

Jan Artymiuk*, Wiesław Kielbik**

KONCEPCJA ODMETANOWANIA POKŁADÓW WĘGLA OTWORAMI WIERTNICZYMI W KWK SZCZYGLÓWICE

1. WPROWADZENIE

Krajowe pokłady węgla kamiennego zawierają ogromne ilości metanu. Metan z pokładów węgla (MPW) częściowo jest eksploatowany przed wydobyciem węgla, jak również znaczna jego część wydziela się podczas wydobywania węgla. Szacunki co do ilości metanu w pokładach węgla są ciągle zmieniane. Nie ma w tym względzie jednoznacznej oceny. Ilości metanu najczęściej podawane są jako zasoby bilansowe. Trzeba zaznaczyć, że zasoby bilansowe, to nie są zasoby przemysłowe, które możemy realnie wykorzystać. Niemniej ilość metanu, którą można wydobyć, jak również ilość, która przedostanie się do atmosfery, jest ogromna. Pomimo że para wodna jest najważniejszym gazem cieplarnianym, to zwykle dwutlenek węgla (CO_2) i metan (CH_4) w najwyższym stopniu zakłócają równowagę w przestrzeni okalającej kulę ziemską. Zawartość tych gazów w powietrzu jest znacznie niższa niż pary wodnej, ale ich koncentracja ciągle wzrasta. Tworzą one okna w atmosferze, przez które promieniowanie cieplne może się wydostać w przestrzeń kosmiczną. Metan i dwutlenek węgla to dwa najważniejsze gazy mające wpływ na globalne ocieplenie. Wpływ metanu jest 22 razy większy niż dwutlenku węgla, a jego procentowy udział w atmosferze wynosi 18%. W ciągu minionych dwustu lat wzrósł ponad dwukrotnie. Biorąc pod uwagę efekt cieplarniany, można uznać, że metan jest znacznie bardziej szkodliwym gazem niż dwutlenek węgla. Dwutlenek węgla znacznie łatwiej związać, wystarczy zalesić wolne obszary. Są nawet koncepcje, aby kondensować CO_2 i składować w postaci suchego lodu pod ziemią w dawnych wyrobiskach kopalnianych. W przypadku metanu, dodatkowym źródłem emisji do atmosfery ziemskiej są składowiska odpadów organicznych i powstającej biomasy oraz gazohydraty. Ze składowisk odpadów pochodzi 15% ogólnej emisji metanu do atmosfery ziemskiej, na skutek rozkładu składników organicznych. Coraz większym zagrożeniem są gazohydraty. Podnosząca się w wyniku efektu cieplarnianego tempera-

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Poszukiwania Nafty i Gazu Kraków, Sp. z o.o.

tura na Ziemi (w ostatnich stu latach średnia temperatura podniosła się o $0,8 \div 1,0^{\circ}\text{C}$) oznacza, że warunki stabilności gazohydratów będą zmieniać się, ze stanu stałego zaczną w coraz większym stopniu przechodzić w fazę płynną, uwalniając metan. Wraz z ocieplaniem się klimatu intensywność uwalniania się metanu z hydratów z dna oceanicznego będzie coraz większa. W związku z tym, aby efekt uwalniania metanu nie potęgował się i nie przyspieszał procesu ocieplania się Ziemi, powinniśmy metan zagospodarowywać najszybciej, jak to jest możliwe. Ze względu na to, że metan jest gazem palnym, najpowszechniejszą metodą jego zagospodarowywania jest jego spalanie. Tutaj natrafiamy na pomoc w postaci limitu emisji CO_2 . Komisja Europejska zredukowała o 26,7% zaproponowany przez Polskę limit emisji dwutlenku węgla na lata 2008–2012 i 26.03.2007 r. przyjęła warunkowo polski program rozdziału, z zastrzeżeniem redukcji emisji do 208,5 mln ton.

