

Andrzej Gołębek, Krzysztof Miłek, Wiesław Szott  
*Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno*

# Symulacyjne modelowanie procesu konwersji złoża na PMG i regularnej jego pracy, z udziałem CO<sub>2</sub> jako gazu buforowego

## Część I – Konstrukcja i weryfikacja modelu, symulacja procesu wytwarzania buforu magazynu

### Wstęp

Ograniczenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery oraz jego składowanie i utylizacja stanowi obecnie jeden z głównych problemów gospodarki światowej. Jednocześnie w praktyce podziemnego magazynowania gazu w strukturach częściowo szcerpanych złóż węglowodorowych pojawia się istotny – z ekonomicznego punktu widzenia – problem: wytworzenia bądź zwiększenia poduszki gazu buforowego. Wykorzystanie CO<sub>2</sub> jako gazu buforowego w podziemnych magazynach gazu może być praktycznym podejściem do rozwiązania obydwu tych problemów jednocześnie.

Celem niniejszej pracy było zbadanie możliwości konwersji częściowo wyeksploatowanego złoża gazu ziem-

nego na podziemny magazyn gazu wysokometanowego z użyciem CO<sub>2</sub> jako gazu buforowego, w oparciu o skonstruowany model symulacyjny złoża. W ramach pracy zbudowano model symulacyjny istniejącego, częściowo wyeksploatowanego złoża gazu ziemnego, odtworzono historię eksploatacji złoża oraz przeprowadzono prognozy dotyczące procesu konwersji złoża na PMG, a także późniejszej pracy magazynu.

Praca składa się z dwóch części; w pierwszej z nich przedstawiono konstrukcję i weryfikację modelu złoża użytego do konwersji na magazyn oraz zaprezentowano wyniki symulacji procesu wytworzenia buforu magazynu.

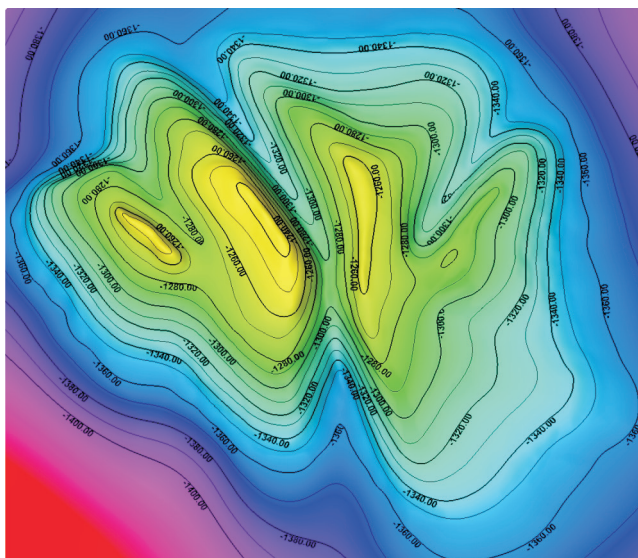
### Model geologiczny struktury złoża

#### ***Budowa i geometria przestrzenna geologicznego modelu struktury analizowanego złoża***

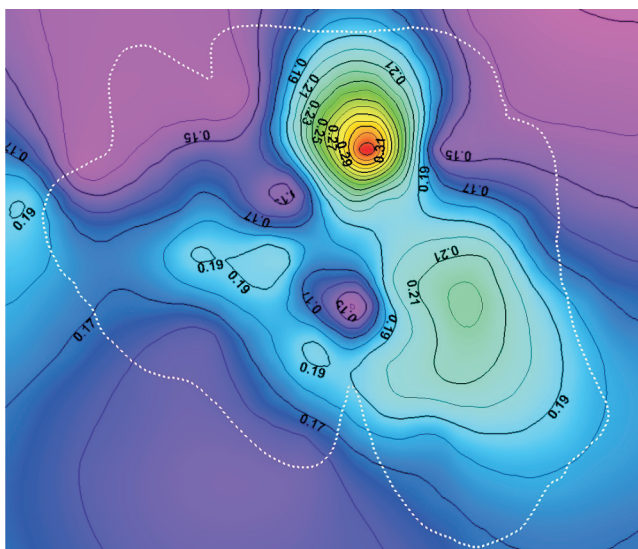
Struktura znajduje się w obrębie południowej części Monokliny Przedśudeckiej, a dokładniej stanowi część składową tzw. „grzędy Rawicko-Głogowskiej”. Jest to złożo gazu ziemnego znajdujące się w strefie podtrzęcio-rzędowych wychodni wapienia muszlowego. W rejonie tym przebiega także strefa dyslokacyjna zwana „rowem (lub rynną) Rawicza”. Omawiane złożo występuje w utworach

czerwonego spągowca i ma charakter masywowy. U dołu ograniczone jest poziomem wody podścielającej (kontakt gaz-woda: ok. 1354 m p.p.m.), natomiast u góry ekranem złoża jest poziom anhydrytu dolnego, cyklotemu Werra.

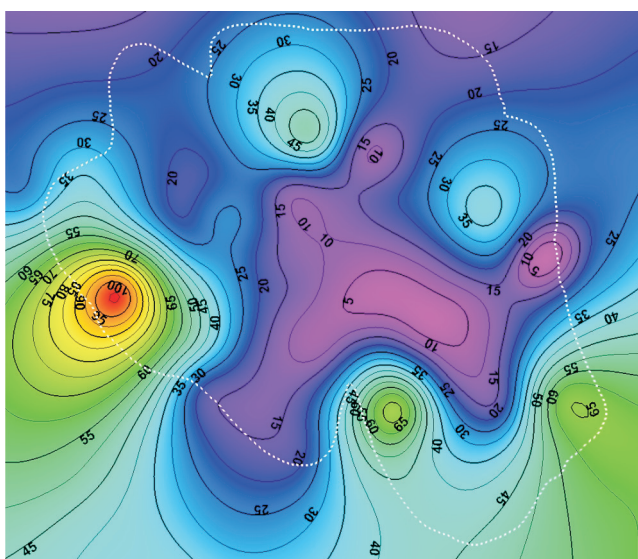
Model statyczny złoża zbudowano na podstawie modelu geologicznego będącego tematem innej pracy wykonanej w Instytucie Nafty i Gazu [3]. Model geologiczny, w postaci zdigitalizowanych map konturowych (mapy stropu oraz map rozkładów porowatości, przepuszczalności i miąższości efektywnej) w odpowiednim formacie



