

Wiesław Koziół, Łukasz Machniak**

PROBLEMY KLASYFIKACJI I WYDOBYCIA TRUDNO URABIALNYCH SKAŁ I GRUNTÓW W KOPALNIACH WĘGLA BRUNATNEGO

1. Wprowadzenie

W kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego główną rolę w realizacji planowanych zadań wydobywczych mają wielonaczyniowe koparki kołowe, rzadziej łańcuchowe. Koparki wielonaczyniowe przeznaczone są zarówno do usuwania skał i gruntów nadkładowych, jak również do eksploatacji pokładów węgla brunatnego.

Dominującym problemem jest usuwanie warstw nadkładu, które charakteryzują się bardzo zróżnicowanymi właściwościami fizyko-mechanicznymi, a niejednokrotnie również skomplikowaną formą zalegania w stosunku do prowadzonych pięter eksploatacyjnych. W większości kopalń węgla brunatnego, nadkład tworzą skały o krańcowo zróżnicowanych właściwościach fizyko-mechanicznych, od skał luźnych, sypkich, których wewnętrzna struktura w procesie urabiania ulega zmianie w stopniu znikomym, do skał litych, nie stwarzających możliwości mechanicznej penetracji narzędzia w urabiany ośrodek.

W Polsce skały trudno urabialne w mniejszych lub większych ilościach występują we wszystkich czynnych kopalniach węgla brunatnego [1, 5, 14].

Pojawienie się na frontach eksploatacyjnych gruntów i skał stwarzających problemy w ich urabianiu, powoduje znaczne obniżenie się wskaźników eksploatacyjnych koparek, a co za tym prowadzi do zmniejszenia zdolności wydobywczej kopalni. Przy niekorzystnym splocie okoliczności może to mieć poważny wpływ na realizację planowanych zadań wydobywczych zarówno w nadkładzie jak i węgłu.

Na wyniki pracy koparek wielonaczyniowych w gruntach trudno urabialnych wpływ mają głównie trzy kategorie parametrów:

- 1) parametry eksploatowanych skał i gruntów (struktura masywu, właściwości fizyko-mechaniczne);

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

** Praca została wykonana w ramach badań własnych 10.10.100.380 i badań statutowych 11.11.100.952

- 2) parametry techniczne koparki (moc zainstalowana, prędkość urabiania, rodzaj i kształt zębów oraz czerpaków);
- 3) parametry technologiczne pracy koparki (geometria odcinanych wiórów, geometria zabierki).

Wymienione parametry w różnym stopniu i intensywności wpływają na efekty eksploatacyjne, a ich wpływ wszystkich razem, stanowi bardzo skomplikowaną macierz. Dlatego też prognozowanie zdolności wydobywczych, koparek, postępów frontów eksploatacyjnych jest bardzo trudne. Pomimo tego, że problemem urabialności gruntów i skał, ośrodku naukowego zajmują się od ponad 150 lat, nadal brak jest uniwersalnego modelu matematycznego odwzorowującego proces eksploatacji, który uwzględniałby wszystkie zmienne mające wpływ na proces. Dlatego też w praktyce posługujemy się pewnymi uproszczonymi metodami wyznaczania urabialności trudno urabialnych skał i gruntów, dającymi wstępny obraz możliwości wykorzystania koparek wielonaczyniowych oraz prognozowania zdolności wydobywczej. Gruntu i skały trudno urabialne występują w większości czynnych kopalń węgla brunatnego (Polska, RFN, Grecja, Turcja, Indie, Chiny, itd.) i zwykle zalega ich znacznie więcej niż stwierdza się to w dokumentacjach geologicznych, co stanowi duży problem eksploatacyjny.

2. Identyfikacja utworów trudno urabialnych na przykładzie KWB „Belchatów” i KWB „Turów”

Utwory trudno urabialne pojawiają się na frontach eksploatacyjnych w każdej polskiej kopalni węgla brunatnego, a ich występowanie w znacznej ilości stwierdza się również w dokumentacjach złóż perspektywicznych (Żłoczew, Legnica, Gubin-Mosty, i in.). Fakt występowania takich utworów, klasyfikuje urabiane złoża jako złoża zaburzone. Pod pojęciem złoża zaburzonego należy rozumieć złoża o zmiennych warunkach zalegania, którego warunki eksploatacji są znacznie trudniejsze niż w złożach zalegających regularnie czyli niezaburzonych. Do złóż zaburzonych należy zaliczyć, takie w których intensywność i rozprzestrzenienie zaburzeń może wpływać w sposób istotny na przebieg eksploatacji złoża.

Najbardziej istotnym kryterium klasyfikacji zaburzeń jest ich geneza. Wymienić tutaj można zaburzenia [14]:

- erozyjne,
- sedymentacyjne,
- glacitektoniczne,
- tektoniczne,
- krasowe,
- wczesnodiagenetyczne,
- kriogeniczne i biogeniczne.

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 miąższe pokłady oraz rozwarstwienie pokładów w miejscu jego wypiętrzenia na krańcu zachodnim. Mamy więc do czynienia z zaburzeniami tektonicznymi. Na tle tych zaburzeń 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 okruców tego rodzaju skał. Wytrzymałości na ściskanie tych skał wynoszą od 15 do ponad 100 MPa.

W oparciu o wieloletnie doświadczenia wydzieli się następujące rodzaje skał trudno urabialnych:[11–13]:

- skały podłoża mezozoicznego — są to głównie wapienie i margle jury (Bełchatów, Szczerców) górnej oraz mułowce opoki kredy górnej (Bełchatów);
- piaskowce i zlepińce kwarcowe — są to skały występujące w nadkładzie oraz w utworach podścielających złoża Bełchatów i Szczerców;
- głązy narzutowe — to skały pochodzenia lodowcowego występujące wśród glin zwałowych i na powierzchniach erozyjnych, dominują wśród nich skały magmowe (granity, sjenity, dioryty i gabra) oraz przeobrażone (granitognejsy, gnejsy);
- skrzemieniałe fragmenty pni drzew mioceńskich — występują wśród piasków kompleksu ilasto-piaszczystego oraz osadów kompleksu węglowego.

