

Marian DOLIPSKI, Piotr CHELUSZKA, Piotr SOBOTA  
Politechnika Śląska, Gliwice

## ZASIĘG WYSIĘGNIKA Z JEDNEGO USTAWIENIA KOMBAJNU CHODNIKOWEGO

**Streszczenie.** W referacie podano zależności opisujące charakterystyczne wymiary obrysu wyrobiska wykonanego z jednego ustawienia kombajnu chodnikowego. Przeanalizowano wpływ parametrów geometrycznych i ruchowych na kształt obrysu i pole powierzchni przekroju poprzecznego wyrobiska. Określenie obrysu wyrobiska pozwala na określenie, czy cały przekrój drążonego wyrobiska mieści się w zasięgu wysięgnika przy danym ustawieniu kombajnu chodnikowego. Monitorowanie położenia wysięgnika jest niezbędnym warunkiem wprowadzenia automatyzacji wychylania wysięgnika podczas drążenia skał zalegających w przekroju chodnika.

## CUTTING RANGE OF A BOOM EFFECTED FROM ONE POSITION OF A ROADHEADER

**Summary.** Relationships describing characteristic dimensions of the outline of a heading driven from one position of a roadheader are presented in the paper. The effect of geometric parameters and operational ones on a form of the outline and on area of the cross section of the heading has been analyzed. A determination of the outline of a heading being driven makes it possible to find out if the whole cross-section of the heading is within the cutting range of a boom of a roadheader in its given position. Monitoring of the position of a boom is a prerequisite for automation of raising, lowering and slewing of the boom during drivage of the rock.

### 1. Wprowadzenie

Kombajny chodnikowe są maszynami roboczymi o skomplikowanej konstrukcji wynikającej z realizowanych przez nie funkcji i warunków ich eksploatacji. Kombajny te przeznaczone są bowiem do urabiania skały w obrębie czoła przodka podczas drążenia wyrobiska korytarzowego, ładowania urobku na środki odstawy i jego odtransportowania z

przodka. Biorą one również udział w realizacji innych operacji technologicznych związanych z procesem montażu obudowy. Maszyny te muszą przy tym posiadać zdolność do samodzielnego przemieszczania się w miarę postępu przodka. Trudne, czy wręcz ekstremalne, warunki działania kombajnu chodnikowego są przyczyną znacznych drgań oraz obciążeń o charakterze zmęczeniowym jego podzespołów i węzłów. Silne wytężenie poszczególnych elementów kombajnu chodnikowego prowadzi w konsekwencji do obniżenia ich trwałości i niezawodności. Ograniczona przestrzeń (możliwość kolizji z innymi urządzeniami zainstalowanymi w przodku, czy elementami obudowy), zapylenie oraz duża wilgotność i temperatura atmosfery panującej w przodku drążonego wyrobiska są również w wielu wypadkach przyczyną uszkodzeń elementów kombajnu chodnikowego prowadzących niejednokrotnie do poważnych jego awarii i nieplanowanych postojów przodka. Pomimo tak specyficznych i trudnych warunków eksploatacji w wytwarzanych aktualnie w kraju kombajnach chodnikowych nie prowadzi się pełnego monitorowania ich działania [2].

Systemy kontroli i diagnostyki stosowane lub przewidywane do stosowania w kombajnach chodnikowych są źródłem podstawowych informacji o pracy kombajnu chodnikowego. Systemy te przeznaczone są do monitorowania stanu obciążenia silników napędzających poszczególne mechanizmy, ciśnienia i temperatury oleju w wybranych punktach układu hydraulicznego oraz temperatury uzwojeń silników napędowych. Dotychczasowe propozycje monitorowania podstawowych parametrów pracy kombajnu chodnikowego nie uwzględniają pomiarów przemieszczania wysięgnika z głowicami urabiającymi. Monitorowanie przemieszczania wysięgnika w płaszczyźnie prostopadłej i równoległej do spągu może być nieocenionym źródłem informacji, wykorzystywanej w celu :

- bezpośredniej wizualizacji położenia głowic urabiających w profilu chodnika, która umożliwi operatorowi precyzyjne sterowanie wysięgnikiem w obrębie ociosów chodnika, nawet w warunkach dużego zapylenia i ograniczonej widoczności;
- określania parametrów urabiania czoła przodka (wysokość i przekrój warstwy skrawanej, prędkość przemieszczania głowic urabiających), niezbędnych do określenia wydajności urabiania i wskaźników energetycznych procesu urabiania [3].

