

# 16

## BADANIA SYMULACYJNE W PROJEKTOWANIU GŁOWICY DYSKOWEJ NOWEJ GENERACJI

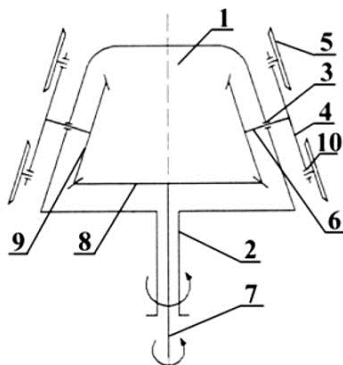
### 16.1 WPROWADZENIE

Urabianie skał narzędziami dyskowymi jest jednym z bardziej perspektywicznych kierunków rozwoju mechanicznych technik urabiania skał zwięzłych i bardzo zwięzłych. Wykorzystanie narzędzi dyskowych do urabiania skał zwięzłych pozwala w porównaniu do metody skrawania na zmniejszenie energochłonności procesu urabiania, a także prowadzi do redukcji zapylenia towarzyszącego urabianiu. Zmniejszeniu ulega także rozdrobnienia urobku. Na skutek znaczącej redukcji sił tarcia w procesie urabiania skał narzędziami dyskowymi wzrasta także trwałość tych narzędzi. Zasadniczo wyróżnić można dwie podstawowe techniki mechanicznego urabiania skał za pomocą narzędzi dyskowych, a mianowicie urabiania statycznym naciskiem oraz urabiania metodą tylnego podcinania. Zalety stosowania narzędzi dyskowych zwłaszcza w przypadku urabiania skał zwięzłych powodują, że w ostatnim czasie zaobserwować można wzrost zainteresowania przemysłową aplikacją techniki tylnego podcinania. Podejmuje się próby aplikacji narzędzi dyskowych nie tylko na maszynach koncepcyjnych (prototypowych), ale również w maszynach przemysłowych wykorzystujących do tej pory standardowe narzędzie urabiające (noże, zęby) [1, 2, 3]. Działania tego typu wymagają jednak zastosowania sprawdzonych procedur obliczeniowych do weryfikacji nowych rozwiązań układów urabiających.

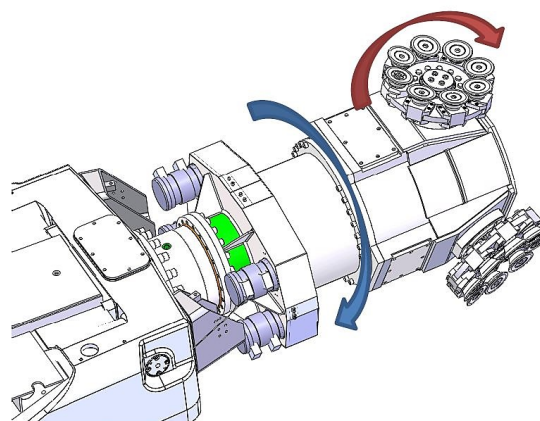
Aktualnie w wielu ośrodkach badawczych i naukowych podejmowane są próby zastosowania narzędzi dyskowych niesymetrycznych w organach roboczych mobilnych maszyn urabiających. Problematyka modelowania i badań prototypowych rozwiązań maszyn górniczych jest jednym z podstawowych kierunków badawczych realizowanych w Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych AGH w Krakowie. Przykładem tego typu prac są próby opracowania i wdrożenia głowicy dyskowej nowej generacji dedykowanej do zastosowania w konstrukcji kombajnów chodnikowych [4, 5, 6, 7].

## 16.2 GŁOWICA DYSKOWA - PROJEKT I DOTYCHCZASOWE BADANIA EKSPERYMENTALNE

Koncepcja głowicy dyskowej pokazana na rysunku 16.1 zakłada urabianie calizny skalnej poprzez odłupywanie, jako efekt złożonej trajektorii narzędzi dyskowych. Podstawowym założeniem konstrukcyjnym jest niezależność ruchu obrotowego krupu głowicy 1 i ruchu obrotowego tarcz dyskowych 2. W korpusie głowicy, w gniazdach 3 osadzone są wały napędowe 6 z tarczami dyskowymi 4, na których zamocowane są w łożyskowanych gniazdach 10 narzędzia dyskowe 5. Napęd na wały 6 przekazywany jest przez niezależny względem wału zewnętrznego 2, wewnętrzny wał napędowy 7 oraz zespół przekładni stożkowych 8 i 9. Model wirtualnych głowicy dyskowej pokazano na rysunku 16.3.



