

*Zbigniew Kasztelewicz**, *Szymon Sypniowski**, *Maciej Zajączkowski**

ZASTOSOWANIE KOPAREK KOMPAKTOWYCH W KOPALNIACH ODKRYWKOWYCH**

1. Wstęp

Koparki wielonaczyniowe używane są w górnictwie odkrywkowym od ponad 100 lat. Generalnie używa się ich w systemach ciągłych pracy, w których pracują również przenośniki taśmowe i zwałowarki. Spotkać można także systemy z odstawą kolejową bądź samochodową (na wozidła technologiczne). Rozwój koparek wielonaczyniowych podążał generalnie w dwóch kierunkach: coraz większych koparek o budowie tradycyjnej, z masą przekraczającą 14 tys. 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 mają bardzo korzystny stosunek masy do wydajności, co wiąże się z niższymi nakładami inwestycyjnymi. Dzięki krótkim wysięgnikom oferują one 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.

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

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



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



Rys. 2. Samojezdny przenośnik odbierający PB-100 współpracujący z koparką kompaktową PE100-1600/1,5 × 20 pracująca w kopalni węgla brunatnego na Węgrzech. Producent SANDVIK [fot. Kasztelewicz 2009]



Rys. 3. Koparka kompaktowa S400 pracująca w kopalni rudy żelaza w Nowej Zelandii.
 Producent: O&K (obecnie Krupp)
 [fot. Trümper 1996]

2. Technologia pracy koparek kompaktowych

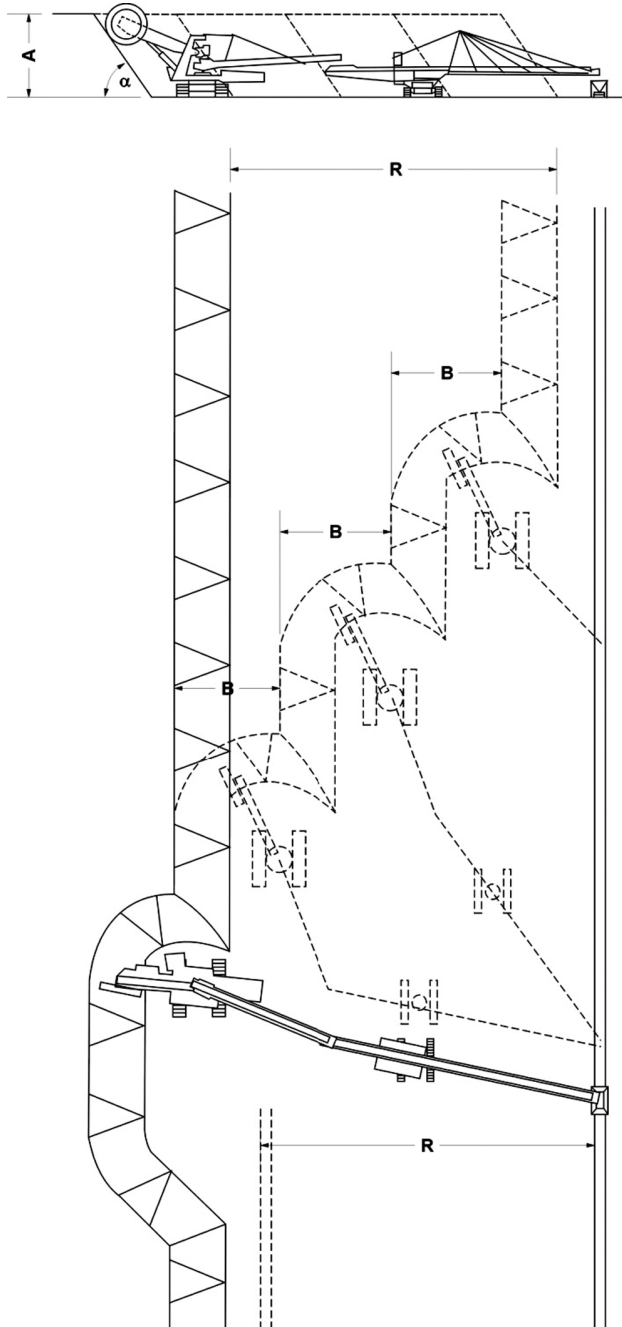
Koparki kompaktowe mogą pracować samodzielnie jednak najczęściej pracują w układzie z samojezdnym przenośnikiem odbierającym.

