Mining Science – Mineral Aggregates, vol. 23(1), 2016, 73–81

www.miningscience.pwr.edu.pl

Mining Science

(Previously Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, ISSN 0370-0798)

ISSN 2300-9586 (print)
ISSN 2353-5423 (online)

Received February 26, 2016; reviewed; accepted March 15, 2016

zgarniarki, spycharki, osprzęt zrywakowy, mechaniczne urabianie ośrodka skalnego

Zbigniew KASZTELEWICZ, Przemysław BODZIONY, Michał PATYK[1]

URABIANIE SKAŁ SPRĘŻYSTO-KRUCHYCH ZRYWARKAMI – PROCES I TECHNOLOGIA PRACY

W światowym górnictwie odkrywkowym urabianie skał sprężystokruchych zrywarkami jest powszechnie stosowane. Znacznie mniej doświadczeń w tym zakresie mają krajowe kopalnie, mające tendencje do nadmiernego wykorzystywania robót wiertniczo-strzałowych, choć niekiedy eksploatowane złoża lub ich fragmenty, mogą być urabiane mechanicznie. Nie ulega wątpliwości, że w przypadku skał o zwięzłości powyżej 20 MPa (m.in. wapieni, dolomitów, piaskowców, margli, trawertynu itp.) najniższe koszty jednostkowe wyrażone w zł/Mg osiąga się stosując technikę strzelniczą. Jednakże w przypadku skał, których nie można zakwalifikować do tych grup, mogą pojawić się pewne trudności co do doboru metody ich urabiania. Do takich skał zaliczyć można średniozwięzłe skały osadowe lub metamorficzne, które są stosunkowo niezwięzłe, aby stosować urabianie materiałami wybuchowymi, ale zbyt zwięzłe dla koparek jednonaczyniowych. Do urabiania takich skał wykorzystać można także osprzęt zrywakowy, mocowany na spycharkach gąsienicowych, które w ostatnich latach stają się poważną alternatywą dla urabiania metodami techniki strzelniczej.

1. PROCES ZRYWANIA I JEGO UWARUNKOWANIA

Zastosowanie zrywarek miało swoje początki już w latach 30. XX wieku. Zrywarkami nazywa się maszyny, składające się z ciągnika (spycharki ku ładowarki) na podwoziu gąsienicowym, wyposażone w jeden lub kilka elementów zrywających (Bęben 2008). Przez wiele lat zrywanie było stosowane do rozluźniania gleb i sła-

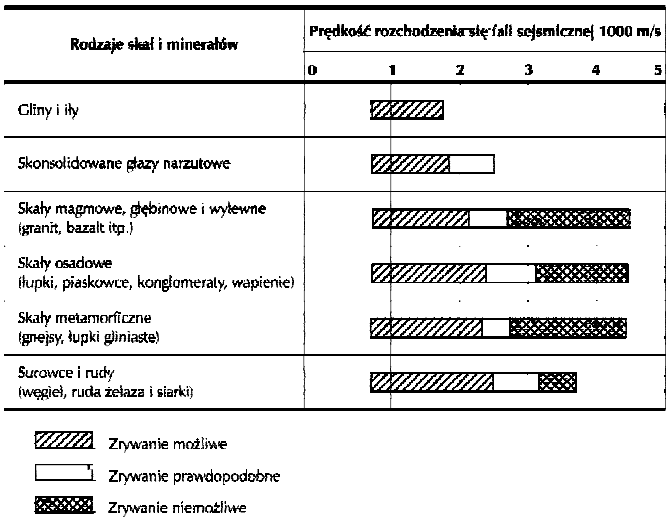
[1] AGH w Krakowie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Katedra Górnictwa Odkrywkowego, kasztel@agh.edu.pl, przembo@agh.edu.pl, mpatyk@agh.edu.pl

doi: 10.5277/mscma1622307

bozwięzłych skał, podczas gdy ośrodki zwięzłe i bardzo zwięzłe urabiano materiałami wybuchowymi. Zruszanie urobku zrywarkami jest metodą mechanicznego urabiania skał, stosowaną dla rozluzowania calizny skalnej osprzętem zrywakowym. Wyposażane w osprzęt zrywakowy spycharki umożliwiają przemieszczanie rozluzowanego urobku do miejsca załadunku koparkami jednonaczyniowymi lub ładowarkami na wozidła technologiczne (Kasztelewicz i in. 2015).

