

*Artur Bęben**

O POTRZEBIE WERYFIKACJI OKREŚLANIA WIELKOŚCI BRYŁY NADWYMIAROWEJ PRZY ŁADOWANIU UROBKU ŁYŻKAMI KOPAREK HYDRAULICZNYCH W KOPALNIACH SUROWCÓW SKALNYCH

1. Wprowadzenie

Zapewnienie odpowiedniej pracy zakładu wydobywającego i przerabiającego surowiec skalny wymaga między innymi jak najszybszego wyeliminowania w procesie wydobywczym brył nadwymiarowych, które dezorganizują pracę zakładu. W wielu przypadkach można w znaczący sposób ograniczyć ilość brył nadwymiarowych powstających w procesie strzelania, ale poniżej pewnej granicy jest to nieekonomiczne, ponieważ uzyskuje się przy okazji znaczne ilości urobku drobnego, który w pewnych procesach technologicznych może przekształcać się w odpad. Proces uzyskania właściwego (dla danej technologii) wyjściowego urobku metodą strzelniczą jest więc ograniczony dwoma pozostającymi w sprzeczności warunkami: z jednej strony warunkiem minimalizacji ilości brył nadwymiarowych, a z drugiej strony minimalizacji ilości frakcji drobnych.

Poprawność procesu uzyskania urobku metodą strzelniczą jest oceniana za pomocą wskaźnika frakcji uciążliwych opisanego przez autorów [5] następującą zależnością

$$\vartheta = \frac{\gamma^{(+)} + \gamma^{(-)}}{\gamma},$$

gdzie:

- ϑ — wskaźnik frakcji uciążliwych,
- $\gamma^{(+)}$ — względny udział brył nadwymiarowych,
- $\gamma^{(-)}$ — względny udział frakcji odpadowych,
- γ — względny udział frakcji użytecznych (bez rozdrabniania).

* Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Wskaźnik frakcji uciążliwych jest miarą obciążenia produkcji frakcjami bezużytecznymi. Wartość tego wskaźnika powinna być jak najmniejsza, aby działalność zakładu przetwarzającego była jak najbardziej opłacalna, dlatego podczas strzelania wybiera się pewne optimum, przy którym w odstrzelonym urobku jest pewna ilość frakcji drobnej (bezużytecznej) i brył nadwymiarowych.

Wskaźnik ten w jednakowy sposób traktuje bryły nadwymiarowe i frakcję drobną jako produkt bezużyteczny, co nie jest zgodne z rzeczywistością, ponieważ bryły nadwymiarowe mogą ulec dalszej przeróbce, w efekcie której ich część stanie się surowcem pełnowartościowym. Dodanie jednej operacji do procesu otrzymania gotowego produktu z surowców skalnych jest uciążliwe, ale zazwyczaj bardziej opłacalne niż odrzucenie brył nadwymiarowych jako odpadu [4].

Zupełne wyeliminowanie brył nadwymiarowych w procesie urabiania calizny, oprócz wspomnianych powyżej czynników, byłoby także nieekonomiczne ze względu na energochłonność procesów wydobywczo-przeróbowych, które w warunkach kopalni surowców skalnych są funkcją średniego ziarna w odstrzelonym usypie. W pewnych złożach koszt przeprowadzenia urabiania MW w taki sposób, że prawie zupełnie wyeliminujemy bryły nadwymiarowe (a gdzie całkowitego wyeliminowania nie jest się w stanie zagwarantować ze względu na zmienność budowy i formy złoża) może być niewspółmiernie wysoki w stosunku do kosztów wtórnego rozdrabniania tylko pewnej ilości brył nadwymiarowych.

2. Określanie wielkości brył nadwymiarowych

Dotychczas bryłą nadwymiarową określano taką bryłę, której chociaż jeden wymiar uniemożliwiał np. proces załadunku i niektóre rodzaje transportu (przenośniki taśmowe i zgrzebłowe), a także rozdrabnianie w kruszarkach. Jak widać, pojęcie brył nadwymiarowych było i jest względne, bo ziarna uznane za bryły nadwymiarowe w jednym zakładzie nie muszą być takimi dla innego zakładu dysponującego maszynami o innych parametrach. Wśród eksploatorów surowców skalnych funkcjonuje pogląd, że zazwyczaj maszynami determinującymi wielkość wymiaru decydującego o nadwymiarowości bryły są ładowarki znajdujące się w przodku ścianowym lub spełniające ich zadanie koparki jednonaczyniowe oraz kruszarki do wstępnego kruszenia. Ten pogląd obecnie, przy powszechnym stosowaniu koparek hydraulicznych, nabiera innego praktycznego wymiaru.