Polska zaproponowała, aby wielkość emisji CO_2 w latach 2008–12 wynosiła 284,6 mln ton, tłumacząc, że w związku z planowanym rozwojem gospodarczym, potrzebuje większego limitu emisji na poziomie 284 tys. ton. Być może grozi nam wzrost cen energii, jak stało się to w Niemczech. Już teraz BOT (największy dostawca energii) musi kupować dodatkowo prawa do emisji na 1 mln ton CO_2 . Ich cena wynosi mniej niż 1 euro za tonę, ale na lata 2008–12 prognozowane ceny za prawa do emisji są znaczne wyższe. Każde przedsiębiorstwo ma ustalony limit i jeśli go przekroczy, musi dokupić odpowiednią ilość od innego przedsiębiorstwa albo zmienić technologię na bardziej przyjazną środowisku. System handlu uprawnieniami do emisji jest głównym instrumentem, służącym Unii do realizacji postanowień Protokołu z Kioto. W tej sytuacji wykorzystanie metanu w postaci jego przetworzenia na CO_2 jest jak najbardziej wskazane, ponieważ wartość opała metanu znacznie przekracza te wartości w odniesieniu do węgla brunatnego czy kamiennego. W świetle powyższych ustaleń, zmienia się charakter w podejściu do sposobu wykorzystania MPW. Wszystkie wcześniejsze sposoby wykorzystania metanu były traktowane bardziej jako formy zagospodarowania paliwa odpadowego i działania na rzecz ochrony środowiska, aniżeli dążenia do rozwiązania efektywnego ekonomicznie. To właśnie kryterium będzie obecnie jednym z istotniejszych motywów podejmowanych działań. Odmetanowanie jest już opłacalną działalnością, a będzie nią jeszcze bardziej. W grę wchodzi ogromne kwoty. Aby uświadomić sobie, o jakich kwotach mówimy, to np. z jastrzębskich kopalń, rocznie drogami wentylacyjnymi odprowadzanych jest ok. 146 mld m^3 powietrza zawierającego 0,18% metanu. Tylko 40% gazu jest wylapywana, a pozostała ilość jest wydmuchiwana do atmosfery. Odbierany gaz jest mieszaniną metanową-powietrzną, przez co nie może być włączany do instalacji komunalnych. Pojawienie się urządzeń i nowych technologii spalania gazowych mieszanek zubożonych umożliwiło ekonomiczne zagospodarowanie MPW w małych zakładach produkujących energię elektryczną, ciepłą czy ich obie postacie jednocześnie. W ten sposób powstały warunki do wykorzystania MPW z pożytkiem ekologicznym i ekonomicznym. Coraz więcej kopalń stara się zagospodarować MPW, gdyż widzi w tym konkretne korzyści. Można tutaj wymienić KWK Budryk [1, 2], Brzeszcze, Halemba, Silesia, Jankowice, Krupiński, Pniówek, Jas-Mos, Morcinek, Borynia, Zofiówka itp. Powstają następne projekty zagospodarowania MPW. Realizacja tych nowatorskich rozwiązań powoduje, że kopalnie, czy zarządzające nimi spółki, dzięki zmniejszeniu emisji metanu do atmosfery będą płacić mniejsze kary i dodatkowo mogą otrzymaną energię zużytkować lub po prostu sprzedać.

Najbardziej efektywny sposób transportu mieszaniny metanowo-powietrznej na powierzchnię polega na odwierceniu w wyznaczonych miejscach otworów wiertniczych i zamontowaniu w nich wiszących rurociągów stalowych [3]. Tak też postąpiono w kopalni Szczygłowice. Wiercenia realizowała Spółka z o.o. Poszukiwania Nafty i Gazu Kraków. Firma ta ma duże doświadczenia w tym zakresie. Wstępnie założono, że zostanie wykonany otwór wiertniczy do głębokości 850 m z końcową średnicą dla rur o nominalnej średnicy 400 mm z dopuszczalnym odejściem od pionu w głębokości końcowej – 5 m.

2. WARUNKI GEOLOGICZNE

Stratygrafia i litologia:

- 0÷20 m – czwartorzęd – gliny, iły;
- 20÷125 m – trzeciorzęd – iły, iłowce z wkładkami gipsów i margli;
- 125÷850 m – karbon – warstwy orzeskie i rudzkie – łupki piaszczyste i ilaste, piaskowce, węgle.

Tektonika

Warstwy karbońskie zalegają pod kątem 6÷19° w kierunku południowym. Istnieje możliwość napotkania w profilu otworu uskoku Szczygłowickiego I o zrzucie 1÷2 m oraz strefy spękań.

Konstrukcja otworu

Założono następującą konstrukcję otworu:

- rury 28" – do głębokości 70 m cdw.;
- rury 18 $\frac{5}{8}$ " – do głębokości 850 m cdw.