Rys. 1. Mapa stropu złoża



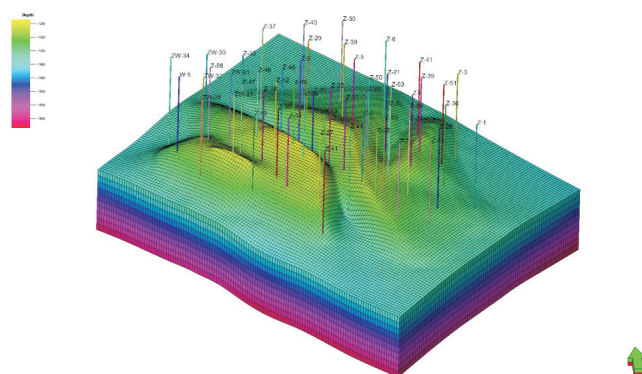
Rys. 2. Mapa rozkładu porowatości złoża



Rys. 3. Mapa rozkładu przepuszczalności złoża

wczytano do programu Petrel [2]. Z omawianych map, przy pomocy wybranych metod interpolacji wygenerowano tzw. mapy meshowe – tak, aby pokrywały się one z dostarczonymi mapami. Na rysunkach 1–3 przedstawiono wygenerowane mapy: stropu, rozkładu porowatości oraz rozkładu przepuszczalności. Z mapy miąższości efektywnej, o której wspomniano wcześniej, nie można było skorzystać bezpośrednio, ponieważ posiada ona tylko wartości w odniesieniu do kontaktu gaz-woda, co uniemożliwia poprawne modelowanie złoża. Z przyczyn braku mapy spągu oraz wymaganej mapy miąższości, po konsultacji z wykonawcami modelu geologicznego, miąższość całego modelu założono na poziomie 243 m (jest to głębokość poniżej stropu, jaką przewiercił najgłębszy odwierc).

Obszar modelowanej struktury pokryto siatką  $94 \times 126$  bloków, zorientowaną w kierunku osi głównych struktury, uzyskując modelowany obszar o powierzchni  $6,2 \text{ km} \times 4,6 \text{ km}$ . Całkowitą miąższość struktury, równą 243 m, podzielono na 10 warstw – uzyskując przestrzenny model złoża, którego widok od strony południowej pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Przestrzenny widok modelu symulacyjnego złoża

### Właściwości PVT płynów złożowych

Przyjęto skład chemiczny gazu rodzimego, wyliczony w oparciu o analizy próbek pobranych z kilku otworów eksploatacyjnych – podano go w tabelicy 1. Jest to gaz metanowo-azotowy, z niską zawartością ciężkich składników węglowodorowych i nieznaczącą zawartością helu. Jego ciężar molowy wynosi 18,80, a gęstość w warunkach normalnych –  $0,840 \text{ kg/Nm}^3$ .

Na podstawie składu gazu, przy użyciu programu PVTsim [3] wygenerowano parametry równania stanu Soave-Redlicha-Kwonga, które użyto w kompozycyjnym modelu symulacyjnym. W procesie konwersji złoża na magazyn uwzględniono również obecność  $\text{CO}_2$ .

Tablica 1. Skład chemiczny gazu ziemnego ze złoża

Składnik	[% obj.]
He	0,1619
N <sub>2</sub>	22,0129
C <sub>1</sub>	76,9250
C <sub>2</sub>	0,8150
C <sub>3</sub>	0,0570
C <sub>4</sub>	0,0170
C <sub>5</sub>	0,0090
C <sub>6</sub>	0,0020

Do określenia właściwości wody złożowej użyto standardowych korelacji [4] przy podanych warunkach złożowych, tj.:  $T_{zł} = 46,85^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{zł} = 150,05$  bar oraz wysokiej mineralizacji, równej 261,6 g/l.

Tablica 2a. Parametry równania SRK dla gazu rodzimego/zatłaczanego

Składnik	$T_{kryt}$ [K]	$P_{kryt}$ [bar]	$w$	$\Omega_A$	$\Omega_B$	$M_w$	$Z_{kryt}$	$V_s$	Parachora [dyn/cm]
He	5,20	2,27	-0,3870	0,4275	0,0866	4,0030	0,3014	-0,1420	0,00
N <sub>2</sub>	126,20	33,94	0,0400	0,4275	0,0866	28,0135	0,2905	0,0344	41,00
CO <sub>2</sub>	304,20	73,76	0,2250	0,4275	0,0866	44,0098	0,2741	0,1019	78,00
C <sub>1</sub>	190,60	46,00	0,0080	0,4275	0,0866	16,0429	0,2874	0,0211	77,30
C <sub>2</sub>	305,40	48,84	0,0980	0,4275	0,0866	30,0698	0,2847	0,0584	108,90
C <sub>3+</sub>	369,80	42,46	0,1520	0,4275	0,0866	44,0968	0,2803	0,0806	151,90

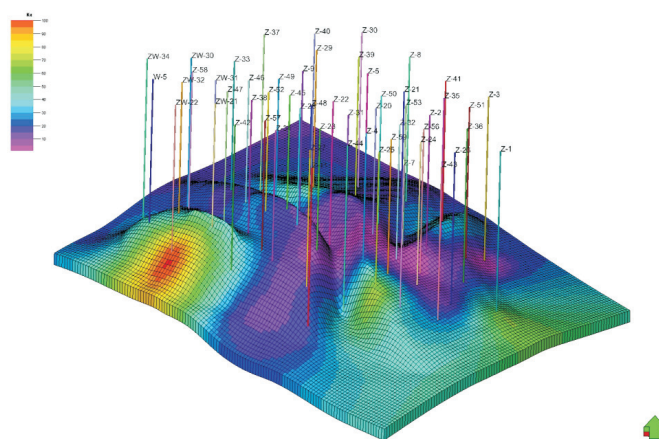
Tablica 2b. Współczynniki binarne dla gazu rodzimego/zatłaczanego

Składnik	He	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3+</sub>
He	–	–	–	–	–	–
N <sub>2</sub>	0,00	–	–	–	–	–
CO <sub>2</sub>	0,00	-0,03	–	–	–	–
C <sub>1</sub>	0,00	0,03	0,12	–	–	–
C <sub>2</sub>	0,00	0,04	0,12	0,00	–	–
C <sub>3+</sub>	0,00	0,08	0,12	0,00	0,00	–

### Konstrukcja kompletnego modelu geologicznego złoża

W celu wykonania kompletnego modelu struktury, podstawowe parametry złożowe (tj. porowatość, przepuszczalność oraz NTG) odwzorowano na przestrzenny układ bloków modelu oraz określono początkowe rozkłady nasycień płynami złożowymi, a także właściwości transportowe w systemie płyny-skała złożowa.

