

6

PROJEKTOWANIE INNOWACYJNYCH I NIETYPOWYCH MASZYN GÓRNICZYCH Z WYKORZYSTANIEM NOWOCZESNYCH TECHNIK KOMPUTEROWYCH

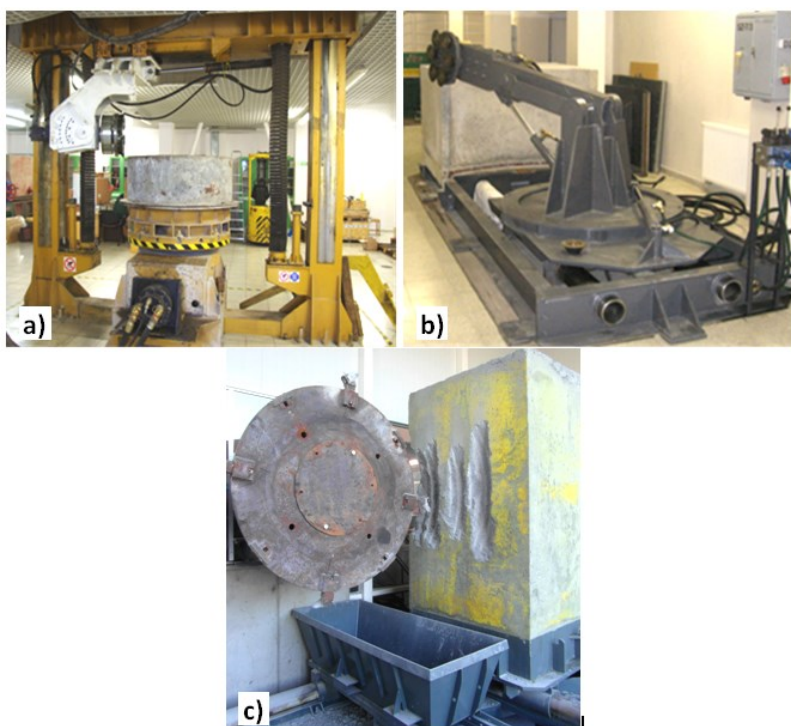
WSTĘP

Warunki górniczo-geologiczne w jakich zalegają w Polsce, jak również na świecie surowce mineralne eksploatowane metodami podziemnymi stają się coraz trudniejsze. Wiąże się to z większymi głębokościami ich zalegania, warunkami klimatycznymi jak również trudniej urabialnymi skałami. Powoduje to, że obecnie stosowane technologie udostępniania oraz wybierania kopalin są coraz bardziej zawodne i nie pozwalają na osiągnięcie zadowalających wydajności. Dlatego, zwłaszcza w przypadku prac związanych z drążeniem wyrobisk korytarzowych i tunelowych, często konstruowane są maszyny opracowywane specjalnie dla konkretnych warunków górniczo-geologicznych oraz organizacyjno-technicznych.

W Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych, AGH Kraków od wielu lat prowadzone są prace nad opracowaniem maszyn i urządzeń, które będą w stanie efektywnie pracować w trudnych warunkach górniczych. Do ich zaprojektowania wykorzystano wyniki badań wykonanych na unikalnych, nie tylko w skali kraju stanowiskach badawczych, na których prowadzono badania nad zastosowaniem 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 te pozwoliły na opracowanie nowych narzędzi i głowic urabiających, które mogą zostać wykorzystane podczas urabiania skał zwięzłych i bardzo zwięzłych oraz zaprojektowania nietypowych i innowacyjnych rozwiązań maszyn, które można zastosować przy eksploatacji niskich pokładów węgla, drążeniu korytarzowych wyrobisk przygotowawczych i udostępniających jak również szybów. Wymaga to często opracowania konstrukcji takiej maszyny jako prototypu tak, aby do mini-

muszą uniknąć występowania podczas jej eksploatacji awarii i przestojów związanych np. z błędnym zaprojektowaniem niektórych elementów czy ich kolizjami. Wykorzystano w tym celu pakiety komputerowe Autodesk Inventor, MES oraz DEM i tzw. wirtualne prototypowanie, pozwalające na uniknięcie lub zminimalizowanie występowania takich sytuacji [5].



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

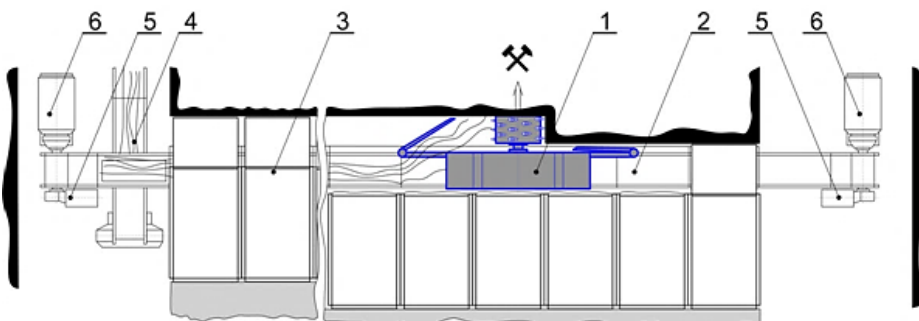
Artykuł ten jest kontynuacją zamieszczonego w tym czasopiśmie artykułu pt. „Wykorzystanie zaawansowanych programów komputerowych do wspomaganie projektowania oraz badań symulacyjnych w procesie dydaktycznym studentów szkół wyższych o profilu mechaniczno-górnictwem”, w którym opisano opracowane przez studentów rozwiązania maszyn i urządzeń. Nie wykroczyły one jednak w większości poza studium projektowe. Natomiast w tym artykule przedstawiono zrealizowane przez pracowników Katedry MGPiT projekty innowacyjnych maszyn i urządzeń, które zostały wykonane w wersji prototypowej lub mają dużą szansę na praktyczne zastosowanie w górnictwie podziemnym.

PRZYKŁADY INNOWACYJNYCH MASZYN I URZĄDZEŃ OPRACOWANYCH W KATEDRZE MGPIŃ Z WYKORZYSTANIEM ZAAWANSOWANYCH PROGRAMÓW KOMPUTEROWYCH

W Katedrze MGPIŃ, AGH Kraków opracowano wiele nietypowych rozwiązań maszyn i urządzeń możliwych do wykorzystania w przemyśle górniczym. Poniżej zaprezentowano wybrane projekty opracowane z wykorzystaniem zaawansowanych pakietów do wspomagania projektowania inżynierskiego.

