

## Różnicowanie się ciśnienia złożowego w PMG jako wskaźnik obecności niezidentyfikowanych elementów strukturalnych

### The diversification of formation pressure in the UGS as an indicator of the presence of unidentified structural elements

Agnieszka Moska

*Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

**STRESZCZENIE:** W artykule przedstawiono wyniki badań podziemnego magazynu gazu (PMG) zlokalizowanego w południowej Polsce, utworzonego w obrębie wyczerpanego złoża gazu ziemnego w utworach miocenu autochtonicznego, które zalegają w podłożu Karpat. Ciągła eksploatacja podziemnego magazynu gazu, polegająca na zatłaczaniu i odbieraniu gazu z PMG, wykazała, że w niektórych jego rejonach dochodzi do różnicowania się ciśnienia złożowego. Obszar ten charakteryzuje się skomplikowaną budową geologiczną, ponieważ biorą w niej udział trzy jednostki strukturalno-tektoniczne: podłoże miocenu, miocen autochtoniczny zapadliska przedkarpaccyjskiego oraz Karpaty fliszowe. W artykule dokonano analizy dwóch wybranych cykli pracy PMG i odwiertów tego magazynu, z których odebrano najwięcej gazu. Analiza, której poddano 14 odwiertów, pozwoliła zauważyć, że w odwiercie O.1 dochodzi do różnicowania się ciśnienia głowicowego statycznego (Pgs) w porównaniu zarówno z odwiertem piezometrycznym, charakteryzującym się najbardziej reprezentatywnym zapisem ciśnienia złożowego, jak i z innymi odwiertami znajdującymi się w sąsiedztwie. Taka anomalia wskazuje, że przy pewnej pojemności magazynu, bliskiej jego pojemności buforowej, następuje rozdzielenie pułapki złożowej na mniejsze elementy strukturalne, co skutkuje rozpoczęciem różnicowania się ciśnień głowicowych w odwiertach. W związku z tym na wschód od odwiertu O.1, na którym odnotowano różnicowanie się ciśnień, musi istnieć bariera litologiczna rozdzielająca pułapkę złożową horyzontu magazynowego na dwie części. Na południowy wschód od odwiertu O.3 wyinterpretowano pułapkę litologiczno-strukturalną obejmującą swoim zasięgiem poziom magazynowy. Od pozostałej części magazynu oddziela ją bariera litologiczna wykształcona prawdopodobnie w facji łupkowej, co skutecznie izoluje tę część od reszty magazynu. W artykule zamieszczono również fragment zweryfikowanej mapy strukturalnej omawianego podziemnego magazynu gazu. Przeprowadzone prace potwierdzają, że analiza ciśnień w podziemnych magazynach gazu jest użytecznym narzędziem do identyfikacji nowych, nieznanych elementów budowy strukturalnej złoża.

**Słowa kluczowe:** podziemny magazyn gazu, PMG, ciśnienie głowicowe statyczne.

**ABSTRACT:** This article presents the results of research into an underground gas storage facility (UGS) located in southern Poland, created in a depleted natural gas field in indigenous Miocene formations in the Carpathians. Continuous operation of a certain underground gas storage facility, consisting in injecting and receiving gas from the UGS, has shown that in some of its regions there is a diversification of formation pressure. This area is characterized by a rather complicated geological structure. It consists of three structural and tectonic units: the Miocene basement, the autochthonous Miocene formations of the Carpathian Foredeep and the Carpathian flysch. Two selected work cycles on 14 wells were analyzed in the article. One of them is characterized by a lower static well head pressure than was measured in the piezometric well and in the wells in the neighbourhood. Such an anomaly indicates that at a certain storage capacity a reservoir trap separates into smaller structural elements. Therefore, to the east of the well where the pressure differences were recorded must be a lithological barrier separating the reservoir trap of the storage horizon into two parts. A lithological barrier is probably formed in the shale facies that effectively isolates this part of storage from the rest of the UGS. This paper also contains an upgraded structural map of the gas storage horizon. The conducted studies confirm that the analysis of pressures in underground gas storage facilities is a useful tool for identifying new, unknown elements of the reservoir's structure.

**Key words:** underground gas storage facility, UGS, static well head pressure.

---

Autor do korespondencji: A. Moska, e-mail: [moskaa@inig.pl](mailto:moskaa@inig.pl)

Artykuł nadesłano do Redakcji: 07.09.2022 r. Zatwierdzono do druku: 10.11.2022 r.

## Wstęp

W podziemnym magazynowaniu gazu bardzo dobrze sprawdzają się szczerpane złoża gazu ziemnego. Złoże przeznaczone na magazyn powinno charakteryzować się m.in. dobrym zamknięciem struktury oraz dobrą porowatością i przepuszczalnością skał zbiornikowych, które będą gwarantować wysoką wydajność odwiertów (Miziołek, 2009).

Analizowane złożo gazu ziemnego, które zostało przekształcone na podziemny magazyn gazu, znajduje się w Polsce. Złoże zostało opisane w kilku dokumentacjach. Ponadto powstał szereg innych opracowań i prac związanych z analizą i oceną funkcjonowania tego PMG. Na tej podstawie ocenia się, że budowę geologiczną omawianego złoża poznano w sposób dobry.

Ponieważ zakres prac obejmował również rozpoznanie budowy horyzontu, w którym obecnie magazynuje się gaz, można uznać, że stan rozpoznania budowy geologicznej poziomów magazynowych jest bardzo dobry. Strukturę horyzontu dokumentują szczegółowe mapy strukturalne, obejmujące zarówno jego strop, jak i spąg, oraz mapy wybranych parametrów petrofizycznych.

Niemniej jednak prowadzona w sposób nieprzerwany eksploatacja magazynu, polegająca na zatłaczaniu i odbieraniu gazu z PMG, wykazała, że w pewnych rejonach złoża dochodzi do różnicowania się ciśnienia złożowego, co ujawnia się podczas głębokiego szczerpania magazynu. Taka anomalia wskazuje, że przy pewnej pojemności magazynu następuje rozdzielanie pułapki na mniejsze elementy strukturalne, które dotychczas nie były zidentyfikowane w obrazie strukturalnym horyzontu magazynowego. Analiza tych anomalii ciśnień była podstawą do przeprowadzenia reinterpretacji budowy strukturalnej magazynu i opracowania zmodernizowanego modelu strukturalnego pułapki złożowej w tym horyzoncie, uwzględniającego zaobserwowane zjawisko różnicowania się ciśnień podczas odbioru.

### Budowa geologiczna horyzontu magazynowego

Poziom, w którym został utworzony podziemny magazyn gazu, zbudowany jest ze skał należących do miocenu autochtonicznego. Pod względem stratygraficznym utwory te należą do sarmatu, a wykształcone zostały w postaci piaskowców, mułowców i zlepieńców. Utwory miocenu autochtonicznego w analizowanym rejonie obejmują:

- warstwy baranowskie (dolny baden), które stanowią szare i zielone łupki z wkładkami twardych i zbitych piaskowców glaukonitowych barwy szarozielonej i szarej, deponowanych w środowisku morskim (Olszewska, 1999; Porębski,

2000; Oszczytko, 2001; Kotarba i Koltun, 2011; Miziołek et al., 2017);

- anhydryty (górnny baden), mogące stanowić wtórną skałę zbiornikową, w której porowatość związana jest z procesami chemicznego oddziaływania węglowodorów na siarczany (Cisek i Czernicki, 1964; Czernicki i Kuk, 1988; Kubica, 1992; Myśliwiec, 2004; Chmielowska et al., 2021);
- utwory nadanhydrytowe (górnny baden–środkowy sarmat), czyli mułowce i piaskowce wyróżniane jako formacja z Machowa (Alexandrowicz et al., 1982; Czepiec, 1996; Porębski i Warchoł, 2006).

