

1.1.1 Charakterystyka formacji i struktur odpowiednich do geologicznego składowania CO₂

Jako podsumowanie dotychczasowego stanu wiedzy odnośnie geologicznego składowania w rejonie Bechatowa IGSMiE PAN (Radosław Tarkowski) wykonano typowanie struktur w solankowych poziomach wodonośnych mezozoiku odpowiednich do geologicznego składowania CO₂ oraz ich charakterystyk zawierając zestawienie tabelaryczne danych, punkty zainteresowania oraz kontury poszczególnych obiektów (najistotniejsze wyniki poniżej).

Następnie PIG-PIB przedstawił charakterystykę wykorzystanych profiliowa geofizyki wiertniczej (Teresa Adamczak), analiz materiału geologicznych celem scharakteryzowania formacji geologicznych perspektywicznych dla składowania dwutlenku węgla (Anna Feldman-Olszewska), analiz przydatności archiwalnych danych petrograficznych (Katarzyna Jarmońciewicz-Szulc), charakterystyk wykorzystanych danych hydrogeologicznych (Lidia Razowska-Jaworek) oraz charakterystyk znanych i nowych struktur perspektywicznych dla składowania dwutlenku węgla (Adam Wójcicki, Marek Jaroski).

Charakterystyka znanych struktur mezozoicznych (1.1.19 IGSMiE PAN)

W tabeli 1.1.1.1 przedstawiono kluczowe kryteria geologiczne wyboru miejsc składowania CO₂ z podziałem na wskaźniki pozytywne, ostrzegawcze i negatywne, podane w podręczniku najlepszych praktyk (Chadwick et al., 2006), z modyfikacjami autorów. Należy podkreślić, że waga poszczególnych kryteriów uwzględnianych w wyborze struktur zależy od analizowanego i danego przypadku. Dla obszaru Polski lista struktur wraz z ich lokalizacją w mezozoicznych poziomach solankowych Niżu Polskiego została ostatnio przedstawiona przez Tarkowskiego (2008).

Tabela 1.1.1.1

Kryteria geologiczne do wyboru miejsc składowania (Chadwick et al., 2006, z modyfikacjami)

| | Wskaźniki pozytywne | Wskaźniki ostrzegawcze | Wskaźniki negatywne |
|-----------------------|------------------------|---|--------------------------------------|
| Pojemność składowania | >60 Mt | 30 ó 60 Mt | <30 Mt |
| Głębokość | >800m, <2500 m | 2500 ó 3500m | <800 m, >3500 m |
| Miśrodek efektywna | >50 m | 20 ó 50 m | <20 m |
| Porowatość | >20% | 10 ó 20% | <10% |
| Przepuszczalność | >300 mD | 300 ó 100 mD | <100-10 mD |
| Mineralizacja | >100 g/dm ³ | 100 ó 30g/dm ³ | <30 g/dm ³ |
| Uskoki | Brak uskoków | Uskoki wygasające w formacji do składowania | Uskoki przechodzące w skałę nadkładu |
| Miśrodek nadkładu | >100 m | 20 ó 100 m | <20 m |

Dla obszaru I uwzględniono następujące struktury: antyklina Jełowa ó J, antyklina Jełowa ó T, rów Kliczkowa, antyklina Lutomińska, antyklina Tuszyna. Przeanalizowano informacje dotyczące wskazanych struktur z obszaru Bechatowa. Przedmiotem analizy były: pojemność struktury, wskaźnik poziomu do składowania (głębokość zalegania stropu, miśrodek efektywna, ich porowatość, przepuszczalność), mineralizacja wód oraz wskaźnik skał nadkładu (uskoki oraz miśrodek).

Należy podkreślić, że typowanie struktur obarczone jest niepewnościami wynikającymi ze słabego rozpoznania geologicznego opisanych struktur, braku dostatecznej ilości danych

geologiczno-geologicznych, dobrego rozpoznania otworami wiertniczymi, rozpoznania sejsmicznego, itd. Z tego powodu czynniki informacji wykorzystanych w opracowaniu pochodzą z danych regionalnych.

Minimalna ilość składowanego CO₂ przyjęto na poziomie 60 Mt, co odpowiada 30-letniej emisji zakładu emitującego 2 Mt CO₂ rocznie.

Głębokość zalegania stropu formacji zbiornikowej została określona na podstawie dostępnych danych otworowych, w oparciu o opracowania specjalistyczne. Mięszko poziomu zbiornikowego jest uśredniona, czynniki wyinterpretowana, lepiej rozpoznana w przypadku rozpoznania struktury kilkoma otworami oraz badaniami geofizycznymi. Wartości porowatości i mineralizacji zostały przyjęte z dokumentacji otworowych, a przy ich braku z opracowań regionalnych. Stopień zaangażowania tektonicznego rozważanych struktur jest w różnym stopniu rozpoznany, generalnie niedostateczny. W tym miejscu jest mowa o tektonice w skali regionu, trudniej w przypadku konkretnych, niewielkich struktur tektonicznych. Mięszko nadkładu jest elementem dobrze rozpoznany jak również charakter skał, który go tworzy.

W obszarze I (rejon Bełchatowa) wskazano 5 struktur tektonicznych, spośród których w różny sposób kryteria miejsca składowania dwutlenku węgla (Fig. 1.1.1_1). Warunek odpowiedniej pojemności składowania CO₂ spełniają wszystkie struktury (Tabela 1.1.1.2). Poziom przeznaczony do składowania CO₂ w 3 strukturach zalega poniżej 6800 m, w 2 strukturach strop tego poziomu zalega nieco poniżej 6800 m, jedynie w strukturze Jezowa-J (625 m) poziom ten zalega około 200 m powyżej. Mięszko poziomu zbiornikowego w 4 strukturach jest większa niż 50 m, jedynie w przypadku antykliny Kliczkowa (36 m) jest ona mniejsza. Porowatość 20% i wyższa jest w 2 strukturach, w pozostałych (3) porowatość jest poniżej 20%, ale nie mniejsza niż 10%. Kryterium przepuszczalności powyżej 300 mD spełnione jest dla 3 struktur, w pozostałych 2 przepuszczalność jest rzędu 100 - 300 mD. Mineralizacja powyżej 100 g/dm³ jest w 3 strukturach, w 2 strukturach jest poza kryterium. W 1 strukturze w poziomie zbiornikowym występują uskoki przechodzące do wyżej leżących warstw, w 3 uskoki wygasają w poziomie przeznaczonym do składowania, w jednym przypadku nie stwierdzono uskoki. W większości przypadków nadkład uszczelniający ma odpowiedni mięszko (4), jedynie w 1 strukturze jest poniżej 100 m, nigdzie nie przekracza kryterium ostrzegawczego.

