

*Zbigniew Kasztelewicz**

ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA KOPAREK KOMPAKTOWYCH W POLSKICH KOPALNIACH WĘGLA BRUNATNEGO**

1. Wstęp

Koparki wielonaczyniowe używane są w górnictwie odkrywkowym od około 100 lat. Rozwój koparek wielonaczyniowych podążał generalnie w dwóch kierunkach: coraz większych koparek o budowie tradycyjnej, z masą przekraczającą 14 000 ton oraz od ponad 20 lat koparek o coraz bardziej zwartych konstrukcjach (koparek kompaktowych) [4].

Wszystkie koparki wielonaczyniowe projektowane są do specyficznych warunków geologiczno-górnictwowych panujących w danej kopalni. Koparki kompaktowe dzięki krótkim wysięgnikom oferują korzystne warunki do osiągnięcia wysokich sił kopania. Jest to powodem, dla którego są dziś wykorzystywane do wydobywania skał średnio twardych, co wcześniej dla koparek wielonaczyniowych typu tradycyjnego było nieosiągalne. Mogą również z powodzeniem być wykorzystywane do urabiania mało zwięzłego nadkładu, np. piasków. Uniwersalność zastosowań i elastyczność pracy to jedne z największych zalet tego typu maszyn. Oczywiście dzięki dużym siłom kopania są one w dalszym ciągu wykorzystywane w wielu kopalniach, gdzie urabiane są skały średniozwięzłe i zwięzłe, jak łupki, twarde iły czy miękkie wapienie.

2. Cechy koparek kompaktowych

Koparki kompaktowe dotychczas były stosowane do urabiania skarp o niewielkich wysokościach i gdy wymagane były małe i średnie wydajności, wynoszące od 500 m³/h do 5 000 m³/h. Ich masy wynosiły od 50 do 1 000 ton. Sytuacja ta zaczyna się jednak stopniowo zmieniać i coraz częściej pojawiają się koparki większe, takie jak PE100 firmy Sandvik,

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008–2011 jako projekt badawczy.

pracująca w kopalni Bükkabrany na Węgrzech. Koparka ta ma wydajność teoretyczną wynoszącą $6\,700\text{ m}^3/\text{h}$ i waży ponad $1\,700$ ton (samojezdny przenośnik odbierający to dodatkowe 660 ton) [1]. W warunkach kopalni węgierskiej koparka ta urabia skarpe nadkładową o wysokości około 20 m przy rocznym wykonie około 10 mln m^3 (rys. 1).



Rys. 1. Koparka kompaktowa PE100-1600/1,5 × 20 pracująca w kopalni węgla brunatnego na Węgrzech. Producent SANDVIK (fot. Kasztelewicz 2009)

W przeciwieństwie do koparek typu tradycyjnego koparki kompaktowe mają dwie gąsienice z podwoziem umieszczonym pomiędzy nimi. Środek ciężkości znajduje się poniżej wysięgnika załadunkowego. Dzięki swojej zwartej konstrukcji maszyny te są relatywnie lekkie

i tym samym bardziej ekonomiczne biorąc pod uwagę koszty i porównując je z koparkami mającymi długie wysięgniki i potrzebującymi ciężkiej przeciwwagi. Producenci sprzętu górniczego opracowali swoje typoszeregi koparek. Przykładowo można tu wymienić maszyny serii S i C firmy Krupp, czy typoszeręg VABE (PE) firmy Sandvik. Przyczyną rozwoju zastosowania koparek tego typu jest fakt, że ich użytkowanie przynosi wymierne efekty ekonomiczne i eksploatacyjne.

