

# 10

## NARZĘDZIA Dyskowe – Alternatywa dla Narzędzi Skrawających

### 10.1 WSTĘP

W kopalniach podziemnych, zarówno w Polsce jak i na świecie, jedną z najczęściej stosowanych metod urabiania skał zwięzłych w procesie eksploatacji kopaliny użytecznej oraz drążenia wyrobisk korytarzowych udostępniających i przygotowawczych jest metoda mechaniczna. Pozwala ona na uzyskiwanie dużych wydajności urabiania lub prędkości drążenia, jednak generuje również szereg zagrożeń lub ograniczeń, w zależności od zastosowanych narzędzi urabiających.

Wyrobiska korytarzowe, zwłaszcza udostępniające, wykonywane obecnie są w skałach o bardzo niekorzystnych parametrach. Dotyczy to przede wszystkim dużej wytrzymałości urabianego ośrodka skalnego na jednoosiowe ścisnienie, która w wielu przypadkach przekracza 120 MPa oraz jego struktury. Coraz częściej natrafia się na skały, które posiadają strukturę zbliżoną do jednorodnej, co powoduje, że ich urabianie natrafia na poważne problemy, szczególnie przy zastosowaniu metod mechanicznych. Nie mniej ważnym czynnikiem jest zawartość w skałach minerałów i wtrąceń, powodujących szybkie ścieranie i zużywanie się narzędzi urabiających oraz w przypadku wtrąceń, na przykład sferosyderytów, występowanie silnego iskrzenia podczas pracy [2, 5]. W artykule przedstawiono stosowane metody mechanicznego urabiania skał, ze szczególnym uwzględnieniem narzędzi skrawających i dyskowych oraz zagrożenia (pyłowe, iskrowe, zużycie) i ograniczenia (zwięzłość skał, gabaryty maszyny) występujące w tych metodach.

### 10.2 NARZĘDZIA SKRAWAJĄCE – PRZESZKODY W ICH ZASTOSOWANIU

Obecnie na frezujących organach urabiających kombajnów górniczych stosowane są dwa rodzaje narzędzi skrawających – noże klinowe promieniowe oraz noże stycznobrotowe. Ostrza tych noży są zakończone wkładkami lub słupkami z węglików spiekanych. Pomimo tego, oraz poprawnie dobranych spoczynkowych i ruchowych kątów skrawania, noże te są narażone na szybkie zużycie cierne, nawet przy urabianiu skał mniej zwięzłych. Natomiast podczas urabiania skał zwięzłych noże

klinowe promieniowe mogą ulec zniszczeniu na skutek działania dużych sił zginających [5].

Te niedogodności spowodowały, że obecnie najczęściej na organach kombajnów urabiających skały zwięzłe stosowane są głównie noże styczno-obrotowe, które dzięki swojej konstrukcji i sposobowi mocowania, mają możliwość obracania się w uchwytach nożowych. Noże te są bardziej predysponowane do urabiania skał nawet bardzo zwięzłych, wymagają jednak zachowania odpowiednich parametrów ich pracy. Stosowane są obecnie na organach urabiających prawie wszystkich chodnikowych kombajnów ramionowych oraz większości ścianowych kombajnów węglowych. Widok kilku rozwiązań konstrukcyjnych tych noży, w porównaniu do noży promieniowych, przedstawiono na rysunku 10.1 [5, 8].



**Rys. 10.1 Widok noży promieniowych oraz noży styczno-obrotowych, stosowanych na organach kombajnów górniczych**

Źródło: [8]

Jednak wadą metody urabiania skał przez frezowanie jest generowanie zapylenia oraz ograniczenia zastosowania tej metody, związanego z górną granicą wytrzymałości skał na jednoosiowe ściskanie lub dużą zwięzłością tych skał. W powiązaniu z dużą ściernością takich skał, powoduje to nadmierne zużycie noży skrawających oraz spadek prędkości drążenia. Nadmierne zużycie ostrzy narzędzi również w konsekwencji prowadzi do zwiększonego zapylenia oraz generowania zagrożenia wybuchu gazów kopalnianych, głównie metanu, na skutek powstawania iskrzenia tarcowego (rys. 10.2).

