ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1992
Seria: GÓRNICTWO z. 201 Nr kol. 1159

Włodzimierz SIKORA
Piotr CHELUSZKA

PROBLEM OPTYMALIZACJI KSZTAŁTU GŁOWIC URABIAJĄCYCH KOMBAJNÓW CHODNIKOWYCH

Streszczenie. Przedstawiona została problematyka związana z zagadnieniem optymalizacji kształtu poprzecznych głowic urabiających kombajnów chodnikowych. Zaprezentowany został program komputerowej optymalizacji kształtu głowic urabiających opracowany w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej oraz przykładowe wyniki obliczeń.

Summary. In the paper has been described the problems relating to optimization of transverse ripping heads of road headers. A program of computer optimization of transverse ripping heads of road headers has been presented, elaborated by the Institute of Mechanization of Mining of the Silesian Technical University, and an ezample results of calculations.

Резюме. В работе представлена проблема, связанная с вопросами оптимизации формы поперечных отбойных головок штрекопроходческих комбайнов.
Показана программа компьютерной оптимизации формы отбойных головок, разработанная в Институте механизации горной промышленности Силезского политехнического института, и даны примерные результаты расчетов.

1. WSTĘP

W roku 1990 w kopalniach węgla kamiennego w Polsce było w ruchu 456 kombajnów chodnikowych.

Warunkiem efektywnego ich wykorzystania jest odpowiednia konstrukcja głowicy urabiającej oraz właściwe dostosowanie do warunków naturalnych. Prowadzone w kraju badania wykazały, że istotnym czynnikiem wpływającym na ich pracę jest zużycie noży.

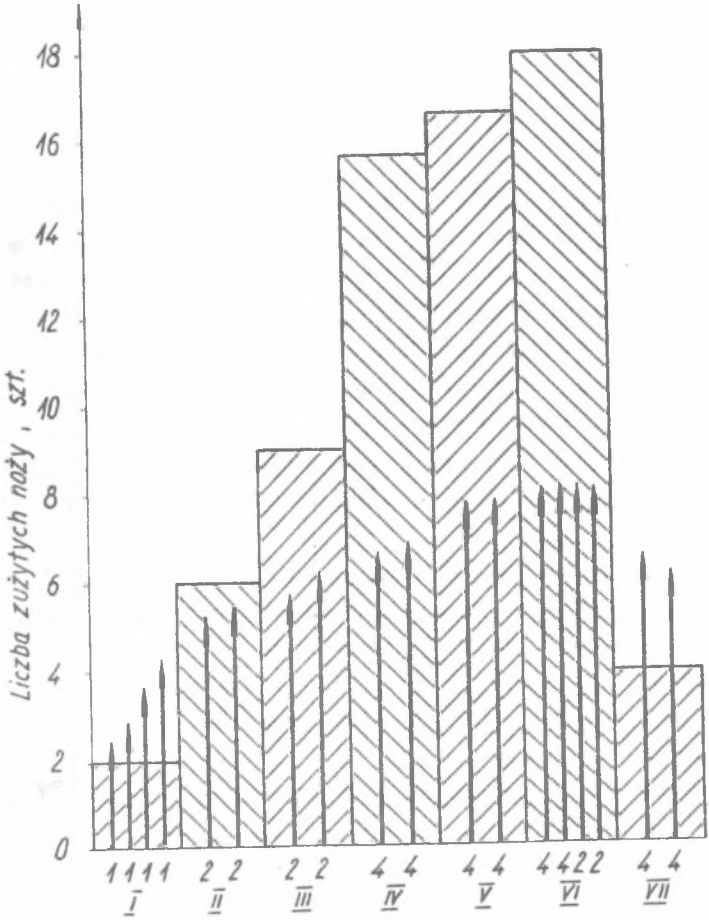
Ze wzrostem zużycia narzędzi roboczych rosną opory skrawania, co pociąga za sobą spadek wydajności kombajnu przy równoczesnym wzroście energochłonności procesu urabiania. Intensywność tego zużycia zależy od wielu czynników wynikających z własności urabianej skały, a w szczególności od jej własności zwanej ściernością. Duże znaczenie ma tutaj także kształt samej głowicy, jak i rozmieszczenie na niej narzędzi urabiających. Obrazuje to niżej przedstawiona tabela, w której zawarte zostały doświadczalne dane dotyczące zużycia noży w trakcie drążenia ok. 900 metrów wyrobiska kombajnem AM-50 [4]:

Strefa	I	II	III	IV	V	VI	VII
Liczba noży	4	4	4	8	8	12	8
Liczba noży zużytych	2	6	9	15	16	18	4
Wskaźnik zużycia	0,5	1,5	2,2	1,9	2,0	1,5	0,5

Rozmieszczenie noży badanej głowicy w poszczególnych strefach przedstawia rysunek 1.

