

Urabianie mechaniczne w kopalniach rud metali w dobie transformacji.

1. Wstęp

W 2022 Deloitte w swoim raporcie [1] zauważył konieczność zdefiniowania górnictwa na nowo z naciskiem podobnie jak w latach poprzednich na:

- Społeczną odpowiedzialność biznesu
- Dekarbonizację
- Automatyzację i internet rzeczy
- Ukierunkowanie organizacji na innowacyjność

Konieczność obniżania kosztów i poprawy bezpieczeństwa już wiele lat wcześniej spowodowała zainteresowanie największych firm wydobywających rudy metali technologią pozyskiwania rudy inną niż wiekowa technologia wiercenia i strzelania. Dodatkowy nacisk na potrzebę poprawy postrzegania górnictwa przez społeczeństwa zmusił firmy górnicze do szukania nowych i najlepiej rewolucyjnych technologii górniczych.

W taki sposób globalne firmy górnicze i dostawcy maszyn (w tym Sandvik) zainteresowały się rozwiązaniem problemu urabiania mechanicznego skał o parametrach fizycznych do tej pory nieosiągalnych dla kombajnów chodnikowych. Jakie były oczekiwania wobec inżynierów i jakich wyzwań się spodziewano?

Krótkie zestawienie przedstawia tabela poniżej.

OCZEKIWANIA	WYZWANIA
• Skrócenie czasu realizacji projektów • Poprawienie jakości wyrobiska • Podniesienie bezpieczeństwa pracy • Łatwość zautomatyzowania procesów	• Ograniczona wielkość wyrobiska • Zmienność warunków geologicznych • Wysokie nakłady inwestycyjne • Ograniczony rynek

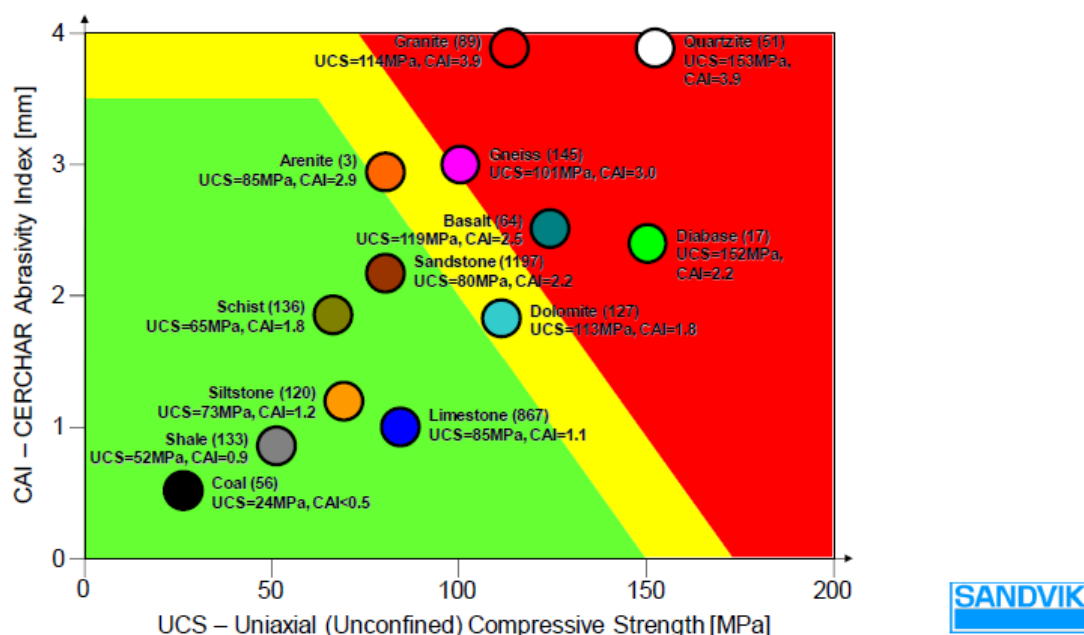
Tabela1. Zestawienie oczekiwań i wyzwań stojących przed twórcami „nowej technologii”

2. Zakres stosowania urabiania mechanicznego

W niniejszym artykule nie będę się zajmował teorią urabiania mechanicznego warto jednak przypomnieć jego definicję:

„Urabianie mechaniczne to odspajanie fragmentów urabianego materiału z użyciem narzędzia o właściwościach fizyko-mechanicznych wyższych niż urabiany materiał”

Istnieje wiele opracowań wskazujących różne zakresy stosowania tej techniki, co obrazuje między innymi wykres opracowany przez Sandvik Zeltweg [2].