Za najistotniejsze z punktu widzenia eksploatacji uważa się trudno urabialne skały podłoża mezozoicznego. Występują one głównie wzdłuż brzegów uskoków brzeżnych, ograniczających rowy tektoniczne w obrębie których znajdują się pokłady węgla.

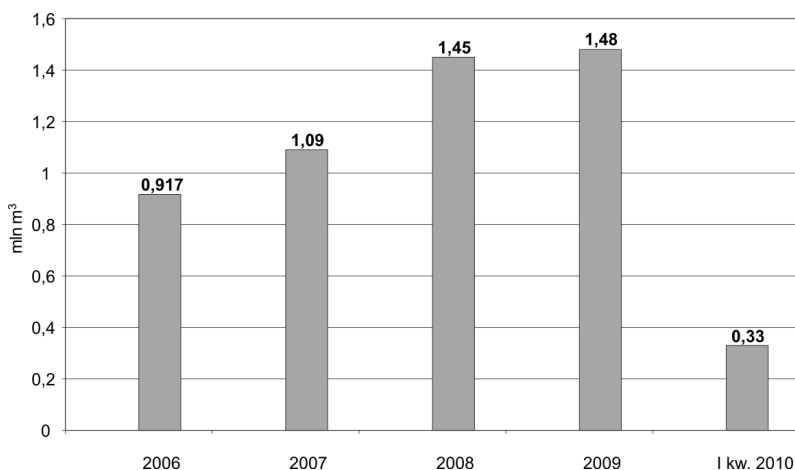
Na rysunku 1 przedstawiono ilość skał trudno urabialnych wstępnie rozluźnianych w latach 2006–2010, za pomocą materiałów wybuchowych w KWB „Bełchatów”. Są to duże ilości, porównywalne z wydobywaniem w największych kopalniach kruszyw lub innych surowców skalnych.

Do 2008 roku eksploatacja skał trudno urabialnych konieczna była tylko w Polu Bełchatów. W związku z udostępnianiem kolejnych poziomów eksploatacyjnych w nadkładzie Pola Szczerców, od 2008 roku również konieczne jest prowadzenie robót strzałowych, celem rozluźniania masywu skalnego. I tak w Polu Szczerców: w 2008 roku, wyeksploatowano około 550 tys. m³, skał trudno urabialnych, natomiast w 2009 roku — 470 tys. m³.

W I kwartale 2010 roku nie prowadzono takich robót, według prognoz skały trudno urabialne występować będą na frontach eksploatacyjnych od III kwartału. W Polu Szczerców, prognozuje się występowanie skał i gruntów trudno urabialnych, w ilości około 35 mln m³, do zakończenia eksploatacji.

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 żelazistym, ławic sferosyderytów oraz soczew rumoszu skalnego i pojedynczych buł i brył. Utwory te koncentrują się głównie w serii międzywęglowej.



Rys. 1. Ilość skał trudno urabialnych rozluźnianych MW w Polu Bełchatów i Polu Szczerców w latach 2006–2010

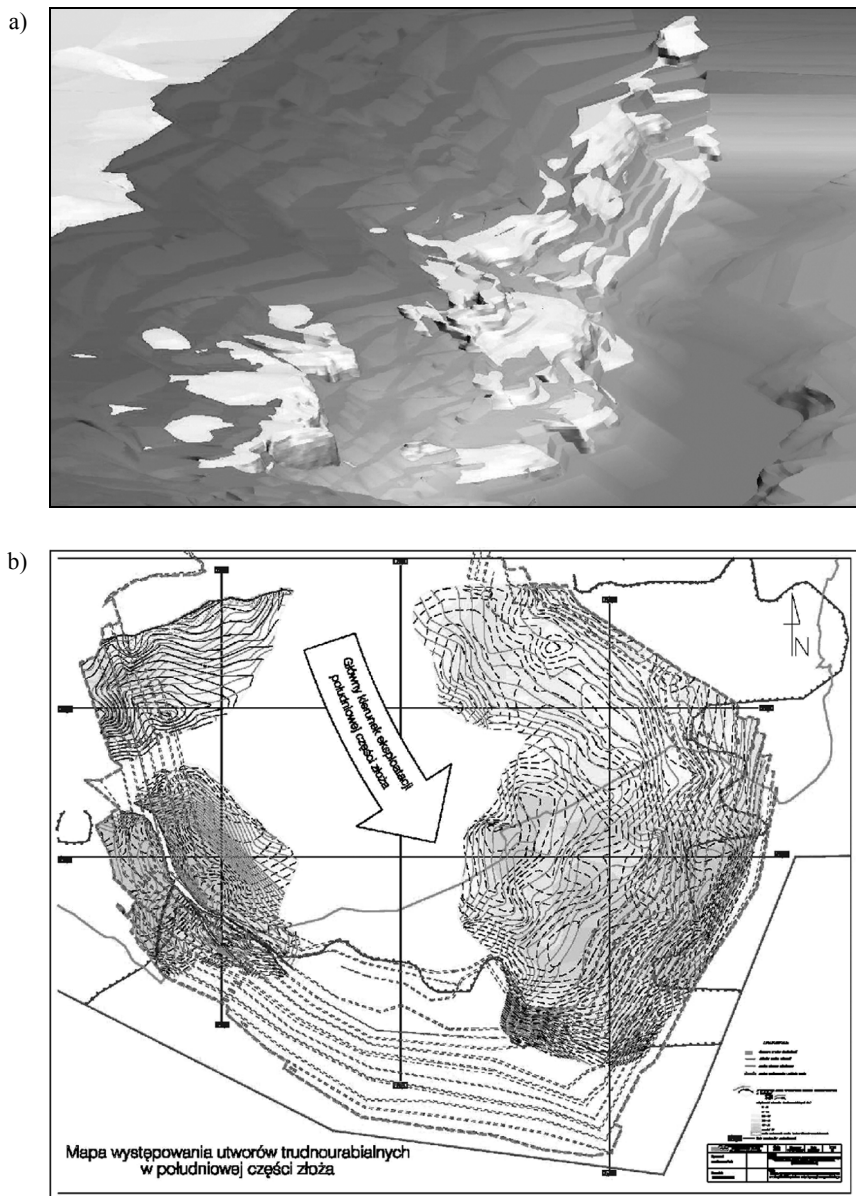
W tabeli 1 zestawiono prognozowane ilości utworów trudno urabialnych, do zakończenia eksploatacji w KWB „Turów”.

