

# 5

## **WYKORZYSTANIE ZAAWANSOWANYCH PROGRAMÓW KOMPUTEROWYCH DO WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA ORAZ BADAŃ SYMULACYJNYCH W PROCESIE DYDAKTYCZNYM STUDENTÓW SZKÓŁ WYŻSZYCH O PROFILU MECHANICZNO-GÓRNICZYM**

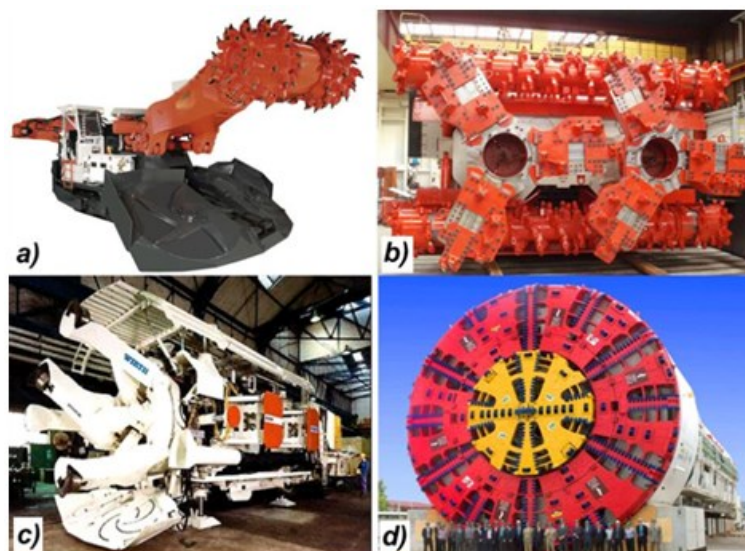
### **WSTĘP**

W przemyśle górniczym, zarówno polskim jak i światowym, bardzo często konstruowane i wykorzystywane są maszyny opracowywane specjalnie dla konkretnych warunków górniczo-geologicznych oraz organizacyjno technicznych. Dotyczy to głównie kombajnów górniczych, stosowanych przy drążeniu wyrobisk korytarzowych oraz eksploatacji kopaliny użytecznej. Przykłady takich maszyn pokazano na rysunku 1.

Są to niejednokrotnie maszyny lub kompleksy o gabarytach dochodzących nawet do kilkuset metrów długości, masie przekraczającej 300 Mg (nawet 3500 Mg), zainstalowanej sumarycznej mocy nawet ponad 3 MW i cenie przekraczającej, w przypadku kombajnów typu TBM, nawet kilkadziesiąt mln Euro. Wymaga to często opracowania konstrukcji maszyny jako prototypu w taki sposób, aby do minimum uniknąć występowania podczas jej eksploatacji awarii i przestojów związanych np. z błędnym zaprojektowaniem niektórych elementów czy ich kolizjami. Wykorzystuje się w tym celu u czołowych Producentów tych maszyn tzw. wirtualne prototypowanie, pozwalające na uniknięcie lub zminimalizowanie występowania takich sytuacji [3, 5].

Również w Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych, AGH Kraków, w procesie dydaktycznym studentów na kierunkach mechaniczno-górniczych, zaproponowano wprowadzenie zaawansowanych programów komputerowych do wspomaganie projektowania inżynierskiego, pozwalających na szybkie i efektywne zaprojektowanie zadanego rozwiązania oraz poddanie go np. badaniom

wytrzymałościowym lub komputerowym badaniom symulacyjnym, pozwalającym na wykluczenie już na etapie projektowania słabych ogniów. Głównie wykorzystano pakiet do przestrzennego modelowania i symulacji pracy Autodesk Inventor, pakiety CAD/CAM do sporządzania dokumentacji technicznej oraz pakiet Ansys, Design Space do symulacji obciążeń. Wyniki wybranych prac wykonanych w Katedrze MGPIiT przez lub przy udziale studentów przedstawiono poniżej.



Rys. 1 Widok:

- a) kombajnu chodnikowego ramionowego typ MR 520,
- b) kombajnu chodnikowego wieloorganowego MF 420,
- c) kombajnu chodnikowego urabiającego metodą tylnego podcinania,
- d) kombajnu pełnoprzekrojowego osłonowego typu TBM

Źródło: [3]

## PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA PRZEZ STUDENTÓW PROGRAMÓW KOMPUTEROWYCH DO PROJEKTOWANIA, MODELOWANIA I BADAŃ SYMULACYJNYCH

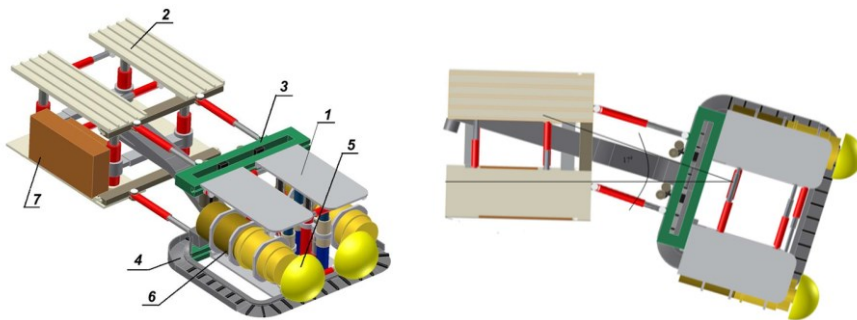
W Katedrze MGPIiT, AGH Kraków opracowano wiele nietypowych rozwiązań maszyn i urządzeń możliwych do wykorzystania w przemyśle górniczym. Poniżej zaprezentowano kilka wybranych projektów opracowanych głównie przez studentów w ramach prac przejściowych lub dyplomowych, wykorzystujących w procesie projektowym powyżej wymienione zaawansowane pakiety do wspomaganie projektowania inżynierskiego.