Kompleks ścianowy z kombajnem jednoorganowym do niskich pokładów

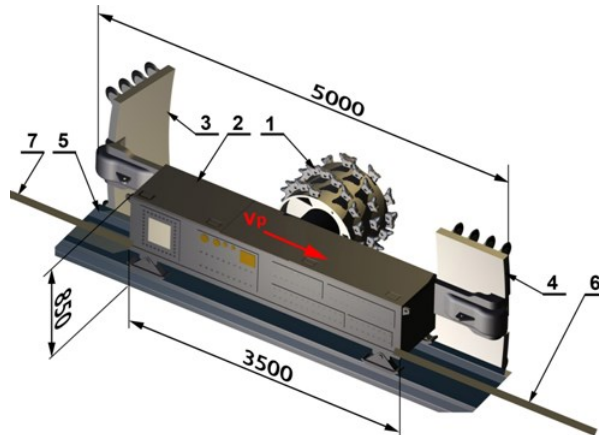
W polskim górnictwie węglowym wydobycie węgla kamiennego realizowane jest prawie w całości w systemach ścianowych, wykorzystujących nowoczesne, zmechanizowane kompleksy ścianowe. W przypadku ścian niskich, poniżej 1,5 m miąższości, do ich eksploatacji stosowane są głównie strugi węglowe. Natomiast ścianowe kombajny węglowe w tym przypadku są zdecydowanie mniej efektywne, uzyskiwane wydajności są czasami nawet kilkakrotnie mniejsze. Związane jest to z utrudnionym ładowaniem urobku. W Katedrze MGPIŃ opracowano nowe rozwiązanie maszyny urabiającej przeznaczonej do wydobywania węgla w ścianach niskich tylko z jednym organem urabiającym. Kombajn do eksploatacji niskich pokładów różni się od dotychczas stosowanych poprzez rozdzielenie procesu frezowania od procesu ładowania, zastosowanie ciągnowego systemu posuwu oraz możliwość rozpoczynania nowego skrawu bez konieczności zawrębiania. Na rysunku 2 pokazano proponowane rozmieszczenie poszczególnych maszyn i urządzeń w kompleksie ścianowym. Został on wyposażony w kombajn jednoorganowy (1), ścianowy przenośnik zgrzebłowy (2), podścianowy przenośnik zgrzebłowy (4) oraz zmechanizowaną obudowę ścianową (3). Ze względu na rozmieszczenie napędów przenośnika zgrzebłowego (6) oraz napędów posuwu kombajnu (5), miejsce prowadzenia łańcucha napędowego zlokalizowano od strony zrobów. Zorientowanie napędów posuwu kombajnu (5) i przenośnika zgrzebłowego ścianowego (6) jest dowolne – prostopadłe lub równoległe [1].



Rys. 2 Schemat zmechanizowanego kompleksu ścianowego wyposażonego w kombajn jednoorganowy (opis w tekście)

Źródło: [1]

Specjalnie opracowany dla przedmiotowego kompleksu kombajn jednoorganowy (rys. 3) składa się z kadłuba (2), jednego centralnie zamocowanego organu urabiającego (1) oraz dwóch rozkładanych ładowarek odkładniowych (3) i (4). Kombajn jest przemieszczany po rynnach przenośnika ścianowego (5) za pomocą łańcucha (6) i (7). Średnica organu, który jest organem bez płatów ślimakowych, dobierana jest do miąższości pokładu. Funkcję ładowania, realizowaną przez płaty, przejmują ładowarki.



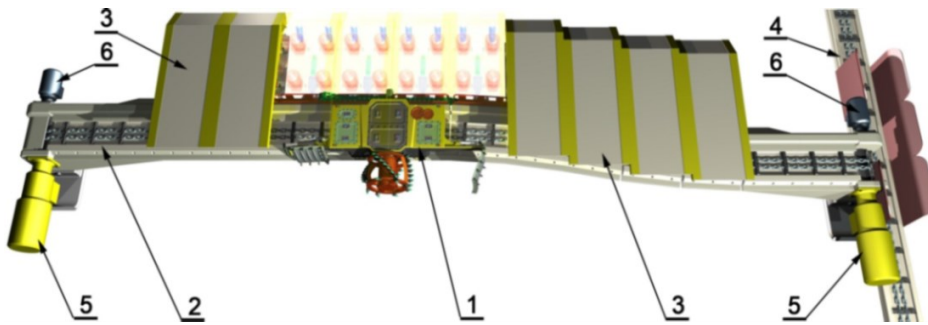
Rys. 3 Koncepcja jednoorganowego kombajnu ścianowego (opis w tekście)

Źródło: [1]

Rozdzielenie procesu ładowania od procesu frezowania jest najważniejszą zaletą prezentowanego rozwiązania. Pozwala to na zwiększenie prędkości posuwu kombajnu bez ryzyka wystąpienia problemów z ładowaniem urobku na przenośnik. Załadunek urobku odbywa się za pomocą ładowarki odkładniowej, która po zmianie kierunku urabiania składa się, natomiast druga ustawiana jest w pozycji roboczej. Kombajn przemieszcza się po przenośniku, przy zastosowaniu ciągnowego systemu posuwu, z napędami zabudowanymi w chodnikach przyścianowych. Rozwiązanie takie umożliwia zmniejszenie gabarytów kombajnu dzięki usunięciu ciągników z kadłuba oraz eliminuje konieczność wchodzenia do ściany i napraw w ograniczonej przestrzeni w przypadku awarii.

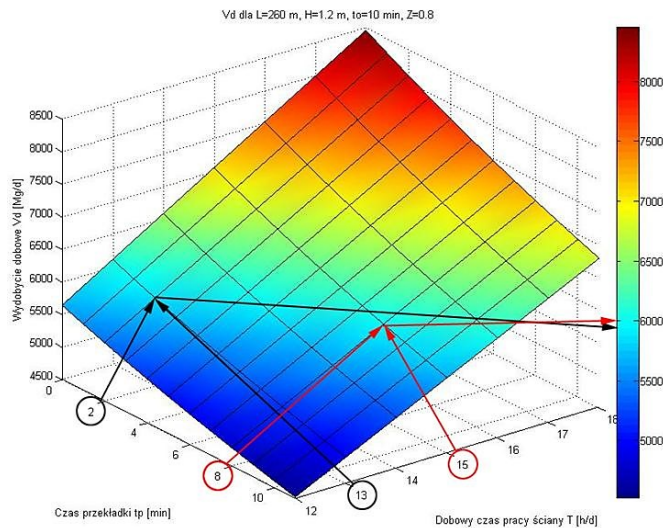
Opracowano w programie Autodesk Inventor również model 3D kompleksu ścianowego (rys. 4). W kadłubie kombajnu przewidziano umieszczenie jednostki napędowej organu urabiającego o mocy ok. 2x120 kW. W kadłubie zabudowano także moduł hydrauliczny zasilany z jednostki napędzającej organ, układ automatyki, sterowania i diagnostyki. Moduł hydrauliczny wykorzystywany 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.