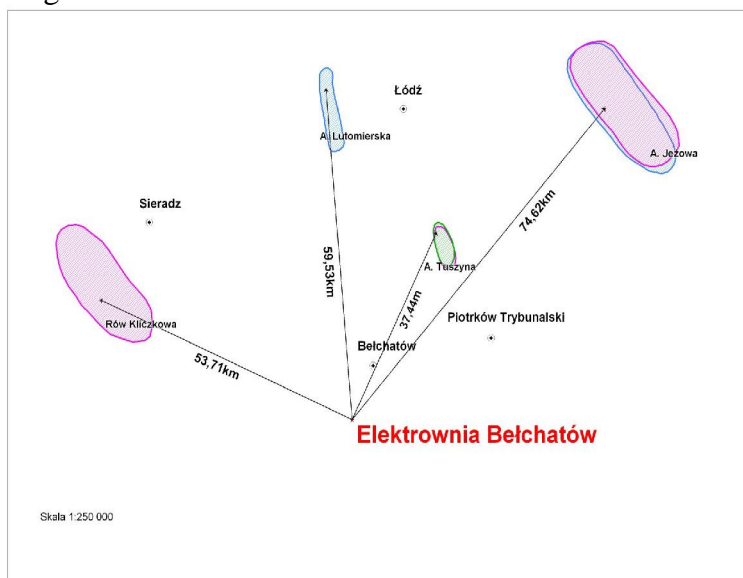


Fig. 1.1.1_1 Lokalizacja struktur tektonicznych do składowania CO₂ w solankowych poziomach dolnej kredy, dolnej jury oraz dolnego i górnego triasu wraz z punktami zaliczania oraz konturami struktur dla obszaru I (rejon Bełchatowa)

Tabela 1.1.1.2

Zestawienie danych dotyczących struktur odpowiednich do geologicznego składowania CO₂ w obszarze I (rejon Bechatowa)

| Nazwa | Antyklina Jełowa-J | Antyklina Jełowa-T | Rów Kliczkowa | Antyklina Lutomska | Antyklina Tuszyna |
|---|--|--|---|--|---|
| Poziom zbiornikowy | jura dolna | trias dolny | trias górny | jura dolna | kreda dolna |
| Głęboko zalegania stropu poziomu do składowania CO₂ | Jełów IG-1: 625,0 m; Budziszewice IG-1: 649,0 m; Rawa Mazowiecka 1: 1441,0 m | Jełów IG-1: 3038,0 m | Stanisławów 1: 942,0 m; Biesiec 1: 996,0 m; Złoczew 1: 1014,0 m; Kliczków 5a: 1034,0 m; Kliczków 8: 1090 m; Kliczków 6: 1202,0 m; Barczew 1: 1301,0 m; Gruszczycze 2: 1633,0 m; Sieradz 1: 1663,0 m | Lutomiersk 2: 1712,0 m; Aleksandrów/ódz.: 1725,5 m; Lutomiersk 3: 2436 m | Tuszyn 1: 756,0 m; Tuszyn 2: 737,0 m; Tuszyn 3: 913,5 m; Tuszyn 5: 996,0 m; Tuszyn 9: 836,0 m |
| Między poziomem do składowania CO₂ | 240 m | 360 m | 36 m | 150 m | 95 m |
| Porowatość poziomu do składowania CO₂ | 20% | 20% | 10% | 15% | 25% |
| Przepuszczalność poziomu do składowania CO₂ | 500-1000 mD | 100 mD | ~100 mD | >kilkaset mD | kilkadziesiąt do 3500 mD |
| Mineralizacja | 3 - 13 g/dcm ³ | 360 g/dcm ³ | 125-350 g/dcm ³ | 80-125 g/dcm ³ | 0,2 - 0,3 g/dcm ³ |
| Uskoki | Uskoki stwierdzono w dolnej części kompleksu cechszty skomezozoicznego | Uskoki stwierdzono w dolnej części kompleksu cechszty skomezozoicznego | Uskoki synsedymencyjne szczególnie aktywne w późnym triasie i wczesnej jurze | Antyklina ograniczona uskoki | Uskoki ograniczające struktur stwierdzono od cechszty po dolną kredę |
| Między nadkładu | rednio ~160 m | ponad 1000 m | rednio ~300 m | 45-110 m | 602-935 m |
| Punkt zatłczania | Jełów IG-1 | Jełów IG-1 | Stanisławów 1 | Aleksandrów/ódzki 1 | Tuszyn 2 |
| Odległość struktury od elektrowni Bechatów [km] | 74,62 | 74,62 | 53,71 | 59,53 | 37,44 |

Przedstawiona lista struktur do podziemnego składowania CO₂ w utworach mezozoiku obszaru I (rejon Bełchatowa) nie jest ostateczna. W toku dalszych prac może być uzupełniona o nowe struktury i nowe dane geologiczno-żelazowe. Niektóre z wymienionych struktur w toku dalszego szczegółowego rozpoznania mogą okazać się nieprzydatne.

Inwentaryzacja danych geofizyki wiertniczej i petrofizycznych (Teresa Adamczak)

