lab.)	2400m	72±2°C	Cement 350	100%	0,7
				Bentonit	0.06%	
				Melasa	0,0012%	
Strykowo-4	1984.08.03 (Bad. lab.)	2400m	72±2°C	Cement 350	100%	0,5
				Melasa	0,06%	

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
Strykowo-4	1984.08.07	2354m (9 5/8")	71±2°C	Cement 350	100%	0,5 0,7
				Cement 400	57%	
				Mączka żuźlowa	43%	
				Bentonit	3%	
				Melasa	0,09%	
Strykowo-4	1984.09.14 (Bad. lab.)	2880m	87±2°C	Cement 400 ZSRR (do otw. zimn.)	100%	0,5
				NaCl	25%	
				Melasa	0,12%	
Strykowo-4	1984.10.04	3000m (4 1/2")		Cement 350	100%	
				Sól	20%	
				Melasa	0,1%	
Ujazd-1	1975.12.31	2496m (6 5/8")	75°C	Cement Kujawy 350	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Cukier	0,08%	
Ujazd-1	1976.02.10	2692m (4 1/2")	100°C	Cement Kujawy	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Cukier	0,4%	
Ujazd-5	1976.05.14	1423m (9 5/8")	50°C	Cement 350	100%	0,5
				Cukier	0,2%	
Ujazd-5	1976.06.29	2632m (6 5/8")	80°C	Cement Portland 350	100%	0,5
				Cukier	0,2%	

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
Ujazd-7	1977.01.09	1577m (9 5/8")	60°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				Bentonit	4%	
Ujazd-7	1977.03.05	2639m (6 5/8")	80°C	Cement 350		0,5
				Cement 400 ZSRR		
				NaCl	20%	
				Melasa	0,02%	
Ujazd-7	1977.03.29	2772m (4 1/2")	100°C	Cement 350	100%	0,5
				NaCl	20%	
				Melasa	0,12%	
Ujazd-9	1977.11.05	1632m (9 5/8")	80°C	Cement 400 ZSRR + Cement 350		0,9 0,5
				Bentonit	5%	
Ujazd-9	1977.12.23	2676m (6 5/8")	85±2°C	Cement Portland 350	38,5%	0,5
				Cement 400 ZSRR	61,5%	
				NaCl	20%	
				Melasa	0,03%	
Ujazd-12	1978.05.25	1535m (9 5/8")	47±2°C	Cement 350	50%	0,5 0,9
				Cement 400	50%	
				Bentonit	4%	
Ujazd-12	1978.05.25	1535m (9 5/8")	47±2°C	Cement 350	50%	0,5 0,9
				Cement 400	50%	

**Tab. 1.1.17\_31** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd.

NAZWA OTWORU	DATA	GŁĘBOKOŚĆ	TEMPERATURA	SKŁAD		W/C
Ujazd-12	1978.07.19 (Badania lab.)	1550m	47±2°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
Ujazd-12	1978.07.19	1550m	47±2°C	Cement 400 ZSRR	100%	0,5
				Bentonit	4%	

### Badania laboratoryjne

W pracy „ Zarządzanie ryzykiem geologicznego składowania CO<sub>2</sub>”, wykonanej w roku 2010 w ramach obecnego „Programu rozpoznawania formacji....” przedstawiono podstawowe informacje dotyczące korozji węglanowej kamienia cementowego, sposobów jej ograniczania oraz stosowanej metodyki badań laboratoryjnych i aparatury badawczej.

Do badań laboratoryjnych w roku 2010 wytypowano zaczyn cementowy NO-7 zastosowany do uszczelniania rur 6 5/8” na otworze Nosówka 7, a także zaczyn cementowy PB-1 (dający kamień o podwyższonej odporności na CO<sub>2</sub>) użyty do uszczelniania rur 9 5/8” w otworze Pabianice 1. W 2011 roku przeprowadzono badania zaczynu cementowego oznaczonego symbolem PP-38, który zastosowany był na otworze Paproć – 38 podczas uszczelniania rur 7”.

Zaczyn cementowy NO-7 (**Tab. 1.1.17\_32**) posiadał stosunek wodno-cementowy (w/c) równy 0,5. W celu opóźnienia czasu wiązania wprowadzono do niego domieszkę kwasu winowego w ilości 0,05%. Spoiwo wiążące tworzyły cement Rejowiec CEM I 32,5 i pył dymnicowy (popiół) w ilości po 50%. Badany zaczyn posiadał gęstość równą 1,69 g/cm<sup>3</sup> i rozlewność 255 mm. Jego lepkość plastyczna wynosiła 34,5 mPa·s, a granica płynięcia 4,6 Pa.

Sporządzony z cementu hutniczego CEM III/A 32,5 zaczyn PB-1 o podwyższonej odporności na korozję zamieszczono w **Tab. 1.1.17\_33**. Zaczyn ten zawierał dodatki 25% mikrosilniki, 10% mikrocementu, 10% lateksu PSP102 (w stosunku do masy cementu) a także środki upłynniające, antyfiltracyjne i opóźniające wiązanie. Gęstość zaczynu PB-1 wynosiła 1,76 g/cm<sup>3</sup>, a rozlewność 255 mm. Zaczyn posiadał lepkość plastyczną równą 85,5 mPa·s oraz granicę płynięcia równą 5,0 Pa. Konsystencję 30 Bc zaczyn uzyskał po 4h 04 min., a 100 Bc po 5h 25 min. Filtracja wynosiła 48 cm<sup>3</sup>/30 min.

W **Tab. 1.1.17\_34** zamieszczono skład i parametry zaczynu PP-38. Zaczyn ten posiadał stosunek wodno-cementowy (w/c) równy 0,5. W celu opóźnienia czasu wiązania wprowadzono do niego domieszkę cukru w ilości 0,05%. Spoiwo wiążące tworzyły cement Rejowiec CEM I 32,5 i pył dymnicowy (popiół) w ilości po 50%. Zaczyn cementowy cechował się gęstością równą 1,70 g/cm<sup>3</sup> i rozlewnością 250 mm. Jego lepkość plastyczna wynosiła 36,0 mPa·s, a granica płynięcia 5,3 Pa.

Po wykonaniu badań parametrów technologicznych płynnych zaczynów sporządzono próbki kamieni cementowych. Próbki kamieni utwardzono w warunkach otworopodobnych (ciśnienie 20 MPa, temperatura 80°C dla składu NO-7 i 70°C dla składów PB-1 i PP-38). Po tygodniowym okresie utwardzania próbki wyjęto z form i przełożono do dwóch środowisk:

a) do autoklawów z solanką z Nosówki nasyconą CO<sub>2</sub> (skład NO-7) lub do wody nasyconej CO<sub>2</sub> (składy PB-1 i PP-38),

b) do środowiska porównawczego (pojemniki z solanką lub wodą bez udziału CO<sub>2</sub>).

Po założonych w harmonogramie okresach czasu próbki wyjmowano i wykonywano na nich pomiary parametrów wytrzymałościowych na maszynie do zgniatania firmy Chandler Model 4207. Wyniki badań wytrzymałościowych przedstawiono w **Tab. 1.1.17\_33** oraz **Fig. 1.1.17\_101**.

Dla kamieni cementowych NO-7 (po 15 miesiącach) oraz PB-1 (po 12 miesiącach) wykonano badania porowatości próbek w środowisku nasyconym CO<sub>2</sub> oraz w wodzie wodociągowej (**Tab. 1.1.17\_36** i **Tab. 1.1.17\_37** oraz **Fig. 1.1.17\_102** - **Fig. 1.1.17\_105**).

**Tab. 1.1.17\_32** Wyniki badań zaczynu cementowego zastosowanego na otworze Nosówka 7 - rury 6 5/8".

<b>Nosówka 7 – rury 6 5/8"</b>  Skład zaczynu NO-7  Woda , w/c = 0,5 Kwas winowy (opóźniacz wiązania) – 0,05% Pył dymnicowy (popiół lotny) – 50% Cement Rejowiec CEM I 32,5 – 50%	Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	1690
	Rozlewność [mm]	255
	Fann	
	600:	74
	300:	44
	200:	33
	100:	21
6:	7	
3:	6	
Lepkość plastyczna: 34,5 mPa·s	Granica płynięcia: 4,6 Pa	

**Tab. 1.1.17\_33a**Badania w warunkach działania CO<sub>2</sub> (temp. 80°C, ciśnienie 20 MPa, solanka z Nosówki 1).

<b>Czas przechowywania</b>	<b>Wytrzymałość na ściskanie [MPa]</b>
28 dni	22,5
90 dni	29,0
180 dni	29,7
270 dni (9 miesięcy)	30,5
365 dni (12 miesięcy)	28,5
15 miesięcy	30,7
18 miesięcy	29,0

**Tab. 1.1.17\_33b**Badania porównawcze: temp. 80°C, ciśnienie 0,1 MPa \*, (bez udziału CO<sub>2</sub>).

<b>Czas przechowywania</b>	<b>Wytrzymałość na ściskanie [MPa]</b>
28 dni	22,5
90 dni	27,5
180 dni	28,2
270 dni (9 miesięcy)	28,6
365 dni (12 miesięcy)	28,4
15 miesięcy	27,2
18 miesięcy	29,2

*\*) od okresu 270 dni próbki przechowywane w ciśnieniu atmosferycznym (wcześniej w 20 MPa),*

**Tab. 1.1.17\_34** Wyniki badań zaczynu cementowego zastosowanego na otworze Pabianice 1 – rury 9 5/8”.

<b>Pabianice 1 – rury 9 5/8”</b>		Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	1760
		Rozlewność [mm]	255
Skład zaczynu PB-1		Fann	
Woda z wiertni	w/c=0,6	600:	171
PSP061 (odpniacz)	1,0%	300:	96
PSP042 (upłynniacz)	0,2%	200:	69
PSP031 (na obniżenie filtracji)	0,2%	100:	39
PSP013 (opóźniacz wiązania)	0,15%	6:	7
PSP103 (stabilizator)	2,0%	3:	5
PSP102 (lateks W)	10,0%		
Mikrocement Ultrafin	10,0%	Czas gęstnienia	30Bc: 4 - 04
Mikrosilnika (mączka krzemionkowa)	25,0%		100Bc: 5 - 25
Cement CEM III/A 32,5 (hutniczy)	100%	Filtracja: cm <sup>3</sup> /30min	48
Lepkość plastyczna: 85,5 mPa·s		Granica płynięcia: 5,0 Pa	

**Tab. 1.1.17\_34a** Badania w warunkach działania CO<sub>2</sub> (temp. 70°C, ciśnienie 20 MPa, woda).

Czas przechowywania	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
28 dni	21,0
90 dni	21,7
180 dni	25,0
270 dni (9 miesięcy)	23,8
365 dni (12 miesięcy)	24,7



15 miesięcy	26,0
-------------	------

**Tab. 1.1.17\_34b** Badania porównawcze: temp. 70°C, ciśnienie 0,1 MPa, (woda bez udziału CO<sub>2</sub>).

<b>Czas przechowywania</b>	<b>Wytrzymałość na ściskanie [MPa]</b>
28 dni	21,0
90 dni	22,4
180 dni	27,3
270 dni (9 miesięcy)	31,6
365 dni (12 miesięcy)	30,3
15 miesięcy	32,1

**Tab. 1.1.17\_35** Wyniki badań zaczynu cementowego zastosowanego na otworze Paproć 38 - rury 7".

<b>Paproć 38 – rury 7"</b>	Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	1700
	Rozlewność [mm]	250
Skład zaczynu PP-38	Fann	
	600:	79
Woda , w/c = 0,5	300:	47
Cukier (do opóźniania wiązania) – 0,05%	200:	36
Pył dymnicowy (popiół lotny) – 50%	100:	23
Cement Rejowiec CEM I 32,5 – 50%	6:	9
	3:	7
Lepkość plastyczna: 36,0 mPa·s	Granica płynięcia: 5,3 Pa	

**Tab. 1.1.17\_36a** Badania w warunkach działania CO<sub>2</sub> (temp. 70°C, ciśnienie 20 MPa, woda).

<b>Czas przechowywania</b>	<b>Wytrzymałość na ściskanie [MPa]</b>
28 dni	27,9
90 dni	28,7

**Tab. 1.1.17\_36b** Badania porównawcze: temp. 70°C, ciśnienie 0,1 MPa, (woda bez udziału CO<sub>2</sub>).

<b>Czas przechowywania</b>	<b>Wytrzymałość na ściskanie [MPa]</b>
28 dni	25,5
90 dni	26,6

**Tab. 1.1.17\_37** Wyniki uzyskane z porozymetru dla próbek z Nosówki NO-7 oraz z Pabianic PB-1.

<b>Nazwa próbki</b>	<b>NOSÓWKA CO<sub>2</sub></b>	<b>NOSÓWKA H<sub>2</sub>O</b>	<b>PABIANICE CO<sub>2</sub></b>	<b>PABIANICE H<sub>2</sub>O</b>
<b>Masa próbki [g]</b>	3,2600	2,6100	4,3300	2,9000
<b>Oznaczenie penetrometru</b>	09-0347	09-0347	09-0347	09-0347
<b>Objętość penetrometru [cm<sup>3</sup>]</b>	6,7633	6,7633	6,7633	6,7633
<b>Waga penetrometru [g]</b>	60,8300	60,8300	60,8300	60,8300
<b>Waga z montażem [g]</b>	128,5500	129,9400	121,4200	128,0300
<b>Całkowita objętość porów [cm<sup>3</sup>/g]</b>	0,2001	0,2944	0,1736	0,2216
<b>Całkowita powierzchnia właściwa [m<sup>2</sup>/g]</b>	55,233	79,463	52,070	65,346

<b>Średnia średnica porów [nm]</b>	14,5	14,8	13,3	13,6
<b>Gęstość pozorna (gęstość szkieletu) [g/cm<sup>3</sup>]</b>	2,4186	2,4140	2,3346	2,1175
<b>Porowatość [%]</b>	<b>32,6146</b>	<b>41,5440</b>	<b>28,8355</b>	<b>31,9354</b>

**Tab. 1.1.17\_38** Zestawienie rozkładu średnic porów kamieni cementowych badanych próbek z Nosówki NO-7 oraz z Pabianic PB-1.

Próbka	Porowatość ogólna [%]	Udział procentowy porów o danej średnicy [%]		
		>10.000nm	10.000-100nm	<100nm
<b>NOSÓWKA CO<sub>2</sub></b>	32,61	2,0	10,8	87,2
<b>NOSÓWKA H<sub>2</sub>O</b>	41,54	1,2	2,8	96,0
<b>PABIANICE CO<sub>2</sub></b>	28,84	2,8	6,4	90,8
<b>PABIANICE H<sub>2</sub>O</b>	31,94	1,6	2,8	95,6

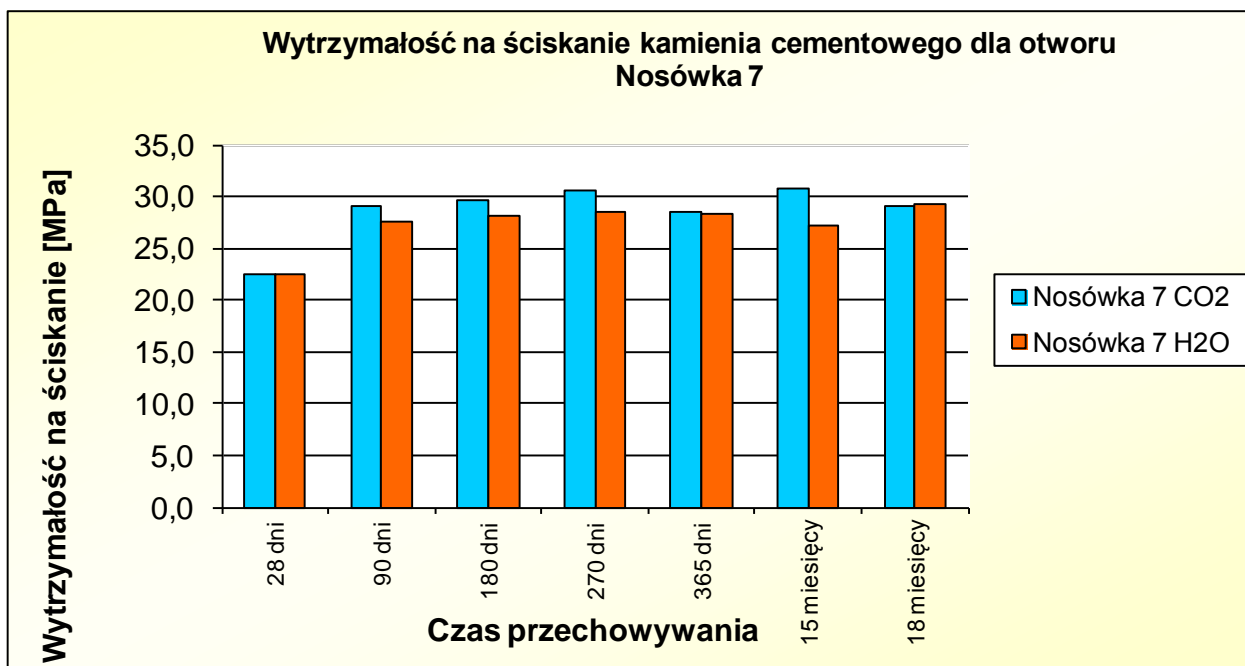


Fig. 1.1.17\_101 Wytrzymałość na ściskanie kamienia cementowego dla otworu Nosówka 7

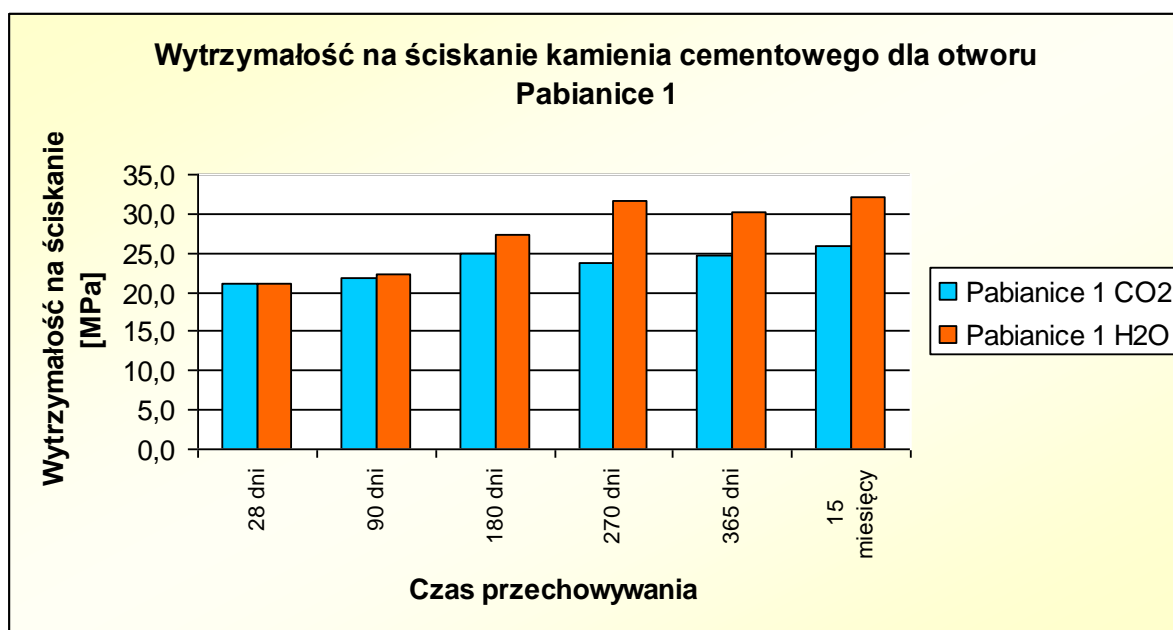


Fig. 1.1.17\_102 Wytrzymałość na ściskanie kamienia cementowego dla otworu Pabianice 1



Fig. 1.1.17\_103 Wytrzymałość na ściskanie kamienia cementowego dla otworu Paproć 38

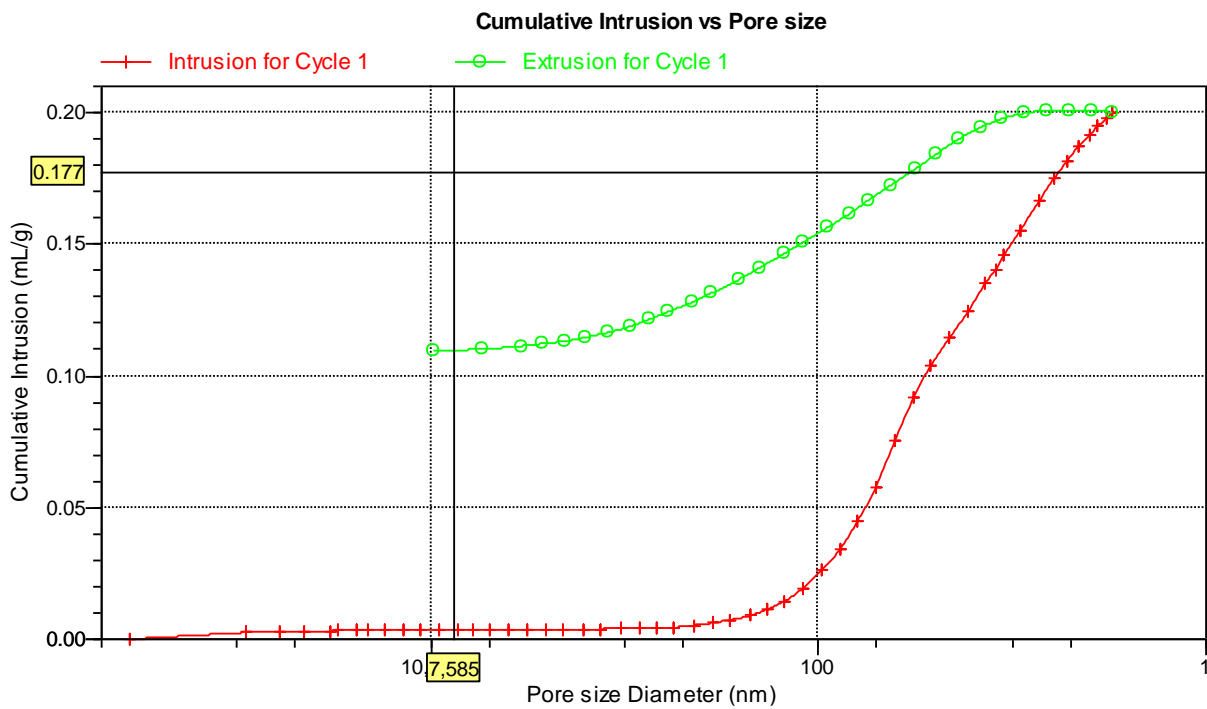
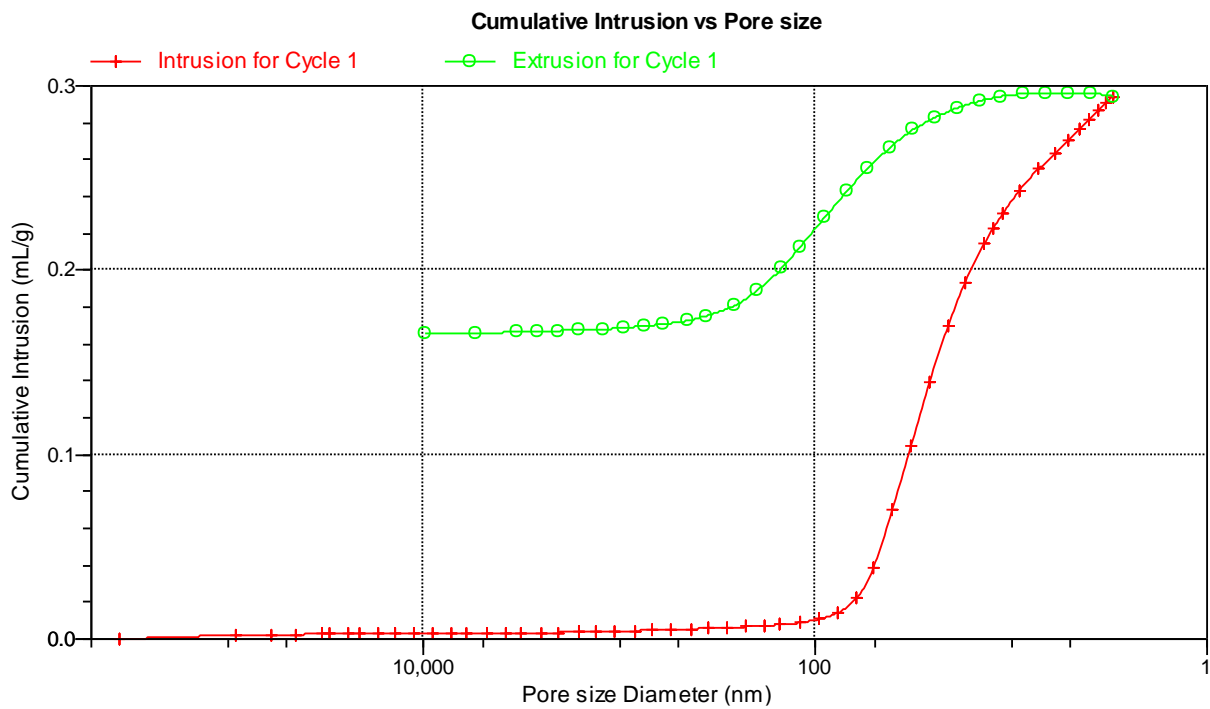
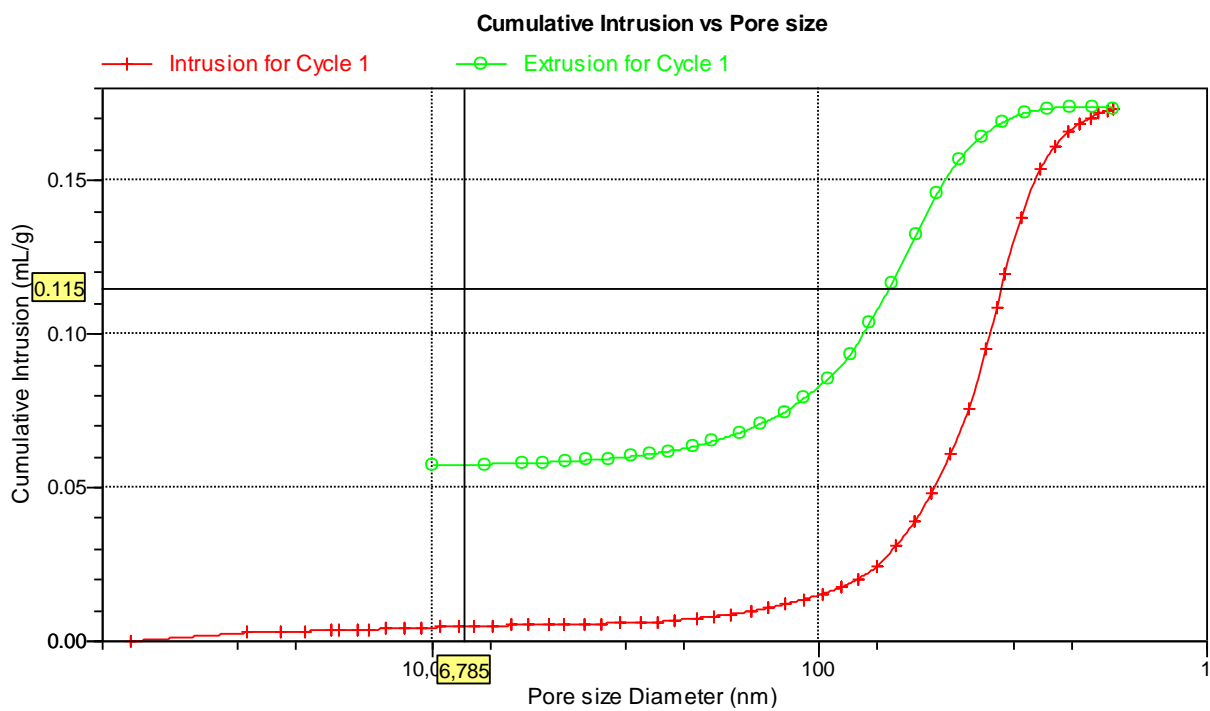


Fig. 1.1.17\_104 Krzywa kumulacyjna porów dla próbki NO-7 deponowanej w środowisku nasyconym CO<sub>2</sub> przez okres 15 miesięcy



**Fig. 1.1.17\_105** Krzywa kumulacyjna porów dla próbki NO-7 deponowanej w środowisku wodnym przez okres 15 miesięcy



**Fig. 1.1.17\_106** Krzywa kumulacyjna porów dla próbki PB-1 deponowanej w środowisku nasyconym CO<sub>2</sub> przez okres 12 miesięcy

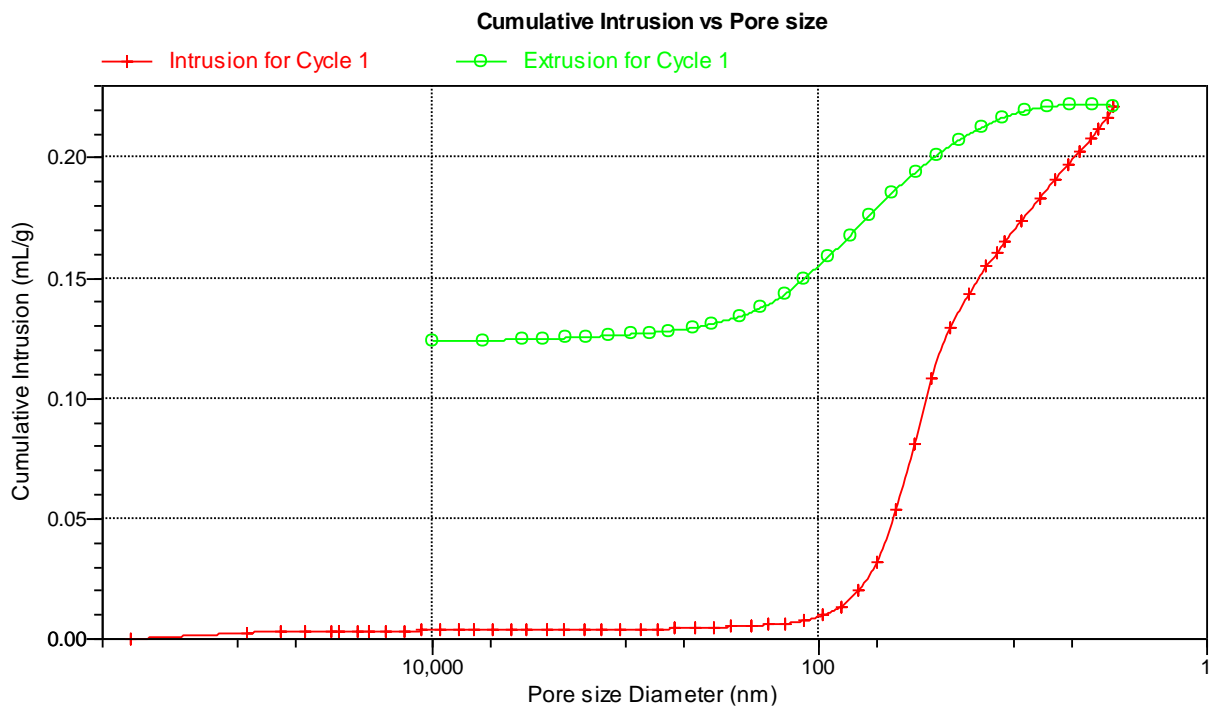


Fig. 1.1.17\_107 Krzywa kumulacyjna porów dla próbki PB-1 deponowanej w środowisku wodnym przez okres 12 miesięcy

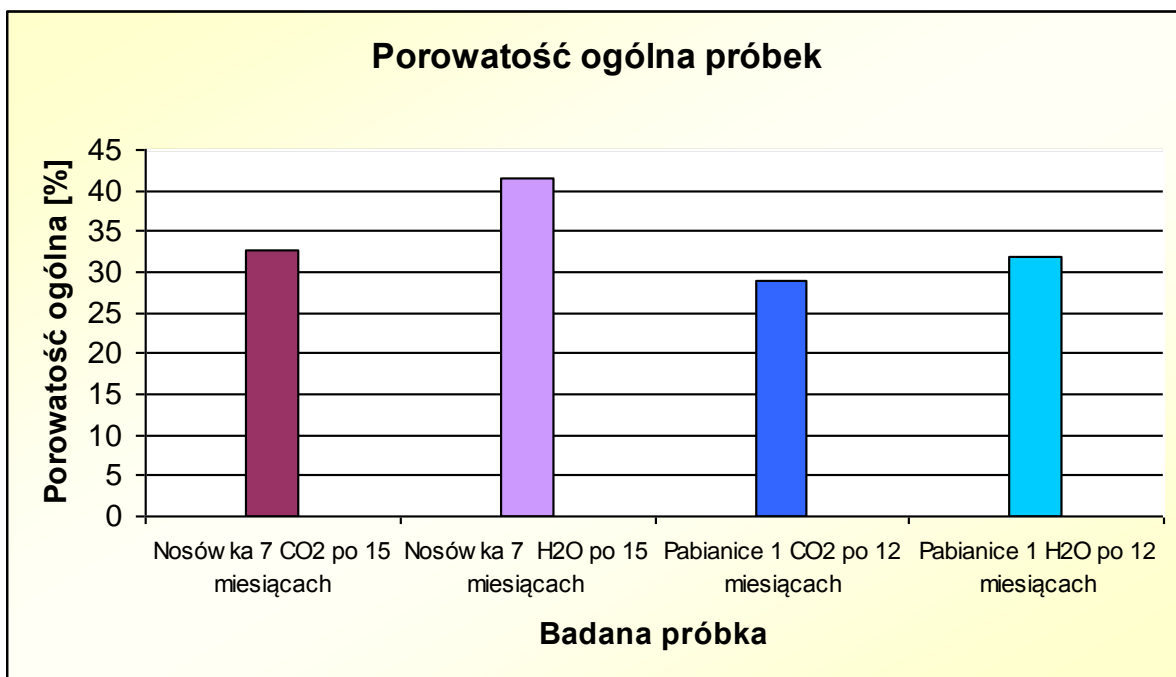


Fig. 1.1.17\_108 Porowatość ogólna próbek

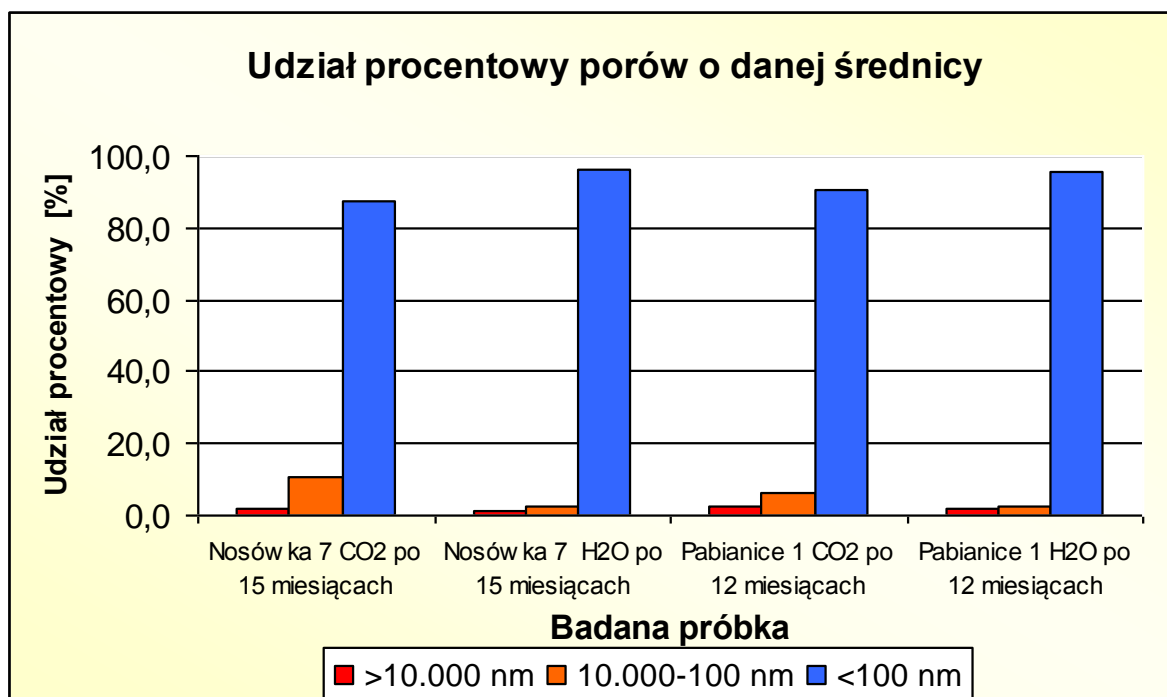


Fig. 1.1.17\_109 Udział procentowy porów o danej średnicy

Analizując przeprowadzone w INiG badania można zauważyć, iż podczas 18 miesięcy testów dla próbek deponowanych w warunkach otworopodobnych kamienie cementowe NO-7 stosowane na złożu Nosówka cechują się wysoką wytrzymałością na ściskanie. Tak w przypadku próbek deponowanych w CO<sub>2</sub> jak i w środowisku porównawczym w okresie od 28 do 90 dni wytrzymałość na ściskanie wzrosła od ok. 22 do ok. 28 - 29 MPa. W późniejszym czasie (od 6 do 18 miesięcy) próbki kamienia cementowego zachowywały stabilne parametry (wytrzymałość na ściskanie w przypadku próbek deponowanych w CO<sub>2</sub> a także próbek bez udziału CO<sub>2</sub> wynosiła ok. 28 – 30 MPa).

Porowatość próbki NO-7 przechowywanej w warunkach działania CO<sub>2</sub> wynosiła 32,6%. Pory największe (o średnicy powyżej 10.000 nm) stanowiły jedynie 2% całkowitej ilości porów, pory o wielkości od 10.000 do 100 nm zajmowały około 11% całości. Najmniejsze pory o średnicy poniżej 100 nm stanowiły około 87% całości porów.

Dla próbki NO-7 deponowanej w wodzie porowatość była nieco wyższa (41,5%). Rozkład porów był podobny do tego jaki zaobserwowano w przypadku próbki wcześniejszej. Pory największe (powyżej 10.000 nm) stanowiły zaledwie około 1% całości a pory najmniejsze (poniżej 100 nm) aż 96% całkowitej ilości porów.

Próbki kamieni cementowych PB-1 z otworu Pabianice 1 przechowywane w warunkach otworopodobnych w okresie od 28 do 90 dni posiadały wytrzymałość na ściskanie ok. 21 – 22 MPa (tak w środowisku solanki z CO<sub>2</sub> jak i w środowisku solanki bez udziału CO<sub>2</sub>). W późniejszym okresie (od 6 do 15 miesięcy przechowywania w CO<sub>2</sub>) wytrzymałość na ściskanie próbek wzrosła do wartości ok. 24 – 26 MPa. W tym



samy okresie próbki przechowywane w środowisku porównawczym (bez CO<sub>2</sub>) posiadały nieco wyższą (o około 20%) wytrzymałość na ściskanie (wynosiła ona bowiem ok. 30 – 32 MPa po 12 i 15 miesiącach).

Próbka PB-7 przechowywana w warunkach działania CO<sub>2</sub> posiadała porowatość równą 28,8%. Pory największe (o średnicy powyżej 10.000 nm) stanowiły około 3% całkowitej ilości porów, pory o wielkości od 10.000 do 100 nm zajmowały około 6%. Pory najmniejsze o średnicy poniżej 100 nm stanowiły około 91% całości.

Porowatość próbki PB-7 deponowanej w wodzie była nieco wyższa od porowatości próbki deponowanej w CO<sub>2</sub> i wynosiła 31,9%. Pory największe (powyżej 10.000 nm) stanowiły niecałe 2% całości, pory z przedziału od 10.000 do 100 nm – około 3% a pory najmniejsze (poniżej 100 nm) aż około 95% całkowitej ilości porów.

Na podstawie trzymiesięcznych badań próbek kamieni cementowych PP-38 sporządzonych z zaczynu zastosowanego na otworze Paproć 38 nie zaobserwowano znaczących różnic w wytrzymałościach na ściskanie kamienia cementowego przechowywanego w CO<sub>2</sub> i środowisku porównawczym. Wytrzymałość na ściskanie dla kamienia cementowego deponowanego w warunkach działania CO<sub>2</sub> wynosiła ok. 29 MPa a w wytrzymałość kamienia w środowisku porównawczym ok. 27 MPa.

Na fotografiach (**Fig. 1.1.17\_110 - Fig. 1.1.17\_121**) zamieszczono wygląd próbek kamieni cementowych sporządzonych z zaczynów zastosowanych na otworach NO-7, PB-1 i PP-38. Próbkę widoczną na zdjęciach przechowywano w solankach nasyconych CO<sub>2</sub> oraz w środowisku porównawczym.



**Fig. 1.1.17\_110.** Próbkę kamienia cementowego Nosówka 7 wyjęte z autoklawu po 12 miesiącach deponowania w warunkach wysokiego ciśnienia (20 MPa), wysokiej temperatury (80°C) i CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_111 i Fig. 1.1.17\_112** Próbki kamienia cementowego Nosówka 7 wyjęte z autoklawu po 15 miesiącach deponowania w warunkach wysokiego ciśnienia (20 MPa), wysokiej temperatury (80°C) i CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_113** Próbka kamienia cementowego Nosówka 7 wyjęta z autoklawu po 18 miesiącach deponowania w warunkach wysokiego ciśnienia (20 MPa), wysokiej temperatury (80°C) i CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_114** Próbka kamienia cementowego Nosówka 7 wyjęta z autoklawu po 18 miesiącach deponowania w warunkach wysokiego ciśnienia (20 MPa), wysokiej temperatury (80°C) i H<sub>2</sub>O



**Fig. 1.1.17\_115** Próbki kamienia cementowego Pabianice 1 wyjęte z autoklawu po 9 miesiącach deponowania w wodzie w warunkach wysokiej temperatury (70°C) i CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_116 i Fig. 1.1.17\_117** Próbki kamienia cementowego Pabianice 1 wyjęte z autoklawu po 12 miesiącach deponowania w wodzie w warunkach wysokiej temperatury (70°C) i CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_118** Próbka kamienia cementowego Pabianice 1 wyjęta z autoklawu po 15 miesiącach deponowania w wodzie w warunkach wysokiej temperatury (70°C) i CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_119** Próbka kamienia cementowego Pabianice 1 wyjęta z autoklawu po 15 miesiącach deponowania w wodzie w warunkach wysokiej temperatury (70°C) i H<sub>2</sub>O



**Fig. 1.1.17\_120** Próbka kamienia cementowego Paproć 38 wyjęta z autoklawu po 3 miesiącach deponowania w warunkach wysokiego ciśnienia (20 MPa), wysokiej temperatury (70°C) i CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_121** Próbka kamienia cementowego Paproć 38 wyjęta z autoklawu po 3 miesiącach deponowania w warunkach wysokiego ciśnienia (20 MPa), wysokiej temperatury (70°C) i H<sub>2</sub>O

## Podsumowanie wyników badań trwałości kamienia cementowego w środowisku CO<sub>2</sub>

1. Określany w literaturze jako „konwencjonalny” zaczyn cementowy (sporządzony na bazie cementu portlandzkiego) pod wpływem rozpuszczonego w wodzie CO<sub>2</sub> będzie ulegał tzw. „korozji węglanowej”. Działanie dwutlenku węgla w stwardniałym zaczynie (kamieniu cementowym) polega na wyługowywaniu z matrycy cementowej związków wapnia: najpierw portlandytu Ca(OH)<sub>2</sub> a następnie uwodnionych glinianów i krzemianów wapniowych. Tworzący się w tych reakcjach kwaśny węglan wapniowy jest łatwo rozpuszczalny i ulega wymywaniu z matrycy cementowej. Przy wysokim stężeniu CO<sub>2</sub> zachodzą dalsze niekorzystne reakcje chemiczne rozkładu uwodnionych glinianów wapniowych i fazy CSH.
2. Podczas cementowania otworów przeznaczonych do zatłaczania i magazynowania dwutlenku węgla powinny być użyte zaczyny uszczelniające, które wykazują podwyższoną odporność na działanie CO<sub>2</sub>. Ograniczenie działania CO<sub>2</sub> na kamień cementowy polega na zmniejszeniu współczynnika w/c, zastąpieniu cementu portlandzkiego cementami hutniczym lub popiołowym oraz na wprowadzaniu do zaczynu dodatków pulcolanowych (np. popioły, krzemionka).
3. Zaczyny cementowe używane pod koniec lat 80-tych i na początku lat 90-tych XX wieku do cementowania rur okładzinowych na złożu Nosówka (otwory N-1, N-2, N-5 i N-7) oraz w latach 70-ych i 80-tych XX wieku w otworach: Buk, Bukowiec, Grodzisk, Kopanki, Niemierzyce, Podrzewie, Paproć, Porążyn, Stęszew, Strykowo oraz Ujazd w wielu przypadkach zawierały w swoim składzie popiół (pył dymnicowy) lub mączkę żużlową. Dodatki te wpływają na poprawę odporności kamienia cementowego na korozję węglanową. Znaczna część zaczynów cementowych użytych na ww. otworach wykonana była z cementów pochodzących z ZSRR, które nią są już produkowane w obecnym czasie.
4. W trakcie półtorarocznego przechowywania próbek kamienia cementowego odtworzonego na podstawie receptury zaczynu z otworu Nosówka-7 nie stwierdzono oznak korozji. Kamień cementowy tak w obecności CO<sub>2</sub> jak i w środowisku porównawczym posiadał wysoką wytrzymałość na ściskanie (po 18 miesiącach ekspozycji w autoklawach z solanką nasyconą CO<sub>2</sub> wytrzymałość na ściskanie próbek kamienia cementowego wynosiła aż około 30 MPa). Kamień deponowany w środowisku CO<sub>2</sub> po 18 miesiącach posiadał porowatość ogólną równą 32,6%.
5. W Instytucie Nafty i Gazu podjęto badania laboratoryjne mające na celu opracowanie receptur zaczynów cementowych o podwyższonej odporności na działanie CO<sub>2</sub>. Na podstawie danych literaturowych opracowano zaczyn cementowy na bazie cementu hutniczego, mikrocementu, zwiększonej ilości mikrosiliki (mączki krzemionkowej) i lateksu. Opracowany zaczyn zastosowano na otworze Pabianice – 1. Kamień cementowy przechowywany w obecności CO<sub>2</sub> w warunkach otworopodobnych zachował dobre parametry wytrzymałościowe (wytrzymałość na ściskanie po 15 miesiącach wynosiła 26 MPa). Porowatość ogólna po tym okresie była równa 28,8%.
6. Procentowy rozkład porów o określonej średnicy dla próbek przechowywanych w środowisku CO<sub>2</sub> jak i w wodzie świadczy o tym, iż pory o największej średnicy (makropory) stanowią jedynie ok. 1 - 2 % ilości wszystkich porów w kamieniu cementowym. W badanych kamieniach cementowych w

zdecydowanej większości obserwujemy mikropory, których ilość sięga około 90 – 95% całości występujących w próbkach porów.

7. Próbki z otworu Paproć 38 podczas 3 miesięcznego deponowania w środowisku CO<sub>2</sub> posiadały wysoką wytrzymałość na ściskanie (około 28 – 29 MPa). Badania, które prowadzone będą w kolejnych latach, pozwolą na stwierdzenie, czy kamienie te będą cechowały się wysoką odpornością na korozję węglanową.
8. Szczegółowy obraz mechanizmu korozji węglanowej i zmian zachodzących pod jej wpływem w strukturze kamienia cementowego w konkretnych warunkach złożowych można uzyskać tylko po przeprowadzeniu wieloletnich obserwacji popartych badaniami próbek poddanych działaniu roztworów o składach odpowiadających wodom złożowym w określonych temperaturach i ciśnieniach. Badania wpływu środowiska otworu wiertniczego na parametry kamienia cementowego wykonane w ramach realizacji niniejszego zadania mogą przyczynić się do oceny przydatności różnych rodzajów zaczynów cementowych do uszczelniania kolumn rur okładzinowych w otworach wykorzystywanych do prac związanych z sekwestracją dwutlenku węgla w naszym kraju.

### **Identyfikacja czynników ryzyka składowania CO<sub>2</sub> w rejonie złóż Grodzisk-Ujazd-Bukowiec-Paproć**

Zarządzanie ryzykiem geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w rejonie złóż Grodzisk-Ujazd-Paproć zostało oparte o dane: sejsmiczne, geofizyczne, geologiczne, wiertnicze, laboratoryjne i eksploatacyjne. Dodatkowo do określenia ryzyka składowania CO<sub>2</sub> wykorzystano programy do symulacji komputerowych. Oszacowanie ryzyka podziemnego składowania CO<sub>2</sub> ma istotne znaczenie, gdyż w przypadku rozszczenia struktury może dojść do skażenia środowiska powierzchniowego jak i podziemnego (zasobów wody pitnej). W celu prawidłowego zdefiniowania ryzyka w południowej części niecki poznańskiej autorzy opracowania wykorzystali bazę wiedzy Quintessa FEP (Features - cech, Events – wydarzeń i Processes – procesów). Baza zawiera informację na temat około 200 czynników związanych z ryzykiem podziemnego składowania CO<sub>2</sub>. Czynniki FEP zostały wybrane pod kątem bezpieczeństwa długotrwałego składowania dwutlenku węgla w strukturach podziemnych. Baza posiada strukturę hierarchiczną, w której wszystkie czynniki zostały zgrupowane w osiem kategorii, ponumerowanych od 0 do 7. Kolejne grupy czynników ryzyka zawierają:

- 0 - parametry dotyczące podstaw, założeń i zakresu analizy ryzyka,
- 1 - czynniki zewnętrzne, geologiczne, klimatyczne oraz aktywność ludzką,
- 2 - dane związane bezpośrednio z magazynowaniem CO<sub>2</sub> w strukturze podziemnej,
- 3 - parametry związane z chemicznymi własnościami dwutlenku węgla oraz z jego transportem,

- 4 - opis geosfery całego systemu magazynowania, włączając w to geologię, hydrogeologię i geochemię,
- 5 - dane związane z odwiertami, występującymi i planowanymi do odwiercenia na strukturze,
- 6 - parametry dotyczące środowiska „przypowierzchniowego”,
- 7 - opis wpływu składowania CO<sub>2</sub> na ludzi, faunę i florę.

W **Tab. 1.1.17\_39** przedstawiono opis poszczególnych czynników ryzyka zgodny ze schematem zaproponowanym w bazie Quintessa FEP.

**Tab. 1.1.17\_39** Opis poszczególnych czynników ryzyka

FEP kategoria	FEP klasa	FEP	Przegląd czynników
0. Podstawy analizy ryzyka	0.1 Cel analizy		Ocena ryzyka podziemnego składowania CO <sub>2</sub> w warstwach czerwonego spągowca południowej części niecki poznańskiej.
	0.2 Docelowe punkty zainteresowania		Zidentyfikowanie ryzyka nie szczelności struktury, wpływu składowania na zanieczyszczenie warstw podziemnych i napowierzchniowych.
	0.3 Przestrzenny zakres analizy		Warstwy nadkładu (uszczelnienia) oraz obszary napowierzchniowe położone w rejonie złóż Grodzisk-Ujazd-Bukowiec-Paproć Analiza ryzyka dotyczy terenów rolniczych oraz małych skupisk ludzkich.
	0.4 Zakres czasowy badania		1600 lat
	0.5 Założenia sekwencyjne		Analiza ryzyka jest przeprowadzona dla zakładanego scenariusza magazynowania CO <sub>2</sub> wychwyconego z emisji dużych emitentów. Składowana ilość CO <sub>2</sub> podczas 50 lat zatłaczania będzie wynosić: I wariant -10.7 mln ton II wariant 25..0 mln ton w CO <sub>2</sub> będzie zatłaczane do warstw czerwonego spągowca.
	0.6 Założenia dot. przyszłej działalności ludzkiej		Zakłada się, że odwierty zatłaczające zostaną zlikwidowane (zgodnie z wymogami obowiązującego prawa) po zakończeniu zatłaczania CO <sub>2</sub> . W związku z tym działalność ludzka zostanie ograniczona do monitorowania struktury.
	0.7		Składowanie CO <sub>2</sub> w południowej części

	Aspekty prawne		niecki poznańskiej będzie spełniać wymogi: Prawa geologicznego i górniczego, Ustawy o ochronie środowiska i Prawa budowlanego. Składowanie CO <sub>2</sub> będzie integralną częścią procesu EGR wspomaganego wydobycia gazu rozpuszczonego w wodach złożowych, w związku z tym jako proces górniczy powinien nie budzić kontrowersji i znaleźć akceptacją społeczną dla całego projektu.
	0.8 Modele symulacyjne i dostępność danych		W Instytucie Nafty i Gazu w ramach projektu sekwestracyjnego w oparciu o dane otworowe i sejsmiczne opracowano model geologiczny i symulacyjny rejonu złóż Grodzisk-Ujazd-Bukowiec-Paproc, a więc południowej części niecki poznańskiej. Duża dostępność danych w znaczącym stopniu ułatwia analizę przydatności rozpatrywanego rejonu do składowania CO <sub>2</sub> .
1. Czynniki zewnętrzne	1.1 Parametry geologiczne	1.1.1 Tektonika	Dyslokacje tektoniczne permsko-mezozoicznego pietra strukturalnego są deformacjami nieciągłymi i mieszanymi. Dyslokacje stwierdzone w czerwonym spągowcu wykazują przesunięcia w pionie w granicach 100-400 m. Ewaporaty cechsztyńskie a szczególnie warstwy soli o sporej miąższości, która w tych warunkach wykazuje znaczną plastyczność wygaszają zasięg pionowy dyslokacji czyniąc nadkład nieprzepuszczalny dla gazów uwieczonych w złożach czerwonego spągowca.
		1.1.2 Aktywność wulkaniczna	Nie występuje aktywność wulkaniczna.
		1.1.3 Trzęsienia ziemi	Nie występowały.

cd. Tab. 1.1.17\_39

FEP kategoria	FEP klasa	FEP	Przegląd czynników
		1.1.4 Hydrotermiczna aktywność	Nie występuje aktywność hydrotermiczna.
		1.1.5 Wpływ hydrogeologii na	Nie przewiduje się wpływu.



		zmiany geolog.	
		1.1.6 Wpływ erozji na składowanie CO <sub>2</sub>	Nie przewiduje się wpływu erozji na składowanie.
		1.1.8 Uderzenie meteorytem	Zakłada się, że uderzenie meteorytem o takiej wielkości, która spowodowałaby rozszczelnienie struktury jest mało prawdopodobne.
	1.2 Czynniki klimatyczne	1.2.1 Globalna zmiana klimatu	Globalna zmiana klimatu nie wpłynie na ryzyko składowania CO <sub>2</sub> w podziemnej strukturze.
		1.2.2 Regionalna i lokalna zmiana klimatu	Nie będzie miała wpływu z powodów opisanych w punkcie 1.2.1.
		1.2.3 Zmiana poziomu morza	Nie będzie miała wpływu.
	1.3 Przyszła aktywność ludzka	1.3.1 Wpływ człowieka na klimat	Działalność ludzka prowadzi do emisji CO <sub>2</sub> , a co za tym idzie wpływa na globalne ocieplenie
		1.3.2 Działalność wiertnicza	Wykonywanie głębokich wierceń w obszarze struktury jest mało prawdopodobne z powodu szczerpanych zasobów naturalnych. Płytkie wiercenia hydrogeologiczne są możliwe, jednakże nie osiągną one głębokości składowania CO <sub>2</sub> , nie przewiercą skał uszczelniających poziom magazynowy.
		1.3.3 Rozwój społeczeństwa	Zmiany społeczne nie wpłyną na bezpieczeństwo składowania CO <sub>2</sub> .
		1.3.4 Rozwój technologiczny	Rozwój technologiczny przyczyni się do lepszego monitoringu oraz do lepszego radzenia sobie z ewentualnymi ucieczkami CO <sub>2</sub> .
		1.3.5 Aktywność ludzka na powierzchni	Występuje możliwość prac budowlanych, które naruszą powierzchnię terenu zlokalizowaną nad strukturą. Prace te nie będą miały wpływu na warstwę, w której planuje się składowanie CO <sub>2</sub> .
		1.3.6 Wykorzystanie wody pitnej	Rozszczelnienie struktury może spowodować skażenie wody pitnej. Jednak jest to mało prawdopodobne, gdyż głębokość megastruktury wynosi ponad 3000 m, a głębokość studni w większości nie przekracza 100 m.
		1.3.7 Wpływ CO <sub>2</sub> na	Składowanie CO <sub>2</sub> nie wpłynie na operacje geologiczne, ponieważ rejon złóż

		przyszłe operacje geologiczne	Grodzisk-Ujazd-Bukowiec-Paproć jest szcerpaney
		1.3.8 Eksplozje i katastrofy	Ewentualne eksplozje i katastrofy nie będą miały wpływu na głęboko położone warstwy magazynowe.

cd. Tab. 1.1.17\_39

FEP kategoria	FEP klasa	FEP	Przegląd czynników
2. Magazynowanie CO <sub>2</sub>	2.1 Przebieg zatłaczania do zamknięcia projektu	2.1.1 Założenie projektowe	Zatłaczanie zostanie prowadzone otworami; Wariant I: Sątopy 1, Sątopy 2, Bukowiec2. Wariant II: Sątopy 2, Sątopy 2, Bukowiec 2, Bukowiec 3, Bukowiec 9, Kopanki 1, Porażyn 2a.
		2.1.2 Pojemność składowania, tempo zatłaczania	Wstępnie prognozuje się zatłoczenie: W wariantcie I 10.74 mln t CO <sub>2</sub> w okresie 50 lat W wariantcie II 25.04 mln ton CO <sub>2</sub> w okresie 50 lat
		2.1.3 Skład zatłaczanego CO <sub>2</sub>	Skład zatłaczanego gazu będzie zgodny z normami.
		2.1.4 Harmonogram inwestycji	Na obecnym etapie harmonogram inwestycji nie jest znany.
		2.1.5 Monitoring składowiska	Przewiduje się monitorowanie ciśnień, szczelności odwiertów, składu zatłaczanego gazu. Możliwe jest wykorzystanie geofizyki i sejsmiki.
		2.1.6 Kontrola jakości zatłaczanego gazu	Wykorzystanie chromatografii gazowej do monitorowania jakości zatłaczanego CO <sub>2</sub> .
		2.1.7 Nieprzewidywane zdarzenia	Zatłaczanie będzie odbywać się zgodnie z procedurami przewidzianymi w Prawie geologicznym i górniczym, jednakże powinno się przygotować plan działania na wypadek wystąpienia erupcji i nieszczelności odwiertów.
		2.1.8 Ciśnienie składowania	Ciśnienie składowania CO <sub>2</sub> nie przekroczy pierwotnego ciśnienia złożowego. Wymagane jest określenie ciśnień progowych CO <sub>2</sub> dla skał nadkładu
	2.2 Operacje po zakończeniu zatłaczania	2.2.1 Monitorowanie struktury	Monitorowanie geochemiczne.
		2.2.1	Istnieje możliwość awaryjnego szcerpania

		Awaryjne szczerpanie zatłoczonego CO <sub>2</sub>	zatłoczonego CO <sub>2</sub> poprzez eksploatację innych odwiertów
3. Własności i oddziaływanie CO <sub>2</sub>	3.1 Własności CO <sub>2</sub>	3.1.1 Fizyczne własności CO <sub>2</sub>	Zakłada się składowanie CO <sub>2</sub> w fazie super krytycznej o dużej gęstości.
		3.1.2 Zachowanie się faz CO <sub>2</sub>	Ze względu na dużą głębokość, wysoką temperaturę i ciśnienie CO <sub>2</sub> będzie występować w fazie super krytycznej charakteryzującej się dużą gęstością.
		3.1.3 Rozpuszczalność CO <sub>2</sub>	Określono wg. danych laboratoryjnych oraz symulacji

cd. Tab. 1.1.17\_39

FEP kategoria	FEP klasa	FEP	Przegląd czynników
	3.2 Wpływ CO <sub>2</sub> na strukturę	3.2.1 Wpływ ciśnienia składowania na skały uszczelniające nadkładu	Należy ukończyć badania ciśnień progowych CO <sub>2</sub> w aparaturze zakupionej ze środków Konsorcjum
		3.2.2. Wpływ ciśnienia składowania na płyny złożowe	Ciśnienie składowania CO <sub>2</sub> w mega strukturze czerwonego spągowca będzie stosunkowo wysokie, w związku z czym dwutlenek węgla będzie występował w stanie super krytycznym.
		3.2.3 Reakcje z węglowodorami	W związku z tym, że CO <sub>2</sub> występuje w płynach złożowych, to reakcje z węglowodorami są pomijalne.
		3.2.4 Wypieranie solanki ze struktury	Bazując na rezultatach symulacji można stwierdzić, że wypierana woda złożowa nie osiągnie powierzchni ziemi.
		3.2.5 Wywołanie ruchów sejsmicznych	Nie stanowi realnego zagrożenia.
		3.2.6 Podniesienie lub opadnięcie terenu	Ze względu na rozległość megastruktury zatłoczenie CO <sub>2</sub> nie stanowi realnego zagrożenia.
		3.2.7 Wpływ temperatury na strefę złożową	Podwyższona temperatura zatłaczanego CO <sub>2</sub> może wpłynąć na rozpuszczanie się skał w strefie przyodwiertowej prowadząc do zwiększenia porowatości w strefie przyodwiertowej.
		3.2.8	Ponieważ CO <sub>2</sub> występuje w płynach

		Reakcje CO <sub>2</sub> z barierami chemicznymi	złożowych nie przewiduje się jego reaktywności
		3.2.9 Zanieczyszczenie metalami ciężkimi	Istnieje ryzyko zanieczyszczenia metalami ciężkimi warstwy przeznaczonej do składowania CO <sub>2</sub> .
		3.2.10 Rozpuszczanie minerałów	Istnieje. niewielka możliwość rozpuszczenia minerałów
		3.2.11 Wymiana jonów	Dyfuzja molekularna przez skały uszczelniające nadkład jest możliwa jej efekt nie był badany w bieżącym opracowaniu.
		3.2.12 Skład chemiczny zatłaczanego gazu	Dokładny skład chemiczny zatłaczanego gazu obecnie nie jest znany.

cd. Tab. 1.1.17\_39

FEP kategoria	FEP klasa	FEP	Przegląd czynników
		3.2.13 Tworzenie się hydratów gazowych	Możliwość zastosowania inhibitorów hydratów
		3.2.14 Procesy mikrobiologiczne	Nie analizowano
4. Geosfera	4.1 Geologia	4.1.1 Lokalizacja	Megastruktura niecki poznańskiej występuje w okolicach Grodziska Wlkp.
		4.1.2 Zasoby naturalne	Nie występują w najbliższym otoczeniu megastruktury.
		4.1.3 Typ skały zbiornikowej	Skały czerwonego spągowca o średniej miąższości 380 m (min: 101 m, max.: 624 m)
		4.1.4 Geometria zbiornika	Zbiornik odcięty uskokami od strony południowej i zachodniej wykazujący znaczne obniżenie warstw nadkładu od strony północno-wschodniej
		4.1.5 Aktualna eksploatacja skał zbiornikowych	Obecnie prowadzone jest wydobywanie gazu ziemnego szczególnie w zachodniej części niecki, złoża Paproć-Cicha
		4.1.6 Formacje uszczelniające od góry	Ewaporaty cechsztyńskie w postaci anhydrytów i warstw soli najstarszej, starszej młodszej i najmłodszej m.
		4.1.7 Dodatkowe uszczelnienie	Dodatkowe uszczelnienie stanowią ilaste utwory triasu..
		4.1.8	Poziom magazynowy składa się z

		Litologia	piaszczystych utworów czerwonego spągowca
		4.1.8.1 Diageneza	Niewielka
		4.1.8.2 Struktura porowatości	Skały czerwonego spągowca charakteryzują się średnią porowatością ok. 8 %
		4.1.9 Niejednorodność	Struktura zbiornikowa pocięta jest znaczną ilością uskoków, z których najbardziej charakterystyczne znajdują się w południowej i zachodniej części.
		4.1.10 Uskoki, szczeliny	Uskoki te nie stanowią zagrożenia dla składowania CO <sub>2</sub> , o czym świadczy wytworzenie się wzdłuż nich złóż gazu Paproć i Ujazd
		4.1.11 Niedokumentowane zagrożenia	Aktualnie nie można przewidzieć niedokumentowanych zagrożeń.
		4.1.12 Pionowy gradient geotermiczny	Temperatura warstw czerwonego spągowca jest zgodna z gradientem geotermicznym
		4.1.13 Ciśnienie występujące w skałach zbiornikowych	Ciśnienie w warstwach zbiornikowych jest zgodne z ciśnieniem hydrostatycznym.

cd. Tab. 1.1.17\_39

FEP kategoria	FEP klasa	FEP	Przegląd czynników
		4.1.14 Mechaniczne własności skał zbiornikowych	W obecnej analizie nie były badane mechaniczne własności skał zbiornikowych.
		4.1.14 Własności petrofizyczne	Dane rdzeniowe nie pozwalają na precyzyjne określenie parametrów petrofizycznych.
	4.2 Płyny złożowe	4.2.1 Własności płynów złożowych	W warstwach czerwonego spągowca występuje solanka o mineralizacji w granicach 300 g/l. nasycona gazem ziemnym w ilości ok. 2.5 nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
		4.2.2 Hydrogeologia	Niewielka ilość badań hydrogeologicznych nie pozwala na precyzyjne określenie parametrów.
		4.2.3 Węglowodory	Występuje gaz ziemny
5.	5.1	5.1.1	Odwierty zatłaczające zostaną

Odwierty	Wiercenie i konstrukcja	Likwidacja odwiertów zatłaczających	zlikwidowane zgodnie z obowiązującymi procedurami.
		5.1.2 Konstrukcja i wyposażenie odwiertów	Konstrukcja i wyposażenie odwiertów zatłaczających będzie zgodna z wymogami prawa. Odwierty zostaną wyposażone w zawory bezpieczeństwa podpowierzchniowe
		5.1.3 Rekonstrukcje odwiertów	Będzie niezbędna szczególnie w odniesieniu do odwiertów zatłaczających
		5.1.4 Odwierty obserwacyjne	Nie planuje się wykonania dodatkowych odwiertów obserwacyjnych. Do tych celów zostaną wykorzystane odwierty istniejące
	5.2 Szczelność i likwidacja odwiertów	5.2.1 Likwidacja odwiertów	Odwierty zostaną zlikwidowane poprzez zapięcie korka mechanicznego i wykonanie korka cementowego.
		5.2.2 Rozszczelnienie odwiertu	Występuje ryzyko rozszczelnienia odwiertu w wyniku słabego stanu zacementowania rur okładzinowych. W takiej sytuacji może dojść do powolnej ucieczki CO <sub>2</sub> . Trwające badania wyjaśnią odporność zastosowanych cementów na korozję CO <sub>2</sub>
		5.2.2 Erupcje	Wystąpienie erupcji jest mało prawdopodobne.
		5.2.3 Ruchy górotworu	Prawdopodobieństwo wystąpienia ruchów górotworu, które spowodowałyby zniszczenie szczelności odwiertów jest marginalne.
6. Środowisko podziemne i naziemne	6.1 Środowisko naziemne	6.1.1 Topografia i morfologia	Ewentualne zmiany topograficzne i morfologiczne nie będą miały wpływu na głęboko zmagazynowane CO <sub>2</sub> .
		6.1.2 Ziemia i osady	Ziemia może zostać zanieczyszczona w wyniku ewentualnego rozszczelnienia się magazynu.
		6.1.3 Erozja ziemi	Erozja nie będzie miała wpływu na podziemne składowanie CO <sub>2</sub> .
		6.1.4	Zmiany meteorologiczne nie będą miały

		Atmosfera i meteorologia	wpływu na poziomy magazynowe.
--	--	--------------------------	-------------------------------

cd. Tab. 1.1.17\_39

FEP kategoria	FEP klasa	FEP	Przegląd czynników
		6.1.5 Hydrogeologia	Zmiany hydrogeologiczne nie będą miały wpływu na poziomy zbiornikowe.
		6.1.6 Przypowierzchniowe warstwy wodonośne	Nie przewiduje się ucieczek CO <sub>2</sub> , jednakże jeśli wystąpiłyby to ryzyko zanieczyszczenia tych wód jest mało prawdopodobne, ze względu na dużą głębokość składowania.
		6.1.7 Przypowierzchniowa flora i fauna	Środowisko flory i fauny może zostać zagrożone tylko w wyniku erupcji. Małe ucieczki CO <sub>2</sub> nie stanowią realnego zagrożenia.
	6.2 Zachowanie się ludzi	6.2.1 Charaktery ludzi	Składowanie nie wpłynie na zachowanie się ludzi
		6.2.1 Dieta, odżywianie	Nie ma wpływu.
		6.2.2 Styl życia	Aktualna eksploatacja złóż gazu ziemnego stwarza nadzieję na uzyskanie przychylności społeczeństwa lokalnego dla projektu zatłaczania CO <sub>2</sub>
		6.2.3 Korzystanie z gruntów i wody	Nie ma większego znaczenia, gdyż teren ochronny wokół odwiertów jest niewielki.
		6.2.4 Budynki	Budynki związane z infrastrukturą potrzebną do składowania CO <sub>2</sub> będą wykonane zgodnie z prawem budowlanym.
7. Wpływ inwestycji	7.1 Własności systemu składowania	7.1.1 Utrata szczelności	Składowisko zostanie zaprojektowany z założeniem pełnej szczelności całego systemu składowania. Założenie to jest poprawne gdyż złożę było szczelne pierwotnie i nie projektuje się przekraczania pierwotnego ciśnienia złożowego.
	7.2 Wpływ na środowisko fizyczne	7.2.1 Zanieczyszczenie wód gruntowych	Mało prawdopodobne, jednakże istnieje potencjalne ryzyko w przypadku nieszczelności całego systemu składowania CO <sub>2</sub> (odwierty + poziom magazynowy).
		7.2.2 Wpływ na grunty	Nie analizowano.
		7.2.3	Możliwe w przypadku rozszczelnienia

		Uwolnienie do atmosfery	struktury. W takim przypadku konieczny będzie zakup certyfikatów emisyjnych.
		7.2.4 Wpływ na hydrogeologię	Wpływ zatłaczania CO <sub>2</sub> na parametry hydrogeologiczne jest mało prawdopodobny.
		7.2.5 Wpływ na chemizm	Zatłaczanie CO <sub>2</sub> w ograniczonym stopniu wpłynie na chemizm solanki i skały zbiornikowej.
		7.2.6 Wpływ na topografię	Ze względu na niewielkie ilości zatłaczanego CO <sub>2</sub> wpływ na topografię terenu będzie marginalny.
	7.3 Wpływ na florę i faunę	7.3.1 Efekt „uduszenia”	Uduszenie zwierząt i ludzi z powodu nadmiernej koncentracji CO <sub>2</sub> w powietrzu jest mało prawdopodobne.
		7.3.2 Wpływ CO <sub>2</sub> na rośliny	Długotrwała ucieczka CO <sub>2</sub> ze składowiska może spowodować koncentrację dwutlenku węgla w warstwach powierzchniowych co może wpłynąć na wegetację roślin.

cd. Tab. 1.1.17\_39

FEP kategoria	FEP klasa	FEP	Przegląd czynników
	7.4 Wpływ na ludzi	7.4.1 Wpływ CO <sub>2</sub> na zdrowie ludzi	Ewentualna ucieczka nie będzie miała wpływu na zdrowie ludzi, gdyż koncentracja CO <sub>2</sub> w powietrzu szybko spadnie. Jedynie erupcja może mieć ograniczony wpływ na zdrowie ludzi, którzy będą znajdować się w strefie zagrożenia. Zakłada się, że wpływ będzie krótkotrwały, ponieważ erupcja zostanie szybko zlikwidowana lub ludzie ewakuowani.
		7.4.2 Toksyczność związków zatłaczanych	Zakłada się, że zatłaczany gaz będzie czysty.
		7.4.3 Wpływ na środowisko ekologiczne	Długotrwała ucieczka CO <sub>2</sub> z horyzontu magazynowego może mieć wpływ na zmianę środowiska naturalnego.

Przedstawiony opis czynników ryzyka składowania CO<sub>2</sub> w mega strukturze niecki poznańskiej pozwala na wyselekcjonowanie parametrów, które na tle obecnie posiadanej wiedzy mogą mieć negatywny wpływ na podjęcie decyzji związanej z uruchomieniem inwestycji składowania. Do czynników, które mogą stworzyć



największe ryzyko należy zaliczyć szczelność struktury. Należy wykonać badania ciśnień progowych dla CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu na aparaturze w AGH.

Należy podkreślić, że przeprowadzona analiza ryzyka wstępnie potwierdza przydatność megastruktury do składowania CO<sub>2</sub> w warstwach czerwonego spągowca.

### **Wpływ ewentualnej ucieczki CO<sub>2</sub> na ludzi**

Analiza ryzyka składowania CO<sub>2</sub> w mega strukturze niecki poznańskiej obejmuje również ocenę wpływu magazynowanego gazu na ludzi. Ocena wpływu CO<sub>2</sub> na ludzi powinna być przeprowadzona dwukierunkowo. Pierwszym kierunkiem będzie analiza bezpośredniego wpływu dwutlenku węgla na ludzi w przypadku wystąpienia ucieczki CO<sub>2</sub> ze składowiska. Drugim kierunkiem analizy jest określenie pośredniego wpływu na ludzi w wyniku zanieczyszczenia środowiska, jakie może wystąpić w przypadku rozszczelnienia się struktury magazynowej. Należy podkreślić, że pomimo tego, że dwutlenek węgla jest gazem nietoksycznym, to może być groźny dla życia ludzkiego, w przypadku wysokiej koncentracji gazu w powietrzu wdychanym przez ludzi. Koncentracja CO<sub>2</sub> w powietrzu wynosząca powyżej 10% powoduje utratę przytomności, zmienia pH krwi oraz powoduje wiotczenie mięśni odpowiedzialnych za oddychanie, co w konsekwencji może prowadzić do uduszenia (Benson i zespół 2002). Tak duża koncentracja może wystąpić tylko w przypadku erupcji odwiertu. Biorąc pod uwagę obecną technologię stosowaną w eksploatacji złóż gazu ziemnego i ropy naftowej należy stwierdzić, że wystąpienie erupcji odwiertu jest mało prawdopodobne. Aktualnie w procesach podziemnego magazynowania gazu ziemnego powszechnie stosuje się zawory wgłębne, które automatycznie zamykają się w przypadku wystąpienia nagłej różnicy ciśnień, spowodowanej niekontrolowanym wypływem gazu z odwiertu.

Znacznie trudniej jest opanować powolny wypływ CO<sub>2</sub>, który może wystąpić w przypadku rozszczelnienia się płaszcza cementowego uszczelniającego rury okładzinowe oraz rozszczelnienia się skał nadkładu. Pomimo tego, że wypływ gazu ze składowiska będzie powolny, to jednak przejściowo może wystąpić zagrożenie dla ludzi.

Jak już wcześniej stwierdzono, ryzyko poważnego zagrożenia ludzi spowodowanego rozszczelnieniem się magazynu jest niewielkie, ponieważ projektowane górne ciśnienie składowanie CO<sub>2</sub> nie przekracza pierwotnego ciśnienia złożowego. Dodatkową zaletą złoża Nosówka jest to, że jest ono zlokalizowane w słabo zaludnionym terenie. Poniżej przedstawiony **Fig. 1.1.17\_122** prezentuje lokalizację struktury Nosówka na tle występujących skupisk ludzkich. Analizując położenie struktury należy stwierdzić, że ewentualna erupcja lub nieszczelność nie stwarza bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia ludzi.

Każda inwestycja, aby mogła zostać przeprowadzona musi uzyskać akceptację społeczną. Złóża gazu ziemnego w tym rejonie, a szczególnie Paproć są eksploatowane, w związku z tym nie powinny wystąpić problemy ze społeczną akceptacją wykorzystania megastruktury do składowania w niej CO<sub>2</sub>. Dodatkową zaletą jest to, że inwestor nie musi występować o zgodę na wiercenie nowych otworów, gdyż planuje się wykorzystać aktualnie występujących w tym rejonie.

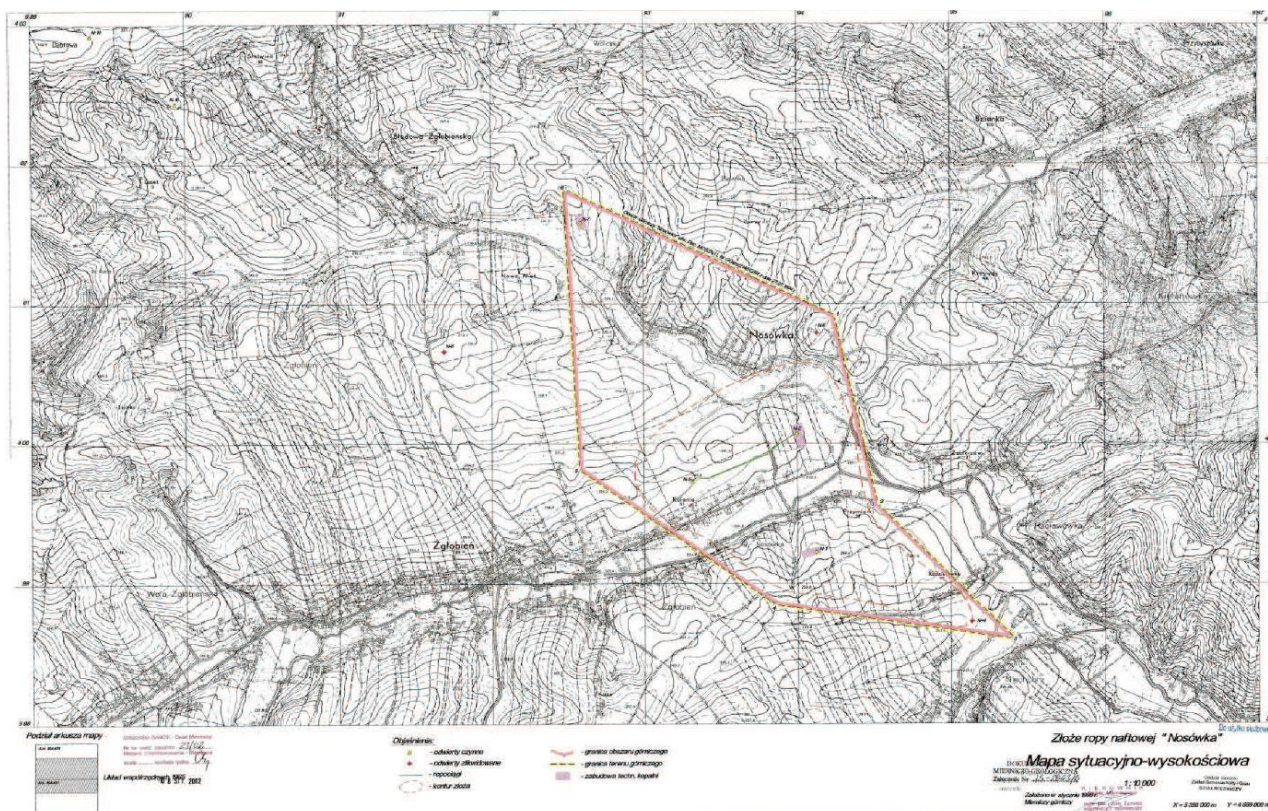


Fig. 1.1.17\_122 Mapa sytuacyjno-wysokościowa złoża ropy naftowej Nosówka

### Określenie wpływu ewentualnej ucieczki CO<sub>2</sub> zwierzęta i rośliny

Lokalizacje mega struktury poznańskiej została przedstawiona na Fig. 1.1.17\_93. W celu określenia wpływu ewentualnej ucieczki CO<sub>2</sub> na zwierzęta przeanalizowano występowanie na terenie struktury obszarów chronionych, stref Natura 2000. Okolice złóż Paproć-Cicha Góra, Grodzisk, Ujazd w najbliższym sąsiedztwie nie są otoczone przez obszary chronione, zaś złożo Bukowiec sąsiaduje z jednej strony z obszarem chronionym. W związku z powyższym można stwierdzić, że projektowana inwestycja nie naruszy obszarów aktualnie chronionych.

Należy podkreślić, że ewentualna erupcja lub ucieczka dwutlenku węgla może mieć negatywny wpływ na zwierzęta, gdyż duża koncentracja CO<sub>2</sub> w powietrzu może doprowadzić do uduszenia się zwierząt.

Wpływ małych ilości CO<sub>2</sub> na rośliny jest pozytywny, ponieważ dwutlenek węgla bierze udział w fotosyntezie. Duże koncentracje CO<sub>2</sub> w glebie powodują obumieranie korzeni, a co za tym idzie całych roślin. W rejonach, w których CO<sub>2</sub> w naturalny sposób wydostaje się z warstw podziemnych w efekcie aktywności wulkanicznej można zauważyć obumieranie roślin.

## **Wykonanie wstępnych analiz ryzyka dla obiektu w poziomach solankowych**

### **Choszczno-Suliszewo (AGH)**

**(Bartosz Papiernik, Michał Michna, Grzegorz Machowski, Wojciech Górecki, Wojciech Machowski, Ewa Zubel, Anna Żoldani-Szelest, Joanna Rems)**

Badania nad magazynowaniem substancji w formacjach geologicznych rozpoczęte zostały w latach 70-tych XX. Początkowo dotyczyły one wykorzystania struktur geologicznych pod kątem składowania w nich odpadów radioaktywnych. Idea podziemnego magazynowania CO<sub>2</sub> (CCS) pojawiła się w latach 90-tych ubiegłego wieku (Pearce et al. 1996). Poglądy na temat magazynowania ewoluowały od tego czasu prowadząc do zdefiniowania pięciu głównych mechanizmów uwięzienia CO<sub>2</sub> w warunkach podpowierzchniowych. Do najbardziej efektywnych i bezpiecznych należy zaliczyć magazynowanie w strukturach zawodnionych. W projektach SACS, SACS2 oraz CO2STORE rozpoczętych od 1998 roku badano możliwości wykorzystania formacji solankowych do sekwestracji CO<sub>2</sub> na skalę przemysłową uwzględniając czynniki ekonomiczne i geologiczne (Tarkowski et al. 2009, Chadwick et al. 2008, Stolarz 2009).

Szczelność nadkładu potencjalnych zbiorników ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa składowania CO<sub>2</sub>. Wpływa na nią m.in. odpowiednia miąższość i lateralna ciągłość kompleksów uszczelniających, brak uskoków rozcinających nadkład (Tarkowski et al. 2009, Chadwick et al. 2008, Stolarz 2009).

Antyklinalna struktura Choszczno – Suliszewo – Radęcin została zakwalifikowana, jako obiekt potencjalnie przydatny do sekwestracji CO<sub>2</sub>. Aby stwierdzić na ile dostępne dane z tego rejonu pozwalają sądzić, iż jest to odpowiednia struktura, należy opracować analizę ryzyka. Takie opracowanie dla wskazanej struktury zostało sporządzone przez zespół pod kierownictwem dr inż. Bartosza Papiernika w Katedrze Surowców Energetycznych na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

W magazynowaniu CO<sub>2</sub> ryzyko geologiczne możemy rozdzielić na to które ma związek z faktycznym niebezpieczeństwem związanym z możliwością ucieczki gazu na skutek błędnego określenie przebiegu powierzchni strukturalnych, czy też występowanie nieciągłości. Drugim rodzajem ryzyka jest to związane z określeniem pojemności struktury. Tu również czynnikiem dominującym jest określenie przebiegu powierzchni strukturalnych gdyż wielu autorów (Caldwell et al. 2001, Bu et al. 1996, Siemek et al. 2004) podaje, że 75% niepewności jest związane z parametrami strukturalnymi i geologicznymi a tylko 25% z parametrami petrofizycznymi. Jasno wynika z tego, że skupienie się na poprawnym odwzorowaniu struktury jest niewralicznym momentem w procesie trójwymiarowego modelowania statycznego.

## Dane wejściowe do stworzenia modelu ryzyka

Do stworzenia osnowy strukturalnej modelu bazowego „*Base Case*” posłużyły dane wejściowe z 28 otworów znajdujących się na tym terenie badań (**Tab. 1.1.17\_40**).

**Tab.1.1.17\_40** Zestawienie odwiertów znajdujących się w rejonie Choszczno-Suliszewo

p.	Nazwa	p.	Nazwa
1	BANIE-1	15	HUTA SZKLANA 2
2	CHOCIWEL 2	16	KUŹNICA ŻELICHOWSKA-1
3	CHOCIWEL IG-1	17	MARIANOWO-1
4	CHOCIWEL-3	18	MARIANOWO-2
5	CHOSZCZNO IG-1	19	MARIANOWO-3
6	DOBRZANY-1	20	MASZEWO-1
7	DOLICE GEO-1	21	MĄKOWARY 1
8	DRAWINY 1	22	MYŚLIBÓRZ GN-1
9	DRAWNO 1	23	PŁAWNO-1
10	DRAWNO GEO 4	24	RADĘCIN-1
11	DRAWNO GEO-1	25	STARGARD-1
12	DRAWNO GEO-2	26	STRZELCE KRAJEŃSKIE IG-1
13	DRAWNO GEO-3	27	SULISZEWO-1
14	HUTA SZKLANA 1	28	ŻABICKO GEO-1

**Wydzielenia stratygraficzne** zostały określone w 18 otworach (**Tab. 1.1.17\_41**). Dane wejściowe zaczerpnięte zostały z Centralnego Archiwum Geologicznego (CAG), Państwowego Instytutu Geologicznego (PIG) oraz Bazy Danych Geotermalnych Katedry Surowców Energetycznych. Zaimportowane wydzielenia zostały ujednolicone i tak przygotowana stratygrafia została przekształcona w syntetyczne krzywe otworowe.

**Tab. 1.1.17\_41** Zestawienie odwiertów, w których dostępne były wydzielenia stratygraficzne

Lp.	Nazwa	Lp.	Nazwa
1	BANIE-1	10	MAKOWARY- 1
2	CHOCIWEL-2	11	MASZEWO-1
3	CHOSZCZNO IG-1	12	MASZEWO-3
4	DRAWNO-1	13	MASZEWO-4
5	DRAWNO GEO-1	14	MYŚLIBÓRZ GN-1
6	DRAWNO GEO-2	15	RADĘCIN-1
7	DRAWNO GEO-3	16	STARGARD-1
8	DRAWNO GEO-4	17	STRZELCE KRAJEŃSKIE IG-1
9	HUTA SZKLANA-1	18	SULISZEWO-1

**Krzywe geofizyki otworowej** (Kperm, PHIE, VCL) znajdują się jedynie w 5 otworach (**Tab. 1.1.17\_42**).  
Krzywe geofizyczne obejmują jedynie dolną jurę.

**Tab. 1.1.17\_42** Zestawienie odwiertów, w których dostępne były krzywe Kperm, PHIE, VCL

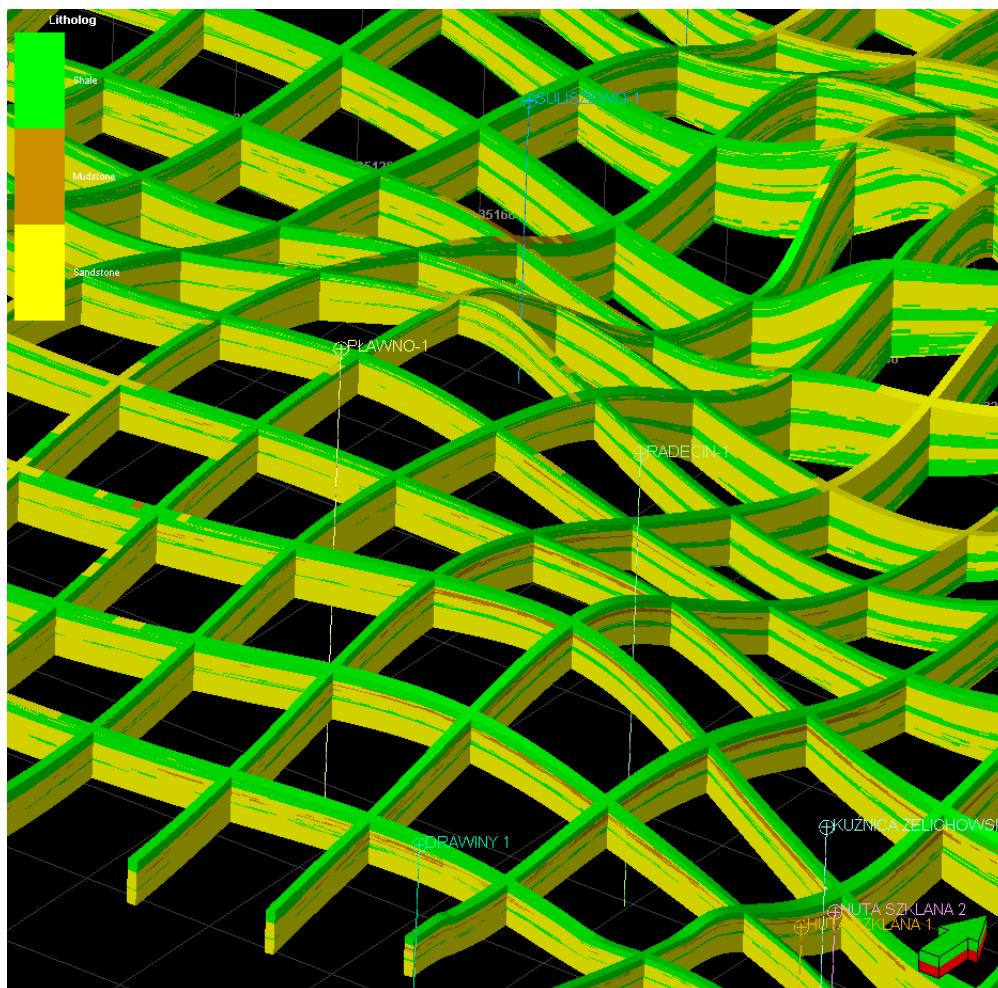
Lp.	Nazwa
1	SULISZEWO-1
2	RADĘCIN-1
3	CHOSZCZNO IG-1
4	MAKOWARY- 1
5	CHOCIWEL-2

## Bazowe modele wykorzystane do analizy ryzyka

We wstępnej analizie należało wykonać modele bazowe poszczególnych parametrów. Należały do nich:

- model litologiczny,
- model zailenia,
- model porowatości całkowitej,
- model przepuszczalności,
- model dyskretny skał zbiornikowych.

Bazowy model rozkładu litologii (**Fig. 1.1.17\_123**) został wykonany na podstawie krzywych litologicznych dostępnych w pięciu otworach. Krzywe te zostały przekształcone do modelu otworowego a następnie z modelu otworowego wartości zostały estymowane na cały model. Model litologiczny został wykonany na podstawie 10 realizacji stochastycznych. Wykonane modele litologiczne uśredniono wykorzystując operację „most of”, dzięki której możliwy był wybór najczęściej występującej litologii w każdym z modeli. Z modelu wynika, iż miększe osady zbiornikowe synemuru oraz pliensbachu są dobrze uszczelnione skałami ilastymi toarku.



**Fig. 1.1.17\_123** Bazowy model rozkładu litologii w rejonie Radęcina



Bazowy model zailenia (Fig. 1.1.17\_124) powstał z wykorzystaniem algorytmu Kriging. Stworzenie wariogramu pozwoliło na dość dokładne biorąc pod uwagę ilość otworów rozestymowanie parametru zailenia.

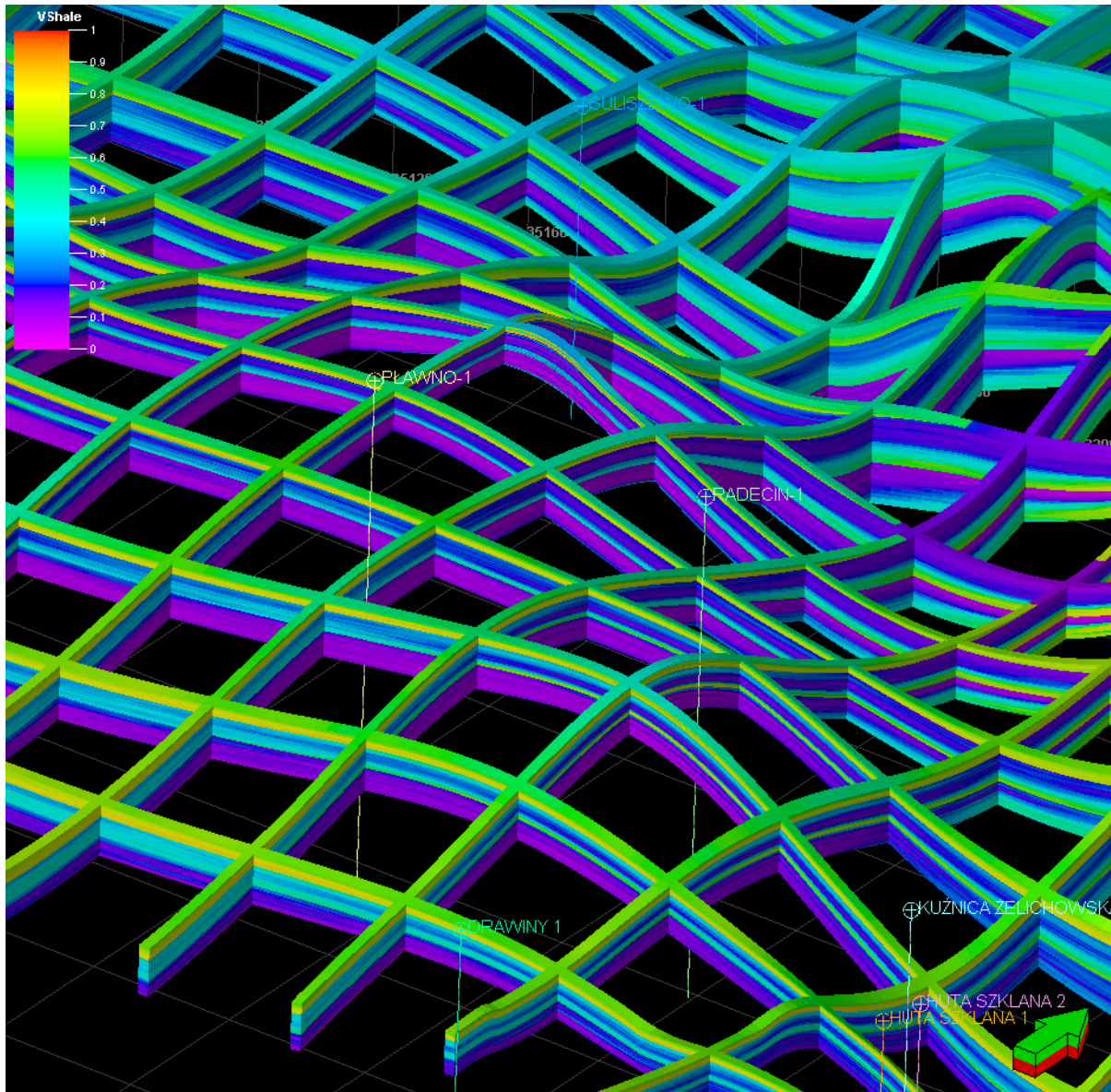
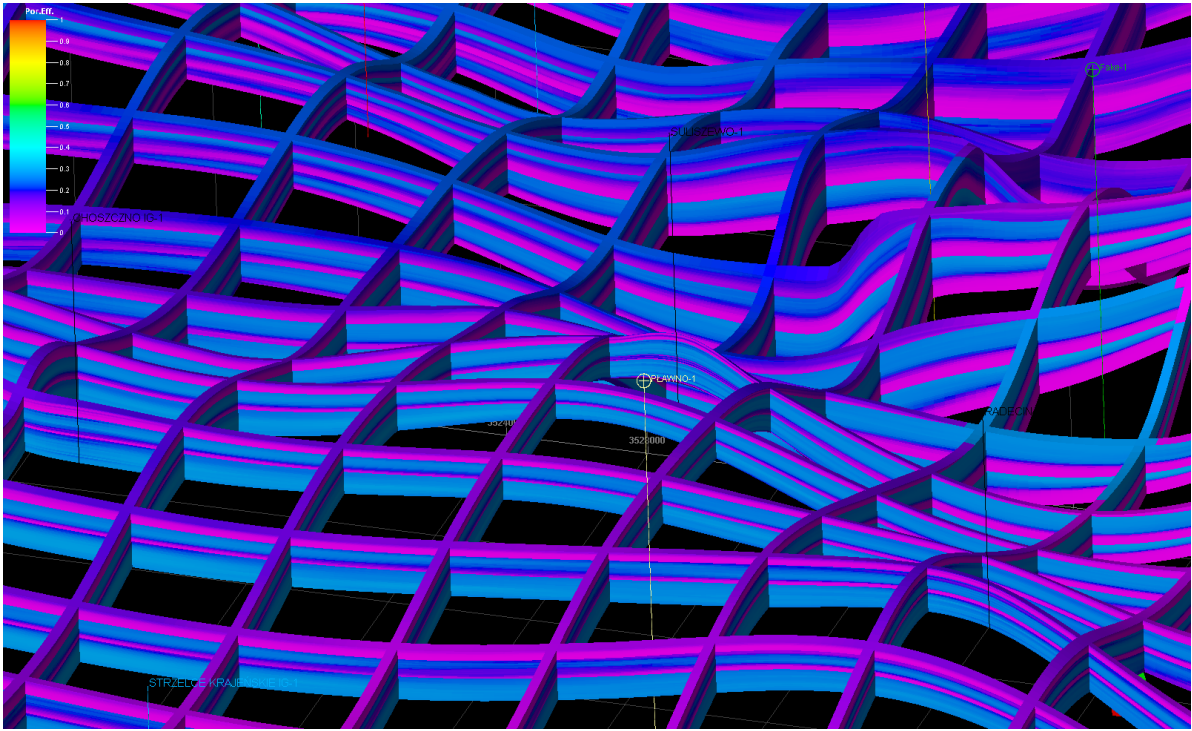
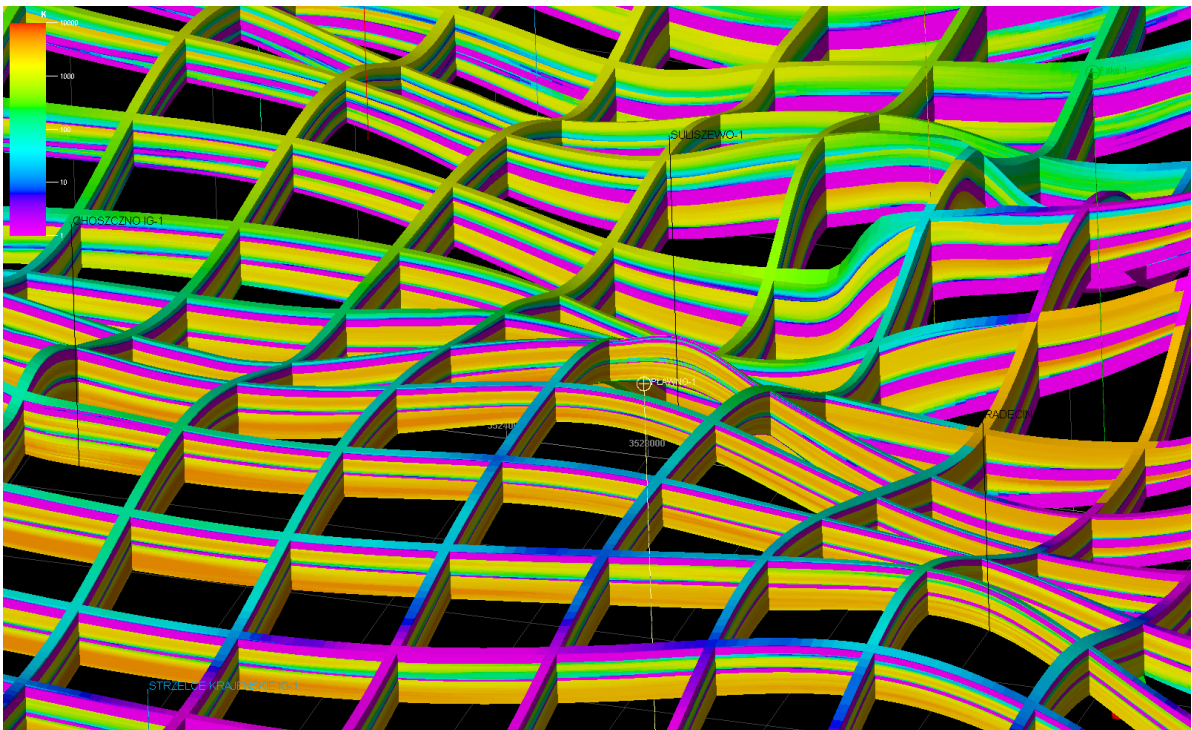


Fig. 1.1.17\_124 Bazowy model rozkładu zailenie w rejonie Radęcina



**Fig. 1.1.17\_125** Bazowy model rozkładu porowatości w rejonie Radęcina

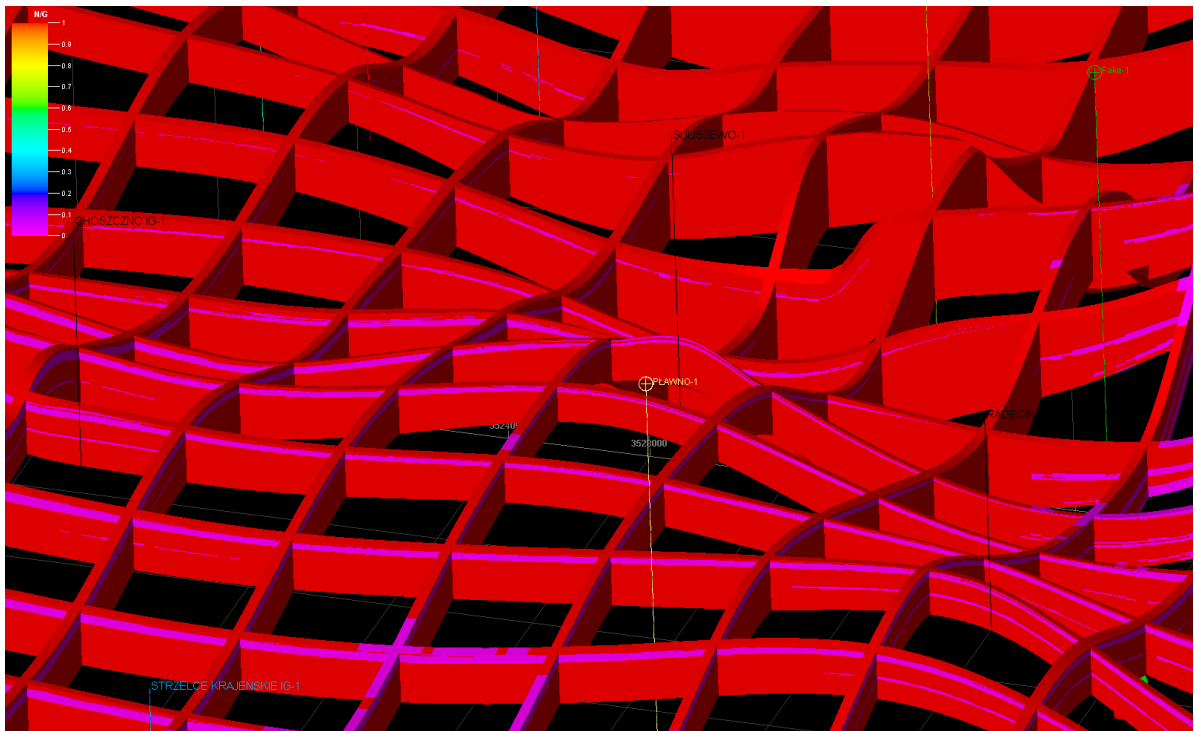
Bazowy model przepuszczalności (Fig. 1.1.17\_126) został wykonany na podstawie 10 realizacji stochastycznych. Wykonane modele litologiczne uśredniono wykorzystując operację średniej geometrycznej.



**Fig. 1.1.17\_126** Bazowy model rozkładu przepuszczalności w rejonie Radęcina



Bazowy model dyskretny skał zbiornikowych został wykonany z użyciem bazowego modelu zailenia. Próg odcięcia między skałami zbiornikowymi a uszczelniającymi został wyznaczony na 35% zailenia.



**Fig. 1.1.17\_127** Model dyskretny skał zbiornikowych w rejonie Radęcina

## **Analiza ryzyka**

Pierwszym etapem analizy ryzyka jest stworzenie modelu bazowego zwanego „*Base Case* „ lub też „*Best Guess*”. Model ten pokazuje najlepsze na stan obecny rozpoznanie struktury przez. Jest on wynikiem Interpretacji wszystkich dostępnych informacji wejściowych. Ponadto dochodzi kilka czynników takich jak doświadczenie, znajomość trendów regionalnych. Jest to model wyjściowy, więc z definicji obarczony jest pewnym błędem. Niestety z natury rzeczy analiza ryzyka opiera się na badaniu niewiadomych i określenie dokładnie modelu wyjściowego musiałoby się opierać o określenie sytuacji 100% pewności, co w geologii jest niemożliwe. Reasumując należy określić z jak największą dokładności „*Base Case*”, biorąc pod uwagę wszystkie dostępne dane oraz techniki interpretacji, a następnie szacować czułość poszczególnych elementów, aby stwierdzić najbardziej ryzykowne.

### **W pracy przeanalizowano:**

- ryzyko odwzorowanie powierzchni strukturalnych
- analiza czułości parametrów wolumetrycznych

Ryzyko związane z występowaniem nieciągłości

W obecnej sytuacji dostępne dane pozwalają jedynie na analizę strukturalną powierzchni bez uwzględnienia nieciągłości. Gdy jedna takie nieciągłości występują należy przeprowadzić analizę szczelności uskoków a także opisać ich parametry przy użyciu technik i algorytmów szeroko opisanych w literaturze zagranicznej (Yielding et al. 1997, Gibson 1998, Antonellini & Aydin 1994, Ottesen Ellevset et al. 1998, Manzocchi et al., 1999, Sperrevik et al. 2002, Hull 1988, Knott et al. 1996, Foxford et al. 1998, Walsh et al. 1998a).

### **Ryzyko odwzorowania powierzchni strukturalnych**

W pracy została przedstawiona analiza ryzyka strukturalnego trzech granic:

- strop Synemuru,
- strop Pliensbachu,
- strop Toarku.

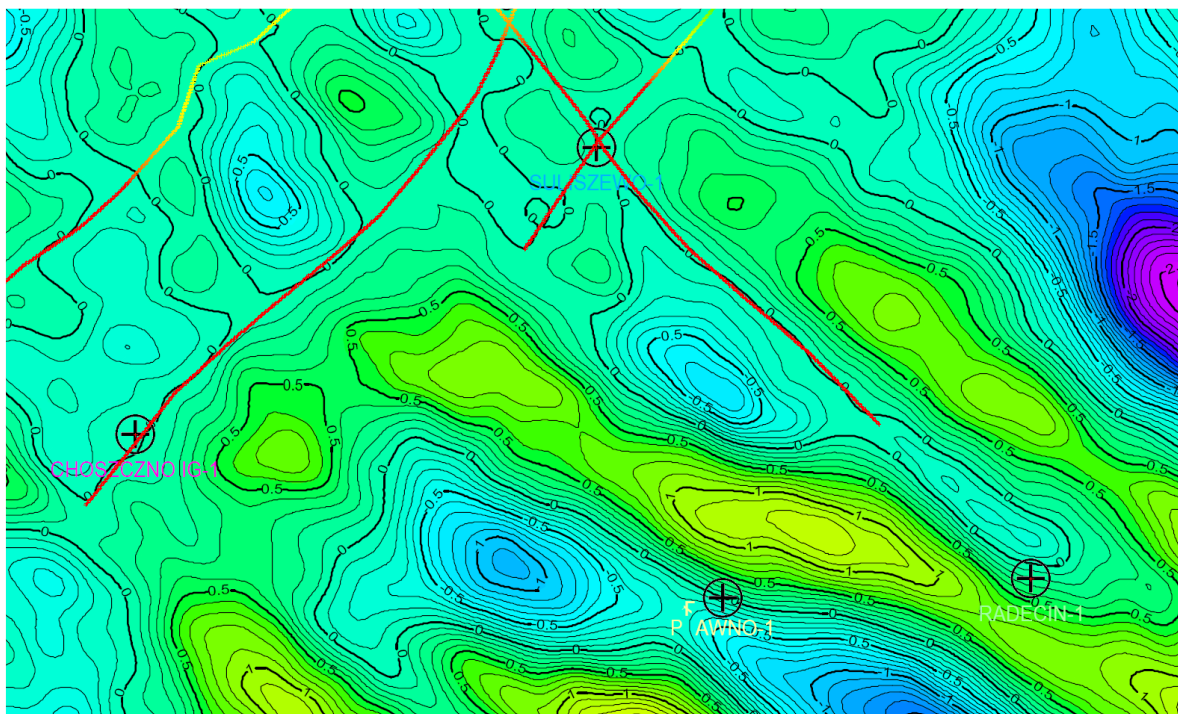
Wydzielenia Pliensbach oraz Synemur zostały zakwalifikowane, jako potencjalne zbiorniki natomiast utwory Toarku są warstwami uszczelniającymi.

