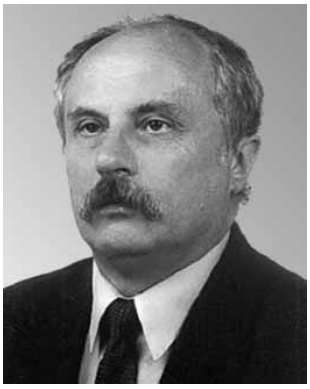
UKD 622.333: 622.2: 622.23

Projektowanie frezujących organów ślimakowych dla zwiększenia wychodu grubych sortymentów węgla

Designing of the worm-type cutting drums to increase the coarse-grained coal grade output



Prof. dr hab. inż. Krzysztof Krauze)*

Dr inż. Łukasz Bołoz)*

Dr inż. Tomasz Wydro)*

Treść: Urabianie mechaniczne poprzez frezowanie węgla kamiennego w wyrobiskach ścianowych powoduje powstawanie znacznych ilości frakcji najmniej pożądanej, czyli miału i pyłu. Skutkuje to obniżeniem wartości pozyskanego minerału, wzrostem zapylenia i niebezpieczeństwa wybuchu pyłu. Ponadto zachodzi konieczność zastosowania skutecznego zraszania. Pojawienie się w urobku większej ilości sortymentu grubszego umożliwia zmniejszenie wspomnianych wcześniej niedogodności, co skutkuje zwiększeniem efektywności wybierania. Jest to możliwe, gdy proces doboru parametrów konstrukcyjnych i kinematycznych frezujących organów ślimakowych zostanie przeprowadzony prawidłowo z uwzględnieniem tego aspektu. Zaproponowana procedura doboru tych parametrów, poparta eksperymentem w warunkach przemysłowych, umożliwia osiągnięcie zamierzonego celu, jakim jest zwiększenie ilości frakcji grubszych, przy urabianiu frezującymi organami ślimakowymi.

Abstract: Hard coal mechanical cutting within longwall excavations is accompanied by formation of dispensable coal fractions, i.e. fine coal and dust. This results in reduction of the exploited material value and dustiness, what increases the hazard of the dust explosion. Moreover, application of suitable water spraying system is necessary. Occurrence of big amount of the coarser grade winning allows to reduce the mentioned disadvantages which in turn results in the output efficiency improvement. That is possible only if the process of selection of construction and kinematical parameters of the worm-type cutting drums is conducted properly. The proposed procedure of the selection of these parameters aided with experiment in industrial conditions allows to obtain the targeted purpose, i.e. increase of the volume of coarse fractions by winning with the use of the worm-type cutting drums.

Słowa kluczowe:

organy ślimakowe, projektowanie organów ślimakowych, sortyment urobku, kombajny ścianowe

Key words:

worm-type cutting drums, designing of worm-type cutting drum, winning grade, longwall shearers

1. Wprowadzenie

Wyrobisko ścianowe, nazywane popularnie ścianą, wyposażone jest w zestaw maszyn i urządzeń nazywanych kompleksem ścianowym. W zależności jaką maszynę urabiającą zastosuje się w tym zestawie (kombajn, strug), to kompleks będzie nazywany kompleksem kombajnowym lub strugowym. Eksploatacja węgla kamiennego, brunatnego, soli kamiennej czy potasowej systemem ścianowym możliwa jest przy zastosowaniu zmechanizowanych kompleksów ścianowych. Obecnie najczęściej produkuje się i stosuje kompleksy kombajnowe, rzadziej strugowe (cienkie pokłady) [6]. W ścianach o wysokości powyżej 1,5 m stosuje się wyłącznie kompleksy ścianowe, gdzie maszyną urabiającą jest frezujący kombajn ścianowy. Poza nią w skład kompleksu ścianowego wchodzi zmechanizowana obudowa ścianowa, ścianowy przenośnik zgrzebłowy oraz podścianowy przenośnik zgrzebłowy, który wyprowadzaną strugę urobku przekazuje na przenośnik taśmowy [1, 12].

1.1. Zmechanizowane, ścianowe kompleksy kombajnowe

Wspomniano wcześniej, że większość kompleksów ścianowych stosowanych w wyrobiskach ścianowych w Polsce,

*) AGH w Krakowie

ale również w innych krajach, stanowią ścianowe kompleksy kombajnowe. W znacznym stopniu decydują one właśnie o wielkości wydobycia i uziarnieniu urobku [1, 12].