Do zalet koparek kompaktowych zaliczyć można [6]:

- mniejszy ciężar — o około 40–60% w porównaniu do koparek typu tradycyjnego z mostem odbierającym, przy zachowaniu porównywalnych parametrów technologicznych. Fakt ten wynika z charakterystycznych cech zewnętrznych koparek kompaktowych, takich jak:
 - podwozie dwugąsienicowe,
 - platforma przedłużona do tyłu wraz z zintegrowanym pomieszczeniem wyposażenia elektrycznego i przeciwwagi,
 - hydrauliczny mechanizm zwodzenia obu wysięgników: koła czepakowego i przenośnika załadowniczego,
 - relatywnie krótki wysięgnik koła czepakowego — stosunek długości wysięgnika do średnicy koła urabiającego wynosi dla tego rozwiązania $\frac{L}{D} \leq 2$ (gdzie dla koparek o budowie tradycyjnej oscyluje wokół 3–4);
- duża manewrowość — dwugąsienicowe podwozie o relatywnie mniejszym promieniu skrętu oraz zwarta budowa czyni koparkę kompaktową bardziej mobilną w porównaniu do koparek o budowie tradycyjnej z mostem podającym, posadowionym na ogół na podwoziach z trójkątnym układem gąsienicowym. Manewrowość dodatkowo zwiększa możliwość jazdy po większych pochyłościach 1:11–1:18, w porównaniu do 1:20–1:33 w koparkach o budowie tradycyjnej. Pozwala to na zmniejszenie długości pochylni zjazdowych na odkrywce, co znacznie ułatwia przejazd wewnątrz odkrywki przy pracy na różnych poziomach roboczych;
- duża odporność konstrukcji na obciążenia dynamiczne i duże siły urabiania — relatywnie krótki wysięgnik koła czepakowego czyni całą maszynę znacznie odporniejszą na obciążenia dynamiczne (drgania).

Wymieniając zalety koparek kompaktowych należy wspomnieć także o słabej stronie tego rozwiązania, niższym współczynniku wykorzystania wydajności koparki w porównaniu do koparek typu tradycyjnego (o dłuższym wysięgniku koła czepakowego i z mostem odbierającym podającym) [6]. Znacznie mniejsze są również możliwości technologiczne samych koparek bez dodatkowych przenośników podających, wynikające z zasięgu urabiania (mniejsza szerokość zabierek i wysokość pięt). Tą niedogodność można z powodzeniem ograniczyć poprzez zastosowanie dodatkowych przenośników samojezdnych współpracujących z koparką (rys. 2 i 3).



Rys. 2. Koparka kompaktowa PE100-1600/1,5 × 20 razem ze przenośnikiem samojezdnym pracująca w kopalni węgla brunatnego na Węgrzech. Producent SANDVIK (fot. Kasztelewicz 2009)



Rys. 3. Przenośnik samojezdny współpracujący z koparką kompaktową PE100-1600/1,5 × 20 pracująca w kopalni węgla brunatnego na Węgrzech. Producent SANDVIK (fot. Kasztelewicz 2009)

3. Porównanie koparek kompaktowych i tradycyjnych

Współczynnikiem wykorzystywanym do porównywania koparek wielonaczyniowych jest współczynnik Gärtnera (zwany również wskaźnikiem jakości) [3]. Jest stosunkiem ma-

sy (G) koparki do wydajności teoretycznej (Q_{teor}) i sumy promieni układu urabiającego (L_k) i ładującego (L_p).

$$W = \frac{G}{Q_{teor} (L_k + L_p)} \left[\frac{\text{ton}}{\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \text{m}} \right]$$

Określa on stosunek masy koparki przypadający na jednostkę wydajności i jednostkę długości poziomego zasięgu koparki. Istnieje wiele modyfikacji tego wskaźnika w zależności od preferencji ważności poszczególnych parametrów technologicznych w danej kopalni. Spotykany jest często ten wskaźnik w odniesieniu nie do poziomego a pionowego zasięgu urabiania koparki [2].

Przyjmuje on wtedy postać:

$$W = \frac{G}{Q_{teor} (H_g + |H_d|)} \left[\frac{\text{ton}}{\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \text{m}} \right]$$

gdzie:

H_g — maksymalna wysokość urabiania nadpoziomowego;

H_d — maksymalna głębokością urabiania podpoziomowego.