Stochastycznie oceniane ryzyko jest obliczane z wykorzystaniem równania:

$$S_r = S_{bc} + U_{1s} * U_{sgs}$$

gdzie:

- $S_r$  - obliczony wariant powierzchni (Surface realization)
- $S_{bc}$  - wejściowa powierzchnia obliczana w sposób deterministyczny
- $U_{1s}$  - błąd głębokości wynoszący 1 odchylenie standardowe ( $s$ ) - może być powierzchnią lub wartością stałą)
- $U_{sgs}$  - Powierzchnia obliczona algorytmem SGS (średnia =0,  $s=1$ , jej odchyłka od powierzchni wejściowej w miejscu występowania danych wejściowych wynosi 0).



**Fig. 1.1.17\_128** Przykładowa mapa błędów zerowych z zaznaczonymi profilami sejsmicznymi. Izolinie oznaczają wartość odchylenia standardowego

Modele stochastyczne cechują się pełną zgodnością z danymi wejściowymi (interpretacja sejmiki i odwierty), natomiast w strefach niekontrolowanych danymi wykazują odchyłkę od modelu zamykając się w granicach odchylenia standardowego. Powierzchnie Toarku, Pliensbachu oraz Synemuru w formie przekrojów ukazują **Fig. 1.1.17\_129**, **Fig. 1.1.17\_130**, **Fig. 1.1.17\_131**. Ujawnia on, że wykorzystany deterministyczny wariant powierzchni strukturalnej tworzy powierzchnię w przybliżeniu stanowiącą średnią wykorzystanych wariantów stochastycznych, jednakże prawdopodobieństwa znacznych odchyień

kartowanej powierzchni strukturalnej, od modelu jest bardzo znaczne. Pełną zgodność modelu deterministycznego i wariantów stochastycznych uzyskują w punkcie przecięcia linii przekroju z profilem sejsmicznym.

## Ukształtowanie powierzchni stropu Toarku

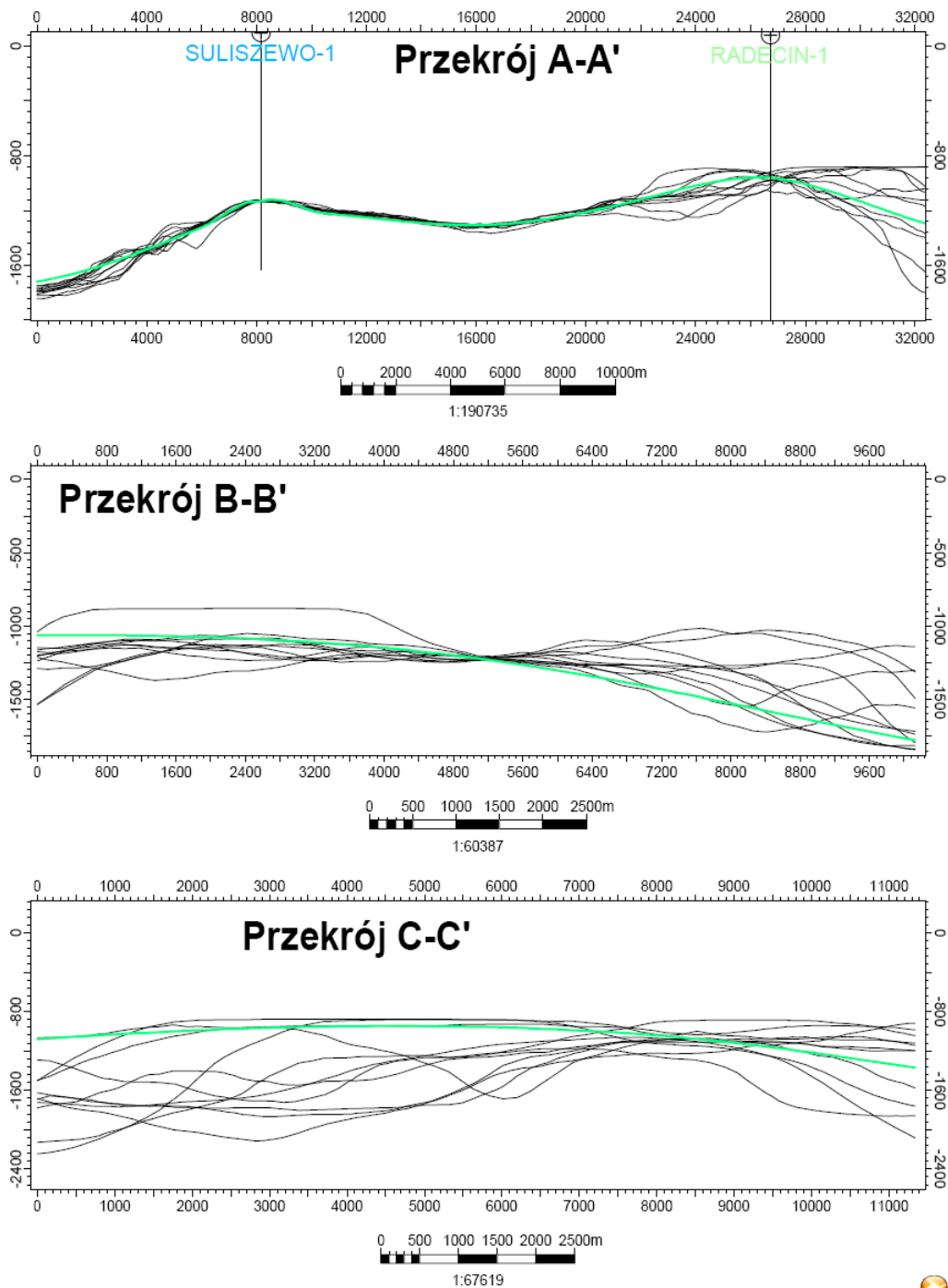


Fig. 1.1.17\_129 Ukształtowanie powierzchni stropu toarku w wariantach stochastycznych i deterministycznym

# Ukształtowanie powierzchni stropu Pliensbachu

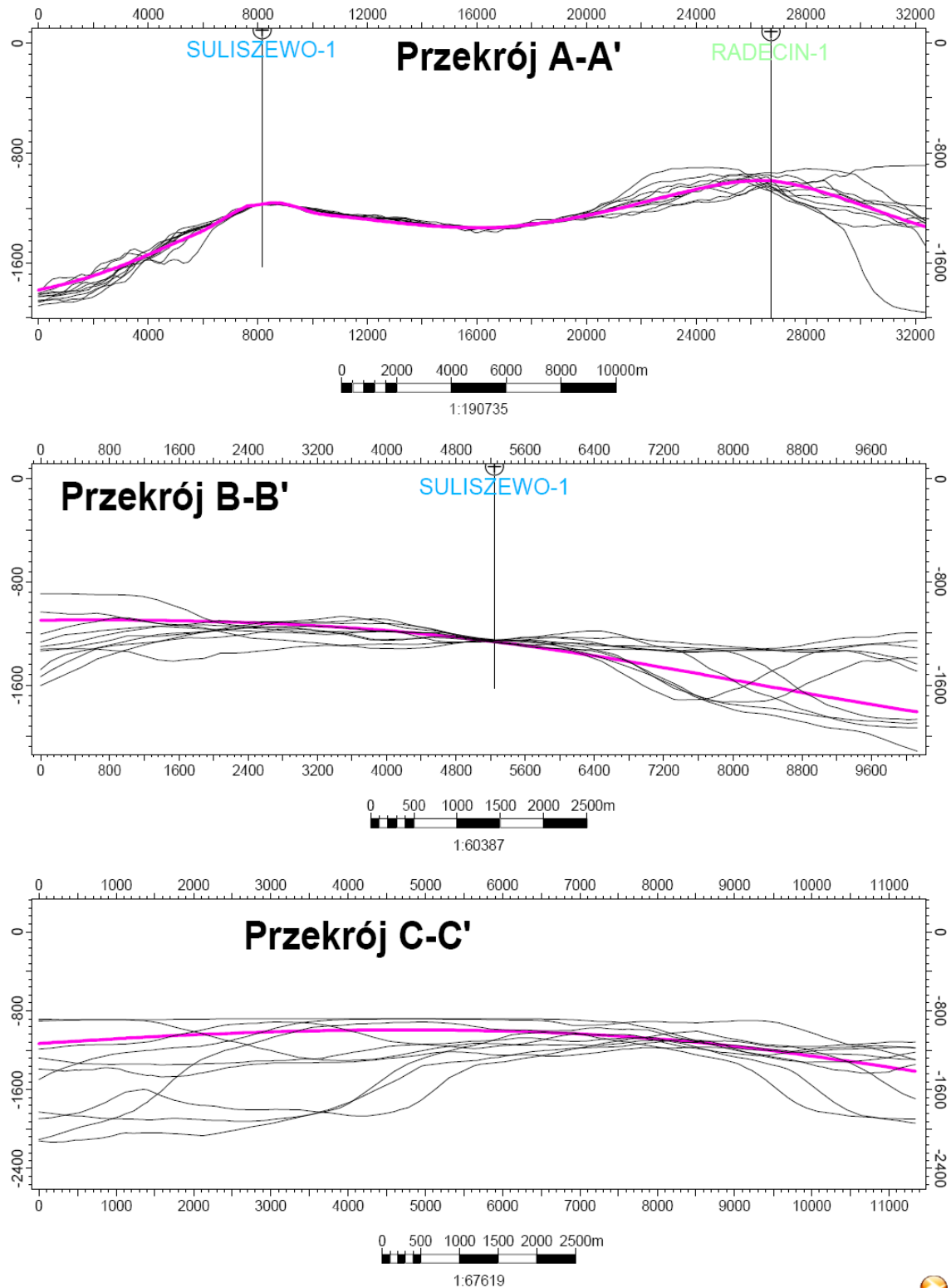


Fig. 1.1.17\_130 Ukształtowanie powierzchni stropu pliensbachu w wariantach stochastycznych i deterministycznym.

# Ukształtowanie powierzchni stropu Synemuru

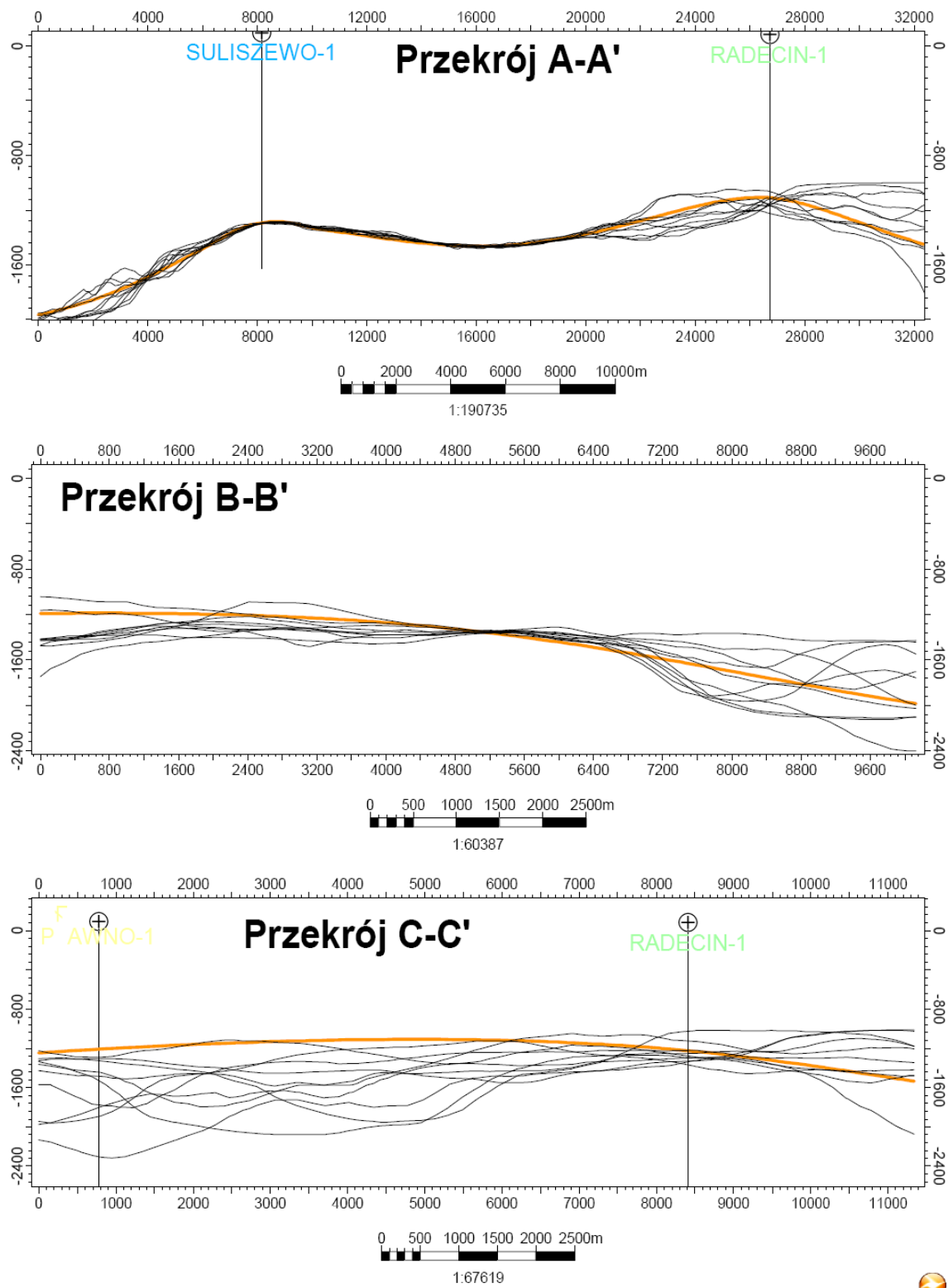
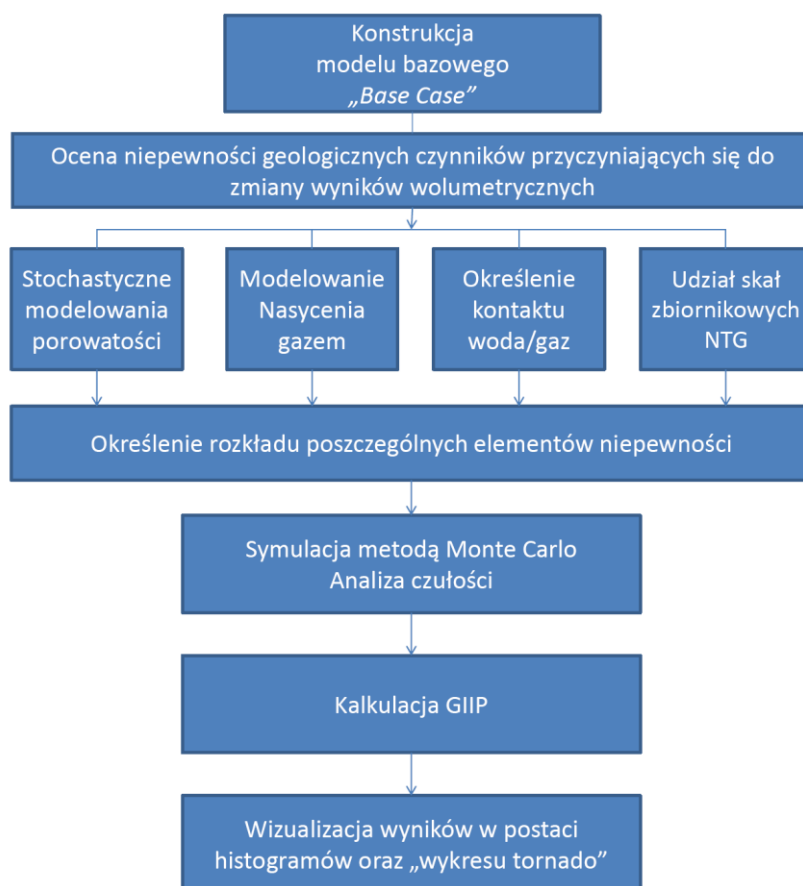


Fig. 1.1.17\_131 Ukształtowanie powierzchni stropu synemuru w wariantach stochastycznych i deterministycznym.

Analiza ryzyka odwzorowania powierzchni strukturalnych wskazuje na dość dobrą kontrolę danymi rejonu Suliszewa. Przekrój A-A' zlokalizowany został wzdłuż profilu sejsmicznego, co w dużym stopniu wpłynęło na odwzorowanie powierzchni stochastycznych na przekrojach. Należy zauważyć, że przekrój A-A' biegnie wzdłuż kulminacji struktury. Duża rozbieżność modelu deterministycznego od wariantów stochastycznych w południowo wschodniej części (rejon Radęcina) wskazuje na konieczność dalszej analizy. Dostarczone dane nie pozwalają w sposób wiarygodny określić bezpieczeństwa odwzorowania powierzchni strukturalnych w rejonie Radęcina. W rejonie tym został zlokalizowany jeszcze jeden profil sejsmiczny który nie był brany pod uwagę we wcześniejszych pracach. Z tego względu nie należy na obecnym etapie wykluczać tego rejonu z dalszych badań.

### Analiza czułości poszczególnych parametrów wpływających na wyniki wolumetryczne

Klasyczną analizę ryzyka geologicznego wykonuje się, gdy elementy niepewności nie wpływają na siebie wzajemnie. W przypadku, gdy elementy niepewności tj. kontakty złożowe, nasycenie wodą, porowatość, zailenie litologia etc. są w jakiś sposób ze sobą związane należy zastosować bardziej skomplikowaną analizę czułości. Pozwoli ona nam określić wpływ poszczególnych elementów na wynik końcowy, jakim będzie faktyczna ilość dwutlenku węgla możliwa do składowania. Na **Fig. 1.1.17\_132** przedstawiono schemat postępowania w analizie ryzyka dla rejonu Choszczno – Suliszewo.



**Fig. 1.1.17\_132** Schemat postępowania w przypadku analizy czułości dla struktury Choszczno – Suliszewo

W trakcie badań przeprowadzono analizę kilku czynników wpływających na ilość gazu, który jest możliwy do zmagazynowania w wybranej strukturze. Do tych elementów należały:

- Przyjęty kontakt woda/gaz (gas water contact - GWC),
- Nasylenie gazem (Gas saturation - Sg),
- Zmienność porowatości w przyjętych różnych alternatywnych modelach stochastycznych,
- Proporcje skał zbiornikowych do uszczelniających (Net-to-gross (NTG)).

### Analiza kontaktu gaz/woda

Wyjściowe położenie kontaktu woda/gaz zostało ustalone na głębokości 1100m ppm (Fig. 1.1.17\_133). Głębokość taka została określona, z dużą dozą bezpieczeństwa, aby nie dopuścić do przekroczenia *spill pointu*. Ilość otworów oraz profili sejsmicznych, które zostały użyte do konstrukcji modelu strukturalnego wskazywały na niepewność przebiegu warstw uszczelniających.

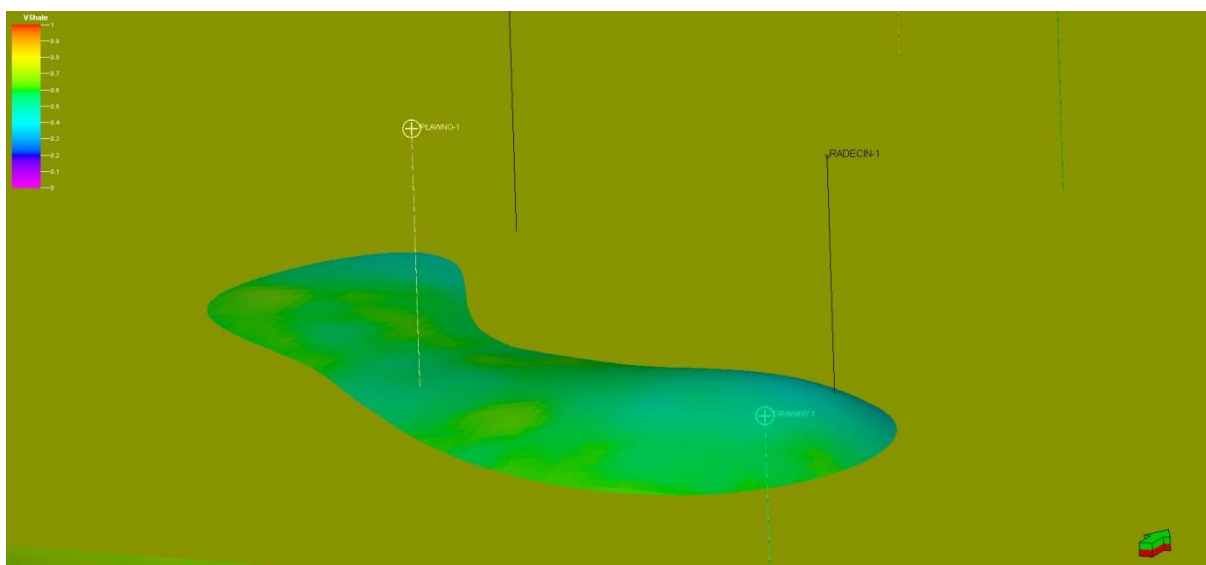


Fig. 1.1.17\_133 Model średniego zailenia z założonym kontaktem woda/gaz na głębokości 1100 m ppm

Modelowanie ryzyka położenia kontaktu polegało na analizie wpływu położenia bazowego do położenia maksymalnego oraz minimalnego. Do analizy przyjęto kontakt wahający się rozkładem trójkątnym w granicach 1095 – 1105 m ppm przy wartości średniej określonej na poziomie przyjętego kontaktu bazowego, czyli 1100 m ppm. Wykonano 50 alternatywnych modeli położenia kontaktu. Wpływ położenia kontaktu badano obliczając ilość CO<sub>2</sub> możliwego do zmagazynowania.



## **Analiza nasycenia gazem**

Dostępne dane nie obejmowały krzywych nasycenia wodą. Z tego względu do analizy nasycenia gazem zastosowano możliwość ustalenia nasycenia gazem, jako wartość stałą. Za wartość bazową przyjętą do obliczenia Base Case nasycenia gazem uznano 0.6. W modelowaniu ryzyka ustalono rozkład nasycenia gazem na trójkątny z wartością minimalną ustaloną na poziomie 0.55, wartością maksymalną ustaloną na poziomie 0.7. Za wartość średnio przyjęto nasycenie gazem równe 0.6. podobnie jak w modelowaniu nasycenia gazem wykonano 50 alternatywnych modeli nasycenia gazem. Na tej podstawie obliczono 50 różnych modeli na podstawie których obliczono ilość możliwego CO<sub>2</sub> do zatłoczenia.

## **Analiza zmienności porowatości w różnych alternatywnych modelach stochastycznych**

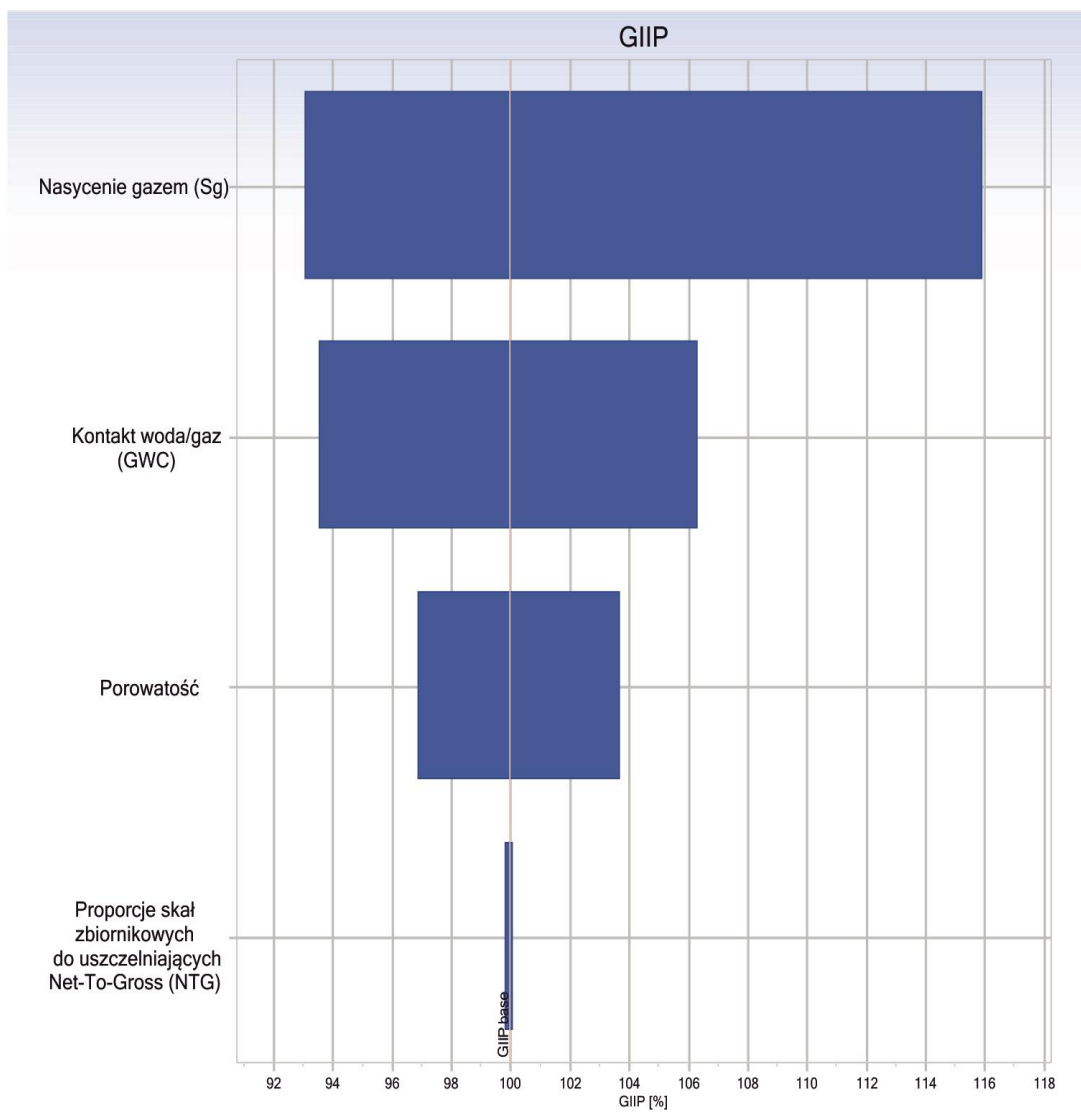
Celem analizy ryzyka zmienności porowatości było określenie w jak dużym stopniu wykorzystanie metod stochastycznych wpływa na obliczenia wolumetryczne. Analiza zmienności porowatości obejmowała stworzenie 50 alternatywnych stochastycznych modeli porowatości przy zastosowaniu anizotropii rozkładu parametru jak w Base Case tworzonym metodą Krigingu. W oparciu o każdy model zostały wykonane obliczenia wolumetryczne.

## **Analiza proporcji skał zbiornikowych do uszczelniających**

Analiza proporcji skał zbiornikowych do uszczelniających obejmowała określenie w jakim zakresie zmienia stosunek skały uszczelniające/skały zbiornikowe przy założeniach różnych progów odcięcia. Zostały stworzone alternatywne modele NTG poprzez przeliczenie bazowego modelu zailenia na modele dyskretne. Base Case progę odcięcia został ustalony na poziomie zailenia równym 35%. Do analizy ryzyka przyjęto rozkład trójkątny z wartością minimalną równą 30% wartością max równą 40% i średnią 0.35%.

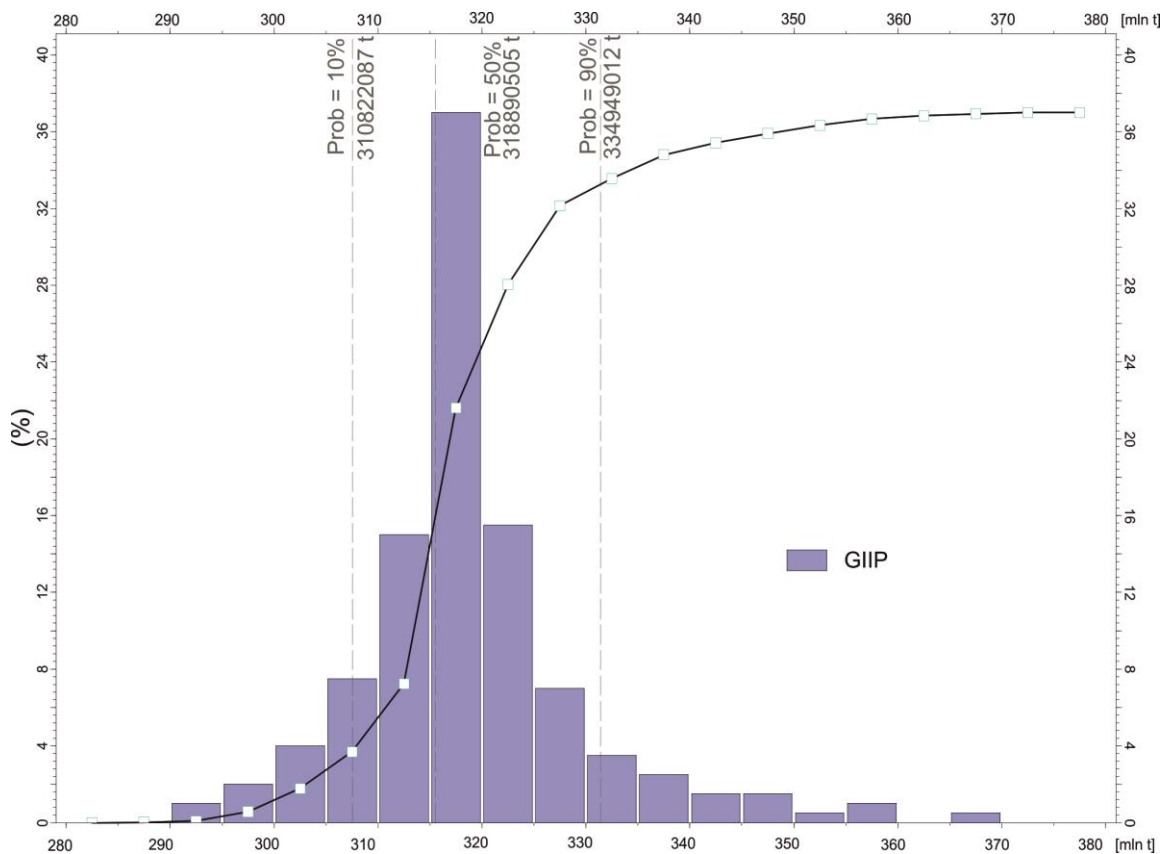
## **Kompleksowy wynik analizy czułości**

Finalnym etapem analizy czułości jest korelacja wszystkich elementów niepewności na wykresie tornado (**Fig. 1.1.17\_134**). Wykres ten pokazuje jak poszczególne elementy niepewności wpływają na parametr wolumetryczny ( w tym przypadku GIIP). Na **Fig. 1.1.17\_134** przedstawiono badane elementy i ich odchyłkę od modeli bazowych. Z wykresu wynika, że największy wpływ na ilość możliwego do zmagazynowania gazu ma odpowiednio założony model nasycenia gazem następnie określony kontakt między mediami złożowymi. Porowatość wpływa w tym przypadku w granicy ok +/- 6% na wyniki analizy natomiast różnica w progowej wartości skały zbiornikowe/skały uszczelniające jest nieznaczna i można ją zaniedbać.



**Fig. 1.1.17\_134** Tornado plot obrazujący wpływ poszczególnych elementów ryzyka na ilość CO<sub>2</sub> możliwego do zatłoczenia

Innym sposobem wizualizacji wyników analizy czułości jest przedstawienie na histogramach (**Fig. 1.1.17\_135** i **Fig. 1.1.17\_136**).



**Fig. 1.1.17\_135** Histogram zbiorczy kompleksowej analizy ryzyka z zaznaczonymi percentylami P10, P50, P90.

Kompleksowa analiza ryzyka wymienionych wcześniej parametrów wskazuje, że średnią ilość gazu, jaką można zatłoczyć do struktury to ok 320 mln t CO<sub>2</sub>. Należy jednak pamiętać, iż jest to analiza parametrów statycznych i obejmuje zatłoczenie gazu w równym stopniu do całej struktury odciętej konturem. Nie były brane pod uwagę warunki fizyko-chemiczne gazu, które w znaczącym stopniu wpływają np. wytrącanie się węglanów. Również duża dowolność w operowaniu rozkładem statystycznym może prowadzić do zwiększenia lub zmniejszenia wpływu poszczególnych elementów ryzyka.

Podobnie jak w przypadku tornado plot wyniki wpływu poszczególnych elementów ryzyka można zaznaczyć na kilku histogramach w jednej skali (**Fig. 1.1.17\_136**). Tak przedstawione wyniki wskazują na wpływ rolę jaką odgrywają poszczególne elementy geologiczne.

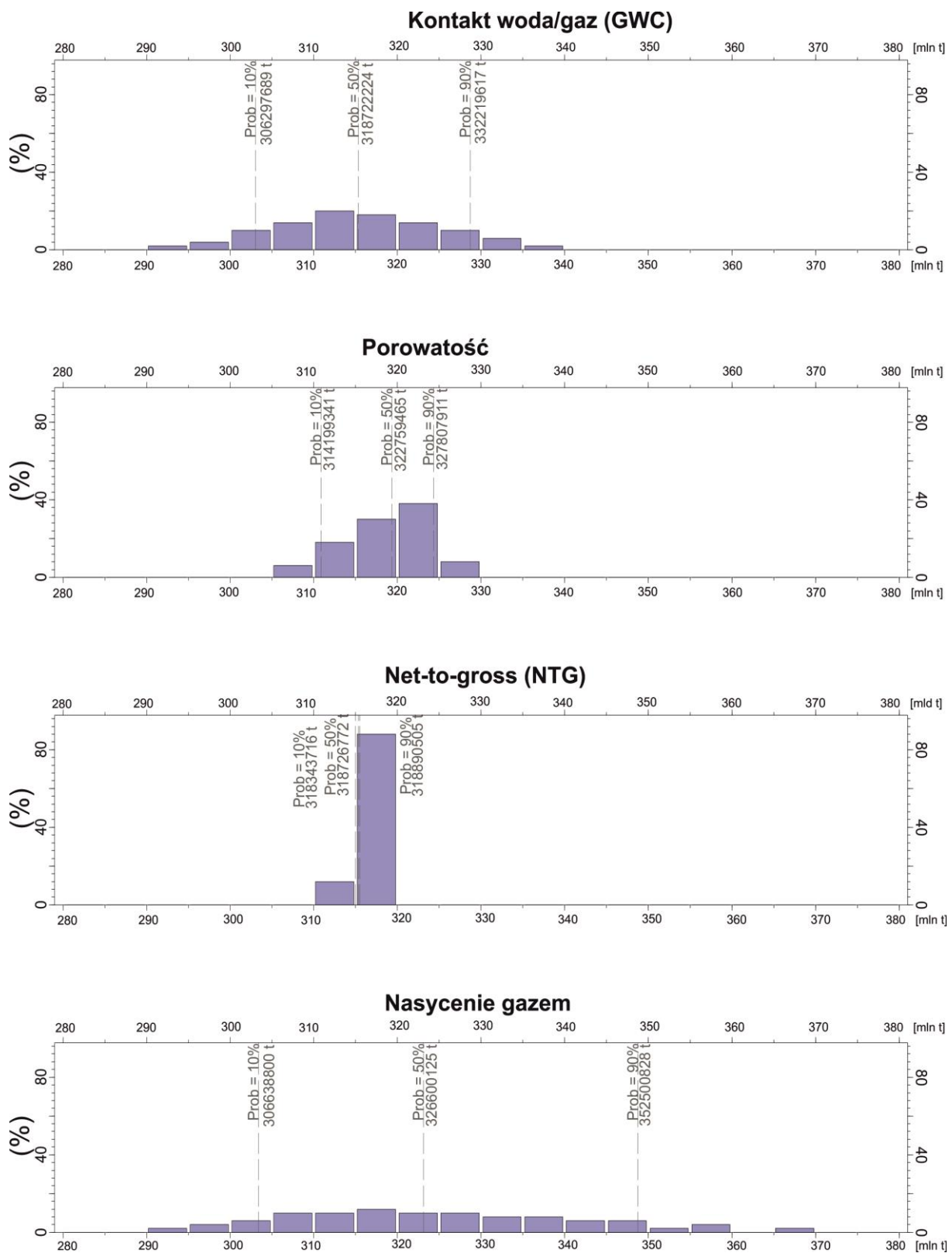


Fig. 1.1.17\_136 Histogramy wpływu poszczególnych elementów ryzyka na ilość CO<sub>2</sub> możliwego do zatłoczenia z zaznaczonymi percentylami P10, P50, P90.

## Wykonanie finalnych analiz ryzyka dla obiektu w poziomach solankowych

### Choszczno-Suliszewo (AGH)

(Bartosz Papiernik, Michał Michna, Grzegorz Machowski, Wojciech Górecki, Wojciech Machowski, Ewa Zubel, Anna Żoldani-Szelest, Joanna Rems)

### Opracowanie (aktualizacja) szczegółowego modelu statycznego ośrodka geologicznego składowiska dolnojurajskiego w rejonie Choszczna

Model strukturalno-parametryczny zamieszczony w opracowaniu stanowi rozwinięcie pódszczegółowego modelu opracowanego przez zespół KSE w 2011 r., w ramach zadania 1.1.15. Przedstawiany obecnie model cechuje wyższa dokładność, przede wszystkim pod względem strukturalnym – zaktualizowano go bowiem z wykorzystaniem wyników interpretacji sejsmiki 2D, a z drugiej strony został on uproszczony (uporządkowany) pod względem stratygraficznym. Model został uporządkowany poprzez agregację wydzieleń chronostratygraficznych, a przez zagęszczenie warstwowania zyskał na rozdzielczości pionowej. Model wynikowy zawężono do przedziału jura środkowa - jura dolna, w którym znajdują się potencjalne poziomy uszczelniające i zbiornikowe.

Modelowania wykonano w programie Petrel znajdującemu się w posiadaniu WGGiOŚ dzięki umowie o wspieraniu prac naukowo-badawczych i dydaktycznych zawartej między Akademią Górniczo-Hutniczą a firmą Schlumberger Information Solutions.

#### Model strukturalny

##### Dane wejściowe

Dane wejściowe wykorzystane do opracowania modelu strukturalnego obejmowały wydzielenia stratygraficzne w odwiertach, interpretacje sejsmiki 2D oraz oparte na nich regularne siatki interpolacyjne.

##### Dane otworowe

Rejon Choszczno – Suliszewo rozpoznany jest wiertniczo 28 otworami (Tab. 1.1.17\_43)

Tab. 1.1.17\_43 Zestawienie otworów w rejonie Choszczno-Suliszewo.

Lp.	Nazwa otworu	Lp.	Nazwa otworu
	BANIE-1	15	HUTA SZKLANA 2
2	CHOCIWEL 2	16	KUŹNICA ŻELICHOWSKA-1
3	CHOCIWEL IG-1	17	MARIANOWO-1
4	CHOCIWEL-3	18	MARIANOWO-2
5	CHOSZCZNO IG-1	19	MARIANOWO-3

6	DOBRZANY-1	20	MASZEWO-1
7	DOLICE GEO-1	21	MAKOWARY 1
8	DRAWINY 1	22	MYŚLIBÓRZ GN-1
9	DRAWNO 1	23	PŁAWNO-1
10	DRAWNO GEO 4	24	RADEĆCIN-1
11	DRAWNO GEO-1	25	STARGARD-1
12	DRAWNO GEO-2	26	STRZELCE KRAJEŃSKIE IG-1
13	DRAWNO GEO-3	27	SULISZEWO-1
14	HUTA SZKLANA 1	28	ŻABICKO GEO-1

Dostateczne dokładne rozpoznanie stratygraficzne utworów dolnej i środkowej jury jest jednak dostępne tylko w części z odwiertów położonych na obszarze badań. Dostatecznie rozdzielcza stratygrafia została określona w 21 otworach (**Tab. 1.1.17\_44**). Dane wejściowe zaczerpnięte zostały z Centralnego Archiwum Geologicznego (CAG) Państwowego Instytutu Geologicznego (PIG) oraz Bazy Danych Geotermalnych Katedry Surowców Energetycznych.

**Tab. 1.1.17\_44** Odwierty wykorzystane do opracowania osnowy stratygraficznej modelu 3D

1	CHOCIWEL 2	12	MAKOWARY 1
2	CHOCIWEL IG-1	13	MARIANOWO-1
3	CHOSZCZNO IG-1	14	MARIANOWO-2
4	DOBRZANY-1	15	MARIANOWO-3
5	DRAWINY 1	16	MYŚLIBÓRZ GN-1
6	DRAWNO 1	17	PŁAWNO-1
7	DRAWNO GEO-2	18	RADECIN-1
8	DRAWNO GEO-3	19	STARGARD-1
9	HUTA SZKLANA 1	20	STRZELCE KRAJEŃSKIE IG-1
10	HUTA SZKLANA 2	21	SULISZEWO-1
11	KUŹNICA ŻELICHOWSKA-1		

Zaimportowane wydzielenia zostały ujednoczone i pogrupowane w kompleksy stratygraficzne o podobnym ukształtowaniu litologicznym; inaczej niż w modelu regionalnym opracowanym w zadaniu 1.15. Wydzieleni tych nie można określić jako formalne jednostki litostatygraficzne, gdyż bazowały one częściowo na danych z CAG, weryfikowanych po 2008 roku, a częściowo na danych z bazy danych geotermalnych KSE AGH, gdzie w profilu jury dolnej i środkowej wyróżniono nieformalne wydzielenia litostratygraficzne. Analizując profile stratygraficzne oraz krzywe geofizyczne w profilach dokonano agregacji wydzieleni, wyróżniając 6 kompleksów stratygraficznych (**Fig. 1.1.17\_137**), wykazujących podobieństwo cech litologicznych i parametrów zbiornikowych przewierczanych kompleksów jury.

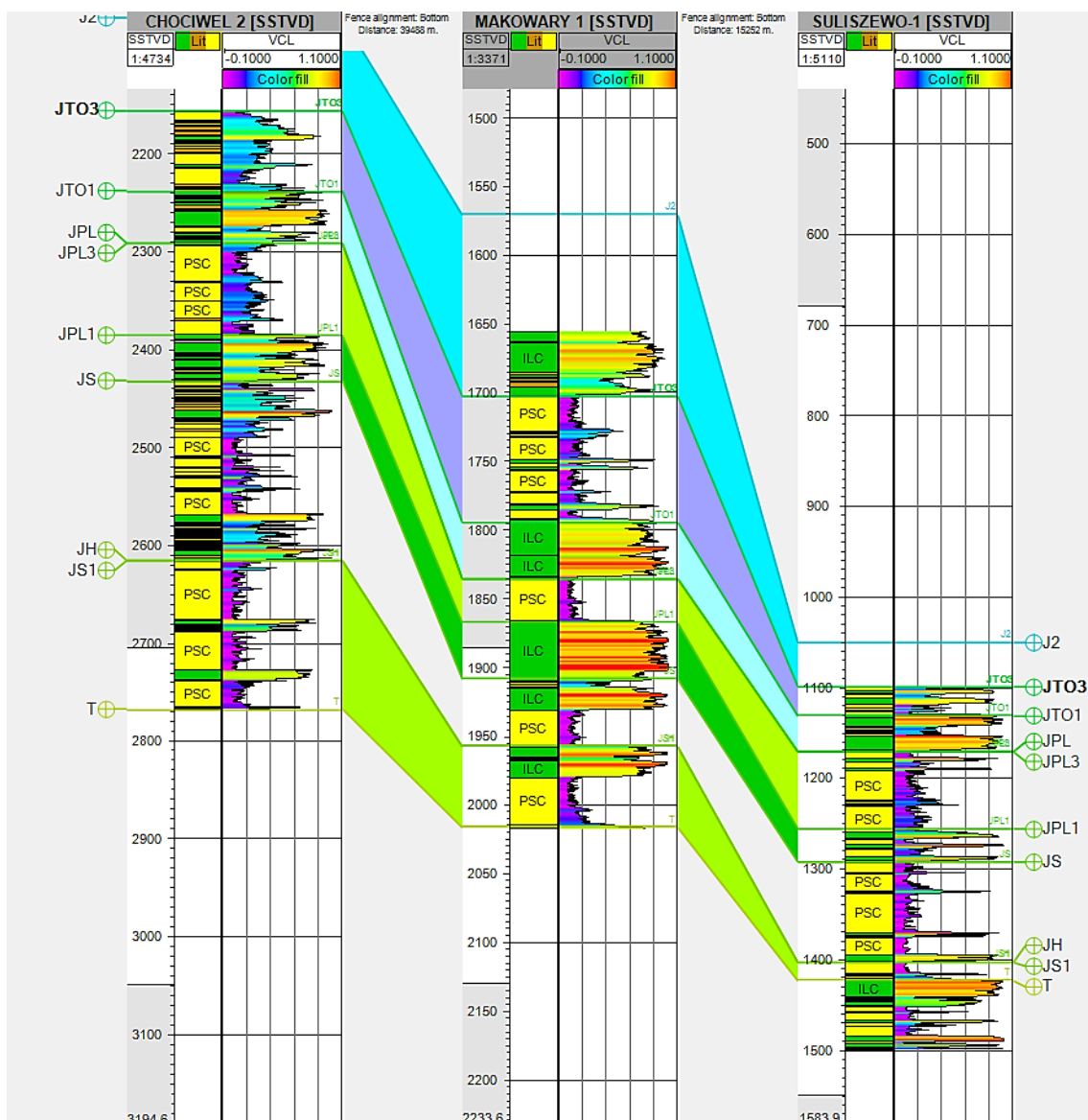
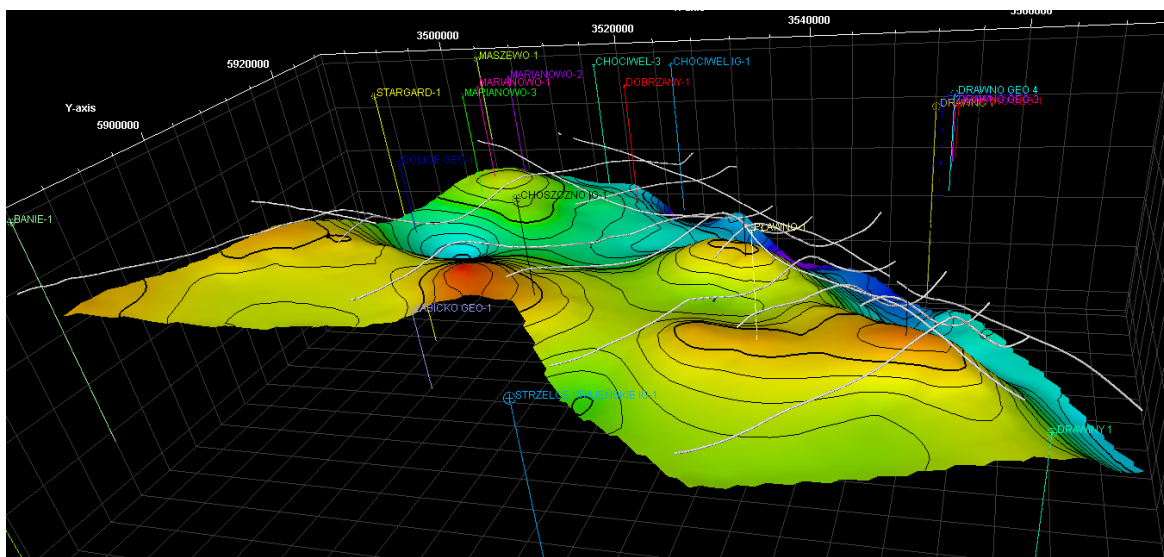


Fig. 1.1.17\_137 Przykład podziału stratygraficznego w otworach wiertniczych i jego korelacja z krzywymi litologicznymi i zailenia (VCL)

### **Regularne siatki interpolacyjne i interpretacja sejsmiki**

W trakcie prac w 2011 r. osnowę strukturalną opracowano na podstawie regionalnych map strukturalnych horyzontów jurajskich - spąg J1, strop J1, strop J2, oraz kredowych - spąg K1, strop K1 (Górecki et al. 2006, Pletsch et al. 2010).

W prezentowanym obecnie modelu osnowa stratygraficzna nie obejmuje map strukturalnych granic kredy i górnej jury, natomiast mapy strukturalne J1- J2 uaktualniono łącząc mapy regionalne z interpretacją sejsmiki 2D wykonanej w PIG Warszawa dla 14 profili sejsmicznych (Fig. 1.1.17\_138).



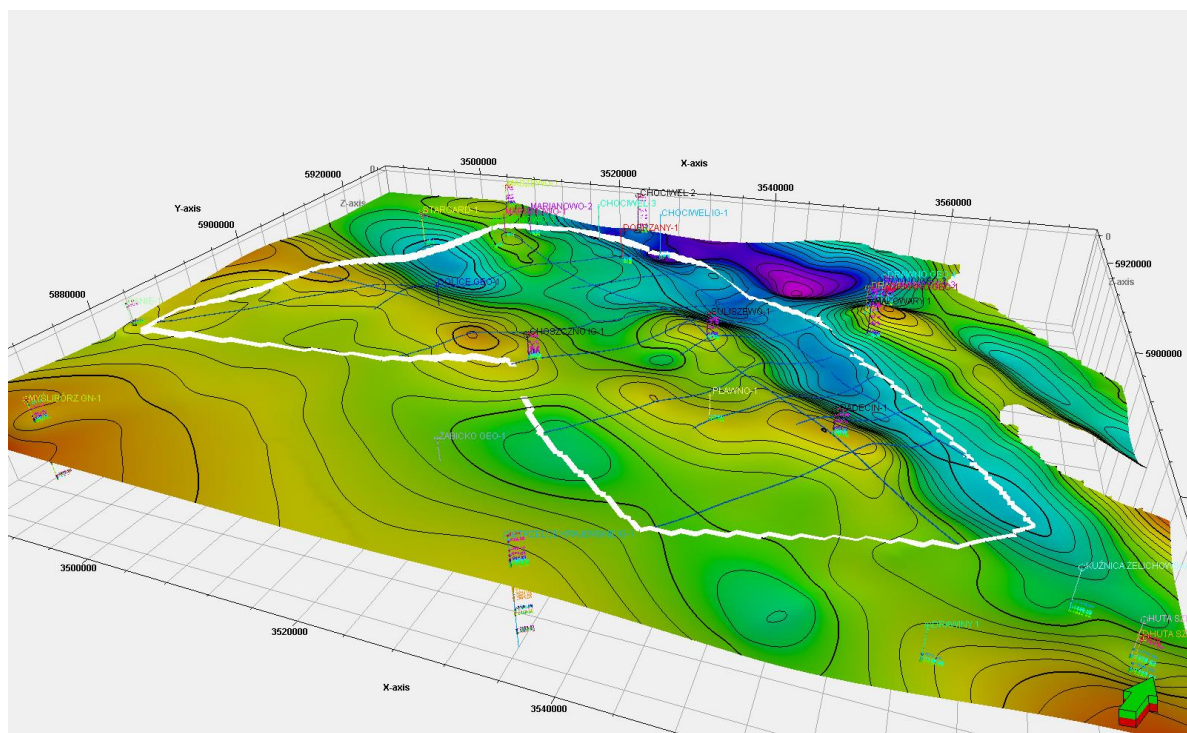
**Fig. 1.1.17\_138** Lokalizacja profili sejsmicznych przedstawiona w formie wyników interpretacji na obszarze badań.

Wynikowe mapy strukturalne do opracowania osnowy stratygraficznej modelu 3D powstały z połączenia interpretacji sejsmicznych, danych stratygraficznych oraz regionalnych map strukturalnych opracowanych w trakcie realizacji zadania 1.15 w 2011 roku (Papiernik et al. 2011). Powstałe w ten sposób dane obejmują mapy:

- Stropu jury środkowej;
- Stropu pliensbachu (**Fig. 1.1.17\_139**);
- Stropu synemuru;
- Stropu triasu.

Model wykazuje znacznie wyższą szczegółowość w stosunku do jego wersji z roku 2011. W strefach nie kontrolowanych nową interpretacją sejsmiki ma on oczywiście charakter trendowy, ale jest dobrze kontrolowany w otworach. Takie poszerzenie modelu ma ogromne znaczenie dla późniejszych modelowań parametrycznych, gdyż pozwala ono wykorzystać dane petrofizyczne z otworów Chociwel-2 i Mąkowary-1 do zwiększenia wiarygodności modeli litologicznych i facjalnych na N i NW skrzydłach potencjalnych struktur magazynowych (**Fig. 1.1.17\_139**).





**Fig. 1.1.17\_139** Wynikowa mapa strukturalna stropu pliensbachu wykorzystana jako dane wejściowe do modelowania strukturalnego

### Wyniki modelowania strukturalnego

Do opracowania wynikowego modelu strukturalnego wykorzystano połączone schematy schemat przetwarzania znane w programie Petrel jako *Simple Gridding*, *Corner Point Gridding*. Opisane wyżej powierzchnie wykartowane w formie gridów 2D pozwoliły stworzyć podstawową siatkę 3D z pominięciem procedury modelowania uskoku - *Fault Modelling* (wg wyników interpretacji sejsmicznej PIG kartowane przestrzennie uskoki nie występują na badanym obszarze). Architekturę wewnętrzną takiej siatki 3D zagęszczono, wprowadzając do modelu (*Make/Edit Zones*) dodatkowe granic subsejsmiczne, z wykorzystaniem wydzielonych granic kompleksów stratygraficznych. W przedstawianym przypadku dokonano agregacji wydzieli stratygraficznych, biorąc pod uwagę zmienność podobieństwo wykształcenia facjalnego (formalne i nieformalne wydzielenia litostratygraficzne). Jury środkowej nie rozdzielono na piętra ze względu na zbyt małą rozdzielczość danych wejściowych, niskie miąższości pięter oraz brak danych przydatnych do dalszych modelowań parametrycznych.

Wyniki interpretacji strukturalnej zostały przedstawione wzdłuż dwóch przekrojów. Linie przekrojów przebiegają poprzecznie do rozciągłości antyklinali Radęcina–Pławna (**Fig. 1.1.17\_141**) oraz antyklinal Choszczna i Suliszewa (**Fig. 1.1.17\_142**). Ich położenie przedstawiono na tle mapy stropu triasu (**Fig. 1.1.17\_140** i **Fig. 1.1.17\_141**).

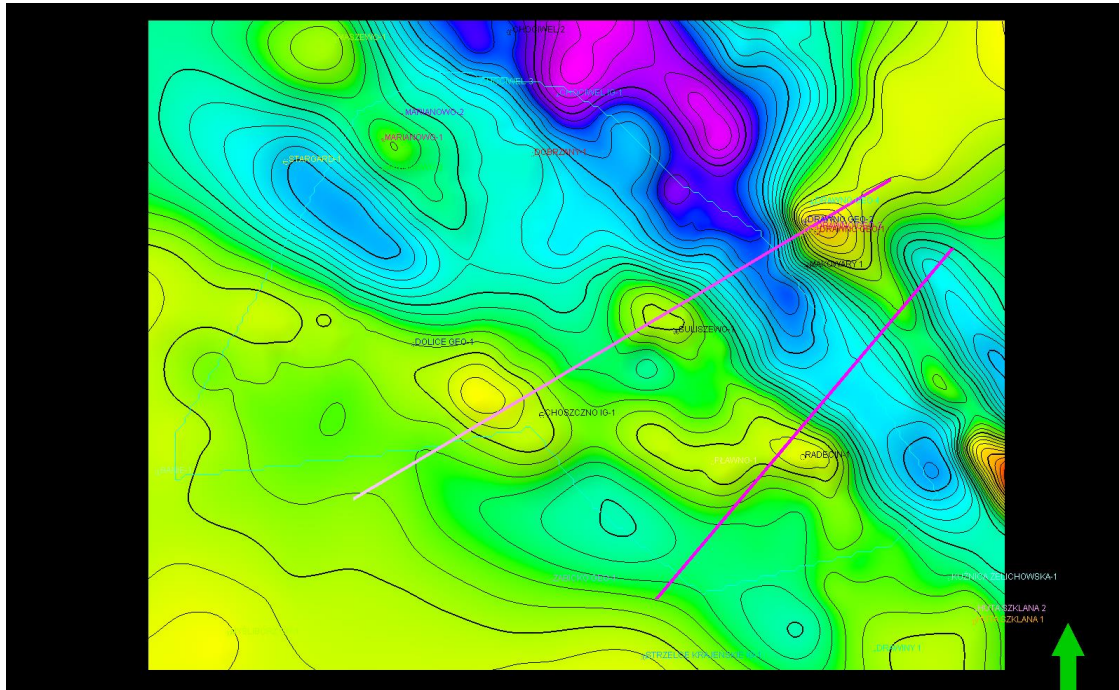


Fig. 1.1.17\_140 Lokalizacja przekrojów na tle stropu triasu

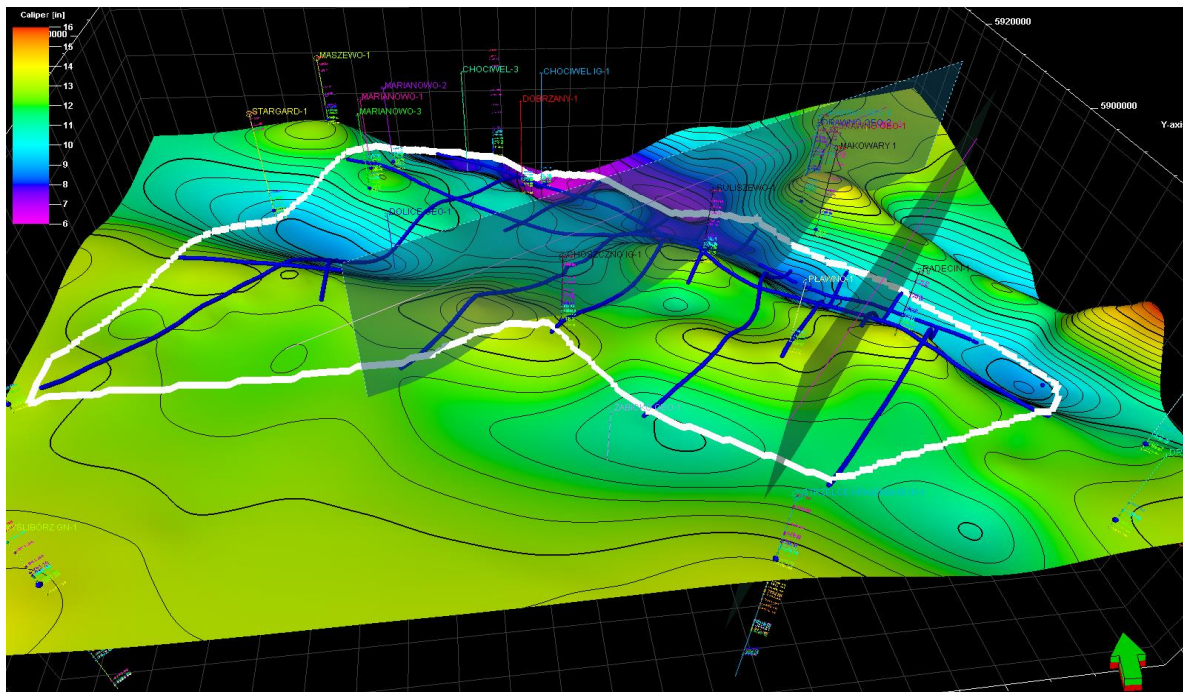


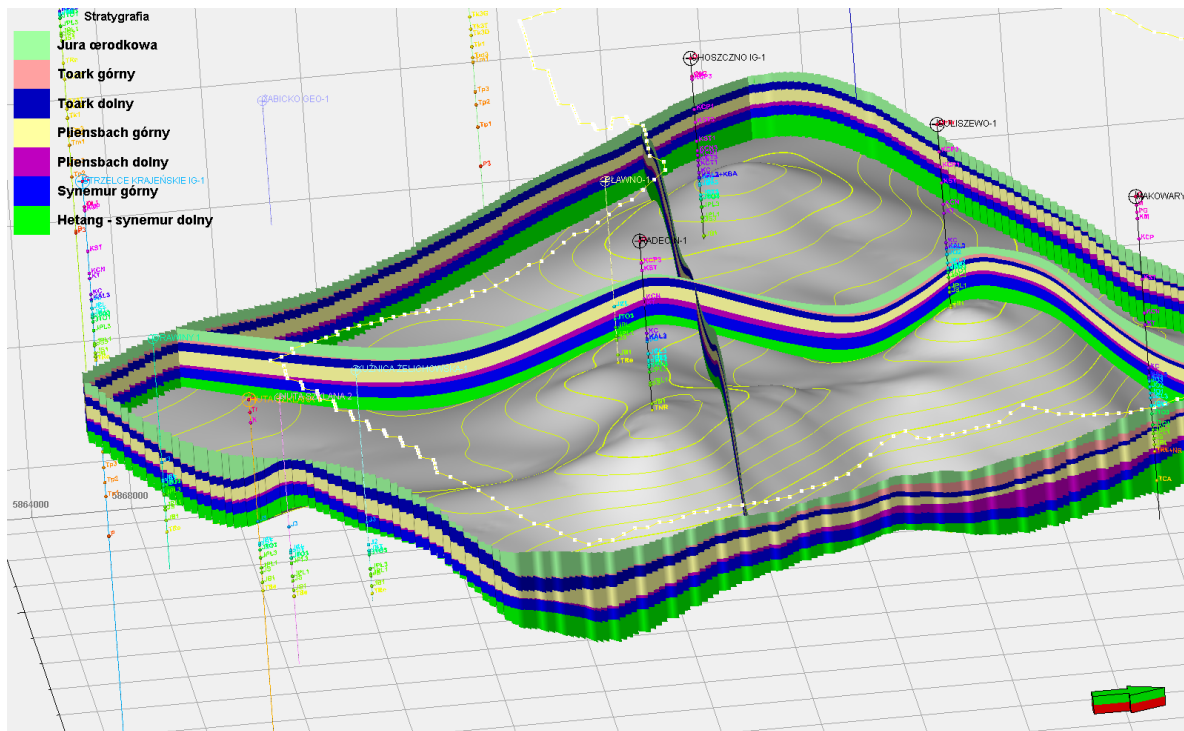
Fig. 1.1.17\_141 Model stropu triasu z zaznaczonymi liniami przekrojowymi

## **Model strukturalny**

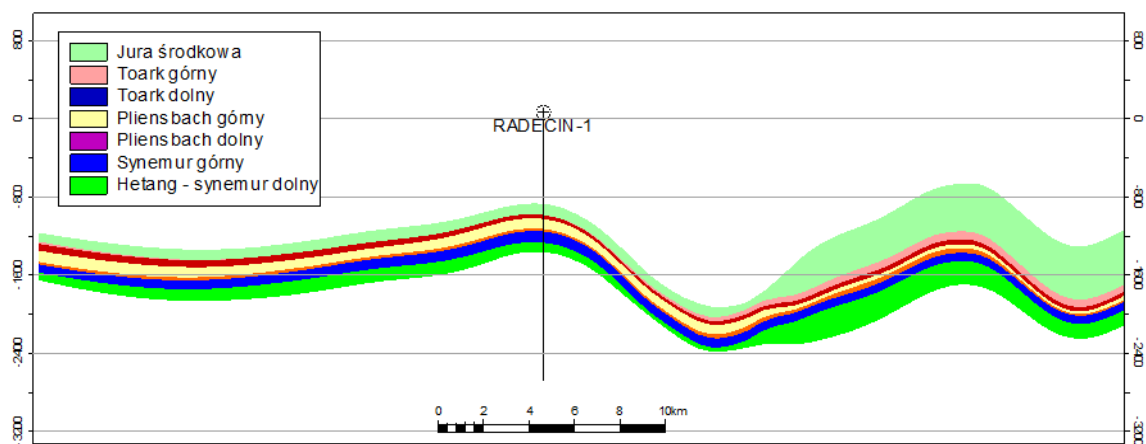
Wynikowa osnowa geometryczna zbudowana jest siedmiu kompleksów (Fig. 1.1.17\_142-Fig. 1.1.17\_144)

- Jury środkowej;
- Toarku górnego;
- Toarku dolnego;
- Pliensbachu górnego;
- Pliensbachu dolnego;
- Synemuru górnego;
- Synemuru dolnego i hetangu.

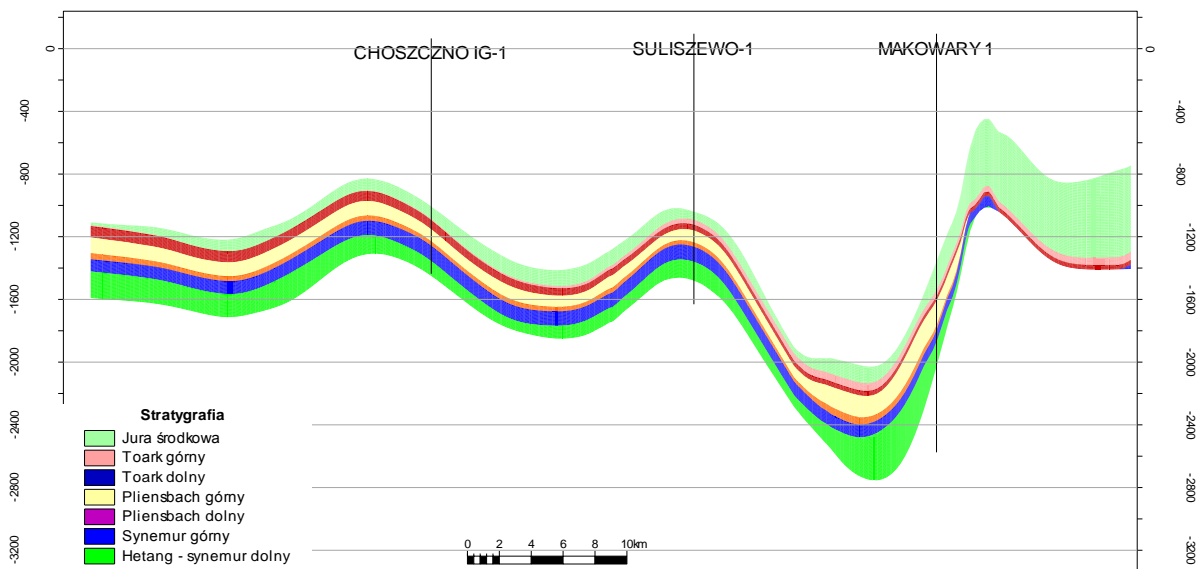
W przypadku najniższych dwóch kompleksów lepsze rezultaty mogłyby dać wykorzystanie bardziej szczegółowych danych litostratygraficznych, jednakże autorzy nie posiadali jednoznacznych danych o dostatecznej rozdzielczości we wszystkich otworach na obszarze badań.



**Fig. 1.1.17\_142** Model strukturalny rejonu Choszczno-Suliszewo z zaznaczonymi kompleksami stratygraficznymi



**Fig. 1.1.17\_143** Wizualizacja wydzieli stratygraficznych modelu 3D na przekroju przez antyklinę Pławno – Radecin



**Fig. 1.1.17\_144** Wizualizacja wydzieli stratygraficznych na przekroju poprzecznym przez antykliny Choszczna i Suliszewa

Zaznaczające się na przekrojach zmiany miąższości wyróżnianych kompleksów wskazują na zmiany batymetrii i prawdopodobnie synsedymacyjną aktywność halotektoniczną w trakcie sedimentacji osadów  $J_1$  i  $J_2$ .

Ostatnim etapem tworzenia modelu było wprowadzenie wewnętrznego warstwowania w wydzielonych kompleksach. Wzmiankowana wyżej aktywność basenu w trakcie sedimentacji połączona z brakiem



epizodów erozyjnych spowodowała, że do uwarstwienia modelu zastosowano warstwowanie równoległe do spągu, odzwierciedlające transgresywno-regresywne zmiany dynamiki sedimentacji.

Pominąwszy J2, dla wszystkich wyróżnionych kompleksów zastosowano równoległe do spągu uwarstwienie o miąższości 5m (minimum 3m). W kompleksie J2 zastosowano warstwowanie o miąższości 10m (Fig. 1.1.17\_154).

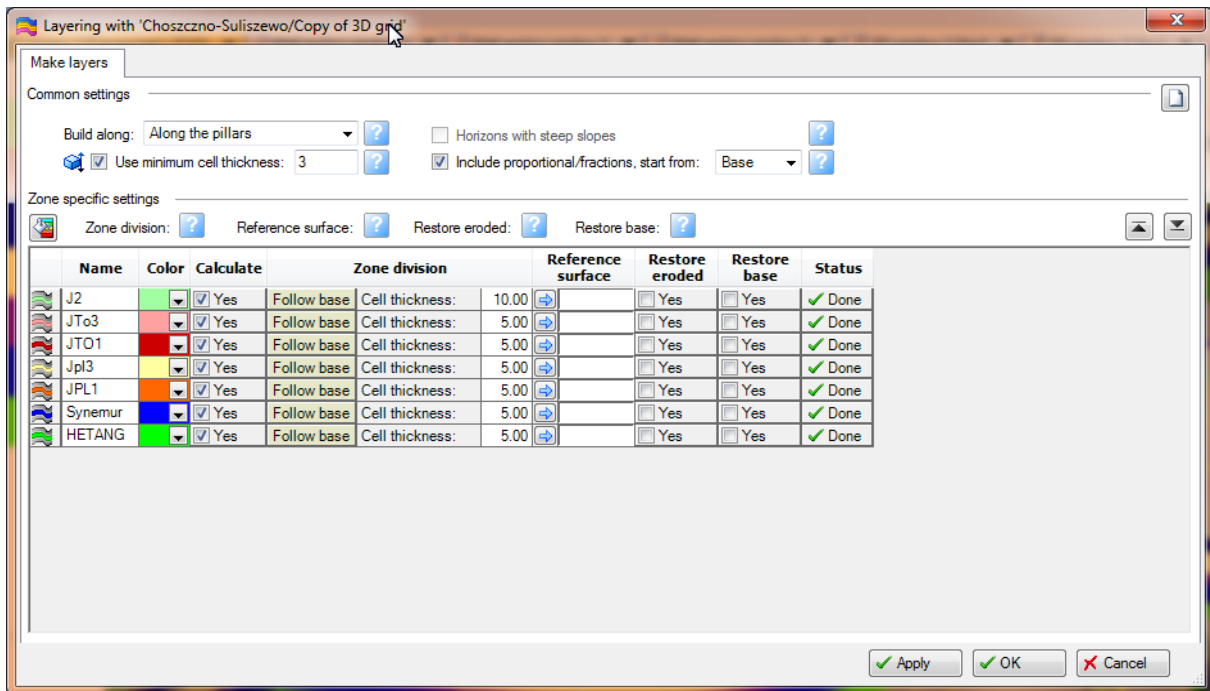


Fig. 1.1.17\_154 Warstwowanie 3D modelu strukturalnego w rejonie Choszczno – Suliszewo

Powstały model strukturalny pokrywa powierzchnię ok. 650 km<sup>2</sup>. Jest on zbudowany z 37 344 342 komórek 3D oraz 91 580 węzłów 2D. Cechuje go niezbyt wysoka rozdzielczość pozioma (250\*250m) dostosowana do spokojnej brachyantyklinalnej budowy obszaru. Duża wielkość modelu mierzona ilością komórek 3D jest wynikiem dość szczegółowego uwarstwienia modelu, dostosowanego do pionowej zmienności litologii i parametrów zbiornikowych modelu.

**Tab. 1.1.17\_45** Charakterystyka geometrii modelu 3D w rejonie Choszczno – Suliszewo

Kolumna1	Kolumna 2	Kolumna3
Axis	Min	Max
X	3485250.00	3574500.00
Y	5862250.00	5930000.00
Elevation depth [m]	-3354.64	-289.81
Lat	~52°52'N	~53°29'N
Long	~14°46'E	~16°07'E
Komórki grida 3D (nI x nJ x nGridLayers)	357 x 271 x 386	
Całkowita liczba komórek grida 3D	37 344 342,00	
Liczba warstw geologicznych	386,00	
Średnia Xinc:	250.00000000	
Średnia Yinc:	250.00000000	
Średnia Zinc	5.56371325	
Liczba zdefiniowanych węzłów 2D	91 580,00	

## Model parametryczny

## Model litologiczny

### Dane wejściowe

Przedstawiony model litologiczny utworów mezozoiku w rejonie Choszczno – Suliszewo opracowano na podstawie profili litologicznych dla 5 wierceń zlokalizowanych na tym obszarze. **Interpretacje litologiczne** zostały wykonane przez Szewczyka (Wójcicki et al., 2010) w podobnym interwale głębokościowym. W procesie przygotowania danych autorzy zagregowali wyróżnione przez Szewczyka rozbudowane podziały litologiczne do 3 podstawowych wydzielen, na które składają się piaskowce, mułowce oraz iłowce. Podobnie jak w przypadku krzywych geofizyki otworowej interpretacja obejmowała jurę dolną. (**Tab. 1.1.17\_46**). Interpretacje te zostały przekształcone w dyskretne krzywe geofizyczne (kody 0, 1, i 2).

**Tab. 1.1.17\_46** Zestawienie otworów z dostępnymi krzywymi: litologiczną, Kperm, PHIE i VCL

Lp.	Nazwa otworu
1	SULISZEWO-1
2	RADĘCIN-1
3	CHOSZCZNO IG-1
4	MĄKOWARY- 1
5	CHOCIWEL-2

### Wyniki modelowań

Przestrzenne modelowanie zmienności litofacjalnej wykonano w programie Petrel, stosując deterministyczną technikę estymacji *Indicator Kriging*. Zastosowana w tej wersji modelu agregacja wydzielen stratygraficznych modelu pozwoliła uzyskać bardzo stabilną zmienność litologiczną w wydzielonych kompleksach, pozwalającą na rezygnację z modelowania czasochłonnymi technikami stochastycznymi.

Na podstawie przekodowanych danych opracowano litologiczne modele otworowe (procedura Petrela *Scale up*) z wykorzystaniem statystycznego algorytmu **Najczęstszy przypadek (*most of*)** używanego dla danych typu dyskretnego. Dokładność dopasowania litologii w krzywych i modelu jest w tym przypadku uzależniona od gęstości pionowego podziału sekwencji stratygraficznych (*zones*) na warstwy (*layers*). W przedstawianym modelu zastosowano stosunkowo gęste warstwowanie (5m miąższość warstw w kompleksach dolnojurajskich). Pozwoliło to uzyskać zadowalającą zgodność pomiędzy danymi wejściowymi (krzywe) a modelem otworowym.

**Tab. 1.1.17\_47** Statystyczne wyniki modelowania litologicznego dla kompleksów środkowo jurajskich

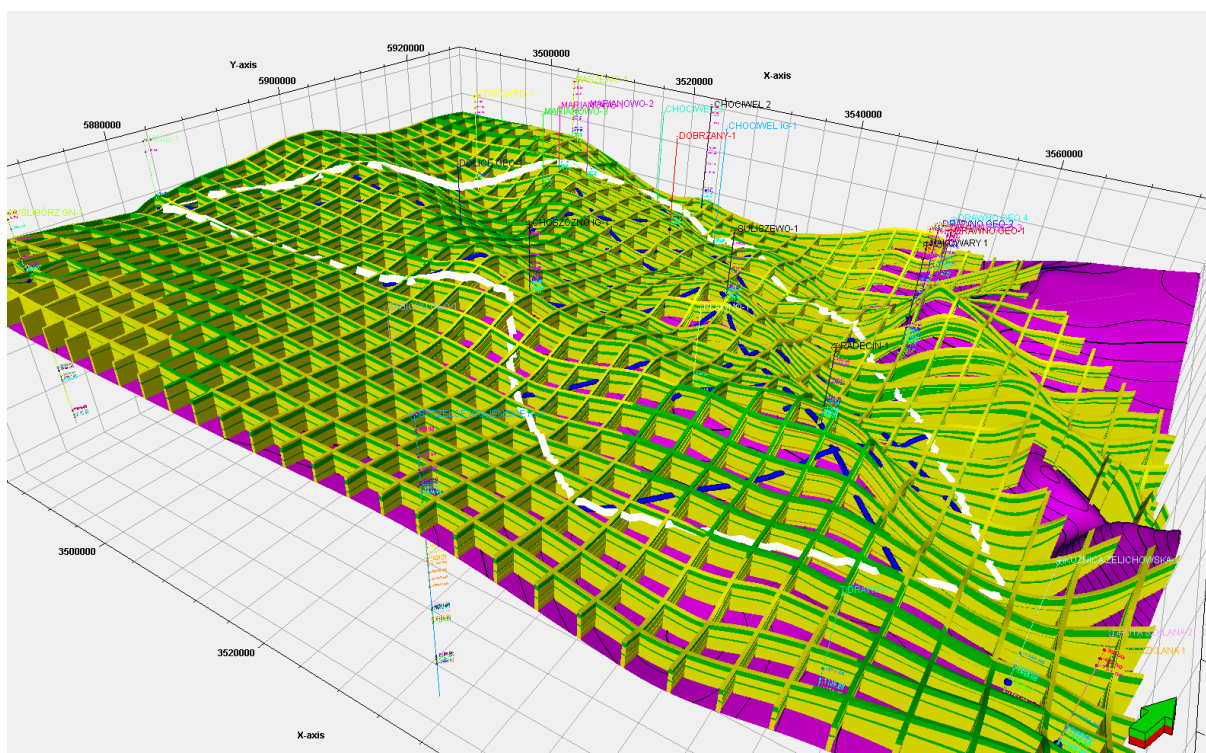
<b>Toark Górny</b>			
Name	%	N	Intervals
ILC	0.28	952	694
MLC	0.00	3	3
PSC	99.72	335324	72447
<b>Toark Dolny</b>			
ILC	100.00	1075221	87230
MLC	0.00	2	2
PSC	0.00	4	4
<b>Pliensbach górny</b>			
ILC	0.00	1	1
MLC	0.25	4559	1131
PSC	99.75	1838368	89555
<b>Pliensbach dolny</b>			
ILC	99.25	624203	88698
MLC	0.62	3907	1285
PSC	0.13	808	414
<b>Górny synemur</b>			
ILC	1.29	18511	3085
MLC	0.50	7230	1716
PSC	98.20	1406725	90113
<b>Dolny synemur -hetang</b>			
ILC	1.62	45579	10093
MLC	0.45	12713	4514
PSC	97.93	2755507	100807



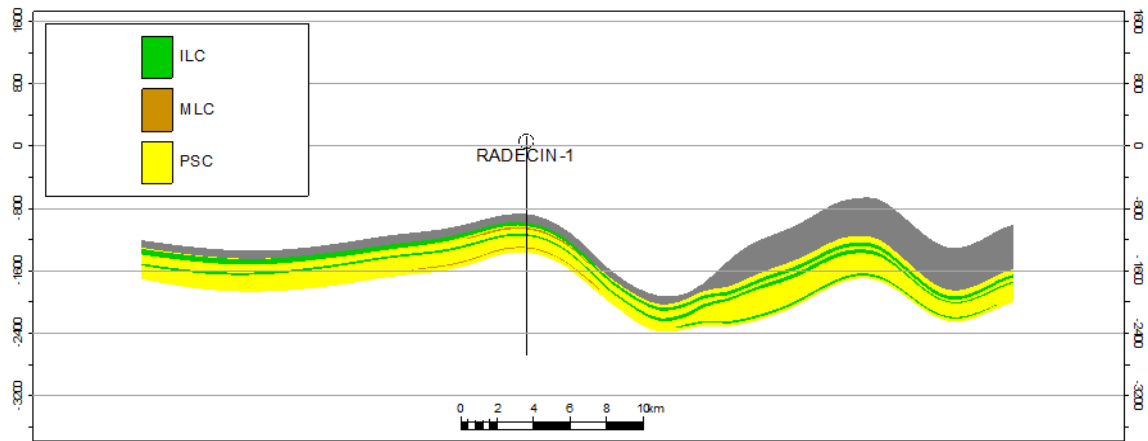
Wyniki modelowania litologicznego przedstawia **Fig. 1.1.17\_146**. Szczegółową dystrybucję litologii można prześledzić wzdłuż przekrojów poprzecznych o kierunku SW-NE (**Fig. 1.1.17\_147** i **Fig. 1.1.17\_148**).

Statystyczne podsumowanie modelu litologicznego przedstawia **Tab. 1.1.17\_47**, pokazująca, że podstawowymi poziomami uszczelniającymi są utwory toarku dolnego i pliensbachu dolnego; w modelu zdominowane przez iłowce i /lub mułowce. Bardzo wyraźna dominacja piaskowców zaznacza się w pozostałych wyróżnionych kompleksach

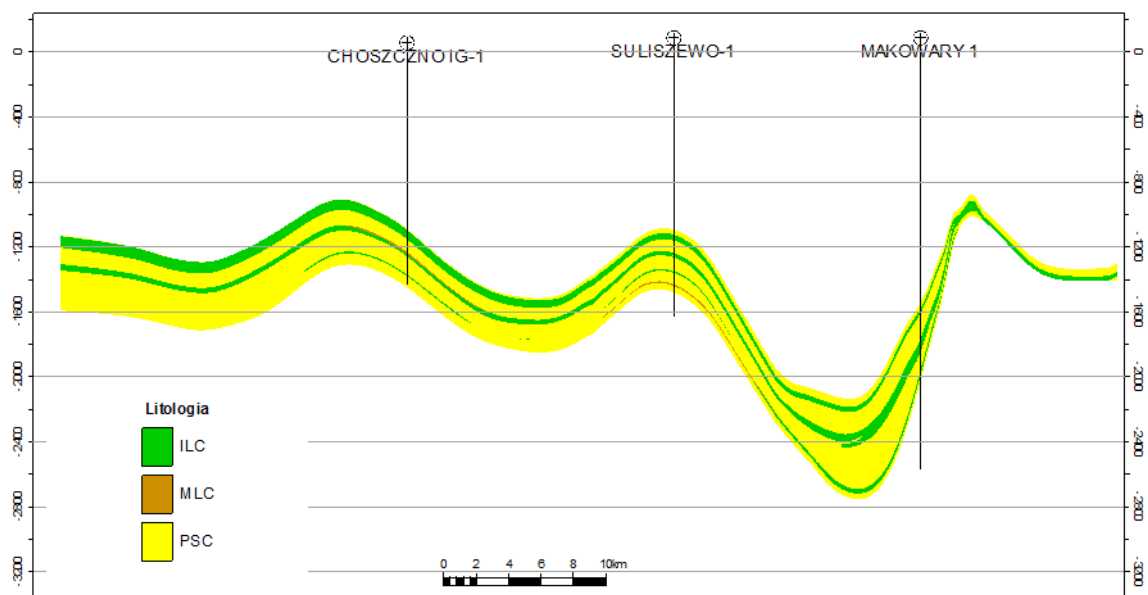
Statystycznie obserwowana homogeniczność modelu litologicznego jest nieco zawyżona, gdyż pomija on wkładki podrzędnych litologii o małych miąższościach.



**Fig. 1.1.17\_146** Model litologiczny utworów jurajskich – diagram plotowy w rejonie Choszczno – Suliszewo



**Fig. 1.1.17\_147** Model litologiczny utworów jurajskich w rejonie Choszczno – Suliszewo wzdłuż przekroju Pławno – Radęcin



**Fig. 1.1.17\_148** Model litologiczny utworów jurajskich wzdłuż przekroju poprzecznego przez antykliny Choszczna i Suliszewa

## Modele parametrów petrofizycznych

### Dane wejściowe wykorzystane do opracowania modelu parametrycznego

Krzywe geofizyki otworowej (Kperm, PHIE, VCL) znajdują się jedynie w 5 otworach obszaru badań (Tab. 1.1.17\_46). Ponadto w danych geofizyki otworowej znalazły się krzywe GR - 4 otwory, NPHI - 3 otwory, Rt - 4 otwory, CALX – 1 otwór, CALI – 3 otwory, LL 3 – 1 otwór, SP – 1 otwór. Krzywe geofizyczne obejmują głównie profil dolnej jury, tylko w odwiercie Mąkowary -1 pokrywają częściowo niższą część profilu jury środkowej.

### Model zailenia

Model zailenia powstał jako pierwszy ciągły model parametryczny. Obliczono go z wykorzystaniem deterministycznej techniki *Simple Kriging*, oddzielnie dla poszczególnych sekwencji (zones). Modelownie w każdym kompleksie było wykonane dla poszczególnych wyróżnionych 3 litologii. Proces estymacji wykorzystywał indywidualne rozkłady prawdopodobieństwa oraz wariogramy.

Syntetyczne wyniki modelowania zailenia utworów jurajskich w rejonie Choszczno - Suliszewo przedstawia w formie diagramu płotowego (Fig. 1.1.17\_149). Bardziej szczegółowy rozkład zailenia, można obserwować na przekrojach (Fig. 1.1.17\_150- Fig. 1.1.17\_151).

Opracowany model zailenia wiernie odzwierciedla uzyskane rozkłady litologiczne.

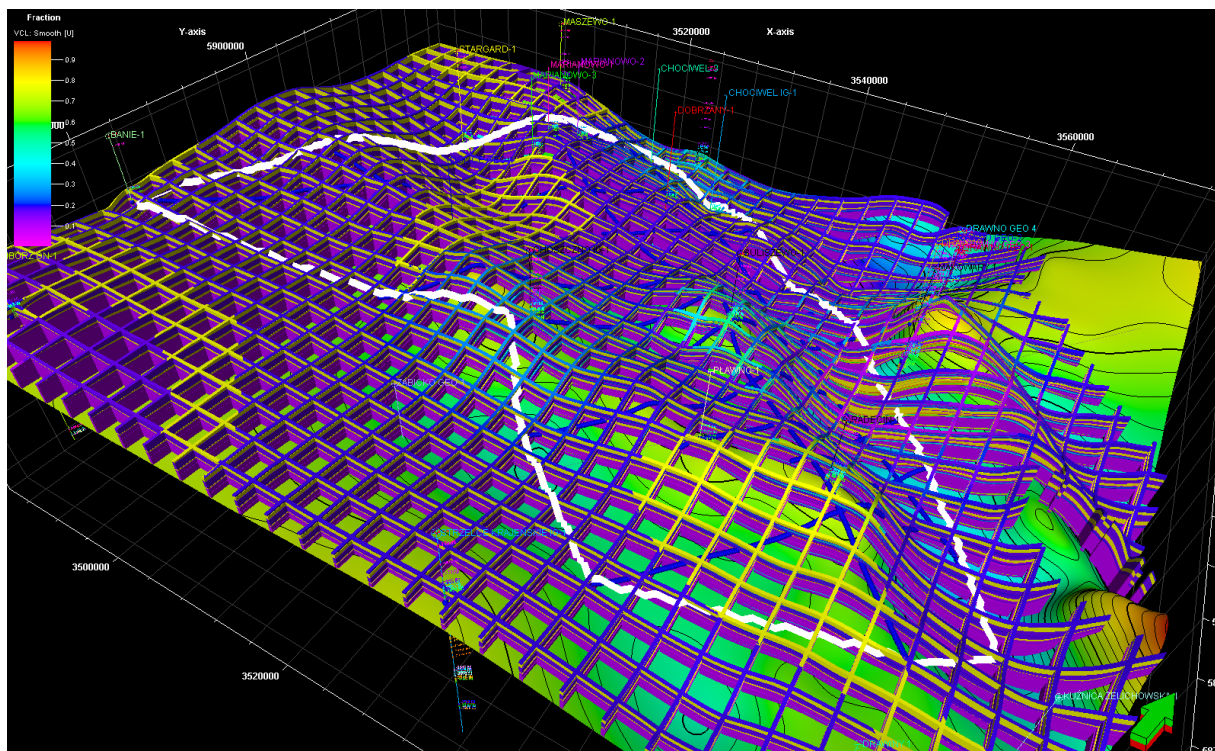
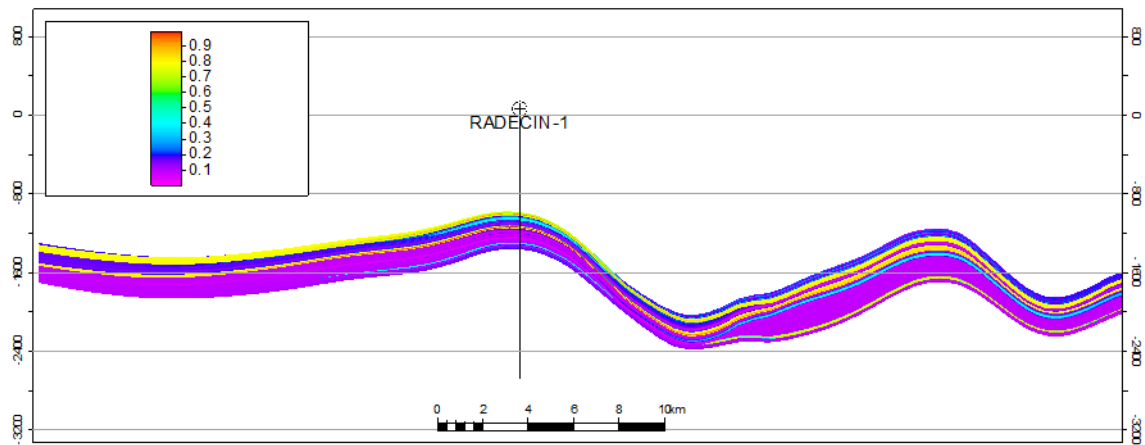
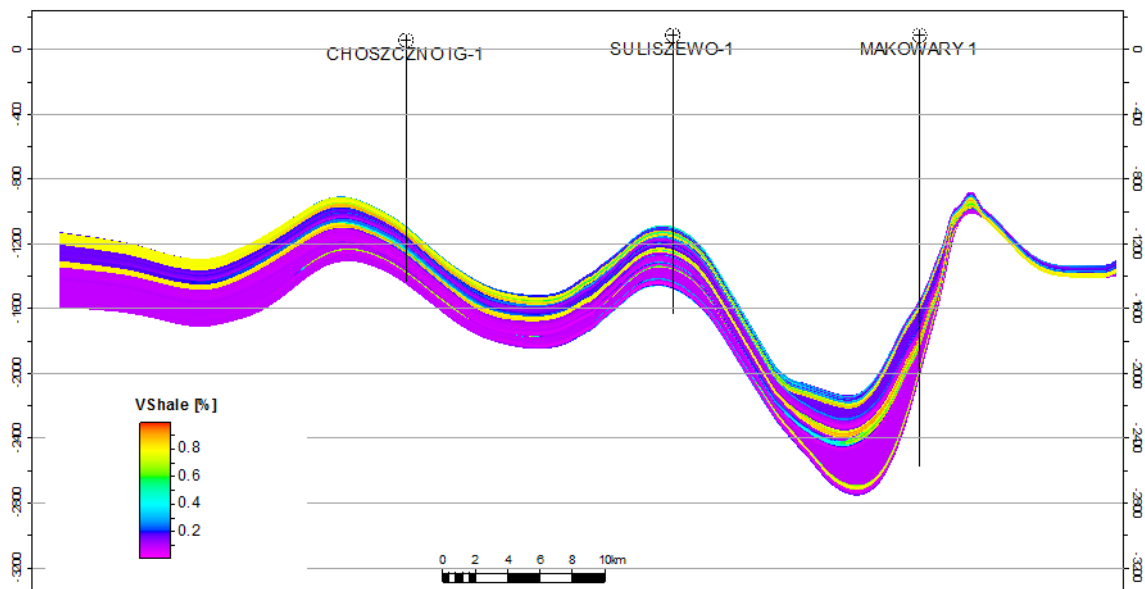


Fig. 1.1.17\_149 Model zailenia utworów jurajskich – diagram płotowy w rejonie Choszczno – Suliszewo



**Fig. 1.1.17\_150** Model zailenia utworów jurajskich w rejonie Choszczno – Suliszewo wzdłuż przekroju Pławno – Radęcín



**Fig. 1.1.17\_151** Model zailenia utworów jurajskich wzdłuż przekroju poprzecznego przez antykliny Choszczna i Suliszewa

**Tab. 1.1.17\_48** Statystyczne podsumowanie wyników modelowania zailenia

Kompleks	Min	Max	Delta	N	Mean	Std	Var
Toark Górny	0.0444	0.7244	0.6800	336279.0000	0.2067	0.0620	0.0038
Toark Dolny	0.2688	0.9535	0.6847	1075227.0000	0.7809	0.0325	0.0011
Pliensbach górny	0.0227	0.6664	0.6436	1842928.0000	0.1665	0.0311	0.0010
Pliensbach dolny	0.1173	0.9893	0.8719	628918.0000	0.8058	0.0554	0.0031
Górny Synemur	0.0040	0.8997	0.8957	1432466.0000	0.1228	0.0996	0.0099
Dolny synemur - hetang	0.0139	0.8322	0.8183	2813799.0000	0.1050	0.0966	0.0093

Statystyczne wyniki modelowania potwierdzają dobrą jakość uszczelnień toarku dolnego i pliensbachu dolnego wykazujących średnie zailenie odpowiednio 78% i 80.6%. Przyjmując zailenie jako miernik jakości skał zbiornikowych można przyjąć, że wszystkie zdominowane przez piaskowce kompleksy w badanej strefie są potencjalnie bardzo dobrymi zbiornikami gdyż ich średnie zailenie nie osiąga 21% (**Tab. 1.1.17\_48**).

### Model porowatości

Model porowatości utworów jurajskich w rejonie Choszczno - Suliszewo powstał jako drugi model rozkładu parametrów zbiornikowych. Obliczono go z wykorzystaniem deterministycznej techniki *Simple Kriging*, oddzielnie dla poszczególnych sekwencji (*zones*). Modelownie w każdym kompleksie było wykonane dla poszczególnych wyróżnionych 3 litologii. Proces estymacji wykorzystywał indywidualne rozkłady prawdopodobieństwa oraz wariogramy.

Syntetyczne wyniki modelowania zailenia utworów jurajskich w rejonie Choszczno - Suliszewo przedstawia w formie diagramu płotowego **Fig. 1.1.17\_152**. Bardziej szczegółowy rozkład zailenia można obserwować na przekrojach (**Fig. 1.1.17\_153** i **Fig. 1.1.17\_154**).



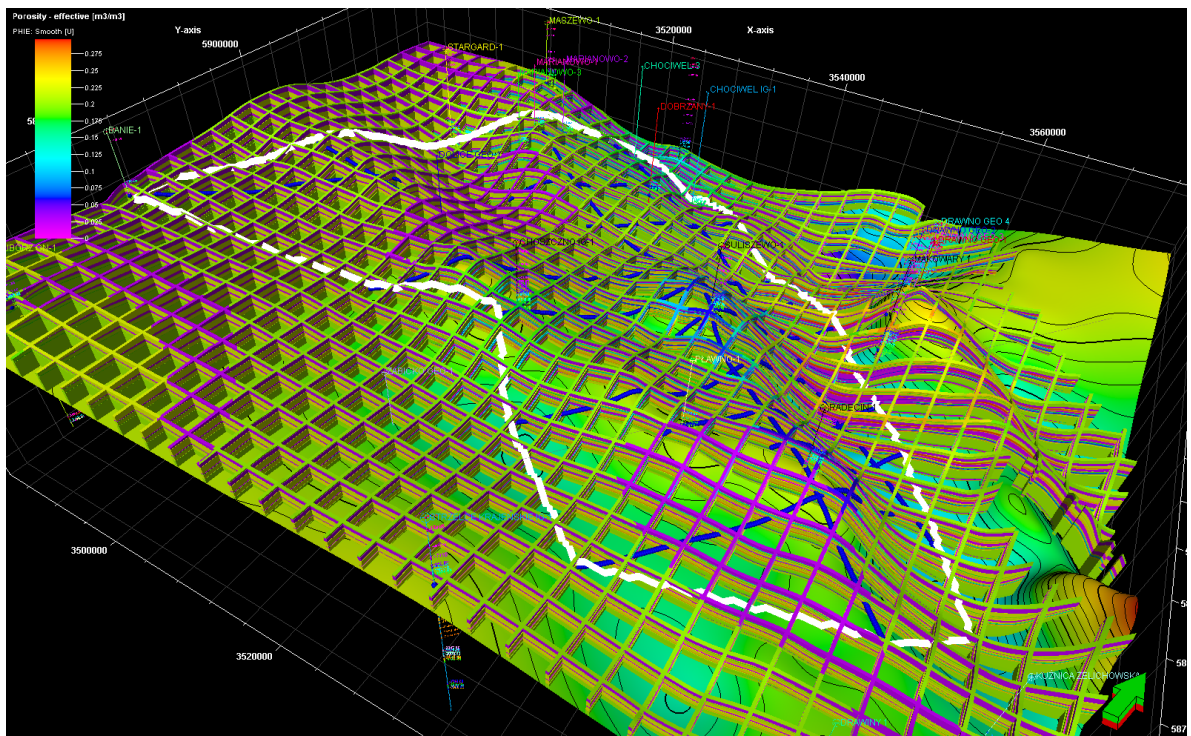


Fig. 1.1.17\_152 Model porowatości utworów jurajskich – diagram płotowy w rejonie Choszczno – Suliszewo

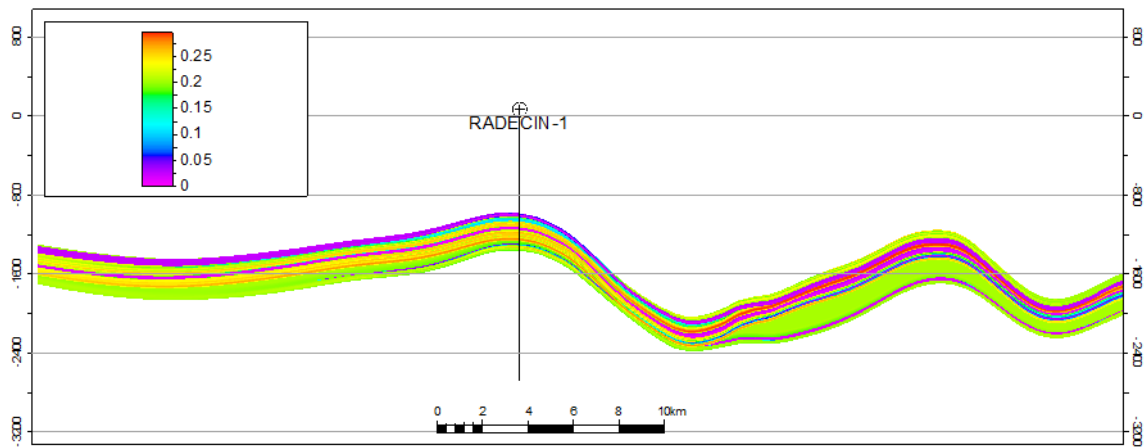
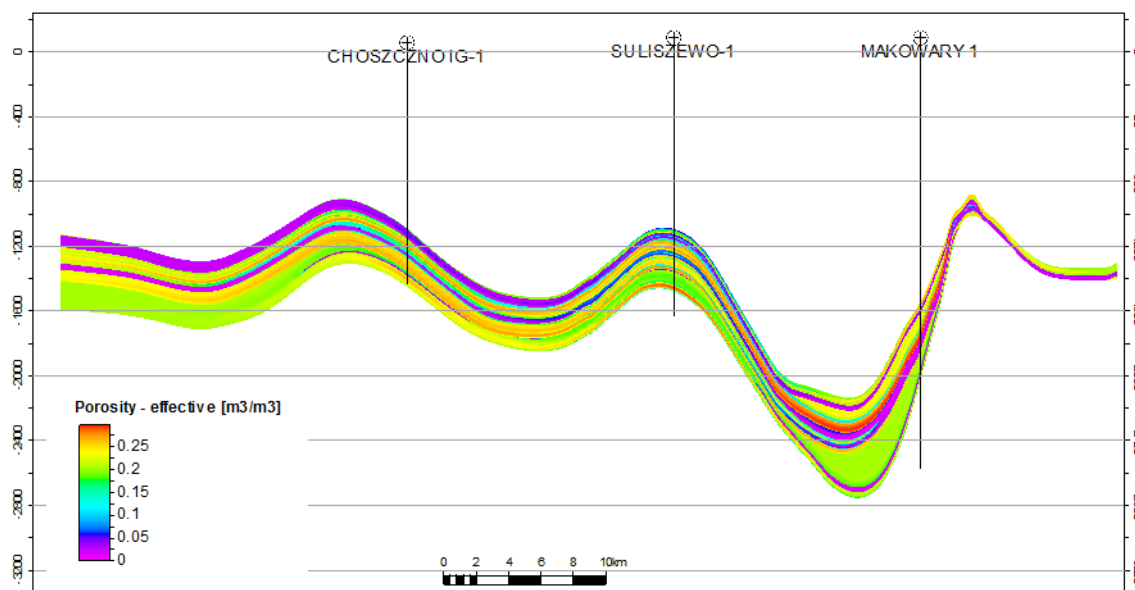


Fig. 1.1.17\_153 Model porowatości utworów jurajskich w rejonie Choszczno – Suliszewo wzdłuż przekroju Pławno – Radecin



**Fig. 1.1.17\_154** Model porowatości utworów jurajskich wzdłuż przekroju poprzecznego przez antykliny Choszczna i Suliszewa

**Tab. 1.1.17\_49** Statystyczne podsumowanie wyników modelowania porowatości

Kompleks	Min	Max	Delta	N	Mean	Std	Var
Toark Górny	0.0381	0.2772	0.2390	336279.0000	0.2004	0.0250	0.0006
Toark Dolny	0.0000	0.1766	0.1766	1075227.0000	0.0242	0.0057	0.0000
Pliensbach górny	0.0995	0.2968	0.1972	1842928.0000	0.2228	0.0308	0.0010
Pliensbach dolny	0.0000	0.2908	0.2907	628918.0000	0.0185	0.0177	0.0003
Górny Synemur	0.0047	0.2858	0.2812	1432466.0000	0.1990	0.0651	0.0042
Dolny synemur - hetang	0.0144	0.2916	0.2772	2813799.0000	0.1982	0.0322	0.0010

Zarówno rysunki, jak i podsumowanie statystyczne (**Tab. 1.1.17\_49**) potwierdzają spostrzeżenia dostarczane przez modele zailenia i litologiczne. Pokazują one, że pod względem ilościowym oba poziomy uszczelniające cechuje generalnie dobra jakość (średnia porowatość na poziomie 2%). Także każdy z czterech kompleksów zbiornikowych cechuje się wysoką jakością (średnia porowatość ok. 20%).

## Model przepuszczalności

Model przepuszczalności policzono stosując estymację z wykorzystaniem algorytmu *Simple Kriging*. Procedura obliczeniowa była wykonywana oddzielnie dla wyróżnionych kompleksów (*zones*) oraz dla modelowanych głównych litologii – piaskowców, mułowców i iłowców. W przypadku znaczącej korelacji dla niektórych kompleksów stosowano co-kriging z parametrem zailenia (porowatość koreluje się bardzo słabo). Proces estymacji wykorzystywał indywidualne rozkłady prawdopodobieństwa oraz wariogramy.

Syntetyczne wyniki modelowania zailenia utworów jurajskich w rejonie Choszczno - Suliszewo przedstawia w formie diagramu płotowego (**Fig. 1.1.17\_155**). Bardziej szczegółowy rozkład zailenia można obserwować na przekrojach (**Fig. 1.1.17\_156 i Fig. 1.1.17\_157**).

Finalny model przepuszczalności dla całego rejonu Choszczno – Suliszewo wskazuje (**Tab. 1.1.17\_50**), że efektywnymi uszczelnieniami w badanej strefie mogą być pliensbach dolny a zwłaszcza toark dolny, który wykazuje dość stabilne miąższości oraz jednorodność. Wszystkie pozostałe kompleksy wykazują bardzo dobrą przepuszczalność osiągając maksimum w utworach synemuru górnego. Trudno ocenić przydatność toarku górnego dla celów CCS, ze względu na brak wiarygodnych danych w jego nadkładzie.

**Tab. 1.1.17\_50** Statystyczne podsumowanie wyników modelowania przepuszczalności

Kompleks	Min	Max	Delta	N	Mean	Std	Var
Toark Górny	0	3508,2146	3508,2146	336279	671,3501	455,3836	207374,2218
Toark Dolny	0	283,3691	283,3691	1075227	0,0069	0,3168	0,1003
Pliensbach górny	0	5139,9009	5139,9009	1842928	530,1654	736,3043	542144,01
Pliensbach dolny	0	4507,8154	4507,8154	628918	1,4721	19,3675	375,0999
Górny Synemur	0	4132,6362	4132,6362	1432466	1073,7493	313,6534	98378,4766
Dolny synemur -hetang	0	4661,231	4661,231	2813799	760,4206	387,7883	150379,7556



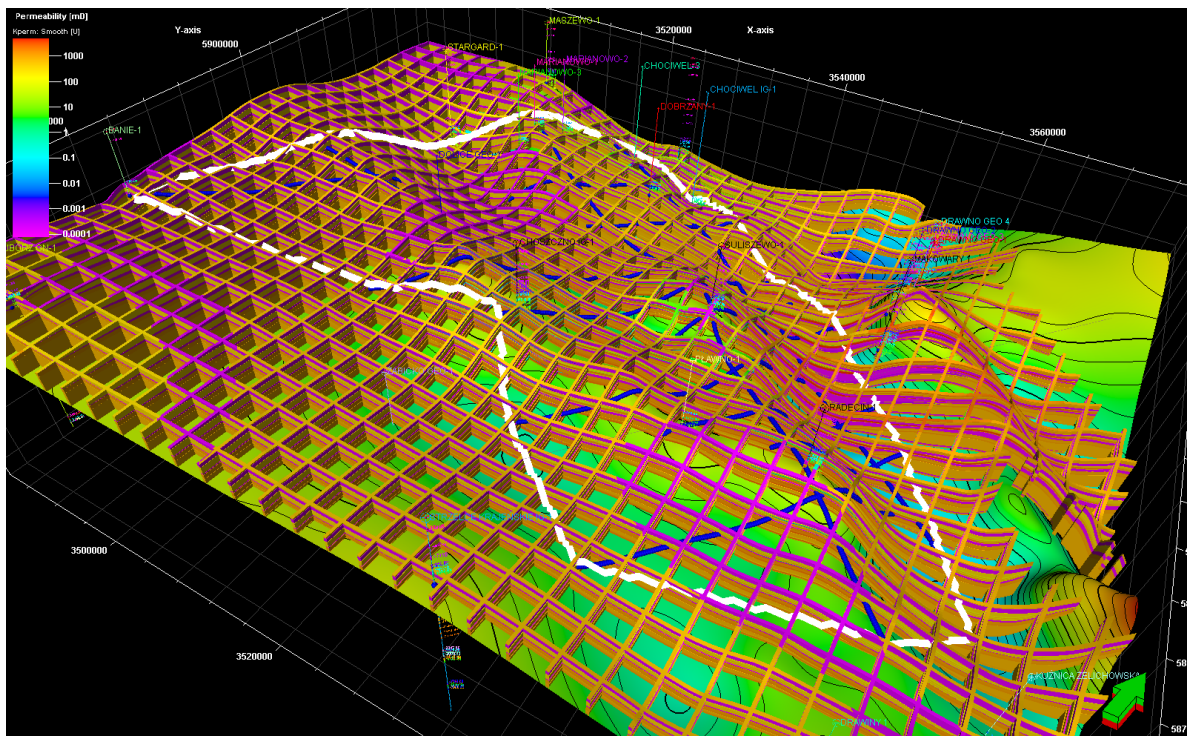


Fig. 1.1.17\_155 Model przepuszczalności utworów jurajskich – diagram płotowy w rejonie Choszczno – Suliszewo

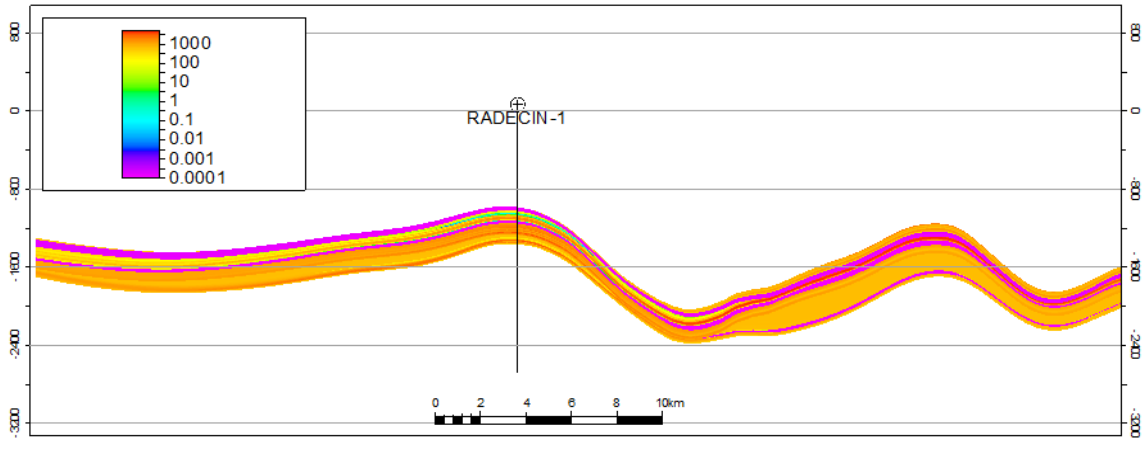
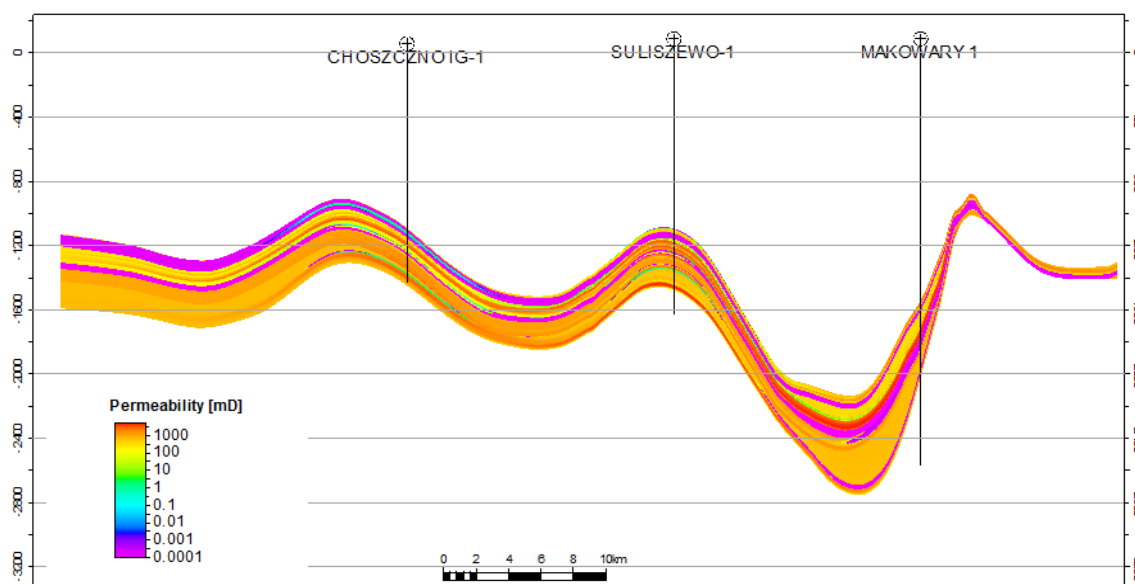


Fig. 1.1.17\_156 Model przepuszczalności utworów jurajskich w rejonie Choszczno – Suliszewo wzdłuż przekroju Pławno – Radecin



**Fig. 1.1.17\_157** Model przepuszczalności utworów jurajskich wzdłuż przekroju poprzecznego przez antykliny Choszczna i Suliszewa

Wyniki modelowania przepuszczalności potwierdzają wcześniej i opisane spostrzeżenia o dobrej jakości uszczelnień i doskonałych własnościach filtracyjnych (toarku górnego, pliensbachu górnego, synemuru górnego oraz synemuru dolnego – hetangu). Uzyskane wyniki zadają się wskazywać, że zarówno zbiorniki jak i uszczelnienia wykazują znaczną ciągłość lateralną. Także miąższość uszczelnień powinna być wystarczająca (zdaje się przekraczać 10 m na całym obszarze badań) choć pewność odnośnie tego przypuszczenia pozwolą uzyskać dopiero wyniki modelowania dynamicznego.