Monitorowanie położenia wysięgnika jest niezbędnym warunkiem wprowadzenia automatyzacji wychylania wysięgnika podczas drążenia skał zalegających w przekroju chodnika. Określenie obrysu wyrobiska pozwala na stwierdzenie, czy cały przekrój drążonego wyrobiska mieści się w zasięgu wysięgnika przy danym ustawieniu kombajnu chodnikowego.

## 2. Obrys wyrobiska wykonanego z jednego ustawienia kombajnu

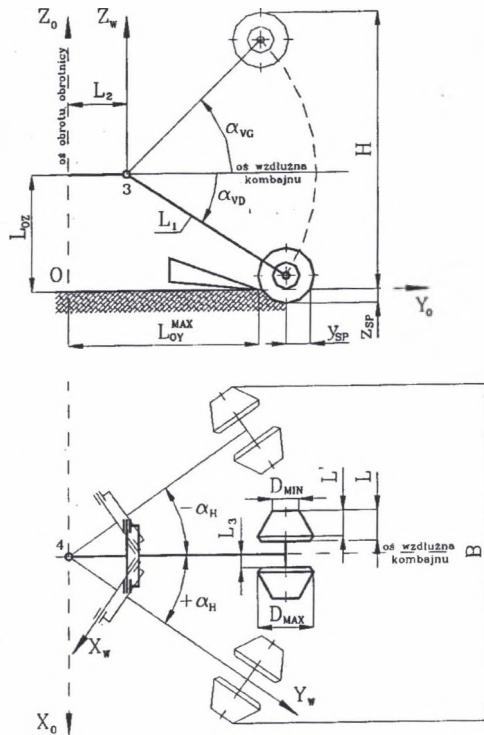
Kombajn chodnikowy ustawiony w osi wzdłużnej wykonywanego wyrobiska urabia skałę najczęściej za pomocą głowic poprzecznych przemieszczanych wraz z wysięgnikiem i ruchomą częścią obrotnicy. Kształt wykonywanego wyrobiska i jego podstawowe wymiary zależą od postaci geometrycznej wysięgnika i głowic urabiających, położenia osi obrotu wysięgnika, położenia osi obrotu obrotnicy oraz skrajnych kątów wychylenia wysięgnika (górnego, dolnego i bocznych). Na potrzeby przeprowadzenia teoretycznych badań zasięgu głowic urabiających przyjęto układ współrzędnych związany z podwoziem kombajnu i określany przez (rys.1):

- oś  $Y_0$  leżącą na płaszczyźnie styku gąsienic ze spągami i równoległą do osi wzdłużnej kombajnu chodnikowego,
- oś  $Z_0$  przechodzącą przez oś obrotu obrotnicy,
- oś  $X_0$  wyznaczającą z osią  $Y_0$  płaszczyznę styku gąsienic ze spągami.

Początek układu współrzędnych  $X_0Y_0Z_0$  (punkt 0 na rys.1) leży zatem na płaszczyźnie styku gąsienic ze spągami. Za nominalne położenie wysięgnika przyjęto takie, w którym oś wysięgnika pokrywa się z osią wzdłużną kombajnu i jest równoległa do płaszczyzny styku gąsienic ze spągami. W tej pozycji położenie osi obrotu wysięgnika na płaszczyźnie  $Y_0Z_0$  określają współrzędne  $L_2$  oraz  $L_{0Z}$ . Skrajne pozycje wysięgnika w tej płaszczyźnie opisują kąty  $\alpha_{VG}$  i  $\alpha_{VD}$ . Przy założeniu że w nominalnej pozycji wysięgnika kąt wychylenia jest równy zero, kąt  $\alpha_{VG}$  będzie miał wartość dodatnią, a kąt  $\alpha_{VD}$  – wartość ujemną.

