

Mariusz Miziołek

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Wiercenia otworów typu *slim hole* na świecie i możliwości zastosowania ich na obszarze zapadliska przedkarpackiego i Karpat

Część I. Idea wierceń *slim hole*, rodzaje i przykłady zastosowań

W pierwszej części artykułu omówiono ideę wierceń typu *slim hole*. Przedstawiono zakres zastosowania tej technologii w poszukiwaniach i eksploatacji złóż gazu ziemnego i ropy naftowej. Zaprezentowano również szereg przykładów wykorzystania tej metody wierceń w wielu częściach świata. W drugiej części artykułu zostaną przedstawione możliwości zastosowania wierceń typu *slim hole* na obszarze zapadliska przedkarpackiego oraz Karpat, przy uwzględnieniu lokalnych warunków geologiczno-złożowych.

Słowa kluczowe: wiercenia małosrednicowe, *coiled tubing*, CT, złoża niekonwencjonalne.

Drilling “slim hole” in the world and the possibility for their application in the area of the Carpathian Foredeep and Carpathian Mountains

Part I. The idea of drilling “slim hole”, types and examples of applications

The first part of this article presents the idea of drilling “slim hole” wells. The article discusses the scope of application of the “slim hole” technology in exploration and production of natural gas and crude oil. It also presents a number of application examples of this technology in many parts of the world. The second part of this paper will present the possibility of application of “slim hole” technology in the area of the Carpathian Foredeep and the Carpathian Mountains, taking into account the local geological conditions.

Key words: slim hole drilling, coiled tubing, CT, unconventional field.

Wstęp

W ostatnich latach, a szczególnie w latach 90. XX wieku oraz w pierwszym dziesięcioleciu XXI wieku, na świecie zaznaczył się wyraźny trend rozwoju nowych technik wiertniczych, określanych wspólną nazwą *slim hole*, czyli „odwiert małosrednicowy”. Ich celem jest obniżenie kosztów wiercenia otworu poszukiwawczego, rozpoznawczego i przede wszystkim eksploatacyjnego. Tendencja ta wiąże się z faktem, że poszukiwanie, odkrywanie i rozpoznawanie nowych złóż staje się coraz trudniejsze i mniej efektywne,

i z tego względu poszukuje się tańszych technik wiertniczych. Z kolei do eksploatacji włącza się złoża o coraz gorszych parametrach, mniejszej wydajności, dlatego także w tym zakresie konieczne są tańsze odwierty. Istotnym czynnikiem tego procesu jest również fakt, że na świecie coraz więcej złóż osiąga późne stadium eksploatacji, na którym nie opłaca się wiercić drogiego otworu w technologii konwencjonalnej, czyli z dużej platformy, z dużego urządzenia, o dużej średnicy, gdyż przy pozostałych w złożu zasobach wystarczy odwiert

o mniejszej średnicy, wiercony z mniejszego urządzenia i najlepiej z ośrodka grupowego.

Możliwości obniżenia kosztów wierceń poszukuje się na różne sposoby, z których najważniejsze to: wykorzystanie mniejszych średnic rur, powszechne stosowanie w konstrukcji otworów rurowania na tzw. zakładkę, czyli rur traconych, wiercenie mniejszymi urządzeniami wiertniczymi lub z zastosowaniem *coiled tubing* (CT), używanie mniejszych urządzeń wiertniczych zapożyczonych z górnictwa skalnego czy też wykorzystanie mieszanych i hybrydowych metod wierceń.

Ważnym elementem obniżki kosztów wiercenia jest również nowe podejście do projektowania otworów. Polega ono na tym, że z otworu głównego wierci się wiele odgałęzień (nawet do kilkunastu) lub z jednej platformy wiertniczej wykonuje się szereg otworów pionowych, kierunkowych i poziomych, co zdecydowanie obniża koszty wierceń. Istotne znaczenie na złożach eksploatowanych odgrywają też stare odwierty, z których wykonuje się zacięcia i wierci z nich nowe otwory kierunkowe i poziome, wykorzystując do tego głównie urządzenia CT.

Większość powyższych działań podejmowana była dotychczas głównie w USA i Kanadzie, aczkolwiek są również

przykłady zastosowań w Europie, Azji oraz Ameryce Południowej. Jak się wydaje, były one też częścią procesu, który doprowadził do sukcesu odkrycia i eksploatacji gazu ziemnego w pokładach łupków. Dzięki wprowadzeniu technologii wiercenia *slim hole* uzyskano spadek kosztów wiercenia otworu od 30% do 60%. Obniżka ta powoduje, że to, co było do tej pory nieopłacalne ekonomicznie, przy zmniejszonych kosztach zaczyna się opłacać.

W Polsce technologia *slim hole* nie była do tej pory świadomie promowana i wprowadzana do przemysłu, aczkolwiek wykorzystywano pewne jej elementy, głównie w konstrukcji otworów (np. mniejsza liczba kolumn rur i ich obniżone średnice na części otworów wierconych do horyzontów: I, II, IIa złoża Przemysł). Konieczność wiercenia nowych odwiertów na starych złożach w celu intensyfikacji wydobycia oraz poszukiwania i eksploatacja gazu niekonwencjonalnego na obszarze zapadliska przedkarpacciego i poza nim stanowią dobry powód, aby na dużą skalę wprowadzić technologię *slim hole* do poszukiwań, rozwiercania, eksploatacji i rekonstrukcji. Spowoduje to znaczącą obniżkę kosztów i pomoże otworzyć wiele nowych perspektyw dla branży naftowej w Polsce.

Idea wierceń *slim hole*, czyli małośrednicowych

Slim hole w dosłownym tłumaczeniu znaczy szczupły, smukły otwór, czyli mówiąc w nomenklaturze wiertniczej – otwór małośrednicowy. Przez ten termin należy rozumieć, że odwiert wierci się świdrami o mniejszej średnicy i zarurowany jest rurami o mniejszym przekroju aniżeli stosowane dotychczas w konwencjonalnym rozumieniu. *Slim hole* nie oznacza jedynie średnicy otworu, ale także wieloraki zespół działań i technik wiertniczych oraz projektowanie nowych konstrukcji otworów wykonywanych tymi technikami.

