

## Próby dołowe technologii drążenia tuneli ratowniczych metodą niszczenia spójności skał

### Streszczenie

W artykule opisano, opracowaną w ITG KOMAG, technologię drążenia tuneli ratowniczych poprzez niszczenie spójności górotworu. Zaprezentowano w niej nowe podejście do zagadnienia drążenia tuneli, szczególnie w warunkach prowadzenia akcji ratowniczych. Do niszczenia spójności skał zaproponowano metodę wykorzystania małych energii. Przedstawiono również wyniki badań dołowych mających na celu sprawdzenie technologii oraz wstępne określenie jej efektywności.

**Słowa kluczowe:** ratownictwo górnicze, metody drążenia tuneli, niekonwencjonalne urabianie skał

**Keywords:** mine rescue work, methods of tunnels driving, unconventional rock mining

### Summary

Technology of driving the rescue tunnels by destruction of rock mass, developed in KOMAG, is described. New approach to the problem of driving the tunnels, especially during rescue actions is presented. The low-energy method for rock destruction is suggested. The results of underground field tests, aiming at verification of the technology and initial assessment of its effectiveness were also presented.

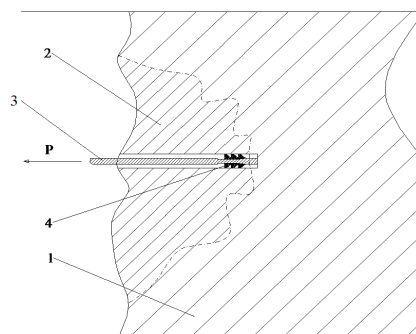
## 1. Wstęp

Ekstremalnie trudne warunki górniczo-geologiczne oraz ograniczenia przestrzenne i czasowe prowadzenia akcji ratowniczych, praktycznie eliminują możliwość zastosowania konwencjonalnych metod drążenia wyrobisk. Konieczność wydrążenia krótkiego chodnika o niewielkich gabarytach uniemożliwia wprowadzenie mechanizacji, jak również stosowanie materiałów wybuchowych [1]. Urządzenia przeznaczone do takich robót muszą charakteryzować się niewielkimi gabarytami, aby istniała możliwość sprawnego dostarczenia do miejsca prowadzenia akcji ratowniczej. Nie powinny one również stwarzać zagrożenia dla ludzi oraz gwarantować bezpieczeństwa realizowanego procesu. W takich przypadkach często stosuje się jedynie ręczne urabianie za pomocą lekkich młotków pneumatycznych. Jest to jednak nieefektywne i czasochłonne [2] zwłaszcza, gdy czas dotarcia do uszkodzowanych, a także wykonanie chodnika ratunkowego o solidnej i stabilnej konstrukcji są niezwykle istotne. Alternatywą jest technologia drążenia tuneli poprzez niszczenie spójności skał z zastosowaniem lekkich i łatwych w transporcie narzędzi ręcznych. Metoda ta jest bezpieczna, gdyż nie zagraża odrzutem urabianych skał i można ją stosować niezależnie od poziomu zagrożenia metanowego. Technologia ta nie powoduje destrukcji górotworu poza ściśle wyznaczoną strefą, co jest jej niezaprzeczalną zaletą. Prace nad technologią drążenia tuneli ratowniczych metodą niszczenia spójności skał prowadzone są w ITG KOMAG w ramach projektu europejskiego INREQ.

## 2. Metoda niszczenia spójności skał

Technologia drążenia tuneli ratowniczych metodą niszczenia spójności skał, w różnych odmianach, jest znana, jako sposób urabiania skał zwięzłych alternatywny do metod drążenia wyrobisk z zastosowaniem materiałów wybuchowych [3, 5].

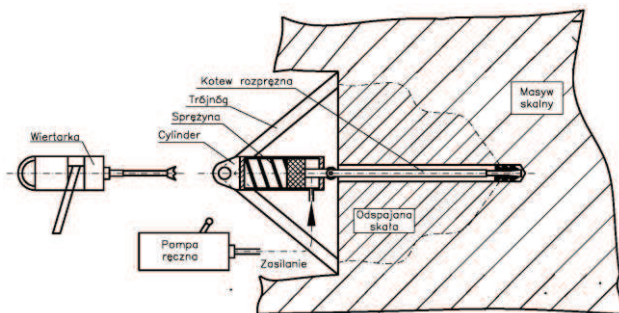
Proponowana przez autorów metoda polega na tym, że w czole urabianego wyrobiska wiercone są otwory, do których wprowadza się urządzenia z elementami rozpięrającymi (rys. 1). Po zaklinowaniu elementu rozpięrającego w dnie otworu, następuje jego wyciąganie, powodujące wyrywanie fragmentu masywu skalnego. Taki sposób drążenia może być mniej energochłonny, gdyż pokonuje wytrzymałość skał na rozciąganie, około dziesięciokrotnie mniejszą od wartości wytrzymałości na ścisnienie [3].



