

## Nowoczesne technologie wiercenia kierunkowego wykorzystane przy wierceniu intersekcyjnego układu otworów

### Modern technologies of directional drilling used in drilling well doublets in intersection system

Maciej Ćwik, Jacek Adamiak, Michał Kępiński

*Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo SA, Oddział Geologii i Eksploatacji w Warszawie  
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu*

**STRESZCZENIE:** Artykuł dotyczy wykorzystania technologii wiercenia otworów kierunkowych – tzw. intersekcyjnych, które Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo SA wykonało w ramach prac badawczych prowadzonych w latach 2016–2021. Projekt miał na celu wykorzystanie nowoczesnych technologii w próbach rozpoznania złóż niekonwencjonalnych – formacji węglowych o niskiej przepuszczalności i niskim ciśnieniu złożowym, otworami wierconymi z powierzchni na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Przedstawiono zasadę gromadzenia się gazu w węglu (zjawisko adsorpcji opisywane modelem Langmuira) oraz sposób eksploatacji przez odwrócenie tego zjawiska i doprowadzenie do desorpcji przy wykorzystaniu odwadniania górotworu przez pompę zamontowaną w otworze pionowym poniżej intersekcji z otworem poziomym (horyzontalnym). Wyjaśniono celowość wiercenia otworu z odcinkiem horyzontalnym jako sposób zwiększenia strefy drenażu formacji produktywnej. W artykule zwrócono uwagę na zagadnienia związane z mechaniką górotworu, a dokładnie z określeniem kierunków naprężeń jako kluczowego parametru przy ustalaniu trajektorii otworów, które mają podlegać szczelinowaniu hydraulicznemu. Orientacja otworu prostopadle do kierunku maksymalnych naprężeń  $S_{Hmax}$  pozwala osiągać maksymalną wielkość stymulowanej strefy przyodwiertowej podczas zabiegu intensyfikacyjnego. Kluczowym fragmentem artykułu jest opis prac związanych z projektowaniem, a następnie wykonaniem systemu przecinających się (intersekcyjnych) otworów kierunkowych. Pionierskość omawianego projektu polegała zarówno na zastosowaniu technologii namierzania magnetycznego (ang. *active magnetic ranging*), jak i na wierceniu systemu otworów z jednego „placu” w sąsiedztwie dodatkowego otworu (również intersekcyjnego z otworem pionowym). Wykorzystane technologie wiercenia RSS (ang. *rotary steerable system*) pozwoliły na zrealizowanie zaprojektowanych trajektorii otworów i trafienie narzędziem o średnicy 6 cali w rurę z włókna szklanego o średnicy 7 cali na głębokości około 850 metrów. We wnioskach autorzy podkreślają innowacyjność wykonanych prac, zarówno w skali firmy, kraju, jak i światowej. Podają również przykłady zastosowania wykorzystanych technologii. Wart podkreślenia jest fakt, że wykonalność zaprojektowanych prac badawczych została potwierdzona w zastosowaniu przemysłowym.

**Słowa kluczowe:** wiercenia kierunkowe, aktywne namierzanie magnetyczne, złoża niekonwencjonalne, gaz zamknięty, metan z pokładów węgla, Górnośląskie Zagłębie Węglowe.

**ABSTRACT:** The article examines the use of directional and intersection drilling technology applied by Polish Oil and Gas Company (PGNiG) as part of research work carried out between 2016 and 2021. The project was aimed at using advanced technologies in assessment of prospectivity of unconventional reservoirs – coal formations with low permeability and low pore pressure with wells drilled from the surface in the Upper Silesian Coal Basin. Firstly, the mechanism of gas accumulation in coal was described (the adsorption phenomenon defined by the Langmuir model), followed by the method of exploitation by desorption using a pump installed in a vertical well below the intersection with a horizontal section. Finally, the expediency of drilling a well with a horizontal section as a way to increase the drainage zone of a productive formation was explained. The article draws attention to the issues related to the geomechanics, and more precisely to the determination of the stress azimuth as a key parameter in determining the optimal trajectory of the wells to be subjected to hydraulic fracturing. The findings suggest that the orientation of the well perpendicular to the direction of the maximum stresses  $S_{Hmax}$  allows to achieve the maximum stimulated rock volume during the intensification treatment. The key fragment of the paper describes the work related to the design and execution of a system of intersecting directional wells. The pioneering character of the discussed project consisted in both using active magnetic ranging technology and drilling a set of wells from one location. The RSS (rotary steerable system) drilling technology allowed for the execution of the designed well trajectories and for hitting a 7-inch diameter fiberglass pipe at a depth of about 850 meters with a 6-inch diameter tool. The conclusions emphasize the innovativeness of the performed work on the local (company), national and global scale. Examples of the application of the used technologies are also provided. It is worth highlighting that the feasibility of the designed research work has been confirmed in industrial application.

