

*Wiesław Koziol\**, *Lukasz Machniak\**

## WYBRANE TECHNOLOGIE WYDOBYCIA SKAŁ TRUDNO URABIALNYCH W KOPALNIACH WĘGLA BRUNATNEGO

---

### **1. Identyfikacja występowania utworów trudno urabialnych w złożach węgla brunatnego**

Większość złóż węgla brunatnego obecnie eksploatowanych, a także znaczna część złóż projektowanych do zagospodarowania, charakteryzuje się złożoną budową geologiczną, z występowaniem różnego typu zaburzeń między innymi związanych z formą złoża lub powodujących dużą niejednorodność podstawowych cech fizyko-mechanicznych skał nadkładowych oraz dużą zmienność jakościową węgla.

Występujące zaburzenia są związane głównie z procesami sedymentacji oraz tektoniką występującą w czasie, a także po utworzeniu złoża oraz z deformacjami wywołanymi naciskiem mas lądolodu (glacitektonika).

Dla złoża Bełchatów, które zalega w rowie tektonicznym o skomplikowanej formie, istotne jest zrzucenie węgla w najgłębsze jego odcinki (tzw. rów drugiego rzędu), tworząc najbardziej miękkie pokłady oraz rozwarstwienie pokładów w miejscu jego wypiętrzenia na krańcu zachodnim. Na tle zaburzeń tektonicznych w złożu Bełchatów występują również zaburzenia sedymentacyjne. Ich wpływ na warunki eksploatacji uwidacznia się zwłaszcza w kompleksie gruboklastycznym, który lokalnie w strefie południowej części rowu osiąga miąższość ponad 70 m. W kompleksie tym występują utwory trudno urabialne zbliżone do piaskowców oraz brekcje i bruki korytowe powstałe w strefach cementacji z nagromadzenia rumoszu, głównie otoczków krzemionkowych, marglistych i okruchów tego rodzaju skał.

Bardziej złożoną budową charakteryzuje się złożo węgla brunatnego Turów, które zalega w zapadlisku o skomplikowanej tektonice. Rozwijało się ono etapowo z licznymi uskokami i wypiętrzeniami spowodowanymi aktywnością wulkaniczną. Osady zwietrzeline wypełniające nieckę (zapadlisko) powstały w kilku cyklach sedymentacyjnych. W obrębie złoża „Turów” występują utwory trudno urabialne w postaci piasków i żwirów scementowanych lepiszczem ilastym, zlepieńców i konglomeratów żwirów scementowanych lepiszczem

---

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

żelazistym, ławic sferosyderytów oraz soczew rumoszu skalnego i pojedynczych buł i brył. Utwory te koncentrują się głównie w serii międzywęglowej, przy czym ich ilość zwiększa się z głębokością i postępując frontów eksploatacyjnych.

Również w złożach projektowanych do zagospodarowania w przyszłości: Legnica, Gubin-Mosty, Złoczew, będą występować utwory trudno urabialne i bardzo trudno urabialne, niektóre z tych skał mogą być wykorzystane jako kopaliny towarzyszące.

### **1.1. Ogólna charakterystyka utworów trudno urabialnych na przykładzie KWB „Belchatów”**

W kopani Belchatów skały trudno urabialne, ze względu na ich stratygraficzną przynależność, dzieli się na następujące grupy [3, 4]:

- skały mezozoiczne:
  - skały jurajskie (margle, wapienie);
  - skały kredowe (margle, opoki margliste, wapienie margliste, mułowce, ilowce i piaskowce);
- skały trzeciorzędowe (zsylikowane piaskowce, zlepieńce);
- skały czwartorzędowe (piaskowce żelaziste).

W związku z tym, że w wyrobisku górniczym Belchatów, największe ilości skał trudno urabialnych zlokalizowane są w konturze południowego zbocza stałego, w oparciu o podział profilu litostratygraficznego, w grupie skał mezozoicznych wydzielono charakterystyczne serie skalne:

- 1) Skały jurajskie:
  - XI<sub>10</sub> — wapienie drobnoziarniste, mikroporowate z gąbkami,
  - XI<sub>11</sub> — wapienie ziarniste i mikrytowe margliste,
  - XI<sub>12</sub> — wapienie onkoidowe,
  - XI<sub>13</sub> — margle i wapienie margliste.
- 2) Skały kredy górnej reprezentowane przez serie XI<sub>19</sub> — margle i mułowce.

Obecność tego typu skał w nadkładzie powoduje duże trudności mające wpływ na wydajność koparek, ich awaryjność oraz zużycie narzędzi urabiających i szybsze zmęczenie konstrukcji (szczególnie układu urabiającego) koparek. W efekcie czynniki te przyczyniają się do zmniejszenia wielkości wydobycia, wzrostu energochłonności procesu i wzrostu jednostkowych kosztów eksploatacji. W związku z powyższym dla potrzeb Jednolitej Bazy Danych Geologicznych (JBDG), w celu dokładniejszej identyfikacji utworów trudno urabialnych, w Dodatku do Kompleksowej Dokumentacji Geologicznej (KDG) w podłożu mezozoicznym wydzielono charakterystyczne serie geologiczno-inżynierskie XI<sub>5</sub>÷XI<sub>19</sub> obejmujące utwory kredy i jury. Następnie, w zależności od wytrzymałości skał na ściskanie w obrębki każdej serii, obliczono procentowy udział prób o danej wytrzymałości w poszczególnych klasach (tab. 1).

TABELA 1  
**Klasyfikacja skał serii kredowych i jurajskich według ISO 2000 (International Standard Organization) [4]**

Nazwa klasy	Wytrzymałość na ściskanie $R_C$ , MPa	Serie kredowe: ilość prób w klasie/procent		Serie jurajskie: ilość prób w klasie/procent		
		margle	mułowce	seria XI <sub>11</sub> (wapienie)	seria XI <sub>12</sub> (wapienie)	seria XI <sub>13</sub> (wapienie)
Wyjątkowo mocna	> 250	-	-	-	-	-
Bardzo mocna	100÷250	-	-	-	-	-
Mocna	50÷100	-	-	1/5,2	9/10,1	5/10
Średnio mocna	25÷50	9/37,5	6/31,6	9/47,4	21/23,6	12/24
Średnio słaba	5÷25	15/62,5	13/68,4	9/47,4	53/59,6	30/60
Słaba	1÷25	-	-	-	6/6,7	3/6
Bardzo słaba	< 1	-	-	-	-	-
Ilość prób/średnie $R_C$ (MPa)		24/25	19/17,7	19/28,9	89/23,6	50/23,9
Wskaźnik zwięzłości Protodiakonowa $f_p$		$f_p > 2,0$	$1,5 < f < 2,0$	$f > 2,0$	$f > 2,0$	$f > 2,0$

