

MOŻLIWOŚCI GEOLOGICZNEJ SEKWESTRACJI CO₂ W UTWORACH CZERWONEGO SPĄGOWCA BASENU POZNAŃ

FUTURE PROSPECTS FOR CO₂ STORAGE IN GEOLOGICAL STRUCTURES OF THE ROTLIEGEND POZNAŃ BASIN

JAN LUBAŚ¹, HUBERT KIERSNOWSKI²

Abstrakt. Budowa geologiczna basenu Poznania, stanowiącego część polskiego permiego basenu czerwonego spągowca, stwarza bardzo korzystne warunki do wielkoskalowej sekwestracji CO₂. Znaczącej miąższości utwory o korzystnych parametrach petrofizycznych, których przestrzeń porowa jest wypełniona solanką, tworzą megastrukturę przykrytą szczelnie od góry znaczącym pakietem ewaporatów cechsztyńskich o doskonałych parametrach izolujących. Szczelność tę potwierdzają liczne złoża gazu ziemnego, które utworzyły się w lokalnych niewielkich wyniesieniach morfologicznych. Z kolei szczelność peryferyjnych części niecki poznańskiej (kompleksu składowania) dokumentują złoża gazu, wytworzone w formie pułapek litologicznych na skutek wyklinowania się warstw kolektorskich czerwonego spągowca bądź zaniku jego cech zbiornikowych. Ten ogromny zawodniony zbiornik dodatkowo jest nasycony gazem ziemnym rozpuszczonym do warunków nasycenia w jego wysoko zmineralizowanych solankach. Znaczna ilość złóż gazu ziemnego została już wyeksploatowana, pozostała jednak infrastruktura instalacji powierzchniowych, a szczególnie korytarzy gazociągów przesyłowych, które mogłyby być wykorzystane do przesyłu sekwestrowanego CO₂, np. z aglomeracji Poznania. Wykonane do chwili obecnej modelowania statyczne i dynamiczne, potwierdziły możliwość składowania w omawianej megastrukturze kilkuset mln ton CO₂.

Słowa kluczowe: czerwony spągowiec, sekwestracja CO₂.

Abstract. Rotliegend geology of the Poznań Basin, being part of the Polish Permian Basin, provides favourable conditions for large-scale CO₂ storage. The Rotliegend deposits of significant thickness and advantageous petrophysical parameters, where the pore space is filled by brine, form a mega-structure sealed at the top by a thick unit of Zechstein evaporites. The quality of these seals is confirmed by the existence of several gas fields, originated in relatively small geomorphological traps. In turn, integrity of peripheral parts of the storage complex in the Poznań Basin is proven by the presence of gas fields originated as stratigraphic (upslope thinning reservoir lithofacies) or diagenetic (decreasing reservoir conditions) gas traps. In addition, this large aquifer is saturated by natural gas, dissolved in highly mineralized brines, up to the maximum saturation phase. The majority of gas fields are depleted, but surface infrastructure has remained, especially gas pipeline systems, which can be used for transferring sequestered CO₂, for example, from Poznań agglomeration. Static and dynamic modeling has proved the possibility of storage of several hundred million metric tons of CO₂ in this mega-structure.

Key words: Rotliegend, CO₂ sequestration.

¹ Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno, ul. Armii Krajowej 3, 38-400 Krosno

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Polska Służba Geologiczna, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: hubert.kiersnowski@pgi.gov.pl

BUDOWA GEOLOGICZNA NIECKI POZNAŃSKIEJ W KONTEKŚCIE AKUMULACJI GAZU I POTENCJALNEJ SEKWESTRACJI CO₂

W basenie Poznania główną skałą zbiornikową są utwory górnego czerwonego spągowca (saksonu). Składają się one głównie z piaskowców drobnziarnistych i średnioziarnistych z domieszką materiału grubszego. Spoiwa łączące te osady mają charakter ilasto-wapnisto-żelazisty, od rodzaju spoiwa zależy w znacznym stopniu przepuszczalność i porowatość kolektorów. Znaczna zmienność rodzaju spoiwa w omawianym profilu powoduje duże zmiany właściwości 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, 1985). Z uwagi na mocno urzeźbiony rejon górzysto-pagórkowaty, gdzie względ-

ne 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 tylko cechsztynu, jest strukturą tektoniczną, wokół której w różnego typu pułapkach powstały nagromadzenia gazu. W ten sposób wał wolsztyński tworzy pewnego rodzaju zapórę dla węglowodorów migrujących z głębi basenu ku jego strefom brzeżnym.

Osady czerwonego spągowca górnego w południowo-zachodniej części basenu Poznania osiągają miąższość 350–400 m (fig. 1). Są to w większości piaskowce eoliczne. W kierunku krawędzi wyniesienia wolsztyńskiego wzrasta udział osadów gruboklastycznych, zlepieńców składających się ze skał wulkanicznych permu-karbonu oraz skał kła-