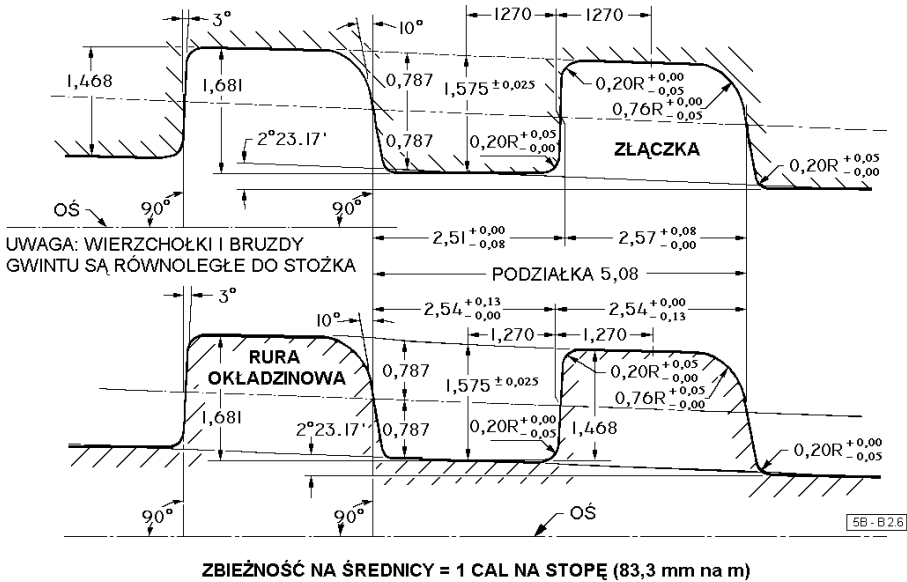
3. ANALIZA TECHNOLOGII WIERCENIA

W celu zastosowania prawidłowej technologii i osiągnięcia satysfakcjonujących postępów wiercenia otworu o tak dużej średnicy zaplanowano wiercenie wieloetapowe.

Wiercenie otworu do głębokości 70 m pod rury 28" założono świdrem 17 $\frac{1}{2}$ " (444 mm) i rozszerzanie do średnicy 32" (812 mm). Wiercenie otworu o tak dużej średnicy jest kosztowne, z powodu małego postępu wiercenia, a także ze względu na wysoką cenę narzędzi wiertniczych, rur okładzinowych, dużej objętości płuczki i cementu. Osobny problem stanowił dobór odpowiednio wytrzymałych rur okładzinowych oraz ich dostępność na rynku.

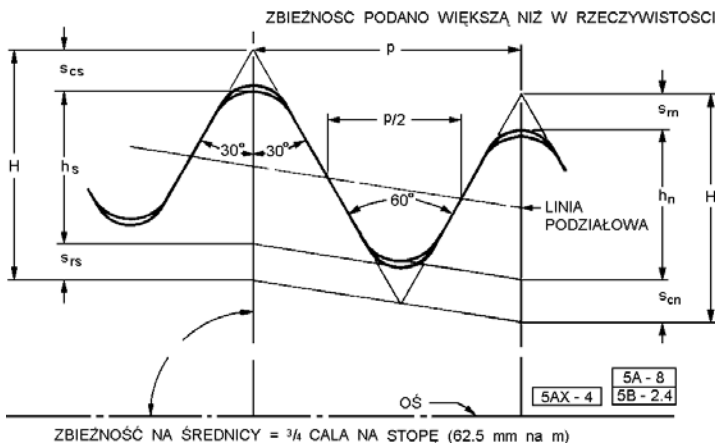
Wiercenie otworu od głębokości 70 m do głębokości końcowej założono również dwuetapowo, tj. wiercenie średnicą 17 $\frac{1}{2}$ " (444 mm) i późniejsze rozszerzanie do średnicy 23" (584 mm). Mimo zastosowania optymalnych parametrów wiercenia czas głębnienia tego otworu skalkulowano na 50 dni. Pomimo założonej dwuetapowej technologii głębnienia, w trakcie wiercenia napotkano na szereg problemów. Najważniejsze z nich to: brak możliwości korekty trajektorii otworu, co przy kącie zalegania warstw 6÷19° było nieuniknione przy dopuszczalnym odejściu otworu od pionu w głębokości końcowej, oraz trudności

i wysoki koszt likwidacji ewentualnych zaników płuczki w trakcie wiercenia w przewidywanych strefach spękań. Ponieważ przewidywany okres eksploatacji odwiertu zaplanowano na 30 lat, spowodowało to konieczność zastosowania rur 18 5/8" złączkowych z trapezowym gwintem typu Buttress (rys. 1).