Parametry maszyn wchodzących w skład kompleksu kombajnowego winne być tak dobrane do konkretnego wyrobiska ścianowego i występujących w nim warunków górniczo-geologicznych, by możliwe było uzyskanie założonego wydobycia V_d i sortymentu (uziarnienia) urobku. Dlatego też zastosowanie w wyrobiskach ścianowych kompleksu kombajnowego wymaga:

- ustalenia wytycznych doboru maszyn i urządzeń kompleksu ścianowego kombajnowego,
- określenia własności węgla (wskaźnik skrawalności A, zwięzłości f, wytrzymałość Rc, kąt bocznego rozkruszania y, budowa węgla) w przedmiotowym pokładzie,
- analizy parametrów pokładu i wyrobiska ścianowego (długość L, wysokość H, wybieg ściany, zaleganie),
- ustalenia wymaganego wydobycia dobowego V_d,
- określenia parametrów konstrukcyjnych, kinematycznych i energetycznych ścianowego kompleksu kombajnowego,
- oceny możliwości pozyskania grubych sortymentów węgla.

Realizacja wymienionych zadań umożliwi ustalenie czy w przedmiotowym pokładzie może pracować kompleks kombajnowy lub strugowy oraz jakie powinien posiadać parametry, by uzyskać założone wydobycie dobowe oraz zadawalającą granulację urobku.

1.2. Klasyfikacja uziarnienia

Pozyskany w procesie urabiania materiał (niesortowany) składa się z ziaren o różnej granulacji (wymiarach), który w procesie wzbogacania poddany jest klasyfikacji (sortyment). Kopalnie oferują w następstwie tego węgiel o różnym sortymencie (kostka, orzech, groszek, miał) i oczywiście w różnej cenie. Najtańszym sortymentem w tym zestawieniu jest miał, a najdroższa kostka. Stąd też ważnym jest pozyskanie z wyrobiska ścianowego urobku, w skład którego wchodzi jak największa ilość ziaren powyżej 8mm i jak najmniejsza ilość pyłu [11].

1.3. Uzasadnienie pozyskania węgla o większej granulacji

Uzasadnienie pozyskania węgla o większej granulacji należy rozpatrywać w aspekcie technicznym i ekonomicznym.

Aspekt techniczny tego zagadnienia związany jest z energochłonnością urabiania [2, 3, 5] oraz wzbogacania [4] i przemawia jednoznacznie na korzyść urobku o większej granulacji. Frakcję poniżej 1 mm można poddać procesowi granulacji [7]. Również zmniejszenie zapylenia jest cechą pozytywną tego zjawiska [6].

Natomiast aspekt ekonomiczny szczególnie przemawia na korzyść grubszych sortymentów, gdyż ich cena jest dużo większa niż miału. Również koszty pozyskania są mniejsze [6]. Stąd zasadnym jest pytanie czy możliwe jest pozyskanie węgla o większej granulacji oraz jakie muszą być spełnione warunki i wymagania.

2. Frezujące kombajny ścianowe

Maszyny wchodzące w skład kompleksu kombajnowego współpracują ze sobą podczas eksploatacji, co w sposób oczywisty wymusza ich kompatybilność. Pod tym pojęciem rozumieć należy taki ich dobór, by w efekcie uzyskać założone wydobycie dobowe [12]. Jednak dla każdego kompleksu ścianowego istnieją pewne zakresy wartości parametrów poszczególnych maszyn, które umożliwią ich współprace, a nie pozwolą na wykorzystanie w pełni ich potencjału. Dlatego też koniecznym jest ustalenie właściwych i optymalnych parametrów tych maszyn z uwzględnieniem występujących w miejscu pracy warunków.

Mając powyższe na uwadze, można sugerować, że dla założonego poziomu wydobycia, przyjętej technologii eksploatacji ściany oraz jej parametrów, frezujący kombajn ścianowy powinien posiadać następujące parametry konstrukcyjne i kinematyczne:

- prędkość posuwu regulowaną od zera do wartości maksymalnej, która nie powinna przekraczać najmniejszej prędkości wynikającej ze współpracy maszyn kompleksu ścianowego,
- zakres wysokości urabiania większy od wysokości ściany H,
- dwa organy urabiające o średnicy D_s i zabiorze Z.