Ten problem występuje szczególnie w przypadku noży promieniowych. Nawet zastosowanie noży styczno-obrotowych powoduje zmniejszenie tego problemu tylko w niewielkim zakresie. Przy urabianiu skał trudno urabialnych niejednokrotnie zwiększone zużycie narzędzi i generowane zagrożenia pyłowe i wybuchu gazu powodują, że mechaniczny proces urabiania skał przez frezowanie staje się ekonomicznie nieopłacalny (mała wydajność i duża energochłonność procesu urabiania, duże zużycie narzędzi). Są prowadzone prace nad opracowaniem bardziej wytrzymałych i trwałych narzędzi skrawających, jednak nawet noże styczno-obrotowe nowej generacji nie zawsze są w stanie zapewnić wymagane parametry urabiania [2, 5].

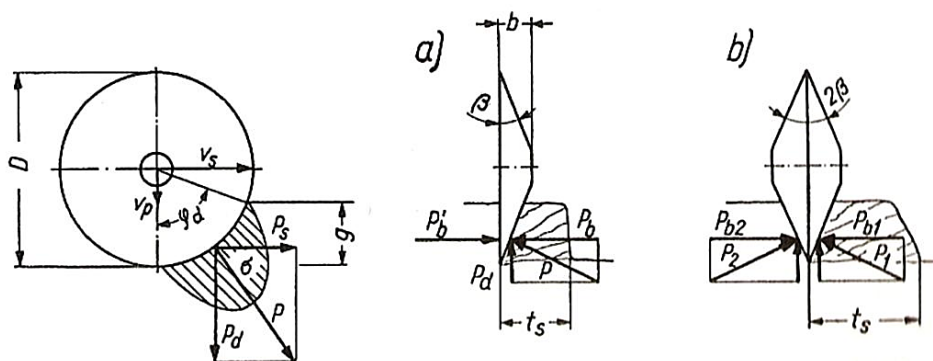


Rys. 10.2 Widok iskrzenia tarcowego i zapylenia podczas skrawania próbki skalnej nożem stycznie-obrotowym oraz zużycia ostrzy noży skrawających

Źródło: Materiały własne

### 10.3 NARZĘDZIA DYSKOWE – ZASADA PRACY ORAZ ICH ZALETY I WADY

Drugą z najczęściej stosowanych w procesie mechanicznego urabiania skał zwięzłych metod, jest urabianie poprzez statyczne zgniatanie, realizowane za pomocą narzędzi krążkowych nazywanych dyskami. Narzędzia dyskowe stosowane do urabiania tą metodą mogą być symetryczne (rys. 10.3b) lub niesymetryczne (rys. 10.3a).

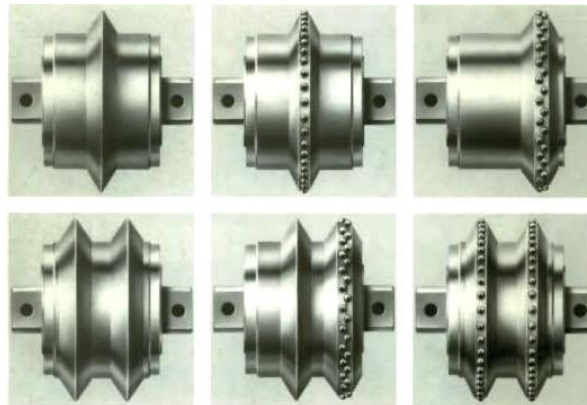


Rys. 10.3 Zasada pracy pojedynczego dysku: a) niesymetrycznego, b) symetrycznego

Źródło: [1]

Metoda ta polega na wciskaniu krawędzi dysku w caliznę skalną z siłą docisku  $P_d$  o kierunku prostopadłym do jej powierzchni [2]. W wyniku działania tej siły, przekroczona zostaje lokalnie wytrzymałość skały na nacisk, następuje jej miażdżenie oraz kruszenie i dysk zagłębia się w niej na głębokość  $g$ . Jednocześnie do uchwytu przyłożona jest siła styczna  $P_s$ , powodująca przemieszczanie się (obtaczanie) narzędzia wzdłuż powierzchni calizny. Obrotowe zamocowanie dysku w uchwycie umożliwia wykonanie ruchu obrotowego dysku wokół osi. Zagłębiany