Rys. 1. Metoda urabiania poprzez niszczenie spójności skał; 1-masyw skalny, 2-odspojona skała, 3-element wyrywający, 4-element rozpięrający, P – siła wyrywająca [1]

Metoda pozwala wykonywać (drażyć) chodnik o dowolnym przekroju, przy użyciu prostych narzędzi, jakimi są: wiertarka udarowa, kotew, pompa ręczna oraz cylinder hydrauliczny. Można ją stosować zarówno w przypadku skał zwięzłych, jak i łatwo urabialnych, a kierunek drażenia może być dowolny (pionowy, poziomy, skośny). Nie gwarantuje ona dużego postępu robót, jednak umożliwia drażenie wyrobiska ratowniczego praktycznie w każdych warunkach górniczo-geologicznych.

W metodzie przewiduje się wykorzystanie następujących narzędzi: wiertarka do wykonania otworu wiertniczego, kotew, cylinder hydrauliczny, pompa ręczna oraz podpora nośna (trójnóg) [1].



Rys. 2. Metoda urabiania poprzez niszczenie spójności skał kotwą [1]

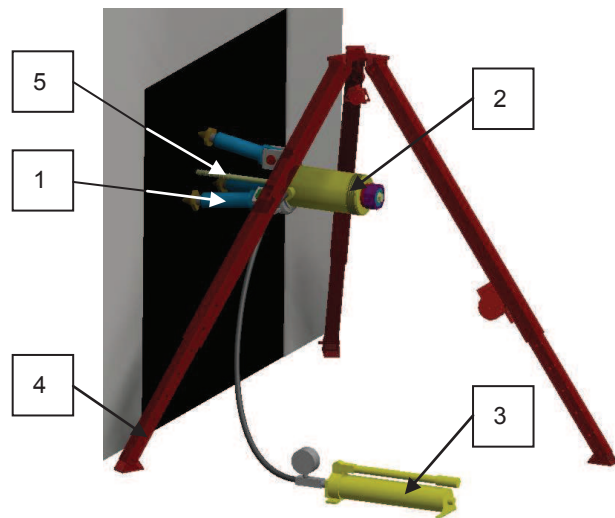
Opis technologii drażenia tuneli ratowniczych z zastosowaniem ww. metody zaprezentowano na rysunku 2. Do wykonanego otworu wprowadzana jest kotwa, której wystający koniec łączy się z końcem drąga tłokowego cylindra. Cylinder mocowany jest poprzez ucho, do podpory nośnej, która rozparta jest o caliznę, poza przewidywaną strefą odspojenia. Wprowadzenie oleju do nadtłokowej części cylindra wywołuje napięcie układu, a następnie wyrwanie skał. Powtarzanie omawianego procesu prowadzi do wydrażenia wyrobiska ratowniczego. Przekrój poprzeczny wyrobiska może być formowany poprzez odpowiednie rozmieszczenie wierconych otworów, a powstające nierówności obrysu wyrobiska mogą zostać usunięte za pomocą młotków udarowych lub ręcznie.

### 3. Urządzenie do drażenia wyrobisk ratowniczych

W ramach projektu INREQ wykonano urządzenie doświadczalne przeznaczone do badań technologii drażenia metodą niszczenia spójności skał. Urządzenie (UDWR-1) składa się z następujących elementów (rys. 3):

- podpora nośna (1),
- cylinder hydrauliczny (2),
- pompa ręczna (3),
- statyw (4),
- kotew (5).

Niezbędnym wyposażeniem dodatkowym do drażenia wyrobiska jest wiertarka oraz żerdź z koronką.



Rys. 3. Model 3D urządzenia do drażenia wyrobisk ratowniczych UDWR-1 [źródło: opracowanie własne]

Drażenie za pomocą omawianego urządzenia polega na wywierceniu otworu oraz zakotwieniu w nim kotwy. Następnie za pomocą statywu, na którym zawieszona jest podpora nośna z cylindrem hydraulicznym, następuje mocowanie kotwy do cylindra hydraulicznego.