**Key words:** directional drilling, active magnetic ranging, unconventional resources, tight gas, Coalbed Methane (CBM), Upper Silesian Coal Basin.

Autor do korespondencji: M. Ćwik, e-mail: [maciej.cwik@pgnig.pl](mailto:maciej.cwik@pgnig.pl)

Artykuł nadesłano do Redakcji: 08.06.2021 r. Zatwierdzono do druku: 20.08.2021 r.

## Wstęp

W latach 2016–2021 Oddział Geologii i Eksploatacji PGNiG SA prowadził prace badawcze polegające na wykorzystaniu nowoczesnych technologii w poszukiwaniu złóż niekonwencjonalnych. W tym przypadku badania wykonywano w formacjach klastycznych oraz węglowych o niskiej przepuszczalności, porowatości oraz o niskim ciśnieniu złożowym. Obszar badań znajdował się w środkowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

We wcześniejszych latach omawiany obszar był już obiektem zainteresowania firm poszukujących metanu ze złóż, natomiast wyniki prac nie pozwalały na ekonomicznie uzasadnioną dalszą ich kontynuację.

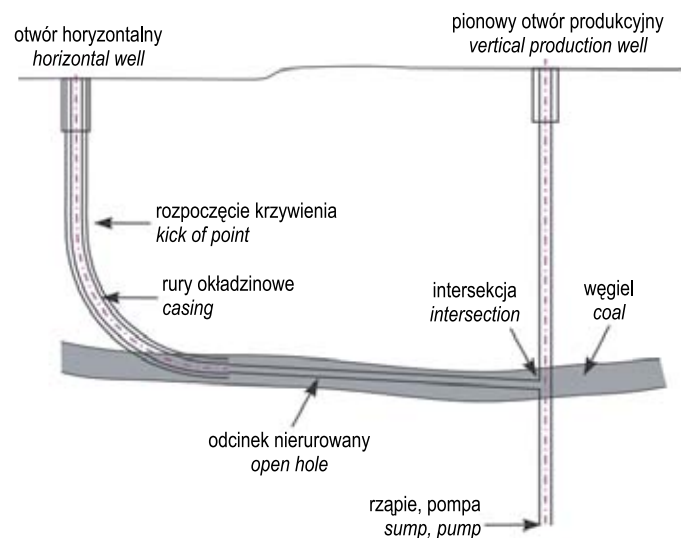
W roku 2016 PGNiG SA wróciło do pomysłu pozyskania metanu z pokładów węgla, wykorzystując wykonane otwory – po ich rekonstrukcji i intensyfikacji przeprowadziło testy złożowe. Wyniki tych testów były na tyle obiecujące, że w kolejnych latach kontynuowano prace, wdrażając innowacyjne rozwiązania w zakresie koncepcji, jak i technologii (Ćwik i Stopyra, 2019).

### Podstawowe informacje o poszukiwaniu i eksploatacji złóż niekonwencjonalnych

Podstawową różnicą pomiędzy złożami konwencjonalnymi a niekonwencjonalnymi jest podział tych pierwszych na skałę macierzystą (tj. miejsce generacji węglowodorów; z m.in. wysoką zawartością substancji organicznej) oraz skałę zbiornikową (skała o dobrych parametrach petrofizycznych, m.in. porowatości, przepuszczalności), w obrębie której możliwa jest migracja oraz zatrzymanie węglowodorów pochodzących ze skały macierzystej. W przypadku złóż niekonwencjonalnych nie występuje podział na skałę macierzystą oraz zbiornikową – ten sam ośrodek skalny pełni obie funkcje. Wynika to m.in. z niskich przepuszczalności oraz porowatości skał, co uniemożliwia migrację węglowodorów (Machowska, 2012). W przypadku prowadzonego projektu badawczego analizowane były dwa typy złóż niekonwencjonalnych: *tight gas* (gaz zamknięty) oraz CBM (ang. *coalbed methane* – metan z pokładów węgla).