Ponieważ dostarczony model geologiczny nie uwzględniał zmian właściwości złożowych wraz z głębokością (jedna warstwa geologiczna), zatem do każdej warstwy modelu przypisano te same wartości porowatości i przepuszczalności. Z powodu braku danych dotyczących zaleźnienia, wszystkim blokom modelu przypisano wartość NTG równą 1. Na rysunku 5 przedstawiono wynik odwzorowania mapy rozkładu przepuszczalności na warstwy modelu.



Rys. 5. Przepuszczalność w modelu – warstwa pierwsza

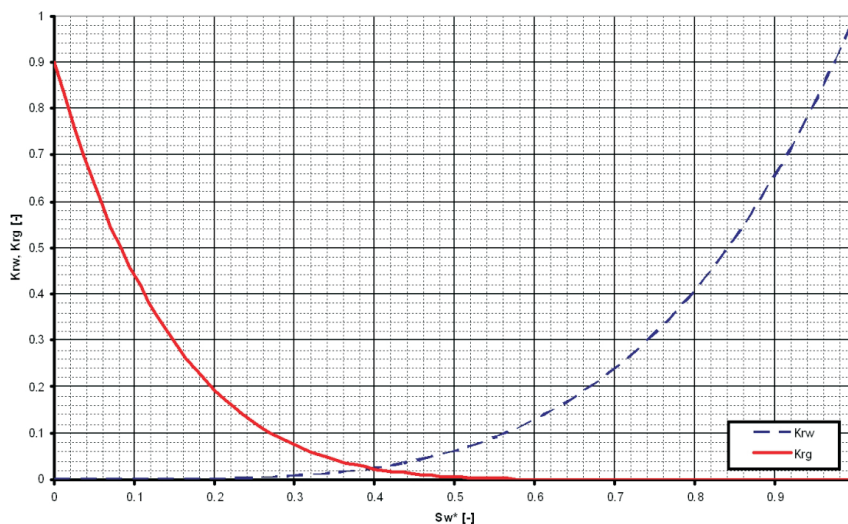
Oddziaływanie gazu i wody złożowej ze skałą scharakteryzowano poprzez podanie krzywych przepuszczalności względnych  $k_{rg}$  i  $k_{rw}$  oraz krzywej ciśnień kapilarnych, w postaci funkcji  $J$  Leveretta.

Dla przepuszczalności względnych, wobec braku odpowiednich pomiarów użyto standardowych korelacji typu Coreya, z wykładnikiem równym 3 dla  $k_{rw}$  i 6 dla  $k_{rg}$  oraz

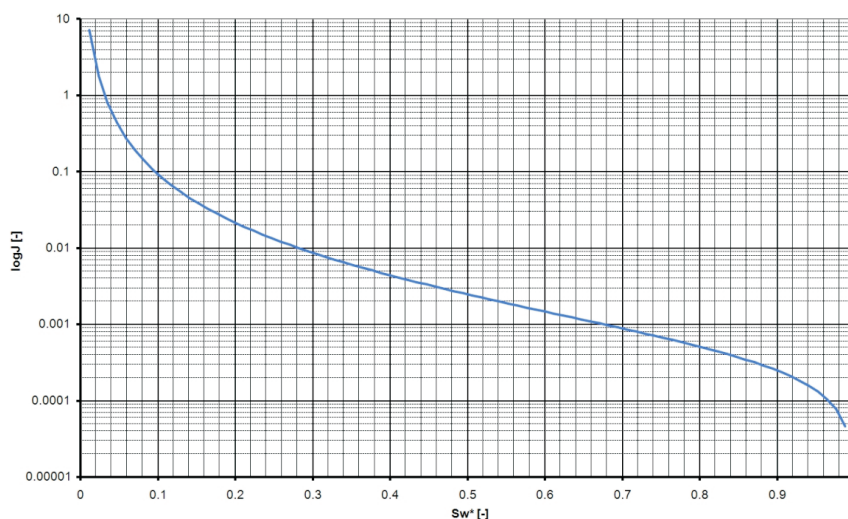
nieredukowalnym nasyceniem wodą  $S_{wir} = 0,15$  i zerowym rezydualnym nasyceniem gazem  $S_{gr} = 0,0$ .

$$\text{Użyto funkcji } J \text{ Leveretta: } J = 0,001 \frac{(1 - S_w^*)^{0,7}}{(S_w^*)^2}$$

gdzie  $S_w^*$  – zredukowane nasycenie wodą. Korelacje te przedstawiono na rysunkach 6 i 7.



Rys. 6. Przepuszczalność względna wody  $k_{rw}$  i gazu  $k_{rg}$ , w funkcji zredukowanego nasycenia wodą  $S_w^*$



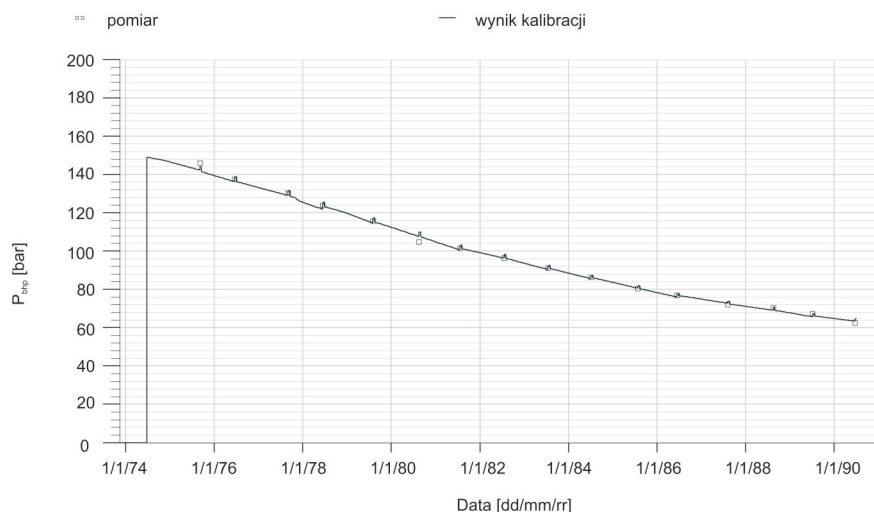
Rys. 7. Funkcja  $J$  Leveretta w zależności od nasycenia wodą  $S_w^*$

