

## Komputerowe wspomaganie w projektowaniu frezujących organów urabiających

*Projektowanie organów urabiających jest procesem złożonym, wymagającym wielokrotnego przeliczania skomplikowanych wzorów, wiążącym się z dokonywaniem każdorazowo korekty założeń danych wejściowych w celu zapewnienia wysokiej skuteczności i efektywności ich działania oraz trwałości i niezawodności podczas eksploatacji w trudnych warunkach górniczo-geologicznych. W artykule zaprezentowano autorski program umożliwiający projektowanie organu z nożami oraz z dyskami. Po wprowadzeniu danych wejściowych do programu oraz dokonaniu procesu obliczeniowego przedstawia on w sposób graficzny rozkład narzędzi skrawających na rozwinięciu organu oraz rozkład skrawów generowany przez zaprojektowany organ. Umożliwia wyznaczenie sił i momentów sił działających na pojedyncze narzędzie skrawające oraz sił i momentów zredukowanych na końcu wału organu.*

*słowa kluczowe: komputerowe wspomaganie projektowania, urabianie skał, frezujące organy urabiające, frezujące organy ślimakowe.*

### 1. WPROWADZENIE

---

Urabianie, czyli oddzielanie części skały od calizny, jest pierwszą operacją, jaką należy wykonać w całym ciągu technologicznym mającym na celu pozyskiwanie kopalin użytecznych. W polskim i światowym górnictwie większość prac związanych z drążeniem wyrobisk korytarzowych i eksploatacją surowców mineralnych prowadzona jest metodami mechanicznymi [2, 5, 6].

Wykorzystanie nowoczesnych środków i metod wytwarzania maszyn górniczych oraz ich podzespołów jest jednym z podstawowych warunków zapewnienia wysokiej skuteczności i efektywności ich działania oraz trwałości i niezawodności podczas eksploatacji w trudnych warunkach górniczo-geologicznych [5, 6].

Do najważniejszych grup maszyn stosowanych w górnictwie należą maszyny urabiające. W górnictwie podziemnym węgla kamiennego, a także coraz częściej innych surowców mineralnych, takich jak sól czy rudy miedzi, rolę tę pełnią kombajny ścianowe oraz kombajny chodnikowe z organami (głowicami) roboczymi wyposażonymi w różnorodne narzędzia urabiające. Głównym zadaniem realizowanym przez

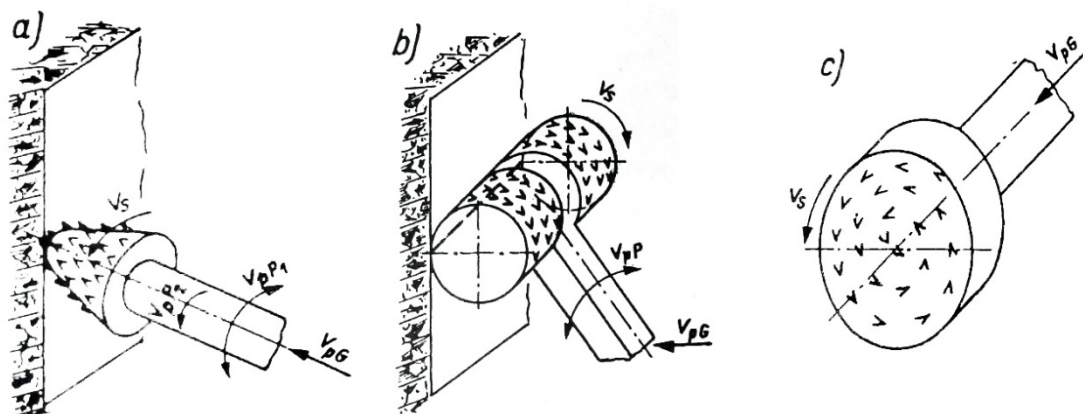
tego rodzaju maszyny jest urabianie skały, dzięki czemu możliwe jest udostępnienie i przygotowanie złoża do eksploatacji. W przypadku drążenia wyrobisk korytarzowych stosowane są kombajny chodnikowe, natomiast w przypadku robót eksploatacyjnych – kombajny ścianowe i kombajny pełnoprzekrojowe. Proces ten realizowany jest powszechnie na zasadzie skrawania organami urabiającymi wyposażonymi w narzędzie skrawające (noże promieniowe, noże stycznobrotowe, narzędzie dyskowe) osadzone w uchwytach przyspawanych do tych organów [4, 5, 10].

Stereometria organów górniczych maszyn urabiających, a więc liczba, rodzaj oraz sposób rozmieszczenia i ustawienia narzędzi skrawających, ma istotny wpływ na przebieg procesu urabiania skał, determinujący możliwość uzyskania wysokich wydajności przy jak najmniejszych kosztach. Ze względu na złożoność zjawisk towarzyszących skrawaniu skał proces projektowania organów maszyn urabiających wspomagany jest narzędziami komputerowymi. Dzięki komputerowej symulacji procesu urabiania skał możliwa jest optymalizacja budowy organu i dostosowanie jej do warunków eksploatacyjnych maszyny urabiającej [4, 11, 12].

## 2. FREZUJĄCE ORGANY URABIAJĄCE KOMBAJNÓW CHODNIKOWYCH

Jednym z podstawowych kryteriów podziału kombajnów chodnikowych jest, decydujący o strukturze kinematycznej manipulatora urabiania, sposób atakowania czoła przodka. Ze względu na to kryterium wyróżnić można kombajny urabiające punktowo,

a więc selektywnie, z głowicami ramionowymi, o co najmniej dwóch stopniach swobody w ruchu w płaszczyźnie czoła przodka, kombajny urabiające liniowo z głowicą wysięgnikową o jednym stopniu swobody w takim ruchu i pełnoprzekrojowe, których głowica nie wykonuje ruchu w płaszczyźnie czoła przodka, choć ruchy takie mogą wykonywać elementarne składowe organu urabiającego, takie jak tarcze czy ramiona (rys. 1) [1, 3].



