

Pojazdy technologiczne stosowane w transporcie w górnictwie odkrywkowym

Heavy duty trucks applied for transport in surface mining



*Dr inż. Przemysław Bodziony**



*Mgr inż. Mateusz Sikora**



*Dr inż. Maciej Zajączkowski**



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

Treść: Jednym z najczęściej stosowanych technologicznych układów wydobywczych w górnictwie odkrywkowym jest układ cykliczny, tj. współpraca koparki jednoznaczyniowej z pojazdami technologicznymi. Podstawowy podział pojazdów stosowanych w górnictwie wynika z różnicy w ich budowie i dzieli na grupy wozideł sztywnoramowych oraz przegubowych. W artykule omówiono różnice konstrukcyjne, warunki eksploatacji, a także ich wady i zalety.

Abstract: One of the most popular mining technology system in surface mining is the cyclic system i.e. cooperation between single-bucket excavator and dump trucks. The general division of dump trucks comes from their construction differences; they are divided into haul trucks and articulated trucks (ADT). This paper presents construction differences, exploitation conditions and advantages and disadvantages of each truck.

Słowa kluczowe:

górnictwo odkrywkowe, pojazdy technologiczne, transport materiałów, wozidla sztywnoramowe, wozidla przegubowe

Key words:

surface mining, mining trucks, material handling, haul trucks, articulated trucks

*) AGH w Krakowie

1. Wprowadzenie

Pojazdy samowładowcze przeznaczone do pracy w trudnych warunkach eksploatacyjnych kopalń odkrywkowych stanowią grupę środków transportu o wąsko specjalizowanej budowie zarówno elementów podwozia, jak i nadwozia, koniecznych do zapewnienia dużej ładowności. Ze względu na wspomnianą specyfikę nazywane są wozidlami lub pojazdami technologicznymi.

2. Główne kryteria podziału pojazdów technologicznych stosowanych w górnictwie odkrywkowym

2.1. Budowa nadwozia i podwozia

Każdy pojazd samowładowczy składa się ze standaryzowanego nadwozia i podwozia. W skład nadwozia wchodzi: zespół napędowy, kabina kierowcy i skrzynia ładunkowa wraz z mechanizmem służącym do rozładowania (podnoszenia) skrzyni. Podwozia pojazdów dobiera się odpowiednio do rodzaju podłoża i dopuszczalnych nacisków. Ze względu na dopuszczalne naciski wyróżnia się podwozia dostosowane do pracy:

- *na twardym podłożu* – praktycznie naciski nie są ograniczone ze względu na podłożę, lecz decyduje wytrzymałość opon, przy uwzględnieniu możliwości najechania na odłamki skalne,
- *na średnio twardym podłożu* - ze względu na ograniczone naciski na podłożę; zazwyczaj dopuszcza się obciążenie osi w granicach 180÷200 kN,
- *na ulepszonym miękkim podłożu* – ze względu na dopuszczalne naciski przyjmuje się obciążenie osi nie większe niż 100 kN,
- *na terenie grząskim o małej wytrzymałości* – ze względu na małe dopuszczalne naciski przyjmuje się obciążenie osi nie większe niż 50 kN [4-6].

Pojazdy przeznaczone do pracy w kopalniach odkrywkowych budowane są najczęściej jako dwuosiowe, na podwoziach specjalnych, których głównym elementem jest spawana, jednocześnie, sztywna rama podłużnicowa o przekroju skrzynkowym, stąd też pochodzi ich nazwa – wozidla sztywnoramowe (rys.1b).