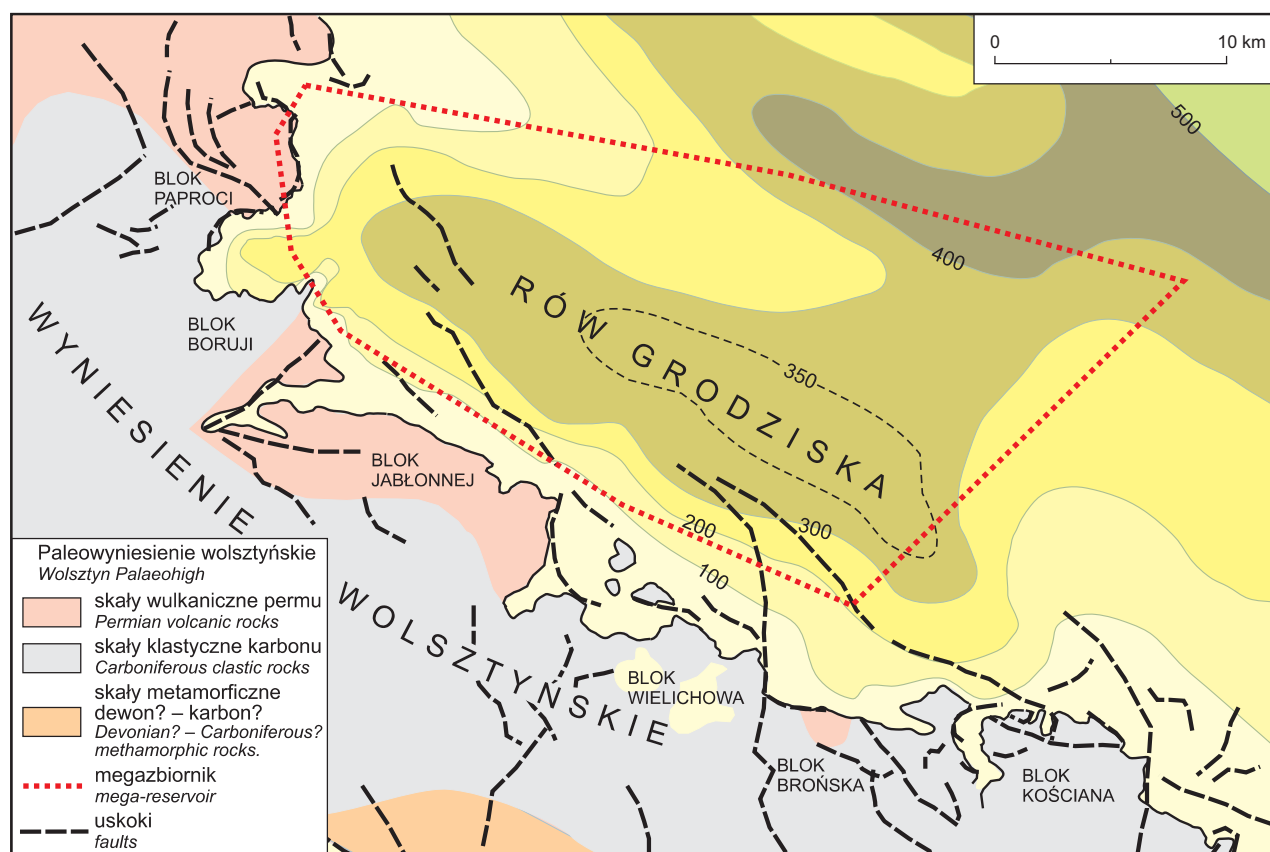


Fig. 1. Mapa miąższości osadów górnego czerwonego spągowca w południowo-zachodniej części basenu Poznania

Uskoki tektoniczne wyinterpretowano na podstawie map strukturalnych spągu cechsztynu i szeregu zdjęć 3D. Zaznaczono obszar megastruktury mogącej stanowić zbiornik dla sekwestracji CO₂

Upper Rotliegend deposits thickness map from south-western part of the Poznań Basin

Tectonic faults were interpreted from base Zechstein structural map and several 3D maps. On the map is marked area of discussed mega-structure, being the object for future CO₂ storage

stycznych karbonu dolnego. Północna strefa krawędziowa wyniesienia wolsztyńskiego ma skomplikowaną blokową budowę tektoniczną, dodatkowo urozmaiconą przez silną erozję i jej efekty w postaci kuest, dolin i kanionów zachowanych pod przykryciem morskich osadów cechsztynu (Kiersnowski i in., 2010). Krawędziowa strefa tektoniczna była aktywna od dolnego czerwonego spągowca, czego pozostałością widoczną również w górnym czerwonym spągowcu, jest tektoniczny rów Grodziska. Sumaryczna większość osadów dolnego i górnego czerwonego spągowca

w tym rowie przekracza 600 m. Osady dolnego czerwonego spągowca reprezentowane są przez iłowce, mułowce, piaskowce i zlepieńce. Mają one dużo słabsze właściwości zbiornikowe w porównaniu z wyżej leżącymi osadami górnego czerwonego spągowca.

Na potrzeby geologicznego składowania CO₂, wydzielono południowo-zachodni fragment basenu Poznań, który ograniczony jest od zachodu i południa wałem wolsztyńskim (fig. 2). W kierunku północno-wschodnim, nasycone wodą utwory czerwonego spągowca zanurzają się do głębokości