Rys. 1. Zakres stosowania urabiania mechanicznego [2]

CAI – to wskaźnik abrazyjności urabianego materiału, a UCS to jego wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie. Maksymalny zakres stosowania urabiania mechanicznego to 150MPa przy wskaźniku CAI bliskim zeru. Jeśli wskaźnik CAI osiągnie wartość 3,5 to zakres urabiania obniża się do ok. 70MPa.

3. Zestawienie projektów nowych systemów urabiania mechanicznego

Pomysł zastosowania technologii urabiania mechanicznego skał twardych nie zrodził się przed dwoma, trzema a nawet dziesięcioma laty. Poniżej lista najciekawszych i najbardziej zaawansowanych projektów.

- 1960 - Zrzeszenie kopalń złota w RPA zawiązało laboratorium COMRO (urabianie bez użycia MW)
- 1964 - 1990 Kilka projektów firmy Atlas Coco
- 1983 – Isa Mine, kopalnia miedzi rozpoczęła testy maszyny Robbins MN 120
- 2000 – 2006 – Kopalnia Lomin/RPA rozpoczęła testy urabiania maszyną ARM/Sandvik w złożach platyny, równolegle KGHM rozpoczął testy w kopalni miedzi
- 2000 - rok wielu projektów tunelowych i górniczych w technologii ICUTROCK/Sandvik
- 2008, 2013-2016 – roboty przygotowawcze w kopalniach miedzi KGHM, klasyczna maszyna MH620/Sandvik
- 2010 – Rio Tinto rozpoczyna porzucony później projekt „Block Caving” w kopalni miedzi, planowana maszyna to system RMDS firmy Epiroc
- 2016 – rozpoczęcie testów systemu ścianowego CAT w KGHM
- 2016 – Anglo American w kopalni cynku i ołowiu rozpoczyna testy systemu RMDS firmy Atlas Coco
- 2019 – rozpoczęcie testów systemu Rock Vader firmy Sandvik w kopalni wolframu Mitterstill w Austrii i kontynuacja w kopalni diamentów Petra Diamonds w RPA

W artykule koncentruję się wyłącznie na „stricte” mechanicznym urabianiu i pomijam inne technologie które testowano w ciągu minionych dziesięcioleci.

Jakie techniki urabiania mechanicznego testowano?

Otóż największe nadzieje pokładano w urabianiu dyskami oraz urabianiu dyskami przez podcinanie. Urabianie dyskami znane jest od wielu lat stosowane w tarczach tunelowych przeznaczonych do pracy w twardych skałach. Urabianie dyskami przez podcinanie, aczkolwiek znane, nie znalazło

powszechnego uznania wśród górników ze względu na początkowe trudności technologiczne związane z wykonywaniem narzędzi i ich ceną.

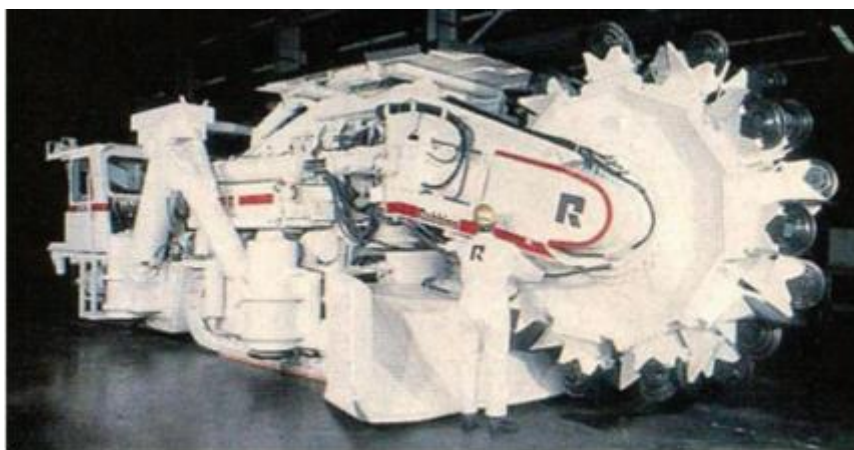
Urabianie nożami stycznymi powszechnie stosowane w urabianiu skał miękkich znalazło się w kręgu zainteresowania inżynierów dzięki zastosowaniu kilku specyficznych rozwiązań technicznych ogólnie zwanych technologią ICUTROCK, co pozwoliło przesunąć zakres stosowania tej technologii do 150MPa (patrz rys. 1.) Mimo, że techniki te znane są od kilkudziesięciu lat, inżynierowie zgodnie uznali, że posiadają największy potencjał na sukces w urabianiu skał twardych.