TABELA 1

Ilość trudno urabialnych gruntów i skał pozostałych do eksploatacji w KWB „Turów” [19]

Lata	Masa, [mln m ³]	Grunty i skały trudno urabialne, [mln m ³]	Udział gruntów i skał trudno urabialnych w urabianej masie, [%]
2010–2015	352,4	15,4	4,4
2016–2020	340,9	22,1	6,5
2021–2025	273,0	5,5	2,0
2026–2030	265,0	3,5	1,3
2031–2035	237,0	27,0	11,4
2036–2040	113,0	53,5	47,3
Razem:	1 581,3	127,0	8,0

Ilości utworów trudno urabialnych występujące w KWB „Turów”, w zasięgu eksploatacji w poszczególnych okresach, w porównaniu do KWB „Bełchatów”, są znacząco zróżnicowane, co wynika głównie z nieregularnego zalegania tych utworów (rys. 2).



Rys. 2. Przestrzenne rozmieszczenie utworów trudno urabialnych w obszarze eksploatacji w:
a) KWB „Turów” — południowa część złoża, b) KWB „Bełchatów” — Pole Bełchatów [9, 19]

W kopalni „Turów” występują one w zachodnim, południowo-zachodni, oraz we wschodnim obszarze projektowanej eksploatacji. Nie ma ich natomiast w centralnej części pola eksploatacji. Przy generalnym kierunku postępu eksploatacji złoża i prostopadłych do niego kierunkach frontów poszczególnych pięter, obszary występowania utworów trudno urabialnych stanowią dwa odrębne rejony (w KWB „Bełchatów” — 1 rejon, zbocza południowego). Dla zapewnienia odpowiednich postępów frontów w rejonie występowania utworów zwięzłych, jednoczesna eksploatacja wydaje się nieunikniona.

3. Klasyfikacje urabialności skał i gruntów

Wyznaczenie jednostkowych oporów urabiania w drodze bezpośrednich, przemysłowych pomiarów koparką wielonaczyniową jest uciążliwe, a często nawet niemożliwe (np. w fazie projektowania kopalni). Brak jest natomiast wystarczająco dokładnej metody do wyznaczania tych wielkości pomiarami pośrednimi oraz laboratoryjnymi, jak również w skali technicznej. 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 dużą niedokładność tych badań.

Nie oznacza to jednak, że nie podejmowano prób badania nominalnych oporów urabiania od wybranych właściwości geotechnicznych skał i gruntów. Przykładowo w pracy [14] podano zależności korelacyjne nominalnych oporów urabiania od wilgotności i procentowej zawartości frakcji ilastej, a w pracy [2] w zależności od kohezji (tab. 2).

TABELA 2

Funkcje empiryczne zależności nominalnego oporu urabiania od zawartości frakcji ilastej — I i wilgotności — W [14]

Rodzaj skały	Zawartość frakcji ilastej I , [%]	Zależność empiryczna, [kN/m]
Skały sypkie	< 10	$k_{Ln} \leq 20$
Gliny	10–30	$k_{Ln} = 12,74 - 1,04 W + 2,37 I$
Skały ilaste	30–80	$k_{Ln} = 27,8 - 0,86 W + 0,738 I$

Istnieje wiele parametrów zmiennych, które w różnym stopniu i intensywności wpływają na wielkość oporów urabiania, a wpływ ich wszystkich razem, stanowi bardzo skomplikowaną macierz. Dlatego też, w praktyce wykorzystuje się między innymi jednoparametrowe charakterystyki urabialności skał i gruntów.

Jednym z parametrów stosowanych do określania urabialności skał w jednoparametrowych charakterystykach są współczynniki jednostkowego liniowego k_L lub powierzchniowego k_F oporu urabiania.

W Polsce w oparciu o ten parametr, około 40 lat temu w Poltegorze, opracowano klasyfikację urabialności skał koparkami wielonaczyniowymi (tab. 3).

TABELA 3

Przykładowe klasy urabialności skał w KWB „Belchatów” [5, 11]

Klasa urabialności	Nazwa klasy	Jednostkowe liniowe opory kopania k_L , [kN/m]	Współczynnik zwięzłości f	Przykładowe rodzaje skał występujących najczęściej w danych klasach urabialności
I	łatwo urabialne	0–20	0,3–0,5	piaski, żwiry, pyły ilaste
II	średnio urabialne	20–40	0,5–1,2	piaski gliniaste, gliny piaszczyste, iły pylaste
III	trudno urabialne	40–60	1,2–1,8	gliny zwałowe, iły
IV	bardzo trudno urabialne	60–90	1,8–2,2	ciężkie iły zwałowe, iły poznańskie,
V	skały wymagające technologii i maszyn specjalnych	> 90	2,2–11,6	margle, wapienie, zlepieńce, itp.

Obecnie klasyfikacja ta wymaga modyfikacji ze względu na postęp w produkcji koparek i możliwości mechanicznego urabiania. W tabeli 4 przedstawiono propozycję zmodyfikowanej klasyfikacji.