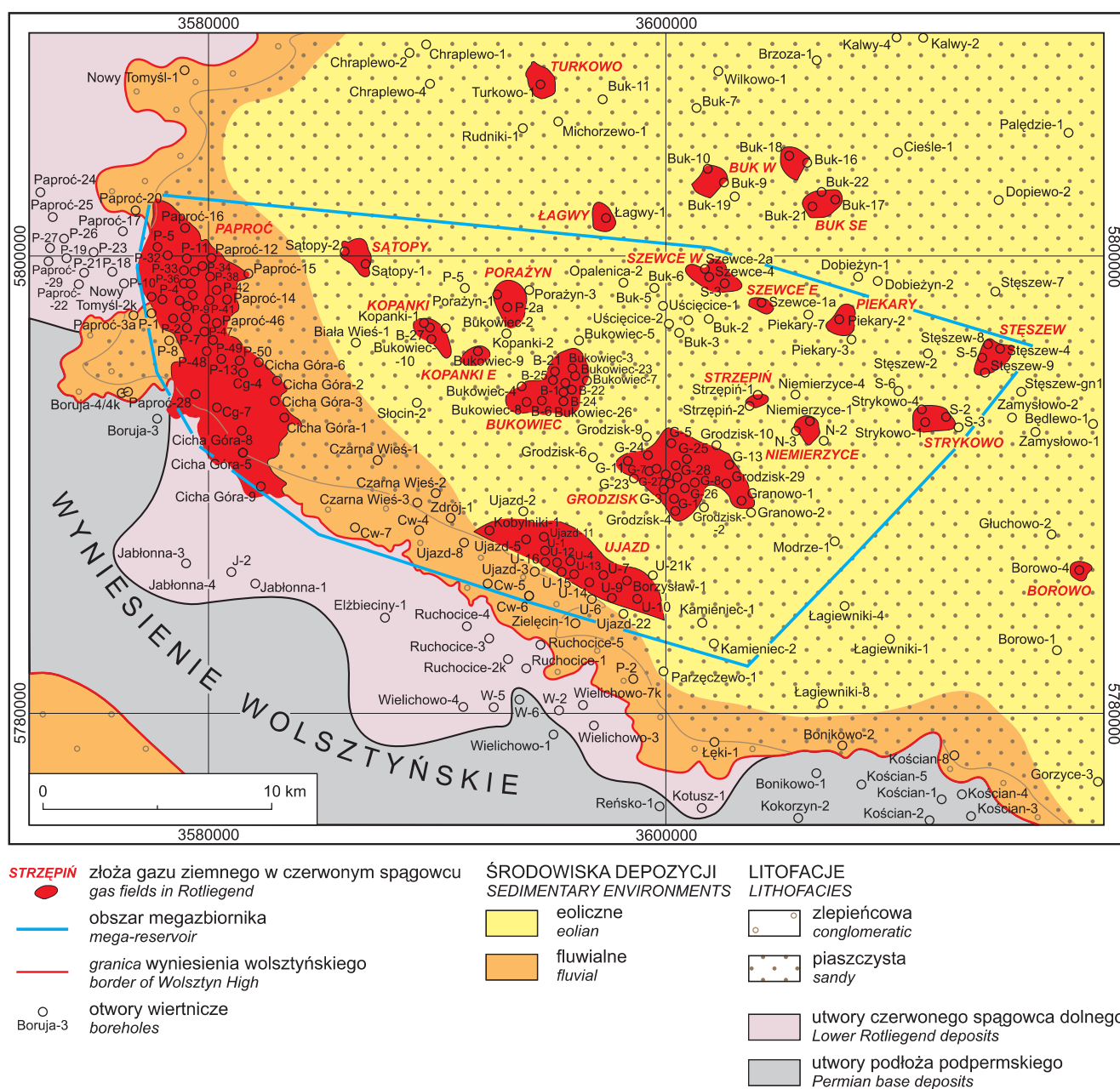


Fig. 2. Granice obszaru basenu Poznań wydzielone dla potrzeb projektu składowania CO₂ (mapa wg Buniaka, 2010)

Geological frames of area selected for CO₂ storage project in the Poznań Basin area (map after Buniak, 2010)

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 CO₂ (Lubaś i in., 2011). Dla omawianego obszaru wykonano model geologiczny przedstawiony na figurze 3 (Szott i in., 2011a).

Zasadniczą rolę w formowaniu się złóż gazu (Karnkowski, 1993) odegrały cechy zbiornikowe kolektora oraz pułapki skalne. W zależności od litologii skał i ich form strukturalnych utworzyły się określone typy złóż gazu. Na północ od wału wolsztyńskiego tworzy się pochylony ku północnemu wschodowi płaskowyż o pustynnym reliefie, gdzie zarysowują się niewielkie kulminacje pochodzenia eolicznego (Karnkowski, 1985). Te wyniesienia geomorfologiczne nasycone były gazem (obecnie wyeksploatowanym). W omawianym obszarze występują również pułapki litologiczne,

w miejscach wyklinowania lub zaniku cech zbiornikowych utworów czerwonego spągowca, np. złoża Ujazd i Paproć (Kiersnowski, Wojtkowiak, 1993).

Są to jednak struktury o niewielkich rozmiarach. Brak jest większego wpływu 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 całkowicie, do tzw. zamknięcia strukturalnego. Rozmiary pułapek złożowych są zwykle małe, powierzchnie wynoszą od 0,5–2,6 km². Wysokość pułapek dla większości złóż wynosi 4–20 m. Jedynie kilka złóż posiada wysokość 30–40 m, a złożo Paproć wyjątkowo 140 m (Karnkowski, 1993). W złożach uwiadcza się częściowy napór wód złożowych.

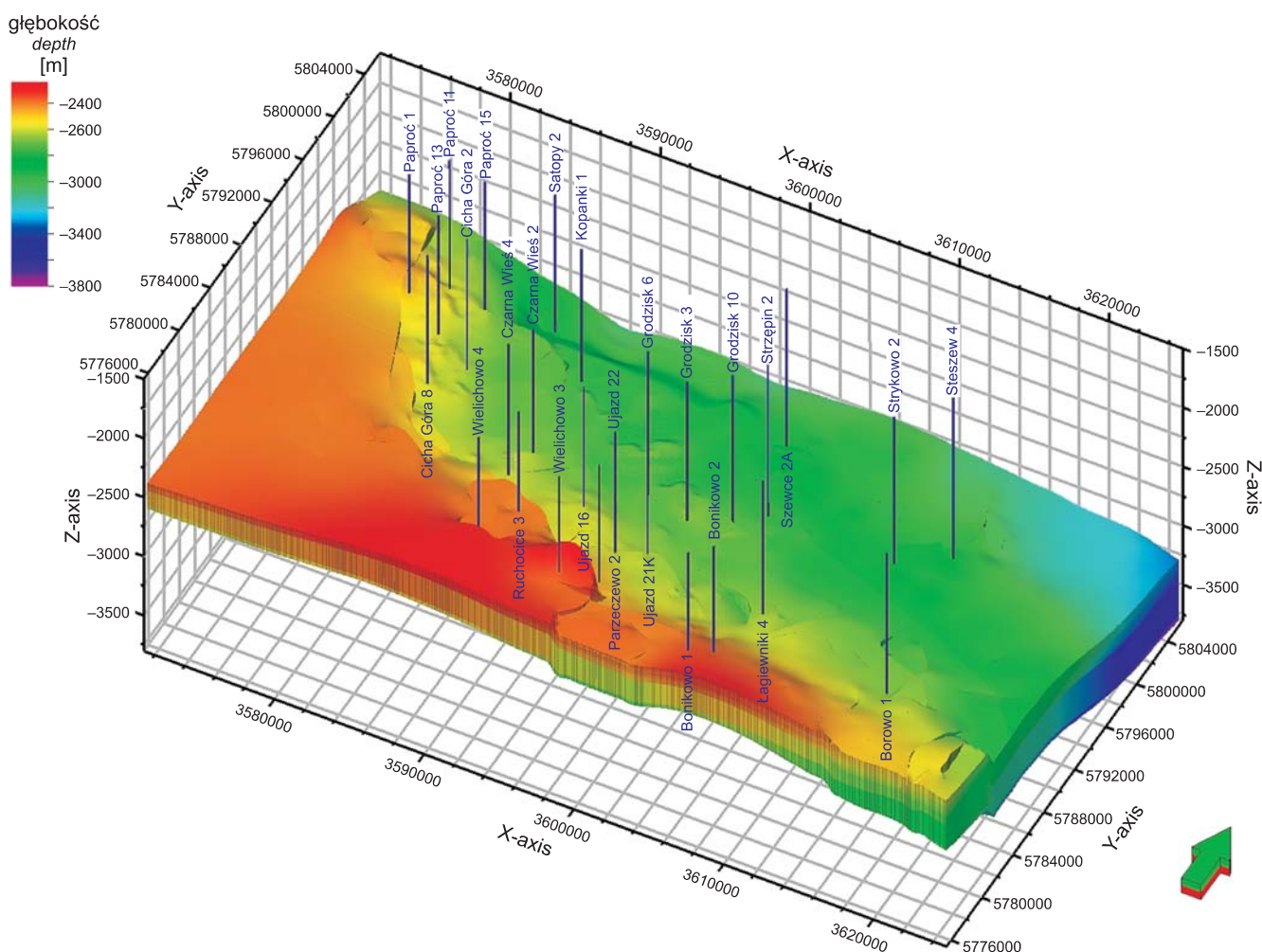


Fig. 3. Model strukturalno-geologiczny wydzielonego fragmentu w południowo-zachodniej części basenu Poznań na potrzeby projektu geologicznego składowania CO₂ (Szott i in., 2011a)