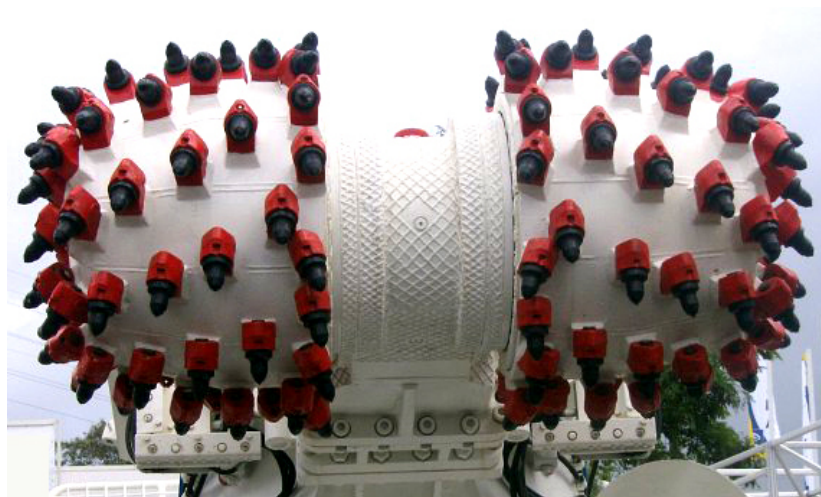
Rys. 1. Schematy urabiania czoła przodka różnymi rodzajami organów urabiających:  
a – urabianie punktowe, b – urabianie liniowe, c – urabianie pełnoprzekrojowe [3]

Kombajny chodnikowe przy użyciu głowic wielo-  
nożowych realizują proces frezowania, który odbywa się przy złożeniu ruchów roboczego i posuwowego, w trzech najważniejszych kombinacjach:

- obrotowy ruch główny głowicy i obrotowy ruch posuwowy wysięgnika, do którego zamocowana jest głowica, przy czym oś obrotu głowicy jest prostopadła do osi wysięgnika, stąd tego typu głowice nazywamy głowicami poprzecznymi (rys. 2).
- obrotowy ruch główny głowicy i obrotowy ruch posuwowy wysięgnika wraz z zamocowaną gło-

wicą, przy czym oś obrotu głowicy jest równoległa do osi wysięgnika, stąd tego typu głowice nazywamy głowicami podłużnymi (rys. 3).

- obrotowy ruch główny głowicy, przymocowanej do ramienia, oraz postępowy, zazwyczaj prostoliniowy, ruch posuwowy, który występuje w głowicach walcowych, stosowanych w kombajnach urabiających liniowo (rys. 4) przy drażnieniu wyrobisk korytarzowych o przekroju prostokątnym, ale również w maszynach drogowych [1, 4, 10].



Rys. 2. Głowica urabiająca kombajnu chodnikowego firmy Alpine [13]



Rys. 3. Głowica urabiająca kombajnu EBZ 230 XCMG firmy Times Asia [14]



Rys. 4. Głowica urabiająca kombajnu CM345 firmy CATERPILLAR [15]

### 3. FREZUJĄCE ORGANY URABIAJĄCE KOMBAJNÓW ŚCIANOWYCH

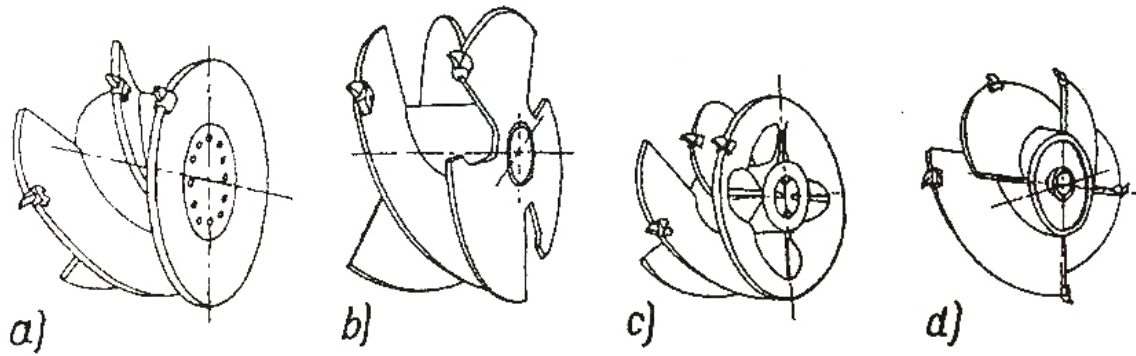
Elementem roboczym ścianowego kombajnu frezującego jest organ urabiający skałę za pomocą narzędzi skrawających i ładujący urobek na ścianowy przenośnik zgrzeblowy. Stosowane obecnie kombajny ścianowe zaopatrzone są we frezujące organy ślimakowe, których budowa wraz z odpowiednim układem nożowym, przy założonych parametrach konstrukcyjnych i kinematycznych, powinna zapewnić jak najlepsze efekty urabiania i ładowania, a więc małe zużycie energii, dużą wydajność i małe rozdrobnienie węgla [7, 9].

Aktualnie stosuje się frezujące organy ślimakowe o różnej liczbie płatów oraz kształcie tarczy odcinającej (rys. 5). Kształt kadłuba (tarcza, piasta, płyty) wynika z funkcji, jakie ma realizować organ urabiający, oraz kinematyki ruchu maszyny urabiającej. Maszyna urabiająca, a razem z nią organ lub organy, przemieszczają się wzdłuż czoła ściany z prędkością posuwu  $v_p$ . Jednocześnie same organy wykonują ruch