Rys. 4 Model zmechanizowanego kompleksu ścianowego wyposażonego w kombajn jednoorganowy (opis jak dla rys. 2)

Źródło: [1]



Rys. 5 Wydobycie dobowe dla ściany o długości 260 m i wysokości 1,2 m

Źródło: [1]

Miarą efektywności kompleksu ścianowego jest możliwe do uzyskania wydobywanie dobowe. Przyjmując na podstawie danych literaturowych wartości parametrów organizacyjnych wyrobiska ścianowego oraz wykorzystując wzory znane z literatury, przeprowadzono badania symulacyjne pozwalające na oszacowanie wydajności urabiania opisanego kompleksu. Przykładowy uzyskany wynik tych badań – wykres dobowego wydobywania dla ściany o długości 260 m oraz wysokości 1,2 m pokazano na

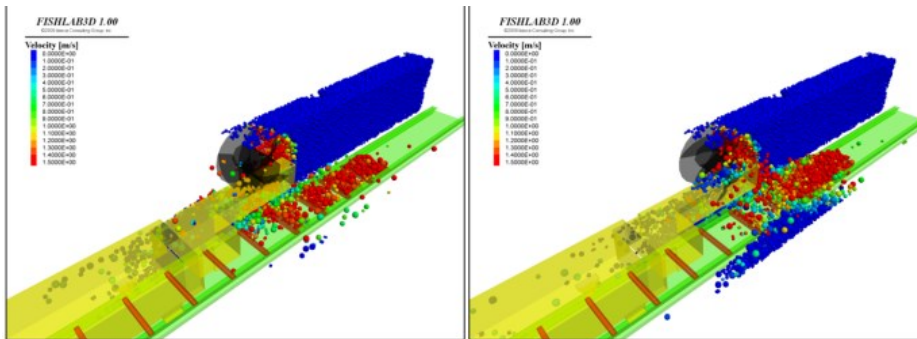
rysunku 5. Zakładając, że przekładka będzie trwała 2 min a dobowy czas pracy wyniesie 13 h/d uzyskać można wydobyć dobowego ok. 6000 Mg/d, natomiast wartości minimalnego i maksymalnego wydobycia, dla czasu pracy w ścianie odpowiednio 12 h/d i 18 h/d mogą osiągnąć około 4030 Mg/d i 11 610 Mg/d.

Analiza procesu ładowania urobku organem ślimakowym z wykorzystaniem DEM

W przypadku niskich pokładów urabianych klasycznymi kombajnami ścianowymi istotna jest prawidłowa ocena procesu ładowania urobku przez organ urabiający ze względu na prawdopodobieństwo jego zadławienia. W takich warunkach ważne jest właściwe oszacowanie wydajności z jaką kombajn ścianowy podaje urobek na przenośnik zgrzebłowy a także analiza ruchu strugi materiału. Ze względu na złożoność zagadnień związanych z procesami mechanicznego urabiania skał oraz transportu i odstawy materiałów sypkich, dużą popularność zyskała Metoda Elementów Dyskretnych (DEM). W tej metodzie materiał reprezentowany jest przez zbiór indywidualnych i sztywnych elementów będących w ruchu oraz mogących wchodzić ze sobą w interakcję. Proces ten jest w pełni dynamiczny, a stan równowagi całego układu występuje w przypadku gdy siły wewnętrzne się równoważą. W Katedrze MGPIiT przeprowadzona została w programie PFC3D 4.0 firmy Itasca symulacja takiego procesu ładowania [2]. Model numeryczny składał się z dwóch typów komponentów – elementów sferycznych reprezentujących materiał oraz ścian, wykorzystywanych do modelowania granic modelu i ciał sztywnych takich jak geometria kombajnu oraz przenośnika zgrzebłowego i do odzwierciedlenia stropu i spągu. Symulacja oparta została na modelu materiału niezwiązanego.

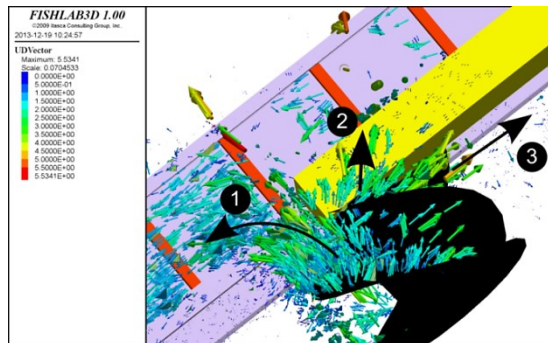
Przeprowadzone zostały cztery symulacje współpracy kombajnu z przenośnikiem. Różnice dotyczyły wykorzystania dodatkowej ładowarki osłonowej i kierunku obrotów organu (urabianie podsiębierne i nadsiębierne). W trakcie symulacji rejestrowane były pozycje i prędkości poszczególnych brył. Na rysunku 6 przedstawiono zamodelowany proces ładowania nadsiębiernego i podsiębiernego. Można zauważyć, że w przypadku urabiania nadsiębiernego proces ładowania przebiega sprawniej. Struga urobku podawanego na przenośnik jest bardziej jednorodna i w większym stopniu wypełnia przestrzeń pomiędzy zgrzeblami. Wykorzystując wyniki symulacji, można określić jaką wysokość powinna mieć zastawka aby nie było możliwe przesypanie urobku poza przenośnik ścianowy.

Negatywnym efektem takiego urabiania jest pojawianie się znacznych ilości urobku na ramieniu kombajnu. Strugę materiału można podzielić na 3 strumienie (rys. 7): główny – skierowany na przenośnik (1), strumień materiału padający na ramię (2) oraz strumień skierowany za organ urabiający (3). W przypadku niskich pokładów może to stanowić zagrożenie związane ze zwiększeniem oporów ruchu kombajnu.



