

# MOŻLIWOŚCI I UWARUNKOWANIA MECHANICZNEGO URABIANIA SKAŁ ZRYWARKAMI

## POSSIBILITIES AND CONDITIONS OF MECHANICAL ROCK EXCAVATION WITH RIPPERS

Lukasz Machniak, Wiesław Kozioł, Adrian Borc - Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Katedra Górnictwa Odkrywkowego, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

*W artykule przedstawiono wpływ parametrów fizyko-mechanicznych złoża na urabianie mechaniczne skał przy pomocy stosowanych powszechnie maszyn. Wyszczególniono różne metody naukowo-badawcze stosowane w zakresie badania urabialności skał.*

*W opracowaniu szczególny nacisk położono na metody badania urabialności skał przy pomocy zrywarek i wpływu różnych czynników na osiągnięte przez nie wydajności eksploatacyjne. Na podstawie wyników przeprowadzonych dotąd badań dokonano analizy wydajności zrywarek o różnych parametrach technicznych.*

**Słowa kluczowe:** górnictwo odkrywkowe, zrywarki, wydajność mechanicznego urabiania

*The paper presents influence of physical-mechanical parameters on mechanical excavation of rocks with a commonly used machines. Various research methods used for the studies of workability are specified.*

*In this paper special attention was put on research methods of workability of rocks with using rippers and the influence of various factors on the performance achieved by these machines. Basing on the results of the researches made so far, analysis of performance of rippers with different technical parameters was made.*

**Key words:** opencast mining, rippers, mechanical excavation performance

### Wprowadzenie

W światowym górnictwie surowców skalnych i rudnych najpowszechniej wykorzystywane jest urabianie za pomocą materiałów wybuchowych. Jednak w przypadku ograniczeń możliwości zastosowania tej metody praktycznie jedyną alternatywą jest wykorzystanie metod mechanicznego urabiania. Urabianie mechaniczne realizowane może być poprzez zastosowanie różnych maszyn, do których zaliczyć należy przede wszystkim: zrywarki, kombajny odkrywkowe, młoty hydrauliczne, oraz w mocno ograniczonym zakresie koparki jednonaczyniowe lub wielonaczyniowe. Ze względów konstrukcyjnych i ogólnej charakterystyki technicznej, maszyny te cechują się różnym dostosowaniem do urabiania skał zwięzłych.

Parametry fizyko-mechaniczne oraz inne cechy górotworu należy uznać za podstawę wyboru sposobu mechanicznego urabiania jak również estymacji wielkości możliwej do uzyskania wydajności urabiania. Najczęściej klasyfikacje urabialności różnymi sposobami mechanicznego urabiania opierają się na wybranych właściwościach górotworu skalnego i wskazują możliwości realizacji procesu zrywania bez analizy aspektu osiągniętych wydajności. Stąd też, dla pełniejszego przedstawienia możliwości zastosowania zrywarek w artykule scharakteryzowano również wpływ wybranych właściwości górotworu skalnego na wydajność urabiania zrywarkami.

### Wpływ parametrów górotworu skalnego na możliwości mechanicznego urabiania wybranymi technologiami

Parametry górotworu skalnego, a zwłaszcza te wpływające na jego urabialność wyznaczają zakres technicznego zastosowania poszczególnych maszyn. Przy czym należy mieć na uwadze, że ocena parametrów górotworu skalnego, jest tylko jednym z kilku obszarów decydujących o jego urabialności. Na urabialność wpływ mają parametry, które można zakwalifikować do czterech obszarów [4,8]:

- parametry eksploatowanych skał oraz masywu skalnego,
- parametry techniczne maszyny,
- parametry technologiczne pracy maszyny,
- czynniki zewnętrzne.

Wiele cech górotworu decydujących o jego urabialności jest wspólnych dla poszczególnych maszyn. Występują również cechy indywidualne, stąd też na ogół analizuje się możliwości i warunki urabiania, oddzielnie różnymi maszynami górnictwymi. A zatem w zależności od rodzaju stosowanych do urabiania maszyn górniczych wyróżnić możemy urabialność:

- koparkami jednonaczyniowymi,
- koparkami wielonaczyniowymi,
- zrywarkami,
- kombajnami odkrywkowymi,
- młotami hydraulicznymi, itp.

Pomimo wieloletnich badań nad urabialnością skał i gruntów (od połowy XIX w.), nie udało się do tej pory opracować jednolitej ogólnej urabialności, która by uwzględniała wszystkie istotne zmienne zależne. Różny charakter procesu urabiania maszynami (nie do końca czasami poznany) oraz wpływ kombinacji różnych parametrów na proces urabiania, w sposób znaczący utrudnia rozwiązanie tego problemu. Należy również mieć na uwadze, że każda maszyna (nawet tego samego typu) jest inna, i pracuje w niepowtarzalnych warunkach. Istotny wpływ na proces urabiania ma również czynnik ludzki. Stąd też najskuteczniejszym sposobem określenia zastosowania metod mechanicznego urabiania jest przeprowadzenie bezpośrednich prób eksploatacyjnych (urabialności oraz wydajności). Niejednokrotnie (np. nowe inwestycje) nie ma możliwości przeprowadzenia bezpośrednich prób stąd też wstępną ocenę opiera się na ogólnych klasyfikacjach urabialności oraz klasyfikacjach przeznaczonych dla poszczególnych maszyn, które są na ogół bardziej dokładne.

