

# Problematyka eksploatacyjna maszyn ładujących w górnictwie odkrywkowym – skalnym

## Operating issues of loading equipment in opencast rock mining



Dr inż. Przemysław Bodziony\*)



Prof. dr hab. inż. Artur Bęben\*\*)



Prof. dr hab. inż. Zbigniew Kasztelewicz\*)

**Treść:** W artykule zaprezentowano charakterystyki pracy podstawowych maszyn ładujących stosowanych w górnictwie odkrywkowym skalnym, z uwypukleniem warunków ich stosowania, wad i zalet, jakimi się cechują. Do maszyn tych należy zaliczyć: ładowarki łyżkowe na podwoziach oponowych oraz hydrauliczne koparki jednonaczyniowe łyżkowe nadsiębierne oraz podsiebierne. Następnie zwrócono uwagę na możliwość poprawnej współpracy tych maszyn ze środkami transportu, ze szczególnym uwzględnieniem wozideł technologicznych. Wyróżniono parametry eksploatacyjne zapewniające odpowiednią wydajność oraz możliwości pełnego wykorzystania tych maszyn w konkretnych warunkach geologiczno-górnictwowych.

**Abstract:** This paper presents the operating characteristics of simple loading machinery used in opencast rock mining. It focuses on working conditions, advantages and disadvantages of the said loading equipment. The machines are classified as follows: wheel loaders, hydraulic mining shovels and backhoe excavators. Then the paper draws attention to the possibility of proper cooperation between the machinery and means of transport with particular emphasis on off-highway dump track. And finally it distinguishes the operating parameters that ensure proper performance and opportunities for full usage of the equipment in specific mining and geological conditions.

### Słowa kluczowe:

górnictwo odkrywkowe, dobór maszyn, samojezdne ładowarki kołowe, hydrauliczne koparki jednonaczyniowe łyżkowe

### Key words:

opencast rock mining, mining equipment selection, wheel loaders, hydraulic mining shovels and backhoe excavators

## 1. Wprowadzenie

Uniwersalność eksploatacyjna w połączeniu z zapewnieniem odpowiedniej wydajności oraz możliwością pełnego wykorzystania w konkretnych warunkach geologiczno-górnictwowych, powinna stanowić o doborze maszyn ładujących w procesie wydobywczym. Problem w tym, iż wymagania te niezwykle trudno ze sobą pogodzić, podobnie jak interesy producentów i użytkowników. Zagadnienie to zawiera złożoną problematykę, obejmującą zarówno obszary z dyscyplin budowy i eksploatacji maszyn, jak również nauk *stricto górnictwowych*.

Maszyny ładująco-transportujące stanowią główną składową układu technologicznego kopalni odkrywkowej, definiowany jest on jako zbiór maszyn tak dobranych i funkcjonalnie połączonych, by można nimi ładować i przemieszczać masy

urobku zgodnie z potrzebami eksploatacji w danych warunkach złożowych, organizacyjnych i klimatycznych [4, 5, 6]. Od odpowiedniego doboru i zestawienia elementów układu zależą najbardziej istotne wskaźniki eksploatacyjne kopalni.

W praktyce górnictwa surowców skalnych obserwuje się użytkowanie mocno zróżnicowanego *parku maszyn* ładująco-transportujących, często dobranego w sposób przypadkowy i nie zoptymalizowany do wymogów prowadzonej eksploatacji złoża, bez uwzględnienia ekonomicznych wymogów wydajnościowych, a także eksploatacyjno-niezawodnościowych. Dodatkowo użytkownicy maszyn, nierzadko eksploatują je niezgodnie z przeznaczeniem, diametralnie skracając tym samym okres ich zdatności technicznej, przy jednoczesnym wzroście kosztów.