Należy jednak stwierdzić, że tak określony wskaźnik porównawczy koparek wielonaczyniowych nie jest idealnym i obiektywnym wyznacznikiem ich oceny. Nie uwzględnia on wielu ważnych czynników takich jak np. mocy koparki, siłę urabiania, nacisk na podłoże czy wydajność efektywną. Jego zastosowanie ma największy sens w przypadku porównywania koparek o podobnych parametrach technologicznych.

W przypadku porównania koparek typu tradycyjnego do koparek kompaktowych zdecydowano się zastosować prostszą formułę tego wskaźnika poprzez zastosowania dwóch osobnych wskaźników W_1 i W_2 .

Zastosowane wzory mają więc postać:

$$W_1 = \frac{G}{Q_{teor}} \left[\frac{\text{ton}}{\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} \right],$$

$$W_2 = \frac{N}{Q_{\text{teor}}} \left[\frac{\text{kW}}{\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} \right]$$

gdzie N określa całkowitą moc zainstalowaną na koparce.

Przedstawione wyżej wskaźniki są tylko punktem wyjścia do porównania różnych typów koparek. Można je rozbudowywać o kolejne parametry istotne z punktu widzenia uwarunkowań górniczych w danej kopalni.

W tabelach 1 i 2 przedstawiono podstawowe dane technologiczne koparek typu tradycyjnego pracujących w polskich i niemieckich kopalniach odkrywkowych, koparek kompaktowych produkcji Sandvik i Krupp oraz zaprojektowanych polskich koparek kompaktowych.

W tabeli 1 i 2 można zauważyć wyraźną tendencję, że w przypadku koparek typu tradycyjnego wraz ze wzrostem wydajności koparki rośnie jej masa, przy czym przyrost masy jest większy od przyrostu jej wydajności, co tłumaczy wzrost wskaźnika W_1 . Na masę koparki bezpośredni wpływ ma także długość jej wysięgnika, dlatego koparka o krótkim wysięgniku (SchRs 4000.37,5) osiągnęła najlepszy wskaźnik W_1 równy 0,38. Najgorszy wskaźnik W_1 równy 0,77 cechuje koparkę SchRs 4600.50. Mediana dla tych koparek wyniosła 0,51. Natomiast najlepszym wskaźnikiem W_2 równym 0,57 wykazała się koparka SRs 1200, a najgorszym jeszcze raz koparka SchRs 4600.50 (0,90). Mediana dla tych koparek wyniosła 0,69.

W przypadku koparek kompaktowych wskaźnik W_1 jest znacznie niższy i kształtuje się w przedziale od 0,14 do 0,24 (mediana 0,18). A więc jest on korzystniejszy średnio o około 65% od koparek typu tradycyjnego. Od tych wyników nie odstają także projektowane polskie koparki kompaktowe. Korzystniejszy jest także wskaźnik W_2 , który zawiera się w przedziale od 0,25 do 0,48 (mediana 0,37). Podobną wielkością wskaźnika W_1 charakteryzują się projektowane polskie koparki kompaktowe. W takim razie jest on korzystniejszy od koparek typu tradycyjnego średnio o około 45%.

Chcąc jednak uwzględnić nie tylko masę koparki, ale całego układu koparka kompaktowa-przenośnik samojezdny we wskaźnikach W_1 i W_2 uwzględniono masę i moc zainstalowaną na samojezdnym przenośniku odbierającym. W tym przypadku układ taki w dalszym ciągu charakteryzuje się korzystniejszym wskaźnikiem W_1 w porównaniu do koparek typu tradycyjnego i wynosi od 0,23 do 0,49 (mediana 0,31) co daje średnio 40% korzystniejszy stosunek masy do wydajności teoretycznej. Korzystniejszy dalej pozostaje także wskaźnik W_2 , który waha się w zakresie od 0,54 do 0,80 (mediana 0,60). W porównaniu do koparek typu tradycyjnego wskaźnik ten jest lepszy średnio o 13%.