Ze względu na swoje właściwości pojemnościowo-filtracyjne główną skałą zbiornikową poziomu magazynowego stanowią piaskowce (Sowiżdżał et al., 2020). Są to piaskowce stożków podmorskich (Myśliwiec, 2004; Chmielowska et al., 2021), reprezentowane głównie przez skały średnioziarniste barwy szarej i jasnoszarej. Rzadziej spotykane są piaskowce grubo- i drobnoziarniste. Makroskopowo charakteryzują się one zróżnicowaną wytrzymałością mechaniczną, od łatwo rozsyplywych i łatwo lasujących się w wodzie piaskowców, do twardych i bardziej wytrzymałych. Ich zwięzłość uwarunkowana jest rodzajem i ilością spoiwa. Głównym ich budulcem są ziarna kwarcu, które występują samodzielnie bądź wchodzą w skład okruchów skalnych. Typowymi minerałami obecnymi w piaskowcach są również skalenie, natomiast wśród okruchów skalnych pojawiają się okruchy wapieni, skał metamorficznych, magmowych oraz fragmenty fauny. Spośród minerałów pobocznych i akcesorycznych spotykane są natomiast ziarna granatów, staurolitu, tytanitu, turmalinu, cyrkonu, piroksenu, piryty, biotyty i muskowitu. Bardzo rozpowszechniona jest także obecność rozproszonej substancji organicznej.

Drugim typem skały zbiornikowej w magazynie są mułowce. W porównaniu z piaskowcami charakteryzują się one znacznie gorszymi parametrami pojemnościowo-filtracyjnymi, stąd też w procesie magazynowania gazu odgrywają mniejszą rolę. Są to skały barwy od ciemnoszarej do czarnej i w zależności od facji występują w formach masywnych lub warstwowych (Lis i Wysocka, 2012). Zawartość spoiwa w mułowcach wynosi od 20% do 30% i jest to głównie spoiwo węglanowo-ilaste typu podstawowego, wypełniającego. Jedynie w bogatych w kwarc laminach dominuje spoiwo typu kontaktowego i porowego. Podstawowym składnikiem detrytycznym mułowców jest kwarc, ale powszechnie występują również drobne łuseczki łyszczyków (głównie muskowitu), które, podobnie jak ziarna kwarcu, mają orientację zgodną z laminacją skały. Ponadto pojawiają się związki żelaza w postaci wodorotlenków i tlenków oraz siarczków, a także ziarna glaukonitu oraz uwęglony detrytus roślinny.

Zlepienie są trzecim i ostatnim rodzajem skał zbiornikowych w profilu horyzontu magazynowego omawianego PMG.

Tworzą one odrębne ławice lub występują w spągu ławic piaskowcowych jako zlepienie podstawowy. Maksymalnie miąższość ławic osiąga 2 m, jednak najczęściej zmienia się w granicach 0,5–1,5 m.

Horyzont magazynowy omawianego podziemnego magazynu gazu charakteryzuje się dużą zmiennością facjalną – piaskowce nagle przechodzą w łupki i mułowce i odwrotnie. Początkowo zakładano dosyć prostą budowę geologiczną tego obszaru, a samo złożo miało być zamknięte w jednej pułapce. Jednak po dokładniejszym rozpoznaniu tego rejonu do celów magazynowych okazało się, że złożo ma bardziej skomplikowaną budowę geologiczną i jest złożone z kilku pułapek. Analiza wybranych cykli pracy PMG i odwiertów wykazała, że poziom magazynowy charakteryzuje się prawdopodobnie jeszcze bardziej złożoną budową geologiczną.

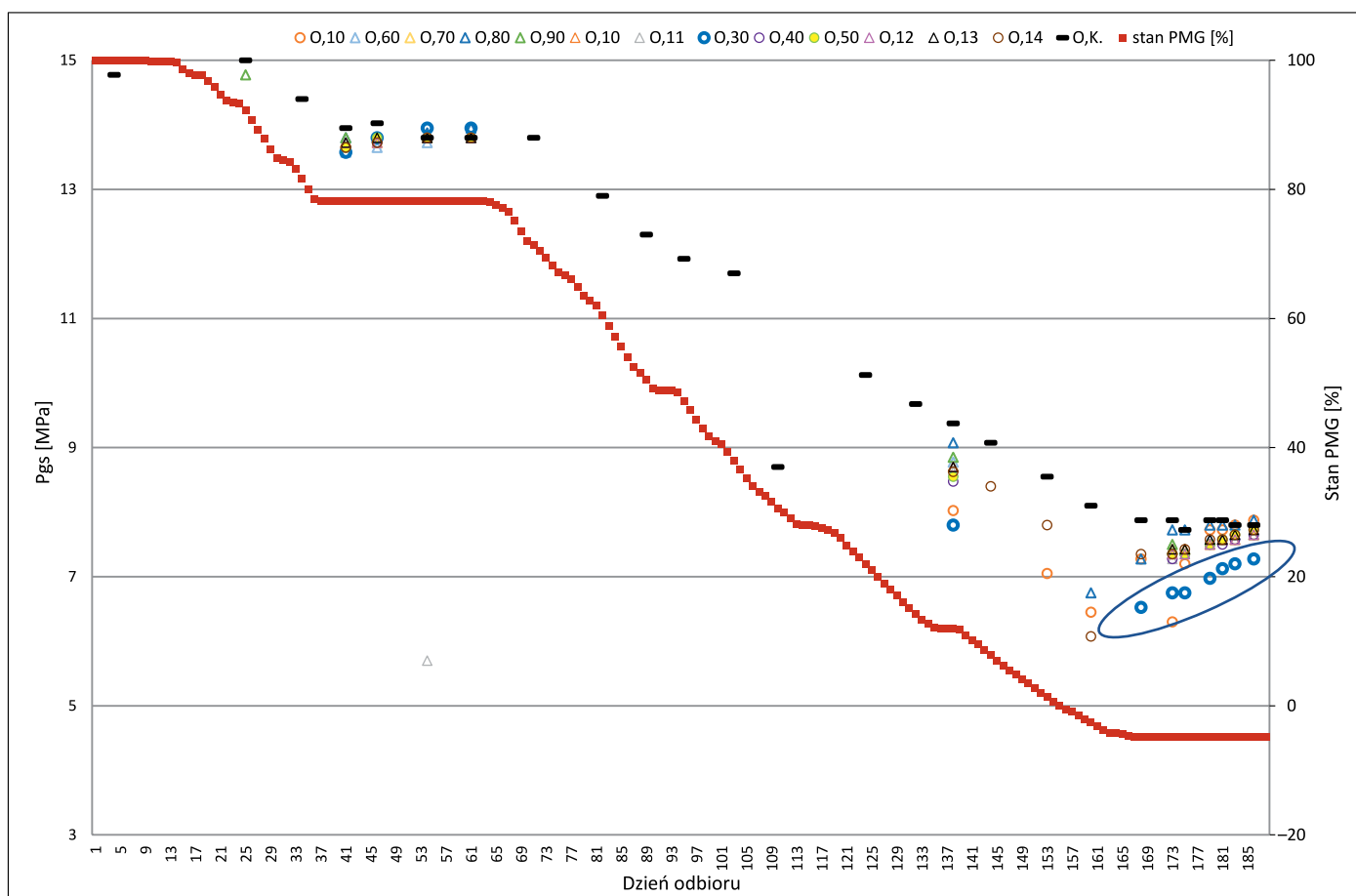
### Analiza wybranych cykli pracy i odwiertów PMG

Prowadzona w sposób ciągły eksploatacja magazynu, polegająca na zatłaczaniu i odbiorze gazu z PMG, wykazała,

że w pewnych rejonach złoża dochodzi do różnicowania się ciśnień złożowych, co ujawnia się podczas głębokiego szczypania magazynu.