Jedną z pierwszych klasyfikacji dla potrzeb mechanicznej urabialności opracowano w 1971 roku [6]. Oparta na dwóch cechach górotworu: wskaźniku spękań (odległość spękań) – FI oraz wskaźniku punktowego obciążenia PLI, określa granice zastosowania koparek jednonaczyniowych oraz zrywarek (rys. 1A).

Wraz z postępem w budowie coraz większych maszyn, inni autorzy rozwijali i modyfikowali tę klasyfikację. Ostatniej modyfikacji dokonano w 1994 roku [12] – rys. 1B. Klasyfikacja ta bardziej dokładnie wskazuje na obszary zastosowania konkretnego typoszeregu spycharek wraz z podaniem stopnia urabialności oraz dodatkowo wskazuje zakres zastosowania urabiania młotami hydraulicznymi. Z porównania obu klasyfikacji wynika, że zakres zastosowania zrywarek znacząco się

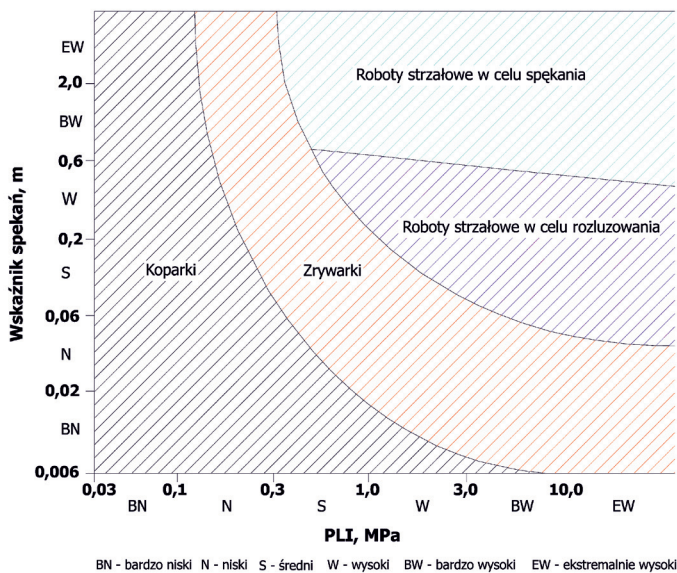
zwiększył. Obszar, który w klasyfikacji Franklina wyznaczał zakres stosowania robót strzelniczych, w zmodyfikowanej (zaktualizowanej) klasyfikacji jest urabiany dużymi zrywarkami, np. CAT D10. Warto zwrócić uwagę, że zachowany został zakres zastosowania koparek jednonaczyniowych.

W innej klasyfikacji [1] powiązано dobór sposobu mechanicznego urabiania z wartością wskaźnika RMR (Bieniawskiego). Wpływ wartości wskaźnika RMR na urabialność górotworu skalnego przedstawiono w tabeli 1.

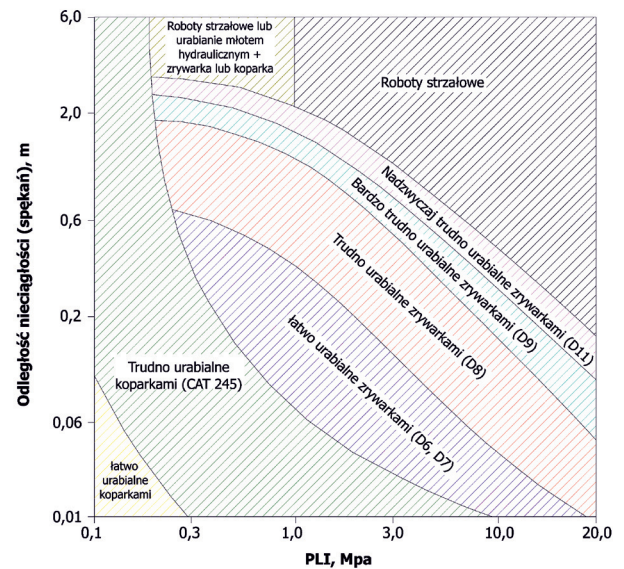
Klasyfikacja jest efektem wieloletnich badań w ponad 20. kopalniach odkrywkowych surowców skalnych, m.in. wapienia, piaskowca, dolomitu oraz granitu. Wskaźnik RMR, wyznaczany na podstawie sześciu cech górotworu skalnego w bardzo dobry sposób odzwierciedla jego jakość (pośrednio również urabialność). Sposób określania wskaźnika RMR stał się przykładem dla klasyfikacji urabialności zrywarkami i kombajnami odkrywkowymi.

W ostatnich latach, opracowano klasyfikację, w której wykorzystano wskaźnik GSI (Geological Strength Index) [13]. Wskaźnik GSI wykorzystywany jest do szacowania zmian wytrzymałości górotworu skalnego wskutek różnych procesów geologicznych. Charakterystykę górotworu wykonuje się wzrokowo, analizując strukturę masywu (bloczność) oraz stan powierzchni spękań (nieciągłości). Dla mas skalnych charakteryzujących się wytrzymałością na ściskanie mniejszą od 70 MPa (PLI < 3 MPa) zastosowanie różnych technologii urabiania mechanicznego pokazano na rysunku 2. Urabianie młotami hydraulicznymi ograniczone jest zakresem wartości wskaźnika GSI od 55 do 65. Podczas gdy zrywanie skuteczne jest przy wskaźniku GSI pomiędzy 55 a 35. Poniżej wartości 35, możliwe jest urabianie z wykorzystaniem koparek jednonaczyniowych.

