

Piotr SOBOTA
Politechnika Śląska, Gliwice

WPLYW TECHNOLOGII URABIANIA NA WYDAJNOŚĆ KOMBAJNU CHODNIKOWEGO

Streszczenie. Wydajność urabiania kombajnem chodnikowym zależy w głównej mierze od własności urabianej skały, rodzaju głowic urabiających, wielkości kombajnu i technologii urabiania czoła przodka. Niezależnie od wielkości kombajnu średnia wydajność urabiania zawsze maleje ze wzrostem wytrzymałości skał na ściskanie. Jednak wartość osiąganą dla danych warunków wydajności zależy od wielkości kombajnu chodnikowego charakteryzowanej głównie wartością mocy zainstalowanej w układzie urabiania. Wydajność przy urabianiu warstwami równoległymi do spągu zależy od pola powierzchni przekroju poprzecznego warstwy skrawanej i prędkości wychylania wysięgnika. Na pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej wpływa zmniejszenie efektywnego zabioru przy wychylaniu wysięgnika kombajnu w płaszczyźnie prostopadłej i równoległej do spągu. Stopień zmniejszenia pola powierzchni warstwy skrawanej zależy przy tym nie tylko od zabioru efektywnego, ale również od kształtu warstwy skrawanej.

DEPENDENCE OF MINING TECHNOLOGY ON ROADHEADER EFFICIENCY

Summary. A roadheader mining efficiency depends mainly on mined rock properties, type of cutting heads, a roadheader size and mining technology. Independently on a roadheader size the average mining efficiency always diminishes with the increase of rock compression strength factor. However, the value of attainable mining efficiency in given conditions depend on roadheader size, which is characterized mainly by the value of a drive power installed in a roadheader mine system. Mining efficiency during cutting layers parallel to floor depends on cross-sectional area of a cut layer and the speed deflection of the roadheader's boom. The size of a cross-sectional area of a cut layer depends on decrease of a web during boom deflection in planes parallel and perpendicular to floor. Decrease level of cross-sectional area of a cut layer depends not only on effective web but also on a shape of cut layer.

1. Wprowadzenie

Podstawowym wskaźnikiem energetycznym charakteryzującym proces urabiania skał jest energochłonność urabiania, rozumiana jako ilość energii potrzebnej do urobienia jednostki objętości skały. Definicja ta jest wykorzystywana głównie w badaniach laboratoryjnych, podczas których stosunkowo łatwo można wyznaczyć energię potrzebną do urobienia skały i ilość (objętość, masę) urobku. Energochłonność urabiania można zdefiniować również jako iloraz pobieranej mocy i wydajności urabiania, co wykorzystywane jest w badaniach eksploatacyjnych ze względu na łatwość pomiaru mocy silnika w układzie urabiania.

Proces urabiania skał głowicami urabiającymi kombajnu chodnikowego jest złożony ze względu na jego fizykalną istotę oraz dużą liczbę czynników decydujących o wydajności urabiania i zapotrzebowaniu energii niezbędnej do jego realizacji. Najważniejsze czynniki wpływające na te relacje można pogrupować następująco:

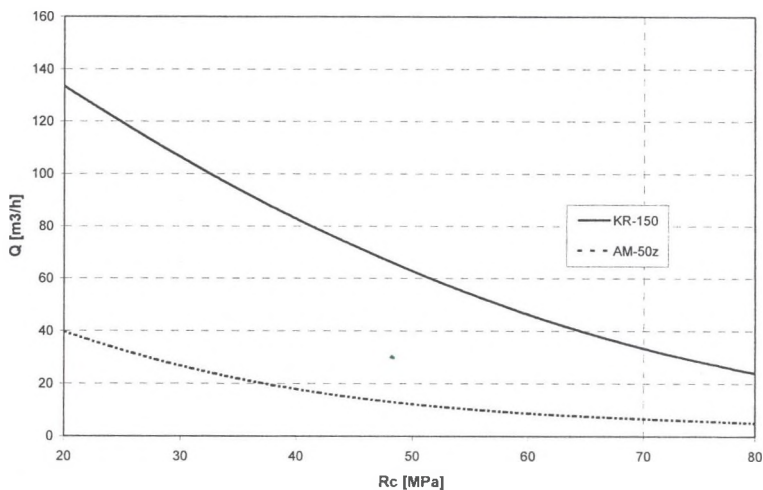
- ✓ własności mechaniczne urabianej skały;
- ✓ rodzaj głowic urabiających i parametry geometryczne głowic, noży skrawających, wysięgnika i obrotnicy kombajnu;
- ✓ parametry ruchowe kombajnu chodnikowego;
- ✓ parametry siłowe kombajnu;
- ✓ technologia urabiania czoła przodka (zabior, wysokość warstwy urabianej, kształt i pole powierzchni przekroju warstwy urabianej, kolejność urabianych warstw).

