

Herman BELL

Institut für Bergbaukunde II  
der Rheinisch - Westfälischen  
Technischen Hochschule Aachen

#### WIERCENIE WODĄ POD WYSOKIM CIŚNIENIEM W WARUNKACH OGRANICZONEJ PRZESTRZENI ROBOCZEJ

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono prace prowadzone w Instytucie Bergbaukunde II Reńsko-Westfalskiej Politechniki w Aachen w zakresie wiercenia otworów w skałach za pomocą wody pod wysokim ciśnieniem. W pierwszej części przedstawiono analizę procesu pędzenia chodników eksploatacyjnych kombajnami chodnikowymi, zwrócono uwagę na możliwość zsynchronizowania procesów urabiania i obudowy wyrobiska w przypadku obudowy z kotwieniem górotworu. Wymaga to wykonania otworów kotwionych w warunkach ograniczonej przestrzeni roboczej. Przedstawiono elementy składowe urządzenia wiercącego, zapewniającego realizację tego zadania.

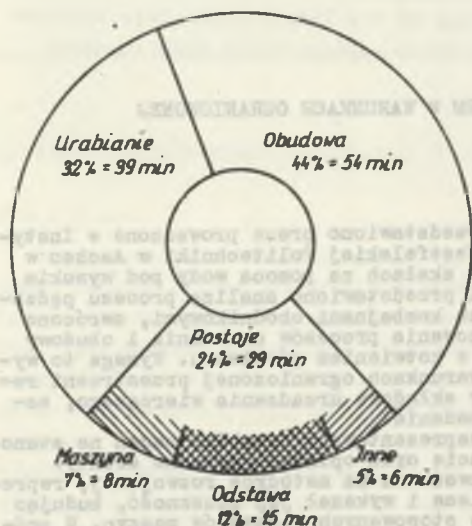
W części drugiej artykułu zaprezentowano przebieg badań na stanowisku zainstalowanym w Instytucie oraz opisano uzyskane efekty. Autor artykułu oparł swoje rozważania na metodyce rozwojowej, reprezentowanej przez Profesora Spiesa i wykazał jej słuszność, budując swoje urządzenie z powszechnie stosowanych elementów maszyn. W podsumowaniu podano charakterystykę problemów związanych z wierceniem otworów w warunkach ograniczonej przestrzeni roboczej.

Niniejszy referat daje krótki przegląd przeprowadzonych dotychczas w Instytucie Bergbaukunde II Reńsko-Westfalskiej Politechniki w Aachen badań w zakresie wiercenia otworów za pomocą wody pod wysokim ciśnieniem (metoda HDW). W pierwszej części zostaną przedstawione warunki ograniczające, prowadzące do koncepcji urządzenia wiercącego - HDW dla wykonania otworów w warunkach ograniczonej przestrzeni roboczej. Druga część opisuje metodyczne wyprowadzenie oraz pierwsze wyniki badań.

W jaki sposób wywołany został rozwój tego typu metody wiercenia? Obecny stan techniki w zakresie tworzenia chodników eksploatacyjnych w górnictwie węgla kamiennego RFN cechuje się z jednej strony konwencjonalnym mniej lub bardziej zmechanizowanym sposobem pędzenia chodników, z drugiej strony stosowaniem kombajnów chodnikowych. Udział kombajnów chodnikowych w ogólnej długości pędzonych wyrobisk eksploatacyjnych ciągle wzrasta i wyniósł w 1984 roku - 38,2% (155 km).

Pędzenie wyrobisk eksploatacyjnych kombajnami chodnikowymi i stawianie konwencjonalnych typów obudowy da się tylko w niewielkim stopniu dostroić, ponieważ zarówno obudowa łukowa podatna w swojej koncepcji pochodzącej

z lat pięćdziesiątych, jak i obudowa kotwiowa, stosowana w tunelach lub systemie "Room and - pillar" nie były sporządzone pod kątem współpracy z urządzeniami mechanicznymi. Na wprowadzenie obudowy traci się około 44% czasu postojów wszystkich znajdujących się w użyciu kombajnów chodnikowych (rys. 1). Dla zredukowania tego udziału dokonuje się daleko idącej synchronizacji urabiania i obudowy.



