

DOBÓR PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH MASZyny ROBOCZEJ, DO LOKALNYCH WARUNKÓW JEJ PRACY

Józef Jonak

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Lubelska,
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: j.jonak@pollub.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono propozycję metody doboru parametrów eksploatacyjnych maszyny roboczej (górniczego kombajnu chodnikowego) w oparciu o jej parametry konstrukcyjne (moc dyspozycyjna głowicy urabiającej, prędkość obrotowa i posuwu głowicy), parametry wytrzymałościowe urabianej skały, założone wartości tzw. „wysokości cięcia” oraz „dosuwu” lub inaczej „wcięcia” głowicy. Dla założonych wartości tych parametrów, oraz przyjęciu maksymalnej wydajności urabiania (jednostkowej objętości urabianej skały) oszacowaniu podlega wartość prędkości posuwu głowicy (wychylania wysięgnika).

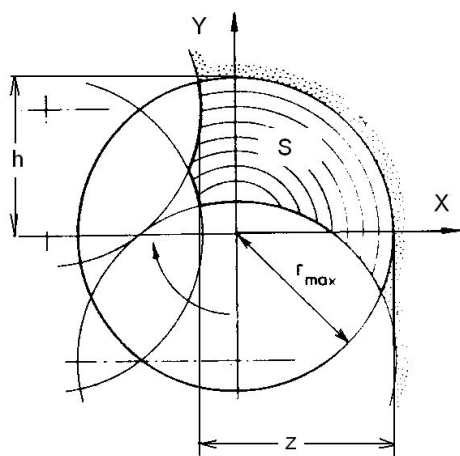
Słowa kluczowe: urabianie, kombajn chodnikowy, parametr.

WPROWADZENIE

Analiza danych literaturowych wykazuje, że proces urabiania głowicą kombajnu chodnikowego zależy od bardzo wielu zmiennych. W szczególności zależy on od parametrów wytrzymałościowych skały, parametrów technologicznych urabiania (prędkość posuwu głowicy lub prędkość wychylania wysięgnika, przekrój skrawu wykonywanego głowicą, ilość noży na głowicy czy ilości spiral, na których te noże są rozmieszczone).

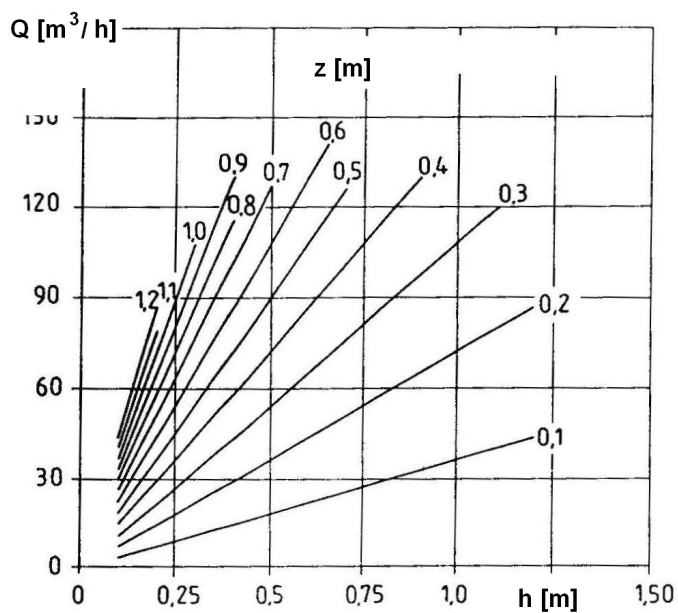
Jak wynika z rys. 1, wartość λ i kształt przekroju warstwy urabianej głowicą zależą w istotny sposób od parametrów takich jak wysokość cięcia h oraz dosuw z głowicy.

Rozpatrywane wielkości charakteryzujące proces urabiania, mają najczęściej charakter nieliniowy, czasem wręcz niejednoznaczny. Dla przykładu, dla głowicy poprzecznej o wymiarach $\varnothing 1250\text{mm} \times 689\text{mm}$, mocy 300kW oraz parametrach urabianej warstwy, jak na rys. 1, podstawowe charakterystyki tej głowicy ilustruje rys. 2 oraz 3.