W przypadku złóż typu *tight gas* metodą, która pozwala „wytworzyć” odpowiednie parametry petrofizyczne, jest zabieg szczelinowania hydraulicznego. Zasadniczo polega on na wpompowaniu do interesującej formacji płynu pod ogromnym ciśnieniem, który będzie w stanie wytworzyć spękania w skałe. Płyn ten musi zawierać również materiał, który pozostanie w wytworzonych szczelinach i zapobiegnie ich zamknięciu, kiedy płyn szczelinujący zostanie odpompowany (a jest to konieczne, aby rozpocząć eksploatację gazu ziemnego). Jeżeli

w ramach rozpatrywanej sekwencji istnieją również formacje węglonośne, to sytuacja jest nieco inna. Istotny z punktu widzenia m.in. wydobycia metanu z pokładów węgla jest sposób jego „magazynowania” w skałe. Największe znaczenie ma gaz zaadsorbowany w mikroporach. Ponadto może być on również obecny w matrycy węglowej, w postaci wolnego gazu w szczelinach oraz jako gaz rozpuszczony w wodzie złożowej obecnej w formacji skalnej. Sposób adsorpcji gazu w mikroporach opisuje model Langmuira. Jego generalne założenie polega na tym, że pod odpowiednim ciśnieniem cząsteczki gazu są magazynowane w mikroporach węgla (Gonet et al., 2010). Jest to ciśnienie znacznie niższe niż wynikające z ciśnienia hydrostatycznego. Aby rozpocząć proces eksploatacji, należy doprowadzić do desorpcji – czyli uwalniania gazu z mikroporów węgla. W przemyśle stosuje się odwadnianie pokładów węgla przy użyciu pomp wykorzystywanych m.in. w eksploatacji klasycznych złóż ropy. Klasyczne podejście wiertnicze polega na odwierceniu otworu pionowego przecinającego warstwę produktywnego węgla (a więc wysokometanowego) wraz z „kieszenią” (zwaną rząpiem) poniżej warstwy węglowej, która jest wykorzystywana jako miejsce, do którego zapuszcza się pompę węglaną służącą do odpompowania wody. Obniżając lustro wody, w pewnym momencie przekroczone zostaje krytyczne ciśnienie sorpcji i gaz zaczyna wydostawać się z węgla. Otwór kierunkowy – horyzontalny, przecinający otwór pionowy (rys. 1) (Hadro i Wójcik, 2013), ma za zadanie zwiększyć strefę drenażu i zasilać eksploatacyjny otwór pionowy metanem.