Pierwszą składową tego systemu stanowi maszyna ładująca, a od jej cech konstrukcyjno-użytkowych uzależniona jest poprawność i opłacalność procesu załadunku środków transportu. Niezależnie czy są to wozidła technologiczne, czy mobilne agregaty kruszące połączone z układem przenośni-

\*) AGH w Krakowie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii \*\*) AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii i Robotyki

ków taśmowych, wykorzystuje się do tego celu samojezdne kołowe ładowarki łyżkowe na podwoziach oponowych oraz najczęściej – hydrauliczne koparki łyżkowe jednonaczyniowe – podsiebierne lub nadsiebierne (rys. 1) [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

## 2. Zastosowanie ładowarek łyżkowych na podwoziach oponowych jako maszyn ładujących w układzie technologicznym

Samojezdne ładowarki łyżkowe należą do maszyn roboczych ciągnikowych stosowanych do robót ziemnych i górniczych. Charakteryzują się one tzw. *siłą uciągu na haku*, generowaną poprzez sprzężenie cierne maszyny z podłożem. Proces urabiania oraz napełniania łyżki jest możliwy tylko przy udziale uciągu układu napędowego i podwozia. Ładowarki łyżkowe należą do maszyn o cyklicznym procesie urabiania i załadunku oraz ograniczonym zasięgu transportowym (do 300 m). Cechuje je relatywnie szerokie spektrum aplikacji w procesie wydobywczym, takie jak, wykonywanie i utrzymanie odpowiedniego stanu dróg transportowych, oczyszczania złoża, transportu brył nadwymiarowych, czy formowania usypiska dla koparek podsiebiernych oraz stonkowo duża prędkość jazdy [2, 3, 7].

Niezależnie od przeznaczenia i konstrukcji wszystkie ładowarki składają się z dwóch podstawowych części: zespołu ciągnikowo-jezdnego oraz ładującego (łyżka z wysięgnikiem hydraulicznym). Ładowarki łyżkowe od koparek jednonaczyniowych podsiebiernych wyróżnia urabianie i załadunek możliwy tylko i wyłącznie ponad poziomem, na którym się poruszają. Mogą one urabiać ściany o wysokości od 5 do 10 m, z minimalnymi możliwościami pracy poniżej poziomu. W szczególnych przypadkach eksploatacji złoża, ładowarki mogą wyeliminować pośrednie ogniwo transportowe – samochód technologiczny i bezpośrednio wyładowywać w przodku na samobieżny agregat kruszący i dalej na system przenośników taśmowych.

Do zalet oponowych ładowarek łyżkowych należy zaliczyć dużą zwrotność oraz możliwości manewrowe przy wysokiej prędkości jazdy, a co za tym idzie efektywne transportowanie urobku oraz szybkie wycofanie maszyny z rejonu prowadzonych prac strzałowych. Ponadto cechuje je duża wydajność i efektywność pracy jako element układu technologicznego: maszyna ładująca – wozidło – punkt zasypowy a w porównaniu z koparkami jednonaczyniowymi – korzystniejsze wskaźniki energochłonności, a także mniejsze koszty inwestycyjne.

Natomiast do wad należy zaliczyć znacznie niższe siły urabiania w porównaniu z koparkami jednonaczyniowymi, wynikające z siły naporu generowanej układem napędowym. Ponadto, dłuższy czas cyklu roboczego (brak wysięgnika

na obrotnicy wymusza manewrowanie całą maszyną) oraz mniejszy zasięg roboczy w porównaniu z koparkami jednonaczyniowymi. Dodatkowo, istnieje możliwość uszkodzenia maszyny ze względu na ciągły, bliski podjazd do środków transportu. Nie bez znaczenia na koszty eksploatacyjne wpływa również ryzyko przecięcia, a w efekcie zniszczenia kosztownego ogumienia odłamkami skalnymi i wynikająca stąd konieczność stosowania łańcuchów ochronnych [2, 3].

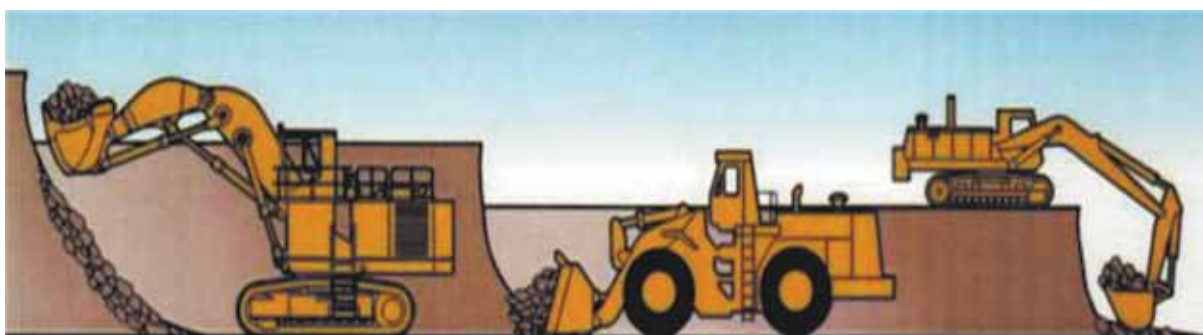


Rys. 2. Boczny wysyp przy załadunku

Fig. 2. Lateral dump during loading of the off-highway dump track by wheel loader equipped with tire protection chains