Wiele wymienionych czynników jest związanych ze sobą i zależnych dodatkowo od innych parametrów z tej samej lub innej grupy. Wydajność urabiania kombajnem chodnikowym zależy przy tym w głównej mierze od własności urabianej skały, rodzaju zastosowanych głowic urabiających, wielkości kombajnu i technologii urabiania czoła przodka.

2. Wydajność urabiania skał o zróżnicowanych własnościach mechanicznych kombajnami chodnikowymi różnej wielkości

Charakterystyka wydajnościowa kombajnu chodnikowego, podawana najczęściej przez producenta kombajnu jako zależność empiryczna uśredniona dla różnych warunków, określa zależność przeciętnej wydajności urabiania od wytrzymałości skał na ściskanie. Wytrzymałość skał na ściskanie jest bowiem powszechnie stosowanym wskaźnikiem charakteryzującym własności urabianej skały przy drażeniu wyrobisk kombajnami chodnikowymi. Niezależnie

od typu oraz wielkości kombajnu średnia wydajność urabiania zawsze maleje ze wzrostem wytrzymałości skał na ściskanie (rys. 1). Jednak wartość osiąganą dla danych warunków wydajności zależy od wielkości kombajnu chodnikowego charakteryzowanej głównie wartością mocy zainstalowanej w układzie urabiania. Im większą mocą w układzie urabiania dysponuje kombajn, tym większą wydajność urabiania uzyskuje w podobnych warunkach. I tak, kombajn chodnikowy KR-150 o mocy silnika napędzającego poprzeczne głowice urabiające wynoszącej 150 kW będzie urabiał z większą wydajnością niż kombajn AM-50z z silnikiem o mocy 100 kW w układzie urabiania, co uwidacznia przebieg charakterystyk wydajnościowych tych kombajnów (rys.1). Potwierdzają to również pomiary parametrów pracy kombajnów różnych wielkości urabiających skały o zbliżonych własnościach [1]. Należy przy tym pamiętać, że wartość mocy zainstalowanej w układzie urabiania kombajnu chodnikowego jest ściśle zależna od innych parametrów kombajnu, a zwłaszcza od jego masy, położenia środka ciężkości i parametrów siłowych.



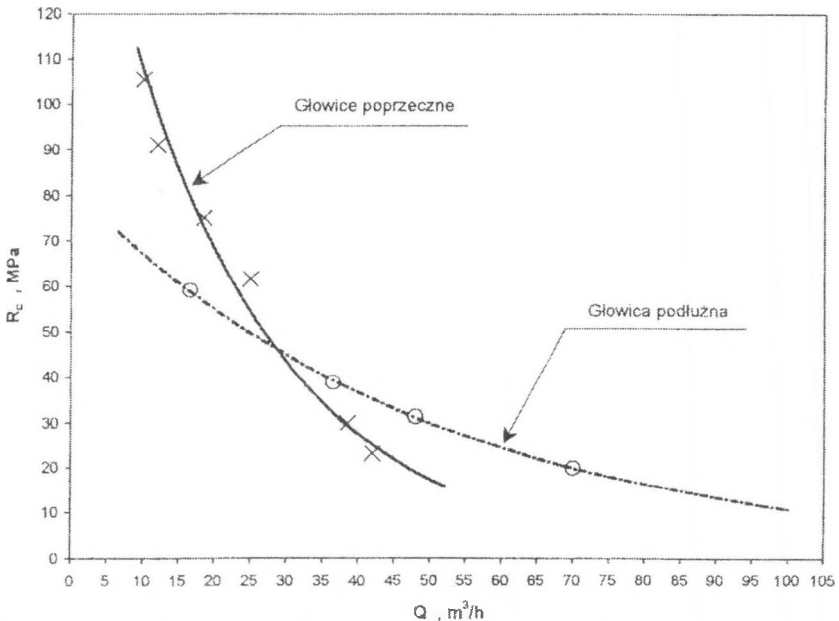
Rys. 1. Charakterystyki wydajnościowe kombajnów chodnikowych
Fig. 1. Roadheaders efficiency characteristics