Testowano je więc w różnych specyfikacjach technicznych i konfiguracjach gotowych maszyn. Wspólnym mianownikiem wszystkich projektów były wymagające warunki geologiczne i wielkie nadzieje pokładane w prototypach.

4. Skrócony opis wybranych projektów

A. Robbins Mobile Miner model 120 – rok 1983.

Koncepcja Robbins Mobile Miner to stosunkowo cienkie obrotowe koło z dyskami na obwodzie, zdolne do urabiania twardej skały. Ponieważ tylko kilka dysków na raz angażuje się w urabianie, maszyna może być stosunkowo lekka, mobilna i mniej kapitałochłonna niż TBM. Pierwsza maszyna Robbins Mobile Miner została zamówiona przez firmę Isa Mines w 1983 r. Maszyna wykonała 1,75 km w twardej skale składającej się z mocnych i silnie ściernych kwarcytów i diabazu (w tym fuchsyty i chiasolity) o wartościach UCS od 210 MPa do 420 MPa. Maszyna pokazała potencjał, ale także odsłoniła ograniczenia konstrukcji pierwszej generacji w zakresie kosztów organu, sztywności i niezawodności [5]



Rys. 2. Robbins Mobile Miner model 120 [3]

B. ARM1100 (MN220) – lata 2000-2006

Sandvik (wcześniej Voest Alpine) również włączył się do wysiłków stworzenia maszyny do urabiania skał twardych. Wysiłek inżynierów Voest Alpine skupił się na technologii urabiania dyskami przez podcinanie. Z tego wynikała też specyficzna konstrukcja maszyny z jednym organem urabiającym. Relatywnie niskie przodki wymusiły brak podwozia i konieczność przesuwania maszyny w sposób podobny jak sekcje obudowy zmechanizowanej w ścianie węglowej. Oczywiście w tym okresie oferowano ciężkie kombajny chodnikowe w opatentowanej przez firmę technologii ICUTROCK, ale uznano, że potrzeby jest produkt do warunków w których urabianie nożami stycznymi nawet w technologii ICUTROCK nie sprawdzało się. Rozpoczęto testy w kopalni platyny Lomin w RPA, a wkrótce potem w KGHM. Maszyna uzyskiwała w wyrobisku testowym wydajność między 8m³/mth a 20m³/mth, (gdzie „mth” to rzeczywisty czas pracy maszyny liczony w godzinach). O ile w kopalni platyny (przy UCS pomiędzy 200-300MPa) wynik taki był zadowalający, to w kopalni rud miedzi (przy UCS pomiędzy 120 i 250MPa) wydajność ta okazała się za małą.



Rys.3. MN 230 w kopalni platyny

C. Epiroc RMDS – rok 2016

Atlas Copco, później Epiroc ma dość długą historię poszukiwania właściwego rozwiązania dla mechanicznego urabiania skał twardych. Działania w tym kierunku przyspieszyły, gdy w 1993 zakupiono firmę Robbins i zaczęto wykorzystywać doświadczenie jej inżynierów. Współpraca z Anglo - American rozpoczęła się w 2012 roku by finalnie doprowadzić do prób maszyny Mobil Miner 22H w kopalni platyny (UCS pomiędzy 200 – 300 MPa) Twickenham w RPA w roku 2016 [6]. Strony uczestniczące w projekcie wyrażały zadowolenie ze współpracy i liczyły na dobre wyniki pracy maszyny, ale maszyna pojawiła się w nowej odsłonie w Hecla Mining Company pod nazwą Hecla Mobile Miner w wersji 40V [7]