### Weryfikacja modelu symulacyjnego struktury

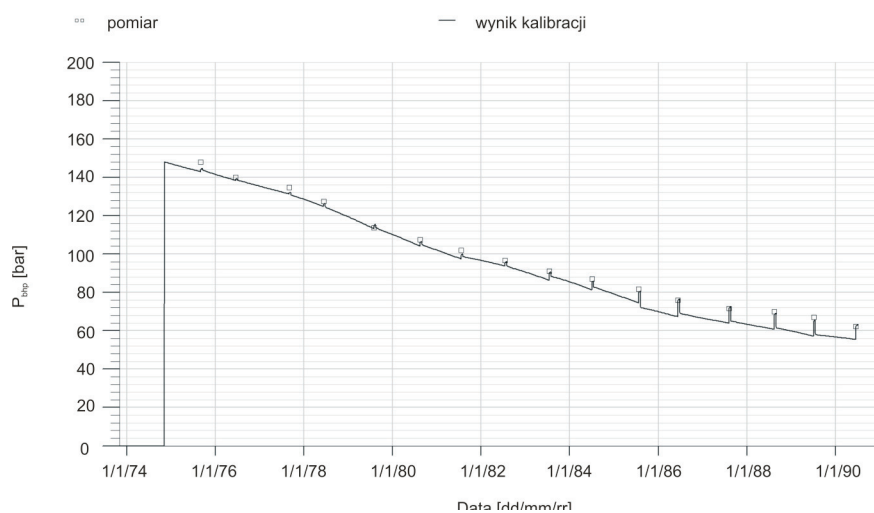
Model symulacyjny złoża został zweryfikowany przy użyciu kompozycyjnego symulatora ECLIPSE 300 [5] na podstawie dostępnych danych eksploatacyjnych (wydajności wydobycia, ciśnienia oraz danych statycznych ze wszystkich 49 odwiertów wydobywczych, z okresu eksploatacji 1973–1989).

### Proces kalibracji modelu

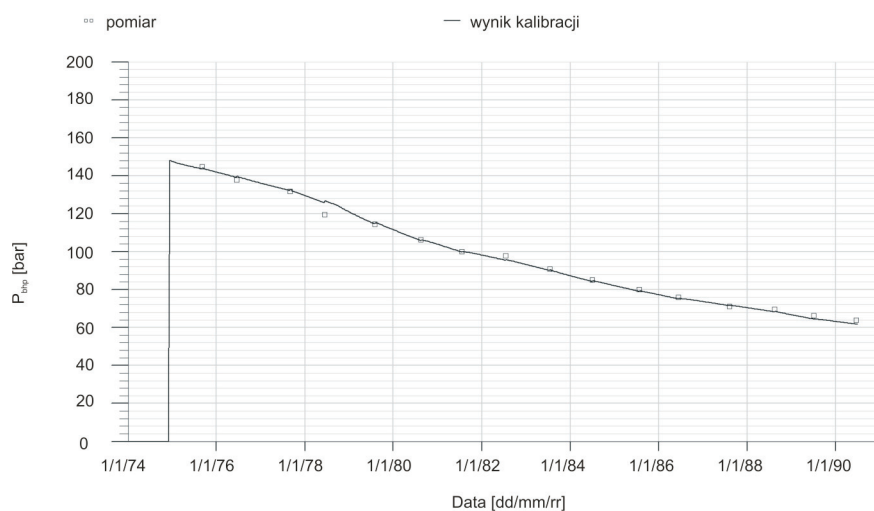
Dla większości odwiertów otrzymano bardzo dobre lub dobre odtworzenie ciśnień mierzonych z rozbieżnością poniżej 3 barów (rysunki 8–10). Dla odwiertów położonych w północnej części złoża nie udało się uzyskać podobnego



Rys. 8. Odwiert Z-2. Dopasowanie ciśnień dennych statycznych



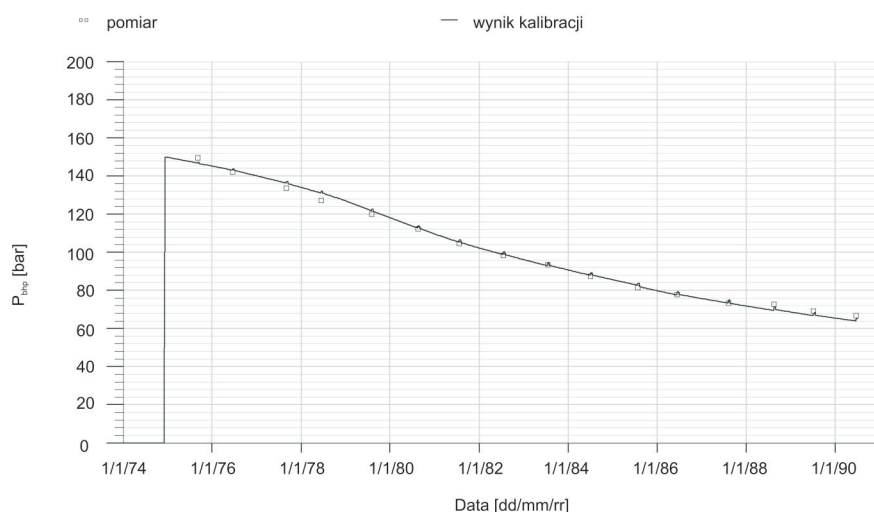
Rys. 9. Odwiert Z-11. Dopasowanie ciśnień dennych statycznych



