

KRZYSZTOF KRAUZE  
KRZYSZTOF KOTWICA

## Innowacyjne rozwiązania maszyn górniczych opracowane w Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych Akademii Górniczo-Hutniczej

*Eksploracja surowców mineralnych metodami podziemnymi staje się coraz trudniejsza ze względu na warunki górniczo-geologiczne, w jakich te surowce zalegają. Wiąże się to z głębokością zalegania i miąższością eksploatowanych pokładów, trudniej urabialnymi skałami oraz warunkami klimatycznymi. Drążenie wyrobisk udostępniających i przygotowawczych, a także prowadzenie eksploatacji w takich warunkach wymaga specjalnie do tego opracowanych i wykonanych maszyn. W Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych AGH w Krakowie w ostatnich latach opracowano szereg innowacyjnych rozwiązań, które mogą być zastosowane do maszyn i urządzeń pracujących w ciężkich warunkach górniczo-geologicznych. W niniejszym artykule przedstawiono wybrane rozwiązania: głowicę z narzędziami dyskowymi niesymetrycznymi o złożonej trajektorii ruchu dla kombajnów chodnikowych, tymczasową, zmechanizowaną i kroczącą obudowę chodnikową, unikalny kompleks ścianowy dla niskich pokładów z kombajnem węglowym jednoorganowym oraz innowacyjny układ urabiania i odstawy do mechanicznego drążenia szybów z wykorzystaniem kombajnów szybowych.*

Słowa kluczowe: *innowacyjne rozwiązania, maszyny górnicze, urabianie, wydajność, bezpieczeństwo*

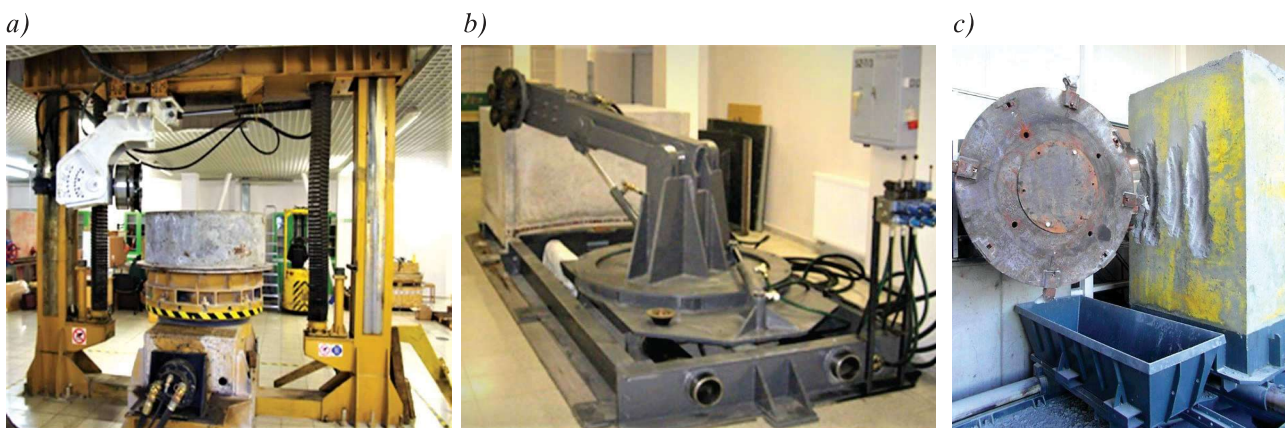
### 1. WSTĘP

Warunki górniczo-geologiczne, w jakich zalegają w Polsce surowce mineralne eksploatowane metodami podziemnymi, stają się coraz trudniejsze. Wiąże się to z większymi głębokościami ich zalegania, warunkami klimatycznymi, a także coraz trudniej urabialnymi skałami. Powoduje to, że obecnie stosowane technologie udostępniania i wybierania kopaliny są coraz bardziej zawodne lub nie pozwalają na osiągnięcie zadowalającej wydajności. Aby zaradzić temu problemowi, w Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych już od wielu lat prowadzone są próby konstruowania maszyn i urządzeń, które będą w stanie wydajnie pracować w trudnych warunkach górniczych.

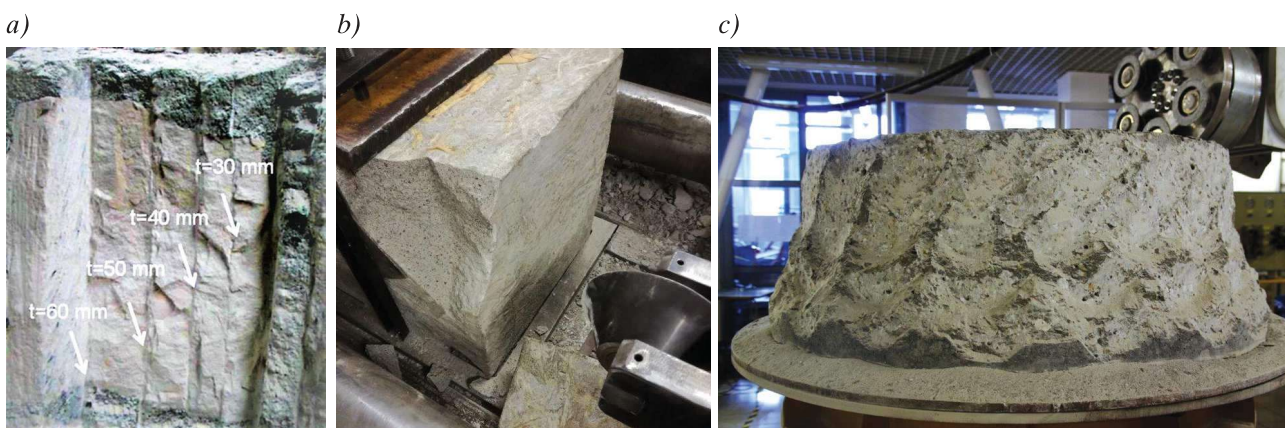
W pierwszej kolejności opracowano i wykonano kilka unikalnych, nie tylko w skali kraju stanowisk badawczych, na których prowadzono badania nad zasto-

sowaniem nowych narzędzi urabiających i technik urabiania skał zwięzłych. Są to między innymi stanowiska do badania procesu urabiania skał pojedynczymi narzędziami (rys. 1a), urabiania skał narzędziami dyskowymi (rys. 1b) i urabiania skał organami frezującymi ślimakowymi (rys. 1c).

Wyniki przeprowadzonych na tych stanowiskach badań, przykładowo pokazane na rysunku 2, pozwoliły na opracowanie nowych narzędzi i głowic urabiających, które mogą zostać wykorzystane podczas urabiania skał zwięzłych i bardzo zwięzłych. Najbardziej obiecującym kierunkiem jest wykorzystanie w procesie urabiania skał mininarzędzi dyskowych symetrycznych i niesymetrycznych oraz tak zwanej techniki tylnego podcinania. Technika ta – w porównaniu z techniką frezowania lub statycznego miażdżenia – pozwala na zmniejszenie energochłonności procesu urabiania i zwiększenie granulacji urobku.



Rys. 1. Stanowiska badawcze do badania procesu urabiania skał: a) pojedynczymi narzędziami; b) narzędziami dyskowymi; c) organami frezującymi ślimakowymi



Rys. 2. Wyniki badania procesu urabiania skał z wykorzystaniem: a) pojedynczej tarczy z narzędziami dyskowymi w ruchu prostym; b) pojedynczego narzędzia dyskowego; c) pojedynczej tarczy z narzędziami dyskowymi w ruchu złożonym

Wykorzystując natomiast doświadczenia uzyskane podczas realizacji prac badawczych w przemyśle wydobywczym, zaproponowano opracowanie nietypowych oraz innowacyjnych rozwiązań maszyn, które można zastosować przy eksploatacji niskich pokładów węgla, drążeniu korytarzowych wyrobisk przygotowawczych i udostępniających, a także szybów. Wyniki tych prac prowadzonych w Katedrze MGPIiT zostały zaprezentowane w niniejszym artykule.

