

WYBRANE ASPEKTY DOBORU KOPAREK WIELONACZYNIOWYCH STOSOWANYCH W GÓRNICTWIE ODKRYWKOWYM

SELECTED ASPECTS OF THE SELECTION OF BUCKET AND LADDER EXCAVATORS USED IN OPENCAST MINING

Adam Bajcar - Poltegor – Instytut IGO, Wrocław

W artykule przedstawiono wybrane aspekty doboru koparek wielonaczyniowych w kopalniach odkrywkowych. Opisano podstawowe typy koparek wielonaczyniowych oraz przedstawiono ogólną, logiczną procedurę doboru koparek opracowaną w wyniku dotychczasowych doświadczeń płynących z obecnej eksploatacji maszyn podstawowych.

Słowa kluczowe: koparki wielonaczyniowe, górnictwo odkrywkowe, dobór maszyn podstawowych

Selected aspects of selection of bucket ladder excavators in open cast mines have been presented in the article. The article describes basic types of bucket and ladder excavators and presents a general, logical procedure for selection of excavators developed as a result of previous experiences with exploitation of basic machinery.

Key words: bucket ladder excavators, opencast mining, selection of primary machinery

Wprowadzenie

Rozwój koparek wielonaczyniowych jest nierozdzielnie związany z rozwojem górnictwa odkrywkowego węgla brunatnego. Ich rozwój szczególnie widoczny jest w zwiększeniu wydajności, zasięgów pracy oraz w możliwościach urabiania coraz trudniej urabialnych skał.

Koparki wielonaczyniowe można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- koparki łańcuchowe,
- koparki kołowe

Górnictwo węgla brunatnego na świecie związane jest obydwoma grupami koparek. Obie te grupy są zróżnicowane pod względem potencjału wydobywczego oraz warunkami ich stosowania. Należy zauważyć, że w czasie rozwoju maszyn podstawowych, niektóre obrane kierunki nie są obecnie używane np. podwozie kroczące, jednak zebrane w czasie użytkowania takich maszyn doświadczenia doprowadziły do aktualnie budowanych i użytkowanych typów koparek.

Ogólne zasady doboru maszyn

Wyczerpywanie się złóż węgla brunatnego powoduje powstawanie wymuszeń technologicznych w kształtowaniu frontów roboczych. Komplikuje to dobór maszyn podstawowych i ich późniejszą eksploatację.

Ograniczenia oraz wymuszenia w kształtowaniu frontów roboczych dla obu grup koparek wynikają z:

- zadań produkcyjnych

- właściwości fizykomechanicznych kopaliny i skał nadkładowych
- geometrii złoża i warstw nadkładowych
- warunków meteorologicznych.

Dobór odpowiedniej koparki w przypadku występowania nietypowych wymagań, a także ze względu na wyczerpywanie złóż będzie coraz bardziej skomplikowany. Powinien on zostać dokonany na podstawie wielowariantowej analizy podstawowych technologicznych i konstrukcyjnych parametrów koparki a przyjęte rozwiązania powinny być kompromisem pomiędzy tymi uwarunkowaniami [[1]]. Koparka spełniająca największą liczbę cech umożliwiających spełnienie planowanego zadania jest wyborem najbardziej zbliżonym do optymalnego.

Do najważniejszych technologicznych warunków zapewnienia prawidłowego przebiegu podstawowego procesu eksploatacji złóż należy zaliczyć:

- utrzymanie skoordynowanych postępów zbrocza eksploatacyjnego, z zachowaniem niezbędnych wyprzedzeń pomiędzy kolejnymi piętrami,
- utrzymanie zadanego ukształtowania zbrocza, tj. głównie kątów generalnych zbrocza i szerokości poszczególnych poziomów roboczych.