Wartość założonego wydobycia dobowego i parametry ściany umożliwiają przyjęcie wymaganych parametrów obudowy i przenośnika ścianowego oraz kombajnu. Stąd można dobrać również parametry frezujących organów ślimakowych.

Metoda doboru parametrów konstrukcyjnych, kinematycznych i energetycznych maszyn i urządzeń ścianowego kompleksu kombajnowego została opracowana w Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych AGH [10]. Na bazie tej metody opracowano również program komputerowy umożliwiający wyznaczenie tych parametrów.

3. Frezujące organy ślimakowe

Kombajny ścianowe wyposażone są w dwa frezujące organy ślimakowe, które realizują proces skrawania i ładowania. Elementy te są w bezpośrednim kontakcie z urabianą calizną. Proces skrawania realizowany jest poprzez narzędzia skrawające (noże styczne płaskie, promieniowe, styczne obrotowe – rys. 1), a ładowania przez płaty ślimaka.

Parametry organu urabiającego mające wpływ na jakość procesu skrawania podzielić można na:

- konstrukcyjne i wynikający z tego układ nożowy, jak i rodzaj narzędzi skrawających,
- pracy kombajnu mające wpływ na proces skrawania.

Obie grupy czynników wpływają na obciążenie kombajnu, trwałość maszyny urabiającej oraz sortyment urobku i zapylenie [12].

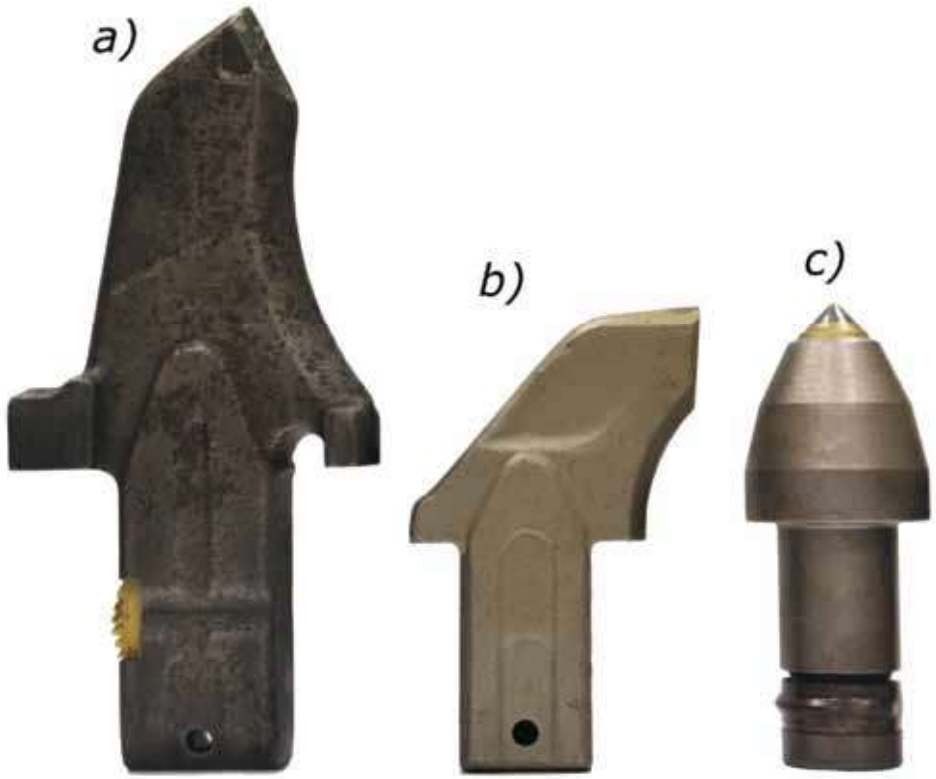
Parametry organu mające wpływ na jakość procesu ładowania podzielić można na:

- konstrukcyjne organu i wynikający z tego kształt elementów ładujących,
- pracy kombajnu, mające wpływ na proces ładowania organem.