Intensywność zużywania się noży w procesie urabiania jawi się szczególnie ważnym problemem i to zarówno w aspekcie ekonomicznym, jak i techniczno-organizacyjnym. Biorąc pod uwagę, że przykładowo dla wyrobiska o przekroju 15 m^2 zużycie narzędzi może dojść do 30 sztuk na 1 metr postępu drążonego wyrobiska [4], jego ograniczenie poprzez odpowiednie ukształtowanie głowicy urabiającej oraz rozmieszczenie noży przyczyni się do zmniejszeni nakładów eksploatacyjnych przez zmniejszenie zużycia materiałów oraz do skrócenia przerw w pracy. Umożliwi to w konsekwencji pełniejsze wykorzystanie maszyn i urządzeń zlokalizowanych w przodku.

Zważywszy więc na zadania stawiane głowicom urabiającym kombajnów chodnikowych, to jest: zapewnienie możliwie maksymalnej wydajności przy równoczesnym utrzymaniu niskiego zużycia noży, przy niskim obciążeniu jednostkowym mocy maszyny, prowadzone badania wskazują na konieczność poszukiwania nowych metod projektowania tych elementów, opartych na elektronicznej technice obliczeniowej, prowadzonej do optymalizacji konstrukcji.



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia noży głowicy kombajnu chodnikowego AM-50 oraz ich zużycie w trakcie drążenia ok. 900 metrów wyrobiska

Fig. 1. Diagram of the arrangement of the cutting tools of AM-50 road header in the coruse of driving about 900 m of excavation

2. ZAGADNIENIE OPTYMALIZACJI W ASPEKCIE PROJEKTOWANIA GŁOWIC URABIAJĄCYCH KOMBAJNÓW CHODNIKOWYCH

Problemami optymalizacji głowic kombajnów chodnikowych zajmuje się od dłuższego czasu Uniwersytet w Clausthal, RFN [2, 3, 5].

Przedstawione w publikacjach wyniki wskazują, że jest to problem trudny. Na podstawie tych publikacji nie można jeszcze przeprowadzić optymalizacji.

Tym niemniej stanowić one mogą punkt wyjścia dla prowadzenia prac w tym zakresie.

Bardzo istotnym etapem optymalizacji, a zarazem najbardziej ważkim i trudnym problemem jest wybór kryteriów optymalizacji. Od ich prawidłowego doboru zależy pomyślny jej rezultat.

Mając na uwadze wymagania stawiane głowicom urabiającym kombajnów chodnikowych, wydaje się być słuszne przyjęcie jako podstawowe kryterium optymalizacji - kryterium jednakowych objętości urabianych przez każdy nóż z osobna, przy obrocie roboczym głowicy [3].

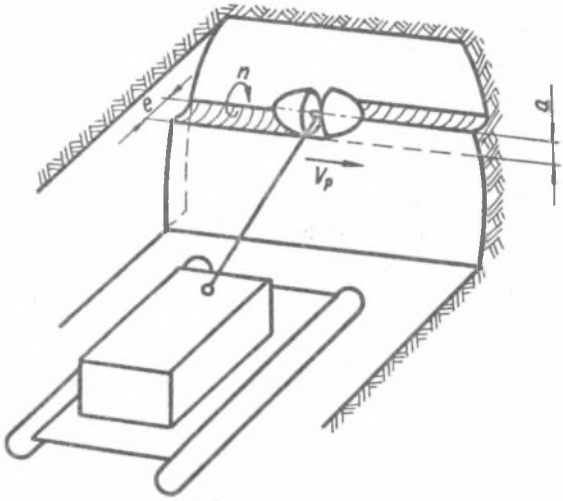
Tak przyjęte kryterium optymalizacji zapewni, oprócz uzyskania maksymalnej objętości urobionej przez głowicę w czasie każdego jej obrotu, równomierne zużycie ścierne wszystkich noży, a także przyczynić się powinno do wyrównania obciążeń poszczególnych noży, co jest korzystne zarówno z punktu widzenia obciążenia układu napędowego głowicy urabiającej, jak i trwałości samych noży.

Powyższe kryterium nie jest jedynym, jakie jest uwzględniane w procesie optymalizacji głowicy urabiającej. Występuje tutaj szereg warunków pobocznych, determinujących kształt projektowanej głowicy, które prowadzą do znacznego zawężenia pola możliwych rozwiązań. Warunki te wynikają zarówno z mechanizmów występujących w samym procesie skrawania, jak i z szeregu założeń konstrukcyjnych.

Proces optymalizacji prowadzony jest dla kombinacji pewnych parametrów techniczno-ruchowych, do których zaliczyć należy