Rys. 6 Jakościowe porównanie dwóch metod urabiania.
Urabianie podsiebierne (po lewej) i nadsiebierne (po prawej)

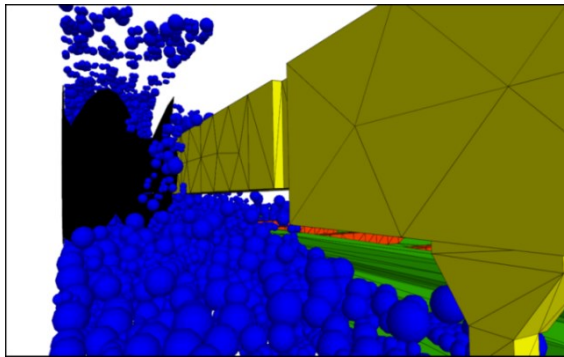
Źródło: [2]



Rys. 7 Wektory prędkości brył urobku w obrębie organu urabiająco-ładującego
przy urabianiu nadsiebiernym

Źródło: [2]

Uzyskane wyniki symulacji pozwoliły na analizę pracy maszyny przy zadanych parametrach i oszacowanie czy nie dojdzie do zadławienia organu urobkiem. Na rysunku 8 przedstawiono widok ramienia kombajnu z organem od strony ociosu ściany, obrazujący rozłożenie materiału w przestrzeni pomiędzy płatami organu ślimakowego. Należy podkreślić, że tego typu obserwacja podczas pracy rzeczywistego obiektu nie byłaby możliwa, dlatego wyniki są cennym źródłem informacji podczas dokonywania oceny granicznych wartości konkretnych parametrów takich jak prędkość posuwu kombajnu czy obroty organu. W badaniach zastosowano szereg uproszczeń w odniesieniu do stanu, kształtu i rozmiaru brył. Wyniki symulacji mogą być przydatne do weryfikacji doboru parametrów geometrycznych i pracy kombajnu ścianowego pracującego w określonych warunkach górniczo-geologicznych.



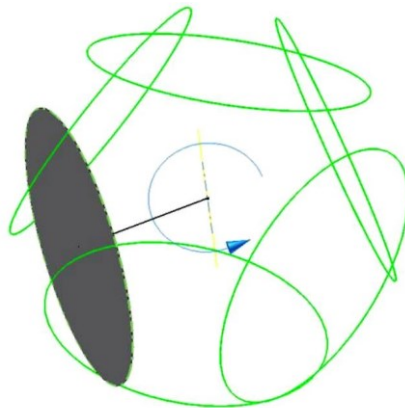
Rys. 8 Furta ładowania za organem urabiającym

Źródło: [2]

Głowica urabiająca kombajnu chodnikowego ramio nowego z narzędziami dyskowymi

W polskim górnictwie duża liczba wyrobisk korytarzowych drążona jest metodami mechanicznymi z wykorzystaniem kombajnów chodnikowych, wyposażonych w organy frezujące. Stosowane narzędzia – noże styczny-obrotowe, w niekorzystnych warunkach górnictwo-geologicznych lub przy nieprawidłowych warunkach pracy, ulegają przyspieszonemu zużyciu. Wpływa to na prędkość i koszty drążenia wyrobisk. W Katedrze MGPIiT zaproponowano wykorzystanie na organach urabiających mini narzędzi dyskowych niesymetrycznych, urabiających skałę przez odcinanie jej w kierunku wolnej powierzchni tzw. techniką tylnego podcinania. Na podstawie wyników badań własnych nad urabianiem skał niesymetrycznymi narzędziami dyskowymi o średnicy do 160 mm, w Katedrze MGPIiT rozpoczęto próby nad opracowaniem nowej koncepcji organu, w którym ruch narzędzi dyskowych będzie wymuszony i będzie powodował urabianie calizny narzędziami po złożonej trajektorii. Pozwoli to na przecinanie się linii urabiania poszczególnych narzędzi dyskowych oraz ułatwienie urabiania skał poprzez wyłamywanie bruzd skalnych, jak też zmniejszenie energochłonności procesu urabiania [4]. W tym celu zabudowano narzędzia dyskowe na oddzielnych tarczach, zamontowanych obrotowo na płaszczu organu urabiającego i napędzanych niezależnie od niego. Można założyć, że tarcza w trakcie ruchu zachowuje się jak pojedynczy dysk. Następnie można wykreślić położenia tego dysku w trakcie obrotu korpusu co pokazano na schemacie na rysunku 9.

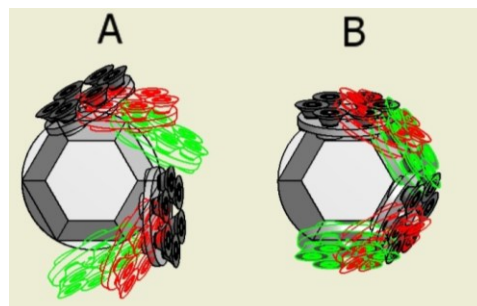
W metodzie tylnego podcinania niezbędny jest ruch obrotowy dysku podczas urabiania. Aby go zapewnić, osie obrotu dysków muszą przemieszczać się w trakcie pracy względem korpusu organu. Zmianę położenia dysków w trakcie pracy organu można uzyskać umieszczając je na tarczy, której ruch obrotowy jest wymuszony. Tarcze powinny być zamocowane do powierzchni bocznej korpusu organu, a osie ich obrotu prostopadłe do powierzchni zamocowania.



Rys. 9 Schemat kolejnych położenia dysku w trakcie obrotu korpusu

Źródło: [4]

Opracowano zatem koncepcję organu z narzędziami dyskowymi niesymetrycznymi o złożonej trajektorii, zamocowanych na trzech obracających się względem korpusu organu tarczach [4]. Trajektoria ruchu dysków zmieniać się może w zależności od pochylenia płaszczyzny, w której wiruje tarcza, względem osi obrotu korpusu. Wynik przeprowadzonej w programie Inventor symulacji dla różnych kątów pochylenia płaszczyzny tarczy pokazano na rysunku 10. Przy większych wartościach pochylenia płaszczyzny, w której wiruje tarcza, względem osi obrotu korpusu, strefa urabiania tarczy przesuwa się w kierunku czoła organu, co ułatwia jego zawrębianie. Symulację taką wykonano również dla sprawdzenia głębokości urabiania pojedynczymi narzędziami dyskowymi. Dla tej symulacji, poza zmianą kąta pochylenia płaszczyzny, w której wiruje tarcza, względem osi obrotu korpusu, zmieniano wartość mimośrodowo e , o jaki przesuwno osie tarcz z narzędziami w kierunku obrotu kadłuba. Najkorzystniejsze parametry uzyskane z przeprowadzonej symulacji to kąt pochylenia osi tarczy 15° i przesunięcie osi mimośrodkowo w kierunku obrotu kadłuba o około 20 mm.