Na rysunku 4 przedstawiono natomiast technologię pracy koparki kompaktowej z samojezdnym przenośnikiem odbierającym po lewej stronie przenośnika poziomowego. Taki układ urabiania umożliwia pracę koparki z kilkoma (maks. 4) zabierkami o szerokości zabierki B bez przesuwania przenośnika poziomowego.

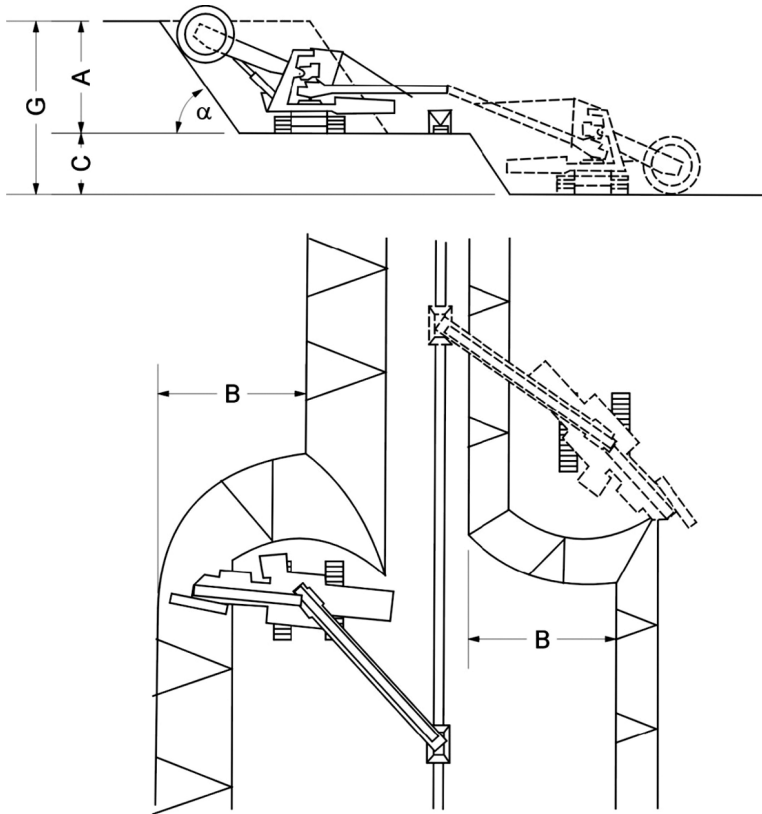
Szerokość urabiania R (po lewej stronie przenośnika poziomowego) bez przesuwania tego przenośnika w największych koparkach wynosi około 80 m. Rekompensuje to ograniczenia technologiczne tej koparki wynikające z jej krótkiego wysięgnika urabiającego.

Na rysunku 5 przedstawiono technologię pracy koparki kompaktowej bez samojezdnego przenośnika odbierającego przy urabianiu zabierki o szerokości B . Koparka nadsiębiernie może urabiać skarpe o wysokości A . Następnie istnieje możliwość przejścia do pracy po prawej stronie przenośnika poziomowego z urabianiem skarpy o wysokości C . W tym przypadku łączna miąższość urabianej skarpy wyniesie G .

Wielkość poszczególnych wysokości urabiania zależy bezpośrednio od parametrów technologicznych poszczególnych typów koparek kompaktowych oraz kąta nachylenia urabianych skarpy α .



Rys. 4. Schemat układu technologicznego koparki kompaktowej z samojezdnym przenośnikiem odbierającym przy pracy po lewej stronie przenośnika poziomego [5]

