

Systemy maszynowe w górnictwie odkrywkowym.

Cz. 2. Maszyny w górnictwie światowym

tekst: **mgr inż. ADRIAN BORCZ**, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Katedra Górnictwa Odkrywkowego, **prof. dr hab. inż. WIESŁAW KOZIOŁ**, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego Oddział Katowice; AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Katedra Górnictwa Odkrywkowego

Górnictwo jest źródłem surowców, na których oparta jest gospodarka narodowa większości państw świata. Łączne wydobycie kopalin w górnictwie światowym szacuje się obecnie na ok. 60 mld t, z tego 2/3 stanowią kruszywa naturalne. W Polsce w 2014 r. wydobycie wszystkich surowców kopalnych wyniosło ponad 440 mln t, w tym ok. 76% przypadło na górnictwo odkrywkowe (wg stanu na 31 grudnia 2014 r.) [1].

Górnictwo odkrywkowe w Polsce stanowi główne źródło różnych surowców skalnych, w tym głównie kruszyw naturalnych, węgla brunatnego itp. Z uwagi na głębokość zalegania, ograniczenia środowiskowe i ekonomiczne trudno jest prowadzić odkrywkową eksploatację niektórych złóż z powierzchni ziemi. W światowym górnictwie możemy jednak spotkać liczne przykłady kopalń odkrywkowych, które złoża kopalin eksploatowanych w Polsce metodą podziemną wydobywają odkrywkowo, np. węgla kamiennego, rud miedzi, cynku i ołowiu. Przykładem mogą być kraje stojące w czołówce największych potentatów wydobywczych – Australia i USA, w których ponad 70% wydobywanego węgla kamiennego pochodzi właśnie z kopalń odkrywkowych.

Niniejszy artykuł stanowi kontynuację tematyki dotyczącej maszyn stosowanych w górnictwie odkrywkowym [2]. Zwrócono szczególną uwagę na maszyny stosowane w różnych technologiach eksploatacji kopalin na świecie, dlatego opisano krótko kilka kopalń odkrywkowych prowadzących eksploatację rud złota, miedzi czy też diamentów, ze szczególnym naciskiem na technologie adekwatne do polskich, stosowanych w górnictwie skalnym, w tym m.in. w kopalniach kruszyw i surowców cementowo-wapienniczych.

Głębokie kopalnie odkrywkowe w górnictwie światowym

Górnictwo odkrywkowe w skali globalnej stanowi podstawę eksploatacji większości spośród wydobywanych na różną skalę surowców. Wśród nich wymienić możemy zarówno kopalnie zabezpieczające lokalny popyt na wybrane surowce, w których np. eksploatacja nie przekracza od kilkuset tysięcy do kilku milionów ton wydobywanej kopaliny rocznie, jak i takie, które nastawione są przede wszystkim na eksport, osiągając tym samym wydobycie na poziomie kilkudziesięciu milionów ton rocznie. Z uwagi na rzadkość występowania niektórych kopalin często jednak nie ilość sprzedanego surowca, lecz jego jakość, ale również niepowtarzalność decydują o jego wartości. Wynika to z faktu ich występowania wyłącznie w jednym kraju, a na-

wet wyłącznie w jednym złożu. Jako przykład posłużyć może największe na świecie złożo azotanu (V) sodu (Aguas Blancas) na pustyni Atacama w Chile [7]. W warunkach polskich za przykład może posłużyć już jedyna na świecie kopalnia otworowa siarki w Osieku (województwo świętokrzyskie). Siarka, która miała stanowić „polskie złoto”, dawniej wydobywana odkrywkowo w ilości ponad 1 mln t rocznie, m. in. przy zastosowaniu koparek wielonaczyniowych kołowych, obecnie eksploatowana jest wyłącznie metodą otworową przez wytapianie rudy siarki pod ziemią.