W oparciu o ww. materiał, serie skał jurajskich można zaliczyć do skał średnio słabych o wytrzymałości na ściskanie od 5 do 25 MPa (serie XI<sub>12</sub> i XI<sub>13</sub> — wapienie onkoidowe oraz margle i wapienie margliste). Dla tych serii wartości średnie wytrzymałości na ściskanie wynoszą odpowiednio (23,6 i 23,9 MPa). Jednakże dla obydwu serii zastanawiający jest wysoki udział prób skał mocnych o wytrzymałości na ściskanie od 50 do 100 MPa (10,0%) oraz średnio mocnych (25÷50 MPa) — ok. 24%. Maksymalne stwierdzone wartości wytrzymałości na ściskanie wynosiły 91,2 MPa zaś wartości minimalne 3,82 MPa. Ten duży rozrzut wartości wskazuje na zróżnicowanie jakościowe skał w obrębie serii. Można to tłumaczyć wpływem procesów tektonicznych bądź krasowych. Skały składające się na serie XI<sub>11</sub> (wapienie ziarniste i mikrytowe margliste) można zaliczyć do skał średnio mocnych (25 do 50 MPa), pomimo że równa ilość badanych prób z tej serii zawiera się w klasie skał średnio mocnych i średnio słabych. Średnia wytrzymałość na ściskanie skał wynosi 28,9 MPa zaś maksymalna — 87,6 MPa. Nasiąkliwość skał tej serii wynosi 15÷17%, a gęstość objętościowa 2,3 g/cm<sup>3</sup>. W obrębie kredy górnej wydzielono dwie serie: mułowce (XI<sub>18</sub>) i margle (XI<sub>19</sub>). Skały margliste są to skały średnio słabe i słabe w części wschodniej wyrobiska oraz średnio mocne i mocne w części zachodniej. Wartości wytrzymałości na ściskanie  $R_C$  wynoszą średnio 25,0 MPa dla margli i 17,7 MPa dla mułowców [2].

## **2. Metody klasyfikacji urabialności skał koparkami kołowymi ze szczególnym uwzględnieniem utworów trudno urabialnych**

W Polsce do oceny urabialności skał koparkami wielonaczyniowymi dotychczas stosowana była klasyfikacja oparta na liniowych lub powierzchniowych oporach skrawania [6]. W klasyfikacji tej, zaproponowanej przez „Poltegor” ok. 40 lat temu, do skał trudno urabialnych zaliczono już skały o nominalnych liniowych oporach kopania 40÷60 kN/m, np. gliny, ility, gliny zwałowe. Stosowane wówczas koparki wielonaczyniowe charakteryzowały się bowiem siłami urabiania ok. 50 kN/m (kg/cm). Obecnie stosuje się koparki (szczególnie koparki kołowe) o dużo większych siłach kopania, 70÷125 kN/m stąd też proponuje się przyjęcie zmodyfikowaną klasyfikację urabialności skał dostosowaną do aktualnych możliwości urabiania koparkami wielonaczyniowymi (tab. 2). W klasyfikacji tej do skał trudno urabialnych zaliczono skały o oporach powyżej 60 kN/m, a bardzo trudno urabialnych powyżej 90 kN/m. N. Wocka w proponowanej klasyfikacji zalicza nawet do trudno urabialnych skały o oporach 120÷150 kN/m, a do bardzo trudno urabialnych skały o oporach powyżej 150 kN/m.

Pomimo, że klasyfikacja skał oparta na oporach urabiania (skrawania) uważana jest jako podstawowa klasyfikacja urabialności skał (gruntów) koparkami wielonaczyniowymi, to ocena urabialności za pomocą tych wskaźników w praktyce jest jednak zadaniem bardzo trudnym. Opory urabiania zależą bowiem nie tylko od właściwości skał, ale również w dużym stopniu od konstrukcyjnych cech koparki użytej do pomiarów oraz parametrów jej pracy. Wyznaczenie jednostkowych oporów urabiania w drodze bezpośrednich, przemysłowo-

wych pomiarów koparką wielonaczyniową jest uciążliwe, a często nawet niemożliwe. Brak jest natomiast wystarczająco dokładnej metody do wyznaczania tych wielkości pomiarami pośrednimi lub laboratoryjnymi. Różnorodność struktury gruntów nie pozwala bowiem na przenoszenie uzyskanych wyników z jednego ośrodka na drugi. Ponadto, brak możliwości odtworzenia w warunkach laboratoryjnych naturalnej struktury skały, powoduje małą przydatność tych badań.

TABELA 2

**Zmodyfikowana klasyfikacja urabialności skał koparkami wielonaczyniowymi**

Skała		Nominalne opory urabiania skał	
Kategoria	Rodzaj	$k_L$ , kN/m	$k_F$ , kN/m <sup>2</sup>
I	Łatwo urabialne (piaski, żwiry, piaski gliniaste, gliny piaszczyste, humus)	0÷40	0÷360
II	Średnio urabialne (gliny, ropy, węgiel brunatny)	40÷60	360÷540
III	Trudno urabialne (gliny i ropy trudno urabialne, średnio twardy węgiel brunatny)	60÷90	540÷800
IV	Bardzo trudno urabialne (twarde gliny zwałowe i ropy, łupek ilasty, twardy węgiel brunatny)	90÷120	800÷1100
V	Skały średnio zwięzłe (margle, wapienie, kreda, gips, zlepieńce, piaskowce, bardzo twardy węgiel brunatny)	120÷150 i więcej	> 1100

W górnictwie znajduje zastosowanie szereg klasyfikacji skał opartych na cechach charakteryzujących ich podatność na przebieg danego procesu, np. wiercenia, urabiania materiałami wybuchowymi, itp. Przyjęte jednak podstawy tych klasyfikacji albo mają charakter opisowy (klasyfikacja Wenera), albo opierają się na pomiarach przeprowadzonych innymi niż koparki wielonaczyniowe maszynami (klasyfikacja Dombrowskiego, dotycząca koparek jednonaczyniowych) lub nie bezpośrednio na oporze urabiania, ale na umownej wielkości pośredniej (wytrzymałość na ściskanie, prędkość fali sejsmicznej, itp.).

Najbardziej ogólną klasyfikacją skał z ww. jest klasyfikacja Protodiakonowa (seniora). Podstawowe założenie tej klasyfikacji polega na przyjęciu jako kryterium podziału skał do różnej wytrzymałości na ściskanie. Współczynnik zwięzłości skał interpretowany też jako współczynnik urabialności  $f_p$  wyraża się zależnością:

$$f_p = \frac{R_C}{10 \text{ MPa}} \quad (1)$$

gdzie  $R_C$  oznacza wytrzymałość na ściskanie, MPa.

Opracowana na tej podstawie klasyfikacja skał obejmuje 10 kategorii skał od najbardziej wytrzymałych ( $f_p > 20$ ) po skały miękkie i spoiste, dla których  $f_p$  obliczany jest na podstawie wartości naprężeń, kąta tarcia wewnętrznego i spójności.

Zgodnie z Dodatkiem nr 1 do Kompleksowej Dokumentacji Geologicznej złoża węgla brunatnego „Bełchatów” — Pole Bełchatów w kat. C + B z 1989 r., w złożu Bełchatów ze względu na możliwości mechanicznego urabiania metodą skrawania wydzielić można trzy charakterystyczne grupy skał [2]:

- grupa 1 — skały (bardzo) zwięzłe o współczynniku Protodiakonowa  $f_p > 2$ , nie urabiane mechanicznie metodą skrawania;
- grupa 2 — skały średniozwięzłe dla których współczynnik  $f_p$  mieści się w przedziale 1,5 do 2,0 stwarzające możliwości urabiania mechanicznego;
- grupa 3 — skały mało zwięzłe dla których  $f_p$  jest mniejsze od 1,5, urabiane mechanicznie koparkami pracującymi w kopalni.