Nie budzi żadnych wątpliwości fakt, że w dotychczasowej literaturze przedmiotu maksymalną wielkość bryły, jaka może być załadowana za pomocą łyżki ładowarki lub koparki, określa się na podstawie jej pojemności. Podkreślić należy jednak, że podawane do obliczenia tej wielkości wzory bardzo różnią się od siebie, a co ważniejsze, wyniki otrzymywane z tych wzorów bardzo odbiegają od siebie. Wielkość bryły nadwymiarowej określa się na podstawie jej największego wymiaru liniowego. Wartość graniczną tego wymiaru, powyżej której bryłę należy uznać za nadwymiarową, wyliczyć można z następujących podawanych w literaturze wzorów:

$$d = 0,5 \cdot \sqrt[3]{V} \quad (1)$$

$$d = 0,75 \cdot \sqrt[3]{V} \quad (2)$$

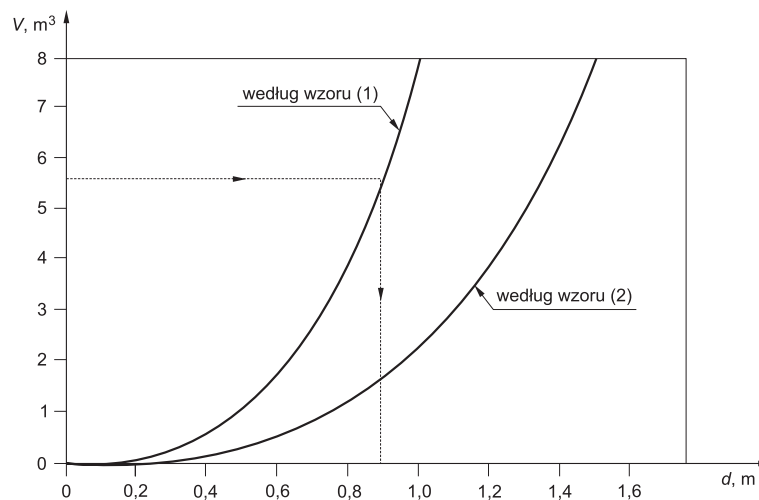
gdzie:

- d — największy wymiar liniowy ładowanej bryły, m;
 V — objętość łyżki koparki, m³.

Różnice pomiędzy wartościami obliczonymi z tych zależności są znaczące i mogą wynikać z bardzo różnych kształtów łyżek stosowanych w koparkach i zróżnicowanych własności surowców ładowanych, co znacznie utrudnia stworzenie wzoru uniwersalnego.

Na powstanie tych zależności mogło mieć też wpływ odmienne podejście do procesu ładowania. Zależność (1) jest najczęściej cytowana w literaturze technicznej i w analizach procesu zaczerpywania urobku. Stawia ona najostrejsze kryterium klasyfikacji brył po odstrzale przy ładowaniu, gwarantując zarazem sprawny przebieg procesu ładowania, przy minimalnym czasie potrzebnym do napelnienia łyżki. Należy jednak podkreślić znamieny fakt, że przytoczone powyżej wzory były utworzone dla mechanicznych koparek łyżkowych.

W kopalniach surowców skalnych ważne jest, by bryły ładowane w przodku ścianowym na środki odstawy nie zaklinowywały się w kruszarkach wstępnych, a zarazem, aby bryły, które mogą być rozdrobnione w kruszarkach, nie musiały być rozdrabniane w przodku ścianowym jako bryły nadwymiarowe z powodu zbyt małej pojemności łyżek środków załadowniczych. Na podstawie wzorów na rysunku 1 przedstawiono wykres pozwalający na określenie maksymalnej wielkości bryły, jaka może być ładowana łyżką koparki o wiadomej pojemności. Na wykresie uwzględniono dwa wzory do określania brył nadwymiarowych, jakie mogą być ładowane przez koparkę, pozostawiając możliwość odpowiedniego wyboru wariantu w zależności od warunków górniczych, maszynowych oraz indywidualnego doświadczenia osób korzystających z wykresu.