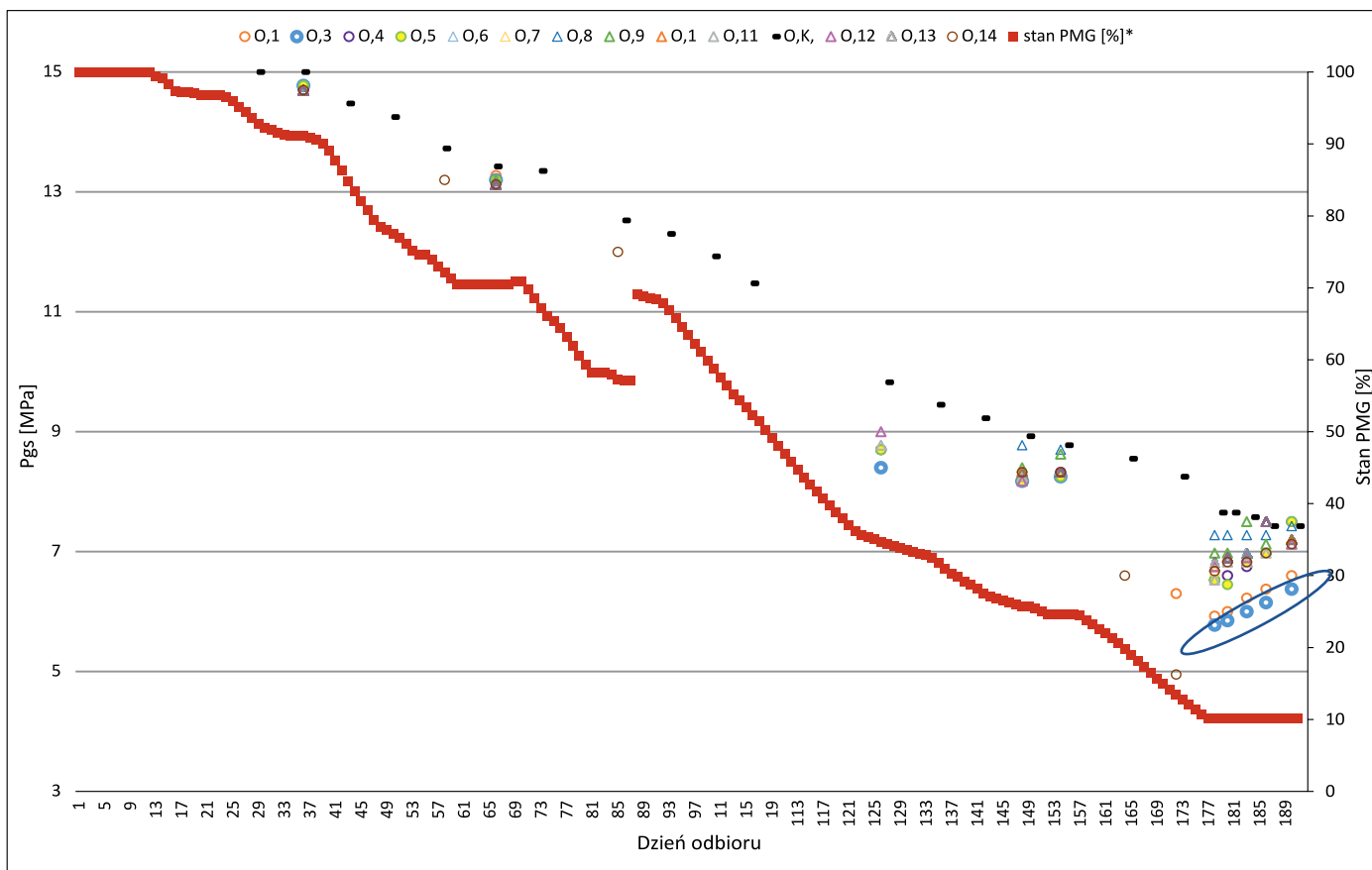
Analizie poddano dwa cykle pracy magazynu, w których odebrano najwięcej gazu. Dane zostały uzyskane z 14 odwiertów, w tym z odwiertu piezometrycznego (O.K.), charakteryzującego się najbardziej reprezentatywnym zapisem ciśnienia magazynowego. Zmiany ciśnienia głowicowego statycznego w trakcie odbioru dla wszystkich odwiertów przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Jasno z nich wynika, że odwiert O.3 cechuje się znacznym odchyleniem ciśnienia statycznego Pgs w czasie okresu stabilizacji ciśnienia w porównaniu z pozostałymi odwiertami, jak też wolniejszym powrotem do poziomu ciśnienia piezometrycznego (O.K.).

W tabeli 1 zestawiono wartości Pgs w odwiertach w końcowej fazie odbioru w cyklu 1, natomiast w tabeli 2 – w cyklu 2. Dane zawarte w tabelach są danymi rzeczywistymi pomierzonymi w magazynie pomnożonymi przez pewien współczynnik  $k$ . Jak wynika z danych przedstawionych w tabelach, wartości Pgs dla odwiertu O.3 należą do najniższych zmierzonych w tym czasie.



**Rysunek 1.** Zbiórny wykres zmian ciśnienia głowicowego (Pgs) podczas odbioru w cyklu 1. Elipsą zaznaczono wartości Pgs mierzone w odwiertu O.3

**Figure 1.** Cumulative graph of the changes of the static well head pressure (Pgs) during cycle 1. The ellipse marks the Pgs values measured in the O.3 well



**Rysunek 2.** Zbiorczy wykres zmian ciśnienia głowicowego (Pgs) podczas odbioru w cyklu 2. Elipsą zaznaczono wartości Pgs zmierzone w odwiercie O.3 (\* zmiana stanu PMG jest efektem przepisania około 12% pojemności buforowej  $V_b$  do pojemności czynnej  $V_a$ .)

**Figure 2.** Cumulative graph of the changes of the static well head pressure (Pgs) during cycle 2. The ellipse marks the Pgs values measured in the O.3 well (\* the change in the capacity of the UGS is the result of rewriting about 12% of the buffer capacity  $V_b$  to the working capacity  $V_a$ .)

**Tabela 1.** Ciśnienia głowicowe statyczne na magazynie w cyklu 1

**Table 1.** The static well head pressure during cycle 1

Ciśnienie głowicowe statyczne Pgs [MPa] <sup>1</sup>														Średnia <sup>2</sup>
O.1	O.4	O.5	O.6	O.7	O.8	O.9	O.10	O.11	O.12	O.13	O.14	O.3	O.K.	
7,28	7,13	6,45	7,28	7,20	7,28	7,58	7,73	7,20	7,28	7,28	7,35	6,53	7,88	7,20
6,30	7,28	7,35	7,43	7,43	7,73	7,50	7,35	7,28	7,35	7,43	7,35	6,75	7,88	7,31
7,20	7,35	7,35	7,43	7,43	7,73	–	7,43	7,35	7,35	7,43	7,43	6,75	7,73	7,40
7,73	7,50	7,50	7,58	7,50	7,80	–	7,50	7,50	7,50	7,58	7,58	6,98	7,88	7,56
7,73	7,50	7,58	7,58	7,58	7,80	–	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,13	7,88	7,61
7,80	7,58	7,65	7,65	7,58	7,80	–	7,58	7,58	7,65	7,65	7,65	7,20	7,80	7,64
7,88	7,65	7,73	7,65	7,65	7,88	–	7,65	7,65	7,73	7,73	7,73	7,28	7,80	7,71

<sup>1</sup> Dane zawarte w tabeli są danymi rzeczywistymi przemnożonymi przez współczynnik  $k$ . Pomiary wykonano na początku okresu stabilizacji ciśnienia, przy stałej pojemności magazynu.

<sup>2</sup> Wartość średnia wyliczona z ciśnienia Pgs w odwiertach: O.1, O.4, O.5, O.6, O.7, O.8, O.9, O.10, O.11, O.12, O.13, O.14.