Zbrocze eksploatacyjne zazwyczaj podzielone jest na kilka lub kilkanaście pięter eksploatacyjnych. Ich dokładna ilość zależy od wysokości zbrocza, która może zmieniać się w miarę postępu eksploatacji i zależy od głębokości zalegania spągu oraz aktualnych rzędnych powierzchni, mogących charakteryzować się dużą zmiennością.

Osobnym zagadnieniem jest dobór maszyn podstawowych

ze względów ekonomicznych. Najefektywniejszym pod tym względem będzie wybór takich maszyn, których liczba oraz łączny ciężar będą najmniejsze. Dla wstępnego porównania efektywności ekonomicznej koparek spełniających założone warunki można zastosować następujący wskaźnik porównawczy:

$$p_1 = \frac{Q}{Z \cdot q}$$

gdzie:

Z - pionowy zasięg urabiania [m]

q - wydajność efektywna [m³/h]

Q - ciężar koparki [Mg]

Jako przykład zmniejszenia kosztów inwestycyjnych można wymienić stosowanie koparek o skróconych wysięgnikach urabiających, czyli koparek semikomaktowych, gdzie koszty inwestycyjne są niższe niż w przypadku koparek z wysięgnikami o pełnej długości, natomiast koszty eksploatacyjne są wyższe z powodu mniejszej efektywności koparek semikomaktowych.

Innym sposobem porównywania koparek wielonaczyniowych jest współczynnik zaproponowany przez Gärtnera, który określa stosunek masy koparki przypadający na jednostkę wydajności i jednostkę długości poziomego zasięgu koparki. Wyrażony jest wzorem przedstawionym poniżej:

$$W = \frac{G}{Q_t(L_K + L_P)}$$

gdzie:

G - masa koparki [Mg],

Q_t - wydajność teoretyczna [m³/h],

L_K - zasięg układu urabiającego [m],

L_P - zasięg układu ładującego [m].

Kolejną kwestią związaną zarówno z kosztami jak i z możliwościami eksploatacyjnymi jest unifikacja maszyn podstawowych w kopalniach. Przykładem może być wybór maszyn w przypadku znacznej różnorodności gruntów pod względem fizyko-mechanicznym. Wprowadzenie do pracy na piętra, gdzie występują grunty lekko i średnio urabialne koparek dostosowanych do takich gruntów spowoduje zwiększenie koncentracji wydobywania na tych piętrach i znaczne obniżenie czasu nieefektywnej pracy z wysokimi zakresami niewykorzystanej mocy. Unifikacja maszyn z kolei pozwala na ujednolicenie zaplecza logistycznego obsługującego maszyny podstawowe, a tym samym na zmniejszenie kosztów [2].

Aktualnie doboru koparek dokonuje się z wykorzystaniem doświadczeń wynikających z eksploatacji tego typu maszyn pod kątem wyeliminowania negatywnych cech.

Przegląd koparek wielonaczyniowych

Koparki łańcuchowe

Obecnie w polskich kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego koparki łańcuchowe stosowane są przede wszystkim na podwoziu gąsienicowym. Wśród nich znajdują się koparki typów ERs 710, ERs 560 i Rs 400 o wydajnościach z przedziału 720 do 1680 m³/h. Największe koparki łańcuchowe Es 3750 o wydajności około 5700 m³/h są eksploatowane w kopalniach na terenie Niemiec. Należy zauważyć, że największe



Rys. 1 Koparka łańcuchowa Es 3750 [[8]]

Fig. 1. Bucket chain excavator Es 3750 [8]

koparki łańcuchowe wyposażone są w podwozie szynowe. W projektowaniu i budowie perspektywicznych kopalń należy zwrócić uwagę na następujące cechy charakteryzujące koparki łańcuchowe:

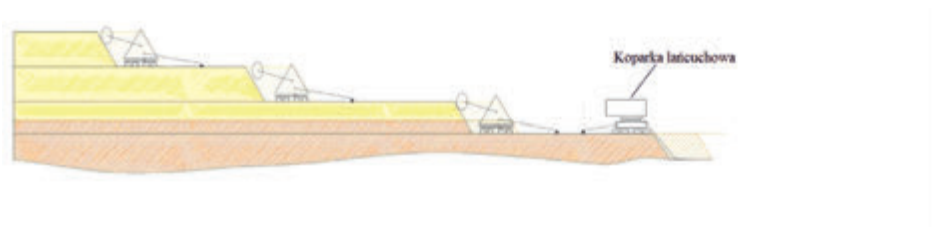
- duży zasięg urabiania podpoziomowego wraz z efektywnym procesem napełniania czerpaków urobkiem
- pogorszenie procesu napełniania czerpaków w przypadku pracy nadpoziomowej
- duża energochłonność procesu urabiania spowodowana siłami tarcia powstającymi między ogniwami łańcucha czerpakowego a prowadnicami w wysięgniku
- ograniczenie możliwości selektywnego urabiania kopaliny
- w przypadku stosowania koparek łańcuchowych na podwoziu szynowym wymagany jest prostoliniowy profil skarpy (eksploatacja ścianowa)

Koparki łańcuchowe w większości przypadków stosowane są jako koparki spągowe, które uzupełniają koparki kołowe. Zastosowanie koparek łańcuchowych jako koparek spągowych powoduje, że zarówno ciąg przenośników obsługujących je przenośników, jak i samych koparek w rejonie pracy znajdują się będą zawsze powyżej spągu złoża. Wynika z tego wniosek, że w razie zagrożenia wyrobiska przez zalanie wodą z opadów nawałnych poziom bezpieczny powinien się znajdować zawsze poniżej poziomu pracy (najniższego) koparki łańcuchowej. Zastosowanie koparki łańcuchowej jako koparki spągowej pozwala na wydobywanie znacznej części węgla zalegającego w obszarach deniwelacji spągowych węgla. Zastosowanie do urabiania partii spągowych złoża koparki kołowej spowodowałoby konieczność przebywania tej koparki oraz ciągu przenośników na spągu złoża. Wiązałoby się to z możliwością zalania zarówno poziomu roboczego (jazdy) koparki jak i zatopienia przenośnika odbierającego.

Koparki kołowe

Koparki kołowe w stosunku do koparek łańcuchowych charakteryzują się następującymi zaletami:

- Koparki kołowe pracują z większymi prędkościami skrawania i z większą liczbą wysypów. Spowodowane jest to oddzielnymi procesami odpajania i transportu. Skutkuje to większym teoretycznym strumieniem urobku.
- Koparki kołowe, przy założeniu takich samych strumieni urobku i pionowych zasięgów pracy, są lżejsze a tym samym tańsze od koparek łańcuchowych.
- Koparki kołowe pracują zazwyczaj systemem nadpoziomym, w związku z czym są w mniejszym stopniu zagrożone awariami geotechnicznymi niż koparki łańcuchowe pracujące podpoziomowo. Spowodowane jest to dodatkowym



Rys. 2 Typowy przekrój frontu roboczego dla koparek pracujących na najniższych poziomach, w tym koparki spągowej
Fig. 2. A typical cross-section of the working front for excavators working at the lowest levels, including floor excavator

obciążeniem skarpy ciężarem koparki łańcuchowej.

- Koparki kołowe o standardowych wysięgnikach są elastyczniejsze w przypadku pracy selektywnej niż koparki łańcuchowe.

Wśród koparek kołowych można wyróżnić następujące typy koparek:

- koparki tradycyjne,
- koparki semikompaktowe (tradycyjne ze skróconym wysięgnikiem urabiającym),
- koparki specjalne, które można podzielić na dwie grupy
 - a) koparki o zwiększonej mocy urabiania
 - b) koparki do pracy na większych pochyleniach poziomów roboczych.

Koparki tradycyjne i semikompaktowe

Koparki tradycyjne i semikompaktowe w chwili obecnej są ogólnie eksploatowane w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego.