| Lp. | NAZWA CBDG | ID CBDG | Lp. | NAZWA CBDG | ID CBDG |
|-----|----------------------|---------|-----|---------------------------|---------|
| 1 | ALEKSANDRÓW-1 | 99042 | 45 | LUTUTÓW-2 | 23627 |
| 2 | ALEKSANDRÓW JÓDZKI-1 | 94771 | 46 | JÓWICZ IG-1 | 94514 |
| 3 | ANNOPOL 254-1 | 2063140 | 47 | MADAJE STARE IG-1 | 94865 |
| 4 | BARCZEW-1 | 97936 | 48 | MAYE TYBLE-1 | 38606 |
| 5 | BEŁCHATÓW-4 | 98298 | 49 | MIERZYN-1 | 98452 |
| 6 | BEŁCHATÓW-5 | 98337 | 50 | MILIANÓW IG-1 | 102774 |
| 7 | BEŁCHATÓW-6 | 98525 | 51 | MILIANÓW-2 | 13578 |
| 8 | BEŁCHATÓW GEO3 | 98324 | 52 | MNISZKÓW IG-1 | 98792 |
| 9 | BŁDKÓW NR 1 | 97251 | 53 | MSZCZONÓW IG-1 | 42675 |
| 10 | BIAŁA-1 | 97942 | 54 | MSZCZONÓW IG-2 | 15989 |
| 11 | BIAŁA-2 | 97940 | 55 | NADARZYN IG-1 | 3290 |
| 12 | BIAŁA-3 | 98016 | 56 | NIECHMIRÓW IG-1 | 98261 |
| 13 | BIAŁA-4 | 98045 | 57 | NIEWINIG-1 | 16013 |
| 14 | BIESIEC-1 | 23629 | 58 | OPOCZNO IG-2 | 16009 |
| 15 | BIAŁA WIELKA IG-1 | 104739 | 59 | OGÓW IG-1 | 99470 |
| 16 | BUDZISZEWICE IG-1 | 14366 | 60 | OPÓW IG-1 | 102773 |
| 17 | CHLEWO-1 | 38586 | 61 | PIOTRKÓW TRYBUNALSKI IG-1 | 13500 |
| 18 | DYMEK IG-1 | 98048 | 62 | POTOK IG-1 | 49011 |
| 19 | FLORENTYNA IG-2 | 18156 | 63 | RADOSZEWICE-1 | 98258 |
| 20 | FOSOWSKIE IG-2 | 102931 | 64 | RADUCZ IG-1 | 42703 |
| 21 | GOMUNICE-3 | 99858 | 65 | RADWANÓW IG-1 | 100048 |
| 22 | GOMUNICE-10 | 11289 | 66 | RADZIŁKÓW-2 | 98528 |
| 23 | GOMUNICE-11 | 11284 | 67 | RZEKI IG-1 | 102681 |
| 24 | GOMUNICE-15 | 11441 | 68 | SARNÓW IG-1 | 94774 |
| 25 | GRANICE-2 | 99828 | 69 | SIERADZ-1 | 96802 |
| 26 | JĘKÓW IG-1 | 96506 | 70 | SKIERNIEWICE GT 1 | 14325 |
| 27 | JÓDRZEJÓW IG-1 | 49739 | 71 | SMOTRYSZÓW-1 | 99867 |
| 28 | KALETY IG-1 | 103556 | 72 | SOBIESKI-1 | 23567 |
| 29 | KALISZ IG-1 | 18171 | 73 | SOBIESKI-2 | 96792 |
| 30 | KLICZKÓW-3 | 96797 | 74 | SOBIESKI-3 | 23549 |
| 31 | KLICZKÓW-8 | 98054 | 75 | STUDZIANNA IG-2 | 43142 |
| 32 | KLONOWA-1 | 38584 | 76 | SZWEJKI IG-3 | 15998 |
| 33 | KORABIEWICE IG-1 | 15992 | 77 | TUSZYN-2 | 96966 |
| 34 | KULEJE IG-1 | 100350 | 78 | TUSZYN-9 | 97234 |
| 35 | KUTNO-1 | 13285 | 79 | TUSZYN GEO-1 | 97230 |
| 36 | KUNICA GRABOWSKA-2 | 18194 | 80 | TUSZYN GEO-5 | 96960 |
| 37 | KUNICA ZAGRZEBSKA-1 | 98037 | 81 | UNIEJÓW-1 | 94609 |
| 38 | KUNICA ZAGRZEBSKA-2 | 97990 | 82 | UNIKÓW-1 | 98049 |
| 39 | KUNICA ZAGRZEBSKA-3 | 97984 | 83 | UNIKÓW-3 | 97997 |
| 40 | LELIWA-2 | 38598 | 84 | UNIKÓW-6 | 23626 |
| 41 | LUBIEC-1 | 98117 | 85 | WIELU -6 | 98224 |
| 42 | LUTOMIERSK-2 | 94775 | 86 | WIERUSZÓW-1 | 65468 |
| 43 | LUTOMIERSK 3 | 94772 | 87 | WILCKI IG-1 | 99479 |
| 44 | LUTUTÓW-1 | 98053 | 88 | WILCZYCA-1 | 94779 |
| Lp. | NAZWA CBDG | ID CBDG | | | |
| 89 | ZAKRZY IG-1 | 18110 | | | |
| 90 | ZAPOLE-1 | 97941 | | | |
| 91 | ZGIERZ IG-1 | 13323 | | | |
| 92 | ERECHOWA-2 | 13566 | | | |

Tabela 1.1.1.3 Lista wykorzystanych dokumentacji otworowych geofizyki wiertniczej, w tym z wynikami analiz petrofizycznych.

W ramach przygotowania do interpretacji i reinterpretacji profili geofizycznych z otworów rejonu Bełchatowa, zebrano archiwalne profilowania geofizyczne w formie papierowej i/lub

cyfrowej oraz inne dane (np. archiwalne dane hydrogeologiczne, wyniki analiz laboratoryjnych ó petrofizycznych ó patrz te rozdzia€1.1.5) u yteczne do opracowa niniejszego projektu dla 95 otworów wiertniczych (Tabela 1.1.1.3).

Zgromadzono materia€ z otworów zrealizowanych przez Pa stwowy Instytut Geologiczny oraz przez Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo (b d firmy lub organizacje b d ce jego poprzednikiem). Dodatkowo, dla otworów: Aleksandrów / ódzki-1, Sieradz-1, Tuszyn-9, Wielu -6, Wilczyca-1, wykonano cyfrowanie profilowa geofizycznych (1.4.2 ó PBG).

Wszystkie zebrane dane stanowi€ materia€wyj ciowy do dalszych opracowa i analiz pod k tem sekwestracji CO₂.

Charakterystyka formacji geologicznych odpowiednich do składowania CO₂ (Anna Feldman-Olszewska)

Na podstawie dotychczasowej wiedzy na temat budowy geologicznej wytypowanego obszaru (Dadlez, Marek, Pokorski (red.) 1998; Deczkowski 1976, 1977; Deczkowski, Franczyk 1988; Dayczak-Calikowska, Moryc 1988; Marek 1977; Marek, Pajchłowa 1997; Mrozek 1975; Pie kowski 2004) stwierdzono, e najkorzystniejsze warunki kolektorskie powinny wykazywa niektóre poziomy jury rodkowej i dolnej oraz w mniejszym stopniu triasu dolnego a tak e poziom piaskowca trcinowego triasu górnego. Wykorzystuj c istniej ce bazy danych, na podstawie danych z 150 otworów zakre lono na mapie obszar wyst powania osadów jury dolnej i rodkowej w zakresie g€boko ci 800-2000 m. Ponadto podano na niej zasi g wyst powania kredy dolnej, której niektóre poziomy piaskowcowe uznano za potencjalny dodatkowy kolektor (Fig. 1.1.1_2).