Również w tym przypadku obie grupy czynników wpływają na obciążenie kombajnu, trwałość maszyny urabiającej oraz na sortyment urobku i zapylenie [12].

Jednak, mając powyższe na uwadze, punktem wyjścia doboru parametrów organu jest urabialność węgla mierzona wskaźnikiem skrawalności A i kątem bocznego rozkruszania ψ, wytrzymałością na ściskanie R_c oraz wskaźnikiem zwięzłości f. Wskaźnik zwięzłości f został wyznaczony według metody Protodiakonowa Juniora (metoda tłuczenia).

Metoda określania wskaźnika skrawalności węgla A, została również opracowana w Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych Akademii Górniczo-Hutniczej i polega na pomiarze oporów skrawania bezpośrednio w przodku węglowym w czasie wykonywania skrawów prostoliniowych [9]. Skrawy pomiarowe wykonuje się na



Rys. 1. Rodzaje narzędzi skrawających kombajnów ścianowych: a - nóż styczny płaski, b - nóż promieniowy, c - nóż styczno-obrotowy
Fig. 1. Types of cutting picks of longwall shearers: a – flat tangential pick, b – radial pick, c – tangential-rotary pick

wyrównanej powierzchni nożem wzorcowym, który przemieszcza się wzdłuż czoła przodka węglowego. Z pomiaru ciśnień w czasie skrawania nożem wzorcowym na głębokości 2 cm otrzymuje się, po odpowiedniej obróbce sygnału pomiarowego, średnią wartość siły skrawania P. W wyniku badań otrzymujemy żądany wskaźnik skrawalności A oraz kąt bocznego rozkruszania ψ.

Według klasyfikacji CMG KOMAG węgiel o kącie mniejszym od 60° zaliczany jest do węgli zwięzłych, natomiast o kącie większym od 60° do węgli kruchych. Na podstawie wskaźnika skrawalności A oraz kąta bocznego rozkruszania węgla ψ można, korzystając z klasyfikacji polskich węgli opracowanej również przez CMG KOMAG, określić rodzaj i kategorię badanego węgla, a tym samym wybrać odpowiednią technikę urabiania.

Na podstawie parametrów A, ψ, R_c i f można ustalić urabialność węgla i jego kruszalność. Wtedy dobiera się metodę urabiania (frezowanie, struganie), rodzaj narzędzi skrawających (rys. 1) i ich układ na organie urabiającym oraz szacuje się możliwość uzyskania większej ilości grubego sortymentu [12].

4. Przykład aplikacji

Przyjęcie założonego poziomu wydobycia z wyrobiska o określonych parametrach geometrycznych (H, L, α_{pod}, α_{pop}), ustalenie urabialności i kruszalności węgla oraz dobranie parametrów obudowy, przenośnika, kombajnu i organów urabiających pozwala na eksploatację ściany przy możliwie małym zapyleniu i poborze energii oraz przy wzroście wychodu grubych sortymentów pozyskiwanego minerału.

Oczywiście powyższe stwierdzenie wymaga empirycznej weryfikacji, którą przeprowadzono w jednym z wyrobisk ścianowych wybranej kopalni węgla kamiennego w Polsce.

4.1. Dobór frezujących organów ślimakowych dla ściany węglowej o wysokości 3 m

Podstawy teoretyczne przedstawione wcześniej pozwalają na dobór frezujących organów ślimakowych w aspekcie uzyskania założonego wydobycia dobowego, wzrostu wychodu grubego sortymentu węgla i zmniejszeniu zapylenia. Stąd dla wybranej ściany węglowej o wysokości H = 3 m, długości L = 200 m oraz nachyleniu podłużnym α_{pod} = 2° i poprzecznym α_{pop} = 3,5° przeprowadzono procedurę doboru tych organów składającą się z następujących czynności:

- określenia urabialności węgla w pokładzie na podstawie badań dołowych,
- przeprowadzenia analizy warunków górniczo-geologicznych i wyposażenia technicznego ściany w aspekcie uzyskania założonego wydobycia dobowego,
- doboru parametrów frezującego organu ślimakowego dla kombajnu ścianowego w celu zwiększenia wychodu grubych sortymentów węgla.