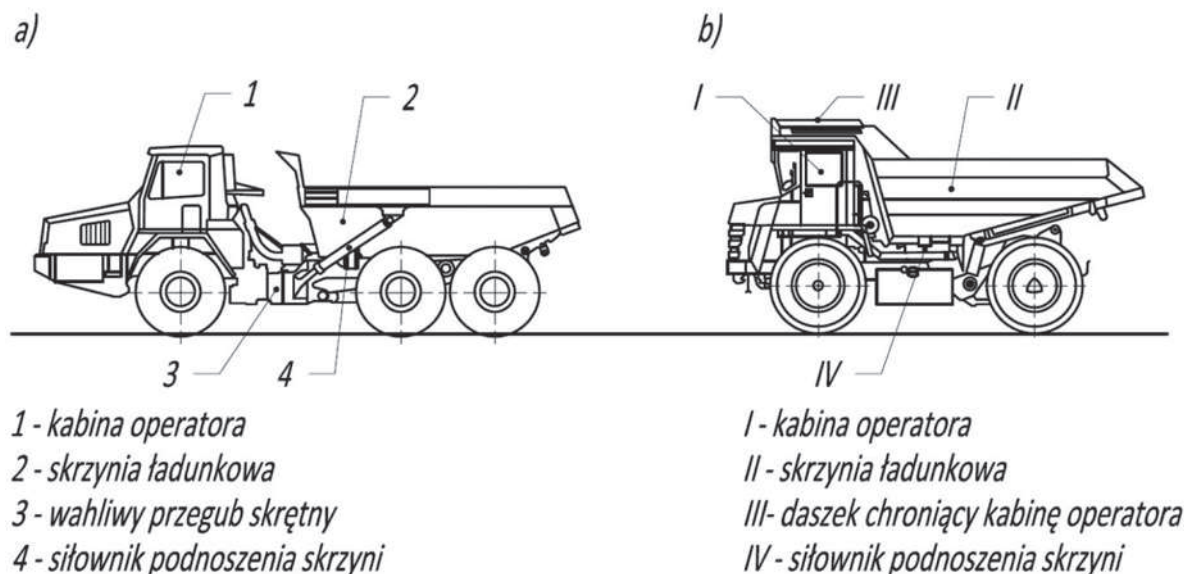
W tym typie wozidel wszystkie zespoły podwozia i nadwozia są osadzone na wspólnej ramie, a skręt kół uzyskuje się przez wychylenie ich w stosunku do przedniej osi podwozia, przez wspomagany pneumatycznie układ kierowniczy. Napęd zaś przenoszony jest wyłącznie na oś tylną, często multiplikowany dodatkowymi przekładniami planetarnymi w piastach kół. Budowa i elementy podwozia zależą przede wszystkim od konstrukcji ramy.

Stosowane są również pojazdy, składające się z jednoosiowego ciągnika, osadzonego na ramie podłużnicowej, o przekroju prostokątnym, sprzęgniętego (najczęściej) z dwuosiową ramą przyczepy, poprzez specjalny układ przegubowy, łączniki reakcyjne oraz układ hydrauliki siłowej. Są to tak zwane wozidla technologiczne przegubowe (rys. 1a). Kabina operatora, silnik oraz główne części zespołu napędowego są umieszczone na przedniej ramie, natomiast skrzynia ładunkowa – na tylnej. Napęd przenoszony jest na wszystkie, najczęściej trzy, osie pojazdu z możliwością blokowania mechanizmów różnicowych i multiplikowania momentu obrotowego dodatkowymi przekładniami. W wozidlach przegubowych nie ma klasycznego układu kierowniczego, a manewrowanie możliwe jest dzięki zastosowaniu specjalnego układu siłowników hydraulicznych, pozwalających na odchylenie ciągnika względem przyczepy. Obie ramy poza połączeniem przegubowym, sprzęgnięte są siłownikami hydraulicznymi pozwalającymi wychylać względem siebie, umożliwiając tym samym wykonanie skrętu. Dzięki takiemu rozwiązaniu uzyskuje się wyjątkowo dużą zwrotność pojazdu (małe promienie skrętu, dobre wpisywanie się w drogę technologiczną).

Wozidla przegubowe użytkowane są przede wszystkim przy wielkoskalowych pracach inżynierskich ziemnych oraz budowlanych, skąd zostały zaadaptowane jako pojazdy kopalniane.

Na rysunku 1 przedstawiono konstrukcję wozidla przegubowego oraz sztywnoramowego.

