

PROBLEMATYKA EKSPLOATACYJNA URABIANIA OSPRZĘTEM ZRYWAKOWYM W GÓRNICTWIE ODKRYWKOWYM

APPLICATION OF RIPPER-DOZER COMBINATION IN SURFACE MINING: OPERATING AND PERFORMANCE REQUIREMENTS

Zbigniew Kasztelewicz, Przemysław Bodziony, Michał Patyk - Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Katedra Górnictwa Odkrywkowego, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

W światowym górnictwie odkrywkowym urabianie skał sprężysto kruchych spycharkami z osprzętem zrywakowym jest powszechnie stosowane. Znacznie mniej doświadczeń w tym zakresie wykazują krajowe kopalnie. W artykule przedstawiono najważniejsze zagadnienia eksploatacyjne związane z urabianiem ośrodka skalnego osprzętem zrywakowym. Do najbardziej istotnych problemów związanych z uszkodzalnością osprzętu zrywającego należy zaliczyć przyśpieszone zużycie i uszkodzenie zmęczeniowe zębów zrywających, niewłaściwe sterowanie ciągnikiem gąsienicowym powodujące degradację osprzętu, niewłaściwe wykonanie cyklu roboczego osprzętem zrywakowym, prowadzenie zrywania w ośrodkach wyjątkowo trudno urabialnych.

Słowa kluczowe: spycharka gąsienicowa, osprzęt zrywakowy, mechaniczne urabianie ośrodka skalnego

The surface mining of rocks and coal requires drilling and blasting operation for loosening the strata. The article reviews alternative method of rocks mining with compressive strength material about 20 MPa by ripping. Different studies have come up with developments like ripper - dozer combination with operating and performance requirements of this equipment. But before deploying rippers in mines, proper rippability assessment of the strata should be done. There are different parameters on which rippability of rocks depend on. Relationships are made between the operating parameters and productivity of rippers.

Keywords: dozer, application of ripper, ravelly rock mining, mechanical mining equipment

Wprowadzenie

W światowym górnictwie odkrywkowym urabianie skał sprężysto kruchych spycharkami z osprzętem zrywakowym jest powszechnie stosowane. Znacznie mniej doświadczeń w tym zakresie wykazują krajowe kopalnie - mające tendencje do nadmiernego stosowania robót strzałowych, choć niekiedy eksploatowane złoża lub ich fragmenty, mogą być urabiane mniejszym kosztem - z wykorzystaniem metody mechanicznego urabiania. Zrywanie spycharkami gąsienicowymi jest metodą mechanicznego urabiania skał, stosowaną celem rozluźnienia calizny skalnej za pomocą osprzętu zrywakowego, a następnie przemieszczenia rozluźnianych mas skalnych do załadunku przez koparki jednonaczyniowe lub ładowarki na inne środki transportu [2-4]. Na podatność na zrywanie mają wpływ właściwości fizyczne skał tj.: wytrzymałość na ściskanie, płaszczyzna uwarstwienia, szczelinowatość i spękania, łamliwość i zawartość składników krystalicznych, twardość oraz osłabienia spowodowane

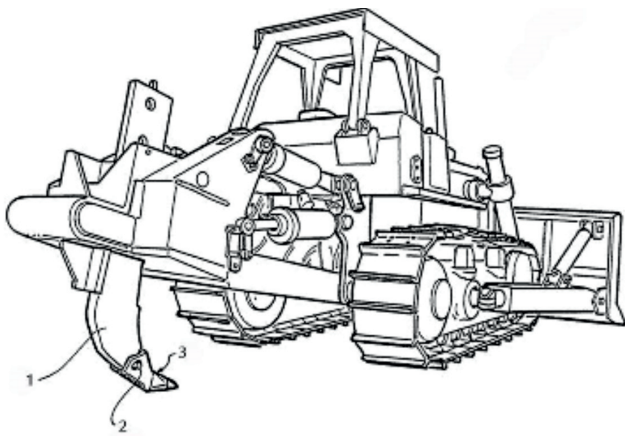
warunkami atmosferycznymi [2-4]. Parametry te mają istotny wpływ na dobór wielkości zagłębienia oraz kąta zrywania narzędzia roboczego. Natomiast do czynników utrudniających zrywanie skał zalicza się zwartą strukturę i silne związanie masy skalnej, zawartość elementów mało krystalicznych, jednolite płaszczyzny, drobnoziarnistość i silne scementowanie składników, brak przełamu (materiały plastyczne).