Do ważniejszych czynników mających wpływ na rozwój wierceń małośrednicowych można zaliczyć:

- obniżenie kosztów wiercenia rzędu 30÷60% – poprzez zmniejszenie średnicy otworu i rur, ilości cementu, płuczek, mniejsze załogi, mniejsze urządzenia, mniejsze działki, szybsze tempo realizacji, niższe koszty transportu itp.,
- rozwój narzędzi wiertniczych dla otworów małośrednicowych, np. silników wgłębnych o średnicy 2½" i większych, świdrów diamentowych,
- adaptację techniki wiertniczej górnictwa skalnego do wiertnictwa naftowego, co pozwoliło na zastosowanie jej do prowadzenia wierceń, w tym szczególnie poszukiwawczych,
- konieczność rozwiercania starych złóż dla przyspieszenia ich eksploatacji, eksploatacji złóż o gorszych

parametrach, w tym również złóż gazu w seriach łupkowych – wszystkie te złoża charakteryzują się niską wydajnością, przy której wystarczające są odwierty o niższych średnicach,

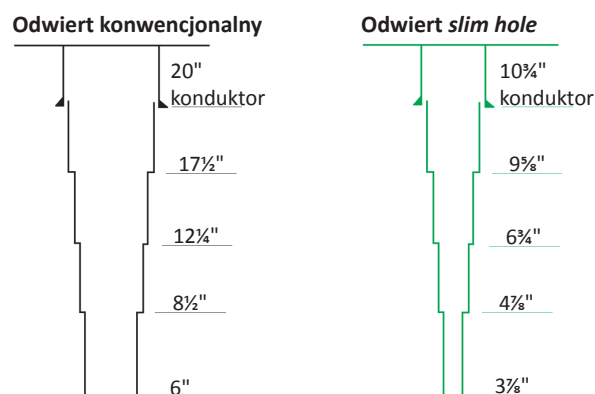
- wykorzystywanie starych otworów na złożach do wiercenia z nich kilku, kilkunastu odgałęzień horyzontalnych lub kierunkowych, małośrednicowych, w różne części złoża,
- rozwój narzędzi pomiarowych małośrednicowych umożliwiających wykonanie zestawu pomiarów geofizycznych oraz produkcyjnych,
- możliwość wykonania wiercenia w obszarach zurbanizowanych o gęstej zabudowie, dzięki temu, że działki do wierceń małośrednicowych mogą być mniejsze, a sprzęt używany do nich posiada mniejsze rozmiary.

Najistotniejszą ideą przyświecającą rozwojowi techniki *slim hole* jest obniżenie kosztów wierceń i dostosowanie ich do indywidualnych warunków geologiczno-złożowych i lokalizacyjnych konkretnego obszaru i złoża. Należy więc każdy obszar, czy już konkretne złożo, rozpatrywać indywidualnie i w miejscach, gdzie nie ma potrzeby wiercenia otworu wielko- czy normalnośrednicowego należy rozważyć możliwość wykonania otworu małośrednicowego oraz dokonać wyboru techniki wiercenia.

Na rysunku 1 przedstawiono niektóre z założeń techniki *slim hole* i uzyskane efekty.

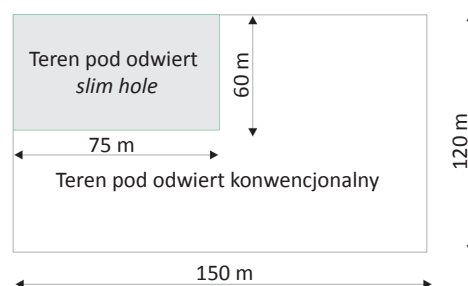
Osiągnięte korzyści z zastosowania wiercenia *slim hole* przedstawiono na rysunku 1 to:

- redukcja średnicy otworu o 50%,
- redukcja ilości płuczki o 75%,
- redukcja ilości zwiercin o 75%,
- redukcja zajętego terenu o 75%,
- całkowity koszt wiercenia mniejszy o 40÷60%.



Złoże: śr. głęb. ok. 3000 m

Rys. 1. Porównanie średnic i wielkości obszaru wiercenia w przypadku otworu konwencjonalnego i typu *slim hole* (według [17], s. 1–61)



Zakres głębokościowy stosowania wierceń *slim hole*

Wiercenia typu *slim hole* stosowane są zarówno na lądzie, jak i na morzu. Wykorzystywane są do wykonywania otworów różnej głębokości: od płytkich, rzędu kilkuset metrów, do głębokich, 5000÷6000 m.

Przedział głębokościowy dla poszczególnych technik jest zróżnicowany, stosuje się:

- wiercenia płytkie metodą obrotową o głębokości do kilkuset metrów,
- wiercenia metodą ciągłego rdzeniowania o głębokości od kilkuset do około 6000 m,
- wiercenia małośrednicowe, wiercone metodą obrotową o głębokościach porównywalnych do wierceń konwencjonalnych,
- wiercenia mieszane, wykorzystujące podczas wiercenia różne techniki, np. obrotową i ciągłego rdzeniowania, zakres głębokościowy – do kilku tysięcy metrów,
- wiercenia horyzontalnych/kierunkowych odnóg (wykorzystuje się najczęściej stare otwory pionowe, z których wykonuje się horyzontalne lub kierunkowe odnogi długości do około 1000 m),

- wiercenia przy użyciu CT w zakresie od kilkuset do około 3000 m.

Wiercenia małośrednicowe wykorzystywane są zarówno do celów poszukiwań, jak i eksploatacji. W celach poszukiwawczych najczęściej stosuje się wiercenia małośrednicowe, konwencjonalne oraz na coraz większą skalę wiercenia metodą ciągłego rdzeniowania, które dają maksimum wiedzy geologicznej.

Z kolei na szcerpanych złożach, gdzie ciśnienia są już znacznie obniżone, oraz na złożach o słabych parametrach petrofizycznych (w tym złożach łupkowych) wykorzystuje się otwory wiercone przy zastosowaniu urządzeń CT. Otwory te, horyzontalne lub kierunkowe, wierce się najczęściej poprzez zacięcie starych otworów eksploatacyjnych, ale wykonuje się też otwory nowe.

Technologia wiercenia przy użyciu urządzeń *coiled tubing* stosowana jest również w podziemnych magazynach gazu do wiercenia otworów eksploatacyjnych oraz otworów zatłaczających wodę, z wykorzystaniem do tego istniejących starych otworów, które są pogłębiane.

Aktualne techniki wiercenia typu *slim hole*

Generalnie wydziela się następujące typy wierceń *slim hole*:

- wiercenie płytkie obrotowe,
- wiercenie metodą ciągłego rdzeniowania,
- wiercenie obrotowe małośrednicowe,
- wiercenie mieszane, łączące w jednym otworze różne techniki wierceń,
- wiercenie z zastosowaniem *coiled tubing*,
- wiercenie udarowe.

Wiercenie płytkie obrotowe – to wiercenie obrotowe do głębokości kilkuset metrów z zastosowaniem zmodyfikowanej platformy wiertniczej o udźwigu na haku do około 10÷11 ton. W czasie wiercenia wykorzystuje się konwencjonalne narzędzia wiertnicze, ale o małej średnicy. Pierwotnie stosowano je do rekonstrukcji starych otworów. Otwory były pogłębiane obrotowo, rurowane wewnątrz starych rur nowymi rurami 2 $\frac{3}{8}$ " i 2 $\frac{7}{8}$ ". Otwory służyły do zatłaczania wód [4, 31].

Wiercenie metodą ciągłego rdzeniowania – wiercenie tego typu zostało zapożyczzone z wierzeń górnictwa skalnego, gdzie dla oceny zasobności i występowania złoża konieczne było pobieranie długich odcinków rdzeni [4, 10, 31].