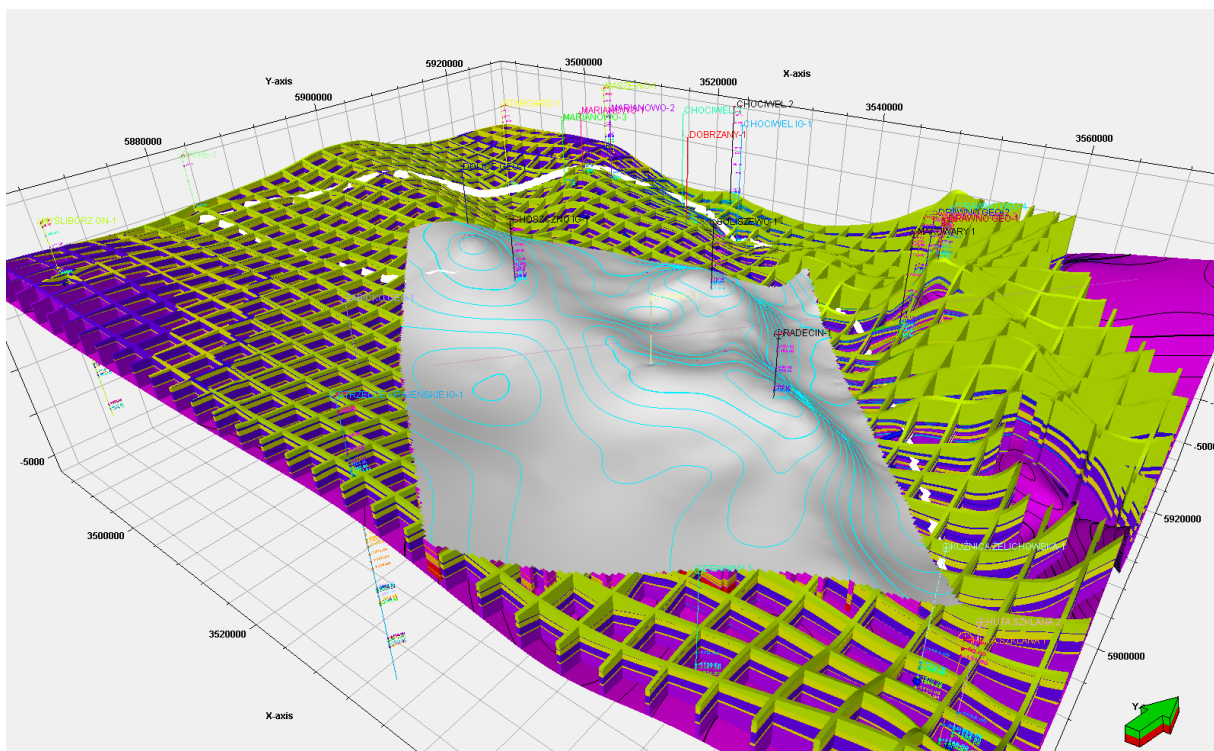
## Model przekazany do obliczania ryzyka i czułości struktury

Wykonany regionalny model statyczny utworów jurajskich w rejonie Choszczno – Suliszewo bazował na danych z 28 otworów wiertniczych spośród których jedynie 5 posiadało interpretację litologiczną i petrofizyczną; obejmującą głównie utwory dolnej jury.

W strefie regionalnego modelu Choszczno – Suliszewo perspektywiczny dla potencjalnego układu jest ciąg antyklin nadsolnych które roboczo, nawiązując do odwiertów położonych w rejonie ich kulminacji, można określić jako antykliny Choszczna, Suliszewa i Radęcina - Pławna. W przypadku przyjęcia głębokiego konturu wodnego, struktury te mogą tworzyć połączony system magazynowy o ogromnej objętości.

Do dalszego testowania zarządzania ryzykiem magazynowania oraz symulacji dynamicznych przekazano wycinek szczegółowego modelu 3D odwzorowujący budowę bezpośredniego otoczenia w/w kulminacji strukturalnych (Fig. 1.1.17\_158).

Szczegółowo model ten i jego stochastyczne mutacje omówiono w rozdziale 2, gdzie policzono jego pojemność i określono czynniki wpływające na jej zmiany.



**Fig. 1.1.17\_158** Wycinek modelu strukturalno- parametrycznego, wykorzystywanego do symulacji dynamicznych oraz zarządzania ryzykiem składowania CO<sub>2</sub> w dalszych etapach realizacji tematu

Model składa się z 7 kompleksów stratygraficznych i ma powierzchnię ok 2940 km<sup>2</sup>. Składa się z 25447 węzłów 2D oraz 13 181 760,00 węzłów 3D.

**Tab. 1.1.17\_51** Charakterystyka geometrii wycinka modelu 3D w rejonie potencjalnych struktur magazynowych ( antyklin Choszczna, Suliszewa, Radęcina- Pławna)

Kolumna1	Kolumna 2	Kolumna3
Axis	Min	Max
X	3508750.00	3568750.00
Y	5862500.00	5912250.00
Elevation depth [m]	-2961.87	-741.03
Lat	~52°53'N	~53°20'N
Long	~15°07'E	~16°01'E
Komórki grida 3D (nI x nJ x nGridLayers)	240 x 199 x 276	
Całkowita liczba komórek grida 3D	13 181 760,00	
Liczba warstw geologicznych	276,00	
Średnia Xinc:	250.00000000	
Średnia Yinc:	250.00000000	
Średnia Zinc	5.32896412	
Liczba zdefiniowanych węzłów 2D	25 447,00	

## Ryzyko w przemyśle naftowym

Niepewności oraz związane z nimi ryzyko ekonomiczne są obecne przy wszystkich procesach przemysłu naftowego. Będąc w stanie zrozumieć i oceniać ryzyko i elementy niepewności, oraz wiedząc jak nimi zarządzać, efektywnie przyczyniamy się do dobrze uzasadnionych decyzji ekonomicznych, chroniąc w ten sposób wartości projektów i aktywów oraz maksymalizując wyniki firmy. Różne kombinacje ryzyka i niepewności stają się ważne w poszczególnych etapach "życia" złoża ropy lub gazu ziemnego (Caers 2005). Począwszy od poszukiwania (główne zagrożenie: brak bilansowych zasobów węglowodorów) poprzez ocenę i rozwój (główne zagrożenia: skuteczna realizacja projektu) skończywszy na operacjach "upstreamu" (główne zagrożenia: dostawy zakontraktowanych węglowodorów). Odpowiada to zmianie znaczenia elementów niepewności w czasie, które na początku związane są głównie z modelowaniami statycznymi lecz w późniejszym okresie przestają być tak istotne i na pierwszy plan wysuwają się elementy związane z modelowaniami dynamicznymi. Ponadto niektóre elementy niepewności mogą być bardzo ważne z naukowego punktu widzenia, natomiast nie stwarzają ryzyka ekonomicznego, inne z kolei w sposób krytyczny mogą wpływać na opłacalność inwestycji jaką jest wydobywanie węglowodorów.

### Terminologia

Terminy „ryzyko” oraz „niepewność” są zwykle używane w sensie abstrakcyjnym. Niejasność wynikająca z abstrakcyjnej natury zagadnienia powoduje problemy w szacowaniu ryzyka. O wiele bardziej przydatne jest stosowanie terminologii, gdzie „ryzyko” i „niepewność” postrzegane są jako rzeczowniki. W takim przypadku niepewnościami są różne czynniki indywidualne i ich wyniki, które z powodu niedoskonałej wiedzy, mogą mieć szeroki zakres możliwych wartości. Smalley et al. (2008) czy Ampilov (2010) proponują definiować ryzyko ogólnie jako prawdopodobieństwo wystąpienia pewnych niepożądanych zdarzeń.

Ryzyko jest miarą niepewności – więcej niepewności w szacowaniu parametrów oznacza większe ryzyko i odwrotnie. Ryzyko geologiczne jest większości przypadków odwrotnie proporcjonalne do stopnia rozpoznania struktury (Ampilov 2010). Mogłoby się wydawać że jest tak zawsze, iż z biegiem czasu zwiększenie ilości danych geologicznych, geofizycznych oraz produkcyjnych sprawia, że niepewność zmniejsza się. Nie jest to jednak regułą. W przypadku gdy zasób danych zostaje powiększony o elementy komplikujące sytuację geologiczną badanego obszaru (np. wykartowane nowe uskoki) ryzyko zwiększa się mimo większej bazy danych (Caers 2005). Należy również zaznaczyć, że wg wielu autorów (Bu & Damsleth 1996; Caldwell & Heater 2001; Papiernik & Michna 2010; Siemek & Nagy 2004), 75% niepewności zasobów w złożu związana jest budową strukturalną. Dlatego też poprawne odwzorowanie budowy struktury geologicznej jest kluczowym elementem w szacowaniu jej pojemności. Nie należy oczywiście zapominać o innych elementach nie wpływających na budowę strukturalną tj. parametry petrofizyczne.

Opisane tutaj elementy związane są z poszukiwaniami węglowodorów oraz szacowaniem ich potencjalnych zasobów. Oddzielnym zagadnieniem które również należy rozpatrywać to ryzyko składowania i magazynowania w podziemnych strukturach geologicznych zarówno gazu ziemnego jak i substancji szkodliwych takich jak CO<sub>2</sub>. Do tego celu wykorzystywane są struktury zawadnione i ze względu na wątpliwości co do jej szczelności (szczelność takiej struktury nie była weryfikowana w sposób naturalny jak

w przypadku złóż ropy naftowej czy gazu ziemnego) należy przeprowadzić jakościową analizę szczelności takiej struktury.

Klasycznym przykładem elementów niepewności wpływających na pojemność struktury są:

- porowatość,
- nasycenie ropą naftową/gazem ziemnym przestrzeni porowej,
- powierzchnia złoża,
- miąższość złoża,
- proporcja skał zbiornikowych do uszczelniających.

Natomiast źródłem niepewności mogą być:

- model geologiczny,
- próbkowanie,
- błędy analityczne,
- rodzaje wyników (bezpośrednie, pośrednie),
- interpretacja geofizyki,
- przestrzenna zmienność.

Gdy zostaną określone elementy niepewności należy przejść do określenia wpływu jaki wywierają poszczególne elementy niepewności na całkowitą. Aby móc szacować ryzyko należy w pierwszej kolejności poznać mechanizmy które powodują zmianę w jego występowaniu.

## **Podstawy szacowania ryzyka**

Szacowanie ryzyka składowania dwutlenku węgla można oprzeć na wypracowanej metodyce szacowania wielkości zasobów w branży naftowo-gazowniczej. Jednolita międzynarodowa klasyfikacja zasobów złóż ropy naftowej i gazu ziemnego określona mianem PRMS (Petroleum Resources Management System) została opracowana dzięki współpracy największych na świecie organizacji zrzeszających ludzi związanych z branżą naftową tj. (SPE - Society of Petroleum Engineers), WPC (World Petroleum Congress), AAPG (American Association of Petroleum Engineers) w 2007 roku (Demirmen 2007; Nieć 2009). Zakres niepewności zasobów odzyskanych i/lub potencjalnie możliwych do odzyskania można przedstawić zarówno w postaci scenariuszy deterministycznych jak również poprzez rozkład prawdopodobieństwa. Do podstawowych technik obiektywizacji uzyskiwanych wyników w aspekcie szacowania zasobów należy współcześnie tzw. metoda probabilistyczna (MP) czy inaczej techniki szacowania ryzyka (*risk assessment*) (Ross 2001; Heiberg & Swinkles 2001; Swinkles 2001). Gdy zakres niepewności reprezentowany jest przez rozkład prawdopodobieństwa, wartości szacowane jako wariant pesymistyczny (low estimate), realistyczny (best estimate) i optymistyczny (high estimate) oznaczają że:

- Powinno być co najmniej 90% prawdopodobieństwo (P90), że ilości faktycznie pozyskanych zasobów będzie równa lub wyższa niż mówi o tym szacunek pesymistyczny;
- Powinno być co najmniej 50% prawdopodobieństwo (P50), że ilości faktycznie pozyskanych zasobów będzie równa lub wyższa niż mówi o tym szacunek realistyczny;

- Powinno być co najmniej 10% prawdopodobieństwo (P10), że ilości faktycznie pozyskanych zasobów będzie równa lub wyższa niż mówi o tym szacunek optymistyczny.

Definicje zasobów zostały wprowadzone w 2007 roku i brzmią następująco:

- Potwierdzone zasoby (Proved) to ilości ropy naftowej, które poprzez analizę danych geologicznych i inżynierskich można oszacować z rozsądną pewnością jako komercyjnie zdadne do wydobycia od określonej daty do przodu, ze znanych złóż i w określonych warunkach gospodarczych z wykorzystaniem określonych metod operacyjnych i regulacji rządowych. Jeśli stosowane są metody deterministyczne, termin „wystarczająco pewne” ma wyrażać wysoki stopień pewności, że ilość zasobów zostanie wydobyta. Jeżeli stosuje się metody probabilistyczne, prawdopodobieństwo powinno wynosić co najmniej 90%, iż faktycznie zasoby wydobyte będą równe lub przekroczą oszacowaną ilość.
- Zasoby prawdopodobne (Probable) to takie dodatkowe zasoby, których analiza geologiczna i inżyniersko-złożowa wskazuje na mniejsze prawdopodobieństwo uzyskania niż zasobów potwierdzonych (Proved) ale większe do odzyskania niż zasobów możliwych (Possible). Jest również prawdopodobne, że faktyczne wydobycie będzie większe lub mniejsze niż suma szacowanych zasobów potwierdzonych (Proved) oraz prawdopodobnych (Possible) (2P). W tym kontekście, gdy stosuje się metody probabilistyczne, prawdopodobieństwo powinno wynosić co najmniej 50%, że rzeczywiste ilości zasobów będą równe lub przekroczą szacunki 2P.
- Zasoby możliwe (Possible) to takie dodatkowe zasoby, których analiza geologiczna i inżyniersko-złożowa sugerujące mniejsze prawdopodobieństwo do uzyskania niż zasobów prawdopodobnych (Probable). Całkowita ilość ostatecznie uzyskanych zasobów charakteryzuje się niskim prawdopodobieństwem. Przekracza ona sumę zasobów potwierdzonych (Proved), prawdopodobnych (Probable) oraz możliwych (Possible) (3P), co jest równoznaczne z wysokim scenariusza oszacowania. W tym kontekście, gdy stosuje się metody probabilistyczne, prawdopodobieństwo powinno wynosić co najmniej 10% iż rzeczywista ilość pozyskanych zasobów będzie równa lub przekroczy oszacowania 3P.

Graficznie klasyfikację zasobów można przedstawić w następujący sposób (Fig. 1.1.17\_159:

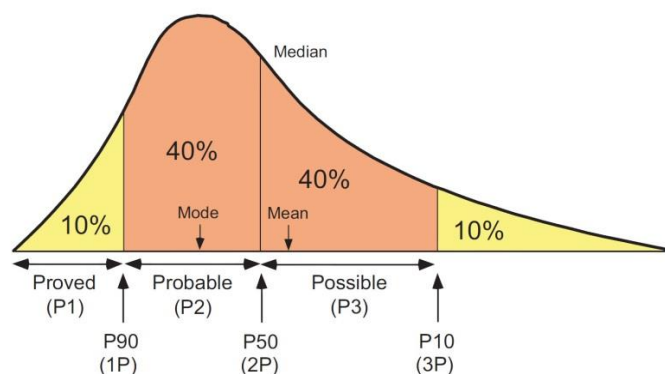


Fig. 1.1.17\_159 Określenie zasobów metodą probabilistyczną (Procenty oznaczają względne obszary pod krzywą prawdopodobieństwa)

## Klasyfikacja ryzyka wydobycia zasobów a magazynowanie CO<sub>2</sub>

Ponieważ podział ten bazuje na szacowaniu zasobów przemysłowych poprzez analogię możemy zastosować ją do szacowania potencjalnej pojemności magazynowej struktury zawodnionej w kontekście składowania dwutlenku węgla. Kierując się międzynarodowymi standardami szacowania zasobów i ewaluacji ryzyka można wyznaczyć podobne przedziały dla pojemności magazynowej struktur do składowania CO<sub>2</sub>. W takim przypadku w myśl podziału PRMS (Petroleum Resources Management System) pojemność potwierdzona (Proved) będzie określona jako P1, prawdopodobna (Probable) będzie określona jako P2 a możliwa (Possible) jako P3.

### Etapy analizy ryzyka

Pierwszym etapem analizy ryzyka jest stworzenie modelu bazowego zwanego „*Base Case*” lub też „*Best Guess*” oraz obliczenie na jego podstawie bazowego wyniku wolumetrycznego, który będzie stanowił punkt odniesienia do całej analizy. Model ten pokazuje najlepsze na stan obecny rozpoznanie struktury. Jest on wynikiem interpretacji wszystkich dostępnych informacji wejściowych. Zwykle jest on wykonywany metodami deterministycznymi (Petrel Course 2011).

Drugi krok w procedurze analizy ryzyka jest wybranie parametrów wejściowych, które są zarówno niepewne oraz wpływają na wyniki analizy. Gdy te parametry są określone, należy wskazać w jakim zakresie będą wahać się wartości elementów niepewności oraz jaki będą miały rozkład. Istotne jest aby wskazać odpowiedni przedział niepewności, natomiast ich rozkład jest sprawą drugoplanową.



## Analiza czułości parametrów geologicznych

Analizę czułości przeprowadza się w celu określenia wpływu poszczególnych elementów niepewności na wynik modelowania. Z tego względu każdy element niepewności należy traktować z osobna w trakcie tworzenia modelu tak, aby wykluczyć wpływ innych czynników które mogą wpływać na wyniki analizy. W takim wypadku należy stworzyć odpowiedni schemat działania w którym wartości parametru niepewności będą zmieniane a pozostałe elementy będą stałe, i będą one równe założeniom „Base case”. Wyniki takiej analizy przedstawia się zwykle na wykresach tornado (*Tornado-plots*), które w jasny sposób pokazują odchylenie wartości modelowań parametrów niepewności od modelu wyjściowego. Na wykresach tych można również w prosty sposób stwierdzić które elementy są najbardziej niepewne (zarówno na + jak i na -) po wielkości wychylenia słupka.

## Kompleksowa analiza niepewności

Po oszacowaniu wpływu poszczególnych parametrów na wyniki wolumetryczne można przejść do kolejnego etapu analizy ryzyka. Jest nim kompleksowa analiza niepewności z użyciem symulacji Monte Carlo. Pomimo iż istnieje wiele innych metod próbkowania (Kurowicka & Cooke 2006) metoda Monte Carlo jest najpowszechniej stosowana. Została ona opisana w następnym akapicie. W analizie tej wszystkie elementy podlegające niepewności równocześnie do siebie są losowane zgodnie z ich rozkładem. Schemat działania przedstawiony został poniżej (Fig. 1.1.17\_160)

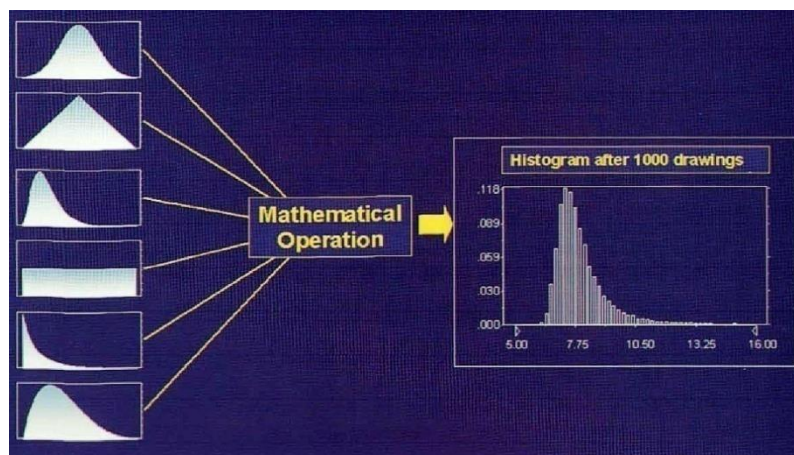


Fig. 1.1.17\_160 Schemat przedstawiający działanie symulacji metodą Monte Carlo (Dubrule 2003)

## Symulacje metodą Monte Carlo

Monte Carlo jest jedną z najczęściej używanych metod symulacyjnych. Nazwa metody związana jest ściśle z projektem Manhattan i badaniami nad materią rozszczepialną. Po raz pierwszy metodę zastosowali ją S. Ulam i J. von Neumann w roku 1947. Jest stosowana do modelowania matematycznych procesów zbyt złożonych (obliczania całek, łańcuchów procesów statystycznych), aby można było przewidzieć ich wyniki za

pomocą podejścia analitycznego. W procesie symulacji, kluczowe dane wejściowe (np. miąższość, porowatość, położenie kontaktu między mediami złożowymi itd.) są traktowane jak zmienne statystyczne, a proces oceny nie używa ich najbardziej prawdopodobnych lub spodziewanych wartości, lecz wartości próby która została określona z dystrybucji.

Do najważniejszych zalet tej metody należy zaliczyć:

- możliwość rozwiązania trudnych problemów;
- prosta forma zastąpienia rozwiązań analitycznych;
- rosnąca moc obliczeniowa komputerów;
- uwalniają użytkownika od skomplikowanej teorii i wzorów,
- pozwalając skupić się na istocie pytania, na które statystyka ma odpowiedzieć.

Ilość iteracji w procesie analizy niepewności nie jest z góry ustalona. Nie ma podanych jasnych zasad jak wiele symulacji należy zastosować. Z analitycznego punktu widzenia im więcej iteracji jest przeprowadzonych tym dokładniejszy wynik. Jednakże czasochłonność symulacji wymusza ograniczenie ilości obliczeń do rozsądnych wskazań. Praktyczną ilość obliczeń przedstawił Deutsch (2002).

### **Metoda losowania „Latin Hypercube”**

Metoda próbkowania Latin Hypercube jest metodą pozwalającą na zmniejszenie ilości iteracji w trakcie analizy ryzyka w stosunku do normalnego przypadkowego próbkowania jak ma to miejsce w metodzie Monte Carlo. Taki rezultat zostaje osiągnięty poprzez podzielenie rozkładu prawdopodobieństwa na obszary o równej gęstości prawdopodobieństwa. Algorytm dzieli zakresy wybranych zmiennych na N równie prawdopodobne kosze, gdzie N jest określoną liczbą próbek. Po uruchomieniu procesu losowania, losowo wybierana jest jedna próbka z każdego kosza w każdej z kolejnych pętli obliczeń. Poniższe figury ilustrują różnicę między klasycznym algorytmem Monte Carlo (**Fig. 1.1.17\_161**) a metodą Monte Carlo z zastosowaniem próbkowania Latin Hypercube (**Fig. 1.1.17\_162**).

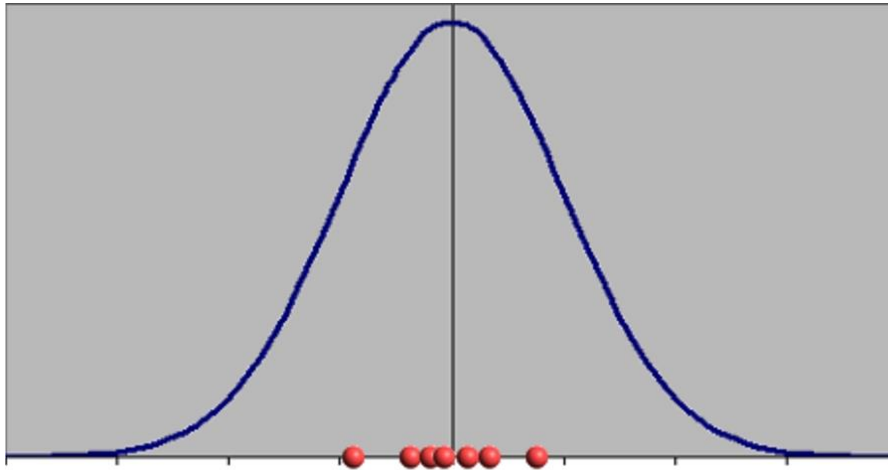


Fig. 1.1.17\_161 Schemat próbkowania z zastosowanie metody Monte Carlo bez użycia Latin Hypercube

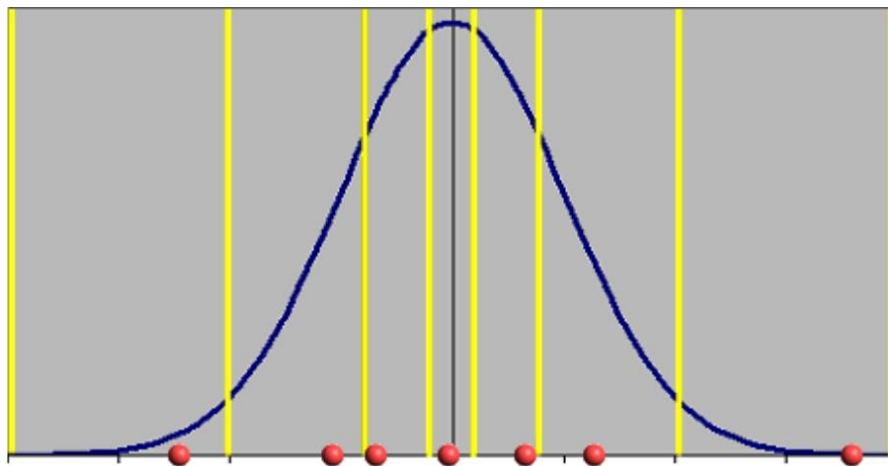


Fig. 1.1.17\_162 Schemat próbkowania z zastosowanie metody Monte Carlo i z użyciem Latin Hypercube

Należy zauważyć że granice „koszy” nie są rozłożone równomiernie wedle rozkładu normalnego ale reprezentują równe powierzchnie. W trakcie próbkowania losowana jest jedna wartość z każdego kosza zapewniając tym samym równomierne próbkowanie.

### Ryzyko związane z występowaniem nieciągłości

Analiza sejsmiki 2D w analizowanym rejonie nie wykazała występowania nieciągłości. W przypadku gdy takie nieciągłości występują należy uwzględnić je w analizie i przeprowadzić analizę szczelności uskoków a także opisać ich parametry przy użyciu technik i algorytmów szeroko opisanych w literaturze zagranicznej (Yielding et al. 1997; Gibson 1998; Antonellini & Aydin 1994; Ottesen Ellevset et al. 1998; Manzocchi et al.

1999; Sperrevik et al. 2002; Hull 1988; Knott et al. 199; Foxford et al. 1998; Walsh et al. 1998a). Ze względu na prostą budowę tektoniczną analiza szczelności w tym przypadku nie jest potrzebna.

### Ryzyko odwzorowania powierzchni strukturalnych

W pracy została przedstawiona analiza ryzyka strukturalnego dwóch granic

- strop synemuru;
- strop pliensbachu;

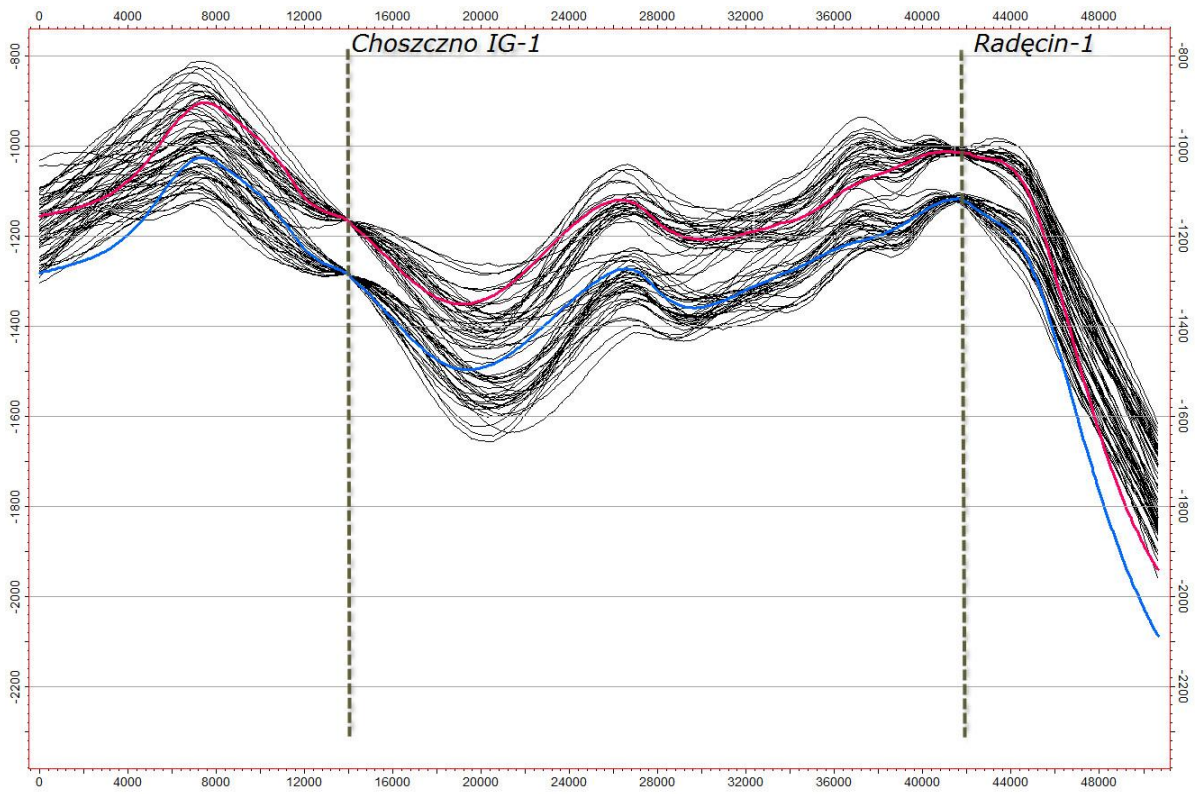
Stochastycznie oceniane ryzyko jest obliczane z wykorzystaniem równania:

$$Sr = Sbc + U1s * UsGs$$

gdzie:

- $Sr$  - obliczony wariant powierzchni (Surface realization);
- $Sbc$  - wejściowa powierzchnia obliczana w sposób deterministyczny;
- $U1s$  - błąd głębokości wynoszący 1 odchylenie standardowe ( $s$ ) - może być powierzchnią lub wartością stałą;
- $UsGs$  - powierzchnia obliczona algorytmem SGS (średnia =0,  $s=1$ , jej odchyłka od powierzchni wejściowej w miejscu występowania danych wejściowych wynosi 0).

Modele stochastyczne cechują się pełną zgodnością z danymi wejściowymi (interpretacja sejmiki i odwierty), natomiast w strefach niekontrolowanych danymi wykazują odchyłkę od modelu zamykającą się w granicach odchylenia standardowego. Powierzchnie stropu pliensbachu oraz synemuru w formie przekroju ukazują **Fig. 1.1.17\_163**. Ujawnia ona, że wykorzystany deterministyczny wariant powierzchni strukturalnej tworzy powierzchnię w przybliżeniu stanowiącą średnią wykorzystanych wariantów stochastycznych, jednakże prawdopodobieństwa znacznych odchyłeń kartowanej powierzchni strukturalnej od modelu jest bardzo znaczne. Pełną zgodność modelu deterministycznego i wariantów stochastycznych uzyskują w punkcie przecięcia linii przekroju z otworami.



**Fig. 1.1.17\_163** Ukształtowanie powierzchni stropu syneuru oraz pliesbachu w wariantach stochastycznych i deterministycznym (odpowiednio linia niebieska oraz czerwona)

## Wynik modelowania ryzyka

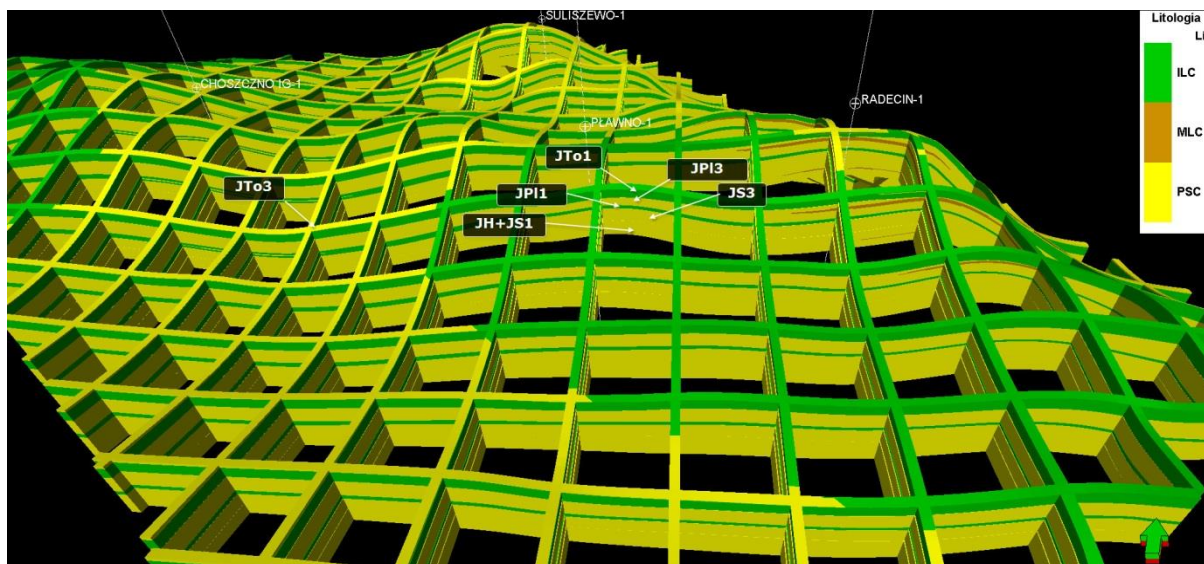
### Bazowe modele wykorzystane do analizy ryzyka

We wstępnej analizie należało wykonać modele bazowe poszczególnych parametrów. Należały do nich:

- model litologiczny;
- model zailenie;
- model porowatości całkowitej;
- model przepuszczalności;
- model dyskretny skał zbiornikowych.

### Bazowy model rozkładu litologii

Bazowy model rozkładu litologii (**Fig. 1.1.17\_164**) został wykonany na podstawie krzywych litologicznych dostępnych w pięciu otworach. Krzywe te zostały przekształcone do modelu otworowego a następnie z modelu otworowego wartości zostały estymowane na cały model. Model litologiczny został stworzony z użyciem algorytmu Kriging. Na **Fig. 1.1.17\_164** widoczny jest podział na 2 potencjalne kompleksy sekwestracyjne. Pierwszy, dolny kompleks tworzą miększe piaskowce hetangu oraz synemuru uszczelnione skałami ilastymi dolnego pliensbachu. Drugi, górny kompleks sekwestracyjny tworzą piaskowce z drobną wkładką mułowców pliensbachu górnego. Uszczelnieniem w tym przypadku są iłowce toarku dolnego.

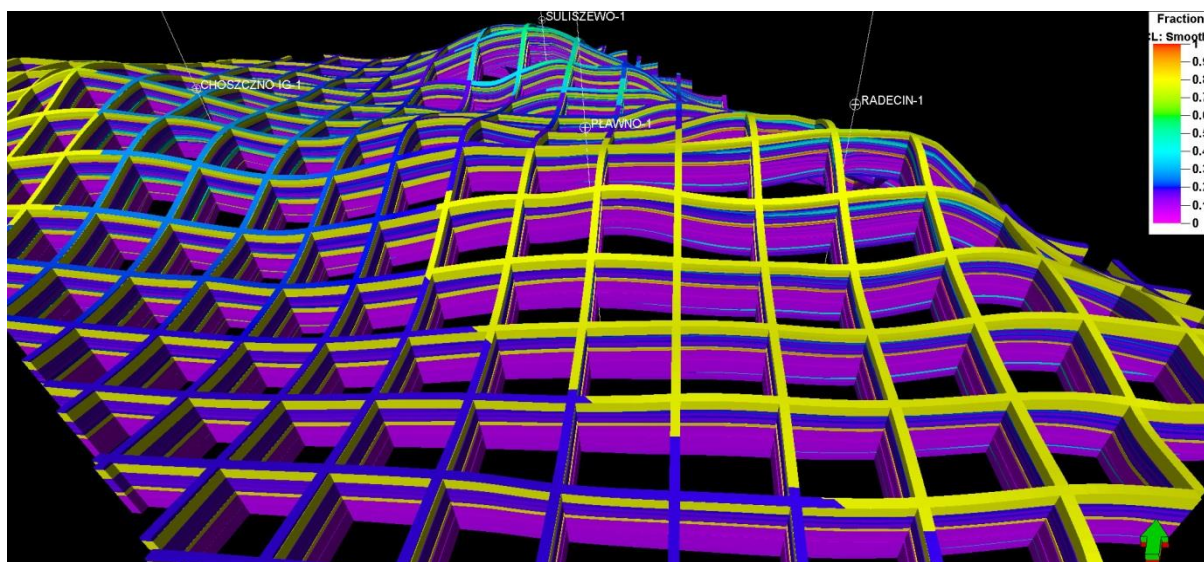


**Fig. 1.1.17\_164** Rozkład litologii w rejonie Radęcín - Suliszewo



## Bazowy model zailenia

Bazowy model zailenia powstał z wykorzystaniem algorytmu Kriging. Stworzenie wariogramów odrębnie dla każdej wydzielonej sekwencji stratygraficznej i dla każdej litologii pozwoliło na dość dokładne (biorąc pod uwagę ilość otworów) modelowanie parametru zailenia (**Fig. 1.1.17\_165**).



**Fig. 1.1.17\_165** Rozkład zailenia w rejonie Radęcín - Suliszewo

## Bazowy model rozkładu porowatości

Bazowy model porowatości (**Fig. 1.1.17\_166**) został wykonany na podstawie krzywych PHIE. W przypadku tego modelowania parametrycznego wykorzystano również algorytm Kriging. Podobnie jak w przypadku modelowania zailenia wykorzystano wariogramy tworzone dla każdej sekwencji stratygraficznej i litologii osobno, pozwalające na dość dobrą estymację parametru porowatości. Modelowanie porowatości było wykonane w co-krigingu z zaileniem, co dodatkowo zwiększyło dokładność rozprzestrzenia porowatości w modelu.

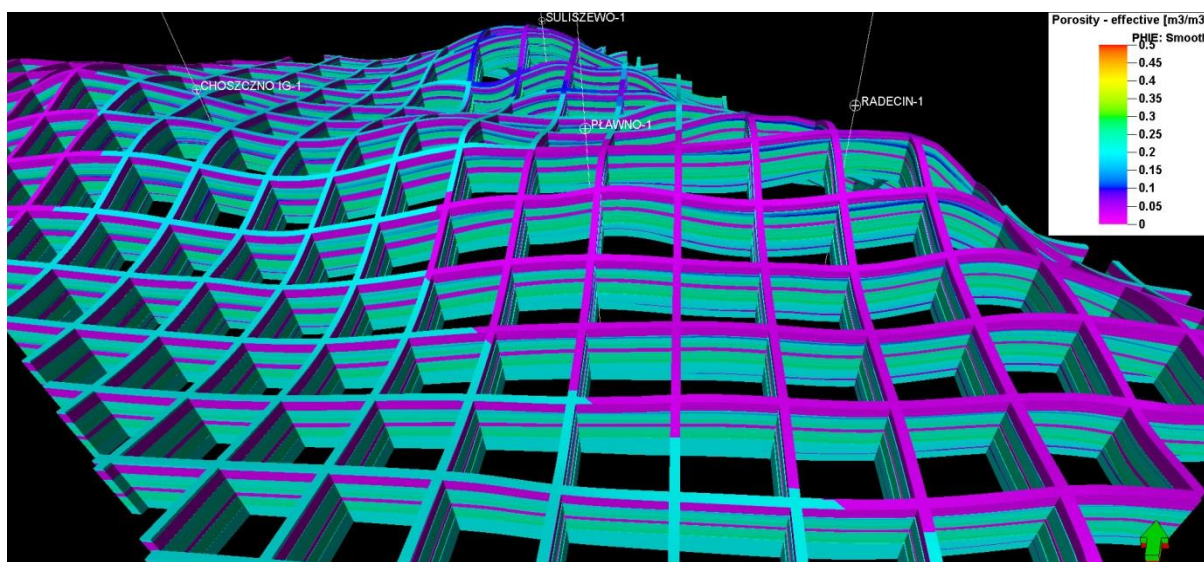


Fig. 1.1.17\_166 Rozkład porowatości w rejonie Radęcín - Suliszewo

### Bazowy model przepuszczalności

Bazowy model rozkładu przepuszczalności został przedstawiony na Fig. 1.1.17\_167. Został on stworzony w oparciu o interpretację krzywych geofizyki wiertniczej w 5 wspomnianych już otworach. Ponadto, wykorzystane wariogramy i co-kriging z zaileniem miały znaczący wpływ na poprawę dystrybucji przepuszczalności w wyjściowym modelu.

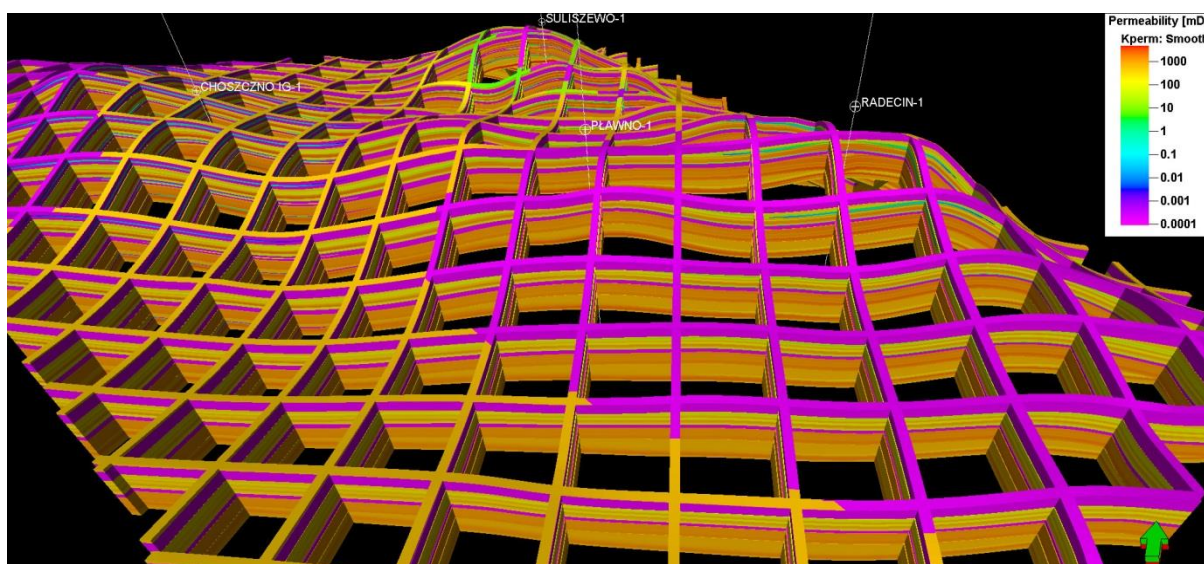


Fig. 1.1.17\_167 Rozkład przepuszczalności w rejonie Radęcín Suliszewo



## Bazowy model dyskretny skał zbiornikowych

Bazowy model dyskretny skał zbiornikowych (Fig. 1.1.17\_168) został wykonany w oparciu o bazowy model zailenia oraz bazowy model porowatości. Jako skały zbiornikowe w tym opracowaniu przyjęto skały o porowatości powyżej 7% i zaileniu poniżej 35%. Jest to próg odcięcia pozwalający wyróżnić kolektory o dobrych właściwościach.

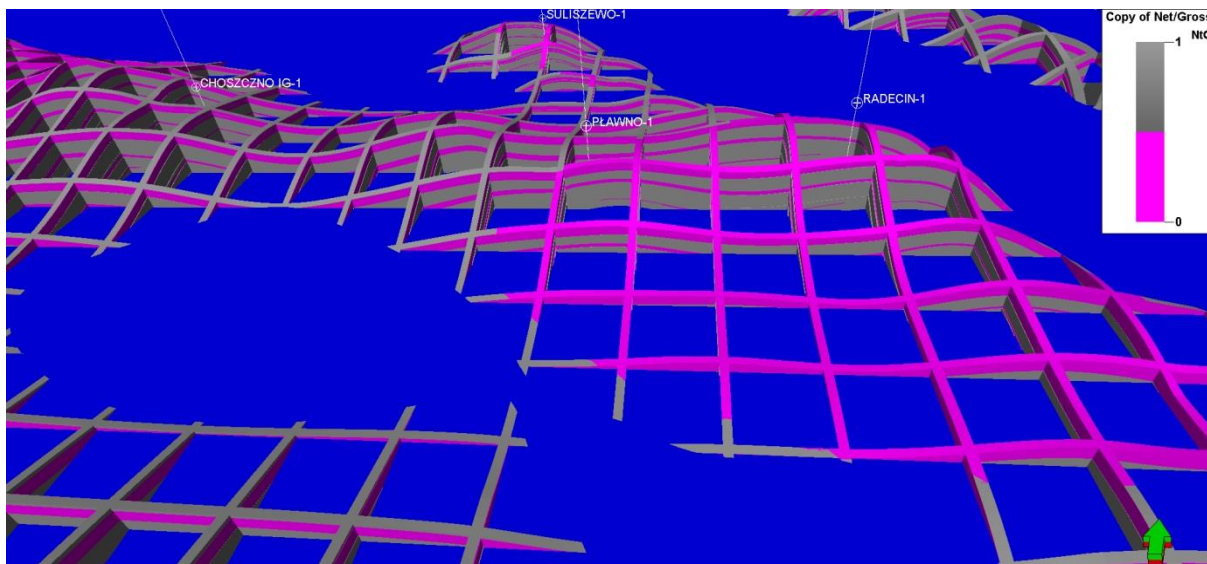


Fig. 1.1.17\_168 Bazowy model dyskretny skał zbiornikowych w rejonie Radęcina - Suliszewo odcięty hipotetycznym kontaktem CO<sub>2</sub>/woda

## Parametry przyjęte do analizy czułości i kompleksowej analizy niepewności

W trakcie badań przeprowadzono analizę kilku czynników wpływających na objętość przestrzeni porowej. Do tych elementów należały:

- Przyjęty kontakt woda/gaz ( gas water contact - GWC);
- Zmienność porowatości w przyjętych różnych alternatywnych modelach stochastycznych;
- Zmienność zailenia w przyjętych różnych alternatywnych modelach stochastycznych;
- Proporcje skał zbiornikowych do uszczelniających (Net-to-gross (NTG)).

## Analiza kontaktu gaz/woda

Wyjściowe położenie kontaktu woda/gaz zostało ustalone na głębokości 1440m p.p.m. (Fig. 1.1.17\_169). Głębokość kontaktu została określona tak, aby możliwe było zatłaczanie do 2 kompleksów sekwestracyjnych. Mimo iż zamknięcie struktury na północ od otworu Choszczno IG-1 nie jest pewne, to tak przyjęty kontakt może być uznany za prawidłowy przy założeniu zatłaczania przez otwór Suliszewo-1.

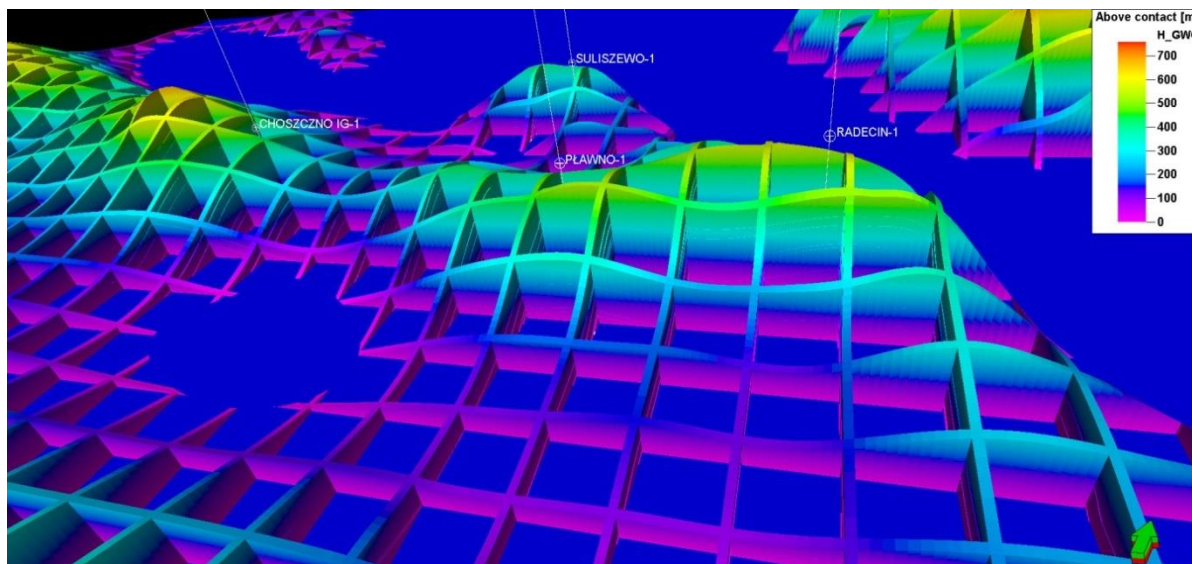


Fig. 1.1.17\_169 Wyjściowe położenie kontaktu woda/gaz wraz z modelem wysokości nad kontaktem

Do analizy przyjęto kontakt wahający się rozkładem normalnym o odchyleniu standardowym równym 5m względem bazowego położenia kontaktu ustalonego na 1440 m p.p.m. Wykonano 500 alternatywnych modeli położenia kontaktu. Wpływ położenia kontaktu badano obliczając objętość porową powstałą po odcięciu struktury powstałymi alternatywnymi kontaktami woda/CO<sub>2</sub>.

## Analiza zmienności porowatości w różnych alternatywnych modelach stochastycznych

Celem analizy ryzyka zmienności porowatości było określenie w jak dużym stopniu wykorzystanie metod stochastycznych wpływa na obliczenia wolumetryczne. Analiza zmienności porowatości obejmowała stworzenie 500 alternatywnych stochastycznych modeli porowatości przy zastosowaniu anizotropii rozkładu parametru jak w przypadku „Base Case” tworzonym metodą Krigingu. W oparciu o każdy model zostały wykonane obliczenia wolumetryczne przedstawiające objętość porową struktury odciętej bazowym kontaktem woda/CO<sub>2</sub>. Stochastycznym algorytmem wykorzystanym do analizy zmienności porowatości był algorytm SGS (*Sequential Gaussian Simulation*). Podobnie jak w przypadku tworzenia modelu bazowego użyto wariogramów dla każdej z litologii i co-krigingu z bazowym deterministycznym modelem zailenia.

### **Analiza zmienności zailenia w różnych alternatywnych modelach stochastycznych**

Podobnie jak w modelowaniu zmienności porowatości, analiza zmienności zailenia bazowała na stochastycznej zmienności parametru. W tym przypadku zastosowano taką samą procedurę losowania 500 alternatywnych modeli zailenia z użyciem algorytmu SGS. Modele stochastyczne były warunkowane wariogramami, podobnie jak w przypadku modelu bazowego. Taka procedura ograniczyła całkowicie losowy rozkład parametrów w miejscach oddalonych od otworów.

### **Analiza zmienności proporcji skał zbiornikowych do uszczelniających; Net-to-gross (NTG)**

Analiza proporcji skał zbiornikowych do uszczelniających obejmowała określenie w jakim zakresie zmienia się stosunek skały uszczelniające/skały zbiornikowe przy założeniach różnych progów odcięcia. Zostały stworzone alternatywne modele NTG biorące pod uwagę wykorzystanie różnych wartości granicznych definiujących skały zbiornikowe. „Base Case” progu odcięcia został ustalony na poziomie zailenia równym 35% i porowatości 7%. Powyżej tych wartości skały zostały uznawane za nie zbiornikowe. Wykorzystano kombinację porowatości i zailenia, gdzie porowatość zmienia się rozkładem trójkątnym w granicach 5% - 8% z wartością mody równą 7%. Zakres zailenia dla progu odcięcia wahał się rozkładem normalnym z wartością średnią równą 35% i odchyleniem standardowym równym 2%.

## Analiza czułości – wyniki

Finalnym etapem analizy czułości jest korelacja wszystkich elementów niepewności na wykresie tornado (Fig. 1.1.17\_170). Wykres ten pokazuje, jak poszczególne elementy niepewności wpływają na parametr wolumetryczny (w tym przypadku pojemność porową). Na Fig. 1.1.17\_170 przedstawiono badane elementy i ich odchyłkę od deterministycznych modeli bazowych. Z wykresu wynika, że największy wpływ na ilość możliwego do zmagazynowania gazu ma odpowiednio przyjęty kontakt pomiędzy mediami złożowymi. Wartości graniczne jakie można uzyskać przy założeniach podanych w analizie kontaktu gaz/woda to -7,5% do +9,5% względem modelu bazowego. Porowatość wpływa w tym przypadku w granicy ok -1,5% do +3,5% na wyniki analizy natomiast różnica w progowej wartości skały zbiornikowe/skały uszczelniające jest nieznaczna i wynosi -0,3% do +0,8 %. Wykres tornado jasno wskazuje że modelowanie zailenia wpływa w znikomym stopniu na wartości modelowanej przestrzeni porowej. Z tego względu dalszą analizę tego parametru można zaniedbać.

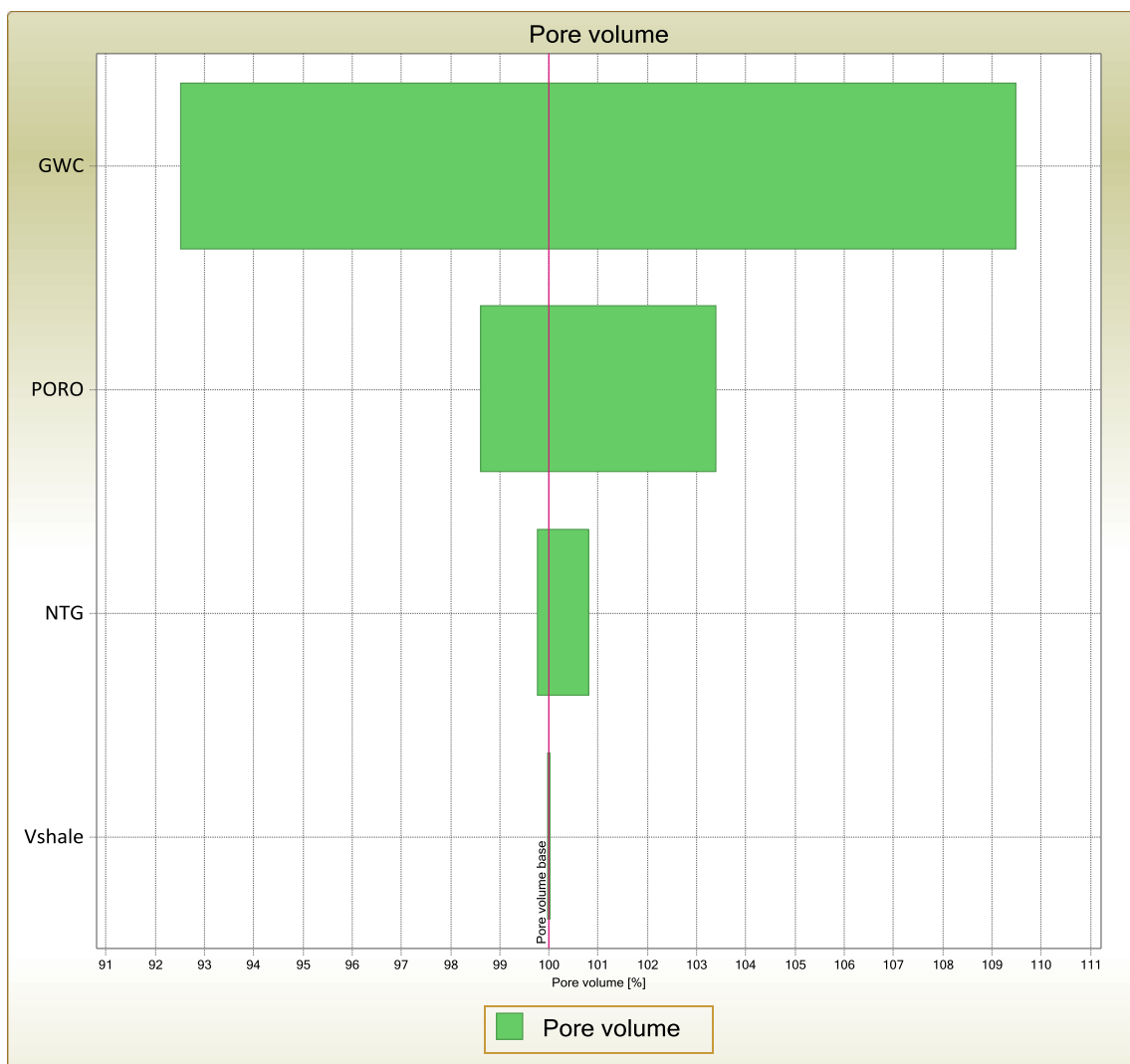


Fig. 1.1.17\_170 Wykres tornado obrazujący wpływ poszczególnych elementów ryzyka na pojemność magazynową struktury  
17-346

## Kompleksowa analiza niepewności

W analizie tej wszystkie elementy podlegające niepewności równocześnie do siebie są losowane zgodnie z ich rozkładem. Dzięki temu na finalnym histogramie można przedstawić wartości P10, P50 oraz P90 (Fig. 1.1.17\_171).

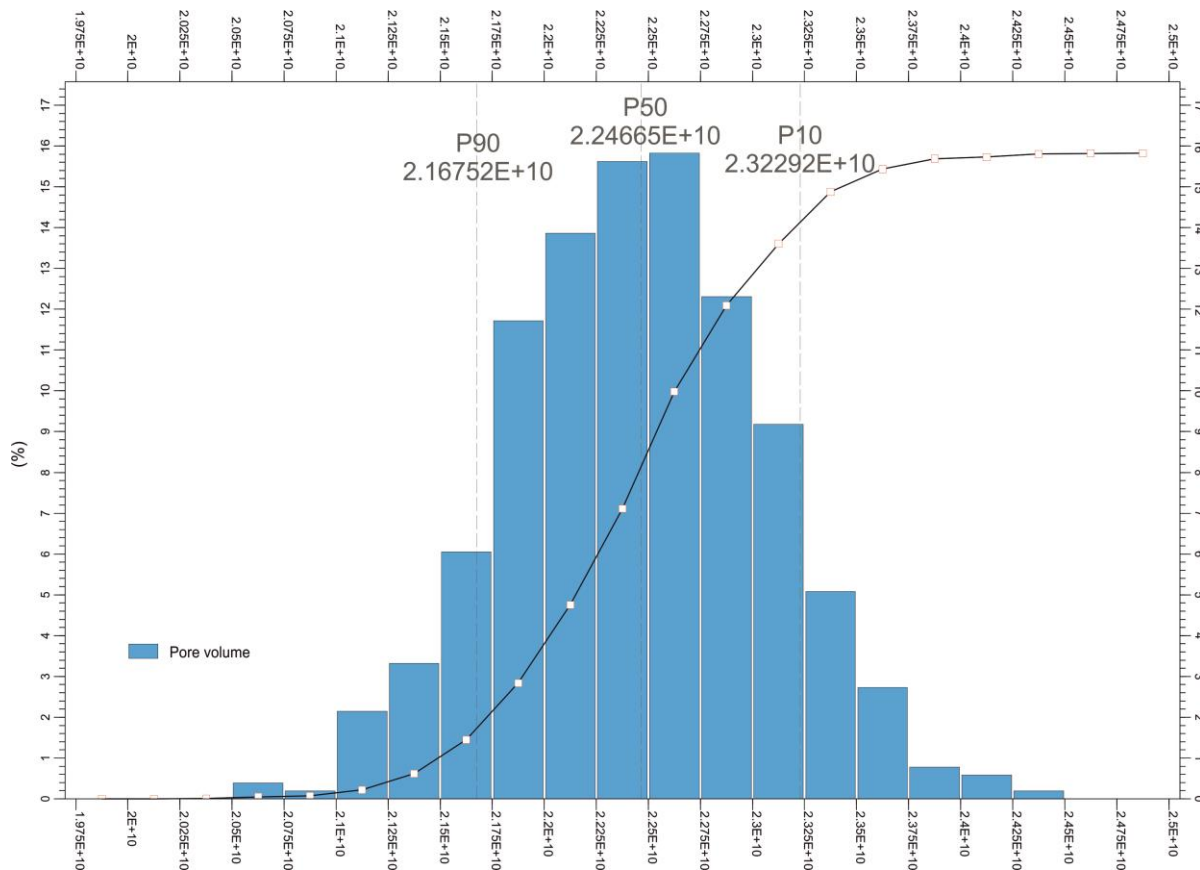
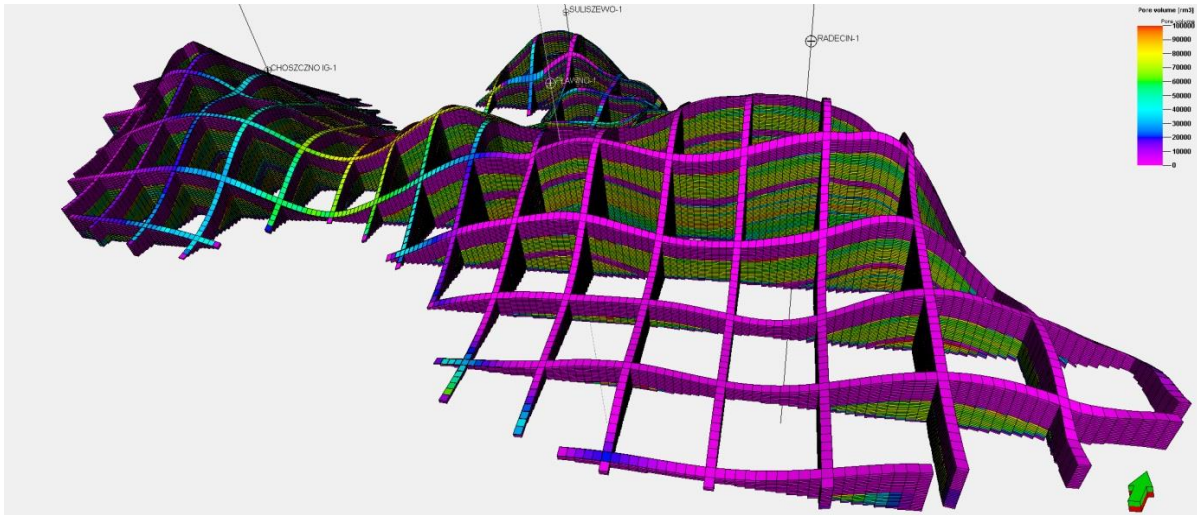


Fig. 1.1.17\_171 Histogram zbiorczy kompleksowej analizy ryzyka z zaznaczonymi percentylami P10, P50, P90

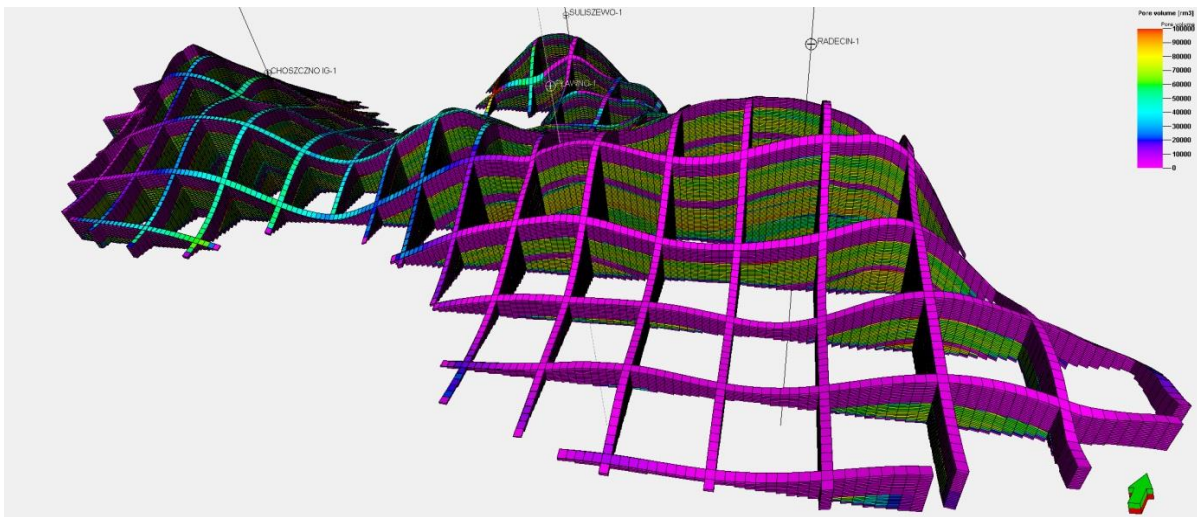
Kompleksowa analiza ryzyka wymienionych wcześniej parametrów wskazuje, że medianą będącą wartością prawdopodobną jest pojemność porowa rzędu 225 mld m<sup>3</sup>. Wartością P10 czyli optymistyczną można w tym przypadku uznać wartość 232 mld m<sup>3</sup> a wartość pesymistyczną 217 mld m<sup>3</sup>. Należy jednak pamiętać, iż jest to analiza parametrów statycznych i obejmuje zatłoczenie gazu w równym stopniu do całej struktury odciętej konturem. Nie były brane pod uwagę warunki fizyko-chemiczne gazu, które w znaczącym stopniu wpływają np. wytrącanie się węglanów. Również duża dowolność w operowaniu rozkładem statystycznym może prowadzić do zwiększenia lub zmniejszenia wpływu poszczególnych elementów ryzyka.

Znając wartości P10, P50 oraz P90 można wskazać modele stochastyczne najbardziej zbliżone do wartości odpowiadających pojemnościom porowym low, mid i high case. Poniżej zostały przedstawione modele odpowiadające P10, P50, P90 (Fig. 1.1.17\_172 - Fig. 1.1.17\_174).





**Fig. 1.1.17\_172** Wariant optymistyczny modelu przestrzeni porowej (P10)



**Fig. 1.1.17\_173** Wariant realistyczny modelu przestrzeni porowej (P50)

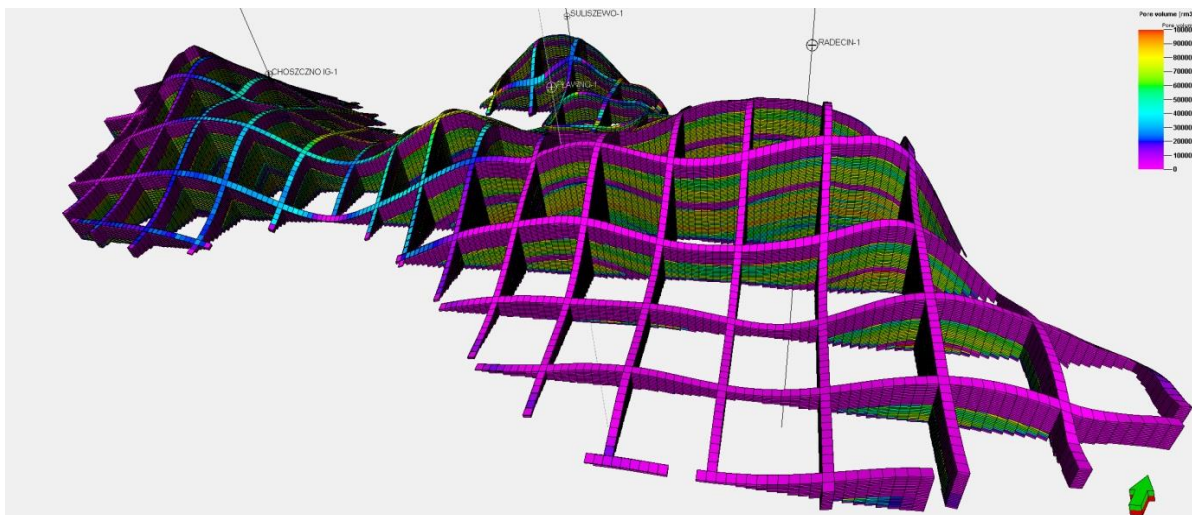


Fig. 1.1.17\_174 Wariant pesymistyczny modelu przestrzeni porowej (P90)

## Podsumowanie

Wykonane modelowania strukturalno-parametryczne wskazują na bardzo dobre i stabilne warunki dla wglębnego magazynowania CO<sub>2</sub> w strukturach antyklinalnych strefy Choszczno - Suliszewo. Potencjał magazynowy każdej z 3 położonych tam struktur wydaje się być ogromny, a ryzyko błędnej oceny ich pojemności zdaje się być nieznaczne. Do najpoważniejszych czynników stanowiących o ewentualnych ryzyku składowania CO<sub>2</sub> w tym rejonie należą przede wszystkim niską jakość oraz ilość danych definiujących parametry zbiornikowe i filtracyjne poziomów uszczelniających (krzywe geofizyczne) i zbiornikowych. Może się to przekładać zwłaszcza na niezbyt poprawne odwzorowanie uszczelnień. Ich jakość musi być w rejonie Choszczno –Suliszewo zweryfikowana modelowaniami dynamicznymi.

W przypadku podjęcia decyzji o składowaniu CO<sub>2</sub> w analizowanych strukturach antyklinalnych niezbędne będzie wykonanie zdjęcia sejsmiki 3D, które umożliwi bardzo szczegółowe odwzorowanie geometrii struktur i wiarygodne rozpoznanie porowatości z wykorzystaniem inwersji sejsmicznej. Zastosowanie sejsmiki 4D umożliwiłoby monitorowanie bezpieczeństwa napełnianej struktury.

Badania nad magazynowaniem substancji w formacjach geologicznych rozpoczęte zostały w latach 70-tych XX wieku. Początkowo dotyczyły one wykorzystania struktur geologicznych pod kątem składowania w nich odpadów radioaktywnych. Idea podziemnego magazynowania CO<sub>2</sub> (CCS) pojawiła się w latach 90-tych ubiegłego wieku (Pearce et al. 1996). Poglądy na temat magazynowania ewoluowały od tego czasu prowadząc do zdefiniowania pięciu głównych mechanizmów uwięzienia CO<sub>2</sub> w warunkach podpowierzchniowych. Do najbardziej efektywnych i bezpiecznych należy zaliczyć magazynowanie w strukturach zawodnionych. W projektach SACS, SACS2 oraz CO2STORE rozpoczętych w 1998 roku badano możliwości wykorzystania formacji solankowych do sekwestracji CO<sub>2</sub> na skalę przemysłową, uwzględniając czynniki ekonomiczne i geologiczne (Tarkowski et al. 2009, Chadwick et al. 2008, Stolarz 2009)

Szczelność nadkładu potencjalnych zbiorników ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa składowania CO<sub>2</sub>. Wpływa na nią m. in. odpowiednia miąższość i lateralna ciągłość kompleksów uszczelniających oraz brak uskoków rozcinających nadkład (Tarkowski et al. 2009, Chadwick et al. 2008, Stolarz 2009).

Przedstawione procedury i wyniki oceny ryzyka oraz czułości dla struktury Radęcina- Pławna zostały opracowane przez mgr inż. Michała Michnę i będą one stanowiły część przygotowywanej przez niego pracy doktorskiej.



## Struktury naftowe

Ryzyko geologicznego składowania zdefiniowane jest (Chadwick et al., 2008) jako iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia i skutków zagrożenia. Z ryzykiem geologicznym, dotyczącym szczelności i integralności kompleksu składowania, związane są zagadnienia wpływu wycieków dwutlenku węgla (do słodkich wód podziemnych i atmosfery; to ostatnie ma aspekt lokalny i globalny, związany z emisją CO<sub>2</sub> do atmosfery) oraz solanki (do wód podziemnych) na środowisko oraz zdrowie i bezpieczeństwo ludzi. Poza tym mamy jeszcze ryzyko ekonomiczne, związane z opłacalnością inwestycji oraz ryzyko akceptacji społecznej dla inwestycji i szereg innych.

Prace zostały wykonane przez następujących partnerów konsorcjum: **AGH, INiG** oraz **PIG-PIB**.

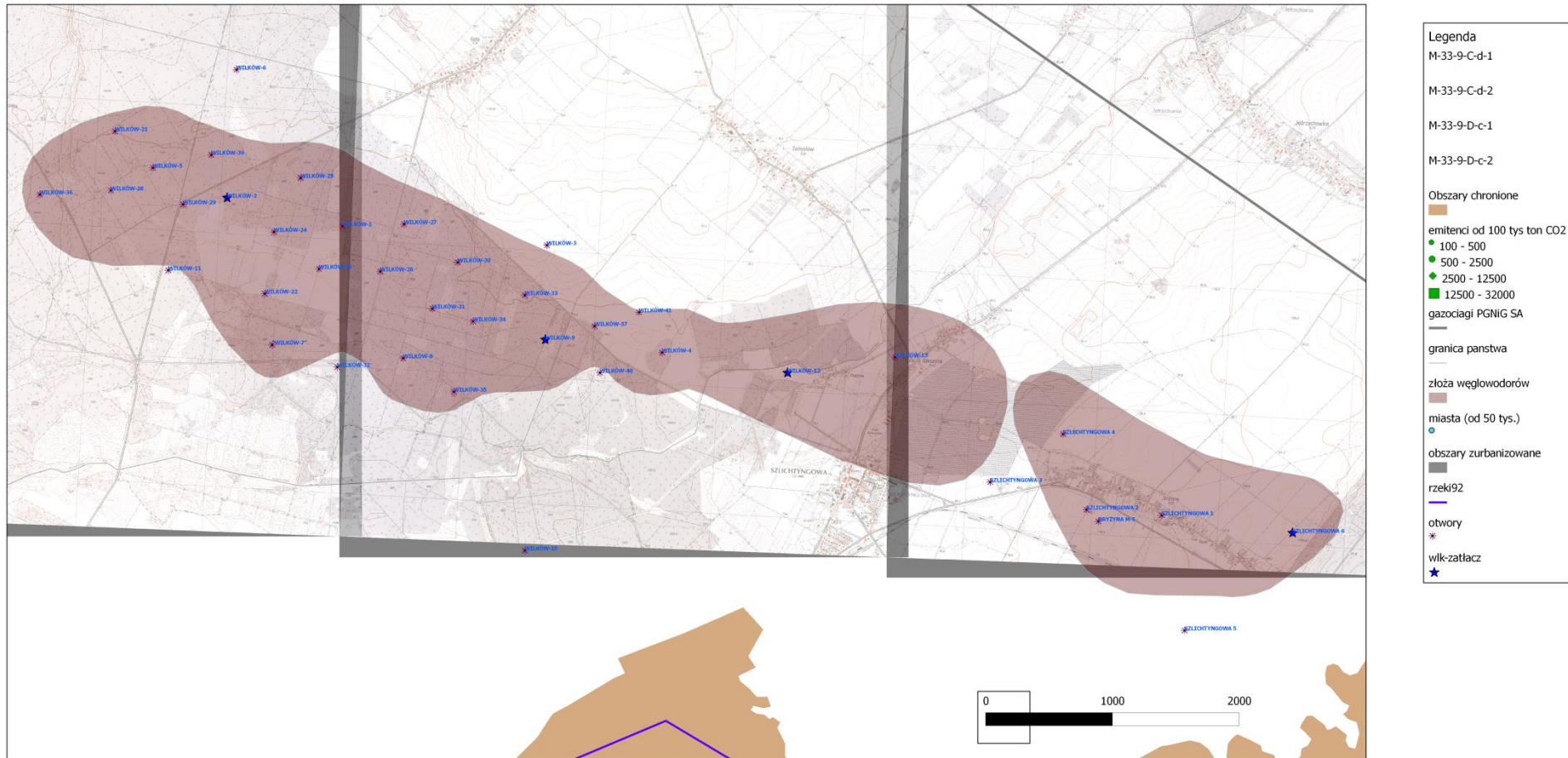
W przypadku kolektorów w wyeksploatowanych złożach gazu ziemnego i/lub ropy naftowej - prace wykonano dla dwóch (trzech) obiektów:

- złożo gazu Wilków koło Głogowa (możliwe składowanie CO<sub>2</sub> od emitentów średniej wielkości, tzn. np. z Zagłębia Miedziowego, wspomaganie wydobycia gazu raczej mało perspektywiczne w porównaniu z przypadkiem złoża ropy), dla którego symulacje zatłaczania CO<sub>2</sub> wykonał AGH we współpracy z **PIG-PIB** (patrz niżej)
- złożo ropy Nosówka koło Rzeszowa (możliwe wspomaganie wydobycia ropy przez zatłaczanie CO<sub>2</sub> od niedużego emitenta z Rzeszowa lub Tarnowa), dla którego symulacje zatłaczania CO<sub>2</sub> wykonał **INiG** (patrz niżej)
- złożo gazu i kondensatu Łąka wraz z podścielającym poziomem solankowym (możliwe składowanie CO<sub>2</sub> od emitentów średniej wielkości, z aglomeracji krakowskiej lub Tarnowa, obok składowania w solankach także wspomaganie wydobycia gazu i kondensatu na niewielką skalę); przypadek pośredni między scenariuszem 3 (obiekt solankowy) i 4 (struktury naftowe) (3a). Wyniki zadania **1.1.16** wraz z **1.1.17** i **1.1.18**, które było realizowane wyłącznie przez **INiG**, z uwagi na powyższe informacje, zostały zamieszczone w osobnym tomie opracowania końcowego dla II Segmentu.

W następnych podrozdziałach przedstawiono analizy różnych aspektów ryzyka geologicznego składowania dla dwóch pierwszych struktur.

AGH wykonało, we współpracy z PIG-PIB, analizy niepewności określenia parametrów kompleksu składowania (zbiornik i uszczelnienie) w aspekcie bezpieczeństwa składowania i integralności składowiska dla modelu kompleksu składowania szcerpanego złoża gazu Wilków.

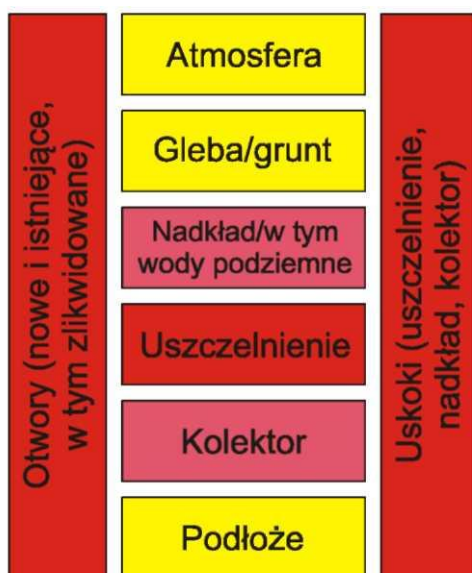
Natomiast INiG przeanalizował ryzyka związane ze składowaniem CO<sub>2</sub> w obrębie złoża ropy Nosówka (wraz z aspektem wspomaganie wydobycia ropy) w tym zagrożeń wyciekami CO<sub>2</sub> i migracją solanki związanych zarówno z warunkami geologicznymi jak i występowaniem starych otworów wiertniczych.



**Rys. 6** Lokalizacja złoża gazu Wilków (+Szlichtyngowa) i otworów zatłaczających na tle szczegółowej mapy topograficznej (Adam Wójcicki)

Na **Rys. 6** przedstawiono rozkład skupisk ludzkich w rejonie struktury Wilków i otworów (symulacyjnych) do zatłaczania oraz istniejących otworów nawiercających jurę i głębsze formacje. Lokalizacja otworów symulacyjnych (modelowanie procesów zatłaczania) została wybrana orientacyjnie, na podstawie znanej geometrii struktury i lokalizacji skupisk ludzkich. Ostateczna lokalizacja może być wybrana przez inwestora dopiero w wyniku uzgodnień z władzami lokalnymi i właścicielami gruntów.

Podstawowe zagadnienia planu ryzyka obejmującego powyższy zakres prac dla struktury Wilków przedstawiono na **Rys. 7**, 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 jakość uszczelnienia, brak uskoków przecinających je i nadkład, a jeszcze bardziej - w przypadku struktur naftowych (o tym że warunki geologiczne zapewniają dobrą pułapkę złożową świadczy sam fakt istnienia złoża, a poza tym złoża węglowodorów na ogół rozwiercone są znaczną ilością otworów), szczelność nowych (przewidzianych do odwiercenia w przypadku wyboru struktury na składowisko) i starych, zlikwidowanych otworów wiertniczych. Niewiele mniej ważna jest jakość kolektora i ochrona słodkich wód podziemnych.



**Rys. 7** Podstawowe zagadnienia planu ryzyka dla struktury Wilków

# Ryzyko geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w strukturze naftowej na przykładzie złożeń Wilków (AGH)

(Bartosz Papiernik, Michał Michna, Grzegorz Machowski, Wojciech Machowski)

## Analiza ryzyka geologicznego w rejonie złoża gazu ziemnego Wilków

Ryzyko składowania CO<sub>2</sub> w eksploatowanym złożu gazu Wilków wydaje się być niewielkie – ze względu na dobre rozpoznanie strukturalne obszaru złoża i znaną od lat historię jego eksploatacji. Jednakże bliższa analiza posiadanych danych pokazuje, że nawet stosując deterministyczne podejście do analizy strukturalnej trudno jednoznacznie ustalić zarys złoża, a zwłaszcza sposób jego zamknięcia od wschodu, gdzie w odległości zaledwie kilkuset metrów na wschód występuje kolejne złożo gazu Szlichtyngowa. Oba złoża występują w jednym ciągu wydm eolicznych, jednak pomimo bliskiego sąsiedztwa cechują się różnym położeniem konturu gaz –woda, który w Wilkowie znajduje się na głębokości -1509 m, a w sąsiedniej Szlichtyngowej na wysokości -1472m.

Lokalna zmienność ukształtowania strukturalnego, zmienność sedymentologiczna oraz zmienne położenie konturu strukturalnego sprawiają analiza ryzyka geologicznego w tej strefie powinna się skupić na opracowaniu odmiennych modeli strukturalno –geologicznych, które pozwolą ocenić np. ryzyko ucieczki zatłaczanego gazu do sąsiedniej struktury Szlichtyngowej. W tym celu wykonano alternatywne modele strukturalno-parametryczne i przystąpiono do wykonania alternatywnych symulacji zatłaczania w strefie granicznej złóż Wilków – Szlichtyngowa.

## Tło geologiczne

Utwory czerwonego spągowca wypełniające basen południowopermski osadziły się w kontynentalnym basenie aluwialnym, który w polskiej części jest rozległym ekstensyjnym zapadliskiem, mającym cechy półrowu tektonicznego (Pokorski 1998). Jego kształt i warunki sedymentacji wpłynęły na asymetrię zbiornika. Rozciągająca się wzdłuż NE krawędzi basenu strefa maksymalnej subsydencji wykazuje największe miąższości utworów czerwonego spągowca, przekraczające 1200 m (Kiersnowski 1998, Kiersnowski, Papiernik w: Papiernik et al. 2008). Piaszczysto – mułowcowo - ilaste osady wypełniające basen należą do trzech głównych pustynnych systemów depozycyjnych. Utwory rzek okresowych (facje stożków aluwialnych oraz fluwialne korytowe i pozakorytowe) tworzą system fluwialny. Osady zdeponowane w środowiskach wydmowych i między wydmowych budują system eoliczny. Największe miąższości wykazują rozwinięte w centralnej części basenu osady rzeczne oraz plaji ilastej, piaszczystej i marginalnej należące do systemu jeziornego (Buniak w: Papiernik et al. 2008). W chwili obecnej opisany podział środowiskowy wydaje się mieć kluczowe znaczenie dla planowania poszukiwań naftowych - dużo wyższe, niż mniej lub bardziej formalne podziały stratygraficzne górnego czerwonego spągowca oparte na litostratygrafii (Karnkowski 1987), allostratygrafii i tektonostratygrafii (Pokorski 1981) bądź analizie sekwencji depozycyjnych (Kiersnowski 1997, 1998, Kiersnowski, Buniak 2006).

W wyniku środowiskowej analizy utworów czerwonego spągowca wykonanej na podstawie materiału rdzeniowego i krzywych geofizycznych w polskiej części basenu wyróżniono szereg regionalnych jednostek paleogeograficznych (Fig. 1.1.17\_175). Największą z nich był basen centralny (Pokorski 1998), jego profil w części NE jest zdominowany przez utwory jeziorne (plaji) oraz fluwialne. Osady eoliczne stanowią tu (prawdopodobnie) nieliczne wkładki o małej miąższości. W południowo - wschodniej części basenu centralnego występują głównie osady facji fluwialnej. Utwory zdeponowane w środowiskach eolicznym i jeziornym mają wyraźnie mniejszą miąższość. Wzdłuż południowego obrzeżenia basenu centralnego występują piaskowce eoliczne tworzące obszar wydmowy określany, jako erg wschodni (Kiersnowski 1997). Na południe od niego znajduje się kolejna rozległa jednostka paleogeograficzna - basen śląski. Strefa ta była zdominowana przez sedymentację eoliczną i fluwialną. W centralnej części tej jednostki dominowała sedymentacja eoliczna. Powstały tu pas wydm został wyróżniony jako erg południowy (Kiersnowski 1997, Buniak 2005).

Obszar basenu centralnego i basenu śląskiego rozdzielał wał wolsztyński. Jego obrzeżenia są zdominowane przez utwory reprezentujące fluwialny system depozycyjny (Poszytek 2007). Oprócz wymienionych, na obszarze Polski występują tzw. baseny peryferyczne. Baseny podlaski i mazurski są wypełnione głównie osadami rzecznyymi, natomiast w basenie słupeckim stwierdzone jest współwystępowanie osadów eolicznych i fluwialnych.

W obrębie eolicznego systemu depozycyjnego szczególnie dobre warunki do powstania złóż gazu wiążą się występowaniem osadów wydmowych tworzących na obszarze ergu południowego rozległe systemy wydmowe, takie jak w rejonie Grochowice – Wilków – Szlichtyngowa (Fig. 1.1.17\_175) (Kiersnowski, Tomaszczyk 2010).

### CASE STUDY: GROCHOWICE, WILKÓW and ZAŁĘCZE-W. GAS FIELDS

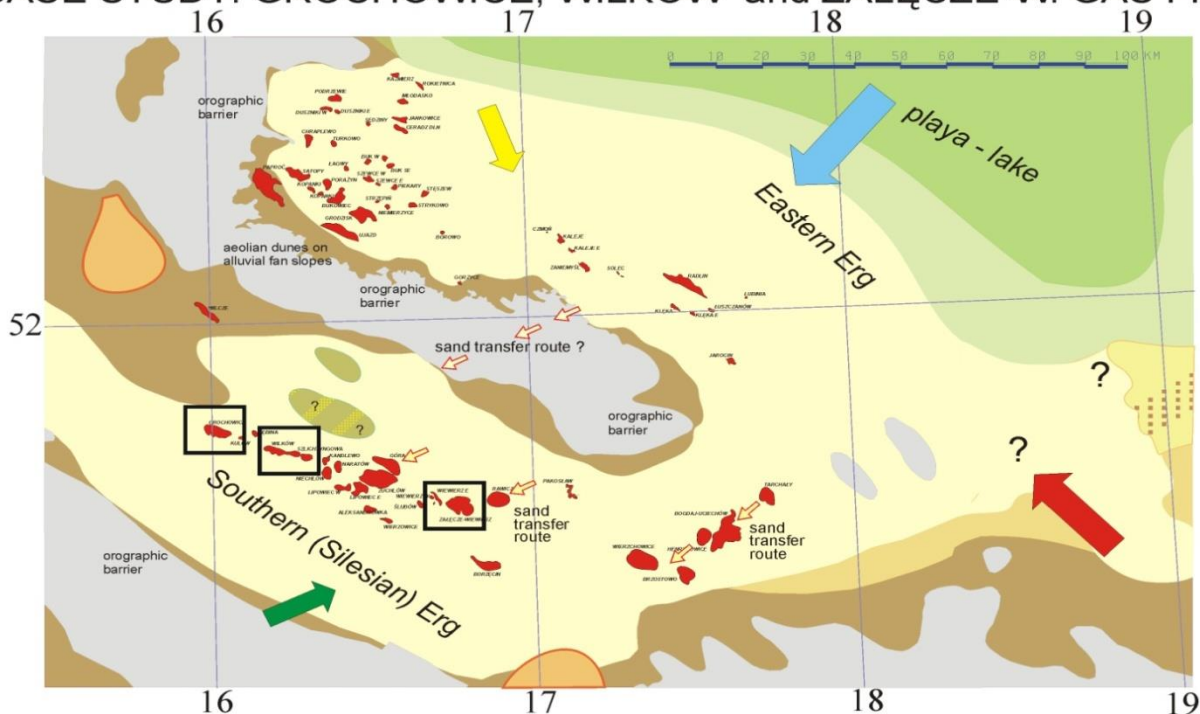


Fig. 1.1.17\_175 Paleogeografia basenu dolnopermskiego w trakcie sedymentacji utworów górnego czerwonego spągowca (Kiersnowski, Tomaszczyk 2010)  
17-355



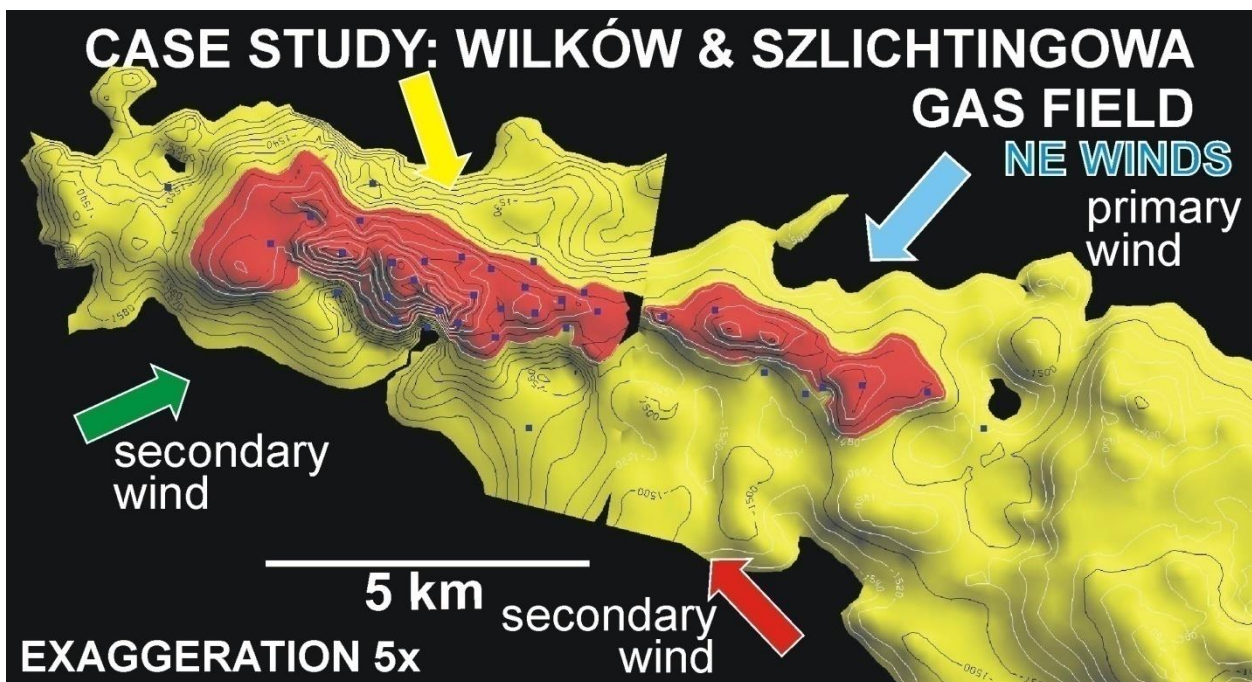


Fig. 1.1.17\_176 Ukształtowanie systemu wydmowego w rejonie złóż Wilków Szlichtyngowa (Kiersnowski, Tomaszczyk 2010)

#### Czynniki ryzyka geologicznego w rejonie złoża Wilków

Złóża Wilków i Szlichtyngowa są położone w sąsiadujących kulminacjach strukturalnych utożsamianych z występowaniem dwóch wydm rozdzielonych obniżeniem. Konturu gaz – woda, (GWC) w złożu Wilków znajduje się na głębokości -1509 m, a w Szlichtyngowej jest położony płycej na wysokości -1472 m. (Fig. 1.1.17\_177).

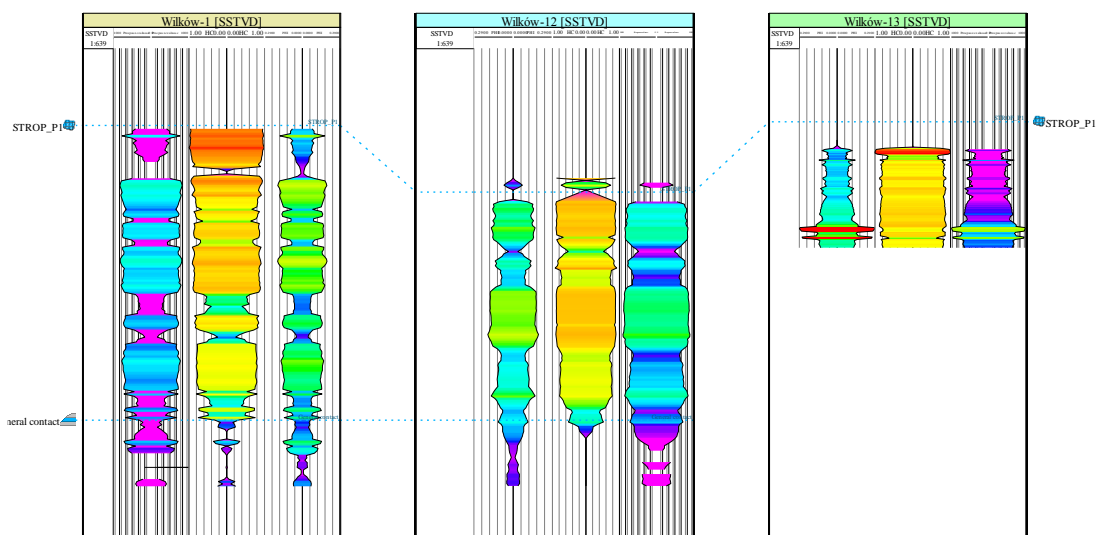
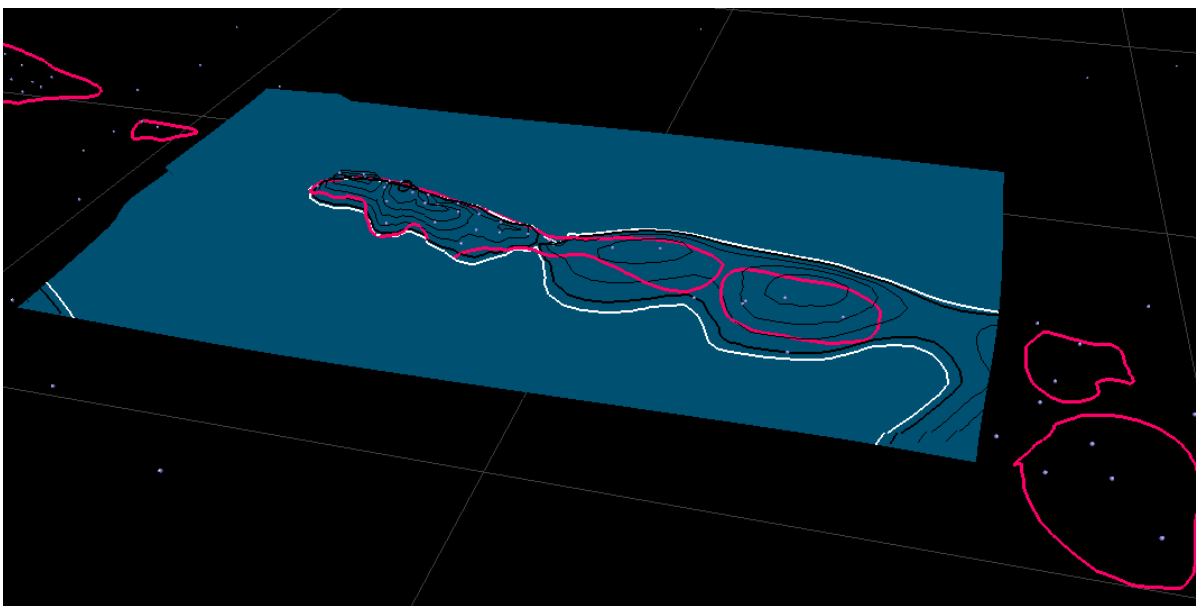


Fig. 1.1.17\_177 Parametry petrofizyczne i nasycenie przestrzeni porowej węglowodorami w złożu Wilków

Tak znaczna różnica GWC na dystansie kilku kilometrów wskazuje na istnienie wyraźnej bariery hydrodynamicznej izolującej dwa złoża. Dla jej poprawnego rozpoznania niezbędne jest odtworzenie właściwej geometrii stropu czerwonego spągowca. W dalszej części tekstu przedstawiono alternatywne scenariusze „geometryczne” ukazujące rozkład złóż i ukształtowanie struktur iw relacji do konturów analizowanych złóż i konsekwencje „złożowe” przyjęcia tych scenariuszów.

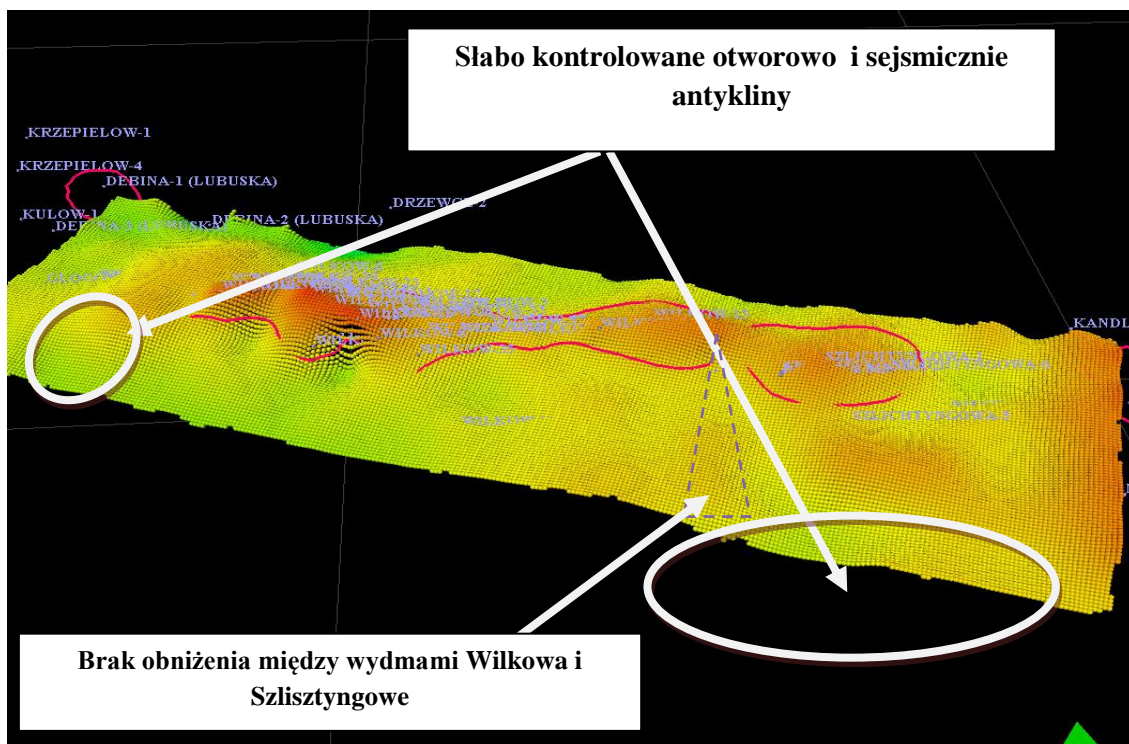
### Model regionalny

W trakcie realizacji prac I i II segmentu opracowano regionalny model strukturalny rejonu złoża Wilków. Geometria opiera się tu na mapach regionalnych wykonanych w formie grida 2D o oczku siatki 500 m.



**Fig. 1.1.17\_178** Relacja złóż Szlichyngowa – Wilków do kontury złoża Wilków

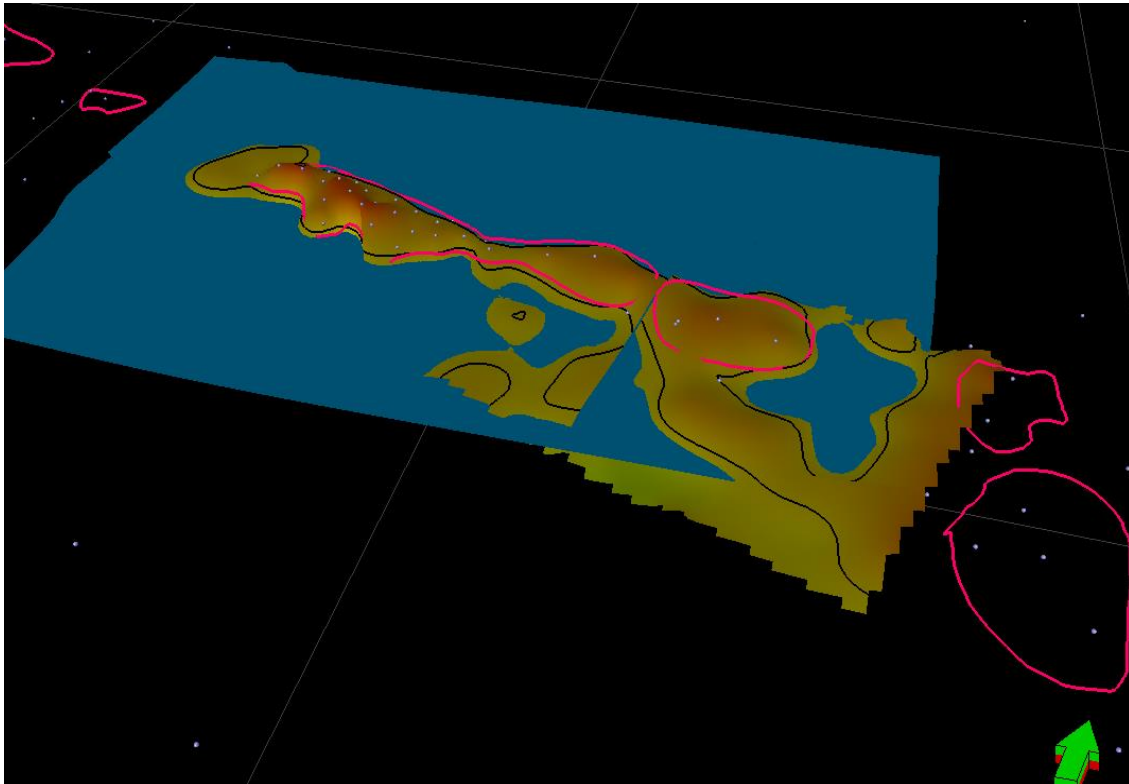
Model ten poprawnie oddaje geometryczne relacje obu struktur i nadaje się do wstępnych symulacji złożowych. Pozycja złóż w odniesieniu do GWC dla Wilkowa pokazuje, że granica między złożami jest prawdopodobnie zbyt słabo zdefiniowana.(Fig. 1.1.17\_178).



**Fig. 1.1.17\_179** Model strukturalny opracowany w PIG Warszawa na podstawie opracowania sejsmicznego PGNIG z 1991 roku

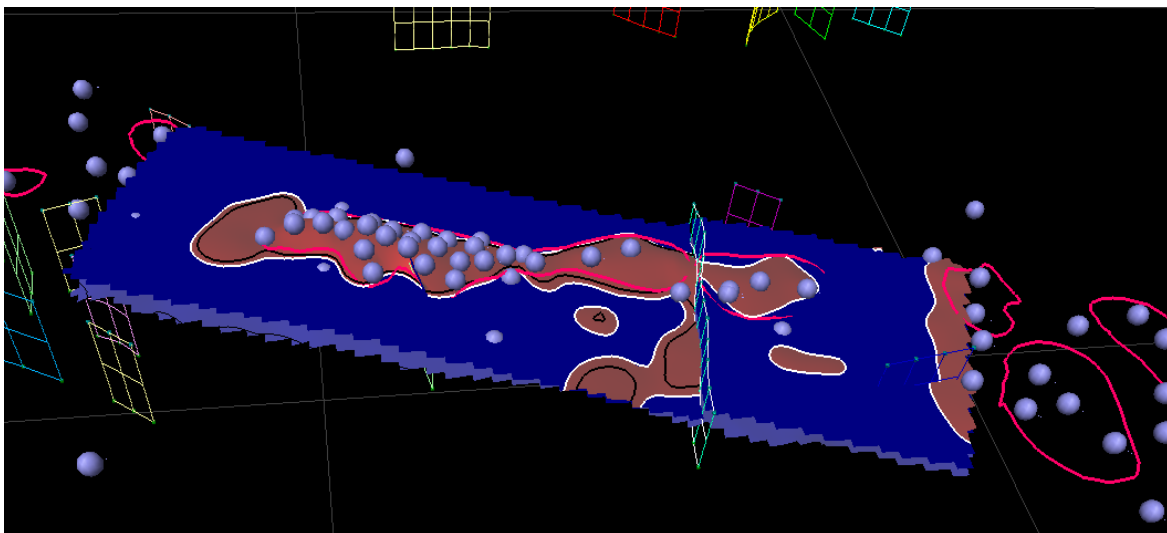
Konsekwencją przyjęcia tego modelu w formie ciągłej jest bardzo znacząca ekstrapolacja struktur pozytywnych, obejmująca rozciągnięcie złoża Wilków w kierunku NW i SW, ciągłość złóż Wilków i Szlichtyngowa, bardzo znaczące rozciągnięcie złoża Szlichtyngowa w kierunku S a także jego strukturalną łączność z leżącymi dalej na E złożami (**Fig. 1.1.17\_180**).