A)



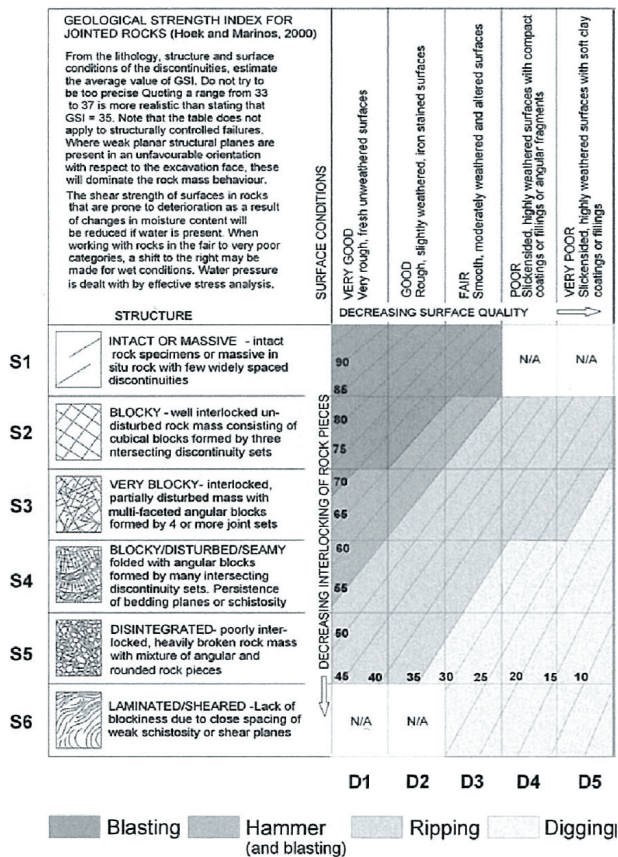
B)



Rys. 1. Klasyfikacje urabialności  
A – wg Franklina [6], B – wg Pettifer i Fookes [12]

Tab. 1. Sposób urabiania w zależności od jakości masywu skalnego [1]

Wartość wskaźnika RMR	Sposób urabiania
< 30	koparki jednonaczyniowe
30 – 60	duże zrywarki, kombajny odkrywkowe
> 60	młoty hydrauliczne, roboty strzałowe



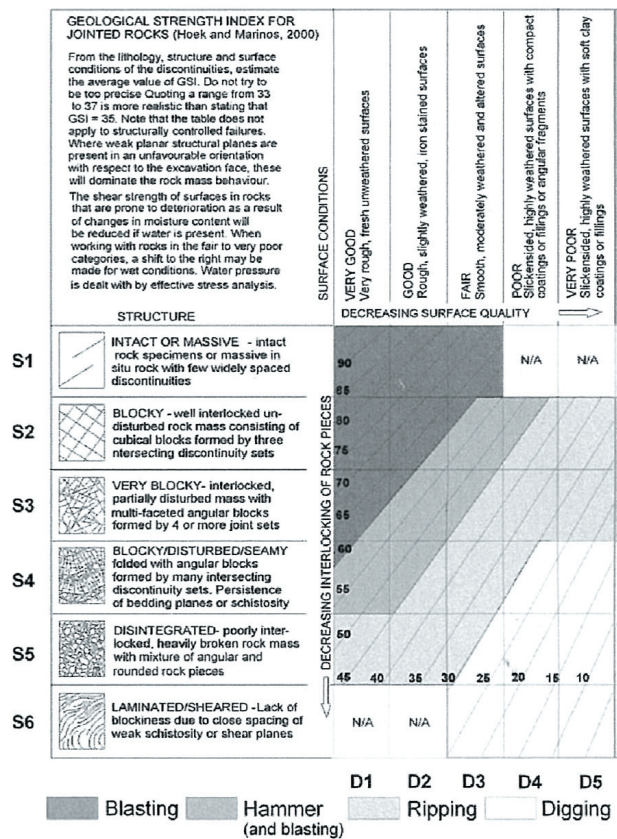
Rys. 2. Propozycja wykorzystania wskaźnika GSI do określenia sposobu urabiania masywu skalnego (PLI < 3 Mpa) [13]

Z kolei na rysunku 3, przedstawiono zakresy urabiania masywu skalnego o wytrzymałości na ściskanie większej od 70 MPa (PLI > 3 MPa). Strefa, gdzie istnieje możliwość urabiania młotami hydraulicznymi występuje w zakresie wartości GSI od 45 do 60. Zrywarki typu D8 lub większe, mogą być zastosowane przy wartościach GSI pomiędzy 45 a 30 (w nieznacznym zakresie również pomiędzy 45 a 55). Z kolei zastosowanie do urabiania koparek jednonaczyniowych ograniczone jest do wartości wskaźnika GSI = 30.

