



Systemy mechanizacyjne stosowane w kopalniach stożkowych

Mechanization systems used in open pit mines

Mgr inż. Anna Kulczycka*)

Treść: W artykule przedstawiono charakterystykę kopalń stożkowych, a także zaprezentowano kilka wybranych, wyjątkowych pod wieloma względami, wyrobisk. Omówiono pokrótce proces eksploatacji. Opisano systemy mechanizacyjne mające zastosowanie w procesie eksploatacji kopalń stożkowych, ze szczególnym uwzględnieniem „klasycznego”, najczęściej stosowanego systemu, koparki-wywrotki. Przedstawiono również najciekawsze powstałe modyfikacje tego typu systemu oraz alternatywne rozwiązania.

Abstract: This paper presents the characteristics of an open pit mine, and also shows a few selected mining excavations unique in many respects. The operation process was briefly discussed. Mechanization systems applicable to the operation of open pit mines have been described, with particular emphasis on the „classic”, most commonly used system, excavator-dump trucks. The most interesting modifications of this type of system and alternative solutions were also presented.

Słowa kluczowe:

górnictwo powierzchniowe, kopalnia stożkowa, systemy mechanizacyjne

Keywords:

surface mining, open pit mine, mechanization systems

1. Wprowadzenie

Ciągły rozwój prowadzonych technik eksploatacji złóż metodami odkrywkowymi, oraz większa koncentracja wydobycia, która jest konieczna ze względu na coraz trudniejsze warunki górniczo-geologiczne sprawiają, że wyrobiska odkrywkowe są w stanie osiągnąć głębokości, do których dostęp do tej pory był możliwy wyłącznie poprzez eksploatację podziemną. Duże odkrywki, kopalnie stożkowe oraz kamieniołomy tworzą najliczniejszą grupę w górnictwie światowym (Hartman 1973). Kopalnie stożkowe wykorzystywane są głównie do eksploatacji złóż typu żyłowego. W niektórych przypadkach, gdy jest to uzasadnione przede wszystkim warunkami górniczo-geologicznymi, eksploatuje się złoża pokładowe, masywne bądź soczewkowe (Hartman 1973). Surowce eksploatowane to przede wszystkim stałe kopaliny użyteczne, takie jak rudy metaliczne (miedź, kobalt, złoto, srebro, molibden, mangan, nikiel itd.). Z kolei złoża rudy żelaza są niekiedy podobne do złóż pokładowych, zalegają poziomo i w takim przypadku są wydobywane w dużych odkrywkach, np. kopalnia Pilbara w Australii. Czasami jednak pochyłe usytuowanie złoża żelaza w górotworze powoduje, że wydobycie jest realizowane w odkrywce stożkowej, np. największa kopalnia rudy żelaza na świecie Carajás w Brazylii.

Charakterystycznymi cechami kopalń stożkowych są: składowanie nadkładu przez cały okres trwania procesu eksploatacji poza terenem kopalni oraz ich przestrzenny kształt, przypominający odwrócony stożek mniej lub bardziej regularny (rys. 1, 2).

Wyrobisko, w miarę postępu wydobycia, zwiększa swoją głębokość, przez co rośnie także jego przekrój poprzeczny, wydłużają się drogi transportowe. Głębokość kopalni określa