Dla wysięgnika o określonych parametrach geometrycznych i ruchowych można ustalić jego zasięg za pomocą współrzędnych  $(x,z)$  punktów tworzących obris wykonywanego wyrobiska. Ze względu na symetrię przekroju poprzecznego chodnika względem osi  $Z_0$  wystarczy wyznaczyć współrzędne punktów tworzących połowę obrisu wyrobiska leżącą w pierwszej i czwartej ćwiartce przyjętego układu współrzędnych  $X_0Z_0$ .

Z analizy zależności opisujących współrzędne punktów tworzących obris wyrobiska wynika, że maksymalny zasięg wysięgnika w prawo, równy połowie szerokości chodnika (rys.2), występuje zawsze na wysokości równej odległości osi obrotu wysięgnika od płaszczyzny styku gąsienic ze spągami ( $z = L_{0Z}$ ) i wynosi:



Rys. 1. Parametry geometryczne wsięgnika w układzie współrzędnych  $X_0, Y_0, Z_0$   
 Fig. 1. Geometric parameters of a boom in the coordinate system  $X_0, Y_0, Z_0$

$$x_{MAX} = 0,5 \cdot B = (L_2 + L_1 + 0,5 \cdot D_{MIN}) \cdot \sin \alpha_H + (L_3 + L) \cdot \cos \alpha_H \quad (1)$$

Maksymalny zasięg wsięgnika w górę równy jest maksymalnej wysokości wykonywanego wyrobiska i wynosi:

$$z_{MAX} = H = L_{0Z} + L_1 \cdot \sin \alpha_{VG} + 0,5 \cdot D_{MAX} \quad (2)$$

przy czym wysokość tę można uzyskać na długości  $B_1$  równej:

$$B_1 = 2 \cdot (L_2 + L_1 \cdot \cos \alpha_{VG}) \cdot \sin \alpha_H + 2 \cdot (L_3 + L - L') \cdot \cos \alpha_H \quad (3)$$

Natomiast maksymalny zasięg wsięgnika w dół wynosi:

$$z_{MIN} = z_{SP} = L_{0Z} + L_1 \cdot \sin \alpha_{VD} - 0,5 \cdot D_{MAX} \quad (4)$$

Ujemna wartość współrzędnej  $z_{MIN}$  oznacza urabianie skały poniżej osi  $X_0$  (urabianie z przybierką spągu). Płaski spąg uzyskać można, przy urabianiu z maksymalną przybierką na szerokości  $B_2$  równej:

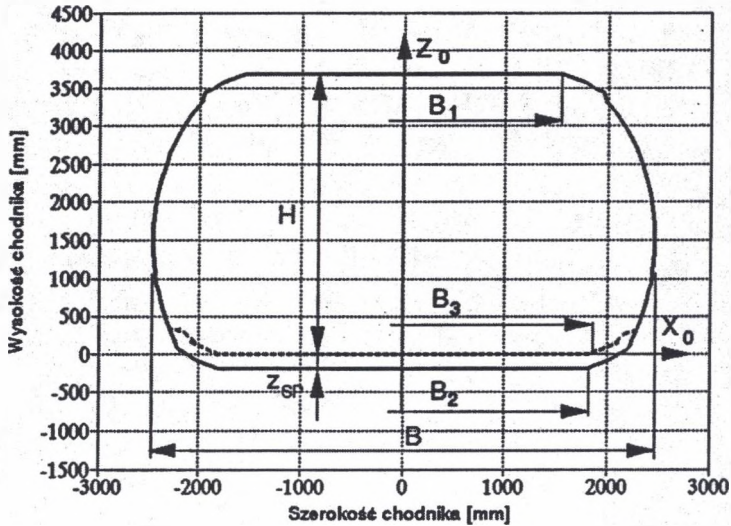
$$B_2 = 2 \cdot (L_2 + L_1 \cdot \cos \alpha_{VD}) \cdot \sin \alpha_H + 2 \cdot (L_3 + L - L') \cdot \cos \alpha_H \quad (5)$$

Przy urabianiu skały bez przybierki spągu ( $z = 0$ ) szerokość  $B_3$ , na której spąg chodnika ma płaski kształt, opisana jest zależnością:

$$B_3 = 2 \cdot (L_2 + L_1 \cdot \cos \alpha_{VX}) \cdot \sin \alpha_H + 2 \cdot (L_3 + L - L') \cdot \cos \alpha_H \quad (6)$$

przy czym:

$$\alpha_{VX} = \arcsin(D_{MAX} / 2 \cdot L_1 - L_{0Z} / L_1) \quad (7)$$



Rys. 2. Wymiary obrysu wyrobiska wykonanego z jednego ustawienia kombajnu  
Fig. 2. Dimensions of the outline of a heading driven from one position of a roadheader