TABELA 1

Podstawowe parametry koparek typu tradycyjnego pracujących w polskich i niemieckich kopalniach węgla brunatnego

Dane	Jednostka	SchRs 6600	SchRs 4600.50	SchRs 4600.30	SchRs 4000.50	SchRs 4000.37.5	KWK 4000.37.5	SRs 2000	KWK 1500	SRs 1200	KWK 910	SchRs 900
Wydajność teoretyczna	m ³ /h	19 000	9 384	9 384	11 040	11 040	12 000	6 000	4 200	3 550	3 600	4 100
Ogólna moc zainstalowana na koparce	kW	16 560	8 410	6 336	8 665	7 952	8000	4 155	3 150	2 030	2 650	2 850
Moc napędu koła urabiającego	kW	3 360	1 590	1 590	2 205	2 205	2 800	1 000	630	630	1 000	800
Masa	ton	12 840	7 235	4 741	6 933	4 154	6 400	2 940	2 460	1 508	2 107	2 107
Współczynnik W ₁ : masa/wydajność teoretyczna	$\frac{\text{ton}}{\frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$	0,68	0,77	0,51	0,63	0,38	0,53	0,49	0,59	0,42	0,45	0,51
Współczynnik W ₂ : moc zainstalowana/wydajność teoretyczna	$\frac{\text{kW}}{\frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$	0,87	0,9	0,68	0,78	0,72	0,67	0,69	0,75	0,57	0,58	0,7

[Opracowanie własne]

TABELA 2

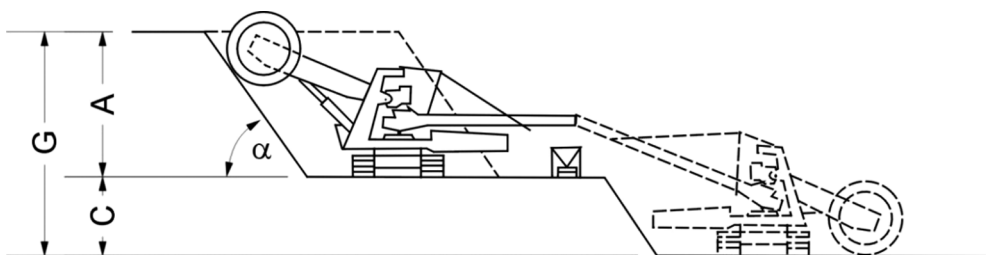
Podstawowe parametry koparek kompaktowych firm Sandvik i Krupp
oraz polskich koparek kompaktowych firmy SKW Zgorzelec oraz Kopex Famago

Dane	Jednostka	PE100-1600/1,5 × 20 (Sandvik)	PE100-1500/1,5 × 4,4 (Sandvik)	PE100-150/0,5 × 7,5 (Sandvik)	C 5000 (Krupp)	C 4000 (Krupp)	C 1250 (Krupp)	KWK-250 (SKW Zgorzelec)	KWK-106.20 (Kopex Famago)
Wydajność teoretyczna	m ³ /h	7 300	5 700	600	5 250	4 250	1 250	1 250	480
Ogólna moc zainstalowana na maszynie	kW	2 200	2 400	160	2 200	1 720	420	600	121
Moc napędu koła urabiającego	kW	1 100	750	55	1 100	840	210	200	b.d.
Masa	Mg	1 729	1 250	100	1 080	780	175	b.d.	76,4
Współczynnik W ₁ : masa/wydajność teoretyczna	$\frac{\text{ton}}{\frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$	0,24	0,22	0,17	0,21	0,18	0,14	b.d.	0,16
Współczynnik W ₂ : moc zainstalowana/ wydajność teoretyczna	$\frac{\text{kW}}{\frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$	0,30	0,42	0,27	0,42	0,40	0,34	0,48	0,25