Rys. 1. Parametry charakteryzujące przekrój warstwy urabianej głowicą poprzeczną [11]

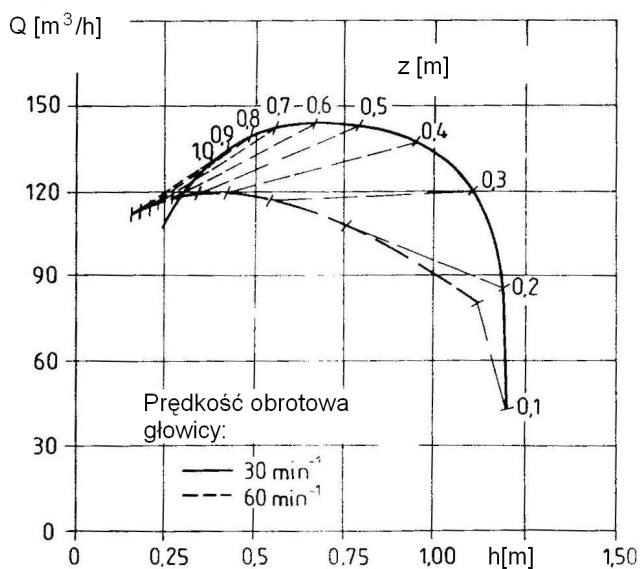
Fig. 1. Parameters that characterise the section of the mined layer with a transverse head [11]



Rys. 2. Wpływ wysokości cięcia głowicą h , dla określonej wartości dosuwu głowicy z , na kształtowanie się wydajności urabiania [11]

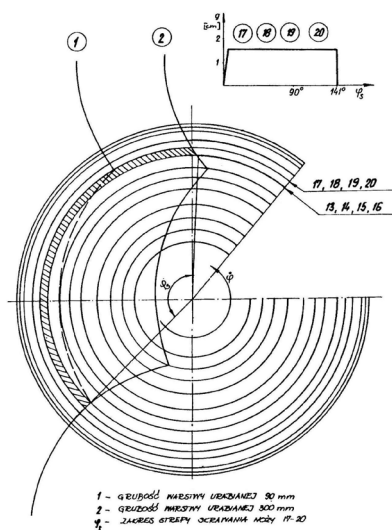
Fig. 2. Effect of the cutting height a_c of a particular value of head stroke h_E on the extraction rate [11].

Jak wynika z rys. 2, dla stałej wartości dosuwu głowicy z , wydajność rośnie liniowo wraz ze wzrostem wysokości cięcia głowicą h .



Rys. 3. Wpływ wysokości cięcia głowicą h , oraz wartości dosuwu głowicy z , na kształtowanie się wydajności urabiania, zależnie od prędkości obrotowej głowicy [11]

Fig. 3. Effect of the cutting height h , and of a particular value of head stroke hE on the extraction rate, depending on the head rotational speed [11]

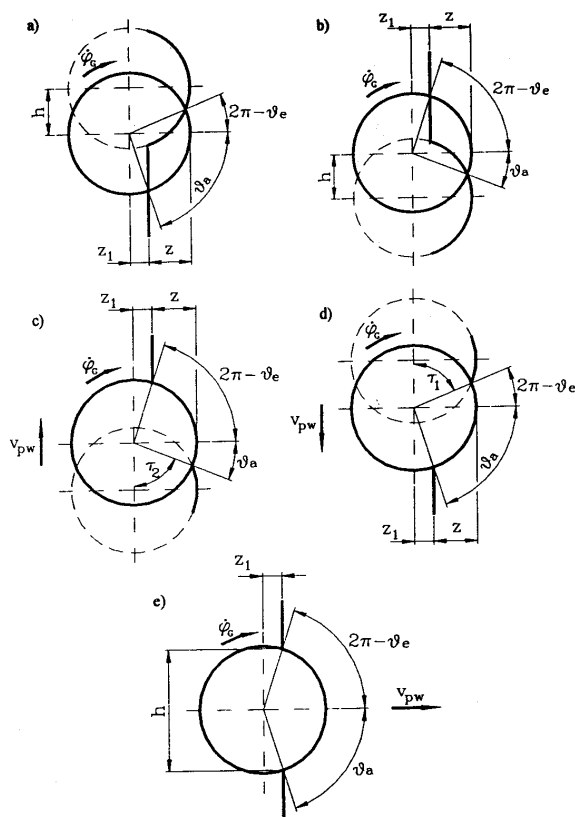


Rys.4. Kształt przekroju warstwy urabianej głowicą, jej wymiary dla różnych wartości zabioru głowicy oraz ilość noży w strefie skrawania [16]

Fig. 4. Shape of the head-mined layer section, its sizes for various web areas and number of cutting tools in the cutting zone [16]

Dobór wysokości cięcia jak i wartości dosuwu głowicy, w chwili obecnej realizowana jest wg wyczucia operatora. Ma to ogromny wpływ tak na dynamikę pracy głowicy, jej obciążenie jak i wydajność oraz moc urabiania. Problemy te były [16] i są ciągle sygnalizowane w wielu publikacjach, np. [1-4, 11, 16, 17].