Eksploatacja złóż m.in. rud miedzi, cynku i ołowiu, żelaza, złota, srebra, a także diamentów oraz wielu innych strategicznych kopalin prowadzona jest w różnych rejonach ziemi w bardzo zróżnicowanych warunkach. Niektóre złoża zlokalizowane są w terenach wysokogórskich (kopalnia miedzi Chuquibambilla, Chile) i pustynnych, inne w obszarze wód śródlądowych czy w obszarach subarktycznych (kopalnia diamentów Diavik, Kanada). Ich eksploatacja prowadzona jest zazwyczaj za pomocą układów cyklicznych (koparki lub ładowarki jednonaczyniowe – samochody) wyrobiskami wgłębnymi, stokowymi oraz stokowo-wgłębnymi, o bardzo zróżnicowanej geometrii i wymiarach, na które składają się m.in. zbocza utworzone z kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu piętér o odmiennych wysokościach (np. 20 m każde). Każde wyrobisko wyposażone jest również w system pochylni transportowych stałych i tymczasowych o łącznych długościach dochodzących nawet do kilkuset kilometrów. W związku z tym w niektórych kopalniach samochody technologiczne (wozidła) od punktu załadunku do miejsca wyładunku wykonują, w ciągu jednej zmiany roboczej (np. ośmiogodzinnej), zaledwie kilka pełnych cykli. Jako przykłady takich kopalń poniżej podano jedno z największych kopalń rud miedzi, złota oraz diamentów.

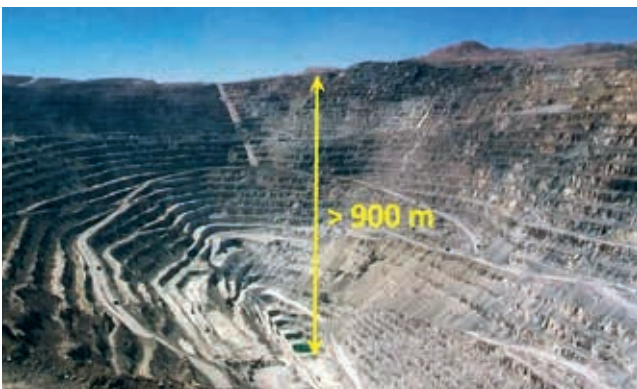
Kopalnia Bingham Canyon Mine (USA) należąca do koncernu Rio Tinto jest największą kopalnią odkrywkową rud miedzi na świecie. Eksploatuje się tutaj również rudy złota, srebra oraz molibdenu. Głębokość wyrobiska kopalni wynosi niewiele



Ryc. 1. Widok na kopalnię Bingham Canyon Mine (USA) [19]

poniżej 1000 m (!), a średnica przy powierzchni terenu – ok. 4 km (ryc. 1) [22]. Kopalnia rozpoczęła działalność w pierwszych latach XX w. i od początku eksploatacji wyprodukowała ok. 19 mln t miedzi.

Prace związane z produkcją miedzi obecnie prowadzone są przez cały rok przez 24 godziny na dobę. Proces wydobywczy oparty jest na urabianiu złoże materiałami wybuchowymi w ilości ponad 500 kg na odpalaną serię, na załadunku urobku jednonaczyniowymi elektrycznymi koparkami linowymi (mechanicznymi) oraz jego transporcie przy pomocy ok. 70 wozideł. Łączna długość wszystkich dróg transportowych kopalni to ok. 800 km (!).



Ryc. 2. Wyrobisko węgłne kopalni rud miedzi Chuquibambilla (Chile) [26]

Kopalnia Chuquibambilla w Chile (koncern Codelco) jest drugą co do wielkości kopalnią odkrywkową rud miedzi na świecie. Eksploatacja złoże, podobnie jak w kopalni Bingham Canyon, prowadzona jest od ponad 100 lat. Kopalnia położona jest na wysokości ok. 3800 m n.p.m. (!), górne krawędzie wyrobiska osiągają wymiary ok. 4 x 2,5 km (ryc. 2). W 2005 r., gdy wyrobisko osiągało już głębokość ponad 900 m, uruchomiono eksploatację podziemną złoże w partii zalegającej pod obecną odkrywką.