TABELA 4

Zmodyfikowana klasyfikacja urabialności skał koparkami wielonaczyniowymi [7]

Skała		Nominalne opory urabiania skał	
Kategoria	Rodzaj	k_L , [kN/m]	k_F , [kN/m ²]
I	Łatwo urabialne (piaski, żwiry, piaski gliniaste, gliny piaszczyste, humus)	0–40	0–360
II	Średnio urabialne (gliny, iły, węgiel brunatny)	40–60 (90)	360–540 (800)
IIIA	Trudno urabialne dla koparek starego typu (gliny i iły trudno urabialne, średnio twardy węgiel brunatny)	60–90	540–800
IIIB	Trudno urabialne dla koparek nowych (twarde gliny zwałowe i iły, łupek ilasty, twardy węgiel brunatny)	90–120	800–1 100
IV	Bardzo trudno urabialne – skały średnio zwięzłe (margle, wapienie, kreda, gips, zlepieńce, piaskowce, bardzo twardy węgiel brunatny)	120–150 i więcej	> 1 100

Klasyfikacje te przyjmują za podstawę wprost proporcjonalną zależność siły urabiania od wnikażącej w caliznę długości ostrza skrawającego lub od powierzchni przekroju wióra. Wywodzą się one z czasów, gdy do urabiania surowców mineralnych używano wyłącznie maszyn jednonaczyniowych, a badania eksperymentalne procesu urabiania jednym naczyniem prowadzone mogły być zarówno w warunkach eksploatacyjnych, jak i laboratoryjnych. Ten model przeniesiony do obszaru maszyn o ruchu ciągłym wymagał znacznych przeróbek, przede wszystkim z powodu drugiego ruchu roboczego (posuwu bocznego wysięgnika urabiającego), który siłą rzeczy eliminował z procesu urabiania jedną z bocznych krawędzi naczynia. Współczynniki te dobrze opisują grunty, które nigdy nie stwarzały problemów eksploatacyjnych, takie jak piaski czy lekko zwarte gliny. Natomiast w warunkach występowania trudno urabialnych kompleksów, należy z ostrożnością posługiwać się tymi współczynnikami [1, 5, 14].

Drugim, często wykorzystywanym do określenia stopnia urabialności parametrem jest współczynnik zwięzłości oraz klasyfikacja skał Protodiakonowa, mające związek z wytrzymałością skały na ściskanie:

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

gdzie R_C oznacza wytrzymałość na ściskanie, MPa.

W tabeli 3, przykładowo zestawiono wartości jednostkowych liniowych oporów urabiania k_L oraz odpowiadającą im wartość wskaźnika zwięzłości f , dla rodzajów skał występujących w KWB „Bełchatów”.

Ze względu na możliwość urabiania metodą skrawania w KWB „Bełchatów” wydzielono trzy grupy skał:

- Grupa 1. skały bardzo zwięzłe — nieurabiane maszynowo metodą skrawania $f > 2,0$;
- Grupa 2. skały średniozwięzłe — stwarzające możliwości urabiania maszynowego metodą skrawania $1,5 < f < 2,0$;
- Grupa 3. skały mało zwięzłe — urabiane maszynowo metodą skrawania $0,1 < f < 1,5$.

Jednparametrowe klasyfikacje urabialności skał i gruntów dają tylko ogólny (wstępny) obraz możliwości wykorzystania koparek wielonaczyniowych do pracy w gruntach trudno urabialnych. Wynika to z faktu, iż metody te pomijają szereg bardzo istotnych czynników, wpływających na możliwości eksploatacyjne w warunkach występowania trudno urabialnego nadkładu. Na przykład w metodzie traktującej jednostkowe liniowe opory urabiania jako wyróżnik urabianego ośrodka, pomija się wpływ przede wszystkim wielkości i kształtu odcinanych wiórów, czyli parametrów pracy koparki i rodzaju stosowanych czerpaków.

Natomiast wykorzystanie wskaźnika zwięzłości Protodiakonowa opiera się jedynie na pojedynczej właściwości skały — wytrzymałości na ściskanie R_C . Doświadczenia wskazują, że istotny wpływ na możliwości eksploatacji skał trudno urabialnych ma również struktura

oraz stopień erozji górotworu skalnego, a nie jedynie parametry fizyko-mechaniczne skały budującej ten masyw. W pracach badawczych dotyczących możliwości mechanicznego urabiania skał i gruntów o dużych oporach urabiania, autorzy uwzględniają różne parametry skał i górotworu (tab. 5).

TABELA 5

Wpływ parametrów na możliwość mechanicznego urabiania skał wg różnych autorów

Autor badań (rok)	Prędkość fali sejsmicznej	Wytrzymałość			Spękania/Ciągłość						Abrazyjność	Zwietrzenie masywu
		Wytrzymałość na ściskanie R_c	PLT	Młotek Shmida	Liczba systemów spękań	Objętość spękań	Szorstkość spękań	Orientacja spękań	Odległość spękań	Wypełnienie spękań		
Caterpillar (2004)	x											
Atkinson (1971)	x											
Franklin (1971)		x	x						x			x
Bailey (1975)	x											
Weaver (1975)	x	x						x	x	x		x
Church (1981)	x											
Kirsten (1982)		x			x	x	x	x	x			
Muftuoglu (1983)		x	x						x			x
Abdul Latif et al. (1983)			x						x			
Smith (1986)		x						x	x	x		x
Komatsu (1987)	x											
Singh (1987)	x		x						x		x	x
Bozdogan (1988)			x						x			
Karpuz (1990)	x	x		x					x			x
MacGregor et al. (1993)	x	x			x		x		x			x
Pettifer and Fookes (1994)			x					x	x			x
Kramadibrata (1998)		x	x						x	x	x	
Hadjigeorgiou and Poulin (1998)			x		x	x	x					x
Basarir and Karpuz (2004)	x	x	x	x					x			

Z powyższej tabeli wynika, że często wykorzystywanymi właściwościami, przy ocenie możliwości mechanicznego urabiania, są: prędkość przemieszczania się fali sejsmicznej, wytrzymałość na ściskanie (lub wskaźnik obciążenia punktowego), odległość spękań oraz stopień erozji. Porównując wymienione cechy, z cechami uwzględnianymi w międzynarodowych geomechanicznych klasyfikacjach górotworu skalnego, np.: *RMR* (klasyfikacja Bieniawskiego), *Q-System* (klasyfikacja Bartona) zauważalne jest ich częściowe powtórzenie.