**Rys. 1.** Intersekcyjny układ otworów wykorzystywany do produkcji gazu (Hadro i Wójcik, 2013)

**Fig. 1.** Configuration of intersecting directional wells used for gas production (Hadro and Wójcik, 2013)

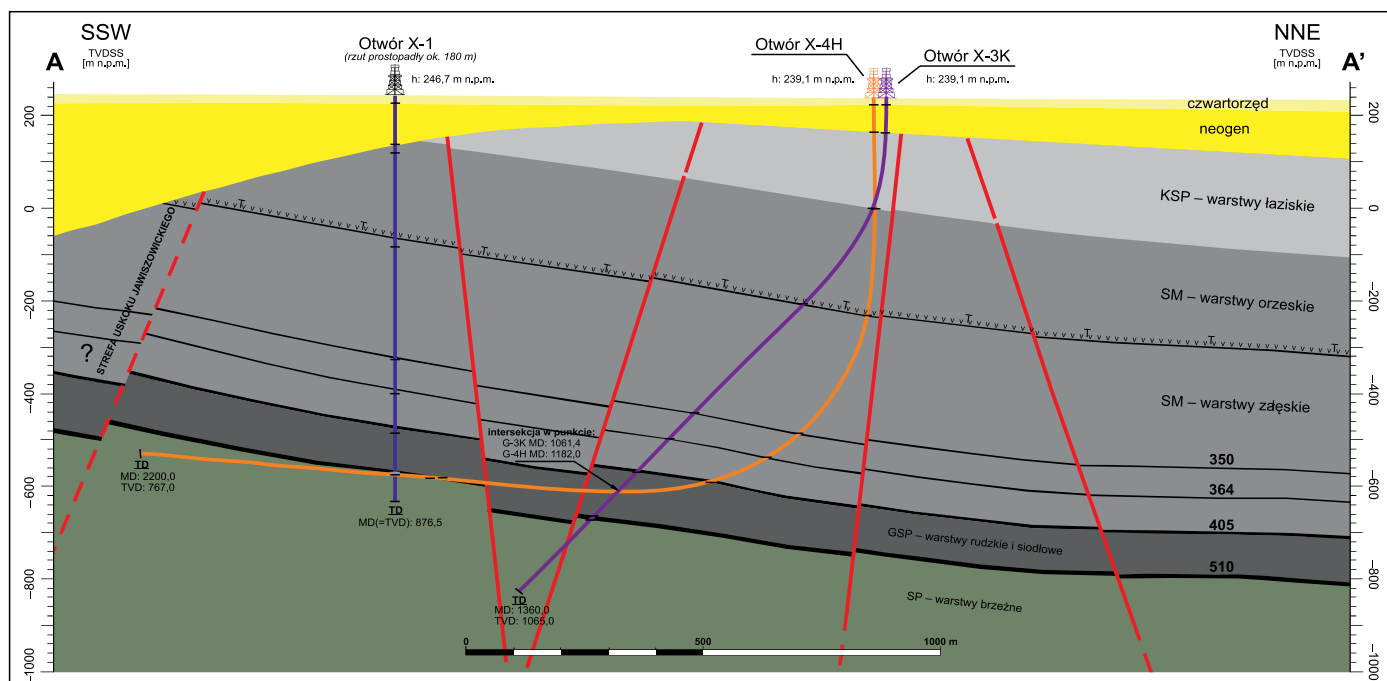
### Realizacja prac przez PGNiG SA

W celu zweryfikowania potencjału produkcyjnego po przeprowadzonej rekonstrukcji otworów X-1 i X-2H (m.in.

zarurowanie i zacementowanie otworu horyzontalnego) wykonano zabieg intensyfikacyjny – szczelinowanie hydrauliczne w dużej skali, co doprowadziło do 60-krotnego wzrostu wydajności wydobywania gazu w stosunku do wydajności pierwotnej. Zabieg intensyfikacji został zaprojektowany i wykonany na bazie doświadczeń zdobytych przy pracach związanych z poszukiwaniami gazu ziemnego (metanu) z formacji łupkowych.

Następnym etapem było zaprojektowanie kolejnego intersekcyjnego układu otworów. Dodatkowe wyzwanie stanowiło odwiercenie obu otworów z jednej lokalizacji. Na rysunku 2 przedstawiono tę sytuację w odniesieniu do skonstruowanego przekroju geologicznego.

Takie podejście pozwala na udostępnienie większego wolumenu skał do przyszłej eksploatacji węglowodorów. Stąd też na etapie projektowania otworów kluczowym elementem było wyznaczenie kierunków naprężeń. W tym celu niezbędna jest interpretacja struktur zniszczeniowych typu breakouts (wyznacznik kierunku  $S_{hmin}$ ) czy indukowanych spękań tensyjnych (wyznacznik kierunku  $S_{Hmax}$ ), będących efektem interakcji ścian otworu wiertniczego z aktualnym polem naprężeń (Bell i Gough, 1979). Doskonałym narzędziem wyznaczania kierunku  $S_{Hmax}$  jest monitoring mikrosejsmiczny w trakcie zabiegów szczelinowania pozwalający na śledzenie propagacji szczelin.



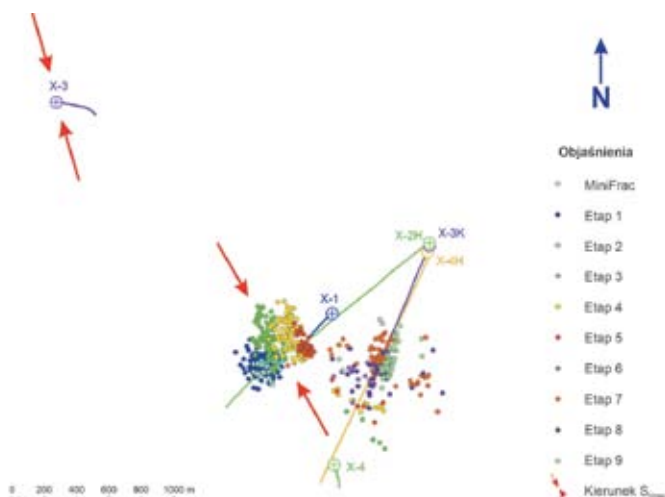
Rys. 2. Schemat układu otworów intersekcyjnych na tle przekroju geologicznego (Matuszewska et al., 2017)

