

# Największy system mechanizacyjny górnictwa odkrywkowego, kopalnia węgla kamiennego El Cerrajón, Kolumbia

## The largest machinery system of surface mining in hard coal mine El Cerrajón in Colombia



Dr hab. inż. Jacek M. Czaplicki, prof.  
Politechniki Śląskiej\*)



Mgr inż. Anna Kulczycka\*)

**Treść:** Metodami powierzchniowymi na świecie wydobywa się około 90 % surowców mineralnych, licząc w tonach masy. Znaczna część to węgiel brunatny i kamienny. Jedną z największych odkrywkowych kopalń węgla kamiennego jest kopalnia El Cerrajón w Kolumbii. Pracuje tam największy system maszynowy na świecie. W niniejszej pracy opisano specyfikę kopalni, stosowaną metodę wydobycia oraz eksploatowany system mechanizacyjny.

**Abstract:** By means of surface mining methods, 90 % of mineral commodities in the world used to be extracted counting in tonnes of mass. Large part of it are hard coals and lignite. One of the largest open pit mine is El Cerrejón mine in Colombia. In this mine the largest machinery system is in operation. This paper presents the specification of the mine, the mining method applied and the machinery system which is the subject of this paper.

### Słowa kluczowe:

górnictwo powierzchniowe, kopalnia odkrywkowa, największy system maszynowy na świecie

### Key words:

surface mining, open pit mine, the largest machinery system in the world

## 1. Wprowadzenie

Jak wiadomo, węgiel kamienny wydobywany jest przede wszystkim metodami powierzchniowymi i podziemnymi. Są także metody pośrednie – *Auger mining*, *Highwall mining* oraz *Punch longwall mining*<sup>1</sup> – stosowane w kopalniach powierzchniowo-podziemnych (Czaplicki 2013, [1]). Cały system mechanizacyjny lub jego część znajduje się na powierzchni, a wybiera się pokład węgla zalegający w górotworze. Metoda *Auger mining*, która polega na urabianiu węgla wiertłami talerzowymi, jest najstarsza i ma ponad 50 lat. Jest to metoda mało efektywna, w której stopień odzysku kopaliny użytecznej nie przekracza 50 %. Dwie pozostałe metody są stosunkowo nowe i polegają na urabianiu węgla kombajnami (ścianowym lub komorowym) o zmodyfikowanej konstrukcji.

Metody te wypracowano pod koniec ubiegłego wieku. Należy zaznaczyć jednakże, iż znaczenie tych metod jest marginalne, choć liczba miejsc, w których prowadzi się wydobycie tymi metodami wzrasta.

Jeżeli chodzi o wybieranie pokładów węgla metodami powierzchniowymi, to w zależności przede wszystkim od kąta nachylenia bądź pokładu bądź pokładów buduje się albo wyrobiska typu stożkowego albo wyrobiska szerokie, charakterystyczne dla eksploatacji poziomych złóż węgla brunatnego. Jest to podyktowane możliwością zastosowania systemu mechanizacyjnego w danej kopalni.

Gdy złożo zalega poziomo lub jest o niewielkim nachyleniu (rzędu kilku stopni), wówczas można zastosować tzw. system ciągły; koparkę wielonaczyniową – przenośniki taśmowe – zwałowarkę (popularnie zwany w Polsce układem KTZ) dla urabiania, odstawy i zwałowania skał płonnych. Sam węgiel można urabiać koparką wielonaczyniową. Czasami, jako środek odstawy bywają stosowane pociągi.

Gdy nachylenie pokładu jest większe, wówczas zastosowanie koparki wielonaczyniowej jest niewskazane. Organ urabiający będzie przybierać w sposób znaczący warstwę

\*) Politechnika Śląska, Gliwice.

<sup>1</sup> Podane nazwy są angielskojęzyczne, gdyż metody te opracowano w krajach angielskojęzycznych (USA, Australia) i jak na razie brak jest polskich odpowiedników tych terminów.

otaczającą węgiel. Poza tym, gdy spąg wyrobiska jest nachylony i gdy byłaby realizowana eksploatacja koparką tego typu, wówczas mogą pojawiać się znaczne momenty gnące w konstrukcji kartowniczej superstruktury maszyny, co może grozić jej połamaniem. Dla prowadzenia wydobywania konieczne jest zastosowanie innych maszyn urabiających. Gdy węgiel nie jest zbyt twardy, można stosować koparki łyżkowe. W przypadku twardszych warstw, niezbędne jest ich wstępne rozkruszenie. Można to uczynić osprzętem zrywakowym zamontowanym na spycharkach. W ostateczności można zastosować urabianie materiałami wybuchowymi.