Wiercenie polega generalnie na zastosowaniu świdra rdzeniowego. Rdzeń co jakiś czas jest odbierany i wnoszony do góry. Otwory tego typu wiercone są do głębokości nawet 6000 m. Średnica rdzenia uzależniona jest od średnicy otworu, przyjmuje się, że powinna być od niego mniejsza, co najmniej o $\frac{3}{4}$ " do 1 $\frac{1}{2}$ ". Wiercenie z ciągłym poborem rdzenia może się też odbywać w otworach kierunkowych (kierunek odbierany jest już od powierzchni terenu).

Otwory wykonywane metodą ciągłego rdzeniowania mają wielorakie zastosowanie:

- są wiercone jako otwory poszukiwawcze w nowych rejonach i dostarczają bogatej informacji geologicznej,
- są wykorzystywane jako piloty oraz boczne rdzeniowanie na obszarach złóż, gdzie chce się uzyskać dodatkowe informacje,
- przy pogłębianiu starych otworów dla rozpoznania głębiej zalegających formacji.

Wiercenie obrotowe małosrednicowe – ten typ wiercenia polega na wykonywaniu otworu z użyciem konwencjonalnych urządzeń wiertniczych [17, 28, 31], ale o małych średnicach. Odwiert projektuje się od początku pod kątem zastosowania rur i wyposażenia o małych średnicach, często korzystając z rur traconych w konstrukcji (ang. *liner*). Pozwala to na ograniczenie kosztów otworu.

Platformy wiertnicze używane do wierzeń obrotowych małosrednicowych są zaadaptowanymi urządzeniami wykorzystywanymi dotychczas do wierzeń otworów normalnośrednicowych i są dostosowane do wykonywania wierzeń o mniejszych średnicach. Obok urządzeń adaptowanych są również platformy o nowej konstrukcji, zaprojektowane specjalnie do potrzeb wierzeń obrotowych małosrednicowych.

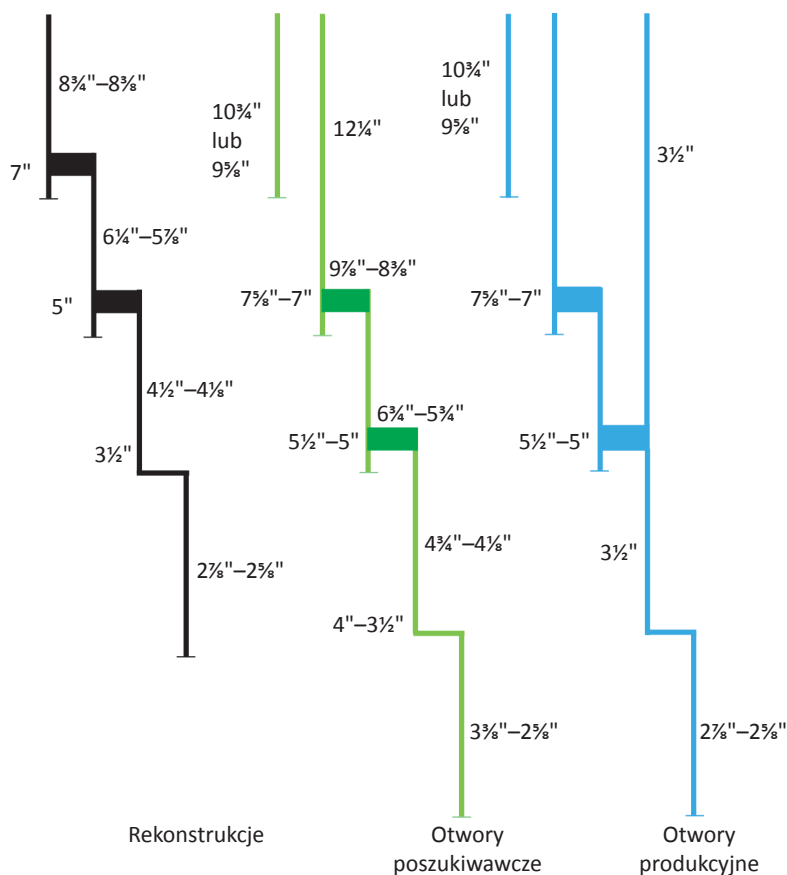
Wiercenia obrotowe małosrednicowe można prowadzić różnymi średnicami świdrow

konwencjonalnych, w tym także świdrami antywibracyjnymi o średnicach 3 $\frac{7}{8}$ " i 4 $\frac{3}{4}$ ". Dostępne są również silniki wgłębne o mniejszych średnicach, aż do 2 $\frac{5}{8}$ ", pracujące w temperaturach powyżej 180°C. Część z nich, powyżej średnicy 3 $\frac{1}{2}$ ", posiada panel sterowania, możliwe jest więc wiercenie otworów kierunkowych i horyzontalnych. W otworach małosrednicowych istnieje możliwość wykonania kompletu pomiarów geofizycznych oraz testów odwiertowych. Narzędzia używane do tych pomiarów posiadają już wystarczająco małą średnicę.

Średnica rur, jako wyznacznik otworu małosrednicowego, jest parametrem dość płynnym, gdyż niekiedy pierwsze kolumny rur będą mogły mieć średnicę 12 $\frac{3}{4}$ ", a innym razem wystarczy 8 $\frac{1}{2}$ ".

Również ostatnia kolumna rur może mieć zróżnicowaną średnicę: od 4 $\frac{1}{2}$ " do 2 $\frac{3}{8}$ ". Przykłady konstrukcji dla odwiertów o różnym przeznaczeniu przedstawiono na rysunku 2 [17].

Wiercenie mieszane – pod tym pojęciem należy rozumieć wiercenie, które realizowane jest dwiema lub więcej metodami, np. górna partia otworu może być wykonana metodą obrotową małosrednicową, dolna partia – metodą ciągłego rdzeniowania, a boczne kierunkowe lub horyzontalne odnogi – przy zastosowaniu urządzenia CT. Wiercenie polega więc generalnie na wierceniu *slim hole* różnymi metodami, dobranymi do poszczególnych odcinków otworu.



Rys. 2. Schematy typowych konstrukcji otworów *slim hole* (według [17], s. 1–61)

Wiercenie z zastosowaniem CT – wiercenie przy pomocy urządzenia CT. Wynaleziono je w latach 40. XX wieku, a w ostatnich latach przeżywa wielki rozwój i jest powszechnie stosowane na całym świecie. Zasadniczo polega na wykorzystaniu elastycznej stalowej rury jednocześnie pełniącej funkcję przewodu wiertniczego, płuczkowego oraz sterującego [4].

Do wiercenia wykorzystuje się rury CT o średnicy 1÷3½", które umożliwiają wykonywanie otworów do średnicy 8½". Używa się silników wglębnych o średnicy 2¾÷4¾".

Stosując urządzenia CT, można wiercić otwory: pionowe, kierunkowe i horyzontalne. Według danych literaturowych głębokości otworów wykonywanych wyłącznie przy użyciu CT są ograniczone długością giętkiego przewodu nawiniętego na szpuli, która dotychczas mogła wynosić:

- około 1370 m przy użyciu rury CT 3½",
- około 1830 m przy użyciu rury CT 2¾".