Rys. 1. Zarys i wymiary gwintu Buttress rur okładzinowych. Dotyczy rozmiarów 16" i większych

Rury takie nie są produkowane w kraju, a cena rur z importu jest bardzo wysoka. Produkowane w kraju rury 16" (406,4 mm) z połączeniami kielichowymi i stożkowym gwintem zaokrąglonym (rys. 2, tab. 1) nie spełniają wymagań wytrzymałościowych.



Rys. 2. Zarys gwintu zaokrąglonego rur okładzinowych. Wymiary, patrz tabela 1

Tabela 1

Wysokości zaokrąglonych gwintów rur okładzinowych. Wszystkie wymiary w mm – patrz rysunek 2

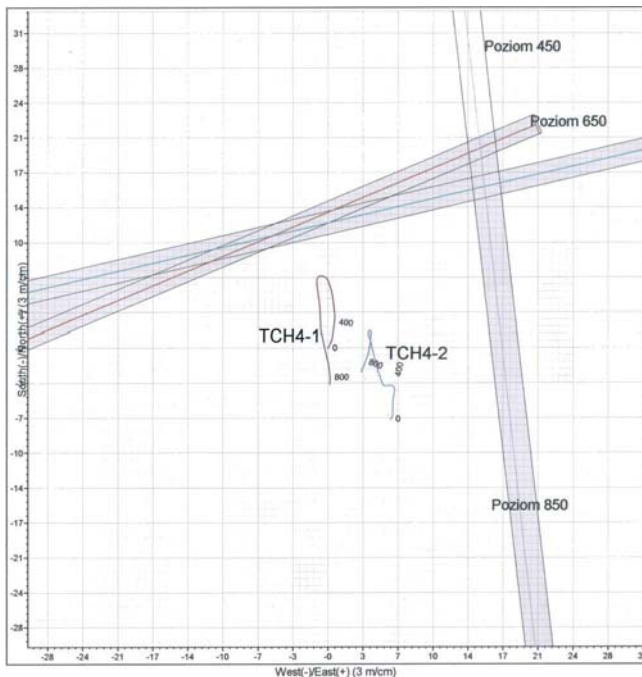
Element gwintu	10 podziałek na cal $p = 2,540$	8 podziałek na cal $p = 3,175$
$H = 0,866p$	2,200	2,750
$h_s = h_n = 0,626p - 0,178$	1,412	1,810
$s_{rs} = s_{rn} = 0,120p + 0,051$	0,356	0,432
$s_{cs} = s_{cn} = 0,120p + 0,127$	0,432	0,508

4. ZMIANA KONCEPCJI

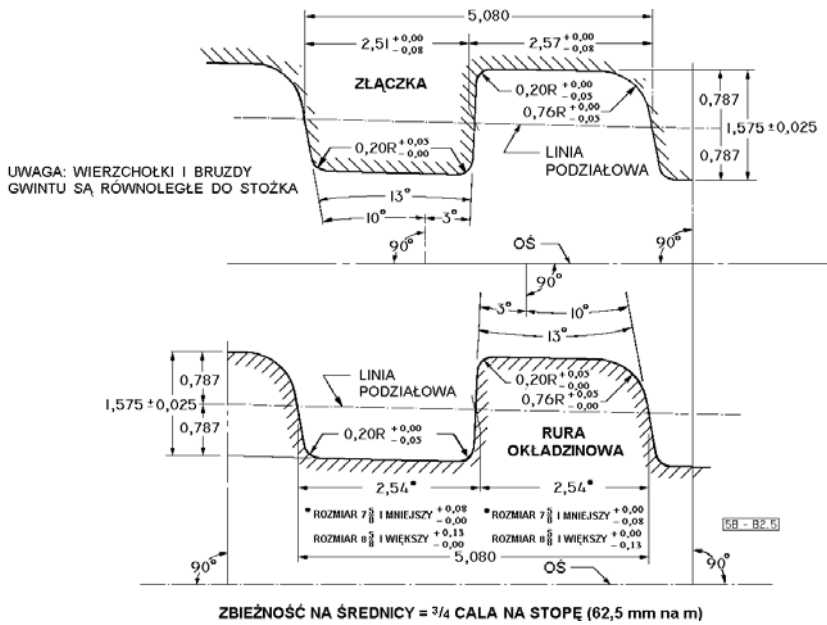
Po dokładnej analizie uwarunkowań zarówno technicznych, jak i ekonomicznych, postanowiono zmienić koncepcję i w miejsce jednego opisanego wyżej otworu, odwiercić dwa o mniejszej średnicy.