Structural-geological model of area selected for CO₂ storage project in the southwestern part of Poznań Basin (Szott *et al.*, 2011a)

WODY WGŁĘBNE

Wody złożowe czerwonego spągowca w postaci solanek chlorkowo-sodowo-wapniowych posiadają wysoką mineralizację w granicach 220–320 g/m³. Pomiary nasycenia wód wgłębnych gazem ziemnym wykonane próbnikiem złoza wykazały zawartość rozpuszczonego gazu w ilości 2,4 ndm³/dm³. Mamy więc do czynienia z pewnego rodzaju syfonem nasyconym gazem, który prawie do pełna napełniony jest wodą. Migrujący poprzez wodę gaz, po wypełnieniu lokalnych niewielkich pułapek, został zablokowany od góry szczelnym ekranem ewaporatów cechsztyńskich i zaczął rozprzestrzeniać się na boki megastruktury. Zjawisko to pozwoliło

w efekcie na nasycenie megazbiornika 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 Nm³ gazu, przy założeniu średniej miąższości poziomów zawodnionych 100 m, porowatości 10% i powierzchni 5000 km² (Karnkowski, 1979).

ANALIZA OBSZARU ZATŁACZANIA CO₂ POD KĄTEM OKREŚLENIA RYZYKA NIESZCZELNOŚCI PUŁAPKI ZŁOŻOWEJ

Obszar potencjalnego zatłaczania CO₂ w południowej części basenu Poznania to rejon złóż gazu Paproć–Grodzisk–Ujazd–Bukowiec.

Pod względem geologicznym w rejonie można wydzielić następujące jednostki stratygraficzne:

- Czwartorzęd – miąższości do 80–150 m, reprezentowany przez ility, gliny oraz piaski plejstocenu i holocenu.
- Neogen – o miąższości do 150–200 m, to oligoceńskie ility ciemnoszare i szarooliwkowe oraz miocenska seria burówłowa składająca się z mułowców jasnoszarych, iłowców węglistych, węgla brunatnych oraz piaskowców.
- Kreda tylko lokalnie, np. w rejonie Paproci, o miąższości do 70 m, reprezentowana jest przez mułowce z wkładkami piaskowców oraz wapienie margliste i margle.
- Jura to głównie osady jury dolnej w postaci mułowców i piaskowców szarych i ciemnoszarych z przewarstwieniami iłowców, o miąższości 300–550 m.
- Trias reprezentują osady pstrego piaskowca, wapienia muszlowego, kajpru i retyku. Pstry piaskowiec to iłowce, iłółpki, dolomity oraz piaskowce i mułowce, o miąższości do około 600 m. Wapień muszlowy z częścią wapienną, anhydrytowo-dolomityczną oraz wapienno-marglistą, o łącznej miąższości około 250 m. Kajper wykształcony w postaci iłowców z wkładkami piaskowców i mułowców oraz przez serie gipsowe z anhydrytami. Retyk, jego utwory to iłowce i margle brunatnoszare i szarzielone o strukturze zlepieńcowatej oraz ility szare z wytrąceniami syderycznymi, o miąższości 200–350 m.
- Cechsztyń wykazuje w tej części niecki poznańskiej silne zróżnicowanie, duże wahania miąższości i facji, łączna jego miąższość zawiera się w granicach 400–500 m. Sedymentację cyklu Werra rozpoczyna osiagający lokalnie do 0,5 m miąższości poziom łupków miedzionośnych; wapień podstawowy osiąga 0,8–5,5 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, o 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, sole Strasfurtu (sól starsza) mają miąższość na poziomie 48 m (Grodzisk 3) do 99 m (Paproć 3A); anhydryt kończący II cykl sedymentacyjny cechsztynu ma niewielką 3–4-metrową miąższość. Sedymentację cyklotemu Leine rozpoczyna szary ił 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 iłow 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 z serii eruptywnej. Są to skały wylewne typu trachybazaltów, ryodacytów i ryolitów. Powyżej serii eruptywnej, w niektórych miejscach występują skały osadowe należące do dolnego czerwonego spągowca; są to iłowce, piaskowce i zlepieńce. Przykładem jest omawiany rów Grodziska. Z kolei górny czerwony spągowiec tworzą osady saksonu pochodzenia fluwialnego i eolicznego, w postaci zlepieńców oraz drobno- i średnioziarnistych piaskowców. Miąższość dolnego i górnego czerwonego spągowca osadowego w analizowanym obszarze sięga 600 m.

Skałami zbiornikowymi megastruktury południowo-zachodniej części basenu Poznania są, jak już wspomniano, drobno- i średnioziarniste piaskowce czerwonego spągowca. Na przełomie karbonu i permu tworzyły się znacznej miąższości pokrywy skał wulkanicznych, a erodowany z nich materiał wypełniał lokalne obniżenia terenu. W końcowym okresie autunu zaznaczyły się silne ruchy pionowe fazy saalskiej na założeniach tektoniki orogenu waryscyjskiego. Intensywne blokowe ruchy tektoniczne doprowa-

dziły do częściowego wypiętrzenia i erozji skał wulkanicznych. W górnym czerwonym spągowcu były intensywnie erodowane skały wulkaniczne, jak i odsłonięte osady karbonu dolnego, które w dalszym etapie stały się źródłem osadów saksonu. Subsydencja tektoniczna i związane z nią obniżenie osadów czerwonego spągowca umożliwiły transgresję morza cechsztyńskiego. Tworzy cechsztynu reprezentowane przez ewaporaty leżą na górnej serii osadowej lub eruptywnej. Kompleks tych osadów stanowi doskonałą barierę geologiczną, oddzielającą utwory karbonu i permu (czerwonego spągowca) od młodszych osadów. Jedynie działanie halokinezy w późniejszym okresie wytworzyło wiele form w postaci wysadów, jednak poza rozpatrywanym obszarem południowo-zachodniej części basenu Poznania. Również w triasie panował okres kontynentalnej i epikontynentalnej sedimentacji, co miało wpływ na ukształtowanie skał nadkładu cechsztyńskiego.