## 2. GŁOWICA URABIAJĄCA DO KOMBAJNÓW CHODNIKOWYCH O ZŁOŻONEJ TRAJEKTORII RUCHU

W polskim górnictwie bardzo duża liczba wyrobisk korytarzowych drążona jest metodami mechanicznymi z wykorzystaniem ramionowych kombajnów chodnikowych, wyposażonych w organy frezujące. Stosowane na tych organach narzędzia – noże stycznobrotowe, w niekorzystnych warunkach górniczo-geologicznych lub przy nieprawidłowych warunkach

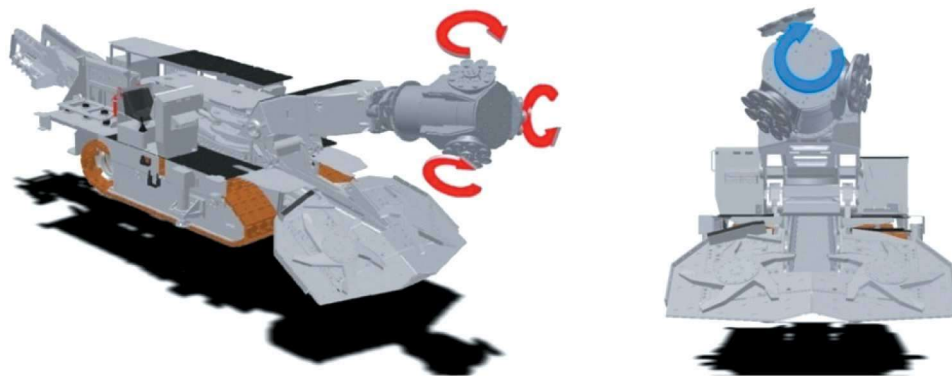
pracy, ulegają przyspieszonemu zużyciu. Wpływa to na prędkość i koszty drążenia wyrobisk. W Katedrze MGPIiT zaproponowano więc wykorzystanie na organach urabiających mininarzędzi dyskowych niesymetrycznych. Narzędzia te wykorzystuje się w technice mechanicznego urabiania skał nie tylko jako narzędzia zgniatające, ale również jako narzędzia odłupujące. Zasadą techniki podcinania jest urabianie skały przez odcinanie jej w kierunku wolnej powierzchni.

Narzędzie dyskowe działa na skałę stycznie do powierzchni urabianej calizny, podobnie jak to ma miejsce w przypadku narzędzia skrawającego, jednak odmienną tą metody polega na wykorzystaniu ruchu obtaczania dysku, co eliminuje skutecznie tarcie ślizgowe na rzecz tarcia tocznego. Wykorzystanie narzędzi dyskowych w ten sposób obniża zużycie energii i wartość siły docisku, co daje możliwości konstrukcji maszyny urabiającej o odpowiednio mniejszej mocy i mniejszej masie własnej niż w przypadku klasycznych dysków miażdżących, działających w kierunku prostopadłym do powierzchni urabianej calizny [1–3].

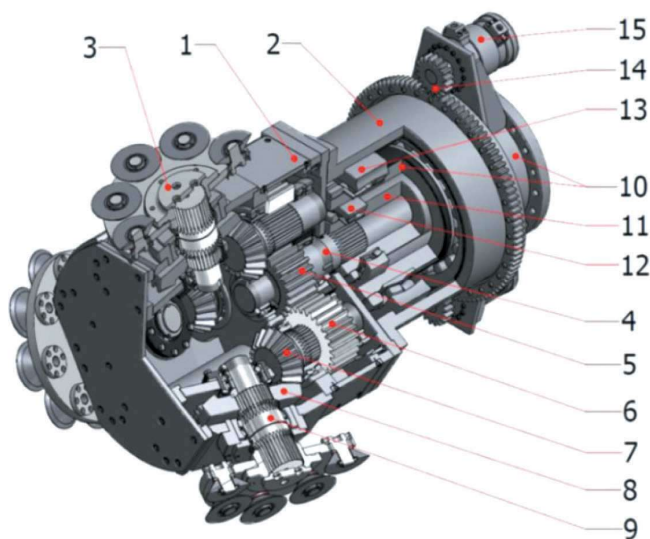
Na podstawie analizy stanu techniki światowej i wyników badań własnych w Katedrze MGPIiT opracowano nową koncepcję organu, w którym ruch narzędzi dyskowych jest wymuszony i powoduje urabianie calizny skalnej narzędziami dyskowymi po złożonej trajektorii. Pozwala to na przecinanie się linii urabiania poszczególnych narzędzi oraz ułatwienie urabiania skał zwięzłych przez wyłamywanie bruzd skalnych. Zmniejsza to energochłonność procesu urabiania. W tym celu zabudowano narzędzia dyskowe na oddzielnych tarczach, zamontowanych obrotowo na płaszczu organu urabiającego i napędzanych niezależnie od niego. Projekt i model nowego rozwiązania głowicy z narzędziami dyskowymi o złożonej trajektorii wykonano we współpracy z Zakładami REMAG S.A. (obecnie FAMUR S.A.). Założono opracowanie i przystosowanie nowego rozwiązania głowicy dla produkowanego przez REMAG S.A. kombajnu chodnikowe-

go KR 150. Na podstawie analizy głowic frezujących wykorzystywanych w tym kombajnie założono, że długość nowego rozwiązania nie powinna przekraczać 1750 mm, jej średnica 860 mm, a masa 5 t. Opracowany model głowicy zakładał zabudowanie na jego kadłubie trzech tarcz z ośmioma narzędziami dyskowymi. Kadłub płaszcza miał możliwość niezależnego obrotu względem tarcz z narzędziami dyskowymi. Możliwości kinematyczne nowego rozwiązania głowicy przedstawiono na rysunku 3, a jej model pokazano na rysunku 4 [1, 3].

Na podstawie opracowanego modelu sporządzono projekt techniczny i wykonano egzemplarz głowicy przeznaczony do zabudowy na kombajnie KR 150 i prób poligonowych w zakładach REMAG S.A. Próby te wykonano na wielkogabarytowym bloku betonowym o wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie  $R_c$  około 80 MPa.



Rys. 3. Możliwości kinematyczne nowego rozwiązania głowicy zabudowanej na kombajnie chodnikowym KR 150 [3]



Rys. 4. Model nowego rozwiązania głowicy z narzędziami dyskowymi o złożonej trajektorii [3]: 1 – przekładnia główna, 2 – przekładnia pomocnicza, 3 – tarcza dyskowa, 4 – wał wejściowy, 5 – koło zębate centralne, 6 – koło zębate orbitalne, 7 – zębniak, 8 – koło talerzowe, 9 – wał wyjściowy, 10 – wspornik, 11 – łącznik, 12 i 13 – łożyska, 14 – przekładnia korpusu, 15 – silnik hydrauliczny

Najkorzystniejsze efekty pracy – duże uziarnienie urobku, małe obciążenie silników napędowych oraz ograniczone drgania, uzyskano dla prędkości obrotowej kadłuba głowicy około 20 1/min, przy wartości prędkości obrotowej tarcz około 60 1/min i obrotach kadłuba głowicy przeciwnych do ruchu wskazówek zegara oraz obrotach tarcz z narzędziami dyskowymi zgodnymi z ruchem wskazówek zegara.

W przypadku takich parametrów pracy głowicy nie stwierdzono większych oznak zużycia narzędzi dyskowych. Widok uzyskanego urobku i charakterystycznej powierzchni (przecinających się linii skrawania) urobionego bloku pokazano na rysunku 5.