3. Wydajność urabiania skał podłużnymi i poprzecznymi głowicami urabiającymi kombajnów chodnikowych

W wysięgnikowych kombajnach chodnikowych stosowane są dwa rodzaje głowic urabiających: głowice poprzeczne i głowice podłużne. W pierwszym przypadku kombajn wyposażony jest w dwie głowice urabiające osadzone na czopach wału wyjściowego reduktora. Oś

obrotu głowic poprzecznych jest prostopadła do osi podłużnej wysięgnika. W drugim przypadku kombajn posiada tylko jedną głowicę urabiającą o osi obrotu pokrywającej się z osią podłużną wysięgnika. Rodzaj zastosowanych głowic urabiających wpływa w istotny sposób na stan obciążenia zarówno układu urabiania, jak i pozostałych podzespołów kombajnu chodnikowego oraz na stateczność kombajnu i osiągane wyniki produkcyjne.

Dla urabiających głowic zarówno poprzecznych, jak i podłużnych średnia wydajność urabiania zawsze maleje ze wzrostem wytrzymałości skał na ściskanie. Jednak zależność ta ma odmienny charakter dla głowic podłużnych i poprzecznych. Kombajny wyposażone w głowice podłużne zdolne są do efektywnego urabiania skał o mniejszej wytrzymałości na ściskanie, uzyskując przy tym wysoką wydajność urabiania i duże postępy drażenia. Kombajny chodnikowe z głowicami poprzecznymi przeznaczone są do urabiania skał trudno urabialnych, gdyż w tych warunkach osiągają większą wydajność niż głowice podłużne. Porównanie średnich wydajności urabiania uzyskiwanych w tych samych warunkach przy urabianiu głowicami poprzecznymi i podłużnymi napędzanymi silnikami o tej samej mocy przedstawiono na rys. 2 [2,6].

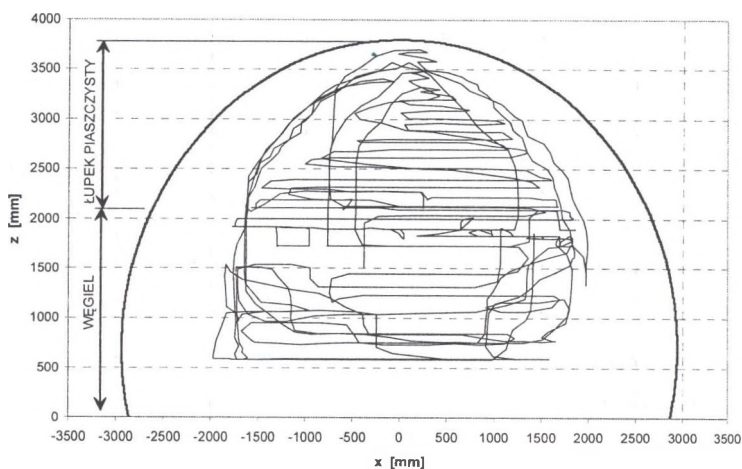


Rys. 2. Średnie wydajności urabiania głowicami podłużnymi i poprzecznymi
 Fig. 2. Average mining efficiency of longitudinal and lateral cutting heads

4. Wpływ technologii urabiania czoła przodka na wydajność

O postępie drążenia wyrobiska decyduje również stosowana technologia urabiania, która związana jest przede wszystkim z warunkami naturalnymi. Wybór miejsca wcinania głowic urabiających oraz kolejność wybierania warstw wpływa bowiem na warunki pracy noży urabiających, a przez to na energochłonność procesu urabiania. Dużego znaczenia nabiera w tym kontekście wiedza i doświadczenie kombajnisty.