Podstawowe parametry procesu zrywania i osprzętu zrywakowego

Na efektywność pracy spycharki z osprzętem zrywakowym, jak już wspomniano, mają wpływ właściwości i stan urabianych skał, ponadto, liczba dużych i bardzo twardych wtrąceń (bryły, głązy) oraz takie parametry jak: szerokość zębów, kształt, materiał i rozmiary końcówek, kąt zrywania, zasięg i wysokość zamocowania zębów (liczona od końcówek zęba), liczba i wielkość rozstawienia (podziałka) zębów zrywających (tab. 1) oraz siła

Tab. 1. Podziałka rozstawu zębów osprzętu zrywakowego [2]
Tab. 1. Tine pitch in ripper equipment

Rodzaj spycharki	Podziałka t dla rozstawu zębów zrywaków, [m]:	
	trójzębnych	pięciozębnych
Lekkie	0,8–1,0	0,3–0,5
Średnie	0,9–1,3	–
Ciężkie	do 1,4	–

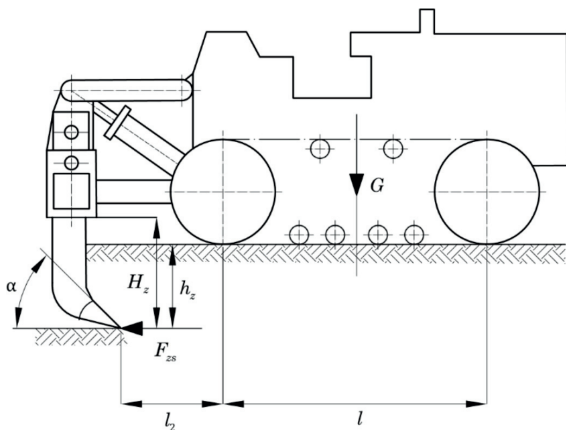


1 – ząb, 2 – ochraniacz, 3 – wymienna końcówka ścieralna

Rys. 1. Osprzęt zrywakowy [5]
Fig. 1. Parts of ripper equipment

Tab. 2. Zalecane końcówki samoostrzące w osprzęcie zrywakowym w zależności od rodzaju ciągnika gąsienicowego [6]
Tab. 2. The relationship between size of rippers tine and operating conditions

Warunki pracy	Typ ciągnika gąsienicowego		
	ciężki	średni	lekki
W układzie tandem	krótka	krótka	średnia
Bardzo ciężkie warunki pracy	krótka	średnia	długa
Średnie warunki pracy	średnia	długa	długa
Zrywanie materiału o właściwościach ściernych	długa	długa	długa



G – ciężar ciągnika gąsienicowego, [kN]; l – długość powierzchni gąsienic, [m]; l_2 – odległość od zębów zrywających do osi tylnego wieloboku napędowego ciągnika, [m]; F_{zs} – siła oporu zrywania, [kN]; α – kąt zrywania [°]; h_z – maksymalna głębokość zrywania, [m]; H_z – wysokość zębów [m].

Rys. 2. Zrywarka – schemat ogólny [2]
Fig. 2. Ripper equipment flow diagram

zagłębiania i podnoszenia zespołu urządzenia zrywającego.

Osprzęt zrywakowy składa się z przedniej (czołowej) powierzchni trzonu zęba o szerokości od 60 do 100 mm zabudowanej nakładki (protektor) służącej do ochrony trzonu zęba przed zbyt szybkim zużyciem. Dodatkowo, koniec zęba może być ochraniający nakładanym pazurem (rys. 1), stanowiącym wymienną końcówką, przyjmującą największe obciążenia oraz zużycie abrazywne podczas urabiania.

W celu przedłużenia zdatności elementów osprzętu zrywakowego stosuje się wspomniane wymienne nakładki ochraniające zęby zrywaków wykonane w sposób zapewniający szybkie mocowanie i wymianę. Dodatkowo możliwe jest stosowanie końcówek samoostrzących, które poza wydłużeniem okresu

zdatności osprzętu wspomagają także sam proces urabiania (tab. 2).