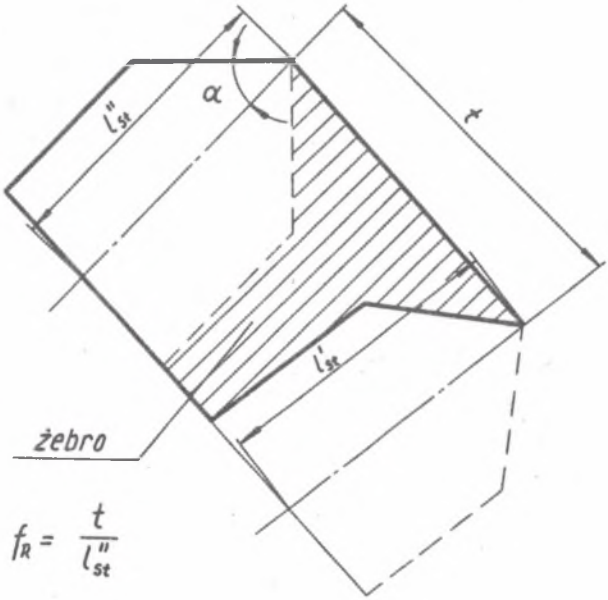
1) wielkości techniczne:
   - n - prędkość obrotową głowicy,
   - v_p - prędkość posuwu głowicy w kierunku zgodnym z jej osią obrotu,
2) wielkości ruchowe:
   - e - zabiór,
   - a - grubość warstwy urabianej,
3) własności skały:
   - α - kąt bocznego rozkruszania - definiowany jako kąt między powierzchnią boczną skrawu a jego osią,
   - f_R - współczynnik wyłamania żebra - rozumiany jako stosunek podziałki skrawania do głębokości skrawu, przy którym nastąpi wyłamanie żebra (grzebienia) między sąsiednimi liniami skrawania.

Powyższe wielkości przedstawione zostały na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Przykładowy schemat oraz parametry pracy kombajnu chodnikowego

Fig. 2. Example diagram and working parameters of a road header



Rys. 3. Kształt oraz parametry skrawu wykonanego przez pojedynczy nóż głowicy urabiającej kombajnu chodnikowego

Fig. 3. Shape and parameters of a cutt made by a single cutting tool of the ripping head of a road header

Rzeczą oczywistą jest, że zmiana wartości powyższych parametrów wyklucza optimum, co oznacza, że optymalne warunki pracy głowicy możliwe są do uzyskania tylko wtedy, gdy wartości tych parametrów w czasie pracy odpowiadają założonym w trakcie konstruowania.

Oprócz wymienionych już parametrów konieczna jest ponadto znajomość wymiarów gabarytowych obliczanej głowicy:

d_{max} - średnicy maksymalnej,
L - długości,

a także:

M - liczby noży na jednej spirali,
l_s - liczby spiral.

Wielkości te są niezbędne do określenia danych wyjściowych procesu optymalizacji.

Zagadnienie optymalizacji kształtu głowicy urabiającej sprowadza się do określenia modelu matematycznego stanowiącego pewne relacje między wielkościami, których wartości poszukujemy (w rozpatrywanym przypadku są to współrzędne opisujące rozmieszczenie wierzchołków ostrzy poszczególnych noży, przedstawione na rys. 4) oraz wielkościami, których wartości są determinowane przez przyjęte kryterium optymalizacji (tu - objętości urobku zeskrawanego przez noże).

Model matematyczny stanowi zatem zespół M równań nieliniowych o $3M$ zmiennych niezależnych postaci:

$$V_1 = V_1(z_{01},\ldots,z_{0M};\ r_1,\ldots,r_M;\ \beta_1,\ldots,\beta_M)$$

$$V_2 = V_2(z_{01},\ldots,z_{0M};\ r_1,\ldots,r_M;\ \beta_1,\ldots,\beta_M)$$

$$\vdots$$

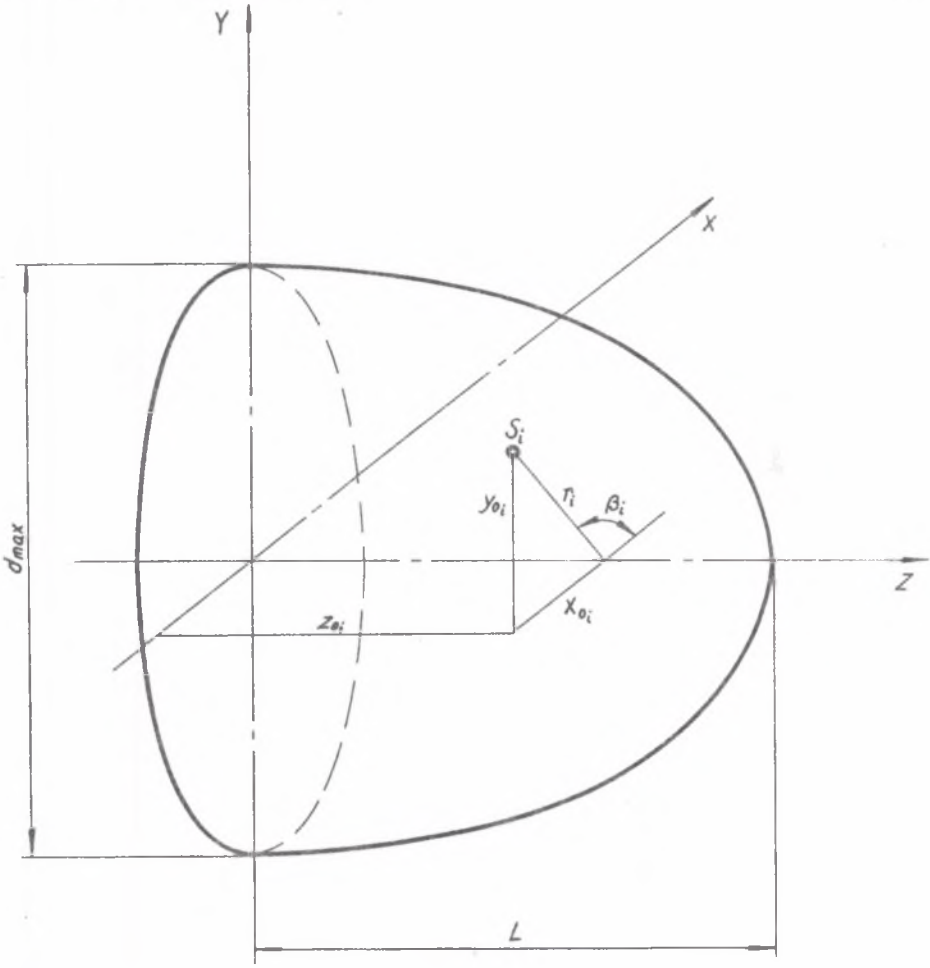
$$V_M = V_M(z_{01},\ldots,z_{0M};\ r_1,\ldots,r_M;\ \beta_1,\ldots,\beta_M)$$