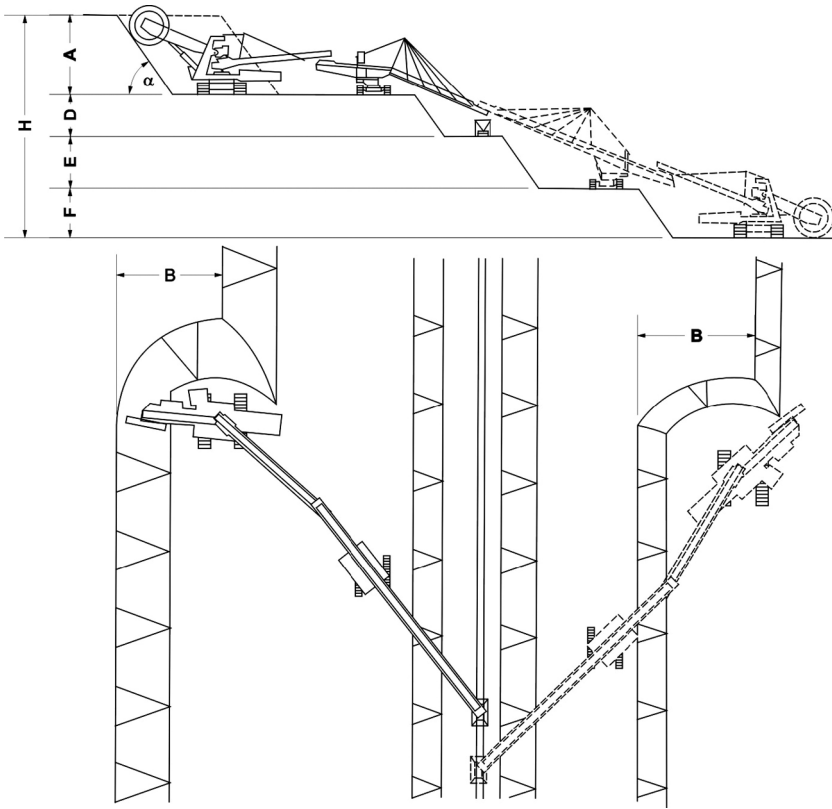


Rys. 5. Schemat technologii pracy koparki kompaktowej bez samojezdnego przenośnika odbierającego po lewej i prawej stronie przenośnika poziomego [5]

Na rysunku 6 przedstawiono technologię pracy koparki kompaktowej z samojezdnym przenośnikiem odbierającym. Ten układ pracy jest najczęściej stosowany w kopalniach.

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, po jego prawej stronie. 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. Możliwość pracy podpiętami (do 20 m) z powodu mniejszego zagrożenia obsuwami czyni pracę koparek kompaktowych bezpieczniejszą niż koparkami tradycyjnymi o wysokości skarpy 30–40 m. Umożliwia także lepszą efektywność pracy w przypadku pracy selektywnej.



Rys. 6. Technologia pracy koparki kompaktowej z samojezdnym przenośnikiem odbierającym po lewej i prawej stronie przenośnika poziomego [5]

3. Cechy technologiczne koparek kompaktowych

Koparki kompaktowe dotychczas były stosowane do urabiania skarp o niewielkich wysokościach i gdy wymagane były małe i średnie wydajności, wynoszące od 500 do 5000 m³/h. Ich masy wynosiły od 50 do 1000 ton.

Sytuacja ta zaczyna się jednak stopniowo zmieniać i coraz częściej pojawiają się koparki większe, takie jak PE100 firmy Sandvik, pracująca w kopalni Bükkabrány na Węgrzech. Koparka ta ma wydajność teoretyczną wynoszącą 6700 m³/h i waży ponad 1700 ton (samojezdny przenośnik odbierający dodatkowo 660 ton) [1].

W przeciwieństwie do koparek typu tradycyjnego koparki kompaktowe mają dwie gaśienice 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 kopar-

kami 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 typoszereg VABE (PE) firmy Sandvik.

W ostatnich latach coraz większe zastosowanie w światowym górnictwie odkrywkowym mają koparki kompaktowe.

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 czerpakowego i przenośnika załadowniczego,
 - relatywnie krótki wysięgnik koła czerpakowego — stosunek długości wysięgnika do średnicy koła urabiającego wynosi dla tego rozwiązania $L/D \leq 2$ (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 czerpakowego 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 czerpakowego i z mostem odbierającym podającym) [6]. Znacznie mniejsze są również możliwości technologiczne tych koparek, wynikające z zasięgu urabiania (mniejsza szerokość zabierek i wysokość pięter). Tą niedogodność można z powodzeniem ograniczyć poprzez zastosowanie przenośników samojezdnych.

4. Porównanie koparek kompaktowych i tradycyjnych

Współczynnikiem wykorzystywanym do porównywania koparek wielonaczyniowych jest współczynnik Gärtnera (zwany również wskaźnikiem jakości) [3]. Jest stosunkiem masy (G) koparki do wydajności teoretycznej (Q_{teor}) i sumy promieni układu urabiającego (L_k) i ładującego (L_p).

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

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:

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

gdzie H_g jest maksymalną wysokością urabiania nadpoziomego, a H_d maksymalną głębokością urabiania podpoziomego.