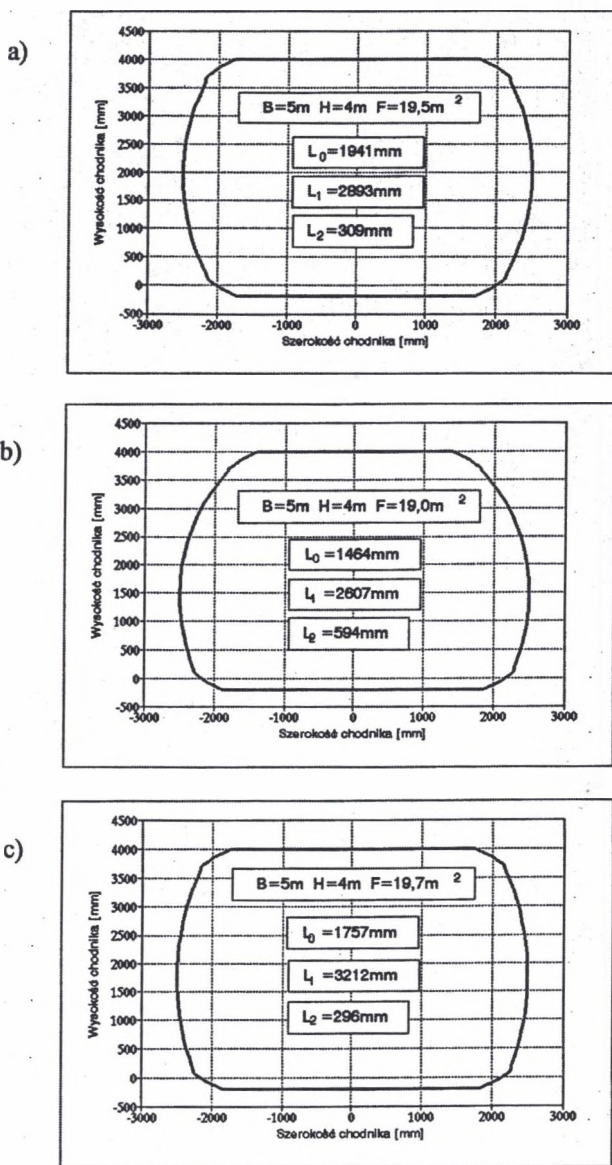
Z przedstawionych zależności (1) – (7) wynika, że wyrobisko o wysokości  $H$  i szerokości  $B$  wykonywane z przybierką spągu  $z_{SP}$  mogą wydrążyć kombajny chodnikowe wyposażone w te same głowice urabiające i wysięgniki o różnych parametrach geometrycznych ( $L_{0Z}$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ ) z odpowiednio dobranymi skrajnymi kątami wychylenia ( $\alpha_{VG}$ ,  $\alpha_{VD}$ ,  $\alpha_H$ ). Jednakże kształt obrysu i pola powierzchni przekroju poprzecznego tych wyrobisk będą się różnić między sobą. Wykorzystując program komputerowy, wyznaczono przykładowe obrysy wyrobisk chodnikowych o zadekretowanej wysokości  $H = 4$  m, szerokości  $B = 5$  m i przybierce spągu  $z_{SP} = 0,2$  m, wykonane tymi samymi głowicami urabiającymi (rys.3) dla następujących wymiarów wysięgników:

- rys.3a  $L_{0Z} = 1941$  mm       $L_1 = 2893$  mm       $L_2 = 309$  mm
- rys.3b  $L_{0Z} = 1464$  mm       $L_1 = 2607$  mm       $L_2 = 594$  mm
- rys.3c  $L_{0Z} = 1757$  mm       $L_1 = 3212$  mm       $L_2 = 296$  mm

Charakterystyczne wymiary wyrobisk i pola powierzchni przekrojów chodników wynoszą przy tym:

- rys.3a  $B_1 = 3544$  mm       $B_2 = 3472$  mm       $B_3 = 3638$  mm       $F = 19,5$  m<sup>2</sup>
- rys.3b  $B_1 = 2834$  mm       $B_2 = 3779$  mm       $B_3 = 3899$  mm       $F = 19,0$  m<sup>2</sup>
- rys.3c  $B_1 = 3524$  mm       $B_2 = 3718$  mm       $B_3 = 3829$  mm       $F = 19,7$  m<sup>2</sup>

Parametry geometryczne i ruchowe wyciągnika kombajnu mają wpływ nie tylko na główne wymiary wykonywanego wyrobiska, ale również na jego kształt i pole powierzchni przekroju.