Przy czym:

$$V_i = V_z \qquad \text{dla} \quad i = 1,\ldots,M$$

gdzie:

V_z - wartość zadana objętości urobionej przez każdy nóż.



Rys. 4. Współrzędne opisujące położenie wierzchołka ostrza i-tego noża głowicy urabającej kombajnu chodnikowego

Fig. 4. Co-ordinates describing the position of the cutting edge vortex of i-th cutting tool of the road header ripping head

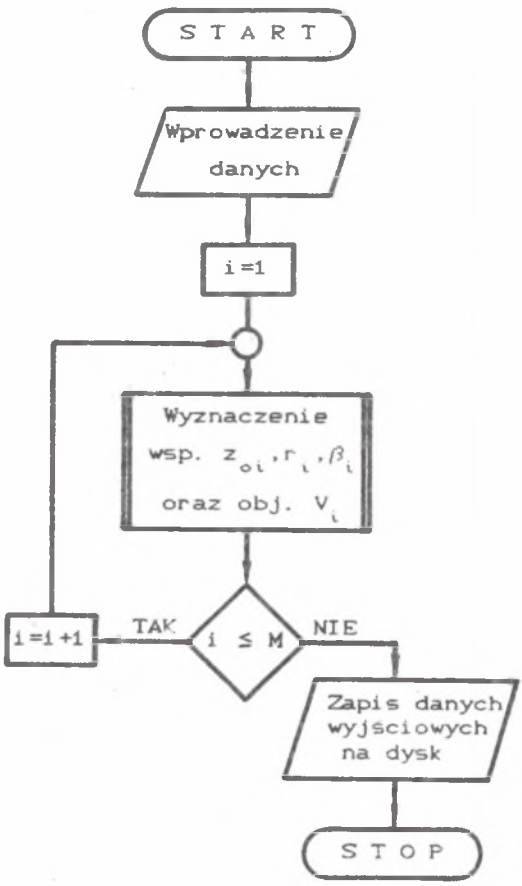
W miejscu tym należy zwrócić uwagę, że analiza prowadzona jest dla M noży (dla głowicy wyposażonej w noże rozmieszczone wzdłuż jednej spirali), przy czym parametry ich są tak dobrane, że istnieje możliwość transpozycji wyników na obiekt rzeczywisty.

Rozwiązanie powyższego układu równań jest możliwe tylko przy wykorzystaniu iteracyjnych metod obliczeniowych; stąd ze względu na dużą liczbę obliczeń numerycznych nieodzowne staje się wykorzystanie elektronicznych maszyn cyfro-

wych. W Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej prowadzone są prace nad programem komputerowym.

3. CHARAKTERYSTYKA PROGRAMU OPTYMALIZACYJNEGO

Opracowany program komputerowej optymalizacji poprzecznych głowic urabiających kombajnów chodnikowych bazuje na doświadczeniach Uniwersytetu Technicznego w Clausthal [2, 3, 5], wzbogaconych o szereg własnych rozwiązań i przemyśleń w tej dziedzinie.



Rys. 5. Algorytm bloku wprowadzenia danych

Fig. 5. Algorithm of data input block

Program ten składa się z trzech zasadniczych części:

1. Blok wprowadzania danych (rys. 5)

W bloku tym zostają wprowadzone wszystkie niezbędne dane do obliczeń, na podstawie których następuje wyznaczenie parametrów poszczególnych noży (współrzędnych ich wierzchołków oraz urabianej objętości) głowicy wyjściowej o kształcie stożka ściętego. Istnieje przy tym możliwość wprowadzania bezpośredniego tych parametrów, w przypadku optymalizacji kształtu istniejącej już rzeczywistej głowicy.

W niniejszej części programu wyznaczana jest ponadto objętość zadana V_z, jaką mają urabiać poszczególne noże.