Rys. 1. Udział procesów roboczych przypadający na 1 metr chodnika przy drążeniu kombajnem

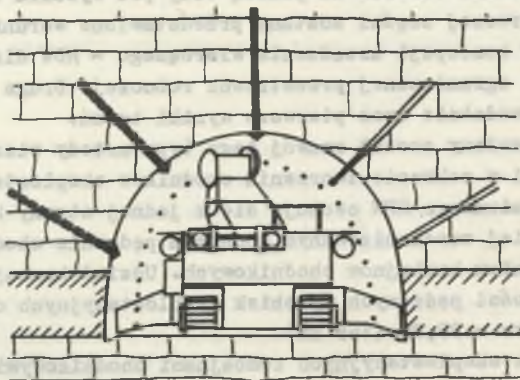
Fig. 1. The role of working processes per 1 m of the gallery while drilling with the heading machine

Rozpatrzmy bliżej wyłącznie obudowę chodnikową z kotwieniem górotworu.

Rozpatrując szczegółowo wprowadzenie obudowy kotwiowej wyróżnić można 3 następujące fazy:

- wykonanie otworu kotwiowego,
- wprowadzenie kleju lub zaprawy,
- wprowadzenie i napięcie kotwi.

Dwoma ostatnimi punktami nie chciałbym się zajmować, jedynie wspomnę, że w Instytucie Bergbaukunde II prowadzone są również badania nad "stosowaniem nowych typów kotwi". W punkcie pierwszym, wykonanie otworu kotwiowego, przez historyczno-techniczny rozwój urządzeń wiertniczych ustaliło się stosowanie pneumatycznie napędzanych młotków wiertniczych z obrotowym lub udarowym sposobem pracy, jak również posadowionych na łożu, napędzanych hydraulicznie turbin



Rys. 2. Chodnik z kombajnem i giętkimi kotwiami

Fig. 2. Gallery with heading machine and flexible bolting

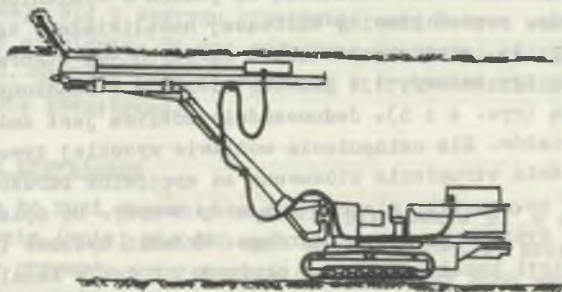


wierzących z obrotowym sposobem pracy. Dla takich urządzeń wiertniczych, zwłaszcza gdy laweta wiertnicza umocowana jest na własnym podwoziu jezdycznym, musi istnieć wystarczająco duża przestrzeń. Ale również lawety poruszające się po manipulatorze i umieszczone np. na kombajnie chodnikowym wymagają relatywnie dużej przestrzeni roboczej dla optymalnego wykorzystania promienia działania. Znaczącą wadą wymienionych rozwiązań jest konieczność zatrzymania kombajnu w trakoie wiercenia, ponieważ drgania przenoszące się na ramię maszyny w czasie pracy dochodzą do ramienia wiertnicy i prowadzić mogą do zniszczenia żerdzi wiertniczej.

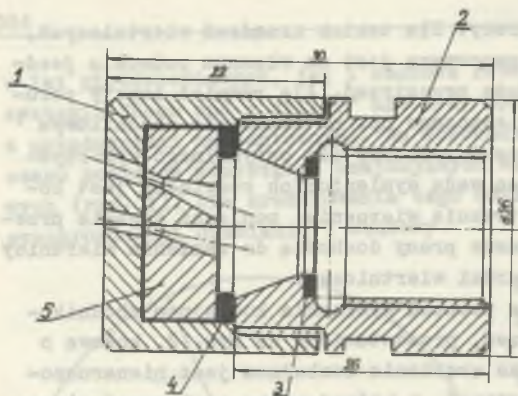
Analityczny sposób rozpatrzenia procesu wycinania kombajnem chodnikowym wykazał, że określona przestrzeń, przedstawiona na rys. 2, kołowa o szerokości 40-60 cm również podczas urabiania kombajnem jest nienaruszona. Linia punktowa ogranicza przestrzeń, w której można zastosować niezależnie od kombajnu pracujące urządzenie wierzące i osadzające kotwie. Przez wykorzystanie tej przestrzeni kołowej osiąga się uniezależnienie obu prowadzonych robót, tj. urabianie kombajnem i wprowadzanie obudowy. To oznacza, że oba te procesy mogą być prowadzone w tym samym czasie.