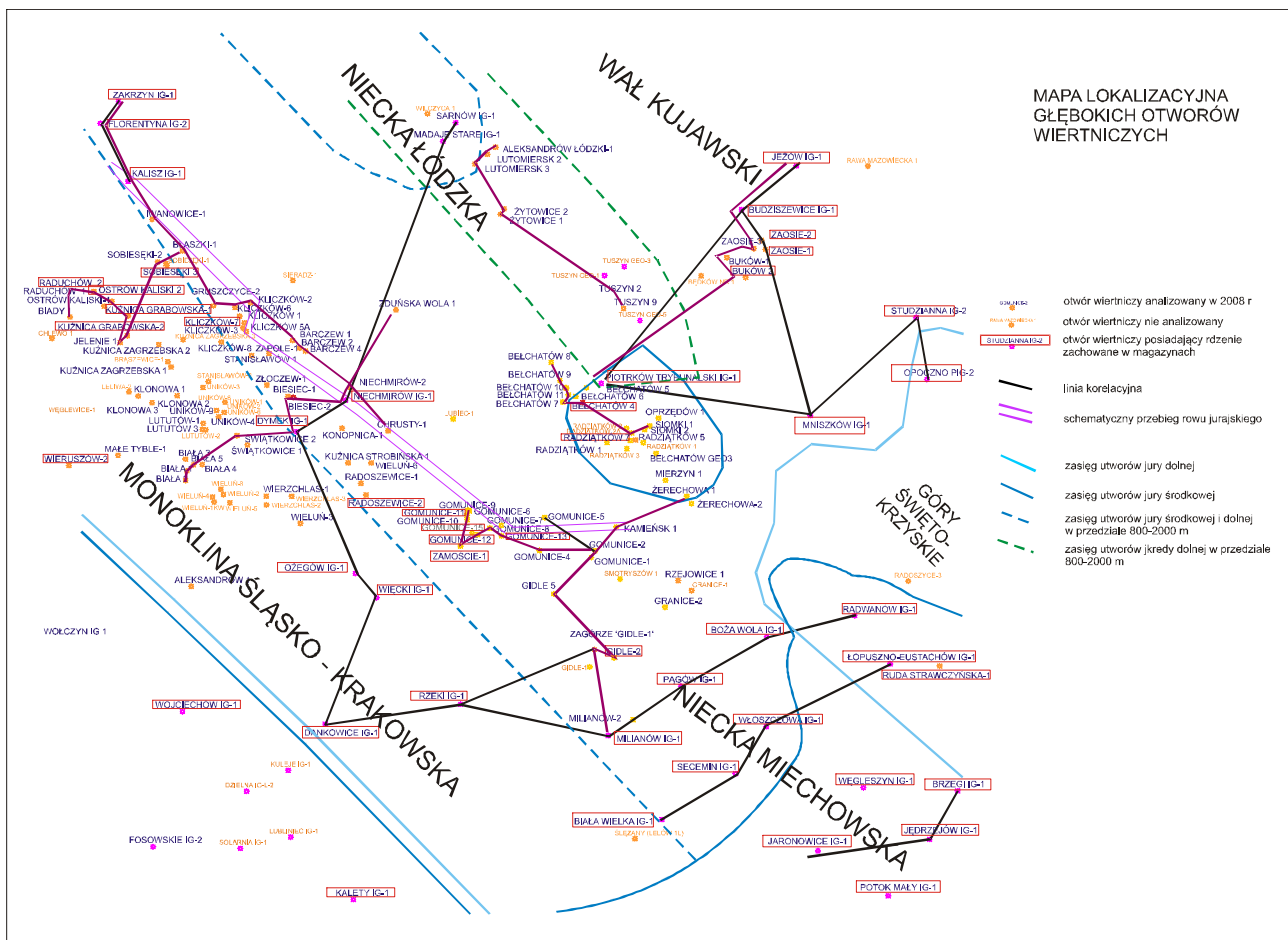


Fig. 1.1.1_2 Lokalizacja głębokich otworów wiertniczych

i zasi gów perspektywicznych formacji jury i kredy

Na podstawie zamieszczonych zasi gów uznano, e potencjalnych struktur korzystnych dla składowania CO₂ w utworach jury rodkowej nale y poszukiwa na obszarze kalisko-cz stochowskim, w północnym odcinku niecki miechowskiej, w rejonie bechatowskim oraz na obszarze wał kujawskiego. Ten sam obszar jest równie perspektywiczny dla utworów jury dolnej, przy czym w tym przypadku nale y do analizy wrczy caó obszar niecki miechowskiej. Utwory kredy zalegaj na odpowiedniej gęboko ci jedynie na obszarze niecki mogile sko-ódzkiej. W celu wytypowania struktur w utworach triasowych nale aó przeanalizowa caó obszar bada poza nieck mogile sko-ódzk oraz rejonem wi tokrzyskim.

Przeanalizowano materiaó archiwalne ze 155 gębokich otworów wiertniczych pochodz cych z dokumentacji wynikowych oraz danych otworowych publikowanych w serii Profile Gębokich Otworów Pa stwowego Instytutu Geologicznego. Po wst pnej analizie budowy geologicznej podj to decyzj o ograniczeniu obszaru poszukiwa i wykluczeniu rejonu niecki miechowskiej oraz północnej cz ci niecki ódzkiej, ze wzgl du na niekorzystne warunki dla zatłczania CO₂ (brak odpowiedniej mi szo ci skał zbiornikowych). Z tego powodu 15 otworów ju przeanalizowanych nie zostaó wykorzystanych w nast pnym etapie bada . Nast pnie wykonano szczegóów analiz poszczególnych podobszarów na podstawie danych karota owych, litologicznych oraz wyników bada archiwalnych z 140 gębokich otworów wiertniczych. 71 otworów zostaó wykorzystanych do korelacji regionalnych, dla 89 otworów zostaó stworzona baza otworowa zawieraj ca szczegóów stratygrafi utworów jury rodkowej, dolnej oraz triasu. Pozostaó otwory zostaó przeanalizowane, jednak zostaó wykorzystane jedynie do ogólnego rozpoznania terenu.

Analiza archiwalnych danych petrograficznych (Katarzyna Jarmóówicz-Szulc)

Analiza archiwalnych danych petrograficznych polegaó na przejrzaniu dokumentacji i ocenie przydatno ci zamieszczonych tam informacji. W sumie przeanalizowano 155 dokumentacji z gębokich otworów wiertniczych pod tym k tem.