Fig. 2. System of intersecting directional wells on geological cross-section background (Matuszewska et al., 2017)

### Mechanika górotworu w wierceniach kierunkowych

Modelowanie geomechaniczne stało się podstawowym elementem procesu eksploracji węglowodorów, wspierającym projektowanie zabiegów szczelinowania hydraulicznego i redukcję zagrożeń związanych z niestabilnością otworów. Rozpoznanie parametrów mechanicznych ośrodka umożliwia jego późniejsze optymalne zagospodarowanie, a także budowę wiarygodnych modeli statycznych i dynamicznych w przypadku złóż o złożonej budowie strukturalnej. W związku z tym doskonalenie metod przewidywania stanu naprężeń w odwiertach należy do priorytetów branży naftowej (Kępiński, 2020). Trajektorie otworów horyzontalnych z założonymi zabiegami szczelinowania hydraulicznego projektuje się zgodnie z kierunkiem najmniejszego naprężenia poziomego  $S_{hmin}$  celem zainicjowania i propagacji szczelin hydraulicznych prostopadle do otworu (Zoback, 2007).

Na podstawie interpretacji profilowania akustycznego wykonanego w otworze X-2H stwierdzono, że kierunek  $S_{Hmax}$  w obrębie analizowanego obszaru wynosi około  $144^\circ$ . Obserwacja ta była potwierdzeniem kierunków naprężeń wynikających z interpretacji pomiarów sondy XRMI z otworu X-1. W obrazie mikroskanera elektrycznego wykonanego w otworze X-3 zaobserwowano niewielkie fragmenty pionowych szczelin indukowanych o biegu zbliżonym do N–S (NNW–SSE). W trakcie zabiegu szczelinowania hydraulicznego w odwiertach X-2H oraz X-4H został przeprowadzony monitoring mikrosejsmiczny w czasie rzeczywistym. Zarejestrowane zdarzenia wskazują na rozchodzenia się szczelin hydraulicznych w kierunku około  $150^\circ$  od X-2H i około  $110\text{--}135^\circ$  od X-4H (rys. 3). Wyznaczony azymut  $S_{Hmax}$  nie odbiega od danych literaturowych (Jarosiński, 2005, 2006; Heidbach et al., 2008). Różnice w wyznaczonych kierunkach mogą być efektem rotacji pola naprężeń w sąsiedztwie istniejących uskóków.



**Rys. 3.** Mapa przedstawiająca zarejestrowane zdarzenia mikrosejsmiczne w trakcie zabiegu szczelinowania hydraulicznego (z podziałem na etapy) w otworach X-2H i X-4H wraz z naniesionym kierunkiem największego naprężenia poziomego ( $S_{Hmax}$ )

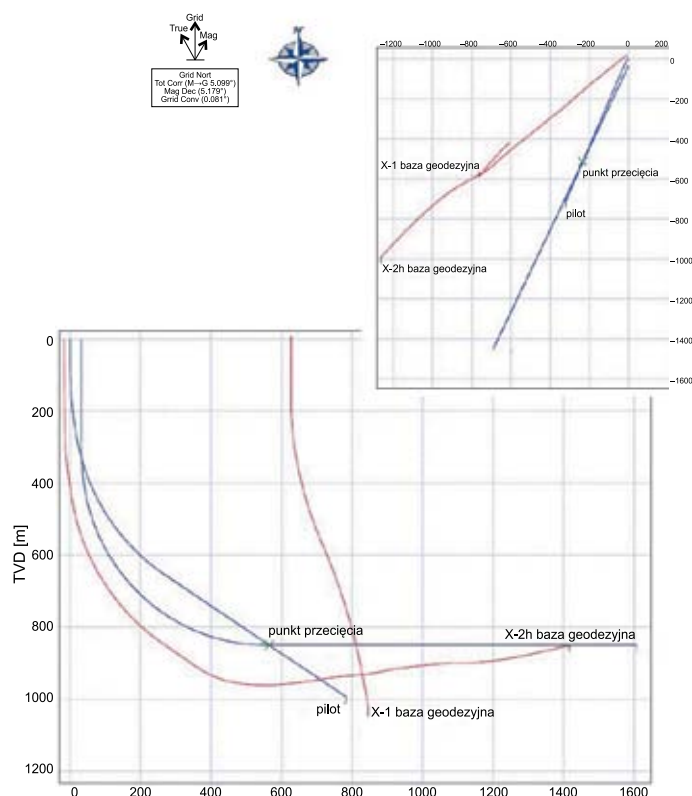
**Fig. 3.** Map showing recorded microseismic events during the hydraulic fracturing (divided into stages) in the X-2H and X-4H wells with the direction of the maximum horizontal stress ( $S_{Hmax}$ )