Przykładem tego typu eksploatacji górniczej można obejrzeć w kopalni El Cerrajón w departamencie La Guajira w Kolumbii. W tym zakładzie górniczym jest użytkowany największy system mechanizacyjny na świecie.

Celem niniejszej pracy jest zapoznanie Czytelnika ze specyfiką kopalni, stosowaną w tej kopalni metodą wydobywania oraz prezentacja systemu maszynowego tam zastosowanego. Rozwiązania mechanizacyjne istniejące w tej kopalni nie są stosowane w Polsce, więc wydaje się, iż warto je Czytelnikom Przeglądu Górniczego zaprezentować.

## 2. Opis kopalni

Właścicielem kopalni jest konsorcjum złożone z trzech podmiotów gospodarczych: BHP Billiton, Anglo-American i Xstrata, każde posiadające takie same udziały.

Kopalnia El Cerrejón znajduje się u nasady półwyspu Guajira, w północnej Kolumbii (rys. 1). Prace przygotowawcze poprzedzające eksploatację, budowa kopalni, jej wyposażenie, budowa linii kolejowej dla transportu urobku do portu Oceanu Atlantyckiego Puerto Bolivar wraz z terminalem portowym pochłonęła 3 miliardy dolarów. Wydobywanie rozpoczęło się w 1985 roku.

W wyniku przeprowadzonych badań geologicznych stwierdzono, że w tym rejonie, obejmującym 70 hektarów, jest około 40 złóż węgla możliwych do wydobywania i których eksploatacja ma sens ekonomiczny. Węgiel charakteryzuje się dobrą jakością; zawartość siarki jest niska – 0,7 %, zawartość popiołów – 7,5 %. Głębokość zalegania złóż nie przekracza 100 m. Pokłady mają grubość od 0,7 do 10 m. Średnia grubość pokładu to około 3m, a średnie nachylenie to 16°. W obszarze tym w warstwach górotworu, niestety, znajdują się liczne uskoki i pofałdowania. Zasoby kopaliny użytecznej są szacowane na 5250 milionów ton.

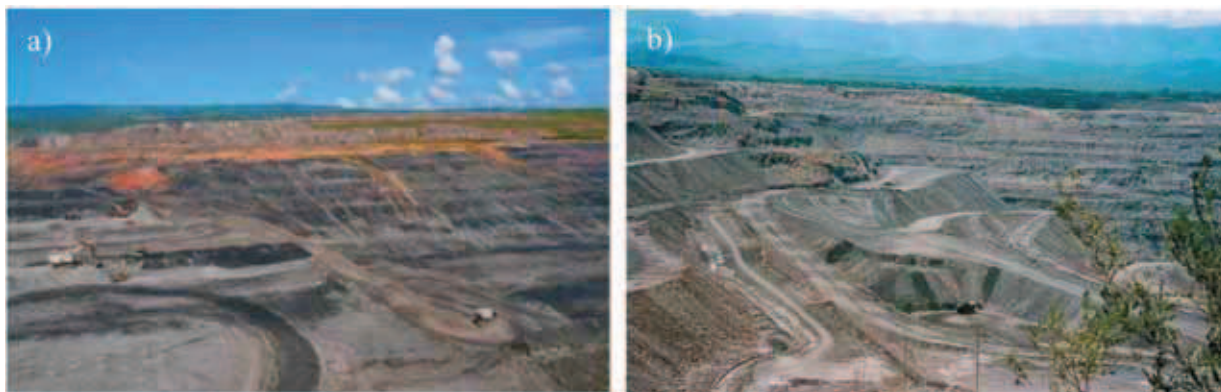


Rys. 1. Lokalizacja kopalni i portu Puerto Bolivar  
Fig. 1. Location of the mine and the Puerto Bolivar harbour