Kopalnia Grasberg w Indonezji (Freeport-McMoRan Inc.) to największa odkrywkowa kopalnia złota, a także innych kopalni, głównie miedzi. Podobnie jak Chuquibambilla, położona jest w terenie górskim (ok. 4000 m n.p.m.) – ryc. 3. Przy procesie produkcyjnym zatrudnionych jest ok. 20 tys. osób. W chwili obecnej kopalnia odkrywkowa kończy swoją działalność, natomiast złoże eksploatowane jest jednocześnie metodą podziemną i nadal będąc prowadzone prace wydobywcze.



Ryc. 3. Wyrobisko stokowo-węgłne kopalni złota Grasberg (Indonezja) [8, 18]

Kopalnia diamentów Mirny w Rosji jest jedną z najgłębszych kopalni świata. Obecnie już nieczynną (od 2004 r.). Po prawie 50 latach eksploatacji wyrobisko kopalni osiągnęło głębokość ponad 500 m, a jego rozpiętość wynosi ok. 1,2 km (ryc. 4). Kruszec wywożony był za pomocą wozideł Biefaz o ładowności ok. 220 t każdy. Czas przejazdu jednego wozidła z powierzchni ziemi na dno wyrobiska wynosił ok. 2 godzin.



Ryc. 4. Widok z lotu ptaka na kopalnię diamentów Mirny (Rosja) [12]

Kopalnia diamentów Diavik (Kanada) należąca do koncernu Rio Tinto prowadzi działalność wydobywczą od 2001 r. Jest ona prowadzona z łądu, na jednej z wysp jeziora Lac de Gras, usytuowanej ponad 200 km na południe od koła podbiegunowego. W okresie letnim transport diamentów odbywa się samolotami z utworzonego na wyspie lotniska, natomiast w okresie zimowym na lodzie z zamrożonego jeziora (ryc. 5).



Ryc. 5. Kopalnia diamentów Diavik (Kanada) należąca do koncernu Rio Tinto [29]

Stosowane maszyny

Światowe kopalnie odkrywkowe eksploatujące różne złoże kopalni w zasadzie wykorzystują podobne technologie jak w Polsce, a zróżnicowanie maszyn wykorzystywanych w procesach wydobywczych jest często związane z lokalnymi ich producentami oraz wielkością i wydajnością. Na przykład w Polsce stosuje się głównie wozidła typu Biefaz (sztywno-



Ryc. 6. Wiercenie otworów strzałowych w systemie wieloszeregowym [11]

ramowe), natomiast w Szwecji stosowane są wozidła Volvo (przegubowe).

Inaczej prezentuje się porównanie zakładów górniczych wydobywających i przetwarzających dziesiątki i więcej milionów ton materiału skalnego rocznie. Dla przykładu, na Węgrzech używane są koparki wielonaczyniowe kompaktowe do utworów o stosunkowo niskiej urabialności mechanicznej. W Czechach maszyny w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego to m.in. koparki wielonaczyniowe i zwałowarki na podwoziach kroczących. To pionierskie rozwiązanie jest tam powszechnie stosowane, w Polsce natomiast wykorzystywane są głównie koparki na podwoziach gąsienicowych.

Generalnie, eksploatacja złóż kopalnin odbywa się przy użyciu różnych technologii. Skały zwarte i bardzo zwarte, podobnie jak w Polsce, urabia się w wielu przypadkach za pomocą techniki strzelniczej, z tym że skala prowadzonych prac jest niejednokrotnie znacznie większa. W dużych odkrywkach stosuje się strzelania wieloszeregowe (ryc. 6). Ich realizacja pozwala na uzyskanie surowca w ilości kilku milionów ton przy jednej serii (niektóre kopalnie wykonują kilka robót strzałowych w ciągu tygodnia). Należy jednak pamiętać, iż nie zawsze możliwe jest stosowanie MW, wtedy należy szukać alternatywnych metod urabiania, głównie mechanicznych.