W pierwszym sezonie ciśnienie głowicowe w tym odwiercie w czasie okresu stabilizacji wynosiło od 6,53 MPa do 7,28 MPa (tabela 1), podczas gdy ciśnienie w odwiercie piezometrycznym (odwiert O.K.) zmieniało się od 7,73 MPa do 7,88 MPa. Największa różnica w ciśnieniu zmierzonym w tych odwiertach, zanotowana na początku okresu stabilizacji,

wyniosła 1,35 MPa, a najmniejsza 0,52 MPa. Sytuacja wygląda podobnie przy porównaniu Pgs odwiertu O.3 z wartością średnią tego parametru wyliczoną dla pozostałych poddawanych analizie odwiertów, tj.: O.1, O.4, O.5, O.6, O.7, O.8, O.9, O.10, O.11, O.12, O.13, O.14. Również te wartości były wyższe i wynosiły od 7,20 MPa do 7,71 MPa. Największa

**Tabela 2.** Ciśnienia głowicowe statyczne na magazynie w cyklu 2**Table 2.** The static well head pressure during cycle 2

Ciśnienie głowicowe statyczne Pgs [MPa] <sup>1</sup>														Średnia <sup>2</sup>
O.1	O.4	O.5	O.6	O.7	O.8	O.9	O.10	O.11	O.12	O.13	O.14	O.3	O.K.	
5,93	6,53	6,53	6,75	6,68	7,28	6,98	6,75	6,53	6,75	6,83	6,68	5,78	7,65	6,62
6,00	6,60	6,45	6,83	6,83	7,28	6,98	6,90	6,83	6,90	6,90	6,83	5,85	7,65	6,71
6,23	6,75	6,83	6,98	6,90	7,28	7,05	6,90	6,83	6,98	6,98	6,83	6,00	7,56	6,80
6,38	6,98	6,98	7,05	6,98	7,28	7,13	7,05	6,98	7,05	7,05	6,98	6,15	7,43	6,92
6,60	7,05	7,05	7,13	7,13	7,43	7,20	7,20	7,13	7,20	7,20	7,13	6,38	7,43	7,05

<sup>1</sup> Dane zawarte w tabeli są danymi rzeczywistymi przemnożonymi przez współczynnik *k*. Pomiary wykonano na początku okresu stabilizacji ciśnienia, przy stałej pojemności magazynu.

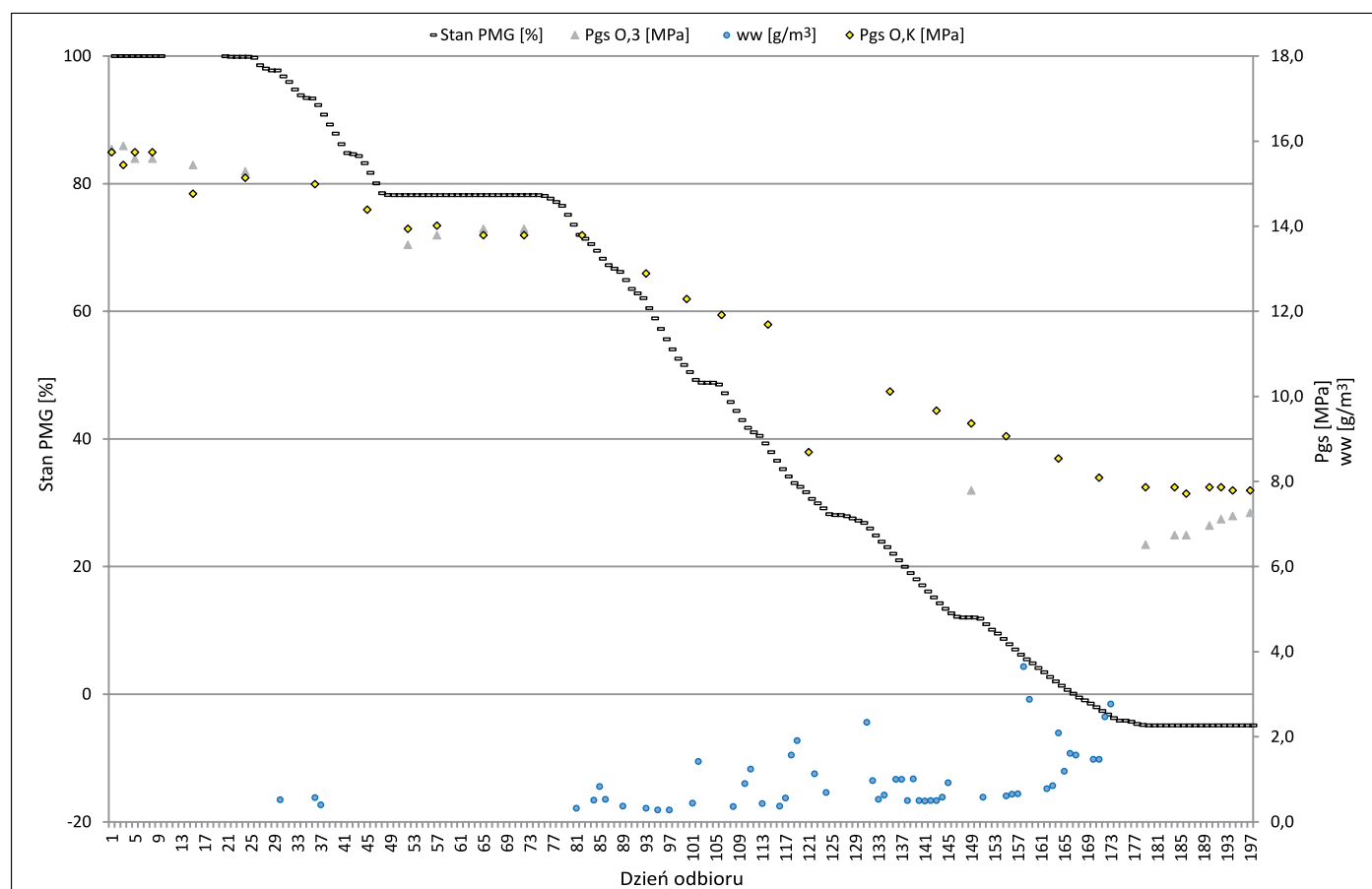
<sup>2</sup> Wartość średnia wyliczona z ciśnienia Pgs w odwiertach: O.1, O.4, O.5, O.6, O.7, O.8, O.9, O.10, O.11, O.12, O.13, O.14.