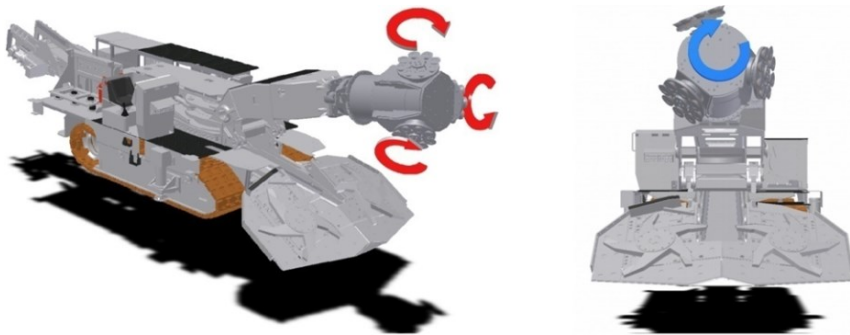
Rys. 10 Wynik symulacji przemieszczania się tarcz z narzędziami dyskowymi w zależności od kąta pochylenia płaszczyzny tarczy;

A – oś obrotu tarcz pochylona względem kadłuba,

B – oś obrotu tarcz prostopadła do kadłuba, oraz mimośrodkowo przesunięcia osi obrotu tarcz

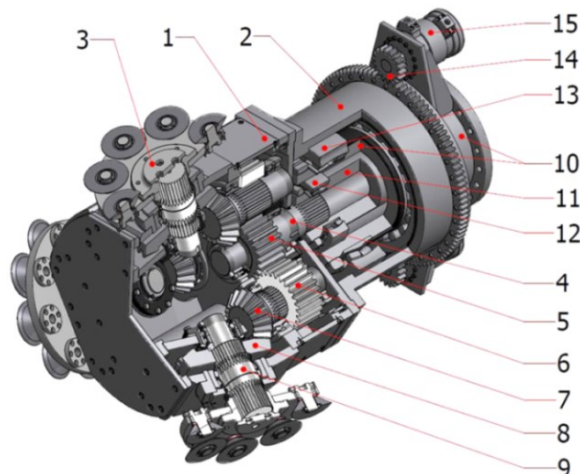
Źródło: [4]

Dla opracowanego modelu głowicy urabiającej przyjęto zatem jako najkorzystniejsze właśnie te wartości. 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 chodnikowego KR150. 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 11, a jej model pokazano na rysunku 12 [2, 4].



Rys. 11 Możliwości kinematyczne nowego rozwiązania głowicy zabudowanej na kombajnie chodnikowym KR 150

Źródło: [4]



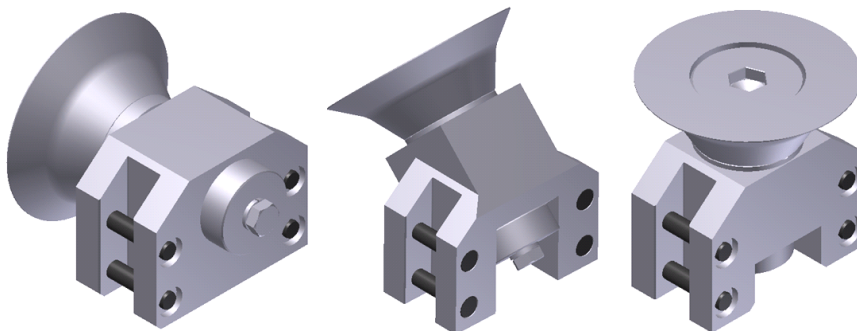
Rys. 12 Model nowego rozwiązania głowicy z narzędziami dyskowymi o złożonej trajektorii:

- 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, 13 - łożyska,
- 14 - przekładnia korpusu, 15 - silnik hydrauliczny

Źródło: [4]

Na podstawie opracowanego modelu sporządzono projekt techniczny i wykonano egzemplarz prototypowy głowicy przeznaczony do zabudowy na kombajnie KR 150 i prób poligonowych w zakładach REMAG S.A. 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.

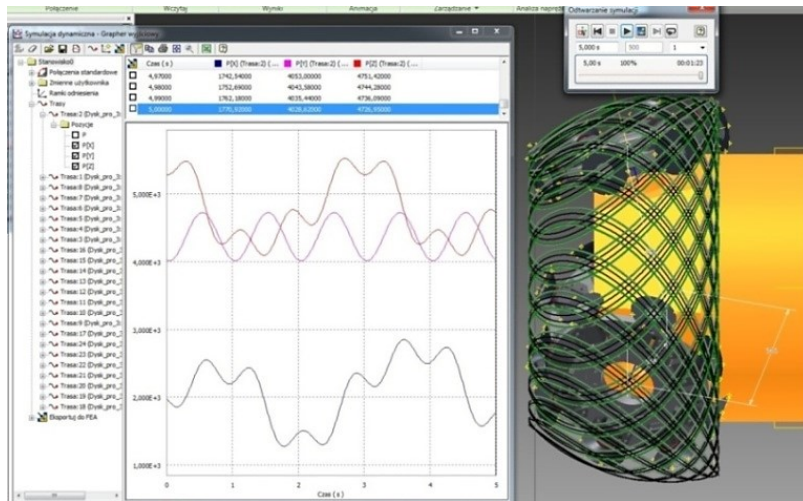
Nie stwierdzono dla takich parametrów pracy głowicy większych oznak zużycia narzędzi dyskowych. Natomiast zmiana kierunku obrotów kadłuba głowicy lub tarcz z narzędziami dyskowymi na przeciwny miała bardzo negatywny wpływ na wartość obciążenia silników oraz zużywanie się zarówno narzędzi dyskowych jak i samych tarcz. Do kolejnej fazy badań opracowano tarczę i uniwersalny uchwyt narzędzia dyskowego, który pozwalał na mocowanie dysku w co najmniej trzech pozycjach, poprzez jego skręcenie w płaszczyźnie przechodzącej przez oś tarczy. Jako najkorzystniejszą przyjęto wersję z wymiennym monoblokiem dla trzech ustawień dysku względem tarczy - pod kątem -5° , 45° i 90° względem osi tarczy (rys. 13).