W procesie planowania prowadzenia robót górniczych szczególne znaczenie mają prognozy dotyczące ilości oraz rejonów występowania skał zaliczanych do pierwszej grupy, nie urabianych za pomocą pracujących w kopalni koparek wielonaczyniowych.

Z dotychczasowych doświadczeń urabiania skał podłoża mezozoicznego w Kopalni Bełchatów wynika, że efektywnie koparkami podstawowymi można urabiać skały typu zwietrzliny, brekcje rumosze, i częściowo skały masywu skalnego. Część masywu spękanego i masywu litego wymaga wstępnego pomocniczego rozluzowania za pomocą techniki strzelniczej.

### 3. Wybrane technologie wydobycia skał trudno urabialnych

Eksploatacja skał trudno urabialnych przy zastosowaniu technologii wykorzystującej wielonaczyniowe koparki kołowe wymaga optymalnej adaptacji mechanicznych elementów konstrukcji, jak również parametrów technologicznych pracy w odniesieniu do własności urabianych skał. Większość koparek wielonaczyniowych pracujących w podstawowych układach wydobywczych dostosowana jest do urabiania skał, charakteryzujących się oporami skrawania nie większymi niż 90÷100 kN/m. Rozwój zastosowań koparek kołowych oraz konieczność eksploatacji złóż w coraz trudniejszych warunkach geologiczno-górniczych spowodowały wzrost wymagań wobec tych maszyn, w tym między innymi wymagań dotyczących nominalnych sił kopania, a w konsekwencji poprawy efektów eksploatacyjnych (wzrost wydajności efektywnej koparki, czasu pracy, mniejsza awaryjność oraz zmniejszone zużycie energii i materiałów). Poprawę tych efektów można uzyskać poprzez zmianę konstrukcji elementów skrawających lub też modernizację całego organu urabiającego, jednak często zabiegi te są niewystarczające. Dlatego też w kopalniach węgla brunatnego, w których występuje konieczność eksploatacji dużych ilości skał trudno urabialnych, poszukuje się alternatywnych technologii lub technologii pomocniczych dla podstawowego

procesu wydobywania. W kolejnych rozdziałach artykułu zostaną krótko scharakteryzowane następujące technologie wydobywania skał trudno urabialnych: urabianie koparkami specjalnymi, urabianie koparkami jednonaczyniowymi, urabianie kombajnami powierzchniowymi (frezującymi), urabianie zrywarkami oraz młotami hydraulicznymi.

### **3.1. Wydobywanie skał trudno urabialnych wielonaczyniowymi koparkami specjalnymi**

Dostosowanie koparek wielonaczyniowych, a szczególnie koparek kołowych, do pracy w niejednorodnych ośrodkach trudno urabialnych, może być osiągnięte poprzez:

- zwiększenie mocy zespołów urabiających,
- zmianę konstrukcji czerpaków wraz z elementami urabiającymi (zęby, naroża),
- wzmocnienie konstrukcji nośnej koparki na obciążenia dynamiczne.

Ogólnie z uwagi na możliwość urabiania skał trudno urabialnych wyróżnia się trzy podstawowe modele koparek kołowych:

- 1) koparki o konstrukcji standardowej — przeznaczone do pracy w ośrodkach łatwo i średnio urabialnych,
- 2) koparki wzmocnione, o zwiększonych siłach kopania — przeznaczone do pracy w ośrodkach trudno urabialnych,
- 3) koparki specjalne — przeznaczone do pracy w ośrodkach niejednorodnych, bardzo trudno urabialnych.

W dalszej części przedstawiono zastosowanie do urabiania koparek specjalnych.

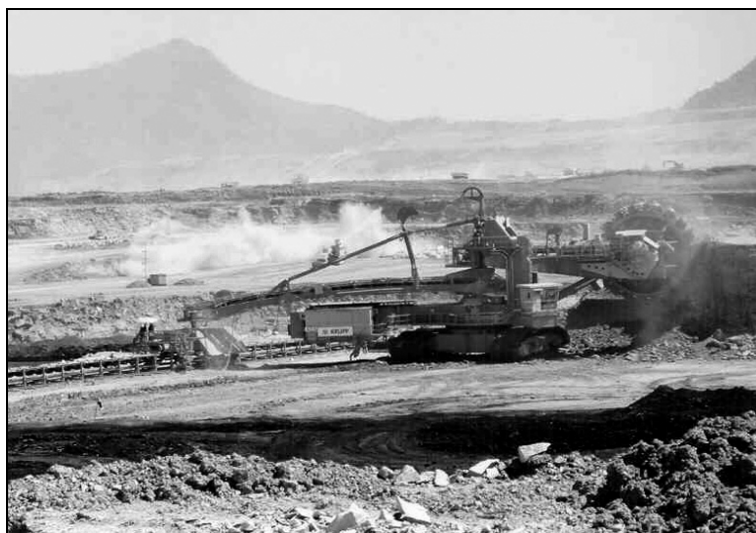
Pod pojęciem koparki specjalne należy rozumieć zarówno koparki typu kompaktowego (zwartego), ale również koparki standardowe przystosowane do pracy w warunkach występowania utworów trudno urabialnych. Zastosowanie koparek specjalnych, wydaje się być najkorzystniejszym rozwiązaniem przy urabianiu skał trudno urabialnych, gdyż technologia pracy w zasadzie nie odbiega od technologii pracy dużych koparek wielonaczyniowych. Pojawienie się na rynku maszyn górniczych tego typu było odpowiedzią na coraz poważniejsze problemy eksploatacyjne występujące przy urabianiu skał, których opory urabiania przewyższały nominalne siły kopania stosowanych koparek wielonaczyniowych.

Producentami tego typu maszyn są firmy: Krupp, Takraf, Sandvik (Vost Alpine), znane są również projekty polskich koparek (KWK 700, KWK 910, KWK 1800).

Największym producentem tych maszyn jest firma Krupp Fordertechnik, poza największą ilością koparek kompaktowych pracujących w kopalniach odkrywkowych, firma ta oferuje również najszerszy zakres typoszeręgi tych maszyn.

Koparki specjalne pracują w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego głównie w Azji (Tajlandia — kopalnia Mae Moh, Chiny — kopalnia Zhungeer, Indie — kopalnia Neyveli, Indonezja — kopalnia Air Laya), kilka koparek pracuje również w krajach Europejskich (Polska — kopalnia Turów, Grecja — kopalnia Ptolemais, Włochy — kopalnia Santa Bar-

bara). Są to zarówno małe koparki kompaktowe typu S100, C300, jak również duże koparki typu KWK 910, C3100 czy C4500 (rys. 1).



**Rys. 1.** Koparka C4500 pracująca w skałach trudno urabialnych w kopalni Mae Moh [22]

Możliwość urabiania skał o dużych oporach urabiania spowodowała, że koparki specjalne, głównie koparki kompaktowe znalazły zastosowanie w kopalniach surowców mineralnych, gdzie dominowały układy cyklicznego wydobywania (koparki jednonaczyniowe). Przykładem takiego rozwiązania może być kopalnia wapienia Teutonia w Niemczech.