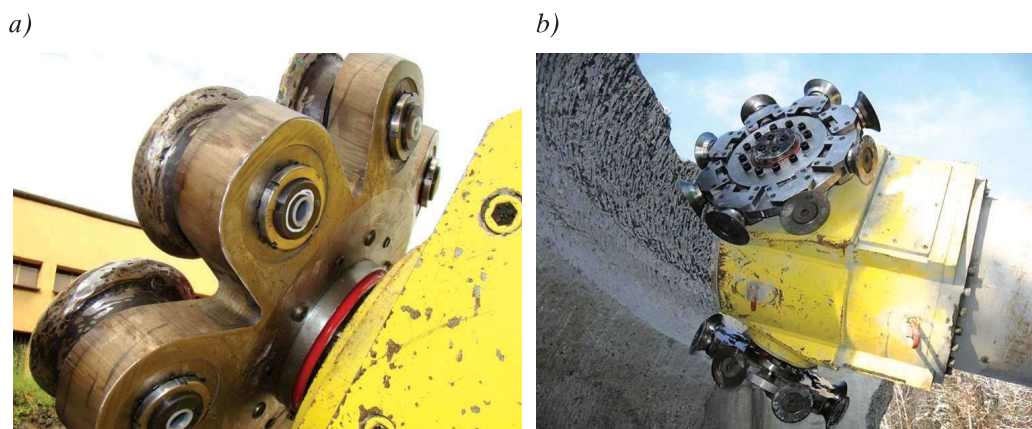
Zwiększenie prędkości obrotowej tarcz z narzędziami dyskowymi powodowało wzrost zapylenia, a przy prędkości maksymalnej występowało nawet iskrzenie przy kontakcie narzędzi z urabianą próbką. Natomiast zmiana kierunku obrotów kadłuba głowicy lub tarcz z narzędziami dyskowymi na przeciwny miała negatywny wpływ na wartość obciążenia silników

oraz zużywanie się zarówno narzędzi dyskowych, jak i samych tarcz.

Zużywanie się tarcz z narzędziami dyskowymi wyeliminowano, wprowadzając modyfikacje konstrukcji tych tarcz. W miejsce płaskich i okrągłych tarcz zabudowano tarcze w kształcie kwiatu, z zewnętrznymi elementami odchylonymi pod kątem około  $-15^\circ$ . Widok takiej zmodyfikowanej tarczy pokazano na rysunku 6a. W dalszych próbach nie stwierdzono już zużywania się tarcz. Do kolejnych badań opracowano tarczę i uniwersalny uchwyt narzędzia dyskowego, który miał pozwolić na mocowanie dysku w co najmniej trzech pozycjach w wyniku jego skręcenia w płaszczyźnie przechodzącej przez oś tarczy. Jako najkorzystniejszą przyjęto wersję z wymiennym monoblokiem dla trzech ustawień dysku względem tarczy pod kątem  $-5^\circ$ ,  $45^\circ$  i  $90^\circ$  względem osi tarczy. Na rysunku 6b przedstawiono widok tarczy dyskowej z monoblokami w wersji umożliwiającej mocowanie narzędzi dyskowych prostopadle do osi tarczy, czyli pod kątem  $90^\circ$ .



Rys. 5. Widok urobku i powierzchni urabianej próbki uzyskanych podczas prób urabiania głowicą z narzędziami o złożonej trajektorii ruchu [2]

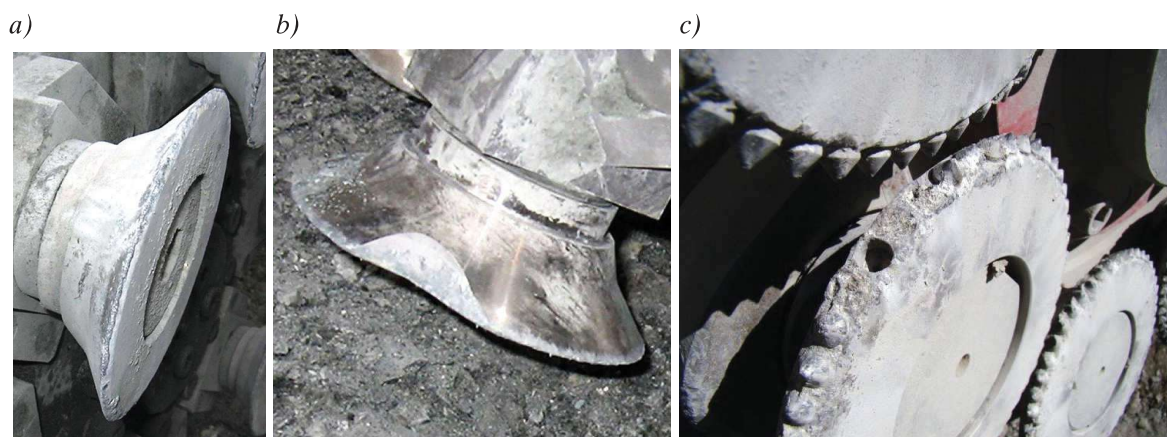


Rys. 6. Widok: a) zmodyfikowanego rozwiązania tarczy z narzędziami dyskowymi mocowanymi pod kątem  $-5^\circ$ ; b) nowego uniwersalnego rozwiązania tarczy z narzędziami dyskowymi mocowanymi w wymiennych uchwytach pod kątem  $90^\circ$  [2]

Przeprowadzone próby urabiania przy zamocowaniu narzędzi dyskowych pod kątem  $-5^\circ$ ,  $45^\circ$  i  $90^\circ$  względem osi tarczy wykazały jednak, że ustawienie narzędzi pod kątem innym niż  $-5^\circ$  do  $-15^\circ$  w bardzo krótkim czasie skutkuje poważnymi ich uszkodzeniami w postaci wykruszeń i wyłamań krawędzi narzędzi. Dlatego w następnych próbach mocowano narzędzia dyskowe tylko w uchwytach pod kątem  $-5^\circ$ . Nie powiodły się także próby zamontowania w miejsce narzędzi dyskowych gładkich, narzędzi zbrojonych na obwodzie słupkami z węglików spiekanych. Również po bardzo krótkim okresie pracy narzędzia te uległy poważnemu uszkodzeniu – duża liczba słupków z węglika została wyłamana. Widok po próbach urabiania narzędzi montowanych pod kątem  $90^\circ$  i uzbrojonych słupkami z węglików spiekanych, w porównaniu do dysków gładkich mocowanych pod kątem  $-5^\circ$ , pokazano na rysunku 7.

Nowe rozwiązanie głowicy zostało dostosowane do montażu na ramieniu kombajnu chodnikowego FR 250 (rys. 8) o większej mocy i masie własnej, produkcji FAMUR S.A., a przeprowadzone próby urabiania bloku betonowego wykazały, że ten kombajn bardziej nadaje się do zastosowania głowicy dyskowej niż kombajn KR 150. Głowica pracowała o wiele stabilniej.

Zaproponowane rozwiązanie głowicy z narzędziami dyskowymi niesymetrycznymi o złożonej trajektorii ruchu wykazało swoją przydatność podczas urabiania skał zwięzłych i może zostać wykorzystane jako alternatywa dla głowic frezujących kombajnów chodnikowych ramionowych. Dla uzyskania najkorzystniejszych parametrów pracy głowicy – duże uziarnienie urobku, małe obciążenie silników napędowych oraz ograniczone drgania, konieczne jest jednak dobranie odpowiedniej konfiguracji kierunku i prędkości obrotowej kadłuba głowicy i tarcz z narzędziami.



Rys. 7. Widok zużycia po próbach urabiania narzędzi dyskowych: a) zamontowanych pod kątem  $-5^\circ$ ; b) zamontowanych pod kątem  $90^\circ$ ; c) uzbrojonych słupkami z węglików spiekanych [2]



Rys. 8. Widok głowicy urabiającej z narzędziami dyskowymi zamontowanej na kombajnie FR 250 podczas prób poligonowych

Jednak konieczne jest przeprowadzenie dalszych prób w celu opracowania technologii jej pracy podczas drążenia wyrobisk korytarzowych.