Klasyczna technologia polega na urabianiu czoła przodka warstwami równoległymi do spągu. Cykl urabiania rozpoczyna się najczęściej przy spągu w warstwie węgla, gdzie kombajn manewrując podwoziem stopniowo wcina się głowicami urabiającymi przy ociosach chodnika i urabia kolejne warstwy przy spągu. Po zakończeniu wcinania urabianie odbywa się warstwami równoległymi do spągu w ten sposób, że wysięgnik jest podnoszony przy lewym lub prawym ociosie chodnika, by przejść do następnej, wyżej położonej warstwy. Po dojściu głowic urabiających do stropu wyrobiska rozpoczyna się profilowanie jego ociosów, aby kształt jego przekroju odpowiadał kształtowi stawianej następnie obudowy łukowej chodnika. Technologię urabiania czoła przodka przedstawiono na przykładzie drążenia chodnika kombajnem chodnikowym AM-85. Ze względu na budowę geologiczną górotworu chodnik drążony był w pokładzie węgla ze znaczną przybierką skał stropowych. Podczas całego cyklu urabiania wysięgnik kombajnu wykonuje złożony ruch, którego rzut trajektorii na płaszczyznę przekroju poprzecznego chodnika przedstawiono na rys. 3 [4].



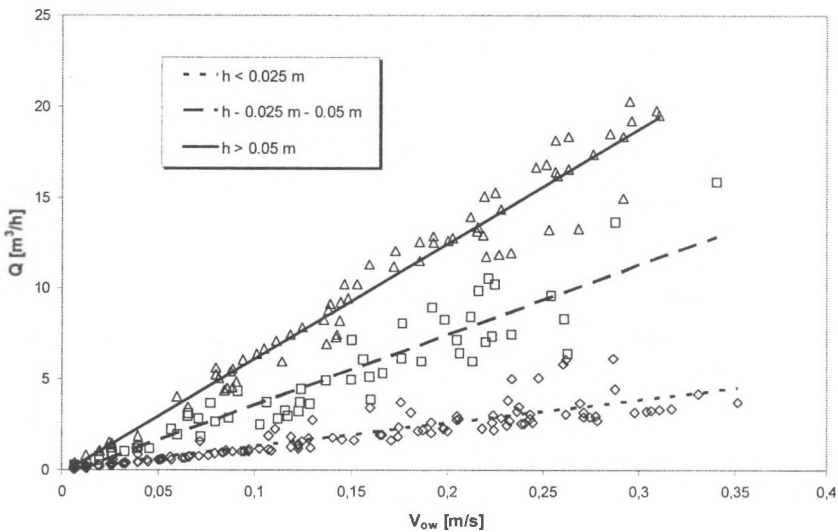
Rys. 3. Trajektorja ruchu wysięgnika podczas urabiania warstw skalnych
Fig. 3. Roadheader boom path during cutting consecutive rock layers