Obecnie eksploatowane i proponowane do wprowadzenia w złożach perspektywicznych koparki kołowe można podzielić pod względem wydajności teoretycznej na następujące grupy:

- koparki o średniej wydajności: SchRs 1200B, SRs 1200, KWK 1500,
- koparki o wyższej klasie wydajności (od 4000÷8000 m³/h): SRs 1800, SRs 2000, KWK 3000,
- koparki o wysokiej klasie wydajności (od 9000÷12000 m³/h): SchRs 4600, SchRs 4000, KWK 4000,
- koparki o bardzo wysokiej klasie wydajności: SchRs 6600, SRs 8000.

Koparki o bardzo wysokiej klasie wydajności (tzw. dwustutysięczniki) stosowane są w na terenie Zagłębia Nadreńskiego.

Koparki semikompaktowe są zbudowane podobnie do koparek tradycyjnych z wyjątkiem skróconego wysięgnika urabiającego. Zmniejszenie długości wysięgnika może zmniejszyć ciężar koparki o około 35%, a tym samym znacznie zmniejszyć koszty inwestycyjne. Powoduje jednak ograniczenia w kształtowaniu frontu i eksploatacji selektywnej.



Rys. 3 Koparka SchRs 6600 w kopalni Garzweiler
Fig. 3. Excavator SchRs 6600 in Garzweiler mine

Koparki specjalne

Konieczność rozszerzania eksploatacji odkrywkowej na rejon i złoża zalegające w trudnych i bardzo trudnych warunkach geologiczno-górnictwowych spowodowała rozwój koparek specjalnych, które skutecznie mogą być eksploatowane w warunkach, w których koparki standardowe nie mogą być używane lub pracują z ograniczoną efektywnością, a tym samym nie spełniają ekonomicznego warunku ich stosowania. Warunki te szczególnie dotyczą właściwości urabianych skał oraz sposobu ich zalegania.

Koparki o zwiększonej mocy urabiania

Koparki kompaktowe charakteryzują się krótkimi wysięgnikami, które pozwalają na osiąganie wysokich sił kopania, środkiem ciężkości znajdującym się poniżej wysięgnika załadunkowego, dwugąsienicowym podwoziem oraz hydraulicznym zwodzeniem obu wysięgników. Pozwala to koparkom kompaktowym na urabianie skał, których eksploatacja przy wykorzystaniu koparek tradycyjnych związana była ze strzelaniem rozluźniającym.

Specyficzna budowa koparek kompaktowych pozwala na osiągnięcie lepszego stosunku ich ciężaru całkowitego do wydajności niż w przypadku koparek tradycyjnych. Przy założeniu