Ogólna ocena danych archiwalnych, wobec dost pnych do bogatych materiaów rdzeniowych (patrz rozdziaó 1.1.5), wypadó negatywnie. Zamieszczone w dokumentacjach wyniki podane s w nienowoczesny sposób, nie zawieraj bada porowato ci w barwionych pótkach cienkich. Ponadto prezentowane s w bardzo ró ny sposób co utrudnia ich wzajemne porównanie. W wi kszoci dokumentacji przedstawione wyniki bada petrologicznych maj charakter wyrywkowy, nie systematyczny.

Inwentaryzacja danych hydrogeologicznych (Lidia Razowska-Jaworek)

W celu wskazania potencjalnych poziomów najlepszych dla geologicznego składowania CO₂ w rejonie Bechatowa dokonano analizy parametrów hydrogeologicznych gównie na podstawie wyników uzyskanych z opróbowania poziomów zbiornikowych w gębokich otworach badawczych, poszukiwawczych i hydrogeologicznych Pa stwowego Instytutu Geologicznego oraz w gębokich otworach wiertniczych Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa. Przeanalizowano okoó 190 otworów, i ze wzgl du na gęboko , do wst pnej charakterystyki formacji wodono nych wytypowano 79 otworów wiertniczych ujmuj cych kompleksy skaóo najlepszych wóciwo ciach zbiornikowych i du ym zró nicowaniu mineralizacji oraz warunków ci nieniowych, które mog by potencjalnie zbiornikami do składowania CO₂, czyli triasu, jury i kredy. Otwory ujmowaó utwory od kambru po czwartorz d.

W celu wst pnego wydzielenia formacji wodono nych, poza otworami, przeanalizowano

opracowania kartograficzne oraz materiały archiwalne, w tym między innymi: Atlas hydrochemiczny i hydrodynamiczny paleozoiku i mezozoiku oraz ascensyjnego zasolenia wód podziemnych na Ni u Polskim (Bojarski, 1996); Geneza i paleohydrogeologiczne warunki występowania wód zmineralizowanych na Ni u Polskim (Paczyński, Pałus, 1970); Mapa miąższości strefy wód śródkich (zwykłych); Atlas hydrogeochemiczny Polski 1:2000000, (Pechniowski, 1968); Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku, mezozoiku i permu, skala 1:1000000 (Polarowski, Radwański, 1972); Atlas wód geotermalnych Ni u Polskiego. Zbiorniki dolnojurajski i dolnokredowy. Katalog otworów wiertniczych i studni głębinowych w utworach kredy dolnej i jury dolnej na Ni u Polskim (Górecki, 1990).

Przy wydzieleniu formacji o wysokim potencjale do lokowania CO₂ uwzględniano następujące kryteria hydrogeologiczne: głębokość 1000-4000 m, miąższość ponad 20 m, obecność izolującego nadkładu i dominujące facje piaskowcowe. Ograniczony potencjał posiadają obszary, gdzie facje piaskowcowe są zastąpione drobnoziarnistymi klastycznymi osadami, zredukowana porowatość piaskowców do 10%, miąższość 10-20 m lub głębokość pomiędzy 800-1000 m.

Przeanalizowano 85 zbadanych poziomów zbiornikowych w otworach wiertniczych, w tym: 9 w utworach kredy dolnej z interwałami głębokości od 538 do 2150 m, o mineralizacji 0,3-74 g/l, 14 w utworach jury górnej z interwałami głębokości 778-3035 m, o mineralizacji 0,2-109 g/l, 20 w utworach jury środkowej z interwałami głębokości 815-2485 m, o mineralizacji 1,2-111 g/l, 18 w utworach jury dolnej z interwałami głębokości 518-2485 m, o mineralizacji 0,4-51 g/l, 24 w utworach triasu górnego z interwałami głębokości 1025-2576 m, o mineralizacji 6-167 g/l.

Spółród 79 otworów z badanego obszaru, w 17 wykonano badania porowatości i przepuszczalności skał. Osady jury środkowej zbadano w 4 otworach (7 oznaczeń porowatości i 2 oznaczenia przepuszczalności). Osady jury dolnej zbadano w 5 otworach (23 oznaczenia porowatości i 17 oznaczeń przepuszczalności). Osady triasu górnego zbadano w 12 otworach (50 oznaczeń porowatości i 28 oznaczeń przepuszczalności).

Dane hydrogeologiczne, w różnym zakresie, występują dla osadów jury środkowej w 13 otworach, dla jury dolnej w 19 otworach, a dla triasu górnego w 21 otworach.

W celu dokonania badań hydrogeochemicznych zinventaryzowano wszelkie dostępne dane dotyczące składu chemicznego i parametrów fizyko-chemicznych w badanym rejonie. Zestawiono 143 analizy chemiczne z 65 otworów wiertniczych z głębokości od 518 m do 4224 m, w tym wśród w/w analiz: 34 z utworów permskich, 11 z dolnotriasowych, 7 środkowotriasowych, 24 górnotriasowych, 18 dolnojurajskich, 20 środkowojurajskich, 14 górnójurajskich i 11 kredowych. Przeanalizowano 137 oznaczeń mineralizacji, 140 oznaczeń ciężarowego, 138 oznaczeń Cl i Ca, 110 oznaczeń Na i 76 oznaczeń Br.

Dla wszystkich analiz wykonano bilans anionowo-kationowy w celu oszacowania błędów analizy i usunięcia z dalszych badań te analizy, w których błąd byłby większy od 10%. W 20 przypadkach sięgnięto do oryginalnych dokumentacji ze względu na dyskusyjną wartość niektórych składników, np. brak pewności co do jednostek dla Na w bazie PGNiG. Dokonano wglądu w dokumentację otworów głębokich z powierzchni: Buków 1, Buków 2, Lutomiersk 2, Lutomiersk 3, Bełchatów 8, Bełchatów 9, Bełchatów 10, Bełchatów 11, Rawa Mazowiecka 1, Jeńców IG 1, Szwejki 1, Szwejki IG 3, Zaosie 1, Zaosie 2, Zaosie 3, Łęchowa 1, Łęchowa 2. Ponadto wykorzystano informacje dotyczące badań hydrogeologicznych zawarte w publikacjach: Budziszewice IG 1, Piotrków Trybunalski IG 1, Wrotnów IG 1 z serii Profile Głębokich Otworów Wiertniczych PIG.

