

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ GÓRNICICTWA, INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA
I AUTOMATYKI PRZEMYSŁOWEJ**

Dyscyplina naukowa: Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka

ROZPRAWA DOKTORSKA

Michał SIEGMUND

METODA ODSPAJANIA SKAŁ Z UŻYCIEM KOTEW

Promotor:

Prof. dr hab. inż. Józef JONAK

Promotor pomocniczy:

Dr inż. Krzysztof TOMICZEK

Gliwice, 2023

STRESZCZENIE

Temat pracy wynika z potrzeby znalezienia alternatywnej, do znanych i powszechnie stosowanych, metody urabiania mechanicznego. W niektórych warunkach geologiczno - górnictwowych istnieje silna potrzeba ograniczenia negatywnych efektów towarzyszących tradycyjnym metodom eksploatacji, np.: technologiom urabiania mechanicznego w sąsiedztwie budowli krytycznych, instalacji przemysłowych, fundamentów, czy technologiom opartym na materiałach wybuchowych (strzelaniu), których efektem są drgania lub emisja gazów szkodliwych dla zdrowia i środowiska. Szczególnym przykładem konieczności opracowania nowej technologii, jest problem drążenia tuneli ratowniczych w złożonych warunkach geologicznych, w sposób niepowodujący propagacji strefy zniszczenia skał i/lub ich zawału.

Dotychczas nie podejmowano prób opisu zjawiska wrywania kotew, w kontekście celowego oderwania jak największych fragmentów skały od calizny.

Na podstawie przeprowadzonych analiz, dotychczasowych rozwiązań stosowanych w technikach mocowania elementów konstrukcji metalowych w betonowych obiektach inżynierskich stwierdzono, że jest możliwość adaptacji tej technologii, do kontrolowanego wrywania kotew, głównie podcinających, w celu odspajania większych brył skalnych.

W pierwszych rozdziałach opisane zostały założenia metody odspajania skał z użyciem kotew oraz przeprowadzono analizy mechanizmów uszkodzenia złącza kotwowego, a także dotychczas opracowane dla betonów - modele analityczne, szczególnie w zakresie określenia siły wrywającej kotwę (jej nośności).

Zarówno skały, jak i betony są materiałami ziarnistymi, a ich zachowanie cechują pewne podobieństwa wynikające z ich własności wytrzymałościowych i odkształceniowych. Jednak ośrodki skalne mają, ze względu na ich genezę, często inne parametry fizyko - mechaniczne oraz cechy strukturalne niż betony. Jak napisano wcześniej, dotychczas nie prowadzono badań nad zjawiskiem wrywania kotew w kontekście uzyskania wydajnej metody urabiania. Dlatego przeprowadzono badania laboratoryjne i w warunkach *in-situ*, wrywania kotew podcinających. Badania zrealizowano zarówno w zakładach eksploatujących surowce skalne, jak i w kopalniach podziemnych. W ramach tego etapu prac pobrano również próbki do laboratoryjnych badań wytrzymałościowych i odkształceniowych, wyznaczając stałe materiałowe charakteryzujące własności skał, m.in.: wytrzymałość na rozciąganie f_t , wytrzymałość na ściskanie f_c , moduł Younga E , współczynnik Poissona ν i kohezję c .

W pracy przedstawiono wyniki badań własnych ponad 120 prób wrywania kotew podcinających, za pomocą autorskiego przyrządu, z równoczesnym pomiarem siły wrywającej. Próbom towarzyszyło optyczne skanowanie 3D stożków zniszczenia i analizy propagacji (trajektorii) szczeliny odspajającej. Prowadzone były również próby odspajania i badania interakcji *stożków* zniszczenia dla układów 2- i 3-kotwowych.

Na podstawie przeprowadzonych badań opracowany został model empiryczny, który pozwala na: prognozowanie wartości siły wrywającej F , zasięgu odspojen Z oraz objętości V odspojenia/zniszczenia skały w zależności od efektywnej głębokości kotwienia h_{ef} i wytrzymałości skały na ściskanie f_c .

Z kolei w modelu analitycznym przedstawiono rozwiązania i wzory, które pozwalają na: prognozowanie zasięgu odspojień Z zależnie od wytrzymałości na ściskanie f_c , głębokości kotwienia h_{ef} , kąta głowicy γ oraz współczynnika tarcia skały o głowicę kotwy μ . Znając wartość siły niezbędnej do odspojenia oraz przewidywany zakres propagacji szczeliny odspajającej, możliwa jest realizacja procesu odspajania z zachowaniem określonych gabarytów *prowadzonego* tunelu.

Opracowano i opisano założenia systemu doradczego opartego o sztuczne sieci neuronowe (ANN), umożliwiającego w warunkach terenowych efektywne prognozowanie parametrów procesu technologicznego odspajania z użyciem kotew, w zależności od zastosowanych parametrów kotwienia i własności skał.

Przeprowadzono analizy numeryczne Metodą Elementów Skończonych (MES) dla modeli 2D oraz osiowosymetrycznych modeli 3D dla stosowanych, w badaniach eksperymentalnych, głębokości kotwienia oraz dla wyznaczonych wcześniej, w badaniach laboratoryjnych, własności skał. Przeprowadzone analizy numeryczne wykazały, że dla badanych głębokości kotwienia oraz parametrów mechanicznych badanych skał, zasięg powierzchni zniszczenia jest znacznie większy, niż to wynika z dotychczasowych procedur obliczeniowych stosowanych w konstrukcjach betonowych np. CCD (*Concrete Capacity Design*), a jej kształt zupełnie nie przypomina *stożka*, który w tych metodach jest zakładany. W przypadku układów wielokotwowych, wyniki analizy MES wykazały wpływ interakcji stożków dla określonych proporcji s/h_{ef} (s - odległość pomiędzy osiami kotew). Z symulacji MES-3D wynika, że wartość graniczna proporcji s/h_{ef} , dla której występuje interakcja stożków zniszczenia jest rzędu 5,0-5,4. Jest to wartość znacząco większa niż to wynika z zaleceń metody CCD (≤ 3).

Uzyskane wyniki pokrywają się z wynikami empirycznymi badań terenowych mają istotne znaczenie dla potencjalnego planowania rozmieszczenia otworów w technice odspajania skał opracowaną metodą.

Badania i ich wyniki oraz przedstawione modele miały charakter rozwiązań analitycznych.

Celem tych kompleksowych badań było również przedstawienie możliwości ich utylitarne zastosowania. W ostatnich rozdziałach pracy przedstawiono propozycję zmodyfikowanej metody odrywania skał od calizny, wykorzystujących do rozparcia dno otworu. Rozwiązanie to usprawnia realizację procesu wyrywania skały od calizny. Określono kierunki dalszych prac nad zjawiskiem odspajania skał od calizny oraz przedstawiono budowę prototypowego, autorskiego rozwiązania głowicy odspajającej, wykorzystującej mechanizm śrubowy oraz multiplikator momentu.

Przedstawione w kolejnych rozdziałach pracy badania, ich wyniki, modele i rozwiązania, stanowią pewną zamkniętą całość opisu zjawiska odspajania skał od calizny metodą wyrywania kotew podcinających. Wyniki tych badań dowodzą możliwości precyzyjnego i efektywnego odspajania wybranych fragmentów skał w warunkach szczególnych, np.: podczas akcji ratowniczych, likwidacji filarów czy przerostów skały płonnej w pokładzie (ścianie wydobywczej).