twz. punkt odcięcia, czyli punkt, poniżej którego kontynuowanie eksploatacji metodą powierzchniową, z różnych względów, przede wszystkim ekonomicznych, nie znajduje uzasadnienia. Określenie punktu odcięcia zależy od wielu istotnych czynników, jakimi są warunki górniczo-geologiczne, cena wydobywanego surowca, zastosowany system urabiania, ładowania, odstawy, a także wzbogacania. Niektóre z wyrobisk są tak ogromne i głębokie jak kopalnia Mir w Rosji (rys. 1.), że przestrzeń powietrzna nad nimi pozostaje zamknięta dla śmigłowców, ze względu na występujące zjawisko zasysania, spowodowane silnymi prądami powietrza w wyrobisku (www.minings.com). Inne z kolei, jak kopalnia diamentów Diavik w Kanadzie (rys. 3.) czy kopalnia rud miedzi, srebra i złota Grasberg w Indonezji (rys. 2), wyróżniają się niezwykłym położeniem oraz bardzo często utrudnionym dostępem. Kopalnia Diavik znajduje się na wyspie o powierzchni ok. 20 km², otoczona jeziorem Lac de Gras, dotarcie do kopalni drogą „ładową” możliwe jest wyłącznie w okresie zimowym, po zamrożniętej tafli jeziora, poza tym okresem transport odbywa się drogą powietrzną. Natomiast Okręg Wydobywczy Grasberg znajduje się w Górach Śnieżnych, gdzie początkowa eksploatacja odbywała się na wysokości 4200 m n.p.m. w otoczeniu skalistych gór i lodowców, jest to największa pojedyncza rezerwa złota na świecie.

2. Krótka charakterystyka procesu eksploatacji kopalń stożkowych

Podstawowymi operacjami eksploatacji w kopalni stożkowej są: najpierw zdejmowanie nadkładu, następnie urabianie kopaliny użytecznej za pomocą materiałów wybuchowych, załadunek oraz odstawa urobku do punktu wysypu. Zdejmowany nadkład i urabiana, w koniecznym wymiarze skała otaczająca

*) ???



Rys. 1. Kopalnia diamentów Mir, Rosja

Fig. 1. Diamond mine Mir, Russia

Źródło: www.smartage.pl



Rys. 2. Kopalnia miedzi, srebra i złota Grasberg, Indonezja

Fig. 2. Copper, silver and gold mine Grasberg, Indonesia

Źródło: www.mining-technology.com



Rys. 3. Kopalnia diamentów Diavik, Kanada

Fig. 3. Diamond mine Diavik, Kanada

Źródło: www.riotinto.com

złóże, są transportowane z wyrobiska i lokalizowane poza nim, przez cały okres trwania wydobycia kopaliny użytecznej. W większości przypadków, po zakończeniu eksploatacji posłuży wypełnieniu pustki poeksploatacyjnej i rekultywacji terenu. System eksploatacji musi być precyzyjnie zaplanowany ze względu na fakt, że zdejmowany nadkład musi odsłonić urabiane złóże w takim stopniu, by umożliwić realizowanie wydobycia kopaliny użytecznej, w przybliżeniu, ze stałą intensywnością. Wielka skala uruchomienia tak ogromnego przedsięwzięcia generuje sporą presję, gdyż inwestorzy chcą w miarę szybko zacząć odzyskiwać zainwestowany kapitał. Urabianie odbywa się poprzez wiercenie i odstrzelanie surowca materiałami wybuchowymi. Wydobycie kopaliny użytecznej jest realizowane na poziomach i półkach, a wysokość skarp jest określona maksymalnym zasięgiem maszyn ładujących. Szerokość dróg transportowych, półek, poziomów jest zależna od szerokości zastosowanych maszyn pracujących w wyrobisku z uwzględnieniem ich wzajemnych relacji, tzn. przemieszczania względem siebie. Nachylenie skarp (ok. 50 - 60°) określone jest wymogami bezpieczeństwa. Uwzględniany jest również istotny fakt, by odstrzelony materiał nie był wyrzucany na drogi transportowe i na nich nie zalegał, wstrzymując tym samym proces odstawy urobku. Kopalina użyteczna po urobieniu jest transportowana do zakładu przerobczego usytuowanego na terenie kopalni. Jak już wspomniano, sam proces urabiania realizowany jest za pomocą materiałów wybuchowych w wybranych miejscach wyrobiska, w ten sposób przygotowując nowe przodki eksploatacyjne, w których kopalina jest ładowana i transportowana.