Wcześniej, węgiel wydobywany był w pięciu odkrywkach: Tabaco, La Puente, Oreganal, Tajo 100 i Comuneros, po kilka pokładów naraz, sekwencyjnie. Obecnie zbudowano dwie dalsze odkrywki. Standardowa wysokość urabianego poziomu wynosi 15 m. Po zdjęciu warstwy wierzchniej, która jest pieczolowicie składowana, a następnie sukcesywnie używana do prac rekultywacyjnych, nadkład jest urabiany za pomocą techniki strzelniczej, a następnie ładowany na środki transportowe. Jest on zwalowany w wyrobiskach poeksploatacyjnych lub na zwalach zewnętrznych. Prace rekultywacyjne stale towarzyszą wydobywaniu. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wyrobiska eksploatacyjne.

Od początku eksploatacji do 2011 roku w kopalni wydobyto 508,8 mln ton węgla, co dało w efekcie ponad 2 miliardy dolarów zysku. Z końcem 2011 roku w El Cerrejón osiągnięto wydobywanie 32 mln ton/rok. Analizując eksport można stwierdzić, że w 58 % urobek jest dostarczany do Europy, w 21 % do państw basenu morza Śródziemnego i dalszych krajów azjatyckich, 12 % pozostaje w Ameryce Południowej i w 9 % węgiel jest dostarczany do krajów Ameryki Północnej.

W sierpniu 2011 roku ogłoszono, iż konsorcjum planuje wydać 1,3 miliarda USD dla zwiększenia wydobywania. Planuje się osiągnięcie wydobywania 37 mln ton w roku 2014, a w 2015 roku – 40 mln ton rocznie. Docelowo, mówi się o osiągnięciu



Rys. 2a i b. Widok ogólny kopalni El Cerrejón  
Fig. 2a and b. General view of the mine El Cerrejón

- a) <http://www.hispanicallyspeakingnews.com/latino-daily-news/details/multinationals-to-invest-1.3-billion-in-colombian-mine-el-cerrejon/12220/>  
b) <http://www.multiwatch.ch/fr/p97000520.html>



produkcji 60 mln ton rocznie. Pozostaje jednakże niepewność, co do planowanego zwiększenia wydobycia, z uwagi na fakt, iż zanotowano ataki rebeliantów z ugrupowania FARC na pociągi z węglem w październiku 2013 roku.

Większa produkcja będzie wymagała zwiększenia:

- systemu maszynowego kopalni,
- systemu wzbogacania,
- systemu zabezpieczenia technicznego,
- możliwości transportowych odstawy szynowej,
- możliwości załadunkowych w porcie Bolivar,
- liczby zatrudnionych.

Planuje się budowę nowego terminalu dla załadunku równoległego dwóch statków jednocześnie z urządzeniami załadunkowymi o wydajności 12 000 t/godz. Sam rejon wodny portowy musi zostać przygotowany, aby dwa duże statki mogły swobodnie manewrować na przybrzeżnych wodach.

W kopalni jest obecnie zatrudnionych około 5400 pracowników, natomiast dalszych 4500 ma zatrudnienie w firmach kooperujących z kopalnią. Planuje się zwiększenie zatrudnienia w związku z planowanym wzrostem wydobycia.

### 3. System mechanizacyjny

Zastosowany system maszynowy jest nie tylko największy w skali światowej, lecz także należy do najbardziej nowoczesnych.

Urabianie realizowane jest w trojaki sposób:

- nadkład: poprzez wiercenie i strzelanie,
- węgiel: spycharko-zrywarkami, pomocniczo: koparkami łyżkowymi.

Koparki łyżkowe, obecnie głównie P&H 2800XPC (masa użyteczna w łyżce 60 t), (rys. 3), służą przede wszystkim jako maszyny ładujące. Urabianie za ich pomocą odbywa się w niewielkim stopniu. Liczba tych maszyn w kopalni wynosi 50 jednostek. Spycharko-zrywarek jest około 100, przy czym część z nich jest na podwoziu kołowym. Praca tych maszyn w polu eksploatacyjnym jest pokazana na rysunku 4a i b. Widoczne na tych rysunkach spycharki są produkcji firmy Caterpillar. Niektóre maszyny są wyposażone w tzw. system *impact ripper* realizujący zrywanie bardziej efektywnie od konwencjonalnych zrywarek dzięki mechanizmowi udarowemu będącemu na wyposażeniu tych maszyn. Są to maszyny typu D11N (moc 700 kW, masa 105 t).