dysk w skale toczy się wykonując wrąb. Możliwość obracania się narzędzia w głowicy powoduje zmniejszenie sił tarcia, co ogranicza stratę energii oraz generuje bardzo niewielkie zużycie ostrza i zapylenie, w porównaniu do noży skrawających. Ponadto obrót dysku urabiającego powoduje krótki kontakt odcinka krawędzi ze skałą, co znacznie ułatwia odprowadzenie ciepła wydzielającego się na krawędzi dysku i zapewnia bardzo dużą trwałość narzędzia. Wyróżnia się trzy rodzaje narzędzi dyskowych symetrycznych: dyski gładkie, dyski słupkowe i dyski uzębione w wersji jedno i dwu lub trójwieńcowej. Jednak najczęściej wykorzystywane są dwa pierwsze rodzaje, które w widoku przedstawiono na rysunku 10.4. Ich średnice mogą wynosić nawet ponad 500 mm [9, 10]. Profil dyskowy pograżony w caliznie skalnej do pewnej głębokości generuje występowanie obszaru zniszczenia o kształcie identycznym do tego, jaki powstaje w wyniku wnikania w caliznę krzywoliniowego klina.

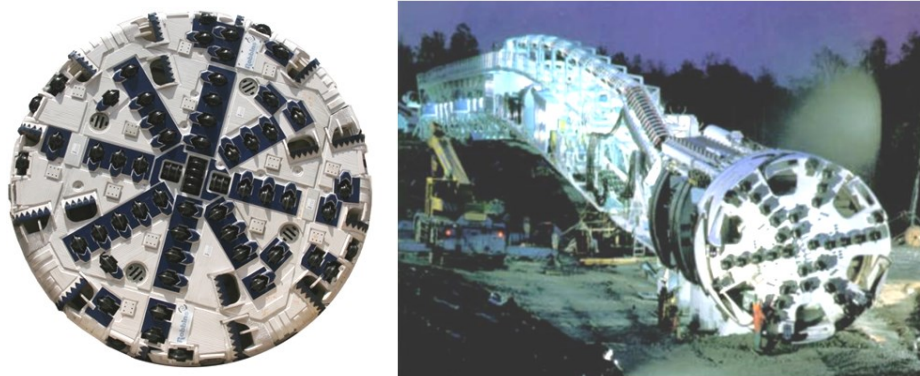


**Rys. 10.4 Widok stosowanych narzędzi dyskowych symetrycznych, jedno i dwuwieńcowych, gładkich i słupkowych**

Źródło: [9]

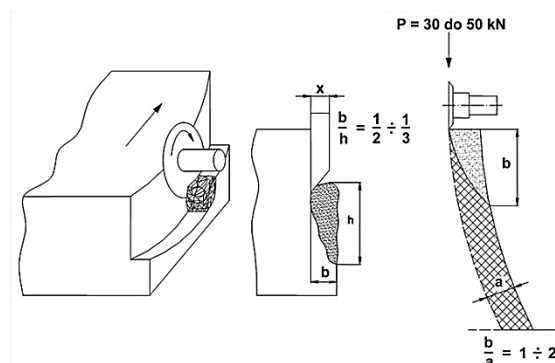
Wadą urabiania przez statyczne zginięcie jest konieczność zapewnienia dużej siły docisku narzędzia. Urabianie to, w odróżnieniu od skrawania, nie wykorzystuje mniejszych wytrzymałości na rozciąganie i ścinanie skały. Niszczenie struktury calizny skalnej następuje w wyniku przekroczenia jej wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie. Według dostępnych danych wartość siły docisku na jedno narzędzie dyskowe przedstawione na rysunku 10.4, może wynosić nawet 300 kN. W przypadku dużej liczby narzędzi dyskowych na organie urabiającym daje to bardzo duże wartości sumarycznej siły docisku (w zależności od średnicy organu nawet do 25000 kN) oraz wielokrotnie większą wartość siły rozparcia kombajnu na boki, dla zapewnienia stabilności jego pracy. Maszyna urabiająca musi przenieść reakcje pochodzące od organu urabiającego i rozpór stabilizujących. Występowanie dużych sił reakcji wymusza dużą masę (do 3500 Mg) i gabaryty maszyny (długość kombajnu dochodząca do 400 metrów). Widok głowicy urabiającej i kombajnu pełno przekrojowego TBM firmy Robbins pokazano na rysunku 10.5. Powoduje to ograniczone zastosowanie tego typu maszyn do drążenia wyrobisk o bardzo dużym

wybiegu, gdzie mogą się zwrócić bardzo duże koszty związane z ich wytworzeniem i zabudowaniem w wyrobisku górniczym [2, 9, 10].