[Opracowanie własne]

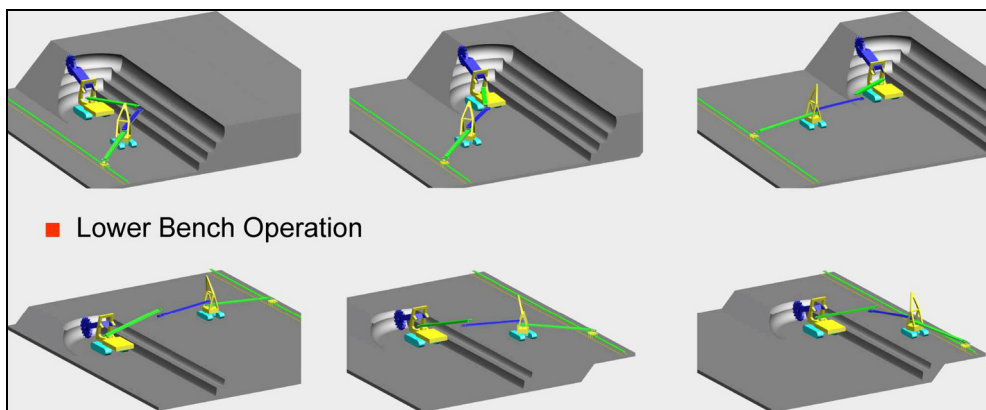
4. Możliwości technologiczne koparek kompaktowych

Koparka kompaktowa może pracować w układzie pojedynczym — podając urobek bezpośrednio na przenośnik poziomy (rys. 4) lub w układzie razem ze współpracującym z dodatkowym przenośnikiem samojezdnym. Poprzez ten dodatkowy przenośnik urobek podawany jest na przenośnik poziomy (rys. 5 i 6). Na rysunku 4 przedstawiono możliwość pracy koparki bez dodatkowego przenośnika. Koparka nadpoziomowo urabia skarpe o wysokości A , a podpoziomowo skarpe o wysokości C .



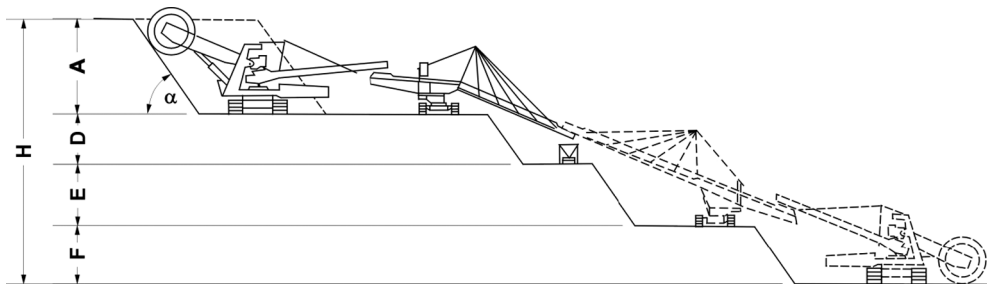
Rys. 4. Schemat możliwości pracy koparki kompaktowej bez samojezdnego przenośnika

Na rysunku 5 pokazano możliwości technologiczne koparki kompaktowej współpracującej dodatkowym z przenośnikiem samojezdnym w zakresie łącznej szerokości zabierki przy pracy nadpoziomowej i podpoziomowej. Ten układ pracy jest najczęściej stosowany w kopalniach.



Rys. 5. Schemat układu technologicznego koparki kompaktowej z samojezdnym przenośnikiem odbierającym przy pracy nadpoziomowej i podpoziomowej (Opracowanie SANDVIK)

Natomiast na rysunku 6 przedstawiono technologię pracy koparki kompaktowej z samojezdnym przenośnikiem odbierającym przy pracy nadpoziomowej i podpoziomowej z dodatkowymi podpiętami.