Na podstawie wyników przeprowadzonych prób poligonowych stwierdzono także, że dla efektywnego urabiania i trwałości narzędzi dyskowych bardzo ważny jest sposób ich ustawienia względem tarcz oraz materiał, z jakiego zostały one wykonane. Najkorzystniejsze jest ustawienie ich tak, aby oś obrotu tych narzędzi była nachylona pod kątem w zakresie od  $-5^\circ$  do  $-15^\circ$  względem osi obrotu tarcz. Sugerowane jest także uwzględnienie w przyszłym rozwiązaniu głowicy układu automatycznego sterowania ramienia dla zapewnienia jego płynnego przemieszczania się.

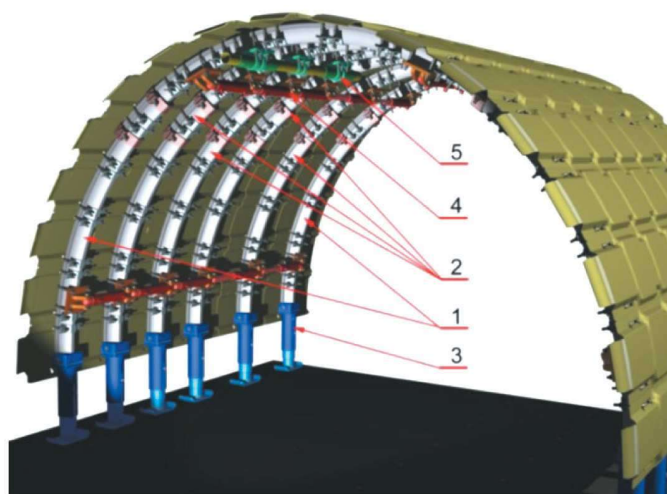
### 3. TYMCZASOWA, KROCZĄCA, ZMECHANIZOWANA OBUDOWA CHODNIKOWA

W procesie drążenia wyrobisk korytarzowych, bez względu na zastosowaną w nim metodę drążenia (strzelanie MW lub urabianie mechaniczne) jedną z dłuższych w czasie operacji jest zabudowa wyrobiska. Często pochłania ona nawet do 40% ogółu czasu przeznaczanego na drążenie wyrobiska. Zmniejszenie czasu tej operacji jest możliwe np. przez zastosowanie zmechanizowanych platform roboczych, pozwalających na zmontowanie dużych elementów obudowy poza przodkiem i przetransportowanie ich po zakończeniu urabiania. W Katedrze MGPiT postanowiono wrócić do pomysłów realizowanych w latach 80. ubiegłego wieku, czyli zmechanizowanych,

tymczasowych obudów chodnikowych. Pozwala to na pracę maszyn pod stropem zabezpieczonym taką obudową, a równoległe za nią realizowany jest proces stawiania obudowy ostatecznej. Stosowane wtedy obudowy nie miały dużych możliwości dostosowania się do zmiennych parametrów geometrycznych chodnika, a ponadto ich cykliczne rozpieranie i rabowanie wpływało niekorzystnie na stan stropu [4].

W Katedrze MGPiT założono, że obudowa taka będzie dostosowana do współpracy zarówno z kombajnem chodnikowym, jak i maszynami stosowanymi w metodzie tradycyjnej – strzelanie MW. Ponadto będzie miała możliwość zwiększania swojej długości w wyniku dodawania modułowych segmentów do 16 m, a za nią będzie stawiana obudowa stalowa łukowa typu ŁP. Inną różnicą będzie rabowanie na czas przemieszczania obudowy elementów spągowych i przesuwanie obudowy w kontakcie ze stropem. Na podstawie powyższych założeń opracowano wstępną koncepcję tymczasowej zmechanizowanej obudowy chodnikowej. Została ona zaprojektowana jako konstrukcja modułowa, z możliwością dodawania lub odejmowania poszczególnych segmentów [4, 5]. Widok zestawu składającego się z sześciu segmentów przedstawiono na rysunku 9.

Obudowa składa się z dwóch odrzwi skrajnych (1) oraz czterech identycznych odrzwi wewnętrznych (2). Łuki w dolnej, prostej części wyposażone są w siłowniki rozpierania o skoku 300 mm (3), przy czym nominalny wymiar obudowy uzyskuje się przy wysunięciu tych siłowników o 150 mm, a pozostałe 150 mm jest w rezerwie. Poszczególne segmenty są połączone ze sobą czterema siłownikami przesuwu (4). Ze względu na sposób pracy siłowniki te przy skrajnych odrzwiach



Rys. 9. Model tymczasowej zmechanizowanej obudowy chodnikowej [9]: 1 – odrzwia skrajne, 2 – odrzwia wewnętrzne, 3 – siłowniki rozpierania, 4 – siłowniki przesuwu, 5 – prowadzenia rurowe

są siłownikami dwustronnego, a pozostałe jednostronnego działania. Dodatkowo łuki połączone są prowadzeniami rurowymi (5) zapewniającymi ich stateczność podczas rabowania. Poza tym znaczna część powierzchni odrzwi pokryta jest specjalną wykładką, która została zaprojektowana w taki sposób, aby osłaniała wyrobisko przed rumoszem skalnym i była elementem prowadzącym, a także umożliwiała mocowanie blach montażowych oraz wszelkiego rodzaju osprzętu na łukach. W przedstawionej koncepcji zmechanizowana obudowa tymczasowa jest przystosowana do drażenia wyrobisk o przekrojach dostosowanych do obudowy ŁP 9 i ŁP 10. Przesuw jednego zestawu względem drugiego wynosi 280 mm i wynika z przyjętego skoku siłowników przesuwu. Podziałka, czyli odległość pomiędzy poszczególnymi segmentami w czasie pracy, przy wysuniętych siłownikach przesuwu, wynosi 900 mm [5].

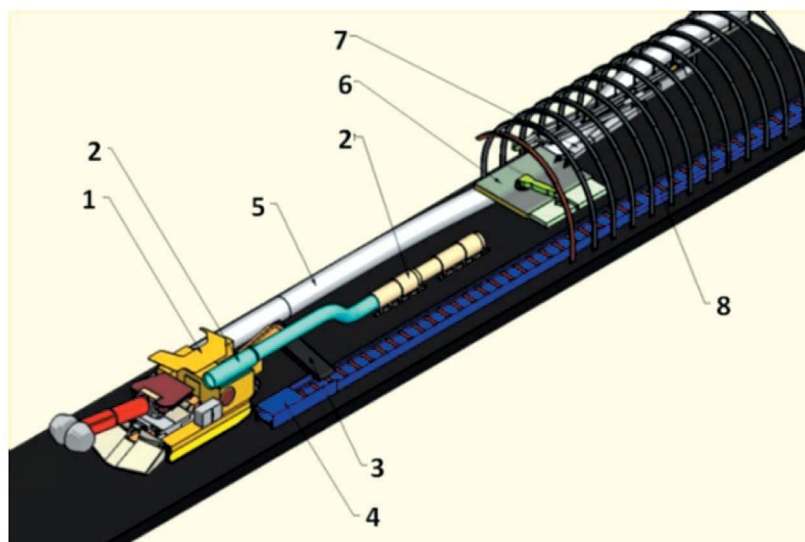
Po zabudowie zestawu obudowy na długość uwarunkowaną typem maszyny lub maszyn do urabiania i ładowania można rozpocząć cykl jej pracy. W miarę postępu przodka chodnika poszczególne segmenty obudowy rabowane są przez zsuniecie siłowników umieszczonych w stopach podporowych, począwszy od czoła przodka i przemieszczane za pomocą siłowników przesuwu do przodu. Po przesunięciu segmentu jest on ponownie rozpierany, a następnie jest realizowane sekwencyjne przesuwanie pozostałych segmentów obudowy aż do ostatniego. Ze względu na stosunek zabioru do skoku siłownika przesuwu zakłada się sterowanie w jednym cyklu po dwa lub trzy odrzwia. Do prawidłowego zrealizowania tej operacji konieczne było opracowanie i wykonanie układu sterowania dla poszczególnych odrzwi obudowy.