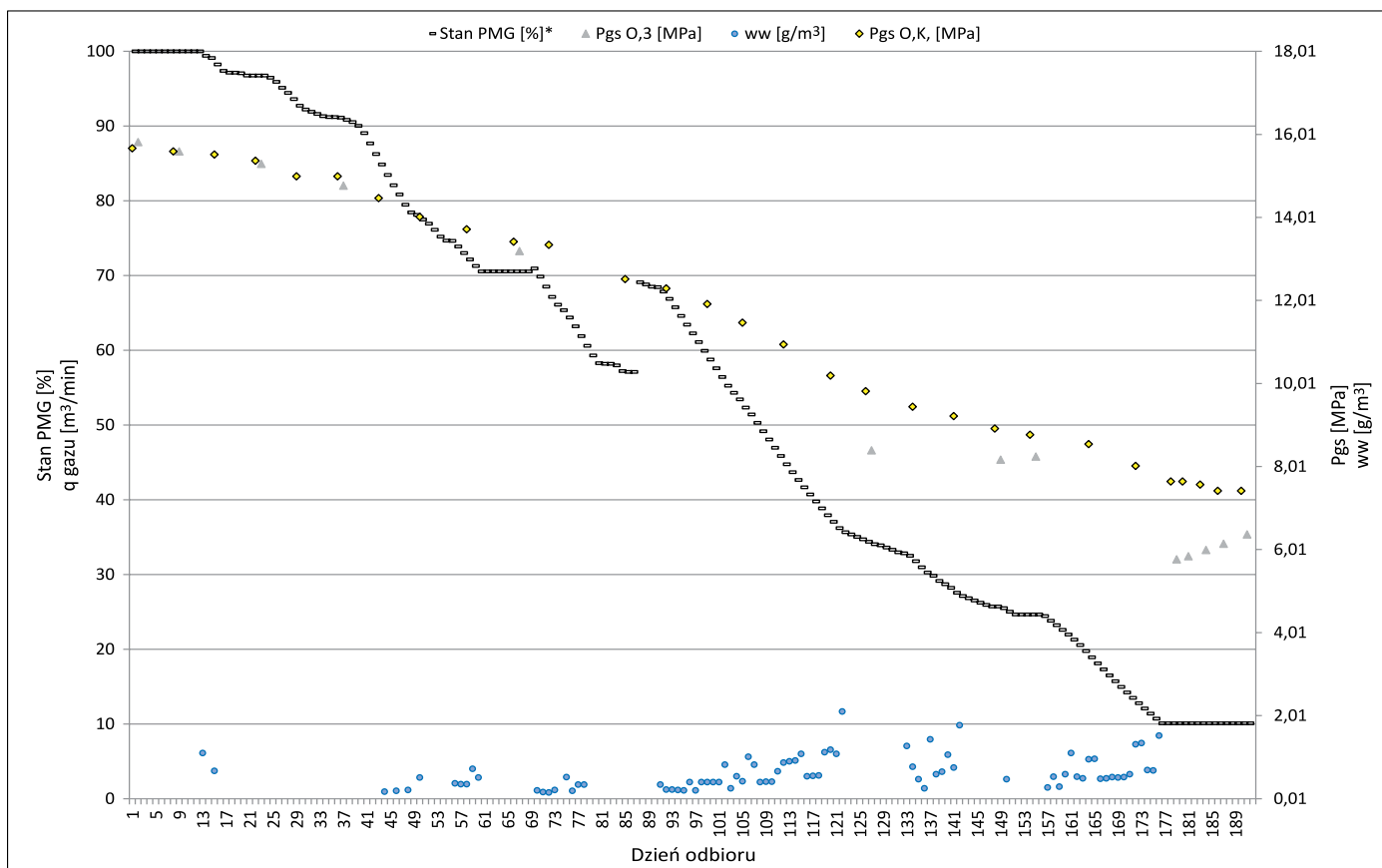
różnica w ciśnieniu pomiędzy odwiertem O.3 a wartością średnią dla tych odwiertów wyniosła 0,67 MPa, a najmniejsza 0,43 MPa.

W drugim analizowanym cyklu wartość ciśnienia głowicowego w czasie okresu stabilizacji ciśnienia zmierzona w odwiercie O.3 zmieniała się od 5,78 MPa do 6,38 MPa. Ponieważ ciśnienie w odwiercie piezometrycznym spadało w tym czasie od 7,65 MPa do 7,43 MPa, to różnica Pgs wynosiła nawet 1,87 MPa (tabela 2). Największa różnica w ciśnieniu zmierzonym w tych odwiertach wyniosła 1,87 MPa, a najmniejsza,

odnotowana tuż przed zatłaczaniem, była równa 1,05 MPa. Przy porównaniu danych z odwiertu O.3 z wartością średnią Pgs wyliczoną dla odwiertów O.1, O.4, O.5, O.6, O.7, O.8, O.9, O.10, O.11, O.12, O.13, O.14 różnice między pomiarami były mniejsze i wynosiły około 0,75 MPa. Największa różnica w ciśnieniu pomiędzy odwiertem O.3 a wartością średnią wyniosła 0,86 MPa, a najmniejsza 0,67 MPa.

W celu oceny ryzyka zawodnienia odwiertu O.3, które jest częstą przyczyną anomalii ciśnienia, przeanalizowano również zmiany wartości wykładnika wodnego w czasie odbioru gazu.

**Rysunek 3.** Zmiany ciśnienia głowicowego i wykładnika wodnego w odwiercie O.3 w sezonie pierwszym**Figure 3.** The changes of the static well head pressure and the water exponent in the O.3 well during cycle 1



**Rysunek 4.** Zmiany ciśnienia głowicowego i wykładnika wodnego w odwiercie O.3 w sezonie drugim (\* zmiana stanu PMG jest efektem przepisania około 12% pojemności buforowej  $V_b$  do pojemności czynnej  $V_a$ )

**Figure 4.** The changes of the static well head pressure and the water exponent in the O.3 well during cycle 2 (\* the change in the capacity of the UGS is the result of rewriting about 12% of the buffer capacity  $V_b$  to the working capacity  $V_a$ )

Jak wynika z rysunków 3 i 4, jego wartość w sezonie 1 nie przekroczyła  $4 \text{ g/m}^3$ , a w sezonie 2 była nieco wyższa niż  $2 \text{ g/m}^3$ , a zatem jest mało prawdopodobne, że obniżenie ciśnienia mogło być spowodowane zawodnieniem odwiertu. Do końca eksploatacji był on odwiertem gazowym.

### Wyznaczenie zasięgu nowej pułapki złożowej

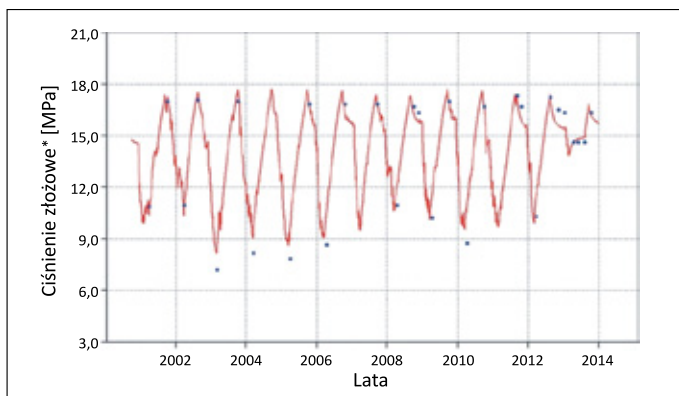
Pomiary ciśnień w odwiertach wykazały, że podczas głębokiego szczypania magazynu dochodzi do odizolowania odwiertu O.3 od zasadniczej części złoża. Ciśnienie głowicowe (Pgs) w odwiercie O.3 na początku okresu stabilizacji różni się znacznie od ciśnienia piezometrycznego w odwiercie O.K., jak i od ciśnień w pozostałych odwiertach (tabele 1 i 2, rysunki 1 i 2). Przyczyną powstawania takiej anomalii mogłoby być zawodnienie odwiertu O.3. Podchodząca woda bywa najczęstszym powodem różnicowania się ciśnień. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono zmiany ciśnienia głowicowego statycznego odwiertu O.3 i wartości wykładnika wodnego na tle stanu magazynowego i ciśnienia piezometrycznego. W pierwszym cyklu (rysunek 3) wartość wykładnika wodnego

nie przekraczała  $4 \text{ g/m}^3$ , a w cyklu 2 (rysunek 4) nawet  $2 \text{ g/m}^3$ , w związku z czym nietypowe ciśnienie Pgs w odwiercie O.3 nie mogło być spowodowane jego zawodnieniem, gdyż do końca fazy odbioru był on odwiertem gazowym.

Kolejnym argumentem przemawiającym za słusznością koncepcji o istnieniu pewnej anomalii w obrębie poziomu magazynowego omawianego PMG jest porównanie zmian prognozowanego ciśnienia złożowego w odwiercie O.3 z rzeczywiście zmierzonym w nim ciśnieniem (rysunek 5). Jak wynika z danych przedstawionych na rysunku 5, przy typowym odbiorze gazu z magazynu ciśnienie prognozowane dobrze koreluje z ciśnieniem rzeczywistym, jednak w przypadku głębokiego szczypania, a tym samym większego spadku ciśnienia złożowego zaznaczają się wyraźne różnice pomiędzy stanem rzeczywistym a prognozą. Taka sytuacja wskazuje, że przyjęty do prognozy model geologiczny różni się od modelu rzeczywistego, czyli budowa strukturalna poziomu magazynowego musi być inna niż założono w modelu.