Wstępna charakterystyka znanych i nowych struktur (Adam Wójcicki, Marek Jaroski)

Na podstawie analizy archiwalnych materiałów geologiczno-geofizycznych (oraz wyników nowych prac wykonanych w ramach tematu, dostępnych na koniec marca 2009) przeprowadzono wstępny weryfikacyjny przydatności struktur w poziomach wodonośnych solankowych opracowanych przez IGSMiE w zadaniu 1.1.19, scharakteryzowanym powyżej (Kliczków, Lutomiersk, Tuszyn, Jeżów) oraz dwóch innych struktur (Gomunice i Gidle), zidentyfikowanych w obrazie archiwalnych map sejsmicznych. Ponadto przeanalizowano strukturę Budziszewice (albo kulminacja Zaosie struktury Justynów-Zaosie zidentyfikowanej przez Marka, 1977).

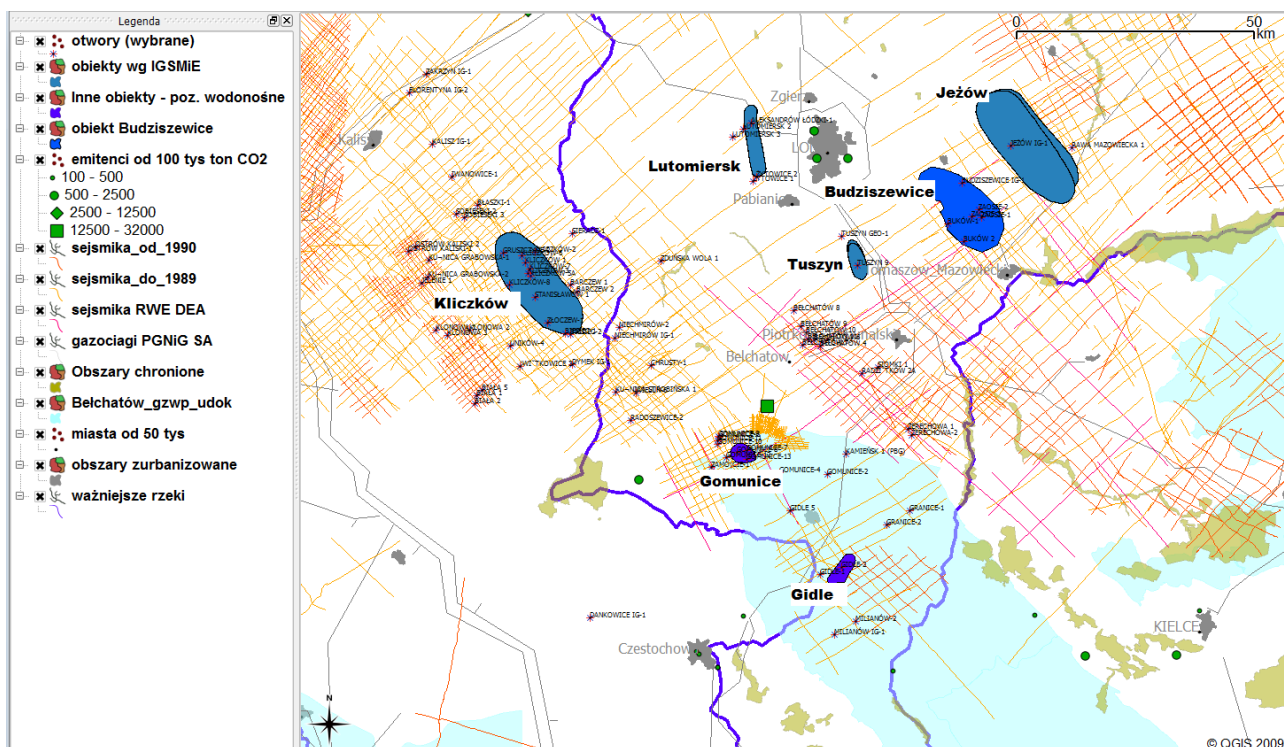


Fig. 1.1.1_3. Lokalizacja znanych i nowych struktur.

Do analiz przydatności struktur jako potencjalnych składowisk przyjęto następujące, jednolite kryteria (analogiczne jak w tabeli 1.1.1.1).

Tabela 1.1.1.4 Kryteria oceny przydatności struktur w poziomach wodonośnych solankowych jako potencjalnych składowisk.

| Kryteria | Wskaźniki pozytywne | Wskaźniki negatywne |
|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Głębokość występowania kolektora | ≥ 800 m, $\leq 2000-2500$ m | $> 2500-3000$ m |
| Międzykolektorów | ≥ 50 m | < 20 m |
| Porowatość kolektora | $\geq 10-20\%$ | $< 10\%$ |
| Przepuszczalność kolektora | ≥ 100 mD | $< 10-100$ mD |
| Zasolenie wód zlewnych | $\geq 30-100$ g/l | < 10 g/l |
| Międzywarstw uszczelniających | ≥ 100 m | < 50 m |

| | | |
|---------------------------------------|---------------------|---|
| Integralno warstw uszczelniających | W pionie i poziomie | Uskoki w obrębie warstw uszczelniających |
|---------------------------------------|---------------------|---|

Należy przy tym nadmienić, że waga poszczególnych kryteriów zależy od danego przypadku. Przyjmuje się zwykle (Chadwick et al., 2006) że niespełnienie dwóch kryteriów (wskaźniki negatywne) dyskwalifikuje strukturę jako potencjalne składowisko. Istotne jest też rozpoznanie geofizyczno-otworowe danej struktury oraz stopień reprezentatywności i jakości posiadanych danych geofizyczno-geologicznych.

W tabeli 1.1.1.5 przedstawiono wyniki wstępnej charakterystyki siedmiu struktur w rejonie Bełchatowa, dokonanej na podstawie pomiarów (patrz też rozdział 1.1.2).