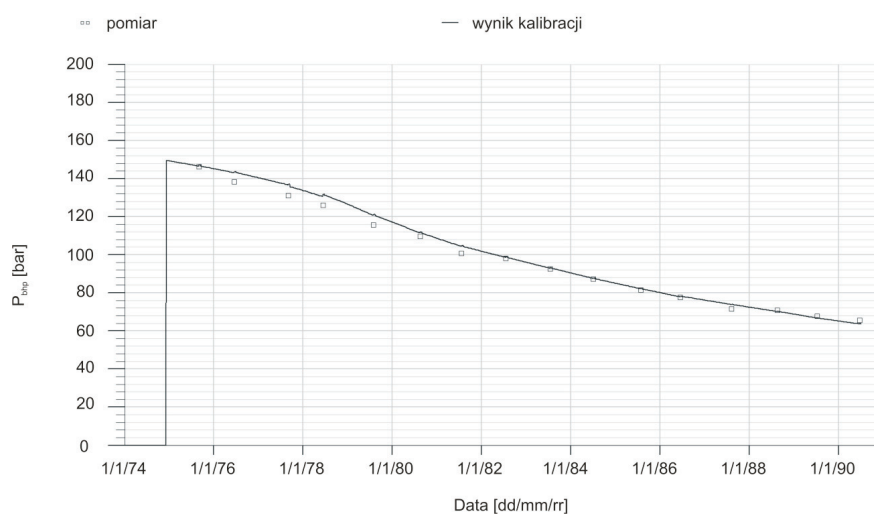
Rys. 10. Odwiert Z-22. Dopasowanie ciśnień dennych statycznych

wyniku w latach 1976–1982. W tym okresie rozbieżność pomiędzy pomiarami a wynikami symulacji miejscami przekracza 5 barów (rysunki 11 i 12). Natomiast w części

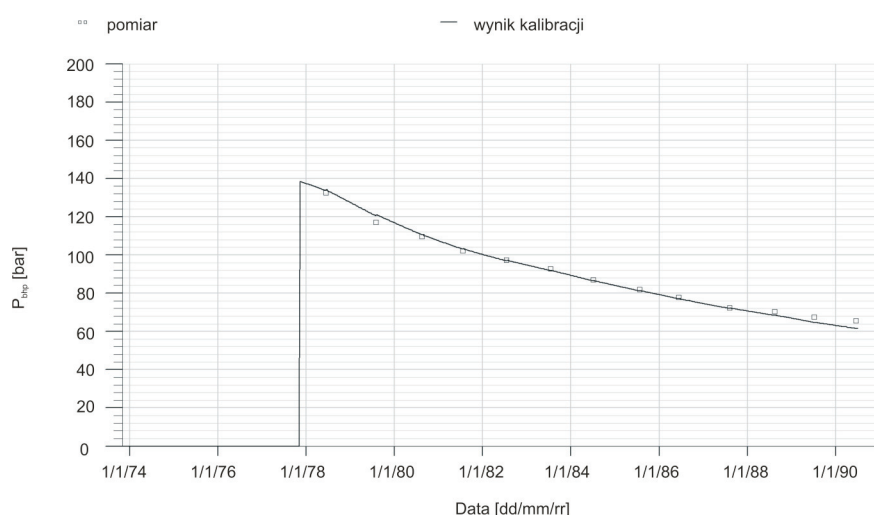
zachodniej złoża znajduje się grupa pięciu odwiertów, dla których rozbieżność dwóch ostatnich punktów pomiarowych przekracza 3 bary (rysunek 13).



Rys. 11. Odwiert Z-30. Dopasowanie ciśnień dennych statycznych



Rys. 12. Odwiert Z-9. Dopasowanie ciśnień dennych statycznych



Rys. 13. Odwiert ZW-30. Dopasowanie ciśnień dennych statycznych

### Modyfikacje w modelu

Dla poprawnego odtworzenia przebiegu ciśnień, w odwiertach dokonano kilku lokalnych modyfikacji modelu. Ponieważ pomiary w odwiertach znajdujących się na zachód od strefy dyslokacyjnej wykazywały nieco wyższe wartości ciśnień dennych statycznych, konieczne było dodanie do modelu bariery litologicznej, częściowo izolującej ten obszar od pozostałej części złoża.

Kolejne wprowadzone zmiany modelu, pozwalające na uzyskanie poprawnego dopasowania ciśnień dennych, dotyczyły lokalnych modyfikacji rozkładów porowatości. W trakcie iteracyjnej procedury kalibracji modelu zauwa-

żono, że samo wprowadzenie i – w kolejnych krokach – modyfikacja bariery pomiędzy dwoma obszarami złoża nie pozwala na uzyskanie oczekiwanych ciśnień w odwiertach. Dlatego przy pomocy czynników skalujących nieznacznie zmieniono objętość porów po obu stronach strefy dyslokacyjnej. Na zachód i północny wschód od tej strefy minimalnie zwiększono wartości porowatości, natomiast w południowo-wschodniej części złoża wartości te zmniejszono.

W wyniku przedstawionych modyfikacji uzyskano poprawne dopasowanie ciśnień dennych statycznych oraz zbliżone do zatwierdzonych zasoby geologiczne złoża (ok. 21,5 mld Nm<sup>3</sup>).

## Konwersja złoża do PMG

### Tworzenie buforu magazynu z udziałem CO<sub>2</sub>

Przez cały okres eksploatacji na złożu pracowało 49 odwiertów – system ten wykorzystano zarówno do tworzenia buforu magazynu, jak i do jego późniejszej pracy. Rozpatrzono dwa warianty tworzenia buforu CO<sub>2</sub> magazynu, zróżnicowane ze względu na lokalizację odwiertów zatłaczających:

- **wariant I** – zatłaczanie CO<sub>2</sub> odwiertami zlokalizowanymi na peryferiach struktury; wielkość buforu – 5 mld Nm<sup>3</sup>, 13 odwiertów zatłaczających (W-5, Z-7, Z-8, Z-11, Z-26, Z-30, Z-36, Z-40, Z-41, Z-42, Z-51, ZW-22, ZW-30).
- **wariant II** – zatłaczanie CO<sub>2</sub> odwiertami zlokalizowanymi we wschodniej części złoża; wielkość buforu – 5 mld Nm<sup>3</sup>, 8 odwiertów zatłaczających (Z-7, Z-8, Z-26, Z-30, Z-36, Z-41, Z-43, Z-51).