Rys. 10.5 Widok głowicy urabiającej z narzędziami dyskowymi i kombajnu TBM firmy Robbins  
Źródło: [10]

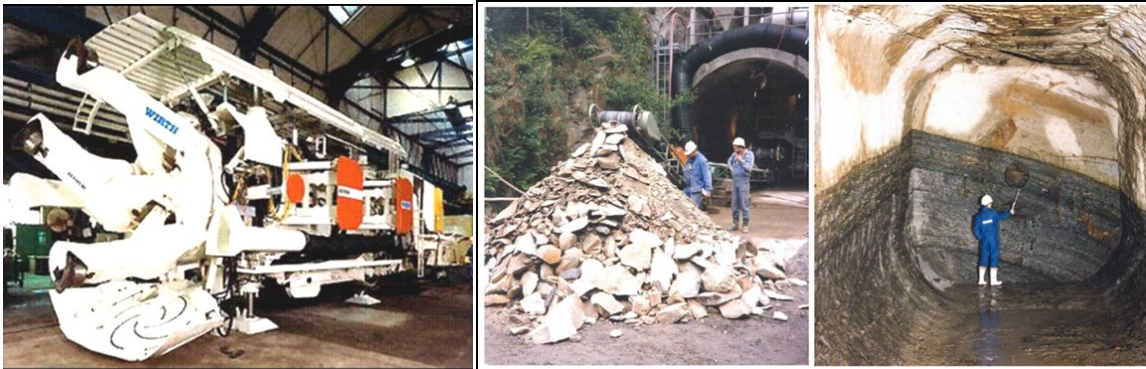
Narzędzia dyskowe niesymetryczne wykorzystuje się w technice mechanicznego urabiania nie tylko jako narzędzia zgniatające, ale również jako narzędzia odłupujące [2]. Ideą urabiania poprzez odłupywanie narzędziem dyskowym jest wykorzystanie charakterystycznej dla skał, kilku a nawet kilkunastokrotnie mniejszej wytrzymałości na rozciąganie od wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie. Zasadą techniki podcinania jest urabianie skały przez odcinanie jej w kierunku wolnej powierzchni. Narzędzie dyskowe działa na skałę stycznie do powierzchni urabianej calizny, podobnie jak to ma miejsce w przypadku narzędzia skrawającego, jednak odmienność tej metody polega na wykorzystaniu ruchu obtaczania dysku, co eliminuje skutecznie tarcie ślizgowe na rzecz tarcia tocznego. Na rysunku 10.6 pokazano schemat urabiania metodą tylnego podcinania. Wykorzystanie narzędzi dyskowych w ten sposób obniża zużycie energii i wartość siły docisku, co daje możliwości konstrukcji maszyny urabiającej o odpowiednio niższych parametrach energetycznych, mniejszych wymaganiach ze względu na kryterium stateczności, aniżeli ma to miejsce w przypadku klasycznych dysków miażdżących, działających w kierunku prostopadłym do powierzchni urabianej calizny [1, 11].



Rys. 10.6 Schemat zasady urabiania metodą tylnego podcinania

Źródło: [1, 11]

W przypadku tej metody występują jednak silnie zmieniające się siły boczne na ostrzach narzędzi dyskowych. Jest to powodem trudności z prawidłowym przejmowaniem reakcji na uchwytach narzędzi dyskowych oraz ich łożyskowaniem. Dlatego też, po wstępnych badaniach kombajnu urabiającego tą metodą, wyposażonego w cztery wychylne ramiona i zakończonych pozytywnymi rezultatami w końcu XX wieku, wstrzymano się z dalszym rozwojem maszyn wykorzystujących nową metodę urabiania skał [11]. Widok kombajnu firmy WIRTH urabiającego metodą tylnego odcinania i efekty jego pracy pokazano na rysunku 10.7.