**Rys.16.1 Koncepcja głowicy dyskowej**  
Źródło: [2]



**Rys.16.2 Model 3D głowicy dyskowej**  
Źródło: Materiały własne

Z uwagi na brak podstaw teoretycznych oraz eksperymentalnych, które umożliwiłyby zdefiniowanie warunków brzegowych dla konstrukcji nowej głowicy dyskowej przeprowadzono szereg badań laboratoryjnych zarówno urabiania pojedynczym narzędziem dyskowym jak i tarczą dyskową. Stanowiska laboratoryjne wykorzystane do tych badań pokazano na rysunki 16.3 i 16.4.



**Rys. 16.3 Stanowisko do badań urabiania pojedynczym narzędziem dyskowym**  
Źródło: Materiały własne



**Rys. 16.4 Stanowisko do badań procesu urabiania tarczą dyskową**  
Źródło: [8]

Zasadniczym celem tych badań była identyfikacja wpływu parametrów geometrycznych dysków oraz wybranych parametrów procesu urabiania na wartość oporów urabiania pojedynczym narzędziem dyskowym oraz tarczą dyskową. Dopiero zebranie powyższych danych pozwoliło na zwymiarowanie głowicy i dobór podstawowych parametrów dynamicznych jednostek napędowych.

Pierwsze badania poligonowe głowicy dyskowej przeprowadzono testując koncepcyjną konstrukcję na ramieniu kombajnu KR 150 (rys. 16.5) [8]. W ramach tych badań testowano zasadniczo kinematykę głowicy. Poszczególne ruchy robocze, tj. ruchy obrotowe korpusu i tarcz dyskowych realizowano stosując hydrostatyczny układ napędowy. W ramach badań zidentyfikowano wstępnie zakresy prędkości obrotowych tarcz dyskowych i korpusu mając na uwadze dynamikę procesu urabiania oraz płynność realizacji urabiania. Pozytywna weryfikacja konstrukcji głowicy umożliwiły dalsze badania. W kolejnym badaniu przeprowadzono w ramach projektu realizowanego przez AGH w Krakowie i firmę Famur. Głowica została tym razem zamocowana na ramieniu kombajnu FR 250 (rys. 16.6). Zastosowano m.in. elektryczny napęd tarcz dyskowych oraz układy automatyki do kontroli dynamiki urabiania. W ramach badań poligonowych sprawdzono m.in. wpływy parametrów kinematycznych głowicy na wydajność urabiania jak również badano wpływ zastosowanego materiału konstrukcji Dyków na tempo ich zużycia. Istotnym osiągnięciem tego etapu badań było uzyskanie przez głowicę wydajności porównywalnej z alternatywnymi metodami urabiania skał zwięzłych.



Rys. 16.5 Badania głowicy dyskowej z wykorzystaniem kombajnu KR 150  
Źródło: Materiały własne



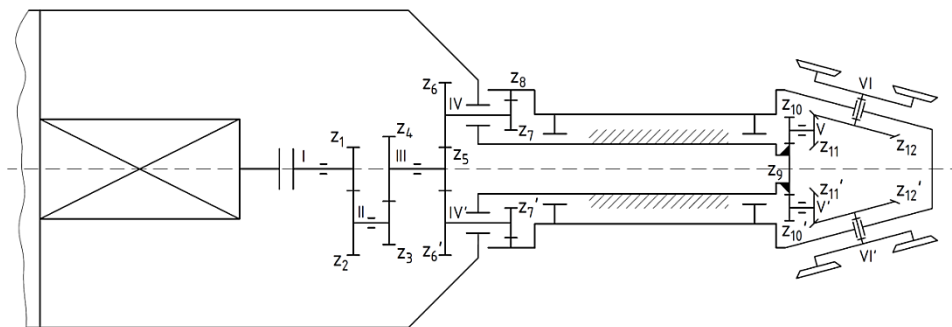
Rys. 16.6 Testy głowicy dyskowej z udziałem kombajnu FR 250  
Źródło: Materiały własne