Rys. 13 Wersja uchwyty dyskowego dla ustawienia kolejno od lewej: „ -5° ”, „ 45° ” i „ 90° ”

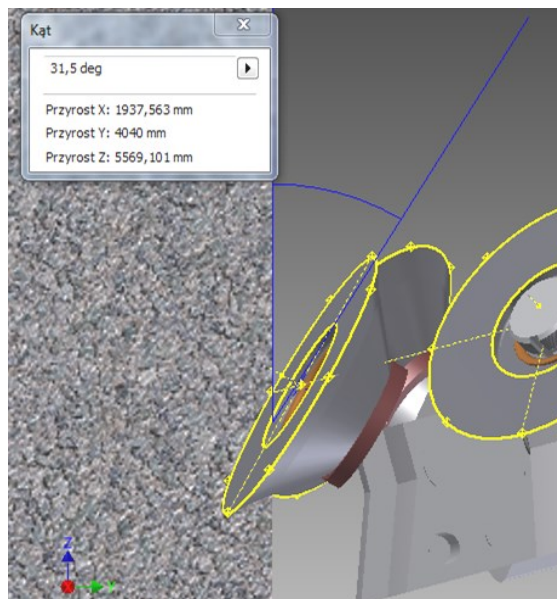
Źródło: [3]

Równoległe z pracami projektowymi wykonano badania symulacyjne, które miały dać odpowiedź na pytania dotyczące poprawności wyboru odpowiednich położeń dysków na tarczy dyskowej. Symulacje kinematyczne przeprowadzono w programie Autodesk Inventor. Ich celem było wyeliminowanie potencjalnych kolizji podczas ruchu głowicy dyskowej, zwłaszcza pomiędzy elementami uchwyty dyskowego a calizną. Przykładową symulację głowicy dyskowej z udziałem tarcz dyskowych w układzie „ 90° ” pokazano na rysunku 14.



Rys. 14 Przykładowa symulacja kinematyczna z udziałem tarczy dyskowej z położeniem dysków „90°”

Nie stwierdzono żadnych kolizji. Dla przyjętych układów mocowania dysków analizowano także możliwości uzyskana przez dysk maksymalnych penetracji. Na rysunku 15 przedstawiono przykładowe wyniki analizy wnikania dysku w calizną skalną dla nowego sposobu jego mocowania w układzie „45°”. Najlepsze rezultaty (wolumen uzyskanego urobku podczas jednego obrotowania się dysku) uzyskano jednak dla tarczy dyskowej z układem dysków „90°”.



Rys. 15 Moment osiągnięcia przez dysk maksymalnej głębokości urabiania – dysk „45°”

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań symulacyjnych wykonano nowe rozwiązania trzech tarcz dyskowych z trzema kompletami wymiennych monobloków. Rozwiązanie to pozwoliło na przeprowadzenie prób urabiania calizny skalnej dla trzech ustawień narzędzi dyskowych: 45°, 90° i -5°. Nowe rozwiązanie głowicy zostało dostosowane do montażu na ramieniu kombajnu chodnikowego FR-250 (rys. 16) 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. Przeprowadzone próby urabiania przy zamocowaniu narzędzi dyskowych pod kątem -5°, 45° i 90° względem osi tarczy wykazały jednak, że ustawienie narzędzi pod kątem innym niż -5° do -15° w bardzo krótkim czasie skutkuje poważnymi ich uszkodzeniami w postaci wykruszeń i wyłamań krawędzi narzędzi.

Zaproponowane rozwiązanie głowicy z narzędziami dyskowymi niesymetrycznymi 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 koniecznym jest jednak dobranie odpowiedniej konfiguracji kierunku i prędkości obrotowej kadłuba głowicy i tarcz z narzędziami. Sugerowane jest także uwzględnienie w przyszłym rozwiązaniu głowicy układu automatycznego sterowania ramienia dla zapewnienia jej płynnego przemieszczania się.



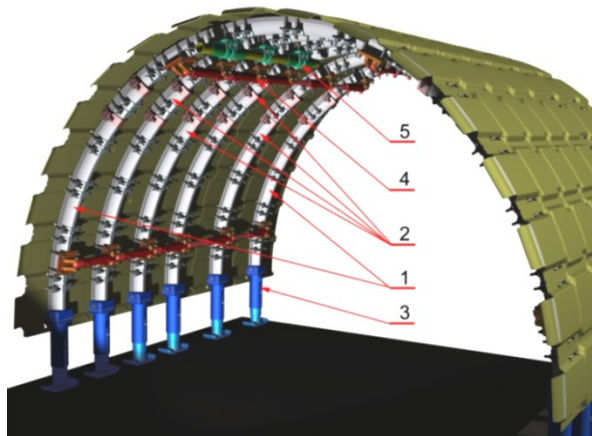
Rys. 16 Widok głowicy urabiającej z narzędziami dyskowymi zamontowanej na kombajnie FR 250 podczas prób poligonowych

Tymczasowa 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, pozwalają-

cych na zmontowanie dużych elementów obudowy poza przodkiem i przetransportowanie ich po zakończeniu urabiania. W Katedrze MGPIiT postanowiono wrócić do pomysłów realizowanych w latach 80-tych ubiegłego wieku czyli zmechanizowanych, tymczasowych obudów chodnikowych. Pozwala to na pracę maszyn pod stropem zabezpieczonym taką obudową a równolegle za tą obudową 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 [6].

W Katedrze MGPIiT założono, że obudowa taka będzie dostosowana do współpracy zarówno z kombajnem chodnikowym jak i maszynami stosowanymi w metodzie tradycyjnej – urabianie MW. Ponadto będzie miała możliwość zwiększania swojej długości poprzez dodawanie modułowych segmentów nawet 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 [6]. Widok zestawu składającego się z sześciu segmentów przedstawiono na rysunku 17.



Rys. 17 Model tymczasowej zmechanizowanej obudowy chodnikowej:
1 – odrzwi skrajne, 2 – odrzwi wewnętrzne, 3 – siłowniki rozpierania,
4 – siłowniki przesuwu, 5 – prowadzenia rurowe

Źródło: [6]

Obudowa w tej wersji 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 uży-

skuje 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 są siłownikami dwustronnego a pozostałe jednostronnego działania.

Łuki połączone są prowadzzeniami rurowymi (5) zapewniającymi ich stateczność podczas rabowania a znaczna część powierzchni odrzwi pokryta jest specjalną wykładką, osłaniającą wyrobisko przed rumoszem skalnym. Obudowa jest przystosowana do drążenia 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 [6].