Zaproponowano odwiercić dwa otwory bliźniacze w odległości ok. 10 m (rys. 3), zarurowane rurami $13 \frac{3}{8}$ " (339,7 mm) z gwintem Buttress (rys. 4), o konstrukcji:

- rury 20" – do głębokości 50 m cdw.,
- rury $13 \frac{3}{8}$ " – do głębokości 850 m cdw.



Rys. 3. Przebieg otworów TCH4-1 i TCH4-2 na tle przebiegu wyrobisk górniczych



Rys. 4. Zarys i wymiary gwintu Buttress rur okładzinowych. Dotyczy rozmiarów rur okładzinowych $4 \frac{1}{2} \div 13 \frac{3}{8}$ "

Porównawczą charakterystykę wytrzymałościową przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Charakterystyka wytrzymałościowa rur $13 \frac{3}{8}$ " , 16" i $18 \frac{5}{8}$ "

Wyszczególnienie	Rury $13 \frac{3}{8}$ "	Rury 16"	Rury $18 \frac{5}{8}$ "
Średnica zewnętrzna [mm]	339,7	406,4	473,1
Grubość ścianki [mm]	10,9	11,1	11,0
Gatunek stali	K 55	R 65	K 55
Ciężar 1 mb rury [kg/mb]	89,0	108	127,7
Rodzaj połączenia	złączkowe	kielichowe	złączkowe
Rodzaj gwintu	trapezowy niesymetryczny (Buttress)	zaokrąglony (Rok)	trapezowy niesymetryczny (Buttress)
Wytrzymałość rury na obciążenie osiowe [kg]	428 000	524 000	608 000
Wytrzymałość połączenia gwintowego [kg]	520 000	36 590	635 000
Ciężar kolumny rur o dł. 850 m [kg]	75 650	91 800	108 545
Współczynnik bezpieczeństwa	5,65	0,4 !!!	5,6
Przybliżona cena 1 mb rury [PLN]	496,1	674	1 750
Wartość kolumny 850 m [PLN]	421 685	572 900	1 487 500

5. PROJEKT TECHNOLOGII WIERCENIA

W celu realizacji tego zadania założono następującą technologię:

- 0÷50 m – ze względu na dużą średnicę otworu założono wiercenie dwuetapowe:
 1. wiercenie świdrem 17 1/2" (444 mm),
 2. rozszerzenie do średnicy 24" (610 mm) rozszerzaczem gryzowym.

Taki sposób wiercenia pozwolił na zachowanie właściwej prędkości wiercenia i wymaganego oczyszczania otworu z urobku.

- 50÷850 m – wiercenie jednoetapowe średnicą 17 1/2".

6. PRZEBIEG WIERCENIA OTWORU TCH4-1

0÷50 m – interwał odwiercony świdrem zębatym i rozszerzony poszerzaczem gryzowym zgodnie z projektem.