### 16.3 MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA BADAŃ SYMULACYJNYCH W PROJEKTOWANIU I OPTYMALIZACJI KONSTRUKCJI GŁOWICY DYSKOWEJ

Przeprowadzone do tej pory testy laboratoryjne i poligonowe procesu urabiania głowicą dyskową pozwoliły na sformułowanie szeregu wytycznych dla konstrukcji głowicy w wersji przemysłowej. Zebrane dotychczas doświadczenie wskazują także na konieczność zastosowania zaawansowanych badań modelowych do weryfikacji

przyszłej, zmodyfikowanej konstrukcji głowicy dyskowej. Uzasadnia to zwłaszcza koszt wykonania konstrukcji jak i badań prototypowego rozwiązania. Biorąc pod uwagę wnioski z przeprowadzonych doświadczeń laboratoryjnych i poligonowych aktualnie prowadzone są testy symulacyjne w zakresie dynamiki układu napędowego głowicy a także interakcji narzędzie dyskowe-skała.

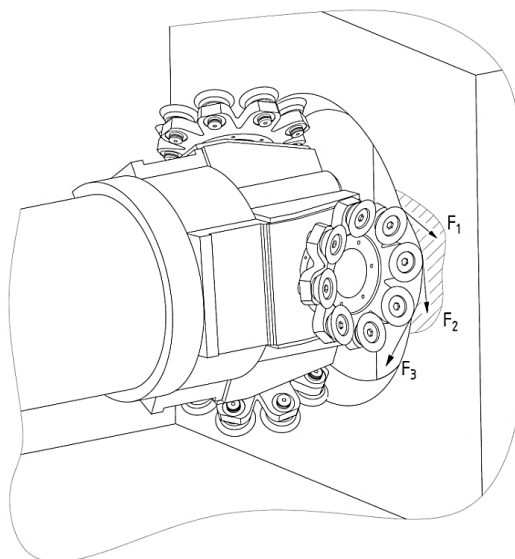
Pierwszy obszar badawczy dotyczy w istocie kwestii opracowania nowej struktury kinematycznej układu napędowego głowicy dyskowej jak i doboru podstawowych parametrów dynamicznych jednostek napędowych. Badania modelowe prowadzone są przy wykorzystaniu Metody układów wielocłonowych (Multibody Simulation – MBS). Przykładowo w ramach jednych z przeprowadzonych badań modelowych dokonano analizy możliwości zastosowania do napędu głowicy jednego źródła napędu. Przekład jednego z opracowanych układów napędowych pokazano na rysunku 16.7.



**Rys. 16.7** Koncepcja układu napędowego głowicy dyskowej

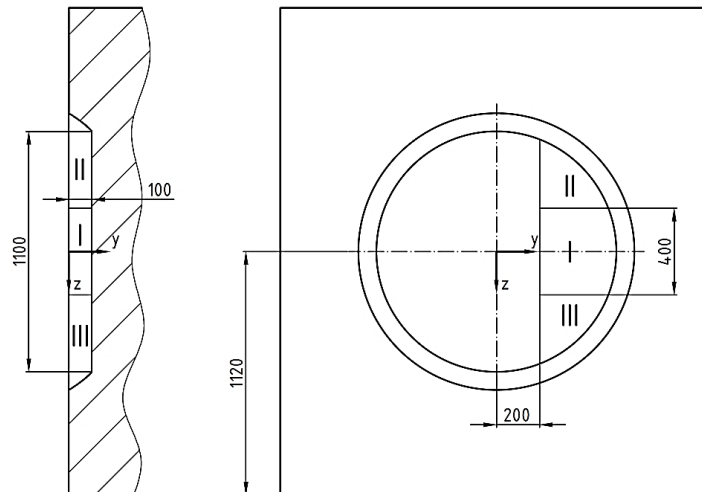
Źródło: Materiały własne

Do badań symulacyjnych wykorzystano model wirtualny głowicy, którą badano w ramach testów poligonowych (rys. 16.8, 16.9).