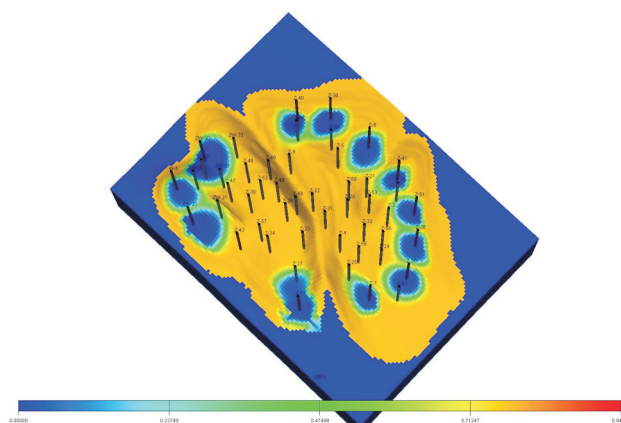
W przypadku obydwu wariantów zatłaczanie buforu CO<sub>2</sub> przeprowadzono w okresie 20-stu lat, uwzględniając przy tym coroczną, 14-dniową stójkę, która (podobnie jak w przypadku historii eksploatacji złoża) wypada 1 lipca każdego roku. Tak długi okres tworzenia buforu założono z przyczyn technicznych, wynikających z wykorzystania istniejącego systemu odwiertów. Dwutlenek węgla zatłaczano w ilości 250 mln Nm<sup>3</sup> (ok. 0,5 Mt) rocznie, co dało wydajność zatłaczania dla złoża na poziomie 712 tys. Nm<sup>3</sup>/d.

### Wariant I

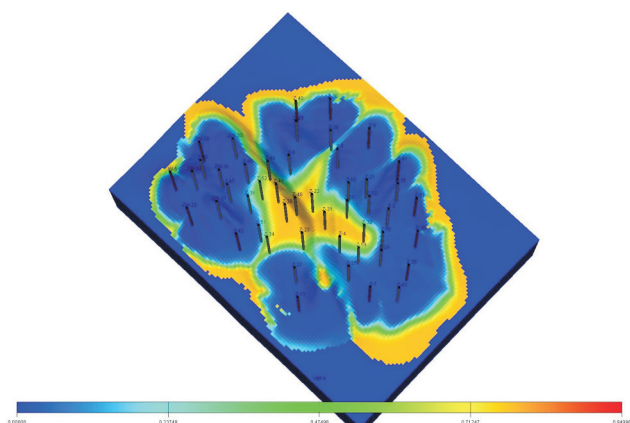
W wariantcie pierwszym dwutlenek węgla zatłaczano 13-stoma odwiertami zlokalizowanymi na peryferiach złoża – tak, aby jak największą ilość gazu rodzimego skoncentrować w centralnej części struktury, w której przebiegać będzie późniejsza praca magazynu. W celu uzyskania tego

efektu wykonano wiele prób, polegających na zmianie udziałów poszczególnych odwiertów w zatłaczaniu gazu buforowego. Rozmieszczenie odwiertów zatłaczających oraz uzyskany „optymalny” wynik tworzenia poduszki buforowej dla omawianego wariantu przedstawiono kolejno na rysunkach 14, 15 i 16 – w formie rozkładu zawartości metanu w stropowej warstwie modelu. Na omawianych rysunkach kolor pomarańczowy oznacza wysoką zawartość metanu, natomiast kolor niebieski (występujący w granicach złoża) – podwyższoną zawartość dwutlenku węgla.

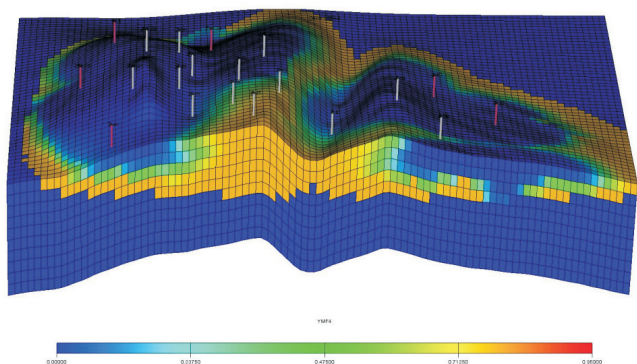
Ustalone udziały poszczególnych odwiertów w zatłaczaniu wynikają przede wszystkim z naturalnego ukształtowania struktury oraz rozkładów jej właściwości (większe ilości gazu buforowego zatłaczane są do stref struktury o większej pojemności – tak, aby równomiernie wypierać gaz rodzimy do części centralnej złoża). Jako optymalne rozwiązanie uznano wynik symulacji, w której wydajności odwiertów zatłaczających gaz buforowy zostały podzie-



Rys. 14. Rozkład zawartości metanu w stropowej warstwie złoża. Tworzenie buforu magazynu. Etap początkowy. Wariant I – rozmieszczenie odwiertów zatłaczających CO<sub>2</sub>



Rys. 15. Rozkład zawartości metanu w stropowej warstwie złoża. Tworzenie buforu magazynu. Etap końcowy. Wariant I – wynik dopasowania udziałów odwiertów w zatłaczaniu CO<sub>2</sub>



Rys. 16. Rozkład zawartości metanu na przekroju złoża. Tworzenie buforu magazynu. Etap końcowy. Wariant I

lone na 5 grup. Na rysunku 17 przedstawiono wydajności zatłaczania CO<sub>2</sub> wynikające z omawianego podziału.

Odwiertom zlokalizowanym w południowo-zachodniej części złoża przypisano wartości wydajności zatłaczania



Rys. 17. Tworzenie buforu magazynu. Wariant I – wydajności zatłaczania CO<sub>2</sub> przez poszczególne odwierty zatłaczające

na poziomie ok. 71 200 Nm<sup>3</sup>/d. Do tej grupy odwiertów dołączył również odwiert Z-8 z północno-wschodniej części złoża. Dla następnej grupy odwiertów znajdujących się na zachód od rynny Rawicza założono wydajności na poziomie ok. 47 500 Nm<sup>3</sup>/d. Najniższą wydajność zatłaczania w omawianej symulacji przyjęto dla odwiertu Z-40 (ok. 38 000 Nm<sup>3</sup>/d), zlokalizowanego bardzo blisko innego odwiertu zatłaczającego – Z-30. Front zatłaczanego CO<sub>2</sub> odwiertem Z-30 bardzo szybko łączy się z frontem CO<sub>2</sub> powstałym w wyniku zatłaczania odwiertem Z-40, dlatego zróżnicowanie wydajności obydwu omawianych odwiertów umożliwiło równomierne wypełnianie struktury w tym rejonie. W omawianym wariantie największy udział w zatłaczaniu CO<sub>2</sub> przyjęto dla odwiertu ZW-30 – znajdującego się w północno-zachodniej części złoża (wydajność ok. 95 000 Nm<sup>3</sup>/d), ponieważ zlokalizowany jest on w rejonie posiadającym bardzo dobre właściwości zbiornikowe.