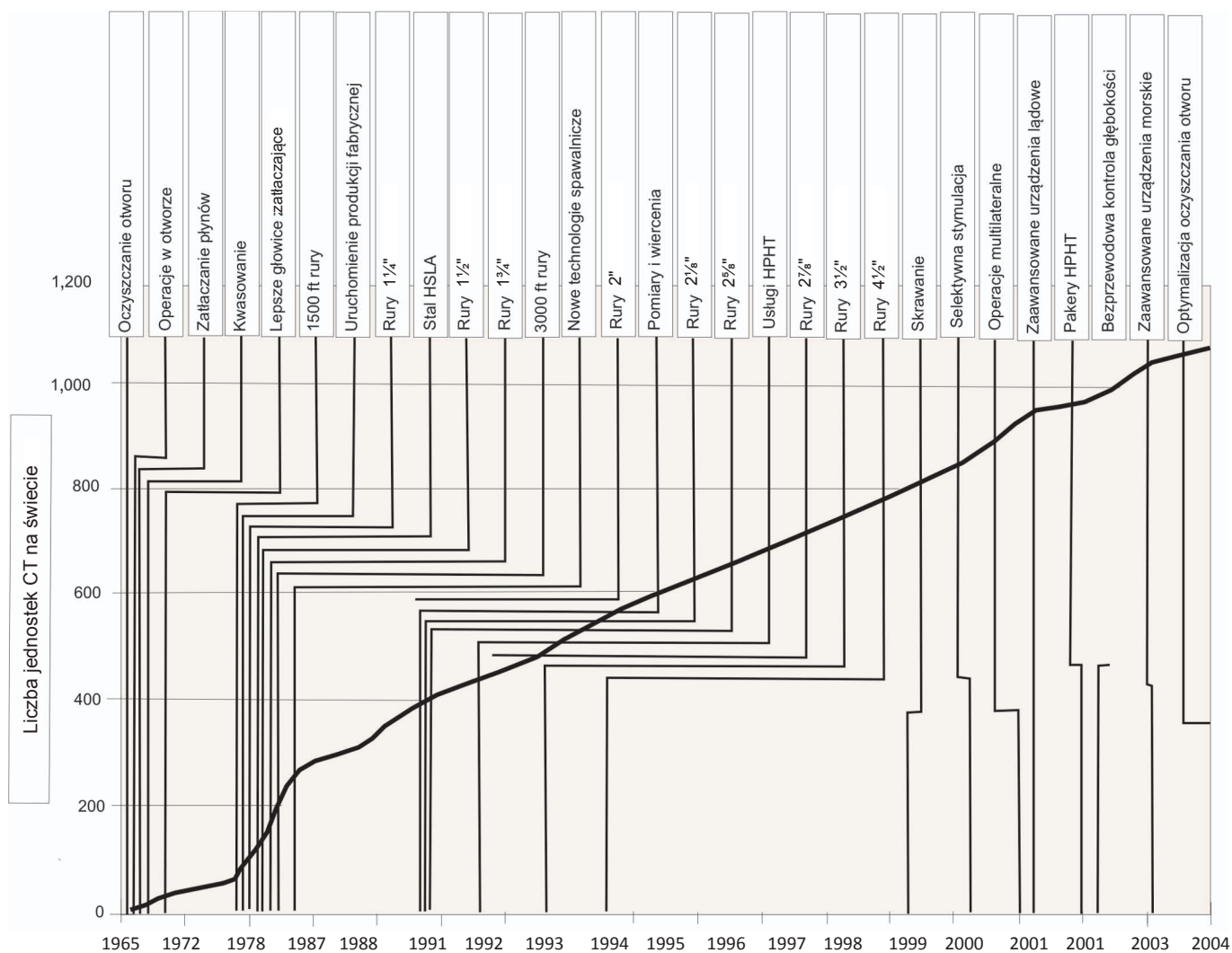
Odcinki horyzontalne wiercone przy użyciu CT miały długość maksymalną około 1000 m. Szybki rozwój techniki powoduje, że podane głębokości wkrótce już będą nieaktualne.

Zalety wiercenia CT to:

- szybka mobilizacja i demobilizacja,
- szybki i tańszy od konwencjonalnego transport,
- mały plac wiertniczy,
- mniejsza załoga,
- szybkie wiercenie,
- utrzymywanie ciągłego obiegu płuczki,
- wiercenie technikami *underbalance* i *abovebalance*,
- bardzo dobra komunikacja w odwiercie z narzędziami wiertniczymi w każdych warunkach.

Coiled tubing stosuje się:

- powszechnie na złożach częściowo szcerpanych do rekonstrukcji starych otworów, z których wierce się nowe odcinki kierunkowe lub horyzontalne,
- w podziemnych magazynach gazu do wiercenia horyzontalnych odcinków otworów eksploatacyjnych, do wykonywania odgałęzień ze starych odwiertów oraz wiercenia otworów multilateralnych, np. w magazynach wielohoryzontowych ([12], s. 993–998),
- do wiercenia otworów technikami *above-* i *underbalance*,



Rys. 3. Ewolucja *coiled tubing* na tle liczby tych urządzeń na świecie (według [4])

- do wiercenia otworów eksploatacyjnych na płytszych strukturach,

- do wiercenia otworów rozgałęzionych czyli wielodennych. Odmianą wierceń CT są wiercenia hybrydowe, polegające na tym, że CT stosuje się w połączeniu z metodą obrotową małośrednicową. Najczęściej górną część otworu wierci się obrotowo, natomiast dolną, eksploatacyjną, przy pomocy CT.

Zaletą tego systemu jest to, że jeśli istnieje potrzeba, wówczas otwór w górnej części wierci się świderem o większej średnicy, aniżeli byłoby to możliwe przy pomocy CT.

Wiercenie udarowe – zasadniczo charakteryzuje się ono tym, że świder przy wykorzystaniu płuczki wiertniczej lub powietrza oprócz obrotu wykonuje udar na skałę. Połączenie skrawania skały z udarem na nią powoduje znaczne przyspieszenie procesu wiercenia. Obecnie dostępne są świdry udarowe wielkości 4÷24".

Wiercenie odbywa się albo przy pomocy powietrza, albo płuczki. Według danych literaturowych postęp wiercenia

jest bardzo duży, np. przy użyciu powietrza wynosi około 60 m/godz., a odwiert o głębokości 3200 m można by odwiercić w 4 dni. Częstotliwość udaru świdra wynosi 1600÷1800 ud./min.

Przykładami urządzeń stosowanych do wierceń udarowych są m.in.:

- Atlas Copco QL 120 DTH – wiercenie z wykorzystaniem powietrza jako płuczki i czynnika udarowego,
- Atlas Copco Secoroc TD60 DTH – wiercenie z wykorzystaniem wody jako płuczki oraz czynnika udarowego.

Wiercenie udarowe powietrzem stosowane było m.in. na złożu Barnett Shale. Otwory wykonywane tą metodą pozwoliły zaoszczędzić do 50% kosztów wiercenia. Prace trwały krócej o 12÷15 dni w stosunku do wiercenia konwencjonalnego, przy czym metodę udarową wykorzystywano do wykonywania odcinków pionowych, w których sprawdza się ona najlepiej. Odcinki horyzontalne wiercono metodą konwencjonalną.