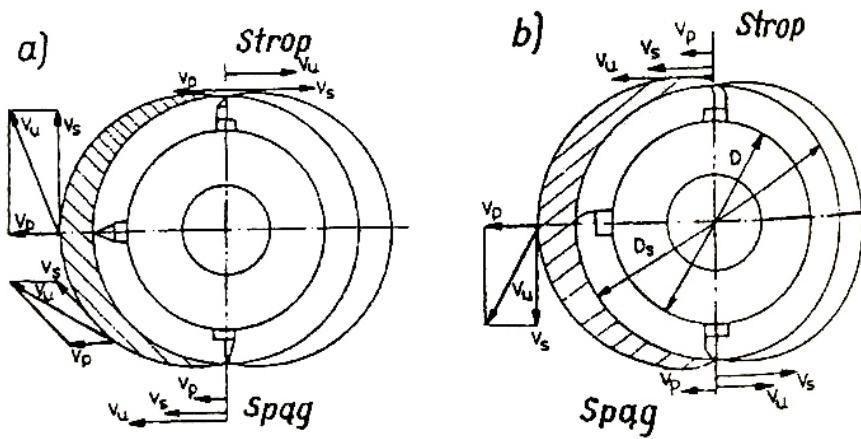
obrotowy wokół własnej osi z prędkością skrawania  $v_s$ , która jest funkcją ich średnicy  $D_s$  i obrotów  $n$ . Złożenie tych dwóch prędkości powoduje, że narzędzia skrawające wnikają w calinę węglową z prędkością wypadkową  $v_u$ . Natomiast ruch obrotowy organu i jego kształt wymusza ładowanie urobku na przenośnik zgrzeblowy [7, 9].

Obroty organu oraz zwrot prędkości posuwu  $v_p$  skutkują odmiennymi kierunkami jego pracy, czyli miejscem wejścia i wyjścia narzędzi skrawających oraz ruchem urobku wewnątrz organu. Dlatego też przyjęło się określać obroty organu jako nadsiębierne (rys. 6a), gdy narzędzie skrawające zaczyna urabiać przy spągu, a kończy przy stropie. W sytuacji odwrotnej obrotu organu określane są jako podsiębierne (rys. 6b) [7].

Frezujące organy ślimakowe wyposażone są zazwyczaj w narzędzia skrawające, takie jak noże promieniowe i noże stycznno-obrotowe (rys. 7a). Jednakże spotkać można również inne konstrukcje organów, które stosowane są w specyficznych warunkach. Ich przykładem są organy urabiające wyposażone w narzędzia dyskowe (rys. 7b).



Rys. 5. Przykładowe rozwiązania organów ślimakowych:  
 a – z płaską tarczą odcinającą, b – z niepełną tarczą odcinającą,  
 c – ze stożkowo ukształtowaną tarczą odcinającą, d – bez tarczy odcinającej [7]



Rys. 6. Schemat pracy organu: a – nadsiębierny, b – podsiebierny [7]



Rys. 7. Frezujące organy ślimakowe wyposażone w: a) noże styczno-obrotowe, b) narzędzia dyskowe  
 (fot. autorska)



#### 4. PARAMETRY KONSTRUKCYJNE I KINEMATYCZNE FREZUJĄCYCH ORGANÓW URABIAJĄCYCH

Wszystkie konstrukcje, również organy urabiające, posiadają pewne parametry opisujące ich cechy i właściwości. Większość parametrów jest wspólna dla wszystkich organów urabiających, natomiast frezujące organy ślimakowe mają kilka dodatkowych parametrów związanych z procesem ładowania.

Wspólnymi parametrami konstrukcyjnymi dla wszystkich organów urabiających są:

- średnica organu  $D_s$ ,
- długość organu (zabior)  $Z$ ,
- kształt poszczególnych elementów organu [7].

Natomiast do parametrów kinematycznych wpływających na pracę i konstrukcję organu należą:

- prędkość skrawania  $v_s$ ,
- prędkość posuwu  $v_p$ ,
- kierunek obrotu organu [7].

Powyższe parametry decydują przede wszystkim o budowie organu urabiającego i jego właściwościach mających wpływ na prawidłową realizację procesu skrawania. Dodatkową grupą parametrów wpływających głównie na proces skrawania są:

- rodzaj narzędzia urabiającego (noże promienio-we, stycznno-obrotowe lub narzędzia dyskowe),
- liczba linii skrawania  $i_s$ ,
- podziałka między liniami skrawania  $t_s$ ,
- podziałka w linii skrawania  $t_w$ ,
- rozmieszczenie noży względem siebie (skraw zgodny, skraw przestawny) [7].

Ze względu na dodatkową funkcję, jaką spełniają frezujące organy ślimakowe, a mianowicie ładowanie, organy te charakteryzują się dodatkowymi parametrami konstrukcyjnymi, do których należą:

- liczba linii śrubowych (płatów)  $i$ ,
- kąt nachylenia zwoi ślimaka (płatów)  $\alpha_2$ ,
- średnica piasty  $d$ ,
- skok linii śrubowej  $S$  [7].

#### 5. PODSTAWY WYZNACZENIA OPORÓW URABIANIA NOŻAMI SKRAWAJĄCYMI

Proces skrawania, czyli oddzielenie kawałków skały od calizny nożem lub układem noży zamocowanych na organie, wynika ze złożenia się dwóch ruchów maszyny urabiającej. Ruchem głównym jest ruch obrotowy organu, charakteryzowany prędkością skrawania  $v_s$  lub liczbą obrotów organu  $n$ . Ruchem pomocniczym jest ruch postępowy całej ma-

szyny lub wysięgnika, wyrażony poprzez prędkość posuwu  $v_p$  [7].

W procesie urabiania organami bębnowymi zmienia się głębokość skrawania poszczególnych noży urabiających od zera do wartości maksymalnej. Zmianę głębokości skrawania ( $g_s(i, j)$ ,  $g_{\max}$ ) można wyznaczyć z zależności (1-4), które uwzględniają dowolne rozłożenie narzędzi skrawających na linii skrawania oraz prędkość posuwu maszyny  $v_p$  [7]:

$$g_s(i, j) = \begin{cases} g_{\max}(i) \cdot \sin(\theta(i, j)) & \text{for } \sin(\theta(i, j)) > 0 \\ 0 & \text{for } \sin(\theta(i, j)) \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