Z większości publikacji wynika również, że urabianie z małymi wartościami parametrów h czy z powoduje ograniczenie liczby noży w strefie skrawania a w efekcie silny wzrost oscylacji momentu oporów czy mocy urabiania (co odbija się na trwałości węzłów konstrukcyjnych kombajnu jak i wydajności). W praktyce, stosowanie zmniejszonych wartości tych parametrów wynika z obawy operatorów przed przeciążeniem układu napędowego kombajnu, w przypadku urabiania skał o coraz większej zwięzłości (co nie zawsze jest zasadne). Stąd też prowadzi się ciągle próby nad opracowaniem automatycznych, adaptacyjnych układów sterowania posuwem głowicy uwzględniając kształtowanie się obciążenia i stan ostrzy noży zamontowanych na głowicy (np. [5, 7-10, 14, 18]).

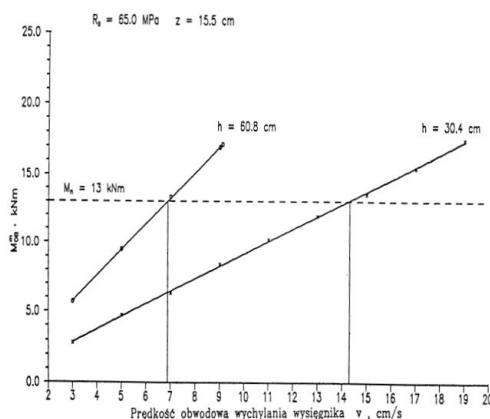


Rys. 5. Kształtowanie się strefy skrawania noża na głowicy poprzecznej zależnie od schematu urabiania [3]: a) urabianie warstwy dolnej w ruchu roboczym, b) urabianie warstwy górnej w ruchu roboczym, c) wychylenie wysięgnika w górę, d) wychylenie wysięgnika w dół, e) wcinanie

Fig. 5. Cutting zone of a cutting tool on the transverse head, depending on the extraction scheme [3]: mining lower layer with one operating motion, b) mining upper layer with one operating motion, c) extension arm upward swing, d) extension arm downward swing, e) intersecting

Generalnie, tak wzrost dosuwu jak i wysokości urabianej warstwy, sprzyjają ograniczeniu dynamiki pracy głowicy [2].

Rysunek 6 ilustruje z kolei typową współzależność pomiędzy prędkością wychylania wysięgnika (prędkością posuwu głowicy), założoną wartością dosuwu z , potencjalną wartością wysokości cięcia h oraz nominalną wartością momentu obrotowego na głowicy M_{OB} . Wszystkie te wielkości są zatem ze sobą ściśle skorelowane. Do chwili obecnej, nie opracowano jednak jakiegoś konkretnego algorytmu doboru tych parametrów, zależnie od parametrów głowicy, własności skał czy mocy zainstalowanej na kombajnie. Stąd kombajnście pozostaje intuicyjny dobór parametrów urabiania, który nie zawsze musi zabezpieczać optymalną pracę kombajnu, co częściowo potwierdzają wyniki kompleksowych badań w tym np. [1, 2, 17].



Rys. 6. Zależność średniego momentu obciążenia głowicy od prędkości wychylania wysięgnika, dla dwóch wartości wysokości cięcia h oraz stałej wartości dosuwu głowicy [4]

Fig. 6. Dependence of average load torque of head on extension arm swinging rate, for two values of cutting height h and constant head stroke [4]

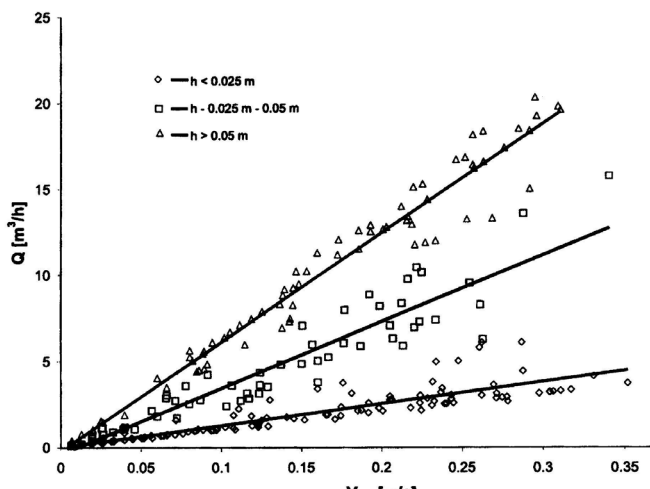
Generalnie, z badań wynika ponadto, że moc urabiania ulega pewnym oscylacjom, w miarę wzrostu prędkości posuwu głowicy jak również w przypadku wzrostu wydajności urabiania. Dla różnych kombajnów, proces przebiega w nieco odmienny sposób.