Przez wykorzystanie tej wolnej, będącej do dyspozycji przestrzeni wyłączone zostałyby stosowane dotychczas urządzenia wierzące, ponieważ wysokość tej przestrzeni jest znacznie mniejsza niż długość wprowadzanych otworów wiertniczych. Konsekwencją tego jest stosowanie nowego sposobu urabiania górotworu, który nie pracuje na bazie mechanicznej.

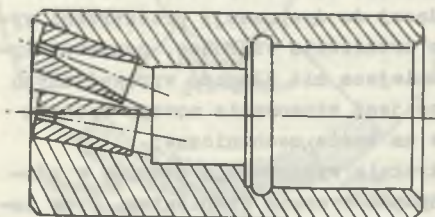
Jako nowy system urabiania skał w trakoie wykonywania otworów w górnictwie zaproponowano zastosowanie wody pod wysokim ciśnieniem. Przy zastosowaniu tej technologii musi istnieć element przenoszący wodę lub ciecz. Wybiera się element giętki, np. przewód, bo możliwe jest wygięcie się tego elementu. To oznacza, że z kierunku osi otworu można wykonać otwór promieniowy do chodnika (rys. 3). Przedstawiono tu wóz wiertniczy z urządzeniem HDW, który może wykorzystać odpowiednią stojącą do dyspozycji przestrzeń wolną.



Rys. 3. Wóz wiertniczy do wiercenia pod kątem wodą pod wysokim ciśnieniem  
Fig. 3. Drill truck for water drilling at an angle under high pressure



Rys. 4. Głowica z płytkami  
Fig. 4. Head with plates



Rys. 5. Głowica z wkładkami dyszowymi  
Fig. 5. Head with nozzle insert

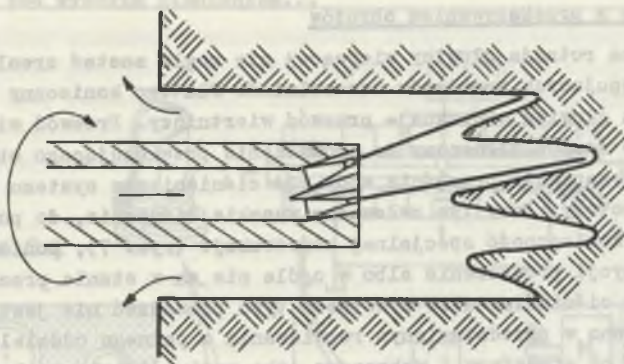
łności dysza - skała na głębokość wnikania, co podano w wymienionej publikacji. Konstrukcyjnie, postać głowicy wiercącej umożliwiłaby zarówno zintegrowany typ budowy, tj. głowicę wierzącą z nawierconymi otworami dysz, jak również składany typ budowy, tj. głowicę wierzącą z osadzonymi dyszami lub płytą dyszową (rys. 4 i 5). Jednocześnie możliwa jest zmiana stosowanych w nich materiałów. Dla osiągnięcia możliwie wysokiej żywotności obrzeży dysz na wyjściu strumienia stosowane są specjalne bardzo wytrzymałe materiały, jak np. szafir, diament lub stop twarde. Do opisanych badań wybrano wkładki dyszowe ze stopu twardego. Wkładki dyszowe (rys. 5) wykazują stosunek wlot: kanał prowadzący około 3:1 i kąt w kanale wlotowym  $20^\circ$ . Wielkości te określono na podstawie literatury jako kompromis pomiędzy możliwie chroniącym przepływem na wlocie i uzasadnioną wielkością budowy. Przy tym wypływający strumień jeszcze w odległości kilku centymetrów wykazuje wystarczająco dobrą wiązkę.