Na podstawie opracowanego projektu w zakładach Hydromel wykonano prototyp sześćocementowej tymczasowej zmechanizowanej obudowy chodnikowej wraz z układem zasilania i sterowania (rys. 10). Podczas prób stanowiskowych obudowa ta realizowała poprawnie wszystkie założone czynności. Dalsza część prób została zrealizowana w ZG Janina w Libiążu w warunkach dołowych. Również te próby nie wykazały większych problemów podczas pracy nowej obudowy. Jedynie należy dopracować hydrauliczny układ zasilania i sterowania pod kątem jego zautomatyzowania, obecnie sterowanie realizowane jest ręcznie.

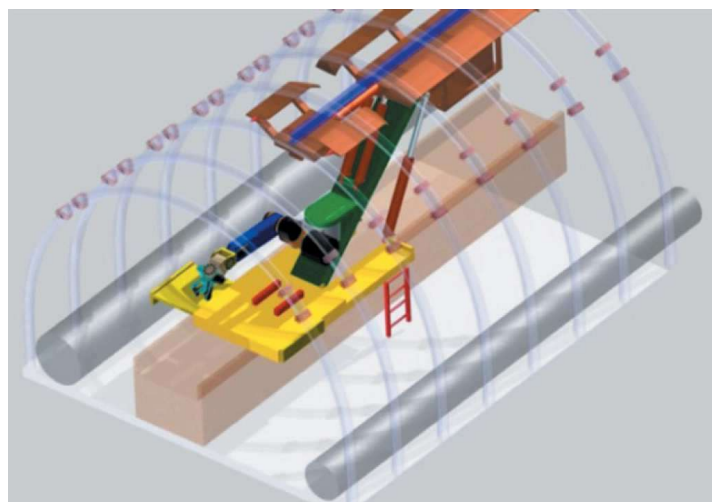
Jak nadmieniono, obudowa przystosowana jest do współpracy zarówno z kombajnami chodnikowymi, jak i maszynami wchodzącymi w skład kompleksu do drażenia metodami strzałowymi. W obu przypadkach maszyny te pracują pod ochroną obudowy tymczasowej, której długość może wynosić nawet 16 m. Na rysunku 11 pokazano model współpracy tymczasowej zmechanizowanej obudowy chodnikowej z kombajnem chodnikowym. Wszystkie maszyny i urządzenia podstawowe kompleksu (od 1 do 5) znajdują się pod sukcesywnie przemieszczającą się w miarę drażenia chodnika obudową. Za obudową realizowany jest montaż obudowy ostatecznej stalowej łukowej ŁP (8). Można do tego wykorzystać gotowe rozwiązania platform roboczych z manipulatorami (6, 7). W Katedrze MGPiT opracowano własną koncepcję takiej platformy z manipulatorem (rys. 12), przemieszczającej się na szynie podwieszanej pod wcześniej wykonaną obudową ŁP. Na platformie zabudowany jest hydrauliczny manipulator, którego konstrukcja umożliwi zarówno podnoszenie elementów obudowy ze spągu, jak i ich przemieszczanie i montaż w gotowych łukach obudowy [6].



Rys. 10. Widok prototypu tymczasowej zmechanizowanej obudowy chodnikowej przed próbami stanowiskowymi



Rys. 11. Model współpracy tymczasowej zmechanizowanej obudowy chodnikowej z kombajnem chodnikowym:  
1 – kombajn chodnikowy, 2 – odpylacz, 3 – przenośnik mostowy, 4 – przenośnik zgrzeblowy, 5 – lutniociąg,  
6 – platforma robocza, 7 – manipulator; 8 – obudowa łukowa ŁP



Rys. 12. Koncepcja platformy i manipulatora do zakładania ostatecznej obudowy łukowej ŁP [6]

#### 4. KOMPLEKS ŚCIANOWY DLA NISKICH POKŁADÓW Z KOMBAJNEM WĘGLOWYM JEDNOORGANOWYM

W Polsce węgiel kamienny zalegający w pokładach cienkich o miąższości od 1,0 m do 1,5 m stanowi znaczną część zasobów, a niewielka wysokość wyrobiska ścianowego powoduje szereg ograniczeń wpływających na efektywność eksploatacji węgla.

Obecnie do eksploatacji tych pokładów stosowane są głównie strugi węglowe. Natomiast ścianowe kombajny węglowe w przypadku eksploatacji niskich pokładów są zdecydowanie mniej efektywne,

uzyskiwane wydajności są czasami nawet kilkakrotnie mniejsze. Związane jest to z utrudnionym ładowaniem urobku. W Katedrze MGPIiT opracowano nowe rozwiązanie maszyny urabiającej przeznaczonej do wydobywania węgla w ścianach niskich tylko z jednym organem urabiającym. Kombajn do eksploatacji cienkich pokładów spełnia następujące wymagania różniące go od dotychczas stosowanych: rozdzielenie procesu frezowania od procesu ładowania, zastosowanie ciągnowego systemu posuwu, możliwość rozpoczęcia nowego skrawu bez konieczności zawrębienia. Na rysunku 13 pokazano na schemacie rozmieszczenie poszczególnych komponentów w kompleksie ścianowym. Kompleks ścianowy wyposażony jest w kombajn

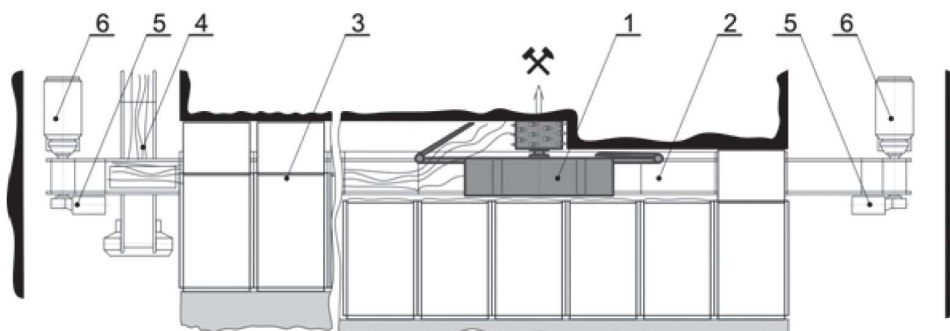


jednoorganowy (1), ścianowy przenośnik zgrzeblowy (2), podścianowy przenośnik zgrzeblowy (4) oraz zmechanizowaną obudowę ścianową (3). Z usytuowania napędów przenośnika zgrzeblowego (6) oraz napędów posuwu kombajnu (5) wynika miejsce prowadzenia łańcucha napędowego, które znajduje się od strony zrobów. Zorientowanie napędów posuwu kombajnu (5) i przenośnika zgrzeblowego ścianowego (6) – prostopadłe lub równoległe jest dowolne [7, 8].