W tabeli 3 przedstawiono charakterystykę techniczną koparek kołowych przeznaczonych do urabiania skał średnio zwięzłych i zwięzłych.

TABELA 3

**Podstawowe dane techniczne wybranych koparek przeznaczonych do urabiania skał średnio zwięzłych i zwięzłych [8, 20, 22]**

Parametr	Koparka					
	KWK 910	VABE 700	Krupp S 100	Krupp S 630	Krupp C 3150	Krupp C 4000
Wydajność teoretyczna, m <sup>3</sup> /h	3 600	2 500	500	3 000	3 150	4 250
Wydajność efektywna, m <sup>3</sup> /h	bd	500	200	1 400	1 400	1 800
Moc napędu układu urabiającego, kW	1 000	710	190	980	630	840
Całkowita masa koparki, t	1 562	582	55	400	540	780



Wszystkie maszyny oprócz koparki KWK 910 wymienione w tabeli 1 to typowe konstrukcje kompaktowe, natomiast koparkę KWK 910 można zaliczyć do konstrukcji standardowej (C-frame) półzwartej. Jest to pierwsza w Polsce koparka przystosowana do urabiania skał charakteryzujących się liniowymi oporami urabiania do 180 kN/m, zaprojektowana została specjalnie do warunków złożowych występujących w kopalni Turów (rys. 2). W utworach trudno urabialnych wydajność tej koparki zmniejsza się do 1 150 m<sup>3</sup>/godz.

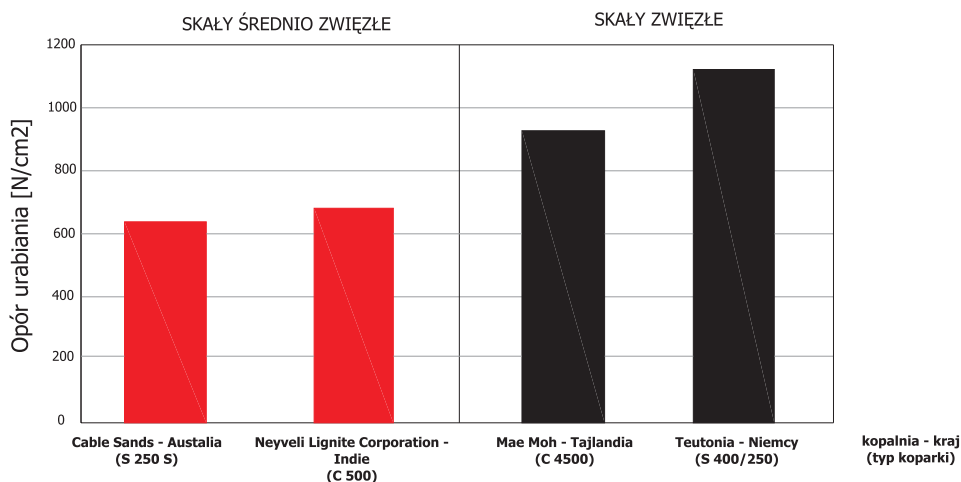


Rys. 2. Koparka KWK 910 [20]

Większość producentów koparek specjalnych nie podaje sił kopania jakimi charakteryzuje się dany typoszereg koparek. Rozwiązania konstrukcyjne układu urabiającego, są ustalane indywidualnie w zależności od potrzeb wynikających z warunków w jakich koparka ma pracować. Na przykładzie kilku kopalń, na rysunku 3 przedstawiono powierzchniowe siły kopania jakimi dysponują koparki kompaktowe pracujące w kopalniach odkrywkowych.

Generalną cechą koparek kompaktowych typu zwartej jest bardzo krótki wysięgnik urabiający, duże wymiary i sztywność koła naczyniowego, nisko leżąca przeciwwaga, relatywnie do wydajności duża moc napędu zespołu urabiającego, niesterowalne podwozie.

Nisko umieszczony środek ciężkości pozwala na pracę tych koparek na poziomach roboczych o dużym nachyleniu, wynoszącym 1:20, a przy ograniczeniu wydajności koparki na pochyleniach 1:10, a nawet 1:8. Nachylenie to nie wpływa na stabilność pracy maszyny, a obniżenie wydajności wynika z ograniczenia wydajności przenośników taśmowych. Możliwość pracy na poziomach roboczych o tak dużym nachyleniu w warunkach bardzo nieregularnego zalegania utworów trudno urabialnych, jest dodatkową zaletą tych maszyn.



Rys. 3. Siły kopania koparek kompaktowych

W przeciwieństwie do dużych koparek, gdzie poszczególne elementy konstrukcyjne projektowane są specjalnie dla poszczególnej maszyny, większość podzespołów koparek kompaktowych budowana jest ze znormalizowanych modułów. Podobne moduły mogą zostać wykorzystane w koparkach, jak również w przenośnikach przejezdnych, zwalownikach, a nawet w koparkach łańcuchowych. Duża część elementów konstrukcyjnych zwartych koparek pochodzi od koparek hydraulicznych, np. dla małych koparek zwartych przeniesiony został w całości mechanizm jazdy. Taka wymiennność podzespołów gwarantuje szeroki dostęp do części zamiennych.

### 3.2. Urabianie koparkami jednonaczyniowymi

Ze względu na ograniczone siły kopania stosowanych w kopalniach koparek wielonaczyniowych, do urabiania skał trudno urabialnych wykorzystuje się technikę strzelniczą bądź też urabianie zrywarkami. Wymaga to na ogół zastosowania pomocniczych cyklicznych technologii wydobywania z zastosowaniem koparek jednonaczyniowych. Praca koparki w takim schemacie technologicznym opierała się na załadunku na środki transportu już wstępnie urobionej calizny. Szybki rozwój koparek jednonaczyniowych, zwłaszcza koparek hydraulicznych, spowodował znaczne rozszerzenie zakresu zastosowań tych maszyn do wydobywania skał trudno urabialnych w kopalniach węgla brunatnego. Obecnie dostępne na rynku koparki hydrauliczne charakteryzują się bardzo dużymi siłami kopania (moc napędu do 3 300 kW), elastycznością pracy, dużą wydajnością oraz możliwością selektywnego urabiania warstw o dużym i zmiennym pochyleniu (tab. 4).

W warunkach polskich kopalń węgla brunatnego wykorzystanie koparek jednonaczyniowych o tak dużych siłach kopania jest jednak mało prawdopodobne. Koparki te wyposażone są zazwyczaj w bardzo duże łyżki robocze ( $40 \div 60 \text{ m}^3$ ), wymaga to współpracy kopar-

ki z samochodami technologicznymi o pojemnościach skrzyni 180÷240 m<sup>3</sup>. Jednak w przypadku silnie spękanego górotworu lub górotworu poddanego erozji, w podstawowych układach wydobywczych mogą pracować koparki o słabszych parametrach technicznych.