Dla realizacji urządzenia wierzącego HDW opisanego wcześniej typu konieczne jest stosowanie 5 następujących części składowych:

#### 1. Głowica dysz

Głowica ta zawiera określoną liczbę dysz skrawających. Wypływająca z dysz woda pod wysokim ciśnieniem ma za zadanie zniszczenie struktury skały i odprowadzenie zwiercin. Biorąc w tym udział takie efekty, jak: kawitacja, erozja, impuls siły i działanie stożka ciśnienia. Ciśnienie wody niezbędne do urobienia skały określa się na podstawie wielkości ciśnienia progowego. Tak np. ciśnienie progowe dla piaskowca z Zagłębia Ruhry podano w publikacji profesora Erdmann-Jesnitza jako 300-400 bar. Dla osiągnięcia wystarczająco wysokiej prędkości zniszczenia ciśnienie z dyszy powinno jednakże wynosić minimum 3-krotnie więcej. Dla tego zakresu ciśnienia nie odgrywa żadnej roli wpływ odleg-





Rys. 6. Schematyczne przedstawienie wiercenia za pomocą strumieni wody pod wysokim ciśnieniem

Fig. 6. The scheme of water drilling under high pressure

Rozmieszczenie strumieni wodnych należy tak dobrać, żeby zapewnić głowicę wolną od sił poprzecznych, aby nie występowało odchodzenie przewodu wiertniczego. Wypływające strumienie wody opisują tory kołowe i urabiają po nich skałę. Przy tym okazało się celowe wybranie dwóch lub więcej strumieni skierowanych na zewnętrzny i wewnętrzny tor kołowy (rys. 6). Powstające pomiędzy oboma torami kołowymi żebra skały usuwane są w trakcie posuwu głowicy wierzącej.

## 2. Przewód wiertniczy

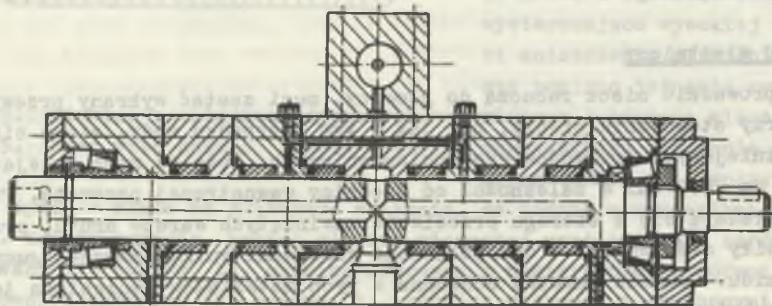
Aby doprowadzić ciecz roboczą do głowicy, musi zostać wybrany przewód giętki. Przy stosowaniu cieczy, np. jak w tym przypadku wody, sięga się do już istniejących przewodów wysokociśnieniowych. Węże te mogą przejąć ciśnienia do 2000 bar w zależności od średnicy wewnętrznej przewodu. Przewody te składają się z szeregu przeciwnie nawiniętych warstw drutu, przejmujących siły ciśnienia. Są one połączone warstwami wulkanizowanej gumy lub poliamidu. Grubsza warstwa ochronna z tych materiałów naniesiona jest na powierzchnię zewnętrzną.

## 3. Urządzenie prowadzące

Urządzenie to musi zapewnić odgięcie przewodu o  $90^\circ$  w obrębie zadanego promienia gięcia (mniej niż 400 mm). Musi ono również przejąć elastyczne siły wewnątrz przewodu oraz umożliwić jednoczesny ruch posuwisty (postęp) i rotacyjny (obroty). Poza tym należy przewidzieć urządzenia służące do procesu rozpoczęcia wiercenia.

#### 4. Prowadzenie z przekazywaniem obrotów

Indywidualna rotacja głowicy wierzącej nie mogła zostać zrealizowana w wyniku występujących problemów uszczelnień. Dlatego konieczny był obrót całego systemu głowica wierząca - przewód wiertniczy. Przewód wiertniczy musiał dlatego zostać dołączony do prowadzenia przekazującego obroty. Prowadzenie to zapewnia przejście wody pod ciśnieniem z systemu stacjonarnego na obrotowy. Przy tym zwłaszcza wysokie ciśnienia, do ponad 1000 bar, powodują konieczność specjalnej konstrukcji (rys. 7), ponieważ stojące do dyspozycji prowadzenia albo w ogóle nie są w stanie pracować w tych zakresach ciśnienia, albo żywotność tych prowadzeń nie jest odpowiednia. Zrezygnowano w przedstawionym rozwiązaniu z pełnego oddzielenia wody pod ciśnieniem od atmosfery i wybrano jako medium dzielące olej viskozowy. Olej ten za pomocą małego przekątnika ciśnienia, zwiększającego ciśnienie oleju w stosunku do ciśnienia wody, pompowany jest na tylną stronę uszczelnienia wewnętrznego. Smarowanie uszczelnień wału jest w każdej chwili zapewnione. Uszczelnienie oleju, posiadające znacznie większą lepkość niż woda w stosunku do atmosfery, jest możliwe. Trzeci pakiet uszczelnień daje dodatkowe bezpieczeństwo. Wybrano symetryczny typ prowadzenia, zapewniający brak sił osiowych w elementach budowy. Zainstalowano automatyczną kontrolę ciśnienia, dokonującą pomiarów na wale przekątnika i działającą w przypadku silnych przecieków. Przez to w przypadku uszkodzenia uszczelnień urządzenie jest natychmiast wyłączane.