Rys. 6. Technologia pracy koparki kompaktowej z samojezdnym przenośnikiem odbierającym przy pracy nadpoziomowej i podpoziomowej z dodatkowymi podpiętami D i E

W tym przypadku koparka może urabiać nadsiębiernie skarpe o wysokości A i D powyżej poziomu przenośnika poziomego. Istnieje również możliwość pracy poniżej poziomu tego przenośnika. Wówczas koparka urabia skarpe o wysokości F , a następnie E . Łączna miąższość urabianej skarpy wynosi H . Wielkość poszczególnych wysokości urabiania zależy bezpośrednio od parametrów technologicznych poszczególnych typów koparek kompaktowych. W układzie urabiania koparki z samojezdnym przenośnikiem odbierającym łączna miąższość urabianej skarpy H jest stosunkowo duża i może sięgać powyżej 60 m.

5. Podsumowanie

Sprawdzające się od wielu lat układy technologiczne z zastosowaniem koparek kompaktowych stanowią cenne źródło informacji na temat zalet i wad tego typu rozwiązania. Dotychczasowy pogląd, że koparki kompaktowe powinny służyć tylko do urabiania skał średnio i trudno urabialnych jest niewłaściwy. W dobie ekonomicznej konkurencji i ciągłego minimalizowania kosztów eksploatacyjnych koparki kompaktowe mogą wykazać się bardziej korzystne niż koparki o budowie tradycyjnej.

Na podstawie przeprowadzonej analizy koparek tradycyjnych i koparek kompaktowych oraz doświadczeń związanych ze stosowaniem koparek kompaktowych w węgierskim górnictwie węgla brunatnego można stwierdzić, że tego typu koparki, których roczna zdolność wydobywcza przekracza 10 mln m³/rok mogą stanowić podstawowy park maszyn urabiających w kopalniach średniej wielkości (np. w Kopalni „Konin”, „Adamów” czy „Turów”). Natomiast w dużej kopalni (jak np. Kopalnia „Bełchatów”), z uwagi na niewystarczające zdolności wydobywcze, mogą stanowić jedynie uzupełnienie dużych koparek nadkładowych (tzw. „stutysięczników”). Natomiast dobrze nadawałyby się do urabiania pięter węglowych

wraz z koparkami łańcuchowymi, które umożliwiają dokładniejsze wybieranie kopaliny w deniwelacjach spagowych. Koparki kompaktowe winny być brane pod uwagę przy projektowaniu umaszynowania przyszłych kopalń węgla brunatnego.

LITERATURA

- [1] *Kasztelewicz Z., Sypniowski S., Zajączkowski M.*: Koparki kompaktowe. Część 1. Porównanie koparek w węgierskich odkrywkach węgla brunatnego. Węgiel Brunatny nr 1 (70). Bogatynia 2010
- [2] *Kasztelewicz Z., Sypniowski S., Zajączkowski M.*: Koparki kompaktowe. Część 2. Porównanie koparek kompaktowych i tradycyjnych. Węgiel Brunatny nr 2 (71). Bogatynia 2010
- [3] *Kolkiewicz W.*: Układy KTZ. Instytut Górnictwa Odkrywkowego Poltegor-Instytut. Wrocław 2008
- [4] *Schröder D.*: Economic and technologic aspects of bucket wheel excavator — and Crusher/Conveyor-Systems. http://www.mineplanning.com/P_D/Publications/Economic%20and%20technologic.pdf
- [5] *Trümper R.*: Mining with standard bucket wheel excavators. Bulk and solids handling Vol. 16 No. 3/1996
- [6] *Waroch M.*: Wybrane zagadnienia odtwarzania potencjału produkcyjnego w kopalniach węgla brunatnego — budowa i modernizacja maszyn podstawowych. Węgiel brunatny nr 1 (50), Bogatynia 2005