TABELA 4  
Koparki jednonaczyniowe o dużych mocach [17–19, 21]

Koparka	Typ	Moc koparki, kW	Podstawowa pojemność łyżki, m <sup>3</sup>
Liebherr	R 9800	2 984	42
Terex	RH400	3 360	50
Komatsu	PC8000	3 000	38
Hitachi	EX8000-6	2 900	40

O możliwości wykorzystania koparek jednonaczyniowych do pracy w danej kopalni oraz technologii pracy decyduje kilka czynników, w tym głównie:

- ogólna ilość skał trudno urabialnych,
- ich udział w całej eksploatowanej masie,
- lokalizacja w piętrach eksploatacyjnych,
- cechy fizyko-mechaniczne skał (urabialność),
- czynniki ekonomiczne.

Wykorzystanie technologii cyklicznej w kopalniach węgla brunatnego, gdzie zdecydowana ilość mas urabiana jest w sposób ciągły, jest zagadnieniem niewątpliwie trudnym do rozwiązania, ale nie niemożliwym. Z podstawowych utrudnień należy wymienić:

- odpowiednie dopasowanie wydajności obu układów technologicznych,
- konieczność udostępnienia frontów roboczych przez koparki wielonaczyniowe,
- krzyżowanie się dróg odstawy z trasami prowadzenia przenośników taśmowych,
- konieczność utrzymywania szerokich dróg odstawy urobku.

Przykładem na możliwość połączenia obu technologii wydobywania jest kopalnia węgla brunatnego South Field Mine (Grecja). W kopalni tej ok. 30% nadkładu to utwory zwięzłe lub średnio zwięzłe, które nie mogą być eksploatowane koparkami wielonaczyniowymi. Do wydobywania trudno urabialnego nadkładu przystosowano cykliczną technologię wydobywania koparką jednonaczyniową – samochód (technologia ta wspomagana jest częściowo poprzez rozluźnianie skał techniką strzelniczą). W tabeli 5 przedstawiono udział poszczególnych koparek w wydobywaniu zwięzłego nadkładu w 2006 roku.

TABELA 5

Wskaźniki eksploatacyjne koparek pracujących w kopalni South Field Mine [6]

Typ koparki	Rok zakupu	Pojemność łyżki, m <sup>3</sup>	Liczba koparek, szt.	Średni efektywny czas pracy, godz./rok	Wydajność efektywna, m <sup>3</sup> /godz.	Wydobycie, mln m <sup>3</sup> /rok
O&K-Terex RX170	2004	21	2	6762	806	10,90
Liebherr 994	2000	13,5	1	5410	385	2,08
Demag H185.5	1997	13,5	1	3185	268	0,85
P&H BLE-2100	1989	15	2	3200	598	1,91

Efektywny czas pracy koparek w kopalni SFM jest bardzo wysoki, np. dla największej koparki O&K-Terex RX170 czas ten wynosi 6762 godzin/rok, co stanowi 77% czasu kalendarzowego. Wydobycie skał trudno urabialnych w 2006 roku wynosiło 15,74 mln m<sup>3</sup>/rok, sumując tę ilość z wydobyciem realizowanym przez firmy zewnętrzne, dało to łączne wydobycie skał średnio zwięzłych i zwięzłych w przedziale 25÷30 mln m<sup>3</sup>/rok. Stanowiło to w 2006 roku połowę zdejmowanego nadkładu.

Z przeprowadzonych analiz porównawczych wynika, że zastosowanie technologii cyklicznej (koparka jednonaczyniowa — samochód) to o 25% mniejsze koszty inwestycyjne w porównaniu z technologią ciągłą (koparka wielonaczyniowa — przenośnik taśmowy), natomiast w okresie eksploatacji trzeba liczyć się z większymi kosztami operacyjnymi, energii oraz obsługi [13]. Doświadczenia w zakresie wykorzystania koparek jednonaczyniowych do urabiania skał trudno urabialnych (zwarta glina z wkładkami sferosyderytów) w kopalni węgla brunatnego Hambach również potwierdzają, że jednostkowy koszt wydobywania trudno urabialnych jest większy. Ale ze względu na większą wydajność procesu urabiania (10÷20% w porównaniu do koparek wielonaczyniowych) prowadzone są dalsze badania w celu optymalizowania sposobu wydobywania pod kątem zmniejszenia jednostkowych kosztów [15].

### 3.3. Urabianie kombajnami powierzchniowymi

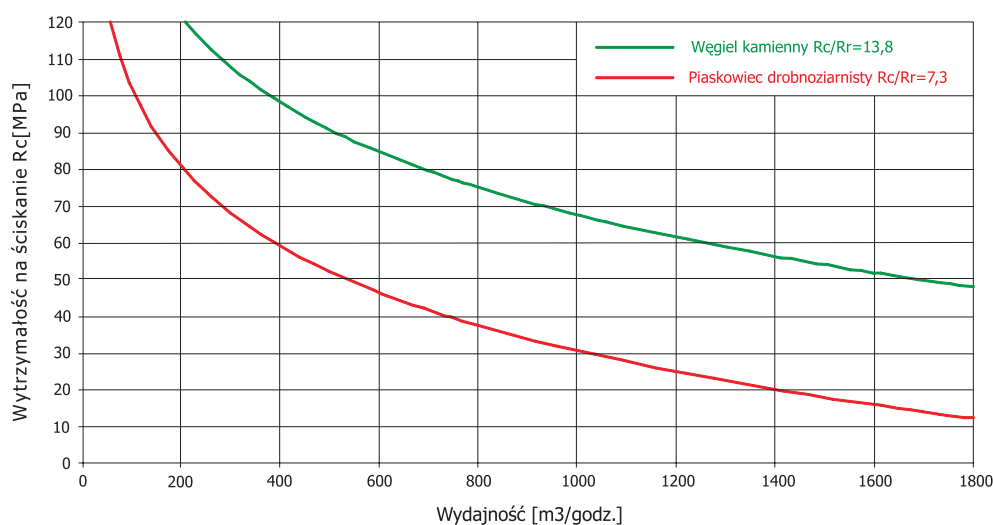
Rozwój ciągłych technologii wydobywania i równocześnie konieczność eksploatacji cienkich, często średnio zwięzłych lub zwięzłych warstw kopaliny lub przerostów, skłoniły kilka światowych firm górniczych do podjęcia badań, a następnie produkcji nowego typu maszyn urabiających dla górnictwa odkrywkowego. Celem tych przedsięwzięć było skonstruowanie maszyn o ciągłej technologii pracy, które mogłyby selektywnie urabiać zarówno łatwo, jak i trudno urabialne skały o stosunkowo dużym przedziale grubości warstw, i które mogłyby współpracować zarówno z transportem taśmowym, jak i samochodowym. Maszyny takie miały zajmować w klasyfikacji miejsce pośrednie pomiędzy koparkami kołowymi,

a dotychczas znanym w górnictwie odkrywkowym sprzętem do urabiania warstw zwięzłych (zrywarki, koparki jednonaczyniowe).

Kombajny frezujące (powierzchniowe) są maszynami do mechanicznego urabiania skał, które dotychczas nie były stosowane w polskich kopalniach odkrywkowych. Niemniej jednak pierwsze próby zastosowania maszyn frezujących do urabiania skał były prowadzone w Polsce już w 1965 roku, w kopalni siarki „Piaseczno”. Bębnowy zespół frezujący BZF-200 skonstruowany w Katedrze Maszyn i Urządzeń Górniczych AGH przeszedł pomyślnie testy, ale nie został zastosowany na skalę przemysłową.