Przedstawione różnice ciśnień między odwiertami prowadzą do wniosku, że na wschód od odwiertu O.3 musi istnieć bariera litologiczna, która rozdziela pułapkę złożową horyzontu magazynowego na mniejsze części. Na południowy zachód od





**Rysunek 5.** Wykres zmian ciśnienia złożowego obliczonego (kolor czerwony) i zmierzonego (kolor niebieski) w otworze O.3 (\* wartości ciśnień są danymi rzeczywistymi przemnożonymi przez współczynnik  $k$ )

**Figure 5.** Graph of the changes of the calculated formation pressure (red) and the measured formation pressure (blue) in the O.3 well (\* pressure values are actual data multiplied by the factor  $k$ )

odwiertu O.3 wyinterpretowano pułapkę litologiczno-strukturalną, obejmującą swoim zasięgiem poziom magazynowy. Od pozostałej części magazynu oddziela ją bariera litologiczna wykształcona prawdopodobnie w facji łupkowej, co skutecznie izoluje tę część od reszty magazynu. Bariera zlokalizowana jest w rejonie pomiędzy odwiertem O.3 a odwiertami O.4 i O.5 i przebiega w kierunku NNE-SSW. Jej szerokość zmienia się od około 70 m do 300 m, a jej długość wynosi około 450 m. Pod względem strukturalnym bariera schodzi do głębokości

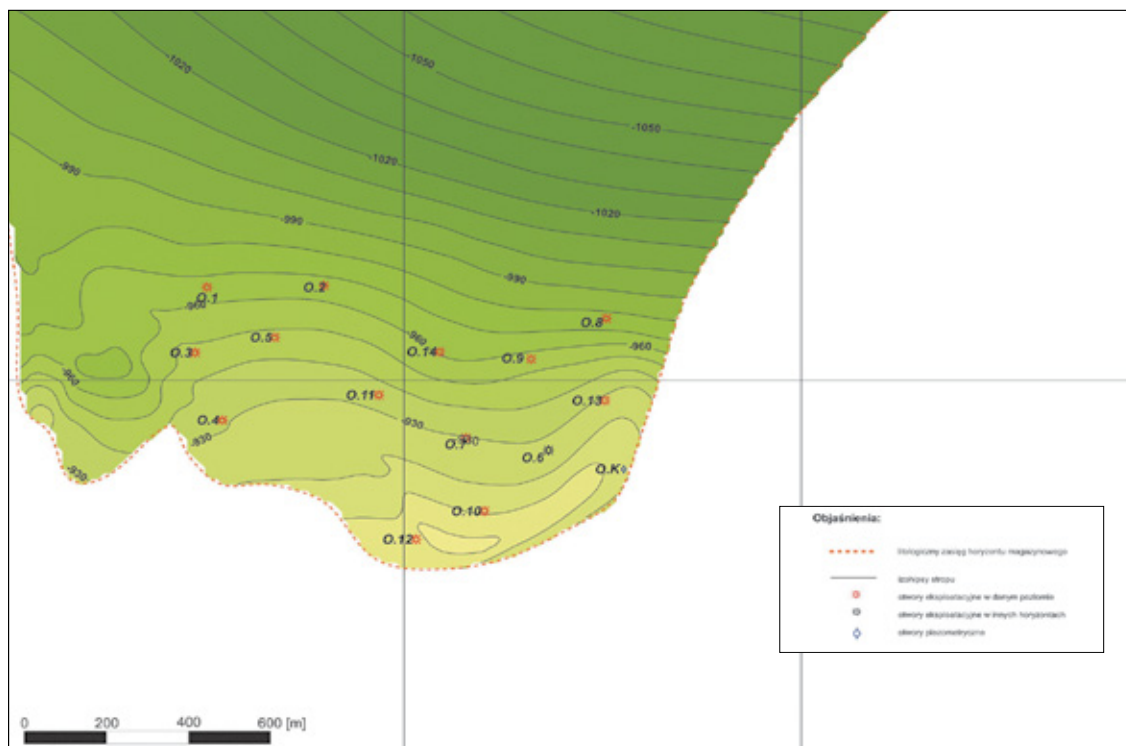
ok. 955 m p.p.m. Połączenie pułapki z resztą złoża ma miejsce w rejonie około 100–150 m na północ od odwiertu O.3.

Na rysunku 6 przedstawiono fragment mapy strukturalnej stropu analizowanego poziomu magazynowego przed zmianami, natomiast rysunek 7 przedstawia mapę stropu po aktualizacji z zaznaczoną wyinterpretowaną barierą litologiczną rozdzielającą pułapkę na dwa mniejsze elementy złożowe. Dodatkowo, na podstawie danych z tabel 1 i 2, opracowano mapy rozkładu ciśnienia głowicowego statycznego poziomu magazynowego dla sezonu 1 i 2 (rysunki 8 i 9). Strefa obniżonego ciśnienia w okolicy odwiertu O.3 jest wyraźnie widoczna i bardzo dobrze ilustruje zasadność wyznaczenia granicy pomiędzy elementami złoża.

W obrębie wyinterpretowanej pułapki następują duże zmiany facjalne. Generalnie skały zbiornikowe wyklinowują się w kierunku południowo-wschodnim, południowo-zachodnim i wschodnim, jedynie na niewielkim obszarze w części południowo-zachodniej obserwuje się lekki wzrost ich miąższości. Natomiast w kierunku północno-zachodnim dochodzi do znacznego rozwoju skał zbiornikowych, w efekcie czego następuje wzrost ich miąższości i rozszerzenie zasięgu facjalnego.

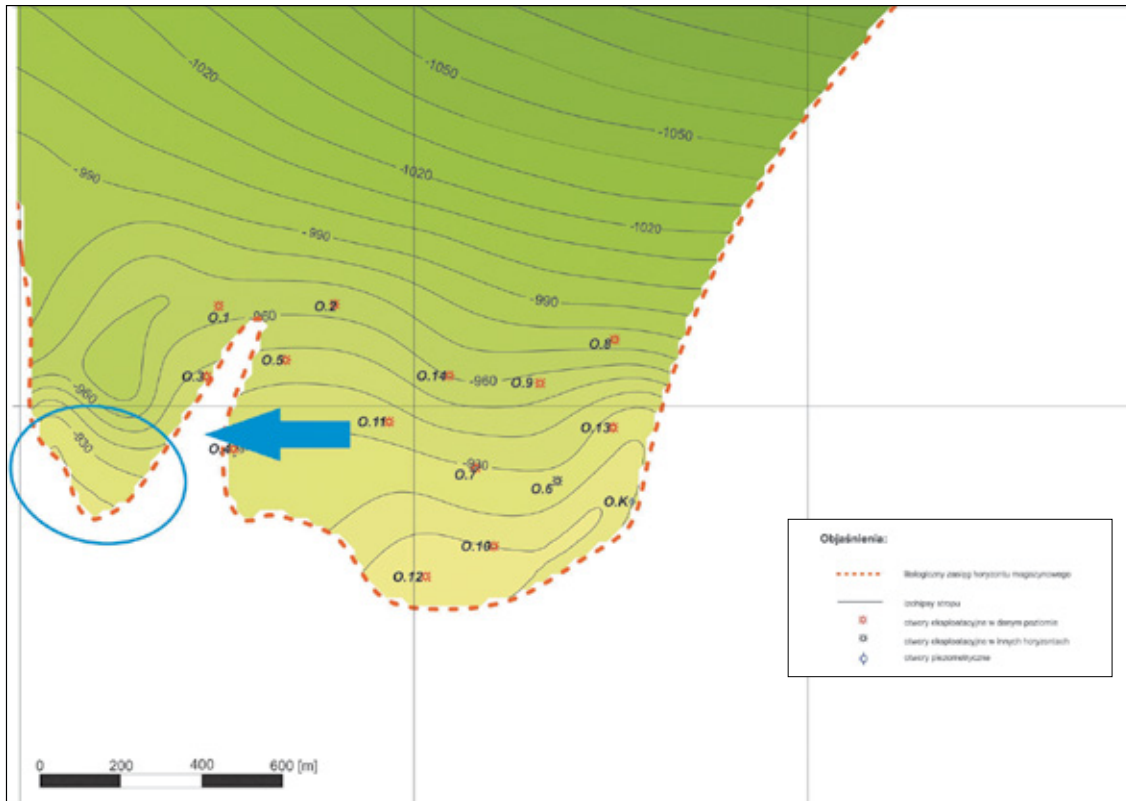
## Wnioski

W artykule przedstawiono analizę zmian ciśnienia głowicowego statycznego (Pgs) w wybranych odwiertach pewnego