Rys. 1. Określanie orientacyjnych wielkości brył nadwymiarowych

W tabeli 1 dla koparek o pojemności łyżek $V = 3,0 \text{ m}^3$ i $5,0 \text{ m}^3$ zestawiono maksymalne liniowe wymiary bryły nadwymiarowej d , obliczone wzorami (1) i (2).

TABELA 1

Maksymalny orientacyjny liniowy wymiar bryły

Wzór	$V = 3,0 \text{ m}^3$	$V = 5,0 \text{ m}^3$
	$d, \text{ mm}$	$d, \text{ mm}$
(1)	720	850
(2)	1080	1270

Najogólniej można stwierdzić, że wartości wyznaczone za pomocą powyższych zależności są wartościami teoretycznymi, służącymi do doboru maszyn, a klasyfikację brył (czy nadają się one do załadunku, czy też nie), przeprowadza operator maszyny ładującej bez wykonywania jakichkolwiek pomiarów, podejmując decyzje w kabinie, w czasie sterowania pracą koparki.

Warto również podkreślić, iż w technologicznym ciągu układu (koparka — samochód — kruszarka) w przypadku kruszenia wstępnego o zakwalifikowaniu bryły jako nadwymiarowej decyduje także szerokość paszczy wlotowej kruszarki. Przyjmuje się, że maksymalny wymiar bryły poddanej kruszeniu może być co najwyżej równy szerokości paszczy wlotowej kruszarki, co przedstawia zależność

$$d \leq S \quad (3)$$

gdzie:

- d — największy wymiar liniowy ładowanej bryły, m;
- S — szerokość paszczy wlotowej kruszarki, m.

Bryły, których największy wymiar równy jest szerokości paszczy wlotowej, mogą się także klinować w paszczy, co wymaga zatrzymania procesu, wyciągania ich i rozdrabniania. Przyjmuje się więc, że kruszarki pracują efektywnie wtedy, gdy maksymalny liniowy wymiar bryły nie przekracza wartości wyznaczonej ze wzoru

$$d = 0,8S \quad (4)$$

W przypadku zastosowania na drodze transportowej do kruszarek wstępnych przenośnika taśmowego lub zgrzeblowego za bryłę nadwymiarową, której nie powinno się transportować przenośnikiem, uznaje się taką bryłę, której największy z wymiarów nie powinien przekraczać wartości określonej wzorem

$$d = 0,5B - 0,1 \quad (5)$$

gdzie:

- d — dopuszczalny wymiar liniowy transportowanej bryły, m;
- B — szerokość taśmy przenośnika taśmowego lub rynny przenośnika zgrzeblowego, m.

W tabeli 2 podano maksymalne wielkości wlotu materiału wejściowego do kruszarek firmy Makrum, będących w wyposażeniu węzłów wstępnej przeróbki mechanicznej największych zakładów cementowo-wapienniczych w Polsce.

TABELA 2

**Niektóre kruszarki krajowej firmy Makrum
w wyposażeniu największych zakładów cementowo-wapienniczych w Polsce**

Kruszarki firmy Makrum	Typ kruszarki	Wymiar paszczy	Maksymalna wielkość wlotu materiału wejściowego, mm
Szczękowa	40.20	1200 × 1500	1000 × 1350
Stożkowa	40.90	szer. paszczy 875	850
Walcowa	40.50A	Ø 2000 × 1800	800
Młotkowa	40.98	Ø 2000 × 1500	800
Młotkowa	40.80	Ø 2500 × 1700	1400
Młotkowa	40.99	Ø 2720 × 2250	1400

Z tabeli 2 wynika, że wielkości wlotów dla materiału wejściowego kruszarek wstępnego kruszenia wahają się w granicach od 800 do 1400 mm, a więc porównując te wielkości z liniowymi wymiarami brył określonych wzorami (1) i (2), można stwierdzić, że wielkość łyżek, szczególnie koparek mechanicznych o pojemności do $V = 3,5 \text{ m}^3$, mogła limitować wielkość bryły nadwymiarowej.