$$g_{\max}(1) = g_{\max} \frac{C_{\max} + C(1) - C(p)}{C_{\max}}$$

$$g_{\max}(i) = g_{\max} \frac{C(i) - C(i-1)}{C_{\max}} \quad (2)$$

$$g_{\max} = 1000 \frac{v_p}{n}$$

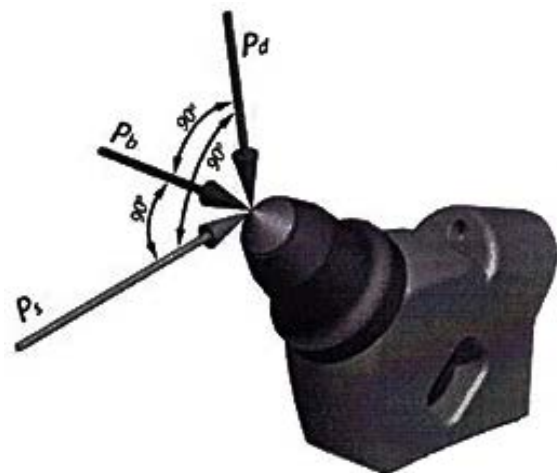
dla  $i = 2 \dots p$ ,  $p$  – liczba noży w linii skrawania

$$C_{\max} = \pi \cdot D \quad (3)$$

$$\theta(i, j) = \left( \varphi(j) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{2 \cdot C(i)}{D} \right) \quad (4)$$

$C(i)$  – współrzędna położenia noża na rozwinięciu bębna.

Na nóż będący w caliznie działa wypadkowa siła oporu urabiania  $P$ . Siłę tę można rozłożyć na składowe: siłę skrawania  $P_s$ , siłę docisku  $P_d$  oraz siłę boczną  $P_b$  (rys. 8) [7].



Rys. 8. Siły działające na nóż podczas skrawania:  
 $P_s$  – siła skrawania (styczna),  $P_d$  – siła docisku (normalna) i  $P_b$  – siła boczna (opr. wł. na podst. [7])

Na podstawie badań oporów urabiania nożami skrawającymi stwierdzono, że największą siłą jest siła skrawania  $P_s$  i jest ona proporcjonalna do głębokości skrawu. W rezultacie uzyskano zależności na siły:  $P_s$ ,  $P_d$  i  $P_b$  [7]:

$$P_s = A \cdot g_s(i, j) \cdot (0.3 + 0.35 \cdot B_n(i)) \cdot t \cdot \frac{1}{\cos \xi} \quad (5)$$

gdzie:

$$t = \begin{cases} \frac{T(i)}{T_{\max}(i, j)} & T(i) < T_{\max}(i, j) \\ 1 & T(i) \geq T_{\max}(i, j) \end{cases} \quad (6)$$

$$T_{\max}(i, j) = B_n(i) + g_s(i, j) \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (7)$$

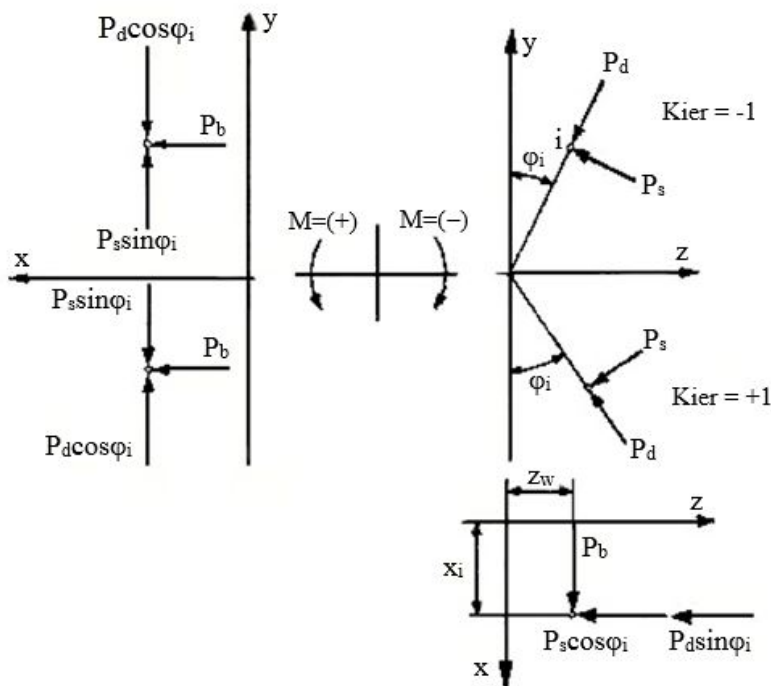
$\xi$  – wychylenie noża [°],

- $B_n(i)$  – szerokość noża [cm],
- $A$  – wskaźnik skrawalności [N/cm],
- $g_s(i, j)$  – głębokość skrawania [cm],
- $\beta$  – kąt bocznego rozkruszania [°],
- $T(i)$  – odległość od najbliższej podziałki, której noże znajdują się w caliznie,
- $i$  – numer noża,
- $j$  – numer kolejnego obrotu o kąt  $\varphi$ ,

$$P_d(i, j) = k_d \cdot P_s(i, j) \quad (8)$$

$$P_b(i, j) = k_b \cdot P_s(i, j) \quad (9)$$

Znając wartości sił, jakie występują na pojedynczym nożu (rys. 9), można przeprowadzić ich redukcję na początek wału, na którym osadzony jest organ [7]:



Rys. 9. Schemat rozkładu składowych sił oporu urabiania na i-tym nożu [7]

$$\begin{aligned} P_x(i, j) &= P_b(i, j) \\ P_y(i, j) &= -K \cdot P_s(i, j) \cdot \sin(\theta(i, j)) + K \cdot P_d(i, j) \cdot \cos(\theta(i, j)) \\ P_z(i, j) &= -P_s(i, j) \cdot \cos(\theta(i, j)) - P_d(i, j) \cdot \sin(\theta(i, j)) \end{aligned} \quad (10)$$

gdzie:

- $K = -1$  dla pracy podsiębiernej,
- $K = 1$  dla pracy nadsiębiernej.