Z przedstawionych klasyfikacji oraz doświadczeń eksploatacyjnych można wskazać następującą przydatność maszyn. Największym dostosowaniem charakteryzują się młoty hydrauliczne, następnie kombajny odkrywkowe na równi z dużymi zrywarkami, a na końcu koparki jednonaczyniowe. Zrywarki są więc maszynami charakteryzującymi się średnią przydatnością do urabiania mechanicznego. Jednak ze względu na uniwersalność ich zastosowań wykorzystywane są najczęściej. Spowodowało to, że w literaturze znajduje się bardzo dużo różnych klasyfikacji urabialności zrywarkami. Najczęściej stosowane z nich przedstawiono w pracy [10]. Przy czym w klasyfikacjach tych pomija się wpływ własności górotworu skalnego na wyniki eksploatacyjne. Zakres takich badań jest odrębnie analizowanym zagadnieniem, które zostanie scharakteryzowane w kolejnej części artykułu.

### Wpływ parametrów górotworu skalnego na wydajność urabiania zrywarkami

Określane w różnych klasyfikacjach graniczne zakresy zastosowania poszczególnych maszyn, pokazują techniczne możliwości realizacji procesu urabiania. Należy mieć na



Rys. 3. Propozycja wykorzystania wskaźnika GSI do określenia sposobu urabiania masywu skalnego (PLI > 3 Mpa) [13]

uwadze fakt, iż osiągnięte wydajności dla takich warunków pracy są bardzo małe, zwłaszcza gdy dokonamy porównania z urabianiem MW. Stąd też prowadzone są prace badawcze dotyczące wpływu jakości górotworu skalnego na produktywność urabiania mechanicznego, tak aby można dokładniej określić skuteczność zastosowania maszyn w określonych warunkach urabiania. Podobnie jak w ogólnych klasyfikacjach urabialności, szuka się zależności od podstawowych parametrów górotworu skalnego, a więc:

- wytrzymałości na ściskanie,
- odległości spękań,
- prędkości fali sejsmicznej.
- gęstości.

Dla przykładu przedstawić można badania urabiania złoża margli (skała osadowa) spycharkami CAT D8 (moc 231 kW, masa – 38,5 Mg) oraz KOMATSU D115 (moc 225 kW, masa – 38,7 Mg) wyposażonymi w pojedynczy zrywak [2, 3]. Obie maszyny masą i mocą są do siebie porównywalne. Poza standardowymi badaniami górotworu skalnego (gęstość, wytrzymałość na ściskanie, prędkość przemieszczania fali sejsmicznej) wykonano również laboratoryjne badania zrywania. Do badań wykorzystano specjalne urządzenie wyposażone w trzpień, który wykonuje w próbce skalnej (150 x 100 x 75 mm) bruzdę w kształcie litery „V” o wymiarach: wysokość – 5 mm, szerokość – 12÷13 mm. Dla każdej próbki wykonuje się dwie próby zrywania, odnotowując moc (W) wymaganą do wykonania bruzdy oraz moc jałowego biegu trzpienia (bez zrywania). Różnica pomiędzy wartościami daje średnią moc – P, potrzebną do wykonania bruzdy. Waga oderwanych fragmentów skały i jej gęstość daje objętość skrawania (V) w m<sup>3</sup>. Podatność na zrywanie wyrażona jest poprzez energię zrywania – LSE (MJ/m<sup>3</sup>) przyjmując, że 1 W = 1 J.

Energię oblicza się ze wzoru:

$$LSE = P/W \quad (1)$$

W tabeli 2 przedstawiono zależność wydajności zrywania od poszczególnych cech górotworu skalnego. Porównując przedstawione modele widać, że najbardziej dopasowany model oparty jest właśnie na wartości energii zrywania. Wartość współczynnika korelacji wynosi  $R^2 = 0,90$ . Nieznacznie gorszą korelację uzyskano dla odległości pomiędzy płaszczyznami nieciągłości (spękaniem) –  $R^2 = 0,86$  oraz prędkości fali sejsmicznej  $R^2 = 0,83$ . Najslabszą zależnością charakteryzuje się model powiązany z gęstością magli, dla którego  $R^2 = 0,41$ .

2, 1, 3). Świadczy to o złożonym oddziaływaniu parametrów górotworu skalnego na wydajność urabiania. W tym przypadku jest to dodatkowo wpływ gęstości, która w próbie numer 3 była znacznie większa niż w próbie numer 1. Na uwagę zasługuje również duża różnica pomiędzy uzyskaną wydajnością w próbie drugiej oraz trzeciej i pierwszej.

Podobne badania przedstawiono w pracy [11]. Do bezpośredniej próby urabialności kwarcytów (skała metamorficzna) wykorzystano ciągnik o mniejszej mocy CAT D6 wyposażony również w pojedynczy zrywak. Uzyskane liniowe regresje przedstawiono w tabeli 3.

We wszystkich regresjach liniowych, wartość współczynnika korelacji jest bliska jedności. A więc modele te w sposób bardzo

Tab. 2. Zależność wydajności zrywania ciągnikami klasy D8 od wybranych cech górotworu skalnego (opracowanie własne na podstawie [2,3])

Parametr	Funkcja	Współczynnik korelacji $R^2$	Graniczna wartość parametru
Odległość spękań, m	$Q_t = -710,9x - 1499$	0,86	2,1
Prędkość fali sejsmicznej, m/s	$Q_t = -0,594x - 1912$	0,83	3220
Wytrzymałość na ściskanie, MPa	$Q_t = -36,34x - 1457$	0,77	40
Gęstość, Mg/m <sup>3</sup>	$Q_t = -936,4x - 2625$	0,41	2,8
Energia zrywania, MJ/m <sup>3</sup>	$Q_t = -174,9x + 1861$	0,90	10,6

W tabeli 2, przedstawiono również graniczne wartości parametrów górotworu skalnego, dla których wydajność techniczna maleje do zera (przy zachowaniu średnich wartości pozostałych cech). W badaniach zidentyfikowano trzy próby charakteryzujące się podobnymi wartościami wytrzymałości na ściskanie (24,9; 24,8; 23,8 MPa). Różne były natomiast odległości pomiędzy spękaniem (1,5; 1,0; 1,25 m). A więc można by założyć, że największą wydajność uzyska się kolejno w próbach 2, 3, 1. Nie do końca się to jednak potwierdza, ponieważ uzyskano odpowiednio wydajności 855, 357 i 334 m<sup>3</sup>/godz. (kolejność:

istotny opisują zależność wydajności od badanych cech.