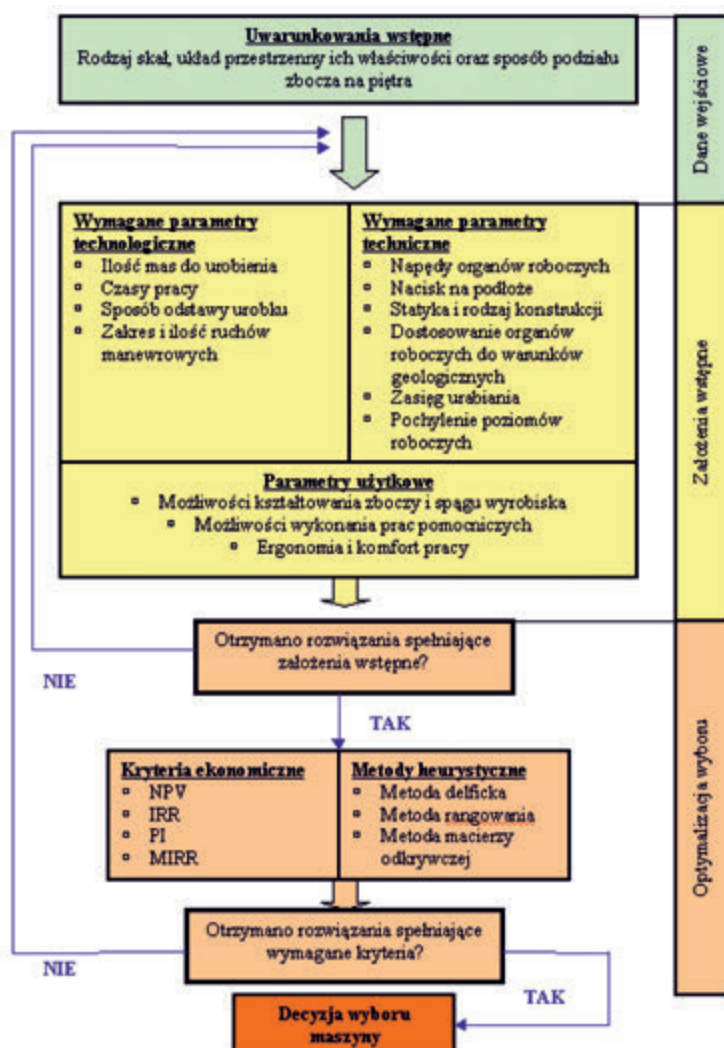
Tab. 1 Podstawowe dane wybranych koparek kołowych
Tab. 1. Basic data of selected bucket wheel excavators

Dane		SchRs-6600	SchRs-4000.50	SchRs-4000.37.5	SchRs-4600.50	SchRs-4600.30	SRs-2000	KWK-1500	SRs-1200	SchRs-900
Wydajność teoretyczna	m ³ /h	19,000	11,040	11,040	9,384	9,384	6,000	4,200	3,550	4,100
Ogólna moc zainstalowana na koparce	kW	16,560	8,665	7,952	8,410	6,336	4,155	3,150	2,030	2,850
Masa	Mg	12,840	6,933	4,154	7,235	4,741	2,940	2,460	1,508	2,107



Rys. 4 Kompaktowa koparka SRs(H) 1050.23/2.0 [7]

Fig. 4. Compact bucket wheel excavator SRs(H) 1050.23/2.0 [7]



Rys. 5 Ogólna procedura wyboru koparki

Fig. 5. The general procedure for selection of excavators

układu koparka kompaktowa-przenośnik samojezdny stosunek ten jest o około 40% korzystniejszy niż w przypadku koparek tradycyjnych [[6]].

Z wad koparek kompaktowych należy zwrócić uwagę na mniejszą efektywność (współczynnik wykorzystania wydajności) oraz mniejsze możliwości technologicznego wykorzystania koparek kompaktowych bez zastosowania dodatkowych przenośników samojezdnych w stosunku do koparek tradycyjnych. Wady te spowodowane są mniejszą długością wysięgnika urabiającego, a tym samym mniejszym zasięgiem urabiania. Ponadto największe koparki kompaktowe charakteryzują się wydajnością do 6500 m³/h więc w przypadku dużych kopalni o wysokiej koncentracji wydobywania koparki te nie znajdują zastosowania poza eksploatacją gruntów trudno urabialnych.

Koparki do pracy na większych pochyleniach poziomów roboczych

Eksploatacja złóż o nachylonych pokładach powoduje trudności spowodowane koniecznością zmian rzędnych poziomów roboczych i konieczności pracy selektywnej koparek ze względu na występowanie pięter nadkładowo-złożowych. Koparki tradycyjne i semikompaktowe mogą pracować w nachyleniach 1:33 lub 1:20. Stosując koparki, w których zastosowano mechanizmy poziomowania nadwozia możliwe jest urabianie złóż poziomami nachylonymi w stosunku 1:6,2. Należy jednak zauważyć, że powyższe rozwiązanie powoduje wzrost ciężaru maszyny, a tym samym wzrost kosztów inwestycyjnych oraz zwiększenie stopnia skomplikowania budowy koparki. Z tego powodu maszyny tego typu nie znalazły szerszego zastosowania.