Po wstępnym rozparciu podpory nośnej za pomocą cylindra, można zluzować linę statywu i za pomocą pompy ręcznej zwiększać ciśnienie w cylindrze, aż do wyrwania kotwy, wraz z odspojoną skałą. Na rysunku 4 pokazano urządzenie podczas drażenia wyrobiska.



Rys. 4. Urządzenie drażące wyrobisko ratunkowe [4]

#### 4. Badania dołowe

Próby wrywania calizny skalnej, za pomocą urządzenia UDWR-1, przeprowadzono w warunkach dołowych w kopalni Guido, w Zabrze, w wyrobisku kamiennym (piaskowiec). Celem prowadzonych badań było sprawdzenie technologii drążenia wyrobiska metodą niszczenia spójności skał oraz wstępne określenie jej efektywności. Przed przystąpieniem do prób dokonano pomiaru twardości skały za pomocą sklerometru Schmidta. Zmierzone wartości twardości skały wynosiły 32-37 MPa.

W ramach prób sprawdzano możliwości wykorzystania dwóch typów kotew produkcji Hilti: wkręcanych typu HMS-MX oraz samopodcinających dno otworu typu HDA-P (rys. 5).

a)



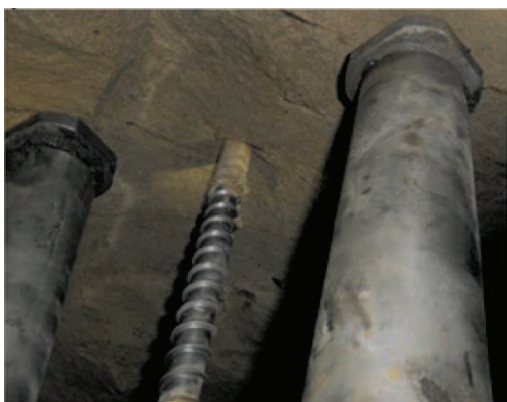
b)



Rys. 5. Kotwy produkcji Hilti;

a) wkręcane HMS-MX, b) samopodcinające HDA-P [4]

a)



b)



Rys. 6. Wrywanie (wyciąganie) kotew HMS-MX

a) kotew w trakcie wrywania,

b) kotew HMS-MX po wyciągnięciu z otworu [4]

W ramach prowadzonych badań wykonano próby wrywania calizny skalnej kotwami wkręcanych typu HMS-MX. Próby dały wyniki negatywne. W każdej z prób, gwint nacięty w skałę ulegał zniszczeniu i kotew wysuwała się z otworu (rys. 6).

Próby wrywania skał z zastosowaniem kotew rozprężnych HDA-P wykazały, że jest możliwe wrywanie calizny skalnej w formie regularnych stożków. Wrywanie calizny skalnej przy użyciu kotwy samopodcinającej HDA-P pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Wrywanie calizny skalnej przy użyciu kotwy samopodcinającej HDA-P [4]

Przykładowy, wyrwany stożek skalny pokazano na rys. 8, a na rys. 9 ocios z wyrwanym fragmentem skały.



Rys. 8. Wyrwany stożek skalny [4]



Rys. 9. Ocios z wyrwanym fragmentem skały [4]

W trakcie badań osadzano kotwy na różnej głębokości i rejestrowano dane niezbędne do określenia parametrów urabiania. Sporządzano również dokumentację fotograficzną oraz filmową obrazującą poszczególne czynności wykonywane w wyrobisku. Rejestrowano parametry ciśnienia oraz wymiary geometryczne wyłomu skalnego powstałego w wyniku wyrwania kotwi.

Badania pozwoliły na określenie czasu poszczególnych czynności w trakcie drążenia urządzeniem UDWR-1:

- wiercenie otworu – ok. 1 min,
- osadzanie kotwy typu HDA-P – ok. 2 min,
- mocowanie UDWR-1 – ok. 8 min,
- wyrwanie – średnio około 5 min.

Czas wyrwania skały był bardzo zróżnicowany (średni czas „od zabioru do zabioru” wyniósł 15 min 30 s). Na podstawie zmierzonych wymiarów podstawy i głębokości wyrwania, które można określić jako stożek eliptyczny, obliczono średnią objętość wyrwanej skały (dla wszystkich prób średnia wyniosła 0,012 m<sup>3</sup>).

Analiza wyników badań pozwoliła na podział głębokości kotwienia na grupy:

grupa I – średnia głębokość kotwienia ok. 0,17 m (tabela 1),

grupa II – średnia głębokość kotwienia ok. 0,19 m (tabela 2),

grupa III – średnia głębokość kotwienia ok. 0,23 m (tabela 3).