Bardziej złożone funkcje opisujące wpływ parametrów górotworu skalnego na wydajność pracy zrywarek przedstawiono w pracy [5]. W pierwszym etapie zróżnicowano górotwór skalny (piaskowiec, łupek) pod względem stopnia zwietrzenia (erozji). Następnie podano funkcje opisujące wpływ różnych badanych cech górotworu skalnego na wydajność zrywania – tab. 4.

Warto zwrócić uwagę, że powyższe modele poza parametrami górotworu skalnego uwzględniają dodatkowo warunki

Tab. 3. Korelacja wydajności zrywania ciągnikami klasy D6 z wybranymi cechami górotworu (opracowanie własne na podstawie [11])

Parametr	Funkcja	Współczynnik korelacji $R^2$	Graniczna wartość parametru
Prędkość fali sejsmicznej, m/s	$Q_t = -0,107x + 475$	0,99	4439
Wytrzymałość na ściskanie, MPa	$Q_t = -3,88x + 393$	0,97	101
Gęstość, Mg/m <sup>3</sup>	$Q_t = -486,1x + 1290$	0,99	2,65
Energia zrywania, MJ/m <sup>3</sup>	$Q_t = -53,5x + 476$	0,98	8,9

Tab. 4. Wieloparametrowe funkcje opisujące wydajność zrywania ciągnikami klasy D9 [5]

Stopień zwietrzenia	Równanie	Wartość $R^2$	Uwagi
II i III	$Q = 1177,3 - 14,4 \cdot I_{d2} + 166,2 \cdot WG - 536 \cdot JS + 63,8 \cdot RD + 47,6 \cdot I_{SS0}$	0,85	
IVa i IVb	$Q = 1055,1 + 72,3 \cdot WG - 490,2 \cdot JS - 12,9 \cdot GS + 19,9 \cdot RD + 2,0 \cdot MC - 0,12 \cdot DD - 0,41 \cdot Pen_{10}$	0,98	dla piaskowca
	$Q = 400,5 + 124,9 \cdot WG - 430,4 \cdot JS + 80,6 \cdot RD + 2,8 \cdot MC - 0,16 \cdot DD + 0,44 \cdot Pen_{10}$ lub $Q = 774,5 + 70,2 \cdot WG - 398,5 \cdot JS + 80,6 \cdot RD + 1,9 \cdot MC - 0,21 \cdot DD + 0,5 \cdot SI$	0,88 0,87	dla piaskowa i łupka
Va i Vb	$Q = 20,7,6 + 179,9 \cdot WG - 19,6 \cdot I_{SS0}$	0,76	
	$Q = -330,9 + 187,7 \cdot WG - 153,6 \cdot JS + 119,6 \cdot RD + 0,1 \cdot I_{d1} - 4,3 \cdot I_{SS0}$	0,93	Ogólna zależność dla zrywarek klasy D9







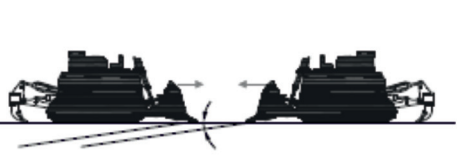
Oznaczenia: WG – wskaźnik zwietrzenia (1- lekko zwietrzały II, 2 – średnio zwietrzały III, 3 – mocno zwietrzały IVa, 4 – mocno zwietrzały IVb, 5 – całkowicie zwietrzały Va, 6 – całkowicie zwietrzały Vb), JS – odległość spękań, RD – wskaźnik zależny od warunków zrywania, GS – wskaźnik uziarnienia (1 – bardzo drobno ziarnisty, 2 – drobno ziarnisty, 3 – średnio ziarnisty, 4 – grubo ziarnisty), MC – wilgotność, DD – gęstość, SI – wskaźnik rozpadu w wodzie,  $I_{d1}$ ,  $I_{d2}$  – wskaźniki zlasowania,  $Pen_{10}$  – test na penetrację

przewodzenia zrywania, co wyrażono poprzez wskaźnik RD. Wartość wskaźnika uzależniony jest od warunków zrywania (tab. 5). Założono, że dla bardzo niekorzystnych warunków zrywania wartość indeksu wynosi 1, niekorzystnych – 2, mało korzystnych – 3, korzystnych – 4, bardzo korzystnych – 5. Oznacza to, że dla górotworu zaliczonego do II lub III stopnia zwietrzenia dla bardzo korzystnych warunków zrywania, a więc prowadzonego pod najkorzystniejszym kierunkiem względem rozciągłości złoża oraz płaszczyzn nieciągłości, wydajność urabiania będzie większa o ponad 255 m<sup>3</sup>/godz w stosunku do warunków najmniej korzystnych. Wpływ kierunku prowadzenia zrywania względem kierunku rozciągłości złoża oraz kąta nachylenia warstw skalnych określać powinien zatem technologię pracy zrywarek, tak aby uzyskać jak największą efektywność w danych warunkach złożowych. Spełnienie tego warunku może być trudne do osiągnięcia w rozwiniętej, przy wykorzystaniu innych metod czy sposobów urabiania, strukturze geometrycznej wyrobiska.