Kombajny frezujące stosowane są do odkrywkowego urabiania skał w wielu krajach świata, przede wszystkim w Stanach Zjednoczonych, Japonii, Niemczech, Wielkiej Brytanii i wielu innych. Obecnie na rynku są kombajny frezujące o różnych konstrukcjach.

Możliwość stosowania kombajnów powierzchniowych ogranicza przede wszystkim wytrzymałość na ściskanie urabianych skał. Dotychczasowe doświadczenia i wyniki badań wskazują, że urabianie za pomocą kombajnów jest możliwe dla skał, których wytrzymałość na ściskanie wynosi do 120 MPa, a niekiedy do 150 MPa. Zwykle jednak uznaje się, że górna granica wytrzymałości na ściskanie skał, które można urabiać efektywnie przy użyciu kombajnów frezujących, wynosi 80 MPa. Na rysunku 4 przedstawiono wydajność kombajnu KSM 2000 przy urabiania skał o różnych wartościach wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie.



**Rys. 4.** Wydajność kombajnu KSM 2000 w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie urabianej skały [14]

Z rysunku 4 wynika, że wydajność wydobycia skały o wytrzymałości na ściskanie 120 MPa, w porównaniu do wydajności urabiania skał o wytrzymałości 80 MPa, maleje dla piaskowców drobnoziarnistych 4-krotnie, dla węgla kamiennego ponad 3-krotnie. Na wydaj-

ność i przebieg urabiania kombajnami mają również wpływ takie parametry skał jak: kruchość, plastyczność, wilgotność, spójność, anizotropia, łupliwość, szczelinowatość, ścieralność, a także wytrzymałość na rozciąganie. W przypadku zastosowania kombajnów do urabiania skał trudno urabialnych w kopalniach węgla brunatnego, duże znaczenie ma regularność zalegania tych skał oraz rozmieszczenie w pionowej płaszczyźnie pięter eksploatacyjnych. Aby wykorzystać kombajny powierzchniowe, konieczne jest udostępnienie tych warstw od stropu.

Potencjalne zalety zastosowania kombajnów frezujących do urabiania skał zwięzłych w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego to:

- jednoczesne urabianie i załadunek urobku na środki transportu,
- mała granulacja urobku (nie wymaga wstępnego kruszenia),
- możliwość urabiania selektywnego,
- duża zwrotność i mobilność maszyny,
- płaskie i uporządkowane wyrobisko eksploatacyjne, korzystne dla wszelkiego rodzaju środków transportu.

Natomiast wady to:

- ograniczone możliwości pracy w warunkach nieregularnego zalegania złóż,
- konieczność udostępnienia urabianych skał od stropu,
- trudność współpracy z środkami transportu,
- znaczne obniżenie wydajności przy urabianiu skał plastycznych,
- konieczność utrzymywania możliwie długich i prostych, lub łagodnie zmieniających kierunek frontów roboczych.

### **3.4. Urabianie zrywarkami**

Technologia urabiania zrywarkami skał trudno urabialnych w kopalniach węgla brunatnego jest technologią pomocniczą. Ze względu na produkcję maszyn o coraz większej mocy i wydajności oraz na udoskonalenia w technice, urabianie zrywarkami wkroczyło na obszary, gdzie poprzednio brana była pod uwagę tylko technika strzelnicza.

Głębokość zrywania w znacznym stopniu zależy od rodzaju zrywanych skał. Z doświadczeń kopalń wynika możliwość zrywania poziomo zalegających warstw skał trudno urabialnych, których grubość nie przekracza 1 metra [1, 2, 6].

Duże doświadczenia w zrywaniu skał trudno urabialnych posiada kilka kopalń węgla brunatnego, m.in. w Turcji kopalnia Western Lignite Mines (GLI) oraz kopalnia Demir Export's Sivas Kangal (SKL) [1, 2]. Tam również prowadzi się liczne badania nad przebiegiem procesu zrywania, wydajności zrywania oraz określaniem podatności na zrywanie skał (margli) charakteryzujących się różnymi właściwościami fizyko-mechanicznymi (tab. 6). Oprócz właściwości fizyko-mechanicznych w badaniach wzięto pod uwagę również takie cechy górotworu jak: stopień erozji, liczba spękań, odległość pomiędzy spękaniem, prędkość przemieszczania się fali sejsmicznej oraz twardość badana młotkiem Shmidta.

TABELA 6  
Właściwości zrywanych skał [1, 2]

Nazwa kopalni	Nazwa panelu	Typ skały	Wytrzymałość na ściskanie, MPa	Gęstość, Mg/m <sup>3</sup>	Twardość (badanie młotkiem Schmidta)	Stopień erozji	Odległość spękań, m	Prędkość fali sejsmicznej
GLI	34 Makina	margiel	24,93	2,02	48	mały	1,50	2 330
	Omerler	margiel	34,00	2,10	51	brak	2,00	2 900
	18 PH	margiel	16,90	2,09	30	mały	0,70	1 960
	Kuspinar	margiel	24,80	2,27	44	mały	1,00	2 000
SKL	305	margiel zagłimiony	2,67	1,53	< 20	brak	0,40	875
	310	margiel	23,80	2,41	50	mały	1,25	2 300

TABELA 7  
Parametry zrywania [1, 2]

Nazwa kopalni	Nazwa panelu	Typ zrywarki	Sprawność operatora, %	Czas cyklu, s	Czas manewrowania, s	Głębokość zrywania, m	Szerokość zrywania, m	Długość zrywania, m
GLI	34 Makina	D155A	80	89	17	0,75	0,70	50
	Omerler	D8N	90	90	15	0,65	0,50	50
	18 PH	D155A	95	88	12	0,90	1,30	50
	Kuspinar	D155A	95	79	5	0,80	1,05	50
SKL	305	D8N	95	50	23	1,10	1,03	50
	310	D8N	90	109	25	0,65	0,85	50

TABELA 8  
Zestawienie wyników przeprowadzonych badań [1, 2]

Nazwa kopalni	Nazwa panelu	Typ skały	Powierzchnia rozluźowania w przekroju poprzecznym, m <sup>2</sup>	Wydajność, m <sup>3</sup> /cykl	Wydajność, m <sup>3</sup> /godz., s	Zagłębienie zrywaków, %
GLI	34 Makina	margiel	0,26	13,13	357	63
	Omerler	margiel	0,16	8,13	251	54
	18 PH	margiel	0,58	29,25	1000	75
	Kuspinar	margiel	0,41	21,00	855	67
SKL	305	margiel zagłębiony	0,57	28,33	1327	92
	310	margiel	0,28	13,81	334	54



Do określenia wydajności procesu zrywania wykorzystano dwa typy zrywarek: Komatu D155A oraz Caterpillar D8N. Obie te maszyny charakteryzują się bardzo podobnymi parametrami technicznymi. Długość frontu roboczego, na którym odbywało się zrywanie, wynosiła 50 m. Podczas badań mierzono: czas cyklu, czas manewrowania, głębokość zrywania, szerokość zrywania (tab. 7).

Kierunek jazdy zrywarki prowadzony był pod kątem 90° do kierunku głównych nieciągłości, by uzyskać jak najbardziej sprzyjające warunki zrywania. Wydajności zrywania margli podczas prowadzonych badań przedstawiono w tabeli 8.