W pracach [3, 4, 15] autorzy wykazali dość ścisłą korelację pomiędzy wydajnością i postępem drążenia tuneli, a wartością wskaźnika *RMR*. Natomiast w pracy [10] przedstawiono zależności wydajności od wskaźnika *RMR* oraz *Q*. Zależności wyznaczono na podstawie połączonych danych produkcyjnych z 4 kopalń. W trzech pracował kombajn odkrywkowy VASM 2D, a w jednej koparka wielonaczyniowa kołowa O&K S630. Wyniki z tych prac zestawiono w tabeli 6.

TABELA 6

**Zależność wydajności urabiania od jakości górotworu
wyznaczonej poprzez klasyfikacje *RMR* i *Q-System***

Klasyfikacja, źródło	Parametr	Jednostka	Funkcja estymowana	R^2
<i>RMR</i> , [3, 4]	wydajność	m ³ /godz.	$Y = 530,84 \times 10^{(-0,019RMR)}$	0,83
<i>RMR</i> , [15]	postęp	m/godz.	$Y = 2,39 \times 10^{(-0,00873RMR)}$	0,79
<i>RMR</i> , [10]	wydajność	m ³ /godz.	$Y = 8374,6 - 4515,4 \log(RMR)$	0,61
<i>Q-System</i> , [10]	wydajność	m ³ /godz.	$Y = 858,32 - 673,98 \log(Q\text{-}System)$	0,94

W pracach tych nie określono, wpływu zmiany parametrów technologicznych pracy na zaprezentowane zależności.

Klasyfikacja *RMR* (*Rock Mass Rating*) to jedna z najbardziej rozpowszechnionych klasyfikacji geotechnicznych używana w projektowaniu wyrobisk górniczych oraz określaniu jakości masywu skalnego. Klasyfikacja ta oparta jest na sześciu podstawowych parametrach: wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie, wskaźniku spękania masywu skalnego — *RQD*, średniej odległości pomiędzy spękaniami, charakterystyce stanu spękań (wypełnienie, szorstkość, cementacja), stopniu zawodnienia masywu skalnego, orientacji płaszczyzn nieciągłości. Wyróżnia ona pięć klas jakości górotworu skalnego (tab. 7).

Natomiast klasyfikacja *Q-System*, charakteryzuje górotwór za pomocą wskaźnika jakości *Q*, obliczanego jako [10] (tab. 8):

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (2)$$

gdzie:

RQD — wskaźnik spękania masywu skalnego,

J_n — wskaźnik liczby systemów spękań,

J_r — wskaźnik określający chropowatość powierzchni spękań,

J_a — wskaźnik określający zwietrzenie powierzchni spękań,

J_w — wskaźnik dopływu wody,

SRF — wskaźnik stanu naprężeń.

TABELA 7

Klasyfikacja górotworu w zależności od wskaźnika RMR [10]

Lp.	Nazwa klasy	Wartość RMR
1.	bardzo dobra	100–81
2.	dobra	80–61
3.	średnia	60–41
4.	słaba	40–21
5.	bardzo słaba	20–0

TABELA 8

Klasyfikacja górotworu w zależności od wskaźnika Q [10]

Lp.	Opis górotworu	Q
1.	skrajnie dobry	400–1000
2.	wyjątkowo dobry	100–400
3.	bardzo dobry	40–100
4.	dobry	10–40
5.	średni	4–10
6.	słaby	1–4
7.	bardzo słaby	0,1–1
8.	wyjątkowo słaby	0,01–0,1
9.	skrajnie słaby	0,001–0,01

Wykorzystanie klasyfikacji geomechanicznych górotworu skalnego w dość dobry sposób odwzorowuje jego jakość. Uwzględniane są zarówno indywidualne cechy skały, jak również górotworu. Niestety brak jest danych dotyczących, zależności osiąganych wyników urabiania od wartości wskaźników opisujących górotwór skalny, przy uwzględnieniu różnych parametrów technologicznych pracy maszyn.