Na kadłub kombajnu oprócz sił  $P_x$ ,  $P_y$  oraz  $P_z$  działają również momenty sił, które można wyznaczyć z poniższych zależności [7]:

$$\begin{aligned} M_x(i, j) &= -K \cdot 0.5 \cdot D_s \cdot P_s(i, j) \\ M_y(i, j) &= -P_x(i, j) \cdot z_w + P_y(i, j) \cdot X(i) \\ M_z(i, j) &= -K \cdot P_x(i, j) \cdot y_w - P_y(i, j) \cdot X(i) \\ M_x(i, j) &= -K \cdot 0.5 \cdot D_s \cdot P_s(i, j) \end{aligned} \quad (11)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} z_w &= 0.5 \cdot D_s \cdot \sin(\theta(i, j)) \\ y_w &= 0.5 \cdot D_s \cdot \cos(\theta(i, j)) \end{aligned} \quad (12)$$

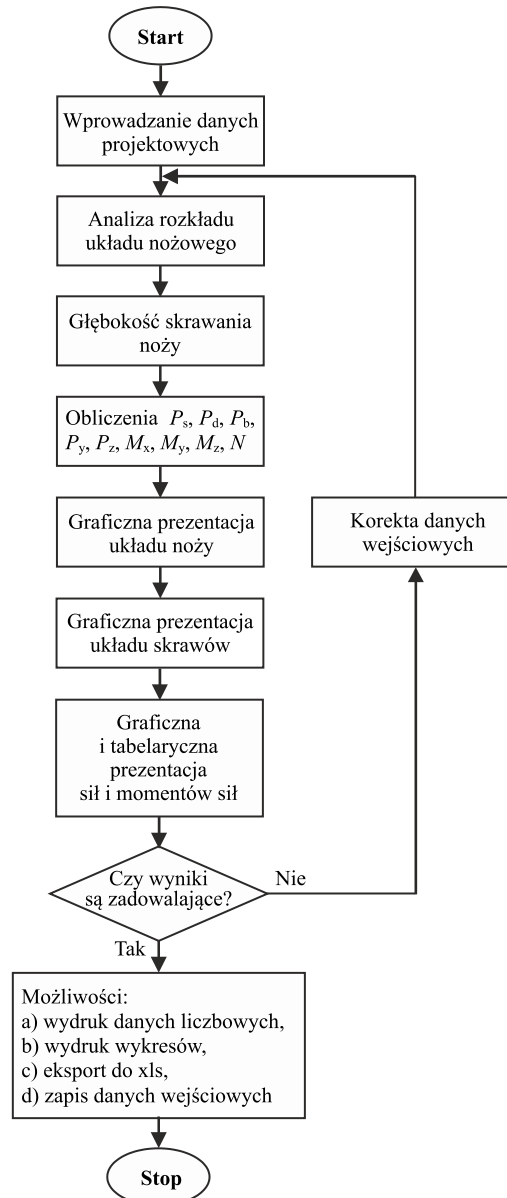
- $X(i)$  – odległość od czoła przodka,
- $D_s$  – średnica bębna z nożami lub dyskami.

## 6. ALGORYTM PRZEPROWADZANIA OBLICZEŃ ZA POMOCĄ AUTORSKIEGO PROGRAMU

Projektowanie organu kombajnu jest procesem złożonym, wymagającym wielokrotnego przeliczania zależności (1-12), związanym z dokonywaniem każdorazowo korekty założeń danych wejściowych do obliczeń oraz zmiany rozkładu narzędzi urabiających na organie. Ręczne przeliczanie powyższych zależ-

ności jest długotrwałe i uciążliwe. Z tego powodu został napisany program komputerowy automatyzujący proces obliczeniowy [8, 12]. Schemat działania programu pokazano na rys. 10.

Danymi wejściowymi do programu są: średnica bębna organu, prędkość posuwu kombajnu, prędkość obrotowa organu, zabiór, kąt bocznego rozkruszenia, wskaźnik skrawalności, wysokość skrawania, współczynniki proporcjonalności siły docisku i siły bocznej, wymiary uchwytów, wymiary noży, położenie noży na organie.



Rys. 10. Schemat blokowy programu do projektowaniu organu kombajnu górniczego (opr. wł.)

Program umożliwia projektowanie organu z nożami, jak również z dyskami. Po wprowadzeniu danych wejściowych do programu oraz dokonaniu procesu obliczeniowego program przedstawia w sposób graficzny rozkład narzędzi skrawających na rozwinięciu

organu oraz rozkład skrawów generowany przez zaprojektowany organ. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości, widocznych na jednym z rysunków, możliwa jest korekta danych wejściowych i/lub rozkładu narzędzi skrawających. Trzecią podstawą

do korekt są prezentowane w sposób tabelaryczny oraz graficzny wyznaczone siły i momenty sił działające na pojedyncze narzędzie skrawające oraz wypadkowe siły i momenty sił oddziałujące na wszystkie narzędzia. Proces korekt powtarza się aż do uzyskania zadowalających wyników.

Program umożliwia wydrukowanie danych wejściowych oraz obliczeniowych w postaci tabelarycznej i graficznej, a także eksport danych do pliku \*.xls. Dane wprowadzane do programu są przechowywane w pojedynczym pliku \*.p5s – własnej bazie danych.

## 7. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY ORGANU KOMBAJNU ŚCIANOWEGO

Aby zaprezentować możliwości projektowania opracowanym programem komputerowym według zaprezentowanych powyżej zależności, przytoczony zostanie przykład obliczeniowy. Obliczenia przeprowadzono dla organu kombajnu ścianowego o średnicy 1800 mm wyposażonego w noże stycznie-obrotowe, przeznaczonego do urabiania węgla kamiennego.

Na rys. 11. pokazano główne okno programu z wprowadzonymi parametrami ściany, organu oraz narzędzi urabiających.

lp	X	C	wchylenie	Ln	Bn
1	105	0	0	90	22
2	200	189,69	0	90	22
3	105	235,62	-40	90	22
4	310	409,34	0	90	22
5	105	471,24	-75	90	22
6	420	628,98	0	90	22
7	105	706,86	-105	90	22
8	530	848,63	0	90	22
9	105	942,48	40	90	22
10	640	1068,27	0	90	22
11	105	1178,1	0	90	22
12	105	1413,72	-40	90	22
13	255	1477,61	0	90	22
14	105	1649,34	-75	90	22
15	365	1697,26	0	90	22
16	105	1884,96	-105	90	22
17	475	1916,9	0	90	22
18	105	2120,5	40	90	22
19	585	2136,55	0	90	22
20	105	2356,2	0	90	22
21	200	2545,89	0	90	22
22	105	2591,8	-40	90	22
23	310	2765,53	0	90	22

Rys. 11. Główne okno programu z wprowadzonymi danymi (opr. wł.)