Wydajność ładowarek łyżkowych, współpracujących ze środkami transportu samochodowego zależy głównie od dwóch czynników:

Właściwego sposobu napełnienia środka transportowego, tj. gdy objętość ładunkowa środka transportowego w stosunku do objętości łyżki ładowarki jest za mała, wówczas wydłuża się czas dostawiania ładowarki przy opróżnieniu łyżki, ponadto materiał rozsypuje się podczas załadunku, a obciążenia dynamiczne środka transportowego przy opróżnianiu łyżki są nadmierne wpływając na degradację zmęczeniową). A także, od odpowiedniego ustawienia środka transportowego w stosunku do pracującej ładowarki. Ustawienie to powinno zapewnić ładowarce możliwie krótką i nieskomplikowaną drogę podjazdu. W przypadku ładowarki kołowej charakter procesu zaczerpywania i załadunku urobku wymusza określony sposób manewrowania pod załadunek wozideł technologicznych. Ładowarka może napełnić skrzynię ładunkową wozidła tylko przy bocznym wysypie łyżki do skrzyni ładunkowej, utrudnia to potokowy system podjazdu pod maszynę ładującą – wydłużając czas cyklu [2, 3, 7]. Na rysunku 2 pokazano boczny wysyp przy załadunku wozidła technologicznego przez ładowarkę łyżkową wyposażoną w łańcuchy ochronne kół jezdnych.



Rys. 1. Prawidłowo realizowany proces urabiania przez maszyny ładujące: koparkę jednonaczyniową nadsiebierną, ładowarkę kołową oraz koparkę jednonaczyniową podsiebierną [3]

Fig. 1. Process of excavation through loading machines: hydraulic mining shovel, wheel loader, and backhoe excavator

### 3. Zastosowanie jednonaczyniowych łyżkowych koparek hydraulicznych podsiębiernych jako maszyn ładujących w układzie technologicznym

Innymi maszynami ładującymi, możliwymi do aplikacji w procesie załadunku urobku w kopalniach odkrywkowych są hydrauliczne koparki jednonaczyniowe łyżkowe. Stanowią one grupę maszyn roboczych ciężkich przeznaczonych do urabiania i przenoszenia (transportowania) odspojonego urobku na dowolne środki transportowe. Cechą charakterystyczną dla wszystkich koparek jednonaczyniowych hydraulicznych jest wyposażenie w siłownikowy mechanizm naporu oraz mechanizm obrotowy, zwany obrotnicą, pozwalający na cykliczną pracę maszyny bez konieczności zmiany jej położenia względem wyrobiska. Główne ruchy robocze wywoływane są przez hydrauliczne przeniesienie strumienia mocy od źródła napędu (silnika spalinowego wysokoprężnego) do siłowników hydraulicznych, a pozostałe tj. mechanizm jazdy i obrotu mogą być napędzane silnikami hydraulicznymi lub innymi. W zależności od kinematyki ruchu wysięgnika oraz stosowanego osprzętu można wyróżnić koparki jednonaczyniowe podsiębierne oraz nadsiębierne. Pierwsze przystosowane są do urabiania calizny poniżej poziomu na którym spoczywa ich podwozie, nadsiębierne zaś, urabiają powyżej tego poziomu (rys. 1) z możliwością ograniczonego zejścia poniżej. Odmienna niż w przypadku ładowarek łyżkowych, kinematyka ruchu osprzętu koparek hydraulicznych pozwala na wywarcie maksymalnej siły urabiającej w zakresie zasięgu roboczego oraz daje możliwość penetracji urobku [2÷3, 7]. Odspajanie calizny łyżką koparki jednonaczyniowej charakteryzuje efektywny proces skrawania zębów osprzętu generowany ruchem roboczym par kinematycznych poprzez hydrauliczną siłę. Dzięki temu wysięgnik, osprzęt oraz układ siłowników nie są narażone na długotrwałe obciążenia maksymalne. Ma to niebagatelne znaczenie podczas załadunku uprzednio rozdrobnionej robotami strzałowymi calizny skalnej, która nie została załadowana zaraz po *odstrzeleniu* i wystąpiło zjawisko tzw. zaciskania się urobku, tj. ponownego scalenia, szczególnie w okresie zimowym. Dodatkowo koparki hydrauliczne podsiębierne mają możliwość ramowania (usuwania nawisów i obrywania) ściany w przodku eksploatacyjnym w zasięgu wysokości podnoszenia łyżki, tj. dla ścian niezbyt wysokich.