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, rabowane są przez zsuniecie siłowników umieszczonych w stopach podporowych poszczególne segmenty obudowy, począwszy od czoła przodka i przemieszczane za pomocą siłowników przesuwu do przodu. Po przesunięciu segmentu jest on ponownie rozpierany, a następnie realizowane jest sekwencyjne przesuwanie pozostałych segmentów obudowy aż do ostatniego. Zakłada się sterowanie w jednym cyklu po 2 lub 3 odrzwia. Dla prawidłowego zrealizowania tej operacji koniecznym było opracowanie i wykonanie układu sterowania dla poszczególnych odrzwi obudowy.

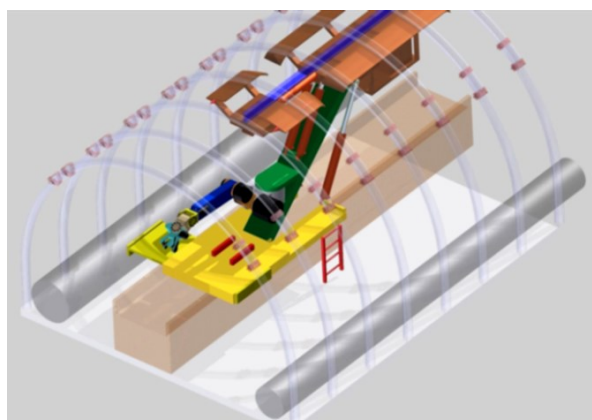
Na podstawie opracowanego projektu w zakładach Hydromel wykonano prototyp sześćelementowej tymczasowej zmechanizowanej obudowy chodnikowej wraz z układem zasilania i sterowania (rys. 8). Podczas prób stanowiskowych, jak również dołowych przeprowadzonych w ZG Janina w Libiążu obudowa ta realizowała poprawnie wszystkie założone czynności. Jedynie należy dopracować hydrauliczny układ zasilania i sterowania pod kątem jego zautomatyzowania, obecnie sterowanie realizowane jest ręcznie.

Obudowa przystosowana jest do współpracy zarówno z kombajnami chodnikowymi jak i maszynami wchodzącymi w skład kompleksu do drążenia metodami strzałowymi. W obu przypadkach maszyny te pracują pod ochroną obudowy tymczasowej, której długość może wynosić nawet 16 metrów. Wszystkie maszyny i urządzenia podstawowe kompleksu znajdują się pod sukcesywnie przemieszczającą się w miarę drążenia chodnika obudową. Za obudową realizowany jest montaż obudowy ostatecznej stalowej łukowej ŁP. Można do tego wykorzystać gotowe rozwiązania platform roboczych z manipulatorami.



Rys. 18 Widok prototypu tymczasowej zmechanizowanej obudowy chodnikowej przed próbami stanowiskowymi

W Katedrze MGPIiT opracowano własną koncepcję takiej platformy z manipulatorem przemieszczającym się na szynie podwieszanej pod wcześniej wykonaną obudową ŁP (rys. 19). Na platformie zabudowany jest hydrauliczny manipulator, którego konstrukcja umożliwia zarówno podnoszenie elementów obudowy ze spągu jak i ich przemieszczanie i montaż w gotowe łuki obudowy [7].



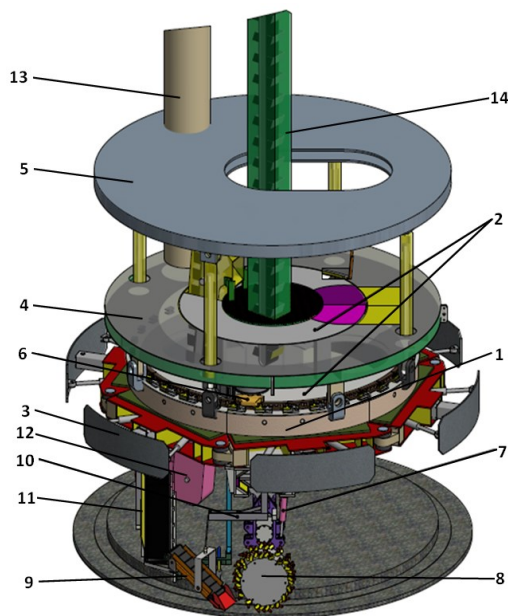
Rys. 19 Koncepcja platformy i manipulatora do zakładania ostatecznej obudowy łukowej ŁP

Źródło: [7]

Kompleks szybowy z zespołem do mechanicznego urabiania i ładowania

Technologia drążenia szybów w Polsce oparta jest przede wszystkim na metodzie strzałowej ale w okręgu LGOM wykonywane są one także specjalną technologią wykorzystującą urabianie mechaniczne skał. Zastosowano w niej kombajn szybowy KDS-2 z 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. Własności urabianego górotworu oraz technologia pracy organu (pionowa oś jego obrotu) utrudniają urabianie dna szybu, na skutek jego obklejania. Dlatego w czasie pracy kombajnu wymagane są przerwy dla czyszczenia organu urabiającego jak również ładowania urobku. Mając powyższe na uwadze, w Katedrze MGPIiT zaproponowano koncepcję nowej generacji kompleksu szybowego, który będzie realizował równoległe następujące procesy: urabianie; realizowane 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 ładowarkę lemieszową i zestaw przenośników taśmowych oraz kubełkowych, jak też zabezpieczenie tymczasowe ociosów panelami stalowymi spełniającymi jednocześnie funkcję rozparcia za pomocą zintegrowanych siłowników hydraulicznych. Kompleks przeznaczony jest do drażenia szymbów o średnicy od 8,5 m do 9,5 m. Model 3D kompleksu szybowego opracowany na podstawie tej koncepcji przedstawiono na rysunku 20 [8].

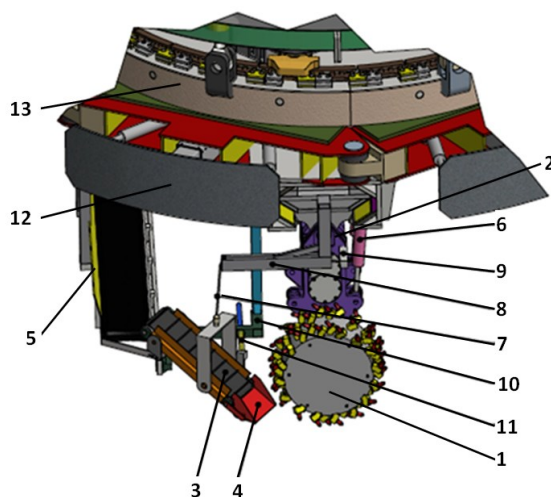


Rys. 20 Model opracowanego kompleksu szybowego:

- 1 - platforma robocza, 2 - pierścień obrotowy, 3 - układ rozpierający,
4 - nieruchomy podest roboczy, 5 - podest stały, 6 - napęd obrotu platformy roboczej, 7 - siłowniki podnoszenia ramienia, 8 - organ urabiający, 9 - przenośnik taśmowy krótki, 10 - układ podnoszenia przenośnika krótkiego, 11 - przenośnik taśmowy liniowy, 12 - przesyp i przenośnik kubełkowy krótki, 13 - lutniociąg, 14 - przenośnik kubełkowy długi

Źródło: [8]

Nietypowym rozwiązaniem zastosowanym w tym kombajnie jest zespół urabia-
nia i ładowania (rys. 21).