- Rozróżnia się następujące końcówki samoostrzące:
- krótkie, najdogodniejsze przy dużych obciążeniach udarowych oraz odporne na złamanie, ale ulegające szybkiemu ścieraniu,
 - średnie, dostosowane do średnich obciążeń udarowych i pracy w ośrodku abrazywnym,
 - długie, charakteryzujące się dużą odpornością na ścieranie i najmniejszą wytrzymałością na obciążenia udarowe [2-4].

Ogólną zasadą jest stosowanie możliwie najdłuższych końcówek, jakie w danych warunkach mogą być stosowane, bez generowania nadmiernego obciążenia zginającego. W zależności od warunków pracy oraz mocy ciągników gąsienicowych stosuje się zrywarki wielozębne (od 2 do 3) lub jednozębne.

Na przebieg procesu urabiania ma wpływ także kąt zrywania α i przy urabianiu zwartych skał wynosi od 34° do 46°. Przy eksploatacji glin morenowych z wtrąceniami głazów kąt zrywania zwiększa się [2-4].

Większość zrywaków podwieszanych na ramie opuszczanej hydraulicznie cechuje się zmiennym kątem zrywania. W początkowej fazie zagłębiania zębów kąt zrywania wynosi od 52° do 80°, co zabezpiecza pazury przed niszczącym działaniem sił rozciągających i zmniejsza nacisk wymagany dla wcięcia zębów w skałę na określoną głębokość.

W miarę zagłębiania się zębów, wielkość kąta zrywania zmniejsza się. Przy równoległobocznym podwieszeniu ramy urządzenia zrywającego kąt zrywania pozostaje stały, niezależnie od głębokości zrywania. Głębokość zrywania w znacznym stopniu zależy od rodzaju zrywanych skał. Obecnie stosowany osprzęt zrywakowy, zabudowany na lekkich i średnich ciągnikach gąsienicowych, umożliwia zrywanie skał do głębokości 500 mm. Zrywaki ogólnego przeznaczenia z podwieszeniem hydraulicznym ramy mocowane na spycharkach ciężkich zapewniają zrywanie skał do głębokości od 700 do 1000 mm, a jednozębny osprzęt specjalny do 2000 mm [1-4].

Wysokość zębów H_z (rys. 2) powinna być od 0,1 do 0,3 m większa od maksymalnej głębokości zrywania, dla zapewnienia swobodnego przejścia poprzecznej ramy osprzętu zrywakowego ponad urabianym ośrodkiem skalnym. Wysięg zębów zrywających l_2 mierzony od ostrza zęba do gąsienic powinien być taki, aby zrywany urobek nie włócił się przed zębami oraz żeby zęby nie miały możliwości zrywania gruntu pod gąsienicami ciągnika [1-4].

Zwykle wysięg zębów przyjmuje się:

$$l_2 = (1,5 \div 2,0)H_z \tag{1}$$

gdzie:

H_z oznacza największe możliwe zagłębienie zębów.

Natomiast wydajność i niezbędną moc ciągnika gąsienicowego do realizacji procesu zrywania i pokonania wszystkich oporów ruchu, określają zależności:

$$Q_e = \frac{1000 \cdot v_j \cdot t \cdot h_o \cdot z}{k_2 \cdot k_3} \frac{m^3}{h} \quad (2)$$

gdzie:

Q_e - wydajność teoretyczna [m^3/h]

v_j - prędkość zrywania, [km/h]

t - odległość między zębami (podziałka), [m]

$$t = 2h_o \quad (3)$$

z - liczba zębów

h_o - obliczeniowa głębokość zrywania, [m]

$$h_o = (0,6 \div 0,8) \cdot h_z \quad (4)$$

h_z - maksymalne zagłębienie zębów zrywających

z - liczba zębów

k_2 - współczynnik określający sposób urabiania

$k_2 = 1$ przy równoległym urabianiu

$k_2 = 2$ przy krzyżowym sposobie urabiania

$k_2 = 3$ przy urabianiu w romb

k_3 - liczba przejść jedną i tą samą bruzdą

W przypadku, gdy zrywanie prowadzone jest na skarpach po upadzie (z góry na dół - rys. 3), prędkość zrywania należy podzielić na:

- prędkość zrywania podczas jazdy z góry na dół v_s

- prędkość przejazdu powrotnego v_p

$$v_j = \frac{v_s + v_p}{2} \frac{km}{h} \quad (5)$$

Wydajność zrywania po upadzie oblicza się na podstawie zależności:

$$Q_e = \frac{500 \cdot (v_s + v_p) \cdot t \cdot h_o \cdot z}{k_2 \cdot k_3} \frac{m^3}{h} \quad (6)$$



Rys. 3. Zrywanie w po upadzie [3]

Fig. 3. Decline ripping

Im większa jest ilość zrywaków, tym mniejszy rozstęp pomiędzy bruzdami i tym lepsze rozluźnianie calizny.

Moc ciągnika gąsienicowego N_z niezbędną do realizacji zrywania oblicza się według wzoru:

$$N_z = \frac{F_u \cdot v_j}{3,65 \cdot \eta} \text{ kW} \quad (7)$$

gdzie:

F_u - sumaryczne opory jazdy ciągnika i urabiania, kN,

v_j - prędkość robocza ciągnika, równa prędkości zrywania, km/h,

η - sprawność mechaniczna układu napędowego.

Warunek zachowania ciągłości procesu zrywania wymaga siły uciągu o wartości pozwalającej na pokonanie wszystkich oporów urabiania i oporów jazdy ciągnika.

Siła uciągu wynikająca z mocy silnika i przełożenia układu napędowego wynosi:

$$P_u = \frac{3,65 \cdot \eta \cdot N}{v_j} - W_j \text{ kN} \quad (8)$$

P_u - siła uciągu, [kN]

W_j - opory urabiania i opory jazdy, [kN]

Podobnie, jak w przypadku procesu spychania, zachodzi konieczny warunek sprzężenia ciernego podwozia gąsienicowego z podłożem, z tą różnicą, iż należy uwzględnić wzrost ciężaru ciągnika o ciężar lemiesza i zrywaka [1-4].

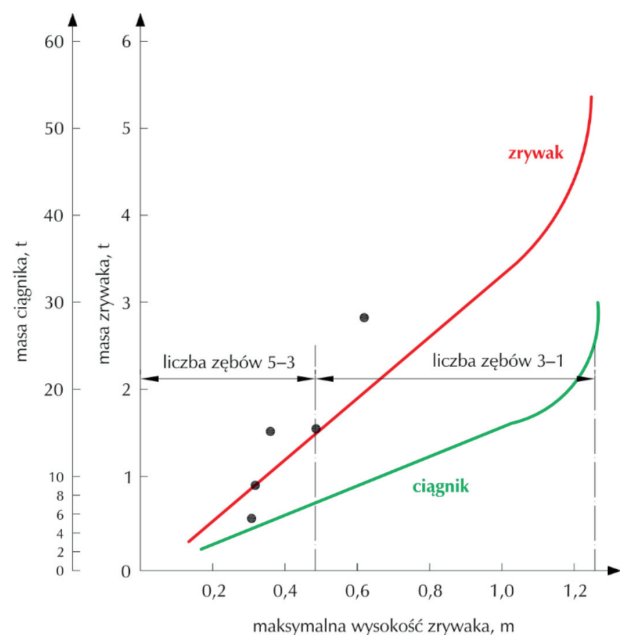
Wybór odpowiedniego ciągnika, czyli jego wielkość, masa i moc podyktowana jest w głównej mierze:

- oporem urabiania
- materiałem wykonania i konstrukcją zrywaka i jego zęba
- odpornością materiału zęba na ścieranie
- odpornością zęba na uderzenia dynamiczne
- zależnością głębokości zrywania od masy ciągnika i zrywaka
- rodzajem urabianych gruntów, co przesądza o wartości współczynnika współpracy z podłożem i wartości użytecznej siły uciągu

Zależności te obrazuje rysunek 4.