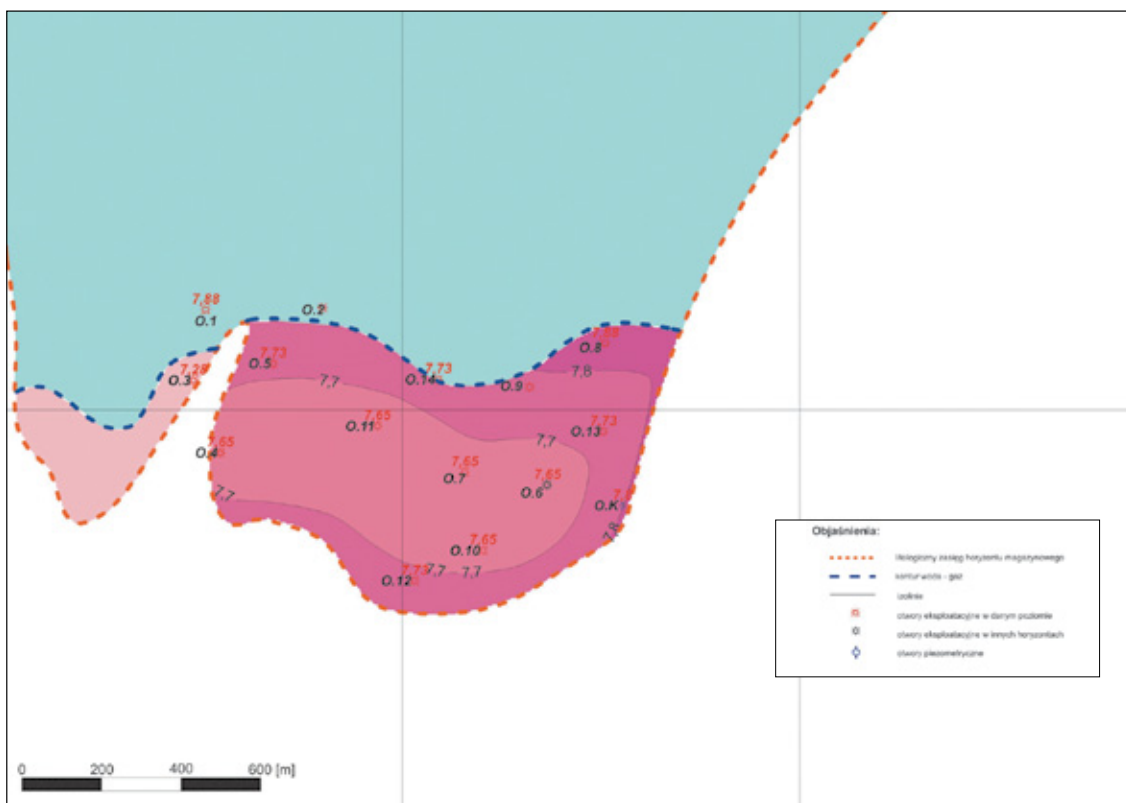
**Rysunek 6.** Fragment mapy strukturalnej stropu poziomu magazynowego przed wprowadzeniem zmian

**Figure 6.** Structural map of the top of the reservoir before the changes have been introduced



**Rysunek 7.** Fragment mapy strukturalnej stropu poziomu magazynowego po zmianach. Elipsą zaznaczono fragment mapy, który został zmodernizowany. Strzałką oznaczono wyinterpretowaną barierę litologiczną

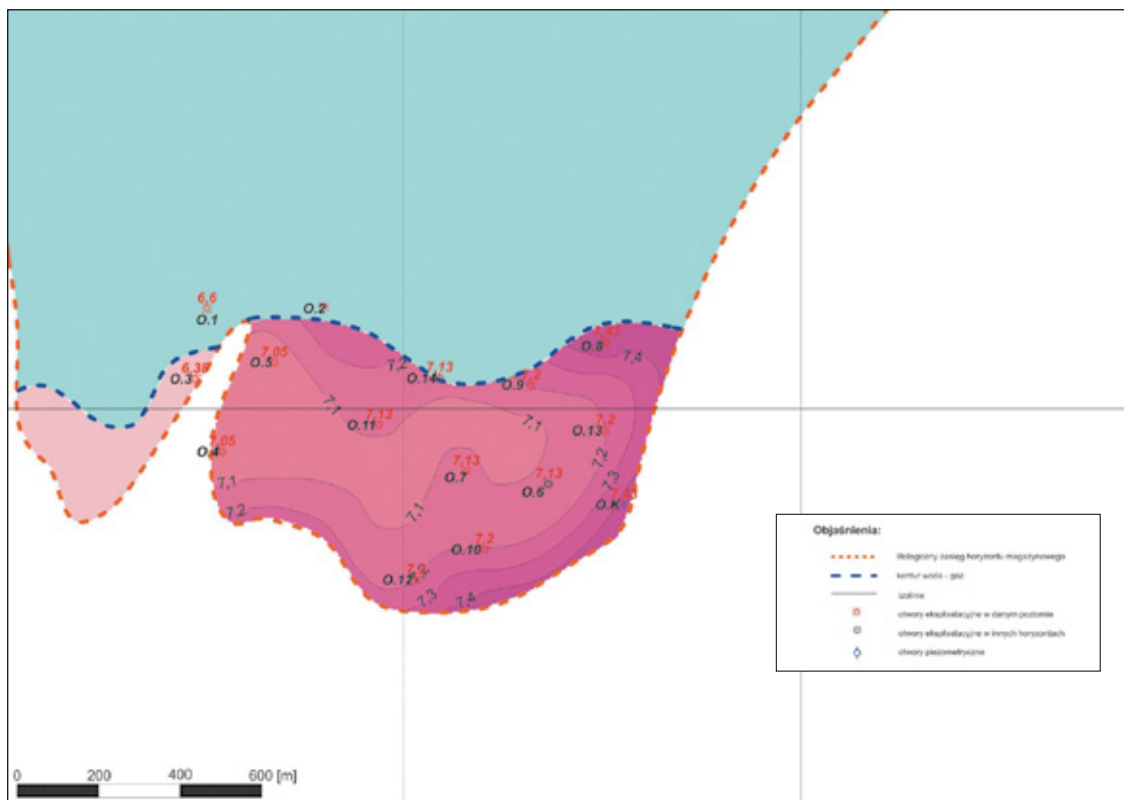
**Figure 7.** Structural map of the top of the reservoir after the changes have been introduced. The ellipse marks the fragment of the map that has been modernized. The arrow marks the interpreted lithological barrier



**Rysunek 8.** Fragment mapy rozkładu ciśnienia głowicowego statycznego w sezonie 1

**Figure 8.** Static well head pressure distribution map of the reservoir during cycle 1





**Rysunek 9.** Fragment mapy rozkładu ciśnienia głowicowego statycznego w sezonie 2

**Figure 9.** Static well head pressure distribution map of the reservoir during cycle 2

podziemnego magazynu gazu w dwóch cyklach zatłaczania i odbioru. Prace te pozwoliły dostrzec, że na jednym z odwiertów dochodzi do różnicowania się ciśnienia P<sub>gs</sub> względem zarówno ciśnienia piezometrycznego, jak i odwiertów pracujących w okolicy. Taka sytuacja występuje przy pojemności czynnej magazynu bliskiej jego pojemności buforowej. Tego typu zachowanie się ciśnień często jest spowodowane zawodnieniem odwiertu, jednak w tym przypadku zarówno pomiar wartości wykładnika wodnego w analizowanych cyklach, jak i prognoza zmian ciśnienia złożowego w odwiercie O.3 na tle ciśnienia rzeczywiście zmierzonego wskazują, że najprawdopodobniej dochodzi do odcięcia odwiertu O.3 i jego odizolowania od reszty złoża, a tym samym świadczą o istnieniu w tym rejonie bariery litologicznej, która rozdziela w końcowej fazie odbioru pułapkę złożową na dwie części.

