

# Analiza danych w procesie skalowania młyna kulowego

Błażej Doroszk

## Streszczenie

Młyny kulowe odgrywają kluczową rolę w przemyśle przeróbki minerałów, jednak optymalizacja ich wydajności i skalowanie operacji pozostaje wyzwaniem. Niniejsza praca ma na celu uzyskanie wglądu w skalowanie pracy młynów kulowych poprzez zbadanie wpływu parametrów operacyjnych na wydajność mielenia i efektywność energetyczną w różnych średnicach młynów. Badania wykorzystują zaawansowane techniki modelowania, takie jak metoda elementów dyskretnych (DEM - Discrete Element Method) i hydrodynamika cząstek (SPH - Smoothed Particle Hydrodynamics), w połączeniu z metodami eksperymentalnymi i podejściem planowania eksperymentów (DoE - Design of Experiments), aby kompleksowo zrozumieć proces skalowania.

Opracowano systematyczną metodologię kalibracji cyfrowego bliźniaka laboratoryjnego młyna kulowego poprzez integrację symulacji DEM-SPH z danymi eksperymentalnymi z nagrań wideo. Skalibrowany cyfrowy bliźniak jest następnie wykorzystywany w wielowariantowej analizie mielenia rudy miedzi, skupiając się na wpływie parametrów operacyjnych, takich jak średnica młyna, stopień wypełnienia, prędkość obrotowa, rozmiar i liczba progów wznoszących oraz właściwości zawiesiny na kluczowe wskaźniki wydajności.

Zaproponowano i oceniono nową stałą skalowania jako potencjalny parametr do utrzymania podobnej wydajności mielenia w różnych skalach młynów. Wyniki pokazują, że utrzymanie stałej skalowania na porównywalnym poziomie skutkuje spójnym stopniem wykorzystania energii na jednostkę masy na obrót bębna w warunkach mielenia na sucho i na mokro.

Zastosowano podejście planowania eksperymentów (DoE) do zbadania głównych efektów i interakcji badanych czynników na metryki wydajności młyna, zarówno dla serii mielenia na sucho, jak i na mokro. Wyniki DoE dostarczają cennych informacji na temat najbardziej wpływowych parametrów wpływających na efektywność młyna kulowego i jakość produktu.

Zidentyfikowano i skwantyfikowano korelacje między średnicą młyna, parametrami operacyjnymi i metrykami wydajności, zarówno w środowisku mielenia na sucho, jak i na mokro, aby ukierunkować rozwój strategii skalowania. Wnioski wyciągnięte z tego badania przyczyniają się do zrozumienia i optymalizacji procesów mielenia w młynach kulowych, tworząc podstawy do opracowania energooszczędnych i zrównoważonych strategii przeróbki mineralnej, ze szczególnym znaczeniem dla polskiego przemysłu miedziowego.

Praca kończy się przedstawieniem rekomendacji dla przyszłych badań, koncentrując się na udoskonaleniu podejścia stałej skalowania i potencjalnych testach, które można przeprowadzić w celu poprawy efektywności przemysłowych młynów rudy miedzi. Wyniki tych badań mogą posłużyć do projektowania pracy młynów kulowych w różnych skalach, ostatecznie prowadząc do poprawy produktywności, rentowności i zrównoważonego rozwoju w sektorze górnictwym.

Błażej Doroszk