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 . Stosowane obecnie koparki kompaktowe prawie zawsze współpracują z przenośnikiem samojezdnym spełniającym funkcję ładowania urobku od koparki na przenośnik poziomy. Dzięki temu wyeliminowane są największe wady tych koparek związane z małymi gabarytami zabierki oraz stosunkowo niewielką wysokością urabiania. Dlatego też zrezygnowano z uwzględniania we wzorze zasięgów pracy czy to pionowej czy poziomej, natomiast masa samojezdnego przenośnika odbierającego została wliczona do całej masy układu koparki kompaktowej [2].

Zastosowane wzory mają więc postać:

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

i

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

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.

Poniżej w tabelach 1 i 2 przedstawiono podstawowe dane technologiczne koparek typu tradycyjnego pracujących w polskich i niemieckich kopalniach odkrywkowych, zaprojektowanych polskich koparek kompaktowych oraz koparek kompaktowych produkcji Sandvik i Krupp. Dane te zostały także zobrazowane na rysunkach 7 i 8.

Na rysunku 7 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 4000.35) 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

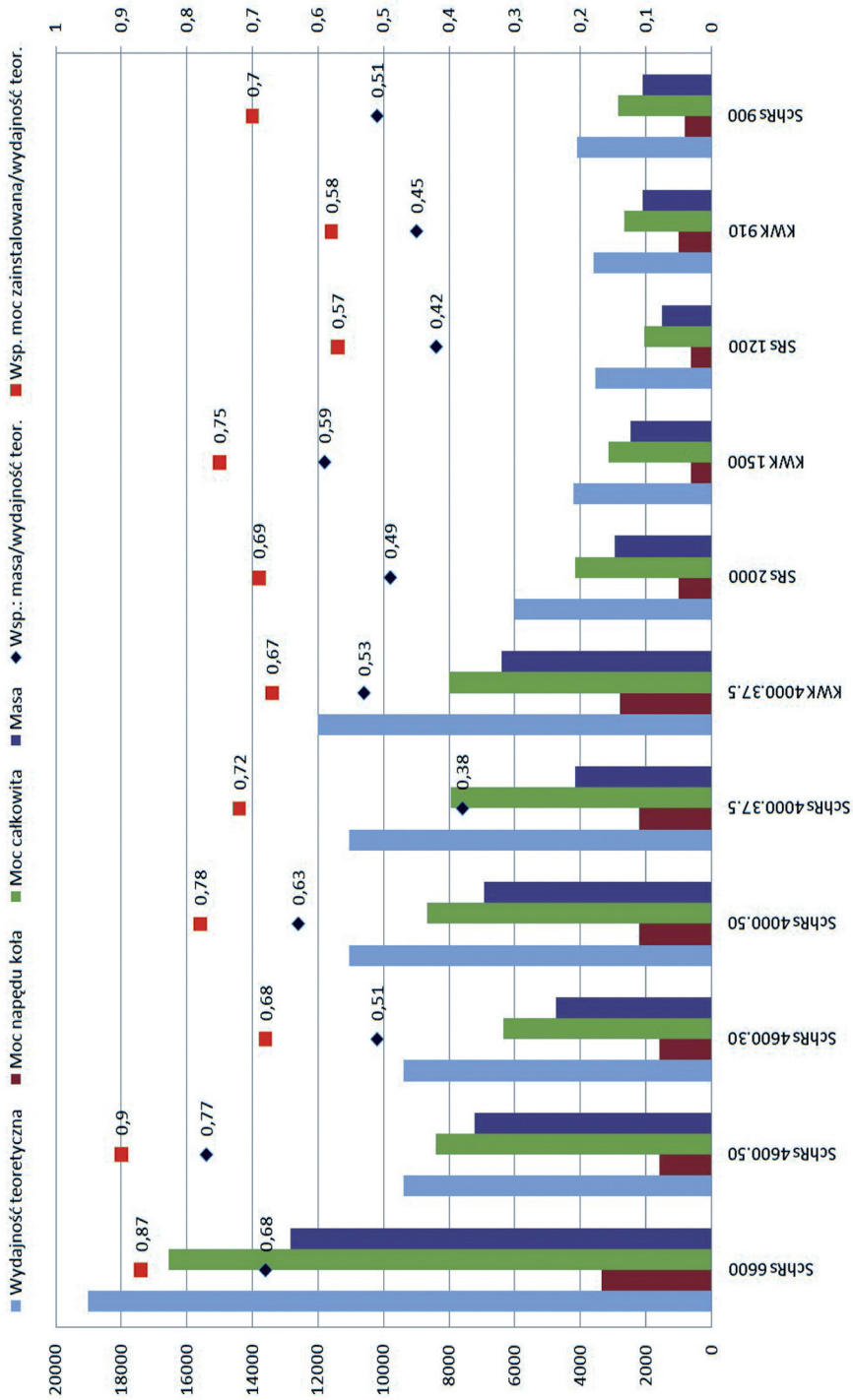
Dane	Jednostka	Schrs 6600	Schrs 4600,50	Schrs 4600,30	Schrs 4000,50	Schrs 4000,37,5	KWK 4000,37,5	SRS 2000	KWK 1500	SRS 1200	KWK 910	Schrs 900
Wydajność teoretyczna	[m ³ /h]	19 000	9 384	9 384	11 040	11 040	12 000	6 000	4 200	3 550	3 600	4 100
Ogólna moc zainstalowana na koparce	[kW]	16 560	8 410	6 336	8 665	7 952	8 000	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: masa/wydajność teoretyczną	$\left[\frac{\text{tona}}{\text{m}^3/\text{h}} \right]$	0,68	0,77	0,51	0,63	0,38	0,53	0,49	0,59	0,42	0,45	0,51
Współczynnik: moc zainstalowana/wydajność teoretyczna	$\left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^3/\text{h}} \right]$	0,87	0,9	0,68	0,78	0,72	0,67	0,69	0,75	0,57	0,58	0,7