W wyniku przeprowadzonych badań określić można wpływ poszczególnych parametrów na prognozowaną wielkość wydajności zrywania. I tak przy II i III stopniu zwietrzenia, największy wpływ ma: kierunek zrywania (ok. 68%), odległość spękań (ok. 11%), stopień zwietrzenia (11%), wskaźnik punktowego obciążenia (ok. 6%), pozostałe parametry (ok. 4%). Dla IV stopnia zwietrzenia, wpływ ten wygląda następująco: odległość spękań (ok. 75%), kierunek zrywania (ok. 12%), stopień zwietrzenia (5%), wskaźnik punktowego obciążenia (ok. 4%), pozostałe parametry (ok. 8%). Zupełnie inny wpływ parametrów obserwuje się dla górotworu o piątym stopniu zwietrzenia. Tutaj w zasadzie jeden parametr ma decydujący wpływ, którym jest stopień zwietrzenia (ok. 93%), pozostałe parametry mają ok. 8% udział.

Na rysunku 4 zamieszczono porównawcze zestawienie wydajności zrywania od wytrzymałości na ściskanie dla obu przedstawionych przykładów. Pomimo różnic w wielkości wykorzystanych do zrywania ciągników, dla punktów cha-

Tab. 5. Warunki urabiania w zależności od kierunku zrywania względem rozciągłości i nachylenia warstw skalnych [5, 7, 10]

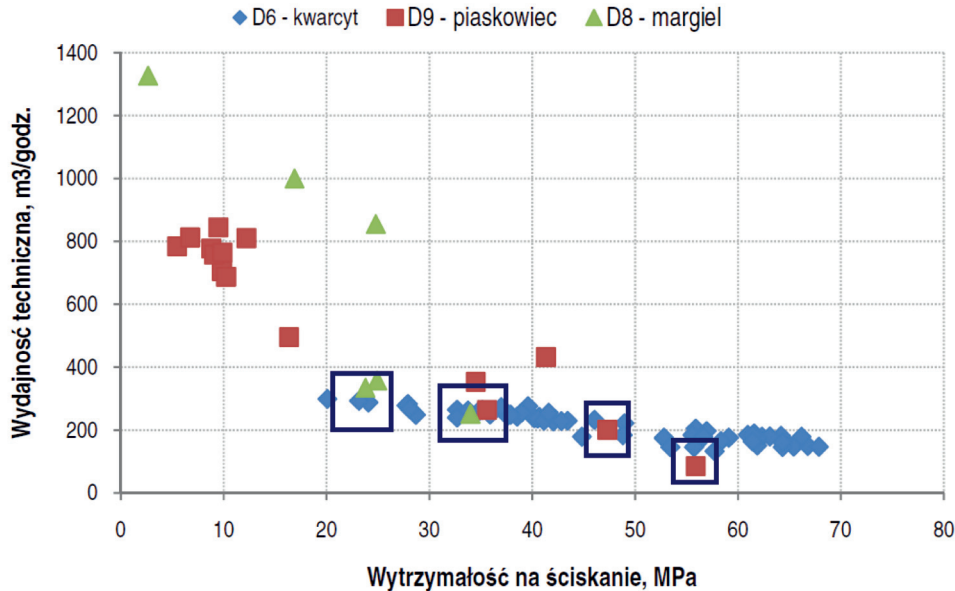
Kierunek rozciągłości	Schemat	Kąt nachylenia warstw	Warunki zrywania
Prostopadły do kierunku zrywania		20° - 45°	Niekorzystne
		45° - 90°	Mało korzystne
		20° - 45°	Korzystne
		45° - 90°	Bardzo korzystne
Równoległy do kierunku zrywania		45° - 90°	Bardzo niekorzystne
		20° - 45°	Mało korzystne
Dowolny		0° - 20°	Niekorzystne

rakteryzujących się zblizoną wytrzymałością na ściskanie, wydajności zrywania są porównywalne (czarne zaznaczenia na rys. 4). Patrząc na graniczne zakresy zastosowania zrywarek D6 (tab. 3) wynikające z wytrzymałości na ściskanie, prędkości fali sejsmicznej oraz gęstości i porównując je z wartościami dla większej mocy ciągników (tab. 2) wynika, że mniejszy ciągnik charakteryzuje się większymi możliwościami urabiania. Co oczywiście staje w sprzeczności ze stanem faktycznym. A więc porównywanie wydajności dla różnej wielkości ciągników na podstawie wytrzymałości na ściskanie jest bardzo nieprecyzyjne.

Stąd też ciągnik D8 pomimo większej mocy osiąga podobną wydajność zrywania do ciągnika D6.

Widząc, że wartość parametru LSE stanowi dobrą podstawę dla porównywania efektów eksploatacyjnych zrywarek o różnych parametrach technicznych (moc, masa) określono przybliżone funkcje  $Q_t = f(LSE)$  – rys. 6.