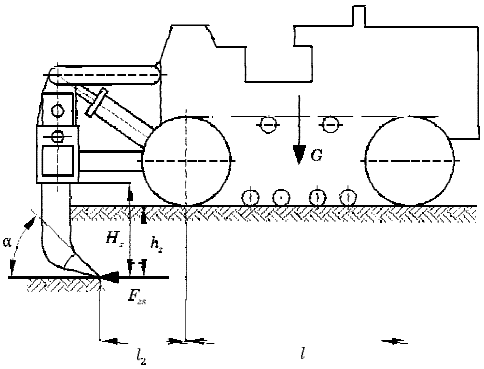
Na podatność na zrywanie mają wpływ właściwości fizyczne skał, tj.: wytrzymałość na ściskanie, płaszczyzna uwarstwienia, szczelinowatość i spękania, łamliwość i zawartość składników krystalicznych, twardość oraz osłabienia, spowodowane warunkami atmosferycznymi (Bęben A. 2008; Chrostowski i in. 2012). Parametry te mają istotny wpływ na dobór wielkości zagłębienia oraz kąt zrywania narzędzia roboczego. Natomiast do czynników utrudniających zrywanie zalicza się zwartą strukturę i silne związanie masy skalnej, zawartość elementów mało krystalicznych, jednolite płaszczyzny, drobnoziarnistość i scementowanie składników, brak przełamu (materiały plastyczne). Zakres stosowania zrywania w różnych skałach jest odmienny dla poszczególnych typów osprzętu zrywakowego i zależy od charakterystyk technicznych, a przede wszystkim od mocy (generowanej siły naporu) ciągników gąsienicowych, konstrukcji zrywaków, ich ram, mocowań i konfiguracji zrywaków.

Wyniki badań z wykorzystaniem sejsmografu refrakcyjnego są pomocne w wyborze efektywnej metody rozluzowania skał, tj. z wykorzystaniem techniki strzelniczej lub urabiania zrywarkami. Fale sejsmiczne przenikają przez podłoże skalne z prędkościami wprost proporcjonalnymi do rodzaju skał i głębokości ich zalegania. Zakres urabiania skał zrywarkami przedstawia rysunek 1.



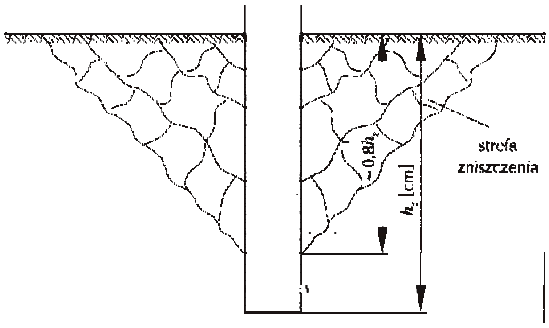
Rys. 1. Zależność zrywalności skał zrywarkami od prędkości fal sejsmicznych (Hawrylak i in. 1975)
Fig. 1. The relationship between destructive rock by ripping and the speed of seismic waves

Zrywanie ośrodka, w którym prędkość przechodzenia fali sejsmicznej wynosi do 800 m/s, nie daje efektu rozluzowania calizny, będącej ośrodkiem sypkim (piaski, żwiry, itp.) bądź plastycznym. Szczelina powstająca po przejściu zrywaka zaciska się bez efektów zniszczenia struktury gruntu w jej otoczeniu. Ośrodki skalne o prędkościach przechodzenia fali sejsmicznej około 2000 m/s stanowią górną granicę możliwości mechanicznego urabiania skał zrywaniem. Proces zrywania polega na penetracji i dezintegracji ośrodka skalnego narzędziem zrywającym, w postaci długiego zęba o kształcie klina lub kilku zębów zamocowanych do ciągnika (rys. 2); narzędzie jest wciskane w caliznę, a następnie, po zagłębieniu na określoną głębokość, jest przemieszczane w kierunku równoległym do zewnętrznej powierzchni skały. Stąd jej struktura w obrębie zębów zostaje dezintegrowana, a rozkruszona skała w formie kawałków, po przejściu zębów, pozostaje w otoczeniu powstałych bruzd (rys. 3, 4).