Urabianie skał o mniejszej wytrzymałości prowadzone jest mechanicznie za pomocą jednożyłkowych koparek lub ładowarek, koparek wielonaczyniowych, zrywarek, kombajnów powierzchniowych oraz innych maszyn i urządzeń (młoty hydrauliczne itp.).

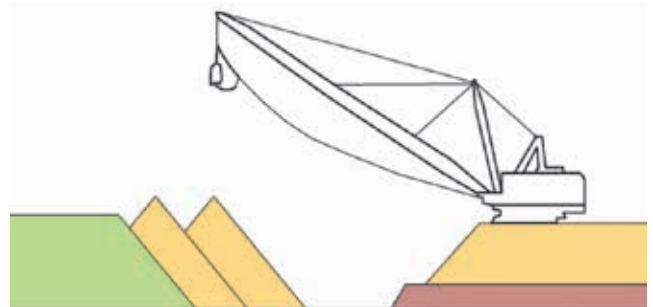
Przy urabianiu mechanicznym kopalnin możemy stosować m. in. koparki wielonaczyniowe, w Polsce stosowane szcze-



Ryc. 7: a) Koparka zgarniakowa Caterpillar 8750 na podwoziu kroczącym o pojemnościach zgarniaka 76–116 m³ oraz długości wysięgnika 109,7–132,5 m [17], b) zgarniak koparki w kopalni węgla kamiennego (Australia) [14]

gólnie do urabiania pokładów węgla brunatnego i zalegającego nad nimi nadkładu (układy K-T-Z: koparka wielonaczyniowa – taśmociąg – zwałowarka taśmowa), piasków różnego zastosowania, w tym przemysłowych itp. Technologia ta ma jednak pewne ograniczenia, szczególnie w przypadku złóż nieforemnych bądź o znacznym nachyleniu. Konieczne jest wtedy zastosowanie innej technologii eksploatacji, która będzie dostosowana do selektywnej eksploatacji złoża.

Polskie złoża węgla kamiennego zalegają na tyle głęboko pod powierzchnią terenu, że eksploatuje się je metodą podziemną, jednak budowa geologiczna wielu rejonów świata umożliwia eksploatację tego surowca metodą odkrywkową. Dla przykładu, w zachodnim górnictwie węglowym złoża wydobywa się m.in. w technologiach cyklicznych. Stosowane są do tego koparki zgarniakowe (tzw. dragline), osiągające pojemności naczyń roboczych nawet rzędu kilkudziesięciu i więcej metrów sześciennych (ryc. 7) – największa w historii (Big Muskie) posiadała zgarniak o pojemności 168 m³ (!). Koparki zgarniakowe stosowane są do zdejmowania nadkładu zalegającego nad węglem (ryc. 8). Do urabiania węgla często stosuje się koparki jednonaczyniowe linowe nadsiębierne (ryc. 9a) bądź hydrauliczne podsiebierne (ryc. 9b), choć czasem zachodzi potrzeba wstępnego rozluźniania calizny z zastosowaniem sycharko-zrywarek (ryc. 10), a nawet techniki strzelniczej (ryc. 11). Zastosowanie tej technologii eksploatacji odbywa się przede wszystkim w Australii, Chinach, Rosji, USA oraz w wielu innych krajach.



Ryc. 8. Schemat układu technologicznego z koparką zgarniakową zdejmującą nadkład zalegający nad złożem [4]



Ryc. 9. Koparki w kopalniach odkrywkowych: a) linowa P&H (obecnie Joy Global) 2800XPB [10], b) hydrauliczna nadsiębierna [9]

W wielu krajach, gdzie prowadzona jest eksploatacja np. rud miedzi, żelaza i innych surowców, stosowane są klasyczne technologie jak w górnictwie skalnym, jednak często są one niekonwencjonalne i testowane jako nowe technologie podstawowe, choć czasem jako pomocnicze. Przykładem uniwersalnej technologii eksploatacji jest zastosowanie kombajnów frezujących np. firmy Wirtgen (ryc. 12).