**Rys. 16.8** Schemat chwilowego obciążenia głowicy kombajnu podczas urabiania

Źródło: Materiały własne



**Rys. 16.9** Strefy generowania obciążenia działającego na narzędzia dyskowe głowicy

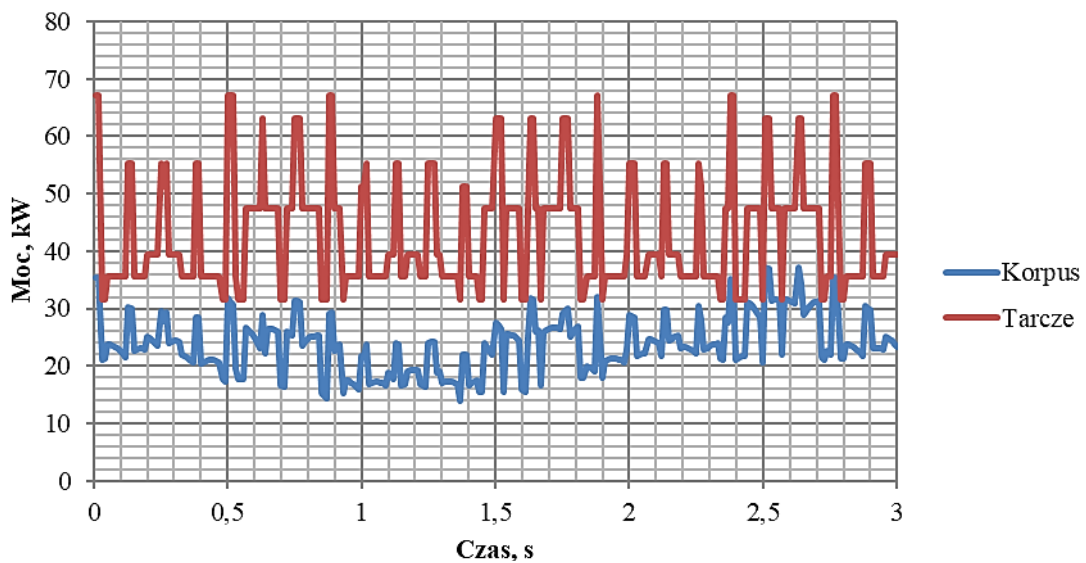
Źródło: Materiały własne

Symulacja pracy głowicy została przeprowadzana poprzez zadanie wymuszeń kinematycznych, a więc stałej prędkości obrotowej na wejściu układu napędowego. Przyjęty czas symulacji równy 3 s. Był to okres, w którym zachodził jeden pełny cykl urabiania pojedynczej tarczy. Założono, że w czasie ruchu głowicy dyski tarczy urabiającej będą obciążone siłą styczną, której czas działania na poszczególne dyski zdefiniowano za pomocą odpowiedniego warunku geometrycznego. W rozważaniach nie rozpatrywano siły docisku. Siła styczna przyjmowała wartość w zależności od strefy jej działania. W środkowej strefie urabiania (I) wynosiła ona 10 kN, natomiast w strefach zewnętrznych (II i III) – 8 kN. Sumaryczna wartość momentu na jednej tarczy wynosiła 3000 Nm i była zgodna z przeciętną wartością obciążenia tarczy dyskowej na podstawie badań poligonowych.

W ramach testów symulacyjnych przeprowadzono testy porównawcze pierwotnego układu napędowo, tj. układu z niezależnym napędem korpusu i tarcz dyskowych oraz układu z jednym źródłem napędu. Przykładowe rezultaty symulacji pokazano na rysunku 16.10 i 16.11.