### Sposób realizacji prac

Głównym wyzwaniem wiertniczym podczas realizacji otworów X-3K i X-4H było wykonanie intersekcji (została opisana w kolejnym akapicie). Istotne było również zapewnienie bezpieczeństwa prowadzonych prac poprzez m.in. uniknięcie kolizji z istniejącymi otworami, co wynikało z faktu, że system ten realizowano z jednego padu, w tym również istniejący otwór X-2H przecinający intersekcyjnie otwór X-1, wiercono z tego samego miejsca, w odległości powierzchniowej 18 m od otworu X-3K. Układ otworów w rzucie pionowym i poziomym przedstawia rysunek 4.

W związku z tym w pionowym odcinku otworu X-2H, a po odwierceniu – również w otworze X-3K, wykonano pomiary krzywizny i azymutu żyroskopem, aby określić bardzo dokładną lokalizację otworu. Pozwoliło to spłaszczyć elipsę niepewności i przystąpić do wiercenia kierunkowego z minimalnym ryzykiem kolizji z istniejącymi otworami. Utrzymanie zaprojektowanej trajektorii otworu było możliwe dzięki zastosowaniu do wiercenia zaawansowanego technologicznie systemu RSS (ang. *rotary steerable system*), który w połączeniu z systemem pomiaru inklinacji i azymutu precyzyjnie realizował założenia projektowe.

Dzięki pomiarom i analizie wstrząsów i wibracji oraz odpowiednim reakcjom inżynierów nadzorujących proces wiercenia osiągnięto założone cele, m.in. odwiercono odcinek poziomy o długości 1200 metrów i średnicy 6", w tym przypadku RSS był wspomagany systemem PowerDrive Vortex.



**Rys. 4.** Przekrój pionowy i rzut poziomy otworów od lewej: X-2H (czerwony kolor), X-3K i X-4H (kolor niebieski) oraz X-1 (kolor czerwony) (Bader, 2018)

**Fig. 4.** Vertical section and horizontal projection of the wells from the left: X-2H (red), X-3K and X-4H (blue) and X-1 (red) (Bader, 2018)

### Technologia active magnetic ranging

Ze względu na to, że typowe pomiary MWD (ang. *measurement-while-drilling*) i żyroskopowe nie są w stanie zapewnić koniecznej dokładności do zagwarantowania precyzyjnego osiągnięcia wymaganej pozycji podpowierzchniowej narzędzia wierzącego, pomocna jest zaawansowana technologia *active magnetic ranging* (AMR), która zapewnia niezależną weryfikację pozycji wierconego otworu. Dzięki temu można osiągnąć cel, unikając ewentualnych sidetracków i wydłużonego wiercenia.

Technologia *magnetic ranging* określa odległość i „położenie” wierconego otworu w stosunku do założonego celu – którym może być odwiert odniesienia, jak również wyznaczone miejsce w odwiercie docelowym. Określenie odległości i względnego położenia odbywa się na podstawie wskaźnika magnetycznego umieszczonego w otworze referencyjnym. Jest kilka rodzajów metod wskazania i pomiarów, które wykorzystuje się do osiągnięcia założonego celu. Najpopularniejszym sposobem jest precyzyjne pozycjonowanie źródła elektromagnetycznego w docelowym odwiercie, tzw. *active ranging*, inna popularna metoda polega na pomiarze aktualnego stanu

namagnesowania rur okładzinowych w otworze docelowym. Metoda ta nazywana jest metodą magnetostatyczną.

### Realizacja przecięcia otworów (intersekcji) w systemie otworów X-3K i X-4H

Po osiągnięciu głębokości końcowej (TD) w otworze X-3K wykonany został dodatkowy pomiar trajektorii żyroskopem. Dzięki temu uzyskano znacznie dokładniejsze dane dotyczące trajektorii w stosunku do standardowych pomiarów inklinometrem geofizycznym lub systemem MWD. Następnie zapuszczono eksploatacyjną kolumnę rur okładzinowych 7", w której w obrębie przyszłej intersekcji umiejscowiono rurę z włókna szklanego (ang. *fiberglass*). Było to niezbędne w celu wyeliminowania zakłóceń czujników systemu *active magnetic ranging* zapuszczanych na kablu geofizycznym i umieszczonych w obrębie rury z włókna szklanego, odbierających i wykrywających sygnał magnetyczny generowany przez narzędzie wiertnicze (ang. *rotating magnet sub*) zlokalizowane w zestawie wiercącym otwór X-4H.