50÷850 m – wiercenie rozpoczęto świdrem słupkowym 17 1/2" z użyciem płuczki bentonitowej o ciężarze właściwym ok. 1,12 g/cm³. Do głębokości 302 m wiercono bez problemów z postępem ok. 3 m/h. W głębokości 302 m stwierdzono zanik płuczki w ilości 1,2 m³/30 min. Zaniki te utrzymywały się do końca wiercenia i likwidowane były poprzez wtłaczanie specjalnie sporządzanej pasty o wysokiej lepkości z dodatkiem materiałów do likwidacji zaników takich, jak: blokatory węglanowe, mika o różnych granulacjach, skorupy orzeszków ziemnych itp. W trakcie głębenia otworu kontrolowano jego krzywiznę przy użyciu inklinometrów wrzutowych, co ok. 50 m. Do głębokości 250 m otwór wiercony był pionowo. Od głębokości 300 m stwierdzono bardzo dużą tendencję do krzywienia spowodowaną upadem warstw. Poprzez dobór właściwych parametrów technologicznych i odpowiedniego rozstawu stabilizatorów przewodu, do głębokości 430 m, utrzymano krzywiznę poniżej 2°. W trakcie dalszego wiercenia stwierdzono gwałtowny przyrost krzywizny do 2,83° w azymucie 352° w głębokości 468 m. Wysokie wymagania postawione przez KWK Szczygłowice w zakresie odejścia otworu od pionu w głębokości końcowej, wymogły konieczność zmiany technologii wiercenia i korekty trajektorii otworu. Zastosowano metodę wierceń kierowanych przy użyciu silnika wgłębnego 8" i świdra 12 1/4" (311 mm). Orientację zestawu na spodzie otworu i niezbędne pomiary prowadzono przy użyciu inklinometru wrzutowego zapuszczanego przy pomocy wciągarki drutowej. Pozwoliło to na skierowanie otworu w kierunku przeciwnym, tj. 3,16° w azymucie 170° w głębokości 561 m. Do poszerzania otworu użyto rozszerzacza gryzowego produkcji FMWiG Glinik. Bardzo wysoka abrazywność przewierczanych skał spowodowała jego całkowite zużycie. Po poszerzeniu otworu do średnicy 17 1/2" dalsze wiercenie kontynuowano zgodnie z projektem przy ciągłych zanikach płuczki. Łącznie w czasie wiercenia otworu TCH4-1 zaniknęło ok. 300 m; płuczki. Końcowe odejście otworu od pionu wynosi 2,1 m w azymucie 154°. Otwór pomimo nieprzewidzianych trudności spowodowanych bardzo dużą tendencją do krzywienia i ogromną abrazywnością przewierczanych skał odwiercono w ciągu 39 dni.

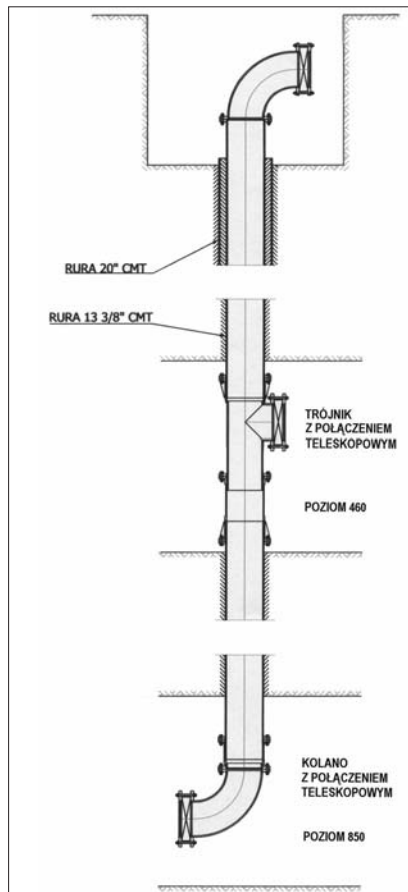
7. PRZEBIEG WIERCENIA OTWORU TCH4-2

0÷50 m – interwał przewiercony świdrem zębatym i rozszerzony poszerzaczem gryzowym zgodnie z projektem.

50÷850 m – do głębokości 377 m wiercono otwór świdrem 17 1/2" bez zaników płuczki, osiągając krzywiznę 1,55°. Tym razem postanowiono wcześniej korygować trajektorię. Tym samym sposobem, co w poprzednim otworze korygowano przebieg otworu, ale do rozszerzania użyto świdra skrawającego z ostrzami PDC. Znowu bardzo wysoka abrazywność przewierczanych skał spowodowała jego całkowite zużycie. W trakcie wiercenia otworu nie stwierdzono zaników płuczki najprawdopodobniej z powodu właściwego doboru materiałów i technologii likwidacji zaników w otworze TCH4-1. Odejście otworu od pionu w głębokości końcowej wyniosło 5,5 m w azymucie 310°. Czas wiercenia otworu 38 dni.

8. PODŁĄCZENIE RUROCIĄGÓW

Podłączenie rurociągów pionowych z systemem sieci poziomej na dwóch poziomach stanowiło następne wyzwanie postawione w Specyfikacji istotnych warunków zamówienia przez KWK Szczygłowiec.