Dla urabianiu głowicą z określoną wartością przekroju warstwy urabianej, zależność wydajności urabiania w funkcji obwodowej prędkości wychylania wysięgnika, jest zależnością liniową (rys. 7, 8).

Z kolei zależność jednostkowej energii urabiania od prędkości posuwu głowicy dla określonej wartości przekroju urabianej warstwy (a więc dla określonego dosuwu i wysokości warstwy urabianej) jest zależnością hiperboliczną.

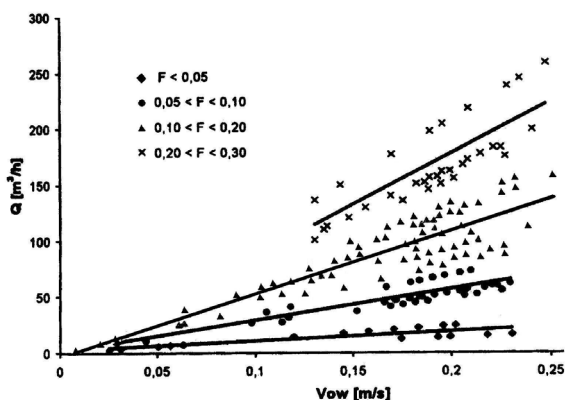
Z przedstawionych badań (w tym zwłaszcza [17]) wynika zatem szereg cennych informacji, tj. np.:

- przy urabianiu kombajnem chodnikowym małymi przekrojami warstwy, nie uzyskuje się dużej wydajności, nawet dla wysokich wartości prędkości posuwu głowicy!
- wydajność urabiania zależy od kształtu i pola powierzchni urabianej warstwy skalnej oraz od chwilowej prędkości wychylania wysięgnika,
- najczęściej osiągane wydajności urabiania to $50 \div 75 \text{ m}^3/\text{h}$ (kombajn AM75),
- najczęściej osiągane wartości prędkości wychylania wysięgnika to $0.15 \div 0.20 \text{ m/s}$ (AM-50) oraz $0.2 \div 0.25 \text{ m/s}$ (kombajn AM75).



Rys. 7. Wpływ prędkości wychylania wysięgnika na kształtowanie się wydajności urabiania, zależnie od wysokości warstwy urabianej głowicą kombajnu AM50z [17]

Fig. 7. Effect of the extension arm swinging velocity on the extraction rate, depending on the height of layer mined with the heading machine AM50z [17]



Rys. 8. Wpływ obwodowej prędkości wysięgnika (głowicy) na wydajność urabiania przy określonym przekroju urabianej warstwy [17]

Fig. 8. Effect of the extension arm (ripping head) swinging tangential velocity on extraction rate at a defined section of mined layer [17]

Mając zatem do dyspozycji określony moment obrotowy głowicy lub jej moc, dla określonej wytrzymałości skały, decydując się na określoną wartość dosuwu i wysokości cięcia, z założoną wydajnością efektywnie możemy urabiać jedynie z wynikową prędkością posuwu głowicy. Jest to bardzo ważna współzależność.

Ponieważ jednak charakterystyki dotychczas przedstawione, bezpośrednio są mało przydatne w codziennej eksploatacji kombajnów jak również w planowanych układach adaptacyjnego starowania procesem urabiania głowicą kombajnu chodnikowego (np. [9]), zachodzi potrzeba

ustalenia zmiennych sterowanych i sterujących oraz wielkości monitorowanych. Wydaje się być też konieczne ograniczenie tych wielkości do niezbędnego minimum.