4. Wpływ występowania trudno urabialnych skał i gruntów na wybrane parametry procesu produkcyjnego

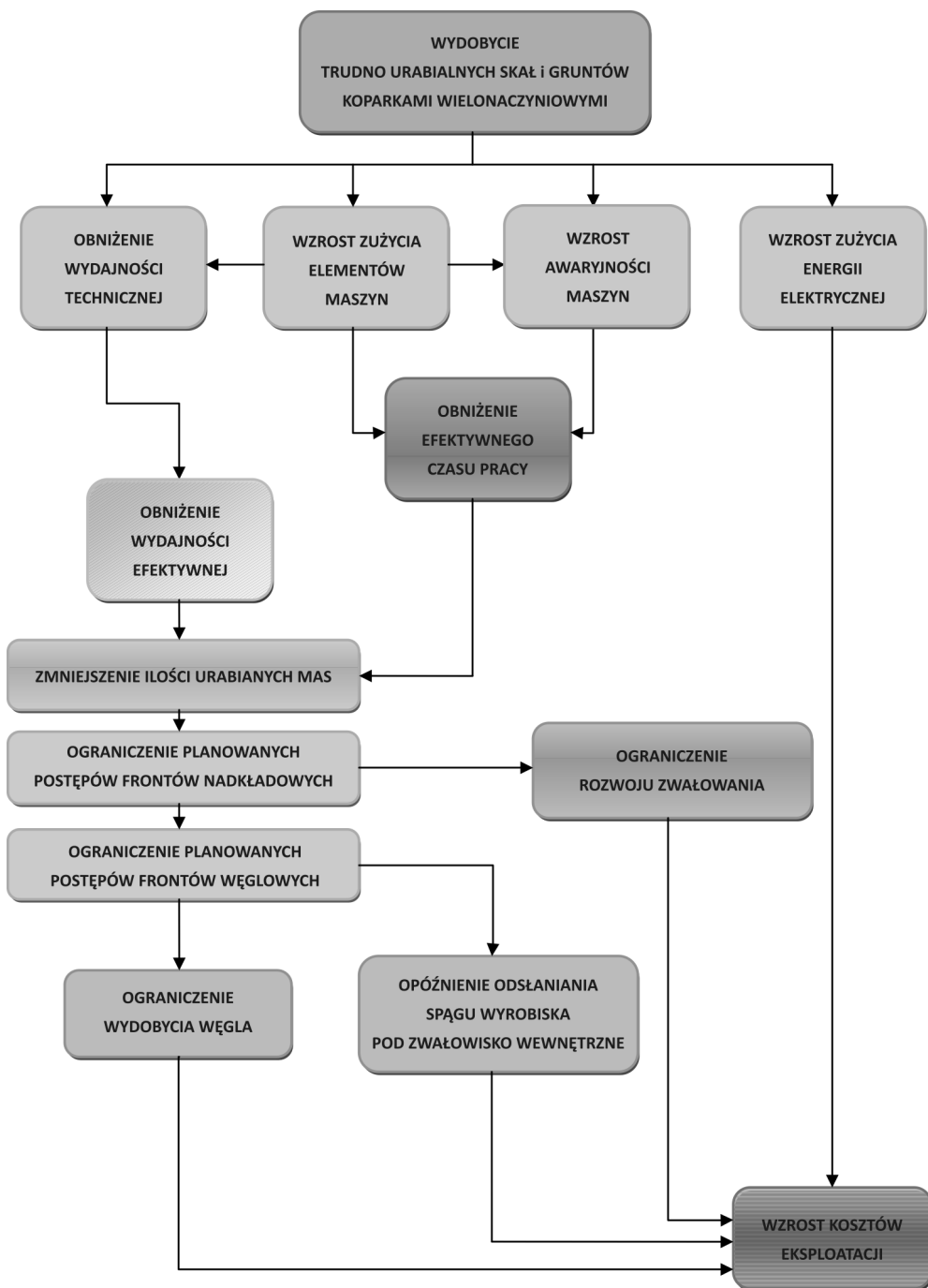
Koparki kołowe w początkowym okresie ich stosowania, przeznaczone były do pracy, podobnie jak dominujące przed ich wprowadzeniem koparki łańcuchowe, w jednorodnych gruntach lekko i średnio urabialnych. Piaszczyste i lekko zwarte gliny nie stwarzają większych problemów podczas urabiania, co wpływa na dość wiarygodne określanie urabialności tych gruntów, dzięki czemu można prognozować przebieg i efekty procesu urabiania koparkami wielonaczyniowymi. Większość koparek, które pracują w kopalniach węgla brunatnego to koparki stare, zbudowane w latach 60 i 70 ubiegłego wieku, a więc mające średnio około 40–50 lat, które dysponują małymi siłami kopania rzędu 60÷70 kN/m. Przeznaczone są one do pracy w gruntach lekko i średnio urabialnych. Jednak ze względu na konieczność urabiania trudno urabialnych gruntów i skał nadkładowych, obserwuje się tendencję do rozszerzania zakresu ich stosowania. Spowodowało to wzrost wymagań wobec tych maszyn, w tym między innymi wymagań dotyczących nominalnych sił kopania, a w konsekwencji poprawy efektów eksploatacyjnych przy eksploatacji trudno urabialnego nadkładu. Część koparek zostało zmodernizowanych poprzez:

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

Jednak często zabiegi te nie są wystarczające, co wpływa niekorzystnie na przebieg procesu eksploatacji (rys. 3).

Z przedstawionego na rysunku 3 diagramu, wynika, że konieczność urabiania warstw nadkładu o podwyższonych oporach urabiania, wpływa na obniżenie wydajności technicznej, dodatkowo poprzez wzrost zużycia elementów urabiających oraz awaryjności maszyn, dochodzi do obniżenia efektywnego czasu pracy. Prowadzi to do ograniczenia zdolności wydobywczej i postępów frontów eksploatacyjnych nadkładowych, węglowych jak również zwałowych. W niekorzystnych okolicznościach może dojść do zakłócenia dostaw węgla do elektrowni.

W każdej kopalni, ze względu na odmienne: warunki zalegania skał i gruntów trudno urabialnych, ilość oraz parametry fizyko-mechaniczne, jak również wyposażenie w maszyny podstawowe, oddziaływanie występowania utworów zwięzłych jest zróżnicowane pod względem siły i natężenia.



Rys. 3. Schemat wpływu występowania trudno urabialnego nadkładu na efekty eksploatacyjne

Rzeczywiste wydajności eksploatacji gruntów trudno urabialnych w kopalniach „Bełchatów” i „Turów”, osiągane przez koparki wielonaczyniowe notowane są na zbliżonym poziomie. W KWB „Bełchatów”, koparki SRs 2000 eksploatujące utwory trudno urabialne osiągają wydajność rzeczywistą w przedziale 500÷900 m³/h (wskaźnik wykorzystania wydajności teoretycznej 0,08 do 0,15). Wartości wydajności rzeczywistej wybranych koparek pracujących w KWB „Turów”, przedstawiono w tabeli 9.

Obliczone średnie wydajności i wskaźniki efektywności: czasu — E_T , wydajności — E_Q , całkowitej — E_C są dużo niższe w porównaniu do wskaźników uzyskiwanych w przeciętnych dla tych samych koparek, szczególnie dotyczy to wskaźników wykorzystania wydajności, co jest w pełni uzasadnione.

Wydajność rzeczywista koparki K-5, zmniejszyła się o 64% (z 2 421 m³/godz. do 874 m³/godz.), a koparki K-14, o 36% (z 1 841 m³/godz. do 1 183 m³/godz.). Przyjmując umowny blok nadkładu, o objętości 2 mln m³, urabiany koparką osiągającą wyniki eksploatacyjne na poziomie koparki K-5, to czas eksploatacji tego bloku, dla przeciętnych warunków pracy, wyniesie 826 godz., natomiast dla pracy w utworach trudno urabialnych 2 288 godz. Biorąc pod uwagę, że w Kopalni Turów do urobienia pozostało jeszcze około 130 mln m³ utworów zwięzłych, nawet nie duża różnica pomiędzy prognozowaną wydajnością koparek wielonaczyniowych, a wydajnością rzeczywistą, może spowodować poważne zakłócenie w realizacji zadań wydobywczych.