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

Rys. 2. Osprzęt zrywakowy – schemat ogólny (Hawrylak i in. 1975; Pieczonka 2007)
Fig. 2. Ripping equipment flow diagram



Rys. 3. Strefa niszczenia struktury gruntu przy zrywania (Wojtkiewicz 2012)
Fig. 3. Crushed zone of the soil structure by ripping

Rys. 4. Spycharka PR764 z pojedynczym zrywakiem (Liebherr-Polska)
Fig. 4. Dozer PR764 with single-shank ripper

W procesie zrywania ostrze zrywaka oddziałuje na określoną przestrzeń ośrodka skalnego przed zrywakiem oraz z jego boków. W wyniku tego następuje dezintegracja struktury ośrodka w stopniu zależnym od rodzaju urabianej skały. Sumarycznie oddziaływania te stanowią wielkość oporu zrywania. Aby zrywanie przebiegało sukcesywnie, powstające w czasie zrywania bryły nie powinny się blokować w obszarze między zębami. W związku z tym rozstaw zębów, w zależności od rodzaju skały i głębokości zrywania, powinien się wynosić:

$$t = (1 \div 2)h_z \tag{1}$$

gdzie

h_z – jest głębokością zrywania, [m].

Natomiast, generowana siła oporu zrywania F_{zr} wyrażona jest zależnością:

$$F_{zr} = A_z \cdot k_A \cdot k_p \cdot k_t \tag{2}$$

gdzie:

A_z – powierzchnia przekroju warstwy zrywanej, [m^2],

k_A – jednostkowy opór zrywania odniesiony do powierzchni ośrodka skalnego; $k_A > 0{,}5$ MPa,

k_p – współczynnik uwzględniający odkształcenie objętości ośrodka skalnego; $k_p \approx (1{,}5–1{,}8)$,

k_t – współczynnik uwzględniający stępienie zrywaka; $k_t \approx (1{,}05–1{,}15)$.

$$A_z = h_z(b + k_b \cdot h_z \cdot \mathrm{tg}\,\psi_z) \tag{3}$$

gdzie:

b – szerokość zęba, [m],

k_b – współczynnik uwzględniający różnice głębokości zrywania, a głębokością bocznego rozkruszania skały; $k_b \approx (0{,}8–0{,}9)$

Ψ_z – kąt bocznego rozkruszania skały, [°].

Jeżeli zrywanie jest wykonywane równocześnie kilkoma odpowiednio ustawionymi zębami, to wówczas następuje zwykle pewne nakładanie się oddziaływań zębów na skałę znajdującą się między nimi. Sumaryczny opór pracy zrywakiem wielozębnym F_{zs} zawarty jest w granicach wg zależności

$$F_{zs} = (0{,}75 \div 0{,}85) \cdot F_{zr} \cdot z \tag{4}$$

gdzie:

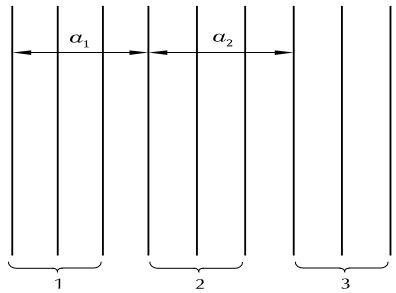
F_{zr} – siła oporu zrywania jednym zębem,

z – liczba zębów zrywaka.

Największą wydajność urabiania zrywaniem uzyskuje się urabiając w kierunku upadu zalegających warstw, aczkolwiek wiąże się to z ryzykiem występowania postojów naprawczych, spowodowanych częstym uszkodzeniem i przyspieszonym zużyciem elementów osprzętu zrywakowego.

2. SPOSOBY URABIANIA SKAŁ ZRYWANIEM

Ze względu na warunki zalegania i właściwości fizyczne skał można rozróżnić trzy sposoby urabiania skał zrywaniem: równoległe, krzyżowe i w romb. W skałach spękanych do osiągnięcia niezbędnego stopnia rozluzowania, umożliwiającego właściwą pracę innych urządzeń, wystarczające są tylko wzdłużne lub poprzeczne do ruchu tych urządzeń przejścia zrywarki, przy odległości poszczególnych bruzd (rys. 5).