Ryc. 10. Spycharka Caterpillar D11R z osprzętem zrywającym do urabiania mechanicznego gruntów i podłoża skalnego [15]

Technologia z ich zastosowaniem umożliwia selektywne wybieranie złoże, jednoczesne kruszenie kopaliny oraz bezpośredni załadunek na środki odstawy (zazwyczaj wozidła). Połączenie z transportem cyklicznym wprowadza jednak ograniczenia, gdyż kombajn musi przerywać swoją pracę na podjazd każdego z wozideł (ryc. 13).

Znajdują zastosowanie przy eksploatacji innych surowców, jak np. rud glinu (boksytu), żelaza, a także wapieni czy łupków bitumicznych (naftowych). Kombajny są stosowane m.in. w Australii Zachodniej, a także w Ameryce Północnej, w Azji Środkowej oraz w niektórych rejonach Afryki. Wśród producentów kombajnów możemy wymienić firmy: Huron (HMC), Larsen and Toubro, Takraf, Trencor (Astec Industries), ThyssenKrupp, Vermeer, Wirtgen [6]. Kombajny mogą urabiać skały o wytrzymałości na ściskanie (jednoosiowe) do 80 MPa, a nawet powyżej, jeżeli górotwór jest spękany. Bębny, na których umieszczone są segmenty noży (frezy), dostosowywane są do parametrów wytrzymałościowych urabianych skał. Największy model spośród wymienionych firm – Wirtgen 4200SM – może uzyskiwać wydajność nawet rzędu 3000 t/h (ryc. 12), jednak należy pamiętać, że im skała jest trudniejsza do urobienia, tym osiągnięta wydajność kombajnu jest mniejsza.

Za przykład prowadzenia eksploatacji z zastosowaniem kombajnów firmy Wirtgen mogą posłużyć kopalnie boksytu Debele (Gwinea, Afryka) oraz Friguia, należące do jednego z największych producentów aluminium na świecie, UC Rusal [5]. Pracujące w kopalni Debele od 2007 r. trzy kombajny 2200SM uzyskiwały wydajność ok. 500–600 t/h. Większe mo-



Ryc. 11. Rozluźnianie calizny skalnej z użyciem MW w kopalni odkrywkowej węgla kamiennego [16]



A



B

Ryc. 12: a) Kombajn frezujący Wirtgen 4200SM, b) widok na bęben frezujący kombajnu [27]

dele Wirtgen 2500SM w kopalni Friguia osiągały wydajności 800–1000 t/h. Do współpracy z mniejszymi jednostkami zastosowano wywrotki drogowe o ładowności 40 t oraz wozidła Belaz 7547 o ładowności 45 t. W kopalni Friguia zastosowano stutonowe wozidła Caterpillar 777D.

Zaletami stosowania kombajnów frezujących jest m.in. możliwość selektywnego urabiania złożeń o małych grubościach przy jednoczesnym unikaniu poziomów wodonośnych, a także możliwość prowadzenia eksploatacji selektywnej złożeń, których parametry jakościowe zmieniają się wraz ze wzrostem głębokości. Ponadto gdy wymagane jest okresowe zwiększenie np. produkcji rudy, uniknąć można przeładowania układu przerobczego (wstępnego kruszenia) z uwagi na odpowiednio już rozkruszony przez kombajn materiał skalny, którego wielkości ziaren zależą m.in. od sposobu rozmieszczenia noży na bębnie. W przypadku chilijskiej kopalni Aguas Blancas złożeń azotanu (V) sodu dwa kombajny firmy Vermeer (ryc. 14) umożliwiły zmniejszenie czasu procesu wytwarzania produktu z 2–3 lat do 12–15 miesięcy, a tym samym zwiększył się o ok. 10% uzysk jodu [7].