Rys. 4. Epiroc Mobile Miner 22H [6]

Maszyna miała być dostarczona pod koniec roku 2020 do jednej z kopalń Hecla Mines najprawdopodobniej Lucky Friday. W latach 90 odkryto nową żyłę minerału poniżej kopalni Gold Hunter o właściwościach korzystniejszych (argilit) niż minerał w macierzystym rejonie Lucky Friday (kruchy i twardy kwarcyt krzemionkowy).

Niestety nie udało mi się odnaleźć informacji o przebiegu wprowadzenia jej do ruchu. Raport techniczny z audytu zewnętrznego kopalni Lucky Friday z 21 lutego 2022 roku [8] nie wspomina słowem o wprowadzonej technologii urabiania mechanicznego choć w rozdziale 1.3.8 i całym 13 dokładnie omawia się stosowaną technologię. Nie ma też opisywanej maszyny na liście sprzętu mobilnego. Trudno więc ocenić czy pojawiły się jakieś problemy.

D.Sandvik MH620 ICUTROCK – lata 2008,2013 - 2016

Należy w tej historii uwzględnić doświadczenia zebrane przez Sandvik w czasie eksploatacji klasycznych ciężkich kombajnów chodnikowych w różnych punktach naszego globu w tym w kopalniach KGHM Polska Miedź. Co ciekawe w KGHM testowano w różnym czasie, zarówno urabianie dyskami (wspomniany wcześniej ARM1100) jak i urabianie nożami stycznymi (MH620). Poniżej porównanie wyników pracy obydwóch typów maszyn.

Parametr	ARM110	MH620
Średni postęp [m/dobę]	3,0	5,3
Średnie Rc [MPa]	120,0	158
Urabiany przekrój [m ²]	4,5	22,0
Jedn. zużycie narzędzia [szt/m ³]	Nie stwierdzono	0,49
Wyd. urabiania [m ³ mth]	8 - 20	17

Tabela 2. Parametry pracy maszyny dyskowej i wyposażonej w noże styczne

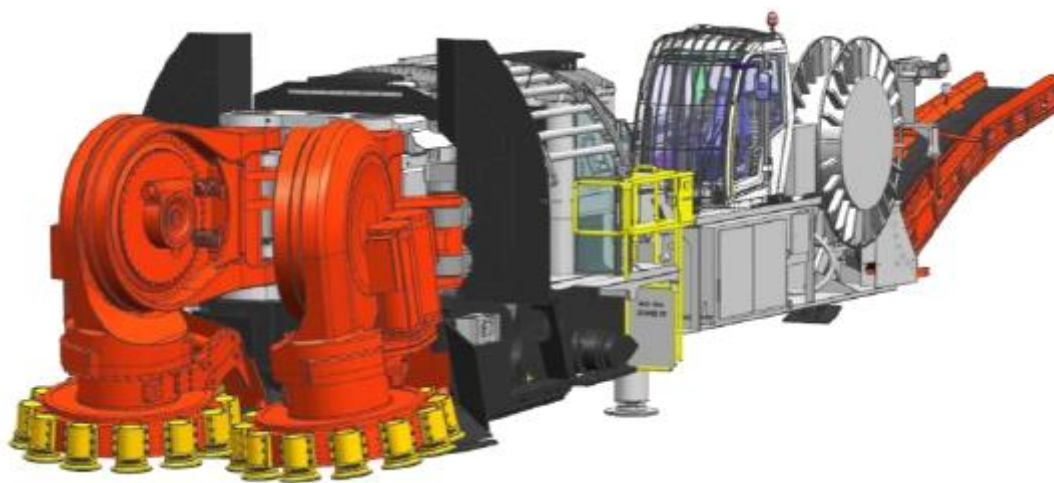


Rys. 5. MH620 w trakcie pracy w OZG Polkowice-Sieroszowice [9]