Określenie urabialności węgla wymaga przeprowadzenia odpowiednich badań, dlatego też wykonano:

- pomiar wskaźnika skrawalności A i kąta bocznego rozkruszenia ψ dla węgla w badanym pokładzie (rys. 2 i rys. 3),
- pomiar energetycznego wskaźnika zwięzłości f wg Protodiakonowa dla węgla na podstawie próbek pobranych z miejsca wyznaczenia A i ψ,
- laboratoryjne badanie budowy węgla.

Rys. 2. Widok stanowiska podczas badań
Fig. 2. Testing stand during examinations

Wyniki badań dołowych (wskaźnik A, kąt ψ) oraz laboratoryjnych (wskaźnik f, budowa węgla) stanowią materiał, na podstawie którego ustalono, że:

- w badanym pokładzie znajduje się węgiel, zaliczany do VII ÷ VIII klasy urabialności jako zwięzły, szczególnie trudno urabialny,
- możliwe jest urabianie pokładu węgla jedynie poprzez frezowanie, przy zastosowaniu noży styczno-obrotowych lub promieniowych,
- węgiel w tym pokładzie zaliczany jest do węgli słabo kruszalnych,
- węgiel składa się z warstewek witrynitu, klarytu i fuzytu oraz bardzo małej ilości części inertnych.

Powyższe wnioski sugerują, że węgiel w tym pokładzie może być urabiany za pomocą frezujących organów ślimakowych wyposażonych w noże styczno-obrotowe lub promieniowe. Duża urabialność tego węgla wymusza zastosowanie małych zmiennych podziałek między liniami skrawania. Natomiast słaba kruszalność wskazuje, że węgiel nie ulega szybko degradacji.

Węgiel występujący w badanym pokładzie jest węglem energetycznym typu 32.2. Wybieranie węgla prowadzone jest systemem ścianowym, poprzecznym, na posadzkę mokrą i przy dwukierunkowej pracy kombajnu ścianowego posiadającego organy bez ładowarek osłonowych.

Mając na uwadze wysokość ściany, parametry techniczne kombajnu, urabialność węgla i dopuszczalne prędkości posuwu wynikające ze współpracy z obudową i przenośnikiem, określono parametry frezujących organów ścianowych:

Rys. 3. Przebieg sygnałów pomiarowych podczas skrawania węgla (g = 1,7 cm, bs = 4,7 cm)
Fig. 3. Measurement signals during cutting (g = 1,7 cm, bs = 4,7 cm)

– obroty organu $n = 36{,}2$ obr/min,
– średnicę bębna $D_b = 1690$ mm,
– nachylenie płatów $\alpha_p = 23°$,
– liczbę płatów $i_p = 4$,
– średnicę piasty $d_p = 900$m,
– grubość płata $b_p \leq 50$mm,
– grubość tarczy $b_t \leq 80$mm,
– szerokość kadłuba $B \geq 720$ mm.

Dla organu ∅2000 x 800 bez ładowarek zaprojektowano układ nożowy z nożami styczno-obrotowymi (rys. 4).

Cechą charakterystyczną tego układu nożowego jest ustawienie noży skrawających tak, aby uzyskać zmienną podziałkę między liniami skrawania oraz skraw przestawny. Mała liczba noży (tarcza – 20 sztuk, część urabiająco-ładująca – 16 sztuk) w powiązaniu ze zmienną podziałką między liniami skrawania i skrawem przestawnym, pozwoli zwiększyć wychód grubego sortymentu oraz obniżyć zapylenie, przy stosowaniu dopuszczalnych prędkości posuwu. Należy zaznaczyć, że zmniejszenie liczby noży przy uwzględnieniu parametrów calizny (wskaźnik skrawalności, kruszalność) pozwoli na zmniejszenie zapotrzebowania mocy na silnikach organów urabiających [1, 2].

4.2. Pomiar uziarnienia urobku

Ocenę wychodu grubszej granulacji węgla należy przeprowadzić z uwagi na zapylenie, proces wzbogacania oraz oferowane wyroby (sortyment węgla). Dlatego skład ziarnowy urobku mierzono na wyjściu ze ściany (klasyfikacja sitowa $\varphi z \geq 8$ mm), gdzie ręcznie przesiewano próbki węgla i klasyfikowano je na podziarno (poniżej 8 mm) i nadziarno (powyżej 8 mm). Rys. 5 przedstawia miejsce przeprowadzenia badań podczas ich trwania. Z miejsc tych pobrano również próbki węgla i poddano je klasyfikacji w zakładzie przeróbki mechanicznej węgla. Procedurę tę przeprowadzono dla organów fabrycznych (starych) oraz dobranych (nowych).