Rys. 3. Obrysy wyrobisk chodnikowych wykonane różnymi wyciągnikami  
Fig. 3. Outlines of headings effected with the aid of different boom

Zastosowanie wyciągnika teleskopowego jako mechanizmu zmiany wyciągu powoduje zwiększanie długości wyciągnika  $L_1$  w miarę wysuwania części ruchomej wyciągnika wraz z głowicami urabiającymi. Wyciągnik teleskopowy wykorzystywany jest przede wszystkim

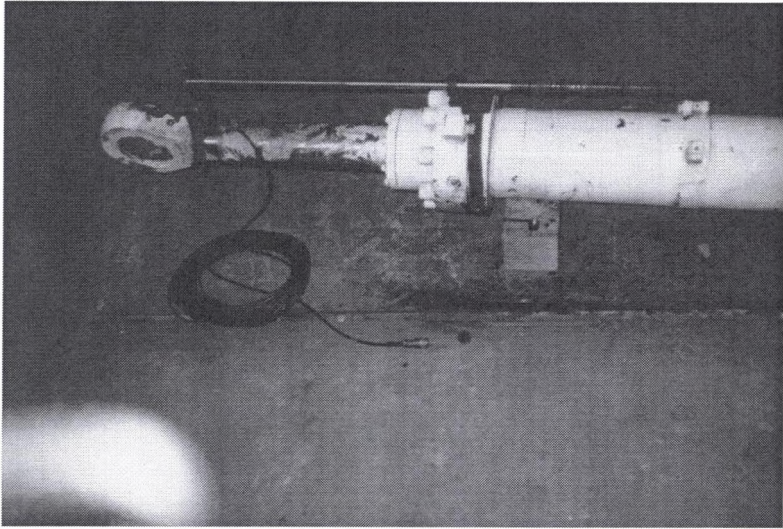
podczas wcinania głowic urabiających w caliznę przy nieruchomym podwoziu kombajnu, jednakże zwiększenie wysięgu umożliwia także wykonanie wyrobiska o większych wymiarach. W miarę zwiększania wysuwu wysięgnika wzrasta wysokość wykonywanego wyrobiska tym szybciej, im większy jest kąt skrajnego górnego wychylenia wysięgnika. Im większe wysunięcie wysięgnika teleskopowego, tym grubszą warstwę skały można urabiać poniżej spagu, przy czym zależność jest silniejsza dla większych wartości kąta skrajnego dolnego wychylenia wysięgnika. Szerokość chodnika rośnie w miarę wysuwania wysięgnika tym szybciej, im większa jest wartość kąta skrajnego bocznego wychylenia wysięgnika.

### 3. Układy do monitorowania wychylenia wysięgnika

W Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej przeprowadzono, zakrojone na szeroką skalę, badania podstawowych parametrów pracy kombajnów chodnikowych różnych typów w warunkach eksploatacji podziemnej. Podczas badań monitorowano i rejestrowano położenie wysięgnika z głowicami urabiającymi dzięki specjalnie zaprojektowanym i wykonanym układom do pomiaru kątów wychylenia wysięgnika w płaszczyźnie równoległej i prostopadłej do spagu [1].

Do budowy układów do pomiaru kątów wychylenia wysięgnika w płaszczyźnie równoległej i prostopadłej do spagu wykorzystano pręty pomiarowe przemieszczenia liniowego produkcji firmy DBT. Pręty te stosowane są w niektórych urządzeniach górniczych do pomiaru wysunięcia tłoczków z cylindrów siłowników hydraulicznych. Stąd konstrukcja ich jest dostosowana do trudnych warunków pracy. Przesuwanie pierścienia magnetycznego po stalowej obudowie pręta pomiarowego powoduje włączanie lub wyłączanie kolejnych oporników zmieniających skokowo wartość napięcia sygnału wyjściowego.