### Maszyna zespołowa do mechanicznego urabiania rud miedzi

W przypadku podziemnych kopalń rud miedzi w KGHM Polska Miedź S.A. eksploatacja kopaliny realizowana jest głównie metoda strzałową. Grupa studentów podjęła się rozwiązywania problemu zastąpienia tradycyjnego systemu urabiania rud miedzi meto-

dą mechaniczną. Nie posiadali oni wystarczającej wiedzy dla opracowania rozwiązania maszyny na etapie projektu wstępnego, jednak była ona dostateczna na wykonanie koncepcji takiej maszyny [3].

Do jej opracowania wykorzystali modele przestrzenne ogólnie dostępnych w górnictwie podziemnym maszyn i urządzeń takich jak np., zmechanizowana obudowa podporowa, zespoły siłowników hydraulicznych. Opracowali także i zamodelowali swoje rozwiązania zespołów urabiających, odstawczych i zasilających, bazujące na znanych i stosowanych w górnictwie podzespołach. Zaproponowano rozwiązanie modułowej maszyny zespołowej do mechanicznego urabiania skał zwięzłych metodą frezowania, z dwoma mimośrodowymi organami urabiającymi oraz dwoma zespołami kasztów podporowych, połączonych układem przesuwным i wyposażonych w układ odstawy i zespół zasilający (rys. 2). Taka konstrukcja umożliwia ponadto skręcanie przedniego kasztu względem tylniego.



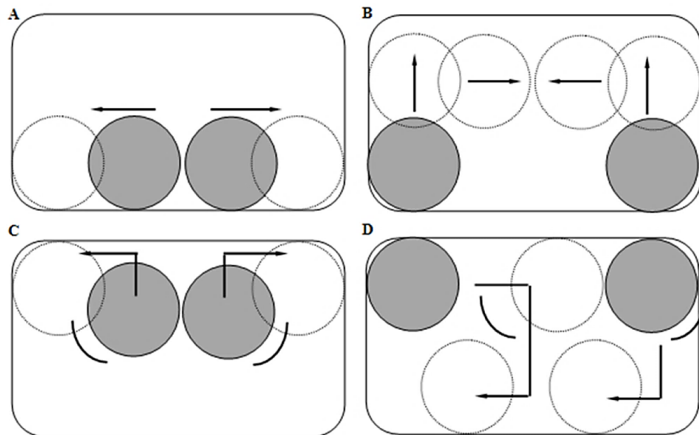
**Rys. 2 Model przestrzenny maszyny zespołowej do mechanicznego urabiania skał zwięzłych z dwoma mimośrodowymi organami urabiającymi:**

- 1 - kaszt rozporowy I, 2 - kaszt rozporowy II, 3 - układ przesuwny, 4 - przenośnik odstawczy, 5 - organy urabiające, 6 - mimośrodowe układy napędowe, 7 - agregat zasilający

Źródło: [3]

Wykonany w pakiecie Autodesk Inventor model przestrzenny maszyny pozwolił także na opracowanie technologii pracy, umożliwiającej jej zastosowanie w procesie urabiania rud miedzi w systemie zbliżonym do filarowo-komorowego. Schemat urabiania czoła przodka tą maszyną przedstawiono na rysunku 3. Ruch organów urabiających jest tak zaplanowany aby do maksimum ograniczyć siły działające na maszynę w procesie urabiania. Wzajemne połączenie organów urabiających układami siłowników hydraulicznych powoduje, że siły wymagane do ich przemieszczania działają w układzie zamkniętym i się wzajemnie kompensują. Z wykorzystaniem ww. pakietu komputerowego opracowano również symulację pracy maszyny, potwierdzające możliwość urabiania zgodnie z zaproponowaną technologią oraz pozwalającą na oszacowanie jej wydajności. Dla efektywnego zastosowania w polskich kopalniach rud miedzi opracowana koncepcja wymaga jeszcze wiele wysiłku na udoskonalenie jej konstrukcji i zaadaptowanie do panujących w tych kopalniach warunków górniczo-geologicznych. Jednak

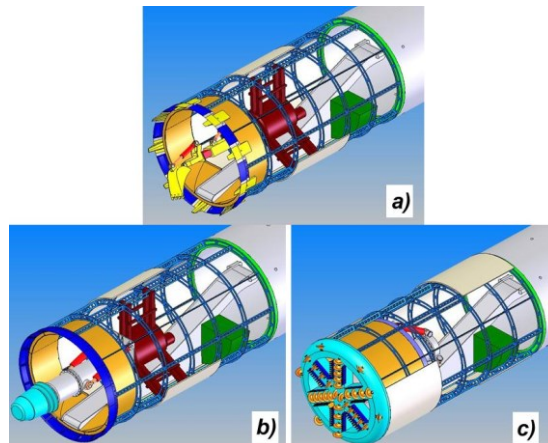
przedstawiona koncepcja spełnia podstawowe warunki pozwalające na stwierdzenie, że będzie ona w stanie efektywnie urabiać rudy miedzi.