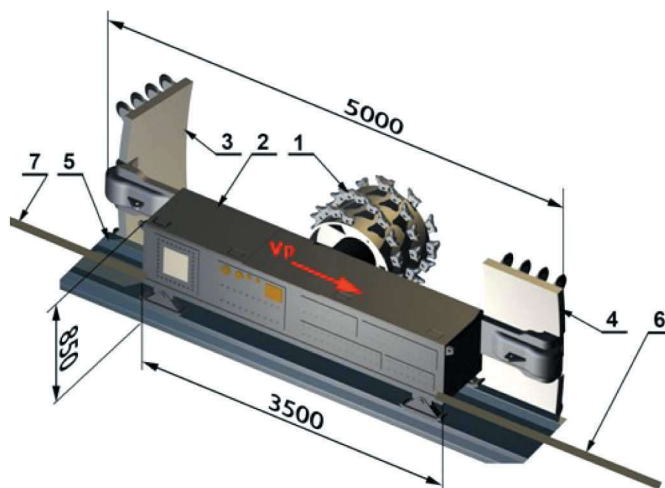
Zgodnie z opracowaną koncepcją kombajn ten (rys. 14) składa się z kadłuba (2), jednego zamocowanego centralnie organu urabiającego (1) oraz dwóch rozkładanych ładowarek odkładniowych (3) i (4). Ładowarka (3) znajduje się w pozycji czynnej, natomiast ładowarka (4) w biernej. Kombajn jest ciągnięty po rynnach przenośnika ścianowego (5) za pomocą łańcucha (6) i (7). Średnica organu dla takiego kombajnu dobierana jest do miąższości pokładu. Przy czym zastosowany organ nie ma płatów ślimakowych. Funkcję ładowania, realizowaną zwykle przez płaty, przejmują ładowarki. Rozdzielenie procesu ładowania od procesu frezowania jest jedną z najważniejszych zalet prezentowanego rozwiązania. Podczas pracy w ścianie pręd-

kość posuwu kombajnu może być zwiększana bez ryzyka wystąpienia problemów z ładowaniem na przenośnik, co obok możliwości przemieszczania się kombajnisty w niskiej ścianie było głównym czynnikiem hamującym wzrost wydobywania. Załadunek urobku na przenośnik odbywa się za pomocą ładowarki odkładniowej, która po zmianie kierunku urabiania składa się, natomiast druga ustawiana jest w pozycji roboczej. Kombajn porusza się po przenośniku, jednak przy zastosowaniu ciągnowego systemu posuwu, który zrealizowany jest za pomocą napędów znajdujących się w chodnikach. Rozwiązanie takie umożliwia znaczne zmniejszenie gabarytów kombajnu dzięki usunięciu ciągników z kadłuba. Ponadto kombajn w przypadku awarii może zostać wyciągnięty do chodnika, co eliminuje konieczność wchodzenia do ściany i napraw w ograniczonej przestrzeni.

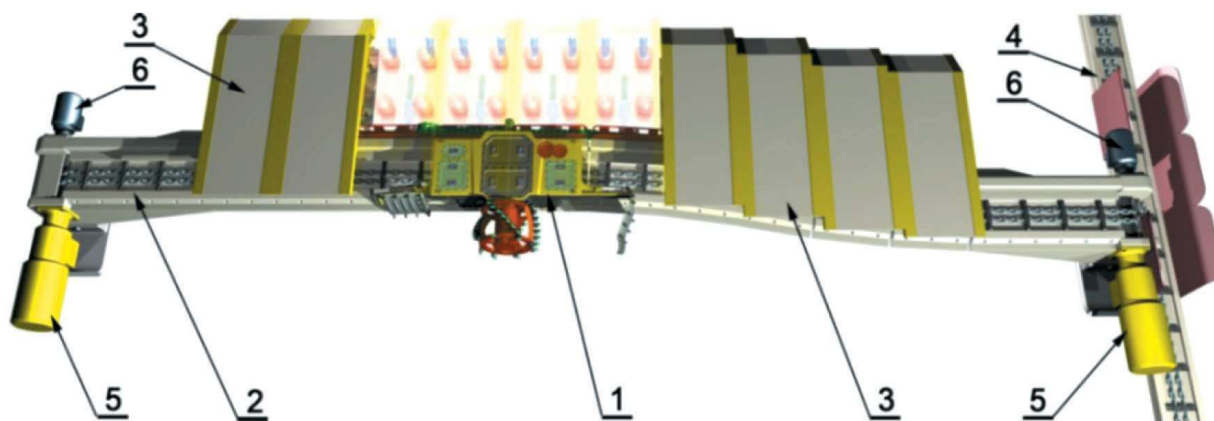
Określone parametry geometryczne i kinematyczne kombajnu jednoorganowego, ścianowego przenośnika zgrzeblowego oraz zmechanizowanej obudowy chodnikowej pozwoliły na opracowanie modelu 3D kompleksu ścianowego w programie Autodesk Inventor (rys. 15). Składa się on z kombajnu jednoorganowego (1), ścianowego przenośnika zgrzeblowego (2),



Rys. 13. Schemat zmechanizowanego kompleksu ścianowego wyposażonego w kombajn jednoorganowy [7] (opis w tekście)



Rys. 14. Koncepcja jednoorganowego kombajnu ścianowego [7]



Rys. 15. Model zmechanizowanego kompleksu ścianowego wyposażonego w kombajn jednoorganowy [7]

sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej (3) i podścianowego przenośnika zgrzeblowego (4). Na końcach przenośnika ścianowego znajdują się jego napędy (5) oraz napędy (6) kombajnu. W kadłubie przewidziano umieszczenie jednostki napędowej organu urabiającego o mocy około  $2 \times 120$  kW. Oprócz jednostki napędowej w kadłubie przewidziano układ hydrauliczny zasilany z jednostki napędzającej organ, układ automatyki, sterowania i diagnostyki. Układ hydrauliczny potrzebny jest do zmiany położenia ładowarek oraz podnoszenia całego kombajnu na płozach. Wielkości poszczególnych elementów dobrano, uwzględniając kształt i wielkość obecnie stosowanych części kombajnów ścianowych oraz strugów węglowych.

Zaproponowany kompleks do eksploatacji cienkich pokładów wyposażony w kombajn jednoorganowy przeznaczony jest do pracy w technologii urabiania dwukierunkowego. Charakterystyczną cechą tej technologii jest brak fazy zawrębiania oraz praca na pełny zabiór na całej długości ściany. W przypadku zmiany miąższości pokładu możliwa jest zmiana organu, natomiast sterowanie w kierunku wybiegu odbywać się będzie za pomocą siłowników.

## 5. INNOWACYJNY UKŁAD URABIANIA I ODSTAWY DLA KOMBAJNÓW SZYBOWYCH

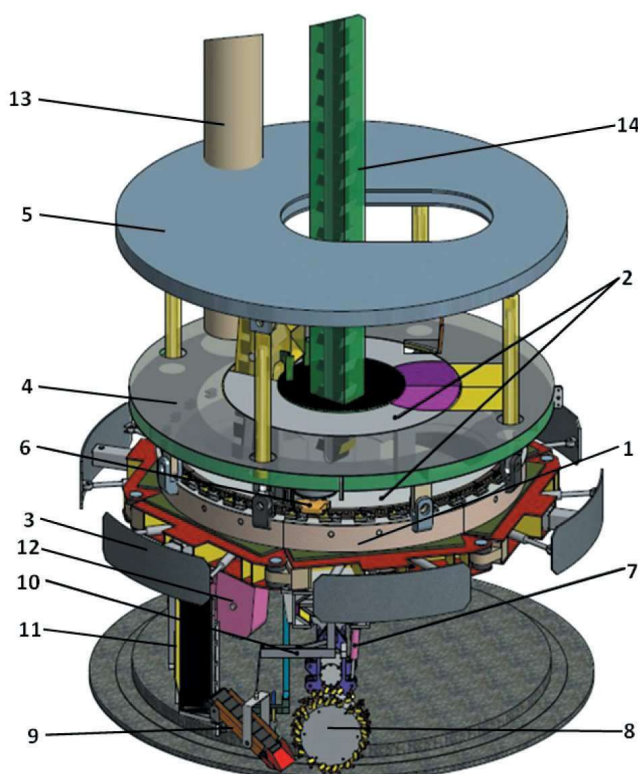
Technologia drażenia szybów w Polsce oparta jest przede wszystkim na metodzie strzałowej, ale w okręgu LGOM wykonywane są one także specjalną technologią wykorzystującą urabianie mechaniczne skał o wytrzymałości do 35 MPa. Zastosowana w tym przypadku w kombajnie szybowym KDS-2 maszyna ura-

biająca jest adaptowanym do tego celu ramieniem kombajnu ścianowego KWB-6, wyposażonym w jeden frezujący organ ślimakowy, zbrojony nożami promieniowymi. Warunki górniczo-geologiczne panujące w drażonych szybach wymuszają stosowanie mrożenia górotworu. Kombajn szybowy KDS-2 przystosowany jest do współpracy z różnymi rodzajami urządzeń zabudowanych w przodku szybowym, a szczególnie z ładowarką chwytkową. Proces drażenia wyrobiska polega na urabianiu dna szybu za pomocą frezującego organu ślimakowego i ładowaniu urobku ładowarką chwytkową. Właściwości urabianego górotworu oraz technologia pracy organu (pionowa oś jego obrotu – rys. 16) utrudniają urabianie dna szybu, na skutek jego obklejania. Dlatego w czasie pracy kombajnu wymagane są przerwy na czyszczenie organu urabiającego, a także ładowania urobku [9].