Zalety i wady zastosowania otworów *slim hole*

Zalety:

- obniżenie kosztów wiercenia o 30÷50%,
- mniejszy plac wiertniczy,
- możliwość wiercenia na silnie zurbanizowanych obszarach,
- prostszy, tańszy i mniej uciążliwy transport sprzętu,
- możliwość uzyskania dużej ilości informacji geologicznej na obszarach rozpoznawanych z wykorzystaniem metody ciągłego rdzeniowania,
- możliwość względnie taniego rozwiercania starych złóż, złóż gazu ziemnego w pokładach łupków lub podziemnych magazynów ([11], s. 143–150),
- bezpieczne wiercenie *underbalance*,
- technologie bardziej przyjazne środowisku; mniejsze zużycie rur, płuczek, cementu itp.,
- szybszy proces wiercenia,

- możliwość stosowania wielopoziomowych otworów do eksploatacji kilku horyzontów gazowych,
- mniejsze załogi wiertnicze.

Wady:

- ograniczenie ze względu na średnicę możliwości stosowania części narzędzi pomiarowych z zakresu geofizyki i pomiarów produkcyjnych,
- większe problemy związane z płuczką wiertniczą oraz problemy wibracyjne na przewodzie,
- ze względu na brak obrotów w przypadku zastosowania CT możliwość przechwycenia przewodu,
 - mniejsze wydajności otworów,
 - większe problemy przy cementowaniu,
 - większe prędkości przepływu płuczki, a co za tym idzie – możliwość powstawania większych uszkodzeń otworu, np. tworzenie się kawern.

Przykłady wierceń typu *slim hole*

Jak wspomniano powyżej, wiercenia typu *slim hole* pozwalają oszczędzić średnio 30÷50% (czasami więcej) kosztów w stosunku do otworów konwencjonalnych. Z tego względu takie otwory były wykonywane na świecie już od dość dawna [28]. Na przykład w USA w 1957 r. firma Carter Oil Co. wykorzystując technikę *slim hole* zaoszczędziła do 25% kosztów na 108 otworach wierconych w Utah, Arkansas, Luizjanie, Missisipi, Oklahomie, Illinois i Wyoming.

W 1970 r. kanadyjska kompania Heath and Sherwood Drilling Ltd. odwierciła otwór o głębokości 3535 m i koń-

cowej średnicy 3½" dla firmy Gulf Canada, którego koszty były o ponad połowę niższe niż otworów konwencjonalnych.

W latach 1977–1981 szwedzka grupa Olijprospektering AB wykonała 93 otwory *slim hole* na Gotlandii. Ich końcowe średnice wynosiły 2½", a zaoszczędzono dzięki nim 75% kosztów.

W 1986 r. sześć otworów *slim hole* odwierconych w Anglii na złożu Plungar przez BP pozwoliło oszczędzić 60÷70% kosztów.

Przykładem wiercenia metodą ciągłego rdzeniowania jest wykonanie w Paragwaju na złożu Mallorquin przez

Tablica 1. Porównanie urządzeń wiertniczych konwencjonalnych i *slim hole* dla otworów do 1500 m głębokości

Typ urządzenia wiertniczego	Konwencjonalne	<i>Slim hole</i>
Średnica otworu [cale]	8½	3÷4
Ciężar przewodu wiertniczego [tony]	40	5÷7
Ciężar urządzenia [tony]	65	12
Powierzchnia działki [%]	100	25
Zapotrzebowanie na energię [kW]	350	75÷100
Moc pomp płuczkowych [kW]	300	45÷90
Objętość zbiornika płuczki [m³]	75	5
Objętość otworu [litry/m]	31	3÷6

firmę Texaco Inc. otworu rdzeniowanego długości 3000 m. Otwór ten (rozpoznawczy) został wywiercony urządzeniem PMG 03 przez firmę Longyear Co, a jego końcowa średnica wynosiła 3½".

Typowym urządzeniem małośrednicowym wierzącym w systemie ciągłego rdzeniowania jest MD-5 Britta, które wykonywało otwory dla BP na złożu Plun-gar na Wyspach Brytyjskich oraz około 250 otworów w Turcji, Tunezji i Europie. Otwory wiercono do głębokości 1500 m.

W 1987 r. Amoco Production Co. rozpoczęło program badań stratygraficznych (SHADS), rdzeniując 21 335 m profili, z wykorzystaniem metody ciągłego rdzeniowania. Firmy Amoco i Elf odwierciły 4 otwory badawcze o głębokości 510 m w dnie Zatoki Meksykańskiej w pobliżu Teksasu, z zastosowaniem techniki ciągłego rdzeniowania.

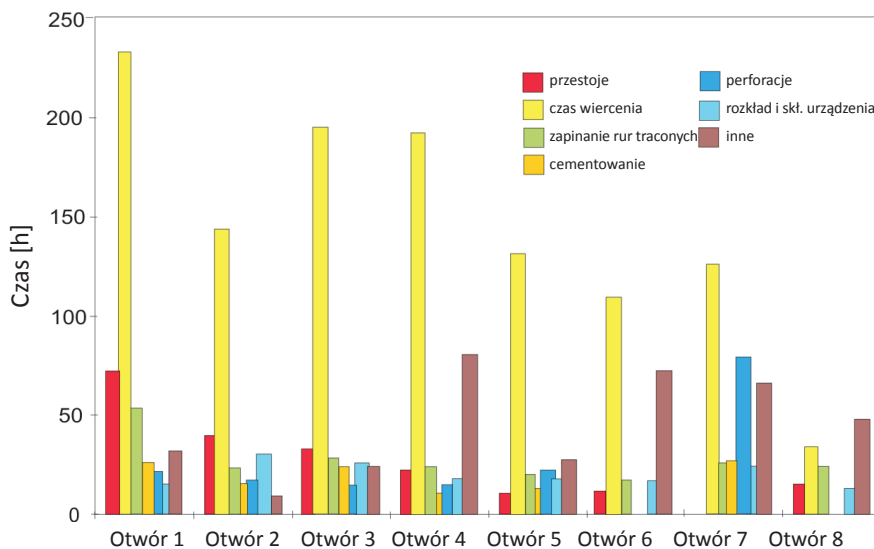
Firma Conoco w latach 1983–1986 wykonała otwory typu *slim hole* w Indonezji, redukując dzięki temu koszty o 65÷73%. W Tajlandii firma naftowa Unocal w 1999 r. rozszerzała swoje złoża otworami typu *slim hole* w Zatoce Tajlandzkiej i oszczędziła w ten sposób do 40% kosztów. Firma Pemex pod koniec lat 90. XX wieku realizowała program *slim hole*, oszczędzając ponad 30% kosztów. Otwory o głębokości od 4127 m do 4936 m miały średnicę 6½", odchylenie 41,3÷51,09° i wiercone były w temperaturze do 204÷222°C.