E. Sandvik RMDS MX 650 lata 2016 – 2020 (?)

Maszyna ogólnie została zaprojektowana w podobny sposób co konstrukcje konkurencji. Zdecydowanie różni się przyjętą koncepcją części urabiającej. Zastosowano znaną dobrze w firmie i stosowaną wcześniej w innych konstrukcjach technikę urabiania dyskami przez podcinanie, tj. w kierunku najmniejszej wytrzymałości urabianej skały. Zastosowano dwa organy urabiające sterowane komputerem, co umożliwiło uzyskanie elastyczności kształtu drążonego wyrobiska. Zaplanowano równoczesne drążenie i kotwienie stropu, co miało przyspieszyć proces i poprawić bezpieczeństwo. Planowano urabianie skał o UCS do 250MPa. W trakcie testów w kopalni wolframu przy wytrzymałości skał na ściskanie jednoosiowe (ang. UCS) ok. 150MPa uzyskiwano postępy do 20m/dobę.

Po stwierdzonych koniecznych modyfikacjach wysłano maszynę do kopalni Petra Diamond's w RPA [10]. Po roku 2019 nie udało się uzyskać żadnych oficjalnych informacji o przebiegu realizacji projektu.



Rys. 6. MX 650 - ostateczna koncepcja maszyny

5. Wnioski

W rezultacie wykonanych testów i realizacji projektów nasuwają się następujące spostrzeżenia na temat technologii dyskowej i urabiania nożami stycznymi.

Urabianie dyskami:

- Efektywne urabianie twardych skał
- Średnie koszty narzędzi urabiających
- Elastyczność co do profilu urabianego
- Problemy z załadunkiem urobku
- Wrażliwość na zmiany geologii
- Uzyskane postępy dobowe poniżej oczekiwań
- Wysoki koszt inwestycji

Urabianie nożami stycznymi w technologii ICUTROCK:

- Ograniczenie górnego zakresu urabiania do 150MPa
- Przy przekroczeniu określonych wartości abrazyjności i wytrzymałości na ściskanie urabianej skały koszty dramatycznie rosną
- Przy rozsądnie dobranych warunkach drążenie jest efektywne
- W porównaniu do maszyn dyskowych koszty są relatywnie niskie

O ile przecucia inżynierów, co do samego urabiania i jego efektywności potwierdziły się w znacznym stopniu, to już kompletne maszyny zdecydowanie nie spełniły pokładanych w nich nadziei. Świadczy o tym bardzo niewielka ilość oficjalnych informacji od uczestników projektów, a co najważniejsze brak kolejnych projektów wprowadzania nowych maszyn na rynek. Kluczową kwestią dla maszyn górniczych w realnej kopalni wykraczającą poza samą zdolność urabiania skały jest konieczność podążania za nieprzewidywalnym złożem rudy. Być może głównym wyzwaniem niezwiązanym z urabianiem jest skuteczne odbieranie urobku z przestrzeni urabiania i załadunek na środek transportu.

6. Zakończenie

Jaka jest więc przyszłość mechanicznego urabiania? Nie sądzę, aby przy obecnie powszechnie dostępnym poziomie technologii udało się zrealizować jakieś rewolucyjne projekty. Obecnie dostępne środki techniczne mają swoje ograniczenia, ale używane zgodnie z założeniami twórców i „sztuką górniczą” pozwalają osiągać zamierzone cele w rozsądnych terminach i za rozsądne pieniądze.

Materiały źródłowe:

1. Deloitte: Mining spotlight on: Remaking mining. Exploring imperative of innovation. 2022.
2. U. Restner: Breakthroughs in Tunneling 2019 - Drill & Blast and Road headers
3. S. Wallis: Tunnel Talks December 2022 – Rectangular profile boring machines innovations.
4. Mining & Construction No 01/2017. R. Bernd and Mikael Ramstom: Sharing is caring.
5. J Lyly; S. Hartvig; G. Nord: Epiroc mobile miner – hard rock cutting is now reality
6. Technical Report Summary on the Lucky Friday Mine, Idaho, USA S-K 1300 Report
7. Agencja Media - JF Jacek Filipiak: YouTube MH620 1080 P
8. Ł. Bołoz, A. Kalukiewicz: Machines for Mechanical Mining of Hardly Workable and Abrasive Rocks; MAPE 2020, volume 3.