

Możliwości rozbudowy PMG z wykorzystaniem dodatkowych horyzontów

Possibilities of expanding the UGS using additional horizons

Agnieszka Moska, Mariusz Miziołek, Bogdan Filar, Tadeusz Kwilosz

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Podziemne magazyny gazu (PMG) należą do jednych z głównych elementów systemu gazowniczego. Do ich podstawowych zadań należą m.in. zaspokajanie skokowego zapotrzebowania na gaz w sezonie zimowym oraz pełnienie roli rezerw strategicznych. W Polsce działa obecnie siedem podziemnych magazynów gazu wysokometanowego. Dwa z nich zostały utworzone w kavernach solnych, a pozostałe w częściowo wyeksploatowanych złożach gazu. Sumaryczna pojemność czynna działających w Polsce magazynów wynosi aktualnie 3,326 mld m³ (stan na dzień 31.03.2025 r.), co jest wielkością niewystarczającą na tle średniej pojemności PMG w Unii Europejskiej. W artykule został przedstawiony projekt koncepcji rozbudowy pojemności czynnej teoretycznego podziemnego magazynu gazu z wykorzystaniem dodatkowego horyzontu. Wstępnego projektu rozbudowy dokonano z założeniem, że zatłaczanie i odbiór gazu z dodatkowego poziomu będą się odbywały z wykorzystaniem stacji sprężania gazu obsługującej przykładowy magazyn oraz że do eksploatacji nowej części magazynu włączone zostaną istniejące odwierty. Górne ciśnienie pracy projektowanego podziemnego magazynu gazu będzie równe ciśnieniu pracy przykładowego PMG. Pojemność całkowita dodatkowego horyzontu magazynowego, obliczona dla górnego ciśnienia magazynowania, będzie równa 280 mln m³*. Z tego pojemność czynna i buforowa PMG wyniosą po 140 mln m³. W pracy zawarto obliczenia wydajności absolutnej odwiertów, która będzie się zmieniać w przedziale 65–420 m³/min. Na tej podstawie sporządzono charakterystykę wydajności średniego odwiertu, która dla określonego zakresu ciśnień zmienia się w przedziale 110–160 m³/min. Te dane posłużyły z kolei do określenia liczby odwiertów koniecznych do eksploatacji magazynu wytworzonego w nowym horyzoncie. Przeprowadzone obliczenia wykazały, że zakładaną pojemność czynną 140 mln m³ będzie można wyeksploatować w czasie 120 dni przy włączeniu do eksploatacji 6 odwiertów.

Słowa kluczowe: podziemne magazyny gazu, PMG, pojemność czynna.

ABSTRACT: Underground gas storage (UGS) facilities are one of the main elements of the gas supply system. Their primary functions are to meet sudden increases in gas demand during the winter season and to serve as strategic reserves. Currently, Poland operates seven high-methane UGS facilities. Two are located in salt caverns, while the other five are developed in depleted gas reservoirs. As of 31 March 2025, the total active storage capacity of these facilities in Poland is 3.326 billion m³, which remains insufficient compared to the average UGS capacity in the European Union. This article presents a conceptual design for increasing the active capacity of a theoretical UGS facility by incorporating an additional storage horizon. The proposed expansion assumes that gas injection and withdrawal from the new horizon will use the existing gas compression station at the reference facility, and that existing wells will be adapted for operation within the new storage section. The upper operating pressure of the planned facility is assumed to match that of the reference UGS. The total capacity of the additional storage horizon, calculated at the upper storage pressure, is estimated at 280 million m³*. Active and buffer capacities are each assumed to be 140 million m³. The study includes calculations of the absolute deliverability of the wells, ranging from 65 to 420 m³/min. Based on these values, an average well deliverability profile was developed, showing deliverability between 110 and 160 m³/min across the defined pressure range. These data were used to determine the number of wells required to operate the storage facility created in the additional horizon. The calculations indicate that the planned active capacity of 140 million m³ could be depleted within 120 days with six wells in operation.

Key words: underground gas storage, UGS, active capacity.

Autor do korespondencji: A. Moska, e-mail: moskaa@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 09.01.2025 r. Zatwierdzono do druku: 29.09.2024 r.