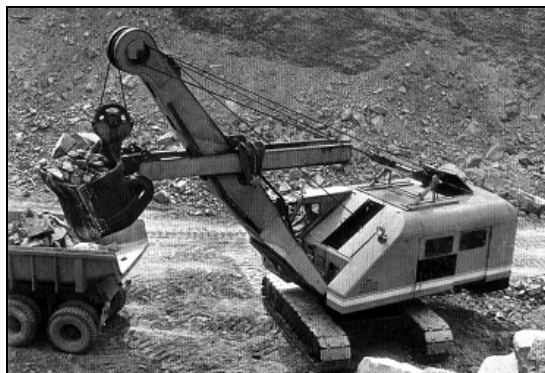
Dla zapewnienia ekonomicznego i efektywnego przebiegu procesów w zakładzie surowców skalnych należy położyć nacisk na dobrą współpracę maszyn uczestniczących w poszczególnych operacjach. Jednym z kryteriów jest odpowiednie dobranie maszyn pod względem wielkości brył urobku, jakie mogą brać udział w poszczególnych operacjach. Zaleca się tak dobierać maszyny do danego procesu technologicznego, aby mogły przerabiać, ładować i transportować bryły o zbliżonej wielkości. Nieodpowiednie dobranie jednej maszyny w tym procesie może spowodować powstanie tak zwanego, wąskiego gardła”, zmuszającego na przykład do nadmiernego rozdrabniania brył w przodku ścianowym.

Przed załadunkiem urobionej masy skalnej na środki transportu koparka w systemie operacji technologicznych spełnia rolę klasyfikatora (kontrolera). Należałoby więc sądzić, iż operator koparki powinien zaczerpywać bryły wielkości równej lub mniejszej od dopuszczalnej dla danej łyżki, ale i ten pogląd wymaga szerszego naświetlenia.

3. Ładowanie urobku koparkami mechanicznymi

Podstawowym wyposażeniem mechanicznej koparki jednonaczyniowej nadsiębiernej jest osprzęt podwieszony na układzie lin, w skład którego wchodzi: wysięgnik, mechanizm naporu, ramię łyżki, łyżka. Mechanizm naporu łączy suwliwie i przegubowo ramię łyżki

z wysięgnikiem. Napęd mechanizmu naporu umożliwia wsuwanie i wysuwanie łyżki, a lina — jej podnoszenie i opuszczanie. Lina jest przeznaczona do otwierania dna łyżki w celu jej opróżniania z urobku. Liny podtrzymują także wysięgnik; można nimi również zmienić kąt jego nachylenia.



Rys. 2. Ładowanie urobku koparką mechaniczną z łyżką otwieraną kłapą

Jak widać na rysunku 2, koparka mechaniczna łyżkowa nadsiębierna z podwieszeniem organu roboczego linami ma łyżkę sztywno połączoną z ramieniem, bez możliwości zmiany jej pochylecia w czasie wyładowywania urobku. Pojemność łyżki V (zgodnie z wymiarami na rysunku 3 [6]) można obliczyć jako

$$V = c \cdot B \cdot H \cdot L \quad (6)$$

gdzie:

V — pojemność łyżki, m^3 ;

B — szerokość wewnętrzna łyżki, m

$$B = 1,2 \sqrt[3]{V} \quad (7)$$

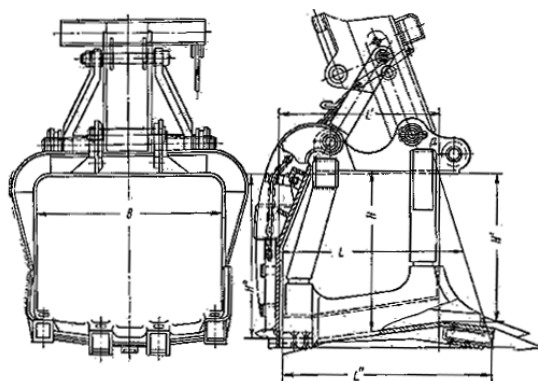
H — wysokość łyżki, m

$$H = 0,92 \sqrt[3]{V} \quad (8)$$

L — (głębokość), długość średniej części łyżki, m

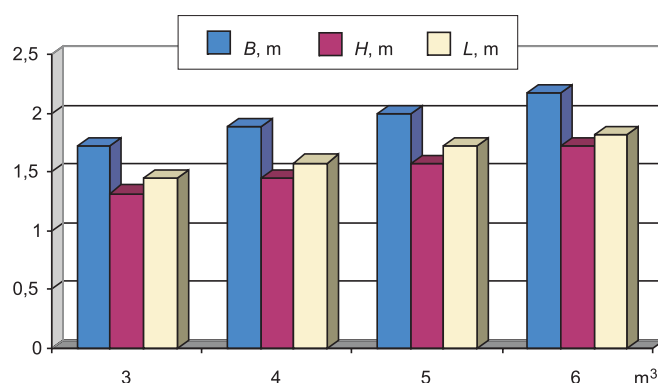
$$L = \frac{L' + L''}{2} \quad \text{lub} \quad L = 1,175 L', \quad \text{gdzie } L' = 0,86 \sqrt[3]{V} \quad (9)$$