#### Wyniki wyrwania calizny skalnej - grupa I [4]

Tabela 1

| Głębokość kotwienia [m] | Ciśnienie maks. [MPa] | Głębokość wyrwania [m] | Wymiary podstawy wyrwania [m] |         | Pole powierzchni podstawy wyrwania [m <sup>2</sup> ] | Czas operacji [min] | Objętość wyrwania [m <sup>3</sup> ] |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|---------|--|---------------------|-------------------------------------|
|                         |                       |                        | pionowo                       | poziomo |  |                     |                                     |
| 0,14                    | 12                    | 0,12                   | 0,92                          | 0,62    | 0,448  |                     | 0,018                               |
| 0,16                    | 15                    | 0,03                   | 0,13                          | 0,32    | 0,327  |                     | 0,003                               |
| 0,16                    | 15                    | 0,12                   | 0,6                           | 0,4     | 0,188  |                     | 0,075                               |
| 0,17                    | 12                    | 0,09                   | 0,35                          | 0,35    | 0,962  | 15                  | 0,003                               |
| 0,18                    | 14                    | 0,14                   | 0,54                          | 0,71    | 0,301  | 14                  | 0,014                               |
| 0,18                    | 12                    | 0,13                   | 0,43                          | 0,42    | 0,142  | 14                  | 0,006                               |
| 0,18                    | 21                    | 0,14                   | 0,55                          | 0,70    | 0,302  | 17                  | 0,014                               |
| 0,185                   | 10                    | 0,125                  | 0,24                          | 0,40    | 0,754  | 15                  | 0,003                               |
| <b>Średnia</b>          | 13,87                 | 0,111                  | 0,47                          | 0,49    | 0,198  | 15                  | 0,008                               |

#### Wyniki wyrwania calizny skalnej - grupa II [4]

Tabela 2

| Głębokość kotwienia [m] | Ciśnienie maks. [MPa] | Głębokość wyrwania [m] | Wymiary podstawy wyrwania [m] |         | Pole powierzchni podstawy wyrwania [m <sup>2</sup> ] | Czas operacji [min] | Objętość wyrwania [m <sup>3</sup> ] |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|---------|--|---------------------|-------------------------------------|
|                         |                       |                        | pionowo                       | poziomo |  |                     |                                     |
| 0,19                    | 11                    | 0,16                   | 0,5                           | 0,7     | 0,275  | 13                  | 0,015                               |
| 0,19                    | 14                    | 0,11                   | 0,5                           | 0,57    | 0,224  | 14                  | 0,008                               |
| 0,19                    | 22                    | 0,15                   | 0,86                          | 0,53    | 0,358  |                     | 0,019                               |
| 0,19                    | 10                    | 0,19                   | 0,65                          | 1,5     | 0,766  | 12                  | 0,048                               |
| 0,19                    | 8                     | 0,19                   | 0,65                          | 0,3     | 0,153  | 12                  | 0,009                               |
| 0,19                    | 24                    | 0,11                   | 0,5                           | 0,8     | 0,314  | 19                  | 0,012                               |
| 0,19                    | 12                    | 0,13                   | 0,5                           | 0,6     | 0,236  | 14                  | 0,01                                |
| 0,19                    | 21                    | 0,15                   | 0,65                          | 0,55    | 0,28   | 18                  | 0,014                               |
| 0,19                    | 8                     | 0,16                   | 0,6                           | 0,5     | 0,236  | 12                  | 0,012                               |
| <b>Średnia</b>          | 14,44                 | 150                    | 601,11                        | 672,22  | 0,316  | 14,5                | 0,016                               |