[Opracowanie własne]

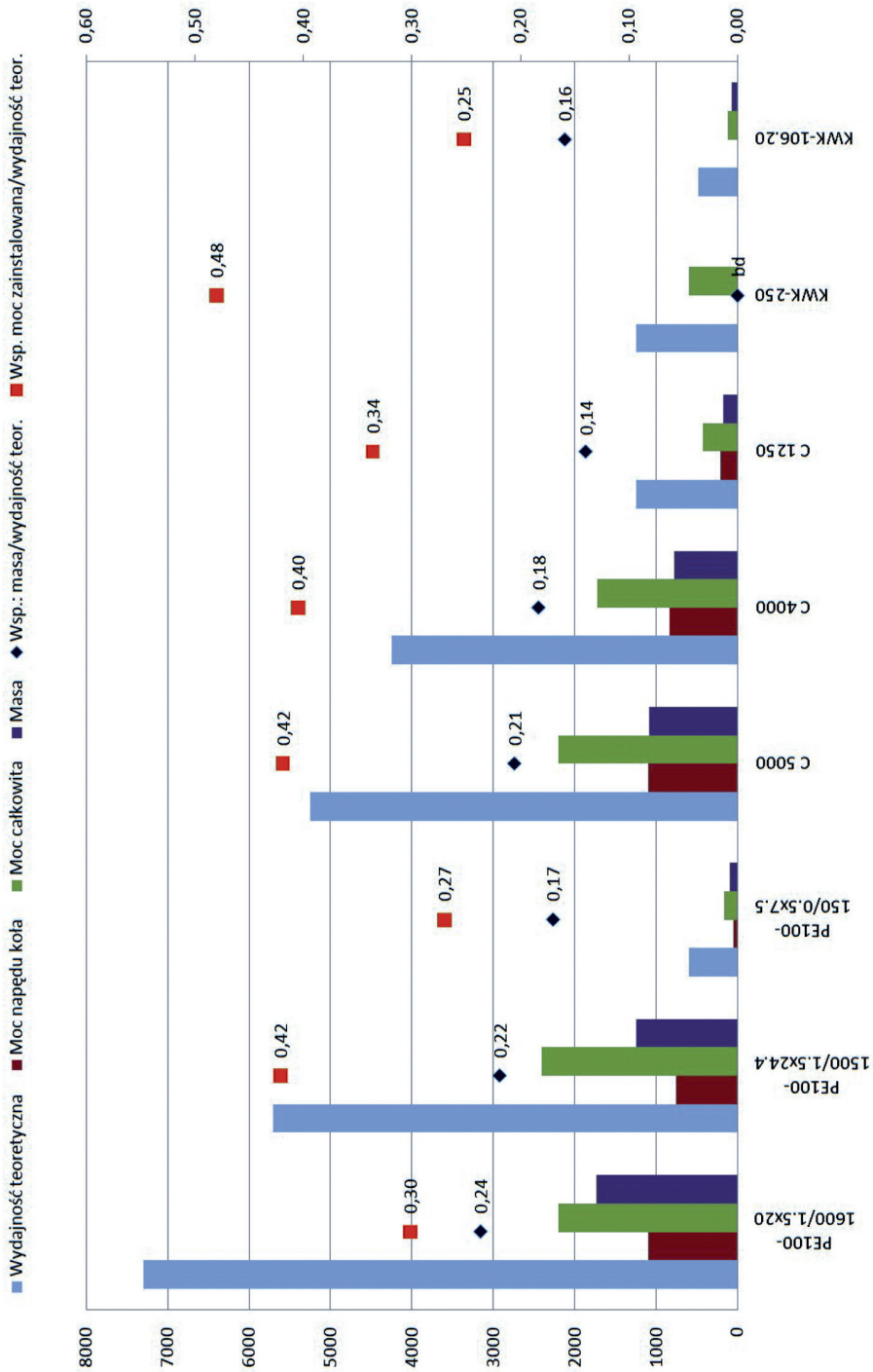
TABELA 2
Podstawowe parametry koparek kompaktowych firm Sandvik i Krupp
oraz polskich koparek kompaktowych firmy SKW Zgorzelec oraz Kopex Famago