Na niekorzyść stosowania koparek hydraulicznych podsiębiernych przemawia konieczność realizacji procesu załadunku urobku, poprzez podgarnięcie go w pryzmę (lub czynność ta musi zostać wykonana przez spycharkę lub ładowarkę), na którą maszyna musi wjechać podwoziem nie przystosowanym do przemieszczania się po takim podłożu, ze względu na duże obciążenia elementów gąsienic. Dopiero wówczas może zaczerpywać urobek i ładować go na środki transportu przy tylnym wysypie na skrzynię ładunkową pojazdu (rys. 3). Wyklucza to koparkę z procesu załadunku na czas formowania pryzmy oraz utrudnia potokowy podjazd wozideł technologicznych, co skutkuje zmniejszeniem wydajności w porównaniu z ładowarkami, czy koparkami nadsiębiernymi. Aczkolwiek, w praktyce eksploatacyjnej zdarza się, że dobrze wykwalifikowany operator jest w stanie poprawnie załadować samochód technologiczny przy bocznym wysypie łyżki jak pokazano na rysunku 4. W tak prowadzonej pracy nadsiębianowej występują trudności w poprawnym realizowaniu procesu urabiania, ze względu na ograniczoną głębokość kopania (< 12 m) i niekorzystne dla hydrauliki siłowej obciążenia przy maksymalnym opuszczeniu wysięgnika.

Nie bez znaczenia pozostaje sposób podjazdu wozideł pod załadunek koparką, który może znacznie usprawnić proces, gdy odbywa się on przy najmniejszym kącie obrotu wysięgnika i przy nieznacznym jego wysuwie. Do koparki



Rys. 3. Załadunek wozidla technologicznego przez hydrauliczną koparkę podsiębierną realizowany z pryzmy urobku  
Fig. 3. Loading of the off-highway dump truck by hydraulic backhoe excavator

podsiębiernej wozidla powinny podjeżdżać tyłem ze względu na korzystniejsze ustawienie skrzyni ładunkowej oraz zabezpieczenie kabiny kierowcy przed ewentualnymi uszkodzeniami (rys. 3) [2, 3].



Rys. 4. Sposób załadunku wozideł technologicznych przy potokowym sposobie podjazdu przez koparkę jednonaczyniową podsiębierną (bardzo niekorzystny przypadek – duża wysokość podnoszenia urobku) [3]  
Fig. 4. Method of loading of the off-highway dump trucks by backhoe excavator (unfavourable case – lifting of output takes place very high)

### 4. Zastosowanie jednonaczyniowych koparek hydraulicznych nadsiębiernych jako maszyn ładujących w układzie technologicznym

Koparki hydrauliczne nadsiębierne z osprzętem ładowarkowym oraz z zamknięciem kłapowym przeznaczone są do załadunku surowców skalnych zarówno w pracy nadpoziomowej, jak również w ograniczonym zakresie – podpoziomowej, w tym brył nawet o dużej granulacji. Sposób realizacji cyklu roboczego koparki jednonaczyniowej nadsiębiernej różni się pod względem urabiania, zaczerpywania urobku i sposobu jego wysypu na środki transportu, względem koparki podsiębiernej. Dodatkowo można wpływać na realizację tych procesów poprzez zastosowanie nadmienionego wyżej osprzętu. Zwiększa to wydajność i skraca czas cyklu dzięki połączeniu pojemności i kształtu łyżki, jak z ładowarki kołowej oraz wykorzystaniu mechanizmu obrotu. Tym samym możliwy jest potokowy sposób podjazdu środków transportu pod koparkę i załadunek urobku z bocznym wysypem, bez konieczności podjazdu maszyny ładującej pod środek transportu. Koparki