Największą wydajność uzyskano w sektorze 305 oraz 18 PH odpowiednio 1 327 m<sup>3</sup>/godz. oraz 1000 m<sup>3</sup>/godz.; wielkości te uzyskano przy dużym zagłębieniu zębów zrywaka (92% 75%). W przypadku sektorów Kuspinar oraz 34 Makina osiągnięto wydajności niższe, odpowiednio 855 m<sup>3</sup>/godz. oraz 357 m<sup>3</sup>/godz., ale przy niższym zagłębieniu zębów zrywaka (67 i 63%). Najmniejszą wydajność uzyskano w sektorze 310 (334 m<sup>3</sup>/godz.) oraz Omerler (251 m<sup>3</sup>/godz.), przy równie małym zagłębieniu zębów zrywaka (54%).

Wydajność określona podczas badań jest wielkością uzyskiwaną w warunkach ustabilizowanej pracy (krótka długość frontu roboczego) nie uwzględniono również współczynnika wykorzystania czasu roboczego, który będzie miał istotny wpływ na wielkość wydajności odniesioną do dłuższego czasu (np. roku).

Na podstawie wyników z badań zaproponowano następującą klasyfikację „zrywalności” margli (tab. 9).

TABELA 9  
Proponowana klasyfikacja urabiania margli zrywarkami  
w kopaniach GLI i SKL [1, 2]

Wydajność zrywania, m <sup>3</sup> /godz.	Proponowana klasyfikacja „zrywalności”
0÷250	bardzo trudna
250÷400	trudna
400÷900	średnio trudna (umiarkowana)
900÷1300	łatwa
> 1300	bardzo łatwa

Proponowaną klasyfikację należy traktować w odniesieniu do maszyn, którymi prowadzono zrywanie. W celu określenia „zrywalności” przy wykorzystaniu maszyn o innych parametrach technicznych, należałoby przeprowadzić powtórne badania.

Podobnie jak w przypadku urabiania kombajnami powierzchniowymi, trudno urabialne warstwy przy zrywaniu muszą zostać udostępnione od stropu. Urobione poprzez zrywanie skały mogą być załadowane przez koparkę wielonaczyniową kołową lub łańcuchową i transportowane przenośnikami taśmowymi, lub też załadunek może odbywać się koparkami jednonaczyniowymi, a transport samochodami technologicznymi.

Badania na temat wpływu wstępnego rozluźnienia skał trudno urabialnych, na pracę koparek łańcuchowych, przedstawiono w pracy [5].

#### 4. Urabianie młotami hydraulicznymi

Urabianie mechaniczne skał odznaczających się dużą zwięzłością jest możliwe także przy użyciu ciężkich młotów hydraulicznych. Urządzenia te są coraz częściej wprowadzane do światowego górnictwa, głównie skalnego. Najwięcej przypadków ich stosowania obserwuje się w Europie, gdzie oprócz rozbijania, czyli likwidowania brył nadwymiarowych i robót pomocniczych, wdraża się je do urabiania. Ograniczenia w zastosowaniu młotów hydraulicznych do eksploatacji wiążą się przeważnie z kosztami oraz w mniejszym stopniu z wysokością istniejących pięter eksploatacyjnych w kopalni. Obecnie stosowane młoty hydrauliczne rozbijają złom w hutach, szlakę, beton zbrojony itp. W górnictwie odkrywkowym skalnym młoty hydrauliczne z dużym powodzeniem stosowane są do urabiania najmocniejszych i bardzo zwięzłych skał. Doświadczenia kopalń pokazują, że osiągnięte wydajności młotów hydraulicznych wynoszą w granicach 150 Mg/godz. (bazalt), 120 Mg/godz. (granit), 300 Mg/godz. (kruchy wapień) [11, 12].

Do najważniejszych parametrów technicznych młotów hydraulicznych należy zaliczyć: ciężar młota, energia uderu, ilość uderzeń, przepływ oleju, ciśnienie pracy oraz wymiary różnych części i elementów młota. Bardzo istotnym parametrem jest także ciężar nośnika młota hydraulicznego, jakimi w przeważającej mierze są podwozia koparek. Właściwy dobór podwozia koparki ma na celu zapewnić stabilność w czasie pracy, zapewnić odpowiednią moc napędu układu hydraulicznego oraz pełną operatywność zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi.

W przeciwieństwie do urabiania kombajnami powierzchniowymi oraz zrywarkami, nie ma tutaj konieczności udostępniania trudno urabialnej warstwy od stropu. W zasadzie nie ma znaczenia regularność zalegania skał. Urabianie młotem hydraulicznym można prowadzić zarówno ze spągu, jak i stropu, ale najkorzystniejsze jest urabianie w wyrobisku z niskimi piętrami eksploatacyjnymi. Wysokość urabiania młotem hydraulicznym uzależniona jest od zasięgu maszyny — zwykle koparki jednonaczyniowej, na której jest on zainstalowany.

Możliwość zastosowania młotów hydraulicznych w kopalniach węgla brunatnego ograniczać powinna się raczej do przypadków, gdy:

- skały trudno urabialne (np. głązy narzutowe, buły sferosyderytowe, nieurabialne przerosty) pojawiają się na takiej wysokości w eksploatowanej zabierce, która nie pozwoli na zastosowanie innego sposobu urobienia tych skał,
- skały trudno urabialne występują sporadycznie na końcówkach frontu roboczego,
- występują bryły nadwymiarowe,
- niemożliwe jest wykorzystanie techniki strzelniczej,
- ilość skał trudno urabialnych nie jest duża.

Korzyści wprowadzenia ciężkich młotów hydraulicznych do urabiania skał trudno urabialnych to m.in.:

- ograniczenie lub zastąpienie robót wiertniczo-strzałowych,
- zmniejszenie szkodliwego oddziaływania na środowisko,
- duża zwrotność i mobilność maszyny,
- możliwość urabiania selektywnego,
- możliwość doboru odpowiedniego rozdrobnienia urobku,
- możliwość łatwego profilowania skarp.

## 5. Podsumowanie

Eksploatacja skał trudno urabialnych przy zastosowaniu technologii wykorzystującej wielonaczyniowe koparki kołowe, wymaga optymalnej adaptacji mechanicznych elementów konstrukcji, jak również parametrów technologicznych pracy w odniesieniu do właściwości urabianych skał. Większość koparek wielonaczyniowych pracujących w podstawowych układach wydobywczych, dostosowana jest do urabiania skał charakteryzujących się oporami skrawania nie większymi niż  $90\div 100$  kN/m, a część koparek starszych dysponuje siłami kopania poniżej 60 kN/m. Niejednokrotnie obserwuje się, że koparki dostosowane do urabiania skał nadkładowych kategorii II i III muszą urabiać utwory zaliczane do IV, a nawet V kategorii (według dotychczasowej klasyfikacji urabialności skał). W przypadkach takich dochodzi do niekorzystnego obniżania się wskaźników eksploatacyjnych zarówno koparek, jak również całych układów technologicznych. Przejawia się to między innymi [10]:

- zmniejszeniem wydajności eksploatacyjnej (ruchowej) koparek podstawowych,
- zmniejszeniem efektywnego czasu pracy i ilości urabianych mas,
- zwiększeniem zużycia części roboczych oraz elementów wymiennych koparek (zębów, noży, czerpaków, itp.) i przenośników taśmowych (taśm),
- wzroście ilości awarii oraz zakresu remontów i napraw koparek podstawowych,
- większym zużyciu energii elektrycznej przez koparki,
- dużymi obciążeniami dynamicznymi i szybszym zmęczeniem konstrukcji koparek, szczególnie układów urabiających.