W większości przypadków odwierty zatłaczające gaz buforowy do zachodniej części złoża posiadają wyższe wydajności od odwiertów zlokalizowanych po drugiej stronie rynny Rawicza, mimo że część wschodnia złoża posiada większą objętość. Wynika to z faktu, iż dwutlenek węgla zatłaczany jest do części zachodniej tylko czterema odwiertami, natomiast do wschodniej – aż dziewięcioma.

### Wariant II

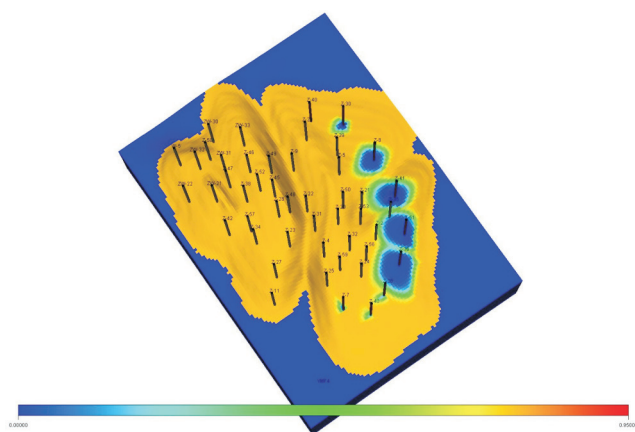
Po przeprowadzeniu analizy pracy magazynu z buforem dwutlenku węgla zatłoczonym w sposób przedstawiony w wariantie I stwierdzono, że dla korzystniejszej pracy magazynu bufor CO<sub>2</sub> powinien być zatłoczony w inny sposób. Ponieważ złożo naturalnie podzielone jest na dwie części strefą dyslokacyjną (rynną Rawicza), rozpatrzono więc wariant, w którym do jednej części złoża zatłoczono

bufor CO<sub>2</sub>, a w drugiej części założono późniejszą pracę magazynu. Jako że część wschodnia złoża posiada większą objętość, zatem zatłoczono do niej bufor dwutlenku węgla w analogiczny sposób jak w wariantie I, tzn. starano się tak rozdzielić strumień zatłaczania na poszczególne odwierty, aby jak największą ilość gazu rodzimego wyprzeć do części zachodniej złoża. W tym przypadku starano się również ustalić takie udziały odwiertów w zatłaczaniu CO<sub>2</sub>, aby jak najlepiej wypełnić dwutlenkiem węgla część wschodnią złoża i aby jak najmniej gazu buforowego przedostało się do części zachodniej.

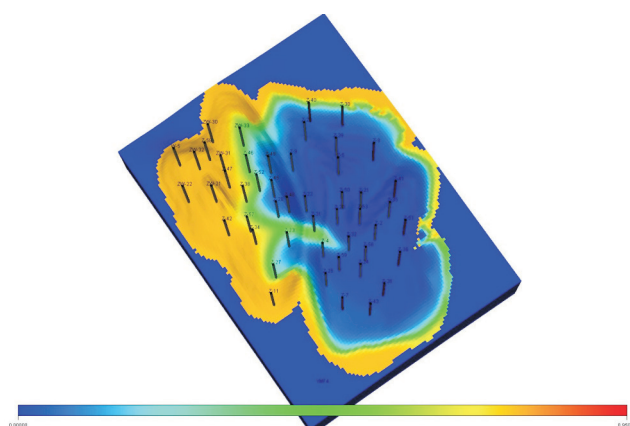


Na rysunkach 18, 19 i 20 pokazano rozmieszczenie odwiertów zatłaczających oraz uzyskany „optymalny” wynik tworzenia poduszki buforowej. Podobnie jak w przypadku wariantu I, rysunki te przedstawiają rozkład zawartości metanu w górnej warstwie modelu. Na omawianych rysunkach kolor pomarańczowy oznacza wysoką zawartość metanu, a kolor niebieski (występujący w granicach złoża) – podwyższoną zawartość dwutlenku węgla.

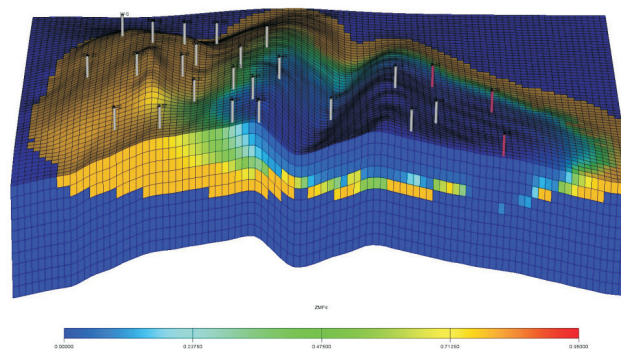
W przypadku tego wariantu, rozdzielanie udziałów zatłaczania na poszczególne odwierty dotyczyło przede wszystkim zmniejszenia udziałów odwiertom znajdującym się w części północnej oraz południowej omawianego regionu. Można to bardzo dokładnie zauważyć na rysunku 18, przedstawiającym rozmieszczenie odwiertów zatłaczających gaz buforowy. Odwierty ze środkowo-wschodniej części regionu tworzą bardzo silny front  $\text{CO}_2$ , wypierający gaz rodzimy do zachodniej części złoża. Pozostałe odwierty



Rys. 18. Rozkład zawartości metanu w stropowej warstwie złoża. Tworzenie buforu magazynu. Etap początkowy. Wariant II – rozmieszczenie odwiertów zatłaczających  $\text{CO}_2$