Wydajność urabiania, czyli objętość urobku odspojonego od calizny odniesiona do czasu urabiania, przy urabianiu warstwami równoległymi do spągu zależy od pola powierzchni przekroju poprzecznego warstwy skrawanej i prędkości wychylania wysięgnika w płaszczyźnie równoległej do spągu. Pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej zależy od usytuowania wysięgnika przy urabianiu danej warstwy w stosunku do warstw skrawanych uprzednio, o którym decyduje kombajnista kierujący się swoją wiedzą i subiektywnym doświadczeniem, oraz zmniejszenia efektywnego zabioru przy wychylaniu wysięgnika kombajnu w płaszczyźnie prostopadłej i równoległej do spągu. O prędkości wychylania wysięgnika, przy założeniu maksymalnego wychylenia dźwigni rozdzielacza sterującego obrotem wysięgnika przez kombajnistę, decyduje charakterystyka układu hydraulicznego, który samoczynnie dostosowuje prędkość wychylania w zależności od wartości oporowego momentu obrotu wysięgnika. Zarówno prędkość wychylania wysięgnika z głowicami, jak i pole powierzchni przekroju poprzecznego warstwy skrawanej silnie wpływają na uzyskiwane chwilowe wartości wydajności i energochłonności urabiania.

Pomiary podstawowych parametrów pracy kombajnu chodnikowego w warunkach podziemnej kopalni węgla kamiennego potwierdzają istotną zależność wydajności urabiania od pola powierzchni przekroju poprzecznego urabianej warstwy wynikającego z wysokości urabianej warstwy [5]. Zależność uzyskiwanej przez kombajn AM-50z wydajności urabiania łupku piaszczystego od prędkości obwodowej wychylania wysięgnika dla trzech zakresów wysokości urabianej warstwy jest liniowa w poszczególnych zakresach (rys. 4). Przy małej wysokości urabianej warstwy, a co za tym idzie - niewielkim polu jej powierzchni, nie można uzyskać dużej wydajności urabiania nawet przy wychylaniu głowic z dużą prędkością.

Podczas urabiania czoła przodku efektywny zabiór obrazujący głębokość wcięcia poprzecznych głowic urabiających mierzony jest wzdłuż osi wysięgnika kombajnu prostopadle do osi obrotu głowic. Wartość zabioru efektywnego zależy od kąta wychylenia wysięgnika i jest równa zabiorowi nominalnemu (przemieszczeniu podwozia kombajnu chodnikowego) tylko przy wysięgniku usytuowanym równoległe do spągu i równoległe do osi wzdłużnej chodnika. Ze względu na krzywizny czoła przodku w płaszczyźnie prostopadłej i równoległej do spągu wychylanie wysięgnika w kierunku ociosu chodnika bądź podnoszenie czy opuszczanie wysięgnika powoduje zmniejszenie efektywnego zabioru głowic [3]. Zmniejszenie zabioru efektywnego, przy wychylaniu wysięgnika równoległe do spągu, skutkuje zmniejszeniem pola przekroju poprzecznego skrawanej warstwy oraz zmianą liczby noży biorących udział w jej skrawaniu. Spadek objętości urobionej skały przypadający na jednostkowe przemieszczenie głowicy jest wynikiem zmniejszenia pola przekroju poprzecznego skrawanej

warstwy, które w rzeczywistości przemieszczają się po łuku, a nie po linii prostej. W płaszczyźnie prostopadłej do spągu zmniejszanie efektywnego zabioru przy wychylaniu wysięgnika w górę lub w dół jest rekompensowane zwiększoną liczbą skrawanych warstw mieszczących się na długości łuku krzywizny czoła chodnika w płaszczyźnie prostopadłej do spągu, w stosunku do liczby warstw mieszczących się na prostej wyznaczającej odległość stropu od spągu. Stopień zmniejszenia pola powierzchni warstwy skrawanej zależy nie tylko od zabioru efektywnego, ale również od kształtu warstwy skrawanej [4].