3. Stosowane systemy maszynowe

Wyrobiska stożkowe, oprócz kształtu, posiadają inną charakterystyczną cechę, jaką jest zastosowany system maszynowy, który realizuje proces urabiania, ładowania oraz odstawy. Urabiany materiał w wyrobiskach stożkowych w przypadku złóż typu żyłowego ma zazwyczaj charakter skał masywnych o dużej twardości, będącymi starymi utworami geologicznymi, które przez miliony lat były poddawane działaniu temperatury, ciśnienia górotworu, ruchów tektonicznych itd. Najbardziej korzystna metoda ich urabiania,

również ze względu ekonomicznego to stosowanie materiałów wybuchowych. Odstrzelony materiał bardzo często jest niekorzystny pod względem ostrych krawędzi, pozostałości dużych brył, dlatego też występuje pojęcie *secondary blasting* tzn. ponowne strzelanie w celu dodatkowego rozdrobnienia urobku. Jako pierwsze w sekwencji robót, zostają określone wielkość i zakres nadkładu do zdjęcia oraz sekwencja robót strzelniczych, mających na celu urobienie surowca mineralnego. Następnie wprowadza się wozy wiertnicze. Podczas detonacji ładunków wybuchowych część prac w wyrobisku znajdująca się w sąsiedztwie musi zostać wstrzymana. Po odstrzeleniu, materiał musi zostać załadowany, odbywa się to za pomocą koparek łyżkowych (czasami pomocniczo również ładowarek), które przemieszczają się z przodka wyeksploatowanego, czyli takiego, w którym cały urobek do załadowania został wytransportowany, do nowego przodka przygotowanego do załadunku.

Na cykl pracy koparki składa się: opuszczenie łyżki - nagarnięcie urobku - podniesienie łyżki - obrót maszyny, by łyżka znalazła się nad skrzynią ładunkową wozu odstawczego (wozidła) - otwarcie kłapy łyżki i wysyp ładunku - powrót do miejsca zaczerpnięcia urobku przy jednoczesnym zamknięciu kłapy (Czaplicki 2006). Czas cyklu pracy koparki jest zmienną losową o rozkładzie symetrycznym bądź nie całkiem symetrycznym z niedużą asymetrią dodatnią. Załadowanie skrzyni wozidła następuje po opróżnieniu kilku łyżek. Podczas pracy maszyny ładującej zdarzają się czynności dodatkowe, które skracają czas przeznaczony na załadunek. Operacje te zwykło się dzielić (Church 1981, Czaplicki 2004) na operacje długotrwałe, takie jak przejazd koparki z jednego przodka eksploatacyjnego do drugiego, czy też odsunięcie maszyny w celu realizacji urabiania materiałami wybuchowymi w bliskim sąsiedztwie; oraz operacje krótkotrwałe np. ładowanie dużego głazu, sprawdzanie podłoża, na którym koparka ma pracować.

Koparki łyżkowe ściśle współpracują z oponowymi wozami odstawczymi, których konstrukcja musi być na tyle wytrzymała by sprostać ciężkim i negatywnym czynnikom, jakim będą poddawane, tj. powtarzające się uderzenia dużych zwartych brył, ostre krawędzie urobionego materiału. Wozy oponowe bardzo skutecznie zastąpiły stosowany wcześniej transport odstawy szynowej, który w tego typu wyrobiskach



Rys. 4. Załadunek wozidła sztywnoramowego przez koparkę linową

Fig. 4. Loading a rigid dump truck by a rope excavator

Źródło: www.miningeducation.com

znajdował bardzo niewielki zakres użytkowania, mimo iż same wozy oponowe również posiadają swoje wady. Do głównych ich wad można zaliczyć, problem utrzymywania dróg transportowych, wielkie zużycie paliwa, zużycie ogumienia oraz problem jego utylizacji, a przede wszystkim fakt, iż tylko połowę swej drogi wywrotki transportują urobek. System koparki - wywrotki stosowany powszechnie w wyrobiskach stożkowych oczywiście wraz z rozwojem wyrobiska, również ulega zwiększeniu. By uzyskać wydobyć i odstawić urobku na optymalnym poziomie, wprowadza się kolejne maszyny, jednakże należy uważać, by nie dopuścić do sytuacji wystąpienia zjawiska zatłoczenia wywrotek na drogach odstawczych (Czaplicki, Kulczycka 2010), co spowoduje znaczny spadek wydobywania surowca.