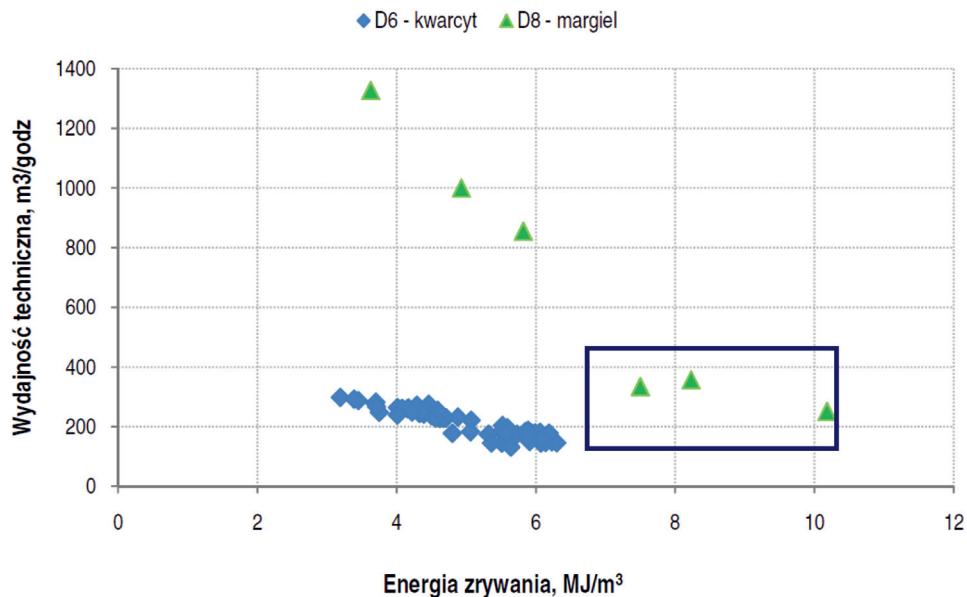
Przedstawione wydajności dla różnej wielkości ciągników i porównywalnych warunków urabiania wyrażonych wartością LSE, należy traktować jako pewien uśredniony zakres. Trzeba mieć na uwadze również, że jest to wartość samego procesu zrywania bez uwzględnienia dodatkowych czynności związanych



Rys. 4. Porównanie wydajności zrywarek w zależności od wytrzymałości na ściskanie (opracowanie własne na podstawie [2, 3, 5, 11])

Dopiero uzupełniająca analiza porównawcza wydajności od wartości LSE (rys. 5), dokładniej pokazuje różnicę pomiędzy przykładami gdzie zastosowano ciągnik klasy D6 oraz D8.

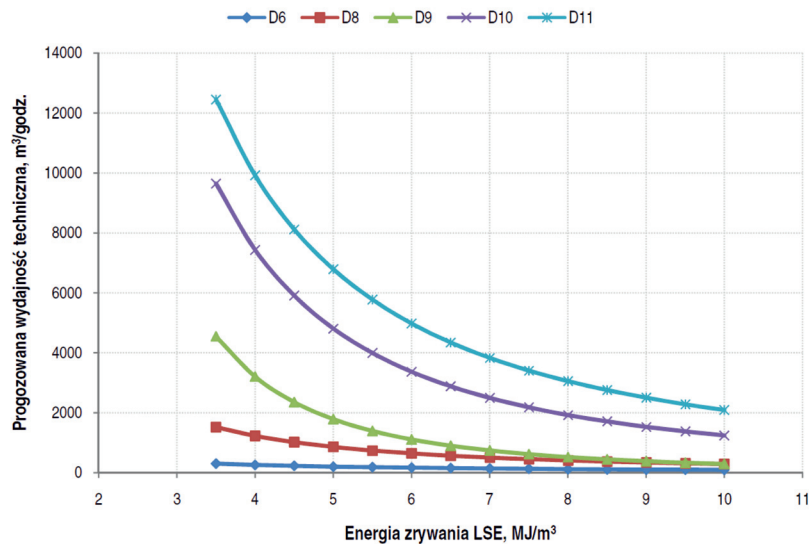
z wykorzystaniem ciągnika jako klasycznej spycharki. Zerwany urobek, zazwyczaj przepychany jest tym samym ciągnikiem w wyznaczony rejon, gdzie za pomocą ładowarki bądź koparki



Rys. 5. Porównanie wydajności zrywarek w zależności od wytrzymałości na ściskanie (opracowanie własne na podstawie [2, 3, 11])

Próby, dla których wydajność zrywania ciągnikiem D8 była porównywalna z wydajnością ciągnika D6, charakteryzują się znacznie większą wartością wyznaczonej energii zrywania (od 7,5 do 10 MJ/m<sup>3</sup>) co jest równoznaczne z gorszą urabialnością.

ładowany jest na środki transportu. Przyjmując, że czas zrywania stanowi 50% efektywnego czasu pracy ciągnika (80% czasu nominalnego), to wydajność efektywna procesu zrywania wynosi ok. 40% wartości przedstawionych na rysunku 6. Uwzględniając



Rys. 6. Graficzne przedstawienie wydajności zrywarek w zależności od LSE (opracowanie własne na podstawie [2, 3])

dotatkowo czasy nieplanowanych przerw i postojów, wydajność rzeczywista będzie stanowiła ok. 30% wartości z rysunku 6.