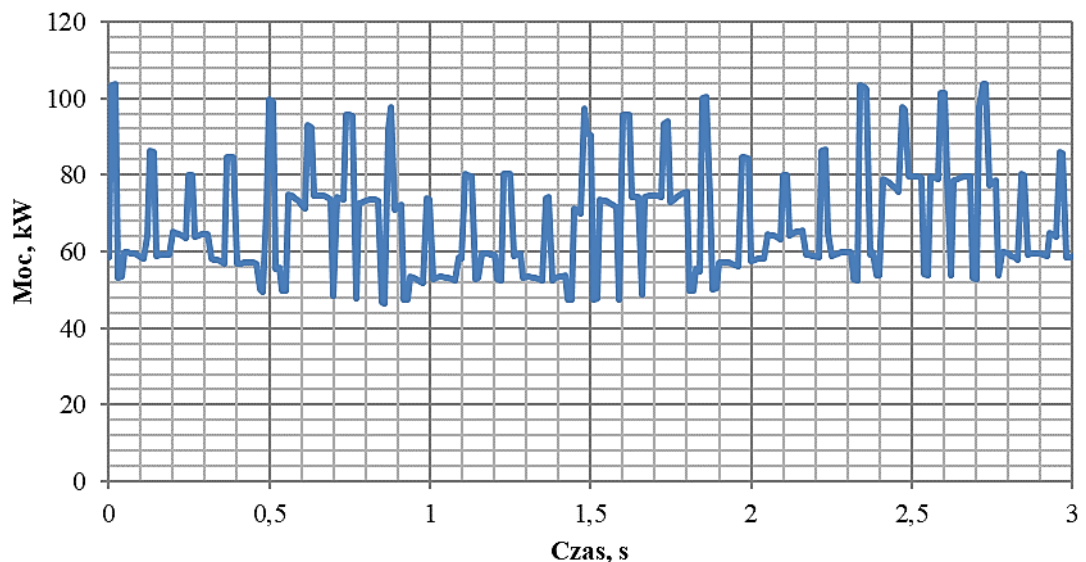
Wynik przeprowadzonych do tej pory badań modelowych różnych układów napędowych głowicy, a zwłaszcza analiza zapotrzebowania na moc jak i poziom obciążeń poszczególnych węzłów przekładni wskazują na szerokie możliwości korygowania konstrukcji głowicy i minimalizacji jej gabarytów.

Innym obszarem badawczym rozwijanym w aspekcie głowicy dyskowej jest zagadnienie modelowania niszczenia ośrodka skalnego przez narzędzie dyskowe. Ma to o tyle istotne znaczenie, że analityczna ocena obciążenia narzędzi dyskowych głowicy przy tak złożonej kinematyce urabiania jest praktycznie niemożliwa. Opracowanie metodyki badań modelowych umożliwiających identyfikację obciążeń dysków przyczyniłoby się do istotnego postępu w zakresie prognozowania obciążeń głowicy dyskowej przy uwzględnieniu szeregu zmiennych w postaci parametrów geometrycznych i kinematycznych głowicy.