Dane	Jednostka	PE100-1600/1,5x20 (Sandvik)	PE100-1500/1,5x24,4 (Sandvik)	PE100-1500/0,5x7,5 (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 koparce	[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	[ton]	1 729	1 250	100	1 080	780	175	b.d.	76,4
Współczynnik: masa/wydajność teoretyczną	$\left[\frac{\text{tona}}{\text{m}^3/\text{h}} \right]$	0,24	0,22	0,17	0,21	0,18	0,14	bd	0,16
Współczynnik: moc zainstalowana/wydajność teoretyczna	$\left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^3/\text{h}} \right]$	0,30	0,42	0,27	0,42	0,40	0,34	0,48	0,25

[Opracowanie własne]



Rys. 7. Podstawowe parametry koparek typu tradycyjnego pracujących w polskich i niemieckich kopalniach węgla brunatnego [Opracowanie własne]



Rys. 8. Podstawowe parametry koparek kompaktowych firm Sandvik i Krupp oraz projektowanych polskich koparek kompaktowych [Opracowanie własne]

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 skal średnio- i trudnourabialnych może być nie właściwy. W dobie ekonomicznej konkurencji i ciągłego minimalizowania kosztów eksploatacyjnych koparki kompaktowe mogą wykazać się bardziej korzystne niż koparki o budowie tradycyjnej.

Przedstawiona analiza tych koparek dokonana została na podstawie dwóch uproszczonych wskaźników określonych jako stosunek masy koparki do wydajności teoretycznej i całkowitej mocy zainstalowanej na maszynie do wydajności teoretycznej. Te kryteria są obecnie najważniejszymi parametrami decydującymi o ekonomicznej stronie wyboru danego typu koparki. Mniejsze zasięgi pracy koparek kompaktowych mogą być z powodzeniem wyeliminowane poprzez zastosowanie współpracujących z nimi samojezdnymi przenośników odbierających, dlatego też w zastosowanych wskaźnikach nie uwzględniono pionowych czy poziomych zasięgów pracy poszczególnych koparek. Dodatkowo coraz częściej koparki typu tradycyjnego nie pracują w warunkach dla nich optymalnych z uwagi na stosowanie pracy selektywnej czy ograniczenie wysokości piętra z uwagi na zagrożenie geotechniczne.

Uzyskane wielkości wskaźników W_1 i W_2 pokazują, że koparki kompaktowe posiadają korzystniejsze parametry od koparek typu tradycyjnego nawet w przypadku uwzględnienia konieczności zastosowania podawarki. W przypadku wskaźnika W_1 było to średnio o 40%, a wskaźnika W_2 średnio o 13%.

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 może dochodzić do 10 mln m³/rok mogą stanowić podstawowy park maszyn urabiających w kopalniach średniej wielkości (np. 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”). Dobrze nadawałyby się natomiast do urabiania pięter węglowych wraz z koparkami łańcuchowymi, które umożliwiają dokładne wybieranie kopaliny w deniwelacjach spągowych.

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
- [5] http://www.mineplanning.com/P_D/Publications/Economic%20and%20technologic.pdf
- [6] Trümper R.: Mining with standard bucket wheel excavators. Bulk and solids handling Vol. 16 No. 3/1996
- [7] Waroch M.: Wybrane zagadnienia odtwarzania potencjału produkcyjnego w kopalniach węgla brunatnego — budowa i modernizacja maszyn podstawowych. Węgiel brunatny nr 1 (50), Bogatynia 2005