Uszkodzenia i degradacja osprzętu zrywakowego

Do najbardziej istotnych problemów eksploatacyjnych związanych z uszkodzeniami osprzętu zrywającego należy zaliczyć [3, 4]:

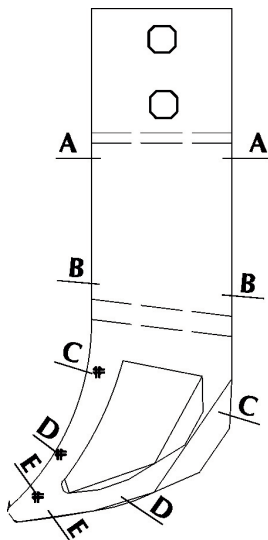


Rys. 4. Zależność głębokości zrywania od masy ciągnika i siły zrywania [2]

Fig. 4. The relationship between depth of ripping and dozer mass and ripping force

- przyspieszone zużycie i uszkodzanie zmęczeniowe zębów zrywających,
- niewłaściwe sterowanie ciągnikiem gąsienicowym powodujące degradację osprzętu,
- niewłaściwe wykonanie cyklu roboczego osprzętem zrywakowym,
- prowadzenie zrywania w ośrodkach wyjątkowo trudno urabialnych.

Największym problemem eksploatacyjnym jest nadmierne zużycie ściernie oraz uszkodzanie zmęczeniowe zębów zrywających oraz nakładek ochronnych. Najczęściej dochodzi do intensywnego i przyspieszonego zużycia ściernego (stępienia) nakładek ochronnych, w mniejszym stopniu zaś samych zębów zrywaków (rys. 5 i 6). Ma to miejsce w przypadku urabiania ośrodka skalnego o IV i wyższej klasie urabialności. Ponadto,



Rys. 5. Miejsce uszkodzeń i pęknięcia zmęczeniowe końcowych części zęba [2]

Fig. 5. Damaged places and fatigue cracking at the ripper tine

często dochodzi zmęczeniowego pęknięcia oraz zrywania się całych zębów, co pokazano schematycznie na rysunku 5. Większość zębów ulega uszkodzeniu w przekrojach osłabionych otworami i miejscach występowania koncentracji naprężeń



Rys. 6. Stępione (zużyte) zęby zrywaków [7]

Fig. 6. Excessive ripper tine wear

(zjawisko karbu). Niektóre zęby pękają zmęczeniowo w okolicy miejsca zamocowania ich w ramie konstrukcji nośnej w miejscu działania największego momentu zginającego. Pęknięciom zmęczeniowym ulegają także same nakładki zębów zrywających, a w szczególności ich długie zakończenia (rys. 7).



Rys. 7. Pęknięcia zmęczeniowe zębów zrywaków [7]

Fig. 7. Stress cracking of ripper tine

Przeważająca ilość przypadków pęknięć zachodzi w miejscach przejścia ścianek pionowych nakładek w ściankę poziomą, która tworzy powierzchnię natarcia. Miejsca najbardziej narażone na pęknięcia zmęczeniowe zaznaczono na rysunku 5. Nie usunięcie uszkodzenia, przy jednoczesnej dalszej eksploatacji, zwykle prowadzi do zerwania się w miejscu otworów pod sworznie mocujące, nakładki zęba. Proces zrywania przejmuje wtedy zakończenie trzonu zęba, co w rezultacie prowadzi do zerwania zakończenia trzonu, najczęściej w przekroju osłabionym otworem [3, 4].

Kolejnym problemem wywołującym uszkodzenie osprzętu zrywakowego jest niewłaściwe kierowanie ciągnikiem gąsienicowym przez operatora. Często, podczas prowadzonego procesu zrywania, dochodzi do gwałtownego skręcania lub zmiany kierunku, w wyniku czego może nastąpić uszkodzenie elementu zrywającego (rys. 7) oraz utraty sprzężenia ciernego z podwoziem, a także przyspieszonego zużycia płyt gąsienicowych oraz elementów układu przeniesienia napędu i prowadzenia ciągnika gąsienicowego.