Rys. 3 Schemat urabiania czoła przodka maszyną zespołową

### Maszyna modułowa do bezwykopowego drążenia mini tuneli

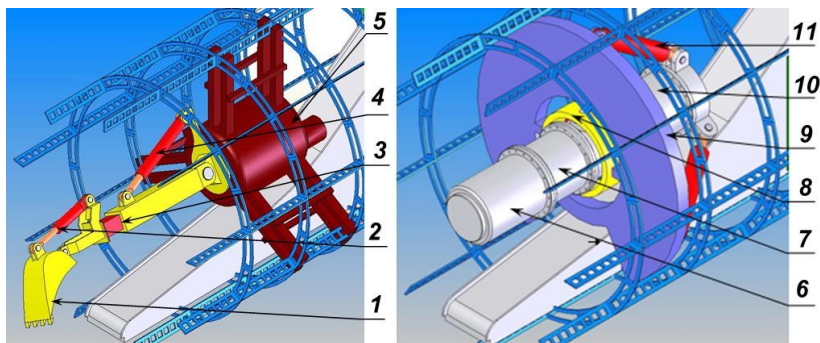
Innym opracowanym przy udziale studentów rozwiązaniem jest projekt modułowej maszyny do bezwykopowego drążenia mini tuneli o średnicy do 2,5 m [6]. Maszyna ta została opracowana na potrzeby wykonywania w terenach zurbanizowanych minituneli wykorzystywanych przez infrastrukturę komunalną – głównie kanały ściekowe lub kanały zbiorcze wodociągowe, telekomunikacyjne, gazowe itp. Wykorzystanie tradycyjnej technologii odkrywkowej stwarza duże problemy logistyczne oraz utrudnienia w ruchu a ponadto generuje bardzo długi czas wykonywania takich instalacji. W zaproponowanym rozwiązaniu ograniczono do minimum wykonywanie prac ziemnych (tylko wydrążenie tzw. komór startowej i końcowej). Maszyna będzie drążyła tunel pomiędzy tymi komorami bezwykopowo pod ziemią. Rozwiązanie zespołu urabiającego wymagało, ze względu na możliwość pracy w zróżnicowanych warunkach górniczo-geologicznych, zastosowania wymiennych głowic urabiających, systemów stawiania obudowy oraz przemieszczania się maszyny. Wykorzystanie w procesie projektowym pakietu Autodesk Inventor umożliwiło opracowanie modeli przestrzennych wszystkich modułów maszyny a następnie sprawdzenie kompatybilności i poprawności ich pracy dla różnych wariantów. Maszyna została wyposażona w moduł urabiający w trzech wersjach – układ z ramieniem koparkowym dla urabiania gruntów i luźnych formacji skalnych (rys. 4a), układ z organem frezującym do urabiania skał średniozwięzłych (rys. 4b) oraz układ z tarczą dyskową pełnoprzekrojową (rys. 4c) przeznaczony do urabiania skał zwięzłych i bardzo zwięzłych.



Rys. 4 Model przestrzenny rozwiązania maszyny do drążenia tuneli o średnicach do 2500 mm z głowicą urabiającą:  
a) koparkową, b) frezującą, c) dyskową

Źródło: [6]

Rozwiązanie wybranych modeli modułów urabiających – z ramieniem koparkowym oraz z układem przystosowanym do zamocowania tarczy dyskowej, z wyszczególnieniem podstawowych podzespołów maszyny, pokazano na rysunku 5. Urobek ładowany jest na przenośnik taśmowy, którym transportowany jest do tyłu maszyny. Moduły urabiający i odstawczy są zabudowane w osłonie tarczowej. Osłona ta jest na czas urabiania dociskana przez zespół siłowników hydraulicznych, opierających się o wcześniej wykonaną z żelbetowych elementów prefabrykowanych obudowę pierścieniową.

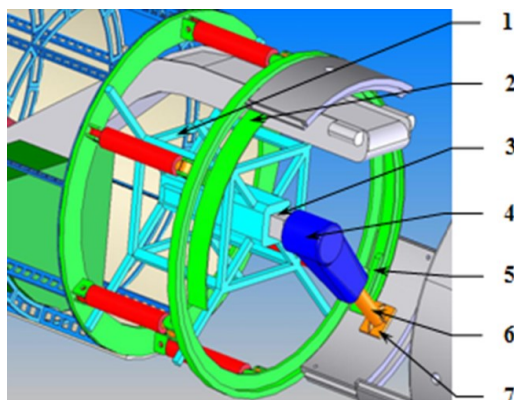


Rys. 5 Model przestrzenny modułu urabiającego maszyny modułowej  
1 – łyżka, 2 – siłownik zamykający, 3 – ramię wysuwne, 4 – siłownik podtrzymujący,  
5 – układ obrotnicy, 6 – przekładnia, 7 – sprzęgło, 8 – przegub, 9 – przegroda,  
10 – silnik napędowy, 11 – siłowniki sterujące

