

Właściwości górotworu a wydajność urabiania zrywarkami

Wiesław Kozioł, Łukasz Machniak, Adrian Borcz

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Metoda urabiania skał z wykorzystywaniem robót wiertniczo-strzałowych bardzo rzadko jest kwestionowana. W światowym górnictwie surowców skalnych i rudnych jest wykorzystywana najpowszechniej. Jednak w przypadku ograniczeń możliwości jej zastosowania 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. W artykule opublikowanym w numerze 3/2012 przedstawiono przykładowe klasyfikacje urabialności skał zrywarkami. Najczęściej klasyfikacje te opierają się na wybranych właściwościach górotworu skalnego i wskazują możliwości realizacji procesu zrywania bez analizy aspektu osiągniętych wydajności [4]. Stąd też, dla pełniejszego przedstawienia możliwości zastosowania zrywarek, w artykule zostanie scharakteryzowany wpływ wybranych właściwości górotworu skalnego oraz badań pomocniczych na wydajność urabiania zrywarkami.

Wpływ parametrów górotworu skalnego na wydajność urabiania

Określone w różnych klasyfikacjach graniczne zakresy zastosowania urabiania zrywarkami pokazują techniczne możliwości realizacji procesu urabiania. Należy mieć na uwadze fakt, że osiągnięte wydajności dla skrajnie niekorzystnych warunków pracy mogą być niezadawalające (zwłaszcza gdy dokonamy porównania z urabianiem MW), co może wyeliminować taki sposób urabiania ze względów ekonomicznych.

Stąd też prowadzi się prace badawcze dotyczące wpływu jakości górotworu skalnego na produktywność urabiania mechanicznego, aby dokładniej określić skuteczność zastosowania maszyn w określonych warunkach urabiania. Podobnie jak w klasyfikacjach urabialności szuka się zależności wydajności zrywania od wartości podstawowych parametrów górotworu skalnego, takich jak:



- wytrzymałość na ściskanie,
- odległość spękań,
- prędkość fali sejsmicznej,
- gęstość,
- ale również innych pomocniczych badań wykonywanych głównie w warunkach laboratoryjnych.

Jako przykład przedstawiono urabianie zrywarkami złoży margli (skała osadowa) z wykorzystaniem ciągników CAT D8 (moc 231 kW, masa – 38,5 Mg) oraz KOMATSU D115 (moc 225 kW, masa – 38,7 Mg), wyposażonymi w pojedynczy zrywak. Charakterystykę urabianego górotworu skalnego zestawiono w tabeli 1.

Poza standardowymi badaniami cech górotworu skalnego wykonano również laboratoryjne badania zrywania (LSE). Do badań wykorzystuje się 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 2 próby zrywania, odnosząc moc (W) wymaganą do wykonania bruzdy oraz moc jałowego biegu trzpienia (bez zrywania). Różnica

Numer próby	Typ skały	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Gęstość [Mg/m ³]	Odległość spękań [m]	Prędkość fali sejsmicznej [m/s]	Energia zrywania LSE [MJ/m ³]
1	Margiel	24,9	2,02	1,50	2330	8,23
2	Margiel	34,0	2,10	2,00	2900	10,18
3	Margiel	16,9	2,09	0,70	1960	4,93
4	Margiel	24,8	2,27	1,00	2000	5,82
5	Margiel zagliniony	2,67	1,53	0,40	875	3,63
6	Margiel	23,8	2,41	1,25	2300	7,5
Średnia		21,2	2,1	1,1	2060	6,7

pomiędzy wartościami daje średnią moc – P, potrzebną do wykonania bruzdy. Waga urobionych fragmentów skały i jej gęstość daje objętość skrawania (V) w m³. Podatność na zrywanie wyrażona jest poprzez energię zrywania – LSE (MJ/m³) przyjmując, że 1 W = 1 J. Energię oblicza się ze wzoru:

Tab. 1. Właściwości zrywanych skał [1,2]



$$LSE = \frac{P}{V}$$

Na podstawie danych z tabeli 1 określić można wydajność zrywania w funkcji poszczególnych parametrów górotworu skalnego, które przedstawiono w tabeli 2. Porównując przedstawione modele ekonometryczne 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 $R^2 = 0,83$. Najsłabszą zależnością charakteryzuje się model powiązany z gęstością margli, dla którego $R^2 = 0,41$.