**Fig. 1.1.17\_180** Relacja stropu czerwonego spągowca do konturu GWC na głębokości -1509m Model strukturalny opracowany w PIG Warszawa na podstawie opracowania sejsmicznego PGNIG z 1991 roku

Po wprowadzeniu do przedstawionego modelu uskoku przesuwającego utwory czerwonego spągowca i rozgraniczającego hydraulicznie bloki tektoniczne Szlichtyngowej i Wilkowa uzyskano pewną poprawę zasięgu potencjalnych złóż gazu. Choć w dalszym ciągu w obu blokach występują dyskusyjne struktury pozytywne które mogły by być wypełnione gazem przy założeniu podanych głębokości GWC.



**Fig. 1.1.17\_181** Relacja stropu czerwonego spągowca do konturu GWC na głębokości -1509m w bloku tektonicznym Wilkowa i -1472 w bloku Szlichtyngowej. Zmodyfikowany w KSE AGH model strukturalny opracowany w PIG Warszawa na podstawie opracowania sejsmicznego PGNIG z 1991 roku

## Model strukturalny oparty o dokumentację złożową PGNIG z 1994 roku

Wykorzystując mapę opracowaną w PGNIG w 1994 (Fig. 1.1.17\_182) opracowano alternatywne modele strukturalne omawianej strefy. Mapa ta w zadowalający sposób ukazuje ukształtowanie obniżenia międzywymowego między wydłami Wilkowa i Szlichtyngowej.

Pozwala ona na bardziej wiarygodne testowanie dystrybucji potencjalnych akumulacji HC w przypadku braku dyslokacji rozdzielających złoża (Fig. 1.1.17\_183 i Fig. 1.1.17\_184) przy założeniu dla strefy dla całej Strefy GWC Wilków (Fig. 1.1.17\_183) bądź i Szlichtyngowej (Fig. 1.1.17\_184). Wydaje się, że osiągnięte w ten sposób rozkłady złóż są wysoce nierealistyczne.

W celu ich urealnienia do modelu strukturalnego czerwonego spągowca wprowadzono dyslokację rozdzielającą złoża (Fig. 1.1.17\_185). Pozwoliło to uzyskać uzasadnione strukturalnie bloki o odmiennych warunkach hydrodynamicznych, w których uzyskano realistycznie wyglądające kontury złóż uwzględniające różnicowanie GWC. W Bloku Wilków głębszą analizą należy objąć strefę przydyslokacyjną gdzie może nastąpić ucieczka zatłaczanego CO<sub>2</sub>.

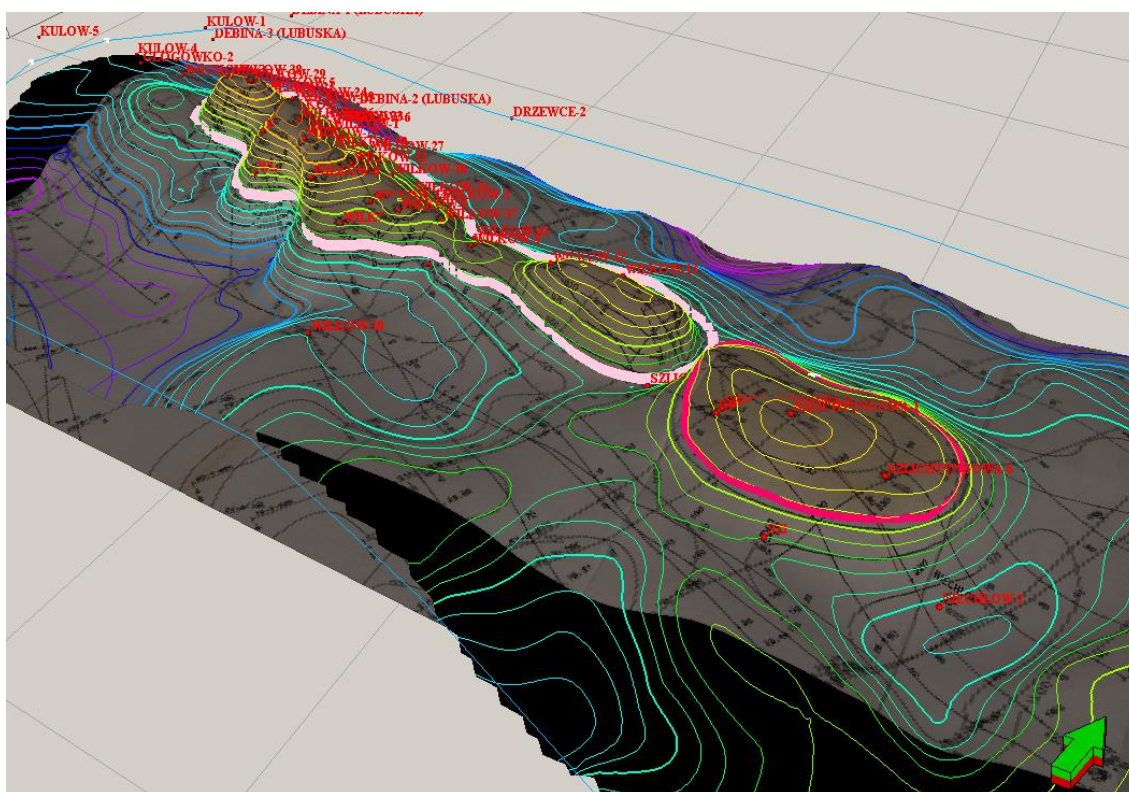
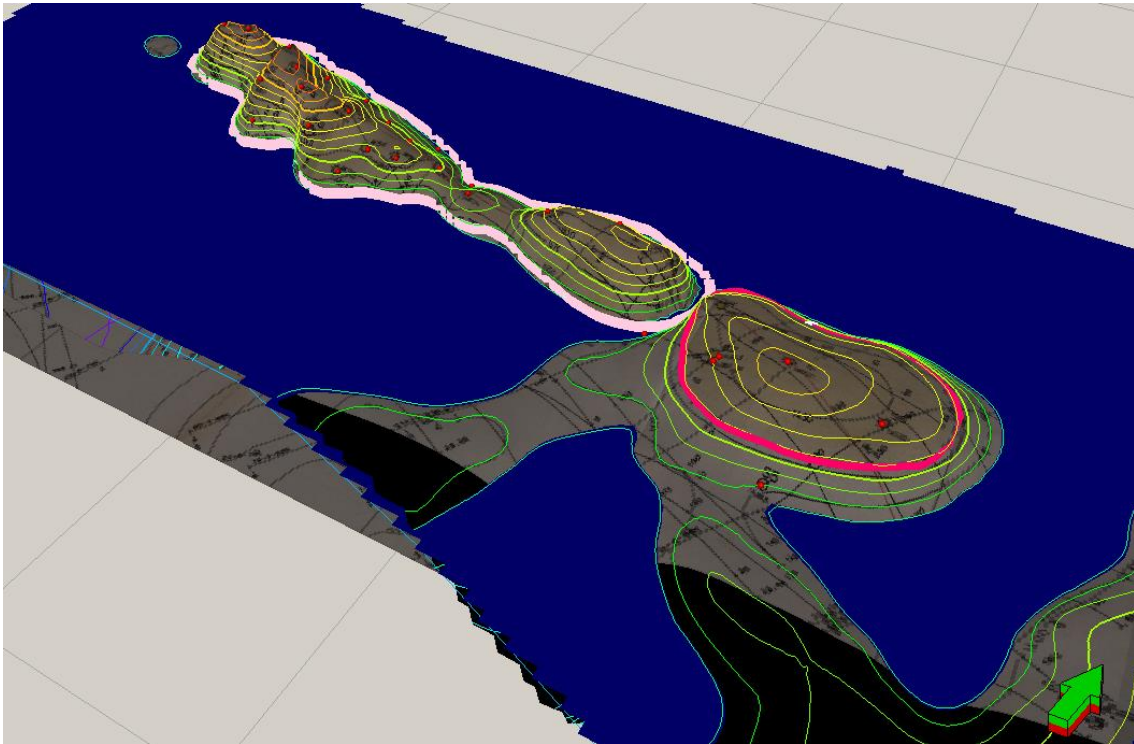
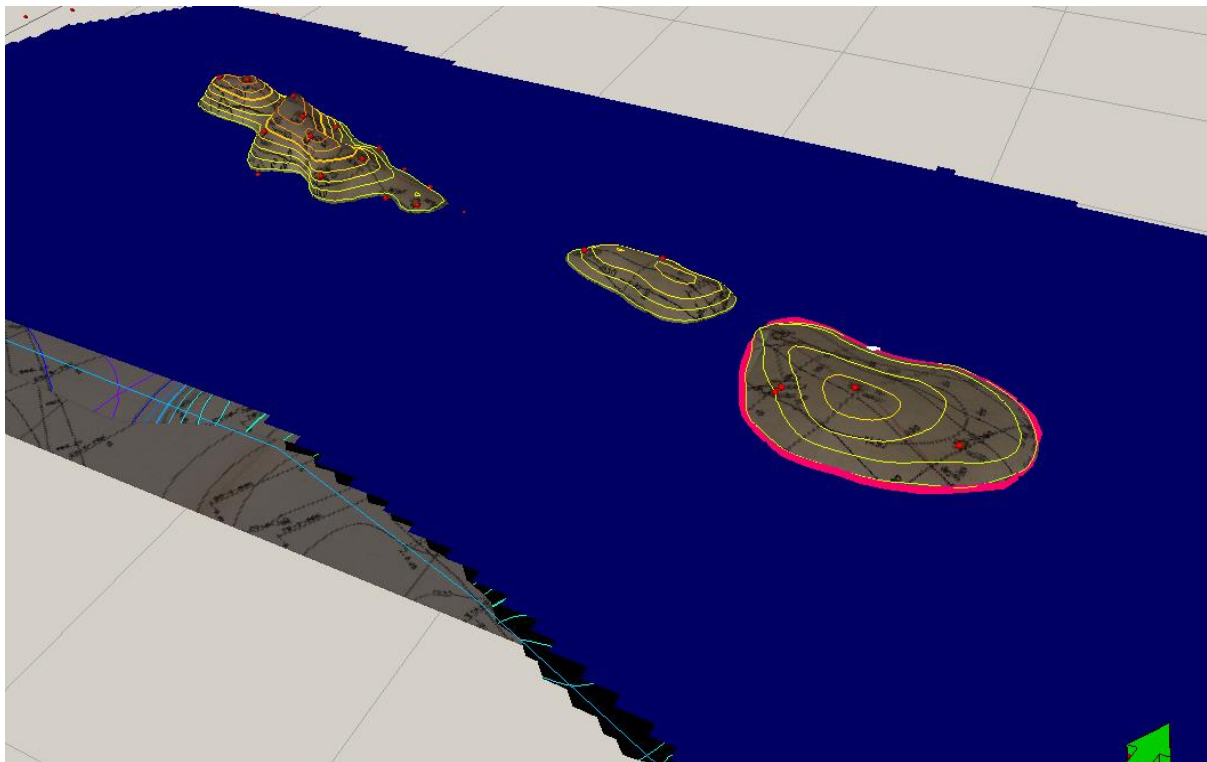


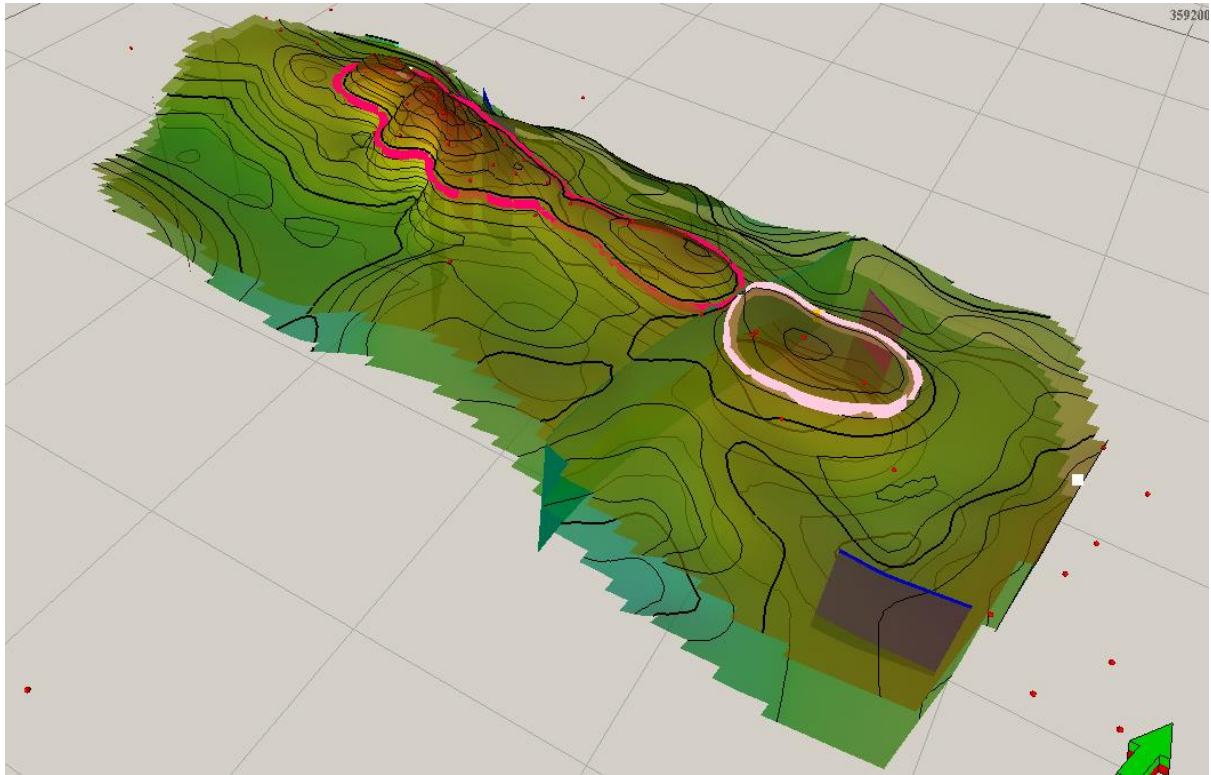
Fig. 1.1.17\_182 Ciągły model strukturalny struktur Wilkowa i Szlichtyngowej



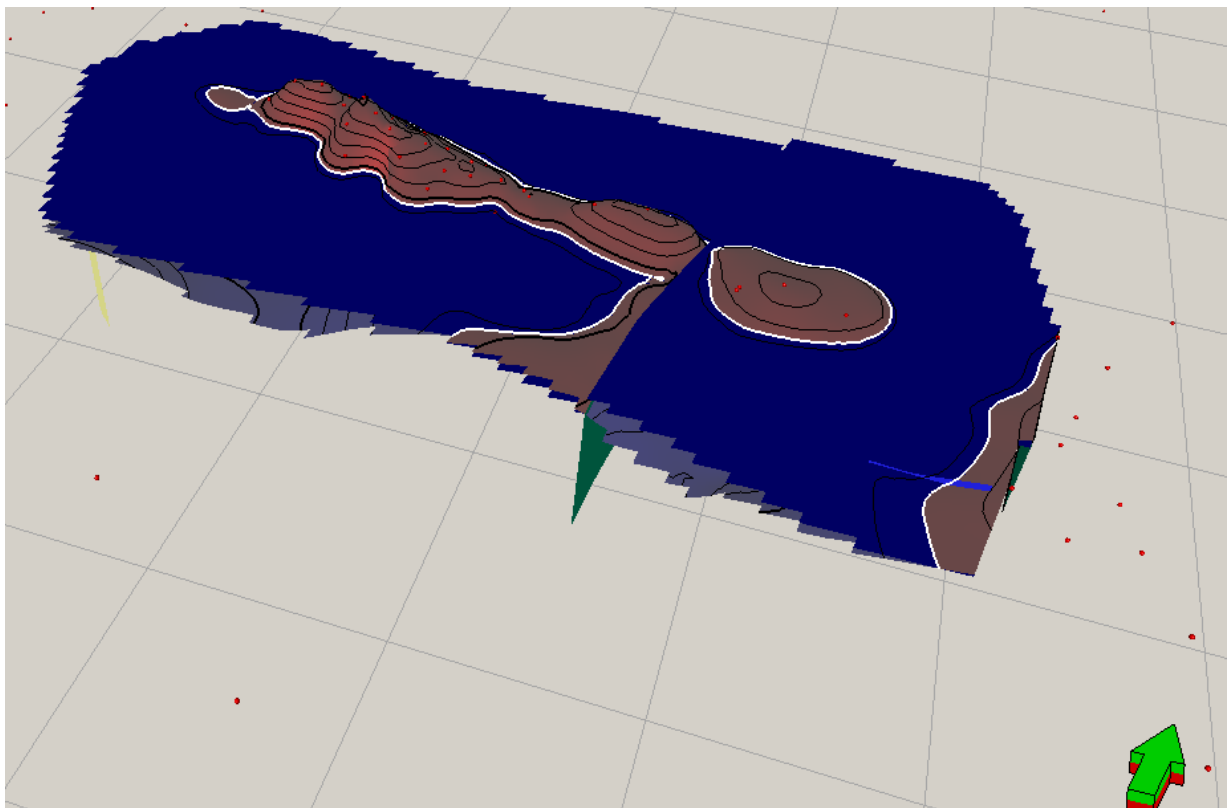
**Fig. 1.1.17\_183** Ciągły model strukturalny struktur Wilkowa i Szlichtyngowej – dystrybucja potencjalnych obszarów złożowych dla GWC -1509m



**Fig. 1.1.17\_184** Ciągły model strukturalny struktur Wilkowa i Szlichtyngowej – dystrybucja potencjalnych obszarów złożowych dla GWC -1472m



**Fig. 1.1.17\_185** Nieciągły model strukturalny struktur Wilkowa i Szlichtyngowej



**Fig. 1.1.17\_186** Nieciągły model strukturalny struktur Wilkowa i Szlichtyngowej – dystrybucja konturów złóż w blokach Wilkowa (GWC =-1509) i Szlichtyngowej (-1472m)



## **Podsumowanie**

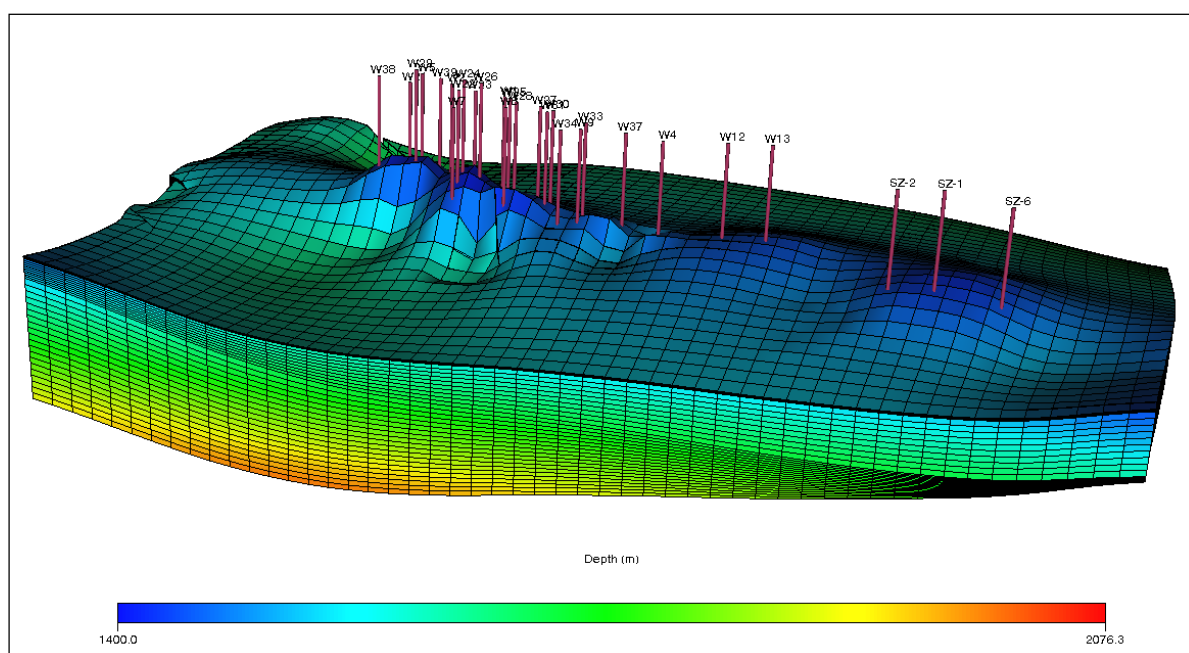
Niska jakość danych sejsmicznych, słaba jakościowo i nieliczna geofizyka wiertnicza szczątkowe dane na temat historii wydobywania utrudniają poprawne opracowanie modelu strukturalno-parametrycznego rejonu Wilków- Szlichtyngowa. Utrudnia to określenie charakteru łączności hydraulicznej między złożami. Ma to znaczenie bardzo praktyczne gdyż w przypadku braku wyraźnej bariery hydrodynamicznej między złożami mogłoby dochodzić do nieplanowanego przepływu zatłaczanego CO<sub>2</sub> do złoża Szlichtyngowa. Obserwowana sytuacja stanowi także ciekawy problem naukowy, bowiem omawiane obiekty zdają się doświadczać tzw. kompertmalizacji złóż uwarunkowanej ich ewolucją i tektoniką.

## Modelowanie dynamiczne w celu sprawdzenia szczelności bariery między złożami Wilków i Szlichtyngowa

### Wstępne wyniki modelowania

#### *Modelowanie dynamiczne*

Model statyczny został podzielony na 79050 bloków obliczeniowych (w tym 70220 aktywnych) o poziomych rozmiarach 300x300 [m] i zmiennym warstwowaniu pionowym, zależnym od rodzaju facji – **Fig. 1.1.17\_187**. Przepisane dla każdego bloku wartości porowatości i przepuszczalności efektywnej zostały uzupełnione o skład gazu, ciśnienia, siatkę udostępnienia, oraz charakterystykę wydobywania, i poddane symulacji w symulatorze Eclipse 2009.1.



**Fig. 1.1.17\_187** Model 3D złoża Wilków-Szlichtyngowa z zaznaczonymi „aktywnymi” otworami

#### *Sytuacja hydrodynamiczna złoża*

Przyjęte w modelowaniu granice hydrodynamiczne:

- górna;

strop czerwonego spągowca, gdzie nadkład cechsztyńskiego wapienia podstawowego z poziomem łupków miedzionośnych, oraz anhydrytowo-solnym kompleksem cyklotemu Werra stanowi doskonały ekran dla migracji płynów (granica nieprzepuszczalna)

- dolna;

poziom wody podścielającej na głębokości 1509 [m] (wspólny dla struktury Wilkowa i Szlichtyngowej), ustalony na podstawie wyników interpretacji krzywych geofizycznych z wierceń na obszarze Wilkowa, oraz na podstawie interpretacji przeprowadzonych prób złożowych,

(granica hydrodynamicznie otwarta – stanowi jedynie granicę faz w złożu),

- „boczne”;

determinowane zasięgiem, skonstruowanego wcześniej, modelu statycznego,

Złoże produkuje w gaz w warunkach wolumetrycznych, na co wskazują testy hydrodynamiczne, a pomimo tego pomiędzy złożami Wilków i Szlichtyngowa istnieje różnica interpretowanej głębokości zalegania konturu gaz-woda wynosząca 36.5 [m] (GWC na Szlichtyngowej na głębokości 1472.5 [m]).

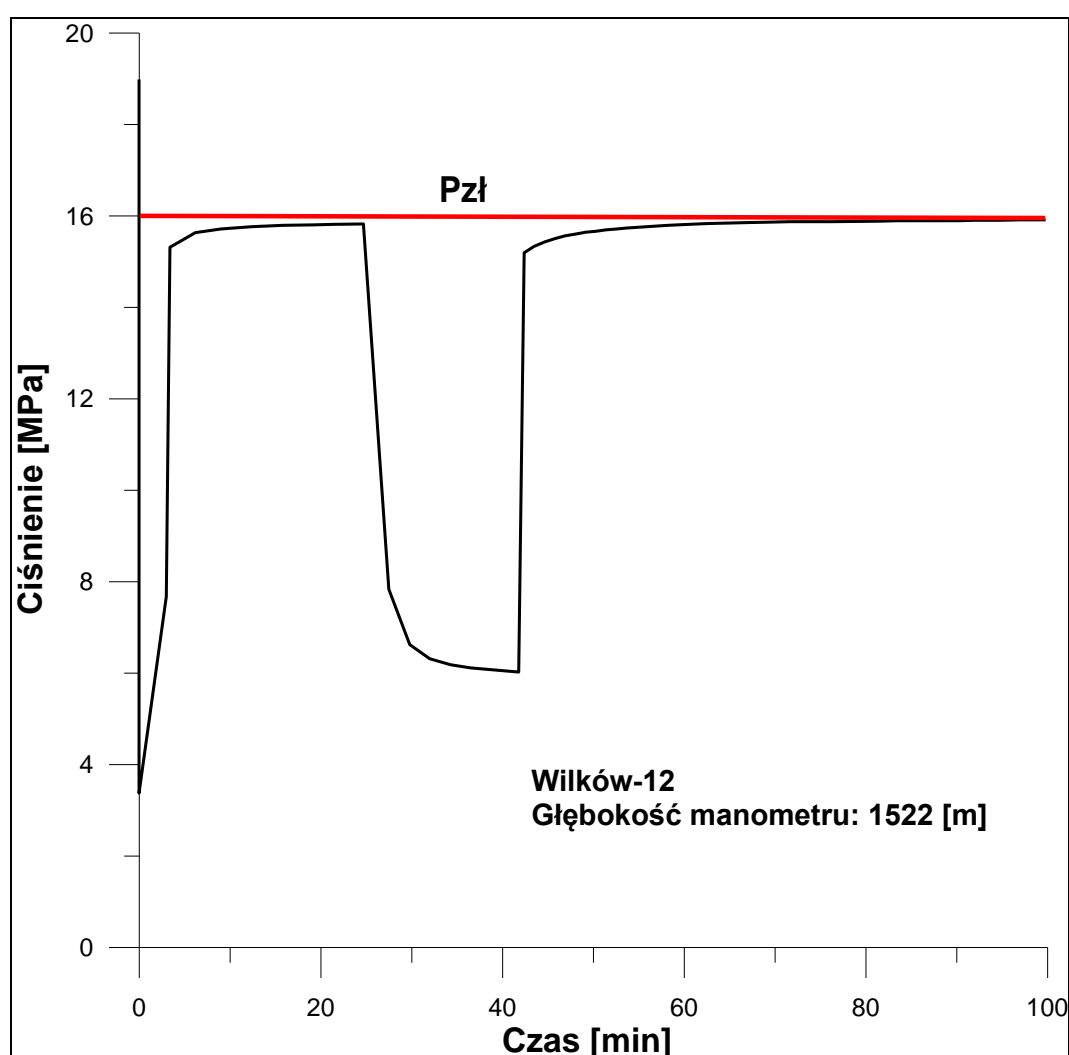


Fig. 1.1.17\_188 Przebieg rejestracji ciśnienia (dokumentacja geologiczna)

Interpretacja zapisu ciśnieniomierza wglębnego (metoda Hornera) w otworze Wilków-12 wskazuje na dobre własności zbiornikowe opróbowanego interwału. Wysoki wskaźnik efektu naskórka (skin effect = 17.35) potwierdza dużą niedoskonałość hydrodynamiczną strefy przyodwiertowej w stosunku do oddalonej, co spowodowane jest jej uszkodzeniem.

**Główne założenia symulacji:**

- zatłaczanie 1.8 [Mt] CO<sub>2</sub> rocznie do struktury Wilków-Szlichtyngowa,
- 4 otwory zatłaczające: Wilków-2, Wilków-9, Wilków-12, Szlichtyngowa-6,
- 24 otwory produkujące gaz ziemny:

**Tab.1.1.17\_52** Wykaz otworów biorących udział w symulacji wraz z ich dopuszczalnymi wydajnościami dobowymi

Nazwa otworu	Wydobycie [nm <sup>3</sup> /d]
Wilków-1	23040
Wilków-2	<b>Zatłaczanie</b>
Wilków-4	5760
Wilków-5	31680
Wilków-7	11520
Wilków-8	51840
Wilków-9	<b>Zatłaczanie</b>
Wilków-12	<b>Zatłaczanie</b>
Wilków-13	43200
Wilków-21	4320
Wilków-22	47520
Wilków-23	48960
Wilków-24	21600
Wilków-25	38880
Wilków-26	76320
Wilków-27	20160
Wilków-28	14400



Wilków-29	90720
Wilków-30	15840
Wilków-31	23040
Wilków-33	18720
Wilków-34	37440
Wilków-37	20160
Wilków-38	15840
Wilków-39	20160
Szlichtyngowa-1	54720
Szlichtyngowa-2	54720
Szlichtyngowa-6	<b>Zatłaczanie</b>

W trakcie ustalania ilości gazu produkowanego przez poszczególne otwory posłużono się obliczeniami z dokumentacji wynikowej, gdzie dopuszczalna produkcja gazu została określona przy założeniu spadku ciśnienia nie większego niż 5% (w niektórych przypadkach 10%). W sytuacji zatłaczania CO<sub>2</sub> spadek ciśnień w wyniku produkcji gazu będzie w pewnym stopniu rekompensowany przez dostarczoną do systemu energię rozprężającego się dwutlenku węgla. Redukcja potencjalnych wydajności została przeprowadzona z zamysłem ograniczenia „błędu” ilości produkowanego gazu spowodowanego brakiem pełnej historii wydobywania.

**Specyficzne założenia symulacji:**

- średnia temperatura złoża: 53 °C,

- pierwotne ciśnienie złożowe wyliczone z testu otworu Wilków-12 (16 [MPa] na głębokości 1509 [m] – ze względu na brak danych odnośnie aktualnych ciśnień w poszczególnych otworach i historii wydobywania),

- średni skład procentowy gazu:

CH<sub>4</sub> – 37.68

C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> – 1.01

C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> – 0.1

C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> – 0.04

C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> – 0.02

N<sub>2</sub> – 60.83

CO<sub>2</sub> – 0.04

He – 0.25 ( powyżej zawartości ekonomicznej)

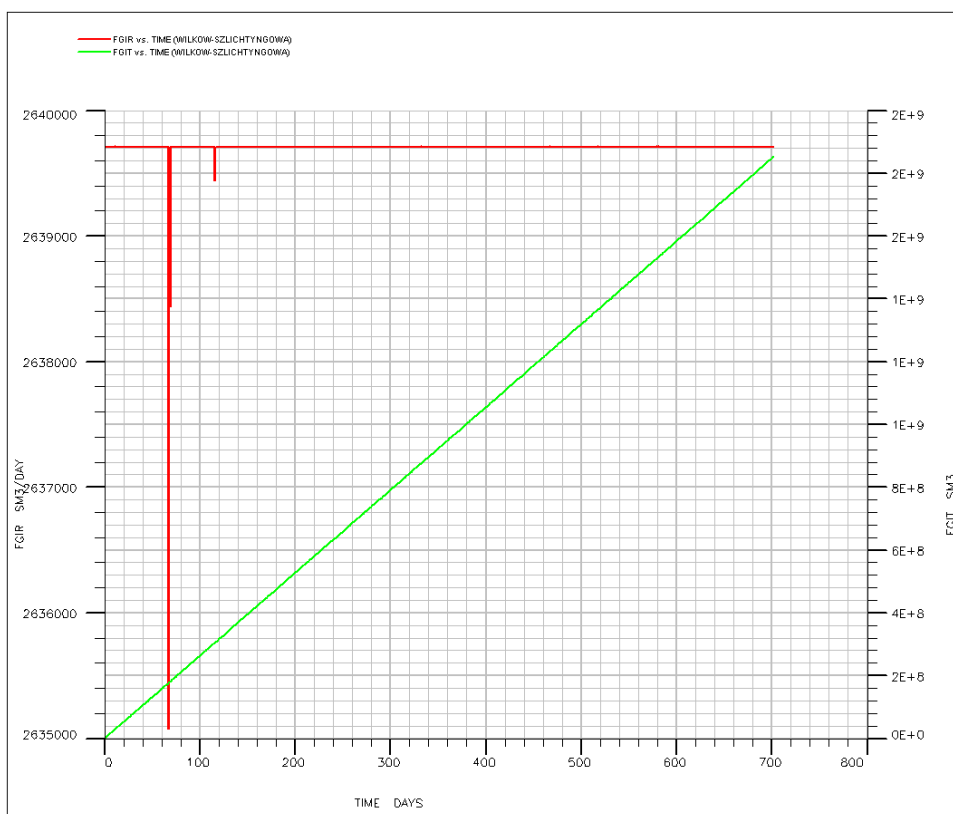
H<sub>2</sub> – 0.03

- przepuszczalność względna przyjęta poprzez analogię do sąsiadujących ze złożem Wilków-Szlichtyngowa złóż w piaskowcach czerwonego spągowca,
- $k_v / k_h = 0.1$ ,
- maksymalne ciśnienie zatłaczania: 18,5 MPa (w myśl „Best practice...”),
- kontakt hydrauliczny pomiędzy złożem Wilków i Szlichtyngowa.

Uwzględniając powyższe parametry przeprowadzono symulację zatłaczania CO<sub>2</sub>, który przy zadanych warunkach termobarycznych osiąga warunki nadkrytyczne i wypełnia przestrzeń porową piaskowców czerwonego spągowca przy gęstości 694 [kg/m<sup>3</sup>].

### ***Wyniki symulacji***

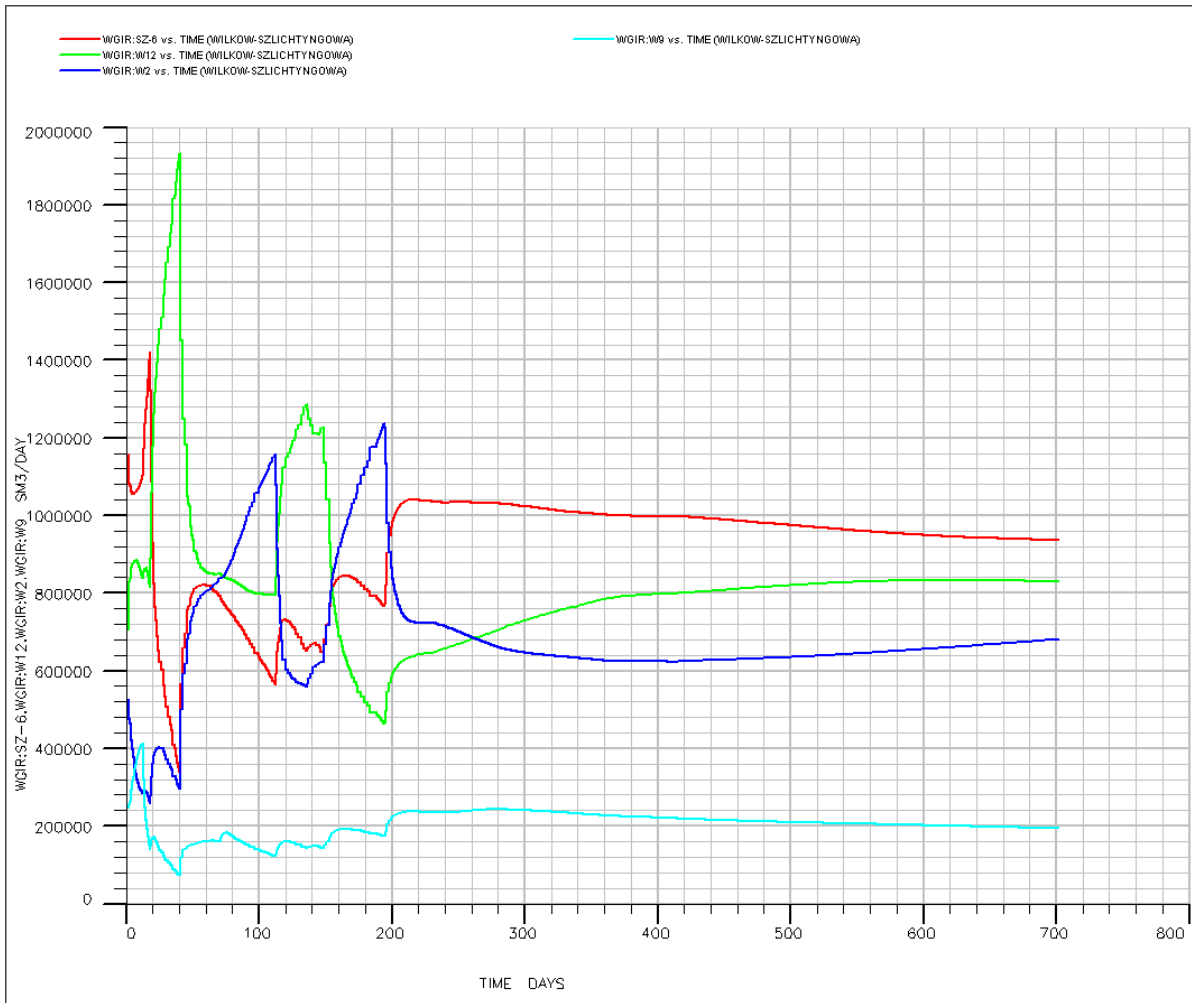
Ze względu na niepełne dane dotyczące ciśnień i wielkości wydobywania – przeprowadzono jedynie 2 letnią symulację zatłaczania-szczerpywania złoża.



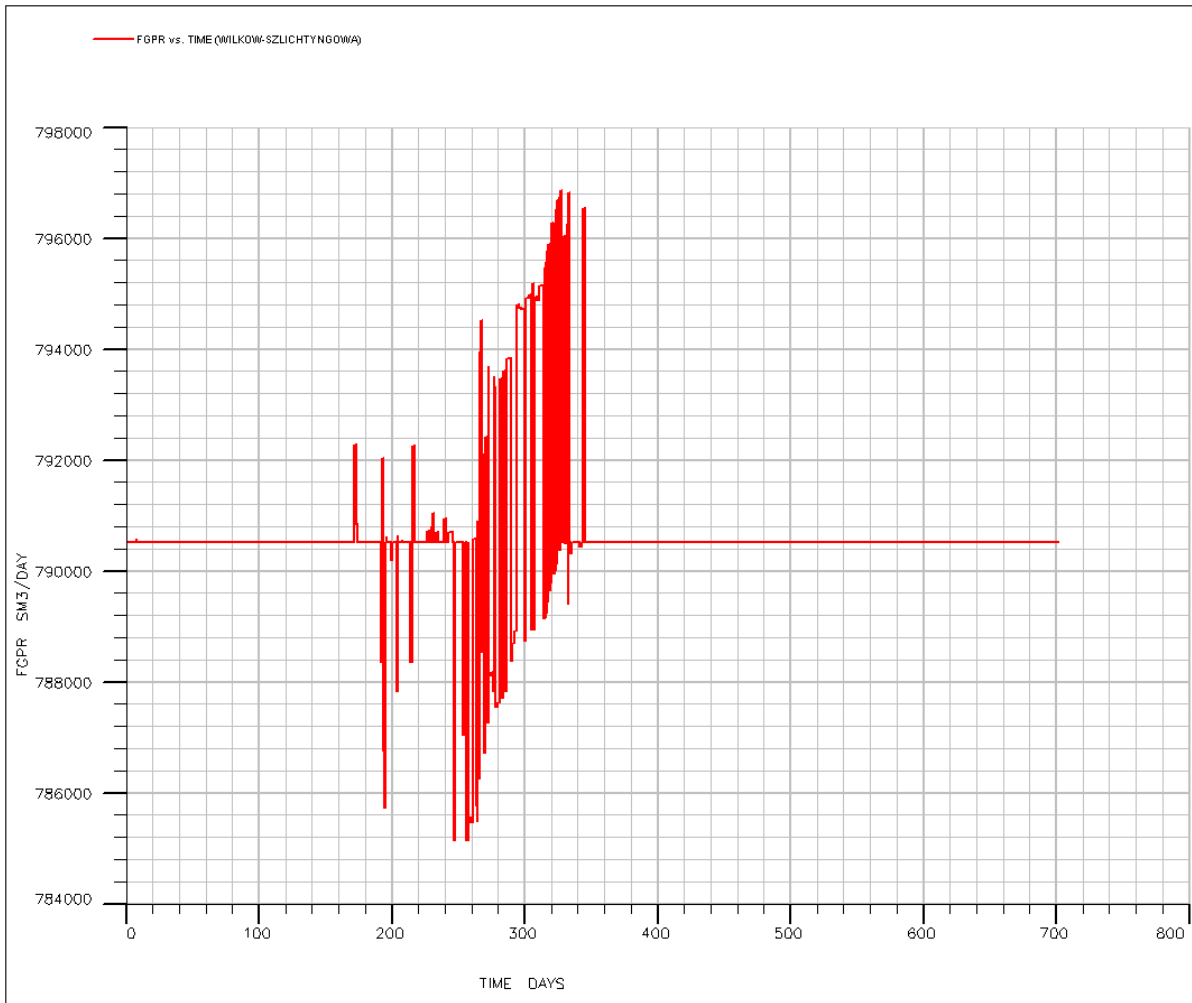
**Fig. 1.1.17\_189** Wykres ilości zatłoczonego CO<sub>2</sub> czterema otworami (FGIR- „dawka” zatłaczanego gazu, FGIT – całkowita ilość zatłoczonego gazu w czasie)

Założona „porcja” zatłaczanego CO<sub>2</sub> równa 2639710.336 [nm<sup>3</sup>/d] dla czterech otworów zatłaczających jest możliwa do osiągnięcia przez cały okres zatłaczania (Fig. 1.1.17\_189). Nie jest ona stabilna dla każdego otworu (rys poniżej), a jedynie sumarycznie spełnia założone zatłaczanie 1.8 [Mt] CO<sub>2</sub> rocznie.

Jednoczesne szczyptywanie złoża 24 otworami pozwala na zachowanie zadanych wielkości dobowego wydobycia w każdym otworze, dlatego przedstawione poniżej wyniki ujęto w sumaryczne wydobycie ze złoża Wilków-Szlichtyngowa. Okresowe skoki produkcji należy tutaj tłumaczyć zbyt rzadką siatką spajowania bloków obliczeniowych.



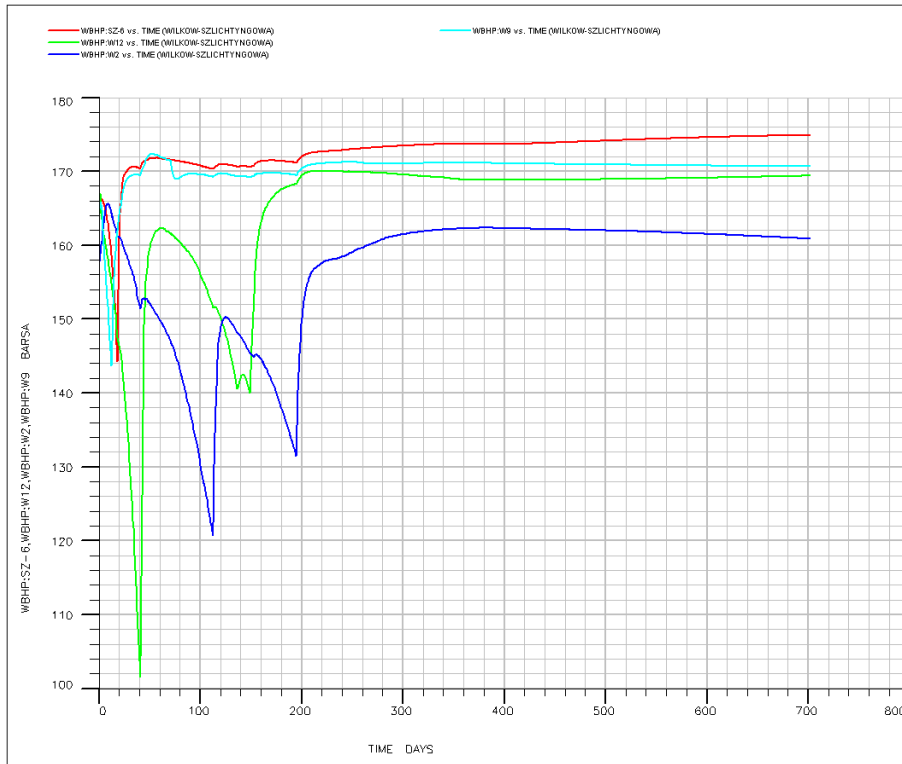
**Fig. 1.1.17\_190** Wykres zmian „porcji” zatlaczanego CO2 czasie (Wilków-2, Wilków-9, Wilków-12, Szlichtyngowa-6).



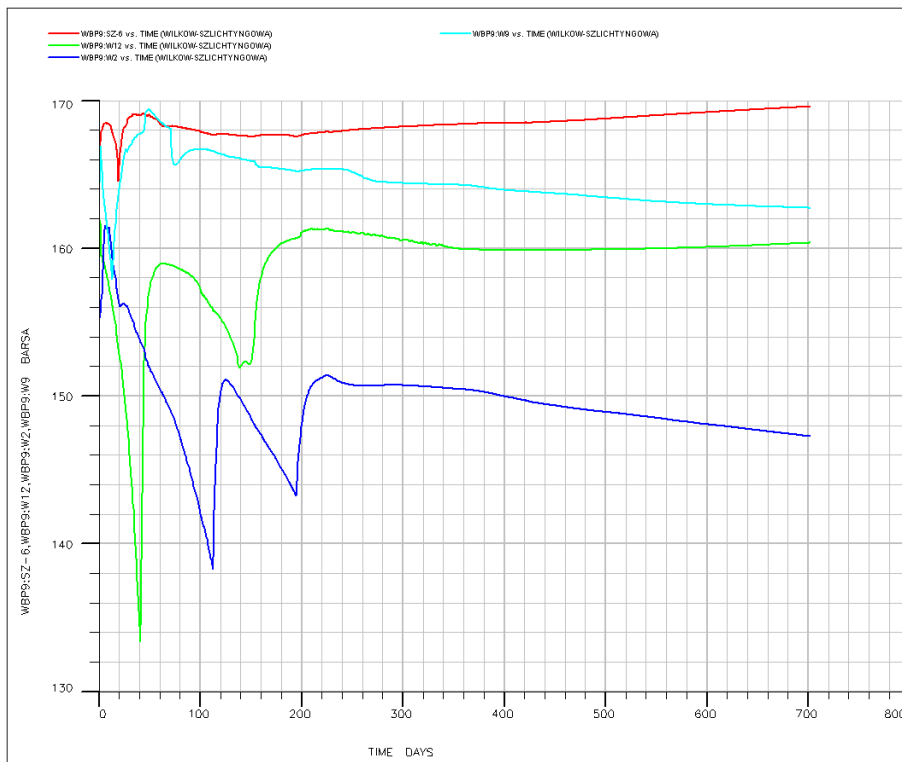
**Fig. 1.1.17\_191** Wykres zależności sumarycznego wydobywania gazu w czasie (suma otworów produkujących)

Krótkotrwałe zmiany i wahania pokazuje również wykres ciśnień dennych dynamicznych (poniżej). Zmiany ciśnień w bloku obliczeniowym oddalonym ok. 3km od otworu zatłaczającego wskazują na podobne zachowanie, co świadczy o zbliżonym charakterze hydrodynamicznym ośrodka na wspomnianej przestrzeni 3km.

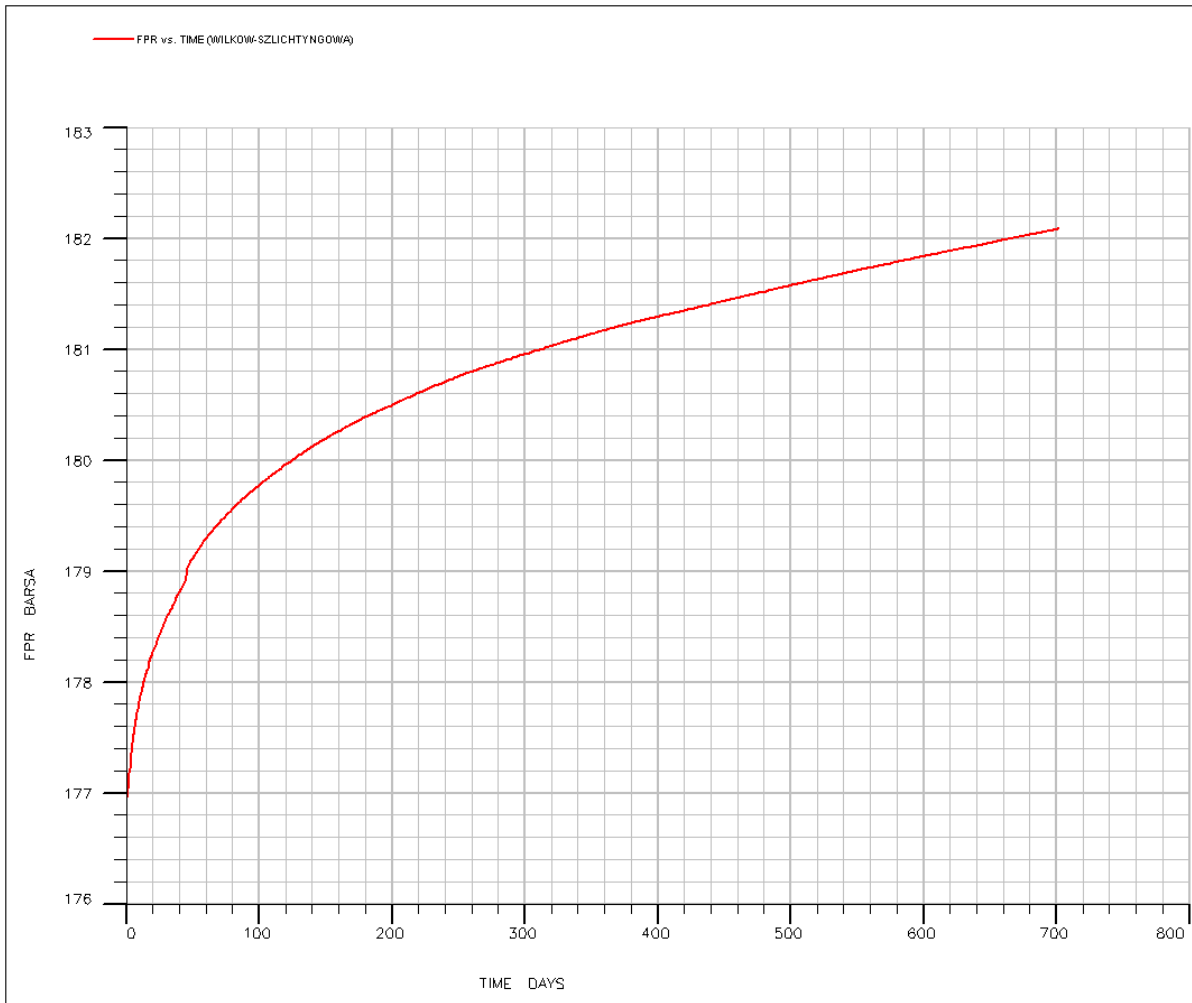
Zmiany ciśnienia szczelinowania w krótkim czasie zatłaczania nie osiągają założonej wartości maksymalnej, jednak w dalszych latach potencjalnego zatłaczania będą asymptotycznie rosły.



**Fig. 1.1.17\_192** Wykres zmian dennego ciśnienia dynamicznego w otworach zatłaczających CO<sub>2</sub>. (Wilków-2, Wilków-9, Wilków-12, Szlichtyngowa-6)

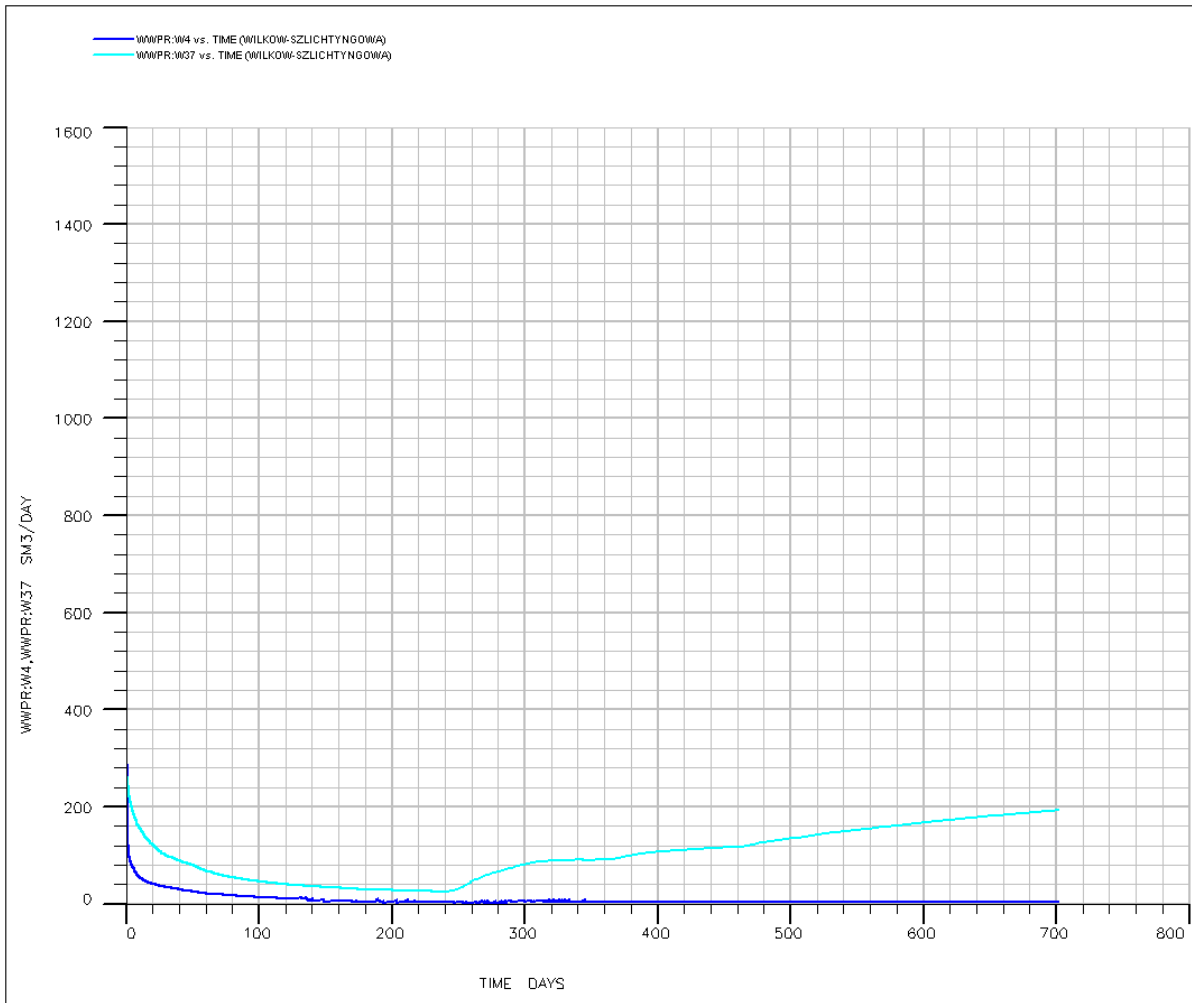


**Fig. 1.1.17\_193** Wykres zmian dennego ciśnienia dynamicznego w odległości 9 bloków obliczeniowych (ok. 3km) od otworów zatłaczających CO<sub>2</sub> (Wilków-2, Wilków-9, Wilków-12, Szlichtyngowa-6)



**Fig. 1.1.17\_194** Wykres zmian ciśnienia szczelinowania w czasie

Udostępnione do przepływu płynów interwały otworów zostały tak dobrane, aby nie powodować tworzenia się stożka wodnego przy otworze. Niemniej jednak dla dwóch otworów zlokalizowanych na „przebiegu” struktury Wilkowa (Wilków-4 i Wilków-37) doszło do produkcji wody złożowej wraz z gazem (**Fig. 1.1.17\_195**). Z kolei ograniczenie interwału udostępnienia (przy tak skonstruowanym modelu statycznym) powoduje czasami drastyczną redukcję ilości bloków aktywnych.



**Fig. 1.1.17\_195** Wykres zmian ilości produkowanej wody w czasie (Wilków-4 i Wilków-37)

Dodatkowe symulacje zatłaczania nadkrytycznego CO<sub>2</sub> otworem Wilków-12 i jednoczesnego szczywania otworem Szlichtyngowa-2 (przy zamknięci pozostałych otworów) sugerują, że pomiędzy złożami Wilków i Szlichtyngowa panuje zaburzony kontakt hydrauliczny. W ciągu 3-letniego czasu zatłaczania nie zauważono powiązania pomiędzy nadciśnieniem panującym w otworze Wilków-12, a obniżonym ciśnieniem w otworze Szlichtyngowa-2. Dopiero po tym okresie nastąpił wzrost ciśnienie w otworze czerpiącym gaz, co oznacza dopływ energii z rozchodzącego się strumienia CO<sub>2</sub> (Fig. 1.1.17\_196)

Istnienie nieciągłości stropu czerwonego spągowca potwierdza zapis sejsmiczny, co widoczne jest na przekroju 47-IV-91, pomiędzy krzyżówkami z przekrojami poprzecznymi 41a-IV-91 i 8-IX-77.



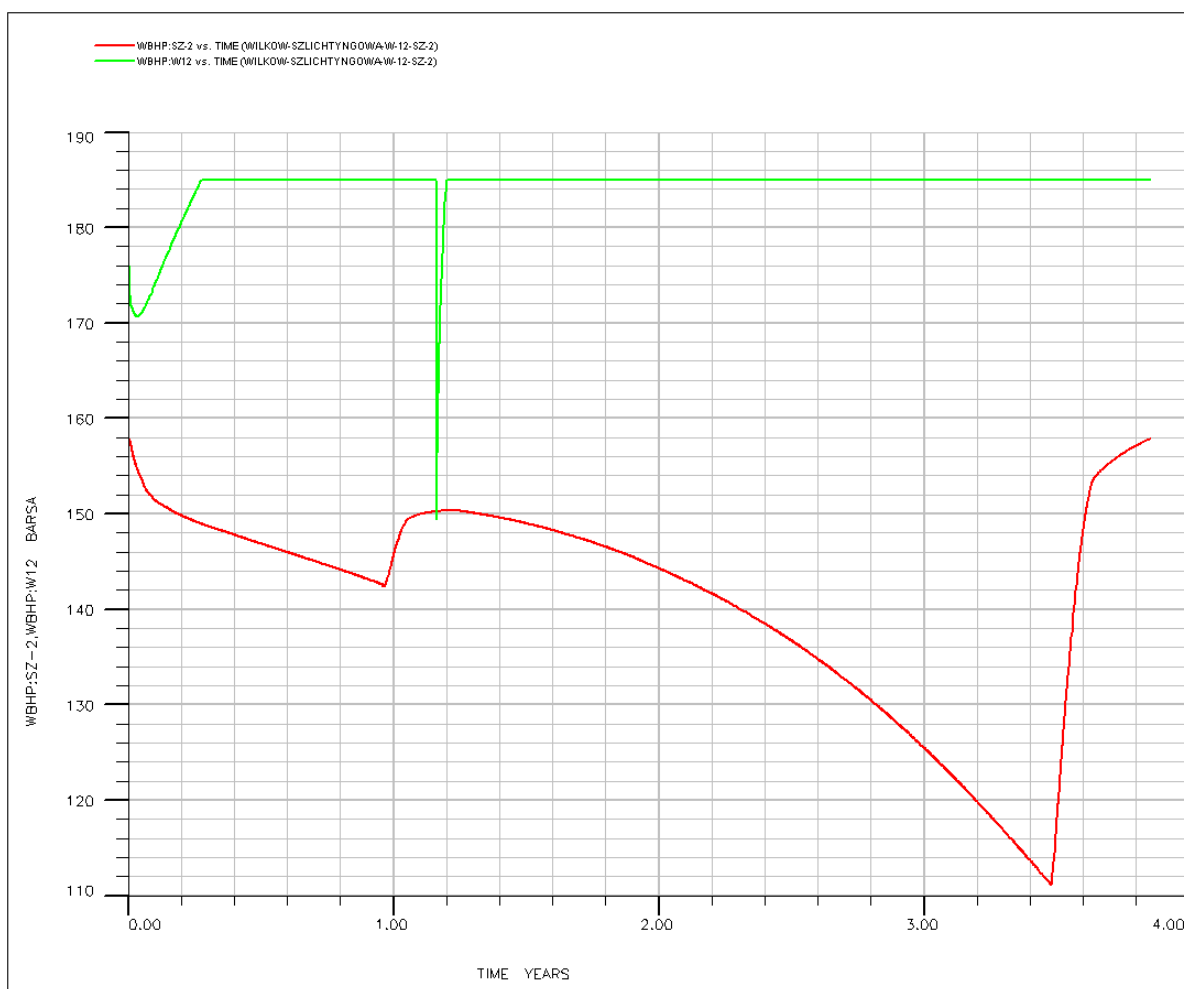


Fig. 1.1.17\_196 Wykres zmian dennego ciśnienia dynamicznego (Wilków-12, Szlichtyngowa-2)

## Wnioski

Przeprowadzone symulacje dynamiczne na skonstruowanym modelu statycznym i przy niepełnej ilości danych eksploatacyjnych i laboratoryjnych wymagają dalszych modelowań. Założona siatka bloków obliczeniowych wymaga zagęszczenia dla całego modelu, bądź lokalnie w strefach przyotworowych (aby zminimalizować czas symulacji). Obecny rozmiar bloków wielokrotnie zmusza do prowadzenia obliczeń pomiędzy dwoma sąsiednimi blokami, których centra reprezentują odpowiednio zatłaczania i szcerpywanie. Tym samym w wynikach pojawiają się harmoniczne wahania ciśnień i co za tym idzie zmienne wielkości zatłaczanego/szcerpanywanego płynu. Brak historii wydobywania nie pozwala na wiarygodną ocenę ilości czerpanego gazu, jednak założone wyższe ciśnienia złożowe (niż obecnie panujące) zapewniają realnie większą pojemność magazynową dla CO<sub>2</sub>.

## Ocena ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w strukturze złoża Nosówka (INiG)

(Jan Lubaś, Wiesław Szott, Marcin Rzepka, Marcin Kremieniewski, Zenobia Kątna, Łukasz Kut, Józef Such, Sławomir Szuflika, Bogdan Filar, Mariusz Miziołek, Wacława Piesik-Buś, Jadwiga Zamojcin, Dorota Piróg, Szczepan Filip)

Analiza ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> jest niezbędna dla zapewnienia bezpieczeństwa procesów globalnej redukcji antropogenicznej emisji dwutlenku węgla. Określenie ryzyka jest pierwszym etapem strategii zarządzania i pomiarów kontrolnych związanych z minimalizacją zagrożeń podziemnego składowania CO<sub>2</sub>.

W Dyrektywie Parlamentu Europejskiego dotyczącej geologicznego składowania CO<sub>2</sub> podkreślono potrzebę wykonywania zintegrowanej oceny ryzyka tak aby zminimalizować niebezpieczeństwo jego wycieku.

Wystąpienie zagrożenia dla zdrowia i środowiska jest możliwe w procesach wychwytywania CO<sub>2</sub>, transportu, zatłaczania i geologicznego składowania.

Wychwytywanie i sprężanie CO<sub>2</sub> są od dawna powszechnie stosowanymi technologiami w przemyśle otrzymywania wysokiej czystości dwutlenku węgla np. dla celów spożywczych czy też procesowych (spawanie, chłodnictwo, EOR). Występujące tutaj ryzyko jest uważane za możliwe do zaakceptowania zgodnie z obowiązującymi standardami. Przykładem są instalacje EOR i sieć rurociągów o globalnej długości ok. 3100 km przesyłające ok. 45 Mt CO<sub>2</sub>/rok (Damen *et al.*, 2006). Główne niebezpieczeństwo wynika tutaj z możliwości uszkodzenia rurociągu, jak wykazują statystyki jest ono mniejsze od ryzyka nieszczelności gazociągów (odpowiednio  $3.2 \times 10^{-4}$  wypadku/km/rok dla przesyłu CO<sub>2</sub> i  $8.2 \times 10^{-4}$  wypadku na km/rok dla gazu ziemnego). W przeciwieństwie do gazu ziemnego, który ulega szybkiej dyspersji w powietrzu, dwutlenek węgla może tworzyć niebezpieczne koncentracje w obniżeniach terenu. Modelowanie symulacyjne (Kruse & Tekeila, 1996) wykazało, że bezpieczna odległość od rurociągu przesyłającego 250 t ciekłego CO<sub>2</sub>/h, w której koncentracja CO<sub>2</sub> w ciągu 60 s nie przekroczy 5 % leży pomiędzy 600 a 150 m, w zależności od odległości pomiędzy układami zasuw odcinających.

Doświadczenia z przemysłu naftowego wskazują zatem, że ryzyko w przypadku działalności powierzchniowej i przyodwiertowej jest możliwe do określenia i kontroli czyli zarządzania jeśli stosuje się odpowiednie przepisy i procedury.

Znacznie bardziej złożone są problemy związane z ryzykiem geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w strukturach wglębnych co zostanie przedstawione w prezentowanej pracy. Analizie poddana zostanie struktura złożowa ropy naftowej Nosówka.

Należy wyjaśnić takie zagadnienia, które występując w postaci luk technologicznych mogą budzić największą wątpliwość i równocześnie stwarzać największe zagrożenia. Dotyczy to przede wszystkim analizy ryzyka nieszczelności struktury złożowej lecz również odwiertów ją penetrujących.

Szczegółowych badań laboratoryjnych wymaga kwestia wyjaśnienia trwałości kamienia cementowego w środowisku CO<sub>2</sub> zastosowanego na badanych strukturach jak również szczelności skał nadkładu złoża

Nosówka w środowisku kwaśnym Dotyczy to przede wszystkim zbadania wpływu CO<sub>2</sub> na zmianę ciśnienia progowego skał nadkładu.

Przy pomocy dostępnych narzędzi symulacyjnych należy również wykonać modelownie migracji CO<sub>2</sub> do skał nadkładu.

## Ryzyko związane z geologicznym składowaniem CO<sub>2</sub>

Ryzyko geologicznego składowania CO<sub>2</sub> można podzielić na pięć kategorii (Damen et al., 2006).

- przeciekanie CO<sub>2</sub>: migracja CO<sub>2</sub> na zewnątrz struktury składowania do innych formacji, z których może przedostawać się do atmosfery
- przeciekanie CH<sub>4</sub>: zatłaczanie CO<sub>2</sub> powodować może migrację CH<sub>4</sub> obecnego w złożach poddanych procesom sekwestracji do innych formacji, a następnie do atmosfery
- sejsmiczność indukowana: wyzwalanie mikro wstrząsów związane z zatłaczaniem CO<sub>2</sub>
- ruchy powierzchniowe ziemi: osiadanie lub podnoszenie powierzchni gruntu jako konsekwencja zmian ciśnienia związanego z zatłaczaniem CO<sub>2</sub>
- wypieranie solanki: przepływ solanki do innych formacji, również wypełnionych wodami słodkimi związane z zatłaczaniem CO<sub>2</sub> do otwartych poziomów zawodnionych.

W prezentowanej pracy przedstawione zostaną problemy związane szczególnie z pierwszą kategorią przecieku zatłaczanego CO<sub>2</sub> jako najbardziej istotną w przypadku rozpatrywanego złoża Nosówka

### **Analiza dostępnych danych (sejsmicznych, geofizycznych, hydrogeologicznych geologicznych, wiertniczych i laboratoryjnych)**

Złoże ropy naftowej Nosówka położone w brzeżnej strefie Karpat fliszowych ma charakter warstwowo-masywowy. Kolektorem jest kompleks skał węglanowych uszczelniony od stropu ilasto łupkowymi osadami badenu dolnego.

### **Dane wiertnicze**

Profile geologiczne nadkładu w poszczególnych odwiertach przedstawiają się następująco:

NOSÓWKA – 1, faktyczny profil odwiertu wg mgr inż. St. Gąsiora i mgr inż. B. Plezia:

0 - 27 m - czwartorzęd – gliny zapiaszczone

- 465 m – miocen Zatoki Rzeszowskiej – iłołupki szare, miękkie

- 3147 m – utwory nasunięcia karpackiego – kreda górna – piaskowce gruboziarniste (zlepieńcowo-żwirowe) oraz drobno-ziarniste przechodzące w łupki szaro – zielonkawe i szare, lekko zlustrowane, dość twarde, up. 45° – 95 °

- 3342 m – utwory nasunięcia Stebnickiego – anhydryty szare, zailone, dość twarde z laminami, wkładkami i żyłkami alabastru białego, przewarstwionego anhydrytami krystalicznymi, upad 45 °
- **3390 m - autochtoniczny miocen – badenian dolny – łupki ilaste, szare mikowe, niezbyt twarde o równoległej oddzielności i nierównym przełomie, upad 15 °**
- 3632 m - karbon dolny – wizen – wapień beżowe, skaliste, twarde, zbite (pokruszone) z białym kalcytem, o wieku wizeńskim wapieni wskazują otwornice różnych rodzajów
- 3807 m – prekambryt – łowce zielone, wiśniowe twarde, laminowane łupkami szaro-brunatnymi, pokruszone zmięte, z wtrąceniami dość znacznej ilości kalcytu, upad 30 ° – 85°.

Przebieg rdzeniowania:

rdzenie pobrano w głębokościach: 1000 - 1013 m, 1200 – 1202 m, 1436 – 1438m, 1565 - 1568 m, 1805 – 1808 m, 2120 – 2124 m, 2311 – 2314 m, 2680 - 2683 m, 2916 - 2918m, 3113 – 3116 m, 3214 – 3217 m, 3304 – 3308 m, **3374 – 3377 m**, 3435 – 3437 m, 3503 – 3506 m, 3651 – 3653 m, 3702 – 3705 m, 3748 – 3751 m, 3803 – 3806 m.

(**wytluszczono** interwał skał uszczelniających).

NOSÓWKA – 2, faktyczny profil odwiertu wg mgr. inż. St. Gąsiora

0 - 21 m czwartorzęd – glina zapiaszczona

- 540 m miocen Zatoki Rzeszowskiej – iłołupki szare, przewarstwione i laminowane piaskowcami jasnoszarymi zailonymi o równoległej oddzielności i nierównym przełomie, upad 2-3 °
- 2837 m warstwy nasunięcia karpackiego – kreda górna – łupki szare, niezbyt twarde, zlustrowane, zmięte, przewarstwione wapieniem kremowo-szarym, zapiaszczonym oraz piaskowce szare, dr. ziarniste, lekko zailone, upad 4 - 45°
- 3260 m warstwy nasunięcia stebnickiego – baden środkowy – łupki ilaste, anhydryty szare, ciemnoszare, zailone, dość twarde, wkładki soli przezroczystej, upad 10°
- **3315 m autochtoniczny miocen – baden dolny – warstwy baranowskie – łupki ilaste, szare, lekko zielonkawe, dość miękkie, sporadycznie kryształki pirytu, upad 15 °**
- 3421 m karbon dolny – wizen – wapień beżowe o odcieniu jaśniejszym i ciemniejszym, nieliczne spękania wypełnione kalcytem oraz osadem marglistym, wytrącenia okruchów krzemieni czekoladowych, bardzo twardych, zbitych, na spękaniach ślady ropy
- 3438 m ordowik – łupki szare, lekko zielonkawe, dość twarde, up. 30°

Przebieg rdzeniowania:

rdzenie pobrano w głębokościach :

520 - 526 m, 1086 – 1088 m, 1560 – 1566 m, 2078 – 2082m, 2544 – 2547 m, 3027 – 3029 m, 3136 – 3138 m, 3248 – 3251 m, **3270 - 3274 m, 3276 – 3285 m, 3290 - 3299 m, 3303 – 3309 m, 3312 – 3320 m**, 3320 – 3328 m, 3329 – 3335 m, 3355 – 3361 m, 3363 – 3365 m, 3365 - 3374 m, 3374 – 3378 m, 3378 – 3384m, 3390 – 3399 m, 3399 – 3408 m, 3408 – 3415 m, 3415 – 3422 m, 3422 – 3430 m, 3430 – 3438 m.

(**wytluszczone** interwał skał uszczelniających).

NOSÓWKA - 4 faktyczny profil odwiertu wg mgr inż. Z. Borysa, mgr inż. G. Świętnicka, mgr inż. K. Zychowicz

0 - 25 m - czwartorzęd – gliny zapiaszczone

- 520 m – miocen Zatoki Rzeszowskiej – Baden górny - iłołupek

- 3170 m – utwory nasunięcia karpackiego – w-wy inoceramowe - kreda górna – piaskowce różnoziarniste ze strzałką kalcytową oraz łupki szaro – zielonkawe, up. 45 – 80°

- 3540 m – warstwy nasunięcia stebnickiego – baden środkowy - anhydryty ciemnoszare, skryto krystaliczne z wkładkami i przewarstwieniami białego anhydrytu krystalicznego oraz łupki i iłowce ciemnoszare mniej lub bardziej zapiaszczone, upad 10 - 45 °

- **3600 m - autochtoniczne utwory miocen – baden dolny – iłowce i łupki ciemnoszare**

- 3645 m - karbon dolny – wizen – wapienie beżowe, spękanne i skawernowane. Spękania wypełnione osadem marglistym i kalcytem,

-3733 m – ordowik – iłowce i łupki szare, up. 30°.

Przebieg rdzeniowania:

rdzenie pobrano w głębokościach:

461 - 466 m, 955 – 959 m, 1458 – 1462 m, 1931 – 1934m, 2517 – 2520 m, 3001 – 3005 m, 3176 – 3180 m, 3278 – 3282,5 m, 3365 – 3369 m, 3387 – 3390 m, 3391 – 3394 m, 3402 – 3405 m, 3423 – 3425 m, 3455 – 3458 m, 3464 – 3467 m, 3494 – 3497 m, 3505 – 3508 m, 3520 – 3523 m, 3539 – 3541, 5 m, **3585 – 3591 m**, 3618 – 3627 m, 3627 – 3634 m, 3638 – 3644, 5 3677 – 3682 m, 3689 – 3691 m, 3721 – 3724 m,

(**wytluszczone** interwał skał uszczelniających).

NOSÓWKA - 5 faktyczny profil odwiertu wg. mgr inż. Z. Borysa, mgr inż. G. Świętnicka, mgr inż. K. Zychowicz

0 - 25 m - czwartorzęd – gliny, żwiry, piaski

- 435 m – miocen Zatoki Rzeszowskiej – łupki ilaste z wkładkami piaskowców

- 3050 m – w-wy inoceramowe - kreda górna – łupki szarozielone z wkładkami piaskowców

- 3295 m – warstwy nasunięcia stebnickiego – baden środkowy – anhydryty szare, skryto krystaliczne, mniej lub więcej zailone z wkładkami anhydrytów białych, krystalicznych oraz piaskowców i łupków szarych
- **3380 m - autochtoniczne utwory miocen – baden dolny – łupki ilaste, szare, mikowe, z wkładkami piaskowców drobno ziarnistych i margli dolomitycznych, upad 10 – 15°**
- 3570 m - karbon dolny – wizen – wapienie dolomityczne, beżowe i szare, spękane, spękania wyścielone substancją ilasto marglistą i kalcytem,
- 3604 m – ordowik – iłowce szaro – zielone i ciemno-szare, mułowiec, up. 30 – 40 °.

Przebieg rdzeniowania:

rdzenie pobrano w głębokościach:

3177 – 3181 m, **3348 – 3350 m, 3354 – 3361 m, 3361 - 3370 m**, 3383 – 3392 m, 3392 – 3400m, 3402 – 3410 m, 3411 – 3420 m, 3421 – 3430 m, 3432 – 3436m, 3442 – 3451 m, 3451 – 3460 m, 3460 – 3469 m, 3469 – 3478 m, 3488 – 3497m, 3497 – 3506 m, 3506 – 3515 m, 3515 – 3524 m, 3524 – 3529 m, 3529 – 3535 m, 3535 – 3541 m, 3541 0- 3550 m, 3550 – 3559 m, 3559 – 3568 m, 3568 – 3577 m, 3577 – 3586 m, 3586 – 3595 m, 3595 – 3604 m.

(**wytluszczono** interwał skał uszczelniających).

NOSÓWKA - 7 faktyczny profil odwiertu wg. inż. Czesława Fika

0 - 20 m - czwartorzęd – gliny, iły

- 405 m – miocen Zatoki Rzeszowskiej – łupki szare i popielato – szare, laminowane mułowcami i piaskami szarymi. Większe miąższości tych piaskowców wg karotażu występują w głęb. 85 – 150 m, 215 – 250 m, 290-335 m
- 2305 m – w-wy nasunięcia karpackiego /warstwy inoceramowe/ łupki szare, szaro-zielone z wtrąceniami łupków czerwonych w głębokości 650 – 730 m, brunatno – szarych w głębokości 1030 – 1130 m, widocznych w próbkach okrucowych z wkładkami i przewarstwieniami piaskowców szarych, jasno szarych drobno i średnioziarnistych wapnistych niezbyt zwięzłych niekiedy zailonych a czasami marglistych ze strzałką kalcytową. Na podstawie karotażu większe pakiety piaskowców występują w głęb. 405 – 600 m, 830 -855 m, 1650 – 1700 m, 1790 – 1885 m.
- 2402 m – warstwy nasunięcia stebnickiego – baden środkowy – seria ilasto łupkowa o stosunkowo słabym zapiaszczeniu zawierają drobne laminy i wkładki piaskowców
- 3240 m - autochtoniczne utwory miocen – baden dolny – łupki i mułowce szare o odcieniu zielonkawym na ogół wapniste, mikowe, z cienkimi i nielicznymi wkładkami drobno i średnioziarnistych piaskowców jasnoszarych przeważnie słabo spojonych substancją ilasto-wapnistą
- 3409 m - miocen dolny, utwory trzeciorzędowe – łupki szaro – zielonkawe /plamiste/ i czerwono-ceglaste ze śladami piaskowców czerwonych

**-3505 m – miocen dolny, utwory trzeciorzędowe – łupki zielone – mułowcowate z przewarstwieniami piaskowców zielonych i pstrych zlepieńców – łupkowo – piaskowcowych z okruchami wapienia jasnego miękkiego**

- 3711 m – karbon dolny – wizen, facja wapienia węglowego – wapień krystaliczny jasno – beżowe, kremowo – szare niekiedy z odcieniem różowym i brązowym, zbite, twarde, często zdolomityzowane z dość licznie rozrzuconą strzałką kalcytową i rzadkimi wtrąceniami ciemno – brązowych krzemieni. Sporadycznie spotyka się przewarstwienia wapieni dolomitycznych i dolomitów, a także wkładki szarych i ciemno – szarych iłowców i mułowców. Całość jest silnie skawernowana i spękana. Szczeliny zabliźnione są kalcytem lub jakby zlustrowaną szarą substancją ilastą o odcieniu zielonkawym

- 3720 m - karbon dolny – turnej – seria dolomityczno – wapienno – mułowcowa – piaskowcowa - beżowo szara i ciemna, z przewarstwieniami i wkładkami iłowców i łupków szaro – zielonych i jakby pstrych z laminami łupków czarnych

- 3745 m - ordowik – łupki, iłowce szare i szaro – zielonkawe ze sporadycznymi i ciemno – szarymi mułowcami.

Przebieg rdzeniowania:

rdzenie pobrano w głębokościach:

2542 – 2544 m, 2637 – 2640 m, 2843 – 2846 m, 3114 – 3117 m, 3141 – 3144 m, **3325 – 3328 m**, 3525 – 3528 m, 3537 – 3545 m, 3554 – 3563 m, 3570 – 3578 m, 3652 – 3652 – 3654 m, 3668 – 3670 m, 3692 – 3696 m, 3715 – 3718 m

(**wytluszczone** interwał skał uszczelniających).

### **Dane geologiczne**

W budowie geologicznej rejonu występowania złoża można wyróżnić pięć zasadniczych elementów strukturalnych:

a) platformowe utwory podłoża miocenu autochtonicznego

b) miocen autochtoniczny

c) jednostka stebnicka

d) Karpaty fliszowe

e) transgresywne osady miocenu zatoki rzeszowskiej

Utwory karbonu dolnego występujące w rejonie Nosówki i obszarach sąsiednich charakteryzują się trójczłonowym podziałem. Najstarszą część (turnej) buduje kompleks węglanowo - klastyczny "A", środkową - kompleks węglanowy "B" (wizen), najmłodszą - kompleks terygeniczny "C" (kulm).



W obrębie złoża nie występuje kompleks "C", natomiast węglanowo-klastyczne utwory turneju o miąższości 9 m występują jedynie w odwiercie Nosówka-7. Utwory kompleksu węglanowego "B" stanowiące skałę zbiornikową, wykazują miąższość od 45 do 206 m w poszczególnych odwiertach.

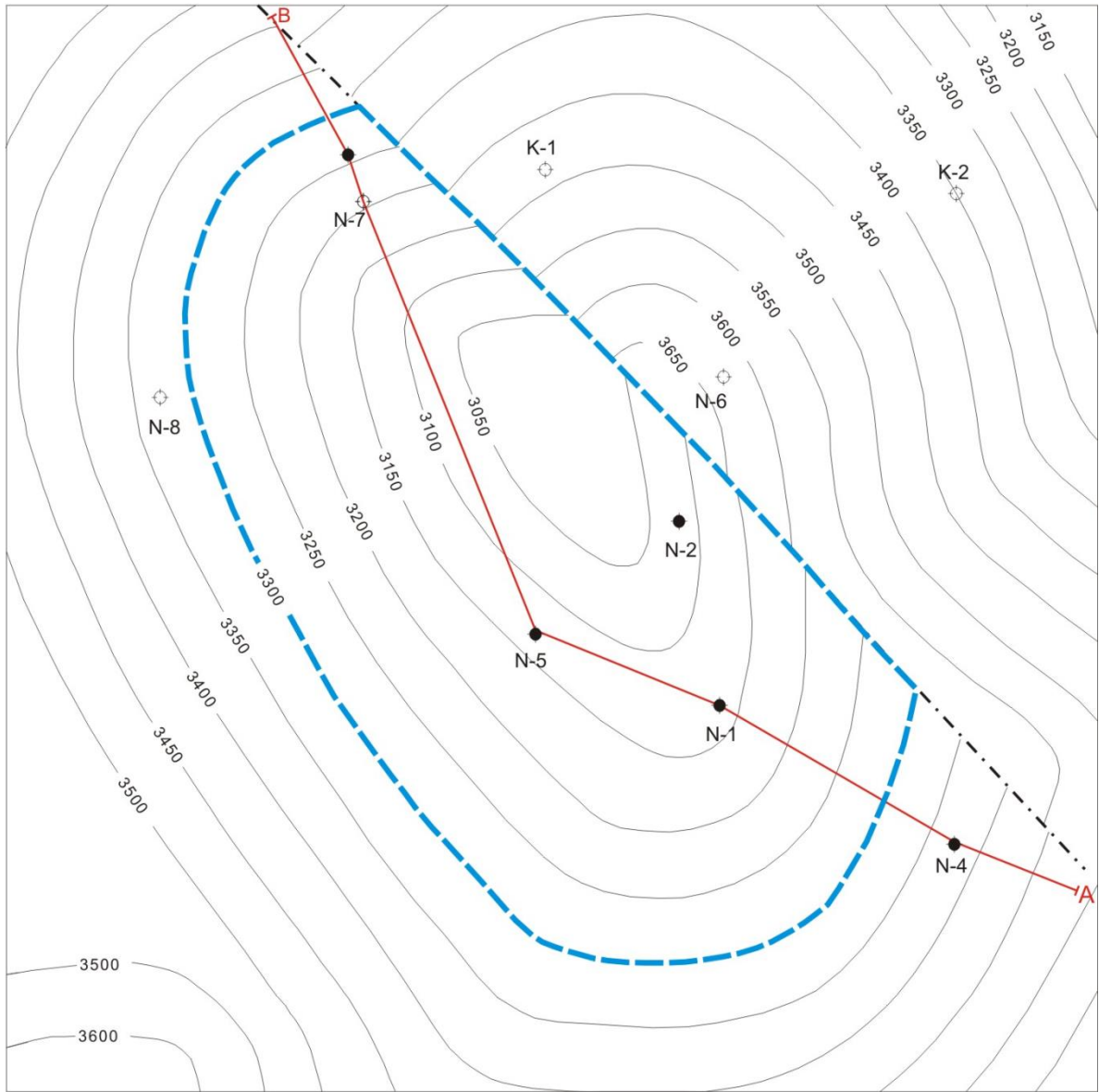
Złoże Nosówka mające charakter warstwowo – masywowy, od stropu uszczelnione jest ilasto-łupkowymi osadami badenu dolnego, a od spągu zasięg jego wyznacza morfologia podścielających go ilastych utworów ordowiku.

Brak przyptywów wód złożowych w czasie wykonywania testów otworowych po odwierceniu otworów wiertniczych nie pozwolił na jednoznaczne określenie stosunków wodnych w złożu w czasie sporządzania pierwotnej dokumentacji geologicznej złoża.

Wody złożowe występujące w utworach karbońskich obszarów sąsiednich (odwierty Zagórzycze-1, Trzciana-8) należą do typu wód chlorkowo - sodowo - wapniowych i są charakterystyczne dla złóż ropnych na Przedgórzu Karpat. Mineralizacja tych solanek wynosi od 83 do 119 g/l.

### **Dane sejsmiczne**

W opracowaniu INiG (Chiquet & Broseta, 2005) korzystając z interpretacji zdjęcia sejsmicznego 3D wykonanego przez Geofizykę Kraków sp. z o.o, oraz profili stratygraficznych dziesięciu otworów wiertniczych zlokalizowanych na przyległym obszarze przygotowano model strukturalny poziomu zbiornikowego w utworach węglanowych wizeny. Jako górne ograniczenie modelu przyjęto powierzchnię stropu utworów węglanowych karbonu dolnego. Powierzchnia ta w dość istotny sposób odbiega od mapy strukturalnej utworów wizeny jaka została wykreślona w oparciu o dane otworowe, przed realizacją zdjęcia 3D (**Fig. 1.1.17\_197**). W ramach budowy modelu strukturalnego skonstruowano 3 powierzchnie strukturalne, tj. strop utworów węglanowych wizeny (**Fig. 1.1.17\_198**), strop utworów ordowiku oraz strop utworów prekambryjskich. Mapa strukturalna stropu utworów wizeny (poziom zbiornikowy złoża Nosówka) powstała poprzez integrację wyników interpretacji strukturalnej danych sejsmiki 3D oraz danych stratygraficznych z 10 otworów wiertniczych zlokalizowanych na obszarze konstruowanego modelu statycznego. W przypadku powierzchni strukturalnych ordowiku i prekambryjskich, których nie kartowano w ramach interpretacji zdjęcia sejsmicznego, wykorzystano następujące dane: przebieg powierzchni dyslokacyjnych (analogiczny jak dla wizeny), głębokości zalegania tych poziomów stratygraficznych w otworach wiertniczych, regionalne mapy strukturalne tych wydzieleni sporządzone w 2009 roku, w ramach innych opracowań Zakładu Geologii i Geochemii, INiG.



**Fig. 1.1.17\_197** Szkic strukturalny stropu roponośnych utworów węglanowych wizenu złoża Nosówka wg PGNiG Oddział Sanok

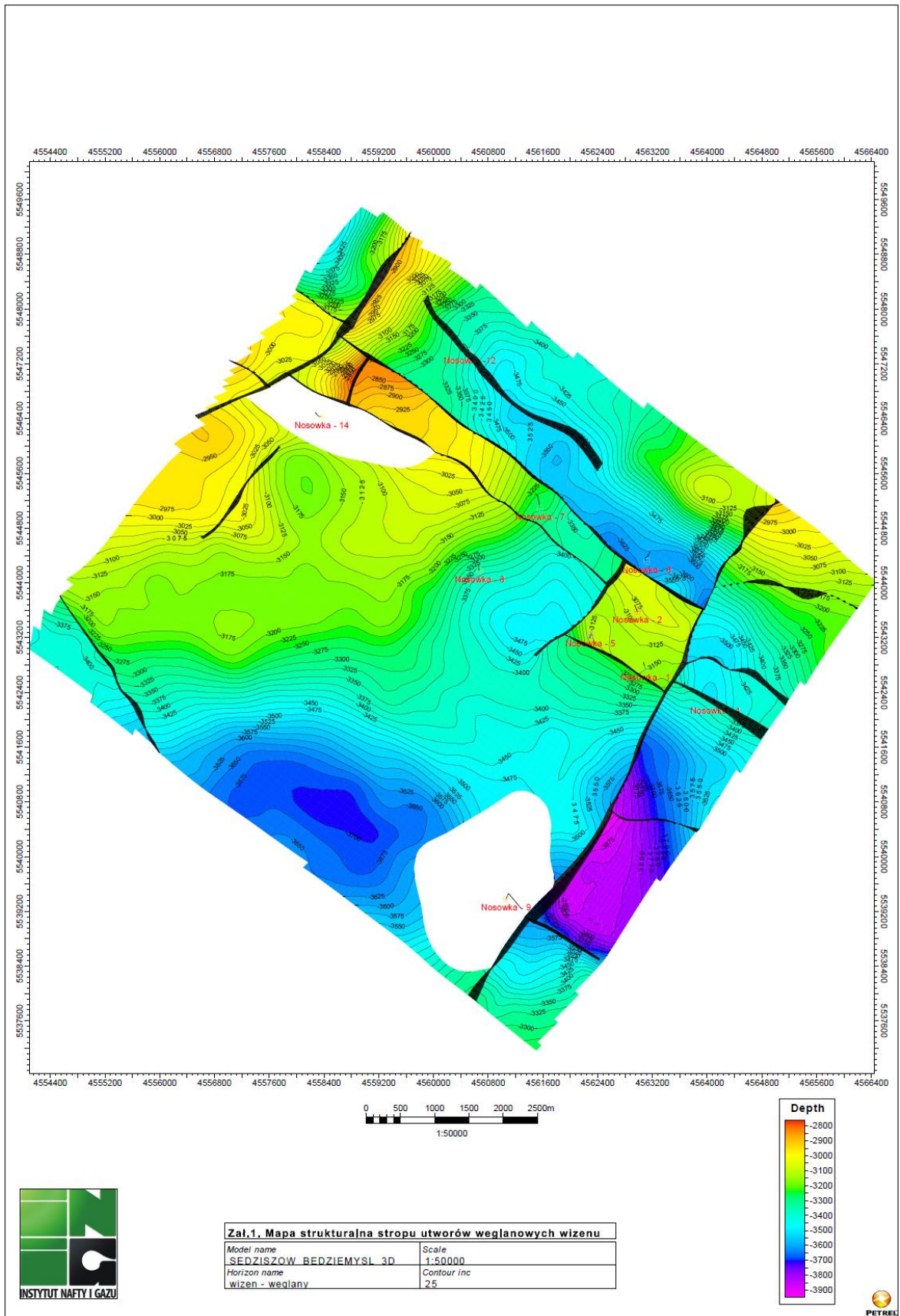
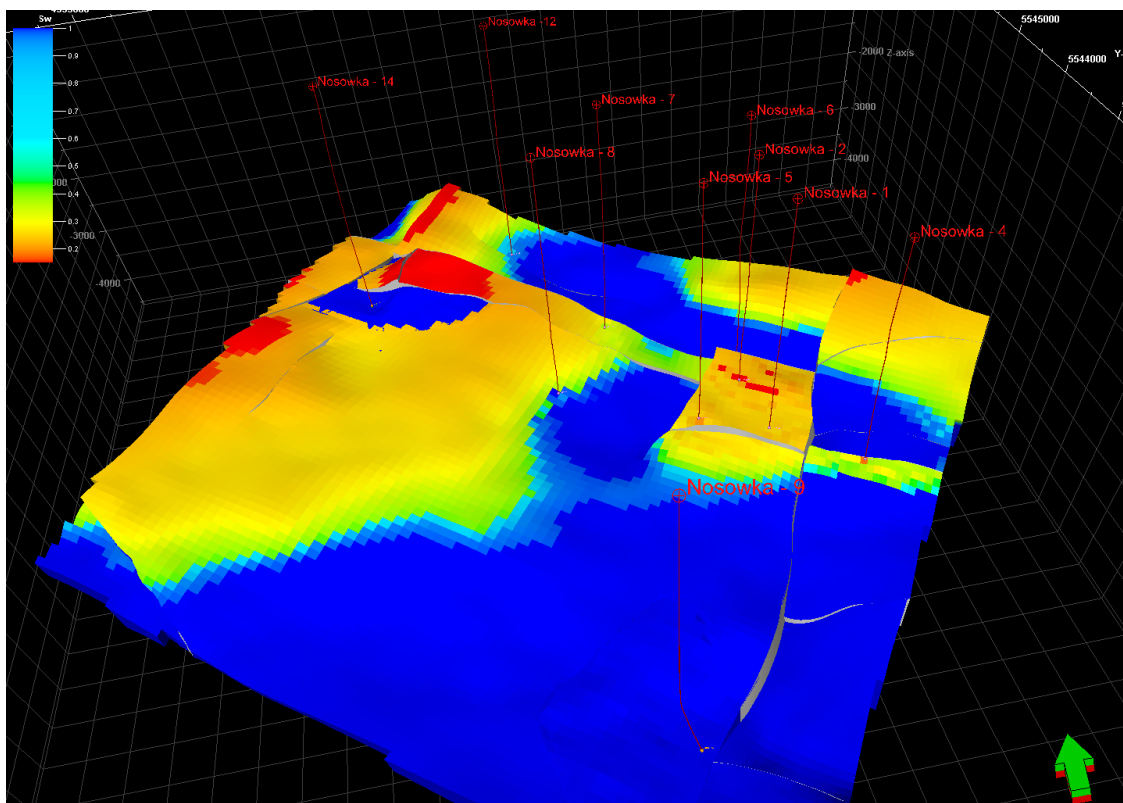


Fig. 1.1.17\_198 Mapa strukturalna stropu utworów węglanych wizenu



**Fig. 1.1.17\_199** Wizualizacja rozkładu nasycenia wodą złożową przy założeniu głębokości zalegania konturu wody złożowej na głębokości -3396.5 m (N-7)

Wynikiem przyjęcia założenia stałej głębokości konturu wody złożowej można by odnieść wrażenie istnienia znacznej akumulacji węglowodorów w północno - zachodniej części obszaru badań. Nie jest to wykluczone, jednakże na obecnym etapie rozpoznania wiertniczego brak jest przesłanek uprawniających do tego typu interpretacji wyników modelowania złożowego. Przedstawiono to na **Fig. 1.1.17\_199**.

Istnienie kontynuacji akumulacji ropy naftowej jest natomiast możliwe w przypadku segmentu N7 (**Fig. 1.1.17\_200**), w którym poziom zbiornikowy w kierunku zachodnim zalega wyżej niż w otworze N-7. Hipoteza ta oparta jest na założeniu poprawności interpretacji strukturalnej danych sejsmiki 3D oraz istnienia, rozdzielonych powierzchniami uskoków, bloków tektonicznych w obrębie utworów karbońskich, funkcjonujących jako izolowane względem siebie (w sensie ciągłości hydrodynamicznej) elementy strukturalne.

Dokładne badania modelowe możliwości sekwestracji CO<sub>2</sub> w obu blokach (N-1,2,5 i N-7) z określeniem efektów EOR zostaną wykonane na opracowanym w INiG modelu symulacyjnym.

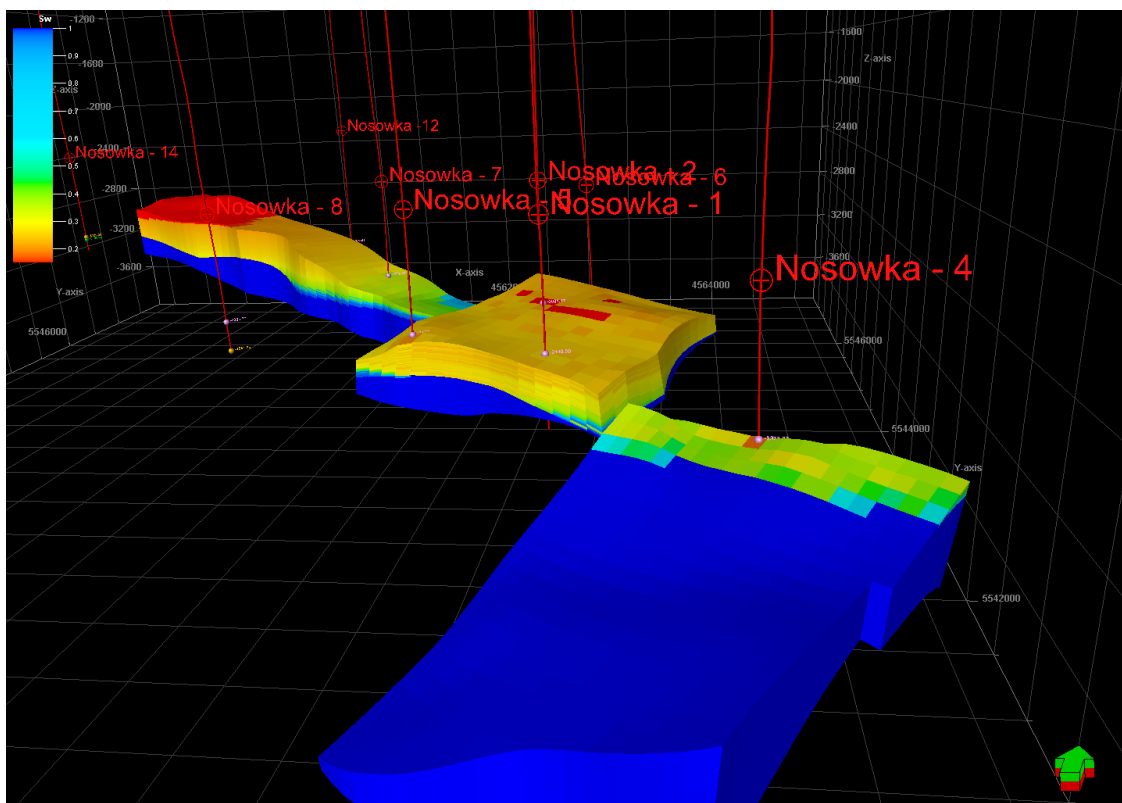


Fig. 1.1.17\_200 Wizualizacja rozkładu nasycenia wodą złożową segmentów modelu o potwierdzonej obecności węglowodorów

### Analiza obszaru zatłaczania CO<sub>2</sub> pod kątem określenia ryzyka nieszczelności pułapki złożowej

Obszar zatłaczania CO<sub>2</sub> czyli rejon Nosówki położony jest w północnej części Karpat w pobliżu ich granicy z kotliną sandomierską, pomiędzy Sędziszowem Małopolskim a Rzeszowem.

Pod względem geologicznym w rejonie Nosówki można wydzielić następujące jednostki geologiczne:

- czwartorzęd – miąższości do 27 m,
- miocen autochtoniczny rozdzielony na miocen zatoki rzeszowskiej przykrywający Karpaty od góry, miąższości 400 – 500 m oraz miocen autochtoniczny leżący pod Karpatami oraz przed nimi. Tutaj miąższość miocenu w rejonie złoża waha się od ok. 47 m do ponad 350 m, a poza złożem znacznie więcej bo do ponad 1800 m,
- Karpaty i jednostka stebnicka, wieku górna kreda – oligocen, utworzona przez sfałdowane i nasunięte utwory fliszowe. Miąższość łączna obu jednostek wynosi 2750 – 3000 m,
- Podłoże prekambryjskie z pokrywą platformową utworów ordowiku i karbonu. Miąższość utworów w rejonie złoża zmienia się w przedziale 40 – 240 m, a poza nim rośnie nawet do 390 m.

- Miąższość ordowiku wynosi od 17 do 93 m. Stwierdzona na otworze N.1 miąższość prekambriu wynosi, co najmniej 175 m.

### Ocena szczelności pod względem strukturalnym

Skałami zbiornikowymi złoża Nosówka, w którym proponuje się podjęcie składowania CO<sub>2</sub> są utwory węglanowe wizenu, głównie wapienie silnie skawernowane, spękane i skrasowiałe. Górna powierzchnia wizenu ma charakter erozyjny i jest silnie zdeformowana uskokami przedmioceńskimi. Obraz strukturalny stropu wizenu przedstawiony jest na **Fig. 1.1.17\_201**.

Powyższa mapa wskazuje, że złożo powstało na wyniesionym zrębie tektonicznym, który ze wszystkich stron otoczony jest uskokami, wzdłuż których został on wyniesiony. Pułapka złożowa utworzyła się w skawernowanych i spękanych wapieniach wizenu, otulonych z boków i od góry przez autochtoniczne utwory miocenu autochtonicznego.

Utwory miocenu autochtonicznego złożone są głównie z łupków ilastych i marglistych, anhydrytów, soli i lokalnie z piaskowców glaukonitowych. Tworzą one nieprzepuszczalną barierę, która umożliwiła powstanie złoża ropno-gazowego w wapieniach wizenu. Strop utworów miocenu zalegający nad wapieniami wizenu jest jednocześnie spągciem nasunięcia karpacko-stebnickiego, **Fig. 1.1.17\_201**. W rejonie złoża stropowa część miocenu zalega dosyć płasko i w kierunku południowym zapada łagodnie, natomiast w kierunku północnym począwszy od północnej granicy zrębu Nosówki wznosi się szybko ku górze. Sama więc stropowa powierzchnia miocenu nie tworzy pułapki strukturalnej. Taką pułapkę tworzą natomiast same utwory miocenu, które stanowią wokół zrębu i ponad nim pułapkę antyklinalną. Powierzchnie strukturalne poszczególnych poziomów miocenu są więc skośne do jego górnej powierzchni graniczącej z nasunięciem karpacko-stebnickim.

Powstanie złoża Nosówka jednoznacznie wskazuje, że uszczelnienie wapieni wizenu przez utwory miocenu było bardzo dobre i szczelne. Dodatkowym uszczelnieniem tej pułapki są zalegające powyżej utwory stebnicko-karpackie wykształcone zasadniczo jako utwory ilasto-piaszczyste, silnie pofałdowane i tworzące liczne synkliny i antykliny oraz łuski. Na obecnym etapie pracy założono, że niemal 3 kilometrowa miąższość utworów karpacko-stebnickich stanowi wystarczające uszczelnienie dla magazynowanego CO<sub>2</sub> dzięki licznym i miąższym wkładkom łupkowo-ilastym.

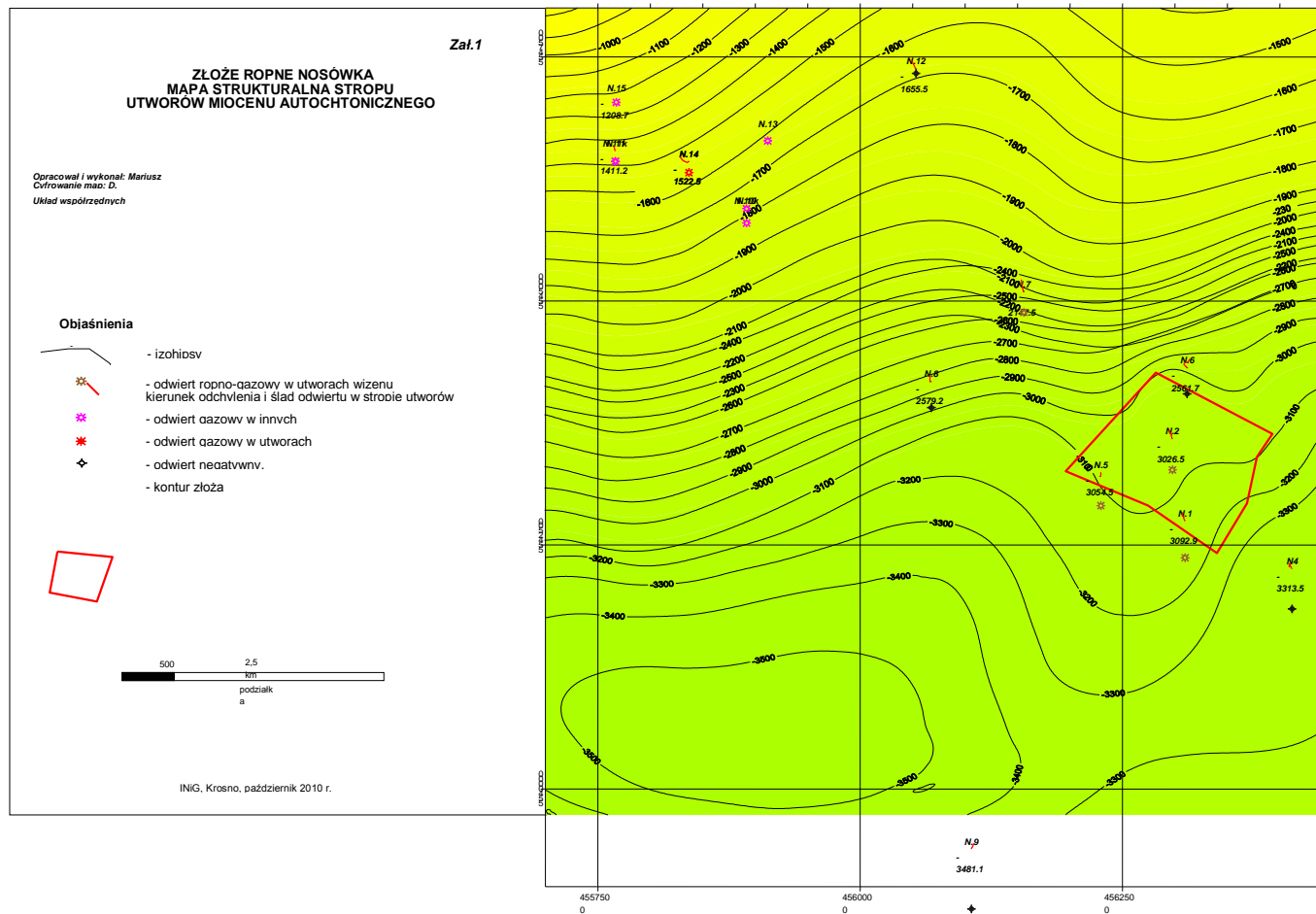


Fig. 1.1.17\_201 Złoże ropne Nosówka mapa strukturalna stropu utworów miocenu autochtonicznego



## **Ocena szczelności struktury pod kątem tektoniki uskokowo - płaszczwinowej**

Rejon Nosówki w strefie utworów prekambryjsko-paleozoicznych charakteryzuje się silnym zuskokowaniem, które było efektem ruchów tektonicznych w okresie całego paleozoiku, a następnie podczas laramijskich ruchów górotwórczych mających miejsce po górnej jurze. Najistotniejsze procesy uskokowe miały jednak miejsce między górną kredą, a mioceniem podczas tworzenia się zapadliska przedkarpackiego i nasunięcia Karpat ku północy. Przebieg stref uskokowych został przedstawiony na **Fig. 1.1.17\_202**. Generalnie zaznaczają się dwa kierunki uskokowania. Pierwszy na kierunku NW-SE oraz prostopadły do niego kierunek NW-SE. Proces uskokowania doprowadził do powstania licznych zrębów i rowów tektonicznych o przebiegu NW-SE. Jednym z takich zrębów jest rejon Nosówki, który jak wspomniano wcześniej otoczony jest ze wszystkich stron uskokami. Uskoki te przebijają utwory prekambru oraz ordowiku i karbonu. Natomiast nie przedłużają się w utworach miocenu, co wskazuje, że osady mioceńskie maskują i uszczelniają starsze strefy uskokowe uniemożliwiając np. węglowodonom ich migrację w wyższe partie nadkładu.

Uskoki oraz złuskowania i nasunięcia pojawiają się licznie w obrębie nasunięcia karpacko-stebnickiego. Dwie zasadnicze linie tektoniczne to: strefa nasunięcia jednostki stebnickiej oraz strefa nasunięcia Karpat. Obie można uznać za potencjalne drogi migracji, aczkolwiek materiał ilasty wypełniający strefę poślizgu charakteryzuje się bardzo słabą przepuszczalnością, przy czym należy zaznaczyć, że często w strefie poślizgu występuje zmielony materiał ilasto-piaskowcowy, a wtedy przepuszczalność może być wyższa. Obie drogi migracji są od góry przykryte przez utwory miocenu zatoki rzeszowskiej o miąższości ok. 450 – 500 m, wykształcone jako osady molasowe -ilasto-piaszczyste. Takie wykształcenie stanowi istotne utrudnienie dla przenikania mediów złożowych. Poza strefami głównych nasunięć w obrębie Karpat występują liczne uskoki oraz złuskowania. Jednak szczegółowy przebieg tych stref jest słabo rozpoznany, a jego rozpoznanie wymagałoby bardziej szczegółowych badań tektoniczno-strukturalnych wybiegających poza zakres niniejszej pracy. Niemniej duża miąższość jednostki karpacko-stebnickiej jest dużym utrudnieniem dla migracji mediów złożowych.