Rys. 3. Łyżkowa koparka linowa P&H 2800XPC  
Fig. 3. P&H 2800XPC bucket excavator

Urobiony węgiel jest ładowany na wozy oponowe odstawcze typu wozidła, tak jak to widać na rysunku 5. Pierwotnie, wozidła (w liczbie 150 jednostek) były głównie o udźwigu użytecznym 154 tony, firm Wabco i Euclid<sup>2</sup>. Obecnie eksploatowane wywrotki mają ładowność 190, 240 i 363 tony, a liczba tych maszyn przekroczyła 260. Węgiel z wyrobisk transportowany jest do trzech 300 tonowych lejów załadunkowych (rys. 6), skąd zostaje skierowany do zakładu przerobczego. Jest tam kruszony na ziarna do 50 mm średnicy w dwuetapowym procesie kruszenia. Wydajność zakładu przerobczego wynosi 3500 t/godz. Po kruszeniu urobek jest skierowany do dwóch zbiorników, w których oczekuje na transport.

Kopalnia ma 150 km torów szynowych, po których pociągi transportują węgiel ze zbiorników do portu Bolivar dla załadunku na statki. Wykorzystuje się typową krajową kolej, gdzie każda z lokomotyw może ciągnąć 109 wagonów (średnio, każda lokomotywa ciągnie 107 wagonów). Łącznie kopalnia ma 562 węglarki o nominalnej ładowności 96 ton lub 110 ton. Przy załadunku węgiel jest wyrównywany, zwilżany oraz zagęszczany (rys. 7 i 8) w celu ochrony środowiska; zapobieganiu wznoszenia się pyłu węglowego podczas transportu.

<http://www.cerrejon.com/site/english/press-room/multi-media-gallery/railway.aspx>



Rys. 4a i b. El Cerrejón: spycharko-zrywarki kruszące węgiel  
Fig. 4a and b. El Cerrejón: bulldozer-ripper crushing coal

<sup>2</sup> Wabco, Haulpack, LeTourneau, Dresser i Hanomag to obecnie jednostki firmy Komatsu.



Rys. 5. El Cerrejón: koparka linowa ładująca na wozidła  
Fig. 5. El Cerrejón: power shovel loading dumper trucks



Rys. 6. El Cerrejón: rozładunek węgla do leja załadunkowego  
Fig. 6. El Cerrejón: unloading coal to the charging hopper



Rys. 7. Wyrównywanie węgla po załadunku  
Fig. 7. Levelling coal after loading



Rys. 8. Zwilżanie węgla przed transportem  
Fig. 8. Wetting coal prior to transport

Kolej jest również wykorzystywana do dostarczania podstawowych środków niezbędnych do funkcjonowania kopalni i eksploatowanego tam systemu maszynowego. Mowa tu o takich materiałach jak: olej napędowy, opony, części zamienne itd. Transport kolejną w obie strony wraz z załadunkiem i rozładunkiem węgla trwa ok. 12 godzin. W ciągu jednego dnia pociąg pokonuje trasę pomiędzy kopalnią a portem 9 razy.

Niektóre stosowane lokomotywy to bardzo popularne swego czasu w Ameryce Północnej i Południowej jednostki typu GE B36-7. Są to lokomotywy czteroosiowe spalinowo-elektryczne produkowane przez GE Transportation Systems w latach 1980 i 1985. Część maszyn powstała specjalnie na potrzeby kopalni El Cerrejón; są to maszyny o mocy 2700 kW (rys. 9).



Rys. 9. Lokomotywa GE B36-7  
Fig. 9. Locomotive GE B36-7

Maszynami pomocniczymi w systemie mechanizacyjnym są ładowarki łyżkowe w liczbie 20 jednostek oraz równiarki w liczbie 30 jednostek (rys. 10 i 11). Ładowarki łyżkowe głównie firmy Le Tourneau, służą do różnych robót pomocniczych. Mają także zastosowanie jako jednostki zapasowe dla załadunku na wozidła w przypadku, gdy jakaś koparka łyżkowa jest w naprawie. Równiarki (*graders*, głównie firmy Caterpillar) służą do budowy nowych odcinków dróg transportowych i ponadto mają za zadanie utrzymanie istniejących dróg transportowych w odpowiednim stanie. Z tej racji, iż system wozów oponowych liczy bardzo wiele jednostek, więc równiarki pracują prawie 24 godz/dobę.