Źródło: [6]

Do zakładania obudowy prefabrykowanej maszyna została wyposażona w specjalny manipulator. Opracowany model przestrzenny modułu do stawiania obudowy segmentowej prefabrykowanej pokazano na rysunku 6. Wyniki przeprowadzonej anali-

zy geometrycznej oraz wykonanych symulacji kinematycznych pozwoliły na stwierdzenie, że dla efektywnego zastosowania w polskich kopalniach rud miedzi opracowana koncepcja wymaga jeszcze wiele wysiłku na udoskonalenie jej konstrukcji i zaadoptowanie do panujących w tych kopalniach warunków górniczo-geologicznych. Jednak koncepcja ta spełnia podstawowe warunki pozwalające na stwierdzenie, że będzie ona w stanie efektywnie urabiać rudy miedzi.



Rys. 6 Model przestrzenny modułu do stawiania obudowy segmentowej prefabrykowanej:

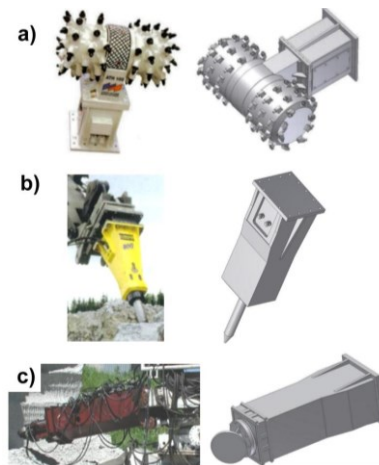
- 1 - rama, 2 - pierścień podtrzymujący, 3 - ramię wysuwne, 4 - obrotnica, 5 - zamek, 6 - siłownik wysuwny, 7 - chwytak segmentu obudowy

Źródło: [6]

### Maszyna zespołowa do mechanicznego pozyskiwania surowców skalnych

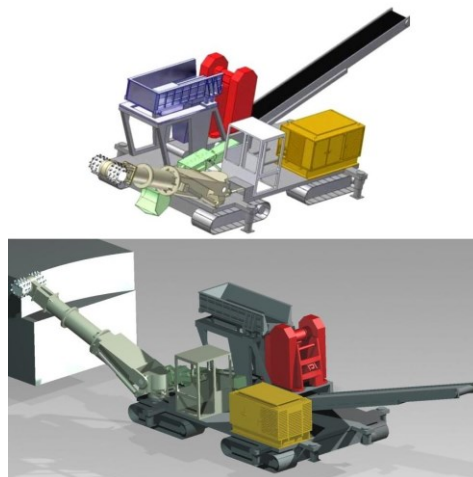
Innym wyzwaniem dla studentów było opracowanie projektu modułowej maszyny zespołowej do mechanicznego pozyskiwania i wstępnej przeróbki surowców mineralnych. Był to projekt maszyny dla małych lokalnych kopalni odkrywkowych surowców skalnych [1]. Obecnie w Polsce pozyskuje się materiał skalny dla potrzeb drogownictwa oraz kolejnictwa głównie z wykorzystaniem materiałów wybuchowych. Taka metoda nie zawsze jest możliwa w małych, lokalnych kopalniach. Dlatego zaproponowano rozwiązanie maszyny modułowej pozwalającej na urabianie surowca skalnego z wykorzystaniem metod mechanicznych.

W projekcie takiej maszyny opracowano, na podstawie istniejących rozwiązań stosowanych w innych maszynach górniczych, przestrzenne modele modułów funkcjonalnych takich jak zespoły urabiające, ładujące, przeróbcze czy transportowe. Zaproponowano trzy rozwiązania zespołów urabiających, ramię z aktywnym narzędziem dyskowym, ramię z zabudowanym ciężkim młotem hydraulicznym oraz ramię z zamocowaną hydrauliczną głowicą frezującą (rys. 7).



**Rys. 7 Modelle przestrzenne modułów urabiających przeznaczonych dla maszyny zespołowej:  
a) hydrauliczna głowica frezująca, b) hydrauliczny młot udarowy,  
c) głowica z aktywnym narzędziem dyskowym**

Źródło: materiały własne [1]



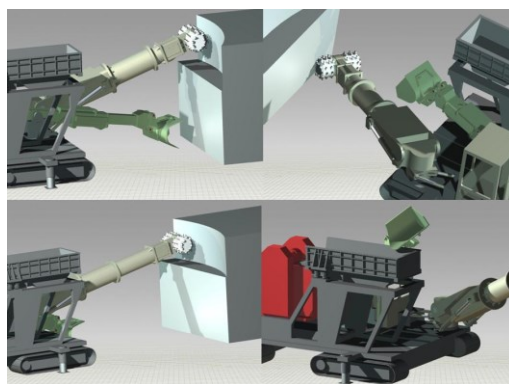
**Rys. 8 Model przestrzenny projektu wstępnego zespołowej maszyny do mechanicznego urabiania i przeróbki surowców skalnych**

Źródło: [1]

Wykorzystując program Autodesk Inventor zestawiono kilka wariantów maszyny dla urabiania różnych rodzajów skał. Jedno z rozwiązań, wykorzystujące ramie z zamontowaną hydrauliczną głowicą frezującą przedstawiono na rysunku 8.