hydrauliczne nadsiębierne wykazują dużą zdolność urabiania poprzez skrawanie na całej drodze odspajania calizny skalnej [2, 3, 7]. Ponadto niektóre koparki nadsiębierne, mają możliwość rozbijania brył nadwymiarowych stalową kulą, zrzucaną przez operatora z pewnej wysokości (niezależnie od zainstalowanego osprzętu). Poza realizacją procesu załadunku koparki te mogą spełniać inne funkcje, takie jak selektywne podgarnianie większych brył urobku i ich rozdrabnianie, a także wyrównywanie spągu, bez konieczności czasochłonnej zmiany osprzętu, zastępując tym samym dodatkową pracę młota hydraulicznego i spycharki. Natomiast, niedopuszczalne jest rozdrabnianie brył nadwymiarowych łyżką (!) koparki nad- czy – podsiebiernej, co nierzadko ma miejsce w praktyce eksploatacyjnej kopalń. Przyczynia się to do przyspieszonego zużycia układu hydrauliki siłowej oraz przede wszystkim samego wysięgnika. W przypadku koparek jednonaczyniowych podsiebiernych należy stosować młoty hydrauliczne mocowane przy pomocy szybkozłącza.



Rys. 5. Boczny załadunek wozidła technologicznego przez hydrauliczną koparkę nadsiębierną łyżką o zamknięciu kłapowym w kopalni odkrywkowej surowców skalnych  
Fig. 5. Lateral loading of the off-highway dump track by hydraulic mining shovels

Jak wynika z badań prowadzonych także przez inne ośrodki naukowe, w tym analiz z użyciem logiki rozmytej, w konfiguracji układu ładująco-transportowego w przypadku dużych wozideł technologicznych najlepiej sprawdza się zestawienie ich z koparką nadsiębierną, nieznacznie gorzej wypada ładowarka kołowa (rys. 6.). Natomiast system ładująco-transportujący oparty na koparce jednonaczyniowej,

wozidłach technologicznych oraz przenośniku taśmowym z koszem zasypowym jest niecelowy ekonomicznie (inwestycyjnie, eksploatacyjnie oraz technologicznie) [1, 4, 5]. Niecelowym także, wydaje się ładowanie wozideł koparkami podsiebiernymi, z uwagi na konieczność usypania przyzmy kosztem czasu realizacji procesu załadunku, bądź koniecznej współpracy z dodatkową maszyną – łyżkową ładowarką kołową lub spycharką.

W celu osiągnięcia maksymalnych wydajności w procesie załadunku, niezależnie czy prowadzonym przy zastosowaniu ładowarek kołowych czy koparek jednonaczyniowych należy mieć na uwadze właściwe relacje między pojemnością łyżki maszyny ładującej a pojemnością skrzyni ładunkowej środka odstawczego, bądź otworu zasypowego mobilnego agregatu przerobczego. Określa to tzw. współczynnik dopasowania  $W_d$

$$W_d = \frac{V_s}{V_u} \quad (1)$$

gdzie:

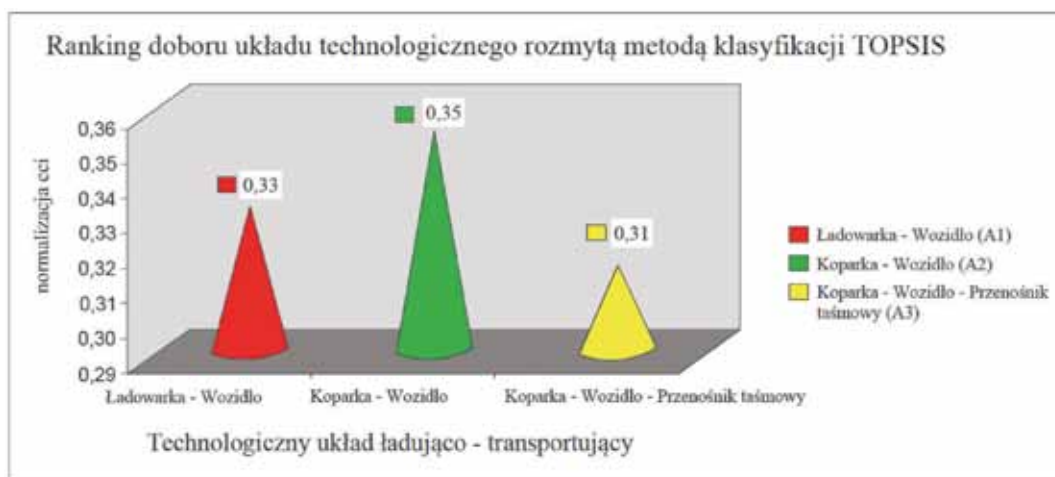
$V_s$  – pojemność (ładowność) skrzyni ładunkowej środka transportu

$V_u$  – pojemność (ładowność) łyżki maszyny ładującej z uwzględnieniem gęstości rozluźnianego urobku [2÷3].