PROPOZYCJA ALGORYTMU (METODYKI) OKREŚLANIA PARAMETRÓW PRACY GŁOWICY, W TYM PARAMETRÓW OPISUJĄCYCH TRAJEKTORIĘ JEJ RUCHU

Korzystając z dotychczasowych ustaleń, zaproponowano następujący algorytm wyznaczania optymalnej prędkości wychylania wysięgnika (prędkości posuwu głowicy):

1. Określenie przekroju i parametrów planowanego wyrobiska (dla planowanego typu obudowy-wartości znormalizowane),
2. Przyjęcie wytrzymałości na ściskanie skał poddawanych urabianiu (w danych warunkach urabiania),
3. Określenie nominalnej wydajności urabiania kombajnu, z poniższej zależności:

Dla konkretnego kombajnu chodnikowego (o określonej mocy głowicy i układu napędowego, oraz parametrach kinematycznych i geometrycznych głowicy) zależność wydajności od wytrzymałości skały na ściskanie jest hiperboliczna. Można ją zapisać w postaci [6]:

$$Q = \frac{719}{R_c^{0,78}}, \quad (1)$$

gdzie: Q - wskaźnik wydajności urabiania głowicą poprzeczną w funkcji wytrzymałości skały, m^3/h ; R_c - wytrzymałość skały na ściskanie, MPa.

Dla konkretnego kombajnu współczynniki we wzorze 1 powinny być jednak wyznaczone wcześniej (doświadczalnie).

4. Przyjęcie możliwej, maksymalnej dla danej konstrukcji głowicy, wartości dosuwu (wcięcia) głowicy – z (wynika z jej parametrów konstrukcyjnych),
5. Mając daną wartość Q oraz z , określić wartość przekroju S , warstwy urabianej głowicą, z zależności:

$$S = \frac{Q}{v_f}, m^2, \quad (2)$$

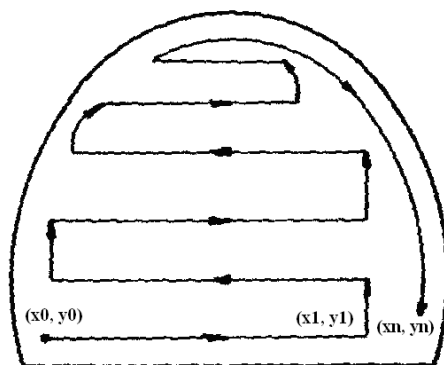
gdzie: Q - wydajność urabiania, m^3/h ; v_f - prędkość obwodowa głowicy (prędkość posuwu), m/h (czasem oznaczana jako v_{ob}).

6. Dla oszacowanej wartości przekroju urabianej warstwy S oraz przyjętej wartości dosuwu głowicy z , wyznaczyć maksymalną wysokości urabianej warstwy - h :

$$h = \frac{S}{z}, m, \quad (3)$$

gdzie: S - przekrój urabianej warstwy głowicą, m^2 ; z - dosuwu głowicy (głębokość wcięcia), m .

7. Określenie współrzędnych głowicy w charakterystycznych, skrajnych punktach zarysu planowanego wyrobiska, wynikających z parametrów z , h (niezbędnych do zaprogramowania sterownika nadzorującego trajektorię ruchu głowicy).
8. Wyznaczenie niezbędnej ilości przejść głowicy – n .
9. Oszacowanie minimalnego czasu wykonania poszczególnych elementów trajektorii głowicy jak i całego zarysu wyrobiska.
10. Zaprogramowanie sterownika nadzorującego ruch głowicy wg zadanej trajektorii.



Rys. 9. Współrzędne charakterystycznych punktów trajektorii ruchu głowicy

Fig. 9. Coordinates of head movement trajectory characteristic points

Dla realizacji powyższego algorytmu sterowania trajektorią ruchu głowicy, na kombajnie powinny być zabudowane:

- układ śledzący (monitorujący) aktualne położenie wysięgnika i głowicy,
- układ pomiarowy (monitorujący) prędkości obwodowej głowicy,

PODSUMOWANIE

Przedstawiony algorytm jest pierwszą tego typu propozycją w Polsce. Jej praktyczna weryfikacja oraz ewentualny, pozytywny wynik tej weryfikacji, pozwoli na optymalny dobór parametrów eksploatacyjnych maszyn roboczych (typu kombajn chodnikowy) do lokalnych warunków urabiania oraz powinno przyspieszyć prace nad automatyzacją procesu urabiania tymi maszynami. W efekcie, potencjalnie możliwe stanie się zdalne, automatyczne sterowanie tymi maszynami oraz wyprowadzenie załóg ze stref największego zagrożenia dla ludzi.