Rys. 10.7 Widok kombajnu firmy WIRTH urabiającego metodą tylnego odcinania i efekt jego pracy

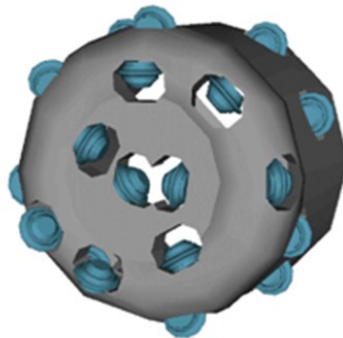
Źródło: [11]

#### 10.4 PERSPEKTYWY ZASTOSOWANIA NARZĘDZI DYSKOWYCH

Od lat prowadzone są prace nad opracowaniem nowych rozwiązań konstrukcyjnych głowic i organów urabiających dla chodnikowych kombajnów ramionowych lub metod urabiania pozwalających na efektywne urabianie skał trudno urabialnych. Jednym z takich rozwiązań jest organ urabiający uzbrojony w dyski, opracowany i testowany w Colorado School of Mines [2]. Aby zmniejszyć wartości sił urabiania zastosowano mini-dyski symetryczne o średnicy 125 mm. Największym problemem jest łożyskowanie dysków, przy ich dużym obciążeniu. Opracowano kilka rozwiązań łożyskowania narzędzi oraz projekt techniczny organu, na podstawie którego wykonano egzemplarz prototypowy. Model organu wraz ze schematem rozmieszczenia narzędzi na jego powierzchni pokazano na rysunku 10.8. Rezultaty prób były zadowalające, brak jednak szczegółowych danych na ten temat.

Pojawiły się inne koncepcje wykorzystania na organach urabiających kombajnów chodnikowych ramionowych głównie dysków niesymetrycznych, w których zasadnicza idea polegała na wykorzystaniu dysku jako narzędzia odłupującego. Dzięki temu zużycie energii i wartość siły docisku są mniejsze, co daje możliwości konstrukcji maszyny urabiającej o niższych parametrach energetycznych, mniejszych wymaganiach ze względu na kryterium stateczności, jak w przypadku klasycznych dysków działających w kierunku prostopadłym do powierzchni urabianej calizny. W przypadku maszyn wykorzystujących tę technikę, między

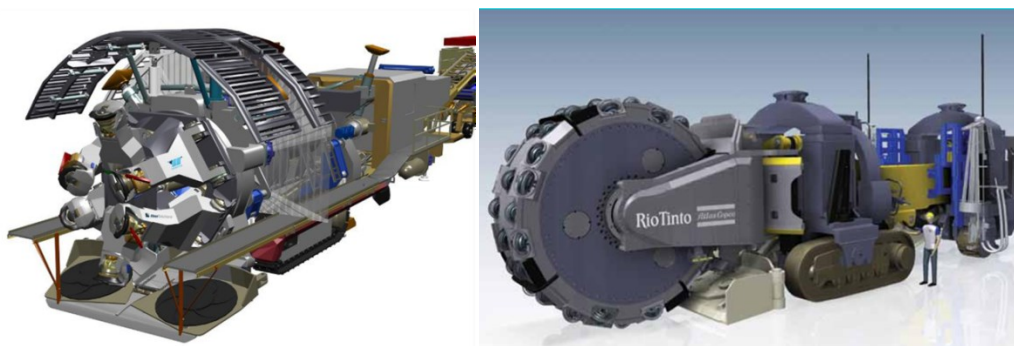
innymi przez firmę Aker Wirth oraz Atlas Copco, metoda ta wykazała pełną przydatność [6, 7]. Jedynym mankamentem był złożony sposób sterowania maszyną oraz duże siły reakcji, które musiała przenieść maszyna.



**Rys. 10.8 Model organu z mini narzędziami dyskowymi symetrycznymi**

Źródło: [2]

Widok kombajnu MTM 6 firmy Aker Wirth opracowanego dla koncernu Rio Tinto w ramach projektu „Mine of the future” dla nowych kopalń miedzi Resolution Copper w Arizonie oraz miedzi i złota Oyu Tolgoi w Mongolii oraz alternatywnego kombajnu MMM (Modular Mining Machine) firmy Atlas Copco przedstawiono na rysunku 10.9.