Wstęp

Podziemne magazyny gazu (PMG) są niezbędnym elementem każdego systemu gazowniczego (Sharples, 2016). Do głównych zadań magazynów gazu należą: zaspokajanie skokowego zapotrzebowania na gaz w sezonie zimowym, możliwość optymalizacji systemu gazowniczego, możliwość optymalizacji eksploatacji krajowych złóż gazu ziemnego oraz pełnienie roli rezerw strategicznych (Filar i in., 2022b).

W Polsce eksploatowanych jest obecnie siedem podziemnych magazynów gazu wysokometanowego, z których pięć zostało utworzonych w szcerpanych złożach gazu, a dwa w kawernach solnych. Przeprowadzone w 2022 roku przez Filara i in. (2022a) analizy wykazały, że w porównaniu ze średnią pojemnością czynną w krajach unijnych obecne pojemności PMG w Polsce są niewystarczające. Aby stosunek pojemności czynnej PMG do rocznego zużycia gazu w Polsce osiągnął średnią unijną (35,37%), magazyny powinny zostać rozbudowane z wielkości 3,326 mld m³ do 7,56 mld m³.

Pojemność czynna każdego magazynu gazu jest zależna od wielkości samego złoża, od zakresu ciśnień jego pracy oraz od panujących w nim warunków hydrodynamicznych. Zmiana pojemności czynnej może nastąpić bezinwestycyjnie, poprzez zmianę zakresu ciśnień jego pracy, co jest dosyć częstą praktyką na świecie (Bruno i in., 2000). Należy jednak mieć na uwadze, że aby zabieg ten był bezpieczny, podniesienie górnego ciśnienia magazynowania nie powinno być większe niż 20% pierwotnego ciśnienia złożowego (Bruno i in., 1998; Filar, 2018).

Poniesienie ciśnienia magazynowania ponad pierwotne ciśnienie złożowe niesie ze sobą kilka poważnych zagrożeń technicznych, geologicznych i środowiskowych. Najważniejsze z nich to ryzyko związane z utratą szczelności magazynu poprzez powstałe szczeliny i pęknięcia, co może w konsekwencji prowadzić do niekontrolowanych wycieków gazu. To z kolei, poza samymi stratami gazu, może powodować zanieczyszczenia warstw wodonośnych, np. wody pitnej. Zbyt wysokie ciśnienie może także doprowadzić do uszkodzenia cementowania i do korozji odwiertów, co także ma kluczowe znaczenie dla utrzymania szczelności magazynu. Innym sposobem zwiększenia pojemności podziemnego magazynu gazu, w przypadku magazynu utworzonego w szcerpanym złożu gazu, jest wykorzystanie dodatkowych horyzontów.

Przykładowy podziemny magazyn gazu poddano rozbudowie z założeniem, że:

- gaz ziemny znajdujący się w horyzoncie pozostanie gazem buforowym;
- górne ciśnienie pracy projektowanego magazynu będzie zgodne z zakresem pracy magazynu przed rozbudową;

- zatłaczanie i odbiór magazynowanego gazu będą prowadzone z wykorzystaniem stacji sprężania gazu obsługującej przykładowy magazyn przed jego rozbudową;
- do eksploatacji powiększonej części magazynu zostaną wykorzystane odwierty eksploatujące przykładowy magazyn, z możliwością odwiercenia nowych.

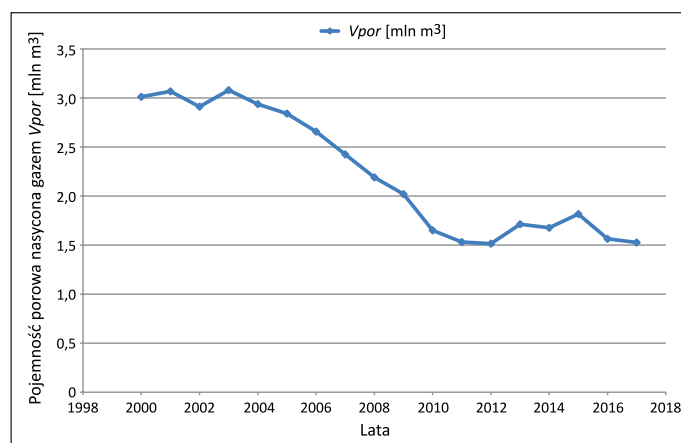
Podziemny magazyn gazu poddawany rozbudowie w niniejszej pracy jest magazynem teoretycznym, a więc wszystkie przedstawione parametry są danymi przykładowymi.