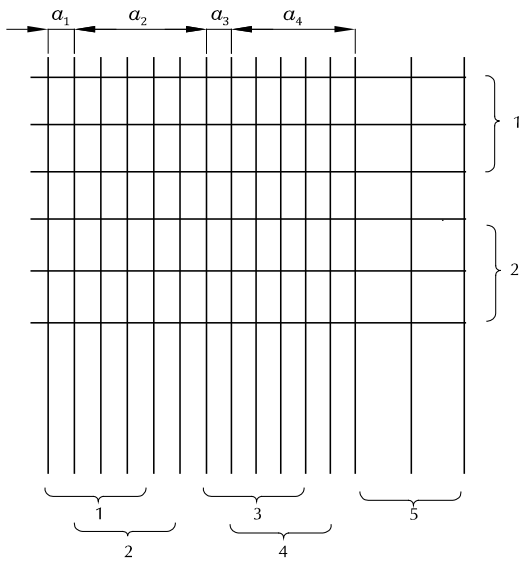


$a_1 = a_2 = \ldots = a_n$

1–3 kolejne przejścia zrywarki

Rys. 5. Schemat zrywania równoległego w skale łatwourabialnej (Hawrylak i in. 1975)
Fig. 5. Diagram of parallel-ripping in gravelly rock mining

Odległość pomiędzy bruzdami wynosi $a = 2 \cdot h_z$ [cm], gdzie h_z oznacza głębokość bruzdy. Przy urabianiu skał zwięzłych stosuje się tzw. wzdłużne lub poprzeczne zrywanie krzyżowe (rys. 6).



$$a_1 = a_3 = a_5 = \ldots = a_{2n+1}$$

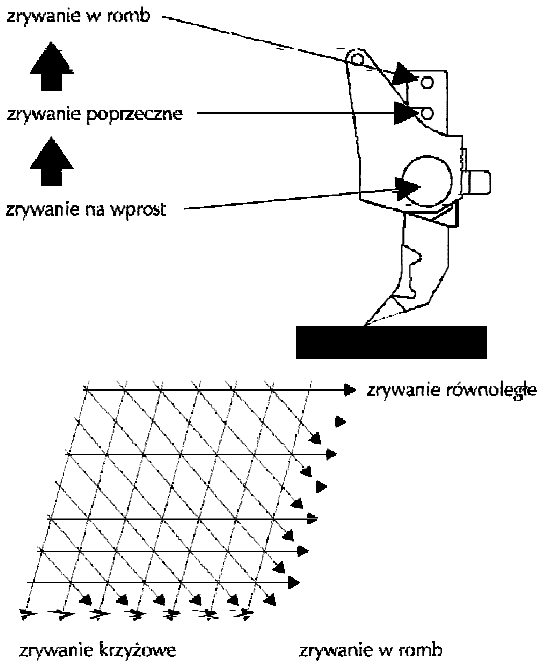
$$a_2 = a_4 = \ldots = a_{2n}$$

1–5 kolejne przejścia zrywarki

Rys. 6. Schemat zrywania krzyżowego w skale trudnourabialnej (Hawrylak i in. 1975)
Fig. 6. Schematic of cross-ripping in rock hard mining

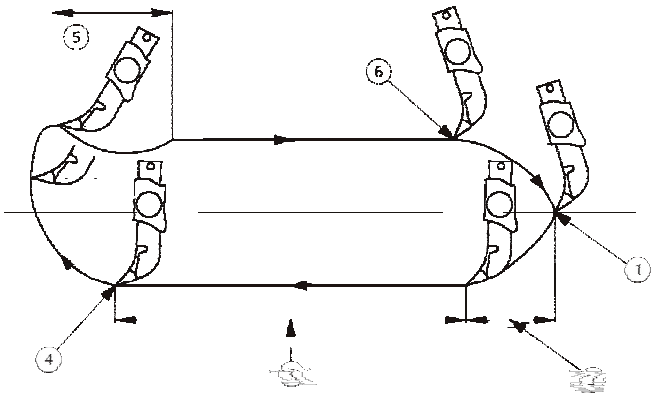
W urabianiu skał bardzo zwięzłych (trudnourabialnych) stosuje się zrywanie w romb; jest to połączenie wcześniej opisywanych sposobów. W celu zwiększenia efektywności zrywania należy zmieniać ustawienie długości (wysokości) zrywaka. Schemat zrywania w romb przedstawia rysunek 7.