Od góry jednostka karpacko-stebnicka uszczelniona jest przez utwory miocenu zatoki rzeszowskiej grubości 450 – 500 m.

## **Ocena szczelności struktury ze względów hydrogeologicznych**

Budowa geologiczna rejonu Nosówki stwarza duże utrudnienia w migracji wód złożowych między poszczególnymi jednostkami geologicznymi tego rejonu. Należy przypuszczać również na podstawie badań wód złożowych, że ich wymiana jest znikoma, a ruch wody ogranicza się do poszczególnych jednostek. W przypadku utworów prekambru i pokrywy platformowej ruch wody może mieć miejsce poprzez strefy uskokowe oraz poziomy zbiornikowe szczególnie w skrasowiałej i zwietrzałej strefie stropowej, utworów wizeniu.

Wymiana wody w obrębie miocenu ma bardzo ograniczony charakter ze względu na słabą przepuszczalność skał, głównie łupków.



Znacznie lepsze warunki migracji wód złożowych występują w obrębie jednostki karpacko-stebnickiej gdzie liczne uskoki, złuskiowania czy powierzchnie nasunięć mogą być dobrymi drogami migracji dla wody i innych mediów

Przykrywające utwory karpackie od góry osady miocenu zatoki rzeszowskiej, mogą stanowić drogi migracji dla wody i mediów złożowych jedynie partiami piaskowcowymi, które kontaktowałyby się ze strefami migracji z obszaru Karpat. Przy czym migracja generalnie mogłaby tu przebiegać w kierunku poziomym wzdłuż serii piaskowcowych.

#### **Analiza skał uszczelniających pod względem ciągłości i szczelności**

W ropno-gazowym złożu Nosówka skałami zbiornikowymi są utwory wapienne wizeny (karbon dolny). Poziom zbiornikowy uszczelniony jest od góry przez utwory paleogenu i przede wszystkim miocenu, a w tym: warstwy baranowskie, anhydryty oraz osady miocenu nadanhydrytowego. Szczegółowa korelacja otworów rejonu Nosówki przyjęta w oparciu o dokumentację wyników odwiertu jest przedstawiona w **Tab. 1.1.17\_53**.

Tab. 1.1.17\_53 Tabela stratygraficzna otworów w rejonie Nosówki

Nazwa otworu	Wys. npm. [m]	Głębokość końcowa [m]	Czwartorzęd		Miocen zatoki rzeszowskiej		Nasunięcie karpackie		Nasunięcie stebnickie		Miocen autochtoniczny		Paleogen		Trias		Karbon dolny		Ordowik		Prekambr	
			Gł. od [m]	Gł. do [m]	Gł. od [m]	Gł. do [m]	Gł. od [m]	Gł. do [m]	Gł. od [m]	Gł. do [m]	Gł. od [m]	Gł. do [m]	Gł. od [m]	Gł. do [m]	Gł. od [m]	Gł. do [m]	Gł. od [m]	Gł. do [m]	Gł. od [m]	Gł. do [m]	Gł. od [m]	Gł. do [m]
Nosówka 1	247.5	3807.0	0	27	27	465	465	3147	3147	3342	3342	3390					3390	3632			3632	3807
Nosówka 2	231.3	3438.0	0	20	20	540	540	2827	2827	3260	3260	3315					3315	3421	3421.0	3438.0		
Nosówka 4	223.8	3733.0	0	20	20	530	530	3170	3170	3540	3540	3600					3600	3640	3640.0	3733.0		
Nosówka 5	240.0	3604.0	0	25	25	435	435	3050	3050	3295	3295	3380					3380	3570	3570.0	3604.0		
Nosówka 6	258.7	4022.0	0	25	25	605	605	2575	2575	2820	2820	3433			3433	3663	3663	4010	4010.0	4022.0		
Nosówka 7	248.0	3745.0	0	20	20	405	405	2305	2305	2402	2402	3356	3356	3505			3505	3720	3720.0	3745.0		
Nosówka 8	273.0	3840.0	0	10	10	420	420	2700	2700	2855	2855	3390	3390	3612			3612	3793	3793.0	3840.0		
Nosówka 12	320.2	3985.0	0	15	15	480	480			1980	1980	3300			3300	3530	3530	3920	3920.0	3985.0		
Nosówka 14	339.7	3596.0	0	20	20	370	370	1330	1330	1875	1875	3225	3225	3445					3445.0	3470.0	3470	3596

Kolejną serią uszczelniającą skały zbiornikowe są sfałdowane utwory fliszowo-molasowe jednostki stebnickiej oraz Karpat i zalegające powyżej utworów karpackich molasowe osady miocenu zatoki rzeszowskiej.

Poniżej została przedstawiona analiza skał zbiornikowych oraz nadkładu pod względem ich ciągłości oraz szczelności.

### ***Seria zbiornikowa***

Wapienie wizenu są wykształcone jako skały beżowe, beżowo-szare, zbite i spękane. Spękania albo są wypełnione żyłką kalcytową lub czerwoną substancją ilastą albo są wolne. Ponadto występują wapienie dolomityczne i detrytyczne podobnej barwy. Wapienie charakteryzują się silnym skawernowaniem i zeszcelinowaniem, co jest pozostałością procesów krasowych, które rozwijały się w wapieniach przed pograżeniem pod osadami paleogenu i miocenu.

Mięszość wapieni w rejonie złożowym wynosi od 106 do 240 m, a poza nim od 40 do 390 m. Najmniejsza mięszość warstwy zbiornikowej występuje w części SE zrębu w rejonie odwiertu N.5 - 40 m i rośnie w kierunku północnym oraz zachodnim, gdzie osiąga 106 m na odwiercie N.2 i 240 m na odwiercie N.1 i w rejonie tego otworu mięszość jest największa.

Na obszarze zrębu utwory wizenu zachowują ciągłość. Na jego granicach obcięte są uskokami, wzdłuż których następuje zrzuconie tych utworów. Na skrzydłach zrzuconych, skały wizenu albo całkowicie sąsiadują z utworami starszymi albo częściowo z utworami wizenu sąsiedniego skrzydła uskoku. Przedstawione jest to na przekroju geologicznym (**Fig. 1.1.17\_202**).

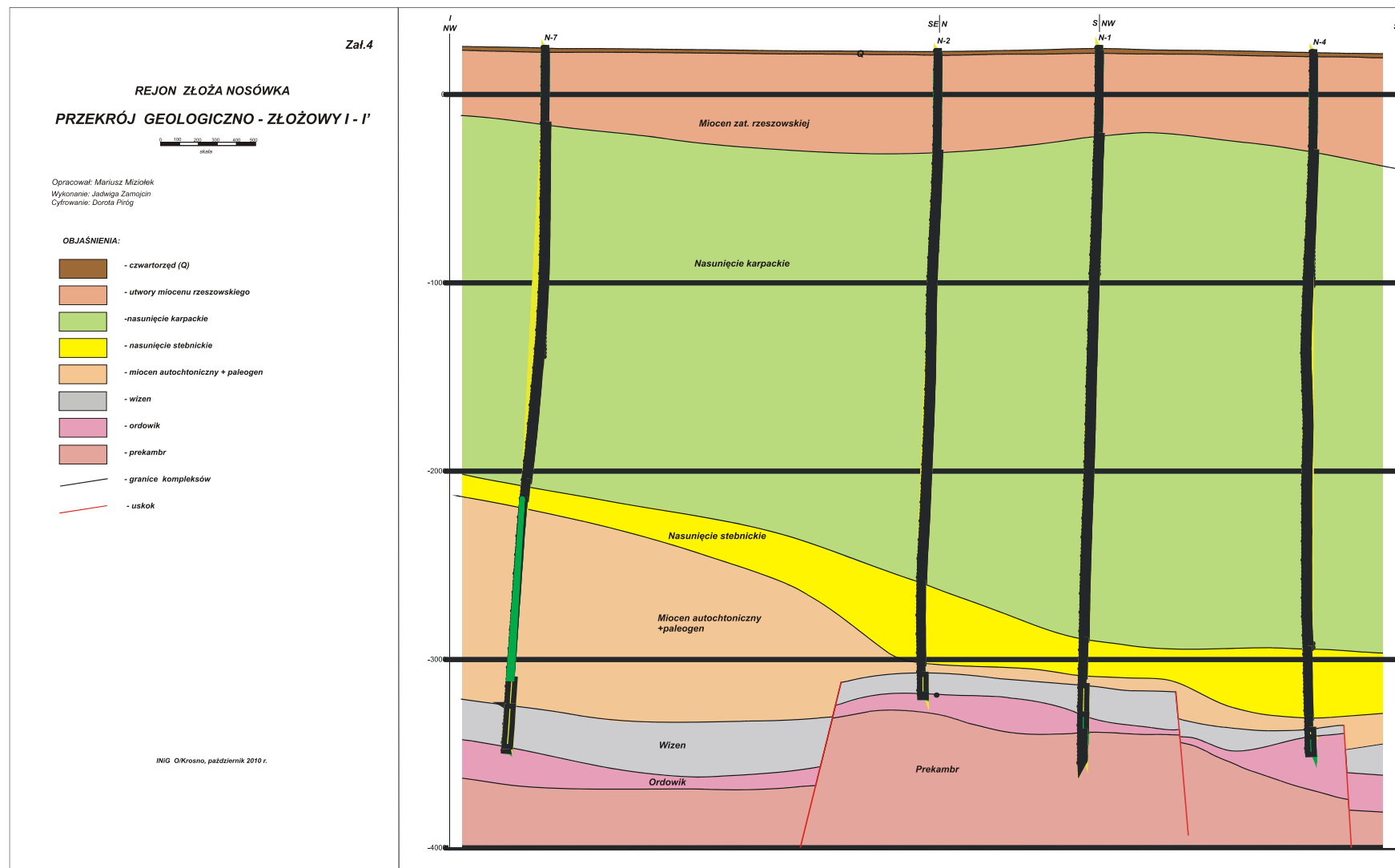


Fig. 1.1.17\_202 Rejon złoża Nosówka. Przekrój geologiczno-żyłowy I-I'

### **Seria uszczelniająca**

Jak wspomniano wcześniej seriami uszczelniającymi począwszy od stropu wizenu są:

- utwory paleogenu oraz miocenu autochtonicznego,
- utwory nasunięcia karpacko-stebnickiego,
- utwory miocenu autochtonicznego zatoki rzeszowskiej.

Dokładne miąższości poszczególnych serii uszczelniających przedstawiono w **Tab. 1.1.17\_54**

**Tab. 1.1.17\_54** Miąższości poszczególnych serii uszczelniających

Nazwa odwiertu	Paleogen* i miocen autochtoniczny [m]		H całk. [m]	Nasunięcie karpacko-stebnickie [m]		H całk. [m]	Miocen zatoki rzeszowskiej [m]		H całk. [m]
	od	do		od	do		od	do	
Rejon złoża									
Nosówka 1	3390	3342	48	3342	465	2877	465	27	438
Nosówka 2	3315	3260	55	3260	540	2720	540	20	520
Nosówka 5	3380	3295	85	3295	435	2860	435	25	410
Rejon pozazłożowy									
Nosówka 4	3600	3540	60	3540	530	3010	530	20	510
Nosówka 6	3433	2820	613	2820	605	2215	605	25	580
Nosówka 7	3505	2402	1103	2402	405	1997	405	20	385
Nosówka 8	3612	2855	757	2855	420	2435	420	10	410
Nosówka 12	3300	1980	1320	1980	480	1500	480	15	465
Nosówka 14	3445	1875*	1570	1875	370	1505	370	20	350

\* z paleogenem

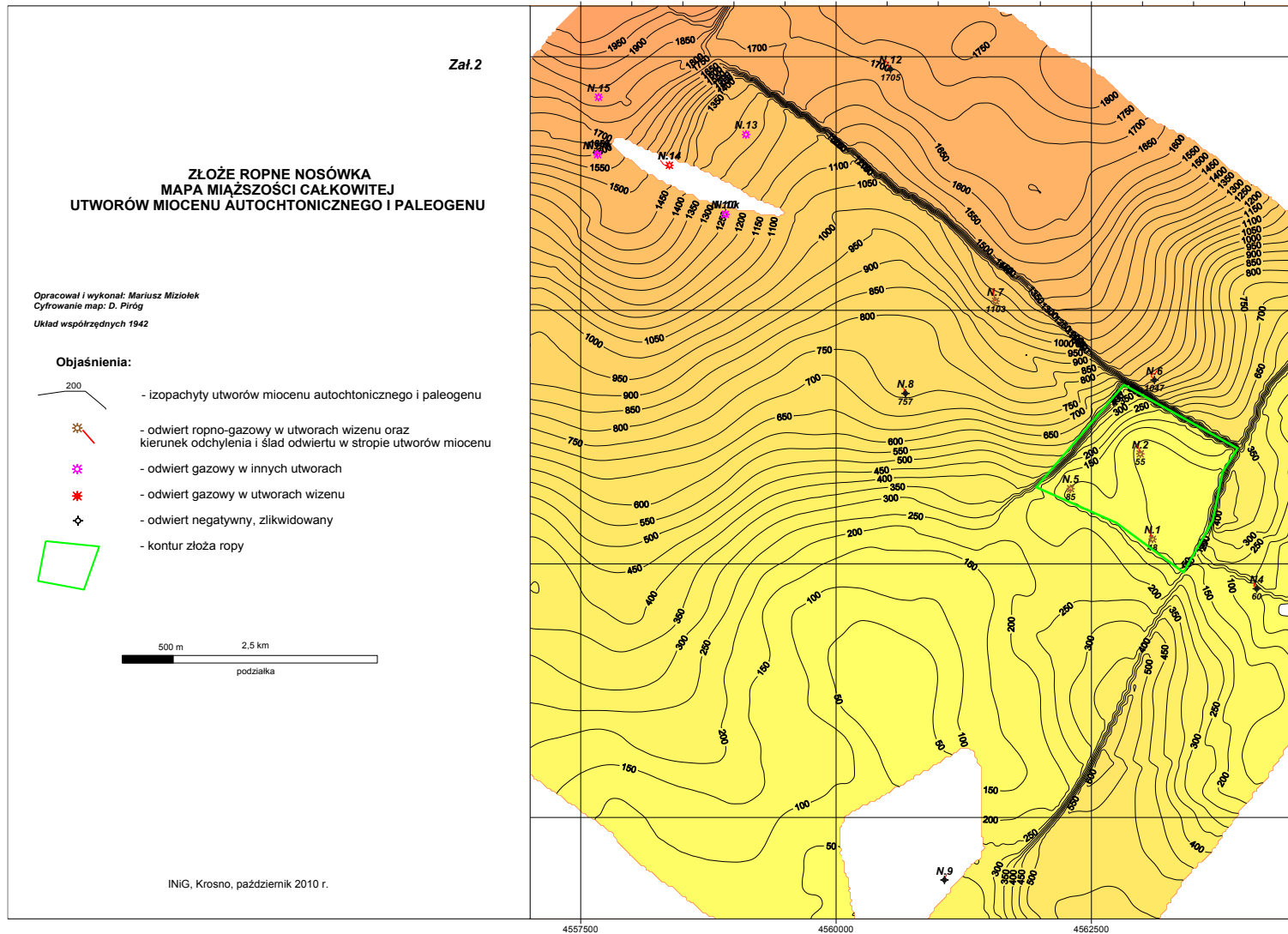
**Tab. 1.1.17\_55** Wyniki badań laboratoryjnych wykonanych na próbkach rdzeni z utworów miocenu

Nazwa odwiertu	Miocen autochtoniczny		
	Badany interwał [m]	Porowatość [%]	Przepuszczalność [mD]
Nosówka 7	2542 – 2544 p-c	2.9	0.005
	2637 – 2640 p-c	4.3	0.002
	p-c	5.2	0.008
	p-c mułowcowy	3.0	
	3141 – 3144 p-c wap.	2.2	0.007
	p-c wap.	6.4	0.004
	mułowiec	8.1	0.004
	p-c mułowcowy	7.9	
Nosówka 12	3309 – 3313 p-c	4.2	
	p-c	7.5	
	p-c	7.3	
Nosówka 14	2255 – 2261 p-c	19.8	
	p-c	20.9	
	p-c	15.2	
	2484 – 2487 p-c	5.6	
	2644 – 2648 p-c	4.6	
	3042 – 3045 p-c	4.2	0.002
	p-c	6.5	0.002

^Pierwszą warstwą uszczelniającą poziom zbiornikowy wżenu są w rejonie zrębu Nosówki utwory miocenu autochtonicznego, na którą składają się warstwy baranowskie, anhydryty oraz utwory miocenu nadanhydrytowego. Generalnie są to utwory ilaste, ilasto margliste z rzadkimi wkładkami piaskowców i margli dolomitycznych. Lokalnie np. w rejonie N.14 do serii uszczelniającej dochodzą utwory paleogenu. Miąższość utworów miocenu jest tu stosunkowo niewielka i wynosi na otworach od 48 m na otworze N.1 do 55 m na N.2 i 85 m na N.5. Opracowana mapa miąższości całkowitej przedstawiona na **Fig. 1.1.17\_203** wskazuje, że w rejonie złoża miąższość miocenu spada z zachodu i północy, gdzie wynosi 150 - 250 m, w

kierunku SE, gdzie osiąga wielkość ok. 40 m i jest to wielkość minimalna. Poza obszarem zrębu miąższość jest znacznie większa i zmienia się w zakresie 75 - 1850 m, generalnie rośnie w kierunku N.

W **Tab. 1.1.17\_55** zestawiono wyniki badań laboratoryjnych, wykonanych na próbkach pobranych z rdzeni utworów miocenu. Próbki te były pobrane z otworów znajdujących się poza obszarem złożowym i reprezentują przede wszystkim piaskowce. Porowatość piaskowców zasadniczo układa się w przedziale 3 - 8%, sporadycznie więcej, natomiast przepuszczalność jest znikoma, rzędu 0,002 - 0,08 mD. Należy przypuszczać, że przepuszczalność i porowatość dla łupków ilastych jest jeszcze mniejsza.



**Fig. 1.1.17\_203** Złoże ropne Nosówka. Mapa miąższowości całkowitej utworów miocenu autochtonicznego i paleogenu



Drugą warstwą uszczelniającą są utwory nasunięcia karpacko- stebnickiego. Utwory jednostki stebnickiej są to łupki ilaste, anhydryty i sole z wkładkami piaskowców. Z kolei utwory nasunięcia karpackiego są to utwory fliszowe czyli głównie łupki i piaskowce tworzące serie z udziałem dominującym jednego lub drugiego typu litologicznego. Utwory nasunięcia karpacko- stebnickiego charakteryzują się silnym sfałdowaniem w postaci antyklin, synklin oraz łusek, dodatkowo silnie zuskokowanych i zeszczelinowanych szczególnie w obrębie serii piaskowcowych. Miąższość całkowita tych utworów jest dosyć znaczna i wynosi w rejonie złoża: 2720 m na Nosówce 2 do 2860 m na N.5 i 2877 m na N.1. Poza obszarem złożowym miąższość nasunięcia karpackiego wynosi od ok. 1500 m w części północnej (N.12 i N.14) do ok. 2500 - 3000 m w części południowej (N.4, N.8). Szczegółowe dane miąższości utworów nasunięcia karpacko- stebnickiego zawiera **Tab. 1.1.17\_55**.

Na **Fig. 1.1.17\_204** przedstawiono mapę miąższości utworów karpacko- stebnickich i miocenu zatoki rzeszowskiej, licząc je do izolinii poziomu morza.

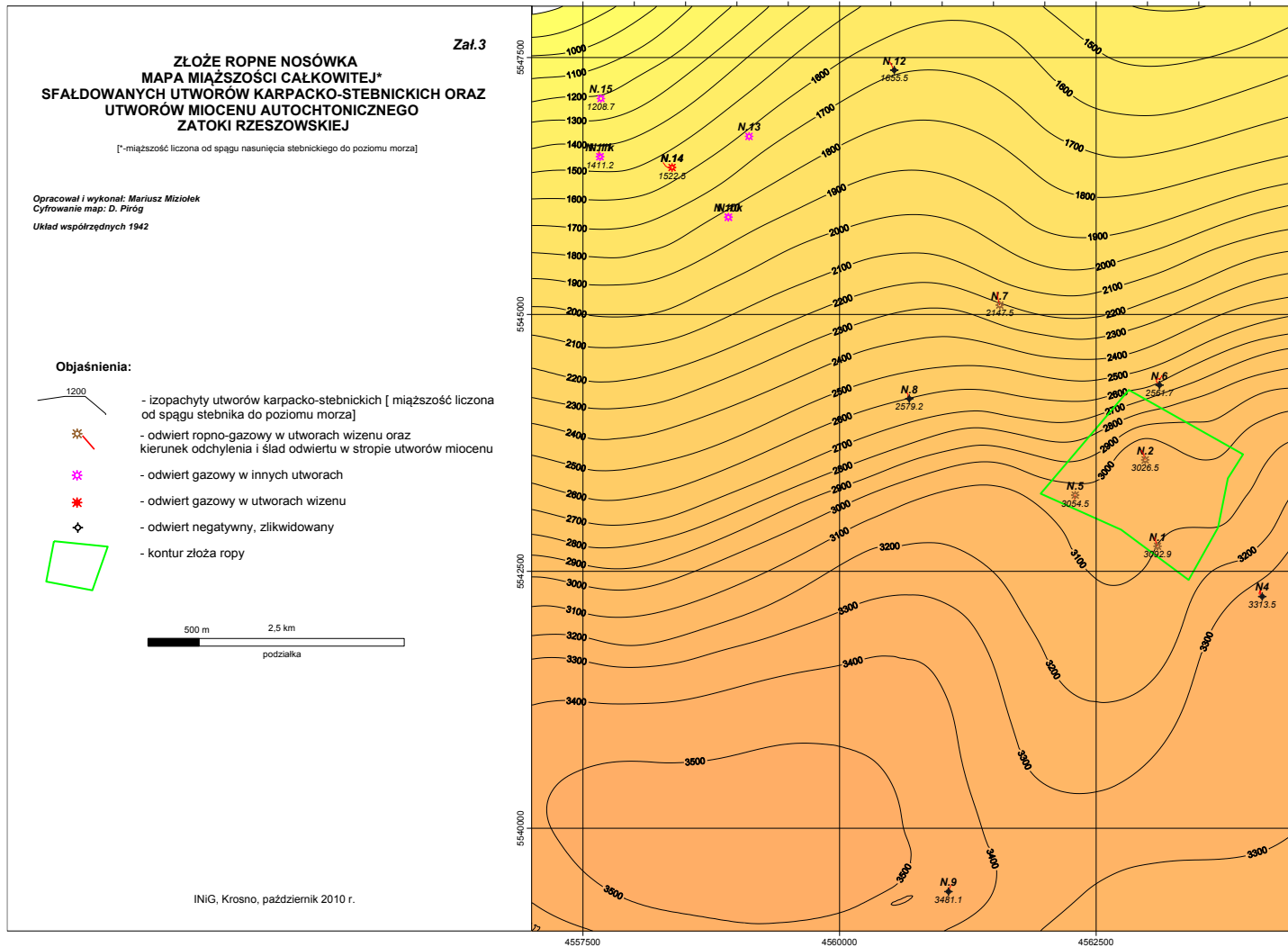
W **Tab. 1.1.17\_56** poniżej zestawiono wyniki badań laboratoryjnych porowatości i przepuszczalności przeprowadzonych w interwale utworów: stebnicko- karpackich.

**Tab. 1.1.17\_56.** Wyniki badań laboratoryjnych w interwale utworów stebnicko-karpackich

Nazwa odwiertu	Nasunięcie stebnickie		
	Badany interwał [m]	Porowatość [%]	Przepuszczalność [mD]
Nosówka 6	2835 – 2840 p-c	9.3	0.03
Nosówka 12	2403 – 2406 p-c	17.8	12.08
	2756 – 2759 p-c	4.3	0.006

Jak wynika z powyższego zestawienia badania te wykonano jedynie na 2 odwiertach: N.6 i N.12, leżących już poza złożem. Niemniej dane te można również odnieść na cały obszar złoża.

Podobnie jak w miocenie również w stebniku badaniom laboratoryjnym poddane były piaskowce. W sumie wykonane były badania 3 próbek. Porowatość 2 próbek wynosiła 4,3 - 9,3% przy przepuszczalności 0,006 - 0,03 mD, zaś w trzeciej próbce porowatość wynosiła 17,8%, a przepuszczalność 12,8 mD. Ponieważ generalnie piaskowce warstw istebniańskich charakteryzują się słabymi parametrami fizycznymi związanymi z dużą zbitością i silnym scementowaniem skał, należy sądzić, że również na badanym terenie dominują tego typu skały, a jedynie sporadycznie mogą się zdarzyć skały o lepszych parametrach.



**Fig. 1.1.17\_204** Złoże ropne Nosówka. Mapa miąższości całkowitej składowanych utworów karpacko-stebnickich oraz utworów miocenu autochtonicznego zatoki rzeszowskiej  
 17-400

Rdzenie pobrane z otworów N.1, N.2 i N.5 oraz pomiary geofizyczne wskazują, że w nasunięciu stebnickim dominują anhydryty i sole przekładane osadem ilastym, a więc typem skał o znikomej porowatości i przepuszczalności.

Duży udział anhydrytów występuje na otworze N.1 i N.5 zaś nieco mniejszy na otworze N.2, gdzie w stebniku dominują osady ilaste.

Analiza karotaży, w interwale nasunięcia karpackiego wskazuje, że w profilu występują naprzemianległe kompleksy piaskowcowe i łupkowe o zmiennej miąższości od kilkudziesięciu do kilkuset metrów. Utwory te są silnie sfałdowane oraz złuskowane. Upady warstw sięgają 40 - 90°, a piaskowce charakteryzują się silnym spękaniami, spękania najczęściej są wypełnione kalcytem. Według opisu rdzeni piaskowce są twarde i zbite, co wskazuje, że powinny mieć małą porowatość i niską przepuszczalność.

Większą rolę w migracji mediów przez utwory karpackie będą miały spękania, szczeliny oraz powierzchnie uskoków i złuskowań oraz nasunięć, którymi w obrębie serii piaskowcowych media mogłyby się łatwiej przemieszczać.

W partiach ilastych powierzchnie nieciągłości są najczęściej zablźnione, aczkolwiek strefa uskokowa czy nasunięciowa może być wypełniona materiałem piaskowcowo-ilastym, przez który może następować migracja mediów złożowych.

Najwyższą warstwą izolującą są utwory miocenu zatoki rzeszowskiej. Są to łupki, mułowce szare i ciemno szare, przekładane jasnoszarymi ławicami piaskowców, najczęściej słabozwięzłych i rozsypliwych. Utwory te zalegają niemal poziomo pod kątem 3 – 5° na utworach nasunięcia karpackiego.

Miąższość tych utworów wynosi od 410 do 520 m w rejonie złoża, natomiast poza nim zmienia się w zakresie 350 - 580 m.

Analiza karotaży otworów wiertniczych (N.1, N.2 i N.5) wskazuje, że utwory miocenu zatoki rzeszowskiej są w rejonie złoża wykształcone niemal w całości w postaci osadów ilastych, sporadycznie warstwowanych mułowcem lub cienkimi ławicami piaskowców. Rzadko, jak np. na otworze N.5 występuje 15 metrowy kompleks piaskowcowy. Z tego względu utwory miocenu można uznać praktycznie za nieprzepuszczalne.

#### Badanie szczelności skał nadkładu

Krytycznym wyzwaniem dla geologicznej sekwestracji jest zapewnienie długotrwałego, bezpiecznego składowania CO<sub>2</sub> w strukturze, tzn. w czasie od kilkuset do kilku tysięcy lat.

Dla zminimalizowania objętości porowej zajmowanej przez CO<sub>2</sub> obiekty złożowe są dobierane w ten sposób aby parametry złożowe PT osiągały wielkości ponadkrytyczne, co umożliwi wytworzenie gęstej fazy. Niewielka gęstość nadkrytycznej gęstej fazy powoduje, że zatłaczany CO<sub>2</sub> jest lżejszy od solanki oraz większości rop naftowych. Z kolei czas niezbędny do rozpuszczenia zatłoczonego CO<sub>2</sub> w solankach jest znacznie większy od okresu zatłaczania. Zatem CO<sub>2</sub> w oparciu o zjawisko wyporności będzie unosił się do górnych partii struktury i gromadził poniżej skał uszczelniających. Są to zwykle łupki nasycone wodą o bardzo niskiej przepuszczalności. Bezpieczeństwo sekwestracji jest zatem zależne od utrzymania przez skały nadkładu zdolności do zapewnienia pułapkowania CO<sub>2</sub> w długim okresie czasu. Modelowanie

symulacyjne uwalniania CO<sub>2</sub> z poziomu zawodnionego o głębokości 1000 m wykazało czas przebiccia na powierzchnię po upływie 5500 lat dla skał nadkładu o przepuszczalności 1 mD (Damen et al., 2006).

Przepływ CO<sub>2</sub> przez skały nadkładu może być wynikiem różnych procesów fizycznych, a mianowicie:

- dyfuzji cząsteczek CO<sub>2</sub> w nasyconej wodą skale nadkładu
- kapilarnego przebiccia fazy CO<sub>2</sub>
- hydraulicznego i termalnego szczelinowania skał nadkładu skutkiem wzrostu ciśnienia i temperatury podczas zatłaczania CO<sub>2</sub>
- szczelinowanie poślizgowe skał nadkładu na skutek zmian ich objętości
- reaktywności chemicznej skał z CO<sub>2</sub>
- nieszczelności uskoków

Proces dyfuzji w fazie wodnej przebiega niezwykle powoli, z kolei ciśnienie szczelinowania skał nadkładu znacznie przekracza wartości pierwotnych ciśnień złożowych. W celu przeciwdziałania powstawaniu szczelin maksymalne ciśnienie zatłaczania nie powinno zatem przekraczać wartości ciśnień szczelinowania. Ryzyko przeciekania CO<sub>2</sub> w wyniku szczelinowania jest zatem tak długo zerowe dopóki ciśnienie składowania nie przekroczy pierwotnego ciśnienia złożowego. Istnieje możliwość wytworzenia pewnego nadciśnienia, przy którym CO<sub>2</sub> może podlegać bezpiecznemu składowaniu. W tym wypadku współczynnik bezpieczeństwa zależy od stanu naprężeń skał nadkładu, który z kolei jest funkcją głębokości, ciśnienia porowego, właściwości skał oraz procesów sedymentacyjnych oraz tektonicznych.

Szczególne znaczenie mają zatem procesy przenikania CO<sub>2</sub>, gdy bariera kapilarna jest niewystarczająca. Ma to miejsce wówczas, gdy ciśnienie fazy CO<sub>2</sub> wzrasta powyżej ciśnienia progowego ( $P_{CO_2}$ ), definiowanego jako minimalne ciśnienie niezbędne do zainicjowania przemieszczania wody w skałach nadkładu przez fazę CO<sub>2</sub>.

W przypadku projektowania podziemnych magazynów gazu w strukturach zawodnionych wielkość ta jest rutynowo oznaczana w warunkach laboratoryjnych gazem ziemnym dla określenia zdolności magazynowych struktur przeznaczonych na PMG.

Dla CO<sub>2</sub> wielkość ciśnienia progowego można wyliczyć z zależności napięcia międzyfazowego, wodozwilżalności minerałów ilastych oraz rozkładu wymiarów porowych, co przedstawiono w równaniu:

$$P_{ce} \sim P_{CO_2} - P_w = \gamma_{w CO_2} \cos(\theta) / R$$

gdzie:

$P_w$  - ciśnienie wody w skałach nadkładu

$R$  – rozmiar największego spośród por lub szczelin w skale nadkładu

$\gamma_{w CO_2}$  – napięcie międzyfazowe solanka/CO<sub>2</sub>

$\theta$  – kąt kontaktu mierzony w środowisku solanka/układu skała/solanka/CO<sub>2</sub>

Dla wykonania pomiaru kąta kontaktu w środowisku solanka/skała/CO<sub>2</sub> należy wykorzystać zestaw mikroskopu i odpowiedniej komory badawczej, w której można wytworzyć warunki złożowe w środowisku CO<sub>2</sub> i solanki (Chiquet & Broseta, 2005). Zarówno w INiG jak również w innych krajowych ośrodkach badawczych brak jest w chwili obecnej tego typu aparatury w związku z tym nie ma możliwości wyliczenia wielkości ciśnienia progowego. Istnieją natomiast dane literaturowe określające wartości napięcia międzyfazowego dla różnych systemów płynowych (Nygaard, 2010), co przedstawiono w **Tab. 1.1.17\_57**.

**Tab. 1.1.17\_57** Wartości napięcia międzyfazowego dla różnych systemów płynowych wg. Nygaard (2010)

system	Warunki PT	Napięcie międzyfazowe [mN/m]
CH <sub>4</sub> /woda	10-30 MPa, 40-80°C	48.6-61.7
N <sub>2</sub> /woda	10-30 MPa, 40-80°C	53.7-67.2
Ropa/woda	>6.9 MPa, 54.4-81.1°C	30-35
CO <sub>2</sub> /woda	10-30 MPa, 40-80°C	16-30

Również w publikacji (Bensted, 2002) podano określone eksperymentalnie wartości napięcia międzyfazowego układu solanka CO<sub>2</sub> w funkcji mineralizacji oraz P (do 45 MPa) i T (307-383 K).

Jak wykazały badania, wielkości napięcia międzyfazowego systemu CO<sub>2</sub>/woda są znacznie niższe od tych wielkości dla systemu ropa/woda, a nawet metan (azot)/woda. Odpowiednio też kapilarne ciśnienie przebicia danej skały nadkładu będzie niższe w sytuacji, gdy zatłaczany CO<sub>2</sub> znajdzie się w warstwach spągowych struktury wypełnianej wcześniej przez węglowodory. Właściwości izolujące skał nadkładu pułapki złożowej mogą okazać się zatem niewystarczające aby zatrzymać zatłaczany CO<sub>2</sub> w szcerpanym złożu. Próba odtworzenia przez zatłaczany CO<sub>2</sub> pierwotnego ciśnienia złożowego w szcerpanej pułapce może okazać się więc ryzykowna (Nygaard, 2010). Dlatego też przed rozpoczęciem napełniania danej pułapki złożowej należy określić ciśnienie przebicia dla CO<sub>2</sub> ponieważ może być ono niższe od pierwotnego ciśnienia złożowego. W takim przypadku skały nadkładu mogą przepuścić zatłaczany CO<sub>2</sub> zanim dojdzie do uzyskania pierwotnego ciśnienia złożowego.

W przypadku, gdy otrzymana wartość ciśnienia przebicia przewyższa wartość pierwotnego ciśnienia złożowego, wówczas można określić jaką wielkość nadciśnienia można przyjąć dla składowanego CO<sub>2</sub>.

Ponieważ w bezpośrednim sąsiedztwie odwiertu zatłaczającego podczas trwania procesu ciśnienie jest znacznie wyższe od średniego ciśnienia złożowego, dlatego należy określić wartość ciśnienia przebicia, aby zapobiec ucieczce CO<sub>2</sub> poprzez skały nadkładu w tej wysokociśnieniowej strefie.

Wyznaczenie wartości kapilarnego ciśnienia przebicia dla CO<sub>2</sub> jest zatem bardzo ważnym obowiązkiem w procesach projektowania jego składowisk.

Jak wykazano w różnych badaniach rozpiętość ciśnień przebicia jest znacznie zróżnicowana dla różnych skał uszczelniających, przedstawiono to w **Tab. 1.1.17\_58**.

**Tab. 1.1.17\_58** Ciśnienia przebicia dla różnych układów litologicznych wg Nygaard (2010)

litologia	system	Ciśnienie przebicia [MPa]
Piaskowce, wapienie, dolomity	N <sub>2</sub> /woda	0.14-4.83
Piaskowce, łupki, kreda	N <sub>2</sub> /woda	0.12- 2.2
Wapienie, piaskowiec drobnz. mułowce	CH <sub>4</sub> /woda	0.2-19.8
pelity	CH <sub>4</sub> /woda	0.06-6.7
ewaporaty	CO <sub>2</sub> /woda	9.2-21.4

Jak wynika z powyższych danych ewaporaty wykazują najlepsze własności uszczelniające, przypadek ten dotyczy uszczelnienia składowiska CO<sub>2</sub> w szcerpanym złożu ropy naftowej Weyburn w Kanadzie.

Również w **Tab. 1.1.17\_59** przedstawiono wyniki badania ciśnienia przebicia dla różnych systemów gaz-woda dla skał ze złoża Weyburn.

**Tab. 1.1.17\_59** Ciśnienia przebicia dla skał nadkładu ze złoża Weyburn (Bensted, 2007)

system	Ciśnienie przebicia [MPa], próbka A 15	Ciśnienie przebicia [MPa] próbka A 5	Ciśnienie przebicia [MPa] próbka A 8
N <sub>2</sub> /solanka	27.9	29.7	-
CH <sub>4</sub> /solanka	-	-	12.8
CO <sub>2</sub> /solanka	9.2	11.2	5.0
Iloraz N <sub>2</sub> (CH <sub>4</sub> )/CO <sub>2</sub>	3.03	2.65	2.56

Nie stwierdzono wpływu domieszek węglowodorowych w CO<sub>2</sub> na wielkość badanego ciśnienia przebicia. Badania wykazały, że w warunkach złoża Weyburn wartość ciśnienia przebicia dla CO<sub>2</sub> jest blisko 3 krotnie niższa, niż dla metanu czy azotu. Fakt ten jest kolejnym potwierdzeniem konieczności wykonywania badań na próbkach z przygotowywanych obiektów sekwestracyjnych.

Aby zmierzyć wielkość ciśnienia przebicia kapilarnego w specjalnym zestawie badawczym (Bensted, 2004) należy umieścić rdzenie nasycone solanką z badanego złoża. Aby nasycić solanką ekstremalnie zbite próbki skał należy wcześniej na spód komory rdzeniowej zatłoczyć CO<sub>2</sub> celem ewakuacji powietrza i zadać

podciśnienie na poziomie 0.025  $\mu\text{m Hg}$  w ciągu 2 godz. Ponownie należy wprowadzić  $\text{CO}_2$  celem oczyszczenia rdzenia. Pozbawioną powietrza solankę wtłoczyć na spód komory rdzeniowej aż do jej wypływu na wylocie z rdzenia. Podnieść ciśnienie do 7 MPa i utrzymywać w przeciągu 12 godz. Przepuszczając przez rdzeń solankę złożową zmierzyć przepuszczalność dla wody, a następnie dla metanu i azotu. Z atmosferycznym ciśnieniem na wylocie. Dla  $\text{CO}_2$  na wylocie należy utrzymywać przeciwcisnienia na poziomie 7.3 MPa celem utrzymania stanu nadkrytycznego. Badania należy prowadzić w temperaturze złożowej. Przed rozpoczęciem pomiarów ciśnienia przebicia solankę znajdującą się na wlocie do rdzenia należy usunąć aby zapewnić bezpośredni kontakt  $\text{CO}_2$  z powierzchnią czołową rdzenia

W ramach programu Konsorcjum zakupiono dla AGH zestaw badawczy firmy Temco skonstruowany specjalnie do wyznaczania ciśnień progowych. Zestaw ten znajduje się w Zakładzie Inżynierii Gazowniczej AGH w Krakowie.

W INiG przygotowano odpowiedni komplet rdzeni wiertniczych średnicy  $1\frac{1}{2}$  i 1 cal, których parametry petrofizyczne przedstawiono w **Tab. 1.1.17\_60** a widok na **Fig. 1.1.17\_205 - Fig. 1.1.17\_207**.



**Fig. 1.1.17\_205** Widok rdzeni pobranych w strefie złożowej Nosówka (wizen)



**Fig. 1.1.17\_206** Widok rdzeni pobranych w strefie nadkładu złoża Nosówka (baden)



**Fig. 1.1.17\_207** Widok rdzenia pobranego w strefie nadkładu (baden)



**Tab. 1.1.17\_60** Parametry petrofizyczne wybranych rdzeni wiertniczych ze strefy złożowej Nosówka oraz nadkładu złoża

Odwiert	Nr próbki	formacja	Głębokość [m]	Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	Porowatość całkowita [%]	Porowatość z porozym. [%]	Przepuszcz. [mD]
Nos. - 5	8828	wizen	3533	2.71	0.41	0.4	1.122
Nos. - 5	8835	wizen	3557	2.7	0.36	0.35	0.4
Nos. - 5	8261	wizen	3446				
Nos. - 5	8245	baden	3364				
Nos. - 5	8264	baden	3360				

Wraz z próbkami rdzeni do laboratorium Zakładu Inżynierii Gazowniczych dostarczono również próbkę wody złożowej o składzie zamieszczonym w **Tab. 1.1.17\_61**.

**Tabl. 1.1.17\_61** Analiza wody złożowej ze złoża Nosówka (sierpień 2010)

Zawartość jonów w [g/l]	
Mg <sup>+2</sup>	0,13
Ca <sup>+2</sup>	6,21
K <sup>+</sup>	0,50
Na <sup>+</sup>	88,89
Cl <sup>-</sup>	148,90

## Modelowanie migracji CO<sub>2</sub> do skał nadkładu złoża Nosówka

W związku z realizacją zadania poświęconego modelowaniu procesu sekwestracji CO<sub>2</sub> w złożu naftowym Nosówka zaistniała potrzeba oceny wielkości migracji zatłaczanego CO<sub>2</sub> do skał nadkładu w sytuacji powstania warunków przesączania się tego gazu do skał nadkładu na skutek niekorzystnych relacji sił kapilarnych w porównaniu do systemu węglowodorów. Należy zaznaczyć, że omawiany poniżej model nie odnosi się do nieszczelności innego typu takich jak wyindukowane w trakcie zatłaczania szczeliny, drogi ucieczki powstałe w obrębie uskoku czy nieszczelności w odwiercie.

### Opis modelu symulacyjnego

Dla uwzględnienia efektów migracji CO<sub>2</sub> do skał nadkładu złoża Nosówka skonstruowano model symulacyjny obejmujący część złożową struktury oraz komplet warstw skał nadkładu sięgający od skały zbiornikowej do powierzchni terenu tj. w sumie ponad 3700 m miąższości. Model ma charakter 1-wymiarowy i składa się z 3355 bloków o miąższościach 1 m w strefie nadkładu i 10 m w strefie zbiornikowej. Wielkości te wybrano dla uzyskania wysokiej rozdzielczości modelowania procesu migracji. Właściwości skał nadkładu (w tym miąższości poszczególnych warstw geologicznych, porowatości i przepuszczalności bezwzględne) przyjęto wg uzyskanych danych geologicznych, które przedstawiono w postaci przekroju na **Fig. 1.1.17\_208**.

Na podstawie ciśnień zmierzonych w złożu oraz wyznaczonego profilu ciśnień w skałach nadkładu określono minimalne ciśnienie progowe na stopie złoża spójne z faktem istnienia pułapki złożowej i wyznaczono jego wielkość jako  $\Delta P = 8.1 \text{ bara} = 0.81 \text{ MPa}$  (**Fig. 1.1.17\_209**).

Dla pełnego opisu modelu, wobec braku danych pomiarowych, przyjęto zależność przepuszczalności względnej gazu (CO<sub>2</sub>),  $k_{rg}$ , i wody  $k_{rw}$ , w postaci standardowych funkcji od nasycień zredukowanych odpowiednich płynów (**Fig. 1.1.17\_210** i **Fig. 1.1.17\_211**) tj.

$$k_{rg} = (S_g^*)^\alpha$$

$$\text{gdzie: } S_g^* = \frac{S_g - S_{g, \min}}{(1 - S_{w, \min}) - S_{g, \min}}$$

$$k_{rw} = (S_w^*)^\beta$$

$$\text{gdzie: } S_w^* = \frac{S_w - S_{w, \min}}{1 - S_{w, \min}}$$

$$\text{dla } \alpha = 3, \beta = 4 \text{ oraz } S_{w, \min} = 0.1$$

Ponieważ z przeprowadzonych testów wynika istotna zależność symulowanych zjawisk migracji CO<sub>2</sub> od  $S_{g, \min}$  dlatego parametr ten przyjmowano dla 2 różnych wartości, tj.  $S_{gr} = 0.0$  i  $0.1$ .

Z braku danych pomiarowych dla omawianej struktury przyjęto typową zależność dla ciśnień kapilarnych w układzie woda-gaz przedstawioną na **Fig. 1.1.17\_212**.

Ponieważ jednym z kluczowych parametrów wpływających na intensywność i szybkość badanej migracji CO<sub>2</sub> do skał nadkładu jest wielkość rozpuszczalności CO<sub>2</sub> w wodzie nasycającej te skały, która nie jest precyzyjnie określona, dlatego przedstawione poniżej wyniki uzyskano dla 3 różnych krzywych rozpuszczalności pokazanych na **Fig. 1.1.17\_213**; oznaczonych jako  $R_s(1)$ ,  $R_s(2)$ ,  $R_s(3)$  i obejmujących bardzo szeroki zakres tego parametru. Uwzględniono również jako graniczny przypadek bez rozpuszczalności CO<sub>2</sub> w wodzie oznaczony dalej jako  $R_s(0)$ .

Jako warunki początkowe i brzegowe symulowanego procesu przyjęto (**Fig. 1.1.17\_214**):

- pełne nasycenie wodą,  $S_w = 1.0$ , skał nadkładu,
- nasycenie skał zbiornikowych dwutlenkiem węgla powyżej kontaktu woda-gaz zgodnie z przyjętą krzywą ciśnień kapilarnych,
- stałe ciśnienie gazu (CO<sub>2</sub>) na stropie złoża zarówno podczas fazy zatłaczania jak i późniejszej fazy relaksacji – warunek ten ma charakter zachowawczy gdyż w rzeczywistości należy oczekiwać spadku ciśnienia np. na skutek ucieczki gazu.

Jako własności wody złożowej (dla  $T = 100^\circ\text{C}$ ,  $s = 200$  g/l) przyjęto zgodnie z otrzymanymi danymi:

- gęstość w warunkach normalnych  $\rho_w = 1072$  kg/m<sup>3</sup>,
- współczynnik objętościowy:  $B_w = 1.0071$  m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>,
- lepkość:  $\mu_w = 2.04$  cP,
- ścisłość:  $c_w = 3.43 \times 10^{-5}$  l/bar
- przy ciśnieniu odniesienia  $p = 30$  MPa.

Ponieważ ciśnienie progowe dla CO<sub>2</sub> jest niższe od ciśnienia dla węglowodorów przyjęto jego wartość na poziomie 50% tego drugiego, tj.  $\Delta p = 0,4$  MPa.

## Wyniki symulacji procesu migracji CO<sub>2</sub> do skał nadkładu złoża Nosówka

Ze względu na istotną zależność otrzymanych wyników od omawianych powyżej parametrów, przy barku ich precyzyjnego określenia, poniżej przedstawiono wyniki dla wielokrotnych wariantów uwzględniających zależność:

- rozpuszczalności CO<sub>2</sub> w wodzie,
- wielkości ciśnienia na stropie złoża,
- stopnia mobilności gazu wyrażonej parametru  $S_{g, \min}$  – minimalne nasycenie mobilnego gazu.

### Zależność od rozpuszczalności CO<sub>2</sub> w wodzie

Wykonano symulacje dla 4 wariantów rozpuszczalności CO<sub>2</sub> w wodzie, odpowiadające podanym wcześniej rozpuszczalnościom:  $R_s(0)$ ,  $R_s(1)$ ,  $R_s(2)$ ,  $R_s(3)$ .

W trakcie symulacji utrzymywano stałe ciśnienie CO<sub>2</sub> na stropie złoża równe ciśnieniu początkowemu i odpowiadające przewyższeniu ciśnienia progowego o 0,4 MPa.

W badanych warunkach założono mobilność gazu odpowiadającą nasyceniu minim.  $S_{g, \min}=0.0$ . Wyniki w postaci zasięgu migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu mierzonej jako wysokość powyżej stropu, H, w funkcji czasu składowania t, przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_215**. Wynika z niego, że po ok. 1600 latach zasięg migracji zależy od rozpuszczalności w sposób podany w **Tab. 1.1.17\_62**.

**Tab. 1.1.17\_62** Złoże Nosówka. Zasięg migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu. Zależność od rozpuszczalności. Ciśnienie na stropie: 0,4 MPa powyżej ciśnienia progowego,  $S_{g, \min} = 0.0$

Krzywa rozpuszczalności	Zasięg migracji CO <sub>2</sub> , H, po 1600 latach sekwestracji [m]	Prędkość migracji CO <sub>2</sub> po 1600 latach sekwestracji [m/100 lat]	Sumaryczny wyptyw CO <sub>2</sub> do skał nadkładu przez jednostkową powierzchnie stropu po 1600 latach sekwestracji [Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
$R_s(0)$	34.04	1.71	51.17
$R_s(1)$	29.77	1.57	54.64
$R_s(2)$	24.57	1.28	66.25
$R_s(3)$	21.03	1.05	76.48

W tabeli tej zamieszczono również prędkość migracji na koniec omawianego okresu. Tak więc zasięg migracji zmienia się w zależności od wielkości rozpuszczalności CO<sub>2</sub> w wodzie w granicach od 34 m (bez rozpuszczalności) do 21 m (przy maksymalnej rozpuszczalności), a jej prędkość odpowiednia od 1.71 m/100 lat do 1.05 m/100 lat w powyższych przypadkach granicznych. W tym czasie sumaryczna ilość gazu, który przemigrował przez 1 m<sup>2</sup> stropu z części zbiornikowej do skał nadkładu zmienia się w sposób podany na **Fig. 1.1.17\_216** i wynosi od 51.2 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dla przypadku zerowej rozpuszczalności do 76.5 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dla przypadku maksymalnej rozpuszczalności.

Cechą charakterystyczną omawianego procesu migracji w zależności od rozpuszczalności CO<sub>2</sub> w wodzie jest redukcja zasięgu i prędkości migracji przy jednoczesnym wzroście sumarycznego wypływu wraz ze wzrostem rozpuszczalności. Przykładowe zmiany profilu nasycenia CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu dla przypadku rozpuszczalności R<sub>s</sub>(2) przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_217**.

### **Zależność od ciśnienia na stropie**

Wraz ze wzrostem ciśnienia na stropie złoża powyżej ciśnienia progowego następuje intensyfikacja przepływu CO<sub>2</sub> do skał nadkładu. Sytuację tę symulowano dla przypadku gdy ciśnienie na stropie przewyższa ciśnienie progowe o 1 MPa.

Wyniki zasięgu migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu dla zerowej i maksymalnej rozpuszczalności CO<sub>2</sub> w wodzie przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_218** i w **Tab. 1.1.17\_63**. W porównaniu do poprzednich wyników dla przewyższenia ciśnienia o 0,4 MPa obserwuje się wyraźny wzrost zasięgu i prędkości migracji: 52.3 m vs 34 m (2.64 vs 1.71 m/100 lat) dla zerowej rozpuszczalności oraz 40.2 m vs 21.0 m (1.97 vs 1.05 m/100 lat) dla maksymalnej rozpuszczalności.

**Tab. 1.1.17\_63** Złoże Nosówka. Zasięg migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu. Zależność od rozpuszczalności. Ciśnienie na stropie: 1 MPa powyżej ciśnienia progowego, S<sub>g,min</sub> = 0.0

Krzywa rozpuszczalności	Zasięg migracji CO <sub>2</sub> , H, po 1600 latach sekwestracji [m]	Prędkość migracji CO <sub>2</sub> po 1600 latach sekwestracji [m/100 lat]	Sumaryczny wypływ CO <sub>2</sub> do skał nadkładu przez jednostkową powierzchnię stropu po 1600 latach sekwestracji [Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
Rs(0)	52.58	2.64	133.60
Rs(3)	40.18	1.97	179.92

Wielkość sumarycznego wypływu przez 1 m<sup>2</sup> powierzchni stropu do skał nadkładu przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_219** i w **Tab. 1.1.17\_64**.

**Tab. 1.1.17\_64** Złoże Nosówka. Zasięg migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu. Zależność od rozpuszczalności. Ciśnienie na stropie: 0,4 MPa powyżej ciśnienia progowego,  $S_{g,min} = 0.1$

Krzywa rozpuszczalności	Zasięg migracji CO <sub>2</sub> , H, po 1600 latach sekwestracji [m]	Prędkość migracji CO <sub>2</sub> po 1600 latach sekwestracji [m/100 lat]	Sumaryczny wypływ CO <sub>2</sub> do skał nadkładu przez jednostkową powierzchnię stropu po 1600 latach sekwestracji [Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
Rs(0)	16.83	0.76	50.18
Rs(3)	13.71	0.61	66.27

Należy zaznaczyć bardzo wyraźny przyrost tej wielkości w porównaniu do wartości dla mniejszego przewyższeniu ciśnienia, wynoszący 133.6 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> vs 51.2 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> w przypadku z zerową rozpuszczalnością i 179.9 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> vs 76.5 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> w przypadku maksymalnej rozpuszczalności.

#### **Zależność od mobilności gazu**

Zależność od mobilności gazu zbadano poprzez modyfikację  $S_{g, min}$  – minimalnego nasycenia, dla którego gaz staje się mobilny. Wcześniej zakładano  $S_{g, min} = 0.0$ . Poniżej przedstawiono wyniki dla zredukowanej mobilności poprzez zwiększeniu  $S_{g, min}$  do wartości  $S_{g, min} = 0.1$ . Pozostałe założenia to przewyższenie ciśnienia progowego o 0,4 MPa i dwa warianty rozpuszczalności CO<sub>2</sub> w wodzie: R<sub>s</sub>(0) – brak rozpuszczalności i R<sub>s</sub>(3) – maksymalna rozpuszczalność.

Wyniki w postaci zasięgu migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_220** i **Tab 1.1.17\_57**. Zaznacza się silne ograniczenie migracji gazu: jej zasięgu i prędkości z wartości 34.0 m do 16.8 m (1.71 m/100 lat do 0.76 m/100 lat) dla przypadku bez rozpuszczalności i z 40.2 m do 13.7 m (1.97 m/100 lat) do 0.61 m/100 lat) dla przypadku maksymalnej rozpuszczalności CO<sub>2</sub> w wodzie. Natomiast wielkość sumarycznego CO<sub>2</sub> do skał nadkładu (**Fig. 1.1.17\_221** i **Tab. 1.1.17\_62**) jest ograniczona w mniejszym stopniu, tj. z 51.2 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> do 50.2 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dla zerowej rozpuszczalności i z 76.5 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> do 66.3 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dla maksymalnej przepuszczalności. Jest to efekt osiągnięcia przez CO<sub>2</sub> większych nasyceń w przypadku jego mniejszej mobilności.

### **Podsumowanie**

Wykonane symulacje procesu migracji CO<sub>2</sub> do skał nadkładu w złożu Nosówka wykazują ograniczony zasięg migracji nawet w najbardziej pesymistycznym z rozpatrywanych wariantów, dla którego wynosi on ok. 52 m powyżej stropu złoża na przestrzeni 1600 lat. Zakładając obserwowaną w tym czasie prędkość migracji na poziomie 2.64 m/100 lat objęcie migracją tylko nasunięcia Stebnickiego o miąższości 425 m będzie wymagało co najmniej 16 tys. lat i jest to wielkość najprawdopodobniej zaniżona z powodu:

- gorszych własności transportowych w tej formacji,
- uwięzienia części CO<sub>2</sub> w postaci gazu rozpuszczonego w fazie wodnej.

Przyjmując rozpuszczalność wg R<sub>s</sub>(3) tzn. wielkość wypływu ok. 180 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/1600 lat oraz ilość CO<sub>2</sub> zmagazynowanego w złożu wynoszącą ok. 3300 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, wszystek CO<sub>2</sub> wyemigruje ze złoża po ok. 30 000 osiągając ok. 580 m powyżej stropu złoża, czyli ponad 2000 m poniżej powierzchni terenu.

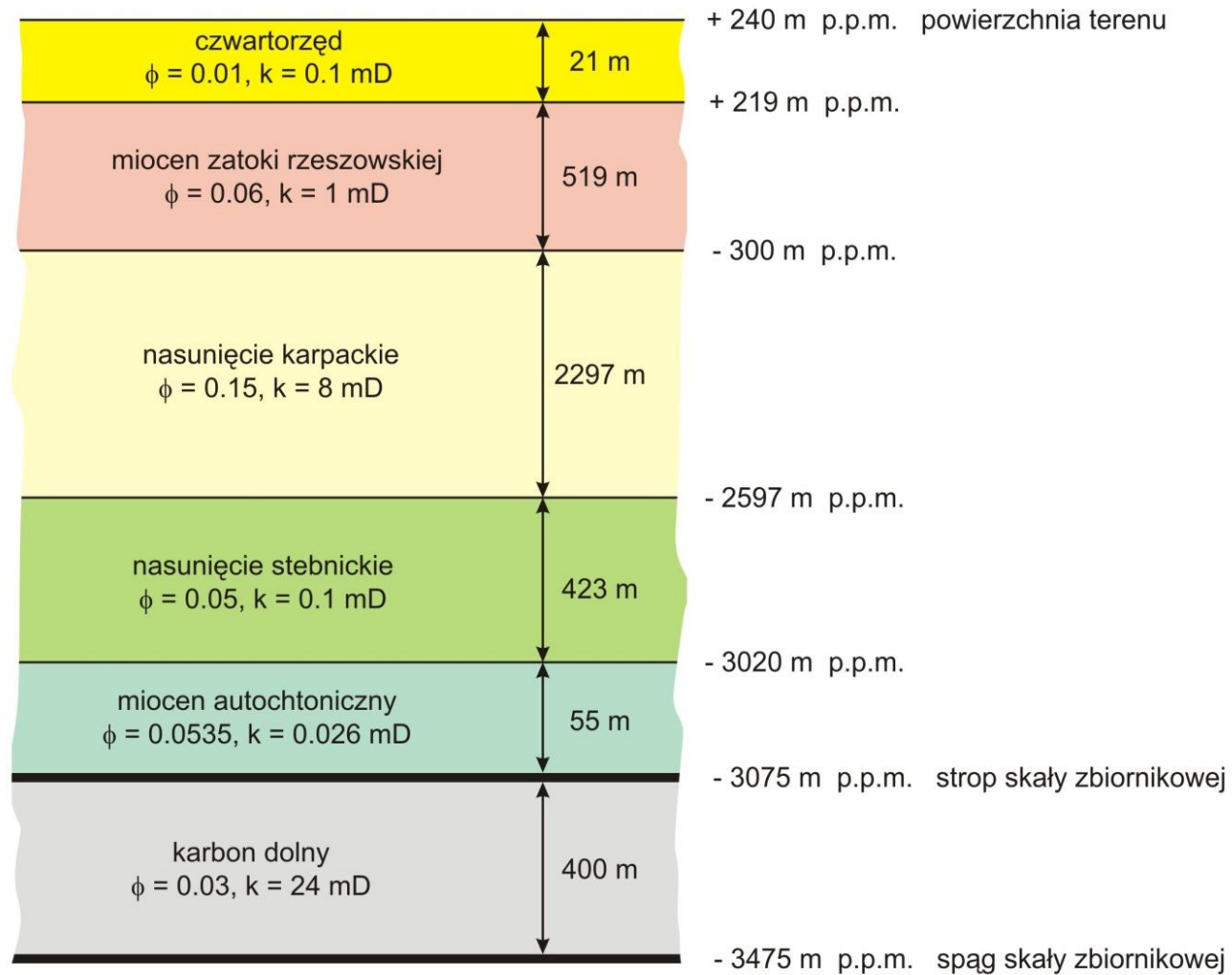


Fig. 1.1.17\_208 Złoże Nosówka. Struktura modelu skał nadkładu



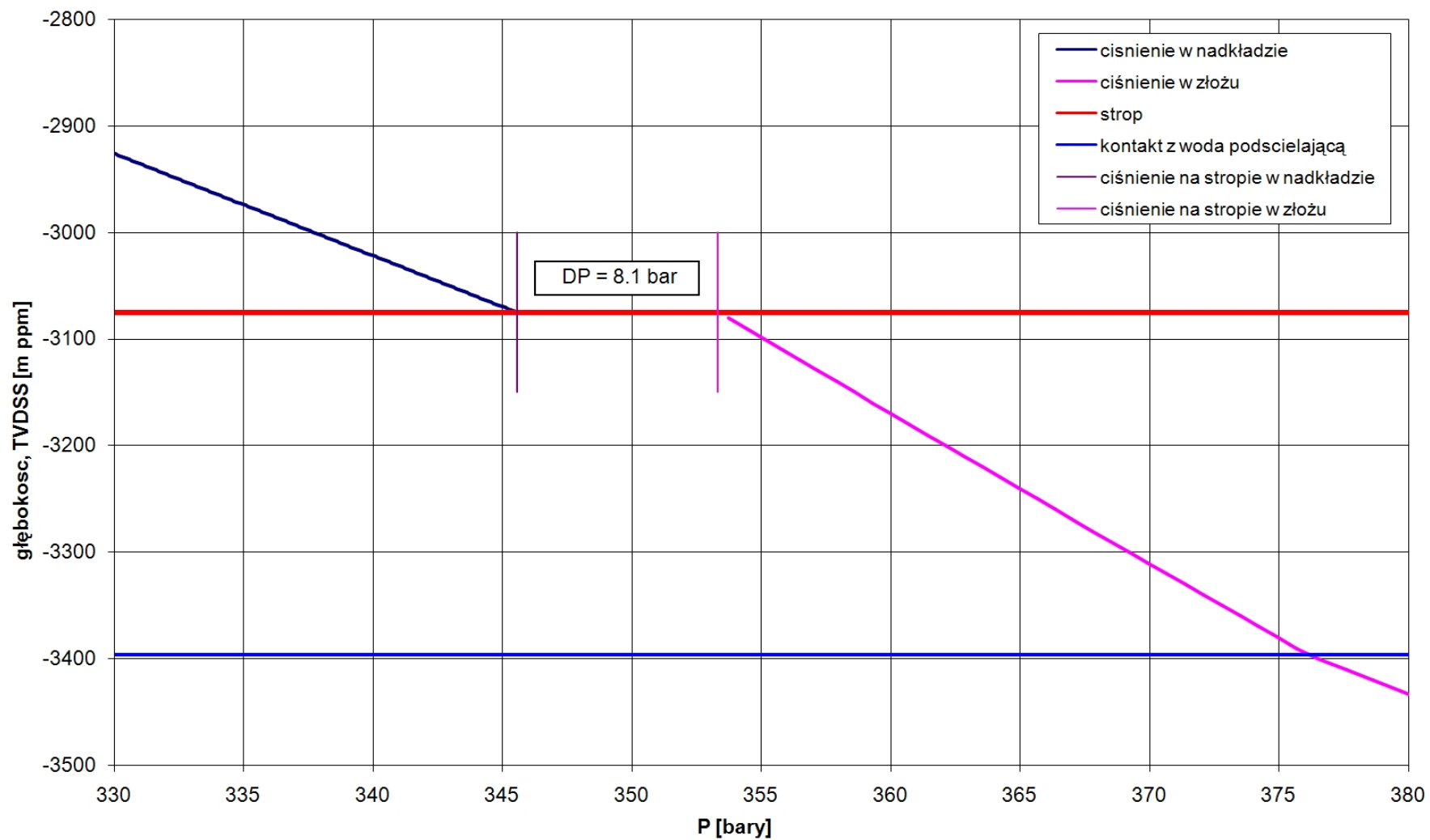


Fig. 1.1.17\_209 Złoże Nosówka. Profil ciśnienia w nadkładzie i złożu Nosówka. Wyznaczenie minimalnego ciśnienia progowego.

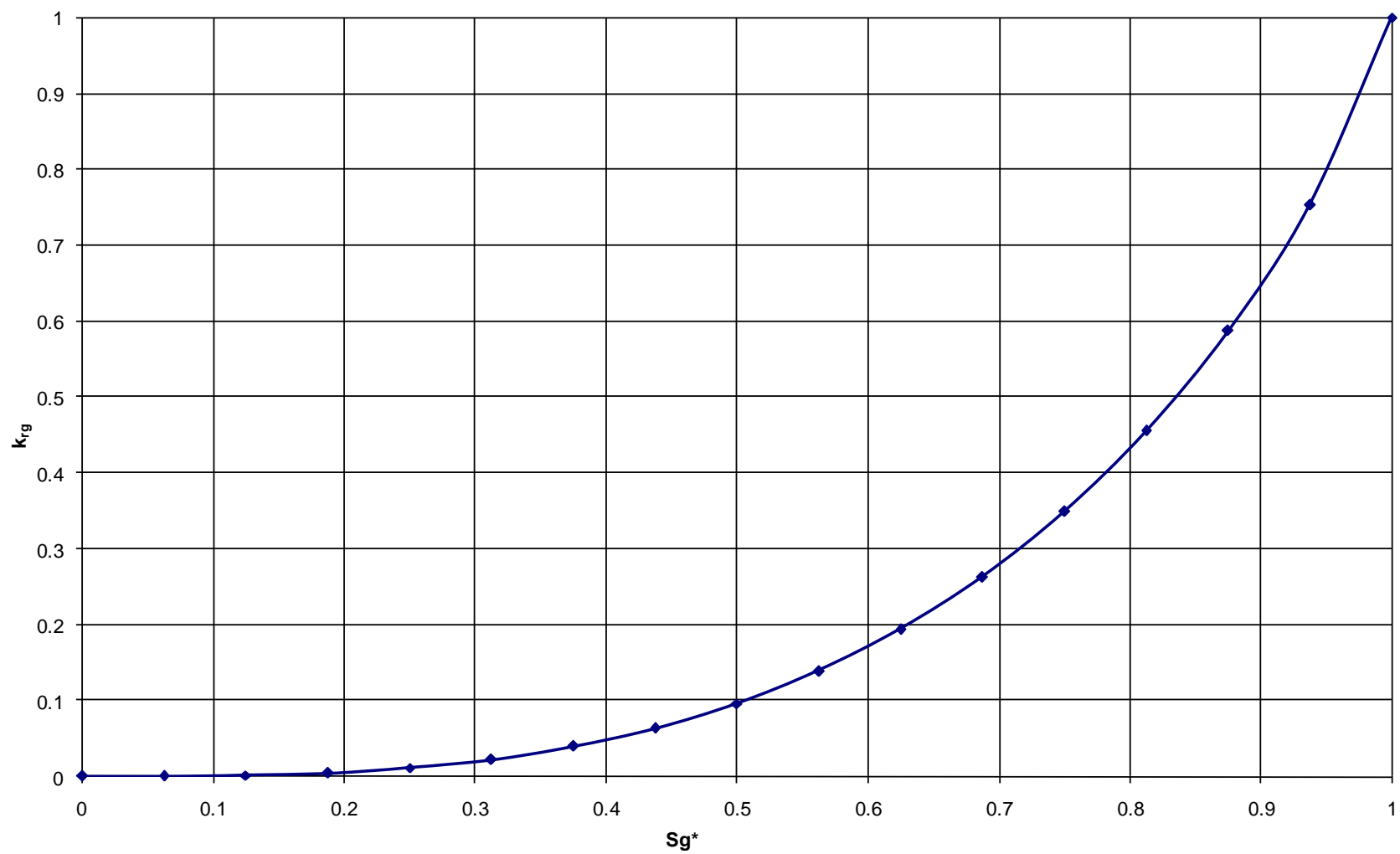
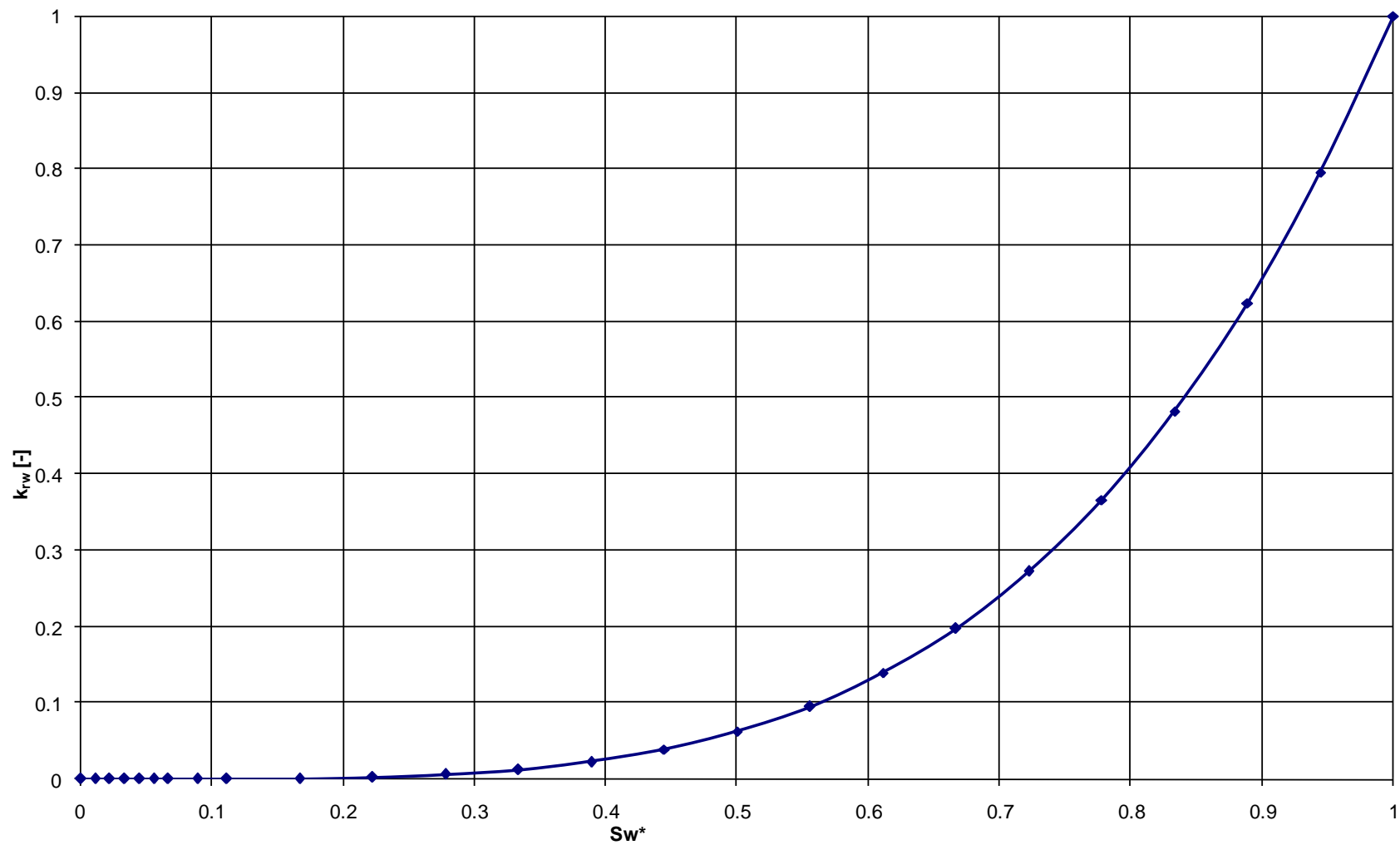
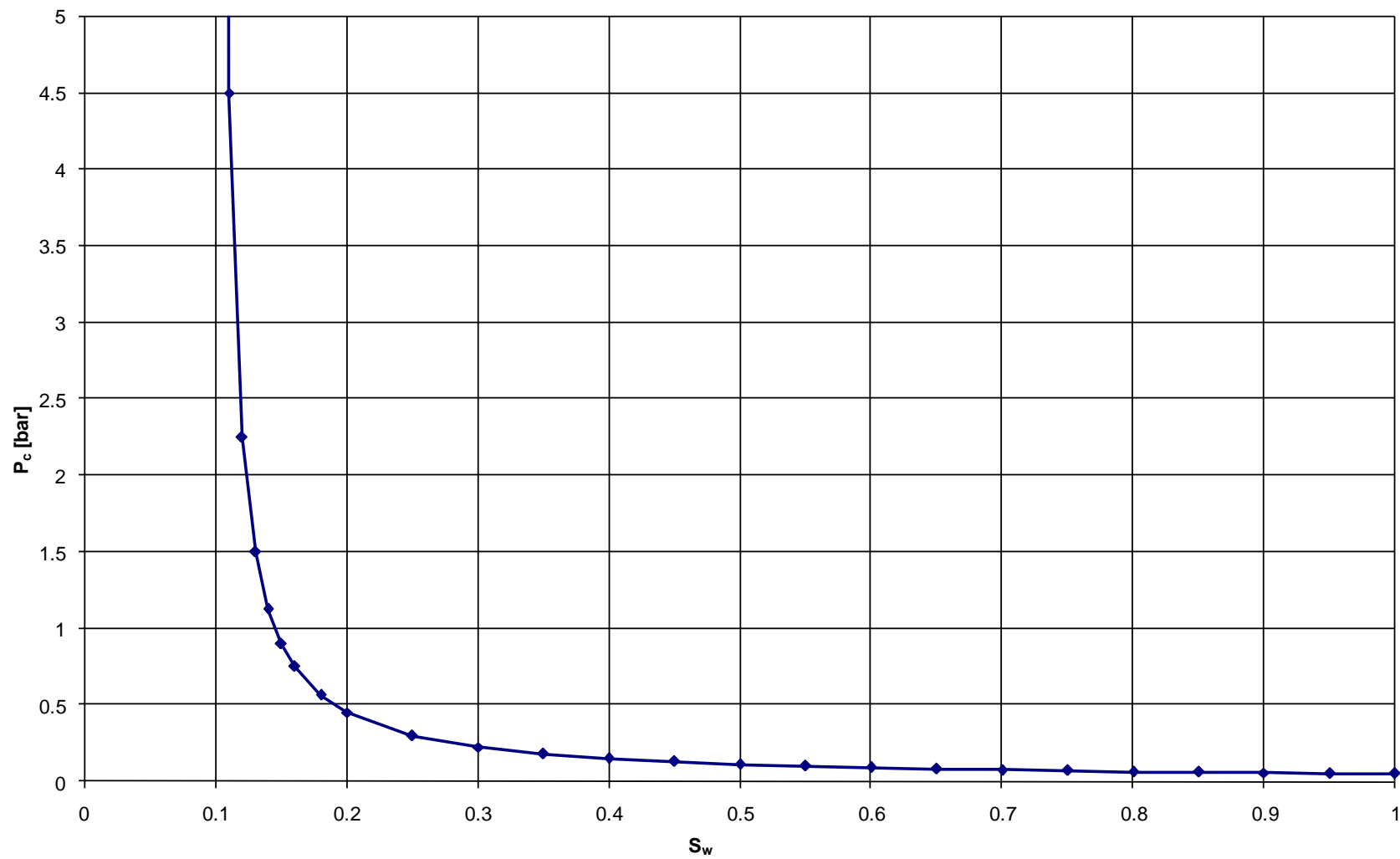


Fig. 1.1.17\_210 Złoże Nosówka. Przepuszczalność względna gazu,  $k_{rg}$ , w funkcji zredukowanego nasycenia gazem,  $S_g^*$

17-416



**Fig. 1.1.17\_211** Złoże Nosówka. Przepuszczalność względna wody,  $k_{rw}$ , w funkcji zredukowanego nasycenia gazem,  $Sw^*$   
17-417



**Fig. 1.1.17\_212** Złoże Nosówka. Ciśnienie kapilarne w układzie woda-gaz,  $P_c$ , w funkcji nasycenia wodą,  $S_w$   
17-418

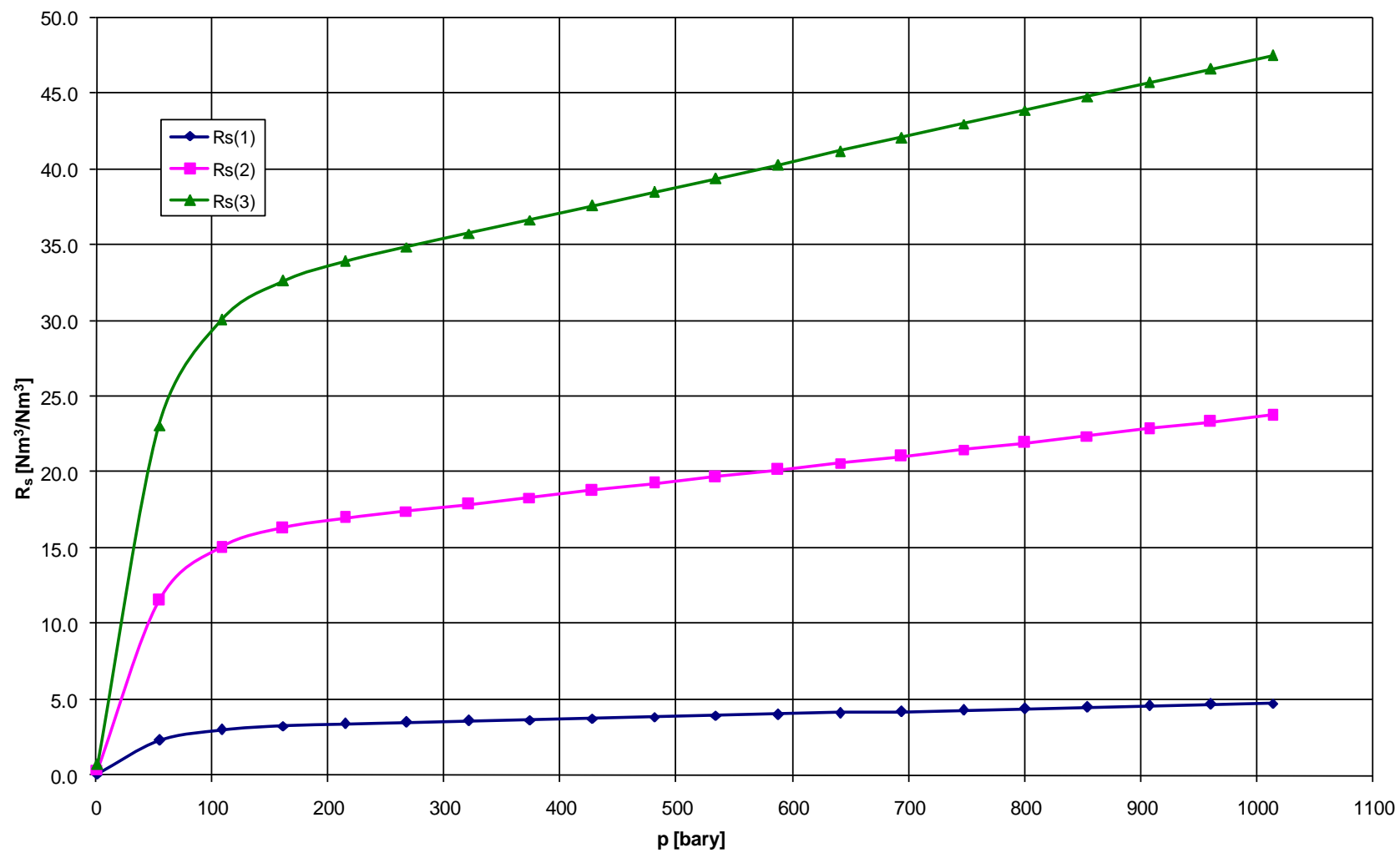
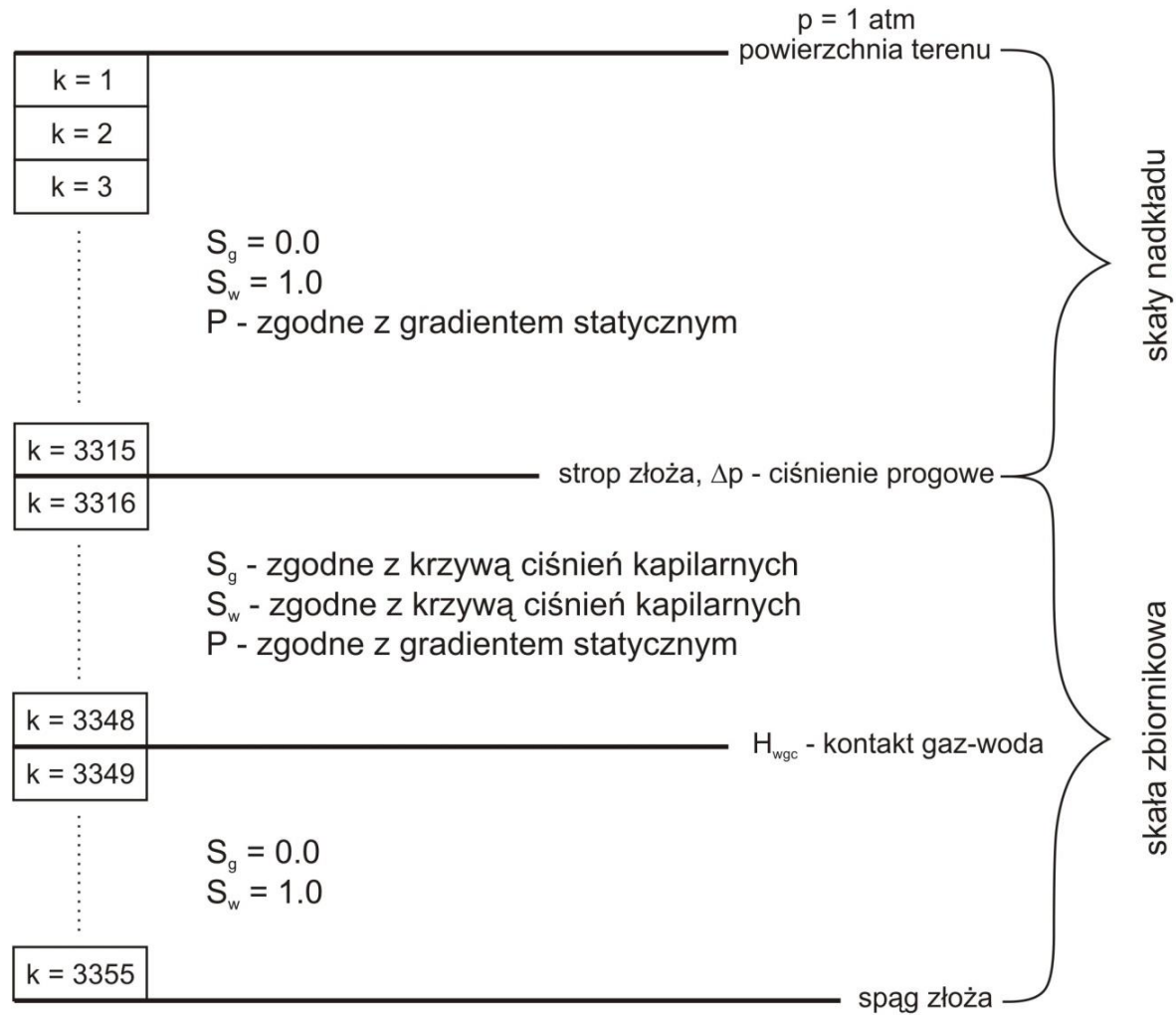
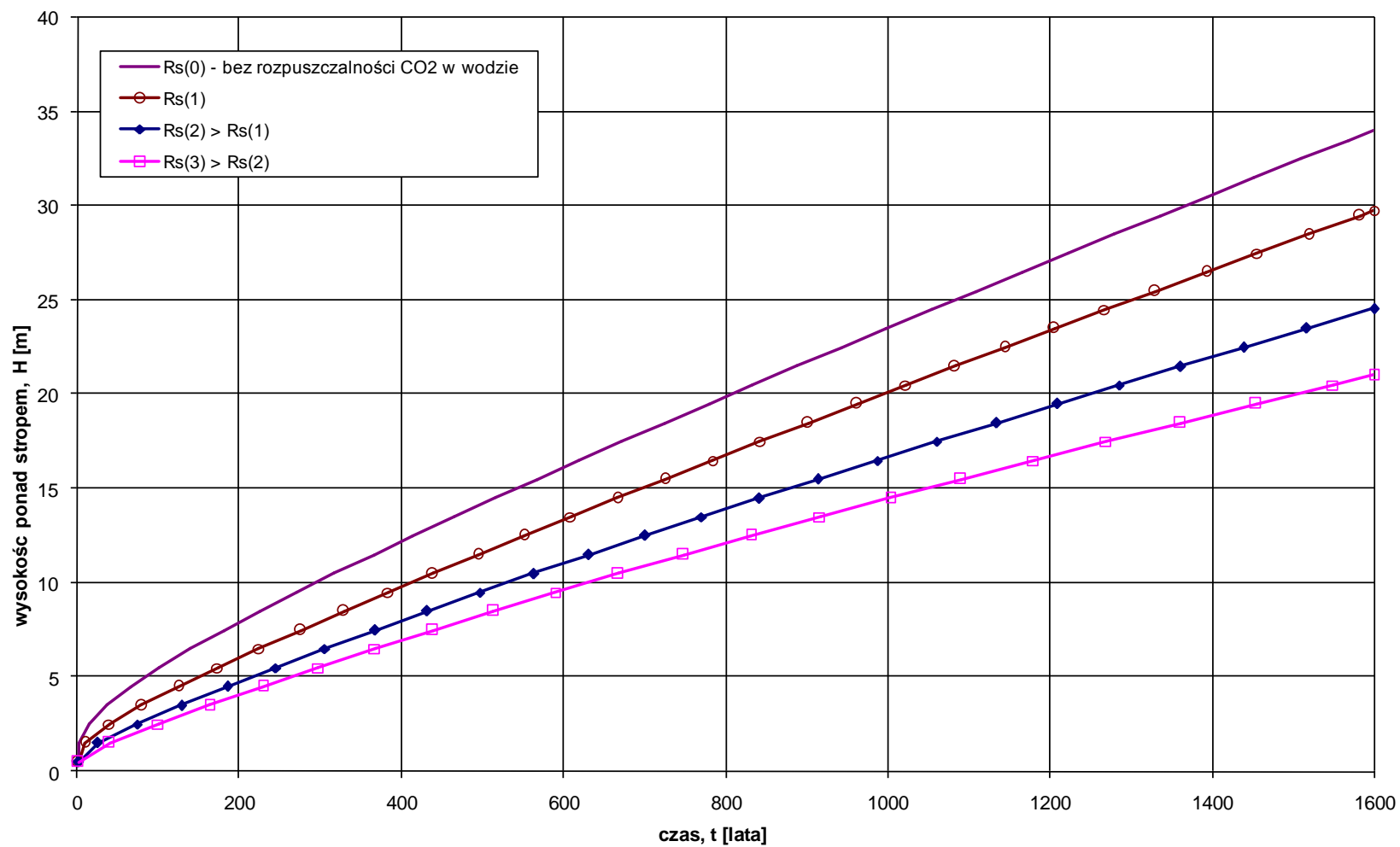


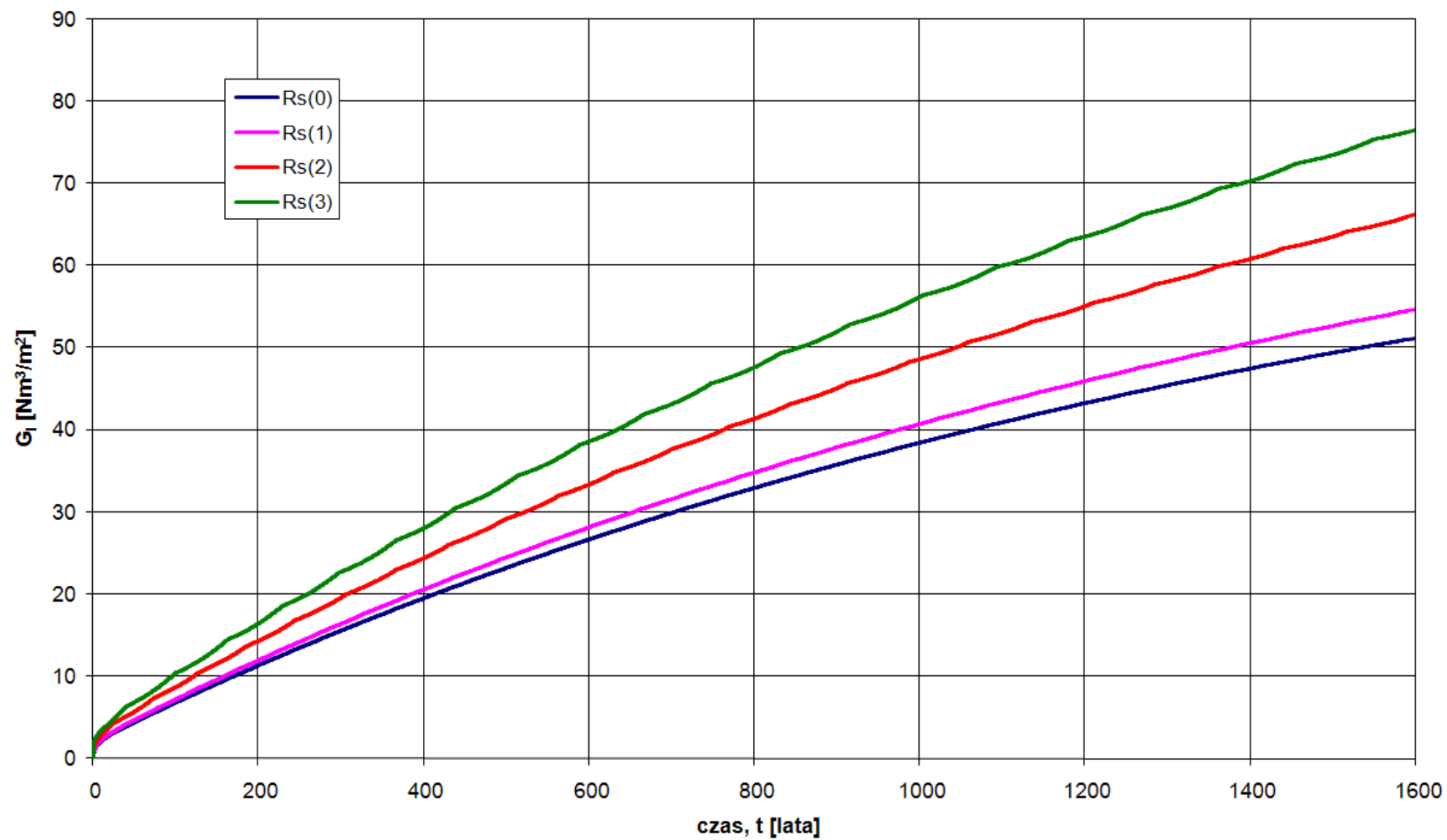
Fig. 1.1.17\_213 Złoże Nosówka. Rozpuszczalność CO<sub>2</sub> w wodzie złożowej, R<sub>s</sub>, w funkcji ciśnienia złożowego, p. Analizowane warianty.



**Fig. 1.1.17\_214** Złoże Nosówka. Schemat modelu do symulacji migracji CO<sub>2</sub> do skał nadkładu. Warunki brzegowe i początkowe.

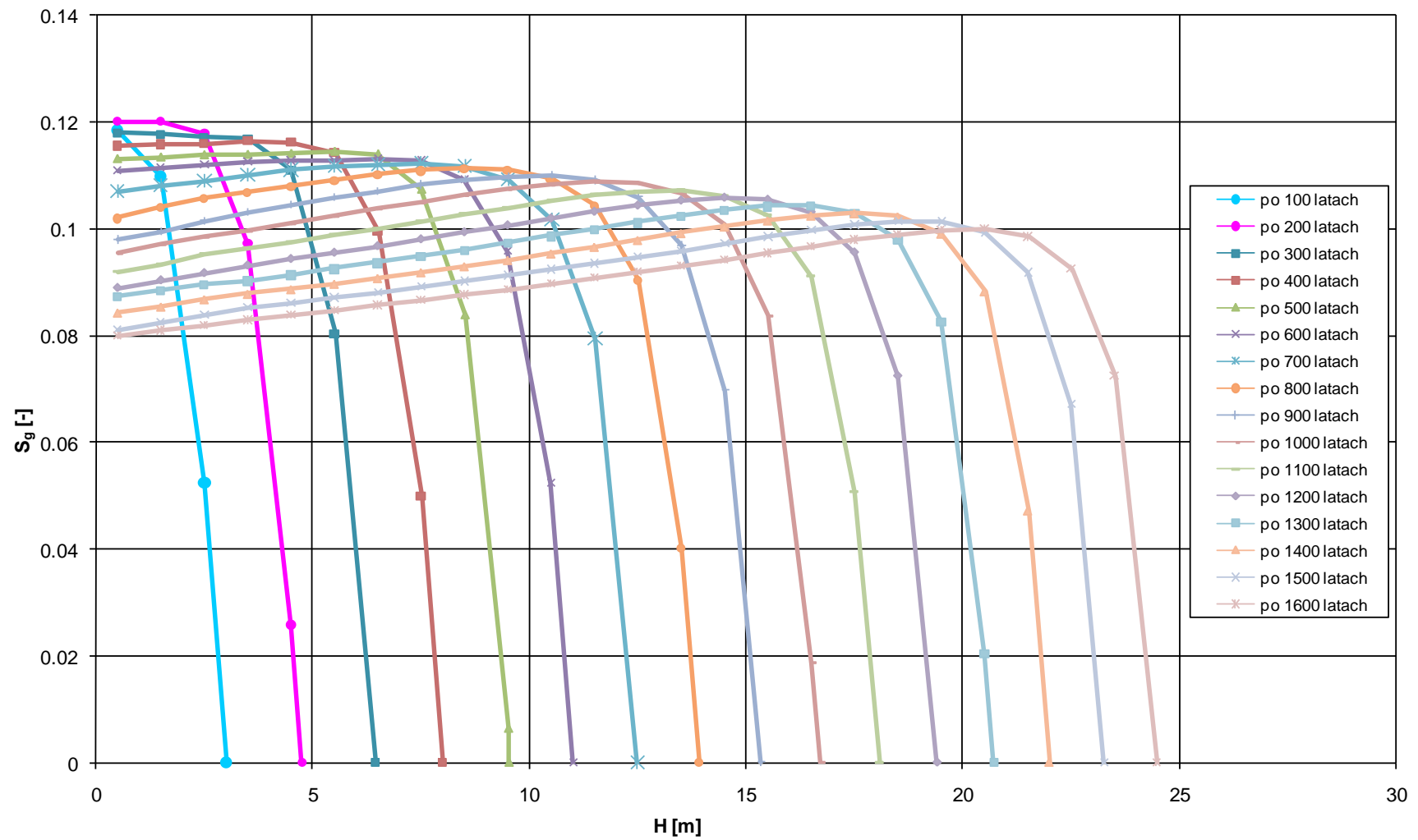


**Fig. 1.1.17\_215** Żłóże Nosówka. Zasięg migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu, H, w funkcji czasu, t (ciśnienie na stropie: 0.4 MPa powyżej ciśnienia progowego,  $S_{g,min} = 0.0$ ).



**Fig. 1.1.17\_216** Złoże Nosówka. Sumaryczny wypływ  $\text{CO}_2$  do skał nadkładu przez jednostkowa powierzchnię stropu,  $G_t$  (ciśnienie na stropie: 0.4 MPa powyżej ciśnienia progowego;  $S_{g,\min} = 0.0$ ).





**Fig. 1.1.17\_217** Żłóże Nosówka. Zmiana nasycenia  $\text{CO}_2$ ,  $S_g$ , w skałach nadkładu w funkcji wysokości ponad stropem,  $H$ .  
17-423

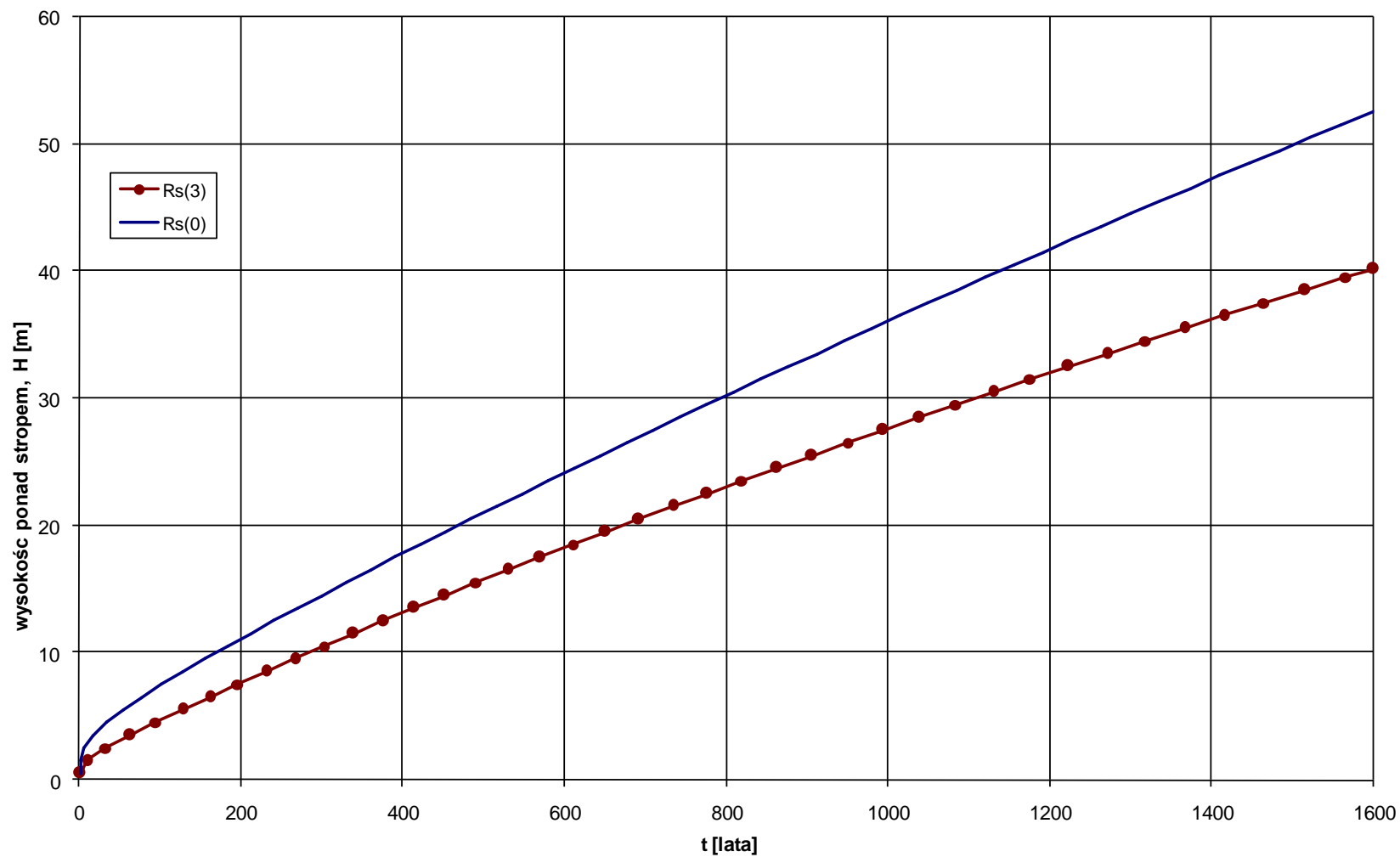


Fig. 1.1.17\_218 Złoże Nosówka. Zasięg migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu w funkcji czasu, t (ciśnienie na stropie: 1 MPa powyżej ciśnienia progowego).

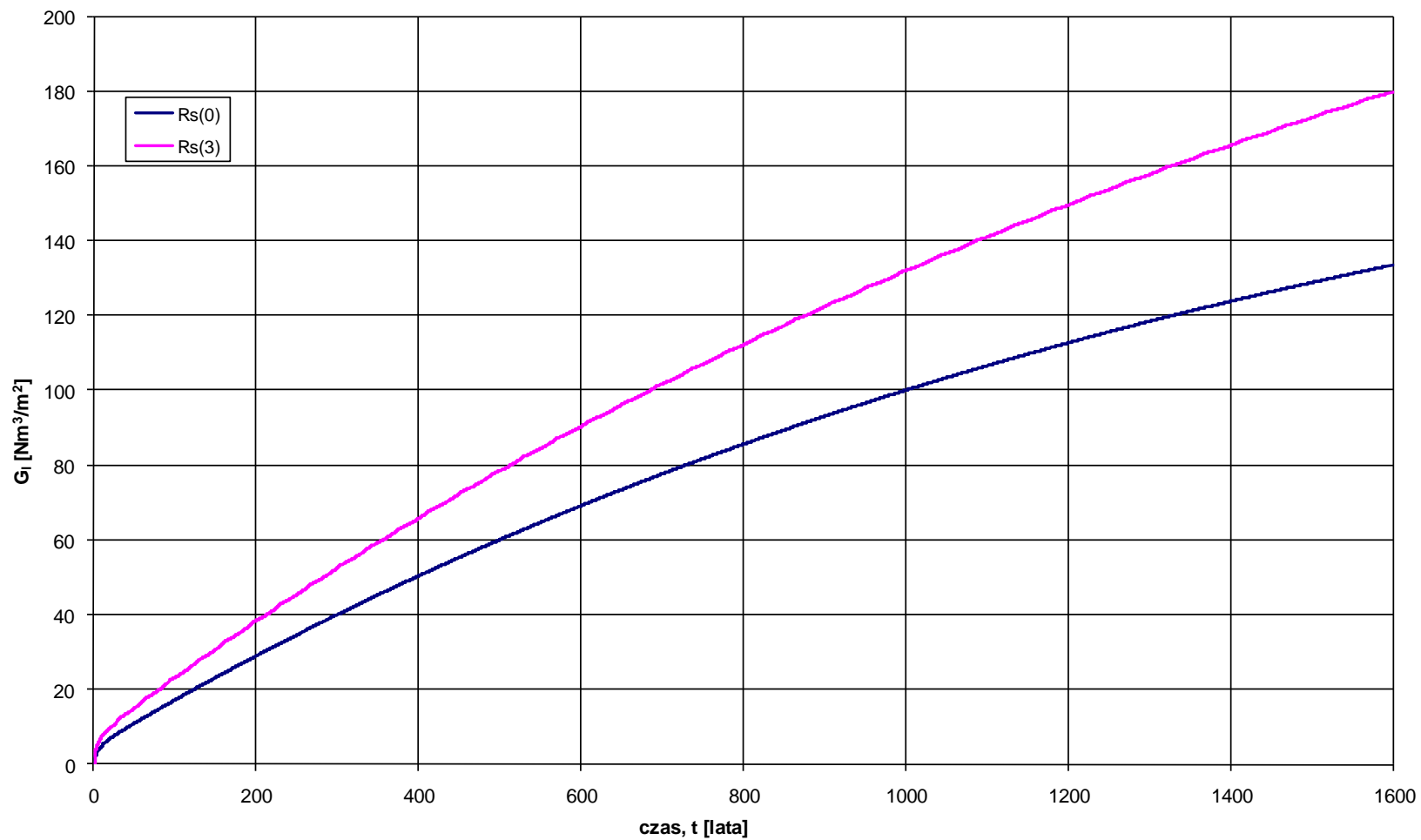


Fig. 1.1.17\_219 Złoże Nosówka. Sumaryczny wypływ  $\text{CO}_2$  do skał nadkładu przez jednostkową powierzchnię stropu,  $G_i$  (ciśnienie na stropie: 1 MPa powyżej ciśnienia progowego).

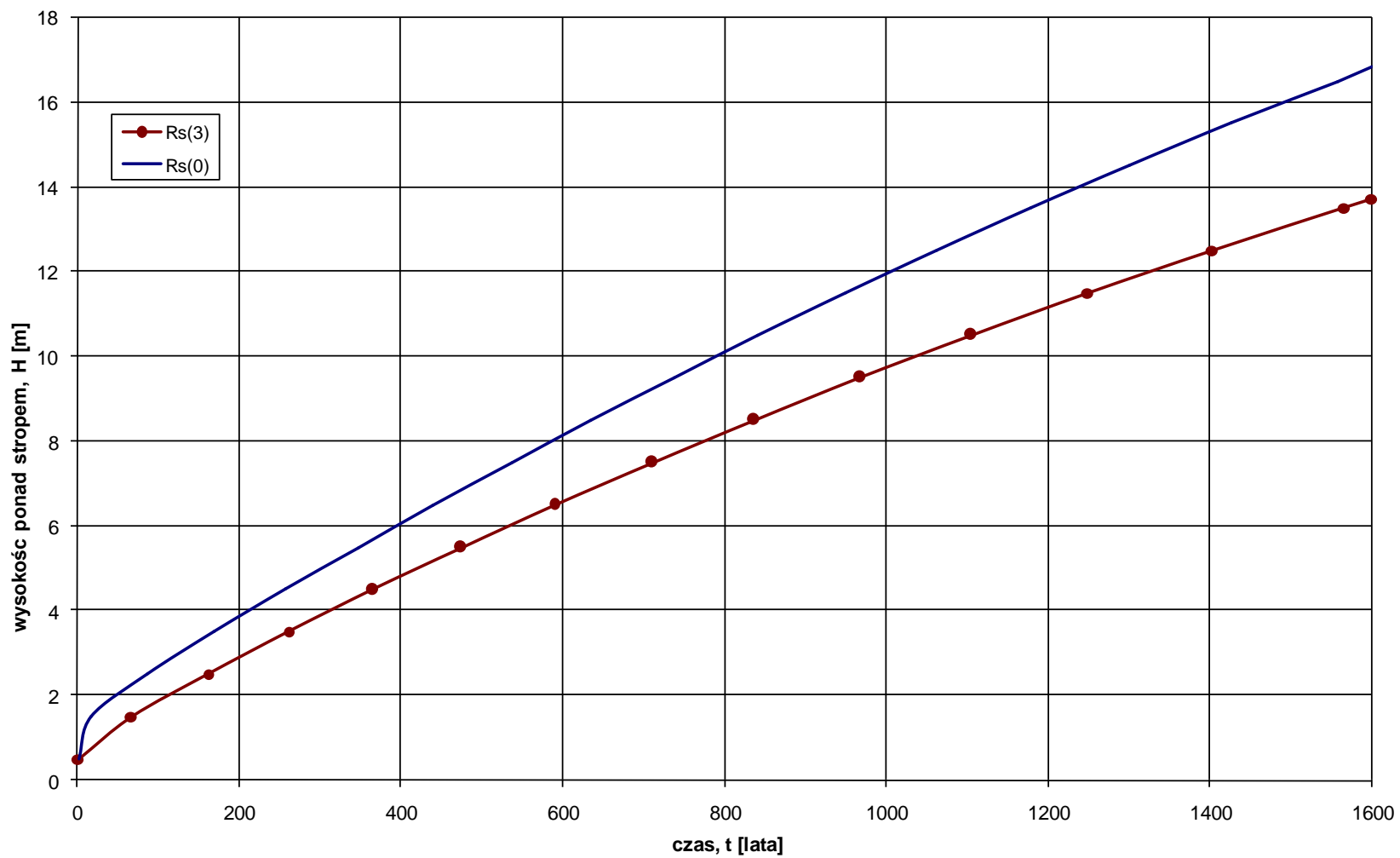
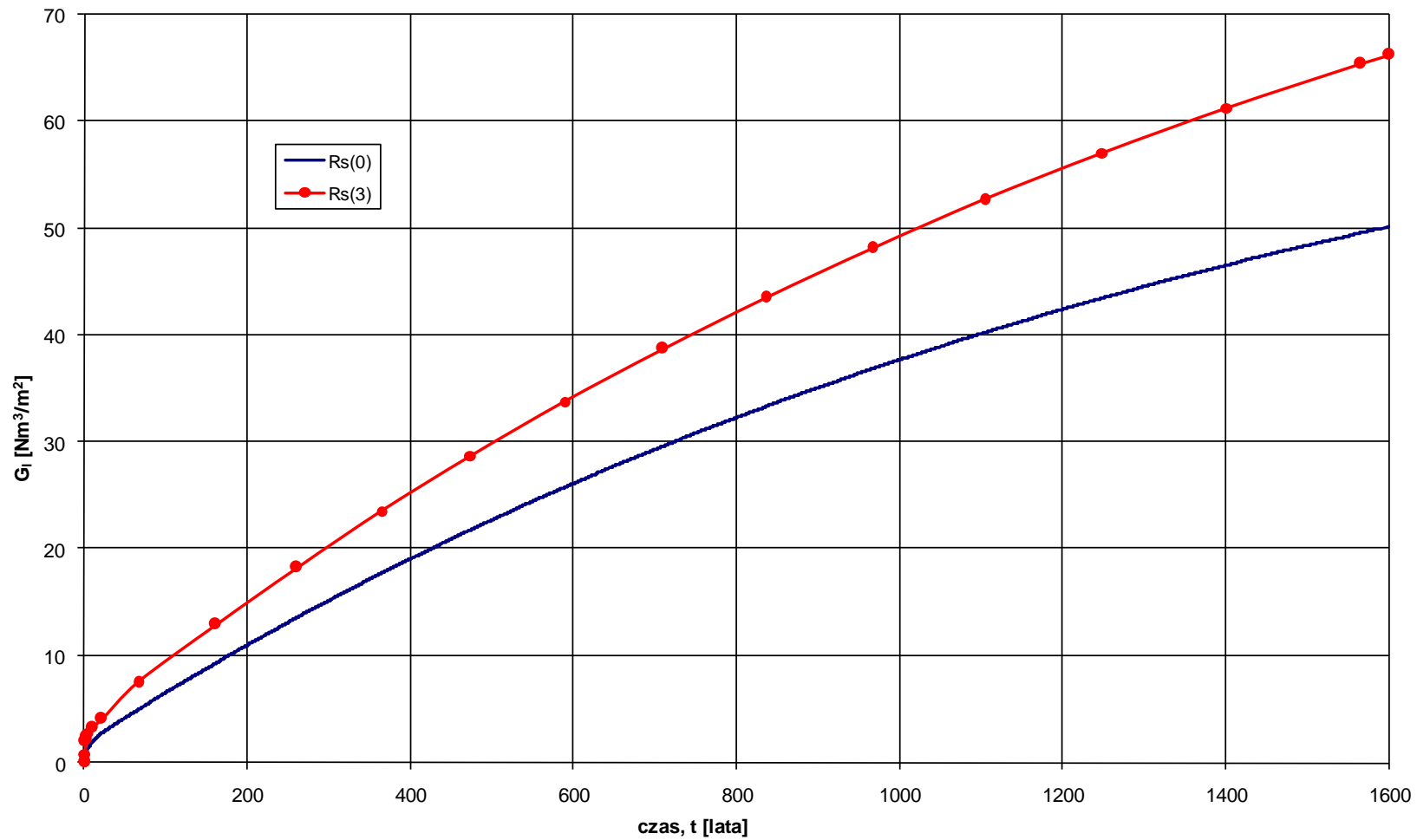


Fig. 1.1.17\_220 Złoże Nosówka. Zasięg migracji CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu w funkcji czasu, t (ciśnienie na stropie: 0,4 MPa powyżej ciśnienia progowego;  $S_{g,min} = 0.1$ ).