Tabela 1.1.1.5 Wyniki wstępnej charakterystyki struktur solankowych w rejonie Bełchatowa.

| Struktura | kolektor | otwór zaty | strop kolektora | mi. sz. | wys kolekt. | porowat. % | przepuszcz. | zasolenie g/mi. sz. | int uszcz. | Otwory (op) | sejsmika (g) |
|--------------|------------|--------------|-----------------|---------|-------------|------------|-------------|---------------------|------------|-------------|--------------|
| Comunice | Jb1&Jto3; | Comunice-13 | 900 | 100 | 100 | 20 | 600 | 3.30 | >100 | od NE rów | 3 |
| Gidle | Jb1&Jto3; | Gidle-2 | 1100 | 60 | 40 | 15-20 | <500 | <10 | 60 | dostat | 1.2 |
| Kliczków J | Jpl | Niechmierz | 1100 | 200 | 200 | 20 | 500 | 127 | 100 | dostat | 1.2 |
| Kliczków T | Tp2 | Kliczków-6 | 2100 | 100 | 100 | 10 | 10.50 | 150 | 200 | dostat | kilka |
| Lutomiersk | Jbj+a+to3; | Lutomiersk-2 | 1500 | 300 | 150 | 15 | >200 | 100 | 100 | dobrze | 2.3 |
| Tuszyn K | K1 | Tuszyn-2 | 737 | 100 | 50 | 25 | 800 | <1 | ??? | ??? | 2.3 |
| Tuszyn J | J2 | Tuszyn-2 | 1900 | 200 | 100 | 15 | >100 | <1 | 60 | ??? | 2.3 |
| Budziszewice | Jpl3&Js+h | Zaosie-2 | 775 | 150 | 100 | 22 | 800 | 4.9 | 100 | dobrze | 6 |
| Jeńców J | Ja+to3&Jp | Jeńców IG-1 | 626 | 250 | 100 | 22 | 600 | 13 | 200 | zuskokowa | 27.8 |
| Jeńców T | Tp2 | Jeńców IG-1 | 3000 | 360 | 150 | <20 | <100 | 360 | >200 | ??? | 25.6 |

Wadą z dotychczasowych struktur nie ma wystarczającej dokumentacji sejsmicznej, umożliwiającej konstrukcję w miarę precyzyjnego modelu szczegółowego i wstępnej lokalizacji otworów do zatęszczania. Dodatkowo na istniejących sekcjach na głębokości występowania J1, zwłaszcza w osi struktur wyniesionych (brachyantyklin), jako sejsmiki jest czysto niewystarczająca dla scharakteryzowania geometrii struktur. Dokumentacja otworowa rozpatrywanych struktur jest również uboga (zwłaszcza w osi struktur). W odległości ok. 50-100 km od Gór w Tokrzyskich i podtrzęsionych wychodni na wale przedkarpaccim kolektor J1 jest wydobywany poniżej 10 g/dm³, z tym że wydobywanie to może mieć charakter kopalny, związany z istnieniem zbiornika morskiego o niskim zasoleniu przed inwersją bruzdy duńsko-polskiej oraz występowaniem tam wód słodkich w odległej przeszłości geologicznej. Niecka Miechowska jest wydobywana z dwóch stron od G. w. i Jury Krakowsko-Cz. stochowskiej. Dalej ku N wzdłuż wału północnego zasolenie J1 zawiera się w przedziale 10-50 g/dm³.

Według wstępnych analiz trzy struktury mogą być przydatne jako potencjalne składowiska, wykorzystane ewentualnie przez PGE Bełchatów, jednak nie zostały jeszcze zweryfikowane przez wyniki prac przedstawionych w kolejnych rozdziałach.

Struktura Lutomierska – jest to południowy skraj cięgi wysadów Kłodawy i częściowo przebitej soli cechuskiej o rozciągłości południkowej. Na podstawie obrazu grawimetrycznego przypuszcza się, że struktura ta jest zamknięta ze wszystkich stron. Od W jest ona ograniczona uskokiem (przedłużeniem uskoku Gop-Pon towa – Marek, 1977), który ze względu na brak dobrych jakościowo danych sejsmicznych z tego obszaru nie może być dokładnie scharakteryzowany, ale informacje z otworów Lutomiersk-2 i Lutomiersk-3 sugerują, że jego zrzut wynosi w jurze kilkaset metrów. Blisko osi struktury znajduje się jeden otwór (Lutomiersk-2), w którym występują dwa kolektory jurajskie (bajos i aalen&tarok górny), o odpowiedniej miąższości. Strop wysad kolektora J2 występuje w tym otworze na głębokości ok. 1470 m, co gwarantuje dobre warunki fizyczne zatęszczania (tzn. temperatury i ciśnienia zapewniające osi gnicie stanu nadkrytycznego). Również poziomy uszczelniający spełniający tu z powodzeniem kryterium miąższości. W drugim otworze znajdują się na E skłonie struktury (Aleksandrów / odzki-1) kolektory mające nieco

mniejsze miłoścy, które jednak cięgle są zadowolające. Na W od uskoku ograniczającego wyniesienie od W miłoścy kolektorów gwałtownie spadają, a ich głębokość wzrasta, co jest wynikiem zarówno synsedymacyjnej jak i późniejszej aktywności wspomnianego uskoku, prawdopodobnie ograniczającego struktur solną w podłożu. Struktura ta jest zatem asymetryczna lecz jej dokładna geometria nie może być zrekonstruowana w oparciu o istniejący materiał archiwalny. Interesująca nas struktura przeciętna jest w siedziwisku wspomnianych otworów tylko jednym profilem sejsmicznym, inne profile jedynie zahaczają o jej krańce (na południu i NE). Dotychczas stwierdzono najbardziej istotną wadą tej struktury jest prawdopodobne wysłdzenie solanek kolektora J2 poniżej wartości charakterystycznych dla tego obszaru, wynikające z wysokiej elektrooporności tego kompleksu, dokumentowanej geofizyką wiertniczą. Otwór znajdujący się na skłonie struktury ma zasolenie normalne dla tego obszaru. Sugeruje to możliwość rozszczelnienia strefy uskoku ograniczającej struktur Lutomierska od W, która to strefa może mieć łączność ze strefą uskoku w rejonie Tuszyna. Jednak otwór zlokalizowany najbliżej strefy uskoku po jej W stronie wykazuje zasolenie normalne w obrębie J2. Informacje te są niejednoznaczne i dlatego struktura ta jest, mimo wszystko, godna rozpatrzenia.