Zakres ciśnień pracy PMG

Każdy podziemny magazyn gazu cechuje się określonymi parametrami techniczno-eksploatacyjnymi budowy i eksploatacji. Są to (Filar i in., 2020):

- pojemność całkowita;
- pojemność czynna i buforowa;
- zakres ciśnień pracy;
- ciśnienie odbioru;
- liczba odwiertów.

Zakres ciśnień pracy każdego magazynu jest ściśle związany z wielkością pojemności czynnej oraz wymaganym buforem. Zakres ten charakteryzuje się dolnym oraz górnym ciśnieniem pracy PMG. Dolne ciśnienie pracy magazynu określa wielkość buforu. W przypadku gdy podczas odbioru gaz nie jest sprężany, to ciśnienie musi być wyższe od ciśnienia w gazociągu systemowym. Ciśnienie górne pracy PMG bardzo często jest równe pierwotnemu ciśnieniu złożowemu (P_{dso}). Do rzadkości należy sytuacja, w której górne ciśnienie pracy PMG jest znacząco niższe od P_{dso} , gdyż taki magazyn charakteryzuje się dużym buforem i małą pojemnością czynną, co bardzo niekorzystnie wpływa na ekonomiczną opłacalność całej inwestycji. Często, w celu maksymalizacji pojemności czynnej, ciśnienie górne pracy PMG przewyższa ciśnienie pierwotne.



Rysunek 1. Zmiany pojemności porowej nasyconej gazem (V_{por})
Figure 1. Changes in gas-saturated pore volume (V_{por})

W pracy założono, że zakres ciśnień pracy magazynu będzie następujący:

- ciśnienie górne jest równe górnemu ciśnieniu pracy przykładowego PMG i będzie wynosić $P_{ds} = 8,4 \text{ MPa}$;
- ciśnienie dolne zostanie obliczone przy założeniu, że pojemność czynna będzie wynosić 50% pojemności całkowitej osiągniętej dla ciśnienia $P_{ds} = 4,4 \text{ MPa}$.

Zgodnie z przyjętymi założeniami dolne prognozowane ciśnienie pracy PMG, obliczone dla pojemności buforowej magazynu wynoszącej 140 mln m^3 , będzie wynosić $4,4 \text{ MPa}$. W związku z tym zakres ciśnień złożowych eksploatacji magazynu będzie zawierał się w przedziale P_{ds} od $4,4 \text{ MPa}$ do $8,4 \text{ MPa}$.

Pojemność czynna i buforowa projektowanego magazynu

Pojemność czynna i buforowa każdego magazynu gazu zależy od zakresu ciśnień jego pracy oraz wielkości pojemności porowej, która jest nasycona gazem. W przypadku złóż gazu charakteryzujących się naporem wód złożowych ich eksploatacja powoduje zmniejszenie się pojemności porowej nasyconej gazem na rzecz dopływającej do złoża wody. Na skutek zjawiska zawadniania się złoża pojemność porów gazowych przed rozpoczęciem procesu magazynowania jest mniejsza od ich pierwotnej pojemności (rysunek 1). Na wykresie można zauważyć, że pierwotna pojemność porów nasyconych gazem wynosiła około 3 mln m^3 *, jednak zawadnianie złoża podczas odbioru gazu spowodowało spadek pojemności porowej nasyconej gazem do wielkości wynoszącej około $1,5 \text{ mln m}^3$.