**Fig. 1.1.17\_221** Złoże Nosówka. Sumaryczny wypływ  $\text{CO}_2$  do skał nadkładu przez jednostkową powierzchnię stropu,  $G_t$  (ciśnienie na stropie: 0.4 MPa powyżej ciśnienia progowego;  $S_{g,\min} = 0.1$ ).

## **Analiza stanu technicznego istniejących odwiertów w aspekcie zachowania szczelności w środowisku kwaśnym**

Drogi przeciekania CO<sub>2</sub> zgromadzonego w strukturze geologicznej mogą występować wzdłuż istniejących odwiertów, które penetrują strukturę, bądź znajdują się w bezpośrednim jej sąsiedztwie.

Określenie nieszczelności zarówno w odwiertach wcześniej zlikwidowanych jak również w odwiertach zatłaczających CO<sub>2</sub>, które w późniejszym okresie, po zakończeniu cyklu napełniania struktury zostaną zamknięte stanowi ważny etap w ocenie ryzyka wystąpienia nieszczelności.

### **Potencjalne drogi przeciekania CO<sub>2</sub>**

W przypadku sekwestracji dwutlenku węgla składowisko powinno być pozbawione wszelkiego rodzaju możliwościami przecieku zarówno do atmosfery jak i innych formacji geologicznych. Podstawowe czynniki przecieku to (Watson & Bachu, 2009) :

- obecność źródła przecieku,
- siły powodujące wypływ CO<sub>2</sub> np. siły wyporności lub powstająca w czasie zatłaczania różnica ciśnień na głowicy otworu,
- drogi umożliwiające przeciek.

Źródłem przecieku może być zatłaczany lub zmagazynowany dwutlenek węgla a siłami powodującymi jego przepływ są zjawiska wypornościowe lub różnica ciśnień wywoła na głowicy w czasie zatłaczania.

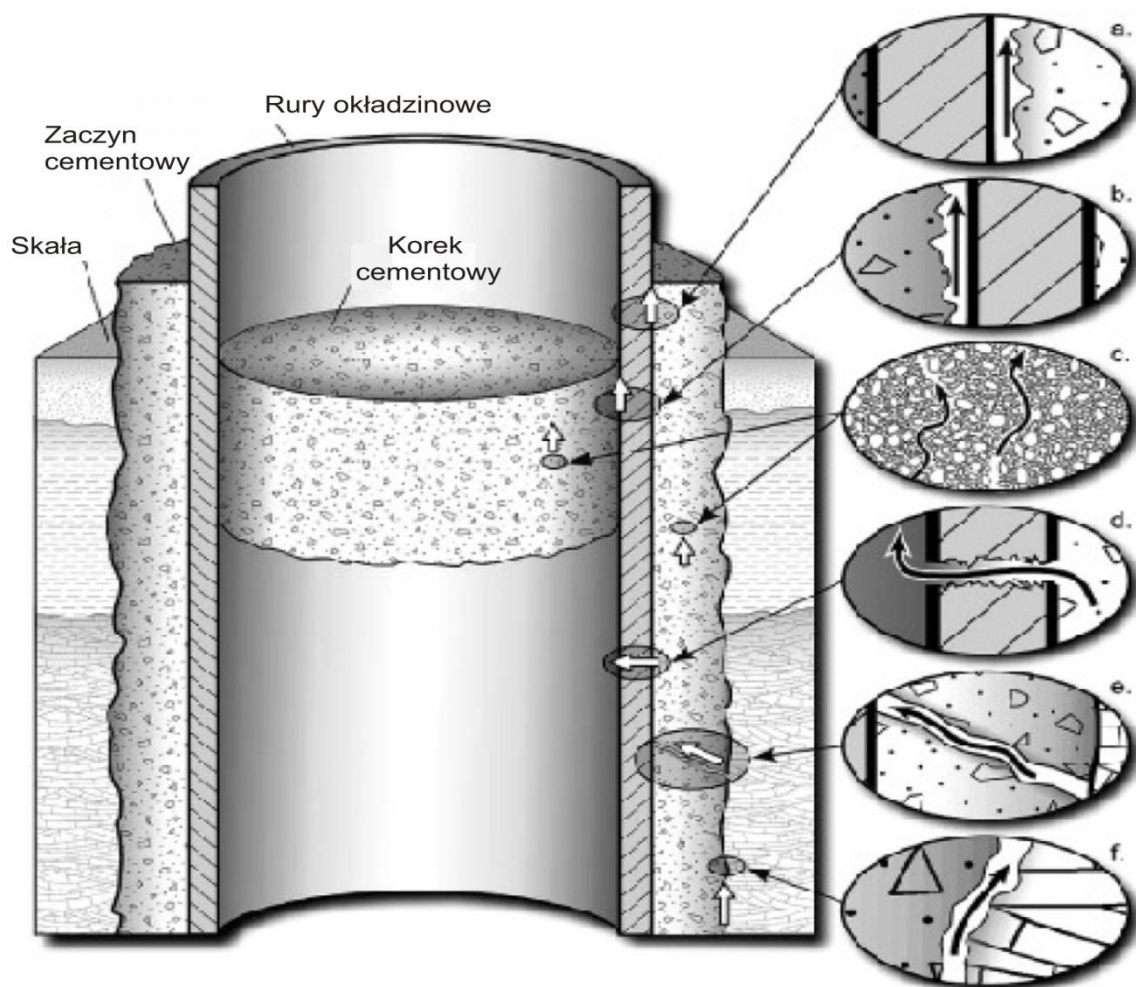
Dyfuzja CO<sub>2</sub> w płaszczu cementowym lub stalowej ścianie rur jest procesem, który przebiega bardzo wolno szybkością ok. 0.2 m/100 lat (Damen et al., 2006). Nie jest natomiast wiadomym jak wyglądać będzie integralność odwiertów (zarówno płaszczu cementowego jak i rur na przestrzeni setek i tysięcy lat w środowisku solanki i CO<sub>2</sub>). Prawdopodobna jest w tym wypadku degradacja cementu co może znacznie zwiększyć ilości wyciekającego CO<sub>2</sub>. W dłuższej skali czasu odwierty mogą stanowić zatem znaczne ryzyko (Damen et al., 2006).

Przeciek wzdłuż otworu następuje na skutek:

- złego stanu zacementowania rur okładzinowych,
- uszkodzenia rur okładzinowych (ich korozja),
- nieodpowiedniej likwidacji otworu.

W odwiercie mogą istnieć warunki do wystąpienia nieszczelności nie ujawniające się w czasie jego dotychczasowej eksploatacji natomiast w obecności CO<sub>2</sub> (ze względu na odmienne jego właściwości) mogą stanowić potencjalne zagrożenie wystąpienia przecieku. Może on wystąpić zarówno do atmosfery,

podziemnych warstw wodonośnych lub innych warstw porowatych. Likwidacja odwiertów wykonana przy pomocy korków cementowych wewnątrz otworu lub zacementowania strefy perforacji powinna zapewnić szczelność pionową w otworze, eliminując kontakt pomiędzy horyzontami zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz rur okładzinowych. Różne odmiany uzbrojenia otworu stwarzają zupełnie odmienne scenariusze wycieku gazu, co przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_222**.



**Fig. 1.1.17\_222** Schemat odwiertu z możliwymi drogami przeciekania CO<sub>2</sub> wg Runar Nygaard

Dla otworu odwierconego, nie zarowanego i zlikwidowanego, dwutlenek węgla może przedostawać się pomiędzy cementem a skałą lub przez korek cementowy, jeśli jest nieodpowiednio wykonany. Otwory zarowane mają cement w przestrzeni pierścieniowej pomiędzy strefą złożową a rurami stalowymi zabezpieczający otwór na zewnątrz rur. Grubość cementu w przestrzeni jest o wiele mniejsza w porównaniu z grubością korka cementowego. W podsumowaniu należy stwierdzić, że w układzie otwór skała potencjalna możliwość przecieku CO<sub>2</sub> może zaistnieć w płaszczyznach kontaktu rura okładzinowa-cement na zewnątrz rury, korek cementowy-rura okładzinowa, strefa złożowa-cement. Ponadto przeciek może nastąpić przez cement lub szczeliny w cemencie i w każdym przypadku niewłaściwego wykonania korka

cementowego lub cementowania rur. Otwory zatłaczające są bardziej narażone na przecieki CO<sub>2</sub> niż odwierty eksploatacyjne.

Na duże prawdopodobieństwo pogorszenia się stanu technicznego odwiertu (rur i zacementowania) mają wpływ prowadzone zabiegi jak kwasowanie, szczelinowanie czy metody termiczne. Są to czynniki wymagające uwzględnienia podczas analizy szczelności odwiertu.

Kontrolę stanu otworów zlikwidowanych (np. w stanie Alberta, Kanada) przeprowadza się przy pomocy zaworów wentylacyjnych montowanych na powierzchni, regularnie kontrolując wielkość wypływu gazu przestrzenią międzyrurową (Watson & Bachu, 2009).

W Stanach Zjednoczonych dyrektywa nr 20 Energy Resources Conservation Board (ERCB) dokładnie określa minimalne wymagania w zakresie likwidacji otworów, stref produkcyjnych, odzysku rur okładzinowych i wykonywania korków likwidacyjnych.

Odwiercony otwór negatywny jest natychmiast likwidowany przez zacementowanie wszystkich porowatych stref korkami cementowymi. Korek cementowy musi mieć minimum 30 metrów długości (lub 60 metrów długości przy głębokości poniżej 1500 m) i sięgać minimum 15 metrów powyżej i poniżej strefy porowatej. Dla zabezpieczenia strefy wodonośnej korek powinien być wykonany 15 metrów poniżej strefy i sięgać 15 m powyżej buta rur okładzinowych sięgających do powierzchni.

Odwierty z kolumną rur produkcyjnych mają bardziej skomplikowaną procedurę likwidacyjną. Wszystkie źródła wody słodkiej muszą być zabezpieczone a pomiędzy strefami porowatymi powinna istnieć izolacja hydrauliczna. Jest kilka różnych opcji likwidacji odwiertów zarurowanych z wykorzystaniem różnych korków mechanicznych, pakerów lub korków cementowych tj.

- mechaniczne, posadawiane powyżej perforacji cementowane od góry,
- wtłaczanie cementu w strefę perforacji
- korek cementowy w strefie perforacji.

Wszystkie te metody mają jedno wspólne wymaganie, powinny posiadać co najmniej 8 metrów cementu wewnątrz rur oraz koniczność testu na szczelność ciśnieniem 7 000 kPa. Wszystkie kolumny rur okładzinowych sięgające do powierzchni są cięte 1-2 m poniżej powierzchni i zamykane spawaną stalową płytą. Taki otwór testowany jest na obecność migracji gazu zaworem wentylacyjnym (tzw. test SCVF surface–casing–vent flow).

Dodatkowo wpływ na stan techniczny otworu i strefy przyotworowej mają chemiczne oddziaływanie CO<sub>2</sub>, i zmiany ciśnienia i temperatury w otworze w czasie zatłaczania. Szczególnie narażone są strefy łączności cementu ze skałą i rurami oraz możliwość powstania szczelin w cemencie.



## Ocena wyposażenia w głębinowego i powierzchniowego w odwiertach złoża Nosówka

Wszystkie odwierty zarówno eksploatacyjne jak i zlikwidowane są odwiertami dwudziestoletnimi i wymagają kontroli stanu szczelności przed wykorzystaniem ich do innego celu jak dotychczas.

### Odwierty zatłaczające

W przypadku podjęcia decyzji o składowaniu CO<sub>2</sub> na strukturze Nosówka zostaną pozostawione odwierty zatłaczające, które będą wyposażone w odpowiednie orurowanie, (rurki zatłaczające) zamocowane na pakerze. Przestrzeń pierścieniowa nadpakerowa wypełniona zostanie cieczą nadpakerową. Na rurkach, kilkanaście m poniżej głowicy zamontowany zostanie podpowierzchniowy zawór zwrotny, natomiast na głowicy zawór zamykający bezpieczeństwa. Wymaga to wykonania odpowiednich prac rekonstrukcyjnych.

W przypadku zatłaczania główne ryzyko stwarza uszkodzenie odwiertu, co może spowodować ucieczkę CO<sub>2</sub> migrującego ku górze skutek jego względnie niewielkiej gęstości w porównaniu z wodą. Prawdopodobieństwo nagłej ucieczki całej ilości zgromadzonego w strukturze geologicznej CO<sub>2</sub> jest bardzo małe ze względu na ograniczoną przepustowość systemu zatłaczania. W większości przypadków uszkodzenie odwiertu będzie wiązać się z uwolnieniem niewielkich ilości CO<sub>2</sub> zgromadzonego w rurkach wydobywczych. W sytuacji normalnej wyciek ten zostanie wykryty przez system monitorowania, co spowoduje zamknięcie podpowierzchniowego zaworu zwrotnego oraz zaworu bezpieczeństwa zamykającego wypływ CO<sub>2</sub> na głowicy odwiertu.

Uszkodzenie podpowierzchniowego zaworu zwrotnego lub pakera prowadzi zwykle do niekontrolowanej erupcji z odwiertu, co wiąże się z gwałtownym wypływem CO<sub>2</sub> lecz również solanki, ropy i gazu oraz ich mieszaniny. Oprócz gwałtownego wypływu CO<sub>2</sub> potencjalną konsekwencją może być wystąpienie w tym przypadku strat ludzkich, szczególnie załóg operatora oraz ekonomicznych spowodowanych uszkodzeniami powstałymi w trakcie eksplozji lub pożaru.

Ryzyko erupcji z odwiertów w oparciu o doświadczenia z eksploatacji złóż podmorskich w Zatoce Meksykańskiej i Morzu Północnym w latach 1980 – 1996 (Damen et al., 2006) określono na poziomie  $1 \times 10^{-4}$ /odwiert/rok. Inne wyliczenia dotyczące zarówno odwiertów ropnych jak i gazowych określają tę wielkość na poziomie  $3 \times 10^{-4}$ /odwiert/rok (Damen et al., 2006).

### Odwierty zlikwidowane

Odwierty zlikwidowane pozostawione na strukturach przeznaczonych do geologicznego składowania CO<sub>2</sub> mogą stanowić główną drogę migracji i wycieków. Dotyczy to szczególnie obiektów niezidentyfikowanych oraz słabo uszczelnionych. Ścieżkę migracji może stanowić jak już wspomniano uszkodzona kolumna rur okładzinowych lub płaszcz cementowego na skutek złego zaprojektowania i wykonania oraz korozji rur lub destrukcji korków cementowych w środowisku solanka-dwutlenek węgla.

Na strukturze Nosówka lub bezpośrednio w jej sąsiedztwie wykonano do chwili obecnej osiem odwiertów, których dane przedstawiono w **Tab. 1.1.17\_65**. Jedynie dla trzech odwiertów istnieją dane dotyczące stanu zacementowania. Generalnie należy uznać, że w odwiertach N-4, 5 i 6 długość interwałów przestrzeni o dobrym stanie zacementowania jest wystarczająca i waha się w granicach od 550 do 1542 mb. W odwiertach zlikwidowanych wysokość korków waha się od 115 do 689 mb. Wyjaśnienia natomiast wymaga kwestia trwałości kamienia cementowego w środowisku kwaśnym. Wyniki odpowiednich badań przedstawione zostaną w rozdz. 4

Na poszczególnych schematach (**Fig. 1.1.17\_223 - Fig. 1.1.17\_228**) przedstawiono konstrukcję odwiertów dotychczas zlikwidowanych: Nosówka -4, Nosówka -6 i Nosówka -7, pozostałe Nosówka-1, Nosówka-2 i Nosówka-5 są odwiertami eksploatacyjnymi.

#### ***Odwiert Nosówka 4.***

Odwiert zlikwidowany w marcu 1992 roku. Brak jest danych co do stanu zacementowania i wyników prób szczelności rur. Likwidacja otworu nastąpiła 4 korkami cementowymi jak na **Fig. 1.1.17\_223**. Przy przyjęciu poprawnego stanu zacementowania brak jest innych przesłanek aby uznawać otwór za nieuszczelny.

#### ***Odwiert Nosówka 6***

Odwiert zlikwidowany od 12.01.1993 roku 4. korkami cementowymi jak na **Fig. 1.1.17\_224**. Stan zacementowania rur traconych 7" dobry z wyjątkiem odcinka 3550 – 3680 m o słabej jakości zacementowania. Brak jest danych stanu zacementowania rur 9 5/8" oraz wyników szczelności rur.

#### ***Odwiert Nosówka 7***

Odwiert zlikwidowany w 2010 roku 4 korkami cementowymi jak na **Fig. 1.1.17\_225**.

### **Odwierty eksploatacyjne**

#### ***Odwiert Nosówka 1***

Odwiert eksploatuje od grudnia 1989 roku. Rury cementowane są do wierzchu ale brak jest informacji co do stanu ich zacementowania. Przeprowadzone próby szczelności rur dały wynik pozytywny.

#### ***Odwiert Nosówka 2***

Odwiert eksploatuje od listopada 1990 roku. Rury cementowane są do wierzchu. Brak jest danych co do stanu ich zacementowania. Próby szczelności rur 6 5/8", 9 5/8", 13 3/8" z wynikiem pozytywnym.

### **Odwiert Nosówka 5**

Odwiert eksploatuje od grudnia 1991 roku. Próby szczelności rur 9 5/8", 6 5/8", 5" z wynikiem pozytywnym.

**Tab. 1.1.17\_65** Dane dotyczące stanu zacementowania odwiertów ze złoża Nosówka.

odwiert	stan odwiertu	głębokość	stan zacementowania	ilość korków cementowych
Nosówka-1	eksploatacyjny	3807 m	brak danych	nie występują
Nosówka-2	eksploatacyjny	3438 m	brak danych	nie występują
Nosówka-4	zlikwidowany	3733 m	brak danych	4 korki, 251 mb
Nosówka-5	eksploatacyjny	3604 m	dobrze, dł. 1542 mb	nie występują
Nosówka-6	zlikwidowany	4022 m	dobrze, dł. 550 m	3 korki, 115 mb
Nosówka-7	zlikwidowany	3745 m	dobrze, dł 1523 m	4 korki, 689 mb
Nosówka-8	zlikwidowany	brak danych	brak danych	brak danych

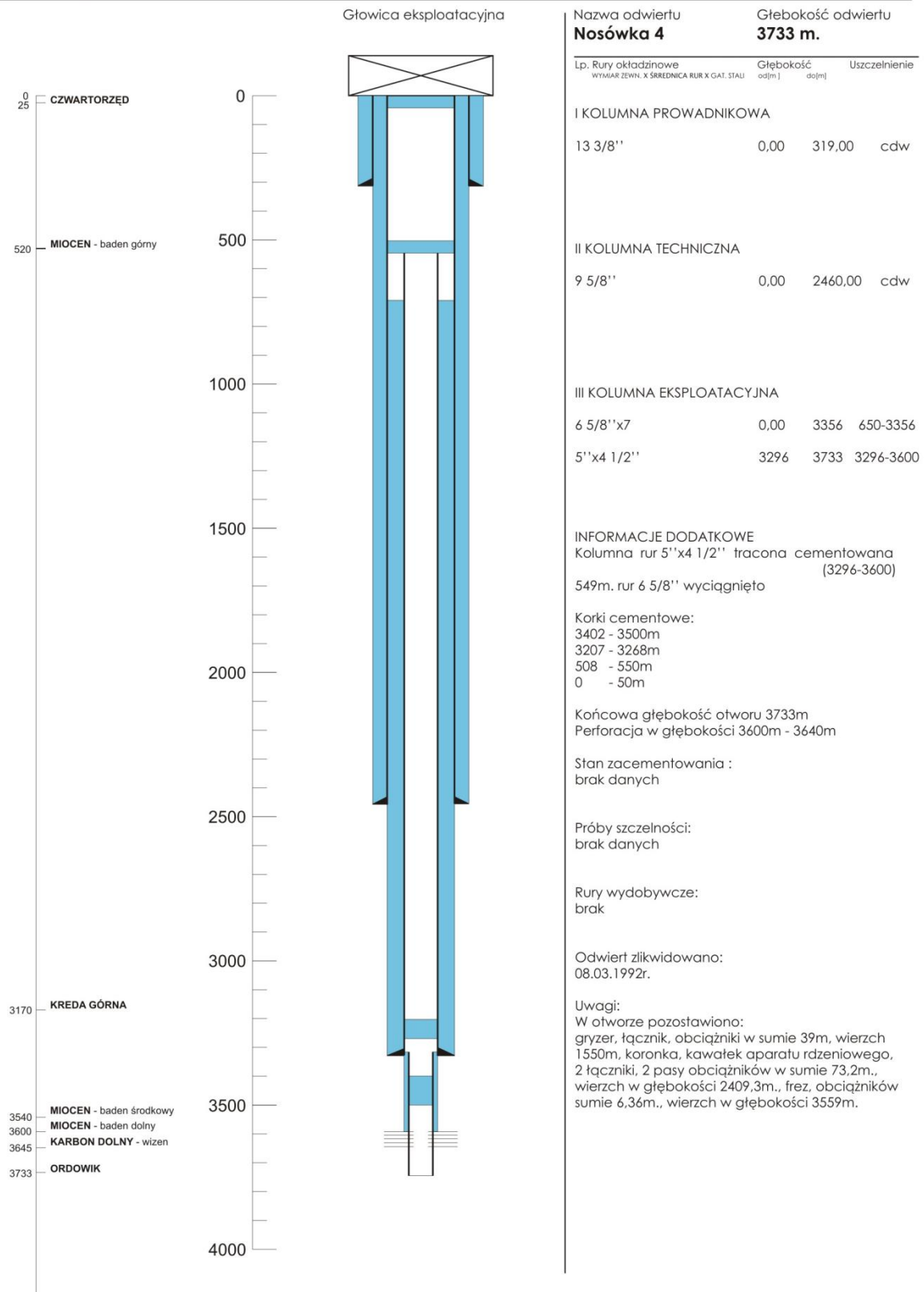


Fig. 1.1.17\_223 Konstrukcja zlikwidowanego odwiertu Nosówka-4

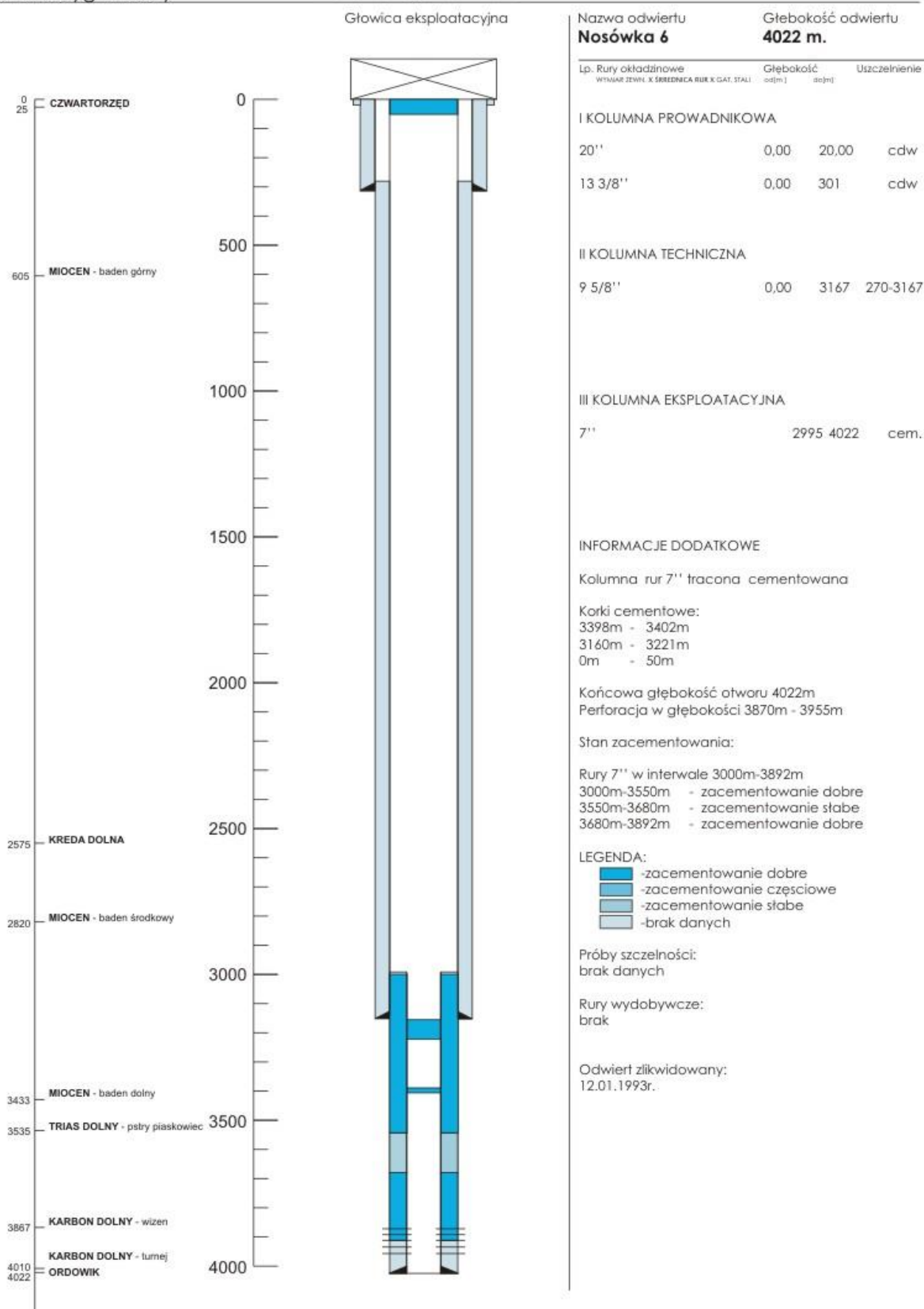


Fig. 1.1.17\_224 Konstrukcja zlikwidowanego odwiertu Nosówka-6

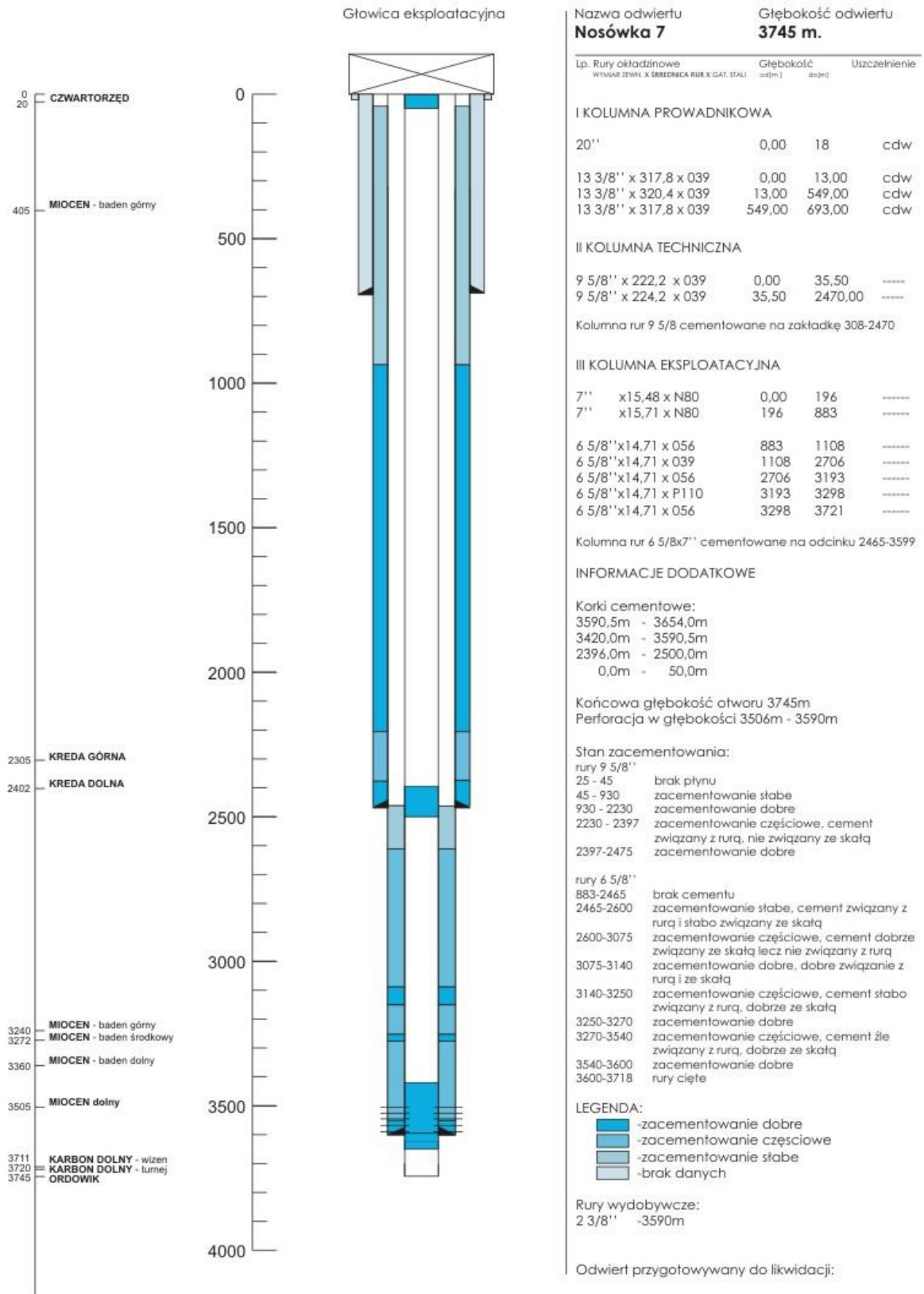


Fig. 1.1.17\_225 Konstrukcja zlikwidowanego odwiertu Nosówka-7

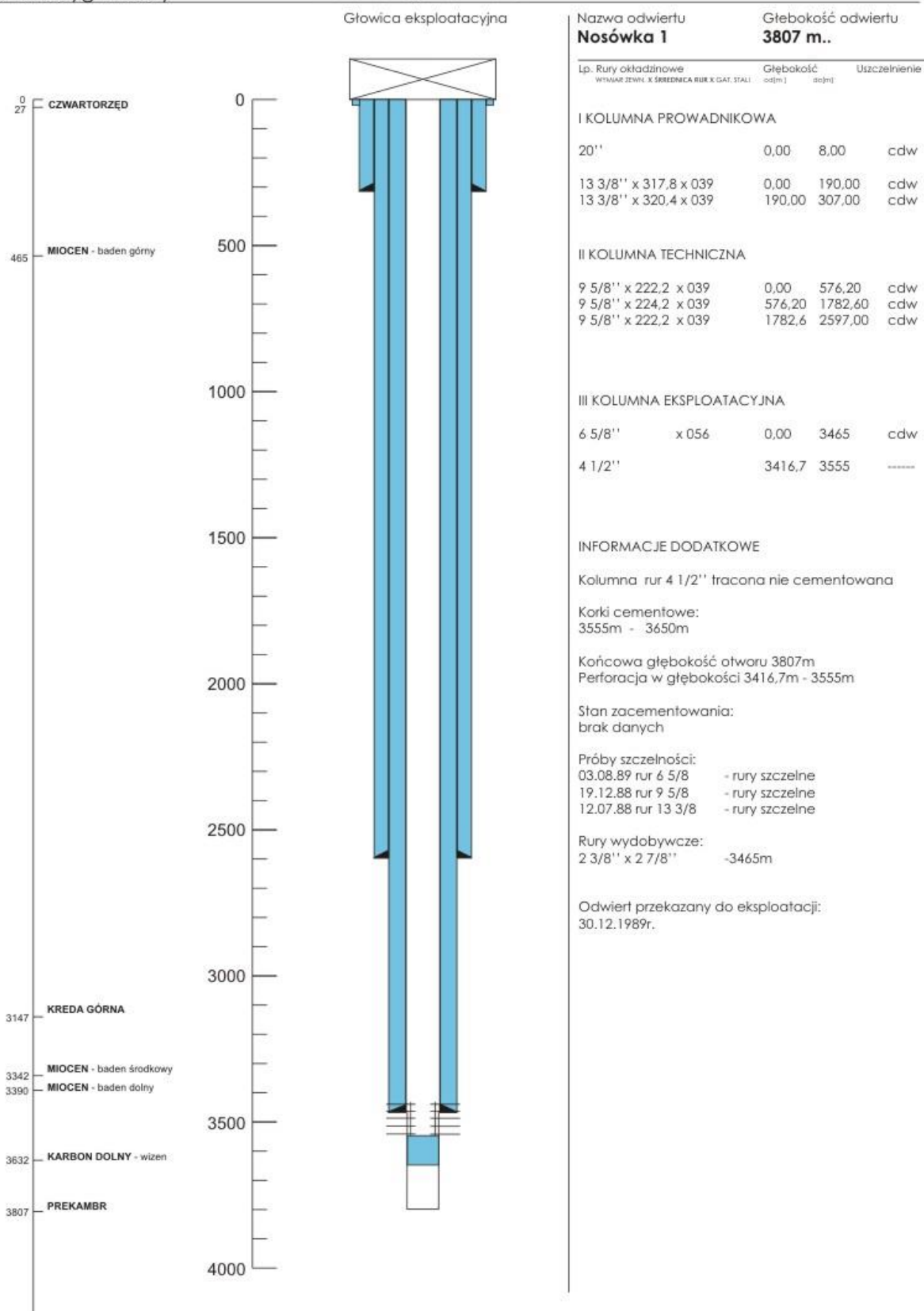


Fig. 1.1.17\_226 Konstrukcja odwiertu eksploatacyjnego Nosówka-1

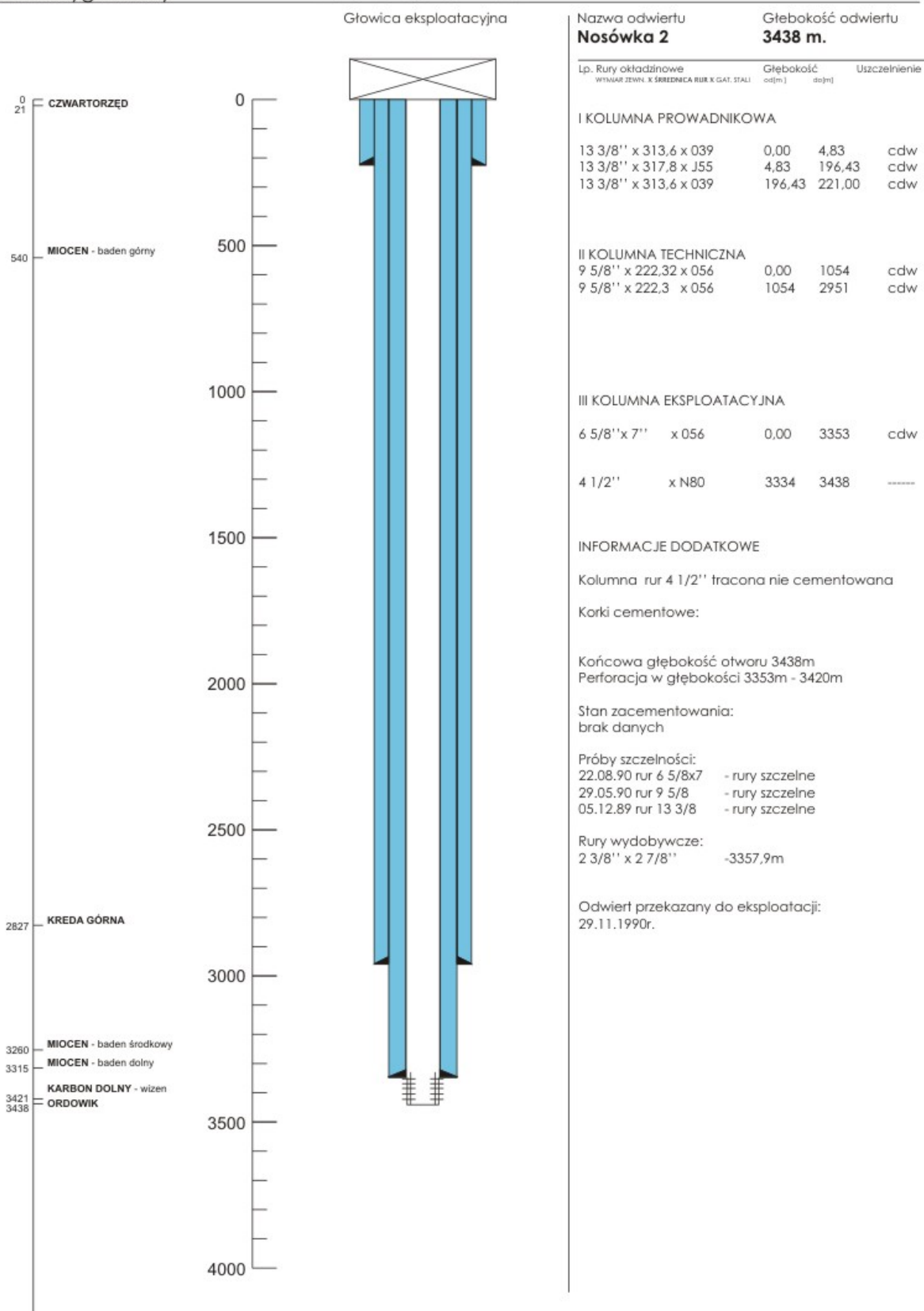


Fig. 1.1.17\_227 Konstrukcja odwiertu eksploatacyjnego Nosówka-2



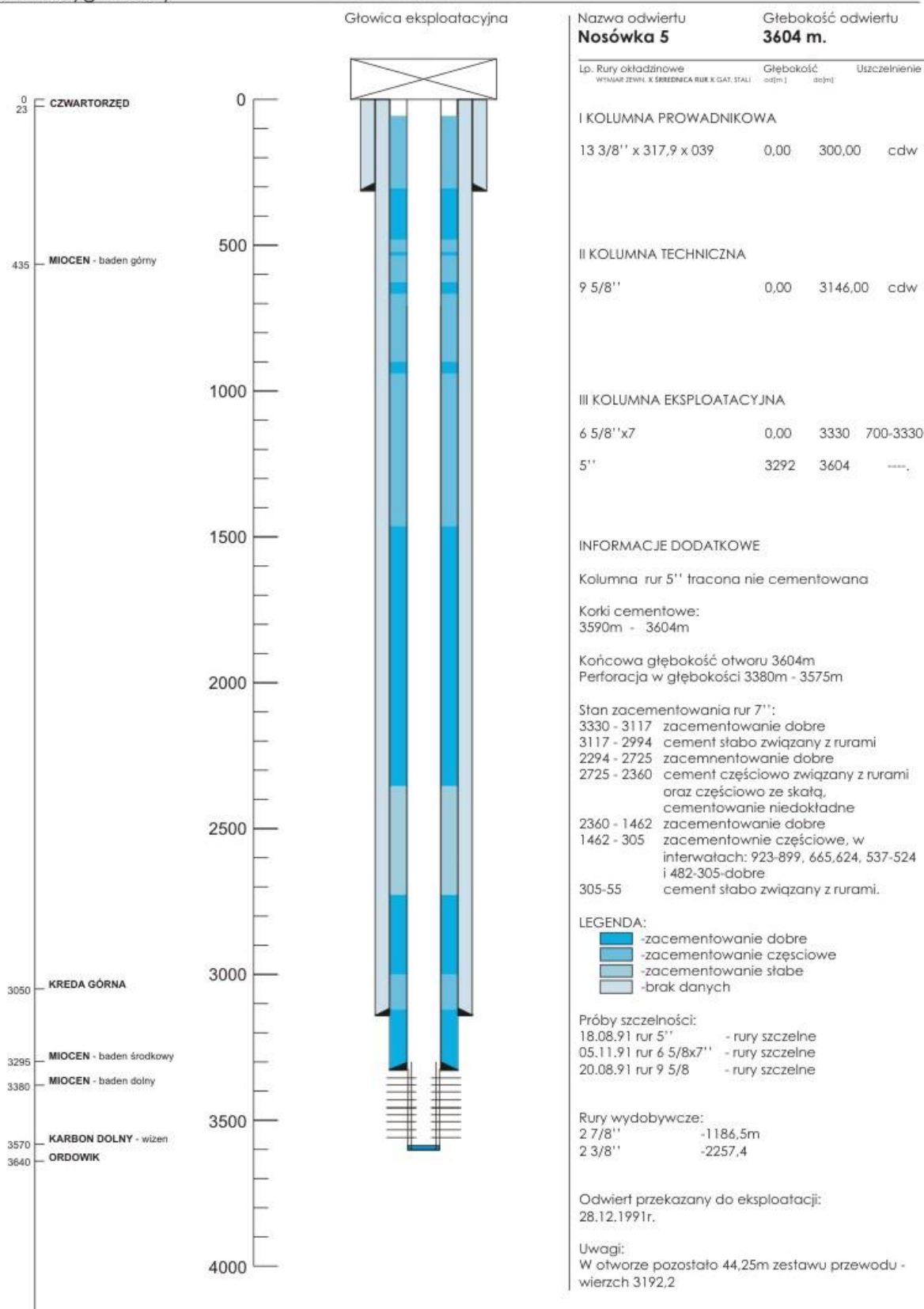


Fig. 1.1.17\_228 Konstrukcja odwiertu eksploatacyjnego Nosówka-5

## **Badania laboratoryjne trwałości kamienia cementowego w środowisku kwaśnym w warunkach otworopodobnych**

Jak wynika z przeprowadzonej analizy dokumentacji wiertniczych w rejonach badań tzn. Skoczów-Czechowice oraz Nosówka stosowano podobne rodzaje zaczynów cementowych: 50% cementu i 50% pyłu dymnicowego, dlatego szczegółowe receptury do badań laboratoryjnych przygotowano tak jak dla odwiertów ze złoża Nosówka.

Ponadto niejako poza ustalonym w karcie zadania programem, badaniom poddano zaczyn cementowy przygotowany dla odwiertu Pabianice 1, który będzie udostępniał strukturę dla ewentualnego składowania CO<sub>2</sub>.

W prezentowanej części pracy przedstawiono wyniki badania odporności kamieni cementowych na korozję węglanową. Próbki kamieni cementowych przechowywane były w autoklawach w obecności solanki żyzowej i dwutlenku węgla. Badania prowadzono w wysokiej temperaturze i ciśnieniu.

Zakres prac przedstawiał się następująco:

- Przygotowanie wytycznych do wykonania aparatury do pomiaru korozji kamienia cementowego w środowisku CO<sub>2</sub>.
- Zlecenie wykonania i zakup aparatury.
- Określenie składu zaczynu cementowego stosowanego podczas wykonywania otworów na złożu Nosówka.
- Badanie laboratoryjne trwałości kamienia cementowego w środowisku kwaśnym w warunkach otworopodobnych złoża Nosówka.
- Badanie laboratoryjne trwałości kamienia cementowego w środowisku kwaśnym w warunkach panujących na otworze Pabianice 1.

W pracy zamieszczono sześciomiesięczne wyniki badań kamienia cementowego stosowanego w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX wieku na złożu Nosówka oraz trzymiesięczne wyniki badań kamienia cementowego użytego w czerwcu 2010 roku do uszczelnienia otworu Pabianice 1 (receptura o podwyższonej odporności na korozję CO<sub>2</sub>).

### **Zaczyny cementowe stosowane podczas wykonywania otworów na złożu Nosówka**

Na podstawie dostępnych materiałów zgromadzonych w archiwum w Kopalni Nosówka (z lat 1988 – 1993) uzyskano informację na temat receptur zaczynów stosowanych do uszczelniania rur okładzinowych w otworach Nosówka 1, Nosówka 2, Nosówka 5 i Nosówka 7. Dostępne materiały pochodziły z Laboratorium Ruchowego PNiG w Jaśle, z Laboratorium Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa Oddział w Krośnie

oraz z protokołów sporządzonych na wiertni po wykonaniu zabiegu cementowania. W **Tab. 1.1.17\_66** zamieszczono dane dla poszczególnych otworów. Zamieszczono tam nazwę otworu, rodzaj cementowanych rur, temperaturę badania, nazwę jednostki prowadzącej pomiar, składniki zaczynu cementowego oraz ilości poszczególnych składników.

W większości przypadków stosowano zaczyny zawierające 50% cementu z ZSRR, z cementowni Chełm lub Rejowiec oraz 50% pyłu dymnicowego. Współczynnik wodno – cementowy oznaczany symbolem w/c wynosił 0,50 lub 0,55. Do opóźniania czasu wiązania używano cukru lub kwasu winowego. Badania zaczynów i kamieni cementowych w zależności od otworu i rodzaju rur prowadzono w temperaturach od 70 do 90°C.

**Tab. 1.1.17\_66** Zestawienie zaczynów cementowych stosowanych na złożu Nosówka w latach 1988 – 1993

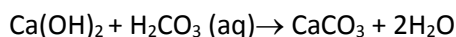
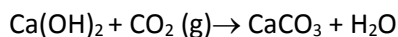
OTWÓR i średnica rur w calach, głębokość zapuszczania [m]	Temperatura badania [°C]	Jednostka badająca lub miejsce zastosowania	Składniki zaczynu	Ilości poszczególnych składników
Nosówka 1 (rury 9 5/8)	60	Laboratorium PNiG Jasło	Cement Chełm 350	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Cukier	0,03%
			Woda	w/c = 0,5
Nosówka 1 (rury 9 5/8)	60	Laboratorium PNiG Jasło	Cement Chełm 350	100%
			Cukier	0,03%
			Woda	w/c = 0,5
Nosówka 1 (rury 6 5/8)	70	Laboratorium PNiG Jasło	Cement ZSRR	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Woda	w/c = 0,5
Nosówka 1 (rury 6 5/8)	70	Laboratorium PNiG Jasło	Cement ZSRR	100 %
			Woda	w/c = 0,5
			Cukier	0,02 %
Nosówka 1 (rury 6 5/8)	90	Laboratorium IGNiG Krosno	Cement ZSRR	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Cukier	0,02
			Woda	w/c = 0,55
Nosówka 1 (rury 6 5/8,	90	Zastosowanie na wiertni	Cement ZSRR	50% (15t)
			Pył dymnicowy	50% (15t)

H=2465 m)			Cukier	0,02 (6,6 kg)
			Woda	w/c = 0,6 (18m <sup>3</sup> )
Nosówka 1 (rury 6 5/8, H=2465 m)	90	Zastosowanie na wiertni	Cement ZSRR	50% (22,5t)
			Pył dymnicowy	50% (22,5t)
			Cukier	0,02 (9 kg)
			Woda	w/c = 0,67 (30m <sup>3</sup> )
Nosówka 2 (rury 9 5/8, H= 2950m)	-	Zastosowanie na wiertni	Cement Chełm 350	50% (59t)
			Pył dymnicowy	50% (59t)
			Cukier (wg. IGNIG)	0,03%
			Woda	w/c = 0,68 (80m <sup>3</sup> )
Nosówka 2 (rury 9 5/8)	70	Laboratorium IGNiG Krosno	Cement Chełm 350	50%
			Popiół z łęgu	50%
			Cukier	0,03%
			Woda	w/c = 0,55
Nosówka 2 (rury 9 5/8) czysty	70	Laboratorium IGNiG Krosno	Cement Chełm 350	100 %
			Cukier	0,03%
			Woda	w/c = 0,50
Nosówka 2 (rury 6 5/8 H= 3353m)	-	Zastosowanie na wiertni	Cement ZSRR	50% (16t)
			Pył dymnicowy	50% (16t)
			Cukier	0,03%
			Woda	40m <sup>3</sup>
Nosówka 2 (rury 6 5/8)	80	Laboratorium IGNiG Krosno	Cement ZSRR	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Cukier	0,032%
			Woda	w/c = 0,55
Nosówka 2 (rury 6 5/8 H=3353 m)	-	Zastosowanie na wiertni	Cement ZSRR	53,5 % (23t)
			Pył dymnicowy	46,5 % (20t)
			Cukier	0,032% (17,6kg)
			Woda	w/c = 0,55 (30 m <sup>3</sup> )
Nosówka 5 (rury 7) [głęb 3150]	80	Laboratorium PNiG Jasło	Cement ZSRR	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Cukier	0,01%

			Woda	w/c = 0,50
Nosówka 5 (rury 7 H=3150 m)	80	Laboratorium PNiG Jasło	Cement Ożarów 350	100%
			Cukier	0,01%
			Woda	w/c = 0,50
Nosówka 5 (rury 7 H=3150 m)	-	Zastosowanie na wiertni	Cement ZSRR	50% (30t)
			Pył dymnicowy	50% (30t)
			Cement ZSRR	100 % (60t)
			Cukier	0,01%
			Woda	w/c = 0,72 (86m <sup>3</sup> )
Nosówka 5 (rury 7 H=3150 m)	-	Zastosowanie na wiertni	Cement ZSRR	100 % (40,67t)
			Cukier	0,03% (15kg)
			Woda	w/c = 0,61 (25m <sup>3</sup> )
Nosówka 7	70	Laboratorium PNiG Jasło	Cement Chełm 350	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Cukier	0,01%
			Woda	w/c = 0,50
Nosówka 7	85	Laboratorium PNiG Jasło	Cement Rejowiec 350	100 %
			Cukier	0,05%
			Woda	w/c = 0,5
Nosówka 7	70	Laboratorium PNiG Jasło	Cement Chełm 350	50%
			Cukier	0,04%
			Dispersan	0,5%
			Woda	w/c = 0,50
Nosówka 7 (rury 6 5/8)	80	Laboratorium IGNiG Krosno	Cement Rejowiec 350	50%
			Pył dymnicowy	50%
			Kwas winowy	0,05%
			Woda	w/c = 0,55
Nosówka 7 (rury 6 5/8)	80	Laboratorium IGNiG Krosno	Cement Rejowiec 350	100 %
			Kwas winowy	0,12%
			Woda	w/c = 0,50

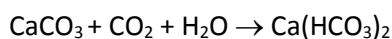
## Korozja węglanowa kamienia cementowego i sposoby jej ograniczenia

Agresywność węglanowa lub kwasowęgłowa w stosunku do kamienia cementowego jest spowodowana obecnością w wodzie lub solance złożowej dwutlenku węgla. Korozja wywołana przez CO<sub>2</sub> polega na wylugowywaniu ze stwardniałego zaczynu cementowego związków wapnia: w pierwszym etapie Ca(OH)<sub>2</sub> (Brylicki, 2001; Nygaard, 2010; Nygaard & Lavoie, 2010; CO<sub>2</sub> EHR patent..., 1987).



Proces ten nazywany karbonatyzacją w początkowym okresie prowadzi do obniżenia porowatości spoiwa cementowego (ponieważ węglan wapnia ma większą objętość molową niż Ca(OH)<sub>2</sub>), a co za tym idzie poprawy własności uszczelniających kamienia cementowego.

Jednak w miarę dalszego działania CO<sub>2</sub> zakłócony zostaje stan równowagi w stwardniałym zaczynie cementowym. Powoduje to rozpuszczanie węglanu wapniowego i powstawanie łatwo rozpuszczalnego w wodzie kwaśnego węglanu wapniowego Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.



Jest on łatwo wypłukiwany z matrycy stwardniałego zaczynu cementowego. Oznacza to, iż podczas korozji węglanowej, najpierw następuje uszczelnianie stwardniałego zaczynu cementowego i poprawienie jakości matrycy dzięki temu, że w pierwszej fazie tworzy się trudno rozpuszczalny węglan wapniowy, który w następnej fazie przechodzi w kwaśny węglan wapniowy i jest wymywany przez filtrującą wodę. Początkowe powstawanie węglanów może zatem paradoksalnie spowodować wzrost wytrzymałości na ścislenie i zginanie.

Przy wysokim stężeniu CO<sub>2</sub> i całkowitym wymyciu ze stwardniałego zaczynu cementowego portlandytu Ca(OH)<sub>2</sub> zachodzą dalsze, niekorzystne reakcje chemiczne rozkładu fazy C-S-H, które mogą mieć następujący przebieg:



Powstała w tej reakcji uwodniona krzemionka posiada niską wytrzymałość mechaniczną a węglan wapnia ulegać będzie dalszej destrukcji wg. podanych wcześniej reakcji chemicznych.

Korozja węglanowa jest procesem dyfuzyjnym i dlatego jej postęp zależy w dużym stopniu od szczelności (porowatości i przepuszczalności) matrycy stwardniałego zaczynu cementowego.

Szczegółowy mechanizm zachodzący w matrycy cementowej podczas korozji węglanowej podał w 2007 roku Kutchko (**Fig. 1.1.17\_229**).

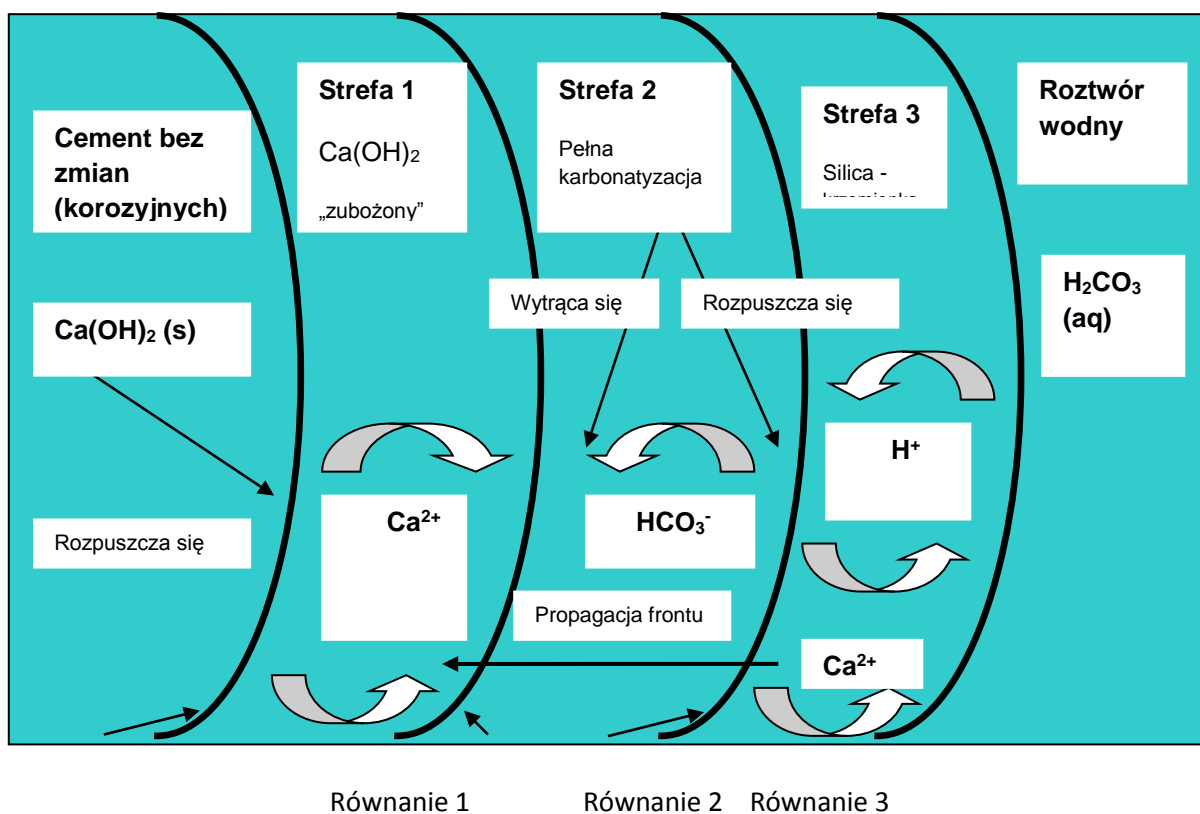
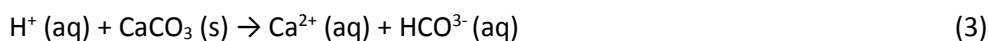
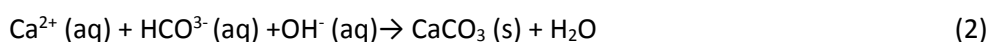


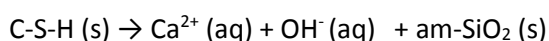
Fig. 1.1.17\_229 Strefy korozji węglanowej (Kurdowski, 1991; Липовецкий & Данюшевский, 1963; Łowińska i in., 1985; Nygaard & Lavoie, 2010)

Na Fig. 1.1.17\_229 pokazano schematycznie strefy korozji węglanowej. W strefie 1  $\text{Ca(OH)}_2$  reaguje z  $\text{CO}_2$  do postaci  $\text{CaCO}_3$ . Pod wpływem  $\text{CO}_2$  w strefie 2  $\text{CaCO}_3$  ulega rozpuszczaniu. W strefie 3 powstaje łatwo wyplukiwany kwaśny węglan wapniowy. Następnie destrukcji ulega faza C-S-H i powstaje uwodniona krzemionka o małej wytrzymałości (Nygaard, 2010; Nygaard & Lavoie, 2010; Raczkowski i in., 1978).

Reakcje zachodzące w poszczególnych strefach przedstawiają się następująco (Strazisar et al., 2008):



Proces destrukcji fazy C-S-H ma przebieg:



W wyniku takich procesów może dojść do wzrostu porowatości i przepuszczalności oraz do zmniejszenia wytrzymałości kamienia cementowego. Oznacza to, iż w otworze wiertniczym nastąpi spadek przyczepności

rury do płaszcza cementowego i w efekcie obniżenie stabilności kolumny rur okładzinowych. Może to spowodować utratę izolacji międzystrefowej i przedostawanie się CO<sub>2</sub> na powierzchnię.

Przedstawiony opis procesów oraz reakcje chemiczne obrazują, w jaki sposób destrukcyjnemu działaniu CO<sub>2</sub> podlegają kamienie cementowe powstałe po związaniu cementu portlandzkiego o dużej zawartości związków wapnia.

Głównymi sposobami ograniczenia korozji węglanowej kamienia cementowego jest modyfikacja zaczynów cementowych przeznaczonych do cementowania odwiertów, które mają być użyte do sekwestracji CO<sub>2</sub> (Bensted, 2007; Brylicki, 2001; Giergiczny i in., 2002; Łowińska i in., 1985; CO<sub>2</sub> EHR patent..., 1987). Chodzi tu m.in. o:

- zmniejszanie przepuszczalności stwardniałych cementów przez stosowanie cementów z dodatkami, takimi jak mielony granulowany żużel wielkopiecowy, pył dymnicowy czy pucolany\*, które poprawiają trwałość w dłuższym okresie czasu,
- zmianę gatunku cementu na taki, który ma znacznie większą odporność na działanie CO<sub>2</sub>. Cementy takie (oprócz cementów hutniczych i popiołowych) mogą obejmować mieszanki cementu glinowo – fosforanowego, które dały interesujące wyniki na tym polu, lub inne warianty, jak mielony granulowany żużel wielkopiecowy aktywowany krzemianem sodu lub mieszaniny mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego i popiołu lotnego aktywowanego krzemianem sodu,
- zapewnienie, by dla przeprowadzenia udanego cementowania użyta mieszanka cementowa była dostatecznie plastyczna. Zapewnienie plastyczności może być zrealizowane w różny sposób, między innymi drogą zmniejszenia porowatości i przepuszczalności (cementy lateksowe) oraz przez wypełnienie porów cząstkami stałymi, a także przez cementowanie z użyciem czynnika wywołującego pęcznienie.

\*) Pucolana to materiał w formie pyłu (popiołu). Puzzolana naturalna jest pochodzenia wulkanicznego, można też odzyskiwać ją z dymów kotłowni przemysłowych. Głównym składnikiem jest krzemionka w postaci drobnych zaokrąglonych ziaren.

W literaturze światowej można znaleźć informacje na temat ramowych receptur zaczynów cementowych o podwyższonej trwałości matrycy w obecności agresywnego CO<sub>2</sub>. Znane są patenty przedstawiające mieszanki cementowe odporne na CO<sub>2</sub> z dodatkiem np. ok. 35 – 50% popiołów lotnych Patent USA (United States Patent 4,635724).

W Niemczech (Bensted, 2007) stosowano mieszankę cementową zawierającą cement portlandzki i mielony granulowany żużel wielkopiecowy w stosunku wagowym około 70:30, która nadawała się do otworów narażonych na oddziaływanie CO<sub>2</sub> lepiej niż wcześniej stosowany cement klasy G. Było to podyktowane faktem, iż mieszanka ta posiadała bardziej płaski rozkład wielkości ziaren, zapewniający większy udział ziaren drobnych, co zmniejszało porowatość i pozwoliło uzyskać bardzo pożądaną mniejszą przepuszczalność.

Na podstawie doświadczeń prowadzonych w INiG można powiedzieć, że o trwałości kamieni cementowych decyduje szereg parametrów a szczególnie ich skład fazowy oraz mikrostruktura, która wpływa na



porowatość ogólną, strukturę porów oraz zdolności do samouszczelniania się stwardniałego zaczynu cementowego i przerywania ciągłości porów kapilarnych przez powstające produkty hydratacji.

Trwałość kamienia cementowego zależy od zawartości portlandytu  $\text{Ca(OH)}_2$  oraz uwodnionych glinianów. W produktach hydratacji cementu portlandzkiego, zawierającego ok. 80% krzemianów wapniowych, znajdują się znaczne ilości łatwo rozpuszczalnego i wchodzącego w reakcję wymiany z siarczanami i chlorkami portlandytu. Składnik ten ulega w pierwszej kolejności wymywaniu przez wody złożowe, przyczyniając się do istotnego zwiększenia porowatości ogólnej a w konsekwencji zwiększenia przepuszczalności oraz rozwoju chemicznej i fizycznej destrukcji kamienia cementowego. Obecność portlandytu  $\text{Ca(OH)}_2$  sprzyja szczególnie rozwojowi agresji węglanowej.

Korzystnym sposobem zmniejszenia porowatości zaczynów oraz zwiększenia udziału trwałej fazy CSH jest stosowanie dodatków mineralnych lub cementów popiołowych, żuźlowych czy też cementów hutniczych.

Cement hutniczy charakteryzuje się wysoką odpornością na działanie czynników agresywnych (Brylicki, 2001; Raczkowski, 1978). Głównymi składnikami cementu hutniczego są: granulowany żużel wielkopiecowy (zawartość do ok. 60%), klinkier portlandzki oraz kamień gipsowy. Zastosowanie aktywnego składnika mineralnego w postaci granulowanego żużla wielkopiecowego zmienia rodzaj powstałych produktów hydratacji. Z jednej strony zmniejszeniu ulega zawartość faz klinkierowych podatnych na agresję chemiczną tj. glinianu trójwapniowego w składzie cementu i  $\text{Ca(OH)}_2$  w zaczynie, z drugiej zmienia się także mikrostruktura kamienia cementowego. Duża odporność na agresywne działanie środowiska kamieni cementowych wykonanych z cementu hutniczego wynika przede wszystkim z ich małej przepuszczalności (wysokiej szczelności), co ściśle powiązane jest ze zmniejszeniem ilości porów kapilarnych na rzecz porów żelowych (utrudnia to dyfuzję jonów agresywnych do wnętrza kamienia cementowego).

Popiół lotny krzemionkowy (główny składnik cementu popiołowego) jest materiałem chemicznie czynnym. Zawiera on aktywną krzemionkę, która wpływa na tworzenie w matrycy cementowej związków o właściwościach hydraulicznych, przede wszystkim fazy CSH (Giergiczny, 2002; Kurdowski & Małolepszy, 1999; Kurdowski, 1991). Równocześnie z tym procesem zachodzą reakcje pomiędzy jonami wapnia i glinu, które prowadzą do powstawania uwodnionych glinianów wapniowych. Ostatecznie w wyniku przebiegu tych procesów w zaczynie cementowym maleje zawartość łatwo rozpuszczalnego  $\text{Ca(OH)}_2$ , wzrasta natomiast udział pożądanych faz hydraulicznych, co bezpośrednio zwiększa stopień szczelności matrycy cementowej, a tym samym wpływa korzystnie na cechy, decydujące o trwałości stwardniałego zaczynu cementowego.

O podwyższonej odporności na agresję chemiczną cementu z dodatkiem popiołu lotnego decydują przede wszystkim następujące czynniki:

- ograniczenie zawartości faz klinkierowych podatnych na korozję tj. glinianu trójwapniowego w składzie cementu, co wiąże się ze zmniejszeniem udziału klinkieru w składzie cementu na rzecz popiołu lotnego,
- zmniejszenie zawartości  $\text{Ca(OH)}_2$  w stwardniałej matrycy spoiwowej,
- zmiana mikrostruktury stwardniałego zaczynu cementowego w wyniku przebiegu reakcji pucolanowej popiołu lotnego,

- doszczelnienie struktury przez produkty reakcji pucolanowej i niezhydratyzowane cząstki popiołu lotnego.

W wyniku przebiegu reakcji pomiędzy aktywnymi składnikami popiołu lotnego (przede wszystkim  $\text{SiO}_2$ ) a wodorotlenkiem wapnia ciągłemu zmniejszeniu ulega jego ilość w stwardniałym zaczynie cementowym. Głównym produktem tej reakcji są przede wszystkim uwodnione krzemiany wapnia w postaci żelowej (faza CSH). Ponieważ wodorotlenek wapnia jest składnikiem zaczynu najbardziej podatnym na reakcję z czynnikami agresywnymi, obniża się możliwość korozji ługującej i ogólnokwasowej skierowanej na  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Przebieg reakcji pucolanowej powoduje powstawanie dodatkowej ilości produktów wypełniających pory. Wprowadzenie popiołu lotnego do składu cementu powoduje powstanie większej ilości porów o bardzo małej średnicy (porów żelowych). Taki układ porowatości znacznie utrudnia wnikanie cieczy (jonów) agresywnych w głąb struktury stwardniałego zaczynu cementowego, efektem czego jest blisko sześciokrotnie niższa szybkość dyfuzji jonów chlorkowych w głąb stwardniałego zaczynu cementowego w cemencie popiołowym w porównaniu do cementu portlandzkiego.

### **Metodyka badań laboratoryjnych i stosowana aparatura**

Badania laboratoryjne odporności kamieni cementowych na korozję węglanową wykonywane były w Zakładzie Technologii Wiercenia Instytutu Nafty i Gazu O/Krosno zgodnie z normami PN-85/G-02320 „Cementy i zaczyny cementowe do cementowania w otworach wiertniczych” oraz API SPEC 10 „Specification for materials and testing for well cements” oraz PN-EN 10426-2 „Przemysł naftowy i gazowniczy” – Cementy i materiały do cementowania otworów – część 2: Badania cementów wiertniczych.

Próbki kamieni cementowych umieszczono w specjalnie skonstruowanych autoklawach (**Fig. 1.1.17\_230 - Fig. 1.1.17\_232**) i nasycano dwutlenkiem węgla za pomocą specjalnej pompki do ciśnienia 20 MPa (200 bar). Na podstawie literatury (Raczkowski, 1978) można przyjąć, iż ciśnienie do około 20 MPa powoduje wzrost wytrzymałości, a dalszy jego wzrost nie ma znaczącego wpływu na wytrzymałość mechaniczną. Autoklawy przechowywano w komorach cieplnych w temperaturze 80°C (warunki otworopodobne).



**Fig. 1.1.17\_230** Autoklaw z próbkami kamieni cementowych nasyconych CO<sub>2</sub> pod ciśnieniem 20 MPa



**Fig. 1.1.17\_231** Komora autoklawu



**Fig. 1.1.17\_232** Autoklaw do przechowywania próbek kamieni cementowych w środowisku CO<sub>2</sub>

W poniższej **Tab. 1.1.17\_67** pokazano schemat rozmieszczenia próbek w poszczególnych autoklawach nasyconych CO<sub>2</sub> i terminy prowadzenia pomiarów:

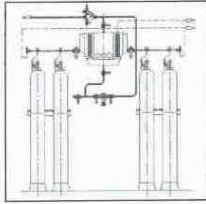
**Tabl. 1.1.17\_67** Rozmieszczenie próbek w autoklawach i terminy pomiarów

Rok	Autoklaw 004 (skład zaczynu Nosówka 7)	Autoklaw 005 (skład zaczynu Nosówka 7)	Autoklaw 006 (skład zaczynu Nosówka 7)	Autoklaw 007 (skład zaczynu Pabianice 1)
2010	Lipiec, Październik	-	-	Październik
2011	Styczeń Kwiecień	Lipiec, Październik	-	Styczeń Kwiecień
2012	-	Styczeń Kwiecień	Lipiec, Październik	Lipiec, Październik

2013	-	-	Styczeń Kwiecień	-
------	---	---	---------------------	---

\*) Ponadto wszystkie próbki umieszczono w środowiskach porównawczych (bez udziału CO<sub>2</sub>), a badania prowadzono według ww. terminarzu.

Autoklawy do badań kamieni cementowych w warunkach działania CO<sub>2</sub> zostały zaprojektowane i skonstruowane w kwietniu i maju 2010 roku przez Pracownię Projektową – Andrzej Komisarz w Wieliczce i firmę IT- HPS Paweł Małkowski w Krakowie w oparciu o wytyczne przygotowane w Instytucie Nafty i Gazu. Zakupu dokonano ze środków przeznaczonych na wykonanie prezentowanej pracy. Zeskanowaną część projektową i protokół z kontroli naczyń ciśnieniowych na sprężony dwutlenek węgla zamieszczono w dalszej części pracy.



**PRACOWNIA PROJEKTOWA – ANDRZEJ KOMISARZ,**  
32-020 WIELICZKA, OS. SIENKIEWICZA 1/3,  
**PROJEKTOWANIE INSTALACJI GAZÓW MEDYCZNYCH,**  
**LABORATORYJNYCH I TECHNICZNYCH**  
Certyfikat EN ISO 13485:2005+AC:2007  
Certyfikat EN ISO 9001:2008  
e-mail: komgamed@poczta.onet.pl;  
tel.:0509 374 932;

**ZAMAWIAJĄCY:** IT – HPS PAWEŁ MALKOWSKI,  
UL. LITEWSKA 28/39,  
30-014 KRAKÓW

**BRANŻA:** MECHANICZNA

**TEMAT:** OBLICZENIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE, WRAZ Z CZĘŚCIĄ  
RYSUNKOWĄ, NACZYNIA CIŚNIENIOWEGO SŁUŻĄCEGO DO  
BADANIA RDZENI WIERTNICZYCH - PRZEZNACZONEGO  
DLA INSTYTUTU NAFTY I GAZU W KROŚNIE.

**OPRACOWAŁ:** mgr inż. MAREK TOBOLA

WIELICZKA MAJ 2010 r.

## ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA

### A. CZĘŚĆ OPISOWA.

- 1.0. Opis techniczny.
  - 1.1. Temat opracowania.
  - 1.2. Zlecający.
  - 1.3. Podstawa opracowania.
  - 1.4. Zakres opracowania.
- 2.0. Obliczenia.
  - 2.1. Informacje wstępne.
  - 2.2. Obliczenia wytrzymałościowe.

### B. CZĘŚĆ RYSUNKOWA.

1.	Naczynie ciśnieniowe do badania rdzeni wiertniczych – rysunek zestawieniowy	1:1
2.	Cylinder $\phi 100 / \phi 33.3$	1:2
3.	Pokrywa $\phi 100$	1:1
4.	Uszczelka $\phi 100$	1:1

## 1.0. OPIS TECHNICZNY.

### 1.1. Temat opracowania.

Opracowanie dokumentacji projektowej naczynia ciśnieniowego służącego do badania rdzeni wiertniczych, przeznaczonego dla Instytutu Nafty i Gazu w Krośnie, ul. Armii Krajowej 3, 38-400 Krośno.

### 1.2. Zlecający.

IT – HPS Paweł Malkowski, ul. Litewska 28/39, 30-014 Kraków.

### 1.3. Podstawa opracowania.

- Zlecenie Zamawiającego – znak IT-284/10 z dnia 19.05.2010 r.
- Normy i wytyczne projektowania;

### 1.4. Zakres opracowania.

Opracowanie obejmuje dokumentację projektową naczynia ciśnieniowego służącego do badania rdzeni wiertniczych. Dokumentacja zawiera:

- obliczenia wytrzymałościowe naczynia;
- rysunek zestawieniowy naczynia ciśnieniowego;
- rysunki wykonawcze elementów naczynia ciśnieniowego.

## 2.0. OBLICZENIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE.

### 2.1. Informacje wstępne.

Będące przedmiotem opracowania naczynie ciśnieniowe jest przeznaczone do badania rdzeni wiertniczych poprzez symulację odpowiednich warunków fizykochemicznych. Po włożeniu do środka rdzeni wiertniczych naczynie będzie napełniane dwutlenkiem węgla do ciśnienia 200 bar, a następnie podgrzewane do temperatury 100°C. Takie parametry będą utrzymywane przez czas zależny od specyfiki badania (doświadczenia).

### 2.2. Obliczenia wytrzymałościowe

#### 2.2.1. Obliczenie grubości ścianki elementu walcowego – ciśnienie wewnętrzne.

Dane wejściowe:

- |                 |                              |
|-----------------|------------------------------|
| - materiał      | - 1.4301/1.4307 (0H18N9)     |
| - temperatura   | - t=100 oC.                  |
| - ciśnienie     | - p=200 bar (20MPa).         |
| - średnica zew. | - Dz=100 mm.                 |
| - gr. plast.    | - k=145 MPa (wg EN-10216-5). |
| - współ.        | - alfa=1.                    |
| - współ.        | - z=1.                       |

Obliczenia:

$$g_{sc} = \frac{D_z * p}{\frac{2.3 * k * z}{\alpha} + p} \quad g_{sc} = \frac{100 * 20}{\frac{2.3 * 145 * 1}{1} + 20} = 5.65 \text{ mm}$$

$$g_{sc} = 6.65 \text{ mm} < g_{rz} = 33.35 \text{ mm} \quad (\text{Warunek spełniony})$$



## 2.2.2. Obliczenie grubości dna płaskiego

Dane wejściowe:

- materiał - 1.4301/1.4307 (0H18N9)
- temperatura -  $t=100$  °C,
- ciśnienie -  $p=200$  bar (20MPa),
- średnica zew. -  $D_w=33.3$  mm,
- gr. plast. -  $k=145$  MPa (wg EN-10216-5),
- naddatek -  $c=0$  mm,

Obliczenia:

$$gd = 0.35 * D_w * \sqrt{\frac{p}{k}} + c \quad gd = 0.35 * 33.3 * \sqrt{\frac{20}{145}} + 0 = 4.3 \text{ mm}$$

$$gd=4.3 \text{ mm} < grz=50.00 \text{ mm} \quad (\text{Warunek spełniony})$$

## 2.2.3. Obliczenie połączenia śrub dla połączenia pokrywy zbiornika

Dane wejściowe:

- temperatura -  $t=100$  °C,
- ciśnienie -  $p=200$  bar (20MPa),
- średnica zew. -  $D_w=33.3$  mm,
- gr. plast. -  $k=200$  MPa,
- il. śrub -  $i=5$

## 2.2.3.1. Obliczenie siły na śruby

$$F = p * \frac{\pi * D_w^2}{4} \quad F = 20 * \frac{3.14 * 33.3^2}{4} = 17410 \text{ N}$$

## 2.2.4. Obliczenie pola pow. śrub

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq k$$

$$A = \frac{F}{k} \quad A = \frac{17410}{200} = 87.05 \text{ mm}^2$$

dla  $i=5$  śrub pole pow. śruby

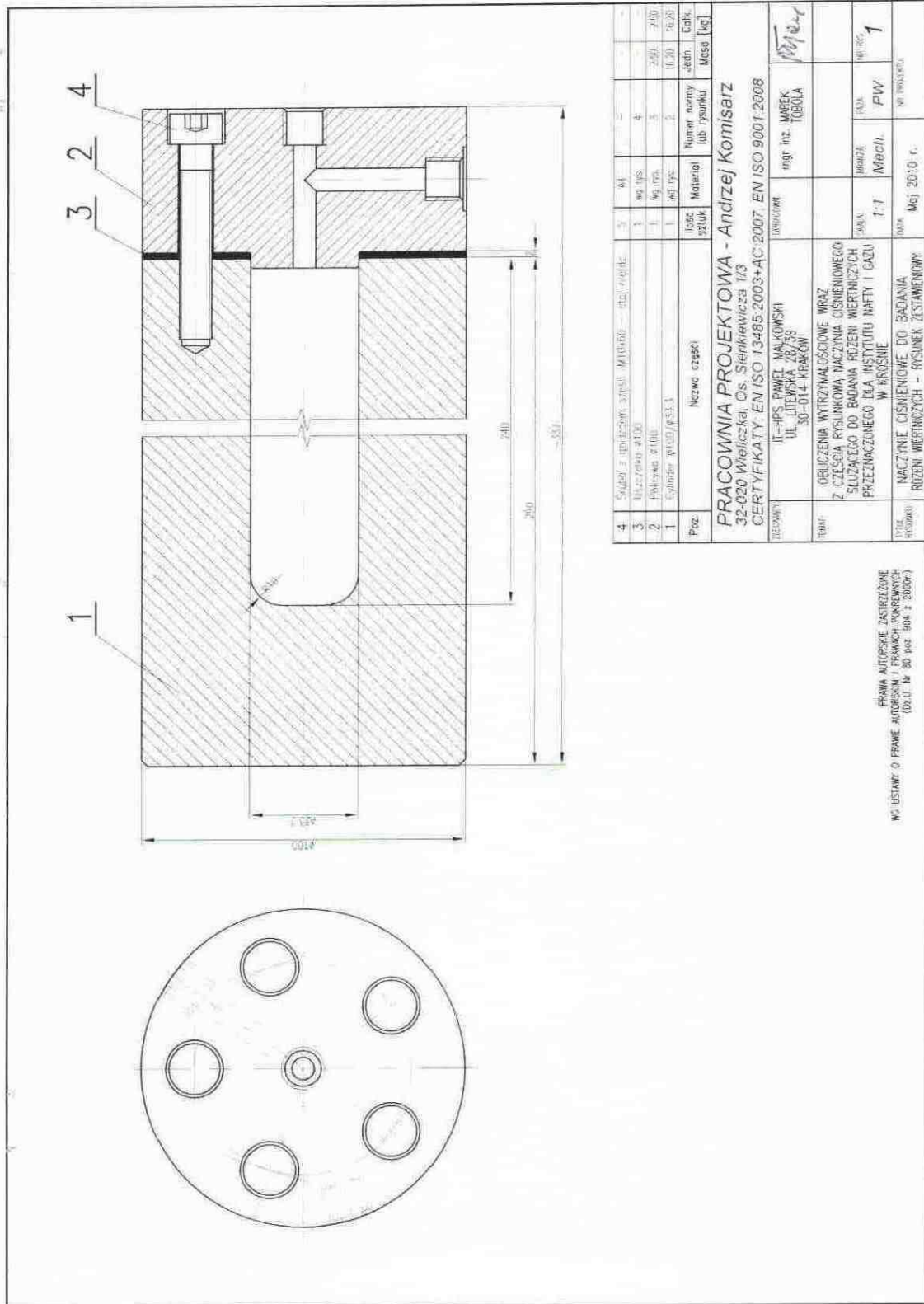
$$A_s = \frac{A}{i} \quad A_s = \frac{87.05}{5} = 17.41 \text{ mm}^2$$

## 2.2.4. Średnica rdzenia śruby

$$A_s = \frac{\pi * d_s^2}{4} \quad \text{to} \quad d_s = \sqrt{\frac{4 * A_s}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 17.41}{3.14}} = 4.7 \text{ mm}$$

$$\text{Śruba M10} < d_s=4.70 \text{ mm} \quad (\text{Warunek spełniony})$$

Opracował:  
mgr inż. MAREK TOBOLA*Marek Tobola*



Poz.	Ilość sztuk	Material	Numer normy lub rysunku	Waż.
4	1	Wg rys.	4	-
3	1	Wg rys.	3	2.50
2	1	Wg rys.	2	10.00
1	1	Wg rys.	1	10.00

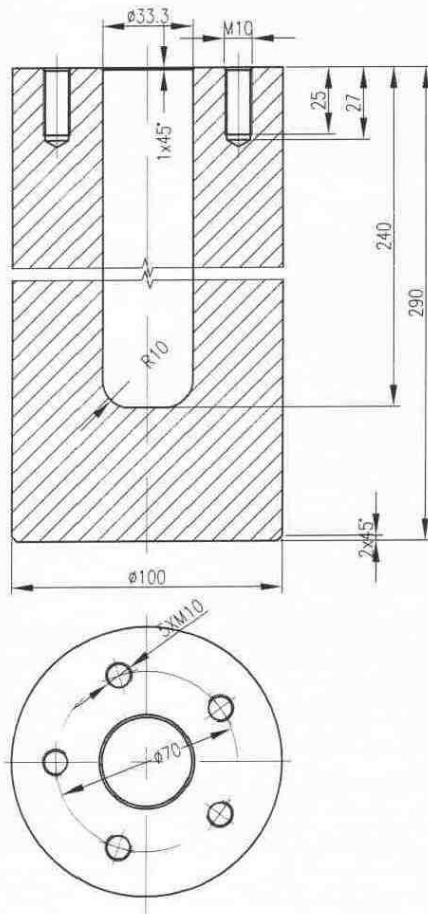
Poz.	Nazwa części	Ilość sztuk	Material	Numer normy lub rysunku	Waż.
1	Wg rys.	1	Wg rys.	1	10.00
2	Wg rys.	1	Wg rys.	2	10.00
3	Wg rys.	1	Wg rys.	3	2.50
4	Wg rys.	1	Wg rys.	4	-

PRACOWNIA PROJEKTOWA - Andrzej Komisarz	
32-020 Wieliczka, Os. Sienkiewicza 1/3	
CERTYFIKATY-EN ISO 13485:2003+AC:2007-EN ISO 9001:2008	
TYTUŁ	DATA
ING. PAWEŁ MALCOWSKI	Maj 2010 r.
UL. LITWISKA 26/33	
50-014 BRANISZ	
TEMAT	OPIS
OBIEKTOWY WYKONAWCZY I WYKONAWCZY	PROJEKT
Z CZĘŚCIĄ RYSUNKOWĄ NACZYŃA CIŚNIENIOWEGO	PROJEKT
SŁUŻĄCEGO DO BADANIA PRZEBIEGU WYCIĄGNIĘCIA	PROJEKT
PRZECIĄGNIĘCIA DLA INSTYTUTU HAFETY I GAZU	PROJEKT
W KRAKOWIE	PROJEKT
NACZYŃE CIŚNIENIOWE DO BADANIA	PROJEKT
PRZEBIEGU WYCIĄGNIĘCIA	PROJEKT
PROJEKTOWY	PROJEKT

PRAMA AUTORSKIE ZASTRZEŻENIE  
 WÓ USTAWIE O PRAMIE AUTORSKIM I PRAWACH POKREWNYCH  
 (DZ.U. Nr 60 poz. 804 z 2000r.)

5/(✓)

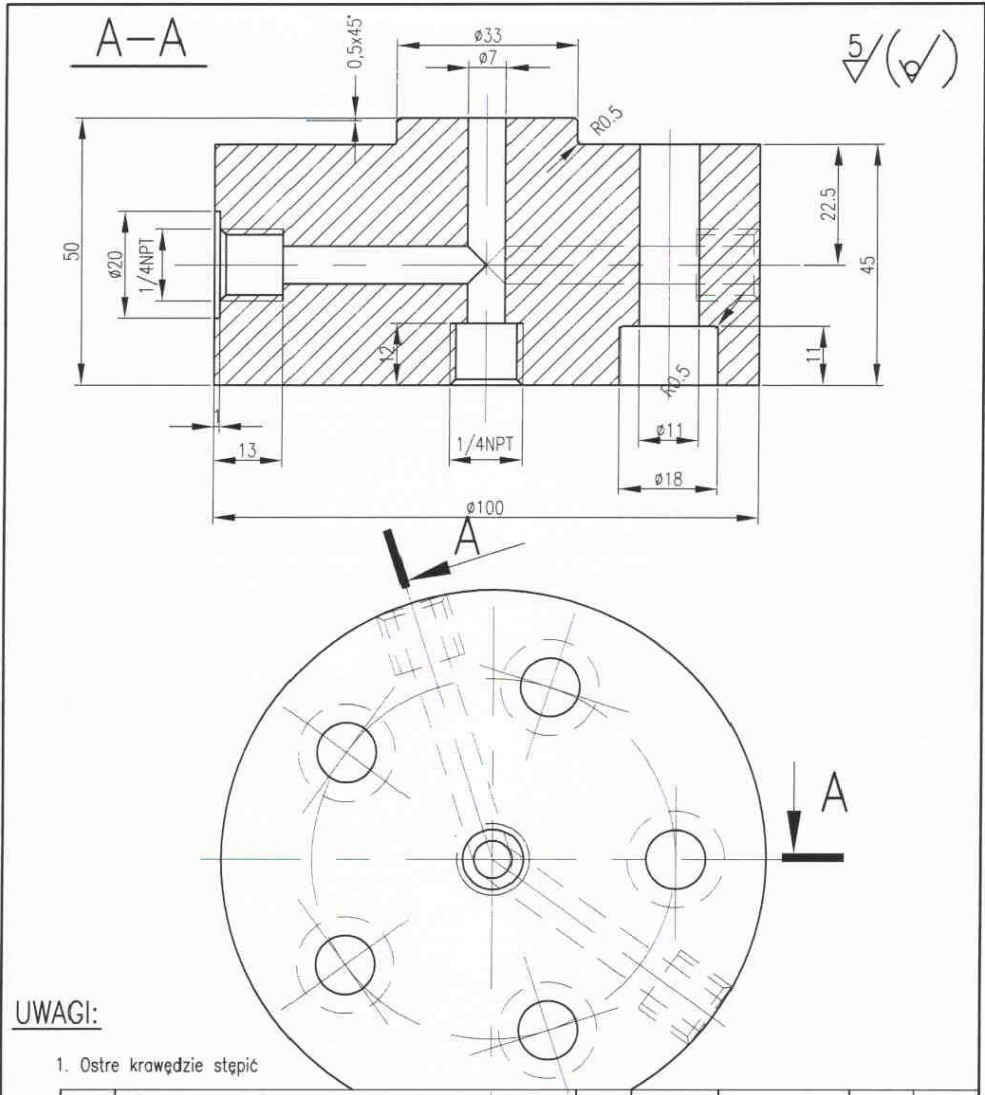


**UWAGI:**

1. Ostre krawędzie stępic

PRAWA AUTORSKIE ZASTRZEŻONE  
 W G. USTAWY O PRAWIE AUTORSKIM I PRAWACH POKREWNYCH  
 (Dz.U. Nr. 80 poz. 904 z 2000r.)

Poz.	Nazwa części	Ilość sztuk	Materiał	Numer normy lub rysunku	Jedn. Masa [kg]	Całk.
-	Pręt $\phi 100$ , L=290mm.	1	0H18N9T	-	16.20	16.20
<b>PRACOWNIA PROJEKTOWA - Andrzej Komisarz</b> 32-020 Wieliczka, Os. Sienkiewicza 1/3 CERTYFIKATY: EN ISO 13485:2003+AC:2007, EN ISO 9001:2008						
ZLECAJĄCY:	IT-HPS PAWEŁ MAŁKOWSKI UL. LITEWSKA 28/39 30-014 KRAKÓW	OPRACOWAŁ:	mgr inż. MAREK TOBOLA	<i>M. Tobola</i>		
TEMAT:	OBLICZENIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE WRAZ Z CZĘŚCIĄ RYSUNKOWĄ NACZYNIĄ CIŚNIENIOWEGO SŁUŻĄCEGO DO BADANIA RDZENI WIERTNICZYCH PRZEZNACZONEGO DLA INSTYTUTU NAFTY I GAZU W KROŚNIE	SKALA:	BRANŻA:	FAZA:	NR RYS.	
		1:2	Mech.	PW	2	
TYTUŁ RYSUNKU:	Cylinder $\phi 100/\phi 33.3$	DATA:	Maj 2010 r.		NR PROJEKTU:	



**UWAGI:**

- Ostre krawędzie stępić

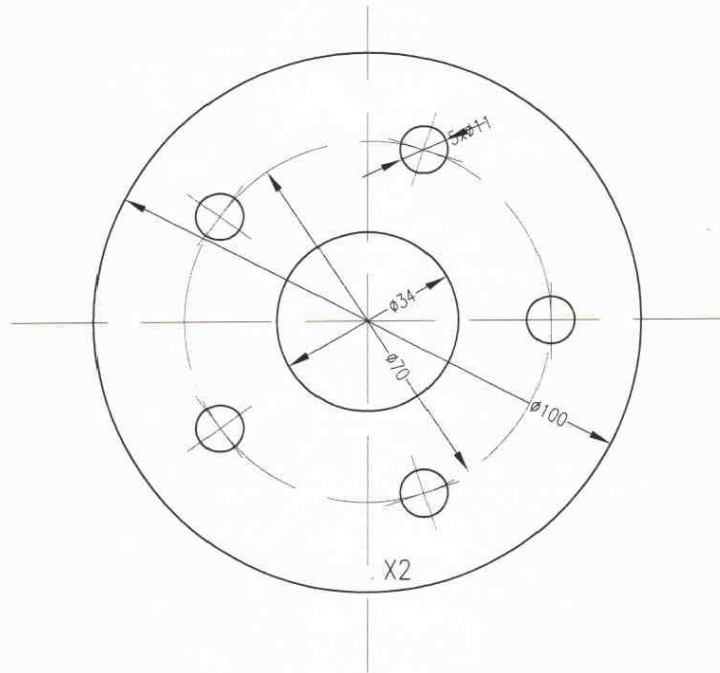
Poz.	Nazwa części	Ilość sztuk	Material	Numer normy lub rysunku	Jedn. Masa [kg]	Całk.
-	Preł $\varnothing 100$ ; L=50mm	1	OH18N9T	-	2,50	2,50

**PRACOWNIA PROJEKTOWA - Andrzej Komisarz**  
 32-020 Wieliczka, Os. Sienkiewicza 1/3  
 CERTYFIKATY: EN ISO 13485:2003+AC:2007, EN ISO 9001:2008

ZLECAJĄCY:	IT-HPS PAWEŁ MAŁKOWSKI UL. LITEWSKA 28/39 30-014 KRAKÓW	OPRACOWAŁ:	mgr inż. MAREK TOBOLA	<i>Marek</i>	
TEMAT:	OBLICZENIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE WRAZ Z CZĘŚCIĄ RYSUNKOWĄ NACZYNIWA CIŚNIENIOWEGO SŁUŻĄCEGO DO BADANIA RDZENI WIERTNICZYCH PRZEZNACZONEGO DLA INSTYTUTU NAFTY I GAZU W KROŚNIE	SKALA:	BRANŻA:	FAZA:	NR RYS.
TYTUŁ RYSUNKU:	Pokrywa $\varnothing 100$	1:1	Mech.	PW	3
		DATA:	NR PROJEKTU:		
		Maj 2010 r.			

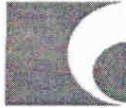
PRAMA AUTORSKIE ZASTRZEŻONE  
 WG USTAWY O PRAWIE AUTORSKIM I PRAWACH POKREWNYCH  
 (Dz.U. Nr 80 poz. 904 z 2000r.)

PRAWA AUTORSKIE ZASTRZEŻONE  
 WZG USTAWY O PRAWIE AUTORSKIM I PRAWACH POKREWNYCH  
 (Dz.U. Nr 80 poz. 904 z 2000r.)



-	Płyta $\phi 100$ ; g=2mm - odporna na p=20MPa i t=100°C	1	TERMOGAMBIT(270)-	-	=	
Poz.	Nazwa części	Ilość sztuk	Material	Numer normy lub rysunku	Jedn.	Całk.
					Masa [kg]	
<b>PRACOWNIA PROJEKTOWA - Andrzej Komisarz</b> 32-020 Wieliczka, Os. Sienkiewicza 1/3 CERTYFIKATY: EN ISO 13485:2003+AC:2007, EN ISO 9001:2008						
ZLECAJĄCY:	IT-HPS PAWEŁ MAŁKOWSKI UL. LITEWSKA 28/39 30-014 KRAKÓW	OPRACOWAŁ:	mgr inż. MAREK TOBOLA	<i>M. Tobola</i>		
TEMAT:	OBLICZENIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE WRAZ Z CZĘŚCIĄ RYSUNKOWĄ NACZYNIA CIŚNIENIOWEGO SŁUŻĄCEGO DO BADANIA RDZENI WIERTNICZYCH PRZEZNACZONEGO DLA INSTYTUTU NAFTY I GAZU W KROŚNIE	SKALA:	BRANŻA:	FAZA:	NR RYS.	
		1:1	Mech.	PW	4	
TYTUŁ RYSUNKU:	Uszczelka $\phi 100$	DATA:	Maj 2010 r.	NR PROJEKTU:		





**CHANDAN STEEL LIMITED**  
(GOVT. OF INDIA RECOGNISED EXPORT HOUSE)

ISO 9001 - 2000 CERTIFICATE No. 44 100 011022-E3  
AD 2000 - MERKBLATT W0 - REGN.No. 07 202 W 1409 06 00021  
PED 97 / 23 / EC - CERTIFICATE No. 07 202 2 1409 06 00023



DM. OFFICE: 804, SUKBI SAGAR, N. S. PATKAR MARG, MUMBAI 400 007, INDIA  
Tel.: 91-22- 66290600, Fax: 91-22-66290633/34  
Website : www.chandansteel.net  
mail : csl@chandansteel.net  
f. No.:  
f. Date:

WORKS: Plot No. 35, G. I. D. C., Umbergaon  
Dist Valsad, Gujarat - 396 171.  
Tel.- 91-260-256 2066 / 4367 / 1166. Fax: 91-260-256 2287  
E-mail : exports@chandansteel.net

F824 QC 09 / 00 / 08.09.2006

**MILL TEST CERTIFICATE**  
ACCORDING TO EN 10204/3.1 & AD W2

Consignee  P.H.U. EUROSTAL-METALE S.A. KZESZOW ZA ZGODNOSC Z ORYGINALEM 	Test Certificate No. : EXP/0764-17/2008-2009
	Date of Issue : 03.03.2009
	S/C. No. : 600/2008-09
	Invoice No. & Date : EXP/0764/2008-09 Dtd.03.03.2009

PRODUCT STAINLESS STEEL HOT ROLLED ROUND BARS	LENGTH		Net Wt. 2659 Kgs.
	Ordered	Actual	
	6 - 6.1 Mtrs.	6 - 6.1 Mtrs.	

Order No.	Heat No.	Grade DIN	Size mm/inch	Tolerance	Process Route	
					Electric Melting /A.O.D. Refining/ Continuous Casting/Hot Rolled	
Z000000131	09/174	1.4301/1.4307	100.00 mm (HR)	K12		

**CHEMICAL COMPOSITION (Weight %)**

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Ti	N
Min.	-	-	-	-	-	17.50	-	8.00	-	-	-
Max.	0.030	1.00	2.00	0.045	0.030	19.50	-	10.50	-	-	0.1100
Results	0.030	0.50	1.91	0.038	0.011	18.53	0.29	8.03	-	-	0.0655

**MECHANICAL PROPERTIES**

Specified Values	.2 % Proof Strength N/mm <sup>2</sup> (Rp0.2)	Tensile Strength N/mm <sup>2</sup> (Rm)	Elongation after Fracture A min. %	Reduction of Area min. %	Hardness (HB)
Results	240	552	57	75	170-173

Remarks:  
 Hot Rolled & Rough Peeled. 2. Solution annealed at 1050 °C.  
 Anti mix test carried out. 4. Material is free from Radio-Active Elements.  
 Microstructure-Recrystallised austenite grains.  
 The material is calcium treated.  
 The material conforms to EN 10088-3:2005 Specifications.  
 BUNDLE NO.: 52 to 58 COLOUR : WHITE

is hereby certified that the above  
 sults are true and correct in every details.

**B. S. RAUTELA**  
 MANAGER - QUALITY ASSURANCE

IT-HPS Paweł Małkowski Adres siedziby: Ul. Litewska 28/39 30-014 Kraków	Adres biura: Ul. Łukasiewicza 1 31-429 Kraków tel: (12) 617-76-16	Kraków, dn. 29.03.2010
--	--	------------------------

**Protokół nr IT PNC\_01/10**  
**Z kontroli naczyń ciśnieniowych na sprężony gaz dwutlenek**  
**węgla.**

Właściciel/Użytkownik:           **Instytut Nafty i Gazu**  
  **Ul. Armii Krajowej 3**  
  **38-400 Krosno**

Data nabycia:                           29.03.2010

1.   **Data wykonania okresowej kontroli:**  
      29.03.2010.
  
2.   **Przedmiot kontroli:**  
      Naczynie ciśnieniowe.
  - a)   **Material :** stal nierdzewna
  - b)   **Medium:** Dwutlenek węgla
  - c)   **Średnica wew.:** DN 33,3 mm
  - d)   **Pojemność:** 210 ml
  - e)   **Ilość:** 4 szt.
  - f)   **Numer naczynia:** RWC-300-004, RWC-300-005, RWC-300-006, RWC-300-007

**3. Warunki wykonania badania okresowego:**

Ciśnienie robocze [20,0 MPa] \* 1,5 (współczynnik) = ciśnienie próbne [30,0 MPa]

**Odczyt wartości ciśnień gazu za pomocą legalizowanego manometru o zakresie od 0 do 400 bar, nr legalizacji 309-0769/09, z dn. 27.04.2009 r.**

<b>IT-HPS</b> Paweł Małkowski Adres siedziby: Ul. Litewska 28/39 30-014 Kraków	Adres biura: Ul. Łukasiewicza 1 31-429 Kraków tel: (12) 617-76-16	Kraków, dn. 29.03.2010
---	--	------------------------

Pomiar ciśnienia gazu	Jednostka [Bar]	
	Początkowy	Po 30 min
RWC-300-004	300	300
RWC-300-005	300	300
RWC-300-006	300	300
RWC-300-007	300	300

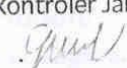

**4. Uwagi dotyczące aktualnego stanu technicznego naczynia.**

Naczynia szczelne, dopuszczone do dalszej eksploatacji .

**5. Data kolejnego badania:**

29.03.2011 r.

**6. Kontrolę wykonał**

Kontroler Jakości 	
--	---



## Badania laboratoryjne

Do badań laboratoryjnych wytypowano zaczyn cementowy N-7 zastosowany do uszczelniania rur 6 5/8" na otworze Nosówka 7, a także zaczyn cementowy P-1 (dający kamień o podwyższonej odporności na CO<sub>2</sub>) użyty do uszczelniania rur 9 5/8" w otworze Pabianice 1.

Zaczyn N-7 (**Tab. 1.1.17\_68**) posiadał stosunek wodno-cementowy (w/c) równy 0,5. W celu opóźnienia czasu wiązania wprowadzono do niego domieszkę kwasu winowego w ilości 0,05%. Spoiwo wiążące tworzyły cement Rejowiec CEM I 32,5 i pył dymnicowy (popiół) w ilości po 50%. Badany zaczyn posiadał gęstość równą 1,69 g/cm<sup>3</sup> i rozlewność 250 mm. Jego lepkość plastyczna wynosiła 34,5 mPa·s, a granica płynięcia 4,6 Pa.

Zaczyn P-1 (**Tab. 1.1.17\_69**) sporządzony był z cementu hutniczego CEM III/A 32,5 o podwyższonej odporności na korozję. Zaczyn zawierał dodatkami 25% mikrosilniki, 10% mikrocementu, 10% lateksu PSP102 (w stosunku do masy cementu) a także środki upłynniające, antyfiltracyjne i opóźniające wiązanie. Gęstość zaczynu P-1 wynosiła 1,76 g/cm<sup>3</sup>, a rozlewność 260 mm. Zaczyn posiadał lepkość plastyczną równą 85,5 mPa·s oraz granicę płynięcia równą 5,0 Pa. Konsystencję 30 Bc zaczyn uzyskał po 4h 04 min., a 100 Bc po 5h 25 min. Filtracja wynosiła 48 cm<sup>3</sup>/30 min.

Po wykonaniu badań parametrów technologicznych płynnych zaczynów sporządzono próbki kamieni cementowych. Próbki kamieni utwardzano w warunkach otworopodobnych (ciśnienie 20 MPa dla obydwu receptur, temperatura 80°C dla składu N-7 i 70°C dla składu P-1). Po tygodniowym okresie utwardzania próbki wyjęto i przełożono do dwóch środowisk:

- a) do autoklawów z solanką z Nosówki nasyconą CO<sub>2</sub>,
- b) do środowiska porównawczego (pojemniki z solanką bez udziału CO<sub>2</sub>),

Próbki kamieni cementowych narażone na działanie CO<sub>2</sub> sporządzone z zaczynu N-7 rozmieszczono w autoklawach nr 004, 005 i 006 natomiast próbki kamieni cementowych powstałe z zaczynu P-1 umieszczono w autoklawie nr 007. Próbki zalano wodami złożowymi. Analizę chemiczną wód złożowych (solanek) zamieszczono w **Tab. 1.1.17\_70** i **Tab. 1.1.17\_71**.

Po założonych w harmonogramie okresach czasu próbki wyjmowano i wykonywano na nich pomiary parametrów wytrzymałościowych na maszynie firmy Chandler Model 4207.

**Tab. 1.1.17\_68** Wyniki badań zaczynu cementowego zastosowanego na otworze  
Nosówka 7 - rury 6 5/8"

Nosówka 7 – rury 6 5/8"	Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	1690	
	Rozlewność [mm]	255	
	Skład zaczynu N-7	Fann	
	Woda , w/c = 0,5	600:	74
	Kwas winowy (opóźniacz wiązania) – 0,05%	300:	44
	Pył dymnicowy (popiół lotny) – 50%	200:	33
	Cement Rejowiec CEM I 32,5 – 50%	100:	21
		6:	7
	3:	6	
Lepkość plastyczna: 34,5 mPa·s		Granica płynięcia: 4,6 Pa	

**Tab. 1.1.17\_68a.** Badania w warunkach działania CO<sub>2</sub> (temp. 80°C, ciśnienie 20 MPa, solanka z Nosówki 1)

Czas przechowywania	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
28 dni	22,5
90 dni	29,0
180 dni	29,7

**Tab. 1.1.17\_68b.** Badania porównawcze: temp. 80°C, ciśnienie 20 MPa, (bez udziału CO<sub>2</sub>)

Czas przechowywania	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
28 dni	22,5
90 dni	27,5
180 dni	28,2

**Tab. 1.1.17\_69** Wyniki badań zaczynu cementowego zastosowanego na otworze Pabianice 1 – rury 9 5/8”

Pabianice 1 – rury 9 5/8”				
Skład zaczynu P-1			Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	1690
			Rozlewność [mm]	255
Woda z wiertni	w/c=0,6			
PSP061 (odpieniacz)	1,0%	Fann		
PSP042 (upłynniacz)	0,2%	600:	74	
PSP031 (na obniżenie filtracji)	0,2%	300:	44	
PSP013 (opóźniacz wiązania)	0,15%	200:	33	
PSP103 (stabilizator)	2,0%	100:	21	
PSP102 (lateks W)	10,0%	6:	7	
Mikrocement Ultrafin	10,0%	3:	6	
Mikrosilnika (mączka krzemionkowa)	25,0%			
Cement CEM III/A 32,5 (hutniczy)	100%			
Lepkość plastyczna: 85,5 mPa·s			Granica płynięcia: 5,0 Pa	
czas gęstnienia [h – min.]	70°C	30 Bc	4 – 04	
	35 MPa	100 Bc	5 – 25	
początek wiązania [h – min.]	70°C	>6 - 00		
koniec wiązania [h – min.]		<20 - 00		
filtracja [cm <sup>3</sup> /30 min.]		48,0		

**Tab. 1.1.17\_69a.** Badania w warunkach działania CO<sub>2</sub> (temp. 70°C, ciśnienie 20 MPa)

Czas przechowywania	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
28 dni	21,0
90 dni	21,7

**Tab. 1.1.17\_69b** Badania porównawcze: temp. 70°C, ciśnienie 0,1 MPa, (bez udziału CO<sub>2</sub>)

Czas przechowywania	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
28 dni	21,0
90 dni	22,4

**Tab. 1.1.17\_70** Analiza wód złożowych z otworów Nosówka 1 (użyta w autoklawach 004,005,006) i Nosówka 2 (kwiecień 2010)

Nosówka 1 (woda złożowa użyta w autoklawach 004, 005, 006)		Nosówka 2	
Zawartość jonów w [g/l]		Zawartość jonów w [g/l]	
Mg <sup>+2</sup>	2,92	Mg <sup>+2</sup>	0,36
Ca <sup>+2</sup>	8,42	Ca <sup>+2</sup>	6,41
K <sup>+</sup>	0,50	K <sup>+</sup>	0,35
Na <sup>+</sup>	55,80	Na <sup>+</sup>	38,88
Cl <sup>-</sup>	109,90	Cl <sup>-</sup>	72,68

**Tab. 1.1.17\_71** Analiza wody złożowej ze złoża Nosówka użyta w autoklawie 007 (sierpień 2010)

Nosówka (woda złożowa użyta w autoklawie 007)	
Zawartość jonów w [g/l]	
Mg <sup>+2</sup>	0,13
Ca <sup>+2</sup>	6,21
K <sup>+</sup>	0,50
Na <sup>+</sup>	88,89
Cl <sup>-</sup>	148,90

Na podstawie przeprowadzonych w INiG badań wytrzymałościowych można powiedzieć, iż podczas 180 dni deponowania w warunkach otworopodobnych kamienie cementowe stosowane na złożu Nosówka cechują się narastającą w czasie wytrzymałością na ściskanie. W okresie od 28 do 180 dni wytrzymałość na ściskanie wzrosła od ok. 22 do ok. 30 MPa w przypadku próbek eksponowanych w środowisku CO<sub>2</sub>. Dla próbek eksponowanych w solance bez udziału CO<sub>2</sub> wytrzymałość na ściskanie w omawianym okresie wzrastała od ok. 22 do ok. 28 MPa.

Kamienie cementowe z otworu Pabianice 1 przechowywane w warunkach otworopodobnych w okresie od 28 do 90 dni posiadały wytrzymałość na ściskanie ok. 21 – 22 MPa (tak w środowisku solanki z CO<sub>2</sub> jak i w środowisku solanki bez udziału CO<sub>2</sub>).

Na **Fig. 1.1.17\_233 - Fig. 1.1.17\_246** zamieszczono zdjęcia próbek kamieni cementowych sporządzonych z zaczynów zastosowanych na otworach N-7 i P-1 i przechowywanych w solankach nasyconych CO<sub>2</sub> oraz w środowisku porównawczym przez okres od 28 do 180 dni.