Procedura doboru koparek

Procedura doboru koparek wielonaczyniowych zawiera cztery główne etapy (rys. 5):

- Dane wejściowe obejmujące parametry geologiczne warunkujące parametry techniczne maszyny takie jak np. siła urabiania, naciski na podłoże, gabaryty.
- Założenia wstępne określające wymagane parametry technologiczne pracy maszyny, techniczne i użytkowe.

- Optymalizacja wyboru polegająca na wyborze najlepszego wariantu konstrukcyjnego maszyny spełniającej założenia wstępne. Zastosowanie metod heurystycznych i analizy ekonomicznej pozwala na dobór optymalnych podzespołów maszyny do występujących warunków geologiczno-górnictwowych.
- Wybór maszyny określający wytyczne konstrukcyjne i eksploatacyjne.

Przedstawiona procedura jest procedurą autokorekcyjną, która pozwala na dobór parametrów maszyny dostosowany do istniejących warunków na etapie projektowania. Dzięki temu unika się kosztownych przeróbek dostosowawczych na etapie budowy prototypów (praktycznie każda nowa polska maszyna podstawowa jest prototypem).

Podsumowanie

Wybór koparek wielonaczyniowych do projektowanych kopalń lub nowych poziomów eksploatacyjnych jest zagadnieniem wysoce złożonym. W uproszczeniu można przyjąć, że wybór koparki uzależniony jest od:

- Rodzaju skał, ich rozkładu przestrzennego oraz właściwości
- Wymaganych kryteriów technologicznych i technicznych
- Kryteriów ekonomicznych

Ogólną, logiczną procedurę doboru koparek opracowaną w wyniku dotychczasowych prac przedstawiono na rysunku 5. Procedura ta umożliwia wypracowanie wskaźników decyzyjnych doboru koparek wielonaczyniowych.

Jest to zagadnienie wymagające podejmowania decyzji o złożonych uwarunkowaniach i zróżnicowanych, wielowymiarowych kryteriach. Eksploatacja węgla brunatnego na złożach coraz mniej atrakcyjnych pod względem górnictwem powoduje, że niezbędne jest wykorzystanie jak najdokładniejszego odwzorowania przebiegu procesów technologicznych, który możliwy jest do opisanie przy użyciu najnowszych technik informatycznych oraz mechatroniki, które opracowywane są między innymi w Instytucie Górnictwa Odkrywkowego Poltegor-Instytut. Przedstawiona procedura obejmująca wyżej wymienione aspekty jest dodatkowym narzędziem optymalizacji doboru maszyn podstawowych.

Literatura

- [1] Kołkiewicz W., *Problemy doboru modeli technologicznych wielonaczyniowych koparek kołowych w warunkach ograniczeń i wymuszeń geometrii frontu roboczego*, Wrocław 1997
- [2] Kołkiewicz W., *Oceny potencjału wydobywczego modeli wielonaczyniowych koparek kołowych w udostępnianiu i eksploatacji złóż węgla brunatnego*, Wrocław 2008
- [3] Kołkiewicz W., *Układy KTZ*, Wrocław 2008
- [4] Kozioł W., *Wyposażenie kopalni w maszyny podstawowe z uwzględnieniem dodatkowego bloku energetycznego*, Kraków 2010
- [5] Praca zbiorowa, *Górnictwo odkrywkowe*. Tom I. Katowice 1983
- [6] Kasztelewicz Z., *Analiza możliwości zastosowania koparek kompaktowych w polskich kopalniach węgla brunatnego*. Górnictwo i Geoinżynieria, Zeszyt 3/1, 2011
- [7] www.takraf.com
- [8] www.e-technik.fh-lausitz.de