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

Tab. 2. Zależność wydajności zrywania ciągnikami klasy D8 od wybranych cech górotworu skalnego (opracowanie własne na podstawie [1,2])

W tabeli 2 przedstawiono również graniczne wartości parametrów górotworu skalnego, dla których wydajność techniczna maleje do zera (przy zachowaniu średnich wartości pozostałych cech). Nieco większe wartości parametrów granicznych uzyskalibyśmy gdyby zastosować funkcję logarytmiczną, która równie dobrze (ściślej) opisuje zależności. Warto również porównać próby numer 1, 4 i 6, które charakteryzują się podobnymi wartościami wytrzymałości na ściskanie (odpowiednio 24,9; 24,8; 23,8 MPa). Różne są natomiast odległości pomiędzy spękaniem (odpowiednio 1,5; 1,0; 1,25 m). A więc można by założyć, że największą wydajność uzyska się kolejno w próbach 4, 6, 1. Nie do końca się to jednak potwierdza, bowiem uzyskano odpowiednio wydajności 855, 357 i 334 m³/godz. (kolejność: 4, 1, 6). Potwierdza to złożony charakter oddziaływania parametrów górotworu skalnego na wydajność urabiania. W tym przypadku jest to wpływ gęstości (pomimo słabej korelacji z wydajnością), która

Tab. 3. Charakterystyka górotworu skalnego [5]
* określona w skali laboratoryjnej

Rejon badań	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Gęstość [Mg/m ³]	Prędkość fali sejsmicznej* [m/s]	Energia zrywania LSE [MJ/m ³]
A	30,7	2,1	1866	3,8
B	42,3	2,17	2279	4,6
C	57,8	2,29	2829	5,8
D	56,0	2,31	2864	5,8
E	57,6	2,31	2798	5,5
F	36,4	2,13	2079	4,2
Średnia	46,8	2,21	2452	4,9

w próbie numer 6 jest znacznie większa niż w próbie numer 1.

Podobne badania przedstawiono w pracy [5]. Do bezpośredniej próby urabialności kwarcytów (skała metamorficzna) wykorzystano ciągnik CAT D6 (moc – 120 kW), wyposażony w pojedynczy zrywak. Średnie wartości właściwości urabianego górotworu skalnego zestawiono w tabeli 3.

W porównaniu do wcześniej przedstawionego przykładu, wszystkie właściwości są mniej korzystne dla zastosowania zrywarek. Tylko wynik z próby laboratoryjnego zrywania charakteryzuje się przeciwną tendencją. W każdym rejonie wykonano 10 prób zrywania, co dało łącznie bazę 60 wyników z bezpośredniego urabiania. W tabeli 3 przedstawiono korelację wydajności zrywania za pomocą funkcji liniowych.

We wszystkich regresjach liniowych wartość współczynnika korelacji jest bliska jedności. A więc modele te w sposób bardzo istotny opisują zależność wydajności od badanych cech.

Większość opracowanych sposobów szacowania wydajności zrywania opiera się na pojedynczym parametrze górotworu skalnego, bez uwzględniania pozostałych cech

Na rysunku 1 zamieszczono porównawcze zestawienie wydajności zrywania od wytrzymałości na ściskanie dla obu przedstawionych przykładów. Pomimo różnic w wielkości wykorzystanych do zrywania ciągników, dla punktów charakteryzujących się porównywalną wytrzymałością na ściskanie wydajności zrywania są porównywalne (zielone zaznaczenie na rys. 1). 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 z stanem faktycznym. A więc porównywanie wydajności dla różnej wielkości ciągników na podstawie wytrzymałości na ściskanie jest nieprecyzyjne.