Struktura Budziszewice (segment Zaosie formy strukturalnej Justynów-Zaosie) ó Jest to rozległa struktura o dwóch kolektorach w obrębie J1 (Pliensbach, synekury i wątki) rozdzielonych przeciętnie miłoścy uszczelnieniem i przykryte wiłkszej miłoścy uszczelnieniem (toarku). W osiowej partii struktury zarówno kolektory jak i uszczelnienia mają mniejszą grubość na skłonach struktury. Elewacja górnego kolektora głównego segmentu struktury znajduje się na głębokości ok. 700-770 m (pomiędzy otworami Zaosie-1 i Zaosie-3, gdzie głębokość stropu kolektora Pliensbachu wynosi około 770 m, ale kulminacja miłoścy może być o kilkadziesiąt metrów wyższa). Z profilu sejsmicznego podłożnego, o służej jakości, wynika, że zamknięcie tej struktury na jej krótszych końcach może być punktowe: ponad 100 m SE strony oraz kilkadziesiąt m od NW. Ewentualne przelanie się CO₂ od NW strony tej struktury może spowodować przedostanie się do segmentu (Justynowa), gdzie elewacja kolektora może być na głębokości ok. 600 m, a zasolenie < 1 g/dm³. W otworze znajdującym się blisko przegubu struktury kolektory znajdują się na dostatecznej głębokości (Budziszewice IG-1). Dla elewacji kolektora segmentu głównego (struktura Budziszewice=Zaosie) charakterystyczne jest punktowe występowanie kolektora Pliensbachu, na głębokości odpowiadającej granicy obszaru nadkrytycznego (aby osiągnąć obszar nadkrytyczny temperatura musi być wyższa od 31.3 C a ciśnienie od 7.3 MPa ó to ostatnie zachodzi, przy założeniu ciśnienia hydrostatycznego, na głębokości wiłkszej od 730 m). O ile według szurowych wyników pomiarów temperatury w otworach jej wartości mieszczą się w tym przedziale, to wartości otrzymane po kalibracji na wpływ konwekcji płuczki i tzw. poprawki klimatycznej (Szewczyk, 2009) sugerują, że temperatura na głębokości 700 m może być niższa, nawet 28-29 C (ale jest to jeden z modeli kalibracji temperatury, dający skrajnie niskie wartości). Sugeruje to możliwość zagotowania CO₂ w najwyższej części struktury, gdzie jednak kolektor wycienia się. W głównym segmencie występują w obrębie większego kolektora wody wysłdzone (1-10 g/cm³) ale stagnujące, według analiz hydrogeochemicznych zespołu hydrogeologicznego PIG (patrz rozdział 1.1.6) oraz analiz paleontologicznych. Problemem jest, jak w przypadku innych struktur, służyć jako wiłkszość danych sejsmicznych (tylko trzy profile na 14 przechodzących przez struktur pochodzą sprzed kilku lat, reszta to profile z lat 1970-tych). Ze względu na głębokość i ciśnienie najbardziej obiecujący jest kolektor w obrębie synemuru, ale pod warunkiem dostatecznej izolacji od Pliensbachu. Kolektory w obrębie triasu nie posiadają korzystnych właściwości, może poza pstrym piaskowcem, który jednak występuje zbyt głęboko (~3 km). Zarówno głębokość kolektora Pliensbachu jak i umiarkowane zamknięcie struktury od NW sprawia, że istnieje pewne ryzyko odrzucenia tej struktury jako docelowego miejsca składowania po dokładniejszym jej rozpoznaniu.

Rowy w okolicy Kliczkowa. Struktura ta została określona jako obiecująca ze względu na dobre parametry kolektora w obrębie rowu jurajskiego o szerokości ok. 2 km i rozciągłości NW-SE. Występują tu dwa kolektory jurajskie (potencjalny kolektor piaskowca ma wszędzie przepuszczalność bliską minimum, a w obrębie rowu znajduje się ponadto na zbyt dużej głębokości). Strop górnego kolektora J2 w obrębie rowu spłyca się do 600 m, toteż jako bezpieczny można uważać wyłącznie dolny kolektor jurajski. Wówczas dla osi górnego kolektora potrzebna jest długość struktury kilkudziesięciu kilometrów rowu. Na podstawie istniejących danych geologicznych nie można stwierdzić, czy struktura wykazuje taką głębokość, a dodatkowo na tak długim odcinku istnieje możliwość rozszczelnienia uskoków ograniczających rów. Mimo dobrych parametrów kolektora (np. w otworze Niechmirów IG-1) i uszczelnienia struktura ta daje jeszcze mniejsze szanse na ulokowanie w niej składowiska CO₂ (zbyt mała pojemność).

Pozostałe struktury są, według wyników wstępnych analiz, mniej odpowiednie jako potencjalne składowiska niż wspomniane trzy powyżej.

Kliczków ó monoklina na W od rowów jurajskich. Strop kolektora J1 na głębokości 600 m i mniej. Na W od rowu strop piaskowca (Tp) spłyca się monoklinalnie z 1800 do 1400 m, ale uszczelnienie jest coraz ciejsze (skrajnie poniżej 40 m). Wadliwszego kolektora Tp nie jest głęboko, ale raczej słaba porowatość (10%) i przepuszczalność (kilkadziesiąt mD). Kolektor charakteryzuje wysokie zasolenie.

Struktura Tuszyna ó stropy kolektorów J1 i J2 na dużej głębokości ok. 1800 ó 2200 m, a mimo to wysycenie wody w 2 otworach (< 1 g/dm³). Anomalia wysycenia wykracza daleko poza wartość tła, a zatem duże ryzyko związane z podziemnym rozciąganiem osi struktury przez uskoki (? przesuwczy), o geometrii predestynującej go do reaktywacji. Mała ilość danych sejsmicznych. Sprawdzić można na N fragment struktury, oddalony od przewodniej strefy uskoku i cechujący się większymi kolektorami ó jednak tam brak danych otworowych.

Struktura Jełowa ó elewacje osi zdecydowanie za płytkie (do 550 m) ó duże ryzyko wrzenia CO₂, przeciwna ilość danych. Sejsmika sugeruje nadkład uszczelniających struktur od góry jest uskokuwany. O struktury płytko zamknięta od strony SE.

Struktura Gomunic ó jest dwudzielna, w części północnej spłyca się przy rowie Kleszczowa, gdzie strop najwyższego kolektora (J2) występuje na głębokości ok. 500-600 m. W tym miejscu struktura kontaktuje z główną, południową dyslokacją rowu (właśnie ten ostatni obiekt zaznaczono na Fig. 1.1.1_3). Od wschodu jest ona prawdopodobnie równie ograniczona strefami uskoku rozcinającymi rów w okolicach wysadu Dębina.

Struktura Gidle - na dużej głębokości jest T3 ó piaskowiec trzciniowy ó ale ew. struktura jest ledwie zarysowana, płytka i słabo domknięta od W. W jurze nie zaznacza się na (słabej jakości) obrazie sejsmicznym. Największym problemem są strefy uskoku w siedztwie, które należą do uskoku poprzecznych tych rowów Bełchatowa ó aktywne neotektonicznie. Mimo dobrego zasolenia struktura ta może się rozszczelić, ponieważ blok ograniczony jest strefami tektonicznymi. Pojemność ew. struktury jest zbyt mała.