Na cykl pracy wywrotki składa się: załadunek – odstawa – wysyp – powrót do miejsca załadunku. Jest to cykl czterostopowy. Czas załadunku jest zmienną losową o podobnym charakterze jak czas cyklu pracy koparki. Z kolei czasy trzech ostatnich etapów są zmiennymi losowymi o rozkładach symetrycznych. Wywrotki pracują w nieco skróconym czasie, ponieważ pod koniec każdej zmiany produkcyjnej, wóz zjeżdża, by zatankować paliwo, ma miejsce przerwa dla kierowców itd. (Czaplicki 2006). Cały system eksploatacyjny jest sterowany przez centrum dyspozytorskie. Bardzo często jest to zespół ludzi, z którymi operatorzy maszyn mają możliwość stałej komunikacji. Dawniej centrum musiało być usytuowane na krawędzi wyrobiska, by mieć dobrą widoczność na całe wyrobisko. Gdy wyrobisko się powiększa, drogi transportowe zostają oczujnikowane, obecnie przez system GPS lub system hybrydowy, z kolei maszyny posiadają sensory, które przekazują informacje do komputera w dyspozytorni. Dyspozytor, a w bardziej zautomatyzowanych systemach komputer (zgodnie z zainstalowanym programem), wydaje polecenia o alokacji poszczególnych maszyn transportowych. Operator wywrotki wjeżdżając do wyrobiska otrzymuje wszystkie niezbędne informacje, do jakiej koparki ma podjechać itp. To samo dotyczy wywrotki właśnie opuszczającej wyrobisko, do którego punktu wysypu ma się udać w celu opróżnienia skrzyni ładunkowej. Identyczna sytuacja jest w przypadku operatorów koparek, gdy zbliża się on do załadun-

ku ostatnich ton urobionej kopaliny otrzymuje informację, do którego następnego przodka eksploatacyjnego ma się udać. Takie sterowanie całym systemem maszynowym ma przede wszystkim na celu osiągnięcie maksimum pod względem ekonomicznym procesu eksploatacji, a także jak największe wykorzystanie maszyn oraz ograniczenie do minimum czasu ich postoju. Jak każdy system maszynowy, system koparka - wywrotka wymaga również zaplecza szeregu innych systemów pomocniczych, remontowych, magazynu materiałów eksploatacyjnych itp.

Jednak można spotkać pewne odstępstwa od wyżej zaprezentowanego „klasycznego” systemu maszynowego. Jeden z nich to system koparki - wywrotki z wykorzystaniem wyciągu pochyłego, który cieszył się popularnością kilkadziesiąt lat temu. Liczba wywrotek w takim systemie zostaje zredukowana, wywrotki transportują urobek od punktu załadunku do zsydni, a ta kieruje urobek do kieszeni odmiarowej urządzenia wyciągowego. Sam wyciąg zostaje zlokalizowany na części zbocza, które nie będzie już urabiane. Surowiec transportowany przez wyciąg po opróżnieniu skipu kierowany jest do zbiorników, skąd jest dalej transportowany przez wywrotki. Jednakże poprzez rozwój techniki wozów oponowych system ten przestał wzbudzać zainteresowanie kopalń. Na przełomie XX i XXI wieku renomowana firma Siemag zaproponowała zastosowanie wyciągu pochyłego w postaci platformy, na którą może wjechać pełna wywrotka o łącznej masie nieprzekraczającej 580 t (rys. 5.). Jazda drogą z głębokości 300 m zajmie wywrotce ok. 30 min. Wyciąg odtransportuje wywrotkę w 2 minuty (www.siemag-tecberg.com). Mimo kilku lat reklamowania tego rozwiązania żadna kopalnia na świecie nie zdecydowała się na zakup tego urządzenia, dlatego że wykazuje ono zbyt niską przepustowość transportu w stosunku do tak licznych systemów maszyn odstawczych.