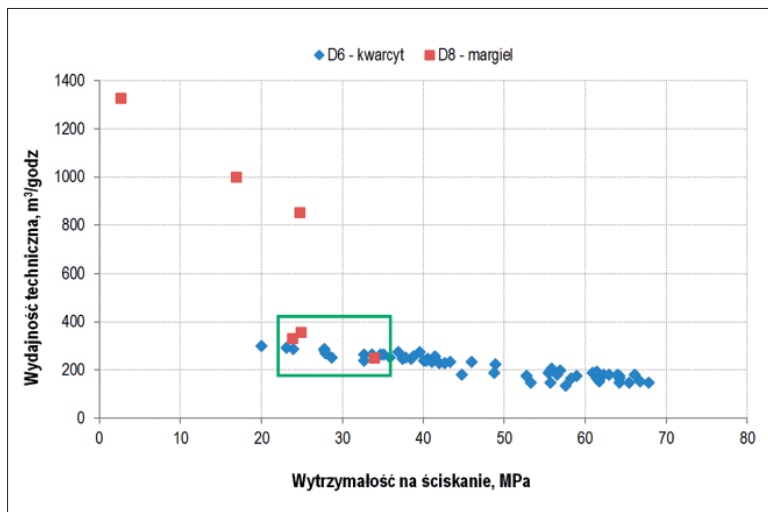
Dopiero uzupełniająca analiza porównawcza wydajności od wartości LSE (rys. 2), dokładniej pokazuje różnicę pomiędzy tymi przykładami.

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/m³), co jest równoznaczne z gorszą urabialnością. 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

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 ³	$Q_t = -486,1x + 1290$	0,99	2,65
Energia zrywania, MJ/m ³	$Q_t = -53,5x + 476$	0,98	8,9

Tab. 4. Korelacja wydajności zrywania ciągnikami klasy D6 z wybranymi cechami górotworu (opracowanie własne na podstawie [5])



Rys. 1. Porównanie wydajności zrywarek w zależności od wytrzymałości na ściskanie (opracowanie własne na podstawie [1, 2, 5])

zrywarek o różnych parametrach technicznych (moc, masa) w pracy określono przybliżone funkcje $Q_t = f(LSE)$ – tab. 5.

Wizualizację przedstawionych zależności przedstawiono na rysunku 3, w zakresie $3,5 \leq LSE \leq 10$.

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 z wykorzystaniem ciągnika jako klasycznej spycharki. Zerwany urobek zazwyczaj przepychany jest tym samym ciągnikiem w wyznaczony rejon, gdzie za pomocą ładowarki bądź koparki ładowany jest na środki transportu. Przyjmując, że czas zrywania wynosi 50% efektywnego czasu pracy ciągnika, który dla bardzo dobrej organizacji pracy to ok. 80% czasu nominalnego, wydajność efektywna procesu zrywania wynosi ok. 40% wartości przedstawionych na rysunku 2. Uwzględniając dodatkowo czasy nieplanowanych przerw i postojów, wydajność rzeczywista będzie stanowiła ok. 30% wartości z rysunku 2.