Dobrym przykładem zastosowania otworów *slim hole* wierconych z zastosowaniem CT jest złożo Prudhoe Bay położone w North Slope na Alasce [4, 14]. Jest to złożo ropne, na którym w 1998 r. istniało 1338 otworów: 1128 produkcyjnych i 210 do zatłaczania wody. Z tej liczby 1062 to otwory

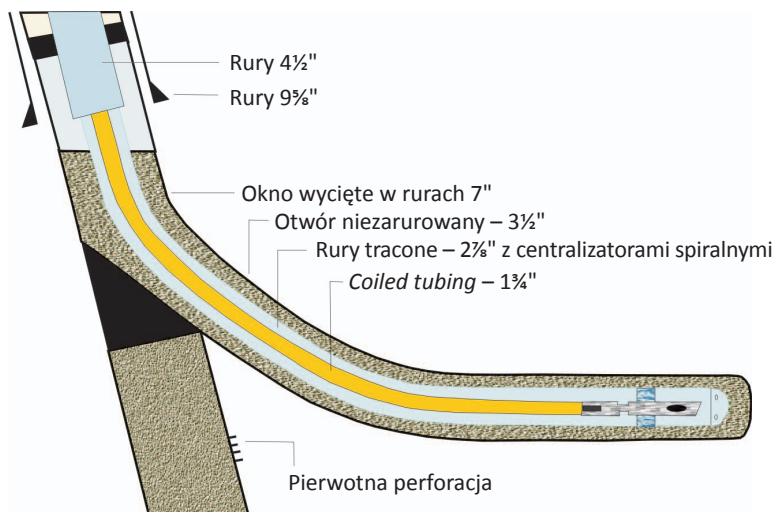
pionowe, 261 – horyzontalne, a 15 to odwierty wie-
 lopoziomowe. W 1998 r. wykonano 100 odwierć-
 ów, z czego 85 stanowiły horyzontalne odnogi wiercone
 z istniejących otworów, a tylko 15 było otworami
 nowymi. Jedno urządzenie *coiled tubing drilling*
 (CTD) mogło wywiercić rocznie 20 odnóg.

Powodem podjęcia decyzji o wierceniach był spadek produkcji ropy ze złoża, a jednocześnie świadomość, że jego udostępnienie jest niewystarczające. Projekt wierceń opracowany został przez zespół wiertników, inżynierów złożowych, geologów itp.

Należy dodać, że złożo Prudhoe Bay występuje w piaskowcach zaliczanych do osadów rzeczno-
 deltowych o bardzo cienkiej laminacji osadami ilasto-
 łowcowymi. Przepuszczalność osadów wynosi od 10 mD do



Rys. 4. Czas trwania poszczególnych operacji na kolejnych odwierciach wierconych na tym samym złożu (według [4])



Rys. 5. Uproszczony schemat wiercenia nowego otworu przez CT z otworu istniejącego. W rekonstruowanym otworze zostaje wycięte okno, przez które wierci się nowy odwiert o dowolnej trajektorii (według [14])

kilkuset mD. Otwory wiercone przez CT mają za zadanie udostępnienie wkładek ropnych leżących w odległości do 900 m od istniejących otworów. Jeśli zachodziła konieczność udostępnienia dalej leżących pokładów, wtedy wiercono obrotowo otwory horyzontalne.

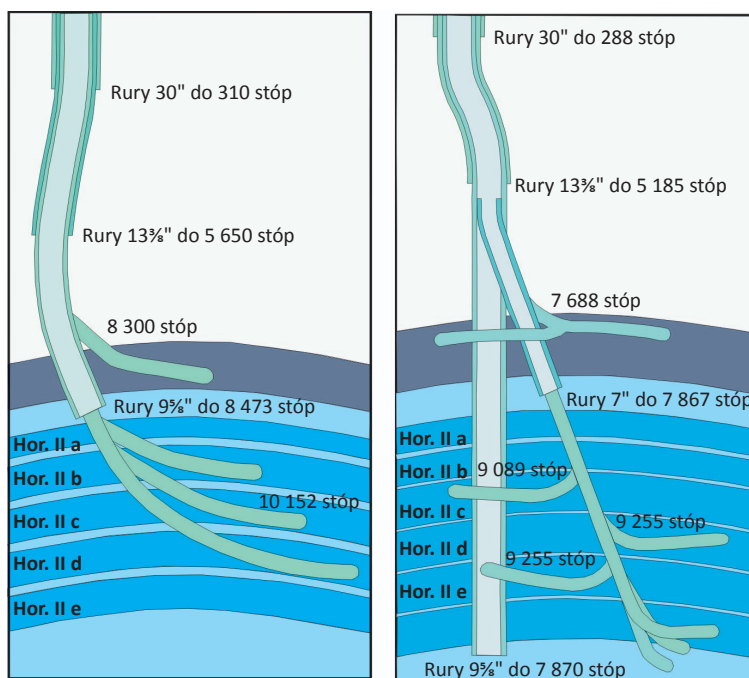
Według danych z 2004 r. na złożu Prudhoe Bay przeprowadzono do tego roku wiercenie nowych odnóg na ponad 400 starych odwiertach. Cały czas pracowały tam dwa urządzenia hybrydowe, z których każde wierciło trzy otwory miesięcznie.

W kwietniu 2003 r. firma BP Sharjah rozpoczęła program wierceń bocznych odnóg z istniejących otworów na złożu gazu kondensatowego Sajaa w Zjednoczonych Emiratach Arabskich [19]. Celem była poprawa produktywności i uruchomienie nowych elementów złoża.

Nowy otwór wiercono ze starego, który kończył się 7-calowym *linerem* schodzącym do głębokości około 4800 m. W rurach tych wycinano okno i wiercono CT silnikiem BHA 3" ze świdrem 4,1", który był zawieszony na rurach 2 $\frac{3}{8}$ ". Po odwierceniu nowego otworu zacięto z niego dwie dodatkowe odnogi. W początkowej fazie kampanii zrekonstruowano 10 otworów, wierząc z nich 29 odgałęzień typu *open hole*, o łącznej długości ponad 20 117 m. Dało to wzrost produkcji złoża ze 143 tys. m³/dobę do 716 tys. m³/dobę.