Aby można było prowadzić dalsze obliczenia, zaprezentowane powyżej informacje muszą być wprowadzone ręcznie. Szczególnie ważne jest wprowadzenie parametrów położenia noży urabiających. Dla sprawdzenia rozmieszczenia noży możliwe jest zobrazowanie układu nożowego (rys. 12).

Na rys. 12. widoczna jest numeracja kolejności noży na rozwinięciu bębna, a także pogrubioną linią pionową oznaczone zostało wychylenie noży na tarczy odcinającej.

Dla zaplanowanego układu nożowego wyznacza się widok skrawów, jaki tworzony będzie przez organ podczas urabiania (rys. 13). Widoczny jest zarys skrawów wykonywany podczas dwóch obrotów organu. Zaznaczono także kolejność skrawania przez poszczególne noże. W prezentowanym widoku zauważalny jest posuw organu poprzez przesuwanie się szczytu skrawu ku górze zgodnie z kolejnością noży.

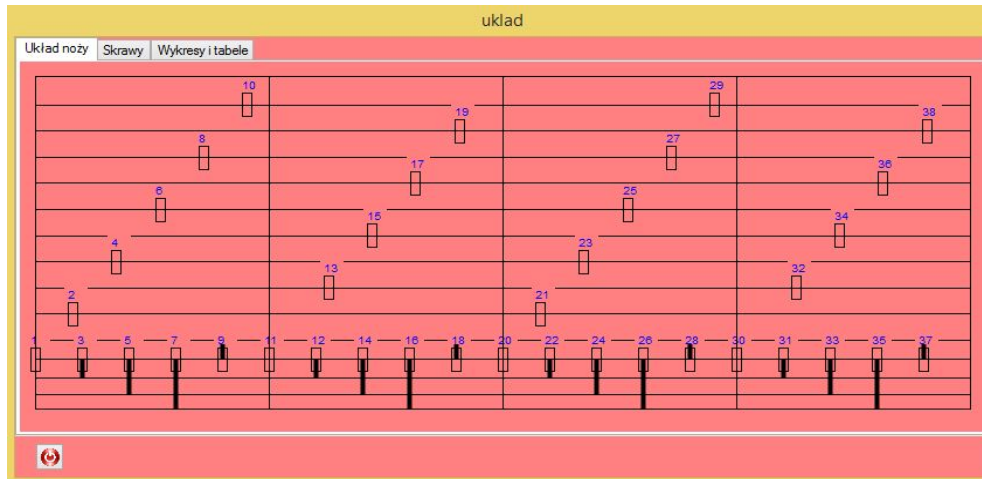
Dla zaprojektowanego układu nożowego należy wyznaczyć głębokości skrawania każdego z noży w funkcji kąta obrotu organu (rys. 14). Ta głębokość skrawania



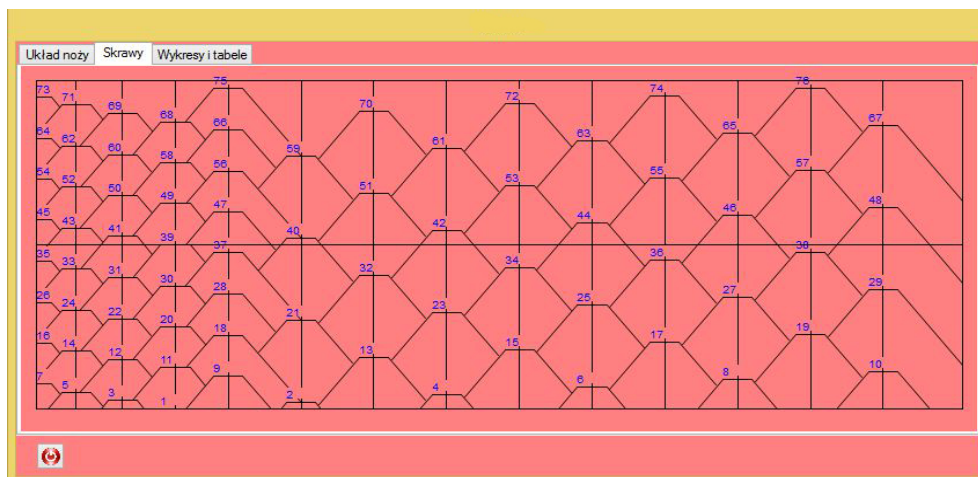
jest podstawą wyznaczania sił działających na poszczególne noże (rys. 15), jak również sił wypadkowych zredukowanych na końcu wału organu (rys. 16).

Dodatkowo oprócz sił wyznaczone są również momenty sił działające na noże oraz momenty zredukowane na końcu wału organu (rys. 17).

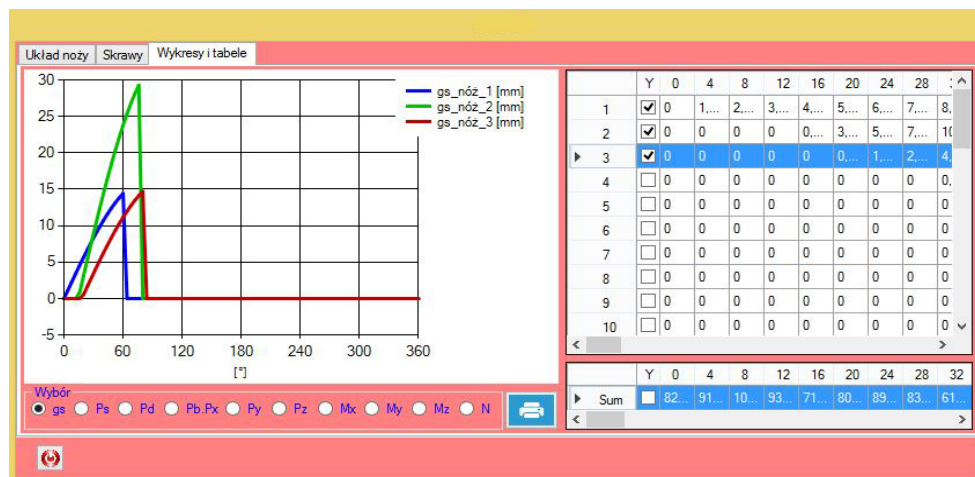
Ostatnim elementem toku obliczeniowego jest wyznaczenie mocy traconej w trakcie urabiania projektowanym organem (rys. 18).