Tak określone dane wyjściowe procesu optymalizacji zapisywane są na dysku do odpowiednich zbiorów.

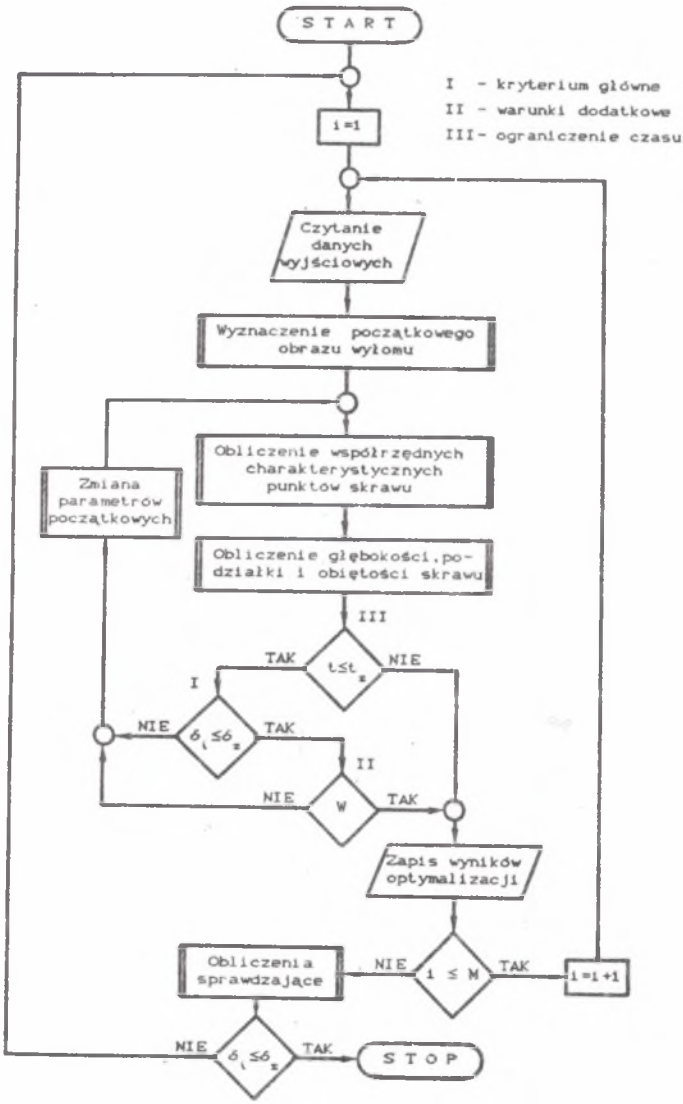
2. Blok obliczeń optymalizacyjnych

W tej części programu prowadzone są zasadnicze obliczenia optymalizacyjne (rys. 6).

Proces ten przebiega następująco:
głowicę urabiającą obraca się o pełny obrót, aby ustalić obraz wyjściowy wyłomu w urabanej caliźnie. Powstały w ten sposób obraz zostaje zapamiętany w pamięci maszyny cyfrowej. Następnie, poczynając od pierwszego noża (o najmniejszym promieniu działania), wyznaczany jest kształt skrawu wykonywanego przez analizowany nóż oraz obliczana jest jego objętość V_i. Objętość ta porównywana jest z wartością zadaną V_z. W przypadku gdy błąd względny δ_i jest większy od założonego, następuje zmiana wartości parametrów wyjściowych danego noża (współrzędnych jego wierzchołka) i ponowne wykonanie wyżej opisanych obliczeń.

Proces ten trwa dopóty, dopóki nie zostaną spełnione kryteria optymalizacji: główne i poboczne, po czym następuje zapis wyników na dysku i przejście do następnego noża.

Po zakończeniu obliczeń dla ostatniego noża wykonywane są obliczenia sprawdzające. W przypadku gdy uzyskane wartości odbiegają w znacznym stopniu od wartości zadanej, przeprowadzany jest następny cykl obliczeniowy.



Rys. 6. Algorytm bloku obliczeń optymalizacyjnych

Fig. 6. Algorithm of optimization calculations block

Tabela 1

Optymalizacja glowicy: A-1

1) Dane wyjsciowe do obliczen:

Srednica maksymalna:	d =100.0 [cm]
Dlugosc:	L = 50.0 [cm]
Predkosc obrotowa:	n = 60.0 [obr/min]
Predkosc posuwu :	vp= 5.0 [cm/s]
Zabior:	e = 40.0 [cm]
Grubosc warstwy urabianej:	a = 60.0 [cm]
Kat bocznego rozkruszenia:	α = 45.0 [deg]
Wspolczynnik wylamania zebra:	fr= 2.0
Liczba spiral:	ls= 1.0
Liczba nozy jednej spirali:	15
Liczba nozy jednej spirali bioracych udzial w urabianiu:	15
Nr pierwszego noza skrawajacego:	1
Nr ostatniego noza skrawajacego:	15

Teoretyczna obietosc skrawu: Vz= 621.1 [cm3]

Parametry ostrzy nozy jednej spirali:

Lp.	z0 [cm]	r [cm]	β [deg]	V [cm3]
1	50.0	16.1	0.0	656.5
2	45.4	19.3	83.0	370.7
3	41.2	22.1	152.0	375.0
4	37.5	24.7	213.0	401.6
5	34.0	27.0	267.0	397.2
6	30.7	29.3	317.0	450.1
7	27.5	31.4	3.0	459.1
8	24.4	33.5	46.0	495.3
9	21.3	35.6	86.0	531.1
10	18.2	37.7	124.0	564.5
11	15.0	39.9	160.0	627.3
12	11.6	41.9	194.0	626.4
13	8.1	44.5	226.0	794.5
14	4.3	47.7	256.0	1069.0
15	0.0	50.0	284.0	965.6

2) Wyniki optymalizacji:

Srednia obietosc skrawu: Vs= 621.2 [cm3]

Lp.	z0 [cm]	r [cm]	β [deg]	V [cm3]	lst [cm]	t [cm]	δ [%]
1	33.2	16.5	0.0	628.8	6.7	3.7	1
2	32.5	20.9	83.0	616.5	6.6	3.5	-1
3	31.2	24.6	152.0	627.7	5.9	3.1	1
4	29.4	27.8	213.0	625.7	5.5	3.0	1
5	27.6	30.7	267.0	623.4	5.4	2.7	0
6	25.5	33.3	317.0	622.8	5.1	2.7	0
7	23.2	35.7	3.0	619.0	4.6	2.7	-0
8	20.9	38.0	46.0	624.5	4.5	2.6	1
9	18.3	40.1	86.0	627.6	4.1	2.7	1
10	15.3	42.1	124.0	633.5	3.6	3.0	2
11	12.5	44.0	160.0	601.4	3.5	2.7	-3
12	9.5	45.8	194.0	619.7	3.4	2.8	-0
13	6.5	47.6	226.0	626.6	3.3	2.8	1
14	3.3	49.2	256.0	611.4	3.0	2.9	-2
15	0.0	50.8	284.0	608.8	2.8	2.9	-2

TAB. 1.

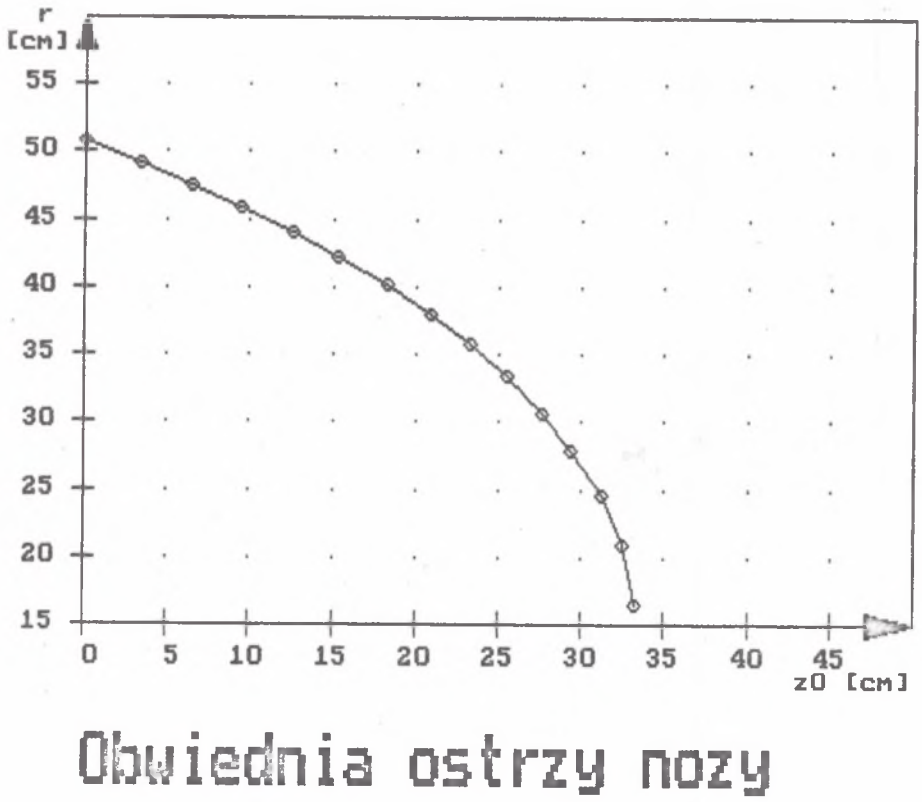
3. Blok wyprowadzenia wyników

W bloku tym następuje wydruk uzyskanych wyników w postaci alfanumerycznej oraz graficznej - wykreślonej obwiedni noży zoptymalizowanej głowicy oraz wykonanego przez nią wyłomu w caliźnie w czasie jednego jej obrotu.

4. PRZYKŁADOWE OBLICZENIA OPTYMALIZACYJNE

W punkcie niniejszym zamieszczono przykładowe wyniki obliczeń optymalizacyjnych wykonanych w oparciu o wykorzystanie zaprezentowanego programu.