W czasie urabiania mierzono również zapylenie dla organów fabrycznych (starych) oraz dobieranych (nowych). Wyniki tych badań zestawiono w tab. 1.

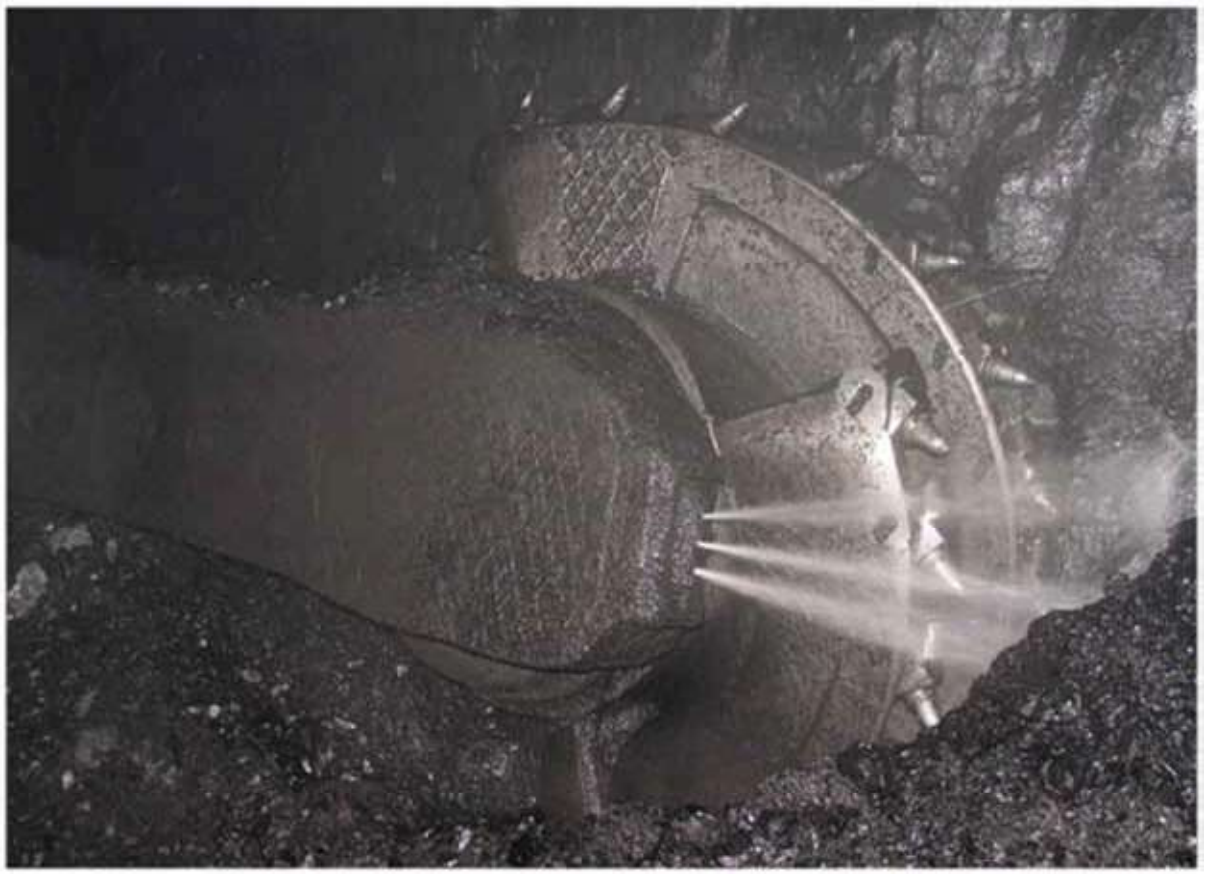
Na podstawie danych zamieszczonych w tab. 1 można stwierdzić, że nowe (dobrane) organy zmniejszyły poziom zapylenia w wyrobisku ścianowym o 36%. Stąd należy uznać, że uzyskano zmniejszenie zapylenia przy pracy nowych organów, co jest ich niewątpliwą zaletą.