Ze względu na fakt, iż wywrotka zużywa ok 60% energii na przemieszczanie samej siebie, połowę drogi przejeżdża pusta, co generuje ogromne zużycie paliwa, coraz częściej stosuje się rozwiązanie z wykorzystaniem trakcji elektrycznej (rys. 6.) na głównych pochylniach wyjazdowych, służących zasilaniu wywrotek energią elektryczną (Czaplicki 2006), co ma istotne znaczenie z względu na wymogi ochrony środowi-



Rys. 5. Trucklift system SIEMAG

Fig. 5. Trucklift system SIEMAG

Źródło: www.siemag-tecberg.com



Rys. 6. Wóz odstawczy zasilany energią elektryczną z układu pantografów
Fig. 6. A dump truck powered by electricity from the pantograph system

Źródło: www.komatsuamerica.com

ska i ekologii. Aktualnie tego typu rozwiązanie oferuje firma KOMATSU, która opracowała dla swoich wozideł sztywnoramowych wspomniane zasilanie elektryczne.

Inny wyróżniający się przypadek, to system z zastosowaniem transportu taśmowego. Oczywiście urobiony materiał zostaje poddany wcześniejszemu kruszeniu przed podaniem na taśmę, ze względu na jego niszczące właściwości dla taśmy w pierwotnej postaci. Służy temu kruszarka usytuowana w wyrobisku i jak poprzednio, w tym przypadku również liczba wywrotek ulega znacznemu zmniejszeniu. Przenośnik transportujący kopalinę jest przystosowany do pracy pod zwiększonym kątem nachylenia, a kopalina transportowana systemem przenośnikowym trafia do zakładu przerobczego. Rozwiązanie tego typu zostało wprowadzone ćwierć wieku temu w kopalni Bingham Canyon, choć zastosowany tam przenośnik był konwencjonalny (a nie pracujący pod zwiększonym kątem nachylenia).

Jeszcze inną propozycję transportu urobku z wyrobiska przedstawia firma ETF MINING EQUIPMENT. Zaprojektowano pociąg oponowy (rys. 7.), składający się z pojedynczych wozideł z możliwością pracy pojedynczo jako wozidło oponowe, bądź razem, jako pociąg oponowy; pociąg może być dwu, trzy, cztero lub wieloelementowy, obsługiwany zawsze przez jednego operatora. Każde wozidło niezależnie od pojemności może pracować wraz z innymi o tej samej pojemności. Ładowność takiego pociągu znacznie przekracza możliwości nawet największych wozideł świata i wynosi od 480 do 5000 ton (www.smartage.pl). Wysyp boczny może odbywać się kolejno dla każdej jednostki osob-

no lub wszystkich wozów naraz. Innowacyjna konstrukcja generuje najniższe koszty transportu tony urobku jak podaje producent. Oferowany pociąg oponowy (*mining haul train*) umożliwia również większą elastyczność pracy, a mianowicie: brak ograniczeń odległości przewozu, możliwość pracy na bardzo śliskich i mokrych nawierzchniach, w każdej chwili gdy zmienia się sytuacja w wyrobisku można odpiąć bądź dopiąć kolejną jednostkę, a odpięta jednostka może pracować samodzielnie, brak przestojów dla takich czynności jak sprawdzanie ciśnienia opon, uzupełnianie smarów, czyszczenie lamp i lusterek – wszystko to odbywa się automatycznie w trakcie pracy (www.etf.equipment). Dodatkowo pociąg posiada szereg zalet ekonomicznych, tj. szerokość dróg dla pociągu wynosi 24,16 m, a więc o ok. 4 do 8 m mniej aniżeli dla wozideł stosowanych w górnictwie odkrywkowym, w zależności od wielkości modelu, co za tym idzie niższe są koszty budowy i utrzymania dróg transportowych. Największe koszty w utrzymaniu wozideł oponowych generują opony, konieczność ich częstej wymiany oraz utylizacji. Dzięki zastosowaniu nowego systemu zawieszenia, możliwe było wyposażenie pociągu oponowego w koła specjalnej konstrukcji o gumowym profilu, co jak podaje producent, umożliwia pracę bez stosowania klasycznych opon i eliminuje koszty związane z ich częstą wymianą (www.etf.equipment). Dodatkowo każde wozidło skonstruowane jest z wymiennych komponentów, uszkodzona część jest sprawnie i w miarę szybko wymieniana na nową, a naprawa uszkodzonego elementu odbywa się już w warsztacie, dzięki czemu unika się przestojów spowodowanych awarią (www.etf.equipment). Wstępnie, jak podała