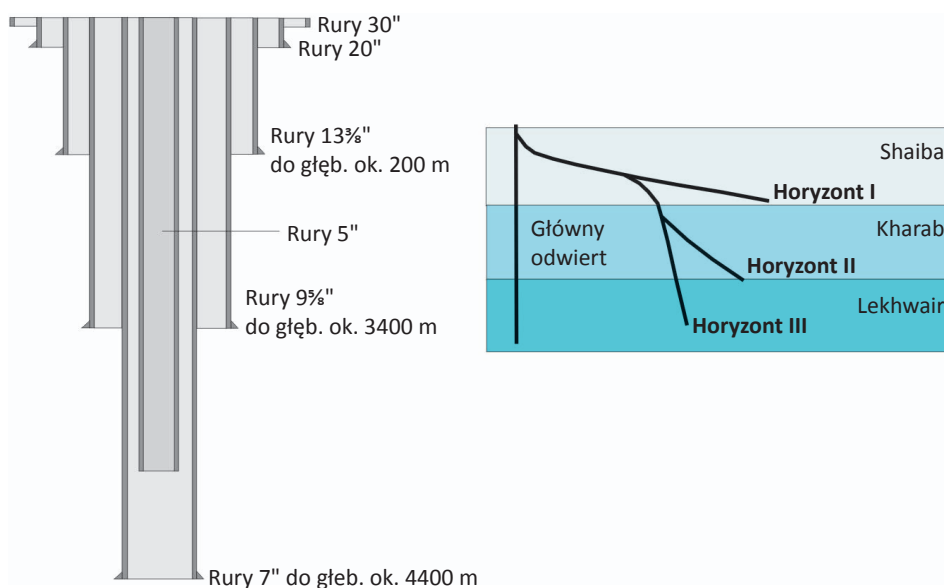
Urządzenia *coiled tubing* są stosowane w Ameryce Północnej dość licznie w kilku miejscach:

- Chitin Ranch, płytkie pole naftowe rozwiercone przy użyciu platformy hybrydowej CTD (zaprojektowanej i modernizowanej przez Conoco Philips) w hrabstwie Maveric w Teksasie,
- złoża typu *tight gas* w Oklahomie, basen Anadarko, gdzie rekonstruowano stare odwierty, wierząc z nich horyzontalne odcinki przy pomocy urządzeń CT,
- Alaska North Slope, gdzie stosuje się autorskie urządzenie CT opracowane przez firmy Nabors i Conoco Philips, które wykorzystywane jest do wierceń podczas rekonstrukcji na złożu ropy Kuparuk River,
- basen San Juan – złoża metanu w pokładach węgla rozwiercane przez firmę BP.



Rys. 6. Przykłady rekonstrukcji starych odwiertów na złożu Zakum w Zjednoczonych Emiratach Arabskich przy pomocy wiercenia z urządzenia CT. Rysunek z lewej strony przedstawia selektywną eksploatację horyzontów przy pomocy niezarurowanych, lateralnych odgałęzień. Rysunek z prawej strony prezentuje udostępnienie horyzontów z wykorzystaniem większej liczby odgałęzień (według [4])

Wiele urządzeń CT zaczęto stosować również na złożach łupkowych. Przykładem może być opracowane przez firmę Xtreme nowe urządzenie hybrydowe Xtreme Coil, które pozwala na szybkie przełączenie z CT na Top Drive i jest stosowane z powodzeniem m.in. na złożach Bakken, Niobrara oraz Eagle Ford. Na tym ostatnim w maju 2013 r.



Rys. 7. Rekonstrukcje odwiertów na złożu North Slope na Alasce przy wykorzystaniu urządzeń *coiled tubing drilling*. Rysunek z lewej strony przedstawia konstrukcję przeciętnego starego odwiertu przeznaczanego do rekonstrukcji. Na rysunku z prawej strony zaprezentowano schemat otworu po rekonstrukcji (według [14])

spółka Xtreme zakończyła wykonywanie trzech odwiertów z odgałęzieniami lateralnymi, o długości ponad 3000 m

– całkowita głębokość wynosi 5940–6120 m. Najdłuższy odcinek lateralny ma długość 3072 m (Globe Investor-2013).

Podsumowanie

Duży rozwój wierceń typu *slim hole* na świecie wiąże się przede wszystkim z koniecznością ograniczania kosztów wiercenia, spowodowaną rozpoznawaniem i eksploatacją złóż o coraz słabszych parametrach petrofizycznych. To powoduje, że niezbędne staje się wiercenie większej liczby otworów, ale znacznie tańszych niż dotychczas. Rozwój wierceń małośrednicowych jest wielokierunkowy i w znacznej mierze wybór metody wiercenia dostosowuje się do lokalnych warunków geologiczno-złożowych. Spośród opisanych metod wydaje się, że największy potencjał rozwojowy tkwi w wierceniu metodą CT, o czym świadczą liczne jej zastosowania na starych złożach konwencjonalnych do odnowy ich potencjału produkcyjnego oraz do rozwiercania złóż niekonwencjonalnych. Równie silnie rozwija się metoda hybrydowa łącząca w sobie metodę CT i konwencjonalną technikę wiertniczą.

W Polsce opisane techniki wiertnicze w poszukiwaniach i eksploatacji złóż gazu ziemnego i ropy naftowej nie były

dotychczas stosowane lub wykorzystywano je w niewielkim zakresie (na niektórych odwiertach złoża Przemysł zaprojektowano i wykonano konstrukcję otworów w założeniach podobnych do konstrukcji *slim hole* – na niewielką skalę). Konieczność sięgnięcia do złóż o słabszych parametrach oraz złóż niekonwencjonalnych na obszarze zapadliska przedkarpacciego i Karpat będzie jednak wymuszała na inwestorach stosowanie tańszych metod wiercenia i konstrukcji otworów, w celu utrzymania opłacalności tego typu inwestycji. Z tego powodu wykorzystanie metod wierceń małośrednicowych wydaje się koniecznością i jedną z dróg podtrzymania oraz rozwoju poszukiwań i eksploatacji złóż gazu ziemnego i ropy naftowej w południowo-wschodniej Polsce. Ocena możliwości zastosowania wierceń typu *slim hole* na obszarze zapadliska przedkarpacciego i Karpat zostanie przedstawiona w drugiej części artykułu, która ukaze się w jednym z kolejnych wydań miesięcznika „Nafta-Gaz”.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 12, s. 908–917

Artykuł nadesłano do Redakcji 3.09.2014 r. Zatwierdzono do druku 15.10.2014 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy badawczej pt. *Określenie możliwości prowadzenia wierceń typu „slim hole” w warunkach przedgórze Karpat i Karpat. Etap I* – na zlecenie PGNiG SA w Warszawie; nr zlecenia wew. 215/0764/13/01, nr archiwalny: DK-4100-104/2013.