### Podsumowanie

Zastosowanie mechanicznych sposobów urabiania w głównej mierze uzależnione jest od następujących czynników (uwarunkowań):

- parametrów górotworu skalnego,
- struktury geometrycznej wyrobiska,
- warunków zalegania złoża,
- ekonomicznych,
- środowiskowych.

Jako podstawowe kryterium świadczące o możliwości zastosowania mechanicznego urabiania zrywarkami należy uznać wpływ parametrów fizyko-mechanicznych oraz innych cech urabianego górotworu. W literaturze opracowano wiele klasyfikacji urabialności zrywarkami, które jednak wskazują możliwości realizacji procesu zrywania bez analizy aspektu osiągniętych wydajności. Większość opracowanych metod określania wydajności zrywania opiera się na pojedynczym parametrze górotworu skalnego bez uwzględniania pozostałych cech (równie istotnych). Najczęściej wykorzystuje się parametry: wytrzymałości na ściskanie, odległości spękań, prędkości fali sejsmicznej oraz gęstości. Taki sposób oceny wydajności może prowadzić do błędnych wniosków, zwłaszcza w przypadku bardzo zmiennej budowy złoża (spękania, erozja). Potwierdzeniem tego jest przedstawiony przykład

gdzie w warunkach porównywalnej wartości wytrzymałości na ściskanie wydajność ciągnika D8 zawiera się w szerokim przedziale od 330 do 850 m³/godz. Dlatego też w literaturze spotkać można również bardziej zaawansowane sposoby określania wydajności zrywania, w których dla oszacowania wydajności wymagana jest identyfikacja nawet 7 parametrów lub cech pośrednich charakteryzujących górotwór skalny (zależności wieloparametrowe). Określanie wydajności z wykorzystaniem modeli wieloparametrowych niesie za sobą mniejsze ryzyko popełnienia dużych błędów. Dokładniejsza analiza modeli wieloparametrowych wykazuje, że w zależności od stopnia erozji górotworu skalnego największy wpływ na wydajność zrywania mają w zasadzie następujące parametry: odległość spękań, stopień zwietrzienia, wskaźnik punktowego obciążenia. Wykazano również, że bardzo istotne znaczenie ma kierunek prowadzenia eksploatacji względem rozciągłości złoża i płaszczyzn spękań. Dla masywów średnio zwietrzałych i mocno zwietrzałych wpływ ten wynosi blisko 70%. Podobnie jak w modelach jednoparametrowych nie można ich przenosić pomiędzy różnej wielkości ciągnikami. Do porównywania różnych ciągników można posłużyć się parametrem LSE, który odzwierciedla proces zrywania w skali laboratoryjnej. Na podstawie szerokiej analizy literatury jest to, jak dotąd, jedyny opracowany sposób estymacji wydajności zrywania różnej mocy ciągnikami.

*Artykuł przygotowany w ramach realizacji pracy statutowej 11.11.100.597*

### Literatura

- [1] Abdullatif O.M., Cruden D.M., *The relationship between rock mass quality and ease of excavation*. Bull. Int. Assoc. Eng. Geology, No 28, 1983
- [2] Basarir H, Karpuz C., Tutluoglu L., *A fuzzy logic based rippability classification system*, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Volume 107, 2007
- [3] Basarir H, Karpuz C., Tutluoglu L., *Specific energy based rippability classification system for coal measure rock*, Journal

- of Terramechanics 45, 2008
- [4] Drebenstedt C., *State of the art. And new concept for prediction of cutting resistance on example of continuous mining equipment*, Scientific Reports on Resource Issues, Vol. 1, Freiberg, 2010
- [5] *For the tropical rock engineering fields*, Universiti Teknologi Malaysia, 1998
- [6] Franklin, J. A. Broch E., Walton G., *Logging the Mechanical Character of Rock*, Trans. of Institute of Mining and Metallurgy, 1971
- [7] Kaushik D., Ghose A.K., *Predicting "Cuttability" with Surface Miners – A Rockmass Classification Approach*, Journal of Mines, Metals and Fuels, V.56, Issue 5-6, May 2008
- [8] Kozioł W., Machniak Ł., *Problemy klasyfikacji i wydobycia trudno urabialnych skal i gruntów w kopalniach węgla brunatnego*, Górnictwo i Geoinżynieria, Rok 34, zeszyt 4, 2010
- [9] Kozioł W., Machniak Ł., Borcz A., *Właściwości górotworu a wydajność urabiania zrywarkami*; Maszyny i surowce budowlane, Nr 5, 2012
- [10] Machniak Ł., Borcz A., *O możliwościach urabiania skal zrywarkami*, Maszyny i surowce budowlane, Nr 3, 2012
- [11] Mohd For Mohd Amin, Chan Sook Huei, Zuhairi Abd. Hamid, Mohd Khairolden Ghani, *Rippability assessment of rock based on specific energy and production rate*, 2nd Construction Industry Research Achievement International Conference, 2009
- [12] Pettifer G. S. and Fookes P. G., *A Revision of the Graphical Method for Assessing the Excavatability of Rock*, Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 27, 1994
- [13] Tsambaios G., Saroglou H., *Excavatability assessment of rock masses using the Geological Strength Index (GSI)*, Bull. Eng. Geol. Environ. 69/2010



Z cyklu: bogactwo struktury geologicznej skal

fot. Renata S-K