Ryc. 13. Kombajn frezujący Wirtgen 4200SM z bezpośrednim ładowaniem urobionej kopaliny na wozidła [28]



Ryc. 14. Kombajn frezujący Vermeer TL1255 [13]





Ryc. 15. Autonomiczne samochody technologiczne w trakcie testów w kopalni West Angelas (Rio Tinto, Australia) [25, 31]

Automatyzacja i monitorowanie procesów technologicznych w górnictwie odkrywkowym jest zagadnieniem rozwijanym już od lat 70. XX w., natomiast w obecnym stuleciu jest również stosowana w skali przemysłowej. Na chwilę obecną zastosowanie znalazła chociażby w transporcie wewnętrznym niektórych kopalń odkrywkowych, w tym takich potentatów górniczych jak Rio Tinto (Australia), który prowadzi eksploatację rud glinu (boksytu), miedzi, żelaza i innych surowców mineralnych. Testowany w jednej z kopalń koncernu – West Angelas – system oparty był na pracy kilkunastu autonomicznych samochodów technologicznych o ładowności poniżej 300 t każdy (ryc. 15), które w okresie prowadzonych przez kilka lat testów (od 2011 r.) przetransportowały ponad 200 mln t materiału skalnego. Praca wozideł odbywała się na zaprogramowanej trasie, zaczynając od podjazdu pod koparkę jednoznaczyniową, obsługiwaną przez człowieka (punkt początkowy – A), ładującą urobiony za pomocą MW materiał skalny, następnie przejazd do miejsca wyładunku (punkt B) oraz powrót do punktu wyjścia. Pracę nadzorował dyspozytor, sterujący całym układem z centrum operacyjnego, odległego ok. 1400 km od kopalni. Zastosowanie autonomicznych wozideł umożliwiło kopalni uzyskanie 10-procentowego wzrostu wykorzystania czasu pracy transportu w wydzielonym obszarze eksploatacyjnym (jedna z dwóch odkrywek kopalni) [3].

Opisywany w kopalni West Angelas system oparty jest na pełnej automatyzacji procesu transportu urobku, jednak wiele koncernów górniczych korzysta z oprogramowania i podpiętego pod maszyny pracujące w kopalni oprzyrządowania, dzięki któremu możliwe jest monitorowanie na bieżąco parametrów pracy maszyn, a tym samym prowadzenie do optymalizacji układów technologicznych, w tym najbardziej energochłonnego w kopalniach tego typu transportu. W czasach obecnych wahań cen surowców i ich niskich poziomów oczywiste jest, iż koncerny górnicze poszukują sposobów na obniżenie jednostkowych kosztów produkcji. Ponadto istotne jest zwiększanie bezpieczeństwa pracowników oraz kontrola stanu technicznego maszyn, z czego wynikać może redukcja dodatkowych kosztów, w tym napraw.

Uważa się zatem, że w dużych kopalniach, w których w całym procesie produkcyjnym udział bierze kilkadziesiąt maszyn i kilkaset bądź nawet kilka tysięcy osób pracujących na kilka zmian, systemy do zarządzania powinny być standardowym wyposażeniem. Każda kopalnia posiada odmienne warunki geologiczno-górnictwa, wyposażenie techniczne czy środki kapitałowe umożliwiające wprowadzanie innowacji, dlatego też zakres możliwości systemów do monitorowania pracy kopalni powinien być na tyle szeroki, aby można było je dostosować indywidualnie do każdej kopalni. Kilkadziesiąt lat prowadzo-



Ryc. 16. Koparka Caterpillar 7495 o pojemności łożki 55 m³ oraz wozidło Komatsu 930E-4 o ładowności 300 t [23]

nych i dobrze udokumentowanych badań potwierdza ich dużą przydatność.

Za przykład kopalni korzystającej z oprogramowania do zarządzania flotą posłużyć może kopalnia Sierra Gorda (Chile), w której KGHM ma udział większościowy. Od momentu otwarcia kopalni (październik 2014 r.) stosowane jest m.in. oprogramowanie firmy Wenco (Hitachi Construction machinery Co., Ltd.) – systemy mineVision oraz Fleet Control. Obecnie pracują tam m.in. koparki Caterpillar 7495 (pojemności łożek od 30,6 do 62,7 m³) oraz wozidła Komatsu 930E-4 (ryc. 16). Planuje się, aby do 2030 r. kopalnia była wyposażona w 100 takich wozideł.