W zrywaniu skał bardzo trudnourabialnych w pierwszej kolejności wykonuje się zrywanie równoległe (na wprost) przy najniższym ustawienie zrywaka (najniższy otwór trzpienia). Po zakończeniu zrywania całej powierzchni roboczej, trzpień zrywaka należy ustawić w pozycji środkowej (środkowy otwór) i wykonać zrywanie na krzyż (poprzeczne). Następnie podnosi się trzpień zrywaka do pozycji górnej. W końcowym etapie wykonuje się zrywanie w romb; zrywak osiąga największe zagłębienia i jest w stanie penetrować najniższe warstwy urabianego ośrodka (Kasztelewicz i in. 2015). Zrywanie rozpoczyna się od opuszczenia i wciśnięcia zębów w ośrodek skalny, aż do głębokości, na której możliwe jest wykorzystanie pełnej siły naporu ciągnika gąsienicowego.



Rys. 7. Schemat zrywania w romb skały trudnourabialnej; zasada postępowania (Komatsu Poland)
Fig. 7. Diagram of ripping by the diamond method in hard rock mechanical mining (Komatsu Poland)

Po rozluzowaniu danego odcinka operator podnosi noże, zrywarka zawraca i cykl zostaje powtórzony (rys. 8).

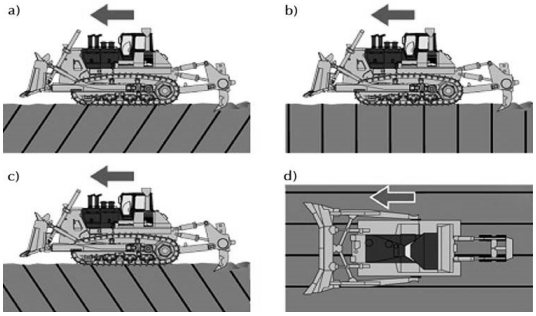


1 – ustawienie zrywaka na podłożu, 2 – ustawienie głębokości, 3 – zrywanie, 4 – podniesienie zrywaka, jazda do tyłu, 5 – przemieszczanie się maszyny, zmiana położenia zrywaka w kierunku maszyny, 6 – punkt początkowy, zmiana kierunku jazdy, opuszczenie zrywaka i zrywanie

Rys. 8. Efektywna praca osprzętem zrywakowym (Komatsu Poland)
Fig. 8. Schematic diagram of the effective ripping equipment

Odległość pomiędzy zębami powinna być tak dobrana, aby umożliwić żądane rozluzowanie skał i ułatwić przemieszczanie lub ładowanie poszczególnych brył. Im bardziej lita jest skała, tym odległość ta powinna być mniejsza. Odległość pomiędzy kolejnymi przejazdami zależy od wymaganego stopnia rozdrobnienia urabianej skały, która może być następnie przemieszczana spycharkami, ładowarkami gąsienicowymi lub innymi maszynami pomocniczymi. W większości przypadków kierunek ten należy dobrać w zależności od uwarstwienia skał, tj. w kierunku najmniejszych oporów urabiania (Hawrylak i in. 1975).

W trakcie zagłębiania oraz zrywania najbardziej istotne znaczenie mają zęby osprzętu. Zęby zrywaka mogą być mocowane do ramy osprzętu w sposób sztywny (śrubami lub sworzniami rozprężnymi) lub odchylnie na sworzniach. Drugi sposób stosuje się wówczas, gdy zęby mocowane są na zrywaku np. spycharki lekkiej, a urządzenie zrywające służy jako dodatkowe wyposażenie pracy w trudniejszych warunkach. Stosując zrywanie eliminuje się wady, jakie występują przy metodach urabiania materiałami wybuchowymi, jak hałas spowodowany detonacją itp. Zrywanie jest procesem bardziej elastycznym i umożliwia urabianie selektywne.



Rys. 9. Zrywanie względem zalegania warstw ośrodka skalnego (Komatsu Poland)
Fig. 9. Effective ripping in the different state of deposition of rock layers

Skały magmowe mają najczęściej teksturę litą, nieuwarstwioną i są bardzo trudnoskrawalne. Skały osadowe mają budowę ukierunkowaną i w większości przypadków dają się urabiać zrywać łatwiej. Natomiast skały metamorficzne, powstałe z przeobrażenia skał magmowych lub osadowych dają się urabiać zrywakiem, choć trudniej niż skały osadowe. Zależy to przede wszystkim od stopnia ich uwarstwienia (Kasztelewicz i in. 2015).