Ogromna miąższość ewaporatów cechsztyńskich, a szczególnie utworów soli najstarszej, młodszej i najmłodszej, o łącznej miąższości dochodzącej do 300 m, zapewnia doskonałą szczelność rozpatrywanej megastruktury w planie pionowym.

Analizując z kolei ukształtowanie rozpatrywanej części niecki, co pokazano na przekrojach modelu strukturalno-geologicznego (fig. 4–7), 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. 6 i 7). Zarówno od strony zachodniej, jak i południowej istnieje doskonałe zamknięcie warstw złożowych czerwonego spągowca, który wyklinowując się, traci właściwości przepuszczalności. Swoistego rodzaju zamknięciem są również uskoki uwidocznione na figurach 6 i 7. Brak jest natomiast zamknięcia warstw złożowych w części południowo-wschodniej, co uwidacznia wykres przepuszczalności zamieszczony na figurze 5. We wschodniej części warstwy złożowe zachowują dobrą przepuszczalność i na głębokości 2600 m brak jest dobrego zamknięcia. Dlatego odwierty zatłaczające CO₂ powinny znajdować się w północno-zachodniej części niecki poznańskiej, na linii złóż gazu Sątopy–Porażyn–Buk–Szewce, a głębokość zatłaczania powinna być rzędu 2700–2800 m. Wstępnie proponowane odwierty to: Sątopy 2, Sątopy 1, Bukowiec 2, Szewce 2A, Szewce 1A, Piekary 3 (północno-zachodnia część obszaru zaznaczonego na fig. 2). Wówczas zatłaczany CO₂ będzie migrował w kierunku południowo-zachodnim, a więc w kierunku złóż gazu 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.

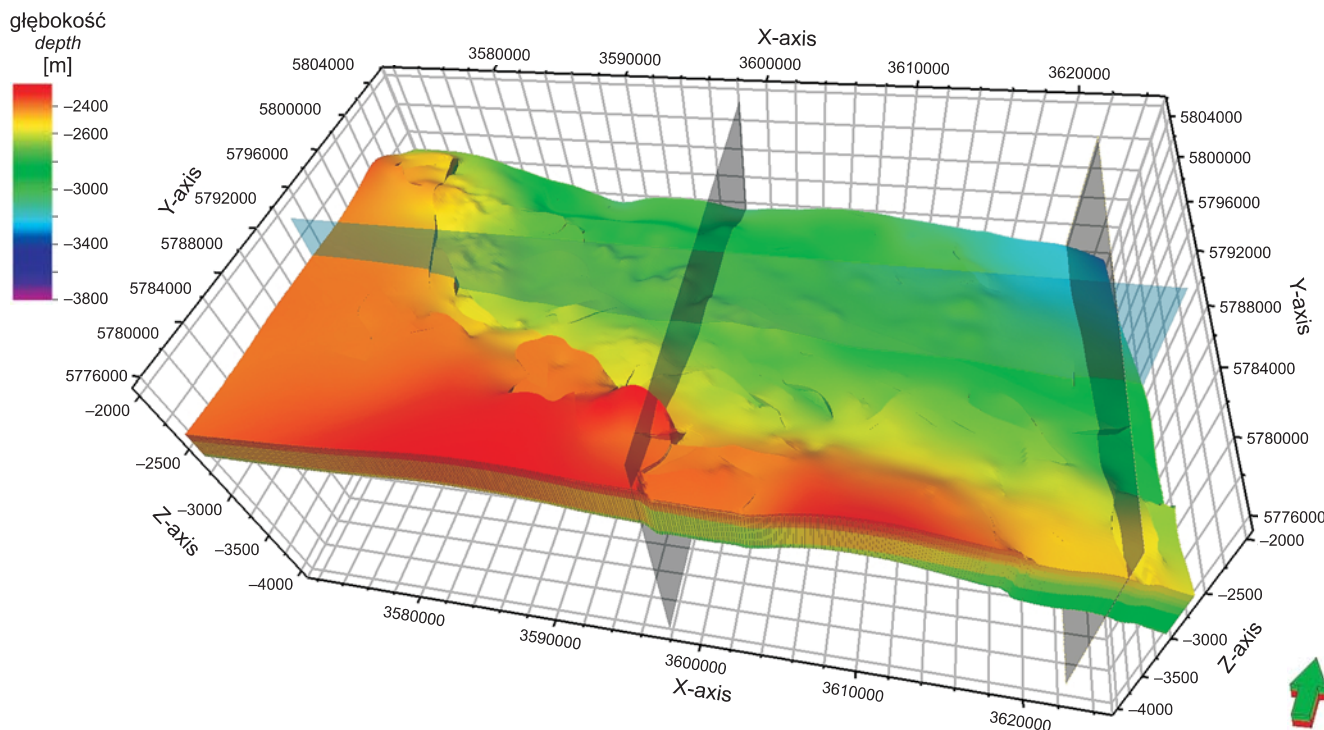


Fig. 4. Model południowo-zachodniej części megastruktury basenu Poznania z naniesioną lokalizacją przekrojów pionowych (Szott i in., 2011a)

Mega-structure model from southwestern part of the Poznań Basin, with marked cross-section locations. (Szott *et al.*, 2011a)