Wyniki analizy uziarnienia urobku uzyskane nowymi i starymi organami przedstawiono graficznie na rys. 6. Organy dotychczasowe stosowane w tej ścianie pozyskiwały urobek charakteryzujący się największym udziałem klas ziarnowych 8-0, 16-6, 25-16. Natomiast nowe organy dawały urobek, gdzie udział ziaren powyżej 80 mm jest największy, a do 8 mm najmniejszy. Udział procentowy pozostałej klasy ziarnowej dla tych organów jest mniej więcej na tym samym poziomie.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz uzyskanych wyników można stwierdzić, ze nowe organy spełniają założony cel, jakim jest pozyskanie urobku z jak największym udziałem ziaren powyżej 20 mm [11].

5. Podsumowanie

Pozyskanie urobku (węgiel, sól) o większej granulacji jest dużym wyzwaniem, tak dla producentów kombajnów oraz organów, jak i użytkowników, czyli zakładów górniczych. Szczególnie dla tych ostatnich urobek o takim składzie niesie



Rys. 4. Organ frezujący ślimakowy do grubego sortymentu
Fig. 4. Worm-type cutting drum – coarse size grade

Rys. 5. Pomiary uziarnienia w chodniku podścianowym
Fig. 5. Grain-size measurement in bottom road

Tabela 1. Zestawienie wyników pomiarów zapylenia podczas urabiania fabrycznymi (starymi) i dobieranymi (nowymi) organami
Table 1. The results of dustiness measurement during cutting by old and new cutting drums

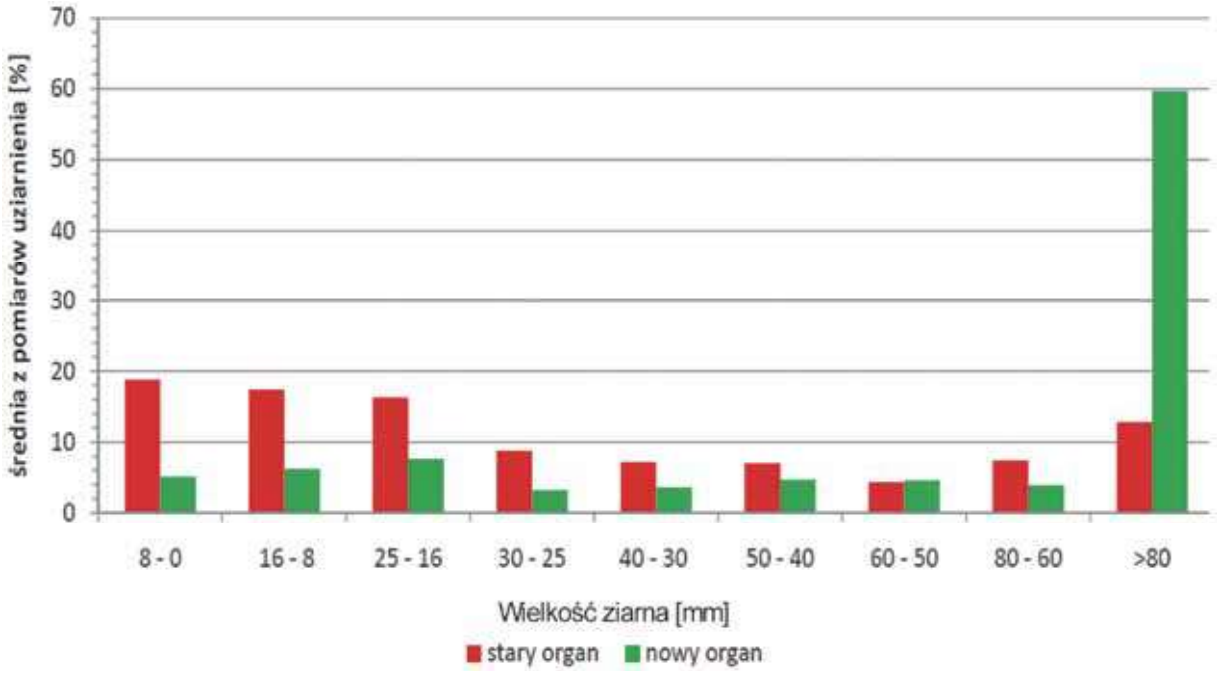
	Stary organ	Nowy organ
Nazwa wyrobiska	Dowierzchnia 3 (P)	Dowierzchnia 3 (P)
Data pobrania próby	04.10.2014 r.	07.10.2014 r.
Numer próby	1	1
Czas osiadania, doby	1	1
Liczba płytek, szt.	2	2
Masa pyłu na płytkach, g	1,9128	1,2212
Masa pyłu na 1 płytce, g	0,956	0,611
Intensywność osiadania pyłu na 1m^2, g/m^2 x d	15,302	9,770
Szerokość wyrobiska, m	5,5	5,5
Przekrój wyrobiska, m^2	17,5	17,5
Intensywność osiadania, g/m^2 x d	6,87	4,38
Częstość usuwania pyłu i wykonywania stref zabezp., dni	4	6
Częstotliwość pobierania prób, dni	180 dni	180 dni
Ilość pyłu kamiennego do neutralizacji pyłu osiadłego, kg/mb	4,28	4,10