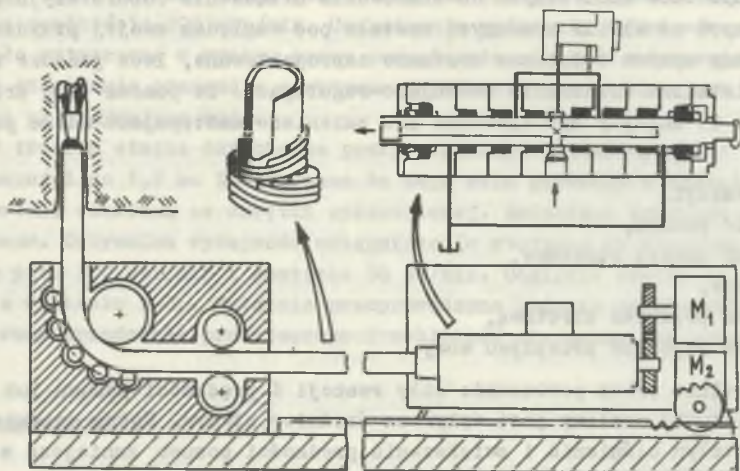
Rys. 7. Urządzenie prowadząco-napędzające

Fig. 7. Leading-driving mechanism

#### 5. Napędy

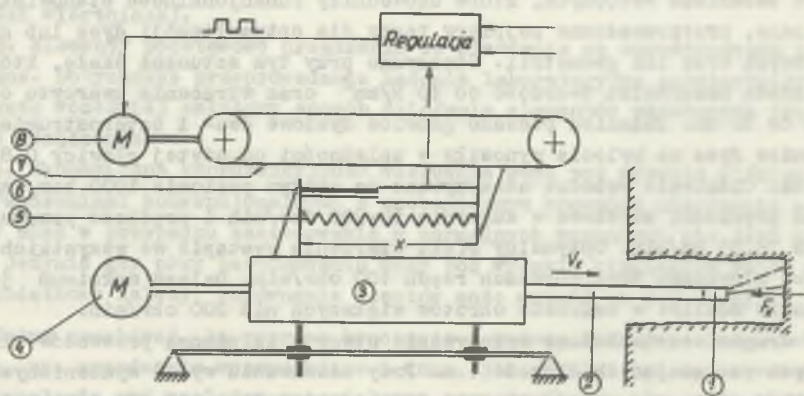
Urządzenie wierzące wymaga albo dwóch oddzielnych napędów na posuw i obroty, albo kombinowanego napędu dla obu ruchów. W przedstawionym przykładzie (rys. 8) przewidziano silnik M1 dla osiągnięcia obrotów, silnik M2 dla osiągnięcia posuwu za pośrednictwem koła zębatego i zębátky. Odpowiednimi silnikami byłyby silniki regulowane elektryczne lub pneumatyczne.





Rys. 8. Urządzenie do wiercenia katowego strumieniem wody pod wysokim ciśnieniem

Fig. 8. Mechanism for angular drilling by the stream of water under high pressure



- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1. Błonica wierząca                    | 5. Sprężyna naciągowa       |
| 2. Żerdź wiertnicza                    | 6. Potencjometr             |
| 3. Urządzenie prowadzi-<br>napędzające | 7. Przekładnia tarcuchowa   |
| 4. Silnik wymuszający obroty           | 8. Silnik wymuszający posuw |

Rys. 9. Sterowanie posuwu

Fig. 9. Steering of the advance

Pięć systemów koniecznych do zbudowania urządzenia laboratoryjnego i niezależnych od siebie zbadanych zostało pod względem swojej przydatności. Jako osobny system dołączone zostanie zaprojektowane, lecz jeszcze nie-urzeczywistnione urządzenie sterująco-regulujące. Za pomocą tego urządzenia (rys. 9) mogłyby być śledzone lub zmieniane następujące ważne parametry:

- siła reakcji,
- prędkość posuwu,
- wymagany moment obrotowy,
- ciśnienie,
- chwilowa prędkość obrotowa,
- chwilowa objętość przepływu wody.