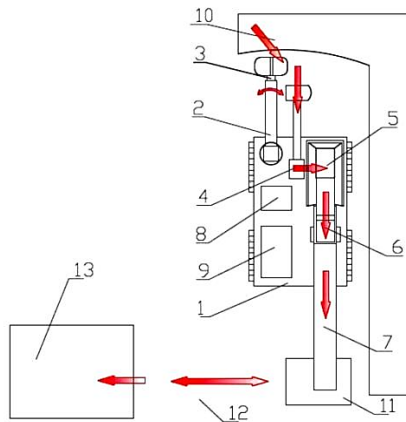
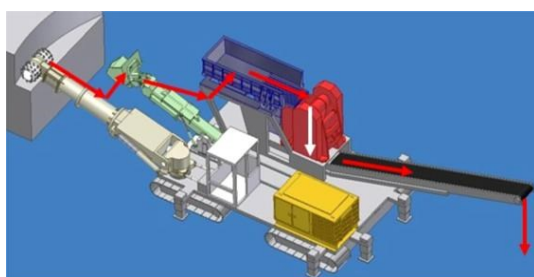
Według zaproponowanego rozwiązania maszyna umożliwi równoczesne urabianie calizny skalnej z zastosowaniem wybranego modułu urabiającego, ładowanie urobku z wykorzystaniem łyżki z ładowarki bocznie wysypującej oraz jego wstępną przeróbkę, wykorzystując kruszarkę szczękową oraz przesiewacz wibracyjny.

Dla opracowanych wariantów maszyny zaproponowano technologię pracy oraz wykonano symulacje poprawności pracy, umożliwiające wykrycie ewentualnych stanów kolizyjnych przy zawrębianiu, urabianiu, ładowaniu oraz odstawie (rys. 9 i 10), jak też symulacje pozwalające na oszacowanie jej wydajności, stateczności, gabarytów i masy.



Rys. 9 Model maszyny zespołowej podczas symulacji poprawności pracy i ewentualnych kolizji poszczególnych podzespołów

Źródło: [1]



Rys. 10 Technologia pracy maszyny i schemat obiegu urobku z wykorzystaniem transportu oponowego

- 1 – podwozie gąsienicowe, 2 – ramię, 3 – zespół urabiający, 4 – ładowarka łyżkowa,
- 5 – podajnik wibracyjny, 6 – kruszarka szczękowa, 7 – przenośnik taśmowy,
- 8 – kabina operatora, 9 – agregat hydrauliczny, 10 – urabiana calizna, 11 – przyza urobku,
- 12 – transport oponowy, 13 – zestaw sortujący

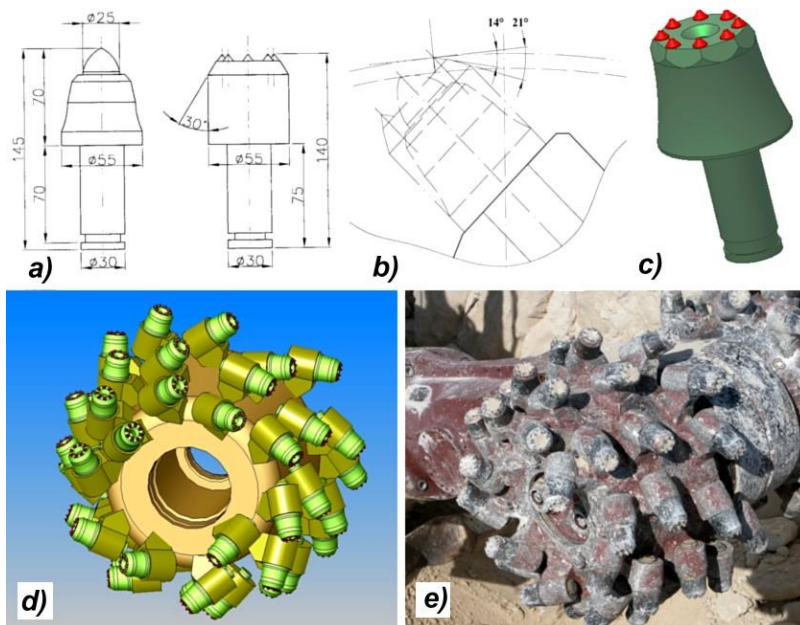
Źródło: materiały własne [1]

Dla analizowanych rozwiązań nie stwierdzono występowania kolizji pomiędzy poszczególnymi zespołami maszyny. Opracowane rozwiązanie, przy masie własnej około 40000 kg, szerokości 6600 mm i długości 20400 mm, umożliwia uzyskanie teoretycznej wydajności na poziomie ok. 220 m<sup>3</sup>/dobę.