Ponadto, na przyspieszone zużycie, a nawet zniszczenie elementów osprzętu zrywakowego ma gwałtownie wywołany proces zrywania poprzez nagłe zagłębienie w ośrodek skalny zrywaka oraz szybki ruch maszyny podczas tego procesu. Urabianie osprzętem zrywakowym powinno być prowadzone w sposób stabilny i równy na całej odległości i głębokości zrywania. Gwałtowne zmiany prędkości oraz poziomu zagłębienia osprzętu prowadzą do uszkodzeń przedstawionych na rysunku 7.

Do istotnych problemów eksploatacyjnych wiążącym się z przyspieszonym zużyciem osprzętu zrywającego należy zaliczyć także niewłaściwie prowadzony proces zrywania. Ma to miejsce, gdy prowadzone jest urabianie, przy jednoczesnym wystąpieniu uniesienia tyłu spycharki. Podniesienie tyłu ciągnika skutkuje obniżeniem wydajności procesu, zwiększeniem zużycia podwozia maszyny, a przede wszystkim zmniejszeniem

powierzchni styku podwozia z podłożem. Natomiast, niedostateczne podniesienie zrywaka podczas jazdy może prowadzić do zahaczenia lub zaklinowania się spycharki o rozluźniony urobek, a także, w przypadku najechania na nadgabaryt, spycharka opadając na podłoże oprze się na zrywaku doprowadzając do wygenerowania naprężeń zginających elementy zrywaka. Ponadto, prowadzenie zrywania na zboczach może spowodować zniszczenie zrywaka przez działające naprężenia zginające, a w przypadku zbyt dużego nachylenia zbocza przewrócenie się maszyny.

Wydajność i bezawaryjność urabiania ciągnikiem gąsienicowym z osprzętem zrywakowym w dużej mierze zależy zatem od umiejętności i doświadczenia operatora [3, 4].

Podsumowanie

Urabianie skał osprzętem zrywakowym obniża znacznie koszt odpajania w stosunku do tradycyjnego rozluźniania materiałami wybuchowymi, przy czym na ogół jest ono bardziej korzystne w przypadku skał sprężysto kruchych. Urabianie

osprzętem zrywakowym zwiększa bezpieczeństwo pracy, umożliwia ciągłość robót, nie wymaga magazynowania materiałów wybuchowych, nie generuje drgań parasejsmicznych oraz akustycznych. Ponadto, umożliwia selektywne urabianie i lepsze rozdrabnianie ośrodka skalnego. Aczkolwiek, skomplikowane określanie rodzaju skały i jej urabialności, może powodować trudności w doborze osprzętu oraz konieczność stosowania ciągników gąsienicowych o dużych i bardzo dużych mocach (od 350 do 800 kW), co nie sprzyja rozpowszechnieniu tej metody urabiania. Użytkowanie osprzętu i okres jego żywotności, a także wydajność procesu urabiania zależy nie tylko, od doboru do struktury i tekstury urabianego ośrodka, ale także od właściwej eksploatacji zespołu: spycharka – osprzęt zrywakowy i odpowiedniej realizacji samego procesu.

W kontekście przedstawionej problematyki urabiania mechanicznego, zasygnalizowano także ważny problem poszukiwania odpowiednich sposobów eksploatacji utworów trudno urabialnych występujących w nadkładzie kopalń odkrywkowych węgla brunatnego.

Literatura

- [1] Bęben A.: *Maszyny i urządzenia do wydobywania kopalin pospolitych bez użycia materiałów wybuchowych*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2008
- [2] Hawrylak H., Jarząbek M., Sieczyński A., Sobolski R.: *Maszyny i prace pomocnicze w górnictwie odkrywkowym*. Wydawnictwo „Śląsk” Katowice, 1975
- [3] Kasztelewicz Z., Patyk M., Bodziony P.: *Spycharki, dźwigi boczne i przesuwarki przenośników taśmowych. Budowa i technologia pracy*. Agencja Wydawniczo-Poligraficzna ART-TEKST, Kraków 2015
- [4] Wojtkiewicz H.: *Praca spycharek i zrywarek*. Praca niepublikowana, Wrocław 2012
- [5] Calderwood, <http://www.google.com/patents/US7757778>
- [6] www.cat.com
- [7] www.komatsu.com



Kopalnia dolomitu „Libiąż”

fot. Maria Brych