**Rys. 10.9 Widok modeli kombajnu MTM 6 firmy Aker Wirth i kombajnu MMM firmy Atlas Copco**

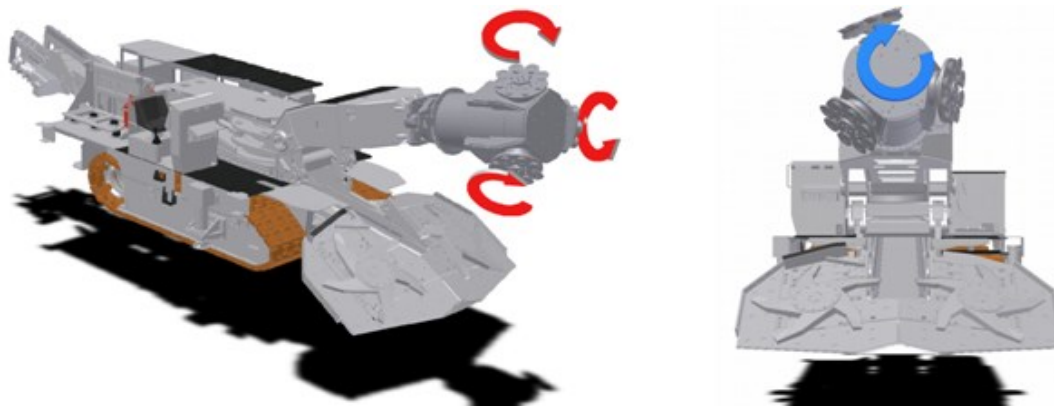
Źródło: [6, 7]

Dlatego ideę techniki tylnego podcinania postanowiono rozwijać w Katedrze MGPiT AGH Kraków w kierunku opracowania konstrukcji organu urabiającego dla kombajnów chodnikowych ramionowych [2]. Pozytywne wyniki przeprowadzonych prób stanowiskowych i laboratoryjnych pozwoliły na stwierdzenie, że istnieje możliwość opracowania rozwiązania organu urabiającego wyposażonego w niesymetryczne mininarzędzia dyskowe o średnicy do 160 mm.

Wylimitowano rozwiązania z narzędziami zabudowanymi w uchwytach bezpośrednio na płaszczu, ze względu na duże ich obciążenie oraz na małą efektywność urabiania. Zaproponowano opracowanie nowej koncepcji organu, w którym ruch narzędzi dyskowych będzie wymuszony po złożonej trajektorii.

Pozwala to na przecinanie się linii urabiania poszczególnych narzędzi dyskowych oraz ułatwienie urabiania skał zwięzłych poprzez wyłamywanie bruzd skalnych. Zmniejsza to również energochłonność procesu urabiania. W tym celu zabudowano narzędzia dyskowe na oddzielnych tarczach, zamontowanych obrotowo na płaszczu organu urabiającego i napędzanych niezależnie od niego [2].

Opracowano koncepcję konstrukcyjną organu z narzędziami dyskowymi niesymetrycznymi o złożonej trajektorii ruchu, zamocowanymi na trzech obracających się względem korpusu organu tarczach. Zaprezentowano ją na rysunku 10.10.



**Rys. 10.10 Model nowego rozwiązania głowicy zabudowanej na kombajnie chodnikowym KR 150**

Źródło: [2]

Podczas pracy korpus organu wykonuje ruch obrotowy wokół własnej osi, równocześnie obracają się tarcze boczne nadając ruch obrotowy narzędziom dyskowym, będącym w danym momencie w kontakcie z urabianą skałą. W nowym rozwiązaniu organu z narzędziami dyskowymi o złożonej trajektorii ruchu założono, że napędy dla obydwu ruchów są osobne. Korpus głowicy napędzany jest wałem drążonym, natomiast napęd tarcz z narzędziami realizowany jest wałem wewnętrznym, poprzez przekładnię umieszczoną wewnątrz korpusu. Na podstawie opracowanego modelu wykonano, we współpracy z Zakładami REMAG S.A. rozwiązanie głowicy dla modelu produkowanego przez REMAG S.A. średniego kombajnu chodnikowego, typu KR150, jak też dla kombajnu typu FR250. Widok gotowej głowicy zabudowanej na ramieniu kombajnu typu FR250 pokazano na rysunku 10.11. Głowicę tę poddano kompleksowym badaniom na stanowisku poligonowym. W ramach badań założono zmianę kierunku i liczby obrotów kadłuba głowicy w zakresie od 10 do 40 1/min a tarcz z narzędziami dyskowymi od 20 do 200 1/min. Sprawdzano efektywność urabiania i stopień zużycia narzędzi dyskowych, jak też granulację uzyskanego urobku.