Literatura

- [1] *2007 Annual Rotary Steerable Systems Directory*. Offshore, 4.01.2007, Houston; <http://www.offshore-mag.com/articles/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [2] *2012 High Shot Density Perforating Systems Performance and Mechanical Data Summary*. Schlumberger, produced by Marketing Communications, 2012.
- [3] *3D eXplorer (3DeX) Multicomponent Induction Service Formation Evaluation*. Baker Hughes; <http://c14503045.r45.cf2.rackcdn.com> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [4] Afghoul A. C., Amaravadi S., Boumali A., Calmeto J. C. N., Lima J., Lovell J., Tinkham S., Zemlak K., Staal T.: *Coiled Tubing: The Next Generation*. Oilfield Review 2014, vol. 16, issue 1, Schlumberger, pp. 38–57.
- [5] *Artificial Lift Technology*; <http://petrofed.winwinhosting.net/upload/IAI/17-20mar10/ArtificialLift.pdf> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [6] Atlas Copco Exploration Products: *Christensen core drilling rigs*, 2008, materiały marketingowe; <http://www.amjdrilling.com/documents/ChristensenCoredrillingrigs.pdf> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [7] *AWP Field: History*; <http://www.swiftenergy.com/menus/OP-AWP-History.htm> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [8] Byrom T. G.: *Coiled-Tubing Drilling in Perspective*. Journal of Petroleum Technology 1999, vol. 51, issue 6.
- [9] *CompactSM Formation Evaluation Services*. Weatherford, marketing materials, 2009–2010; <http://www.weatherford.com/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [10] Deliac P., Messines J. P., Thierree B. A.: *Slim hole drilling-1 mining technique finds applications in oil exploration*. Oil & Gas Journal 1991, vol. 89, issue 18, pp. 85–90; <http://www.ogj.com/articles/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [11] Filar B.: *Analiza wpływu zastosowania roznych technologii udostępniania zloz niekonwencjonalnych na oplacalnosc ich eksploatacji*. Nafta-Gaz 2014, nr 3, s. 143–150.
- [12] Filar B., Miziolek M., Hoszowski A.: *Parametry PMG Strachocina osiagniete w pierwszym cyklu eksploatacji magazynu, po rozbudowie pojemnosci czynnej zakonczonej w 2011 r.* Nafta-Gaz 2012, nr 12, s. 993–998.
- [13] Finger J., Jacobson R.: *Slimhole Drilling, Logging and Completion Technology – an Update*. Geothermal Research Department, Sandia National Laboratories, Albuquerque, USA; <http://www.geothermal-energy.org/pdf> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [14] Gantt L. L., Leising L., Stagg T., Walker R.: *Coiled tubing drilling on the Alaskan North Slope*. Oilfield Review 1998, vol. 10, issue 2, pp. 20–35.
- [15] Gredell M. E., Benson M. A.: *Slim-hole horizontal well improves gas storage field deliverability*. Oil & Gas Journal 1995, vol. 93, issue 50, s. 66–70; <http://www.ogj.com/articles/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).

- [16] *Halliburton wireline and perforating services*. Halliburton; http://www.halliburton.com/public/lp/contents/Books_and_Catalogs/web/WPS_PS_Catalog/Web/WPS_PS_CAT.pdf (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [17] Hough R.: *Slim Hole Technology*. Prezentacja, luty 2000, Shell Canada <http://www.lowell.ca/OilandGas/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [18] Jahn F., Cook M., Graham M. (eds.): *Hydrocarbon exploration and production*. 2nd edition, Developments in Petroleum Science 2008, vol. 55.
- [19] Jellison M. J., Prideco G., Plessis G., Glowacz A., Pansnak J. M.: *Advanced Drill Pipe with Streamline Connections Enhances Slim-hole Drilling Performance*. IADC World Drilling 2005 Conference & Exhibition held in Rome, Italy 2005; <http://www.nov.com/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [20] Long R.: *Microhole Technology – a system approach to mature resource development*. US Department of Energy, Office of Fossil Energy, March 2006; <http://microtech.thepttc.org/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [21] Materiały marketingowe; <http://www.weatherford.com/Products/Evaluation/CasedHoleServices/Perforating/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [22] McDonald S., Felderhoff F., Fisher K.: *New bits, motors improve economics of slim hole horizontal wells*. Oil & Gas Journal 1996, vol. 94, issue 11; <http://www.ogj.com/articles/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [23] Millheim K. K., Prohaska M., Thompson B.: *Slim Hole Drilling Technology – Past, Present, Future*. PetroVietnam, 1–3 March, Ho Chi Minh City, Vietnam 1995; <http://www.onepetro.org/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [24] Noles J.: *IPS Coiled Tubing Drilling*. Prezentacja, 2005; <http://microtech.thepttc.org/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [25] *Perforating, Tubing-Conveyed Perforating and Propellant Stimulation*. Weatherford, marketing materials; <http://www.weatherford.com/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [26] *Project to develop and evaluate coiled-tubing and slim-hole technology*. Maurer Engineering Inc., 1998; <http://www.slideshare.net/>, <http://www.slb.com/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [27] Rach N. M.: *Slimhole tools offer drilling, completion options*. Oil & Gas Journal 2005, vol. 103, issue 44, pp. 44–48; <http://www.ogj.com/articles/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [28] Randolph S., Bosio J., Boyington B.: *Slimhole drilling: The story so far...* Oilfield Review 1991, vol. 3, issue 3, pp. 46–54; <http://www.slb.com/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [29] Schwartze S.: *Slim hole, re-entry drilling technology for mature field development*. Baker Hughes Norway; http://bergen.spe.no/publish_files/ODS2011_TT_Schwarze.pdf (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [30] Singh Khalsa K., Al-Awami N., Pinero N., Al-Baggal Z., Al-Mumen A., Zainaddin I.: *Robotics for Horizontal Image Acquisition in Ultra Slim Wells in Saudi Arabia*. Saudi Aramco Journal of Technology SUMMER 2010; <http://www.saudiaramco.com/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [31] *Slim Hole Drilling*; <http://www.wipertrip.com/slim-hole-drilling.html> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [32] *Slim Access Logging for Slim and Complex Geometry Boreholes*. Schlumberger, Produced by Marketing Communications, Houston 2004; <http://www.slb.com> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [33] Sterling S., Briscoe G., Melaney M.: *Drilling, Logging and Sampling of DGR-5 and DGR-6*. Raport z realizacji projektu ID: TR-09-01 z kwietnia 2011, Geofirma; <http://www.ceaa-acee.gc.ca/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [34] *Ultrasonic Explorer Service Get high-resolution borehole acoustic images in difficult wellbore conditions*. Marketing materials, Baker Hughes; <http://7b0211abc212ce1aa79f7f5cb6763e48b5a876d4f2b22c1c7b26.r90.cf2.rackcdn.com> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [35] Wagner B.: *Hybrid rigs developed for continuous coring exploration (wire line retrievable continuous coring system)*. Oil & Gas Journal 1992, vol. 90, issue 17; <http://www.accessmylibrary.com/article> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [36] Wheatall M.: *Advanced Drilling: A Technology Focus Area for Conoco Phillips*. Upstream Technology Conoco Phillips, Inc., 2006; <http://microtech.thepttc.org/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [37] Wickstrom L., Erenpreiss M., Riley R., Perry Ch., Martin D.: *Geology and Activity Update of the Ohio Utica-Point Pleasant Play*. Presentation at Tulsa Geological Society dinner meeting, March 5, 2013; <http://www.ohiodnr.com/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [38] *Wireline and Perforating Services*. Halliburton, marketing materials, 2012; <http://www.halliburton.com/public/lp/contents/Brochures/web/H06462.pdf> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).
- [39] *Xtreme Pushes 2 5/8" Coiled Tubing Completions to Record Depths*. Informacje prasowe ze strony internetowej; <http://www.theglobeandmail.com/> (dostęp: 16 czerwca 2013).
- [40] Zhu T., Carroll H. B.: *Topical report: Slimhole drilling: applications and improvements*. Raport US Department of Energy Bartlesville Project Office, August 1995; <http://www.netl.doe.gov/> (dostęp: lipiec–wrzesień 2013).



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