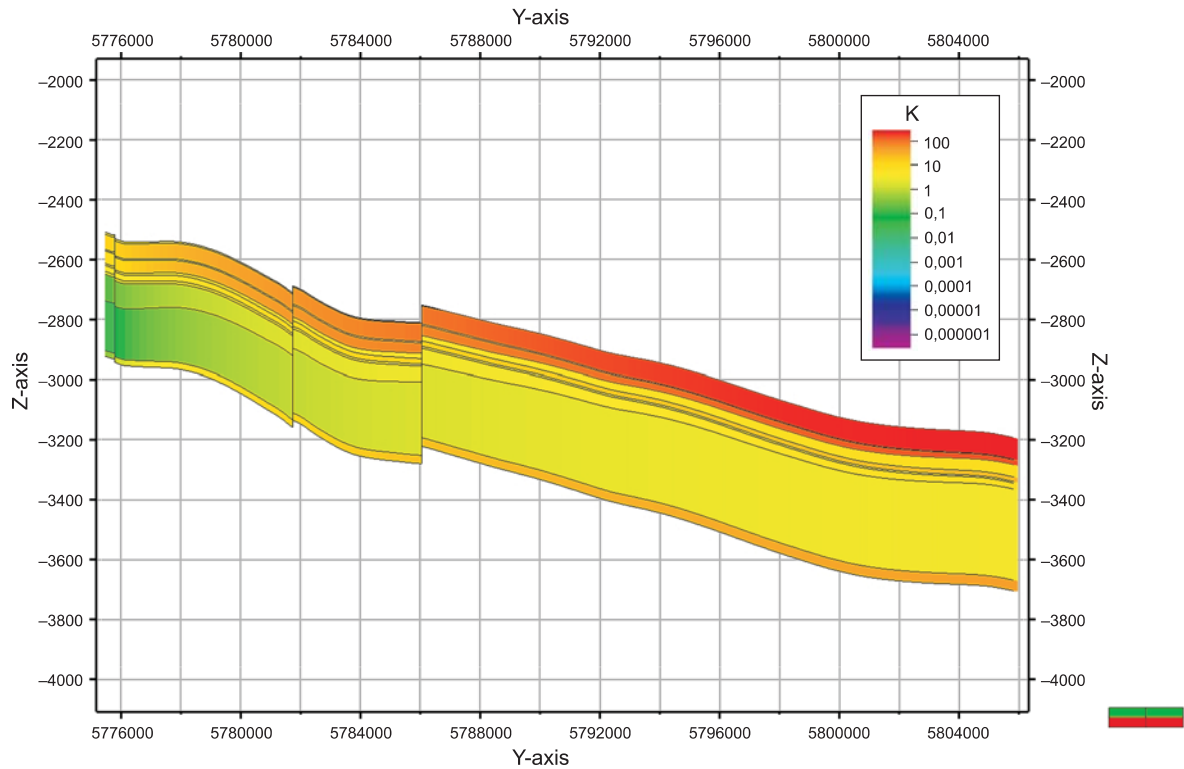


Fig. 5. Przekrój pionowy środkowo-wschodniej części basenu Poznań, obrazujący zmianę przepuszczalności skały złożowej czerwonego spągowca w wydzielonych warstwach modelu (Szott i in., 2011a)

Cross-section from mid-eastern part of the Poznań Basin, illustrated permeability alternation within Rotliegend reservoir rocks, segmented for beds for modeling purpose (Szott *et al.*, 2011a)

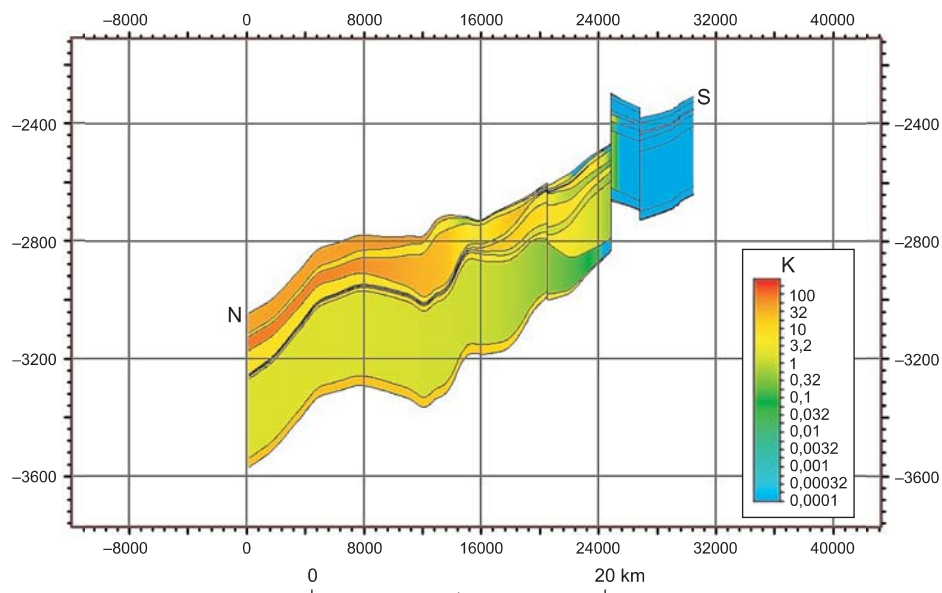


Fig. 6. Przekrój pionowy południowo-zachodniej części basenu Poznań, obrazujący zmianę przepuszczalności skały złożowej czerwonego spągowca w wydzielonych warstwach modelu (Szott i in., 2011a)

Cross-section from southwestern part of the Poznań Basin, illustrated permeability alternation within Rotliegend reservoir rocks, segmented for beds for modeling purpose (Szott *et al.*, 2011a)