Gabaryty wozidel przekraczają normy ustalone przepisami ruchu drogowego i pojazdy te nie mogą być użytkowane na drogach publicznych wszystkich klas w normalnym ruchu drogowym. Wozidla charakteryzują się dużymi masami całkowitymi (masą własną i ładownością), co przekłada się na wysokie obciążenie osi często przekraczające 100 kN/oś, niedopuszczalne na drogach publicznych. Nie jest także wskazana eksploatacja tego typu pojazdów na drogach zle



Rys. 1. Widok wozidel technologicznych: a) przegubowe; b) sztywnoramowe (klasyczne)

Fig. 1. Type of heavy duty trucks: a) articulated dump truck; b) haul truck

przygotowanych, ze względu na zwiększone opory ruchu przy jednoczesnym obciążeniu pojazdu, powodujące znaczny wzrost zużycia paliwa i jednocześnie ograniczenie zdolności ruchowej pojazdu, co w efekcie prowadzi do nieuzasadnionego wzrostu kosztów eksploatacji. Dodatkowo, może to powodować wyłączenia z systemu użytkowania z uwagi na uszkodzenia zmęczeniowe ram nośnych, zużycie ogumienia i innych elementów pojazdów. Aby temu przeciwdziałać, dla wozideł należy przygotować drogi technologiczne łączące miejsca eksploatacji kopaliny ze zwałowiskami i innymi miejscami rozładunku. Są to najczęściej drogi utwardzone i wyrównane, umożliwiające sprawny ruch pojazdów; a w szczególnych przypadkach, w celu zmniejszenia zużycia paliwa, buduje się drogi asfaltowe o odpowiedniej nośności. Pozwala to na zwiększenie prędkości wozideł przy jednoczesnym obniżeniu zużycia paliwa oraz lepszą organizację pracy systemu transportowego [1, 2, 6].

2.2. Ładowność pojazdów technologicznych

Klasyfikacja ogólna wozideł technologicznych dotyczy przede wszystkim podziału ze względu na ładowność, gdyż ta wielkość determinuje pozostałe parametry pojazdu, takie jak jego gabaryty, zainstalowaną moc i inne. Klasyfikację wozideł stosowanych w górnictwie odkrywkowym ze względu na ich ładowność podano w tablicy 1 [4].

Tablica 1. Klasyfikacja wozideł technologicznych ze względu na ich ładowność [4]

Table 1. Classification of haul trucks based on payload

Typ pojazdu	Ładowność nominalna, Mg
małe	do 30
średnie I	30 do 50
średnie II	50 do 80
duże I	80 do 110
duże II	110 do 170
bardzo duże	170 do 230
giganty	powyżej 230

Obecnie, pojazdy samowładowcze przeznaczone dla górnictwa odkrywkowego charakteryzują się ładownościami

od około 25 do 400 Mg; aczkolwiek w warunkach polskich najczęściej stosowane są wozidla o ładowności ok. 40 Mg. Spowodowane jest to wielkością kopalń, skalą wydobycia oraz rodzajem kopaliny użytecznej – głównie surowców skalnych [1, 2, 5]. Przy czym zaznaczyć należy, iż wozidla przegubowe mają ładowność nie przekraczającą 50 Mg oraz są wyposażone wyłącznie w klasyczny napęd spalinowy.

Wozidla bardzo duże oraz giganty stosowane są w dużych kopalniach odkrywkowych rud polimetalicznych, łupków ropośnych oraz węgla brunatnego i kamiennego, położonych głównie w Afryce, Australii oraz Ameryce Północnej i Południowej [3].

2.3. Źródło napędu

Do napędu samochodów technologicznych stosuje się wyłącznie silniki spalinowe wysokoprężne doładowane, występujące nierzadko w wersji dwusprężarkowej, zwiększającej moc silnika wolnossącego o około 20÷40 % oraz obniżające zużycie paliwa o 10÷20% [5, 6, 7]. W pojazdach sztywnoramowych o ładowności do około 100 Mg, napęd przekazywany jest od silnika spalinowego do kół jezdnych przez klasyczny układ napędowy, tj. poprzez układ sprzęgający, synchronizujący reduktor kompleksowy, hydrauliczny przemiennik momentu obrotowego (konwerter) oraz skrzynię przekładniową. Nierzadko pojazdy te cechuje bądź automatyczna bądź zautomatyzowana przekładnia. Natomiast w pojazdach technologicznych większych ładowności (powyżej 100 Mg), poza układem napędowym klasycznym, stosuje się napęd spalinowo-elektryczny, z wykorzystaniem wysokoprężnych silników tłokowych sprzęgniętych z elektrycznymi zespołami prądotwórczymi. Koła jezdne są napędzane indywidualnymi silnikami elektrycznymi zabudowanymi w piastach kół, zasilanymi przez generator, którego źródłem napędu jest silnik wysokoprężny pojazdu (rys. 2). W takim rozwiązaniu konstrukcyjnym, uzwojenie oraz przekładnia redukcyjna planetarna są równocześnie częścią osi, natomiast komutatory i szczotki umieszczone są w piastach kół, przez co uzyskano możliwość łatwego dostępu do silnika i hamulców, a ich obsługa może być przeprowadzona podczas postoju samochodu w wyrobisku. Równocześnie silniki elektryczne w kołach mogą pracować jako prądnice, odzyskując część zużytej energii, a także wspomagając działanie układu ha-