Rys. 5. Gazociąg z teleskopowymi elementami łączącymi

Wyzwanie spowodowane tym, że w kopalni występuje zagrożenie metanowe, które nie pozwala na zastosowanie technologii spawania do połączenia systemu rurociągów pionowych z poziomymi. Połączenia te zaplanowano na dwóch poziomach 460 m i 850 m. Już na etapie projektowania kolumny rur zaplanowano w zestawie kolumny w tych głębokościach krótkie rury o długości 1,5 m. Zapuszczone do otworów rury okładzinowe zacementowano, uzyskując zarówno szczelność przestrzeni pierścieniowych, jak i związanie kolumn rur z górotworem. Po związaniu cementu wykonanymi przekopami odsłonięto zapuszczone rury. Metodą cięcia beziskrowego usunięto krótkie rury na poziomie 460 m i 850 m, a w ich miejsce zainstalowano specjalnie skonstruowane dla potrzeb tego projektu rozgałęźniki z połączeniem teleskopowym (rys. 5).

Umożliwiły one połączenie gazociągów pionowych z systemami gazociągów na obu poziomach.

9. PODSUMOWANIE

- Głębianie otworów TCH4-1 i TCH4-2 odbywało się w bardzo trudnych warunkach geologicznych:
- Zaleganie warstw karbońskich pod nachyleniem $6\div 19^\circ$ w kierunku południowym powodowało bardzo dużą tendencję do odchylenia osi otworu. Świadczy o tym krzywienie otworów w kierunku północnym.
- Zaniki płuczki w odwodnione i przepuszczalne warstwy karbońskie. Sumaryczny zanik płuczki w czasie wiercenia otworu TCH4-1 wyniósł 300 m.
- Ogromnie abrazywne, trudno zwiercalne, odwodnione piaskowce karbońskie.

W wyniku wnikliwej analizy uwarunkowań techniczno-ekonomicznych zaproponowano kopalni Szczygłowice odwiercenie dwóch otworów o mniejszej średnicy $13 \frac{3}{8}''$ w miejsce wcześniej planowanego jednego otworu $18 \frac{5}{8}''$. Koszty obydwóch projektów były zbliżone. Akceptacja przez KWK Szczygłowice przedstawionego programu według nowej koncepcji pozwoliła na terminową, zakończoną sukcesem realizację prac.

Ponadto przyjęta nowa koncepcja wiercenia mniejszych otworów umożliwiła:

- doprowadzenie otworów do zaplanowanego celu dzięki możliwości korekty trajektorii wiercenia;
- uzyskanie większych prędkości wiercenia poprzez możliwość stosowania właściwych parametrów technologicznych i optymalnej hydrauliki wiercenia;
- o wiele większe możliwości likwidacji zaników płuczki w otworze o mniejszej średnicy;
- zastosowanie tańszych rur okładzinowych produkcji krajowej o wytrzymałości zapewniającej długotrwałą eksploatację;
- możliwość połączenia systemu gazociągów poziomych z pionowymi na dwóch poziomach, bez konieczności spawania na dole;
- możliwość pracy każdego z gazociągów oddzielnie, z każdego z udostępnionych poziomów.

10. WNIOSKI

- 1) Aktualnie dostępne technologie pozwalają na głębień otworów dla celów specjalnych po założonej trajektorii z dużą dokładnością.
- 2) Stosowanie najlepszych materiałów daje gwarancję wieloletniej bezpiecznej eksploatacji otworów.
- 3) Współpraca projektanta i wykonawcy na etapie projektowania otworów pozwala poszerzyć możliwości wykorzystania otworów i obniżyć koszty jego wykonania.

LITERATURA

- [1] Artymiuk J., Kielbik W.: *Samonośne, pionowe rurociągi do odmetanowania KWK „Budryk”*. Międzynarodowa konferencja „Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie – diagnostyka, naprawy i remonty”, Szczyrk, 30 maja – 1 czerwca 2005, 150–161
- [2] Artymiuk J.: *Methane removal from coal beds exemplified by the coal mine „Budryk”*. Transactions of the VŠB – Technical University Ostrava Mining and Geological Series, Monograph 15, 2005, 1–7
- [3] Kielbik W., Artymiuk J.: *Zastosowanie wierceń kierunkowych i poziomych dla górnictwa podziemnego*. Międzynarodowa konferencja „Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie – diagnostyka, naprawy i remonty”, Szczyrk, 30 maja – 1 czerwca 2005, 143–149