c — współczynnik uwzględniający zaokrąglenia ścianek, przyjmuje się $c = 0,9$.



Rys. 3. Łyżka koparki mechanicznej zaopatrzona w zęby skrawające

Biorąc za podstawę pojemność łyżki, w oparciu o zależności (7), (8) i (9) na rysunku 4 pokazano obliczeniowe wielkości B , H i L dla łyżek koparek mechanicznych o pojemności od 3,0 do 6,0 m³.

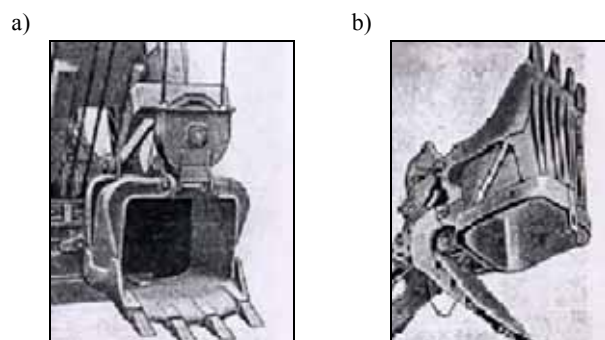


Rys. 4. Graficzne zestawienie obliczeniowych wymiarów łyżek koparek mechanicznych

Z powyższych zależności można wnioskować, iż kształt łyżki ma wszystkie trzy wymiary B , H i L zbliżone do siebie i swoim kształtem upodabnia się do sześcianu. Przykładowo, dla koparki o pojemności łyżki $V = 3$ m³ otrzymano: $B \approx 1,72$ m, $H \approx 1,32$ m i $L \approx 1,45$ m. Bezsprzecznym faktem jest, iż załadowany do łyżki urobek w czasie jej opróżniania, czyli rozładunku, po otwarciu klapy musi przejść przez łyżkę (rys. 5).

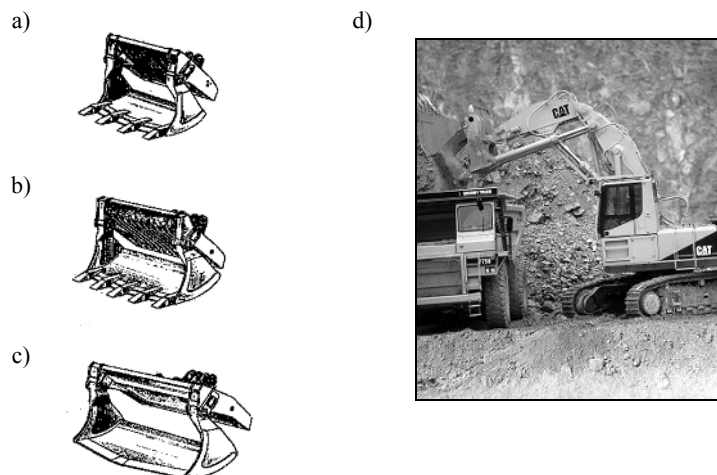
Określanie bryły nadwymiarowej zależnością (1), stwarzające duże ograniczenie maksymalnych wymiarów brył, podyktowane było głównie koniecznością przejścia ich przez wnętrze łyżki w czasie rozładunku. Takie jednak ograniczanie maksymalnych wymiarów brył, stosowane z dużą ostrożnością, dla pewnych układów technologicznych mogło znacznie ograniczyć użycie koparek mechanicznych z podwieszeniem linowym organu robocze-

go, z drugiej strony stawiało bardzo rygorystyczne wymagania robotom strzelniczym. Można więc stwierdzić, że sztywne połączenie łyżki z ramieniem wysięgnika, przy pojemnościach łyżek do $3,5 \text{ m}^3$, z otwarciem klapą lub zasuwą, mogło w procesie technologicznym zakładu wydobywczego stanowić pierwsze ograniczenie limitujące wielkość brył nadwymiarowych.