Podczas badań eksploatacyjnych kombajnów chodnikowych, w warunkach podziemnych kopalń węgla kamiennego, wykorzystano pręty pomiarowe przemieszczenia liniowego do pomiaru kątów wychylenia wysięgnika w płaszczyźnie prostopadłej i równoległej do spagu. W układach podnoszenia wysięgnika, w płaszczyźnie prostopadłej do spagu, pręty pomiarowe zamontowano bezpośrednio na jednym z hydraulicznych siłowników podnoszenia, za pomocą obejm przystosowanych do rozmiarów cylindra i tłoczyska tego siłownika (rys.4).

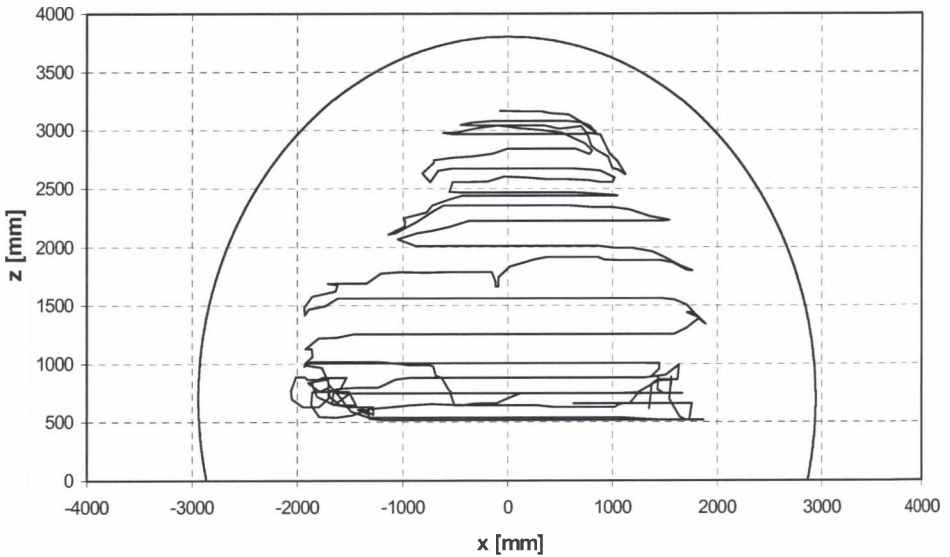


Rys. 4. Pręt pomiarowy przemieszczenia liniowego zamontowany na siłowniku  
Fig. 4. Measuring rod for measuring of a linear displacement built in a ram

W układach obrotu wysięgnika, w płaszczyźnie równoległej do spągu, sposób montażu pręta pomiarowego uzależniono od rozwiązania konstrukcyjnego mechanizmu obrotu wysięgnika. W kombajnach, w których obrót części ruchomej obrotnicy wraz z wysięgnikiem realizowany jest przez dwa siłowniki hydrauliczne usytuowane na zewnątrz obrotnicy, pręty pomiarowe zamontowano bezpośrednio na jednym z tych siłowników, podobnie jak dla układu podnoszenia wysięgnika. W przypadku stosowania w mechanizmie obrotu siłowników, które napędzają ruchomą część obrotnicy przez listwę zębatą i z tego powodu są niedostępne z zewnątrz, pręty pomiarowe zamontowano bezpośrednio na części ruchomej obrotnicy i na ramie kombajnu.

Znajomość przebiegów czasowych kątów wychylenia wysięgnika w płaszczyźnie równoległej i prostopadłej do spągu pozwala na śledzenie ruchów głowic urabiających podczas skrawania czoła przodka. Wysięgnik wraz z głowicami wykonuje przy tym złożony ruch, którego rzut trajektorii na płaszczyznę przekroju poprzecznego drążonego chodnika przedstawiono na rysunku 5. W płaszczyźnie przekroju poprzecznego chodnika głowice poruszały się równoległe do spągu urabiając kolejne warstwy. Przejście do następnej, wyżej położonej warstwy, odbywało się przez podniesienie wysięgnika przy lewym lub prawym odciosie chodnika.