Szczególnie przez powiązanie siły reakcji i prędkości posuwu lub prędkości obrotowej możliwy jest wpływ na średnicę otworu. Można oczekiwać, że przy stałym ciśnieniu i zwiększeniu prędkości posuwu zmniejsza się średnica otworu i odwrotnie. W znacznym stopniu na zależność tę wpływają również parametry skały, jak: twardość, ścieralność, budowa ziarnista, struktura oraz kłiważ i płaszczyzny osłabione.

#### PRZEBIEG BADAŃ

Po badaniach wstępnych, które udowodniły funkcjonalność stanowiska badawczego, przeprowadzono najpierw testy dla optymalizacji dysz lub głowic dyszowych oraz ich geometrii. Stosowano przy tym sztuczną skałę, która posiadała maksymalną twardość do  $40 \text{ N/mm}^2$  oraz wtrącenia kwarcytu o ziarnach do 20 mm. Badaniom poddano głowice dyszowe dwu- i czterostrumieniowe. Średnice dysz na wylocie wynosiły w zależności od użytej głowicy 0,8 do 1,2 mm. Ciśnienie robocze utrzymywano na stałym poziomie 1000 bar, zmieniano prędkości obrotowe w zakresie 50-200 obr/min i prędkość posuwu od 15 do 78,75 cm/min. Optymalny efekt wiercenia wystąpił we wszystkich badanych głowicach przy obrotach rzędu 100 obr/min. Dalsze maksimum jest jednakże możliwe w zakresie obrotów większych niż 200 obr/min.

W drugim etapie badano wykonywanie otworów za pomocą przewodów ciśnieniowych posiadających długość 1 m. Przy zachowaniu wyżej wymienionych parametrów wyciągnąć można wniosek, że zastosowanie przewodów wysokociśnieniowych jako przewody wiertnicze jest zasadniczo możliwe. Osiągnięto prędkości posuwu do 50 cm/min, przy czym oczywiście zachodziła silna zależność od prędkości obrotowej głowicy wierzącej. Okazało się również, że testowe przewody wysokociśnieniowe, wzięte do badań z grupy seryjnie produkowanych, odpowiadały poza jednym przypadkiem stawianym wymaganiom odnośnie do trwałości oraz zużycia. Dla sprawdzenia przeprowadzono przed rozpoczęciem właściwych badań badania zużycia, przy czym wszystkie przewody przy



statycznym ciśnieniu wewnętrznym 1000 bar poddano milionowi obrotów ze stałą prędkością 200 obr/min. Uszkodzenia wystąpiły tylko wówczas, gdy ciepło wytworzone w wyniku pracy przeginasia nie było odprowadzane. Podczas stosowania przewodów efektywne chłodzenie zapewnione jest zawsze przez przepływającą wodę.

W trzecim etapie dotychczas przeprowadzonych badań wykonano otwory o głębokości do 1,2 m. Zastosowano do tego celu przewody o długości 2 m z powłoką ochronną ze skrętki spłaszczonej. Zmieniano prędkość obrotową i posuw. Optymalną wydajność osiągnięto (w stojącym do dyspozycji zakresie) przy 200 obr/min i postępie 50 cm/min. Odgięcie otworu od osi wiercenia wyniosło 2-3%. Ostatnio przeprowadzone badania potwierdziły gotowość do pracy urządzenia prowadzącego i możliwość wiercenia pod kątem.

#### PODSUMOWANIE

Badania wykonania otworów za pomocą wody pod wysokim ciśnieniem dały następujące wyniki:

1. Wykonanie otworów za pomocą wody pod wysokim ciśnieniem bez dodatkowych urządzeń jest możliwe także w twardej skale.

2. Za pomocą tej metody, która wśród metod niekonwencjonalnych przedstawia najlepsze warunki dla stosowania w podziemnym górnictwie węgla kamiennego, można zrealizować otwór wiertniczy pod dowolnym kątem do osi żerdzi wiertniczej.