Proces zawadniania złoża jest procesem odwracalnym podczas zatłaczania gazu do złoża, ponieważ zatłaczany gaz wypiera wodę ze złoża. Należy jednak pamiętać, że w ten sposób odzyska się tylko część utraconej pojemności porowej. Przyjmuje się, że woda zajmująca mikropilary nie zostanie wyparta przez zatłaczany gaz. Dla uproszczenia obliczeń założono, że w wyniku magazynowania gazu odzyska się 50% utraconej pojemności porowej. Szacunkowa wielkość pojemności porów możliwa do uzyskania dla nowego poziomu magazynowego (poziom D) przedstawiona jest w tabeli 1.

Założenia przedstawione powyżej pozwoliły obliczyć możliwą do uzyskania pojemność czynną oraz konieczną wielkość utrzymywanego buforu. Jak już wspomniano, wielkość pojemności czynnej i buforowej zależy od zakresu ciśnień pracy PMG oraz wielkości pojemności porów nasyconych gazem. Pojemność całkowita magazynu, obliczona dla górnego ciśnienia magazynowania $P_{ds} = 8,4 \text{ MPa}$, wynosi 280 mln m^3 . Pojemność czynna została obliczona zgodnie z przyjętym założeniem, że jej wielkość będzie wynosić 50% pojemności

Tabela 1. Szacunkowa pojemność porów możliwa do uzyskania w dodatkowym poziomie magazynowym

Table 1. Estimated pore volume available in the additional storage level

Parametr [mln m ³]	Poziom D*
Pierwotna pojemność porów, V_{po}	3,0
Aktualna pojemność porów, V_{pa}	1,5
Pojemność porów, projekt PMG	2,25

całkowitej osiągniętej dla ciśnienia $P_{ds} = 8,4 \text{ MPa}$. Zgodnie z obliczeniami pojemność czynna i buforowa PMG będą wynosić po $140,0 \text{ mln m}^3$. W przypadku buforu wynoszącego $140,0 \text{ mln m}^3$ dolne ciśnienie pracy magazynu będzie wynosić $P_{ds} = 4,4 \text{ MPa}$. Podstawowe parametry pracy PMG przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Podstawowe parametry pracy PMG w horyzoncie D

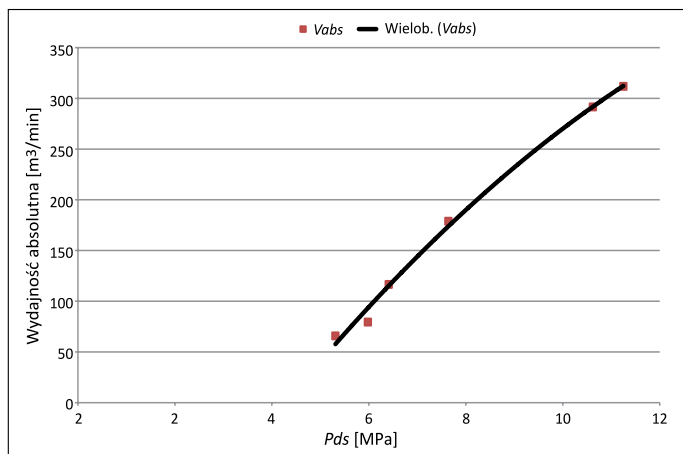
Table 2. Key operational parameters of the USG in horizon D

Parametry PMG, poziom D	PMG
Pojemność porów nasyconych gazem [mln m ³]	2,25
Zakres ciśnień pracy, ciśnienie denne statyczne, P_{ds} [MPa]	4,4–8,4
Pojemność całkowita magazynu, V_c [mln m ³]	280,0
Pojemność czynna, V_a [mln m ³]	140,0
Pojemność buforu całkowitego, V_b [mln m ³]	140,0