Wierząc otwór X-4H, w miarę zbliżania się do otworu X-3K (około 60 m od celu) zwiększano liczbę pomiarów kontrolnych (od początkowych 3 do 0,5 m pod koniec). W momencie gdy potwierdzono właściwą trajektorię otworu X-4K i uzyskano pewność „przebiecia” otworu X-3K we właściwej pozycji, sonda magnetyczna została wyciągnięta, a świder zestawu wiertniczego realizującego otwór X-4H trafił w cel na głębokości około 850 m i przewiercił skutecznie intersekcję. Następnie kontynuowano standardowo wiercenie horyzontalnego odcinka otworu, aż do zaplanowanej pozycji końcowej TD.

System pomiaru odległości AMR jest możliwy do zastosowania w tych lokalizacjach, gdzie w referencyjnych otworach możliwe jest umieszczenie sond wolnych od zakłóceń sygnału magnetycznego (*open hole, fiberglass casing*). W przypadku potrzeby istnieje możliwość intersekcji z jednym odwiertem referencyjnym kilku otworów kierunkowych/horyzontalnych. System pomiaru odległości może być obsługiwany w czasie rzeczywistym (ang. *real time*) zarówno przez inżynierów będących w danej lokalizacji, jak i zdalnie. Nowe współrzędne celu są generowane bezpośrednio po każdym odczycie pozycji, a planowana trajektoria jest ściśle koordynowana z serwisem kierunkowym.

Detektory AMR są dostępne dla typowych średnic otworów stosowanych w przemyśle naftowym i bezproblemowo integrują się z prawie każdą konfiguracją zestawu wiertniczego. Mogą być wykrywane z odległości do 100 m, dając inżynierom prowadzącym wiercenie odpowiedni czas na wprowadzenie korekt trajektorii bez kosztownych sidetracków lub dodatkowych marszów w celu zmiany konfiguracji zestawu kierunkowego.

### Wnioski

Wykonane przez PGNiG SA prace miały nowatorski charakter. Intersekcyjny układ otworów z wykorzystaniem technologii namierzania celu pod powierzchnią terenu (*active magnetic ranging*) został wykonany po raz pierwszy w historii firmy. Należy podkreślić, że wiercenie połączonego intersekcyjnie systemu dwóch otworów z jednego placu, połączone z zabiegami szczelinowania hydraulicznego, było rozwiązaniem pionierskim prawdopodobnie w skali światowej. Autorom nie są znane inne projekty na świecie, w ramach których wykonywano by tego typu operacje. Zdobyte doświadczenie oraz potwierdzenie możliwości użycia technologii bardzo precyzyjnych wierceń kierunkowych powinny znaleźć swoje zastosowanie w przyszłości. Ze względu na ograniczenia powierzchniowe wiercenie otworów pomimo wykorzystania kosztownych rozwiązań akustycznych może być uciążliwe dla sąsiedztwa. Rosnące koszty pozyskania i utrzymania terenu, budowy dróg i infrastruktury oraz placów wierceń wymuszają na inwestorach szukanie nowych rozwiązań, aby osiągnąć założone cele i aby wykonane prace były ekonomiczne uzasadnione. Nabyte doświadczenie można również wykorzystać w projektach geotermalnych, w ramach których planowane potrzebne są odpompowania ogromnych ilości wody, do których potrzebne są co najmniej dwa otwory. W ramach swoich prac PGNiG prowadziło również odwadnianie formacji, wykorzystując w jednym otworze pompę śrubową, w drugim natomiast pompę żerdziową z użyciem kiwona – dzięki czemu uzyskano duże wydatki odpompowywanej wody. Kolejnym przykładem jest układ „zamknięty”, w którym jeden otwór wykorzystywany jest do zatłaczania wody zimnej, a drugi do odbierania wody ciepłej. W końcu technologię tę można zastosować w górnictwie podziemnym do wiercenia otworów wentylacyjnych z powierzchni, co będzie zapewne korzystniejsze ekonomicznie niż drażnienie szybów wentylacyjnych. Nie można również zapomnieć o możliwości używania wykorzystanych technologii w poszukiwaniu różnego rodzaju złóż niekonwencjonalnych, a szczególnie złóż gazu zamkniętego (ang. *tight gas*), który od lat jest w kraju z powodzeniem eksploatowany. Celem artykułu jest zasygnalizowanie i przedstawienie nowatorskiej technologii i rozwiązań projektowych, które zostały skutecznie wykorzystane w praktyce terenowej, a w przyszłości mogą z powodzeniem być stosowane w wielu aspektach związanych z realizacją otworów wiertniczych nie tylko na potrzeby poszukiwań węglowodorów.