Zidentyfikowanie tej pułapki umożliwiło uaktualnienie map strukturalnych horyzontu magazynowego oraz zwiększy jakość opracowywanych prognoz odbioru i zatłaczania gazu, zarówno dla całego magazynu, jak i dla poszczególnych odwiertów eksploatacyjnych. Rozpoznanie nowych elementów pułapki złożowej pozwoli też na lepszą prognozę przemieszczania się wód złożowych oraz identyfikację przebiegu konturu gaz-woda, co jest niezbędne dla określenia możliwości eksploatacyjnych poszczególnych odwiertów. Przeprowadzone prace potwierdzają, że analiza ciśnień monitorowanych w podziemnych

magazynach gazu jest użytecznym narzędziem do identyfikacji nowych, nieznanych elementów budowy strukturalnej złoża.

Artykuł został opracowany na podstawie pracy własnej, praca INiG-PIB; nr zlecenia: 1877/KP/2022, nr archiwalny: DK-4100-123/2022.

### Literatura

- Alexandrowicz S.W., Garlicki A., Rutkowski J., 1982. Podstawowe jednostki litostratygraficzne miocenu zapadliska przedkarpackiego. *Kwartalnik Geologiczny*, 26: 470–471.
- Chmielowska A., Sowizdzał A., Tomaszewska B., 2021. Prospects of using Hydrocarbon Deposits from the Autochthonous Miocene Formation (Eastern Carpathian Foredeep, Poland) for Geothermal Purposes. *Energies*, 14: 3102. DOI: 10.3390/en14113102.
- Cisek B., Czernicki J., 1964. Występowanie siarki w poziomach osadów chemicznych tertonu dolnego na przedgórzu Karpat w rejonie Rokietnica–Mirocin–Jarosław–Kańczuga jako ważny wskaźnik w poszukiwaniach bituminów. *Geologia i Geofizyka Naftowa*, 10–12.
- Czepiec I., 1996. Biostratygrafia i warunki depozycji osadów północnej strefy brzeżnej sarmatu Polski. *Zeszyty Naukowe AGH, Geologia*, 22: 309–338.
- Czernicki J., Kuk S., 1988. Odkrycie złoża gazu ziemnego w utworach badenu dolnego w zapadlisku przedkarpackim. *Nafta*, 44(3): 41–46.
- Kotarba M., Koltun Y.V., 2011. Origin of natural gases in the autochthonous Miocene strata of the Ukrainian Carpathian Foredeep and its Mesozoic basement. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 81: 425–441.

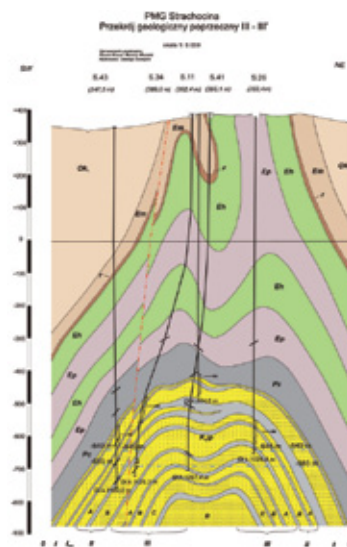
- Kubica B., 1992. Rozwój facjalny osadów chemicznych badenu w północnej części zapadliska przedkarpackiego. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 168: 249–273.
- Lis P., Wysocka A., 2012. Middle Miocene deposits in Carpathian Foredeep facies analysis and implications for hydrocarbon reservoir prospecting. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 82: 239–253.
- Miziołek M., 2009. Analiza geologiczno-złożowa wytypowanych złóż gazu ziemnego w rejonie zapadliska przedkarpackiego, pod kątem konwersji na małe, lokalne magazyny gazu. *Nafta-Gaz*, 65(3): 207–212.
- Miziołek M., Filar B., Cierznia M., 2017. Pułapki złożowe zapadliska przedkarpackiego w czołowej strefie nasunięcia Karpat. *Nafta-Gaz*, 73(8): 551–557. DOI: 10.18668/NG.2017.08.02.
- Myśliwiec M., 2004. Miocenne skały zbiornikowe zapadliska przedkarpackiego. *Przegląd Geologiczny*, 52: 581–592.
- Olszewska B., 1999. Biostratygrafia neogenu zapadliska przedkarpackiego w świetle nowych badań mikropaleontologicznych. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 168: 9–28.
- Oszczypko N., 2001. Rozwój zapadliska przedkarpackiego w miocenie. *Przegląd Geologiczny*, 49: 717–723.
- Porębski S., 2000. Określenie ciągów systemowych w rejonie Biszcza–Księżpol i ich facjalno-paleośrodowiskowa interpretacja. *Archiwum BG Geonafta, Jasło*.
- Porębski S.J., Warchoł M., 2006. Znaczenie przepływów hiperpyknaalnych i klinoforn deltowych dla interpretacji sedimentologicznych formacji z Machowa (miocen zapadliska przedkarpackiego). *Przegląd Geologiczny*, 54: 421–429.



Dr Agnieszka MOSKA  
 Specjalista inżynierijno-techniczny w Zakładzie  
 Podziemnego Magazynowania Gazu  
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
 ul. Lubicz 25 A  
 31-503 Kraków  
 E-mail: moskaa@inig.pl

## OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU PODZIEMNEGO MAGAZYNOWANIA GAZU

- analiza struktur geologicznych złóż gazu ziemnego, ropy naftowej oraz obiektów zawodniomych, pod kątem możliwości ich przekształcenia w PMG;
- szczegółowa analiza warunków geologiczno-złożowych, ocena dotychczasowej eksploatacji złoża, warunków hydrodynamicznych, zdolności wydobywczych odwiertów;
- ocena stanu technicznego istniejącej infrastruktury w aspekcie jej wykorzystania w pracy PMG;
- wykonywanie cyfrowych modeli geologicznych PMG, złóż gazu ziemnego i ropy naftowej;
- wykonywanie projektów budowy PMG;
- analiza dotychczasowej pracy istniejących PMG w celu optymalizacji parametrów dalszej eksploatacji magazynów na bazie symulacji komputerowej;
- opracowanie projektów prac geologicznych, dotyczących poszukiwania i rozpoznawania złóż gazu ziemnego i ropy naftowej;
- opracowanie dokumentacji geologicznych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego;
- opracowanie programu optymalnej eksploatacji złoża, wydajności poszczególnych odwiertów, tempa szczypania itp.



Kierownik: mgr inż. Bogdan Filar Adres: ul. Armii Krajowej 3, 38-400 Krosno  
 Telefon: 13 436 89 41 w. 5202 Faks: 13 436 79 71 E-mail: bogdan.filar@inig.pl

 INSTYTUT NAFTY I GAZU  
 – Państwowy Instytut Badawczy