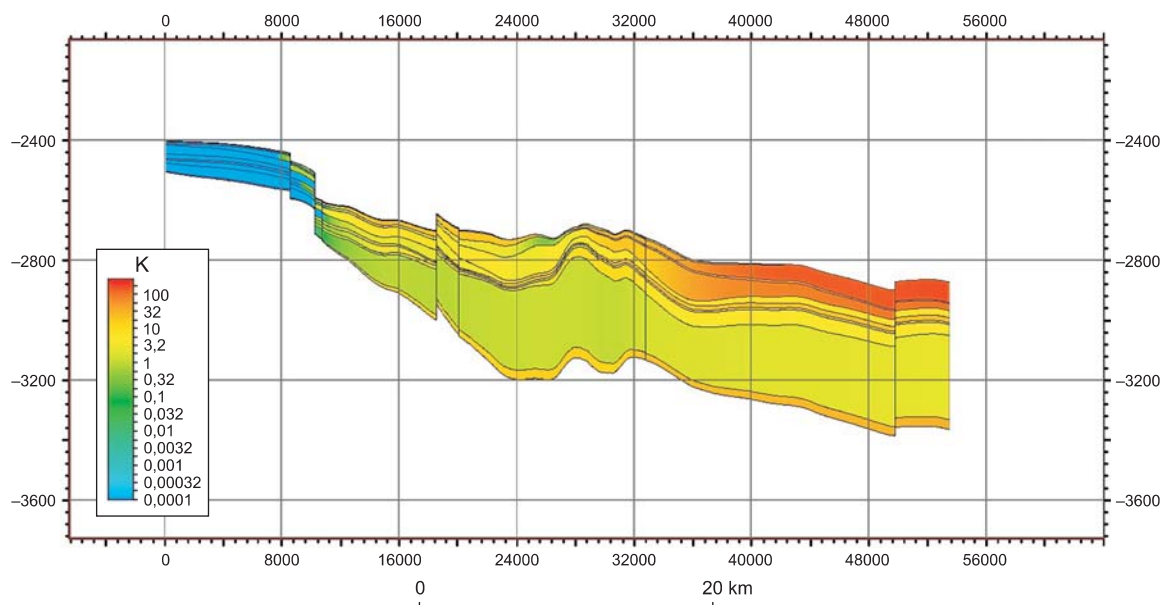


Fig. 7. Przekrój pionowy wzdłuż osi wschód–zachód basenu Poznania, obrazujący zmianę przepuszczalności skały złożowej w wydzielonych warstwach modelu (Szott i in., 2011a)

Cross-section, running west–east, from southwestern part of the Poznań Basin, illustrated permeability alternation within Rotliegend reservoir rocks, segmented for beds for modeling purpose (Szott *et al.*, 2011a)

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 po-

winien częściowo uzupełnić zasoby złóż gazu Paproć–Cicha Góra i Ujazd (Lubaś i in., 2011). Koncepcja ta uzyskała wstępne potwierdzenie na dynamicznym modelu symulacyjnym megastruktury poznańskiej (Szott i in., 2011b).

SZCZELNOŚĆ I TEKTONIKA USKOKOWA

Dyslokacje tektoniczne permsko-mezozoicznego piętra 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 uwieczonych w złożach czerwonego spągowca. Plastyczne masy solne cechsztynu, jak też ilaste utwory triasu zbliżniły dyslokacje istniejące w podłożu utworów permskich, uniemożliwiając dalszą ucieczkę gazu z permskich osadów (Sokołowski, 1974). Można zatem stwierdzić, że zaburzenia tektoniczne istniejące w czerwonym spągowcu nie wpłyną negatywnie na szczelność nadkładu.

MODELOWANIE SZCZELNOŚCI NADKŁADU

W celu zbadania efektów migracji dwutlenku węgla do skał nadkładu basenu Poznania, skonstruowano model symulacyjny obejmujący część złożową struktury oraz komplet warstw skał nadkładu, sięgający od stropu skały złożowej do powierzchni terenu (około 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 CO₂ w tym obszarze. Właściwości skał nadkładu (miąższości poszczególnych warstw geologicznych, porowatości i przepuszczalności bezwzględne) przyjęto według

uzyskanych danych geologicznych (Górecki, red., 2006), po uprzednim wygenerowaniu map strukturalnych poszczególnych warstw nadkładu (fig. 8).

Na podstawie ciśnień zmierzonych w złożu Grodzisk 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 $\dot{A}P = 9,0$ bar.

Wykonane symulacje procesu migracji CO₂ do skał nadkładu basenu Poznań wykazują bardzo ograniczony

		[m n.p.m.]
39,3 m – czwartorzęd	$\Phi = 15,0$ (?); $k = 50$ mD (?)	82,4
185,4 m – trzeciorzęd	$\Phi = 15,0$ (?); $k = 50$ mD (?)	43,1
64,5 m – jura górna	$\Phi = 14,9$; $k = 90$ mD	-142,4
69,0 m – jura środkowa	$\Phi = 16,8$; $k = 220$ mD	-206,9
94,0 m – toark	$\Phi = 18,9$; $k = 1100$ mD	-275,9
110,6 m – plienschbach	$\Phi = 18,9$; $k = 1100$ mD	-369,8
76,0 m – synemur	$\Phi = 18,9$; $k = 1100$ mD	-480,4
101,6 m – hetang	$\Phi = 18,9$; $k = 1100$ mD	-556,4
288,3 m – retyk	$\Phi = 12,6$; $k = 144$ mD	-658,0
20,9 m – noryk	$\Phi = 12,6$; $k = 144$ mD	-946,3
272,1 m – kajper górny	$\Phi = 12,6$; $k = 144$ mD	-967,2
78,7 m – kajper dolny	$\Phi = 12,6$; $k = 144$ mD	-1239,3
254,9 m – wapień muszlowy	$\Phi = 15,0$; $k = 350$ mD	-1318,0
611,9 m – pstry piaskowiec	$\Phi = 15,0$; $k = 100$ mD	-1572,8
11,4 m – ilowce przejściowe	$\Phi = 1,5$; $k = 0,0005$ mD	-2184,7
34,8 m – sól najmłodsza	$\Phi = 1,5$; $k = 0,0005$ mD	-2196,0
1,5 m – anhydryt pegmatytowy	$\Phi = 1,5$; $k = 0,0005$ mD	-2230,9
4,4 m – ił czerwony	$\Phi = 1,5$; $k = 0,0005$ mD	-2232,4
121,5 m – sól młodsza	$\Phi = 1,5$; $k = 0,0005$ mD	-2236,8
24,9 m – anhydryt główny	$\Phi = 1,5$; $k = 0,0005$ mD	-2358,3
1,3 m – szary ił solny	$\Phi = 1,5$; $k = 0,0005$ mD	-2383,3
93,2 m – sól starsza	$\Phi = 1,5$; $k = 0,5$ mD	-2384,6
23,3 m – anhydryt podstawowy	$\Phi = 1,5$; $k = 0,0005$ mD	-2477,8
44,4 m – dolomit główny	$\Phi = 15,0$; $k = 200$ mD	-2501,1
33,5 m – anhydryt górny	$\Phi = 1,5$; $k = 0,0005$ mD	-2545,5
2,5 m – sól najstarsza	$\Phi = 1,5$; $k = 0,5$ mD	-2579,0
107,3 m – anhydryt dolny	$\Phi = 1,5$; $k = 0,0005$ mD	-2581,4
7,7 m – wapień cechsztyński	$\Phi = 15,0$; $k = 500$ mD	-2688,7
0,7 m – łupek miedzionośny	$\Phi = 1,5$; $k = 0,0005$ mD	-2696,4
600 m – czerwony spągowiec	$\Phi = 12,5$; $k = 350$ mD	-2697,1