## Wyniki wyrywania calizny skalnej - grupa III [4]

Tabela 3

| Głębokość kotwienia [m] | Ciężnienie maks. [MPa] | Głębokość wyrwania [m] | Wymiary podstawy wyrwania [m] |         | Pole powierzchni podstawy wyrwania [m <sup>2</sup> ] | Czas operacji [min] | Objętość wyrwania [m <sup>3</sup> ] |
|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|---------|--|---------------------|-------------------------------------|
|                         |                        |                        | pionowo                       | poziomo |  |                     |                                     |
| 0,195                   | 28                     | 0,145                  | 0,2                           | 0,45    | 0,707  | 15                  | 0,003                               |
| 0,2                     | 18                     | 0,15                   | 0,45                          | 0,36    | 0,127  | 15                  | 0,006                               |
| 0,2                     | 24                     | 0,15                   | 0,6                           | 0,78    | 0,367  | 17                  | 0,018                               |
| 0,2                     | 22                     | 0,15                   | 0,57                          | 0,51    | 0,228  | 16                  | 0,014                               |
| 0,2                     | 21                     | 0,18                   | 0,45                          | 0,6     | 0,212  | 14                  | 0,013                               |
| 0,21                    | 27                     | 0,15                   | 0,53                          | 0,43    | 0,179  | 24                  | 0,009                               |
| 0,21                    | 8                      | 0,19                   | 0,7                           | 0,56    | 0,308  | 20                  | 0,019                               |
| 0,25                    | 10                     | 0,18                   | 0,5                           | 0,6     | 0,236  | 5                   | 0,014                               |
| 0,25                    | 20                     | 0,15                   | 0,6                           | 0,6     | 0,283  | 16                  | 0,014                               |
| 0,26                    | 19                     | 0,08                   | 0,4                           | 0,5     | 0,157  | 23                  | 0,004                               |
| 0,26                    | 23                     | 0,17                   | 0,55                          | 0,65    | 0,281  | 15                  | 0,016                               |
| 0,265                   | 25                     | 0,125                  | 0,4                           | 0,36    | 0,113  | 16                  | 0,005                               |
| 0,265                   | 8                      | 0,210                  | 0,5                           | 0,6     | 0,236  | 17                  | 0,016                               |
| <b>Srednia</b>          | 19,46                  | 0,156                  | 0,496                         | 0,538   | 0,215  | 16,5                | 0,012                               |

Dokonane obliczenia wskazują, że głębokość kotwienia ma znaczący wpływ na efektywność technologii. W warunkach, w których prowadzono próby, największą średnią objętość wyrwania uzyskano przy głębokości kotwienia ok. 0,19 m (0,016 m<sup>3</sup>), w tej grupie uzyskano też najniższy średni czas operacji (14,5 min). W przypadku zmiany geometrii podpory nośnej należy ponownie przeprowadzić próby mające na celu wyznaczenie optymalnej głębokości kotwienia.

### 5. Podsumowanie

Technologia drążenia wyrobisk korytarzowych metodą niszczenia spójności skał jest alternatywą dla obecnie stosowanych technologii drążenia wyrobisk ratowniczych. Ze względu na bezpieczeństwo urabiania, technologia może być stosowana w trakcie prowadzenia górniczych akcji ratowniczych. Nie powoduje ona odrzutu skał i może być stosowana niezależnie od stopnia zagrożenia metanowego.

Podstawowe zalety opracowanej technologii to:

- bezpieczne stosowanie w warunkach zagrożenia wyrzutami skał, zagrożenia metanowego oraz przy niestabilnym górotworze,
- urabianie bez destrukcji górotworu wokół wyrobiska,
- możliwość stosowania w przypadku występowania skał zwięzłych,
- niski poziom mechanizacji.

Technologia drążenia tuneli ratowniczych metodą niszczenia spójności skał jest rozwiązaniem nowatorskim, lecz wymaga jeszcze dalszych badań oraz doskonalenia zastosowanych rozwiązań technicznych,

jak również jej organizacji. Przeprowadzone badania potwierdziły, że jest możliwe drążenie opracowaną metodą oraz wskazały kierunki rozwoju technologii poprzez modyfikację urządzeń mechanicznych. W ramach projektu INREQ planowane są kolejne badania, z wykorzystaniem kotew dedykowanych do tej technologii, oraz ze zmodernizowaną podporą nośną. Kolejne badania będą prowadzone w innym, niż dotychczas, przodku kamiennym. Pozwolą zatem na sprawdzenie technologii w odmiennych do dotychczasowych warunkach górniczo-geologicznych.

### Literatura

1. Kalita K.; Prostański D.: Technologia drążenia tuneli ratowniczych metodą niszczenia spójności skał. Przegląd Górniczy 2012 nr 12 s. 86-91.
2. Klich A. i inni: Niekonwencjonalne techniki urabiania skał, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1998.
3. Krauze K. i inni: Wybrane problemy eksploatacji węgla i skał zwięzłych. Katedra Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych AGH, Kraków 2009.
4. Drwięga A. i inni: Sprawozdanie za rok 2014 z realizacji projektu INREQ ITG KOMAG. Gliwice 2014 (materiały nie publikowane).
5. Prostański D. i inni: Niekonwencjonalny sposób urabiania skał poprzez niszczenie spójności górotworu. Koncepcja nowego sposobu urabiania skał poprzez niszczenie spójności górotworu ITG KOMAG. Gliwice 2009 (materiały nie publikowane).

*Artykuł wpłynął do redakcji w lutym 2015 r.*