Rys. 2. Wozidło sztywnoramowe wyposażone w napęd spalinowo-elektryczny [9]

Fig. 2. Haul truck with diesel-electric drive system

mulców zasadniczych [4, 5, 6]. Dodatkowo pojazdy te mogą być zasilane bezpośrednio z przystosowanej w tym celu sieci energetycznej kopalni, poprzez zastosowanie przewodów jezdnych i układu pantografów (rys. 3). Pozwala to na wybór tańszego sposobu zasilania pojazdu, w zależności od fluktuacji cen paliw ropopochodnych oraz energii elektrycznej.

Niezbędną moc silnika pojazdu, niezależnie od rozwiązania, przyjmuje się wychodząc z założenia, że na 1 Mg masy całkowitej pojazdu powinno przypadać co najmniej 10 kW. Maksymalna prędkość jazdy wozideł z obciążeniem nie powinna przekraczać 40 km/h [5, 6, 7].

2.4. Cechy konstrukcyjne umożliwiające eksploatację w kopalniach odkrywkowych

Pojazdy technologiczne stosowane w kopalniach odkrywkowych, ze względu na specyfikę eksploatacji nie mają wielu elementów stanowiących wyposażenia samochodów przeznaczonych do ruchu na drogach publicznych. Kabina kierowcy w tych pojazdach jest najczęściej jednomiejscowa, dodatkowo zabezpieczona przed uszkodzeniem spadającymi odłamkami skalnymi specjalnym dachem ochronnym, będącym przedłużeniem przedniej ściany skrzyni ładunkowej [5, 6, 7], nazywanym systemem FOPS. Skrzynie ładunkowe do transportu urobku skalnego wozideł, wykonuje się bez tylnej ściany z podłogą odchyloną w tylnej części do góry o kąt $10^{\circ} \div 30^{\circ}$, z profilem podłogi zapobiegającym wypadaniu dużych brył skalnych w czasie jazdy. Dodatkowo zdarzają się wersje ze specjalną okładziną (wykonaną z wysokoodpornych tworzyw sztucznych lub stali trudnościeralnej) ułatwiającą zsypanywanie się ładunku oraz zapobiegającą nadmiernemu zużyciu skrzyni w przypadku transportu kopaliny wysoce abrazyjnych.

Skrzynie są przystosowane tylko do przechyłu w jedną stronę, tj. do tyłu pojazdu (tylnozsypowe). Przechylenie na bok groziłoby utratą stateczności i tym samym zagrażałoby bezpieczeństwu pracy. Do unoszenia skrzyni ładunkowych stosuje się siłowniki hydrauliczne jedno- lub dwucylindrowe. Kąty przechyłu skrzyni przyjmuje się nie mniejsze niż 55° . Pojemność skrzyni wyznacza się wychodząc z dopuszczalnej nośności pojazdu oraz gęstości usypowej kopaliny, której średnie wartości wynoszą od 1,6 do 2,5 Mg/m³.

Transport technologiczny kopaliny wozidłami czasami odbywa się bez względu na rodzaj pogody, przez cały rok.

W okresie zimowym może występować przymarzanie urobku do skrzyni ładunkowej, w związku z czym normą jest rozwiązanie wykorzystujące ciepło gazów spalinowych do ogrzewania ścian i dna skrzyni. Polega ono na zastosowaniu systemu szczelnych kanałów w pomoście skrzyni i ścianach bocznych, przez które przepływają spaliny i uchodzą do otoczenia przez otwory wykonane w tylnym obrzeżu ścian bocznych [5, 6].