Wydajność odwiertów i PMG

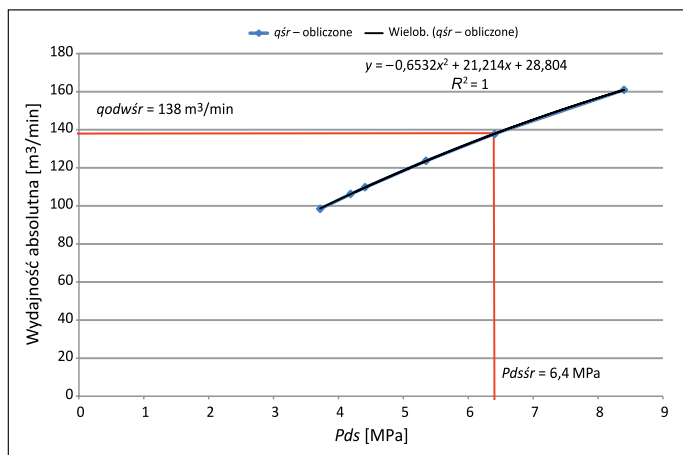
Wydajność całego magazynu to suma wydajności poszczególnych odwiertów. Największy wpływ na wydajność odwiertu mają przepuszczalność skały zbiornikowej, ciśnienie złożowe oraz depresja ciśnień podczas eksploatacji. Założono, że poziom D był eksploatowany 3 odwiertami, które aktualnie są zastawione. Na rysunku 2 przedstawiono zmianę wydajności absolutnej, obliczonej jako wydajność średnia wszystkich otworów eksploatujących poziom D. Można zauważyć, że wydajność absolutna odwiertów zmierzona w zakresie ciśnień złożowych $3,7\text{--}7,9 \text{ MPa}$ wynosi od $q = 65 \text{ m}^3/\text{min}$ do $420 \text{ m}^3/\text{min}$. Uzyskane w ten sposób dane posłużyły do sporządzenia charakterystyki wydajności średniego odwiertu. Została ona obliczona przy założeniu, że depresja ciśnień podczas eksploatacji będzie identyczna jak depresja stosowana w przypadku obecnego PMG. Wyniki obliczeń zaprezentowano na wykresie na rysunku 3. Można zauważyć, że prognozowana wydajność średniego odwiertu obliczona dla zakresu ciśnień $4,4\text{--}8,4 \text{ MPa}$ zmienia się w przedziale q_{sr} od $110 \text{ m}^3/\text{min}$ do $160 \text{ m}^3/\text{min}$.

Liczbę odwiertów koniecznych do eksploatacji magazynu wytworzonego w poziomie D obliczono na podstawie



Rysunek 2. Zmiany wydajności absolutnej średniego odwiertu udostępniającego poziom D

Figure 2. Changes in the absolute deliverability of an average well accessing level D



Rysunek 3. Prognoza wydajności średniego odwiertu udostępniającego poziom D

Figure 3. Forecasted deliverability of an average well accessing level D

Tabela 3. Określenie potrzebnej liczby odwiertów do eksploatacji PMG poziom D

Table 3. Determination of the required number of wells for the exploitation of UGS in level D

V_a	T_{czas}	$q_{odwśr}$	Liczba odwiertów obliczona	Liczba odwiertów PMG
[mln m³]	[dni]	[mln m³/d]	[–]	[–]
140	120	0.199	5,87	6
140	110	0.199	6,40	7
140	100	0.199	7,04	8

wydajności odwiertu średniego. Analizując rysunek 3, można zauważyć, że prognozowana średnia wydajność odwiertu magazynowego wyniesie $q_{odw} = 138 \text{ m}^3/\text{min}$. Uzyskane w ten sposób dane posłużyły do obliczenia liczby odwiertów

niezbędnych do eksploatacji PMG poziom D. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 3.

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że do eksploatacji magazynu wytworzonego w tym poziomie potrzebnych będzie od 6 do 8 odwiertów eksploatacyjnych, w zależności od oczekiwanego czasu szczytowania (T_{czas}) pojemności czynnej PMG. Jeśli czas szczytowania pojemności czynnej wyniesie 120 dni, to do eksploatacji PMG potrzebnych będzie 6 odwiertów. Skrócenie czasu odbioru pojemności czynnej do 100 dni będzie wymagać 8 odwiertów eksploatacyjnych.