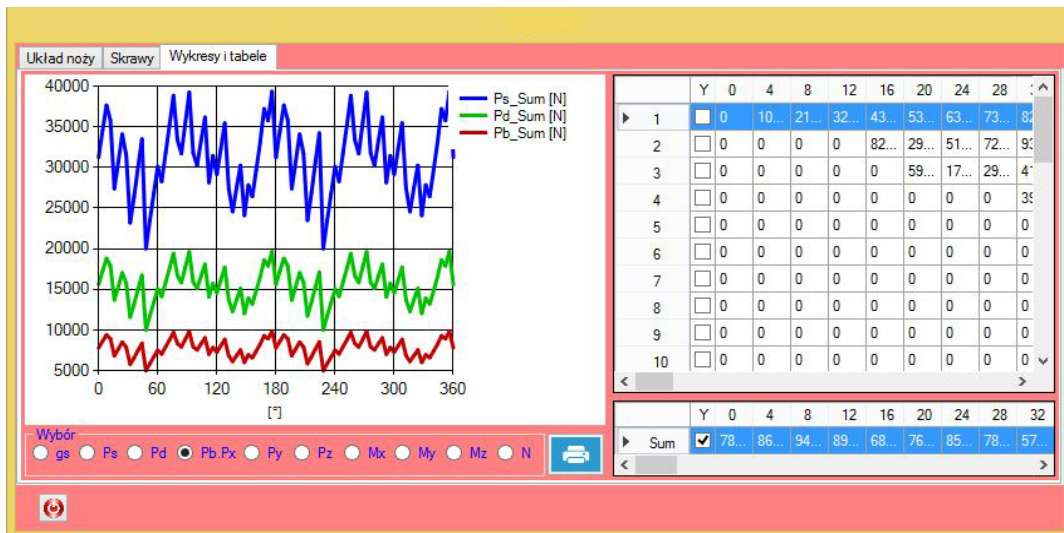
Rys. 12. Graficzna prezentacja układu nożowego (opr. wł.)



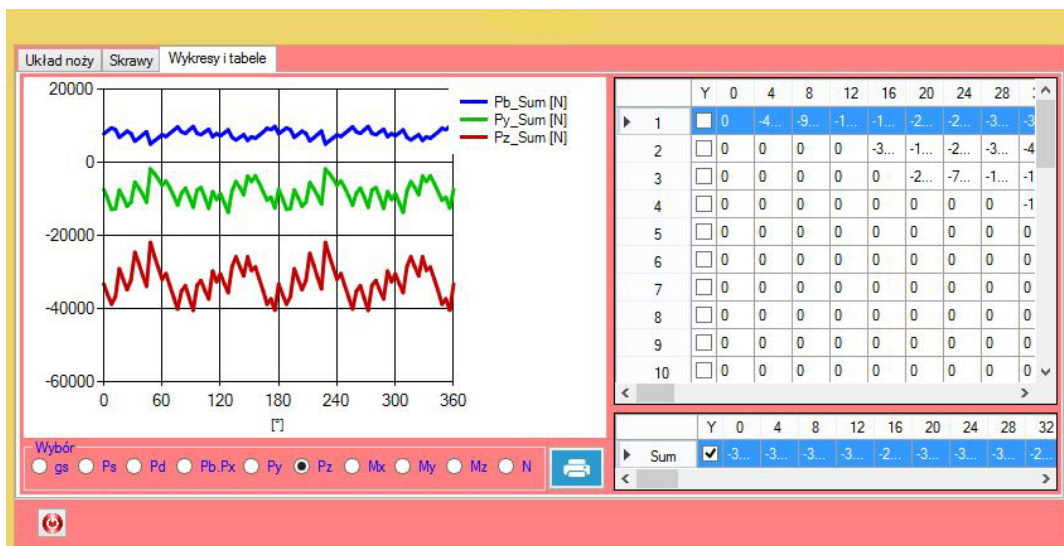
Rys. 13. Widok skrawków (opr. wł.)



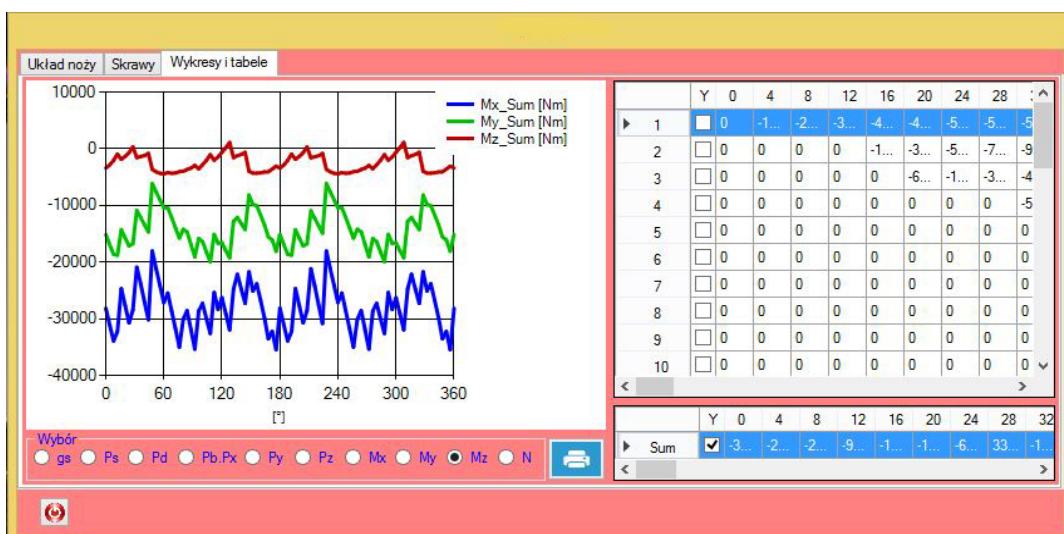
Rys. 14. Wykres głębokości skrawania w funkcji kąta obrotu organu dla trzech pierwszych noży wchodzących w caliznę (opr. wł.)