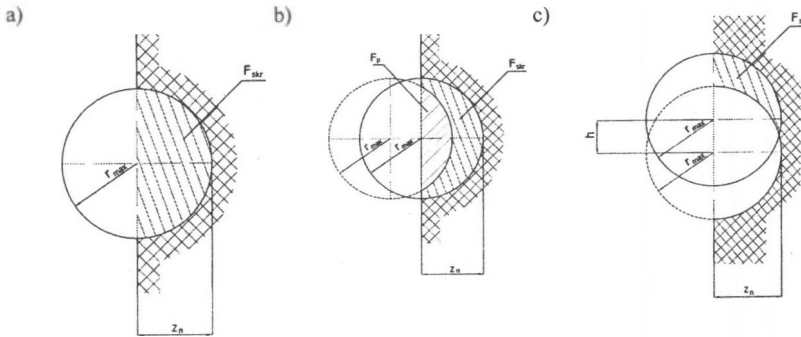


Rys. 4. Zależność wydajności urabiania od prędkości wychylania wysięgnika

Fig. 4. Dependency of roadheader's boom speed deflection on mining efficiency

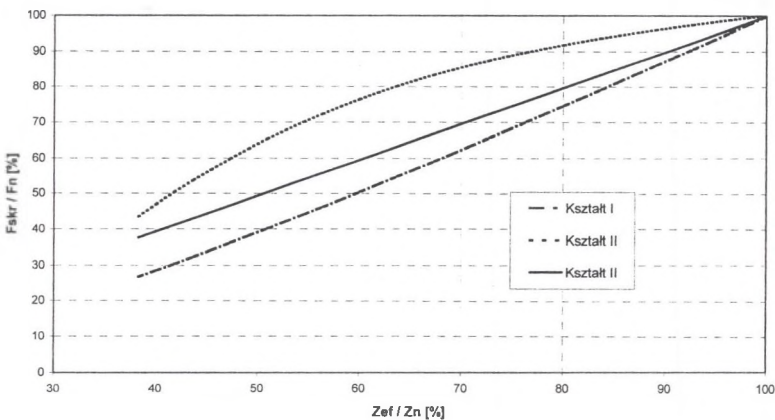
Wyróżniono trzy charakterystyczne kształty przekroju poprzecznego warstwy skrawanej, które odpowiadają rzeczywistym kształtom przekroju skrawanych warstw:

- ✓ kształt I powstający przy urabianiu pierwszej warstwy z wyrównanej powierzchni (rys. 5a);
- ✓ kształt II powstający przy urabianiu kolejnej warstwy z przesunięciem głowic w kierunku równoległym do spągu (rys. 5b);
- ✓ kształt III powstający przy urabianiu kolejnej warstwy z przesunięciem wysięgnika w płaszczyźnie prostopadłej do spągu (rys. 5c).



Rys. 5. Charakterystyczne kształty przekroju poprzecznego warstwy
 Fig. 5. Characteristic shapes of layer cross-sectional area; a) shape I, b) shape II, c) shape III

Zmniejszenie zabioru efektywnego przy wychylaniu wysięgnika w płaszczyźnie zarówno równoległej, jak i prostopadłej do spągu skutkuje zmniejszeniem pola przekroju poprzecznego skrawanej warstwy F_{SKR} w stopniu zależnym od kształtu skrawanej warstwy. Procentowa zależność zmniejszenia pola powierzchni przekroju poprzecznego od zabioru efektywnego dla wszystkich trzech analizowanych kształtów przekrojów poprzecznych warstwy skrawanej ma inny charakter (rys. 6).



Rys. 6. Procentowa zależność zmniejszenia pola powierzchni przekroju poprzecznego od zabioru efektywnego dla różnych kształtów przekrojów poprzecznych warstwy
 Fig. 6. Dependency of effective web on decrease level of cross-sectional area of a cut layer for different shapes of layer cross-sectional area in percentage terms

Dla kształtu I, czyli podczas urabiania pierwszej warstwy z wyrównanego czoła przodka, można zaobserwować wyraźny ponadproporcjonalny spadek pola powierzchni warstwy skrawanej w stosunku do zabioru efektywnego. Przy maksymalnym wychyleniu wysięgnika