W przypadku wcześniejszego rozpoznania warunków zalegania utworów trudno urabialnych oraz ich cech i ilości, planując postępy frontów eksploatacyjnych, można uwzględnić konieczność pracy koparek z obniżoną wydajnością. Często występowanie utworów zwięzłych stwierdza się dopiero podczas prowadzonych robót eksploatacyjnych. Pojawienie się dużych ilości trudno urabialnego nadkładu, może prowadzić do istotnych zmian przestrzennego modelu postępów eksploatacji złoża i zwałowania nadkładu. W pewnych okolicznościach, możliwości dokonywania takich zmian są znacząco ograniczone.

Urabianie zwięzłego nadkładu, zwiększa awaryjność maszyn oraz zużycie części roboczych. Przykładowo, w 2009 roku w KWB „Turów”, w wyniku eksploatacji utworów trudno urabialnych, wymieniono 4 434 czerpaków (tab. 10) oraz ponad 10 tys. elementów skrawających czerpaków.

Wartość wskaźnika, informującego o ilości masy przypadającej na jeden zużyty czerpak wynosiła w KWB „Turów” 11,3 tys. m³, a w KWB „Bełchatów” 234,8 tys. m³. Duża rozpiętość obliczonego wskaźnika pomiędzy kopalniami bierze się głównie z odmiennych parametrów fizyko-mechanicznych i warunków zalegania, jak również z procentowej ilości utworów trudno urabialnych w całej urabianej masie.

W KWB „Turów” na bardzo duże zużycie czerpaków koparek, ich elementów skrawających oraz innych narażonych na bezpośredni kontakt z urobkiem elementów maszyn, głównie wpływają cechy urabianych gruntów. Utwory trudno urabialne składają się głównie z konglomeratów ostrokrawędzistego żwiru kwarcytowego połączonego lepiszczem ilowym z licznym udziałem wtrąceń w postaci sferosyderytów i charakteryzują się one bardzo dużą wytrzymałością na ścinanie i silną abrazyjnością.

TABELA 9

Zestawienie parametrów i wskaźników produkcyjnych wybranych koparek pracujących w utworach trudno urabialnych w KWB „Turów” [19]

Nr zakładowy koparki	Typ koparki	Wydajność teoretyczna, [m ³ /godz.]	Praca w utworach trudno urabialnych				Średnie wyniki w przeciętnych warunkach			
			lata	E_T , [%]	E_O , [%]	E_C , [%]	lata	E_T , [%]	E_O , [%]	E_C , [%]
K-5	KWK-1400	4 370	1981–1983	36,5	20,0	7,3	1984–1998	49	55,4	27,1
K-14	SchRs-1200 od 1996 r. KWK-1200M	3 500	1997–2004	35	33,8	11,8	1967–1978, 1980–1990	44	52,6	23,1

TABELA 10

Porównanie zużycia czerpaków w polskich kopalniach węgla brunatnego [19]

Kopalnia	Ilość wymienionych czerpaków	Ilość urobionej masy, [tys. m ³]	Ilość masy [tys. m ³] przypadająca na jeden zużyty czepak
KWB Konin SA	852	63 896	75,00
PGE KWB Bełchatów SA	640	150 253	234,77
KWB Adamów SA	399	32 729	82,03
PGE KWB Turów SA	4434	49 899	11,25

Parametrem determinującym proces zużycia czerpaków jest głównie odporność na ścieranie zależna od składników stopowych stali takich jak: węgiel, chrom, nikiel, mangan. Procesowi urabiania gruntów trudno urabialnych towarzyszy wzrost temperatury elementów urabiających, co powoduje znaczny spadek twardości elementów skrawających. Dodatkowy wpływ odgrywa również formowana powierzchnia o ujemnym kącie skrawania. Stopniowe powiększanie w miarę zużycia powierzchni współpracy o ujemnym kącie skrawania odsłania części ostrza nie objętego napawaniem, co przyspiesza zdecydowanie szybkość zużycia. Podczas procesu skrawania gruntów trudno urabialnych siły oporu wzrastają do wartości przekraczających obwodową siłę skrawania i mają najbardziej destrukcyjny wpływ na elementy skrawające.

5. Podsumowanie

Dla zapewnienia realizacji procesu odkrywkowej eksploatacji złóż, wymagane jest zapewnienie odpowiedniej zdolności wydobywczej maszyn, wynikającej z zaplanowanych zadań produkcyjnych. Pojawienie się na frontach eksploatacyjnych utworów, których opory urabiania przewyższają nominalne siły kopania maszyn, może prowadzić do istotnych zaburzeń w procesie eksploatacji. W przypadkach takich dochodzi do niekorzystnego obniżania się wskaźników eksploatacyjnych zarówno koparek, jak również całych układów technologicznych. W Polsce 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). Wymaga to optymalnej adaptacji mechanicznych elementów konstrukcji, jak również parametrów technologicznych pracy w odniesieniu do właściwości urabianych skał.

Z przedstawionych danych wynika, że największe ilości skał i gruntów trudno urabialnych eksploatowane będą w Kopalni Turów. Nakładając to na dość trudną sytuację przestrzenną w wyrobisku oraz sposób zalegania w stosunku do kierunku eksploatacji złoża i kierunków postępu poszczególnych pięter, spodziewać się można wystąpienia dość znacznych utrudnień w realizacji planowanych zadań wydobywczych. Co prawda Kopalnia „Turów”, jako jedyna w kraju dysponuje koparką (KWK 910), o nominalnych siłach kopania do 180 kN/m, przystosowaną do pracy w utworach trudno urabialnych. Ale ze względu na konieczność urabiania jednocześnie skał i gruntów trudno urabialnych w dwóch rejonach, może to być niewystarczające.