Kopalnia Sierra Gorda posiada również dwie największe na świecie ładowarki jednołożkowe na podwoziu kołowym LeTourneau L-2350, wyposażone w łożki o objętości 40 m³.

W największych polskich kopalniach węgla brunatnego prowadzone są roboty górnicze związane ze zdejmowaniem kilkuset milionów metrów sześciennych nadkładu oraz z urabianiem dziesiątek milionów ton węgla rocznie. Są to roboty ziemne o znacznej koncentracji. Kopalnie surowców skalnych, jak kruszywa naturalne czy łamane, to w Polsce zdecydowanie mniejsze zakłady. Największa w Polsce kopalnia wapienia – pracująca w technologii cyklicznej – osiąga wydobycie rzędu kilku milionów ton rocznie. Jednak wielu światowych potentatów w branży górniczej prowadzi eksploatację na skalę kilkudziesięciu milionów ton rocznie z zastosowaniem technologii mieszanych, a także ciągłych. Jako przykład posłużyć może urabianie nadsiębierną jednoznaczyniową koparką linową podającą urobiony przy pomocy MW materiał skalny na koszt zasypowy w pełni mobilnej kruszarki (pierwszy stopień kruszenia), która z kolei podaje rozdrobiony materiał na przenośnik taśmowy (ryc. 18).

Jako przykład zastosowania można podać kopalnię odkrywkową węgla w Chinach, gdzie jednoznaczyniowa koparka o pojemności łożki 60 m³ podaje nadkład składający się głównie z piaskowców o wytrzymałości nawet 120 MPa i gęstości dochodzącej do 2,7 t/m³ na koszt zasypowy mobilnego zakładu przerobczego [24].

Podsumowanie

W dobie kryzysu gospodarczego wahania i spadek cen surowców sprawiają, że ich producenci szukają oszczędności przez obniżanie kosztów produkcji na różnych poziomach układów wydobywczo-przerobczych. Jednym ze sposobów jest optymalizacja procesów przez odpowiednie zarządzanie. Od lat



Ryc. 17. Ładowarka LeTourneau L-2350 [30]

opracowywane są systemy do monitorowania, nadzorowania oraz zarządzania flotą ludzi i maszyn. W początkowym okresie ich powstawania problemami były techniczne ograniczenia związane z brakiem nawigacji satelitarnej i odpowiedniej łączności radiowej. Obecnie systemy te oparte są już na zainstalowanych w maszynach układach komputerowych monitorujących ich stan techniczny (przez zainstalowane sensory), lokalizację, aktualne parametry pracy (wydajność, prędkość poruszania się itd.), magazynujących dane do dalszych analiz, a w niektórych przypadkach (wozidła) sterujących nimi dzięki zainstalowanym układom elektromechanicznym bez udziału człowieka. Ich głównymi założeniami jest poprawa wyników finansowych kopalń przez obniżenie kosztów jednostkowych produkcji, a także zmniejszenie liczby występujących awarii oraz zwiększenie bezpieczeństwa pracowników. Jednak z uwagi na szeroki zakres instrumentów i systemów komputerowych koniecznych do zainstalowania jest to inwestycja bardzo kapitałochłonna. W niektórych przypadkach sięga nawet kilkaset milionów dolarów, jak to ma miejsce w przypadku autonomicznych wozideł oraz pociągów w koncernie Rio Tinto, jednak wobec skali wydobycia w omawianych kopalniach jej zwrot jest pewny w ciągu kilku, kilkunastu lat.