Rys. 16.10 Wykres zapotrzebowania na moc silnika dla dwóch źródeł napędu

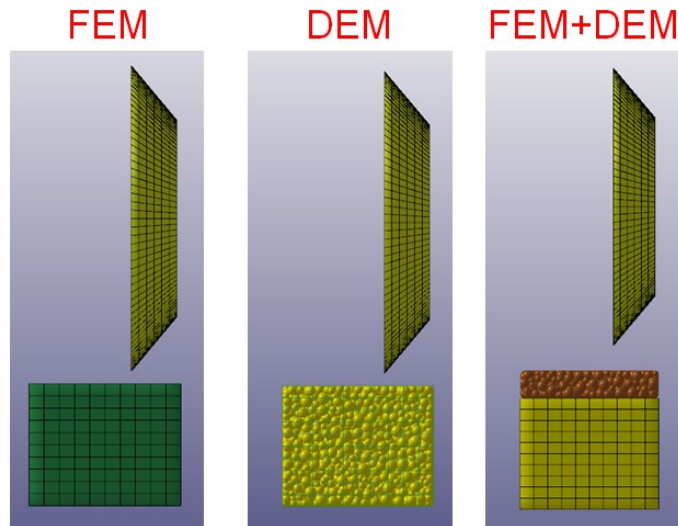
Źródło: Materiały własne



Rys. 16.11 Wykres zapotrzebowania na moc silnika dla jednego źródła napędu

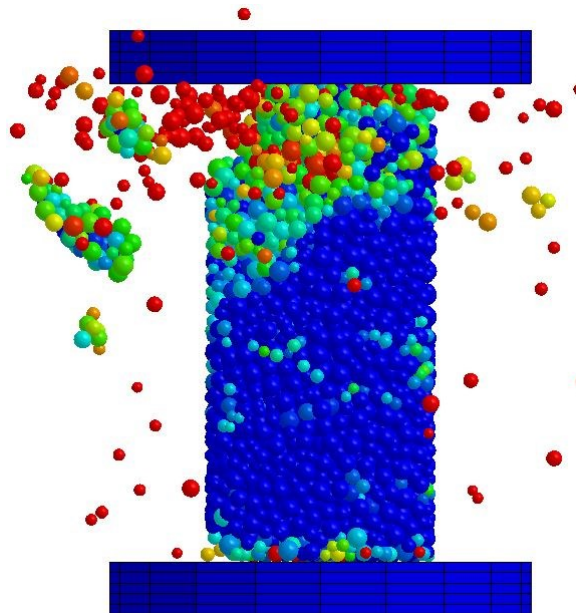
Źródło: Materiały własne

Aktualny rozwój narzędzi symulacji komputerowej sprawia, że do modelowania procesu urabiania (niszczenia) można wykorzystać różne metody numeryczne, w tym metodę elementów skończonych (FEM) i metodę elementów dyskretnych (DEM). Jak pokazano na rysunku 16.12 istnieją różne warianty zastosowania wymienionych wyżej metod do opisu niszczenia materiału (ośrodka skalnego), co daje dodatkowe możliwości w kształtowaniu dokładności rozwiązania i jednocześnie pozwala na redukcję czasochłonności obliczeń.

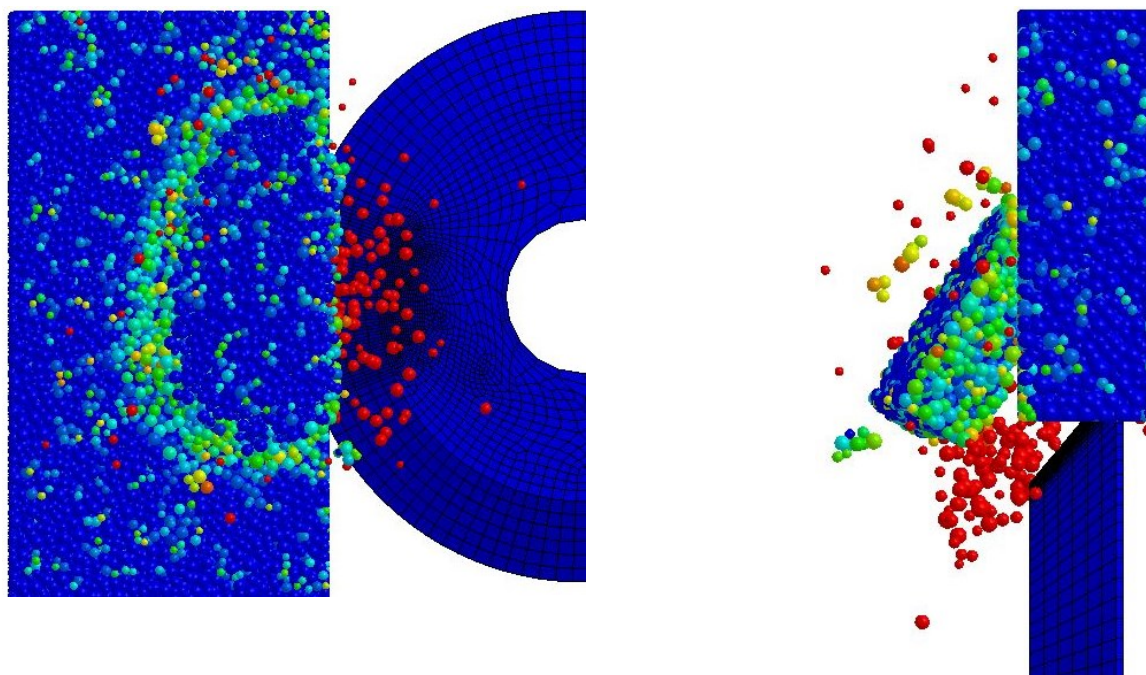


**Rys. 16.12** Możliwości modelowa urabiania skał narzędziem dyskowym w programie LS-DYNA  
Źródło: Materiały własne

Aktualnie badania modelowe urabiania narzędziami dyskowymi w aspekcie rozwoju głowicy dyskowej koncentrują się wokół wykorzystania Metody Elementów Dyskretnych. Z uwagi na fakt, że zagadnienie modelowania urabiania skał jest problematyką złożoną i wymaga doboru szeregu parametrów modeli materiałowych czy modeli zniszczenia, dlatego też prowadzone są równoległe walidacyjne badania laboratoryjne próbek skalnych jak i procesu urabiania pojedynczym narzędziem dyskowym. Dotychczasowe testy symulacyjne niszczenia betonu pokazują wysoką zbieżność z wynikami analogicznych badań laboratoryjnych. Przykładowe wyniki badań symulacyjnych pokazujące postacie zniszczenie próbek betonowych pokazano na rysunku 16.13 i 16.14.