LITERATURA

1. Dolipski M., Cheluszka P., Sobota P., Mann R.: Badania energochłonności procesu urabiania poprzecznymi głowicami urabiającymi kombajnu chodnikowego. *Mech. i Aut. Górnictwa* 1999, 3 (343), s. 5-9.
2. Dolipski M., Cheluszka P.: Matematyczne modelowanie procesu urabiania kombajnem chodnikowym z głowicą podłużną. *Przegląd Górniczy* 1999, 9 (912), s.1-7.
3. Dolipski M., Cheluszka P.: Model dynamiczny układu urabiania kombajnu chodnikowego z głowicami poprzecznymi. *Arch. Górnictwa* 1999, Vol. 44, Is. 1, pp. 113-146.
4. Dolipski M., Sobota P., Cheluszka P., Osadnik J.: Nowoczesne głowice urabiające wysięgnikowych kombajnów chodnikowych. *Mat. Konf.: „Nowoczesne metody drążenia wyrobisk korytarzowych z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa pracy. CMG- Komag, Szczyrk, maj 1996, s. 1-8.*
5. Gajewski J., Jonak J.: Utilization of neural networks to identify the status of the cutting tool point. *Tunneling and Underground Space Technology* 2006, 21, pp. 180- 184.

6. Gehring K. G.: A cutting comparison. *Tunnels & Tunneling* 1989, 11, s. 27-30.
7. Jonak J., Gajewski J.: Identifying the cutting tool type used in excavations using neural networks. *Tunneling and Underground Space Technology* 2006, 21, pp. 185-189.
8. Jonak J., Podgórski J., Zubrzycki J.: Wybrane zagadnienia mechaniki skrawania materiałów. *Eksploatacja i Niezawodność* 2001, 5.
9. Jonak J.: Possibility of neural network application for predicting load excavating machines. *Journal of Mining Science* 2002, Vol. 38, No. 4, pp. 397-401.
10. Jonak J.: Use of artificial intelligence in automation of rock cutting by mining machines. *Journal of Mining Science* 2002, Vol. 38, No. 3, pp. 270-277.
11. Mahnert U., Gerhardt H., Bellmann A.: Rechnergestützte Optimierung von Teilschnittgewinnungsorganen unter Berücksichtigung der Arbeitsweise des Einzelwerkzeuges. *Neue Bergbautechnik* 1990, 20, Jg Heft 10, s. 379-385.
12. Mann R., Giza T., Staniczek F.: Systemy mechanizacyjne do drążenia wyrobisk korytarzowych w skałach trudnourabialnych. 60- lat REMAG- Sympozjum „Kombajny chodnikowe”. Katowice, wrzesień 2006, s. 51-61.
13. Materiały reklamowe firmy Eickoff: AC-Eickoff GmbH Roadheading Technic.
14. Prostański J., Jonak J.: Problemy wykorzystania sieci neuronowej do identyfikacji procesu skrawania skał nożami obrotowymi. *Eksploatacja i Niezawodność* 2001, 5.
15. Siejna K.: Kombajny chodnikowe produkowane w REMAG-u. *Maszyny Górnicze* 2000, nr 84.
16. Sikora W., Bąk K., Klich R.: Dynamika pracy głowicy urabiającej kombajnu chodnikowego typu AM-50. *ZN Pol. Śl., Seria Górnictwo* 1987, Z. 154, 113-129.
17. Sikora W., Cheluska P., Giza T., Sobota P., Mann R., Osadnik J.: Określenie sił i energochłonności urabiania nożami stożkowymi. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2000.
18. Zubrzycki J., Jonak J.: Zastosowanie analizy numerycznej do badania obciążenia noży płaskich skrawających materiał kruchy. *Eksploatacja i Niezawodność* 2001, 5.

Opracowanie dofinansowane przez MNiSzW w ramach projektu nr R03 031 02 „Inteligentny układ sterowania kombajnu chodnikowego”.

This article has been co-financed by the Ministry of Science and Higher Education, as a part of Project No. R03 031 02 “Intelligent control system for heading machines”.

MATCHING OPERATIONAL PARAMETERS OF WORKING MACHINES TO LOCAL OPERATING CONDITIONS

Summary. This article focuses on a proposed method for selecting the operational parameters of a working machine (heading machine) on the basis of its construction parameters (disposable power of ripping head, rotational speed and advance of the ripping head), rock resistance parameters, assumed values such as cutting height and stroke or intersection of the ripping head. For the assumed values of these parameters, as well as the maximum coal extraction rate (unitary volume of extracted rock), the velocity of head advance (extension arm swing) needs to be estimated.

Key words: excavation, heading machine, parameter.