Obliczenia wykonane zostały dla modelowej głowicy urabiającej, której dane techniczno-ruchowe zamieszczono na wydruku (tablica 1).



Rys. 7. Obwiednia ostrzy noży zaoptymalizowanej głowicy urabiającej

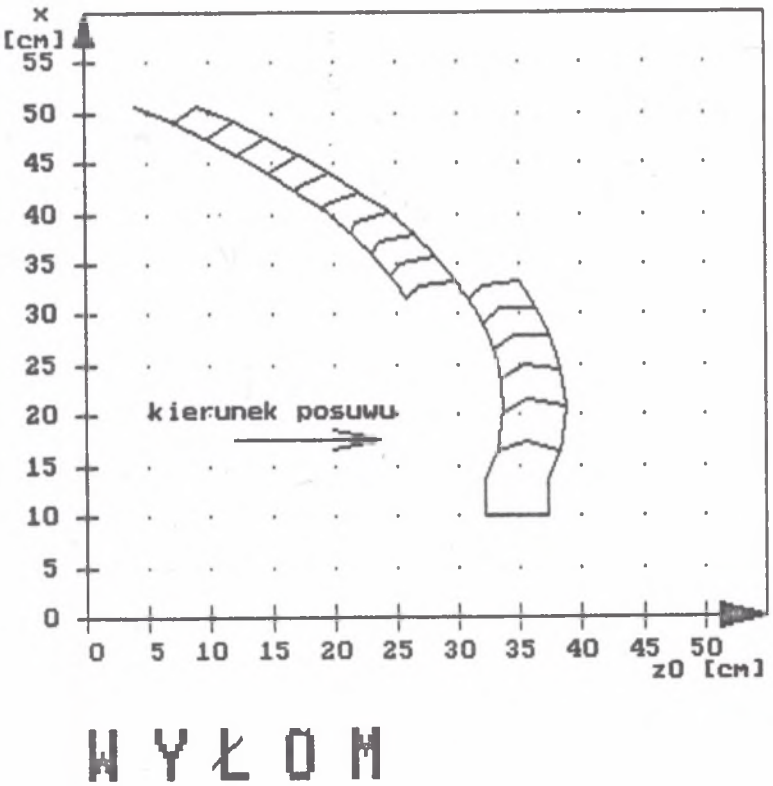
Fig. 7. Envelope of the cutting tools edges of an optimized ripping head

Przedstawiony wydruk zawiera ponadto parametry wyjściowe ostrzy noży głowicy wyjściowej, jak i wynik optymalizacji.

Na rysunku 7 przedstawiono obwiednię noży zoptymalizowanej głowicy, a na rysunku 8 wykonany przez nią wyłom w urabianej caliźnie.

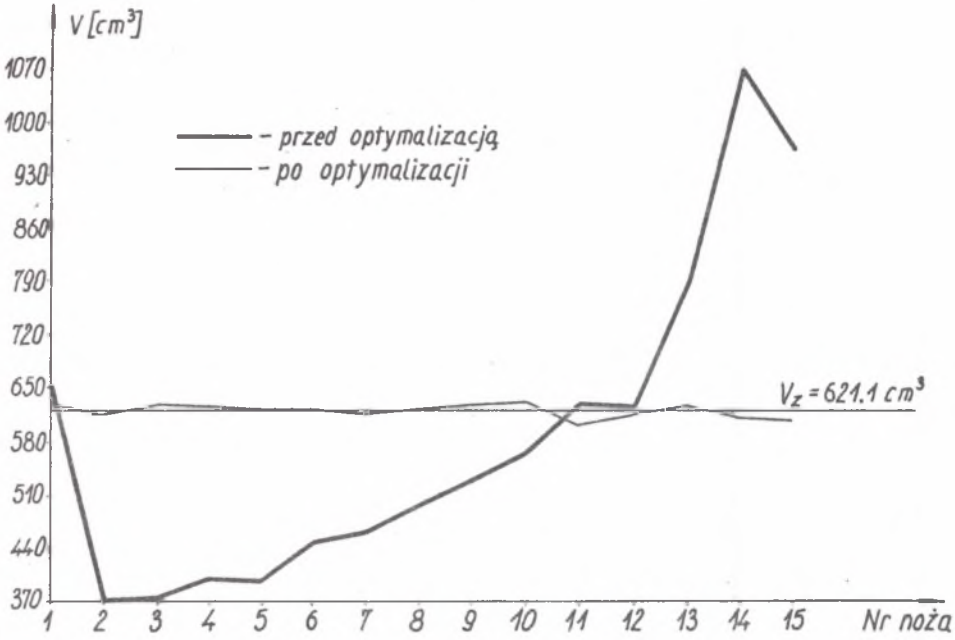
Rysunek 9 zawiera porównanie objętości urabianych przez poszczególne noże przed, jak i po optymalizacji.

Przeprowadzone przez autorów obliczenia optymalizacyjne dla kilku kombinacji parametrów wyjściowych pozwalają na wyciągnięcie wniosku, iż obwiednia zoptymalizowanej głowicy urabiającej, niezależnie od konfiguracji danych wyjściowych, posiada zawsze postać paraboloidy obrotowej, a także że głowica powinna posiadać spiralne rozłożenie noży.