### Rozwiązanie noża koronowego jako alternatywa dla noży styczo-obrotowych

Na organach frezujących kombajnów chodnikowych w większości mocowane są jako narzędzia urabiające noże styczo-obrotowe. Przy urabianiu skał trudnourabialnych narzędzia te dość szybko ulegają zużyciu. Zaproponowano zatem rozpatrzenie innego rozwiązania tzw. noża koronowego, którego część chwytowa jest identyczna jak noża styczo-obrotowego a różni się on konstrukcją części roboczej [2]. Jest ona wykonana w kształcie korony i uzbrojona na obwodzie 7 lub 8 sztukami słupków z węgliku spiekanego o średnicy 8-10 mm. Porównanie obu narzędzi pokazano na rys. 11a. Takie rozmieszczenie słupków z węgliku ułatwia obracanie się noża w uchwycie i generuje jego symetryczne i równomierne zużycie.



Rys. 11 Widok rozwiązania i modelu przestrzennego noża koronowego oraz modelu i wykonanego rozwiązania organu z nożami koronowymi po próbach eksploatacyjnych

Źródło: [2]

Opracowano kilka modeli takiego rozwiązania noża, które zostały poddane symulacjom komputerowym celem określenia możliwości ich bezpośredniego zastosowania jako zamiennik dla noży styczo-obrotowych. Wyniki tych symulacji (rys. 11b) pozwoliły na udoskonalenie konstrukcji noża koronowego (zmniejszenie wysokości i zwiększenie średnicy podstawy części roboczej – rys. 11c) oraz stwierdzenie, że zaproponowane rozwiązanie noża może być bezproblemowo mocowane na standardowych organach urabiających kombajnów chodnikowych ramionowych.

W efekcie opracowano model organu dla kombajnu chodnikowego z takimi nożami (rys. 11d) a pozytywny wynik symulacji komputerowych pozwolił na wykonanie egzem-

plarza prototypowego (rys. 11e). Próby poligonowe w kopalni odkrywkowej surowców skalnych wykazały pełną przydatność i konkurencyjność nowego rozwiązania noży w porównaniu do narzędzi standardowych. Wymagane jest jednak dobranie odpowiednich parametrów pracy organu urabiającego (prędkość przemieszczania) tak, aby głębokość urabiania pojedynczego noża koronowego był zawsze mniejsza od wartości połowy średnicy jego części roboczej.

### **Robot do inspekcji nieprzełazowych przewodów infrastruktury komunalnej**

Przedstawione poniżej rozwiązanie urządzenia – robota do inspekcji nieprzełazowych przewodów infrastruktury komunalnej nie jest bezpośrednio związane z górnictwem, jednak bardzo dobrze uzupełnia treść niniejszego artykułu. Rurociągi i przewody infrastruktury komunalnej są nieodłącznym elementem każdego miasta. Z czasem jednak na ściankach tych przewodów osadzają się wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia oraz szlamy. Sukcesywnie zmniejsza się przez to przekrój takiego przewodu, nawet do całkowitego zatkania. Aby tego uniknąć, należy regularnie sprawdzać stanu tych przewodów, a w razie usterek wykonać ich czyszczenie lub naprawę. Inspekcje przewodów wykonywane są przez różnego typu specjalistyczne roboty mobilne (rys. 12). Aby dobrać poprawne rozwiązanie takiego robota, należy rozważyć wiele czynników, takich jak kształt, wymiary, materiał, z którego wykonano przewód, jego przeznaczenie i posadowienie. Poniżej przedstawiono opracowane nietypowe rozwiązanie robota do inspekcji nieprzełazowych przewodów infrastruktury komunalnej o średnicy do  $\varnothing 800$  mm, pozwalające na wykonanie inspekcji przewodów o zróżnicowanych parametrach [4].



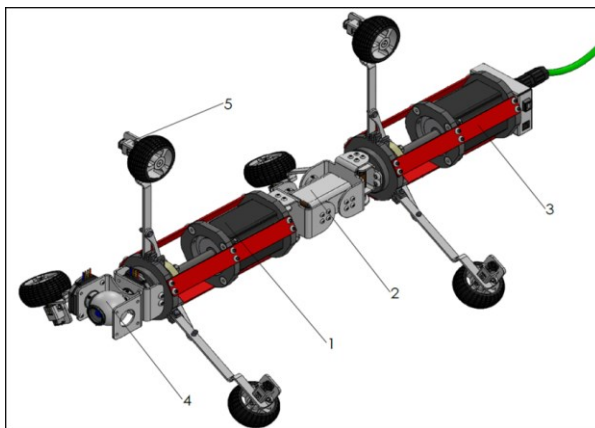
**Rys. 12 Mobilne roboty do inspekcji nieprzełazowych przewodów infrastruktury komunalnej**

Źródło: [4]

Możliwości inspekcyjnych systemów wizyjnych są ograniczone, mogą zobaczyć tylko to, co widoczne ludzkim okiem. Nie są w stanie zbadać struktury materiału, defor-

macji rurociągów lub ich szczelności. Ponadto wózki, na których są montowane kamery, nie są w stanie pokonywać ostrych łuków lub badać rur pionowych. Dlatego opracowano koncepcję rozwiązania robota łączącego cechy klasycznych systemów wizyjnych, jednak bardziej uniwersalnego i mobilnego, mającego możliwość rozbudowania o systemy detekcji stosowane w tłokach inteligentnych.