Rys. 7. Pociąg oponowy firmy ETF MINING EQUIPMENT
Fig. 7. Haul train ETF MINING EQUIPMENT

Źródło: www.etf.equipment

firma, trzy pierwsze sztuki wozów pociągu oponowego zostały zamówione przez brazylijski koncern górniczy Vale, kolejne zamówienia napłynęły z Indii oraz Turcji.

5. Podsumowanie

Kopalnie stożkowe mają swój znaczący udział w górnictwie światowym. Zarówno pod względem liczby występujących tego typu kopalń, wielkości produkcji surowca mineralnego, unikatowego kształtu wyrobisk, jak i zaangażowanego potężnego parku maszynowego. Maszyny stosowane w tego typu kopalniach to zazwyczaj największe maszyny na świecie. Kopalnie stożkowe są jednymi z największych odbiorców tego typu maszyn, stanowiąc wciąż wyzwanie dla konstruktorów i producentów, którzy wychodząc naprzeciw oczekiwaniom odbiorców wciąż opracowują nowe rozwiązania i konstruują coraz to większe maszyny, o większych wydajnościach i niezawodności. Mimo iż od szeregu lat system koparki-wywrotki jest najczęściej stosowanym systemem załadunku i odstawy dla tego typu wyrobisk i jak dotąd nie powstała istotnie różniąca się i konkurencyjna alternatywa, cały czas opracowywane są nowoczesne koncepcje udoskonaleń systemu jak np. wspomniany pociąg oponowy firmy ETF MINING EQUIPMENT. Na ubiegłorocznych targach BAUMA firma SIEMAG-TECBERG zaprezentowała szereg rozwiązań mechanizacyjnych odstawy urobku dla wyrobisk stożkowych. Czas pokaże na ile proponowane urządzenia zdołają wzbudzić

zainteresowanie eksploataatorów i w jakim stopniu sprawdzą się w tego typu kopalniach.

Literatura

- CHURCH H. K. 1981 - Excavation Handbook. McGraw-Hill Companies. USA.
- CZAPLICKI J.M. 2004 - Elementy teorii i praktyki systemów cyklicznych w zagadnieniach górniczych i robót ziemnych. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- CZAPLICKI J.M. 2006 - Modelowanie procesu eksploatacji system koparki-wywrotki. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- CZAPLICKI J.M., KULCZYCKA A.M. 2010 - Analytical investigation of an on-road in-pit heavy traffic situation. International Journal of Mining and Mineral Engineering. Vol. 2, No. 4, pp.338-348.
- HARTMAN H.L. 1973 - SME Mining Engineering Handbook 1st edition. Society for mining, metallurgy and exploration. USA.
- www.etf.equipment
- www.komatsuamerica.com
- www.miningeducation.com
- www.minings.com
- www.mining-technology.com
- www.riotinto.com
- www.siemag-tecberg.com
- www.smartage.pl

Artykuł wpłynął do redakcji – grudzień 2017
Artykuł akceptowano do druku 20.02.2018