W przypadku, gdy zrywanie prowadzone jest zgodnie z zaleganiem warstw, urabiany ośrodek będzie łatwiej urabialny. W tej sytuacji zrywak powinien być maksymalnie opuszczony, aby mógł wnikać głębiej (rys. 9a). W sytuacji, gdy warstwy będą zalegać przeciwnie do kierunku jazdy, urabianie może być utrudnione (rys. 9b). Gdy warstwy zalegają pionowo, można wykonywać zrywanie w dowolnym kierunku. Natomiast, gdy warstwy ułożone są równolegle do kierunku jazdy, zrywanie będzie skuteczne tylko w przypadku kopaliny miękkiej, zaś materiał twardy nie zostanie

naruszony (rys. 9d). W tym celu należy urabiać zrywakiem prostopadle do warstw zalegających (rys. 9c). Zrywanie zależy więc od struktury i tekstury danego ośrodka skalnego (Kasztelewicz i in. 2015).

3. PODSUMOWANIE

Przedstawione zastosowania alternatywnej metody urabiania kopalin zrywakiem o zwięzłości powyżej 20 MPa, umożliwiają zastąpienie techniki strzelniczej poprzez mechaniczne urabianie zrywarkami. Dzięki temu możliwa staje się eksploatacja tej części zasobów, które wyłączone są z możliwości stosowania robót wiertniczo-strzałowych. Metoda jest znana, aczkolwiek w Polsce mało stosowana. W kontekście przedstawionego procesu zasygnalizowano także ważny problem poszukiwania odpowiednich sposobów eksploatacji utworów trudnourabialnych, występujących w nadkładzie krajowych kopalń węgla brunatnego, gdzie układy z koparkami wielonaczyniowymi nie są przystosowane do urabiania takich ośrodków.

LITERATURA

BĘBEN A., 2008, *Maszyny i urządzenia do wydobywania kopalin pospolitych bez użycia materiałów wybuchowych*, Kraków, Wyd. AGH.

CHROSTOWSKI H., DOMAGAŁA Z., SRADOMSKI W., 2012, *Modelowanie i symulacja hydrostatycznego napędu jazdy transportera gąsienicowego TUR 600*, Napędy i Sterowanie, nr 6, r. 14.

HAWRYLAK H., JARZĄBEK M., SIECZYŃSKI A., SOBOLSKI R., 1975, *Maszyny i prace pomocnicze w górnictwie odkrywkowym*, Katowice, Wyd. „Śląsk".

KASZTELEWICZ Z., PATYK M., BODZIONY P., 2015, *Spycharki, dźwigi boczne i przesuwarki przenośników taśmowych. Budowa i technologia pracy*, AW-P ART-TEKST, Kraków.

PIECZONKA K., 2007, *Inżynieria maszyn roboczych. cz. 1. Podstawy urabiania jazdy, podnoszenia i obrotu*, Wrocław, Wyd. PWr.

WOJTKIEWICZ H., 2012, *Praca spycharek i zrywarek*, Wrocław, niepubl.

www.komatsu.com

www.liebherr.com

MECHANICAL RAVELLY ROCK MINING BY DOZER RIPPER. PROCESS AND APPLICATION

In a global scale opencast mining mechanical ravelly rock mining by dozer ripper is commonly used. Much less experience in this area have domestic mines. There is no doubt that in the case of rocks of brevity greater than 20 MPa (including limestone, dolomite, sandstone, marl, travertine, etc.) the lowest unit costs expressed in zł/Mg is achieved using the technique of blasting. However, in the case of rock, which can not be classified into these groups, there may be some difficulties as to the choice of methods of mining. These rocks include the half-solid sedimentary or metamorphic rocks, which are relatively to few concise to use mining of explosives, but too consise for single-bucket excavators. To mining of such rocks can be used ripper accessories, mounted on crawler dozers, which in recent years have become a serious alternative mining methods to blasting techniques.

Keywords: *scrapers, bulldozers, ripper accessories, mechanical mining of rock*