Ogumienie do samochodów technologicznych jest specjalnie przystosowane do trudnych warunków użytkowania. Stosuje się kilka rodzajów opon, w zależności od rodzaju transportowanej kopaliny użytecznej i nawierzchni drogi technologicznej. Powinny one zapewniać przede wszystkim odpowiednie przeniesienie momentu obrotowego poprzez sprzężenie ogumienia z nawierzchnią, a także wytrzymałość na zużycie mechaniczne, przecięcia i przebicia. Bardzo istotnym pozostaje aspekt temperatury pracy ogumienia, nie może być ona zbyt wysoka – przyspieszając zużycie opon. Dlatego producenci stosują specjalne rowkowanie bieżnika umożliwiające obniżenie temperatury opon przepływającym przez nie powietrzem. W ekstremalnych przypadkach stosowana jest specjalna ciecz o dużej pojemności cieplnej włączana do wnętrza opon [5, 6, 7].

3. Wady i zalety wozideł sztywnoramowych i przegubowych

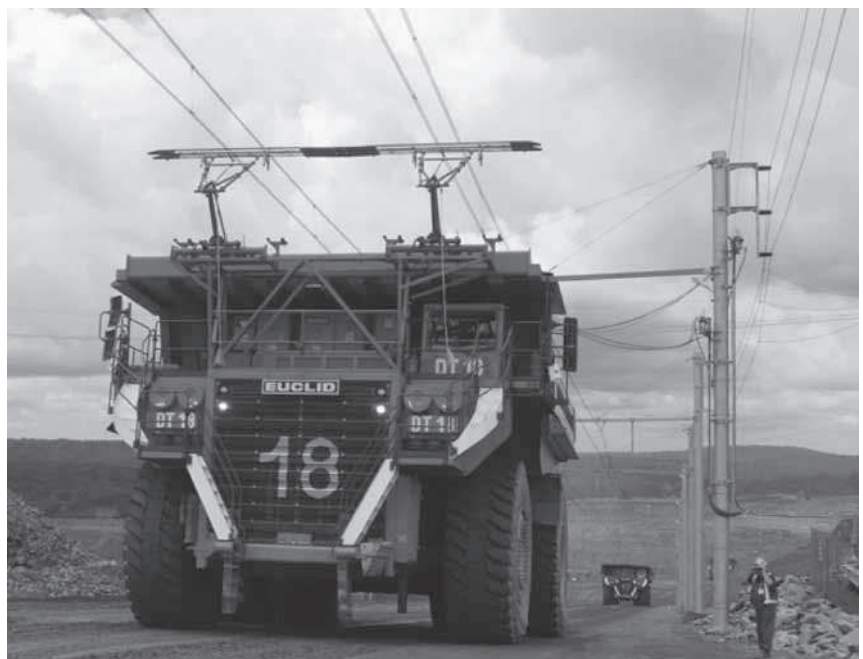
Zestawienie obydwu typów środków transportu samochodowego stosowanych w kopalniach odkrywkowych pozwala na ich porównanie:

Zaletami wozideł sztywnoramowych są:

- wytrzymała, stosunkowo nieskomplikowana konstrukcja,
- duża ładowność,
- możliwość transportu bardzo dużych ładunków (brył wielkogabarytowych),
- wysoki współczynnik mocy do masy, mający znaczenie przy drogach ze stromymi podjazdami (duże różnice poziomów),
- duże prędkości transportowe,
- relatywnie mniejsze nakłady inwestycyjne w porównaniu do wozideł przegubowych o podobnej ładowności,
- bardziej symetryczny kształt skrzyni, co ułatwia załadunek

Rys. 3. Wozidło sztywnoramowe wyposażone w napęd elektryczny zasilany z układu pantografów [9]

Fig. 3. Electric drive haul truck powered by trolley pantograph system



Do istotnych wad należą:

- ograniczona mobilność w trudnym terenie (samochody sztywnoramowe pozbawione są napędu na wszystkie koła),
- konieczność utrzymywania dobrej jakości dróg transportowych oraz specjalne jej przygotowanie na warunki jesienno-zimowe,
- narażenie konstrukcji na duże obciążenia i siły skrętne przy jeździe w trudnym terenie,
- wysokie zużycie paliwa oraz specjalistycznego ogumienia,
- słaba widoczność z kabiny kierowcy, duża martwa strefa widzenia

Zaletami wozideł przegubowych są:

- możliwość poruszania się w trudnym terenie, bez konieczności przygotowywania specjalnych dróg technologicznych i utrzymywania ich w dobrym stanie,
- doskonała mobilność w punktach załadunku i wyładunku,
- doskonała mobilność i łatwość manewrowania w trudnym terenie,
- małe naciski jednostkowe na grunt, nie powodujące erozji nawierzchni oraz powstawania kolein,
- napęd na wszystkie koła, zapewniający możliwość poruszania się w trudnym terenie oraz pokonywania dużych różnic poziomów (nachyleń dróg transportowych),
- dobra widoczność kierowcy z uwagi na centralne umieszczenia kabiny operatora.

Do wad należy zaliczyć:

- duże koszty inwestycyjne,
- duże koszty eksploatacyjne związane ze zużyciem paliwa, wymianą ogumienia, części zamiennych, przeglądami i naprawami,
- przegubową konstrukcją, źle znośną warunki eksploatacji na drogach utwardzonych (koncentracja naprężeń ram),
- małą ładowność,
- degradacja utwardzonej nawierzchni manewrowaniem przy za- i wyładunku,

Przedstawione wady i zalety stosowanych w kopalniach odkrywkowych pojazdów technologicznych umożliwiają wskazanie zakresu stosowania tych pojazdów. Wozidła sztywnoramowe dedykowane są dla transportu brył skalnych, z dużą wydajnością na dobrych drogach technologicznych. Natomiast wozidła przegubowe powinny być wykorzystywane do transportu materiałów sypkich, w trudnych warunkach drogowych (np. na zwałowiskach).

4. Podsumowanie

Transport technologiczny oparty na samochodach samowyladowczych, mimo iż wydaje się niecelowy ze względu na wysoką uszkodzalność oraz szybkie zużycie podzespołów pojazdów, a przede wszystkim ogumienia, nadal będzie przez najbliższe lata dominującym, a często jedynym możliwym rodzajem transportu technologicznego w kopalniach odkrywkowych. Układy IPCC (*In-Pit Crushing and Conveying*) oparte na sprzęgnięciu kruszarki pierwszego stopnia (mobilnej bądź stacjonarnej) z układem przenośników taśmowych, cechujących się wysoką dyspozycyjnością oraz niskimi kosztami użytkowania nie są wystarczająco uniwersalne oraz elastyczne w porównaniu do transportu wozidłami. W przypadku wielu punktów odstawy o zmiennej lokalizacji nie jest możliwa sprawna aplikacja systemu przenośników taśmowych. Dodatkowo, nie bez znaczenia pozostaje zagadnienie rezerwy zdolności transportowej – niemożliwej do uzyskania w przypadku układów IPCC.

Praca zrealizowana w ramach badań statutowych nr 11.11.100.597

Literatura:

1. *Bodziony P., Furmanik K.*: O doborze samochodów technologicznych w kopalniach surowców skalnych, *Transport Przemysłowy* 1(31)/2008, s. 70–75.
2. *Czaplicki J. M.*: Modelowanie procesu eksploatacji systemu koparki – wywrotki, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej* nr 1740, Gliwice 2006.
3. *Czaplicki J., Kulczycka A.*: Największy system mechanizacyjny górnictwa odkrywkowego, *Przeгляд Górnicy* 12/2014.
4. *komatsu.com*
5. *Kozioł W., Uberman R.*: *Technologia i organizacja transportu w górnictwie odkrywkowym* Wydawnictwa AGH, Kraków 1994.
6. *Lubczyński M., Mazurek S.*: *Samochody samowyladowcze*, WKiŁ, Warszawa 1978.
7. *Marijew P. Ł., Kuleszow A. A., Jegorow A. N., Zyranow I. W.*: *Samochodowy transport kopalniany*, Wydawnictwo Nauka, Sankt Petersburg 2004.
8. *oemoffhighway.com*
9. *siemens.com*