Koncepcja robota została opracowana z myślą o jak największej uniwersalności. Musi być on łatwo dostosowywany do różnych zakresów średnic – opisana wersja może być używana w zakresie średnic od  $\varnothing 185$  do  $\varnothing 415$  mm. Zakres ten może być łatwo zwiększony poprzez zastosowanie dłuższych ramion i można to zrealizować w trakcie badania przewodów. Rozwiązanie musi być w stanie łatwo pokonywać takie przeszkody jak łuki, zmiany średnicy przewodu, spadki, osady denne. Zaproponowane rozwiązanie konstrukcyjne robota przedstawiono na rysunku 13.



Rys. 13 Wizualizacja rozwiązania konstrukcyjnego robota inspekcyjnego:  
1 - moduł pierwszy, przedni, 2 - moduł drugi, kierujący, 3 - moduł trzeci - tylny,  
4 - zespół inspekcyjny, 5 - koła napędowe

Źródło: [4]

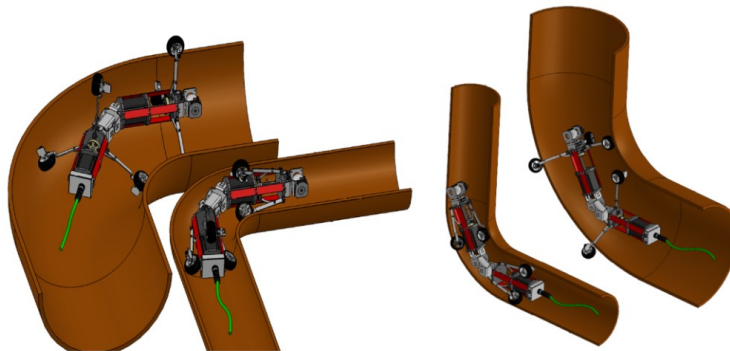
Robot składa się z trzech głównych modułów. Moduł pierwszy pełni funkcję napędową oraz zapewnia możliwość montażu na jego czole urządzeń inspekcyjnych lub manipulacyjnych. W prezentowanej wersji na przodzie modułu zamontowano kamerę wideo, mogącą się obracać o  $360^\circ$  oraz oświetlenie LED. Konstrukcja modułu składa się z kadłuba z trzema rozkładanymi na boki ramionami, do których zamontowane są koła napędowe wraz z silnikami elektrycznymi 12V oraz przekładniami. Ramiona robota dostosowują się do zmiennej średnicy badanego przewodu za pomocą napędowego mechanizmu śrubowego, który zapewnia docisk kół do ścian przewodu.

Moduł drugi umożliwia kierowanie robotem. Składa się z czterech dwustronnych silników krokowych i pozwala na skręty urządzenia w pionie i poziomie. Robot dzięki temu może imitować ruchy węża, co zapewni mu konkurencyjną mobilność w stosunku do istniejących rozwiązań urządzeń inspekcyjnych. Moduł trzeci ma podobną konstruk-

cję jak moduł pierwszy. Jednak w tylnej części modułu zamocowana jest skrzynka sterownicza oraz wzmocnione mocowanie przewodu zasilającego, które umożliwi wyciągnięcie robota w razie awarii

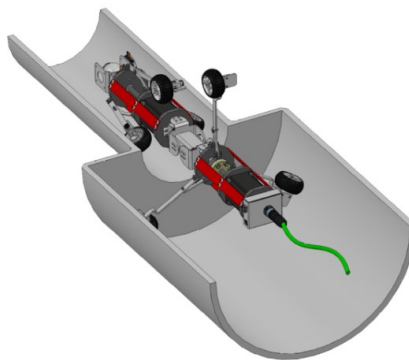
Założono, że robot będzie przysyłał obraz oraz zebrane dane poprzez przewód światłowodowy, natomiast zasilany może być przewodem z sieci energetycznej lub mieć opcjonalnie przyłączone dodatkowe baterie. Planowane jest zaprojektowanie modułu do badań ultradźwiękowych lub magnetycznych, co nadałoby urządzeniu cechy tłoków inteligentnych, jak też dodanie obwodowego skanera 3D, co umożliwiłoby dokładny pomiar defektów i wgnieceń przewodów.

Robot ma możliwość skręcania w poziomie, przy średnicy przewodu  $\varnothing 200$  mm jest w stanie pokonać łuk  $90^\circ$ . Może także skręcać w pionie do  $90^\circ$  przy minimalnej średnicy 185 mm. Robot może badać dzięki temu pionowe rurociągi oraz przewody o zmiennej średnicy. Waży około 6 kg, a jego długość to tylko 616 mm. Możliwość skrętu robota przedstawiono na rysunku 14, a możliwość przejazdu przez przewód o zmiennej średnicy na rysunku 15.



Rys. 14 Możliwości skrętu robota w pionie i poziomie o 90 stopni przy maksymalnym oraz minimalnym rozstawie ramion

Źródło: [4]



Rys. 15 Możliwości przejazdu robota w przewodach o zmiennej średnicy z  $\varnothing 415$  na  $\varnothing 185$  mm

Źródło: [4]

## PODSUMOWANIE

Na podstawie przedstawionych przykładów projektów maszyn i urządzeń przeznaczonych dla górnictwa, wykonywanych przez lub przy dużym udziale studentów, można wykazać przydatność zaawansowanych komputerowych pakietów do wspomagania projektowania inżynierskiego i tzw. wirtualnego prototypowania w procesie tworzenia maszyny dla konkretnych warunków pracy. Pozwalają one na stworzenie wiernego modelu przestrzennego maszyny, umożliwiającego zasymulowanie jej pracy, obciążenia i ewentualnych stanów awaryjnych, co w konsekwencji zmniejsza do minimum ryzyko skonstruowania wadliwego rozwiązania. Ogranicza także koszty procesu produkcyjnego – od pomysłu do wykonania egzemplarza przemysłowego.