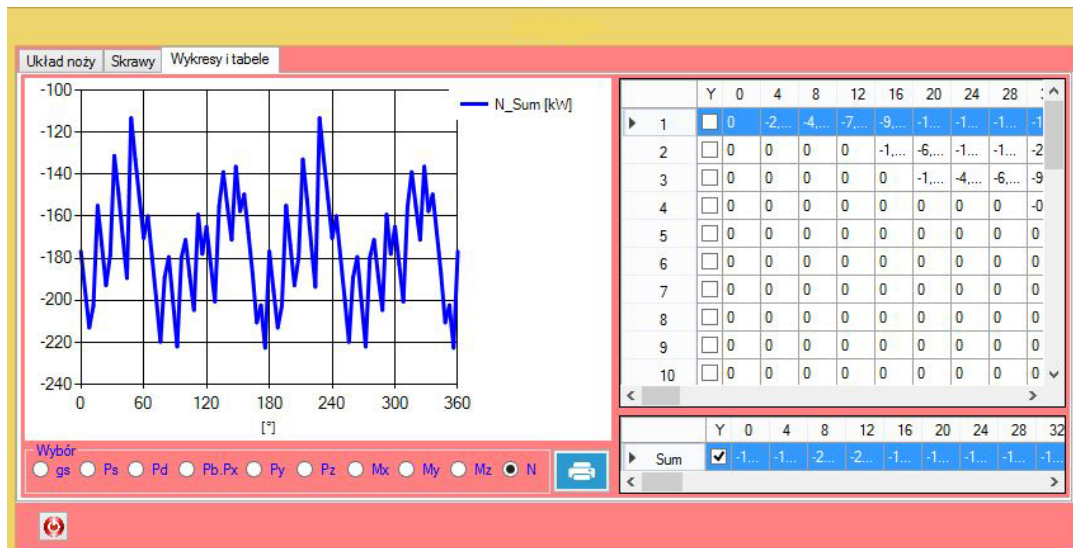
Rys. 15. Wykresy sił  $P_s$ ,  $P_d$  i  $P_b$  działających na noże podczas skrawania (opr. wł.)



Rys. 16. Wykresy sił  $P_x$ ,  $P_y$  i  $P_z$  zredukowanych na początek wału organu (opr. wł.)



Rys. 17. Wykresy zredukowanych momentów sił  $M_x$ ,  $M_y$  i  $M_z$  (opr. wł.)



Rys. 18. Wykres mocy traconej w trakcie skrawania (opr. wł.)

## 8. PODSUMOWANIE

Frezujące organy urabiające znajdują szerokie zastosowanie zarówno w górnictwie poziomym, jak i odkrywkowym. Procedura doboru parametrów powinna przebiegać podobnie w przypadku każdego organu, w którym należy uwzględnić dobór średnicy organu, zabiór, liczbę obrotów organu, średnicę piasty, parametry kinematyczne i konstrukcyjne całej maszyny oraz rodzaj i właściwości materiału skrawanego.

Dzięki autorskiemu programowi możliwe jest wyznaczanie oporów skrawania dla różnych typów organów, nie tylko frezujących organów ślimakowych. Program umożliwia wprowadzanie zmian w układzie nożowym i obserwację, jak działanie to wpływa na wartości oporów skrawania. Dużą zaletą programu jest również możliwość obserwowania zmienności wartości sił przy zmianie poszczególnych parametrów, dzięki czemu można dobrać najlepsze warunki pracy kombajnu, mające wpływ zarówno na zapotrzebowanie mocy, jak i wydajność.

## Literatura

1. Broen A.: *Kombajny chodnikowe*, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1993.
2. Gospodarczyk P. i in.: *Niekonwencjonalne techniki urabiania skal*, red. A. Klich, Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice 1998.
3. Gospodarczyk P. i in.: *Maszyny i urządzenia dla inżynierii budownictwa podziemnego*. W: *Wyrobyiska korytarzowe i szybowe w górnictwie*, red. A. Klich, Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice 1999.
4. Jonak J.: *Urabianie skal głowicami wielonarzędziowymi*, Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice 2002.
5. Kovalevska I., Bondarenko V., Ganushevych K.: *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane and Ores Mining*, CRC Press 2014.
6. Kotwica K., Pluta J.: *Specjalistyczne stanowiska laboratoryjne zasilane hydraulicznie do badania narzędzi i elementów maszyn górniczych*. „Przegląd Górniczy”, 67(2011), nr 11, s. 16-23.
7. Krauze K.: *Urabianie skal kombajnami ścianowymi*, Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice 2002.
8. Krauze K., Klempka R.: *Wspomaganie komputerowe wyposażenia technicznego ścian do cienkich pokładów*, Szkoła Eksploatacji Podziemnej 2002, Szczyrk 18-22 lutego 2002, t. 2, PAN, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, s. 1133-1144.
9. Maciejczyk J., Warachim W.: *Ścianowe kombajny węglowe*, Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice 1985.
10. Reś J., Kotwica K., Gospodarczyk P., Kalukiewicz A., Dey N. Ch.: *Specialized equipment for the mining industry*, Capital Publishing Company, New Delhi, Kolkata 2014.
11. Sobota P., Dolipski M., Cheluska P.: *Kryteria doboru głowic urabiających dla energooszczędnych kombajnów chodnikowych*. „Przegląd Górniczy”, 63 (2007), nr 7-8, s. 64-70.
12. Sturgul J.R.: *Discrete Simulation and Animation for Mining Engineers*, CRC Press 2015.
13. Alpine [online]: <http://alpinecutter.com> (10.05.2015).
14. Times Asia Group Limited [online]: <http://www.asiatimegroup.com> (16.05.2015).
15. Catpillar [online]: <http://www.cat.com> (13.05.2015).

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.