Rys. 8. Wyłom wykonany przez zoptymalizowaną głowicę urabiającą w czasie jednego jej obrotu

Fig. 8. Breakout made by the optimized ripping head during one rotation



Rys. 9. Porównanie objętości urabianych przez noże głowicy przed i po optymalizacji

Fig. 9. Comparison of the volumes mined by the cutting tools of the head before and after optimization

5. PODSUMOWANIE

Mając na uwadze postępujący rozwój techniki kombajnowej w robotach przygotowawczych i udostępniających problem optymalizacji konstrukcji podstawowego elementu kombajnu, jakim jest głowica urabiająca, staje się w chwili obecnej szczególnie istotnym zagadnieniem ze względów ekonomicznych, eksploatacyjnych, jak i techniczno-ruchowych. Wymusza to konieczność nowego podejścia do zagadnienia konstruowania tych elementów, a także poszukiwania nowych metod i narzędzi do jego rozwiązania.

Przedstawiony w niniejszym artykule program komputerowej optymalizacji kształtu poprzecznych głowic urabiających kombajnów chodnikowych stanowi właśnie takie narzędzie.

W miejscu tym należy zwrócić uwagę, że program ten jest początkowym etapem rozwiązywania zagadnień wiążących kształt głowicy urabającej ze zjawiskami

występującymi w trakcie procesu urabiania, mających istotny wpływ na pracę maszyny urabiającej.

W dalszym etapie istnieje konieczność przeprowadzenia szczegółowej analizy dynamicznej procesu urabiania, co pozwoli na określenie obciążeń, jakim podlegają poszczególne noże w trakcie tego procesu oraz obciążeń całego układu napędowego głowicy urabiającej, dzięki czemu możliwe stanie się określenie zależności kształtu optymalizowanej głowicy od minimalnego zapotrzebowania mocy przy urabianiu określonej objętości.

Istnieje ponadto konieczność przeprowadzenia weryfikacji przyjętych modeli, kryteriów optymalizacji oraz uzyskanych drogą obliczeń wyników na podstawie badań na obiektach rzeczywistych.

LITERATURA

[1] **Jaworski B.**: Próba symulacji skrawania i optymalizacji głowicy. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 7/1987.

[2] **Kleinert H.W.**: Entwicklungsstand der Schneidtechnik von Teilschnitt-Streckenvortriebsmaschinen. Glückauf 125/1989.

[3] **Knissel W., Kleinert G.W., Mittmann M.**: Verfahren zur Auslegung und Optimierung der Schneidkopfe von Teilschnitt-Vortriebsmaschinen. Glückauf 120/1984.

[4] **Sikora W.**: Praca organów urabiających kombajnów chodnikowych AM-50 w różnych warunkach urabiania. Przegląd Górniczy 2/1988.

[5] **Wiese H.F.**: Grundlagenuntersuchungen zur Optimierung der Lösearbeit von Teilschnitt-Vortriebsmaschinen mit Querschneidkopf. Diss. Clausthal 1982.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. **Adam KLICH**

Wpłynęło do Redakcji w maju 1991 r.

THE PROBLEM OF OPTIMIZATION OF THE SHAPE OF THE RIPPING HEADS OF ROAD HEADERS

Abstract

An essential factor affecting the performence of the ripping heads of road headers is the wear of the cutting tools influencing both the power consumption of the process of mining, the efficiency of the road header, and the operating costs. it depends i.a., on the shape of the head itself, and the arrangement in it of the mining tools. Taking this into consideration there is a necessity for the search of new methods of designing of these elements based on electronic data processing leading to an optimization of their construction. In the present paper has been presented an algorithm of procedure and a program of computer optimization of transverse ripping heads of road headers. The criterion of the same capacities mined by each cutting tool with the operating turn of the head was assumed as the optimization criterion. This criterion has not been the only one considered - here occurs a number of additonal conditions determining the shape of the head, which lead to a significant narrowing of the field of the possible solutions.

The process of optimization is carried out for the combination - technical - operating parameters: v_p, n, e, a and properties of the rock: α, f_R (fig. 2, 3). The problem of optimization of the shape of the ripping head is reduced to the determination of a mathematical model constituting relationships between the quantities whose values we are searching for (coordinates of the vertex of the cutting tool edges - fig. 4) and the quantities whose values are determined by the assumed criteria of optimization. At the Institute of the Mechanization of Mining of the Silesian Technical University a program of computer optimization of transverse ripping heads of road headers has been developed by the authors of the paper, basing on the experiments of TU Clausthal, enriched with a number of own solutions and considerations. The algorithm of procedure has been presented in fig. 5, 6.

The optimization calculations made by the authors for the different combinations of the output parameters, an example of which has been given in item 4 of the paper, permit a conclusion that the envelope of the optimized ripping head, regardless of the configuraton of the data, should have the form of a paraboloid of revolution and spiral distribution of the cutting tools.