W celu wyeliminowania lub częściowego zmniejszenia ww. zagrożeń, przy urabianiu skał trudno urabialnych wykorzystuje się inne technologie mechanicznego wydobycia takich skał.

Z opisanych w artykule technologii mechanicznego urabiania skał trudno urabialnych, najkorzystniejszym rozwiązaniem wydaje się być technologia urabiania z zastosowaniem wielonaczyniowych koparek specjalnych. Pojawienie się tych maszyn na rynku było od-

powiedzią na coraz poważniejsze problemy eksploatacyjne występujące przy eksploatacji skał trudno urabialnych. Dodatkowo sposób ich pracy w zasadzie nie odbiega od technologii pracy dużych koparek wielonaczyniowych.

Wśród przedstawionych technologii cyklicznych, w ostatnich latach szczególną przydatnością wyróżniają się jednonaczyniowe koparki hydrauliczne, zwłaszcza w warunkach, gdzie zaleganie skał trudno urabialnych zostało stwierdzone dopiero w fazie eksploatacji złoża. Transport urobku przy urabianiu koparkami jednonaczyniowymi może odbywać się samochodami technologicznymi lub też przenośnikami taśmowymi. Wykorzystanie przenośników taśmowych wymaga jednak rozbudowania układów technologicznych (krusząrkę przejezdne, przenośniki samojezdne) co jest uzasadnione głównie przy wydobyciu dużej ilości trudno urabialnych skał.

W przypadku stosunkowo cienkiego i regularnego zalegania skał trudno urabialnych, szczególnie przydatna może być technologia oparta na kombajnach powierzchniowych lub zrywarkach. Zastosowanie młotów hydraulicznych w kopalniach węgla brunatnego jest raczej mało przydatne, z uwagi na ich małą wydajność urabiania, w porównaniu do szybkich postępów frontów roboczych.

Wybór technologii zależy od wielu czynników, m.in. warunków geologiczno-górnictwowych, ilości skał trudno urabialnych koniecznych do urobienia, wielkości wydobycia, parku maszynowego oraz możliwości finansowych. Z punktu widzenia organizacji i postępu procesu wydobywczego ważne jest również, aby na etapie projektowania struktury geometrycznej wyrobiska uwzględnić pewne jej cechy, które będą ułatwiały wprowadzenie innych technologii wydobycia, zwłaszcza technologii o charakterze cyklicznym. Wymaga to bardzo dobrego rozpoznania warunków występowania skał trudno urabialnych w konturze docelowej eksploatacji górniczej, co jest kolejnym utrudnieniem ich eksploatacji. Doświadczenia kopalń pokazują, że na podstawie danych z rozpoznania złoża w siatce otworów  $200 \times 200$  m, rozpoznanie warunków zalegania skał trudno urabialnych jest obciążone dużym błędem. Wymaga to dodatkowego (kosztownego) rozpoznania, które kopalnie wykonują raczej sporadycznie.

Postęp w urabianiu mechanicznym wielonaczyniowymi koparkami, jak również innymi maszynami sprawia, że opracowana ok. 40 lat temu klasyfikacja urabialności skał koparkami wymaga aktualizacji do warunków obecnych. Próbę takiej modyfikacji klasyfikacji przedstawiono w pracy (tab. 2).

#### LITERATURA

- [1] *Basarir H., Karpuz C., Tutluoglu L.*: Specific energy based rippability classification system for coal measure rock; *Journal of Terramechanics* 45, 2008
- [2] *Basarir H., Karpuz C.*: A rippability classification system for marls in lignite mines; *Engineering Geology* 74, 2004
- [3] Charakterystyka skał mezozoicznych występujących w zboczach stałych wyrobiska górniczego KWB „Bełchatów”. Dział Geologiczny KWB „Bełchatów”. Rogowiec, 2004
- [4] *Czarnecki L., i in.*: Możliwość prognozy oraz jakościowa charakterystyka masywu skalnego w wyrobisku górniczym KWB Bełchatów. *Górnictwo Odkrywkowe*, nr 7–8; 2004

- [5] *Kasztelewicz Z.*: Wpływ wstępnego rozluźnienia glin zwałowych na efektywność urabiania koparką łańcuchową, Praca doktorska, Wrocław, 1983
- [6] *Kavouridis K., Roumpos C., Galetakis M., Pavloudakis F.*: Methods and technological improvements for the efficient removal of the overburden hard rock formations at South Field lignite mine, Ptolemais, Greece. ISCSM Romania, 2008
- [7] *Kolkiewicz W.*: Zastosowanie maszyn podstawowych w górnictwie odkrywkowym. Wydawnictwo Śląsk, 1974
- [8] *Kozioł W.*: Rozwój technologii wydobywania skał trudno urabialnych; Górnictwo Odkrywkowe, nr 5–6, 1990
- [9] *Kozioł W., Kaczmarewski T.*: Problemy technologiczno-eksploatacyjne wydobywania skał trudno urabialnych w polskich kopalniach węgla brunatnego, Górnictwo Odkrywkowe, nr 5–6, 1990
- [10] *Kozioł W., Sośniak E., Jończyk W., Machniak Ł.*: Wydobywanie skał trudno urabialnych w kopalniach węgla brunatnego. Górnictwo Odkrywkowe, nr 5–6, 2007
- [11] *Kukiałka S., Chulist R.*: Urabianie skał zwięzłych za pomocą młotów hydraulicznych i kombajnów frezujących; Kopaliny, nr 6, 2003
- [12] *Kukiałka S., Lochañska D., Chulist R.*: Zastosowanie młotów hydraulicznych do urabiania skał zwięzłych i bardzo zwięzłych; Górnictwo Odkrywkowe, nr 5–6; 2007
- [13] *Schröder D.*: Economic and technologic aspects of Bucketwheel Excavator — and Crusher/Conveyor-Systems; [www.tk-mining.com](http://www.tk-mining.com)
- [14] *Schröder D.*: Large Surface Miners - Applications and Cost Calculations; [www.krupp.com.au](http://www.krupp.com.au)
- [15] *Strunk S.*: Optimising the production of problematic overburden in hambach opencast mine. 21st World Mining Congress; Kraków; 2008
- [16] *Wocka N.*: Czerpaki do urabiania utworów bardzo trudno urabialnych koparkami kołowymi. Węgiel brunatny, nr 3/60, 2007
- [17] [www.hitachi.com](http://www.hitachi.com)
- [18] [www.komatsu.com](http://www.komatsu.com)
- [19] [www.liebherr.com](http://www.liebherr.com)
- [20] [www.skw.pl](http://www.skw.pl)
- [21] [www.terex.com](http://www.terex.com)
- [22] [www.tk-mining.com](http://www.tk-mining.com)