(P) - strefa zabezpieczona pyłem kamiennym

wiele pozytywnych efektów technicznych i ekonomicznych. Przedstawiona procedura doboru frezujących organów ślimakowych dotyczy funkcji ładującej oraz urabiającej organu i przeprowadzana jest z uwzględnieniem parametrów kombajnu ścianowego oraz warunków górniczo-geologicznych panujących w ścianie. Dlatego też bardzo istotne jest każdorazowe przeprowadzenie doboru organów do nowych warunków czy też dla innego typu kombajnu. Pozytywna weryfikacja empiryczna opisanej procedury pozwoli na osiągnięcie znacznych korzyści ekonomicznych.

Literatura

1. *Biały W.*: Dobór ścianowych maszyn urabiających oparty na wynikach badań właściwości mechanicznych urabianego materiału węglowego. „Przegląd Górniczy" 2005, nr 2.
2. *Biały W.*: Kąt bocznego rozkruszenia węgla oraz energochłonność procesu urabiania w funkcji składowej pionowej z ciśnienia eksploatacyjnego. „Archiwum Górnictwa" 2002, nr 3.
3. *Biały W.*: Prognozowanie mocy potrzebnej do urabiania ścianowymi kombajnami bębnowymi. „Przegląd Górniczy" 2003, nr 2.



Rys. 6. Zestawienie wyników analizy sitowej węgla pozyskanego podczas urabiania starymi i nowymi organami
Fig. 6. Results of the sieve analysis of coal cut with old and new cutting picks

4. *Blaschke S., Blaschke W.*: Technika wzbogacania węgla, Skrypty uczelniane AGH, nr 736, Kraków 1979.
5. *Bołoz Ł.*: Ocena obciążenia jednoorganowego kombajnu ścianowego na podstawie badań analitycznych, praca doktorska, AGH, Kraków 2012.
6. *Cichowski K.*: Ocena ryzyka pyłami respirabilnymi, „Archiwum Górnictwa" 2000, nr 4.
7. *Feliks J.*: Performance tests of waste coal sludge granulation. Polish Journal of Environmental Studies, vol. 21 no. 5A, s. 69-72, 2012.
8. *Głodzik S., Magda R., Jasiewicz J., Woźny T.*: Analiza kosztów przeróbki mechanicznej sortymentów dla potrzeb zarządzania produkcją w kopalni węgla kamiennego, „Przegląd Górniczy" 2009, nr 9.
9. *Krauze K., Bołoz Ł., Wydro T.* i inni: Analiza jakości pracy frezujących organów ślimakowych w aspekcie poprawy wychodu grubych sortymentów węgla. Niepublikowane, Kraków 2014.
10. *Krauze K., Klempka R.*: Wspomaganie komputerowe wyposażenia technicznego ścian do cienkich pokładów. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2002.
11. *Krauze K.*: Możliwości zwiększenia wychodu grubego sortymentu urobku w procesie urabiania węgla kombajnem ścianowym, Materiały SEP XII, Szczyrk 2003.
12. *Krauze K.*: Urabianie skał kombajnami ścianowymi. Wydawnictwo „Śląsk", Katowice 2000.