kombajnu AM-50z w płaszczyźnie pionowej i poziomej ($\alpha_H = 40^\circ$ i $\alpha_V = 60^\circ$) pole powierzchni warstwy skrawanej zmniejsza się w stosunku do wartości nominalnej o 73,2% przy zmniejszeniu zabioru efektywnego o 61,7%. Przy urabianiu kolejnej warstwy z przesunięciem głowic w kierunku równoległym do spągu wzdłuż osi podłużnej wyrobiska (kształt II) spadek pola powierzchni warstwy skrawanej w stosunku do spadku zabioru efektywnego jest mniejszy. Pole powierzchni przekroju poprzecznego przy maksymalnym wychyleniu wysięgnika w płaszczyźnie zarówno prostopadłej, jak i równoległej ($\alpha_H = 40^\circ$ i $\alpha_V = 60^\circ$) zmniejsza się w stosunku do wartości nominalnej o wartość równą 56% powierzchni przekroju nominalnego. Dla kształtu III, czyli urabiania kolejnej warstwy z przesunięciem głowic w płaszczyźnie prostopadłej do spągu, wychylenie wysięgnika kombajnu skutkuje proporcjonalną zmianą pola powierzchni warstwy skrawanej w stosunku do zabioru efektywnego.

5. Podsumowanie

Wydajność urabiania kombajnem chodnikowym zależy w głównej mierze od własności urabianej skały, rodzaju zastosowanych głowic urabiających, wielkości kombajnu i technologii urabiania czoła przodka.

Niezależnie od typu oraz wielkości kombajnu średnia wydajność urabiania zawsze maleje ze wzrostem wytrzymałości skał na ściskanie. Jednak wartość osiąganej dla danych warunków wydajności zależy od wielkości kombajnu chodnikowego charakteryzowanej głównie wartością mocy zainstalowanej w układzie urabiania. Im większą mocą w układzie urabiania dysponuje kombajn, tym większą wydajność urabiania uzyskuje w podobnych warunkach. Kombajny wyposażone w głowice podłużne zdolne są do efektywnego urabiania skał o mniejszej wytrzymałości na ściskanie, uzyskując przy tym wysoką wydajność urabiania i duże postępy drążenia. Kombajny chodnikowe z głowicami poprzecznymi przeznaczone są do urabiania skał trudno urabialnych, gdyż w tych warunkach osiągają większą wydajność niż głowice podłużne.

Wydajność przy urabianiu warstwami równoległymi do spągu zależy od pola powierzchni przekroju poprzecznego warstwy skrawanej i prędkości wychylania wysięgnika w płaszczyźnie równoległej do spągu. Pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej zależy od usytuowania wysięgnika przy urabianiu danej warstwy w stosunku do warstw skrawanych uprzednio, o którym decyduje kombajnista kierujący się swoją wiedzą i subiektywnym doświadczeniem, oraz zmniejszenia efektywnego zabioru przy wychylaniu wysięgnika kombaj-

nu w płaszczyźnie prostopadłej i równoległej do spagu. Stopień zmniejszenia pola powierzchni warstwy skrawanej zależy przy tym nie tylko od zabioru efektywnego, ale również od kształtu warstwy skrawanej.

BIBLIOGRAFIA

1. Sobota P.: Urabianie skał zwięzłych kombajnami chodnikowymi. II Międzynarodowa Konferencja „Techniki Urabiania 2002”, Kraków – Krynica 2002.
2. Flack M.: Koncepcja kombajnu chodnikowego dla górnictwa podziemnego. Międzynarodowa Konferencja „Nowoczesne metody drążenia wyrobisk korytarzowych z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa pracy”, Szczyrk 1996.
3. Sobota P.: Zależność energochłonności urabiania kombajnami chodnikowymi od parametrów warstwy skrawanej. III Międzynarodowa Konferencja „Techniki Urabiania 2003”, Kraków – Krynica 2003
4. Sobota P.: Wpływ kształtu warstwy skrawanej głowicami poprzecznymi kombajnu chodnikowego na jej pole powierzchni. IV Międzynarodowa Konferencja „Techniki Urabiania 2005”, Kraków – Krynica 2005
5. Sikora W., Cheluszka P., Giza T., Sobota P., Mann R., Osadnik J.: Określenie sił i energochłonności urabiania nożami stożkowymi. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
6. Dolipski M., Cheluszka P.: Dynamika układu urabiania kombajnu chodnikowego. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Sikora