Podsumowanie i wnioski

W Polsce obecnie pracuje siedem podziemnych magazynów gazu wysokometanowego, których sumaryczna pojemność czynna nie stanowi wystarczającego zabezpieczenia krajowych potrzeb. W niniejszym artykule przedstawiono możliwości rozbudowy przykładowego, wirtualnego podziemnego magazynu gazu z wykorzystaniem dodatkowego horyzontu. Z przeprowadzonych obliczeń i analiz można wysnuć następujące wnioski:

- wykonane obliczenia dają podstawę do zaprojektowania pojemności czynnej w poziomie D wynoszącej 140 mln m³;
- zakres ciśnień pracy magazynu dla pojemności czynnej 140 mln m³ przy 140 mln m³ buforu wyniesie 4,4–8,4 MPa;
- do szczytowania zakładanej pojemności czynnej w czasie przepisowych 120 dni potrzebnych będzie 6 odwiertów o średniej wydajności wynoszącej 138 m³/min. Włączenie do eksploatacji 8 odwiertów pozwoli na skrócenie czasu szczytowania pojemności czynnej do 100 dni.

* Wszystkie dane liczbowe dotyczące magazynu są danymi przykładowymi.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej, praca INiG – PIB; nr zlecenia: 0033/KP/2024, nr archiwalny: DK-4100/0019/2024.

Literatura

- Bruno M.S., Dewolf G., Foh S., 2000. Geomechanical analysis and decision analysis for delta pressure operations in gas storage reservoirs. *American Gas Association Operations Conference, Denver, CO, May 7–9, 2000*.
- Bruno M.S., Dusseault M.B., Balaa T.T., Barrera J.A., 1998. Geomechanical analysis of pressure limits for gas storage reservoirs. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 35(4): 569–571. DOI: 10.1016/S0148-9062(98)00085-0.
- Filar B., 2018. Analiza możliwości rozbudowy pojemności czynnej podziemnego magazynu gazu w wyniku podnoszenia górnego ciśnienia pracy PMG powyżej pierwotnego ciśnienia złoża gazu. *Nafta-Gaz*, 74(4): 279–283. DOI: 10.18668/NG.2018.04.03.
- Filar B., Kwilosz T., Miziolek M., Moska A., 2022a. Pojemność czynna podziemnych magazynów gazu w Polsce na tle krajów Unii Europejskiej. *Materiały konferencyjne Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Geopetrol 2022, Kraków*, 185–195.

Filar B., Kwilosz T., Miziołek M., Moska A., 2022b. Trzeba zwiększyć pojemność PMG. Rynek Polskiej Ropy i Gazu. *Raport INiG – PIB*, 17: 68–74.

Filar B., Miziołek M., Kwilosz T., 2020. Dostosowanie parametrów pracy PMG do aktualnych potrzeb rynku gazu ziemnego w Polsce. *Nafta-Gaz*, 76(9): 601–609. DOI: 10.18668/NG.2020.09.06.

Sharples J.D., 2016. The importance of gas storage facilities in the European gas and power markets. *International Journal of Environmental Studies*, 73(3): 369–378. DOI: 10.1080/00207233.2016.1165482.



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



Mgr inż. Bogdan FILAR
Starszy specjalista badawczo-techniczny; Kierownik Zakładu Podziemnego Magazynowania Gazu
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: bogdan.filar@inig.pl



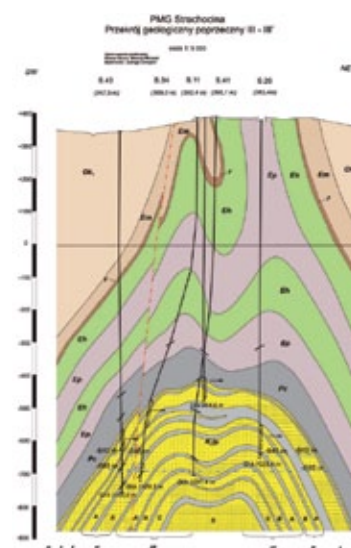
Mgr Mariusz MIZIOŁEK
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Podziemnego Magazynowania Gazu
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: mariusz.mizolek@inig.pl



Dr Tadeusz KWIŁOSZ
Adiunkt w Zakładzie Podziemnego Magazynowania Gazu
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: tadeusz.kwilosz@inig.pl

OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU PODZIEMNEGO MAGAZYNOWANIA GAZU

- analiza struktur geologicznych złóż gazu ziemnego, ropy naftowej oraz obiektów zawodnionych, 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