3. Elementy podstawowe urządzenia do wiercenia są skonstruowane i zbudowane. Dotychczas przeprowadzone badania laboratoryjne potwierdziły bez zarzutu wcześniej założony sposób działania elementów składowych jak i całego urządzenia.

4. Ekonomiczna konkurencyjność wiercenia wodą pod wysokim ciśnieniem z urządzeniami konwencjonalnymi o mechanicznym sposobie niszczenia struktury skał w przypadku zastosowania w normalnych warunkach nie jest możliwa. Jedynie gdy przy zastosowaniu wody pod wysokim ciśnieniem dojdą do głosu dodatkowe zalety, porównanie kosztów może wypaść na jej korzyść.

Można oczekiwać, że poprzez koncepcję i budowę dalszych elementów systemu, np. urządzenia wspomagające i inne, jak również zmianę, ewentualnie doskonalenie pod względem materiałowym poszczególnych elementów będzie polepszenie wyników.

## LITERATURA

- [1] Spies K.: Entwicklungsmethodische Konzeption von Bergwerkmaschinen und -geräten.
- [2] Spies K.: The Technology of High Pressure Jet Cutting and the Development of Suitable Machinery for its Application. Referat na 2 U.S. Water Jet conference, May 1983.
- [3] Institut für Bergbaukunde II der RWTH Aachen: Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben "Anwendung des abgewinkelten Bohrens ...". Sprawozdanie dla Steinkohlenbergbauverein, Essen.
- [4] Knickmeyer N.: Die Entwicklung neuer Methoden der Gesteinzerkleinerung. W: Der leitende Angestellte 9/1983.
- [5] Henssen D.: Praca studyjna "Bohren mit Hochdruck-wasserstellen" w Instytucie Bergbaukunde II RWTH Aachen, 8/1984.
- [6] Schablitzky W.: Praca studyjna "Bohrtechnik Höchstdruckwasser I" w Instytucie Bergbaukunde II RWTH Aachen, 1/1986.
- [7] Drensek Th.: Praca studyjna "Bohrtechnik Höchstdruckwasser II" w Instytucie Bergbaukunde II RWTH Aachen, 5/1986.

Recenzent: Prof. dr inż. Włodzimierz SIKORA

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1987 r.

БУРЕНИЕ ВОДОЙ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ  
ОГРАНИЧЕННОГО РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА

Р е з ю м е

В статье представлены работы, проводимые в институте Бергбауkunde II Рейнско-Вестфальского политехнического института в Аахен в области бурения скважин в скалах при помощи воды под высоким давлением.

В первой части представлен анализ процесса проходки эксплуатируемых штреков штрекопроходческими комбайнами. Уделено внимание возможности согласования процессов добычи и крепи выработки в случае анкерного крепления горных пород. Это требует выполнения анкерных скважин в условиях ограниченного рабочего пространства. Представлены составные элементы бурового устройства, обеспечивающего выполнение этого задания. Во второй части статьи представлен процесс исследований на стенде, установленном в институте, а также описаны полученные эффекты.

Автор статьи основал свои рассуждения на развивающейся методике, представленной профессором Списом и доказал ее правильность, выполняя своё устройство из общепринятых элементов машин. В заключение дана характеристика проблем, связанных с бурением скважин в условиях ограниченного рабочего пространства.



WATER DRILLING UNDER HIGH PRESSURE IN THE CONDITIONS OF LIMITED WORKING AREA

Summary

The paper presents the studies carried out in the Bergbaukunde Institute of the II Rhine-Westfal Technical University in Aachen concerning the water drilling of the holes in the rocks under high pressure.

The first part analyses the process of extraction gallery driving by heading machine and attention was paid to the possibility of synchronization of the mining and lining processes in the case of the lining with the ground bolting.

Bolting holes are to be made in the conditions of limited working area.

The components of the drilling unit realizing the task were presented.

The second part of the paper shows the investigations at the stand installed at the Institute and describes the results obtained.

The author of the paper based his considerations on developing methodology that is represented by prof. Spies and proved its rightness constructing the mechanism by means of widely used machine elements.

In recapitulation the problems connected with the hole drilling in the conditions of limited working area were considered.