Mając powyższe na uwadze, w Katedrze MGPIiT zaproponowano koncepcję nowej generacji kompleksu szybowego, który równolegle będzie realizował następujące procesy: urabianie wykonywane jako proces ciągły przez organ frezujący mocowany do platformy roboczej w sposób umożliwiający urabianie całego dna szybu, ładowanie i odstawa realizowane w sposób ciągły przez odkładnię (ładowarkę lemieszową) i zestaw przenośników taśmowych oraz kubełkowych i zabezpieczenie tymczasowe ociosów panelami stalowymi spełniającymi jednocześnie funkcję rozparcia za pomocą zintegrowanych siłowników hydraulicznych. Kompleks ten przeznaczony jest do drażenia szybów o średnicy 8,5–9,5 m. W omawianej koncepcji wykorzystano konstrukcje zaproponowane przez ITG KOMAG (układ rozpierania oraz ramię organu urabiającego). Opracowany na podstawie tej koncepcji model kompleksu szybowego przedstawiono na rysunku 17 [10].



Rys. 16. Widok wysięgnika zawieszenia układu napędu organu urabiającego wraz z głowicą i organem urabiającym w kombajnie szybowym KDS-2 [9]

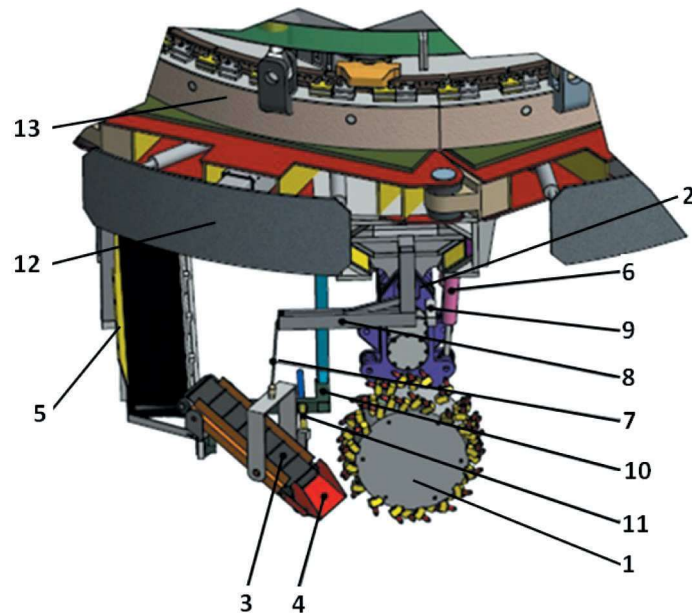


Rys. 17. Model opracowanego kompleksu szybowego [10]: 1 – platforma robocza, 2 – pierścień obrotowy, 3 – układ rozpierający, 4 – nieruchomy podest roboczy, 5 – podest stały, 6 – napęd obrotu platformy roboczej, 7 – silowniki podnoszenia ramienia, 8 – organ urabiający, 9 – przenośnik taśmowy krótki, 10 – układ podnoszenia przenośnika krótkiego, 11 – przenośnik taśmowy liniowy, 12 – przesyp i przenośnik kubelkowy krótki, 13 – lutniociąg, 14 – przenośnik kubelkowy długi

Innowacyjnym rozwiązaniem kombajnu szybowego jest zespół urabiania i ładowania (rys. 18). W skład zespołu urabiania wchodzi ramię kombajnowe, dwa silowniki podnoszenia ramienia, układ podnoszenia przenośnika krótkiego z ramieniem organu i organem urabiającym. Ramię kombajnowe jest adaptowanym ramieniem kombajnu ścianowego z organem frezującym napędzanym silnikiem o mocy 250 kW.

Zawrębianie odbywa się za pomocą dwóch silowników umieszczonych po jednej stronie ramienia. Podczas zawrębiania pierścień obrotowy platformy wykonuje obrót z prędkością roboczą.

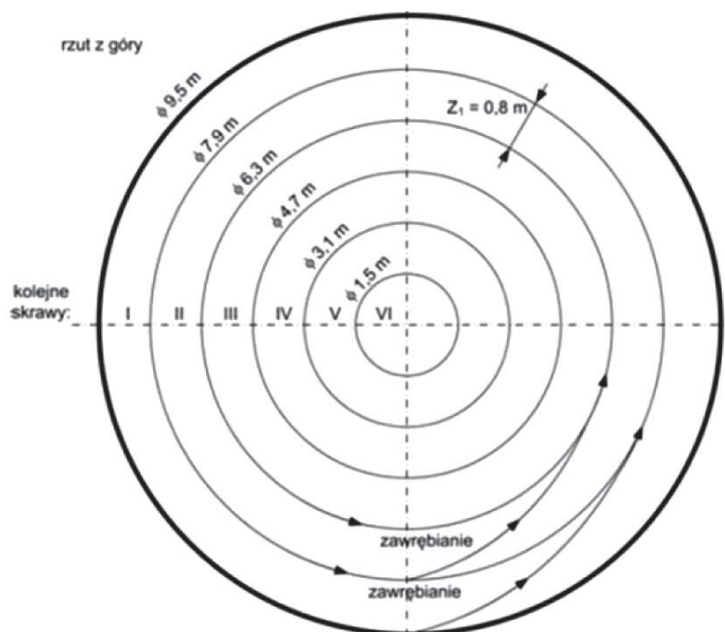
Organ frezujący podczas ruchu pierścienia obrotowego platformy wykonuje skraw o przekroju prostokątnym i szerokości równej zabiorowi organu oraz wysokości równej głębokości urabiania. Po wykonaniu



Rys. 18. Model opracowanego dla kompleksu szybowego innowacyjnego zespołu urabiania i ładowania [10]:  
 1 – organ urabiający, 2 – ramię, 3 – przenośnik taśmowy krótki, 4 – zgrzaniak, 5 – przenośnik taśmowy liniowy,  
 6 – siłowniki podnoszenia ramienia, 7 – linka stalowa, 8 – układ podnoszenia przenośnika krótkiego,  
 9 – mocowanie linki, 10 – układ przesuwu przenośnika, 11 – siłownik obrotu przenośnika,  
 12 – układ rozpierający, 13 – pierścień obrotowy

jednego skrawu następuje uniesienie organu, a następnie ruch powrotny pierścienia obrotowego platformy do położenia wyjściowego. Konieczne jest zawrębianie organu w nowym skrawie, czyli w nowym położeniu, w kierunku do osi szybu o wartość zabioru organu. Podczas zawrębiania do kolejnych skrawów organ przemieszcza się po prowadnicy liniowej, w kierunku osi szybu równocześnie z obrotem pier-

ścienia, co skutkuje spiralnym ruchem organu, aż do osiągnięcia położenia w nowym skrawie. Wykonanie kolejnych skrawów odbywa się analogicznie, aż do urobienia pełnej warstwy (rys. 19). W trakcie fazy zawrębiania oraz normalnego urabiania przenośnik taśmowy krótki przemieszcza się za organem i przekazuje urobek na przenośnik taśmowy poziomy (liniowy) [11].