Rys. 21 Model opracowanego dla kompleksu szybowego innowacyjnego zespołu urabiania i ładowania:

- 1 - organ urabiający, 2 - ramię, 3 - przenośnik taśmowy krótki, 4 - zgniatak,
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

Źródło: [8]

W skład zespołu urabiania wchodzi ramię kombajnowe, dwa siłowniki 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.

Przedmiotowy kompleks szybowy realizuje jednocześnie proces urabiania, ładowania i odstawy urobku z dna szybu. 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 (max. 0,35 m). 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 i szerokości równej szerokości organu. Po urobieniu jednego skrawu następuje uniesienie organu i ruch powrotny pierścienia obrotowego platformy do położenia wyjściowego. Następnie konieczne jest zawrębianie organu w nowym skrawie w kierunku do osi szybu o wartość zabioru organu. 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 zabiorem 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 szybie maszyn i urządzeń.

PODSUMOWANIE

Przedstawione w artykule rozwiązania maszyn i urządzeń są efektem prac badawczych prowadzonych w Katedrze MGPIiT. Są one rozwiązaniami innowacyjnymi i nie spotykanymi obecnie w górnictwie polskim. Część z nich została już poddana z powodzeniem próbom poligonowym lub przemysłowym, natomiast pozostałe rozwiązania na dzień dzisiejszy są w stadium przygotowania do opracowania projektów wstępnych. Można prognozować, że w niedalekiej przyszłości kilka z zaprezentowanych w artykule rozwiązań może zostać z sukcesem wykorzystanych w polskim górnictwie podziemnym.

Przy opracowywaniu pokazanych rozwiązań wykorzystano zaawansowane programy komputerowe do wspomaganie projektowania inżynierskiego i tzw. wirtualnego prototypowania. Zastosowanie tego typu programów pozwala na znaczne ograniczenie kosztów realizowanego projektu.

LITERATURA

1. Bołoz Ł.: Unique project of single-cutting head longwall shearer used for thin coal seams exploitation. *Archives of Mining Sciences*. Vol. 58, no. 4. 2013.
2. Kotwica K., Gospodarczyk P., Kalukiewicz A., Czuba W., Stopka G., Mendiya P.: *Wybrane zagadnienia modelowania procesów urabiania, ładowania i odstawy w kompleksach ścianowych*. Monografia, Wydawnictwa AGH, Kraków 2015,
3. 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*, nr. 11/2011, Katowice 2011,
4. Kotwica K., Gospodarczyk P., Stopka G.: A new generation mining head with head with disc tool of complex trajectory. *Archives of Mining Sciences*. Vol. 58, 4 (2013).
5. Kotwica K., Nawrocki M.: Wykorzystanie zaawansowanych pakietów komputerowych do wspomaganie projektowania, modelowania oraz badań symulacyjnych maszyn górniczych. *Modelowanie Inżynierskie*, nr 42, 2017.
6. Krauze K., Bołoz Ł., Wydro T.: *Prototype of temporary mechanized mine roadway support of the dog headings. Proceedings of international mining conference*, Anhui University of Science and Technology, China 2014,

7. Krauze K., Bołoz Ł., Wydro T.: Urządzenie do montażu łukowej obudowy podatnej w podziemnych wyrobiskach korytarzowych. Opis zgłoszeniowy wynalazku, PL 412667 A1, Biuletyn Urzędu Patentowego, 2016,
8. Krauze K., Bołoz Ł., Wydro T.: Zmechanizowany frezujący kompleks szybowy. IV Polski Kongres Górniczy 2017, Kraków, materiały konferencyjne, Dokument elektroniczny, 2017,

Data przesłania artykułu do Redakcji: 02.2018

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 03.2018

PROJEKTOWANIE INNOWACYJNYCH I NIETYPOWYCH MASZYN GÓRNICZYCH Z WYKORZYSTANIEM NOWOCZESNYCH TECHNIK KOMPUTEROWYCH

Streszczenie: *W artykule przedstawiono, na przykładzie wybranych rozwiązań innowacyjnych i nietypowych maszyn dla górnictwa opracowanych w Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych AGH Kraków, możliwości wykorzystania zaawansowanych programów komputerowych do wspomagania projektowania i modelowania tych maszyn oraz przeprowadzania badań symulacyjnych. Opisano wykorzystanie takich programów jak Autodesk Inventor, MES oraz DEM, które zastosowano w procesie projektowania rozwiązań konstrukcyjnych wybranych maszyn, technologii ich pracy oraz badań symulacyjnych związanych z kinematyką i efektywnością ich pracy. Przedstawiono efekty osiągnięte podczas opracowywania rozwiązań maszyn i urządzeń do drążenia wyrobisk korytarzowych, kompleksów maszynowych do węglowych ścian niskich oraz kombajnowych kompleksów szybowych.*

Słowa kluczowe: *modelowanie, wspomaganie komputerowe, górnictwo, innowacyjność, badania symulacyjne*

DESIGNING OF INNOVATIVE AND UNUSUAL MINING MACHINES USING MODERN COMPUTER TECHNIQUES

Abstract: *The article presents, on the example of selected innovative and unusual machine solutions for mining industry, developed in Department of Mining, Dressing and Transport Machines, AGH University of Science and Technology Kraków, the possibilities of using advanced computer programs to support the design and modeling of these machines and the simulation tests of mining machines. The use of such programs as Autodesk Inventor, MES and DEM has been described, which were applied in the process of designing construction solutions for selected machines, their technology of work and simulation tests related to kinematics and their efficiency. The results achieved during the development of machine and device solutions for gallery excavation work, hard coal longwall complexes for thin seams and shaft shearer complex were presented.*

Key words: *modeling, computer aided design, mining, innovation, simulation tests*

dr hab. inż. Krzysztof Kotwica, prof. AGH

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Maszyn Górniczych Przeróbczych i Transportowych
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska
e-mail: kotwica@agh.edu.pl, tel: +48607 467 068