**Fig. 1.1.17\_233 - Fig. 1.1.17\_241** kamień z otworu Nosówka 7 (N-7) w okresie od 28 do 180 dni.



**Fig. 1.1.17\_233** Próbki kamienia cementowego N-7 użyte do badań (po 28 dniach)



**Fig. 1.1.17\_234** Próbka kamienia cementowego N-7 użyta do badań (po 28 dniach)



**Fig. 1.1.17\_235** Próbki kamienia cementowego N-7 użyte do badań (po 28 dniach)



**Fig. 1.1.17\_236** Próbki kamienia cementowego N-7 użyte do badań (po 28 dniach)



**Fig. 1.1.17\_237** Próbki kamienia cementowego N-7 wyjęte z autoklawu po 90 dniach deponowania w warunkach wysokiego ciśnienia (20 MPa), wysokiej temperatury (80°C) i CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_238** Próbki kamienia cementowego N-7 wyjęte z autoklawu po 90 dniach deponowania w solance w warunkach wysokiego ciśnienia (20 MPa), wysokiej temperatury (80°C) i CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_239** Próbka kamienia cementowego N-7 wyjęta z autoklawu po 180 dniach deponowania w solance w warunkach wysokiego ciśnienia (20 MPa), wysokiej temperatury (80°C) i CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_240** Próbka kamienia cementowego N-7 wyjęta z autoklawu po 180 dniach deponowania w solance w warunkach wysokiego ciśnienia (20 MPa), wysokiej temperatury (80°C) i CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_241** Próbka kamienia cementowego N-7 przechowywana solance w temp. 80°C i ciśnieniu 20 MPa po 180 dniach

**Fig. 1.1.17\_242 – 246** Kamień z otworu Pabianice 1 (P-1) w okresie od 28 do 90 dni.





**Fig. 1.1.17\_242** Próbkki kamienia cementowego P-1 użyte do badań (po 28 dniach)



**Fig. 1.1.17\_243** Próbkka kamienia cementowego P-1 użyta do badań (po 28 dniach)



**Fig. 1.1.17\_244** Próbka kamienia cementowego P-1 wyjęta z autoklawu po 90 dniach deponowania w solance w warunkach wysokiego ciśnienia (20 MPa), wysokiej temperatury (80°C) i CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_245** Próbka kamienia cementowego P-1 wyjęta z autoklawu po 90 dniach deponowania w solance w warunkach wysokiego ciśnienia (20 MPa), wysokiej temperatury (80°C) i CO<sub>2</sub>



**Fig. 1.1.17\_246** Próbka kamienia cementowego P-1 przechowywana w solance w temp. 70°C i ciśnieniu 0,1 MPa po 90 dniach.

## Wnioski

Konwencjonalny zaczyn cementowy na bazie cementu portlandzkiego pod wpływem rozpuszczonego w wodzie CO<sub>2</sub> będzie ulegał tzw. „korozji węglanowej”. Działanie dwutlenku węgla w stwardniałym zaczynie (kamieniu cementowym) polega na wyługowywaniu z matrycy cementowej związków wapnia: najpierw portlandytu Ca(OH)<sub>2</sub> a następnie uwodnionych glinianów i krzemianów wapniowych. Tworzący się w tych reakcjach kwaśny węglan wapniowy jest łatwo rozpuszczalny i ulega wymywaniu z matrycy cementowej. Przy wysokim stężeniu CO<sub>2</sub> zachodzą dalsze niekorzystne reakcje chemiczne rozkładu uwodnionych glinianów wapniowych i fazy CSH.

Do cementowania otworów przeznaczonych do zatłaczania i magazynowania dwutlenku węgla powinny być użyte zaczyny uszczelniające, które wykazują podwyższoną odporność na działanie CO<sub>2</sub>. Ograniczenie działania CO<sub>2</sub> na kamień cementowy polega na zmniejszeniu współczynnika w/c, zastąpieniu cementu portlandzkiego cementami hutniczym lub popiołowym oraz na wprowadzaniu do zaczynu dodatków pucolanowych (np. popioły, krzemionka).

Zaczyny cementowe używane pod koniec lat 80-tych i na początku lat 90-tych XX wieku do cementowania rur okładzinowych na złożu Nosówka (otwory N-1, N-2, N-5 i N-7) zawierały w swoim składzie 50% popiołu (pyłu dymnicowego). Dodatek ten wpływa na poprawę odporności kamienia cementowego na korozję węglanową.

Podczas półrocznego przechowywania próbek kamienia cementowego odtworzonego na podstawie receptury zaczynu z otworu Nosówka-7 nie stwierdzono oznak korozji. Kamień cementowy tak w obecności CO<sub>2</sub> jak i w środowisku porównawczym w miarę upływu czasu zwiększa swoją wytrzymałość. Po 180 dniowej ekspozycji w autoklawach z solanką nasyconą CO<sub>2</sub> wytrzymałość na ściskanie próbek kamienia cementowego z otworu Nosówka-7 jest bardzo wysoka (ok. 30 MPa).

W Instytucie Nafty i Gazu podjęto badania laboratoryjne mające na celu opracowanie receptur zaczynów cementowych o podwyższonej odporności na działanie CO<sub>2</sub>. Na podstawie danych literaturowych opracowano zaczyn cementowy na bazie cementu hutniczego, mikrocementu, zwiększonej ilości mikrosiliki (mączki krzemionkowej) i lateksu. Opracowany zaczyn zastosowano na otworze Pabianice – 1. Kamień cementowy po 90 dniach przechowywania w obecności CO<sub>2</sub> w warunkach otworopodobnych zachował dobre parametry wytrzymałościowe (wytrzymałość na ściskanie wynosiła ok. 22 MPa). Badania po dłuższym okresie czasu (w latach 2011-2012) zweryfikują jego przydatność do uszczelniania otworów sekwestracyjnych.

W kolejnym etapie niniejszej pracy oprócz badań wytrzymałościowych wykonywane będą również badania mikroporowatości kamienia cementowego. Pozwoli to na poznanie zmian zachodzących w strukturze próbek kamieni cementowych podczas długotrwałego oddziaływania dwutlenku węgla.

Szczegółowy obraz mechanizmu korozji węglanowej i zmian zachodzących pod jej wpływem w strukturze kamienia cementowego w konkretnych warunkach złożowych można uzyskać tylko po przeprowadzeniu wieloletnich obserwacji popartych badaniami próbek poddanych działaniu roztworów o składach odpowiadających wodom złożowym w określonych temperaturach i ciśnieniach. Badania wpływu środowiska otworu wiertniczego na parametry kamienia cementowego wykonane w ramach realizacji niniejszego zadania mogą przyczynić się do oceny przydatności różnych rodzajów zaczynów cementowych

do uszczelniania kolumn rur okładzinowych w otworach wykorzystywanych do prac związanych z sekwestracją dwutlenku węgla

## Identyfikacja czynników ryzyka składowania CO<sub>2</sub> w szcerpanym złożu ropy naftowej Nosówka

Zarządzanie ryzykiem geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w szcerpanym złożu ropy naftowej Nosówka zostało oparte o dane: sejsmiczne, geofizyczne, geologiczne, wiertnicze, laboratoryjne i eksploatacyjne. Dodatkowo do określenia ryzyka składowania CO<sub>2</sub> wykorzystano programy do symulacji komputerowych. Oszacowanie ryzyka podziemnego składowania CO<sub>2</sub> jest bardzo ważne, gdyż w przypadku rozszczelnienia struktury może dojść do skażenia środowiska napowierzchniowego jak i podziemnego (zasobów wody pitnej). W celu prawidłowego zdefiniowania ryzyka składowania CO<sub>2</sub> w złożu ropy naftowej Nosówka autorzy opracowania wykorzystali bazę wiedzy Quintessa FEP (Features - cech, Events – wydarzeń i Processes – procesów). Baza zawiera informację na temat około 200 czynników związanych z ryzykiem podziemnego składowania CO<sub>2</sub>. Czynniki FEP zostały wybrane pod kątem bezpieczeństwa długotrwałego składowania dwutlenku węgla w strukturach podziemnych. Baza posiada strukturę hierarchiczną, w której wszystkie czynniki zostały zgrupowane w osiem kategorii, ponumerowanych od 0 do 7. Kolejne grupy czynników ryzyka zawierają:

- 0 - parametry dotyczące podstaw, założeń i zakresu analizy ryzyka,
- 1 - czynniki zewnętrzne, geologiczne, klimatyczne oraz aktywność ludzką,
- 2 - dane związane bezpośrednio z magazynowaniem CO<sub>2</sub> w strukturze podziemnej,
- 3 - parametry związane z chemicznymi własnościami dwutlenku węgla oraz z jego transportem,
- 4 - opis geosfery całego systemu magazynowania, włączając w to geologię, hydrogeologię i geochemię,
- 5 - dane związane z odwiertami, występującymi i planowanymi do odwiercenia na strukturze,
- 6 - parametry dotyczące środowiska „przypowierzchniowego”,
- 7 - opis wpływu składowania CO<sub>2</sub> na ludzi, faunę i florę.

W **Tab. 1.1.17\_72** przedstawiono opis poszczególnych czynników ryzyka zgodny ze schematem zaproponowanym w bazie Quintessa FEP.

**Tab. 1.1.17\_72** Czynniki ryzyka zgodne ze schematem z bazy Quintessa FEP

FEP kategoria	FEP klasa	FEP	Przegląd czynników
0. Podstawy analizy ryzyka	0.1 Cel analizy		Ocena ryzyka podziemnego składowania CO <sub>2</sub> w szcerpanym złożu ropy naftowej Nosówka.
	0.2 Docelowe punkty zainteresowania		Zidentyfikowanie ryzyka nieszczelności struktury, wpływu składowania na zanieczyszczenie warstw podziemnych i napowierzchniowych.

	0.3 Przestrzenny zakres analizy		Warstwy nadkładu (uszczelnienia) oraz obszary napowierzchniowe położone w pobliżu struktury Nosówka. Analiza ryzyka dotyczy terenów rolniczych oraz małych skupisk ludzkich. Struktura usytuowana jest w odległości około 8 km na zachód od Rzeszowa.
	0.4 Zakres czasowy badania		1600 lat
	0.5 Założenia sekwencyjne		Analiza ryzyka jest przeprowadzona dla zakładanego scenariusza magazynowania CO <sub>2</sub> wychwyconego z emisji dużych emitentów. Składowana ilość CO <sub>2</sub> podczas 10 lat zatłaczania będzie wynosić 18,9 milionów ton (1,89 mln ton rocznie). CO <sub>2</sub> będzie zatłaczane do warstwy wizenu.
	0.6 Założenia dot. przyszłej działalności ludzkiej		Zakłada się, że odwierty zatłaczające zostaną zlikwidowane (zgodnie z wymogami obowiązującego prawa) po zakończeniu zatłaczania CO <sub>2</sub> . W związku z tym działalność ludzka zostanie ograniczona do monitorowania struktury.
	0.7 Aspekty prawne		Składowanie CO <sub>2</sub> w złożu Nosówka będzie spełniać wymogi: Prawa geologicznego i górniczego, Ustawy o ochronie środowiska i Prawa budowlanego. Dużą zaletą jest to, że inwestor posiada prawo do własności terenu, gdyż złożę jest eksploatowane. Dodatkowo wydaje się, że nie będzie problemu z akceptacją społeczną dla całego projektu.
	0.8 Modele symulacyjne i dostępność danych		Struktura została odkryta odwiertami Nosówka-1, Nosówka-2, Nosówka-5. Złożę zostało dobrze udokumentowane: rozpoznanie sejsmiczne, zdjęcie 3D Sędziszów-Będziemyśl, geofizyka otworowa, badania laboratoryjne. Przygotowano modele symulacyjne, Duża dostępność danych w znaczącym stopniu ułatwia analizę przydatności szcerpanego złoża Nosówka do składowania CO <sub>2</sub> .
1. Czynniki zewnętrzne	1.1 Parametry geologiczne	1.1.1 Tektonika	Górna powierzchnia wizenu jest silnie zuskokowana. Uskoki przebijają utwory prekambriu, ordowiku i karbonu jednak nie występują w utworach miocenu, które stanowią uszczelnienie dla złoża.
		1.1.2	Nie występuje aktywność wulkaniczna.

		Aktywność wulkaniczna	
		1.1.3 Trzęsienia ziemi	Nie występowały.
		1.1.4 Hydrotermiczna aktywność	Nie występuje aktywność hydrotermiczna.
		1.1.5 Wpływ hydrogeologii na zmiany geolog.	Nie przewiduje się wpływu.
		1.1.6 Wpływ erozji na składowanie CO <sub>2</sub>	Nie przewiduje się wpływu erozji na składowanie.
		1.1.8 Uderzenie meteorytem	Zakłada się, że uderzenie meteorytem o takiej wielkości, która spowodowałaby rozszczelnienie struktury jest mało prawdopodobne.
	1.2 Czynniki klimatyczne	1.2.1 Globalna zmiana klimatu	Globalna zmiana klimatu nie wpłynie na ryzyko składowania CO <sub>2</sub> w podziemnej strukturze.
		1.2.2 Regionalna i lokalna zmiana klimatu	Nie będzie miała wpływu z powodów opisanych w punkcie 1.2.1.
		1.2.3 Zmiana poziomu morza	Nie będzie miała wpływu.
	1.3 Przyszła aktywność ludzka	1.3.1 Wpływ człowieka na klimat	Działalność ludzka prowadzi do emisji CO <sub>2</sub> , a co za tym idzie wpływa na globalne ocieplenie
		1.3.2 Działalność wiertnicza	Wykonywanie głębokich wierceń w obszarze struktury jest mało prawdopodobne z powodu wyczerpanych zasobów naturalnych. Płytkie wiercenia hydrogeologiczne są możliwe, jednakże nie osiągną one głębokości składowania CO <sub>2</sub> , nie przewiercą skał uszczelniających poziom magazynowy.
		1.3.3 Rozwój społeczeństwa	Zmiany społeczne nie wpłyną na bezpieczeństwo składowania CO <sub>2</sub> .
		1.3.4 Rozwój technologiczny	Rozwój technologiczny przyczyni się do lepszego monitoringu oraz do lepszego radzenia sobie z ewentualnymi ucieczkami CO <sub>2</sub> .
		1.3.5 Aktywność ludzka na powierzchni	Występuje możliwość prac budowlanych, które naruszą powierzchnię terenu zlokalizowaną nad strukturą. Prace te nie

			będą miały wpływu na warstwę, w której planuje się składowanie CO <sub>2</sub> .
		1.3.6 Wykorzystanie wody pitnej	Rozszczelnienie struktury może spowodować skażenie wody pitnej. Jednak jest to mało prawdopodobne, gdyż głębokość struktury wynosi około 3500 m, a głębokość studni w większości nie przekracza 100 m.
		1.3.7 Wpływ CO <sub>2</sub> na przyszłe operacje geologiczne	Składowanie CO <sub>2</sub> nie wpłynie na operacje geologiczne, ponieważ złożę Nosówka będzie szcerpane.
		1.3.8 Eksplzje i katastrofy	Ewentualne eksplozje i katastrofy nie będą miały wpływu na głęboko położone warstwy magazynowe.
2. Magazynowanie CO <sub>2</sub>	2.1 Przebieg zatłaczania do zamknięcia projektu	2.1.1 Założenie projektowe	Zatłaczanie zostanie prowadzone otworem Nosówka 2. Założenia zakładają, że: - CO <sub>2</sub> będzie składowane w fazie ciekłej; - zatłoczone CO <sub>2</sub> nie „wyjdzie” poza pułapkę.
		2.1.2 Pojemność składowania, tempo zatłaczania	Wstępnie prognozuje się zatłoczenie 1,89 mln ton CO <sub>2</sub> w okresie 10 lat odwiertem Nosówka 2.
		2.1.3 Skład zatłaczanego CO <sub>2</sub>	Skład zatłaczanego gazu będzie zgodny z normami.
		2.1.4 Harmonogram inwestycji	Na obecnym etapie harmonogram inwestycji nie jest znany.
		2.1.5 Monitoring składowiska	Przewiduje się monitorowanie ciśnień, szczelności odwiertów, składu zatłaczanego gazu. Możliwe jest wykorzystanie geofizyki i sejsmiki.
		2.1.6 Kontrola jakości zatłaczanego gazu	Wykorzystanie chromatografu do monitorowania jakości zatłaczanego CO <sub>2</sub> .
		2.1.7 Nieprzewidywane zdarzenia	Zatłaczanie będzie odbywać się zgodnie z procedurami przewidzianymi w Prawie geologicznym i górniczym, jednakże powinno się przygotować plan działania na wypadek wystąpienia erupcji i nieszczelności odwiertów.
		2.1.8 Ciśnienie składowania	Ciśnienie składowania CO <sub>2</sub> nie przekroczy pierwotnego ciśnienia złożowego. Symulacje wykazały, że ciśnienie składowania w warstwie wizenu nie przewyższy ciśnienia hydrostatycznego.



			Wymagane jest określenie ciśnień progowych CO <sub>2</sub> dla skał nadkładu
	2.2 Operacje po zakończeniu zatłaczania	2.2.1 Monitorowanie struktury	Monitorowanie geochemiczne.
		2.2.1 Awaryjne szczypanie zatłoczonego CO <sub>2</sub>	Istnieje możliwość awaryjnego szczypania zatłoczonego CO <sub>2</sub> poprzez eksploatację odwiertów Nosówka 2 i Nosówka 5.
3. Własności i oddziaływanie CO <sub>2</sub>	3.1 Własności CO <sub>2</sub>	3.1.1 Fizyczne własności CO <sub>2</sub>	Zakłada się składowanie CO <sub>2</sub> w fazie super krytycznej o dużej gęstości.
		3.1.2 Zachowanie się faz CO <sub>2</sub>	Ze względu na dużą głębokość, wysoką temperaturę i ciśnienie CO <sub>2</sub> będzie występować w fazie super krytycznej charakteryzującej się dużą gęstością.
		3.1.3 Rozpuszczalność CO <sub>2</sub>	Określono wg. danych laboratoryjnych oraz symulacji
	3.2 Wpływ CO <sub>2</sub> na strukturę	3.2.1 Wpływ ciśnienia składowania na skały uszczelniające nadkładu	Należy ukończyć badania ciśnień progowych CO <sub>2</sub> w aparaturze zakupionej ze środków Konsorcjum
		3.2.2. Wpływ ciśnienia składowania na płyny złożowe	Ciśnienie składowania CO <sub>2</sub> w złożu Nosówka będzie stosunkowo wysokie, w związku z czym dwutlenek węgla będzie występował w stanie super krytycznym.
		3.2.3 Reakcje z węglowodorami	W związku z tym, że CO <sub>2</sub> występuje w płynach złożowych, to reakcje z węglowodorami są pomijalne.
		3.2.4 Wypieranie solanki ze struktury	Bazując na rezultatach symulacji można stwierdzić, że wypierana woda złożowa nie osiągnie powierzchni ziemi.
		3.2.5 Wywołanie ruchów sejsmicznych	Nie stanowi realnego zagrożenia.
		3.2.6 Podniesienie lub opadnięcie terenu	Ze względu na małe ilości zatłaczanego CO <sub>2</sub> nie stanowi realnego zagrożenia.
		3.2.7 Wpływ temperatury na strefę złożową	Podwyższona temperatura zatłaczanego CO <sub>2</sub> może wpłynąć na rozpuszczanie się skał w strefie przyodwiertowej prowadząc do zwiększenia porowatości w strefie

			przyodwiertowej.
		3.2.8 Reakcje CO <sub>2</sub> z barierami chemicznymi	Ponieważ CO <sub>2</sub> występuje w płynach żółowych nie przewiduje się jego reaktywności
		3.2.9 Zanieczyszczenie metalami ciężkimi	Istnieje ryzyko zanieczyszczenia metalami ciężkimi warstwy przeznaczonej do składowania CO <sub>2</sub> .
		3.2.10 Rozpuszczanie minerałów	Istnieje możliwość rozpuszczenia minerałów, jednakże wg literatury jest to problem marginalny.
		3.2.11 Wymiana jonów	Dyfuzja molekularna przez skały uszczelniające nadkład jest możliwa jej efekt nie był badany w bieżącym opracowaniu.
		3.2.12 Skład chemiczny zatłaczanego gazu	Dokładny skład chemiczny zatłaczanego gazu obecnie nie jest znany.
		3.2.13 Tworzenie się hydratów gazowych	Możliwość zastosowania inhibitorów hydratów
		3.2.14 Procesy mikrobiologiczne	Nie analizowano
4. Geosfera	4.1 Geologia	4.1.1 Lokalizacja	Struktura Nosówka położona jest 8 km na zachód od Rzeszowa
		4.1.2 Zasoby naturalne	Nie występują w najbliższym otoczeniu struktury.
		4.1.3 Typ skały zbiornikowej	Wapienie wizeny o miąższości od 106 m do 240 m.
		4.1.4 Geometria zbiornika	Zbiornik o kształcie kwadratu odciętego czterema uskokami z każdej strony
		4.1.5 Aktualna eksploatacja skał zbiornikowych	Obecnie prowadzone jest wydobycie ropy naftowej ze skał zbiornikowych
		4.1.6 Formacje uszczelniające od góry	Utwory ilaste, ilasto-margliste z rzadkimi wkładkami piaskowców i margli dolomitycznych formacji mioceńskich o miąższ. od 48 do 85 m.
		4.1.7 Dodatkowe uszczelnienie	Dodatkowe uszczelnienie stanowią utwory nasunięcia karpacko-stebnickiego składającego się z łupków ilastych, anhydrytów i soli z wkładkami piaskowców o miąższości około 2800 m.

		4.1.8 Litologia	Poziom magazynowy składa się z zbitych i spękanych wapieni wizenu.
		4.1.8.1 Diageneza	Zbite wapienie skaliste.
		4.1.8.2 Struktura porowatości	Wapienie charakteryzują się słabą porowatością wynoszącą od 2,87 % do 3,4 %.
		4.1.9 Niejednorodność	Zbiornik magazynowy jest w miarę jednorodnie wykształcony na całym obszarze struktury.
		4.1.10 Uskoki, szczeliny	Struktura złożowa ograniczona jest 4 uskoki zlokalizowanymi z każdej strony struktury. Uskoki występują tylko w karbonie. Uskoki nie stanowią zagrożenia dla magazynowania CO <sub>2</sub> w warstwach wizenu, gdyż nie stwierdzono ich występowania w nadkładzie miocenu.
		4.1.11 Nieudokumentowane zagrożenia	Aktualnie nie można przewidzieć nieudokumentowanych zagrożeń.
		4.1.12 Pionowy gradient geotermiczny	Temperatura warstw wizenu jest zgodna z gradientem geotermicznym
		4.1.13 Ciśnienie występujące w skałach zbiornikowych	Ciśnienie w warstwach zbiornikowych jest zgodne z ciśnieniem hydrostatycznym.
		4.1.14 Mechaniczne własności skał zbiornikowych	W obecnej analizie nie były badane mechaniczne własności skał zbiornikowych.
		4.1.14 Własności petrofizyczne	Dane rdzeniowe nie pozwalają na precyzyjne określenie parametrów petrofizycznych.
	4.2 Płyny złożowe	4.2.1 Własności płynów złożowych	W warstwach wizenu występuje solanka o mineralizacji 83-119 g/l.
		4.2.2 Hydrogeologia	Niewielka ilość badań hydrogeologicznych nie pozwala na precyzyjne określenie parametrów.
		4.2.3 Węglowodory	Występuje ropa naftowa
5. Odwierty	5.1 Wiercenie i konstrukcja	5.1.1 Likwidacja odwiertów zatłaczających	Odwierty zatłaczające zostaną zlikwidowane zgodnie z obowiązującymi procedurami.
		5.1.2	Konstrukcja i wyposażenie odwiertów

		Konstrukcja i wyposażenie odwiertów	zatłaczających będzie zgodna z wymogami prawa. Odwierty zostaną wyposażone w zawory wgłębne.
		5.1.3 Rekonstrukcje odwiertów	Nie planuje się.
		5.1.4 Odwierty obserwacyjne	Nie planuje się wykonania dodatkowych odwiertów obserwacyjnych. Do tych celów zostaną wykorzystane odwierty istniejące
	5.2 Szczelność i likwidacja odwiertów	5.2.1 Likwidacja odwiertów	Odwierty zostaną zlikwidowane poprzez zapięcie korka mechanicznego i wykonanie korka cementowego.
		5.2.2 Rozszczelnienie odwiertu	Występuje ryzyko rozszczelnienia odwiertu w wyniku słabego stanu zacementowania rur okładzinowych. W takiej sytuacji może dojść do powolnej ucieczki CO <sub>2</sub> . Trwające badania wyjaśnią odporność zastosowanych cementów na korozję CO <sub>2</sub>
		5.2.2 Erupcje	Wystąpienie erupcji jest mało prawdopodobne.
		5.2.3 Ruchy górotworu	Prawdopodobieństwo wystąpienia ruchów górotworu, które spowodowałyby zniszczenie szczelności odwiertów jest marginalne.
6. Środowisko podziemne i naziemne	6.1 Środowisko naziemne	6.1.1 Topografia i morfologia	Ewentualne zmiany topograficzne i morfologiczne nie będą miały wpływu na głęboko zmagazynowane CO <sub>2</sub> .
		6.1.2 Ziemia i osady	Ziemia może zostać zanieczyszczona w wyniku ewentualnego rozszczelnienia się magazynu.
		6.1.3 Erozja ziemi	Erozja nie będzie miała wpływu na podziemne składowanie CO <sub>2</sub> .
		6.1.4 Atmosfera i meteorologia	Zmiany meteorologiczne nie będą miały wpływu na poziomy magazynowe.
		6.1.5 Hydrogeologia	Zmiany hydrogeologiczne nie będą miały wpływu na poziomy zbiornikowe.
		6.1.6 Przypowierzchniowe warstwy wodonośne	Nie przewiduje się ucieczek CO <sub>2</sub> , jednakże jeśli wystąpiłyby to ryzyko zanieczyszczenia tych wód jest mało prawdopodobne, ze względu na dużą głębokość składowania.
		6.1.7	Środowisko flory i fauny może zostać

		Przypowierzchniowa flora i fauna	zagrożone tylko w wyniku erupcji. Małe ucieczki CO <sub>2</sub> nie stanowią realnego zagrożenia.
	6.2 Zachowanie się ludzi	6.2.1 Charaktery ludzi	Składowanie nie wpłynie na zachowanie się ludzi
		6.2.1 Dieta, odżywianie	Nie ma wpływu.
		6.2.2 Styl życia	Aktualna eksploatacja złoża ropy Nosówka daje nadzieję na uzyskanie przychylności społeczeństwa lokalnego dla projektu zatłaczania CO <sub>2</sub>
		6.2.3 Korzystanie z gruntów i wody	Nie ma większego znaczenia, gdyż teren ochronny wokół odwiertów jest niewielki.
		6.2.4 Budynki	Budynki związane z infrastrukturą potrzebną do składowania CO <sub>2</sub> będą wykonane zgodnie z prawem budowlanym.
7. Wpływ inwestycji	7.1 Własności systemu składowania	7.1.1 Utrata szczelności	Magazyn zostanie zaprojektowany z założeniem pełnej szczelności całego systemu składowania. Założenie to jest poprawne gdyż złożo było szczelne pierwotnie i nie projektuje się przekraczania pierwotnego ciśnienia złożowego.
	7.2 Wpływ na środowisko fizyczne	7.2.1 Zanieczyszczenie wód gruntowych	Mało prawdopodobne, jednakże istnieje potencjalne ryzyko w przypadku nieszczelności całego systemu składowania CO <sub>2</sub> (odwierty + poziom magazynowy).
		7.2.2 Wpływ na grunty	Nie analizowano.
		7.2.3 Uwolnienie do atmosfery	Możliwe w przypadku rozszczelnienia struktury. W takim przypadku konieczny będzie zakup certyfikatów emisyjnych.
		7.2.4 Wpływ na hydrogeologię	Wpływ zatłaczania CO <sub>2</sub> na parametry hydrogeologiczne jest mało prawdopodobny.
		7.2.5 Wpływ na chemizm	Zatłaczanie CO <sub>2</sub> w ograniczonym stopniu wpłynie na chemizm solanki i skały zbiornikowej.
		7.2.6 Wpływ na topografię	Ze względu na niewielkie ilości zatłaczanego CO <sub>2</sub> wpływ na topografię terenu będzie marginalny.
	7.3 Wpływ na florę	7.3.1 Efekt „uduszenia”	Uduszenie zwierząt i ludzi z powodu nadmiernej koncentracji CO <sub>2</sub> w powietrzu

	i faunę		jest mało prawdopodobne.
		7.3.2 Wpływ CO <sub>2</sub> na rośliny	Długotrwała ucieczka CO <sub>2</sub> ze składowiska może spowodować koncentrację dwutlenku węgla w warstwach powierzchniowych co może wpłynąć na wegetację roślin.
	7.4 Wpływ na ludzi	7.4.1 Wpływ CO <sub>2</sub> na zdrowie ludzi	Ewentualna ucieczka nie będzie miała wpływu na zdrowie ludzi, gdyż koncentracja CO <sub>2</sub> w powietrzu szybko spadnie. Jedynie erupcja może mieć ograniczony wpływ na zdrowie ludzi, którzy będą znajdować się w strefie zagrożenia. Zakłada się, że wpływ będzie krótkotrwały, ponieważ erupcja zostanie szybko zlikwidowana lub ludzie ewakuowani.
		7.4.2 Toksyczność związków zatłaczanych	Zakłada się, że zatłaczany gaz będzie czysty.
		7.4.3 Wpływ na środowisko ekologiczne	Długotrwała ucieczka CO <sub>2</sub> z horyzontu magazynowego może mieć wpływ na zmianę środowiska naturalnego.

Przedstawiony opis czynników ryzyka składowania CO<sub>2</sub> w szcerpanym złożu ropy naftowej Nosówka pozwala na wyselekcjonowanie parametrów, które na tle obecnie posiadanej wiedzy mogą mieć negatywny wpływ na podjęcie decyzji związanej z uruchomieniem inwestycji składowania. Do czynników, które mogą stworzyć największe ryzyko należy zaliczyć szczelność struktury. Należy dokończyć badania ciśnień progowych dla CO<sub>2</sub> w skałach nadkładu na aparaturze w AGH.

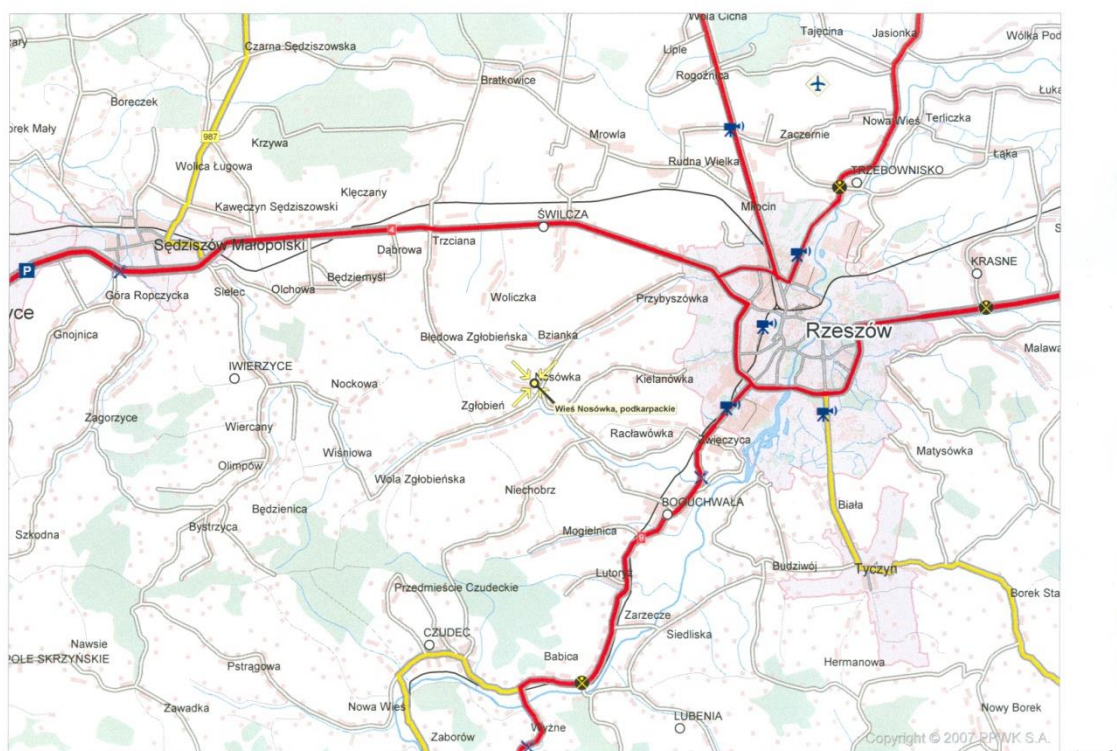
Należy podkreślić, że przeprowadzona analiza ryzyka wstępnie potwierdza przydatność złoża ropy naftowej Nosówka do składowania CO<sub>2</sub> w warstwie wizenu.

## Wpływ ewentualnej ucieczki CO<sub>2</sub> na ludzi

Analiza ryzyka składowania CO<sub>2</sub> w szcerpanym złożu ropy naftowej Nosówka obejmuje również ocenę wpływu nagazynowanego gazu na ludzi. Ocena wpływu CO<sub>2</sub> na ludzi powinna być przeprowadzona dwukierunkowo. Pierwszym kierunkiem będzie analiza bezpośredniego wpływu dwutlenku węgla na ludzi w przypadku wystąpienia ucieczki CO<sub>2</sub> ze składowiska. Drugim kierunkiem analizy jest określenie pośredniego wpływu na ludzi w wyniku zanieczyszczenia środowiska, jakie może wystąpić w przypadku rozszczelnienia się struktury magazynowej. Należy podkreślić, że pomimo tego, że dwutlenek węgla jest gazem nietoksycznym, to może być groźny dla życia ludzkiego, w przypadku wysokiej koncentracji gazu w powietrzu wdychanym przez ludzi. Koncentracja CO<sub>2</sub> w powietrzu wynosząca powyżej 10% powoduje utratę przytomności, zmienia pH krwi oraz powoduje wiotczenie mięśni odpowiedzialnych za oddychanie, co w konsekwencji może prowadzić do uduszenia (Benson i zespół 2002). Tak duża koncentracja może wystąpić tylko w przypadku erupcji odwiertu. Biorąc pod uwagę obecną technologię stosowaną w eksploatacji złóż gazu ziemnego i ropy naftowej należy stwierdzić, że wystąpienie erupcji odwiertu jest mało prawdopodobne. Aktualnie w procesach podziemnego magazynowania gazu ziemnego powszechnie stosuje się zawory wgłębne, które automatycznie zamykają się w przypadku wystąpienia nagłej różnicy ciśnień, spowodowanej niekontrolowanym wypływem gazu z odwiertu.

Znacznie trudniej jest opanować powolny wypływ CO<sub>2</sub>, który może wystąpić w przypadku rozszczelnienia się płaszczu cementowego uszczelniającego rury okładzinowe oraz rozszczelnienia się skał nadkładu. Pomimo tego, że wypływ gazu ze składowiska będzie powolny, to jednak przejściowo może wystąpić zagrożenie dla ludzi.

Jak już wcześniej stwierdzono, ryzyko poważnego zagrożenia ludzi spowodowanego rozszczelnieniem się magazynu jest niewielkie, ponieważ projektowane górne ciśnienie składowania CO<sub>2</sub> nie przekracza pierwotnego ciśnienia złożowego. Dodatkową zaletą złoża Nosówka jest to, że jest ono zlokalizowane w słabo zaludnionym terenie. Poniżej przedstawiony (**Fig. 1.1.17\_247**) prezentuje lokalizację struktury Nosówka na tle występujących skupisk ludzkich. Analizując położenie struktury należy stwierdzić, że ewentualna erupcja lub nieszczelność nie stwarza bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia ludzi.



**Fig. 1.1.17\_247** Lokalizacja struktury Nosówka na tle występujących skupisk ludzkich

Należy pamiętać również o tym, że każda inwestycja, aby mogła zostać przeprowadzona musi uzyskać akceptację społeczną. Złoże ropy naftowej Nosówka prowadzi aktualnie eksploatację, w związku z tym nie powinny wystąpić problemy ze społeczną akceptacją wykorzystania struktury do składowania w niej CO<sub>2</sub>. Dodatkową zaletą jest to, że inwestor nie musi występować o zgodę na wiercenie nowych otworów, gdyż planuje się wykorzystać aktualnie występujące na złożu.



## Wpływ ewentualnej ucieczki CO<sub>2</sub> na zwierzęta i rośliny

Lokalizację złoża Nosówka została przedstawiona na **Fig. 1.1.17\_247**. W celu określenia wpływu ewentualnej ucieczki CO<sub>2</sub> na zwierzęta przeanalizowano występowanie na terenie struktury obszarów chronionych, stref Natura 2000. **Fig. 1.1.17\_248** prezentuje aktualną mapę obszarów Natura 2000 uzyskaną z portalu <http://natura2000.mos.gov.pl/>. Analizując mapę można stwierdzić, że aktualnie na terenie struktury nie występują strefy Natura 2000. Najbliższy obszar chroniony, obszar specjalnej ochrony ptaków OSO występuje w odległości około 6 km na wschód od struktury. W związku z przedstawioną mapą można stwierdzić, że projektowana inwestycja nie naruszy obszarów aktualnie chronionych.



**Fig. 1.1.17\_248** Lokalizacja struktury Nosówka na tle mapy obszarów Natura 2000

Należy podkreślić, że ewentualna erupcja lub ucieczka dwutlenku węgla może mieć negatywny wpływ na zwierzęta, gdyż duża koncentracja CO<sub>2</sub> w powietrzu może doprowadzić do uduszenia się zwierząt.

Wpływ małych ilości CO<sub>2</sub> na rośliny jest pozytywny, ponieważ dwutlenek węgla bierze udział w fotosyntezie. Doświadczenia prowadzone w ramach projektu „Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment Project (FACE) finansowanego przez USDA ([www.uswcl.ars.ag.gov](http://www.uswcl.ars.ag.gov)) wykazały, że niewielkie stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze pozytywnie wpływają na plony zbóż. Niestety rośliny potrzebują tlenu do wzrostu systemu korzeniowego. Duże koncentracje CO<sub>2</sub> w glebie powodują obumieranie korzeni, a co za tym idzie całych roślin. W rejonach, w których CO<sub>2</sub> w naturalny sposób wydostaje się z warstw podziemnych w efekcie aktywności wulkanicznej można zauważyć obumieranie roślin.

## Podsumowanie i wnioski

1. Analizie ryzyka składowania CO<sub>2</sub> poddano strukturę złożową ropy naftowej Nosówka k/Rzeszowa. W pierwszym etapie oceniono ryzyko nieszczelności pułapki złożowej pod względem strukturalnym, tektoniki uskokowo-płaszczywinowej, hydrogeologicznym, skał uszczelniających a szczególnie ich ciągłości i szczelności. Powstanie złoża wskazuje, że uszczelnienie serii zbiornikowej wapieni wżenu przez utwory miocenu było bardzo dobre i szczelne. Dodatkowym uszczelnieniem tej pułapki są zalegające powyżej utwory stebnicko-karpackie wykształcone zasadniczo jako utwory ilasto-piaszczyste.
2. Z danych literaturowych wynika, że kapilarne ciśnienie przebiccia danej skały nadkładu jest niższe w sytuacji, gdy zatłaczany CO<sub>2</sub> znajduje się w warstwach spągowych struktury wypełnianej wcześniej przez węglowodory. Próba odtworzenia przez zatłaczany CO<sub>2</sub> pierwotnego ciśnienia złożowego w szcerpanej pułapce może okazać się więc ryzykowna (Neygaard, WASP). Z wymienionych powodów należy dokończyć badania wartości ciśnień progowych dla skał nadkładu ze złoża Nosówka w aparaturze znajdującej się na AGH.
3. Wykonane symulacje procesu migracji CO<sub>2</sub> do skał nadkładu w złożu Nosówka przy założeniu poprawnego określenia wartości ciśnienia progowego wykazują ograniczony zasięg migracji nawet w najbardziej pesymistycznym z rozpatrywanych wariantów, dla którego wynosi on ok. 52 m powyżej stropu złoża na przestrzeni 1600 lat. Przyjmując wielkość wypływu ok. 180 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/1600 lat oraz ilość CO<sub>2</sub> zmagazynowanego w złożu wynoszącą ok. 3300 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, wszystkie CO<sub>2</sub> wyemigruje ze złoża po ok. 30 000 lat osiągając ok. 580 m powyżej stropu złoża, czyli ponad 2000 m poniżej powierzchni terenu.
4. Drogi przeciekania CO<sub>2</sub> zgromadzonego w strukturze geologicznej mogą natomiast występować wzdłuż istniejących odwiertów, które penetrują strukturę, bądź znajdują się w bezpośrednim jej sąsiedztwie. Dyfuzja CO<sub>2</sub> w płaszczu cementowym lub stalowej ścianie rur jest procesem, który przebiega bardzo wolno szybkością ok. 0.2 m/100 lat (Damen et al., 2006). Nie jest natomiast wiadomym jak wyglądać będzie integralność odwiertów (zarówno płaszczu cementowego jak i rur na przestrzeni setek i tysięcy lat w środowisku solanki i CO<sub>2</sub>). Prawdopodobna jest w tym wypadku degradacja cementu co może znacznie zwiększyć ilości wyciekającego CO<sub>2</sub>. W dłuższej skali czasu odwierty mogą stanowić zatem znaczne ryzyko.
5. W celu wyjaśnienia problematyki korozji cementów w środowisku kwaśnym podjęto odpowiednie badania na aparaturze wypracowanej w ramach środków prezentowanego zlecenia. Zaczyny cementowe używane pod koniec lat 80-tych i na początku lat 90-tych XX wieku do cementowania rur okładzinowych na złożu Nosówka (otwory N-1, N-2, N-5 i N-7) zawierały w swoim składzie 50% popiołu (pyłu dymnicowego). Dodatek ten wpływa na poprawę odporności kamienia cementowego na korozję węglanową.
6. Podczas półrocznego przechowywania próbek kamienia cementowego odtworzonego na podstawie receptury zaczynu z otworu Nosówka-7 nie stwierdzono oznak korozji. Kamień cementowy tak w obecności CO<sub>2</sub> jak i w środowisku porównawczym w miarę upływu czasu zwiększa swoją wytrzymałość. Po 180 dniowej ekspozycji w autoklawach z solanką nasyconą CO<sub>2</sub> wytrzymałość na ściskanie próbek

kamienia cementowego z otworu Nosówka-7 jest bardzo wysoka (ok. 30 MPa). Dalsze badania będą kontynuowane na przechowywanych próbkach do końca trwania prac w prezentowanym programie tzn. do 2012 r.

7. W Instytucie Nafty i Gazu podjęto badania laboratoryjne mające na celu opracowanie receptur zaczynów cementowych o podwyższonej odporności na działanie CO<sub>2</sub>. Na podstawie danych literaturowych opracowano zaczyn cementowy na bazie cementu hutniczego, mikrocementu, zwiększonej ilości mikrosiliki (mączki krzemionkowej) i lateksu. Opracowany zaczyn zastosowano na otworze Pabianice – 1. Badania po dłuższym okresie czasu (w latach 2011-2012) zweryfikują jego przydatność do uszczelniania otworów sekwestracyjnych.
8. Prawdopodobieństwo nagłej ucieczki całej ilości zgromadzonego w strukturze geologicznej CO<sub>2</sub> jest bardzo małe ze względu na ograniczoną przepustowość systemu zatłaczania. W większości przypadków uszkodzenie odwiertu będzie wiązać się z uwolnieniem niewielkich ilości CO<sub>2</sub> zgromadzonego w rurkach wydobywczych. W sytuacji normalnej wyciek ten zostanie wykryty przez system monitorowania, co spowoduje zamknięcie podpowierzchniowego zaworu zwrotnego oraz zaworu bezpieczeństwa zamykającego wypływ CO<sub>2</sub> na głowicy odwiertu.
9. Przeprowadzona analiza ryzyka opracowana w oparciu o bazę wiedzy Quintessa FEP wykazała, że największe ryzyko składowania CO<sub>2</sub> w strukturze Nosówka związane jest z wystąpieniem erupcji w odwiercie zatłaczającym. Uszkodzenie podpowierzchniowego zaworu zwrotnego lub pakera prowadzi zwykle do niekontrolowanej erupcji z odwiertu, co wiąże się z gwałtownym wypływem CO<sub>2</sub> lecz również solanki, ropy i gazu oraz ich mieszaniny. Ryzyko erupcji w oparciu o doświadczenia z eksploatacji dotyczące zarówno odwiertów ropnych jak i gazowych określają tę wielkość na poziomie  $3 \times 10^{-4}$  /odwiert/rok (Damen et al., 2006).

## Obiekt w pokładach węgla

(Adam Wójcicki, Janusz Jureczka)

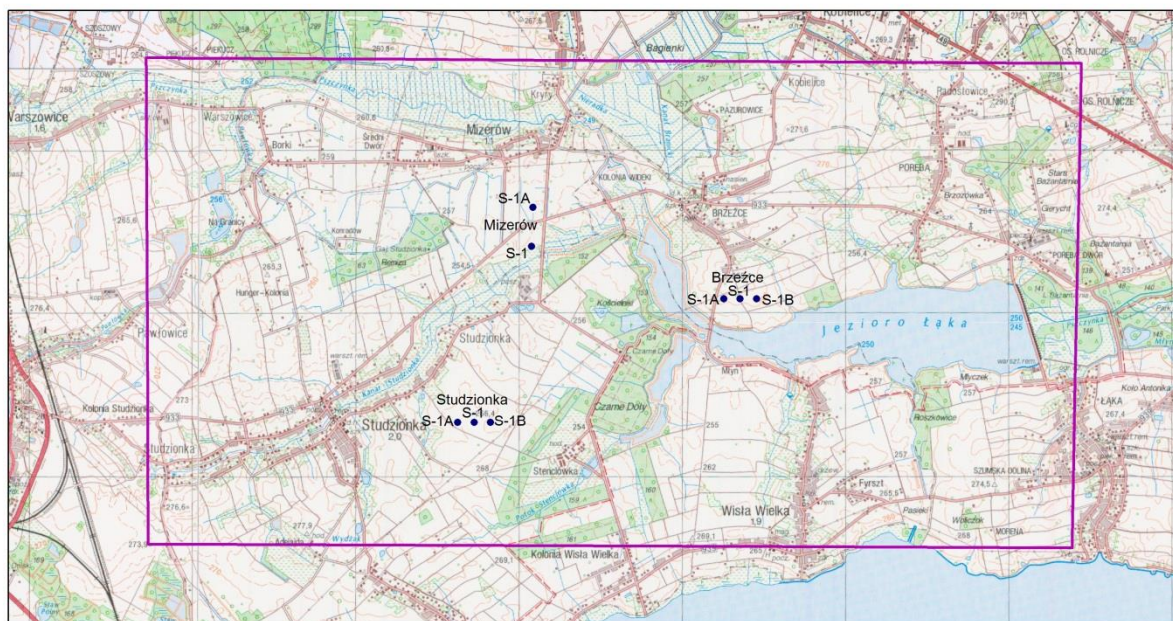
Ryzyko geologicznego składowania zdefiniowane jest (Chadwick et al., 2008) jako iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia i skutków zagrożenia. Z ryzykiem geologicznym, dotyczącym szczelności i integralności kompleksu składowania, związane są zagadnienia wpływu wycieków dwutlenku węgla (do słodkich wód podziemnych i atmosfery; to ostatnie ma aspekt lokalny i globalny, związany z emisją CO<sub>2</sub> do atmosfery) oraz solanki (do wód podziemnych) na środowisko oraz zdrowie i bezpieczeństwo ludzi. Poza tym mamy jeszcze ryzyko ekonomiczne, związane z opłacalnością inwestycji oraz ryzyko akceptacji społecznej dla inwestycji i szereg innych.

Prace zostały wykonane przez następujących partnerów konsorcjum: **GIG** oraz **PIG-PIB**.

GIG wykonał, we współpracy z PIG-PIB, przeglądowe analizy i oceny ryzyka w oparciu o dotychczasowe wyniki badań prowadzonych w ramach zadań **1.1.15** i **1.1.16** dla obiektu w pokładach węgla, dla lokalizacji Pawłowice-Mizerów. Jako podstawę do analiz przyjęto metodologię z podręcznika najlepszych praktyk projektów CO<sub>2</sub>STORE, SACS i SACS2 (Chadwick et al., 2008), w szczególności analizę FEP (Feature-Events-Procedures).

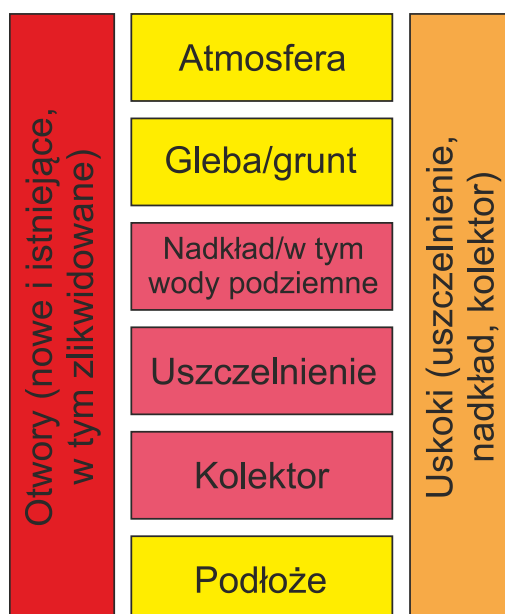
Na **Rys. 8** przedstawiono rozkład skupisk ludzkich w rejonie Pawłowice-Mizerów i otworów (symulacyjnych) do zatłaczania oraz istniejących otworów nawiercających karbon. Lokalizacja otworów symulacyjnych (modelowanie procesów zatłaczania) została wybrana orientacyjnie, na podstawie znanej geometrii i parametrów pokładów węgla w rozpatrywanym rejonie i lokalizacji skupisk ludzkich. Ostateczna lokalizacja może być wybrana przez inwestora dopiero w wyniku uzgodnień z władzami lokalnymi i właścicielami gruntów.

Podstawowe zagadnienia planu ryzyka obejmującego powyższy zakres prac dla obiektu w pokładach węgla przedstawiono na **Rys. 9**, 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 obecność starych, zlikwidowanych otworów wiertniczych, szczelność tychże a także nowych otworów. Nie tak istotna jak w przypadku poziomów solankowych jest jakość uszczelnienia, co wynika z mechanizmu zastępowania molekuł metanu molekułami CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> nie występuje w fazie wolnej). Mimo wszystko jednak optymalny przypadek obejmuje brak uskoków przecinających jednocześnie pokłady węgla i nadkład. Niewiele mniej ważna jest jakość kolektora i ochrona słodkich wód podziemnych - ostatnie wiąże się z zagrożeniami odnośnie szczelności starych i nowych otworów wiertniczych oraz występowaniem uskoków przecinających jednocześnie pokłady węgla i nadkład a także wód złożowych w obrębie kompleksu składowania (konieczne odwadnianie).



- Objaśnienia
- projektowany otwór

**Rys. 8** Lokalizacja otworów zatłaczających dla wytypowanego obiektu w pokładach węgla Pawłowice-Mizerów (J. Jureczka)



**Rys. 9** Podstawowe zagadnienia planu ryzyka dla obiektu w pokładach węgla

W ramach zadania **1.1.16** prowadzono symulacje zatłaczania dla dwóch przypadków:

- projektu pilotażowego zatłaczania CO<sub>2</sub> do pokładów węgla ze wspomaganie wydobywania metanu, dla lokalizacji Brzeźce i Studzionka (**Rys. 8**), o skali zatłaczania otworami pionowymi rzędu kilkuset ton CO<sub>2</sub>, realizowanego w horyzoncie czasowym rzędu około roku (czyli jak projekt RECOPOL)
- projektu przemysłowego zatłaczania CO<sub>2</sub> do pokładów węgla ze wspomaganie wydobywania metanu, dla lokalizacji Mizerów (**Rys. 8**), o skali zatłaczania otworami poziomymi do maksymalnie około 200 tys. ton CO<sub>2</sub>, realizowanego w horyzoncie czasowym rzędu około roku (okres zatłaczania CO<sub>2</sub>, produkcja metanu przez okres kilku lat).

W pierwszym przypadku, co potwierdza projekt RECOPOL, zagrożenia dla wód podziemnych i powierzchni terenu są bez znaczenia z uwagi na minimalne ilości zatłoczonego CO<sub>2</sub>.

Dla projektu przemysłowego zaproponowano plan zarządzania ryzykiem geologicznego składowania CO<sub>2</sub> na podstawie schematu - rejestru ryzyk przyjętego w programie NER300 (**zał. 2**).



## Zał. nr 2 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (pokłady węgla Mizerów)

<b>Kategorie Ryzyka</b> Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka	
	Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala
	Niska	Niskie
	Średnia	Średnie
Wysoka	Wysokie	

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>5</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>6</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>7</sup>
1	Wybór Składowiska	Możliwe konflikty interesów (wydobycie węgla)	Brak uzgodnienia na użytkowanie składowiska	Sponsor Projektu	100	Komercyjne-Kontrakt	Średnia	Średnie	Wysoka	Wykorzystanie głębokich pokładów węgla nieprzewidzianych do eksploatacji metodą tradycyjną, np. z uwagi na głębokość występowania pokładów i/lub zagrożenie metanowe
2	Szczegółowe Rozpoznanie Składowiska	Własności zbiornikowe składowiska gorsze niż oczekiwano (negatywny wpływ zuskokowania, składu mineralnego, etc.)	Wyższe koszty budowy i eksploatacji składowiska	Wykonawca prac na szczegółowe rozpoznanie składowiska	100	Techniczne (geologia, inżynieria złożowa)	Niska	Średnie	Niska	Wykorzystanie wyników z otworów badawczych na potrzeby zaprojektowania odpowiednio większej ilości otworów iniekcyjnych celem osiągnięcia odpowiedniej wydajności zatłaczania i założonej pojemności składowania.
3	Koncesja na Składowanie	Niedostateczne dowody na bezpieczeństwo składowania	Koncesja nieprzyznana lub odroczone – niedotrzymanie harmonogramu projektu	Wykonawca prac na szczegółowe rozpoznanie składowiska	100	Techniczne (geologia, inżynieria złożowa), Środowisko	Średnia	Średnie	Wysoka	Konstrukcja szczegółowego modelu kompleksu składowania z wykorzystaniem wszelkich dostępnych informacji geologicznych (nowe dane z rozpoznania szczegółowego,

<sup>5</sup> Tam gdzie ryzykiem dotknięta jest więcej niż jedna strona, oszacować proporcje wpływu na każdą ze stron.

<sup>6</sup> Wartość ryzyka powinna, o ile to możliwe, być identyfiko

<sup>7</sup> Działania ograniczania ryzyka powinny odnosić się do określonych aktywności lub grup aktywności w ramach Programu Projektu tak aby można było udokumentować że działania ograniczające zostały podjęte. Należy podać odniesienia do zadań Projektu.



## Zał. nr 2 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (pokłady węgla Mizerów)

Kategorie Ryzyka Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka	
	Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala
	Niska	Niskie
Średnia	Średnie	
Wysoka	Wysokie	

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>5</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>6</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>7</sup>
										dane archiwalne, rdzenie wiertnicze, karotaż.
4	Szczegółowe Rozpoznanie Składowiska & Koncesja na Składowanie	Brak wsparcia politycznego (rząd, władze lokalne)	Zablokowanie projektu składowania	Sponsor Projektu	100	Polityczno/Społeczne	Średnia	Średnie	Wysoka	Wsparcie dla krajowego programu akceptacji społecznej dla CCS, lobbying projektu CCS w kręgach rządowych i władzach lokalnych, w tym przedstawienie wyników projektu RECOPOL.
5	Szczegółowe Rozpoznanie Składowiska & Koncesja na Składowanie	Brak akceptacji społecznej (władze lokalne, mieszkańcy odnośnych gmin, organizacje pozarządowe)	Zablokowanie projektu składowania	Sponsor Projektu	100	Polityczno/Społeczne	Średnia	Średnie	Wysoka	Przygotowanie i uruchomienie kampanii informacyjnej i akceptacji społecznej dla projektu CCS w odnośnej gminie, powiecie i województwie (we współpracy z organizacjami pozarządowymi, agendami rządowymi).
6	Budowa Składowiska	Wypadki na miejscu, awarie w (nowych) otworach	Konsekwencje dla bezpieczeństwa, zdrowia i środowiska, koszty nadzwyczajne	Wykonawca prac na szczegółowe rozpoznanie składowiska  Sponsor Projektu	80	Techniczne (wiertnictwo)	Średnia	Średnie	Średnia	Wybór doświadczonego wykonawcy na budowę składowiska.  Opracowanie planu postępowania w przypadkach awaryjnych

## Załącznik nr 2 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (pokłady węgla Mizerów)

<b>Kategorie Ryzyka</b> Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka	
	Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala
	Niska	Niskie
Średnia	Średnie	
Wysoka	Wysokie	

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>5</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>6</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>7</sup>
					20					(plan alarmowy).
7	Funkcjonowanie Składowiska i Likwidacja	Podniesienie/osiadanie powierzchni wskutek zatłaczania CO2	Ograniczone szkody infrastruktury na powierzchni w miejscu(ach) zatłaczania	Operator Składowiska		Techniczne (geomechanika)	Niska	Średnie	Niska	Monitoring i prognozowanie podniesienia (osiadania).
8	Funkcjonowanie Składowiska i Likwidacja	Wycieki CO2 lub wód złożowych do wód podziemnych naturalnymi drogami ucieczki	Ograniczenie wykorzystania lokalnych (pitnych) wód podziemnych, opóźnienia projektu wskutek potrzebnych działań zapobiegawczych i związane z tym nadzwyczajne koszty, w najgorszym przypadku utrata koncesji	Operator Składowiska	100	Środowisko, Społeczne	Niska	Wysokie	Niska	Stwierdzenie braku uskoków przecinających kompleks składowania z nadkładem - brak możliwości wszelkich wycieków do utworów przypowierzchniowych jest przedmiotem Planu Zagospodarowania Składowiska (badania przewidziane w fazie budowy składowiska) i Raportu Oddziaływania na Środowisko składanego i zatwierdzanego jako część dokumentacji do wniosku koncesyjnego na składowanie. Celem wykrycia takiego (nieprawdopodobnego) zdarzenia zaprojektowano monitoring środowiskowy, powierzchniowy i przypowierzchniowy.

## Załącznik nr 2 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (pokłady węgla Mizerów)

<b>Kategorie Ryzyka</b> Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka	
	Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala
	Niska	Niskie
Średnia	Średnie	
Wysoka	Wysokie	

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>5</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>6</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>7</sup>
										Solanka (pod podwyższonym ciśnieniem) może być w ostateczności wypompowana na powierzchnię.
9	Funkcjonowanie Składowiska i Likwidacja	Wycieki CO2 do gleby naturalnymi drogami ucieczki	Lokalne oddziaływanie na środowisko; florę i faunę, opóźnienia projektu wskutek potrzebnych działań zapobiegawczych i związane z tym nadzwyczajne koszty, w najgorszym przypadku utrata koncesji	Operator Składowiska	100	Środowisko	Niska	Średnie	Niska	Integralność kompleksu składowania jest przedmiotem Planu Zagospodarowania Składowiska (badania przewidziane w fazie budowy składowiska) i Raportu Oddziaływania na Środowisko składanego i zatwierdzanego jako część dokumentacji do wniosku koncesyjnego na składowanie. Celem wykrycia takiego (nieprawdopodobnego) zdarzenia zaprojektowano monitoring środowiskowy, powierzchniowy i przypowierzchniowy.
10	Funkcjonowanie Składowiska i Likwidacja	Wyciek CO2 przez stare otwory	Lokalne oddziaływanie na środowisko, opóźnienia projektu wskutek potrzebnych działań zapobiegawczych (korekta planu	Operator Składowiska	100	Środowisko	Niska	Średnie	Niska	Badania szczelności otworów i monitoring przewidziano w ramach Planu Zagospodarowania

## Zał. nr 2 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (pokłady węgla Mizerów)

<b>Kategorie Ryzyka</b> Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka	
	Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala
	Niska	Niskie
Średnia	Średnie	
Wysoka	Wysokie	

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>5</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>6</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>7</sup>
			monitoringu) i związane z tym nadzwyczajne koszty, w najgorszym przypadku utrata koncesji							Składowiska i będą one stosownie wykonywane.  W przypadku awarii otwór zostanie zacementowany i zamknięty (najprawdopodobniej to i tak będzie zrobione w trakcie likwidacji składowiska z uwagi na korozywność CO2 w perspektywie długoterminowej).
11	Funkcjonowanie Składowiska i Likwidacja	Wyciek CO2 przez nowe otwory (iniektory, monitoringowe, kontrolne)	Lokalne oddziaływanie na środowisko, opóźnienia projektu wskutek potrzebnych działań zapobiegawczych (korekta planu monitoringu) i związane z tym nadzwyczajne koszty, w najgorszym przypadku utrata koncesji	Operator Składowiska	100	Środowisko	Niska	Średnie	Niska	Wybór materiału o wystarczającej jakości i parametrach bezpieczeństwa (np. cementów). Monitoring stanu technicznego otworów.  W przypadkach awaryjnych będzie konieczna przeróbka nieprawidłowo funkcjonującego otworu. Podczas likwidacji składowiska otwory zostaną zacementowane i zamknięte.
12	Funkcjonowanie	Migracja horizontalna CO2	Opóźnienia projektu wskutek	Operator	100	Środowisko	Niska	Średnie	Niska	Zasięg migracji jest

## Zał. nr 2 Rejestr Ryzyk dla Składowania CO2 (pokłady węgla Mizerów)

<b>Kategorie Ryzyka</b> Prawne Komercyjne-Kontrakt Komercyjne-Dofinansowanie Struktury Polityczno/Społeczne, Rządowe & łańcucha Dostawców, Zdrowie, Bezpieczeństwo, Środowisko  Ryzyka rynkowe Techniczne (dziedzina)	Szacowana Wartość Ryzyka	
	Ranking Ryzyka	
	Skala	Skala
	Niska	Niskie
Średnia	Średnie	
Wysoka	Wysokie	

ID ryzyka	Etap Projektu	Opis Ryzyka (Wydarzenia)	Konsekwencja/Wpływ na Projekt	Odpowiedzialny za Ryzyko <sup>5</sup>	Podział (%)	Kategorie Ryzyka (Proszę wybrać z listy powyżej)	Prawdopodobieństwo	Wpływ	Wartość przed działaniem ogran. <sup>6</sup>	Działania ograniczające (ryzyko) <sup>7</sup>
	Składowiska i Likwidacja	w obrębie kompleksu składowania o zasięgu większym niż oczekiwano	potrzebnych działań zapobiegawczych (korekta planu monitoringu) i związane z tym nadzwyczajne koszty, w najgorszym przypadku utrata koncesji	Składowiska						przedmiotem Planu Zagospodarowania Składowiska (badania przewidziane w fazie budowy składowiska) i Raportu Oddziaływania na Środowisko składowiska i zatwierdzanego jako część dokumentacji do wniosku koncesyjnego na składowanie. W razie konieczności program monitoringu zostanie skorygowany tak aby objąć większy obszar.

## **Ocena ryzyka składowania CO<sub>2</sub> w pokładach węgla rejonu Pawłowice – Mizerów (GIG)**

**(Tadeusz Bromek, Jarosław Chećko, Aleksandra Koteras, Piotr Rosmus, Eleonora Solik-Heliasz, Tomasz Urych, Robert Warzecha)**

Niniejsze zadanie stanowi kolejny etap realizacji pracy p.t. "Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) wraz z ich programem monitorowania". Jednym z kluczowych elementów z punktu widzenia bezpieczeństwa składowania CO<sub>2</sub> w formacjach geologicznych jest właściwa identyfikacja, charakterystyka oraz ocena wielkości zagrożenia związanego z tym procesem, przede wszystkim w aspekcie możliwych ucieczek CO<sub>2</sub>, a także skutków jakie to zagrożenie może spowodować. Właściwa ocena i analiza ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> jest więc jednym z kluczowych elementów dla stosowania technologii CCS w skali komercyjnej i uwzględniać powinna wszystkie możliwe drogi migracji tego gazu, w zależności od warunków petrofizycznych i termodynamicznych oraz zastosowane w fazie projektowania i realizacji rozwiązania techniczne zapobiegające i kontrolujące to zagrożenie. W niniejszym opracowaniu analiza i ocena ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> została przeprowadzona dla wytypowanej struktury geologicznej, którą oznaczono jako zbiornik Pawłowice. W opracowaniu wykorzystane zostały wyniki badań i analiz przeprowadzonych we wcześniejszych etapach realizacyjnych projektu jak również wszystkie dostępne i przydatne w tym zakresie dane literaturowe.

### **Identyfikacja geologicznych źródeł zagrożenia związanego ze składowaniem CO<sub>2</sub> w pokładach węgla w rejonie Pawłowice-Mizerów**

Ryzyko geologicznego składowania dwutlenku węgla może być analizowane w ujęciu globalnym oraz regionalnym i w obu przypadkach dotyczy zarówno ludzi jak i środowiska naturalnego. W pracy skupiono się na analizie zagrożeń lokalnych mogących wystąpić na terenie wytypowanego zbiornika Pawłowice i jego bezpośrednim sąsiedztwie.

Realizacja pracy opierała się na dotychczasowych doświadczeniach Głównego Instytutu Górnictwa (GIG), literatury światowej oraz opracowaniach wykonanych w ramach poprzednich segmentów niniejszego projektu.

Różnego typu zagrożenia związane z wyciekami dwutlenku węgla, mogą wynikać z wielu czynników, które zostały przedstawione w formie bazy danych FEP (*Features Events Procedures*). Głównym zagrożeniem jest sytuacja, w której wzrost stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu zagraża życiu ludzkiemu. Dwutlenek węgla w stężeniu powyżej 10% objętości powoduje niewydolność układu oddechowego, zmiany pH krwi i utratę przytomności (Benson i in., 2002).

Składowanie CO<sub>2</sub> w pokładach węgla dotyczy jedynie pokładów nieeksploatowanych zawierających metan w ilości gwarantującej korzyści z jego wydobycia oraz zalegających na głębokości większej od głębokości dokumentowania ich zasobów, zgodnie z obowiązującymi kryteriami bilansowości. Metoda zatłaczania CO<sub>2</sub> oparta jest na wykorzystaniu współczynnika zastępowalności CH<sub>4</sub> przez CO<sub>2</sub>. Wartość tego współczynnika jest zróżnicowana, ale przyjmuje się, że w każdych warunkach jest co najmniej równa lub większa od 2.

W pracy skoncentrowano się na zagrożeniach związanych z geologicznym składowaniem CO<sub>2</sub> w pokładach węgla wynikających z:

- wpływu analizowanego przedsięwzięcia na środowisko naturalne i człowieka,
- połączeń (płaszczyzny uskokowe, otwory wiertnicze, powstawanie spękań w trakcie szczelinowania i zatłaczania) pomiędzy zbiornikiem i górotworem, a powierzchnią terenu,
- oddziaływania składowiska na ujęcia wód użytkowych.

## Położenie i zagospodarowanie terenu

Przydatność pokładu węgla do składowania CO<sub>2</sub> z równoczesnym odzyskiwaniem metanu zależy od spełnienia następujących wymogów:

- występowania pokładu na odpowiedniej głębokości i zawierającego metan,
- braku zaburzeń tektonicznych,
- występowaniu odpowiedniej warstwy izolacyjnej,
- charakteryzować się słabym zawodnieniem,
- cechować się wystarczającą przepuszczalnością,
- mieć dostateczną pojemność składowania,
- mieć gwarancje, że pokład ten nie będzie eksploatowany.

W oparciu o wcześniej wykonane analizy i opracowania, do przeprowadzenia próby zatłaczania CO<sub>2</sub> do pokładu węgla wytypowano rejon Pawłowice znajdujący się w centralnej części GZW, pomiędzy Pszczyną, Żorami i Jastrzębiem Zdrój. Jego powierzchnia wynosi około 68 km<sup>2</sup>. Od południa graniczy z jeziorem goczałkowickim zaliczonym do programu Natura 2000, którego powierzchnia wynosi 24740,2 ha i pokrywa się w niewielkiej części ze zbiornikiem Pawłowice – południowo-wschodni rejon potencjalnego zbiornika. Obszar charakteryzuje się nieregularną zabudową wiejską z dużą ilością gruntów ornych. Lasy i rezerwuary wodne zajmują niewielką powierzchnię analizowanego terenu (**Fig. 1.1.17\_249**).

Niniejszy zbiornik graniczy od strony wschodniej z obszarem górniczym złoża węgla kamiennego KWK Pniówek, który znajduje się w odległości około 500 m. Natomiast wyznaczone przez PiG bloki II/3 i II/4

należące do zbiornika Pawłowice, w obrębie których planuje się zatłaczanie dwutlenku węgla oddalone są odpowiednio o około 3,3 i 6,5 km (**Fig. 1.1.17\_249**).

Analizowany obszar występuje na terenie następujących udokumentowanych niezagospodarowanych złóż węgla kamiennego:

- Pawłowice 1 i Pawłowice rej.,
- Warszowice Pawłowice Północ,
- Studzionka-Mizerów,
- oraz Kobiór-Pszczyna.



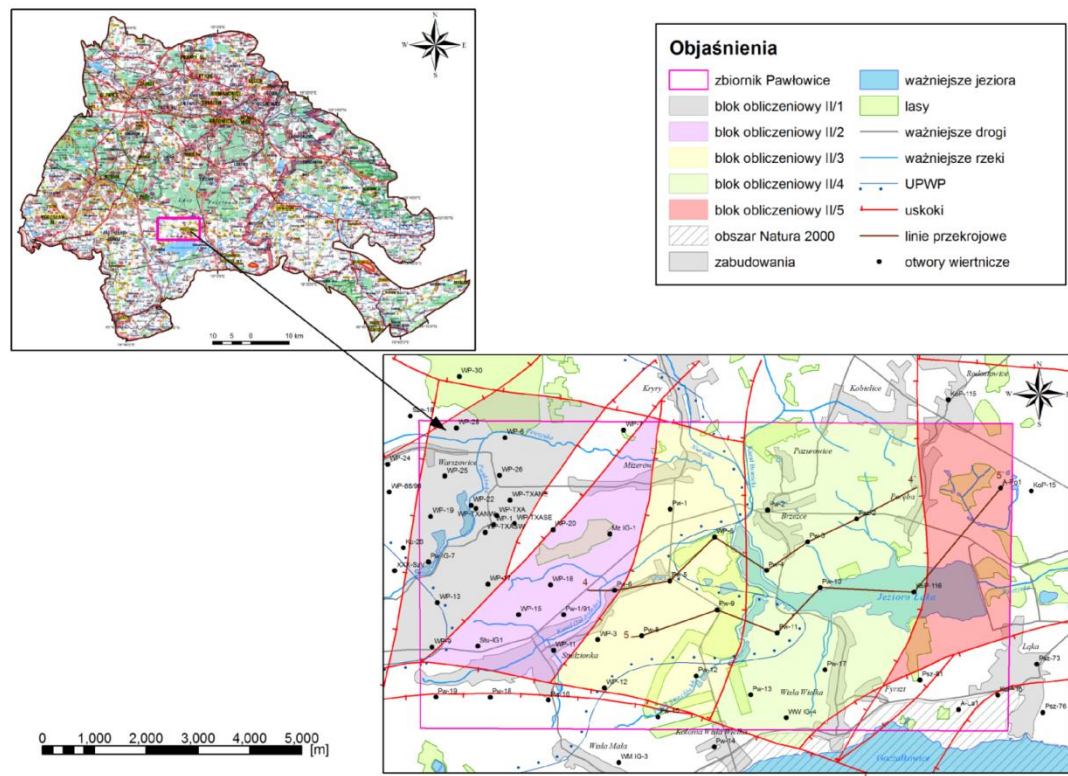


Fig. 1.1.17\_249 Mapa lokalizacyjna zbiornika Pawłowice na tle mapy topograficznej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW)

## Zarys budowy geologicznej zbiornika Pawłowice

**Seria paraliczna** w rejonie zbiornika Pawłowice została nawiercona dziewiętnastoma otworami wiertniczymi, które w nieznacznym stopniu rozpoznają jej strop, zbudowany głównie z iłowców i mułowców stanowiących dobrą warstwę izolacyjną spągu pokładu 510.

**Górnośląska seria piaskowcowa (GSP)** w rejonie zbiornika Pawłowice reprezentowana jest przez warstwy siodłowe (pokłady 501-510) i rudzkie (poniżej pokładu 407).

Miąższość warstw siodłowych w analizowanym obszarze jest zmienna i wynosi od około 34 m w bloku II/4 do 145 m w bloku II/1. Utwory te cienieją w kierunku południowym i reprezentowane są przez osady mułowcowe, iłowcowe, piaskowce. Grubość pokładów węgla ma znaczną rozpiętość i waha się między 0,4-10,5 m.

W rejonie bloku II/3 pokład 510 zalega na głębokości od 1075 do 2005 m npm, gdzie jego średnia grubość wynosi około 7 m. Poza otworem Pawłowice 16, gdzie w stropie pokładu 510 nawiercono piaskowiec o miąższości 11 m, w stropie i spągu niniejszego pokładu występują zwykle mułowce i iłowce o grubości około 2-9 m.

Warstwy rudzkie na terenie zbiornika Pawłowice reprezentowane są głównie przez mułowce i iłowce przetawicone piaskowcami. Najmniejszą miąższość warstw rudzkich stwierdzono w bloku II/4 (około 124 m), natomiast największą w bloku II/1 (około 259 m).

**Seria mułowcowa (SM)** w analizowanym obszarze składa się z warstw załęskich (pokłady 327-364, 401-406) i orzeskich (pokłady 301-327). Zbudowana jest z mułowców, iłowców oraz piaskowców.

Miąższość warstw załęskich jest zróżnicowana od około 550 m w południowej części zbiornika (blok II/3) do około 1200 m (blok II/1) w rejonach północnych. Grubość pokładów węgla waha się między 0,4-5,0 m.

W obszarze bloku II/4 średnia miąższość pokładu 405 wynosi około 4,3 m. W bezpośrednim stropie pokładu 405 zalegają iłowce i piaskowce, których miąższość wynosi od 2 do 26 m, natomiast w spągu mułowce i iłowce stanowiące dobrą warstwę izolacyjną o grubości od około 3,4 do 25 m. Strop pokładu 405 w obrębie bloku II/4 zalega na głębokości 740-1514 m npm.

Występowanie warstw orzeskich zostało stwierdzone w centralnej i wschodniej części zbiornika Pawłowice tj. w blokach II/3, II/4 oraz II/5. Generalnie ich miąższość wzrasta w kierunku wschodnim i wynosi od około 50 do 400 m. Pokłady węgla zostały głównie nawiercone w bloku II/4 i II/5, gdzie ich miąższości wynoszą od 0,3-3,6 m.

Utwory **krakowskiej serii piaskowcowej** nie występują na analizowanym obszarze.

W rejonie zbiornika Pawłowice **osady wieku miocenińskiego** wykształcone są w formie iłów marglistych bądź łupkowatych o barwie szarej, szaro-zielonej z lokalną fauną. Podrzędnie występują również piaskowce różnoziarniste, zlepierce i brekcja.

Grubość osadów mioceńskich w obrębie zbiornika Pawłowice jest zmienna, znaczne ich miąższość występują wzdłuż południowej i północnej jego granicy. Największą miąższość osadów mioceńskich stwierdzono w południowym rejonie bloku II/3, gdzie wynosi od 664,7 do 725,0 m. W pozostałych blokach tj.: II/1, II/2 oraz II/4 wynosi ona średnio około 430,0 m.

W centralnej części zbiornika, zwłaszcza w rejonie otworów Pw-3, Pw-4, Pw-5, Pw-9, Pw-10, Pw-11 i KoP-116, znajdujących się na obszarze bloków II/3 i II/4 miąższość osadów mioceńskich maleje i waha się od około 199,7 m (otwór Pw-3) do 157,4 m (otwór Pw-10) i jest najmniejsza w analizowanym zbiorniku.

**Czwartorzęd na obszarze zbiornika Pawłowice tworzy pokrywę o nieregularnej miąższości. Maksymalna grubość osadów czwartorzędowych została nawiercona w otworze Pw-12 – 48,0 m, natomiast minimalna w otworze Pw-15 – 10,0 m. Średnia miąższość pokrywy czwartorzędowej w rejonie niniejszego zbiornika wynosi około 31,0 m.**

**Utwory czwartorzędowe reprezentowane są przez glinę pylastą o barwie żółtobrazowej, ity oraz różnoziarniste piaski i żwiry z domieszką ziaren kwarcu.**

**Można założyć, że udokumentowana warstwa izolacyjna w rejonie zbiornika Pawłowice jej miąższość oraz litologia stanowi dostateczną warstwę izolacyjną dla analizowanego przedsięwzięcia.**

Obszar zbiornika należy do strefy tektoniki dysjunktywnej (blokowej), która obejmuje przeważającą część GZW. Zbiornik Pawłowice poprzecinany jest uskokami o przebiegu zbliżonym do południkowego. W oparciu o przebieg uskoków w poprzednich etapach projektu zostały wyznaczone wyżej wymienione bloki obliczeniowe, w granicach których oszacowano pojemność składowania dwutlenku węgla. Wielkości rzutu uskoków wynoszą od 30 do 200 m. Utwory karbonu nachylone są łagodnie w kierunku północnym. Gęstość zuskokowania zbiornika Pawłowice wynosi około 1100 m/km<sup>2</sup>, natomiast bloku II/3 i II/4 wynosi odpowiednio 1333 i 761 m/km<sup>2</sup>.

Szczegółowe omówienie warunków geologicznych zbiornika Pawłowice wraz z niezbędnymi załącznikami graficznymi zostało przedstawione w opracowaniu 1.1.20 „Charakterystyka GZW i pokładów węgla” z roku 2010.

Obecny stan rozpoznania tektoniki zbiornika Pawłowice, występujących w jego rejonie uskoków, charakterystyka materiału wypełniającego płaszczyzny uskokowe i związana z nią szczelność występujących nieciągłości jest niedostateczna. Dlatego w dalszych etapach konieczne jest wykonanie szczegółowego rozpoznania i charakterystyki zagadnień związanych z tektoniką analizowanego zbiornika.

## Analiza zagrożeń geologicznych

### Opis czynników ryzyka na podstawie bazy Quintessa FEP (Features Events Processes)

Proces składowania CO<sub>2</sub> w pokładach węgla różni się zdecydowanie od jego składowania w poziomach solankowych. W poziomach solankowych CO<sub>2</sub> jest magazynowany w wolnych przestrzeniach lub jest rozpuszczany w solance, ewentualnie niewielkie jego części wchodzi w reakcje z minerałami. Natomiast w przypadku pokładów węgla CO<sub>2</sub> wypiera CH<sub>4</sub> i pozostaje związany z węglem. Stąd ryzyko jego ewentualnego przemieszczenia się po zakończeniu procesu zatłaczania jest znacznie mniejsze niż gazu wolnego składowanego w poziomach solankowych. Nie można jednak wykluczyć migracji CO<sub>2</sub> poprzez szczeliny i spękania (naturalne i sztuczne) w trakcie procesu zatłaczania.

Do identyfikacji źródeł zagrożenia powstałych w wyniku procesu zatłaczania CO<sub>2</sub> do pokładów węgla, przy jednoczesnym pozyskaniu metanu posłużono się bazą wiedzy Quintessa FEP (*Features Events Processes*, **Tab. 1.1.17\_73**). Analizie zostały poddane tylko te kategorie i klasy niniejszej bazy, które miały związek z badanym rejonem.

**Tab. 1.1.17\_73** Opis czynników ryzyka (baza Quintessa FEP)

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
0.Podstawa analizy ryzyka	Cel analizy		Analiza została przeprowadzona dla procesu zatłaczania CO <sub>2</sub> do pokładów węgla.
	Końcowy punkt analizy		Wpływ składowiska na otoczenie geologiczne i powierzchnię terenu.
	Przestrzenny zakres analizy		Pokłady 405 i 510, bezpośrednie stropy i spągi oraz nadkład.
	Zakres czasowy analizy		Zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE.
	Założenia dotyczące magazynowania CO <sub>2</sub>		Okres zatłaczania zależeć będzie od ilości CO <sub>2</sub> dostarczonego do zbiornika w ciągu roku.
	Założenia dotyczące przyszłej działalności ludzkiej		Składowanie CO <sub>2</sub> wykluczy eksploatację górniczą w pokładach 405 i 510. Nie ograniczy zagospodarowania powierzchni.
	Regulacje prawne		Składowanie będzie spełniać wymogi ustaw dotyczących prawa geologicznego i górniczego, ochrony środowiska i Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE.

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
	Modele symulacyjne i dostępność danych		Pokłady 405 i 510 zostały zbadane kilkoma otworami wiertniczymi. Modele symulacyjne są w trakcie opracowania.
1.Czynniki zewnętrzne	Czynniki geologiczne	Tektonika	Granice bloków stanowią uskoki o dużych zrzutach. Występowanie zaburzeń wewnątrz bloku nie zostało rozpoznane.
		Działalność wulkaniczna i magmowa	Nie stwierdzono.
		Trzęsienia ziemi	Nie występowały.
		Aktywność hydrotermiczna	Nie występowała.
		Wpływ hydrogeologii na zmiany geologiczne	Nie wystąpią.
		Procesy erozyjne na dużą skalę	Nie dotyczy.
		Uderzenie meteorytem	Nie występują w znaczącej skali.
	Czynniki klimatyczne	Globalna zmiana klimatu	Nie dotyczy i nie rozważano.
		Regionalna i lokalna zmiana klimatu	
		Zmiana poziomu morza	
		Wpływ zlodowaceń (efekty)	
		Wpływ lodowców i lądolodów na składowisko CO <sub>2</sub>	
		Wpływ ciepłego klimatu	
		Hydrologiczna i hydrogeologiczna reakcja na zmiany klimatyczne	
	Reakcja na zmiany klimatyczne		
	Przyszła aktywność ludzka	Wpływ człowieka na klimat	Redukcja dwutlenku węgla.
		Wpływ poziomu wiedzy i motywacji	Nie będzie mieć wpływu.
		Rozwój społeczeństwa i instytucji	
		Rozwój technologiczny	Może wpłynąć na ograniczenie emisji CO <sub>2</sub> .

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
		Działalność wiertnicza	Będzie ograniczona.
		Aktywność górnicza	Będzie mieć miejsce w sąsiedztwie zbiornika.
		Aktywność ludzka na powierzchni	Składowanie CO <sub>2</sub> nie wpłynie na przyszłą działalność ludzką.
		Gospodarka wodna	Może być ograniczona.
		Wpływ CO <sub>2</sub> na przyszłe operacje geologiczne	Ograniczy działalność wiertniczą i eksploatacyjną.
		Eksplozje i katastrofy	Nie przewiduje się.
2. Magazynowanie CO <sub>2</sub>	Przed zakończeniem procesu składowania CO <sub>2</sub>	Założenia projektowe	Zatłoczenie CO <sub>2</sub> przy jednoczesnej produkcji metanu.
		Ilość zatłoczonego CO <sub>2</sub> , tempo zatłaczania	W zależności od ilości otworów tłocznych CO <sub>2</sub> .
		Skład zatłoczonego CO <sub>2</sub>	Zgodny z wymaganiami.
		Harmonogram inwestycji	Nie jest opracowany na tym etapie.
		Monitoring zatłaczania CO <sub>2</sub>	Jest przewidziany w trakcie zatłaczania. Będzie obejmował monitorowanie ciśnień, szczelności, składu zatłaczanego gazu. Do tych celów zostanie wykorzystana geofizyka otworowa i powierzchniowa oraz monitoring chemiczny.
		Kontrola jakości zatłoczonego CO <sub>2</sub>	Będzie prowadzona.
		Wypadki i nieprzewidywane zdarzenia	Odpowiednie procedury zostaną opracowane razem z projektem.
	Ciśnienie składowania	Dobór ciśnienia będzie ograniczony głównie ciśnieniem szczelinowania.	
	Po zakończeniu procesu składowania CO <sub>2</sub>	Monitoring zatłoczonego CO <sub>2</sub>	Monitorowanie zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE.
3. Własności, oddziaływanie i transport CO <sub>2</sub>	Własności CO <sub>2</sub>	Własności fizyczne i zachowanie się faz CO <sub>2</sub>	Przewidywana głębokość i temperatura wskazują, że CO <sub>2</sub> będzie występował w stanie nadkrytycznym.
		Rozpuszczalność i tworzenie nowych związków pod wpływem wody i CO <sub>2</sub>	Zagadnienie to będzie rozwiązane w oparciu o symulacje komputerowe.
	Oddziaływanie CO <sub>2</sub>	Wpływ ciśnienia	Nie będzie mieć wpływu na

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
		na skały uszczelniające nadkładu	uszczelniające skały nadkładu karbonu.
		Wpływ ciśnienia składowania na płyny złożowe	Przed zatłoczeniem CO <sub>2</sub> zostanie przeprowadzony proces odwadniania pokładu.
		Reakcje z węglowodorami	CO <sub>2</sub> nie będzie wchodził w reakcję z CH <sub>4</sub> tylko będzie go zastępował.
		Wypieranie solanki ze struktury	Nie przewiduje się w związku z wcześniejszym odwodnieniem pokładu.
		Warunki i procesy mechaniczne	Przewidywane szczelinowanie pokładu spowoduje zmianę własności mechanicznych węgla i ewentualnie skał otaczających.
		Indukowanie ruchów sejsmicznych	Nie przewiduje się.
		Obniżenie lub podwyższenie powierzchni terenu	Może wystąpić w minimalnym zakresie.
		Wpływ temperatury na strefę złożową	Nie przewiduje się.
		Chemizm wód	Nie przewiduje się.
		Zanieczyszczenie metalami ciężkimi	Istnieje minimalne prawdopodobieństwo zanieczyszczenia metalami ciężkimi pokładu węgla.
		Faza mineralna: - rozpuszczanie i wytrącanie się minerałów; - wymiana jonowa.	Procesy te mogą zachodzić w bardzo długim okresie czasu na kontakcie ze skałami otaczającymi.
		Skład chemiczny zatłoczonego gazu	Na obecnym etapie nie jest znany skład chemiczny gazu.
		Tworzenie się hydratów gazowych	Na obecnym etapie nie analizowano.
		Biogeochemia	
Procesy mikrobiologiczne			
4.Geosfera	Geologia	Położenie geograficzne	Zbiornik znajduje się w centralnej części GZW w rejonie Pawłowic.
		Zasoby naturalne	W sąsiedztwie rozważanych pokładów występują inne nie udokumentowane pokłady węgla oraz w odległości około 4 km na zachód czynna kopalnia węgla

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
			kamiennego.
		Typ skał zbiornikowej	Węgiel
		Geometria zbiornika	Pokład węgla
		Aktualna eksploatacja skał zbiornikowych	Nie są eksploatowane.
		Formacja uszczelniająca	Iły i iłowce miocenijskie.
		Dodatkowe uszczelnienie	Karbońskie skały iłowcowe i mułowcowe
		Litologia	Węgiel
		Struktura porowatości	Średnia podwójna porowatość pokładu 405 wynosi około 7-9% i 510 6-8%.
		Niejednorodność	Pokłady są w miarę jednorodne.
		Uskoki, szczeliny	Brak szczegółowego rozpoznania.
		Nieudokumentowane zagrożenia	Nie stwierdzono.
		Pionowy gradient geotermiczny	Wynosi od 3,2÷3,6 °C/100m
		Ciśnienie wody występujące w stropie warstwy zbiornikowej	Będzie określone w innym opracowaniu.
		Mechaniczne własności skał zbiornikowych	Brak danych.
		Własności petrofizyczne	Brak danych.
	Płyiny złożowe	Własności płynów złożowych	Będzie określone w innym opracowaniu
		Hydrogeologia	Będzie określone w innym opracowaniu
Węglowodory		Brak danych.	
5.Otwory wiertnicze	Wiercenie i konstrukcja	Likwidacja otworów zatłaczających	Zagadnienia zostaną opracowane i ujęte w projekcie pilotażowym.
		Konstrukcja i wyposażenie odwiertów	
		Rekonstrukcje odwiertów	
		Odwierty monitorujące (obserwacyjne)	
		Dokumentacja otworowa	
	Likwidacja odwiertów i ich szczelność	Likwidacja i uszczelnienie odwiertów	



Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
		Rozszczelnienie odwiertu	
		Erupcje	
		Archiwalne otwory wiertnicze	
		Ruchy górotworu w miejscu występowania odwiertów	
6. Środowisko przypowierzchniowe	Środowisko lądowe	Topografia i morfologia	Składowanie CO <sub>2</sub> nie będzie miało wpływu na zmiany topograficzne i morfologiczne terenu.
		Gleba i osady	Nie przewiduje się.
		Erozja i depozycja	Nie przewiduje się.
		Atmosfera i meteorologia	Nie analizowano.
		Reżim hydrologiczny i bilans wodny	Składowanie CO <sub>2</sub> nie będzie miało wpływu na zmiany reżimu hydrologicznego
		Wody powierzchniowe i przypowierzchniowe	Ponieważ nie przewiduje się ucieczek CO <sub>2</sub> to nie będzie mieć wpływu na wody powierzchniowe i poziomy wód przypowierzchniowych.
		Lądowe systemy ekologiczne flora i fauna lądowa	Nie przewiduje się wpływu. Zagrożenie może wystąpić w przypadku awarii systemu.
	Środowisko morskie	Cechy wybrzeża	Nie ma związku z analizowanym składowiskiem.
		Lokalna oceanografia	
		Osady morskie	
		Flora i fauna morska	
		Morskie systemy ekologiczne	
	Zachowanie się ludzi	Cechy człowieka	Nie analizowano.
		Dieta, odżywianie	
Styl życia			
Korzystanie z wody i gruntów			
Charakterystyka lokalnej społeczności		Nie przewiduje się.	
Budynki			
7. Wpływ inwestycji	Własności systemu składowania	Wydajność systemu: -Utrata szczelności i wycieki	Nie przewiduje się.
	Wpływ na	Zanieczyszczenie wód	Zanieczyszczenie wód podziemnych

Kategoria wg FEP	Klasa wg FEP	Podklasa wg FEP	Komentarz do występujących czynników
	środowisko fizyczne	podziemnych	w tym użytkowego zbiornika UPWP jest mało prawdopodobne.
		Wpływ na grunty	Nie przewiduje się.
		Uwolnienie atmosfery do	Możliwe tylko w przypadku awarii lub nieszczelności otworu wiertniczego.
		Wpływ na eksploatację zasobów naturalnych	Może ograniczyć eksploatację złóż węgla kamiennego w sąsiednich pokładach i polach rezerwowych.
		Wpływ na hydrogeologię	Nie przewiduje się.
		Wpływ na chemizm	Zatłaczanie CO <sub>2</sub> w bardzo ograniczonym stopniu wpłynie na chemizm.
		Wpływ na zjawiska sejsmiczne	Nie przewiduje się.
		Wpływ na topografię	Ewentualny wpływ procesu zatłaczania na topografię będzie minimalny.
		Wpływ na oceany	Nie ma związku z analizowanym składowiskiem.
	Wpływ na florę i faunę	Wpływ CO <sub>2</sub> na zwierzęta	Ewentualna powolna migracją CO <sub>2</sub> do warstw przypowierzchniowych nie powinna wpływać na zwierzęta.
		Wpływ CO <sub>2</sub> na rośliny	Nie przewiduje się negatywnego wpływu na szatę roślinną badanego rejonu.
		Ekotoksykologia zanieczyszczeń	Nie analizowano.
		Efekt ekologiczny	Nie analizowano.
		Modyfikacja systemów mikrobiologicznych	Nie analizowano.
	Wpływ na ludzi	Wpływ CO <sub>2</sub> na zdrowie ludzi	Może dojść do wypływu dużych ilości CO <sub>2</sub> w przypadku awarii.
		Toksyczność związków zatłaczanych	Nie przewiduje się zatłaczania związków toksycznych.
		Wpływ fizycznych uszkodzeń gruntu na ludzi	Nie przewiduje się.
		Wpływ na środowisko ekologiczne	Istnieje bardzo małe prawdopodobieństwo migracji CO <sub>2</sub> po bardzo długim okresie czasu. Ewentualne wycieki będą zauważone przez monitoring po zamknięciu składowiska.

## Zagrożenia związane ze szczelnością warstwy izolacyjnej i z istniejącymi oraz zlikwidowanymi otworami wiertniczymi

Proces sekwestracji CO<sub>2</sub> w pokładach węgla składa się z kilku etapów (Myer, 2003):

- udostępnienia pokładu za pomocą otworów wiertniczych, ich uszczelnienia i likwidacji,
- odwadniania pokładu węgla i jego odmetanowania,
- zatłaczania CO<sub>2</sub> do pokładu węgla z jednoczesnym odzyskaniem metanu,
- oraz ewentualne tylko zatłaczanie CO<sub>2</sub>.

W trakcie realizacji projektu sekwestracji jak i po jej zakończeniu może wystąpić ryzyko niekontrolowanego wycieku i przemieszczania się CO<sub>2</sub>. Ryzyko to wiąże się z otworami wiertniczymi wykonywanymi w ramach technologii zatłaczania CO<sub>2</sub> i odzysku CH<sub>4</sub> ale głównie jednak z otworami wykonanymi wcześniej dla różnych innych celów. Potencjalne drogi ucieczki związane są z przestrzenią między rurami okładzinowymi i strefą skalną. W każdym przypadku przestrzeń ta powinna być zaizolowana np. przez zatłoczenie roztworu cementowanego. W przypadku prawidłowo wykonanego zabiegu cementacyjnego przestrzeń pierścieniowa między rurami i ściankami skalnymi powinna być szczelna. W zlikwidowanych otworach odwierconych wcześniej, często dziesiątki lat temu użyty cement mógł ulec korozji i stracić własności izolacyjne. Próby ponownego uszczelnienia poprzez powtórny cementację są bardzo trudne i kosztowne, a przy tym nie gwarantują uzyskania ponownej pełnej szczelności.

Podobnie jak w etapach poprzednich niniejszego projektu przyjęto, że nie stanowią zagrożenia jedynie otwory, które nie dowiercają się do formacji zbiornikowej tj. gdy różnica między ich głębokością, a głębokością występowania stropu pokładu 405 lub 510 jest większa od 100 m.

Na terenie zbiornika Pawłowice oraz w jego bezpośrednim sąsiedztwie zlokalizowano 63 otwory wiertnicze (**Fig. 1.1.17\_249**), które zostały zestawione i oznaczone kolorami (**Tab. 1.1.17\_74**) w zależności od przynależności do danego bloku (patrz liczba porządkowa Lp.). Otwory, których liczba porządkowa nie została oznaczona żadnym z kolorów znajdują się w niedalekim sąsiedztwie od zbiornika Pawłowice. Ponadto kolorem czerwonym oznaczono otwory, których dane są niekompletne.

W oparciu o dane dotyczące czasu zakończenia poszczególnych wierceń stwierdzono, że dwa otwory zostały wykonane w roku 1957, 48 odwiercono między 1960 a 1981 rokiem, natomiast 9 w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. W czterech otworach zarówno data wiercenia, jak i pozostałe dane poza współrzędnymi nie zostały ustalone.

Otwory są rozmieszczone w nierównomiernej siatce na powierzchni całego zbiornika Pawłowice. Ich duże zagęszczenie występuje w rejonie bloku II/1, gdzie zlokalizowano 16 otworów, najmniejsza ich ilość występuje w bloku II/5, w pozostałych blokach tj.: II/2, II/3, II,4 zarchiwizowano od 7 do 10 otworów.

Większość otworów poza: KoP-15, KoP-115, KoP-116, Sze-18, WP-25 oraz czterema, co do których brak informacji nawierca strop pokładu 405 lub ich głębokość do tego pokładu jest mniejsza od 100 m.

Analogiczną analizę przeprowadzono dla pokładu 510, w wyniku której do zagrożonych wyciekami CO<sub>2</sub> zostało zaliczonych 21 otworów, zaznaczonych w **Tab. 1.1.17\_74** na kolor błękitny.

### **Analiza możliwości wystąpienia zagrożeń związanych z procesem szczelinowania**

Udostępnienie pokładu przewidzianego do zatłoczenia CO<sub>2</sub> prawie zawsze wymaga przeprowadzenia zabiegu szczelinowania w celu zwiększenia przepuszczalności pokładu. Poprawa przepuszczalności znacznie przyczynia się do zwiększenia odwadniania pokładu oraz zwiększenia odzysku metanu i możliwości zatłaczania CO<sub>2</sub>. Zabiegi te z drugiej strony przyczyniają się do zwiększenia ryzyka wycieku CO<sub>2</sub> poprzez powstanie szczelin w skałach otaczających pokład, a szczególnie w jego stropie. Zatłaczanie CO<sub>2</sub> pod dużym ciśnieniem, zbliżonym do ciśnienia petrostatycznego, może doprowadzić do powstania szczelin pionowych. Powstanie tych szczelin zależy od wielu czynników, tj.:

- od stanu naprężeń w rejonie pokładu,
- wytrzymałość skał na rozmywanie,
- rodzaju skał otaczających,
- sposobu przygotowania pokładu do zatłaczania w strefie przyotworowej itp.

Zmiany ciśnienia porowego związane z odwadnianiem pokładu, a następnie zatłaczaniem CO<sub>2</sub> pod ciśnieniem większym od pierwotnego spowodują zmiany naprężeń efektywnych. Naprężenia te określane są jako różnica naprężeń całkowitych i ciśnienia porowego. Jeżeli wskutek odwadniania pokładu zmniejszy się ciśnienie porowe to naprężenie efektywne wzrośnie i może doprowadzić do powstania spękań i uszkodzenia struktury pokładu. Przebieg tego zjawiska jest bardzo złożony i zależy nie tylko od parametrów wytrzymałościowych skał i węgla, ale również od wartości naprężeń pionowych i poziomych w górotworze.

Odwadnianie i szczypanie metanu z pokładu węgla oraz późniejsze zatłoczenie CO<sub>2</sub> powoduje zmiany naprężeń w pokładzie i zaburzenia jego stanu. Zaburzenia te muszą być szczegółowo rozpatrywane aby nie spowodować takich uszkodzeń struktury pokładu, które uniemożliwią realizację składowania CO<sub>2</sub> z równoczesnym pozyskiwaniem metanu.

**Tab. 1.1.17\_74** Zestawienie otworów wiertniczych zlokalizowanych w rejonie zbiornika Pawłowice

Lp.	Nazwa otworu	Symbol otworu	Współ. X ukt. 65	Współ. Y ukt. 65	Rzędna [m]	Głębokość [m]	Rok wiercenia	Stratygrafia na dnie
1.	Amoco-Łąka 1	A-La1	231947,84	835461,81	272,10	1260,00	1997	SPA
2.	Amoco-Poręba 1	A-Po1	232761,12	839743,89	283,75	1754,10	1997	SPA
3.	Kobiór Pszczyna 15	KoP-15	233352,78	839687,91	278,46	1001,00	1967	SM
4.	Kobiór Pszczyna 16	KoP-16	232706,39	835738,16	269,38	1400,00	1967	SPA
5.	Kobiór Pszczyna 115	KoP-115	231753,98	841454,41	266,28	1035,60	1971	SM
6.	Kobiór Pszczyna 116	KoP-116	231086,00	837735,68	246,73	1000,00	1969	SM
7.	Krzyżowice 26	Kc-26	221231,13	838590,72	264,96	b.d.	b.d.	b.d.
8.	Mizerów IG-1	Mz IG-1	225215,04	838856,76	256,40	1404,10	1960	SM
9.	Pawłowice 1	Pw-1	226378,84	839338,34	256,29	1503,00	1979	SM
10.	Pawłowice 1/91	Pw-1/91	224322,60	837295,20	262,17	1289,50	1991	SM
11.	Pawłowice 2	Pw-2	228261,12	839319,98	262,52	1535,00	1979	SM
12.	Pawłowice 3	Pw-3	229031,62	838707,24	262,73	1498,00	1979	GSP
13.	Pawłowice 4	Pw-4	228237,60	838152,27	257,10	1500,40	1979	GSP
14.	Pawłowice 5	Pw-5	226375,22	837951,67	256,45	1500,00	1978	GSP

Lp.	Nazwa otworu	Symbol otworu	Współ. X ukł. 65	Współ. Y ukł. 65	Rzędna [m]	Głębokość [m]	Rok wiercenia	Stratygrafia na dzień
15.	Pawłowice 6	Pw-6	225307,14	837767,75	255,96	1669,00	1978	SPA
16.	Pawłowice IG-7	Pw IG-7	221712,64	838318,91	259,70	1290,40	1962	SM
17.	Pawłowice 8	Pw-8	225826,26	836885,99	262,75	1504,40	1978	GSP
18.	Pawłowice 9	Pw-9	227288,07	837392,94	256,08	1700,00	1979	SPA
19.	Pawłowice 10	Pw-10	229276,68	837821,32	254,24	1500,00	1978	GSP
20.	Pawłowice 11	Pw-11	228446,71	836947,22	254,99	1524,00	1979	SPA
21.	Pawłowice 12	Pw-12	226884,54	836110,81	257,71	1489,40	1978	SPA
22.	Pawłowice 13	Pw-13	227933,71	835743,79	261,76	1271,40	1978	GSP
23.	Pawłowice 14	Pw-14	227228,09	834735,81	267,36	1548,00	1978	SPA
24.	Pawłowice 15	Pw-15	226144,97	835316,05	259,08	1500,00	1978	SPA
25.	Pawłowice 16	Pw-16	224030,14	835644,14	266,40	1500,00	1978	SPA
26.	Pawłowice 17	Pw-17	229370,83	836225,80	257,33	1483,00	1979	SPA
27.	Pawłowice 18	Pw-18	222906,11	835697,87	265,39	1484,00	1979	SPA
28.	Pawłowice 19	Pw-19	221857,98	835700,00	274,09	1545,00	1979	SPA
29.	Pszczyna 2	Psz-2	228261,12	839319,98	260,57	1200,00	1957	SM

Lp.	Nazwa otworu	Symbol otworu	Współ. X ukł. 65	Współ. Y ukł. 65	Rzędna [m]	Głębokość [m]	Rok wiercenia	Stratygrafia na dzień
30.	Pszczyna 73	Psz-73	233454,49	836336,53	266,37	1468,00	1981	SPA
31.	Pszczyna 76	Psz-76	233575,12	835405,87	271,24	1349,00	1980	SPA
32.	Pszczyna 81	Psz-81	231202,50	836032,50	259,74	1322,40	1981	SPA
33.	Studzionka IG-1	Stu-IG1	222665,15	836684,19	270,07	1896,00	1977	SPA
34.	Szeroka 18	Sze-18	184317,17	500117,14	256,00	994,70	1957	karbon
35.	Warszowice-Pawłowice 1	WP-1	222976,89	839039,97	259,02	1349,20	1967	SM
36.	Warszowice-Pawłowice 3	WP-3	224981,71	836810,66	259,01	b.d.	b.d.	b.d.
37.	Warszowice-Pawłowice 5	WP-5	227236,25	838800,71	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
38.	Warszowice-Pawłowice 6	WP-6	223190,00	840720,00	254,18	1386,00	1968	SM
39.	Warszowice-Pawłowice 7	WP-7	225480,00	840870,00	254,76	1700,10	1968	SM
40.	Warszowice-Pawłowice 9	WP-9	221784,44	836663,56	274,12	1200,00	1974	SM
41.	Warszowice-Pawłowice 11	WP-11	224129,06	836605,36	256,44	1200,00	1974	SM
42.	Warszowice-Pawłowice 12	WP-12	225109,68	835878,91	268,56	1350,00	1975	GSP
43.	Warszowice-Pawłowice 13	WP-13	221887,21	837530,32	267,81	1263,10	1974	GSP
44.	Warszowice-Pawłowice 15	WP-15	223454,72	837292,39	262,20	1285,00	1974	SM

Lp.	Nazwa otworu	Symbol otworu	Współ. X ukł. 65	Współ. Y ukł. 65	Rzędna [m]	Głębokość [m]	Rok wiercenia	Stratygrafia na dzień
45.	Warszowice-Pawłowice 17	WP-17	222864,35	837884,02	265,50	1299,00	1974	GSP
46.	Warszowice-Pawłowice 18	WP-18	224071,09	837871,84	261,33	1271,30	1974	GSP
47.	Warszowice-Pawłowice 19	WP-19	221758,68	839196,42	261,85	1322,50	1974	SM
48.	Warszowice-Pawłowice 20	WP-20	224120,82	838942,28	257,88	1462,00	1975	SM
49.	Warszowice-Pawłowice 22	WP-22	222538,39	839412,94	258,28	1380,00	1974	SM
50.	Warszowice-Pawłowice 24	WP-24	220927,84	840205,89	258,86	1250,00	1974	GSP
51.	Warszowice-Pawłowice 25	WP-25	222027,72	839982,78	261,60	1276,00	1974	SM
52.	Warszowice-Pawłowice 26	WP-26	223087,55	839993,42	258,75	1452,20	1974	SM
53.	Warszowice-Pawłowice 28	WP-28	222250,39	840905,95	257,48	1500,00	1975	SM
54.	Warszowice-Pawłowice 30	WP-30	222311,85	841902,49	259,89	1529,00	1976	GSP
55.	Warszowice-Pawłowice 88/96	WP-88/96	220954,97	839671,58	259,48	1579,00	1996	GSP
56.	Warszowice-Pawłowice TEXACO	WP-TXA	223033,78	839212,88	257,60	1812,00	1997	SPA
57.	Warszowice-Pawłowice TEXACO ASE	WP-TXASE	223375,70	839058,20	258,38	1438,00	1998	karbon
58.	Warszowice-Pawłowice TEXACO ASW	WP-TXASW	222810,00	838890,00	260,54	1400,00	1998	karbon
59.	Warszowice-Pawłowice TEXACO ANE	WP-TXANE	223290,00	839510,00	256,82	1445,00	1998	karbon



Lp.	Nazwa otworu	Symbol otworu	Współ. X ukł. 65	Współ. Y ukł. 65	Rzędna [m]	Głębokość [m]	Rok wiercenia	Stratygrafia na dnie
60.	Warszowice-Pawłowice TEXACO ANW	WP-TXANW	222634,70	839354,40	258,78	1587,00	1998	karbon
61.	Wisła Mała IG-3	WM IG-3	225392,04	834436,76	270,70	1281,20	1963	karbon
62.	Wisła Wielka IG-4	WW IG-4	228623,62	835299,58	265,7	1408,00	1961	SPA
63.	b.d.	XXX-SzV	221058,28	838144,25	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.

Oznaczenia w tabeli:

- zielony – blok II/1,
- niebieski – blok II/2,
- fioletowy – blok II/3,
- żółty – blok II/4,
- pomarańczowy – blok II/5.

## Podsumowanie

Ryzyko wystąpienia zagrożeń związanych ze składowaniem CO<sub>2</sub> w pokładach węgla wynika głównie z naturalnych warunków panujących w otoczeniu pokładu wytypowanego do odmetanowania i zatłaczania CO<sub>2</sub>.

Czynniki geologiczne, które należy rozważyć przy ocenie możliwości wystąpienia zagrożeń to:

- warstwy izolacyjne występujące w nadkładzie karbonu oraz w otoczeniu pokładu,
- zaburzenia ciągłości pokładu i warstw otaczających,
- warunki hydrogeologiczne i ochrona wód,
- analiza wpływu CO<sub>2</sub> na możliwość rozpuszczania skał i powstania nowych minerałów,
- fizyczne i mechaniczne własności węgla i skał,
- naruszenie pierwotnych warunków górotworu robotami górniczymi w tym szczególnie otworami wiertniczymi.

Część z wymienionych czynników zostało omówionych w niniejszej pracy, pozostałe stanowią przedmiot oddzielnych opracowań jak np. warunki hydrogeologiczne. Na obecnym etapie rozpoznania odczuwa się wyraźny brak informacji w zakresie fizycznych i mechanicznych własności węgla i skał.

Słabe jest również rozpoznanie tektoniki złoża, a szczególnie występowania uskoków o małych zrzutach oraz brak określenia rozwarcia i wypełnienia materiałem skalnym szczelin uskokowych. Uniemożliwia to przeprowadzenie jednoznacznej oceny możliwości migracji CO<sub>2</sub> do górotworu i ewentualnie na powierzchnię terenu.

Odwadnianie i zcerpywanie metanu z pokładu węgla, a następnie zatłaczanie w to miejsce CO<sub>2</sub>, po wcześniejszym szczelinowaniu, może przyczynić się do powstania szczelin pionowych umożliwiających migrację CO<sub>2</sub> z pokładu do skał otaczających. Stąd tak istotne jest rozpoznanie i określenie naprężeń całkowitych, efektywnych i ciśnień porowych w celu doboru odpowiednich ciśnień zatłaczania przy określonych pierwotnych parametrach wytrzymałościowych węgla i skał.

Najdogodniejszymi drogami migracji CO<sub>2</sub> mogą być niezbyt dokładnie uszczelnione lub źle zlikwidowane otwory wiertnicze. W omawianym rejonie występuje kilkadziesiąt archiwalnych otworów, które łączy bezpośrednio pokłady 405 i 510 z górotworem i powierzchnią terenu, a co do których nie ma gwarancji ich szczelności.