Rys. 5. Trajektoria ruchu wysięgnika podczas urabiania kolejnych warstw skalnych  
 Fig. 5. Trajectory of the boom movement during cutting of successive rock layers

#### 4. Wnioski

Kształt wykonywanego wyrobiska i jego podstawowe wymiary zależą od postaci geometrycznej wysięgnika i głowic urabiających, położenia osi obrotu wysięgnika, położenia osi obrotu obrotnicy oraz skrajnych kątów wychylenia wysięgnika (górnego, dolnego i bocznych). Dla wysięgnika o określonych parametrach geometrycznych i ruchowych można ustalić jego zasięg za pomocą współrzędnych punktów tworzących obrys wykonywanego wyrobiska. Parametry geometryczne i ruchowe wysięgnika kombajnu mają wpływ nie tylko na główne wymiary wykonywanego wyrobiska, ale również na jego kształt i pole powierzchni przekroju. Wykorzystanie komputerowych badań zasięgu głowic urabiających pozwala na prawidłowy dobór parametrów geometrycznych i ruchowych wysięgnika z obrotnicą już na etapie projektowania postaci geometrycznej obrotnicy oraz wysięgnika jednolitego i teleskopowego.

Systemy sterowania, kontroli i diagnostyki kombajnów chodnikowych powinny umożliwiać monitorowanie przemieszczania wysięgnika z głowicami urabiającymi. Bezpośrednia wizualizacja położenia głowic urabiających na stanowisku operatora kombajnu

pozwole na precyzyjne operowanie wysięgnikiem, zaś rejestracja trajektorii wysięgnika wykorzystywana może być w analizie wskaźników energetycznych procesu urabiania kombajnem chodnikowym. Monitorowanie położenia wysięgnika jest niezbędnym warunkiem wprowadzenia automatyzacji wychylania wysięgnika podczas drażenia skał zalegających w przekroju chodnika. Określenie obrysu wyrobiska pozwala na określenie, czy cały przekrój drażonego wyrobiska mieści się w zasięgu wysięgnika przy danym ustawieniu kombajnu chodnikowego. Do wyznaczania chwilowego położenia wysięgnika z głowicami urabiającymi można zastosować pręty pomiarowe przemieszczenia liniowego zamontowane wewnątrz siłowników podnoszenia i obrotu wysięgnika. Pręty pomiarowe zostały z powodzeniem wykorzystane w badaniach eksploatacyjnych kombajnów chodnikowych prowadzonych w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej.

#### LITERATURA

1. Sikora W., Cheluszka P., Giza T., Sobota P., Mann R., Osadnik J.: Określenie sił i energochłonności urabiania nożami stożkowymi. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
2. Dolipski M., Jaszczuk M., Cheluszka P., Sobota P.: Monitorowanie działania kombajnu chodnikowego w warunkach eksploatacji podziemnej. I Szkoła Mechanizacji Górnictwa „Systemy dyspozytorskie i diagnostyczne wymogi nowoczesnego górnictwa”. Szczyrk 2002.
3. Dolipski M., Cheluszka P., Sobota P.: Monitorowanie przemieszczenia wysięgnika w kombajnie chodnikowym. 21. Międzynarodowa Konferencja „Technická diagnostika stroju a výrobních zarizení DIAGO 2002”. Ostrava 2002.

Recenzent: Dr hab. inż. Krzysztof Krauze

#### Abstract

Relationships describing characteristic dimensions of the outline of a heading driven from one position of a roadheader are presented in the paper. The effect of geometric parameters and operational ones on a form of the outline and on area of the cross section of the heading has been analyzed. A determination of the outline of a heading being driven makes it possible to find out if the whole cross-section of the heading is within the cutting

range of a boom of a roadheader in its given position. Monitoring of the position of a boom is a prerequisite for automation of raising, lowering and slewing of the boom during drivage of the rock. Systems applicable for controlling, monitoring and diagnostics of roadheaders should allow the displacement of a boom along with cutting heads mounted on it to be monitored. Owing to a visual display of the position of cutting heads directly at a stand of the roadheader's operator, the possibility will be offered to manipulate precisely the boom. Whereas recording of the boom trajectory may serve for an analysis of factors indicating the specific energy consumption when mining with the aid of a roadheader.