Współczynnik  $W_d$  nie powinien być mniejszy od 3 (generuje to wysokie obciążenia dynamiczne przenoszone na nadwozia i podwozia wozideł technologicznych) oraz nie większy od 8 (co z kolei wydłuża czas cyklu ładunkowego, generuje ryzyko wystąpienia zjawiska *kolejki* oraz generalnie – zaburza płynność i ciągłość procesu transportu). Obecnie przyjmuje się, iż najbardziej korzystny przedział powinien zawierać się między wartościami 3 a 5 [2, 3, 4, 6].

## 5. Podsumowanie

Kryteria oceny i doboru maszyn ładujących powinny zawierać wszystkie istotne parametry eksploatacyjne, bowiem decydują o nich warunki geologiczno-górnictwa, technologiczne oraz konstrukcyjne. Ponadto przy wyborze maszyny ładującej należy kierować się nie tylko kryteriami złożowymi, ale także użytkowaniem maszyny zgodnie z jej przeznaczeniem projektowym, tj. doborem do zakładanej technologii wybierania przy zachowaniu warunków eksploatacji zapewniających wysoką niezawodność, wyrażaną możliwie bezawaryjnym czasem zdadności. Bardzo istotny jest również zakładany okres urabiania złoża i dopasowanie go do okresu



Rys. 6. Diagram analizy doboru układu technologicznego w kopalni odkrywkowej [1]  
Fig. 6. Fuzzy TOPSIS ranking diagram of loading – haulage system [1]

użytkowania maszyny ładującej i środków odstawy, wyrażonej wydajnością odniesioną do czasookresów pracy. Ponadto, należy mieć na uwadze inne, dodatkowe funkcje jakie może spełniać maszyna ładująca, a także jej możliwości techniczno-ruchowe. Kolejnym z ważnych czynników eksploatacyjnych jest sposób realizacji procesu załadunku środków transportu i ich wzajemne właściwe dopasowanie. Aplikacja maszyny ładującej powinna być poprzedzona wnikliwą analizą techniczno – ekonomiczną do zindywidualizowanych warunków i okresów eksploatacji, najlepiej przez zespół ekspercki.

### Literatura

1. *Bazzazi A. A., Osanloo M., Karimi B.*: Optimal open pit mining equipment selection using fuzzy multiple attribute decision making approach, Archives of Mining Sciences vol. 54 (2009), no 2, s.301-320, 2009.
2. *Bęben A.*: Maszyny i urządzenia do wybranych technologii urabiania surowców skalnych, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1998.
3. *Bęben A.*: Maszyny i urządzenia do wydobywania kopalin pospolitych bez użycia materiałów wybuchowych. AGH, Uczelniane Wydawnictwa Naukowe – Dydaktyczne, Kraków 2008
4. *Czaplicki J. M.*: *Modelowanie procesu eksploatacji systemu koparki – wywrotki*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1740, Gliwice 2006.
5. *Czaplicki J. M.*: Shovel-Truck Systems. Modelling analysis and calculation, CRC Press, Londyn 2009.
6. *Kozioł W., Uberman R.*: Technologia i organizacja transportu w górnictwie odkrywkowym Wydawnictwa AGH, Kraków 1994.
7. *Pieczonka K.*: Inżynieria maszyn roboczych. Część I Podstawy urabiania, jazdy podnoszenia i obrotu, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009.

---

---

## Przeгляд Górnicy

Podtrzymuje i ponawia swój apel z czerwca 2005 roku  
o opracowanie i nadsyłanie do Redakcji

## PORTRETÓW POLSKICH KOPALŃ

Utrwalajmy i przekazujmy „*tym, którzy przyjdą po nas*” możliwie pełną wiedzę o kopalniach, które funkcjonowały lub funkcjonują w polskim górnictwie węgla kamiennego i brunatnego, rud metali, górnictwa skalnego i innych kopalin.

Przypominajmy ich wkład w gospodarczy i społeczny rozwój kraju.