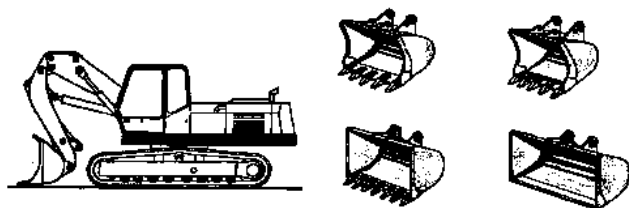


Rys. 5. łyżka koparki mechanicznej: a) widok ogólny łyżki, b) łyżka z otwartą klapą

W koparkach łyżkowych hydraulicznych wszystkie ruchy osprzętu roboczego są wywoływane siłownikami hydraulicznymi, natomiast inne mechanizmy — siłownikami lub silnikami hydraulicznymi. Podobnie jak w koparkach mechanicznych, podstawowym naczyniem roboczym jest łyżka, najczęściej wyposażona w zęby, połączona przegubowo z ramieniem wysięgnika. łyżki koparek hydraulicznych charakteryzują się nieco większą szerokością, aniżeli łyżki koparek mechanicznych, i są wykonywane z oryginalnym zamknięciem kłapowym (rys. 6) lub też jako łyżki ładowarkowe (rys. 7) [1].

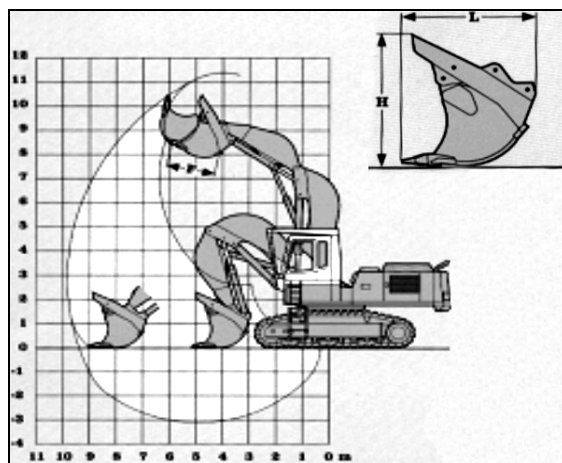


Rys. 6. łyżki z zamknięciem kłapowym koparki hydraulicznej firmy O i K: a) $V = 4 \text{ m}^3$, b) $V = 7 \text{ m}^3$, c) $V = 10 \text{ m}^3$ firmy O i K, d) opróżnianie łyżki koparki firmy CAT



Rys. 7. Koparka hydrauliczna oraz odmiany osprzętu ładowarkowego

Na rysunku 8 pokazano zakres pracy koparki Liebherr R 974, z zaznaczeniem roboczych wymiarów położenia łyżki z zamknięciem klapowym, jak również długości i wysokości samych łyżek oraz szerokości ich klapowego otwarcia F , a niektóre ich dane techniczne zestawiono w tabeli 3.



Rys. 8. Zakres pracy koparki hydraulicznej Liebherr R 974

TABELA 3

Koparki hydrauliczne firmy Liebherr R 974 z łyżkami zamykanymi klapą

Łyżka	Łyżki z otwarciem klapowym				
Pojemność V , m ³	4,40	4,40	5,10	5,10	5,60
Szerokość, mm	2300	2300	2600	2600	2600
Długość L , mm	2400	2400	2400	2400	2600
Wysokość H , mm	2400	2400	2400	2400	2600
Otwarcie F , mm	1825	1825	1825	1825	1825
Masa, kg	7200	8250	7400	8000	7800

Z danych tych wynika, że szerokość otwarcia łyżki jest imponująca, i dla wszystkich porównywanych pojemności łyżek wynosi $F = 1825$ mm. Warto podkreślić, iż koparka firmy Hitachi EX 1100 o pojemności łyżek od 5,6 do 6,5 m³ ma jeszcze większą szerokość otwarcia, bo aż $F = 1920$ mm. Ponadto koparki hydrauliczne wyposażone w łyżkę z otwarciem klapowym nie limitują wielkości brył nadwymiarowych w procesach technologicznych, bowiem obliczeniowe wymiary liniowe brył nadwymiarowych dla danych pojemności łyżek znacznie przekraczają wymogi stawiane przez paszcze wlotowe kruszarek.