Ogólna liczba jednostek pomocniczych zbliża się obecnie do 100.

Dla tak wielkiego systemu maszynowego kopalnia ma warsztaty obsługi technicznej, których powierzchnia obejmuje łącznie 26 000 m<sup>2</sup>.

Port Bolivar to *de facto* terminal węglowy, który jest wyposażony w system ładowania od 1985 roku. Kanał żeglugi ma 19 m głębokości, 225 m szerokości, i 4 km długości i jest jednym z najważniejszych portów węglowych w Ameryce Południowej z zastosowaniem – co warto odnotować – tzw. czystej technologii. Jest także jednym z największych portów na świecie. Może on obsługiwać statki do 180 000 ton ładowności, 300 m długości oraz do 45 m szerokości. Wyposażony jest także w stację dokującą dla statków do 30 000 ton, które przewożą sprzęt, części zamienne, paliwa oraz inne towary niezbędne dla kopalni. Średnie obciążenie portu w skali roku wynosi ok. 6300 ton na godzinę, a wartości maksymalne sięgają nawet 11 000 ton na godzinę (rys. 12, 13).





Rys. 10. Ładowarka łyżkowa  
Fig. 10. Bucket wheel loader



Rys. 11. Równiarka  
Fig. 11. Grader



Rys. 12. Jeden z największych portów węglowych na świecie  
Fig. 12. One of the largest coal terminal in the world



Rys. 13. Załadunek statku w porcie Bolivar  
Fig. 13. Ship loading in Puerto Bolivar harbour

<http://www.cerrejon.com/site/english/press-room/multi-media-gallery/puerto-bolivar.aspx>

#### 4. Podsumowanie

Kopalnia El Cerrejón jest największym zakładem górnictwa węgla kamiennego na kontynencie Ameryki Południowej. Jest także największym eksporterem tego surowca w tym rejonie świata. Jej działalność jest różnorodna i obejmuje poszukiwania geologiczne, eksploatację, transport, załadunek na statki oraz eksport węgla.

Podsumowując, system mechanizacyjny prezentuje się następująco:

Maszyna	Rodzaj	Liczba (szt.)
Koparki		50
Wywrotki	190t, 240t, 320t	260
Maszyny pomocnicze		185
w tym:		
Ładowarki łyżkowe		20
Spycharko-zrywarki		100
Równiarki		30
Lokomotywy		20

Podane wartości liczbowe są szacunkowe, gdyż kopalnia jest w rozwoju i system ulega stałej rozbudowie. Obecnie

pracuje tam około 500 maszyn. Można prognozować, że dla osiągnięcia planowanego wydobycia 60 mln ton węgla rocznie, system maszynowy ulegnie podwojeniu.

Jak zapewnia właściciel kopalni, proces wydobycia opiera się na najwyższych standardach bezpieczeństwa i jakości. Największą zaletą i cechą charakterystyczną kopalni jest pełna integracja procesów produkcyjnych (kopalnia-kolej-port), co zapewnia dużą wydajność pracy oraz redukuje negatywny wpływ produkcji górniczej na środowisko.

#### Literatura

1. *Czaplicki J.M.*: Mechanizacja w górnictwie okruchowym i skalnym. Kopalnie odkrywkowe złóż pokładowych i rud metalicznych. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2013.
2. *Ivette E. Torres.*: The Mineral Industry of Colombia, U.S. Geological Survey, U.S. Dept. of the Interior, December 2007.
3. BHP Billiton, Cerrejon Coal Company, BHP Billiton website.
4. <http://www.infomine.com/minesite/minesite.asp?site=cerrejon>
5. <http://www.cerrejon.com/site/english/>
6. [http://www.cerrejon.com/site/Portals/1/Documents/pdf/sustainability\\_reports/Cerrejon\\_Sustainability\\_Report\\_2011.PDF](http://www.cerrejon.com/site/Portals/1/Documents/pdf/sustainability_reports/Cerrejon_Sustainability_Report_2011.PDF)
7. <http://www.mining-technology.com/projects/cerrejon/>