Zastosowanie tego typu programów jest dobrą bazą dydaktyczną dla projektantów. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest samodzielne wykonanie elementów składowych, jak również złożenia mechanizmów oraz określenie krytycznych węzłów występujących w projektowanej maszynie i ich wyeliminowanie na etapie projektowania. Drugim, nie mniej istotnym zagadnieniem jest korelacja danych otrzymanych w trakcie symulacji do danych z eksperymentu. Badania doświadczalne dostarczają cennej informacji przy weryfikacji poczynionych założeń projektowych. Stosowane w Katedrze MGPIIT metody są znane z innych dziedzin nauki, począwszy od automatyki kończąc na lotnictwie.

## LITERATURA

1. Kotwica K, Gospodarczyk P., Reś J.: Modułowa maszyna zespołowa do mechanicznego urabiania i przeróbki surowców skalnych dla potrzeb drogownictwa i budownictwa w lokalnych kopalniach odkrywkowych. *Transport przemysłowy i maszyny robocze*. Nr 3(5)/2009, Wrocław,
2. Kotwica K, Gospodarczyk P.: Zastosowanie noży specjalnych koronowych do urabiania skał zwięzłych. *Eksploatacja i Niezawodność*. Nr 5/2001, Warszawa, 2001
3. Kotwica K, Gospodarczyk P.: *Zastosowanie w procesie dydaktycznym programów komputerowych do wspomagania projektowania oraz badań symulacyjnych nietypowych maszyn górniczych*. Monografia „Edukacja oraz wykorzystanie inżynierów w technice XXI wieku”, Wydawnictwo PA NOVA, Gliwice, 2015.
4. Kotwica K, Kopyt G.: Robot do inspekcji nieprzelazowych przewodów infrastruktury komunalnej – nowa koncepcja. *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze*, Nr 4(38)/2017, Wrocław, 2017,
5. Kotwica K, Nawrocki M.: Wykorzystanie zaawansowanych pakietów komputerowych do wspomagania projektowania, modelowania oraz badań symulacyjnych maszyn górniczych. *Modelowanie Inżynierskie*, nr 42, 2017.
6. Kotwica K.: Koncepcja maszyny zespołowej do drążenia minituneli o średnicy do 2500 mm w ośrodku skalnym o zróżnicowanych własnościach fizyko mechanicznych. *Kwartalnik „Górnictwo i geoinżynieria”*, AGH Kraków 2009, Rok 33, zeszyt 3/1.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 02.2018

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 03.2018

**WYKORZYSTANIE ZAAWANSOWANYCH PROGRAMÓW KOMPUTEROWYCH  
DO WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA ORAZ BADAŃ SYMULACYJNYCH  
W PROCESIE DYDAKTYCZNYM STUDENTÓW SZKÓŁ WYŻSZYCH  
O PROFILU MECHANICZNO-GÓRNICZYM**

**Streszczenie:** *W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania zaawansowanych programów komputerowych do wspomaganie projektowania inżynierskiego w procesie edukacyjnym studentów szkół wyższych o profilu mechaniczno-górnicyzm. Na przykładzie wybranych rozwiązań nietypowych maszyn i urządzeń opracowanych dla potrzeb górnicyzm pokazano zastosowanie tych programów, głównie Autodesk Inventor i AutoCAD, w procesie ich projektowania i przeprowadzania badań symulacyjnych związanych z ich kinematyką, efektywnością oraz możliwością wystąpienia kolizji poszczególnych elementów konstrukcji podczas pracy. Zostały przedstawione wyniki prac studentów AGH Kraków realizowanych w Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych.*

**Słowa kluczowe:** *proces dydaktyczny, projektowanie, wspomaganie komputerowe, górnicyzm, badania symulacyjne*

**THE USE OF ADVANCED COMPUTER PROGRAMS TO ASSIST THE ENGINEERING DESIGN  
AND SIMULATION TESTS IN THE EDUCATIONAL PROCESS  
OF STUDENTS OF TECHNICAL UNIVERSITIES  
OF MECHANICAL AND MINING PROFILE**

**Abstract:** *The article presents the possibility of using advanced computer programs to assist the engineering design in the didactic process of students of technical universities of mechanical and mining profile. For example of few selected solutions of unusual machineries and equipments, developed for the mining industry, the application of these programs, mainly Autodesk Inventor and AutoCAD was shown. The process of design and simulation tests related to their kinematics, efficiency and the possibility of collisions of individual elements of the structure during operation was described. The results of works developed by the students of the AGH University of Krakow, performed in the Department of Mining, Processing and Transport Machines, were presented.*

**Key words:** *didactic process, designing, computer aided design, mining, 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: +48607467068