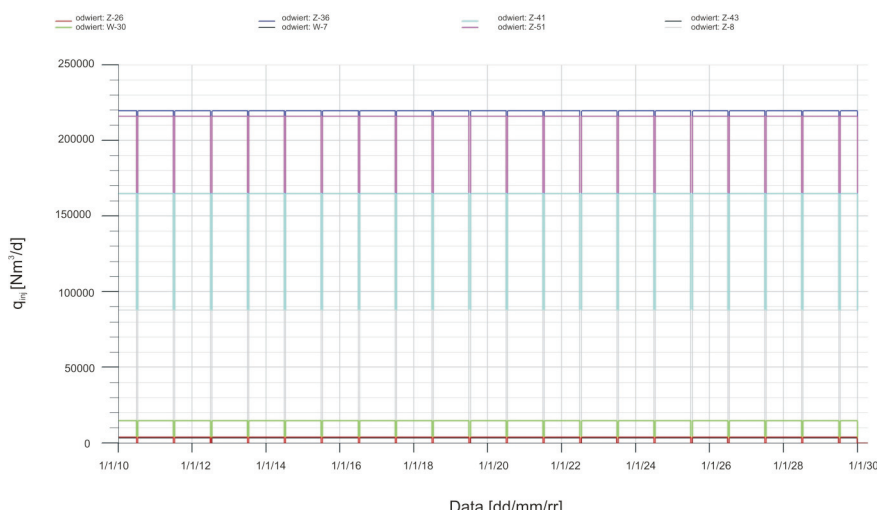
Rys. 19. Rozkład zawartości metanu w stropowej warstwie złoża. Tworzenie buforu magazynu. Etap końcowy. Wariant II – wynik dopasowania udziałów odwiertów w zatłaczaniu  $\text{CO}_2$



Rys. 20. Rozkład zawartości metanu na przekroju złoża. Tworzenie buforu magazynu. Etap końcowy. Wariant II

(jeden na północy oraz trzy na południu) tylko delikatnie wzmacniają ten front, ponieważ gdyby zatłaczały ilości większe od zadanych, wówczas dużo większa ilość gazu buforowego dostałaby się do części zachodniej złoża.

Z ustalonych udziałów odwiertów w zatłaczaniu dwutlenku węgla wynikły bardzo zróżnicowane wydajności zatłaczania (rysunek 21) – zmieniające się w zakresie od niecałych 4000  $\text{Nm}^3/\text{d}$  (odwierty: Z-26, Z-43) do ponad 210 000  $\text{Nm}^3/\text{d}$  (odwierty: Z-36, Z-51). Mimo że niektóre odwierty posiadają bardzo niskie wydajności zatłaczania  $\text{CO}_2$ , biorąc one czynny udział w tworzeniu poduszki buforowej magazynu – wyłączenie ich z procesu zatłaczania uniemożliwiłoby uzyskanie tak równomiernie rozprzestrzeniającego się frontu dwutlenku węgla.



Rys. 21. Tworzenie buforu magazynu. Wariant II – wydajności zatłaczania  $\text{CO}_2$  przez poszczególne odwierty zatłaczające

## Podsumowanie i wnioski

W ramach niniejszej części pracy, poświęconej symulacji procesu konwersji złoża gazu ziemnego na PMG z udziałem CO<sub>2</sub> jako gazu buforowego, wykonano zestaw zadań z zakresu modelowania i symulacji, których główne etapy stanowią:

- I. konstrukcja geometrycznego modelu struktury,
- II. konstrukcja i kalibracja modelu symulacyjnego,
- III. proces konwersji złoża do PMG.

W ramach etapu I zawarto:

- przestrzenny model geologiczny struktury, odwzorowujący jej geometrię, układ warstw oraz rozkłady właściwości złożowych,
- analizę PVT płynów złożowych i ich modele termodynamiczne w wybranym równaniu stanu,
- rozkład płynów złożowych w strukturze i ich właściwości transportowe.

W ramach II etapu:

- skonstruowano kompozycyjny model symulacyjny złoża; na podstawie zbudowanego przestrzennego modelu geologicznego i termodynamicznego modelu płynu złożowego,

- przeprowadzono kalibrację modelu symulacyjnego w oparciu o dane eksploatacyjne; obejmujące wielkość wydobycia gazu oraz zmienność w czasie ciśnień dennych w odwiertach,
- w procesie kalibracji uściślono lub zmodyfikowano parametry i charakterystyki modelu, w celu poprawnego odtworzenia przebiegu statycznych ciśnień dennych w odwiertach eksploatacyjnych; lokalne modyfikacje dotyczyły dodania bariery litologicznej oraz zmian objętości porów.

W ramach III etapu prac:

- opracowano dwa warianty prognoz, dotyczących tworzenia poduszki buforowej przy udziale dwutlenku węgla,
- dla obydwu wariantów ustalono udziały odwiertów w zatłaczaniu CO<sub>2</sub>.

Podsumowanie ostatniego etapu – dotyczącego wielowariantowych symulacji funkcjonowania magazynu, wraz z wnioskami z całości uzyskanych wyników, zostanie przedstawione w II części pracy poświęconej omawianemu zagadnieniu.

Artykuł nadesłano do Redakcji 12.01.2011 r. Przyjęto do druku 13.01.2011 r.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Andrzej Kostecki

## Literatura

- [1] McCain W.D.: *SPE Reservoir Engineering*, 266, May 1991.
- [2] Pakiet PETREL Release 2010.1 firmy GeoQuest, Schlumberger.
- [3] Piesik W. i in.: *Analiza i budowa modelu geologicznego wytypowanego złoża gazu ziemnego do konwersji na PMG z wykorzystaniem CO<sub>2</sub> jako gazu buforowego*. INiG, Oddział Krosno, sierpień 2010.
- [4] Program PVTSim 16 firmy Calsep.
- [5] Symulator Eclipse 300 Release 2009.2 firmy GeoQuest, Schlumberger.



Mgr inż. Krzysztof MILEK – absolwent Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Od 2009 roku pracownik Zakładu Symulacji Złóż Węglowodorów i PMG Instytutu Nafty i Gazu Oddział Krosno. Zajmuje się tematyką związaną z numerycznym modelowaniem złóż węglowodorów i podziemnych magazynów gazu.



Mgr inż. Andrzej GOŁABEK – absolwent Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Od 2008 roku pracownik Zakładu Symulacji Złóż Węglowodorów i PMG Instytutu Nafty i Gazu Oddział Krosno. Zajmuje się różnorodnymi zagadnieniami z zakresu symulacji złóż i informatyki.



Dr Wiesław SZOTT – absolwent Uniwersytetu Jagiellońskiego i Texas A&M University. Założyciel i kierownik Zakładu Symulacji Złóż Węglowodorów i PMG Instytutu Nafty i Gazu Oddział Krosno. Od ponad 20 lat zajmuje się problematyką modelowania i symulacji złożowych. Autor ponad 30 prac naukowych i licznych opracowań, głównie z zakresu powyższej tematyki.