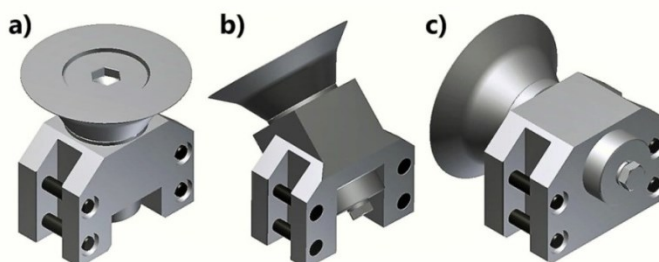




Rys. 10.11 Widok kombajnu chodnikowego typu RH250 z nową głowicą z narzędziami dyskowymi podczas prób urabiania

Źródło: Materiały własne

Badano też sposób ustawienia narzędzi względem powierzchni tarcz (pod kątem  $90^\circ$ ,  $45^\circ$  i  $-5^\circ$  - rys. 10.12) oraz technologię wykonania na ich trwałość. W przypadku badanej głowicy najkorzystniejszym ustawieniem był kąt  $-5^\circ$ .



Rys. 10.12 Rozwiązanie uchwytu dyskowego dla kąta pochYLENIA osi obrotu względem powierzchni tarcz: a)  $90^\circ$ , b)  $45^\circ$  i c)  $-5^\circ$

Źródło: [3]

Inny sposób mocowania narzędzi powodował ich szybkie uszkodzenia – wyłamania i wykruszenia (rys. 10.13). Podobnie niekorzystnymi wynikami zakończyły się próby urabiania z wykorzystaniem narzędzi dyskowych zbrojonych na obwodzie słupkami z węglików spiekanych. Bardzo szybko zostały one wyłamane, co pokazano na rysunku 10.13. Technologia wykonania narzędzi dyskowych także ma duży wpływ na ich trwałość.



Rys. 10.13 Widok uszkodzonych narzędzi dyskowych: po lewej – mocowanych pod nieprawidłowym kątem, po prawej – zbrojonych słupkami z węglika spiekanego

Źródło: [3]

Narzędzia wykonane ze stali narzędziowej przez skrawanie i hartowane, ale bez ulepszenia cieplnego, wykazywały tendencje do pęknięcia (rys. 10.14). Wykonanie narzędzi przez odlewanie z żeliwa sferoidalnego ADI czy staliwa pozwoliło na uniknięcie pęknięć, jednak wadą tej technologii jest pozostawianie w odlewach pęcherzy, jak również mała twardość narzędzi. Powodowało to ich szybkie zużywanie ściernie (rys. 10.14) [3, 4].



Rys. 10.14 Widok pękniętego, hartowanego narzędzia dyskowego ze stali narzędziowej NZZ oraz wytartych narzędzi dyskowych z żeliwa sferoidalnego ADI

Źródło: [4]

## 10.5 PODSUMOWANIE

Urabianie skał zwięzłych kombajnami chodnikowymi ramionowymi z organami frezującymi wydaje się obecnie najpopularniejszą metodą. Na dzień dzisiejszy próby zastosowania na organach tych kombajnów mini narzędzi dyskowych (o średnicy do 180 mm) dają obiecujące wyniki. Jednak największym mankamentem w ich przypadku jest trwałość. Wykonanie tych narzędzi np. metoda kucia oraz odpowiednia obróbka cieplna mogą dać dobre rezultaty

Natomiast narzędzia dyskowe symetryczne o średnicy 400-500 mm, urabiające przez statyczny docisk, montowane na głowicach urabiających kombajnów typu TBM, posiadają bardzo dużą trwałość ale w tym przypadku wymagane bardzo duże wartości sił docisku generują olbrzymie rozmiary, masę i koszty całej maszyny. Sprawia to, że są one ekonomicznie opłacalne w przypadku dużych (ponad kilka kilometrów) wybiegów drążonych wyrobisk. Sprawdziła się metoda tzw. tylnego podcinania z wykorzystaniem narzędzi dyskowych niesymetrycznych o średnicy około 400 mm, montowanych na wychyłnych ramionach. Nowe konstrukcje kombajnów Aker Wirth potrafią urabiać wyrobiska w zwięzłych skałach przy obniżonej energochłonności procesu urabiania oraz dużej granulacji uzyskiwanego urobku.