Współcześnie stosowane hydrauliczne koparki łyżkowe bardzo często wyposaża się w łyżki ładowarkowe, które charakteryzują się dużymi pojemnościami oraz znacznie większymi szerokościami w porównaniu z łyżkami starych modeli. łyżki ładowarkowe koparek hydraulicznych nie mają zamknięć rodzaju klapowego lub zasuwowego, a ich rozładowanie następuje przez obrót łyżki względem ramienia wysięgnika.

Produkowane w kraju hydrauliczne koparki łyżkowe BRAWAL zaopatrzone są w łyżki ładowarkowe odznaczające się dużymi szerokościami, co można prześledzić na podstawie danych w tabeli 4. Podobnie koparki firmy BROYT serii X42 i X52 zaopatrzone są w łyżki ładowarkowe od $V = 3,0$ do 4,8 m³, o szerokości 2780 mm.

TABELA 4

Szerokości łyżek ładowarkowych krajowej koparki Brawal 4011

Narzędzie robocze	Pojemność wg SAE 1:2, m ³	Szerokość, mm	Masa, kg
Łyżka ładowarkowa	4,0	1995	5468
	5,0	2130	5727
	7,0	2775	6034

Wyposażenie koparek hydraulicznych w łyżki ładowarkowe stwarza możliwości zacierpywania i przenoszenia brył o znacznie większych gabarytach aniżeli konturowa pojemność łyżki (rys. 9), co stwarza niekiedy możliwość przeniesienia ich w przodku w miejsca dogodniejsze do ich rozdrobnienia.



Rys. 9. Przenoszenie dużych brył skalnych łyżką ładowarkową

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych rozważań należy stwierdzić, że jedynymi czynnikami warunkującymi wielkości brył nadwymiarowych przy stosowaniu koparek hydraulicznych o pojemnościach łyżek $V = 4$ do 6 m^3 są wymiary paszcz wlotowych kruszarek szczękowych wstępnego kruszenia, a czasami przenośniki (zgrzeblowe, stalowo-członowe itp.) dozujące materiał skalny do paszcz wlotowych tychże kruszarek.

Powoływanie się na zależności (1) i (2) określające wielkości bryły nadwymiarowej na podstawie pojemności łyżek koparek może się odnosić jedynie do małych pojemności łyżek (do $3,0 \text{ m}^3$) otwieranych kłapą lub zasuwą koparek mechanicznych. Nie ma sensu powoływać się na powyższe zależności w przypadku stosowania koparek hydraulicznych, tak z otwarciem kłapowym, jak i wyposażonych w łyżki ładowarkowe.

LITERATURA

- [1] Bęben A.: Hydrauliczne koparki łyżkowe w procesach wydobywczych kopalń odkrywkowych surowców skalnych. BMP — Surowce i maszyny budowlane, nr 1, 2003
- [2] Bęben A., Wierzbą T.: Ładowanie odstrzelonego urobku koparką hydrauliczną z łyżką ładowarkową w przodku ścianowym. BMP — Surowce i maszyny budowlane, nr 2, 2003
- [3] Bęben A.: Proces napełniania łyżek koparek urobkiem w kopalniach surowców skalnych. BMP — Surowce i maszyny budowlane, nr 3, 2003
- [4] Bęben A.: Ładowanie urobku łyżkami koparek hydraulicznych a wielkość brył nadwymiarowych. BMP — Surowce i maszyny budowlane, nr 2, 2004
- [5] Kozioł W., Szlagowski A., Uberman R., Zych S.: Eksploatacja odkrywkowa złóż surowców skalnych. IMBiGS, Warszawa 1993
- [6] Stroitielnyje maszyny, Maszynostrojenije, Moskwa 1970
- [7] Walczewski R., Laska W.: Zestawy technologiczne dla górnictwa odkrywkowego, koparki Brawal 1611 i 4011 oraz samochody technologiczne Euclid R-20 i R-32. Konferencja: Górnictwo skalne, Wrocław 1992
- [8] Zych S.: Wpływ ziarnistości urobku uzyskanego strzelaniem na produkcję kruszyw łamanych. Wyd. AGH, Kraków 1995

Zatwierdzono do druku: 17.09.2004 r.