Poszukiwanie oszczędności prowadzone jest na różnych etapach pracy kopalń, m.in. w materiałach eksploatacyjnych. Przykładem może być wykorzystywanie do maszyn zamiast oleju napędowego gazu ziemnego jako paliwa, które zapewnia przede wszystkim mniejszą emisję spalin, w tym gazów z grupy SO_x , NO_x oraz CO_2 . Firma EVO-MT Systems oferuje tego typu rozwiązania dla wozideł Caterpillar 777 oraz 793, a także Komatsu 830 oraz 930 w USA, o zmodyfikowanych w odpowiedni sposób jednostkach napędowych, a w następnych latach planowane jest rozwinięcie działalności przez poszerzenie palety oferowanych maszyn [20].

Pamiętać należy, iż problemem kopalń odkrywkowych jest istotny wpływ czynników atmosferycznych na możliwość prowadzenia eksploatacji. Przy dużych opadach wiele kopalń ulega podtopieniu lub nawet zalaniu, bez możliwości prowadzenia prac wydobywczych. Wiele koncernów górniczych prowadzi eksploatację surowców na skalę światową w dziesiątkach milionów ton eksportowanych surowców rocznie. Spośród nich możemy wymienić chociażby kopalnie węgla kamiennego w Australii. Z uwagi na fakt, że 70% wydobywanego tam węgla pochodzi właśnie z kopalń odkrywkowych, należy zaznaczyć, że ten sposób pozyskiwania kopalni jest silnie



Ryc. 18. Współpraca jednonaczyniowej koparki linowej z mobilnym zakładem przerobczym: a) schemat układu, b) widok na pracujący układ [24]

związany z warunkami atmosferycznymi. W przypadku pogorszenia warunków pogodowych, jak to miało miejsce w 2010 r. w stanie Queensland (Australia), opady, które miały miejsce, przyczyniły się do strat w eksporcie węgla w ilości ok. 19 mln t w stosunku do poprzedniego roku [21].

Literatura

- [1] Bilans zasobów złóż kopalni w Polsce wg stanu na 31.12.2014 r. Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa 2015.
- [2] Borcz A., Kozioł W.: *Systemy maszynowe w górnictwie odkrywkowym. Cz. 1. Maszyny w górnictwie polskim. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne”* 2015, nr 4, s. 102–107.
- [3] Borcz A., Machniak Ł.: *Rola i zastosowanie nowoczesnych systemów dyspozytorskich w odkrywkowych kopalniach surowców skalnych. „Przegląd Górniczy”* 2013, t. 69, nr 12, s. 59–67.
- [4] Kasztelewicz Z., Sikora M., Zajączkowski M., Patyk M.: *Układy technologiczne w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego na świecie. „Przegląd Górniczy”* 2014, t. 70, nr 10, s. 85–89.
- [5] *Guinea's bauxite bonanza. „Mining Magazine”* 2009 (April), No 4, s. 10–11.
- [6] *Scratching the Surface. „Mining Magazine”* 2010 (January / February), No 1/2, s. 19–21.
- [7] *Salt of the earth. „Mining Magazine”* 2015 (July / August), s. 16–18.
- [8] <http://cuslar.org>
- [9] <http://heavyequipment.com>
- [10] <http://media.jrn.com>
- [11] <http://www.antrixinfracorp.com>
- [12] <http://www.atlasobscura.com>
- [13] <http://www.bh-ruda.pl>
- [14] <http://www.bloomberg.com>
- [15] <http://www.caterpillar.com>
- [16] <http://www.corbisimages.com>
- [17] <http://www.directindustry.com>
- [18] <http://www.forensic-architecture.org>
- [19] <http://www.garthlenz.com>
- [20] <http://www.gfs-corp.com>
- [21] <http://www.giph.com/pl/>
- [22] <http://www.kennecott.com>
- [23] <http://www.kgo.agh.edu.pl/>
- [24] <http://www.mmsizers.com/>
- [25] <http://www.theaustralian.com.au>
- [26] <http://www.visitchile.com>
- [27] <http://www.wirtgen.de/pl>
- [28] <http://www.wirtgenamerica.com>
- [29] <http://www.mining.com>
- [30] <http://www.mining-power.de>
- [31] <http://www.pinstopin.com>