## LITERATURA

1. Klich A., Gospodarczyk P., Kalukiewicz A., Kotwica K., Krauze K., Pawlik K., Reś J.: *Niekonwencjonalne techniki urabiania skał*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1998.
2. Kotwica K., Klich A.: *Maszyny i urządzenia do drążenia wyrobisk korytarzowych i tunelowych*. Monografia. Instytut Techniki Górniczej KOMAG Gliwice, Gliwice 2011,

3. Kotwica K., Mendyka P., Bołoz Ł., Kasza P., Kulinowski P., Feliks J., Tomach P., Władzielczyk K., Kipczak P., Stopka G., Zarzycki J.: Monografia *“Wybrane problemy urabiania, transportu i przeróbki skał trudnourabialnych, T. 2”*. Redakcja naukowa Krauze K. Monografia Wydawnictw AGH, 2017,
4. Kotwica K., Mendyka P., Bołoz Ł., Kasza P., Kulinowski P., Mazur M., Tomach P., Władzielczyk K., Kipczak P., Stopka G., Zarzycki J., Nawrocki M.: Monografia *“Wybrane problemy urabiania, transportu i przeróbki skał trudnourabialnych, T. 3”*. Redakcja naukowa Krauze K. Monografia Wydawnictw AGH, 2018,
5. Kotwica K.: Monografia *„Zastosowanie wspomaganie wodnego w procesie urabiania skał narzędziami górniczymi”*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2012,
6. Prospekty i materiały informacyjne firmy Aker Wirth,
7. Prospekty i materiały informacyjne firmy Atlas Copco,
8. Prospekty i materiały informacyjne firmy Boart Longyear,
9. Prospekty i materiały informacyjne firmy Mannesmann Demag,
10. Prospekty i materiały informacyjne firmy Robbins,
11. Weber W.: *Drażenie chodników o różnych przekrojach przy pomocy techniki tylnego wycinania. Maszyna firmy Wirth-HDRK „Continuos Mining Machine”* Referat na Sympozjum TMB Herne nt. *Drażenie chodników w górnictwie węgla kamiennego*. Siemianowice Śl. 1994.

*Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2019*

*Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2019*

## NARZĘDZIA DYSKOWE – ALTERNATYWA DLA NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono problemy związane z urabianiem zwięzłych i bardzo zwięzłych skał narzędziami skrawającymi, głównie nożami stycznno-obrotowymi. Opisano obecnie wykorzystywane narzędzia dyskowe, ich parametry oraz sposób pracy. Przedstawiono wady wybranych rozwiązań i związane z tym przeszkody w ich szerszym zastosowaniu w górnictwie. Zaprezentowano kierunki dalszego rozwoju narzędzi dyskowych pozwalające na ich wykorzystanie przykładowo w kombajnach ścianowych oraz kombajnach chodnikowych ramionowych.

**Słowa kluczowe:** narzędzie dyskowe, nóż stycznno-obrotowy, zużycie, skała zwięzła

## DISK TOOLS – AN ALTERNATIVE TO CUTTING TOOLS

**Abstract:** The article presents problems related to the mining of compact and very hard rocks with cutting tools, mainly with tangential-rotary picks. The currently used disc tools, their parameters and the way of working are described. The disadvantages of selected solutions and related obstacles to their wider use in mining have been presented. The directions of further development of disk tools were presented, allowing their use, for example, in mining heads of longwall shearers and roadheaders.

**Key words:** disk tool, tangential-rotary pick, wear, hard rock

**dr hab. inż. Krzysztof Kotwica, prof. AGH**

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Katedra Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych

Al. Mickiewicza 30, Kraków, Polska

tel: +48 607467068

e-mail: kotwica@agh.edu.pl