Obecny stan rozpoznania szczególnie tektoniki złoża, ale także własności fizycznych i mechanicznych węgla i skał oraz brak oceny szczelności bardzo wielu archiwalnych otworów wiertniczych zlokalizowanych w omawianym rejonie nie pozwala na jednoznaczną ocenę wpływu geologicznych czynników na możliwość wystąpienia przecieków CO<sub>2</sub> do górotworu i na powierzchnię terenu. Przystąpienie do ewentualnego opracowania projektu technicznego zatłaczania z równoczesnym odzyskiem metanu wymaga uzupełnienia rozpoznania warunków geologicznych wymienionych w niniejszej pracy.

## Ocena wpływu składowania CO<sub>2</sub> w pokładach węgla rejonu Pawłowice-Mizerów na poziomy wodonośne

W pracy zawarto ocenę wpływu zatłaczania dwutlenku węgla do pokładów 405/1 i 510 na poziomy wodonośne i skały zalegające:

- 1/ bezpośrednio w stropie składowisk;
- 2/ w obszarach górniczych najbliższych kopalń węgla kamiennego: „Pawłowice” i „Pniówek”.

Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy (PIG) wytypował rejon przyszłych składowisk CO<sub>2</sub> w rejonie Pawłowice-Mizerów. W rozważanym w pracy etapie pilotażowym analizowano możliwość zatłaczania CO<sub>2</sub> w okresie 1 roku, w dwóch rejonach:

- w pokładzie 405/1 – w obszarze między otworami Pw-3, Pw-4 i Pw-10;
- w pokładzie 510 – w obszarze między otworami WP-3, WP-12 i Pw-8 (Fig. 1.1.17\_250).

Wymienione otwory zostały odwiercone w 1978 roku i miały na celu rozpoznanie złoży węgla kamiennego w polu górniczym Pawłowice. Po wykonaniu profilowania geologicznego, zostały zlikwidowane. W otworach tych nie wykonano badań hydrogeologicznych – stąd przedstawione poniżej wnioski dotyczące istniejących warunków hydrogeologicznych zostało oparte na wynikach rozpoznania pochodzącego z innych, pobliskich otworów.

Rozważane składowiska dwutlenku węgla są zlokalizowane w sąsiedztwie planowanej do budowy kopalni węgla kamiennego „Pawłowice” oraz czynnej kopalni węgla „Pniówek”. Ze względu na niewielką odległość, celowe okazało się opracowanie analizy możliwego oddziaływania składowisk na eksploatację górniczą w obydwóch kopalniach. W obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego opracowywanie tego typu analiz **jest niezbędne** dla ostatecznej akceptacji danej partii górotworu do podziemnego składowania dwutlenku węgla (Solik-Heliasz 2007, 2009, 2010a,b, 2011).

### Warunki hydrogeologiczne istniejące w nadkładzie rozważanych składowisk dwutlenku węgla w pokładach 405/1 i 510 w rejonie Pawłowice-Mizerów

Analiza warunków hydrogeologicznych w rejonie Pawłowice-Mizerów, chemizm wód oraz warunki hydrodynamiczne były prezentowane w ramach wcześniejszych etapów: 1.1.33 i 1.1.14. Poniżej zostaną omówione parametry górotworu w rejonach dwóch projektowanych składowisk CO<sub>2</sub>.

#### **Składowisko w pokładzie 405/1**

W rejonie rozważanego składowiska dwutlenku węgla pokład 405/1 zapada w kierunku na NE. Otwór iniekcyjny dwutlenku węgla usytuowano w środku trójkąta, jaki tworzą otwory Pw-3, Pw-4 i Pw-10 (Fig. 1.1.17\_250).

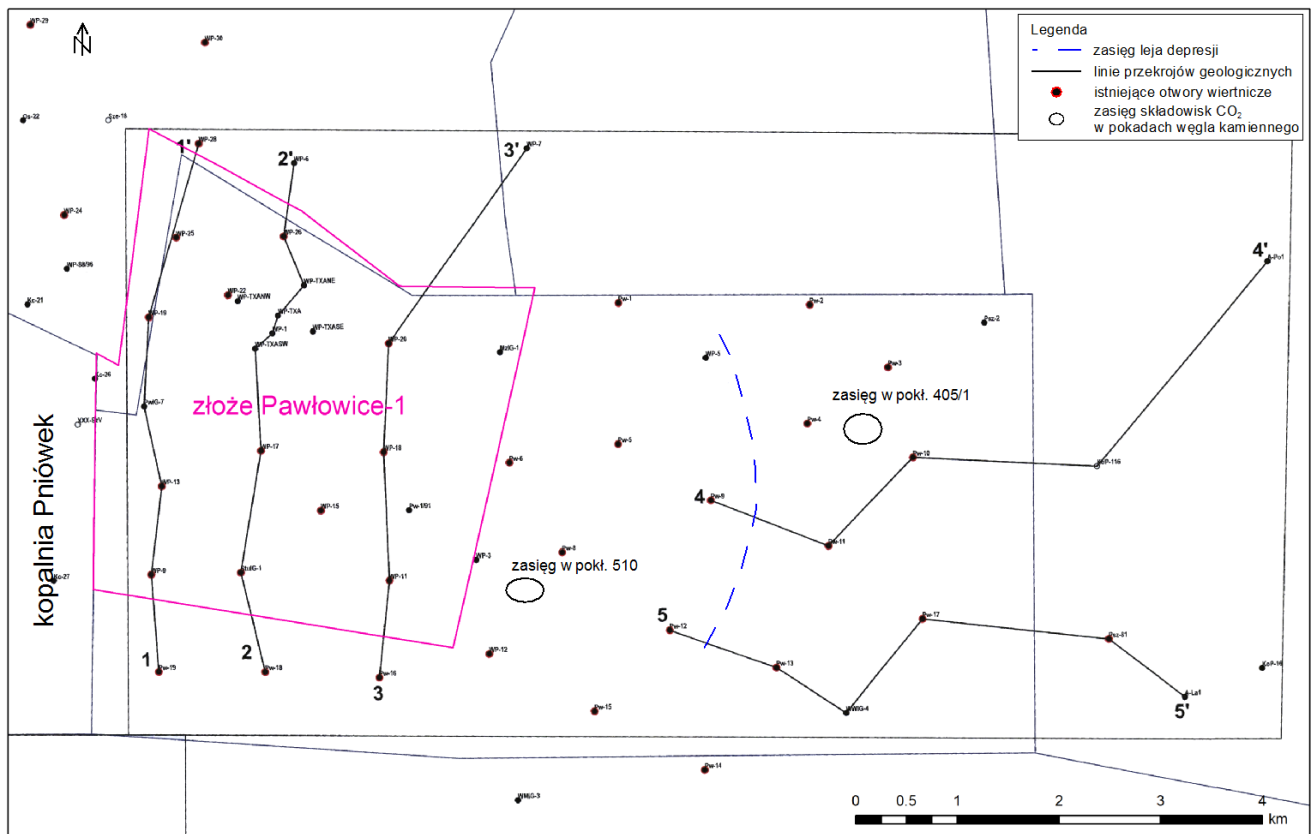


Fig. 1.1.17\_250 Szkic sytuacyjny rejonu składowisk w pokładach węgla kamiennego 405/1 i 520

Podstawowe parametry utworów zalegających w 100-metrowej warstwie w stropie pokładu 405/1, przedstawiono w Tab. 1.1.17\_75. Ocenia się, że z punktu widzenia bezpieczeństwa i efektywności składowania CO<sub>2</sub> zasadnicze znaczenie może mieć warstwa piaskowców zalegająca bezpośrednio w stropie pokładu 405/1. W otworze Pw-3 ma ona miąższość 10,7 m, w otworze Pw-4 są to dwie warstewki o miąższości 1,9 m i 3,1 m przedzielone 3,4 m iłowca, natomiast w otworze Pw-10 piaskowca tego nie stwierdzono (Fig. 1.1.17\_251). Do celów modelowania przyjęto, że miąższość piaskowców w stropie pokładu wynosi średnio 5 metrów. Niemniej ważna jest obecność wyżej zalegających warstw iłowców, które powinny stanowić nieprzepuszczalną barierę dla zatłaczanego dwutlenku węgla.

Wspomniana warstwa piaskowców wykazuje dość dobre własności zbiornikowe (Tab. 1.1.17\_75). Porowatość piaskowców (z badań laboratoryjnych w otworze Psz-34) można zaliczyć do średniej, natomiast przepuszczalność (z badań polowych) jest charakterystyczna dla skał półprzepuszczalnych (Pazdro 1977). Z kolei parametry pozostałych piaskowców oraz iłowców i mułowców (wyznaczone na podstawie badań laboratoryjnych w otworach StuG-1 i CheIG-1) wykazują słabsze parametry zbiornikowe.

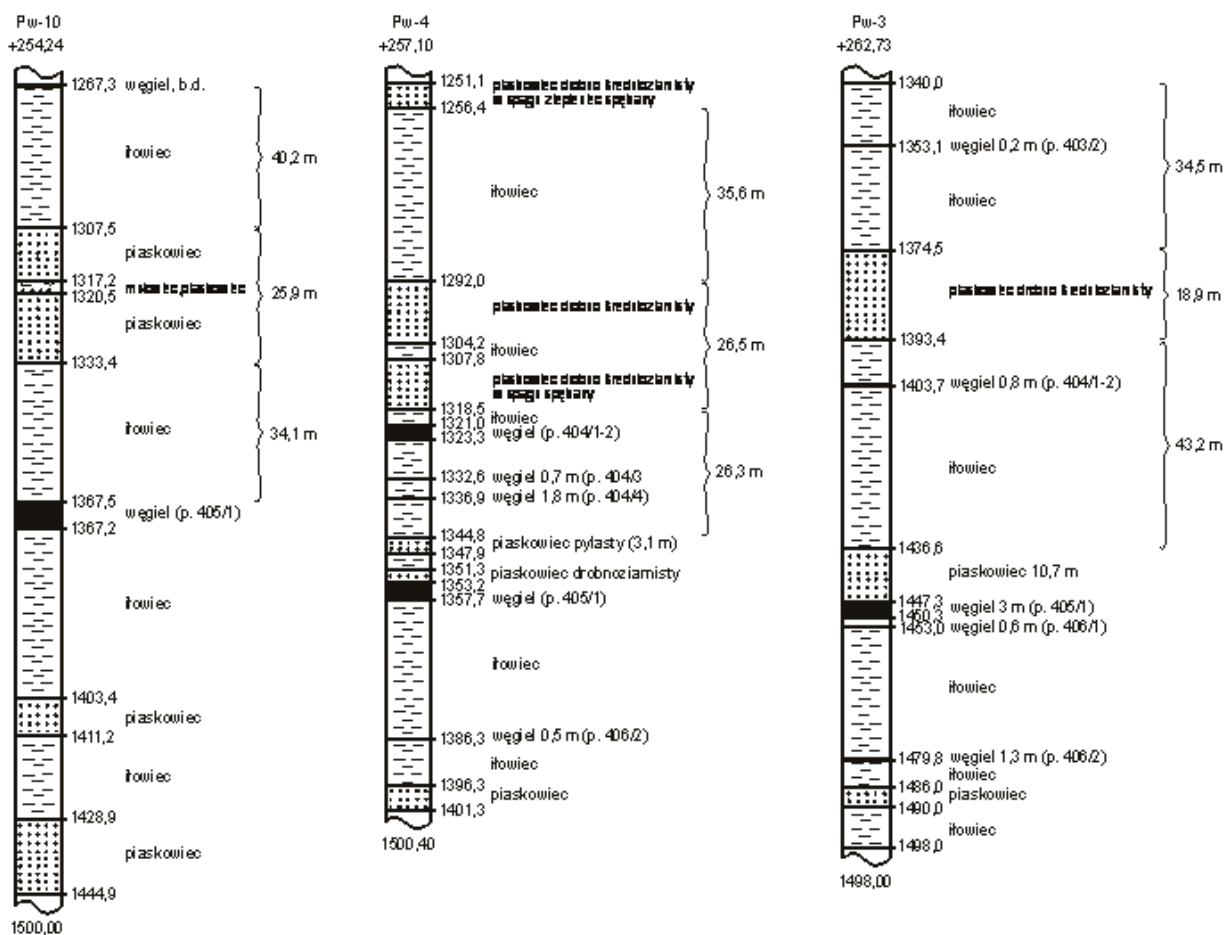


Fig. 1.1.17\_251 Wykształcenie litologiczne utworów w 100-metrowym odcinku w stropie pokładu 405-1

Tab. 1.1.17\_75 Litologia i parametry hydrogeologiczne utworów w stropie składowiska CO<sub>2</sub> w pokładzie 405/1, w rejonie Pawłowice-Mizerów

*Interwał rozpatrywanych warstw: 1382-1281 m*

*Litologia: w rejonie otworu tłoczego CO<sub>2</sub>*

*Parametry hydrogeologiczne: średnie dla obszaru między otworami Pw-3, Pw-4 i Pw-10*

Utwory	Miąższość m	Głębokość m p.p.t.	Porowatość efektywna, %	Przepuszczalność mD
Strop pokładu 405/1	-	1382,0 (-1122,0)	-	-
Piaskowiec	5,0	1377 -1382	8,2	3,0

łowiec i mułowiec	33,0	1344-1377	2,4	<0,1
Piaskowiec	29,0	1315-1344	2,3	1,5
łowiec i mułowiec	34,0	1281-1315	1,6	<0,1

Ciśnienie hydrostatyczne w zawodnionych piaskowcach zalegających w stropie pokładu 405/1 wynosi w przybliżeniu 13,1 MPa (**Tab. 1.1.17\_76**).

**Tab. 1.1.17\_76** Ciśnienie hydrostatyczne wody w stropie pokładu 405/1

Otwór	Głębokość m p.p.t.	Rzędna ustalonego zwierciadła wody m p.p.t.	Ciśnienie wody MPa
PialG-1	1171,00-1600,00	70,80	10,648
	1153,40-1162,30	-	11,61
	1338,00-1396,00	-	13,068
Psz-34	850,00-1050,00	76,90	-

Parametry fizyczne i wytrzymałościowe utworów warstw rudzkich określone w obszarze górniczym sąsiedniej, projektowanej kopalni węgla kamiennego „Pawłowice” przedstawiono w **Tab. 1.1.17\_77** i **Tab. 1.1.17\_78**. Zwraca uwagę:

- niska nasiąkliwość skał,
- niska i średnia porowatość,
- zróżnicowane, mieszczące się w zakresie średnich wartości (skały średnio mocne), wytrzymałość na ściskanie i wytrzymałość na rozciąganie.

Z tego piaskowce wykazują wyższe wartości parametrów wytrzymałościowych, w porównaniu do łowców i mułowców. Klasyfikują się one do skał średnio mocnych i mocnych, według normy Eurocode EC 1997-1.

Badań parametrów wytrzymałościowych warstw siodłowych nie wykonano.

**Tab. 1.1.17\_77** Parametry fizyczne karbońskich utworów warstw rudzkich w złożu Pawłowice-1  
(Dokumentacja 2005)

Rodzaj skały	Gęstość objętościowa t/m <sup>3</sup>	Ciężar wł. kN/m <sup>3</sup>	Nasiąkliwość wagowa %	Porowatość %
łłowce	2,39-2,71	26,086-27,557	0,65-3,31	3-7
Mułowce	2,50-2,63	26,380-27,262	0,84-2,08	3-6
Piaskowce drobno i średnio-ziarniste	2,36-2,69	26,184-28,321	0,65-2,69	2-11

**Tab. 1.1.17\_78** Parametry wytrzymałościowe karbońskich utworów warstw rudzkich w złożu Pawłowice-1  
(Dokumentacja 2005)

Rodzaj skały	Wytrzymałość na ściskanie w stanie naturalnym MPa	Wytrzymałość na rozciąganie w stanie suchym MPa
łłowce	21,726-51,506	2,853-5,160
Mułowce	22,350-58,931	2,644-7,377
Piaskowce drobno i średnioziarniste	27,043-73,572	2,839-16,472

Wyniki badań geofizycznych wykazały występowanie poziomów wodonośnych w piaskowcach:

- pomiędzy pokładami 402/1-405, w otworze WP-15,
- pomiędzy pokładami 401-406/2, w otworze WP-20,
- pomiędzy pokładami 401-403/1, w otworze WP-25.

Wynika z powyższego, że piaskowce zalegające w stropie składowiska w pokładzie 405/1 są zawodnione.

### Składowisko w pokładzie 510

Rozważana jest lokalizacja składowiska między otworami wiertniczymi: Pw-8, WP-3 i WP-12. W rejonie projektowanego składowiska nie jest szczegółowo znana litologia utworów występujących między pokładami 405 i 510. Najbliższe głębokie otwory zlokalizowane są bowiem w odległości ponad 1 km (Pw-11) oraz około 6 km (Stu-IG1).

PIG wyznaczył strop pokładu 510 na głębokości 1519 m, a strop pokładu 405/1, na głębokości 1225 m. Na podstawie profilu otworu Stu-IG-1 stwierdzono, że między pokładami 405/1 i 510 występuje seria utworów iłowcowo-piaszczystych o grubości około 290 m. Piaskowce tworzą warstwy o miąższości od kilku do 19,60 m. Wyniki ich badań laboratoryjnych zamieszczono w **Tab.1.1.17\_79**. Piaskowce wykazują porowatość kwalifikującą się do małej, oraz przepuszczalność charakterystyczną dla skał nieprzepuszczalnych. W rzeczywistości przepuszczalność może być większa, gdyż filtracja wód odbywa się nie tylko przestrzeniami porowymi, ale również systemem szczelin i spękań.

Na podstawie wyznaczonego w ramach tematu 1.1.14 związku statystycznego między głębokością ustalonego zwierciadła wody  $H$ , i głębokością warstwy wodonośnej  $h$ , o postaci

$$H = 0,1141h - 19,086 \quad (3.1)$$

ustalono, że w obszarze zbiornika Pawłowice-Mizerów zwierciadło wody w poziomie wodonośnym zalegającym w stropie pokładu 510, powinno się stabilizować na głębokości około 154,2 m p.p.t.

**Tab. 1.1.17\_79** Wyniki badań laboratoryjnych utworów zalegających między pokładami 405/1 i 510 w otworze StuIG-1.

Głębokość	Porowatość efektywna	Przepuszczalność
m p.p.t.	%	mD
1249	2,02	0,1
1295,7	1,02	0,1
1308	7,06	0,16
1313	3	0,1
1317	3	0,14
1321	3	0,39
1344	2,02	0,1
1356	4	0,1
1362	0,001	0,1



1367	2,58	0,1
1373	0,001	0,1
1386	5	0,1
1392	3,03	0,1
1400	2,06	0,1
1406	5	0,1
1411	5,05	0,1
1430	2,97	0,1
1444	2,97	0,1
1456	2,02	0,1
1471	4	0,1
1485	0,53	0,11
1491	2	0,1
1498	5,5	0,1
1503	3,03	0,1
1522	4,95	0,1

### Wyznaczenie ciśnienia szczelinowania skał w nadkładzie składowisk

Bezpieczeństwo podziemnego zatłaczania dwutlenku węgla wymaga, aby w trakcie iniekcji tego gazu nie doszło do szczelinowania skał zalegających w stropie podziemnego składowiska. Powstałe szczeliny mogą bowiem być drogą migracji (ucieczki) CO<sub>2</sub> ze zbiornika. Z tego względu niezbędne okazało się określenie wartości ciśnienia szczelinowania skał zalegających w nadkładzie obydwóch pokładów. Oszacowano je na podstawie wzorów analitycznych rozwiniętych poniżej. Danymi wyjściowymi były dane zawarte w **Tab. 1.1.17\_75 – Tab. 1.1.17\_79**.

**Określenie ciśnienia szczelinowania skał w nadkładzie składowiska w pokładzie 405/1:**

- wzór na ciśnienie pionowe:

$$\sigma_{pion.} = S - p \quad (3.2)$$

gdzie:  $S$  – ciśnienie geostatyczne, MPa

$p$  – ciśnienie złożowe, MPa

$$S = h \cdot \rho$$

Gdzie:  $h$  – głębokość m,

$\rho$  - ciężar objętościowy skał, N/m<sup>3</sup>

$$\sigma_{pion.} = 1382,0 \text{ m} \cdot 24516,6 \text{ N/m}^3 - (1382,0 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3) = 33,88 - 13,82 = 20,06 \text{ MPa}$$

- wzór Eatona:

$$P_{szcz.} = \sigma_{pion.} \frac{1 - \nu}{1 + \nu} + p \quad (3.3)$$

gdzie:  $P_{szcz.}$  – ciśnienie szczelinowania, MPa

$\nu$  – współczynnik Poissona; wartości przyjęto według Nowakowskiego (2004);

(pozostałe objaśnienia, jak powyżej)

$$P_{szcz.} = 20,06 \text{ MPa} \cdot (0,266/0,734) + 13,82 \text{ MPa} = 21,09 \text{ MPa} \quad \text{- dla piaskowców}$$

$$P_{szcz.} = 20,06 \text{ MPa} \cdot (0,242/0,758) + 13,82 \text{ MPa} = 20,22 \text{ MPa} \quad \text{- dla łowców}$$

- wzór Hubbert'a i Willis'a:

$$P_{szcz.} = (S-p)/3 + p \quad (3.4)$$

$$P_{szcz.} = (33,88 \text{ MPa} - 13,82 \text{ MPa})/3 + 13,82 \text{ MPa} = 20,51 \text{ MPa}$$

(objaśnienia, jak powyżej)

- wzór z wykorzystaniem ciśnienia hydrostatycznego:

$$P_{szcz.} < H \cdot 1,5 \quad (3.5)$$

gdzie:  $H$  – ciśnienie hydrostatyczne (wysokość słupa wody), MPa

$$P_{szcz.} = 13,1 \text{ MPa} \cdot 1,5$$

$$P_{szcz.} < 19,65 \text{ MPa}$$

Wyniki obliczeń przedstawionymi wzorami wskazują na zbliżone wartości ciśnienia szczelinowania skał zalegających w nadkładzie pokładu 405/1. W dalszych badaniach modelowych uwzględniono jego najniższą wartość, to jest 19,65 MPa.

### ***Określenie ciśnienie szczelinowania skał w nadkładzie składowiska w pokładzie 510***

Dla nadkładu pokładu 510 najniższą wartość ciśnienia szczelinowania określono według wyżej przedstawionych metod, na 20,46 MPa. Oznacza to, że ciśnienie zatłaczania CO<sub>2</sub> do pokładów węgla musi być mniejsze, od przytoczonych powyżej wartości, aby nie dopuścić do rozszczelnienia górotworu w nadkładzie składowiska CO<sub>2</sub>.

### **Wyniki zatłaczania CO<sub>2</sub> do pokładów węgla**

Jak wspomniano powyżej, w pracy analizowano możliwość zatłaczania dwutlenku węgla do obydwóch pokładów w okresie 1 roku. Ciśnienie zatłaczania dobrano w ten sposób, aby nie przekraczało ciśnienia szczelinowania wyżej zalegającej warstwy piaskowców.

#### ***Pokład 405/1***

Na podstawie opracowanych modeli przy wykorzystaniu programu Petrasim stwierdzono zasięg występowania dwutlenku węgla w matrycy węglowej pokładu 405/1; przedstawiono go na **Fig. 1.1.17\_252**. Ilość zatłaczanego CO<sub>2</sub> do pokładu 405/1 wyniosła około 176 tys. ton, przy ciśnieniu zatłaczania 17,5 MPa. Stwierdzono, iż zasięg chmury CO<sub>2</sub> w matrycy węglowej wyniesie od 140 na północ do 230 m na południe od otworu iniekcyjnego. Osiągnięte, maksymalne stężenie zatłoczonego dwutlenku węgla utrzyma się w okresie 5 lat na niezmiennym poziomie.

Stwierdzono również, iż zatłaczany dwutlenek węgla wypełni 5-metrową warstwę piaskowców zalegających bezpośrednio w stropie pokładu 405/1, co przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_253**. Oznacza to, że warstwa piaskowców, stanowiąca poziom wodonośny, będzie również kolektorem CO<sub>2</sub>. Nasylenie piaskowców

dwutlenkiem węgla w kierunkach: N, S, W i E zaznaczy się w odległości od 120 w kierunku na północ do 260 m w kierunku na południe od otworu iniekcyjnego. Największe stężenie stwierdzono w najbliższym sąsiedztwie otworu. W odległości do 60 m od otworu nasycenie warstwy CO<sub>2</sub> przekracza 90% i ze wzrostem odległości maleje. Jednocześnie stwierdzono, że chmura CO<sub>2</sub> będzie się najszybciej rozprzestrzeniała w kierunku wzniosu pokładu, to jest w kierunku na S i W, i jednocześnie najwolniej w kierunku jego upadu, czyli na N.

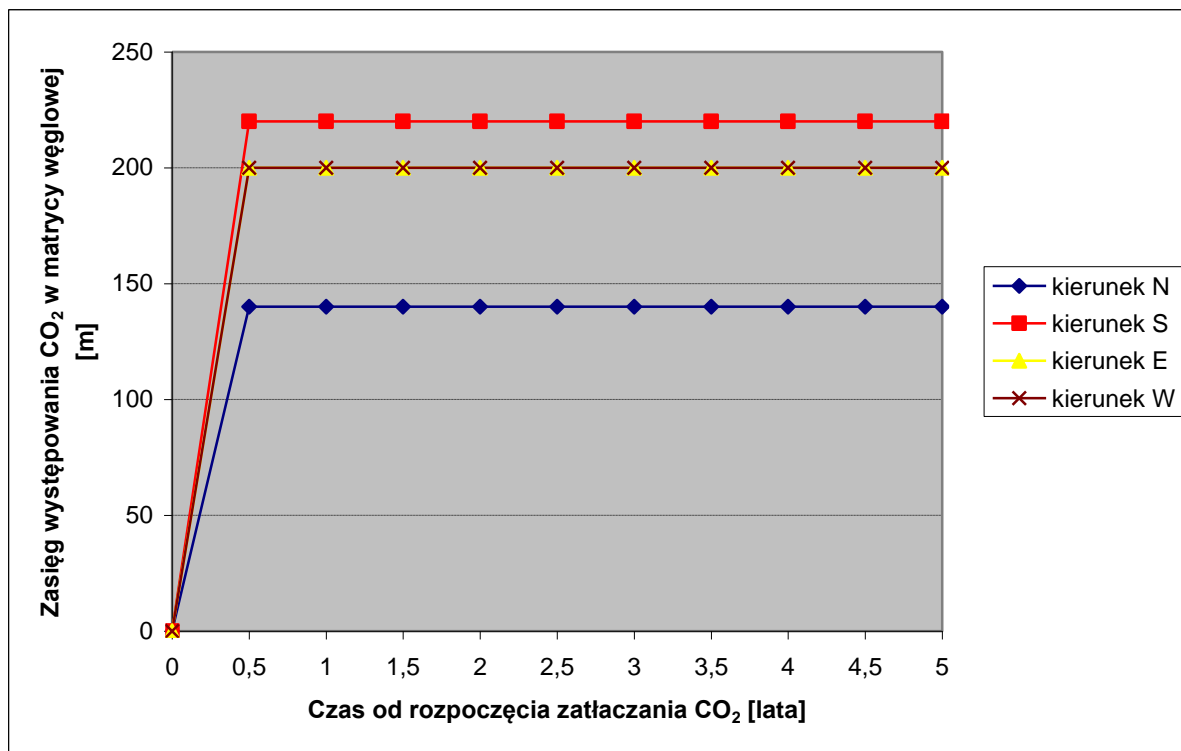


Fig. 1.1.17\_252 Zasięg oraz zmiany nasycenia matrycy węglowej dwutlenkiem węgla w pokładzie 405/1 w czasie

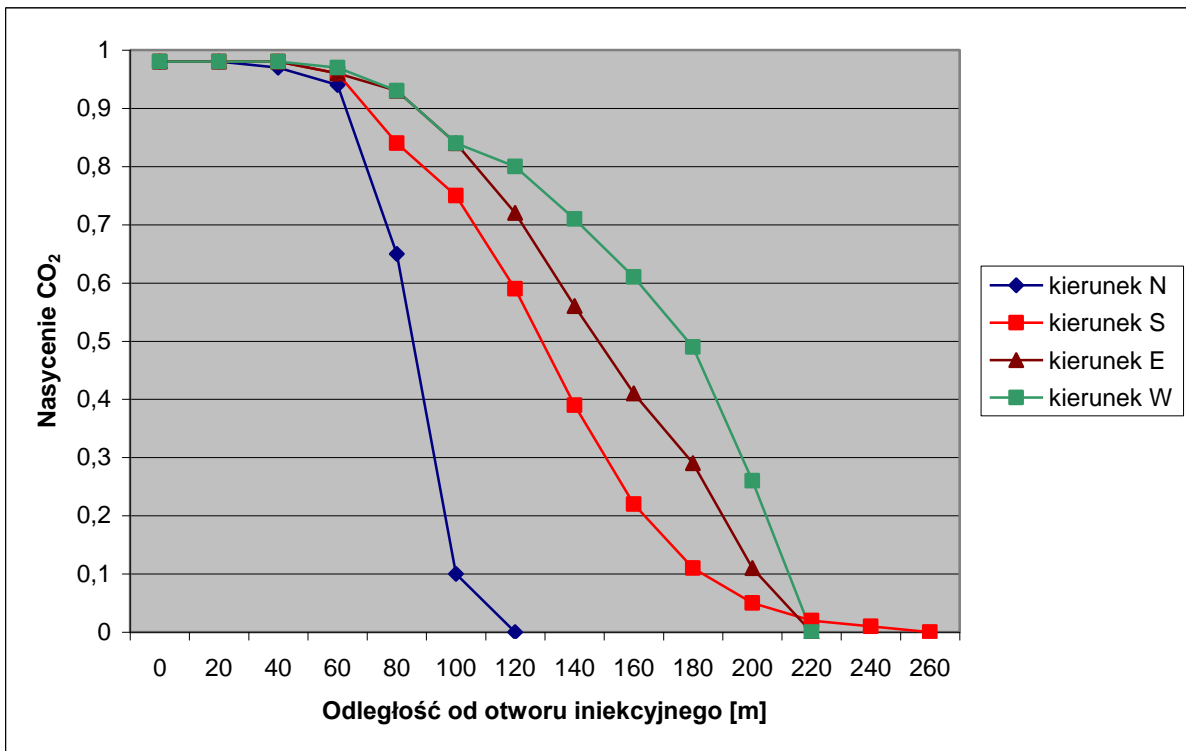


Fig. 1.1.17\_253 Nasylenie dwutlenkiem węgla warstwy piaskowca (5 m od stropu pokładu 405/1)

### Pokład 510

Wyniki badań modelowych wykazały, że do pokładu 510 będzie można zatłoczyć jednym otworem iniekcyjnym około 177 tys. ton CO<sub>2</sub> w ciągu jednego roku, pod ciśnieniem 18,0 MPa. Chmura zatłoczonego dwutlenku węgla będzie się rozchodziła w matrycy węglowej, osiągając po 3,5 roku maksymalny zasięg równy 140 m (w kierunkach na W i E) oraz 100 m i 80 m (w kierunkach N i S) od otworu iniekcyjnego (Fig. 1.1.17\_254).

Stwierdzono również, iż zatłaczany dwutlenek węgla wypełni 10-metrową warstwę piaskowców zalegających w stropie pokładu 510, co przedstawiono na Fig. 1.1.17\_255. Oznacza to, że warstwa piaskowców będzie również kolektorem CO<sub>2</sub>. Nasylenie piaskowców dwutlenkiem węgla w kierunkach: N, S, W i E zaznaczy się w odległości od 120 do 220 m od otworu iniekcyjnego. Przy tym największe stężenie stwierdzono w najbliższym sąsiedztwie otworu, gdzie wynosi 70%. Ze wzrostem odległości stężenie będzie malało. W odległości 60 m od otworu nasylenie warstwy CO<sub>2</sub> wyniesie 35-50%. Chmura CO<sub>2</sub> będzie się najszybciej rozprzestrzeniała w kierunku W-E.

Przedstawione powyżej wyniki wskazują, że zasięg CO<sub>2</sub> w piaskowcach zalegających bezpośrednio w stropie składowisk w pokładach 405/1 i 510 będzie zbliżony do zasięgu w matrycy węglowej. Świadczy to o potrzebie wyprzedzającego szczelinowania pokładów węgla celem polepszenia ich parametrów zbiornikowych i utworzenia głównego składowiska w węglu.

Należy jednak zauważyć, że migrację CO<sub>2</sub> do warstw piaskowców zalegających bezpośrednio w stropie pokładów węgla stanowiących składowiska, nie należy jednoznacznie oceniać jako zjawisko negatywne. Piaskowce powiększą potencjał magazynowania CO<sub>2</sub> w głęboko zalegających seriach skalnych.

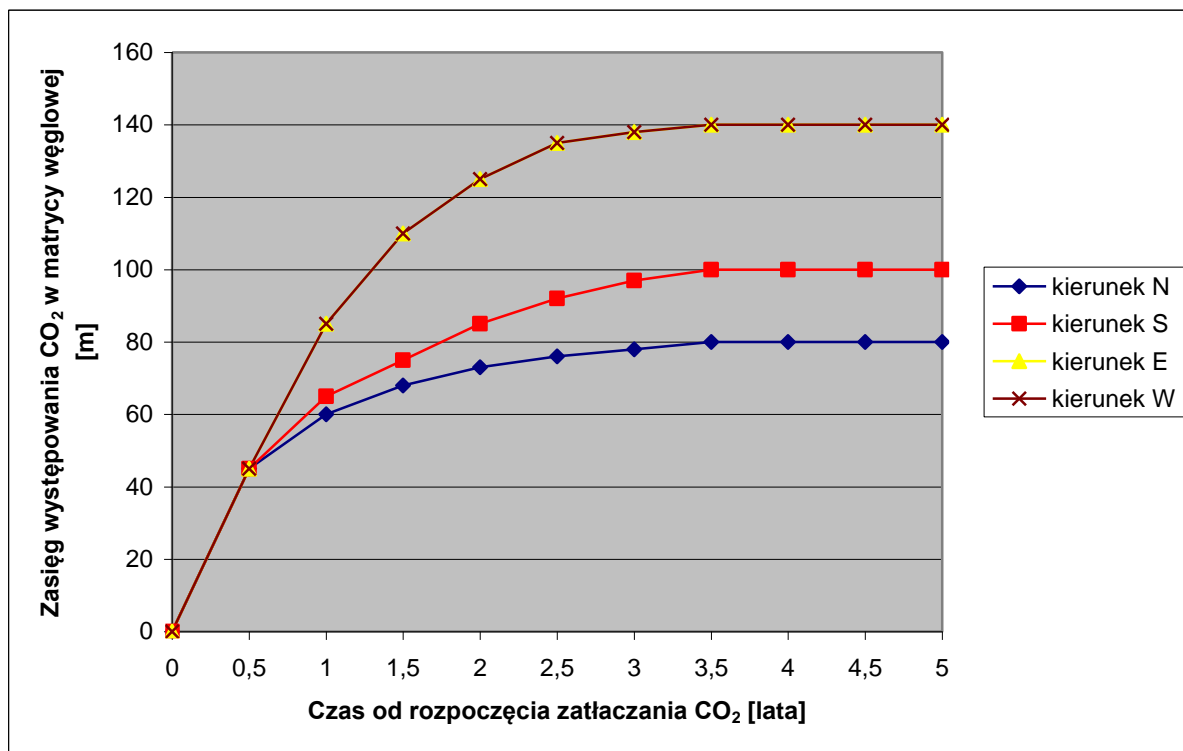


Fig. 1.1.17\_254 Zasięg oraz zmiany nasycenia matrycy węglowej dwutlenkiem węgla w pokładzie 510 w czasie

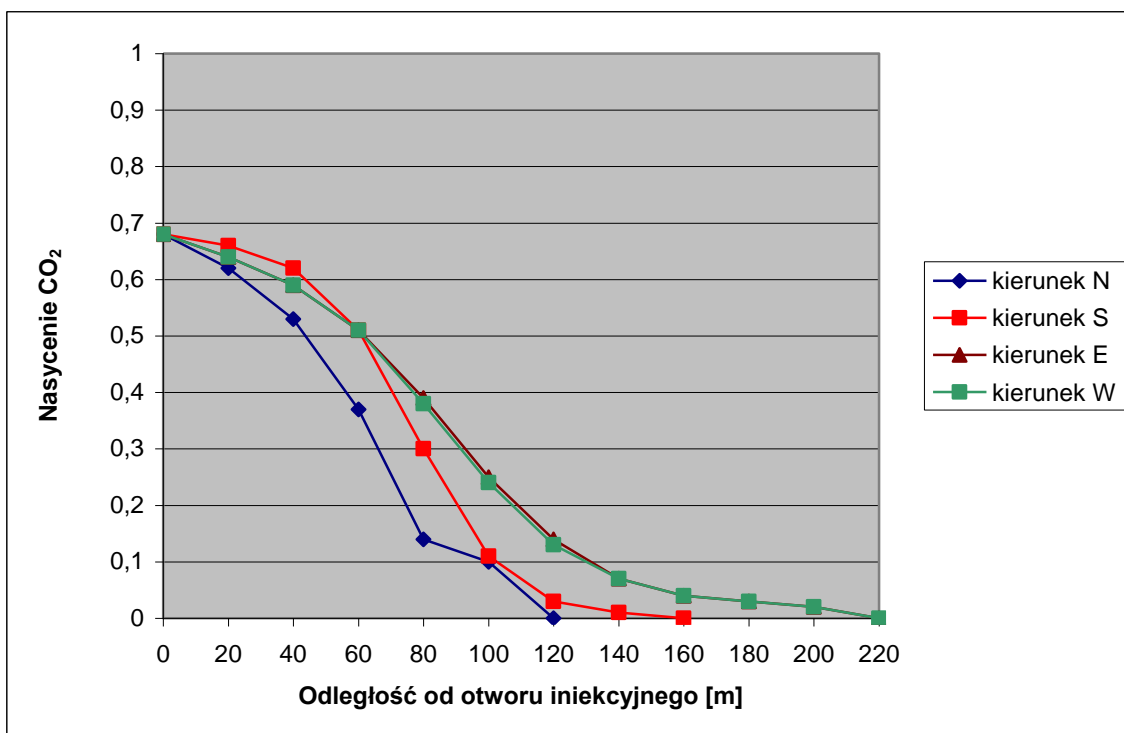


Fig. 1.1.17\_255 Nasylenie dwutlenkiem węgla warstwy piaskowców (10 m od stropu pokładu 510).

#### **Analiza zmian ciśnienia w stropie składowiska w pokładzie 405/1**

Jak stwierdzono wcześniej, zatłaczanie CO<sub>2</sub> do pokładu węgla spowoduje jego migrację do lokalnej warstwy piaskowców zalegających bezpośrednio w jego stropie. W związku z tym zasadne okazało się przeprowadzenie analizy zmiany ciśnienia medium wodno-gazowego w tej warstwie. Odpowiedzi dostarczył model cyfrowy warstwy piaskowców zalegających w stropie pokładu 405/1, opracowany przy wykorzystaniu programu Tough-2. Analizowano zmiany ciśnienia rejonie składowiska w kierunku W-E. Wyniki przedstawiono na **Fig. 1.1.17\_256**.

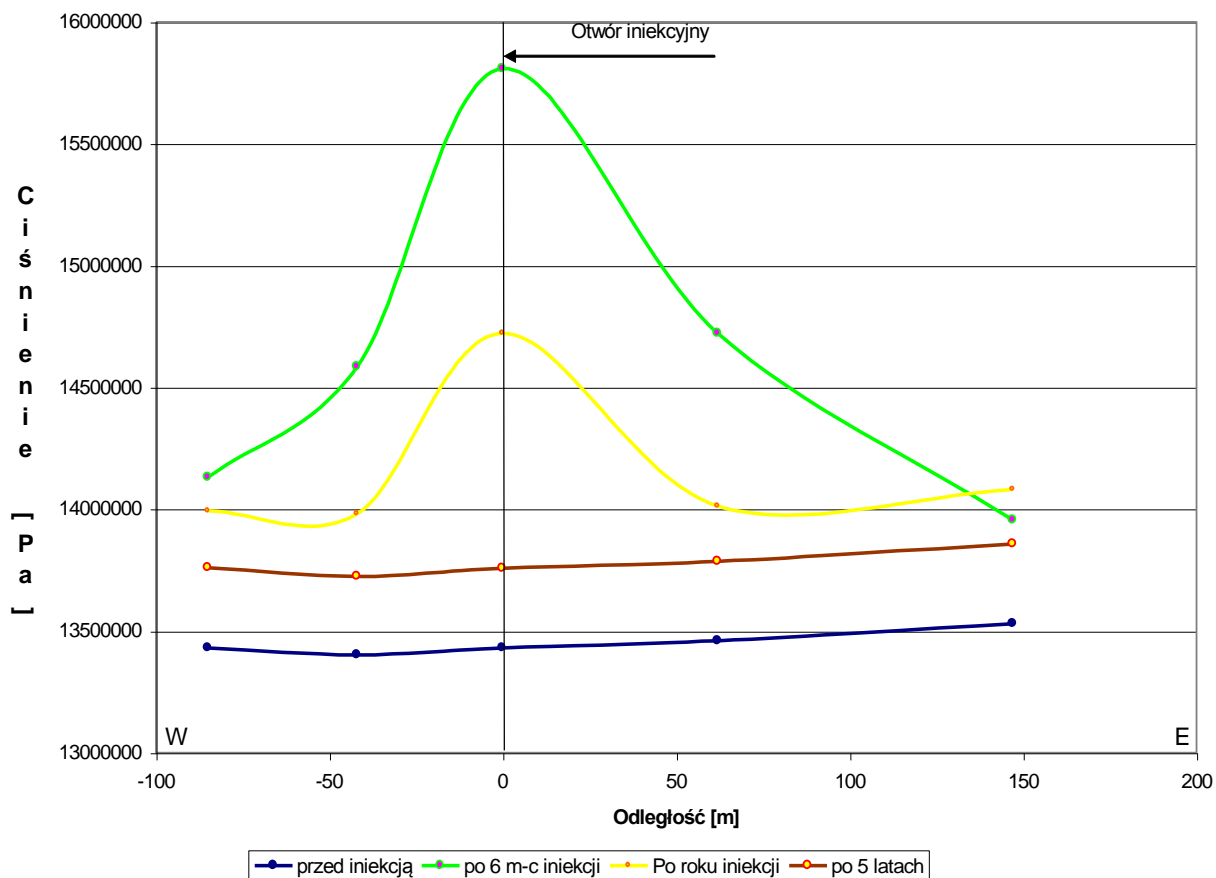
Wyniki badań modelowych wykazały, że po 6 miesiącach zatłaczania dwutlenku węgla do pokładu, ciśnienie w wyżej zalegającej warstwie piaskowców, w rejonie otworu iniekcyjnego, wzrośnie z pierwotnej wartości około 13,6 MPa do 15,8 MPa. Po 1 roku zmniejszy się do 14,7 MPa, a po 5 latach do 13,7 MPa. Stwierdzono również, że ze wzrostem odległości od otworu iniekcyjnego, wytworzone nadciśnienie będzie się zmniejszało. Przykładowo, po 6 miesiącach w odległości 150 m na E od otworu wyniesie zaledwie 13,95 MPa. Wskazuje to, że promień stożka nadciśnienia w rejonie pojedynczego otworu iniekcyjnego powinien wynosić około 200 m.

Stwierdzone obniżanie się nadciśnienia w czasie, w rejonie otworu tłoczego, może wskazywać na przemieszczanie się chmury CO<sub>2</sub> w warstwie piaskowców. Największych zmian należy oczekiwać w pierwszym roku, to jest okresie zatłaczania gazu; po 1 roku będą mniejsze. Po 5 latach w piaskowcach

utrzyma się niewielkie nadciśnienie, około 0,3 MPa wyższe, w porównaniu do pierwotnego ciśnienia złożowego. Ponieważ poziom wodonośny w piaskowcach jest poziomem otwartym w kierunku horyzontalnym, to znaczy nie jest związany ze strukturą geologiczną zamkniętą, dlatego istniejące po 5 latach nadciśnienie może wskazywać na:

- 1) niezakończony proces wyrównywania ciśnień;
- 2) możliwość dalszego, niewielkiego wzrostu zasięgu składowiska.

Wyniki badań wskazują ponadto, iż maksymalne nadciśnienie wytworzone w piaskowcach (15,8 MPa) będzie mniejsze od oszacowanego ciśnienia szczelinowania tych skał (19,65 MPa). Wskazuje to, że przy założonym ciśnieniu iniekcji CO<sub>2</sub> do pokładu węgla, wyżej zalegające piaskowce nie zostaną rozszczelnione. Przyjęte parametry zatłaczania CO<sub>2</sub> będą więc bezpieczne dla skał zalegających w nadkładzie składowiska.



**Fig. 1.1.17\_256** Zmiany ciśnienia w piaskowcach zalegających w stropie pokładu 405/1 na skutek zatłaczania dwutlenku węgla do pokładu.



## **Analiza wpływu składowania CO<sub>2</sub> na poziomy wodonośne**

Podziemne składowiska dwutlenku węgla mogą oddziaływać na środowisko naturalne. Skala oddziaływania będzie zależeć od parametrów zatłaczania gazu oraz od wielkości składowiska.

### **Analiza wpływu na powierzchnię terenu, poziomy wodonośne w nadkładzie oraz uskoki**

Bezpieczeństwo podziemnego składowania dwutlenku węgla zależy od nieprzepuszczalnego charakteru utworów zalegających w jego nadkładzie. Wyniki badań polowych i laboratoryjnych utworów karbońskich i mioceńskich zalegających w stropie rozważanych składowisk CO<sub>2</sub> wykazały współczynnik przepuszczalności ilastych utworów poniżej 0,1 mD. Część wyników wykazała nawet przepuszczalność równą 0,001 mD. W klasyfikacji hydrogeologicznej przepuszczalność poniżej 1 mD jest charakterystyczna dla skał nieprzepuszczalnych (Pazdro 1977).

Mimo braku danych dotyczących przepuszczalności ilastego kompleksu dla gazu – przekonujący dowód o szczelności skał karbońskich i mioceńskich dostarcza występujące w odległości około 10 km od rozważanych składowisk, złoża gazu ziemnego Dębowiec Śląski. Złoże występuje w utworach mioceńskich, na głębokości około 450 m p.p.t. Jego istnienie wskazuje na całkowitą szczelność pokrywy ilastej.

Ocenia się, że rozważane składowiska CO<sub>2</sub> w pokładach węgla kamiennego 405/1 i 510 nie będą wywierały negatywnego wpływu na powierzchnię terenu, ani na górnokarboński użytkowy poziom wód podziemnych Q/II (Rejon Małej Wisty), jak również na poziomy w czwartorzędowym piętrze wodonośnym. Nie dotyczy to jednak podziemnego składowania z wyprzedzającym szczelinowaniem górotworu.

W przypadku wyprzedzającego szczelinowania pokładów węgla kamiennego, proces zatłaczania CO<sub>2</sub> musi być na bieżąco monitorowany celem niedopuszczenia do migracji gazu w kierunku powierzchni.

W odniesieniu do uskoków - wyniki dotychczasowych obserwacji prowadzonych w wyrobiskach górniczych sąsiednich kopalń „Morcinek” i „Pniówek” wykazały, że uskoki występujące w górotworze karbońskim na głębokości poniżej 1100 m p.p.t. są zasadniczo nieprzepuszczalne dla wody (Dokumentacje 1998 a,b).

### **Analiza wpływu na poziomy wodonośne w rejonie projektowanej kopalni węgla kamiennego „Pawłowice”**

W obszarze projektowanej kopalni „Pawłowice” udokumentowano zasoby węgla w 17 pokładach grupy 300 oraz w 7 pokładach grupy 400 (Dokumentacja 2005). W odniesieniu do grupy 400, to jest najbliższych rozważanemu składowisku, dotyczyło to pokładów: 401/1, 403/1, 403/3, 404/1, 404/2, 404/3 i 405/1. W dokumentacji złoża nie przesądzono o wyborze pokładów do eksploatacji, jednak nie można wykluczyć, że wszystkie będą wybierane. Rodzi to obawy o bezpieczeństwo składowania CO<sub>2</sub>, jak również o bezpieczeństwo podziemnej eksploatacji węgla. Dotyczy to zwłaszcza pokładów 405/1 i 404/1-3. Odległość

rozważanych składowisk (przy 1-rocznym zatłaczaniu) od wschodniej granicy obszaru górniczego kopalni wynosi bowiem 0,5-3,4 km, co zobrazowano na **Fig. 1.1.17\_250**.

**Oddziaływanie składowiska w pokładzie 405/1 na eksploatację w pokładzie 405/1 w kopalni „Pawłowice”**

Eksploatacja złoża węgla będzie się wiązała z wytworzeniem szczelin zawałowych nad eksploatowanym pokładem. Szczeliny ułatwią migrację wód w górotworze. Z dotychczasowych obserwacji w górotworze karbońskim w GZW wynika, że pionowy zasięg wodoprzewodzących szczelin zaznaczy się na odległość  $40 \cdot g$ , gdzie:  $g$  – grubość eksploatowanego pokładu węgla (Rogoż 1987). Dane zawarte w **Tab. 1.1.17\_80** wskazują, że wszystkie pokłady grupy 400 w projektowanej kopalni „Pawłowice” i przedzielające je utwory płone będą objęte zasięgiem wodoprzewodzących szczelin. Będzie to jeden układ hydrauliczny, który może ułatwić ewentualną migrację CO<sub>2</sub> ze składowiska do wyrobisk górniczych.

Brak danych dotyczących przewidywanej eksploatacji górniczej w grupie pokładów 300 nie pozwala wyznaczyć zasięgu szczelin w wyższych seriach skalnych. Jednak, mając na uwadze grubości pokładów, można przewidywać, że szczeliny będą sięgały od stropu pokładu 405 do spągu pokładu 357/1-2, czyli na odcinku 265 m. Powyżej pokładu 357/1-2 stwierdzono bowiem wiązkę pokładów o miąższości poniżej 1 m – które mogą nie być eksploatowane; będą one tym samym stanowiły fragment nienaruszonego górotworu o charakterze izolacyjnym.

**Tab. 1.1.17\_80** Zasięg wodoprzewodzących szczelin w pokładach węgla grupy 400 w projektowanej kopalni „Pawłowice”.

Pokłady węgla kamiennego	Odległość między pokładami	Zasięg wodoprzewodzących szczelin w stropie niższego pokładu
	m	m
405/1 - 404/3	35,3	162,0
- 404/1-2	7,1	46,0
- 403/3	49,2	48,0
- 403/1	15,5	44,0
- 401/1	46,7	52,0
- 361	24,7	52,0

Wynikiem eksploatacji górniczej będzie również odwodnienie piaskowców oraz wytworzenie leja depresji w karbońskim piętrze wodonośnym. W zasięgu leja wody podziemne będą doływały do wyrobiska górniczego stanowiącego podstawę drenażu. Zasięg leja można wyznaczyć ze wzoru Dupuit :

$$I_g R = 2,73 \frac{kms}{Q} + I_g r_0 \quad (3.6)$$

gdzie:  $R$  - promień leja depresji

$k$  - współczynnik filtracji

$m$  – miąższość warstwy wodonośnej

$s$  – wytworzona depresja zwierciadła wody

$Q$  – przewidywany dopływ wód do wyrobisk górniczych

$r_0$  – promień zastępczy wyrobisk górniczych.

W pierwszym podejściu w obliczeniach promienia leja depresji założono, że przedmiotem eksploatacji będzie jedynie pokład 405/1. Do obliczenia promienia „ $R$ ” przyjęto następujące dane wyjściowe:

$m = 44,4$  m (średnia w rejonie otworów Pw-3, Pw-4 i Pw-10);

$k = 1 \cdot 10^{-7}$  m/s (średnia dla 162-metrowego interwału wodoprzewodzących szczelin w stropie pokładu 405/1);

$s = 50$  m;

$Q = 0,004$  m<sup>3</sup>/s (według Dokumentacji 2005 dla docelowego rozcięcia złoża na poziomach eksploatacyjnych 1140 m i 1300 m);

$r_0 = 2000$  m (dla docelowego zasięgu eksploatacji górniczej).

Dla docelowej powierzchni eksploatacji uzyskano promień leja depresji równy 2600 m. Oznacza to, że rozważane składowisko CO<sub>2</sub> w pokładzie 405/1 znajdzie się w bliskiej odległości wytworzonego leja depresji. Różnica odległości wyniesie zaledwie 3,4-2,6=0,8 km. W rzeczywistości:

1/ promień leja może być większy, bo w kopalni „Pawłowice” eksploatowane będą również wyżej zalegające pokłady węgla;

2/ składowanie dwutlenku węgla może być prowadzone dłużej, niż 1 rok, i wówczas zasięg składowiska powiększy się, i tym samym zmniejszy się dystans do wyrobisk górniczych. Oznacza to, że przy takiej lokalizacji obydwóch przedsięwzięć istnieje możliwość przedostania się dwutlenku węgla ze składowiska w pokładzie 405/1 do wyrobisk górniczych projektowanej kopalni „Pawłowice”.

### ***Oddziaływanie składowiska w pokładzie 405/1 na eksploatację w pokładzie 404/3 oraz wyższych w kopalni „Pawłowice”***

W przypadku, gdyby pokład 405/1 nie był eksploatowany w obszarze kopalni „Pawłowice”, wówczas można przewidywać, iż najbliższe roboty górnicze będą dotyczyły pokładów:

- 404/3 o miąższości 1,0 m;
- 404/1 o miąższości 1,15 m;
- 404/2 o miąższości 1,0 m.

Między pokładami 405/1 i 404/3 występuje seria piaskowców o miąższości średnio 5 m oraz iłowców o miąższości 28,1 m. Warstwa iłowców o miąższości 28,1 m nie stanowi **wystarczającej izolacji** dla ewentualnego przedostania się dwutlenku węgla ze składowiska w pokładzie 405/1 i jego migracji do wyrobisk górniczych w pokładzie 404/3, a następnie do wyrobisk wyżej zalegających pokładów węgla.

### ***Oddziaływanie składowiska w pokładzie 510 na eksploatację w pokładzie 405/1 oraz wyższych w kopalni „Pawłowice”***

Składowisko dwutlenku węgla w pokładzie 510 nie będzie oddziaływało na roboty górnicze w tym pokładzie, bowiem nie są one w nim przewidziane. Pokład ten zalega na zbyt dużej głębokości i nie jest przewidziana jego eksploatacja. Składowisko to może jednak oddziaływać na eksploatację górniczą w pokładzie 405/1 oraz wyższych.

Między pokładami 510 i 405/1 zalega seria utworów piaszczysto-ilastych o miąższości 290 m. W tym rejonie nie jest znany szczegółowo profil litologiczny, jednak można przewidywać, że udział piaskowców sięgnie w nim około minimum 30%. Ich łączna miąższość wyniesie zatem około 87 m. Przez analogię do otworu StuIG-1 można wnosić, że będą to piaskowce średnioziarniste oraz zlepieńce. Ich porowatość może sięgać 7,06% (**Tab. 1.1.17\_79**).

Wykształcenie litologiczne utworów między pokładami 510 i 405/1, znaczna miąższość piaskowców oraz bliska odległość składowiska do granicy obszaru górniczego kopalni „Pawłowice” wynosząca około 0,5 km, nie gwarantują bezpieczeństwa dla robót górniczych w projektowanej kopalni.

### ***Analiza wpływu na poziomy wodonośne w rejonie czynnej kopalni węgla kamiennego „Pniówek”***

Projektowana kopalnia „Pawłowice” sąsiaduje od zachodu z obszarem górniczym kopalni „Pniówek”. Kopalnia ta prowadzi eksploatację złoża węgla kamiennego na poziomach wydobywczych: 705 m, 830 m i 1000 m. Odległość horyzontalna obszaru górniczego kopalni „Pniówek” wynosi:

- od granicy składowiska w pokładzie 510, 4 km;
- od granicy składowiska w pokładzie 405/1, 7,5 km.

Z kolei odległość wertykalna między składowiskiem w pokładzie 510 i robotami podziemnymi na poziomie 1000 m wynosi około:  $1560 - 1100 = 460$  m.

Istniejące odległości między eksploatacją górniczą i rozważanymi składowiskami są niewielkie. Ewentualne zagrożenie ze strony składowiska w pokładzie 405/1 ocenia się jako mniejsze, w porównaniu do składowiska w pokładzie 510.

Analiza możliwego oddziaływania obydwóch składowisk na eksploatację prowadzoną i przewidywaną w najbliższych latach w kopalni „Pniówek” musi być przedmiotem dodatkowych szczegółowych badań. Dotychczas rozważano jedynie zasięg składowisk przy zatłaczaniu stosunkowo niewielkiej ilości CO<sub>2</sub>, przez okres 1 roku. Ocenia się, że przy takiej ilości utworzone składowisko (którego powierzchnia wynosi około 0,2 km<sup>2</sup>) nie będzie negatywnie oddziaływało na eksploatację w kopalni „Pniówek”. Jednak w przypadku przemysłowego zatłaczania CO<sub>2</sub>, powierzchnia składowiska będzie większa. W zależności od docelowej wielkości składowiska, może ono stanowić zagrożenie dla wyrobisk górniczych kopalni „Pniówek”.

## Podsumowanie

1. W opracowaniu analizowano możliwość zatłaczania do pokładów 405/1 i 510 stosunkowo niewielkiej ilości dwutlenku węgla, to jest odpowiednio 176 tysięcy i 177 tysięcy ton, przez okres 1 roku. Przyjęto ciśnienie zatłaczania 17,5 MPa i 18,0 MPa – to jest poniżej oszacowanego *ciśnienia szczelinowania* skał zalegających w stropie wymienionych pokładów.
2. Na podstawie opracowanych modeli zatłaczania przy wykorzystaniu programu Petrasim stwierdzono, że zasięg CO<sub>2</sub> w matrycy węglowej będzie wynosił w zależności od kierunku, od 140 m do 230 m od otworu iniekcyjnego; chmura ta będzie się szybciej rozchodziła w kierunku na S, to jest wzniosu pokładu. Po zatłoczeniu, zasięg chmury CO<sub>2</sub> utrzyma się na niezmiennym poziomie przez okres 4 lat.

Zatłoczony dwutlenek węgla przedostanie się również do 5-metrowej warstwy piaskowców zalegającej w stropie pokładu 405/1. Chmura CO<sub>2</sub> obejmie swoim zasięgiem obszar o promieniu od 120 do 260 m od otworu iniekcyjnego. Na odcinku do 60 m od niego, nasycenie warstwy wodonośnej przekroczy 90%. Wraz z odległością od otworu nasycenie warstwy będzie malało.

Zasięg występowania dwutlenku węgla w matrycy węglowej pokładu 510 wyniesie 80-140 m. Gaz wypełni również 10 metrową warstwę zawadzonego piaskowca w stropie. Będzie on występował w odległości od 120 do 220 m od otworu.

Wyniki badań modelowych wykazały, że zasięg CO<sub>2</sub> w piaskowcach zalegających bezpośrednio w stropie pokładów 405/1 i 510 będzie porównywalny do zasięgu w matrycy węglowej. Świadczy to o potrzebie wyprzedzającego szczelinowania pokładów celem polepszenia parametrów zbiornikowych węgla.

3. Na podstawie modelu opracowanego przy wykorzystaniu programu Tough-2 stwierdzono, że w wyniku zatłaczania CO<sub>2</sub> do pokładu 405/1 wytworzy się stożek nadciśnienia. Obejme on swoim zasięgiem warstwę piaskowców zalegającą w stropie. Maksymalne nadciśnienie w piaskowcach zaznaczy się po 6 miesiącach iniekcji CO<sub>2</sub> i wyniesie ono 15,8 MPa; po 5 latach obniży się do 13,7 MPa. Promień stożka po 1 roku zatłaczania CO<sub>2</sub> wyniesie około 200 m. Wytworzone w piaskowcach nadciśnienie będzie mniejsze od wyznaczonego ciśnienia ich szczelinowania. Wskazuje to, że iniekcja CO<sub>2</sub> nie spowoduje rozszczelnienia nadkładu składowiska.
4. Na podstawie obserwacji regionalnych przepuszczalności karbońskiego i mioceńskiego kompleksów ilastych w nadkładzie składowisk, oraz ze względu na brak danych *in situ*, założono, że zatłaczany dwutlenek węgla nie będzie migrował w wyższe partie górotworu. Na izolacyjny charakter kompleksów ilastych występujących w południowej części GZW wskazuje m.in. obecność pobliskiego (odległość około 10 km) złoża gazu ziemnego Dębowiec Śląski.
5. Rozważane składowiska w pokładach 405/1 i 510 nie będą negatywnie oddziaływały na powierzchnię, poziomy wodonośne w ich nadkładzie oraz na uskoki.

6. W przypadku, gdyby we wskazanych rejonach miały być tworzone przemysłowe składowiska dwutlenku węgla, wówczas:
- Składowiska w pokładach 405/1 i 510 będą negatywnie oddziaływać na eksploatację górniczą w projektowanej kopalni węgla kamiennego „Pawłowice”. Składowiska znajdują się bowiem w zasięgu leja depresji tej kopalni, co może skutkować migracją gazu do wyrobisk górniczych;
  - W zależności od docelowej wielkości składowiska w pokładzie 510, nie można również wykluczyć jego oddziaływania na eksploatację w czynnej kopalni węgla „Pniówek”.

## Ocena i kwantyfikacja ryzyka związanego ze składowaniem CO<sub>2</sub> w pokładach węgla w rejonie Pawłowice-Mizerów

### Analiza i ocena ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w pokładach węgla

Ryzyko związane z geologicznym składowaniem dwutlenku węgla można określić jako zależność prawdopodobieństwa oraz skutków wycieku CO<sub>2</sub> z formacji geologicznej w określonych przedziałach czasu i konsekwencji tego wycieku dla środowiska naturalnego, zdrowia i bezpieczeństwa ludzi (wzór nr 1).

$$R = f(P, S) \quad [1]$$

gdzie:

R – ryzyko

P – prawdopodobieństwo

S – skutki

Ocenę ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> należy prowadzić w 3 podstawowych etapach:

4. identyfikacja zagrożeń
5. oszacowanie ryzyka
6. ustalenie rankingu ocen ryzyka

W niniejszym opracowaniu do oceny ryzyka wykorzystany został ranking zagrożeń zaproponowany przez Lepinski J. (Jim Lepinski, 2010) będący wynikiem realizacji projektu departamentu Energii USA, DE-FE0001112. Według autorów wspomnianej pracy w ryzyko geologicznego składowania CO<sub>2</sub> można zdefiniować jako iloraz trzech parametrów, tj. P - prawdopodobieństwo awarii, S - Ciężkość następstw, D - Możliwość wykrycia (wzór nr 2). Każdemu z parametrów przypisana została odpowiednia ranga w zakresie od 1-5. Materiał ten był podstawą opracowania odrębnej interpretacji, która przedstawiona została w **Tab. 1.1.17\_77a – Tab. 1.1.17\_77c**.

$$\text{Ryzyko} = P \times S \times D \quad [2]$$

gdzie:

P = prawdopodobieństwo awarii

S = Ciężkość następstw

D = Możliwość wykrycia



**Tab. 1.1.17\_81a** Parametry oceny ryzyka. Prawdopodobieństwo.

Ranga	Prawdopodobieństwo P (1-5)
5	Bardzo prawdopodobne –ponad 75% możliwość wystąpienia zagrożenia*
4	Prawdopodobne – możliwość wystąpienia zagrożenia między 51 a 75% *
3	Możliwe – możliwość wystąpienia zagrożenia 11do 50% *
2	Mało prawdopodobne – od 1 do10% *
1	Nieprawdopodobne – poniżej 1 % *

*\*Od momentu zatłaczania do 50 lat po zakończeniu.*

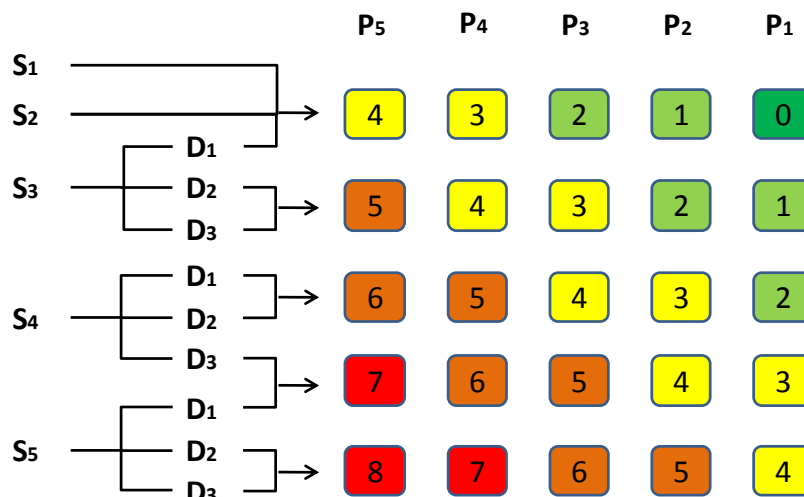
**Tab. 1.1.17\_81b** Parametry oceny ryzyka. Ciężkość następstw.

Ranga	Ciężkość następstw S (1-5)
5	Katastrofa – zamieranie elementów ekosystemu na dużym obszarze. Koszty powyżej 50 mln \$. Zamknięcie projektu
4	Poważne - zamieranie elementów ekosystemu na małym obszarze. Straty w zakresie od 5 mln \$ do 50 mln \$. Opóźnienie w realizacji projektu ponad 1 rok
3	Znaczące – powodujące stałe uszkodzenia. Straty materialne w zakresie od 500 tys \$ do 5 mln \$. Opóźnienie w realizacji projektu ponad 1 miesiąc. Zawieszenie zezwolenia na składowanie. Ewakuacja okolicy
2	Umiarkowane – powodujące czasowe uszkodzenia. Koszty w zakresie 50 tys. – 500 tys. \$. Opóźnienie w realizacji projektu ponad 1 tydzień.
1	Lekkie – mikrouszkodzenia. Straty poniżej 50 tys. \$. Opóźnienie w realizacji projektu ponad dzień.

**Tab. 1.1.17\_81c** Parametry oceny ryzyka. Możliwość detekcji

Ranga	Możliwość wykrycia D (1-3)
3	Prawie niemożliwe – brak dostępnych metod ułatwiających wykrycie i kontrolę
2	Umiarkowana – umiarkowane prawdopodobieństwo wykrycia podczas bieżącej kontroli
1	Prawie pewne – Bieżąca kontrola prawie na pewno wykryje awarie. Niezawodne wykrywanie kontroli są znane z podobnych procesów

Na podstawie powyższych trzech parametrów i przy wykorzystaniu opracowanego na potrzeby pracy grafu ryzyka, przedstawionego na **Fig. 1.1.17\_257**, określana jest wartość ryzyka dla poszczególnych zagrożeń. Natomiast zasady kwantyfikacji ryzyka zostały przedstawione w **Tab. 1.1.17\_82**.



**Fig. 1.1.17\_257** Graf oceny ryzyka.

**Tab. 1.1.17\_82** Kwantyfikacja ryzyka

Kategoria ryzyka	Dopuszczalność	Wartość
Ryzyko bardzo duże	Nietolerowalne	7 – 8
Ryzyko duże	Niepożądane	5 – 6
Ryzyko średnie	Istotne	3 – 4
Ryzyko małe	Akceptowalne	1 – 2
Ryzyko pomijalne	Minimalne	0

### Identyfikacja zagrożeń

Zagrożenia występujące w rejonie Pawłowice-Mizerów zostały zidentyfikowane podczas realizacji poprzednich etapów projektu. Do identyfikacji zagrożeń wykorzystana została opisana powyżej baza Quintessa, która jest narzędziem wsparcia do oceny bezpieczeństwa długotrwałego składowania dwutlenku węgla w formacji geologicznej. Wybrane zagrożenia, które mają znaczący wpływ na bezpieczeństwo składowania CO<sub>2</sub> w rejonie Pawłowice-Mizerów przedstawione zostały w **Tab. 1.1.17\_83**.

**Tab. 1.1.17\_83** Zestawienie zagrożeń dla zbiornika Pawłowice

Zagrożenie		Charakterystyka
Geologia zbiornika	Tektonika	Granice bloków stanowią uskoki o dużych zrzutach. Występowanie zaburzeń wewnątrz bloku nie zostało rozpoznane.
		Rozpoznanie tektoniki złoża, a szczególnie występowania uskoków o małych zrzutach jest bardzo słabe. Dotyczy to również określenia rozwarcia i wypełnienia materiałem skalnym szczelin uskokowych. Uniemożliwia to przeprowadzenie jednoznacznej oceny możliwości migracji CO <sub>2</sub> do górotworu i ewentualnie na powierzchnię terenu.
Nieczynne i aktywne otwory wiertnicze		Na terenie zbiornika Pawłowice oraz w jego bezpośrednim sąsiedztwie zlokalizowano 63 otwory wiertnicze. 25 z nich uznano za zagrożenie dla bezpieczeństwa składowania CO <sub>2</sub>
Hydrogeologia zbiornika		Rozważane składowiska w pokładach 405/1 i 510 nie będą negatywnie oddziaływały na poziomy wodonośne w ich nadkładzie
Szczelinowanie		Odwadnianie i szcerpywanie metanu z pokładu węgla oraz późniejsze zatłoczenie CO <sub>2</sub> może spowodować zmiany naprężeń w pokładzie i zaburzenia jego stanu.
Struktura składowiska	warstw	Niedostateczne informacje dot. fizycznych i mechanicznych właściwości węgla i skał, co uniemożliwia właściwą ocenę ryzyka

Zidentyfikowane w poprzednich etapach prac zagrożenia wskazały, że ich głównym źródłem, są nieczynne otwory geologiczne zlokalizowane w rejonie Pawłowice-Mizerów. W tym obszarze do otworów stanowiących zagrożenie zaliczono 21 otworów, które dowiercają się do warstw składowiska lub zostały zatrzymane na głębokości mniejszej niż 100m od niego. Dodatkowo w przedmiotowym opracowaniu jako otwory stanowiące zagrożenie zaliczono otwory, które nie mogą być przeanalizowane ze względu na brak danych. Zastawienie tych otworów przedstawiono w **Tab. 1.1.17\_84**. Dodatkowo otwory, które znajdują się w bliskiej lokalizacji od budynków mieszkalnych, (do ok. 50 metrów) zaliczono do grupy, która poddana być powinna wnikliwym badaniom w kolejnych etapach prac, przed przejściem do fazy operacyjnej, w celu wyeliminowania lub ograniczenia zagrożenia jakie mogą stwarzać. Otwory te zaznaczone zostały na **Fig. 1.1.17\_258** kolorem czerwonym.

**Tab. 1.1.17\_84** Zestawienie otworów stanowiących zagrożenie dla bezpiecznego składowania CO<sub>2</sub>

Lp.	Nazwa otworu	Rzędna [m]	Gł. [m]	Rok wiercenia
1.	Amoco-Łąka 1	272,10	1260,00	1997
2.	Amoco-Poręba 1	283,75	1754,10	1997
3.	Kobiór Pszczyna 16	269,38	1400,00	1967
4.	Krzyżowice 26	264,96	b.d.	b.d.
5.	Pawłowice 6	255,96	1669,00	1978
6.	Pawłowice 8	262,75	1504,40	1978
7.	Pawłowice 9	256,08	1700,00	1979
8.	Pawłowice 11	254,99	1524,00	1979
9.	Pawłowice 12	257,71	1489,40	1978
10.	Pawłowice 13	261,76	1271,40	1978
11.	Pawłowice 14	267,36	1548,00	1978
12.	Pawłowice 15	259,08	1500,00	1978
13.	Pawłowice 16	266,40	1500,00	1978
14.	Pawłowice 17	257,33	1483,00	1979
15.	Pawłowice 18	265,39	1484,00	1979
16.	Pawłowice 19	274,09	1545,00	1979
17.	Pszczyna 73	266,37	1468,00	1981
18.	Pszczyna 76	271,24	1349,00	1980
19.	Pszczyna 81	259,74	1322,40	1981
20.	Studzionka IG-1	270,07	1896,00	1977
21.	Warszowice-Pawłowice 3	259,01	b.d.	b.d.
22.	Warszowice-Pawłowice 5	b.d.	b.d.	b.d.
23.	Warszowice-Pawłowice TEXACO	257,60	1812,00	1997
24.	Wisła Wielka IG-4	265,7	1408,00	1961
25.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.

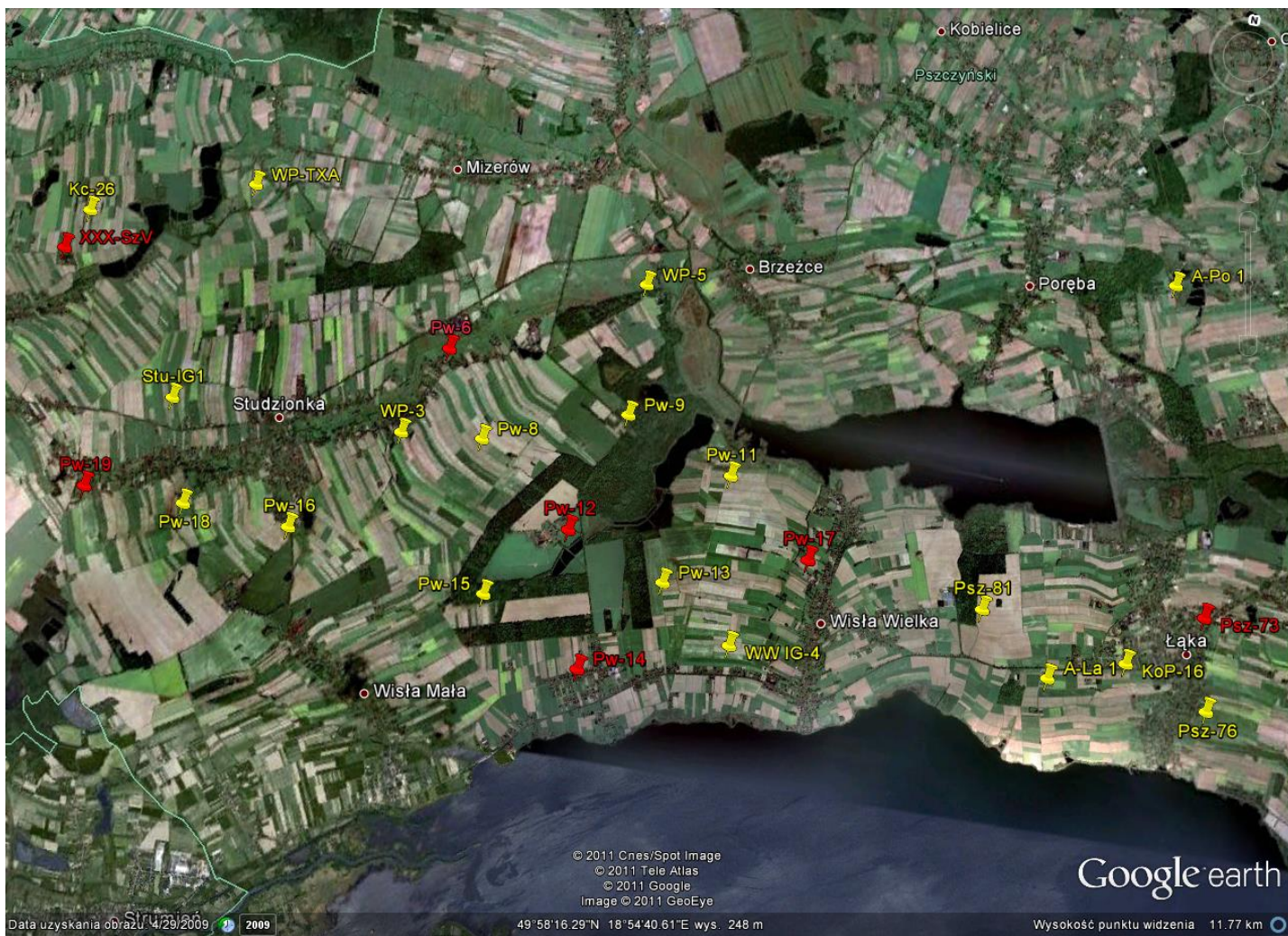


Fig. 1.1.17\_258 Otwory stanowiące potencjalne zagrożenie dla poszczególnych elementów ekosystemu, w tym dla ludzi – zaznaczone kolorem czerwonym  
17-547

## Ocena wpływu zagrożeń na środowisko naturalne i ludzi

Ważnym zagadnieniem w analizie i ocenie ryzyka geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w pokładach węgla jest mechanizm składowania. W tym przypadku oparty jest on na wykorzystaniu współczynnika zastępowalności CH<sub>4</sub> przez CO<sub>2</sub>, czyli zatłoczony CO<sub>2</sub> nie będzie migrował w strukturze geologicznej jak to miało miejsce w przypadku zatłaczania CO<sub>2</sub> do poziomów wodonośnych o dużym zasoleniu. Zagrożeniem natomiast staje się również metan, który zastąpiony przez CO<sub>2</sub> może wydostawać się ze struktury geologicznej na powierzchnię. CO<sub>2</sub> i metan w formie gazowej są odpowiednio cięższe i lżejsze od powietrza, co ma duże znaczenie dla analizy rozprzestrzeniania się ich chmury na powierzchni (Markiewicz 2007). Transport skażeń w atmosferze zależy nie tylko od charakteru samego źródła, ale również od własności fizyko-chemicznych substancji i warunków atmosferycznych. Jednym z najważniejszych czynników decydującym o sposobie transportu jest parametr unoszenia danej substancji chemicznej. Klasyfikuje się chmury uwolnień w zależności od tego, czy są lżejsze od powietrza (dodatni parametr unoszenia), mają tę samą gęstość co powietrze (neutralny parametr unoszenia), czy też są gęstsze od powietrza (ujemny parametr unoszenia) (Borysewicz i in.2000). Schemat rozptyłu chmury gazu cięższego niż powietrze przedstawiony została na Fig. 1.1.17\_259 (Markiewicz, 2007).

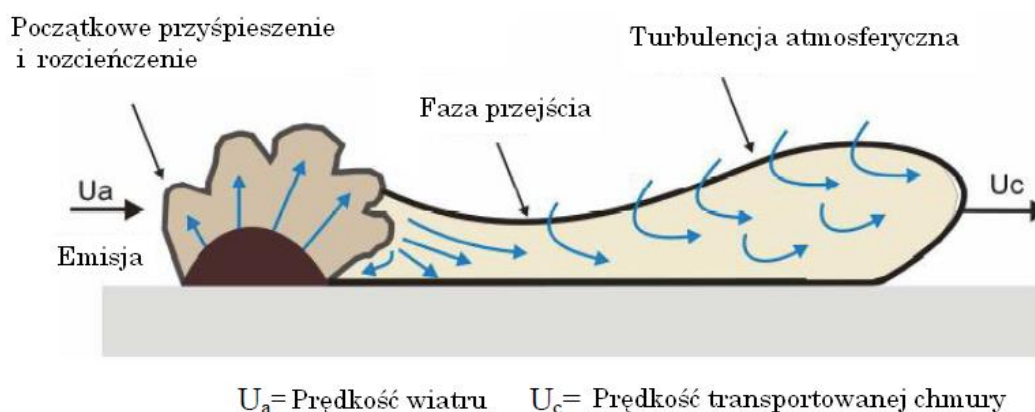


Fig. 1.1.17\_259 Schemat rozptyłu chmury gazu cięższego niż powietrze (Markiewicz, 2007).

W celu właściwej oceny zagrożenia rozptyłu CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub> na powierzchni w przedmiotowym opracowaniu wykorzystano oprogramowanie ALOHA, który pozwala na modelowanie uwolnień (wypływów) substancji chemicznych. Aplikacja ALOHA została stworzona wspólnie przez Narodową Administrację Oceanu i Atmosfery USA (NOAA) i Agencję Ochrony Środowiska USA (EPA). ALOHA wykorzystuje obliczenia podobne do opisanego powyżej modelu dyspersji gazu cięższego niż powietrze i uwzględnia liczbę zmiennych wejściowych, w tym: położenie geograficzne, dane atmosferyczne, rodzaj źródła oraz dyspersję atmosferyczną (gaz obojętny, gaz ciężki) a także toksyczność, łatwopalność, promieniowanie cieplne i nadciśnienie (siła wybuchu eksplozji).



## Ocena skutków wpływu CO<sub>2</sub>

### Wpływ na ludzi

Wpływ dwutlenku węgla na organizm ludzki określany są jedynie w przypadku pomieszczeń zamkniętych i to w przypadku oddziaływania krótkoterminowego. Takie narażenie na CO<sub>2</sub> na poziomie poniżej 3% powoduje tylko czasowy i odwracalny wpływ na zdrowie taki jak zwiększona częstotliwość oddechów (ok. dwukrotny), bóle głowy, pocenie się, wzrost ciśnienia krwi i częstotliwości pulsu. Po przekroczeniu tego poziomu następuje czterokrotny wzrost częstości oddychania a po ok. 30 minutach ekspozycji może pojawić się odczucie braku swobody oddychania. Objawy stają się bardziej dotkliwsze w momencie przekroczenia stężenia 5% (Benson 2002;. CEC, 2007). Wysokie stężenia CO<sub>2</sub> mogą być śmiertelne dla ludzi przy stosunkowo krótkiej ekspozycji (Benson i in., 2002).

Trudniejszym aspektem jest określenie długoterminowego wpływu CO<sub>2</sub> na organizm ludzki. Badania prowadzone w tym zakresie nie wykazały żadnych dowodów negatywnego wpływu na zdrowie w przypadku chronicznej ekspozycji na CO<sub>2</sub> poniżej 1% (IPCC, 2005). Ponadto, w literaturze przytaczane są wyniki badań wskazujące na fakt, że wpływ CO<sub>2</sub> w stężeniu do 3% może doprowadzić do fizjologicznej adaptacji i nie powodować negatywnych skutków zdrowotnych (Benson i in., 2002).

Zagrożeniem mogą być sytuacje gdy wyciek CO<sub>2</sub> ze składowiska będzie miał miejsce w zagłębieniach terenu lub na terenach zurbanizowanych, ma on bowiem tendencje do gromadzenia się przy podłożu – jest bowiem 1,5 cięższy od powietrza.

Efekty oddziaływania CO<sub>2</sub> na organizm człowieka przedstawione zostały w **Tab. 1.1.17\_85**.

**Tab. 1.1.17\_85** Efekty oddziaływania dwutlenku węgla na organizm człowieka.

Stężenie CO <sub>2</sub> ppm, %	Efekty działania na organizm ludzki
350 ÷ 450 ppm; 0,035 ÷ 0,045%	Świeże powietrze atmosferyczne, idealne warunki
Poniżej 600 ppm, 0,06 %	Akceptowalne warunki świeżości powietrza w pomieszczeniach mieszkalnych/biurowych
Poniżej 1000 ppm, 0,10%	Wymóg minimum higienicznego, skala Pettenkofera
10 000 ppm, 1,00%	Lekki wzrost częstości oddychania
15 000 ppm, 1,50%	Maksymalna tolerowana dawka dla pracowników w specyficznych warunkach, pod kontrolą medyczną: browary, łodzie podwodne, statki kosmiczne
20 000 ppm, 2,00%	Pogłębiony oddech, wzrost częstości oddychania o ok. 50%, ekspozycja przez kilka godzin powoduje bóle głowy i uczucie zatrucia

30 000 ppm, 3,00%	Utrudnione oddychanie, ok. dwukrotny wzrost częstości oddychania, efekty podobne do działania słabego narkotyku, tj. osłabienie słuchu, ból głowy, wzrost ciśnienia krwi i częstotliwości pulsu
40 000 – 50 000 ppm, 4,00% - 5,00%	Wyraźnie pogłębiony oddech, czterokrotny wzrost częstości oddychania, po ok. 30 minutach ekspozycji może pojawić się odczucie braku swobody oddychania, zjawisko bezwładu
50 000 – 100 000 ppm, 5,00% - 10,00%	Dwutlenek węgla przybiera ostry zapach podobny do wody sodowej, oddychanie wymaga zwiększonego wysiłku, ból głowy, zaburzenia widzenia, dzwonienie w uszach, po kilku minutach ekspozycji może nastąpić utrata przytomności, dawka śmiertelna przy długotrwałym wdychaniu
Powyżej 10,00% do 100,00%	Gwałtowna i szybka utrata przytomności, przedłużająca się ekspozycja prowadzi do śmierci przez uduszenie

### Wpływ na ekosystem

Wpływ dwutlenku węgla na rośliny badany był przez wielu naukowców na całym świecie. Zainteresowanie tym problemem związane jest z faktem iż dwutlenek węgla jest niezbędnym gazem w fotosyntezie. W czasie fotosyntezy wodę i dwutlenek węgla są przetwarzane w cukier prosty – glukozę. Liczne badania nad wzbogacaniem powietrza w szklarniach i komorach wzrostu roślin w CO<sub>2</sub> sugerują, że wzrost większości roślin powinien wzrosnąć o 30% średniej z przewidywane podwojenie stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze. W ślad za naukowcami z Agricultural Research Service (ARS) w US Department of Agriculture i pracownikami z Brookhaven National Laboratory naukowcy z Akademii Rolniczej w Szczecinie przeprowadzili szereg badań wykonanych na próbkach zbóż ozimych, z których wynika iż podwyższone stężenie wpłynęło korzystnie wywołując zwiększenie mierzonych parametrów nawet przy potrojonym i poczwórnym stężeniu CO<sub>2</sub> (Janicki W., Brzostowicz A., 2005).

O ile w przypadku podwyższonego stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze jego wpływ na roślinność może przybrać charakter pozytywny to ocena wpływu dwutlenku węgla na glebę wymaga odrębnej analizy. Zawartość dwutlenku węgla w glebie jest zmienna i stanowi różnicę między ilością wytwarzaną w glebie w jednostce czasu, a ilością uchodzącą do atmosfery w tymże czasie w wyniku wymiany gazowej z atmosferą. Zawartość tlenu i dwutlenku węgla w powietrzu glebowym jest ważnym czynnikiem decydującym o aktywności mikroorganizmów glebowych. Zarówno bowiem aktywność drobnoustrojów, jak i procesy wzrostu i plonowania roślin wyższych są ściśle związane ze składem powietrza glebowego. Jednak przy całej ważności omawianych zagadnień w piśmiennictwie brak jest dotychczas ilościowych wskaźników tej zależności. Wpływ CO<sub>2</sub> na glebę opisany został również w Raporcie IPCC (IPCC, 2005), który opiera się na wynikach badań poligonowych geologicznego składowania CO<sub>2</sub>. O ile dwutlenek węgla może mieć pozytywny wpływ na szybkość wzrostu niektórych gatunków roślin to dla innych gatunków może mieć skutek dokładnie odwrotny. Do zjawiska obumierania roślinności dochodzi jednak tylko na obszarze bezpośredniego wpływu CO<sub>2</sub> ze składowiska, w promieniu kilku metrów.

Brak jest danych dotyczących wpływu CO<sub>2</sub> na zwierzęta. Z „Technical Support Document” opublikowanego przez EPA w 2008 wynika, że gdy stężenie CO<sub>2</sub> na obszarze bytowania zwierząt osiągnie ponad 40%



powodować to może zmiany w zachowaniu zwierząt a nawet paraliż u ptaków. Przypuszcza się, że w przypadku płazów i gadów tolerancja jest nieco większa (EPA, 2008) (**Tab. 1.1.17\_86**).

**Tab. 1.1.17\_86** Oddziaływanie podwyższonych stężeń dwutlenku węgla na zwierzęta i rośliny.

Zwierzęta		Stężenia CO <sub>2</sub>	Efekt działania
<b>Bezkręgowce</b> <b>lądowe</b>	owady	15%	śmierć po około 42 dniach
	(Cryptolestes ferrugineus)	100%	śmierć po około 2 dniach
	bezkęrowce żyjące w glebie	20%	u większości gatunków stwierdzono zmiany w zachowaniu
		11 - 50%	śmiertelna dla 50% gatunków
<b>Kręgowce</b> <b>lądowe</b>	gryzonie	2%	obserwacje w norach i gniazdach
	susły	4%	
	ptaki	9%	
<b>Rośliny</b>	drzewa	20-90%	wymieranie drzew (Mammoth Mountain, USA) spowodowane prawdopodobnie zaburzeniami w oddychaniu korzeniowym
<b>Grzyby</b>		15–20%	znaczący spadek wzrostu spor dwóch typów grzybów
		30%	brak mierzalnego wzrostu spor
		50%	brak kiełkowania spor

#### Wpływ na wody gruntowe i poziomy hydrogeologiczne

Składowanie CO<sub>2</sub> w formacjach geologicznych może powodować wzrost ciśnienia w ośrodku skalnym, czego wynikiem może być wypływ CO<sub>2</sub>, metanu czy też innych substancji i zanieczyszczeń. Może to mieć znaczący wpływ na zmianę ilości rozpuszczonych w wodach pitnych substancji, co skutkować będzie ich nieprzydatnością do spożycia. W przypadku przedostania się CO<sub>2</sub> do wód podziemnych może on spowodować zmiany zarówno ich pH jak i składu mineralnego. Prowadzone w tym zakresie badania wskazują, że po zatłoczeniu CO<sub>2</sub> do wód zalegających na głębokościach rzędu 300 m główne zmiany jakie zachodzą w ich chemizmie to zmiany pH i potencjału redoks (Uliasz-Misiak 2011). Zmniejszenie pH może spowodować rozpuszczanie minerałów węglanowych, a co za tym idzie wzrost mineralizacji wód, czyli ich twardości, co będzie bezpośrednio wpływać na pogorszenie się jakości wód pitnych. Możliwe jest również uwalnianie pierwiastków głównych i śladowych. Ponadto podwyższona kwasowość wód, spowodowana ewentualnymi wyciekami CO<sub>2</sub> ze składowiska, może mieć wpływ na rozpuszczanie i mechanizmy sorpcji wielu minerałów (Jaffe i in. 2004). Może to powodować intensywniejszą

desorpcję potencjalnie niebezpiecznych metali ciężkich i prowadzić do wzrostu zawartości poziomu tych metali i nie spełniania przez wody pitne odpowiednich norm jakościowych.

### ***Ocena skutków wpływu CH<sub>4</sub>***

Metan jest gazem nietoksycznym jednak duszącym. Zagrożeniem jest ekspozycja na podwyższona zawartość metanu w powietrzu. Jednak i w tym wypadku dostępne dane dotyczące skutków takiej ekspozycji na organizmy żywe a przede wszystkim ludzi dotyczy pomieszczeń zamkniętych. Metan wypiera tlen z organizmu co powoduje w pierwszym etapie kłopoty z oddychaniem i duszności. Wraz ze wzrastającym poziomem metanu a tym samym obniżenie zawartości tlenu poniżej 16% może w niektórych przypadkach nastąpić również asfiksja, utrata przytomności, a także śmierć. Według różnych źródeł spadek zawartości tlenu w powietrzu z 21% do 16% jest tolerowany przez człowieka bez żadnych poważnych skutków. Gdy metan uchodzi bezpośrednio do otwartej atmosfery istnieje niewielkie ryzyko jego wybuchu, lecz należy brać pod uwagę możliwość zapłonu.

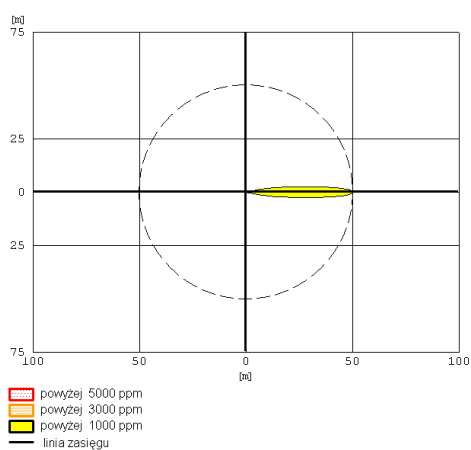
## **Analiza i ocena ryzyka dla zbiornika Pawłowice**

### **Analiza rozptyłu chmury CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub> na powierzchni terenu**

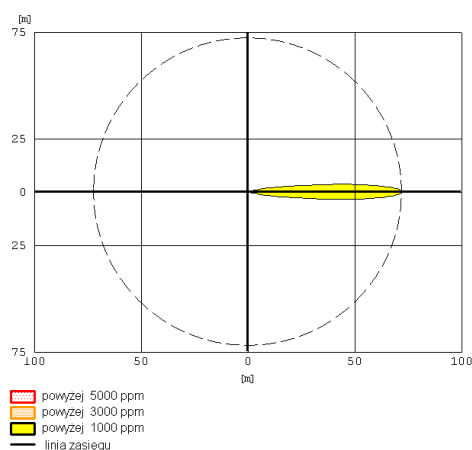
W celu analizy i oceny zagrożenia związanego z wpływem CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub> ze składowiska na powierzchnię została przeprowadzona symulacja rozptyłu chmury tych gazów na powierzchni. Jak wcześniej opisano stanowi to realne zagrożenie dla poszczególnych elementów ekosystemu. Szczególną uwagę zwrócono na zagrożenia dla życia i zdrowia ludzi. Największe zagrożenia związane są ze znajdującymi się w rejonie zbiornika Pawłowice otworami wiertniczymi na co zwrócono uwagę we wcześniejszych opracowaniach. Analizie rozptyłu chmury CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub> ze składowiska wybrane przykłady z 5 otworów, które znajdują się w rejonie zabudowań mieszkalnych. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że pozostałe otwory mimo, że znajdują nieco dalej od terenów zamieszkałych to większość z nich zlokalizowana jest na terenach upraw, a więc nie można wykluczyć zagrożenia dla ludzi.

**Tab. 1.1.17\_87** Zestawienie otworów dla których przeprowadzono analizę rozptyłu chmury na powierzchni terenu.

Lp.	Nazwa otworu	Typ gazu	Wielkość wyływu	Uwagi
1.	Pawłowice 6	CH <sub>4</sub>	120 [m <sup>3</sup> /h]	Strefa pow. 1000 ppm wyznaczona jedynie przy inwersji
2.	Pawłowice 12	CO <sub>2</sub>	300 [g/s]	Bez inwersji i z inwersją
3.	Pawłowice 14	CO <sub>2</sub>	100 [g/s]	Bez inwersji i z inwersją
4.	Pawłowice 19	CH <sub>4</sub>	150 [m <sup>3</sup> /h]	Strefa pow. 1000 ppm wyznaczona jedynie przy inwersji
5.	Pszczyna 73	CH <sub>4</sub>	780 [m <sup>3</sup> /h]	Bez inwersji i z inwersją

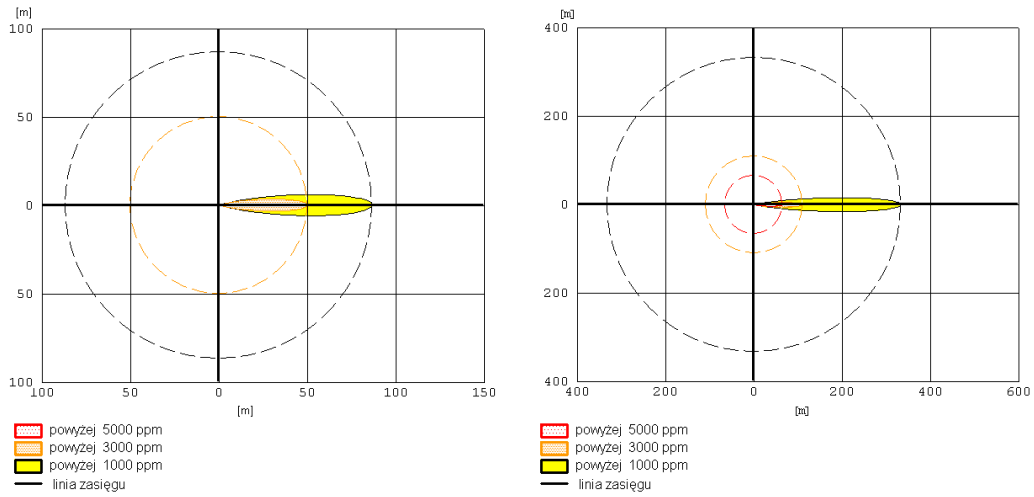


**Fig. 1.1.17\_260a** Chmura CH<sub>4</sub> dla punktu Pw-6

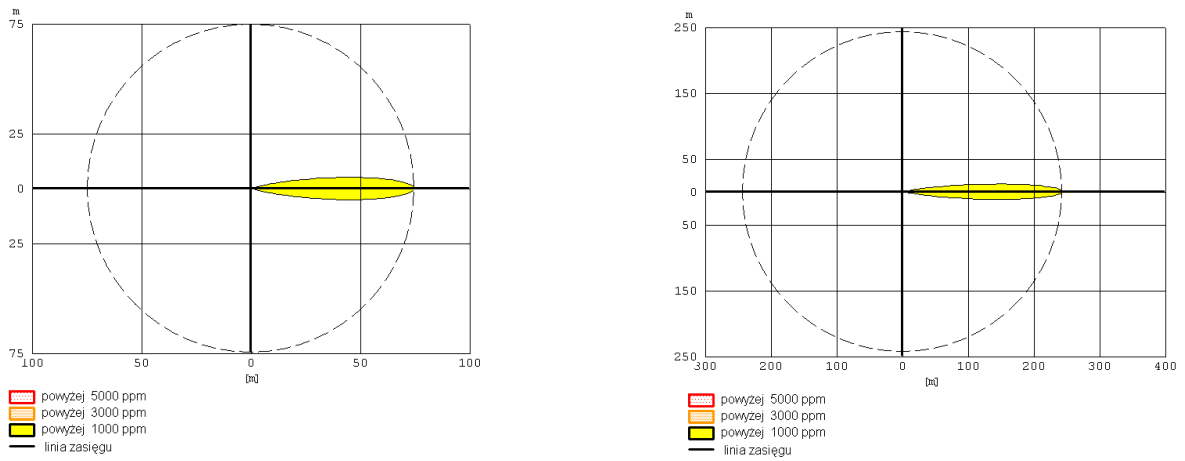


**Fig. 1.1.17\_260b** Chmura CH<sub>4</sub> dla punktu Pw-19

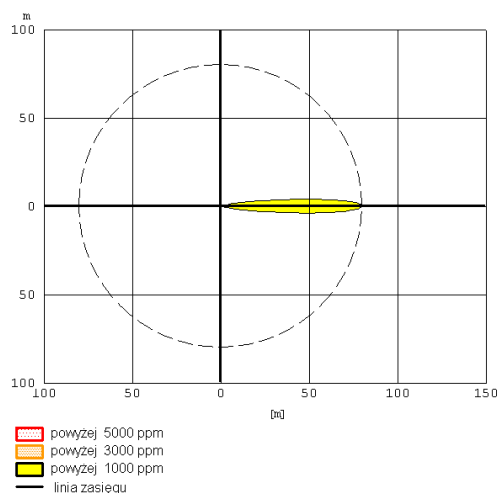
Minimalna wartość wyływu metanu dla założonych parametrów atmosferycznych bez zjawiska inwersji wynosi około 260 m<sup>3</sup>/h. Przy tej wartości chmura gazu osiąga stężenie w granicach od 1000 do 3000 ppm.



**Fig. 1.1.17\_260c** Chmura CH<sub>4</sub> dla punktu Psz-73 bez zjawiska inwersji (lewy) i ze zjawiskiem inwersji (prawy)



**Fig. 1.1.17\_260d** Chmura CO<sub>2</sub> dla punktu Pw- 12 bez zjawiska inwersji (lewy) i ze zjawiskiem inwersji (prawy)



**Fig. 1.1.17\_260e** Chmura CO<sub>2</sub> dla punktu Pw- 14 ze zjawiskiem inwersji bez zjawiska inwersji nie osiąga wartości 1000 ppm

Zjawisko inwersji powietrza ma bardzo duże znaczenie zarówno w przypadku tworzenia się chmury CO<sub>2</sub> jak i CH<sub>4</sub>. W wielu przypadkach przy założonych wartościach emisji z otworu to dopiero zjawisko inwersji powoduje stężenie gazu powyżej granicy 1000 ppm, jak np. dla otworu Pawłowice-12.

W oparciu o zidentyfikowane w poprzednich etapach zagrożenia oraz ich analizie i ocenie ich potencjalnych skutków na poszczególne elementy ekosystemu przeprowadzona została ich ocena oraz określona została wielkość i dopuszczalność ryzyka (**Tab. 1.1.17\_88**).

**Tab. 1.1.17\_88** Ocena ryzyka wybranych zagrożeń dla rejonu Pawłowice.

Zagrożenie	Kategoria ryzyka	Dopuszczalność
Miąższość warstw składowiska	Małe	Akceptowalne
Zaleganie warstw składowiska	Małe	Akceptowalne
Nadkład	Małe	Akceptowalne
Hydrogeologia zbiornika	Małe	Akceptowalne
Uskoki	Ryzyko średnie	Istotne
Nieczynne i aktywne otwory wiertnicze	Ryzyko średnie	Istotne
Ścienienia, szczeliny w górotworze	Ryzyko średnie	Istotne

## Podsumowanie

Z przeprowadzonej identyfikacji zagrożeń oraz potencjalnych ich skutków na środowisko naturalne i ludzi wynika, że największe zagrożenie dla rejonu Pawłowice stanowią otwory wiertnicze. Na terenie zbiornika Pawłowice oraz w jego bezpośrednim sąsiedztwie zlokalizowano 63 otwory wiertnicze. 25 z nich uznano za zagrożenie dla bezpieczeństwa składowania CO<sub>2</sub>.

Do zagrożeń wpływających na istotny poziom ryzyka zaliczono również system uskoków i spękań w górotworze. Zebrane do tej pory informacje, dane i wyniki badań są niewystarczające dla właściwej oceny ryzyka rejonu Pawłowice. Dotyczy to zarówno danych dotyczących stanu otworów wiertniczych jak również rozpoznania tektonicznego zbiornika (rozpoznania tektoniki złoża, a szczególnie występowania uskoków o małych zrzutach; określenia rozwarcia i wypełnienia materiałem skalnym szczelin uskokowych), czy też rozpoznanie struktury warstw składowiska (niedostateczne informacje dot. fizycznych i mechanicznych własności węgla i skał). Kolejnym zagrożeniem jest zagrożenie szczelinowaniem, które może być wynikiem odwadniania i szczypania metanu z pokładu węgla oraz późniejszego zatłaczania CO<sub>2</sub>. Może to spowodować zmiany naprężeń w pokładzie i zaburzenia jego stanu.

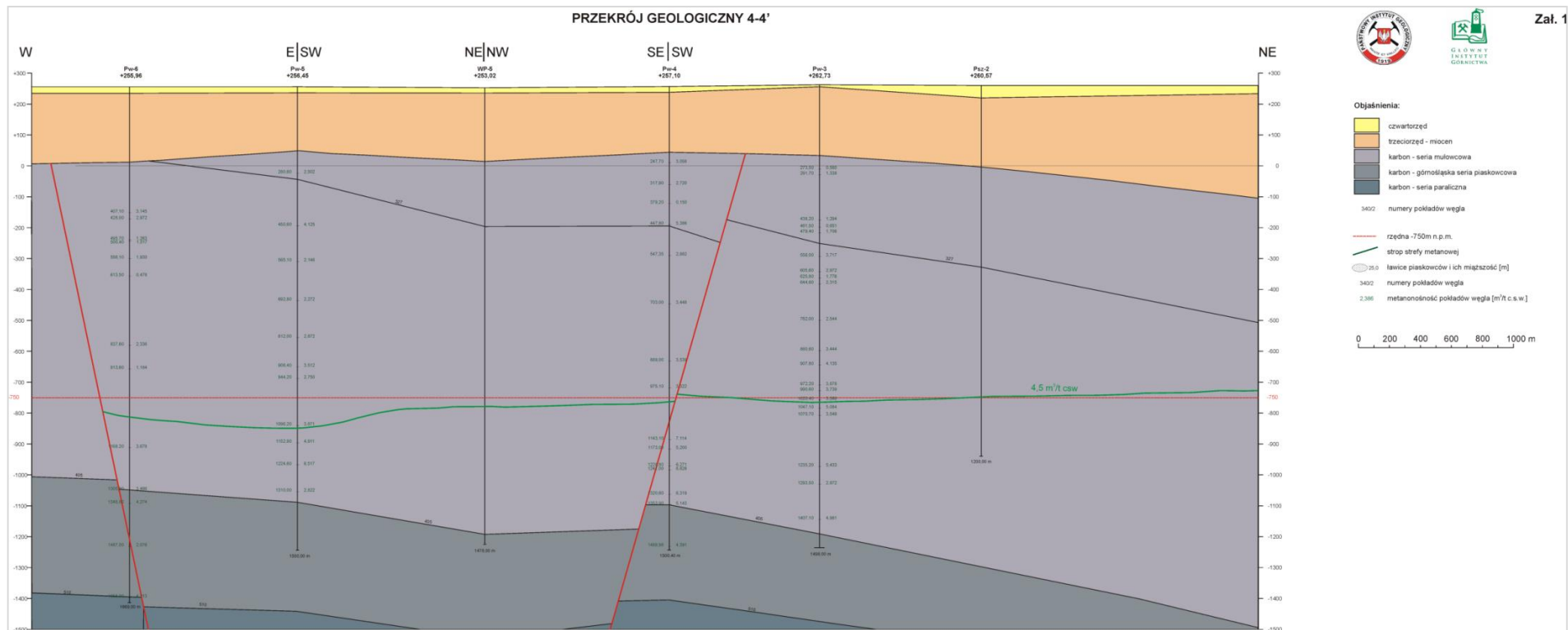
Ryzyko związane z opisanymi powyżej zagrożeniami może być zminimalizowane w kolejnych etapach prac jeśli wykonane zostaną odpowiednie badania i analizy dostarczające informacji na temat tych zagrożeń.

## Wnioski

1. Ryzyko wystąpienia zagrożeń związanych ze składowaniem CO<sub>2</sub> w pokładach węgla wynika głównie z naturalnych warunków panujących w otoczeniu pokładu wytypowanego do odmetanowania i zatłaczania CO<sub>2</sub>.
2. Na obecnym etapie rozpoznania odczuwa się wyraźny brak informacji w zakresie fizycznych i mechanicznych własności węgla i skał. Słabe jest również rozpoznanie tektoniki złoża, a szczególnie występowania uskoków o małych zrzutach oraz brak określenia rozwarcia i wypełnienia materiałem skalnym szczelin uskokowych co uniemożliwia przeprowadzenie jednoznacznej oceny możliwości migracji CO<sub>2</sub> do górotworu i ewentualnie na powierzchnię terenu.
3. Odwadnianie i zcerpywanie metanu z pokładu węgla, a następnie zatłaczanie w to miejsce CO<sub>2</sub>, po wcześniejszym szczelinowaniu, może przyczynić się do powstania szczelin pionowych umożliwiających migrację CO<sub>2</sub> z pokładu do skał otaczających. Wyniki badań modelowych przeprowadzone na podstawie obecnie dostępnych danych wykazały, małe prawdopodobieństwo, że iniekcja CO<sub>2</sub> spowoduje rozszczenia nadkładu składowiska.
4. Przystąpienie do ewentualnego opracowania projektu technicznego zatłaczania z równoczesnym odzyskiem metanu wymaga uzupełnienia rozpoznania warunków geologicznych wymienionych w niniejszej pracy.
5. Rozważane składowiska w pokładach 405/1 i 510 nie będą negatywnie oddziaływały na poziomy wodonośne w ich nadkładzie.
6. W przypadku, gdyby we wskazanych rejonach miały być tworzone przemysłowe składowiska dwutlenku węgla, nie można wykluczyć negatywnego oddziaływania na eksploatację górniczą w projektowanej kopalni węgla kamiennego „Pawłowice” i w czynnej kopalni węgla „Pniówek”.
7. Z przeprowadzonej identyfikacji zagrożeń oraz potencjalnych ich skutków na środowisko naturalne i ludzi wynika, że największe zagrożenie dla rejonu Pawłowice stanowią niezbyt dokładnie uszczelnione lub źle zlikwidowane otwory wiertnicze. Na terenie zbiornika Pawłowice oraz w jego bezpośrednim sąsiedztwie zlokalizowano 63 otwory wiertnicze, które łączą bezpośrednio pokłady 405 i 510 z górotworem i powierzchnią terenu, a co do których nie ma gwarancji ich szczelności. 25 z nich uznano za zagrożenie dla bezpieczeństwa składowania CO<sub>2</sub>. Ryzyko w tym przypadku jest istotne.
8. Ryzyko związane z opisanymi powyżej zagrożeniami może być zminimalizowane w kolejnych etapach prac jeśli wykonane zostaną odpowiednie badania i analizy dostarczające informacji na temat tych zagrożeń.

# Załączniki

## Załącznik 1. Przekrój geologiczny 4-4'





## Załącznik 2. Przekrój geologiczny 5-5'