**Rys. 16.13** Próba jednoosiowego ściskania próbki betonowej ( $\varnothing$  50 x 100 mm)  
Źródło: Materiały własne



Rys. 16.14 Próba wciskania dysku w próbkę betonową (dysk  $\varnothing$  160 mm)

Źródło: Materiały własne

#### 16.4 PODSUMOWANIE

Dotychczasowe rezultaty badań laboratoryjnych i poligonowych w aspekcie możliwości przemysłowego zastosowania głowicy dyskowej wskazują na perspektywiczny charakter tego typu koncepcji. Istotą kwestią w rozwoju i ewentualnym przemysłowym wdrożeniu konstrukcji głowicy dyskowej jest problematyka badań modelowych w zakresie dynamiki układu napędowego głowicy oraz identyfikacji obciążeń narzędzi dyskowych. Prowadzone aktualnie badania modelowe pozwolą na opracowania i symulacyjną weryfikację nowych koncepcji głowicy w oparciu o założenia i wytyczne sformułowane na podstawie przeprowadzonych do tej pory testów stanowiskowych.

#### LITERATURA

1. Acaroglu O., Erdogan, C.: Stability analysis of roadheaders with mini-disc, *TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY*, vol 68. s. 187-195, 2017
2. Gospodarczyk P., Kotwica K., Stopka G.: A new generation mining head with disc tool of complex trajectory, *Archives of Mining Sciences* 2013 vol. 58 no. 4, s. 985-1006.
3. Gospodarczyk P., Kotwica K., Mendyka P., Stopka G.: Innovative roadheader mining head with asymmetrical disc tools, *Exploration and mining, mineral processing. International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, vol.2, Sofia 2016, s. 489-496.
4. Gospodarczyk P., Kotwica K., Mendyka P., Stopka G.: Innovative solution of the roadheader mining head with disc tools of complex motion trajectory, *Maschinen und Verfahren für den Bergbau und Spezialtiefbau*, Freiberg 2015/a, s. 53-63.
5. Gospodarczyk P., Kotwica K., Mendyka P., Stopka G.: Możliwości wykorzystania narzędzi dyskowych na organach urabiających kombajnów chodnikowych,



- Mechanizacja, Automatyzacja i Robotyzacja w Górnictwie*. Praca zbiorowa, Kraków 2015/b, s. 160-170.
6. Gospodarczyk P., Mendyka P., Stopka G. i inni: *Wybrane zagadnienia modelowania procesów urabiania, ładowania i odstawy w kompleksach ścianowych*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2015/c.
  7. Mendyka P.: Laboratory stand tests of mining asymmetrical disc tools, Exploration and mining, mineral processing. International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, vol.17, Sofia 2017, s. 487-494.
  8. Stopka G.: *Badania procesu urabiania narzędziami dyskowymi*. Praca Doktorska. AGH w Krakowie, Kraków 2011.

*Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2019*

*Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2019*

### **BADANIA SYMULACYJNE W PROJEKTOWANIU GŁOWICY DYSKOWEJ NOWEJ GENERACJI**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono koncepcję głowicy dyskowej nowej generacji oraz dotychczasowy zakres badań stanowiskowych związany z jej doświadczalną weryfikacją. Przedstawiono podstawowe zagadnienia będące przedmiotem aktualnych badań modelowych związanych z rozwojem konstrukcji głowicy, w tym modelowaniem dynamiki układu napędowego oraz symulacją obciążeń narzędzi dyskowych.

**Słowa kluczowe:** narzędzie dyskowe, głowica dyskowa, badania symulacyjne, MBS, DEM

### **NUMERICAL SIMULATION IN DESIGN PROCESS OF THE NEW GENERATION MINING HEAD WITH DISC TOOLS**

**Abstract:** The article presents a concept of the new generation mining head with disc tools and current scope of research related to experimental verification. In the article the basic issues that are the subject of current simulation modeling are presented related to the development of the head construction, including modeling of dynamics of power transmission system and the simulation of disk tool loads.

**Key words:** disk tool, mining head, numerical simulation, MBS, DEM

**dr inż. Grzegorz Stopka**

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Katedra Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych

Al. Mickiewicza 30, Kraków, Polska

tel: +48 783 438 821

e-mail: stopka@agh.edu.pl