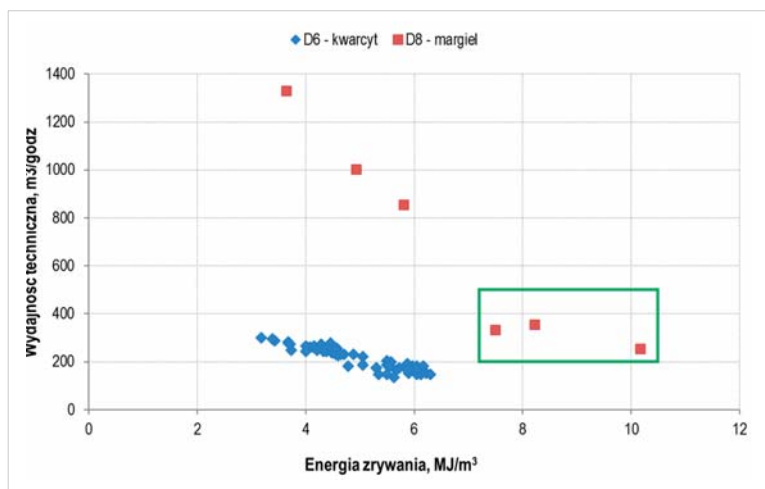
Warto zapamiętać

Większość opracowanych sposobów szacowania 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 oce-

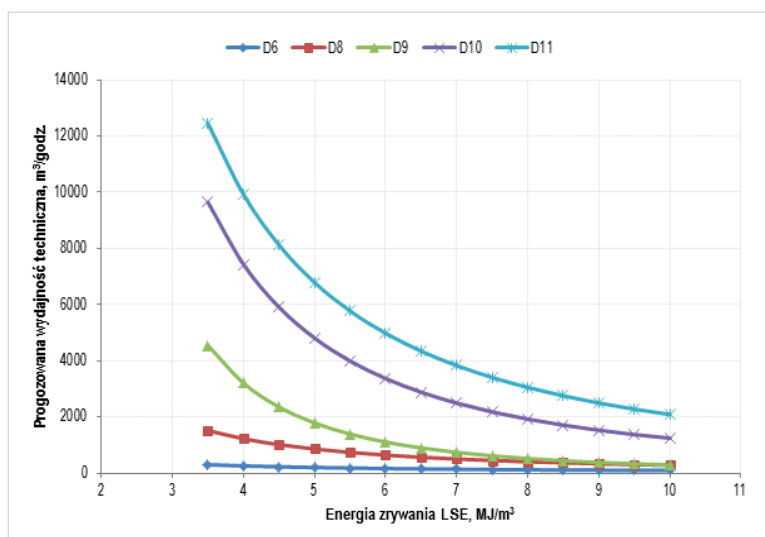


Parametr	D6	D8	D9	D10	D11
Laboratoryjna energia zrywania, MJ/m ³	$Q=1206x^{-1,11}$	$Q=11106x^{-1,59}$	$Q=121115x^{-2,62}$	$Q=110928x^{-1,95}$	$Q=104700x^{-1,70}$

Tab. 5. Sposób prognozowania wydajności technicznej zrywarek o różnej wielkości w zależności od laboratoryjnych badań energii zrywania [1, 3]



Rys. 2. Porównanie wydajności zrywarek w zależności od wytrzymałości na ściskanie (opracowanie własne na podstawie [1, 2, 5])



Rys. 3. Graficzne przedstawienie wydajności zrywarek w zależności od LSE (opracowanie własne na podstawie [1, 3])

ny 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. 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 grantu dziekańskiego 15.11.100.610

Literatura

1. Basarir H, Karpuz C., Tutluoglu L.; Specific energy based ripability classification system for coal measure rock, Journal of Terramechanics 45, 2008 r.
2. Basarir H, Karpuz C., Tutluoglu L.; A fuzzy logic based ripability classification system, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Volume 107, 2007 r.
3. For the tropical rock engineering fields, Universiti Teknologi Malaysia, 1998 r.
4. Machaniak L., Borecz A.; O możliwości urabiania skal zrywarkami, Maszyny i surowce budowlane, Nr 3, 2012 r.
5. Mohd For Mohd Amin, Chan Sook Huei, Zuhairi Abd. Hamid, Mohd Khairolden Ghani; Ripability assessment of rock based on specific energy and production rate, 2nd Construction Industry Research Achievement International Conference, 2009 r.

Reklama

Sprzedam
udokumentowane złoża wapienia
o powierzchni 10 ha, położone
w woj. lubelskim.
Informacje: pias@interia.eu, tel.605-851-151