Fig. 8. Przekrój przez skały nadkładu w modelu basenu Poznań (stratygrafia, parametry zbiornikowe: porowatość efektywna, przepuszczalność pionowa) przyjęty do modelowania migracji zatłaczanego CO₂ (Lubaś i in., 2011)

Stratygraficzne wydzielenie „trzeciorzęd” jest zamieszczone w tekście pod nazwą „neogen”

Stratigraphy and poroperm properties (effective porosity, vertical permeability) of rocks overlaying deliberated Rotliegend deposits in southwestern part of the Poznań Basin, accepted for CO₂ migration and storage modeling (Lubaś *et al.*, 2011)

Stratigraphic unit “Trzeciorzęd” is replaced for “Neogen” in text

zasięg migracji nawet w najbardziej pesymistycznym z rozpatrywanych wariantów, dla którego wynosi on ponad 20 m powyżej stropu złoża Grodzisk na przestrzeni 1600 lat (Lubaś i in., 2011). 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 to wymagało blisko 9 tys. lat. Niezależnie od obliczeń symulacyjnych, należy zauważyć fakt występowania w skałach nadkładu, po-

wyżej wyznaczonego zasięgu migracji, soli oraz anhydrytów, o łącznej miąższości około 200 m, nie posiadających praktycznie właściwości transportowych.

Artykuł opracowano w ramach krajowego programu „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania” realizowanego na zlecenie Ministerstwa Środowiska, finansowanego ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i gospodarki Wodnej.

LITERATURA

- BUNIAK A., 2010 — Mapa paleogeograficzna górnego czerwonego spągowca. Monoklina przedsudecka i blok Gorzowa, skala 1:200 000. PGNIG, Zielona Góra.
- GÓRECKI W. (red.), 2006 — Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim. Wyd. AGH, Kraków.
- KARNKOWSKI P.H., 1979 — Formowanie się złóż gazu ziemnego na obszarze przedsudeckim. *Nafta*, **8/9**.
- KARNKOWSKI P.H., 1985 — Warunki formowania się złóż gazu ziemnego w Wielkopolsce. *Kwart. Geol.*, **29**, 2: 355–368.
- KARNKOWSKI P., 1993 — Złóża gazu ziemnego w Polsce. T. 1 Niż Polski. Tow. Geosynoptyków „Geos” AGH, Kraków.
- KIERSNOWSKI H., PERYT T.M., BUNIAK A., MIKOŁAJEWSKI Z., 2010 — From the intra-desert ridges to the marine carbonate island chain: middle to late Permian (Upper Rotliegend – Lower Zechstein) of the Wolsztyn–Pogorzela high, west Poland. *Geol. J.*, **45**, 2/3.
- KIERSNOWSKI H., WOJTKOWIAK Z., 1993 — Geneza pułapek złożowych gazu ziemnego w czerwonym spągowcu rejonu Paproci–Cichej Góry (Wielkopolska). *Kwart. Geol.*, **37**, 1: 41–58.
- LUBAŚ J., SZOTT W., ŁĘTKOWSKI P., LEŚNIAK G., RZEPKA M., KREMIEŃSKI M., SZUFLITA S., 2011 — Zarządzanie ryzykiem geologicznym składowania CO₂. Obiekt Niecki Poznańskiej. Praca INiG. Zadanie 1.1.17. Narodowego Programu Sekwestracji wykonanego na zamówienie Ministra Środowiska.
- SOKOŁOWSKI J., 1974 — Zarys budowy geologicznej oraz problemy genezy i migracji węglowodorów obszaru przedsudeckiego. *Nafta*, **6**.
- SZOTT W., ŁĘTKOWSKI P., GOŁĄBEK A., MIŁEK K., RYCHLICKI A., 2011a — Opracowanie szczegółowych statycznych modeli ośrodka geologicznego składowisk. Struktura Niecki Poznańskiej w formacjach czerwonego spągowca. Praca INiG. Zadanie 1.1.15. Narodowego Programu Sekwestracji wykonanego na zamówienie Ministra Środowiska.
- SZOTT W., ŁĘTKOWSKI P., MIŁEK K., RYCHLICKI A., 2011b — Modelowanie dynamiczne procesów zatłaczania CO₂ do składowiska. Struktura Niecki Poznańskiej. Praca INiG. Zadanie 1.1.16. Narodowego Programu Sekwestracji wykonanego na zamówienie Ministra Środowiska.

SUMMARY

Total thickness of the Lower and Upper Rotliegend deposits in the Poznań Basin is significant and reaches 600 m. The Lower Rotliegend is represented by claystones, mudstones, sandstones and conglomerates.

These deposits have much poorer reservoirs properties in comparison to the overlying Upper Rotliegend deposits, where reservoir rocks mostly sandstones contain gas fields originated in both geomorphological and diagenetic (stratigraphic) traps in zones of decreasing permeability.

South-western part of the Poznań Basin – Grodzisk area, framed to the south and west by the Wolsztyn Highs, was chosen for CO₂ storage. Towards the northeast, the water saturated Rotliegend deposits, dipping to a depth of 5000 m, what's seems to be a seal, because pumped gases has tendency to move up. The whole area is tightly closed by the Zechstein evaporites.

Therefore, this part is an excellent mega-structure for CO₂ sequestration. However, there is lack of closure in the south-eastern part, where the reservoir beds have good permeability. In this case, wells intended for CO₂ pumping

should be located in the north-western part of the Poznań Basin, in the vicinity of the row of gas fields: Sątopy, Porażyn, Buk and Szewce. The storage depth should exceed 2700–2800 m.

Then, pumped CO₂ should migrate towards the south-west, towards the gas fields of Paproć, Cicha Góra and Ujazd, consequently sweeping methane dissolved in the water underlying the gas fields, as well as in the formation water from structure north-east side. Therefore, the main direction of gas migration has a south-west gradient, and the gas does not reach the south-eastern part of mega-structure, where the closure is practically absent. However, in the south-western side, should be a tight reservoir closed from south and west by Rotliegend lithological barriers, and by Zechstein evaporites from the top. Sweeping methane should supplemented the gas fields under exploitation or the almost exhausted gas fields, such as Paproć–Cicha Góra and Ujazd. This concept was preliminarily proven during dynamic model simulations carried out on the Grodzisk mega-structure.