### Literatura

- Bader V., 2018. Projekt Techniczny Wiercenia Otworów Gilowice 3K i Gilowice 4H na potrzeby PGNiG. *Schlumberger, Archiwum PGNiG SA, Warszawa*.
- Bell J.S., Gough D.I., 1979. Northeast-southwest compressive stress in Alberta evidence from oil wells. *Earth and Planetary Science Letters*, 45(2): 475–482. DOI: 10.1016/0012-821X(79)90146-8.

- Ćwik M., Stopyra E., 2019. Metan z pokładów węgla w GZW – prace rekonstrukcyjne i intensyfikacyjne w otworach Gilowice-1 i Gilowice-2H. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, 9: 12–16.
- Gonet A., Nagy S., Rybicki C., Siemek J., Stryczek S., Wiśniowski R., 2010. Technologia wydobycia metanu z pokładów węgla CBM. *Górnictwo i Geologia*, 5(3): 5–25.
- Hadro J., Wójcik I., 2013. Metan pokładów z węgla: zasoby i eksploatacja. *Przegląd Geologiczny*, 61(7): 404–410.
- Heidbach O., Tingay M., Barth A., Reinecker J., Kurfeß D., Müller B., 2008. *The World Stress Map, Database Release 2008*. DOI: 10.1594/GFZ.WSM.Rel2008.
- Jarosiński M., 2005. Ongoing tectonic reactivation of the Outer Carpathians and its impact on the foreland: Results of borehole breakout measurements in Poland. *Tectonophysics*, 410: 189–216.
- Jarosiński M., 2006. Recent tectonic stress field investigations in Poland: a state of the art. *Geological Quarterly*, 50(3), 303–321.
- Kępiński M., 2020. Determination of stress state based on well logging data and laboratory measurements – a CBM well in the southeastern part of the Upper Silesian Coal Basin (Poland). *Geology, Geophysics & Environment*, 46(2): 77–92. DOI: 10.7494/geol.2020.46.2.77.
- Machowska H., 2012. Niekonwencjonalny gaz ziemny – gaz z łupków. *Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej „Chemia”*, 109(16): 85–94.
- Matuszewska I., Ryder P., Urbaniec J., 2017. Dodatek nr 1 do projektu robót geologicznych na obszarze koncesji „Miedzyrzecze” nr 2/2017/Ł na poszukiwanie, rozpoznawanie złóż metanu z pokładów węgla oraz wydobywanie metanu z pokładów węgla, bloki koncesyjne 391 i 411 dla wykonania otworów Gilowice-3K i Gilowice-4H (badawcze). *Archiwum PGNiG SA, Warszawa*.
- Zoback M.D., 2007. *Reservoir Geomechanics. Cambridge University Press*.



Mgr inż. Maciej ĆWIK  
p.o. Kierownika Działu Geologii Ruchowej i Koordynacji Prób, PGNiG SA, Oddział Geologii i Eksploatacji  
ul. Kasprzaka 24a, 01-224 Warszawa  
Doktorant, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica  
al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
E-mail: [maciej.cwik@pgnig.pl](mailto:maciej.cwik@pgnig.pl)



Mgr inż. Jacek ADAMIĄK  
Główny specjalista, PGNiG SA, Oddział Geologii i Eksploatacji  
ul. M. Kasprzaka 25a, 01-224 Warszawa  
Doktorant, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica  
al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
E-mail: [jacek.adamiak@pgnig.pl](mailto:jacek.adamiak@pgnig.pl)



Mgr Michał KĘPIŃSKI  
Specjalista Geolog, PGNiG SA, Oddział Geologii i Eksploatacji  
ul. Kasprzaka 25a, 01-224 Warszawa  
Doktorant, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica  
al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
E-mail: [michal.kepinski@pgnig.pl](mailto:michal.kepinski@pgnig.pl)