Rys. 19. Schemat technologii wykonania kolejnych skrawów dna szybu [11]

Zespół przenośników jest ostatnim „ogniwem” zamkniętej pracy kombajnu szybowego. Urobek spod organu urabiającego, poprzez zgarniak i krótki przenośnik taśmowy ładowany jest na poziomy przenośnik taśmowy, a następnie przemieszczany do przesyphu. Z przesyphu urobek jest odbierany przez krótki przenośnik kubelkowy i transportowany do zasobnika. Z zasobnika przenośnik kubelkowy transportuje urobek poza platformę roboczą na zadaną przez użytkownika wysokość. Podniesienie krótkiego przenośnika realizowane jest za pomocą linki stalowej połączonej poprzez układ podnoszenia pomiędzy ramieniem kombajnu a krótkim przenośnikiem taśmowym. Wprowadzono również siłownik pozwalający na prostowanie się krótkiego przenośnika taśmowego względem przenośnika poziomego podczas przejazdu ramienia do środka szybu.

Przedmiotowy kompleks szybowy realizuje jednocześnie proces urabiania, ładowania i odstawy urobku z dna szybu. Szerokość skrawu organu została ustalona na 0,8 m przy dopuszczalnej wartości 1,0 m. Zgodnie z przyjętymi założeniami urabianie odbywa się za pomocą organu frezującego o poziomej osi. Przed rozpoczęciem urabiania platforma robocza z kombajnem zostaje ustawiona w takiej odległości od dna szybu, aby możliwe było zawrębianie organu na głębokość do 0,3 m (maks. 0,35 m). Zawrębianie odbywa się za pomocą wychylnego ramienia organu. Podczas opuszczania platformy roboczej następuje również opuszczanie długiego przenośnika kubelkowego. Po ustaleniu i rozparciu platformy roboczej następuje faza zawrębiania. Podczas zawrębiania pierścień obrotowy platformy wykonuje ruch obrotowy z prędkością roboczą. Organ frezujący podczas ruchu pierścienia obrotowego platformy wykonuje skraw w kształcie toroidu o przekroju prostokątnym o szerokości równej szerokości organu. Po urobieniu jednego skrawu następuje uniesienie organu, a następnie ruch powrotny pierścienia obrotowego platformy do położenia wyjściowego. Następnie konieczne jest zawrębianie organu w nowym skrawie, czyli w nowym położeniu w kierunku do osi szybu o wartość zabioru organu, tak jak pokazano to na rysunku 19. W trakcie fazy zawrębiania oraz normalnego urabiania ładowarka lemieszowa przemieszcza się za organem i przekazuje urobek na zespół przenośników. Przenośnik kubelkowy długi transportuje urobek poza platformę roboczą na wymaganą wysokość wynikającą z zastosowanego wyposażenia kompleksu szybowego.

Po wykonaniu pełnej warstwy organ wraca do położenia wyjściowego i następuje wykonanie kolejnego skrawu z zabiosem 0,3 m poprzez opuszczenie platformy z kombajnem.

Przedstawiony kombajn szybowy różni się od dostępnych na rynku i znanych z literatury kompleksów. Charakteryzuje go budowa modułowa z szerokimi możliwościami modyfikacji, co przekłada się na wiele wariantów dostosowanych do różnych warunków pracy, potrzeb i wymagań użytkownika oraz współistniejących w wyrobisku maszyn i urządzeń.

## 6. PODSUMOWANIE

Przedstawione w artykule rozwiązania dotyczące maszyn i urządzeń są efektem prac badawczych prowadzonych w Katedrze MGPIiT. Są to rozwiązania innowacyjne i niespotykane obecnie w górnictwie polskim. Część z nich została już poddana z powodzeniem próbom poligonowym, natomiast pozostałe rozwiązania na dzień dzisiejszy są w stadium przygotowania do opracowania projektów wstępnych i wykonania na ich podstawie egzemplarzy prototypowych. Można prognozować, że w niedalekiej przyszłości kilka z zaprezentowanych w artykule rozwiązań może zostać z sukcesem wykorzystanych w polskim górnictwie podziemnym.

### Literatura

- [1] Kotwica K., Gospodarczyk P., Stopka G., Kalukiewicz A.: *The designing process and stand tests of a new solution of a mining head with disc tools of complex motion trajectory for compact rocks mining*, „Quarterly Mechanics and Control” 2010, 29, 3: 119–129.
- [2] Kotwica K., Gospodarczyk P., Stopka G., Puchała B., Słowiński A.: *Wyniki prób poligonowych głowicy urabiającej nowej generacji z narzędziami dyskowymi o złożonej trajektorii ruchu*, „Przegląd Górniczy” 2011, 11: 31–36.
- [3] Kotwica K., Gospodarczyk P., Stopka G.: *A new generation mining head with head with disc tool of complex trajectory*, „Archives of Mining Sciences” 2013, 58, 4: 985–1006.
- [4] Kotwica K., Krauze K., Wydro T.: *Zastosowanie tymczasowej obudowy zmechanizowanej w procesie drążenia wyrobisk korytarzowych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej” 2007, 1765, 280: 311–325.
- [5] Krauze K., Bołoz Ł., Wydro T.: *Prototype of temporary mechanized mine roadway support of the dog headings. Theory and technique of coal mining and disaster prevention in deep mines*, w: *Proceedings of international mining conference, Anhui University of Science and Technology, China*, 2014: 538–545.
- [6] Krauze K., Bołoz Ł., Wydro T.: *Urządzenie do montażu lukowej obudowy podatnej w podziemnych wyrobiskach korytarzowych*, Opis zgłoszeniowy wynalazku, PL 412667 A1, „Biuletyn Urzędu Patentowego”, 2016: 33.

- [7] Bołoz Ł.: *Unique project of single-cutting head longwall shearer used for thin coal seams exploitation*, „Archives of Mining Sciences” 2013, 58, 4: 1057–1070.
- [8] Krauze K., Bołoz Ł.: *Model jednoorganowego frezującego kombajnu ścianowego*, „Napędy i Sterownice” 2010, 12: 120–123.
- [9] Kotwica K., Krauze K., Bołoz Ł., Twardak E.: *Wpływ warunków górniczo-geologicznych w drążonym szybie na prace organu urabiającego kombajnu szybowego*, w: III Międzynarodowa Konferencja: *Problemy bezpieczeństwa w budowie i eksploatacji maszyn i urządzeń górnictwa podziemnego*, Wydawnictwo ART. 21, Katowice–Łędziny 2010: 134–146.
- [10] Krauze K., Bołoz Ł., Wydro T., Mucha K.: *Kompleks szybowy nowej generacji*, w: *Mechanizacja, automatyzacja i robotyzacja w górnictwie. T. 2: Problemy eksploatacji i zarządzania w górnictwie podziemnym i odkrywkowym*, red. K. Krauze CBiDGP Łędziny–Kraków 2017: 103–112.
- [11] Krauze K., Bołoz Ł., Wydro T.: *Zmechanizowany frezujący kompleks szybowy*, IV Polski Kongres Górniczy, Kraków 2017: 105–106.

*prof. dr hab. inż. KRZYSZTOF KRAUZE*  
*dr hab. inż. KRZYSZTOF KOTWICA, prof. AGH*  
*Katedra Maszyn Górniczych, Przeróbczych*  
*i Transportowych*  
*Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki*  
*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza*  
*im. Stanisława Staszica w Krakowie*  
*al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*  
*{krauze, kotwica}@agh.edu.pl*