Do określania wskaźników eksploatacyjnych koparek przy urabiania utworów związanych, głównie bazuje się na danych historycznych. Bezpośrednie przenoszenie wyników, obarczone jest sporym ryzykiem, związanym z dość dużą anizotropowością urabianych skał i gruntów. Dużym ryzykiem jest również prognozowanie wydajności technicznej, na podsta-

wie wartości nominalnych liniowych lub powierzchniowych oporów urabiania. Jak wspomniano brak jest możliwości określania tych oporów w warunkach laboratoryjnych przy uwzględnieniu parametrów technologicznych pracy koparek. Prowadzone są również próby wykorzystania klasyfikacji geomechanicznych górotworu skalnego, jako zmiennej w prognozowaniu wydajności. Każdy ze sposobów posiada pewne zalety, ale również i wady. Urabianie gruntów i skał trudno urabialnych jest bardzo złożonym zagadnieniem, które do tej pory nie zostało opisane modelem matematycznym, w pełni odwzorowującym proces eksploatacji.

Wymusiło to poszukiwanie pewnych rozwiązań pomocniczych, które minimalizują niekorzystne efekty, występujące podczas pracy koparek wielonaczyniowych w warunkach występowania utworów zwięzłych, do których między innymi, zaliczyć można stosowanie [11, 16–18]:

- koła czerpakowego z dużą liczbą (min. 16 szt.) czerpaków, zapewniające możliwość jednoczesnego udziału czterech czerpaków w procesie skrawania;
- napędu o dużej obwodowej sile skrawania — przystosowanego do pokonywania jednostkowych (liniowych) oporów skrawania, ze sprzęgłem przeciążeniowym szybkooddziałującym wszystkie nadwyżki dynamiczne;
- możliwości rozdrobnienia urabianych mas „małym” wiórem — przypadającym na dużą ilość czerpaków biorących jednoczesny udział w skrawaniu — ze specjalnie ukształtowanymi ostrzami skrawającymi o wysokich parametrach wytrzymałościowych i wysokiej trwałości;
- elementów konstrukcyjnych czerpaków, które w sposób szczególny uwzględniają potrzebę minimalizacji kosztów remontowych związanych z przewidywaną koniecznością częstych wymian.

LITERATURA

- [1] *Babiarz S., Dudek D.*: Kronika awarii i katastrof maszyn podstawowych w polskim górnictwie odkrywkowym; Wrocław, 2007
- [2] *Drebenstedt C.*: State of the art. And new concept for prediction of cutting resistance on example of continuous mining equipment, Scientific Reports on Resource issues, Vol. 1, Freiberg, 2010
- [3] *Fowell R.J., Johnson S.T.*: Cuttability assessment applied to drag tool tunneling machines. Proc. Tunneling 76, The Institute of Mining and Metallurgy, London, 1991
- [4] *Fowell R.J., Johnson S.T.*: Rock classification and assessment for rapid excavation. Proc. Symp. Strata Mechanic, Ed. 1. W. Farmer, Elsevier, New York, 1982
- [5] *Kolkiewicz W.*: Zastosowanie maszyn podstawowych w górnictwie odkrywkowym. Wydawnictwo Śląsk; 1974
- [6] *Kozioł W., Kaczmarewski T.*: Problemy technologiczno-eksploatacyjne wydobywania skał trudno urabialnych w polskich kopalniach węgla brunatnego. Górnictwo Odkrywkowe nr 5–6, 1990
- [7] *Kozioł W., Machniak Ł.*: Wybrane technologie wydobywania skał trudno urabialnych w kopalniach węgla brunatnego. Górnictwo i Geoinżynieria, R.33 z. 2, 2009
- [8] *Kozioł W.*: Rozwój technologii wydobywania skał trudno urabialnych. Górnictwo Odkrywkowe nr 5–6; 1990
- [9] *Kozioł W., Sośniak E., Jończyk W., Machniak Ł.*: Wydobywanie skał trudno urabialnych w kopalniach węgla brunatnego. Górnictwo Odkrywkowe nr 5–6; 2007
- [10] *Kramadibrata S.*: The influence of rock mass and intact rock properties on the design of surface mines with particular reference to the excavatability of rock. Praca doktorska, Curtin University of Technology, 1996

- [11] Materiały symposium nt systemów prowadzenia robót strzałowych z zastosowaniem nieelektrycznego systemu inicjowania oraz wdrażaniem nowoczesnego elektronicznego systemu typu i-kon, Bełchatów, 2009 (materiał niepublikowany)
- [12] Pole Bełchatów. Technologia eksploatacji węgla w rowie II rzędu z wykorzystaniem koparki SchRs 4600 × 30; Poltegor-projekt, Wrocław, kwiecień 2009
- [13] Pole Szczerców. Aktualizacja konturu zboczy stałych wyrobiska od zbocza tymczasowo — stałego do końca eksploatacji. Poltegor-projekt, Wrocław
- [14] Praca zbiorowa. Identyfikacja i modelowanie warunków zalegania oraz wybierania trudno urabialnych kompleksów geologicznych zaburzonych złóż węgla brunatnego; Poltegor-Instytut, Wrocław, 1995
- [15] *Sanbak L.A.*: Roadheader drift excavation and geomechanics rock classification. Proc. Rapid Excavation Tunneling Conf. AIME, New York, Vol. 2, 1985
- [16] *Szepietowski W.*: Wybrane problemy oceny obciążenia koła czerpakowego od składowej poziomej siły urabiania. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 2, 2004
- [17] *Szepietowski W.*: Wpływ liczby czerpaków na pulsację obciążenia koła czerpakowego. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 4–5, 2009
- [18] *Wocka N.*: Czerpaki do urabiania utworów bardzo trudno urabialnych koparkami kołowymi. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 5–6, 2007
- [19] Wyposażenie Kopalni w maszyny podstawowe z uwzględnieniem dodatkowego bloku energetycznego. Praca niepublikowana, AGH, Kraków, 2010