

## Analiza MES procesu zagłębiania proppantu w szczelinie skały łupkowej

Michał Kwietniewski<sup>1</sup>, Danuta Miedzińska<sup>1</sup>, Tadeusz Niezgoda

<sup>1</sup>Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wojskowa Akademia Techniczna  
email: michal.kwietniewski@wat.edu.pl, danuta.miedzinska@wat.edu.pl, tadeusz.niezgoda@wat.edu.pl

**STRESZCZENIE:** Problem efektywnego wydobycia gazu z łupków na terenie Polski jest obecnie przedmiotem badań wielu naukowców. Nieoceniony wkład na wzrost intensywności wydobycia ma odpowiednio dobrany proppant, który zapobiega zamykaniu się szczelin po zabiegu szczelinowania. Proppant, inaczej nazywany materiałem podsadzkowym jest transportowany razem z czynnikiem szczelinującym, aby pod wpływem ciśnieniem zatłaczania trafił do możliwie najgłębszych rejonów. Odpowiednie podparcie szczeliny zapewnia swobodny przepływ gazu, dlatego jest tak istotny pod względem efektywności wydobycia. W tej pracy do rozważenia poddano zagadnienie interakcji ziarna proppantu na powierzchnię szczeliny w skale łupkowej. Przeprowadzono analizę MES w celu obserwacji strefy naprężeń powstającej w wyniku wgłębiania ziarna proppantu w skałę. Zastosowano ruchomy model kuli, który jest wgniatany ze stałą prędkością w model skały. Dla przyjętych danych materiałowych otrzymano mapę naprężeń, oraz wartość zagłębienia ziarna proppantu.

**SŁOWA KLUCZOWE:** analiza MES, proppant, skała łupkowa, szczelina

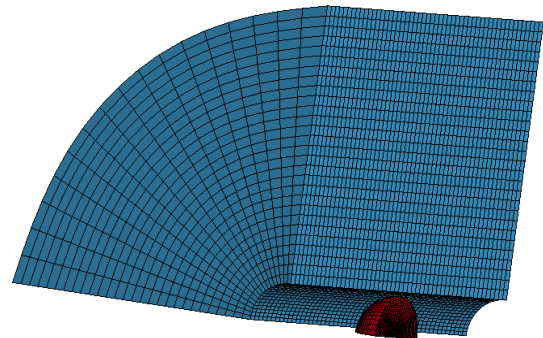
### 1. Wstęp

Terytorium Polski od kilku lat jest obiektem wzmoczonych badań mających na celu opracowanie opłacalnej technologii wydobycia gazu z łupków. Polskie skały łupkowe różnią się pod względem fizycznym i chemicznym od tych występujących w Ameryce Północnej, są rozlokowane również na innej głębokości. Inna budowa skały stawia zatem nowe wyzwania dla wiertnictwa otworowego. Procesy szczelinowania zachodzą w nieco inny sposób, zatem konieczne jest opracowanie nowej technologii wydobycia. Jednym z ważniejszych aspektów tych badań jest dokładna analiza zachowania się skały obciążonej ciśnieniem szczelinowania. Do rozważenia jest tu mechanizm powstawania i propagacji pęknięcia oraz optymalny sposób podparcia szczeliny po zabiegu szczelinowania. Tę funkcję mają pełnić proppanty, które dostają się do złoża wraz z czynnikiem szczelinującym. Ziarenka, najczęściej ceramiczne o dużej twardości mają za zadanie zaklinować się w skałę, aby utworzyć maksymalne rozwarcie szczeliny. Oczywiście, przy ogromnych naprężeniach wewnętrznych górotworu następuje wgniatanie ziaren w powierzchnię skały, co powoduje zmniejszenie przekroju poprzecznego szczeliny, a w skrajnych przypadkach może prowadzić do całkowitego zamknięcia szczeliny [1, 2].

### 2. Model geometryczny

Do analizy MES opracowano model geometryczny przedstawiony na rys. 1. Przyjęto, że model skały to czwarta część walca ze szczeliną w środkowej części o promieniu 1 mm. Wygenerowano model skały łupkowej o promień 8mm oraz długości 10 mm. Analogicznie do modelu skały, przyjęto ziarenko proppantu jako 1/4 kuli [3].

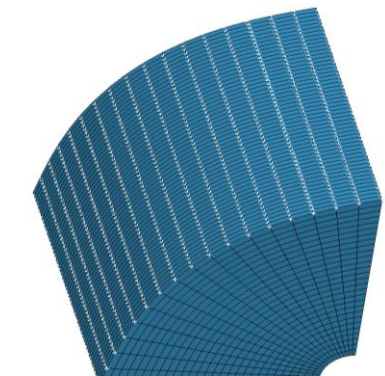
Dyskretyzację modelu przeprowadzono w oprogramowaniu LS-PrePost za pomocą elementów ośmiowęzłowych. Utworzony model składa się z 29554 elementów oraz 60696 węzłów.



Rys. 1. Model geometryczny z siatką elementów skończonych

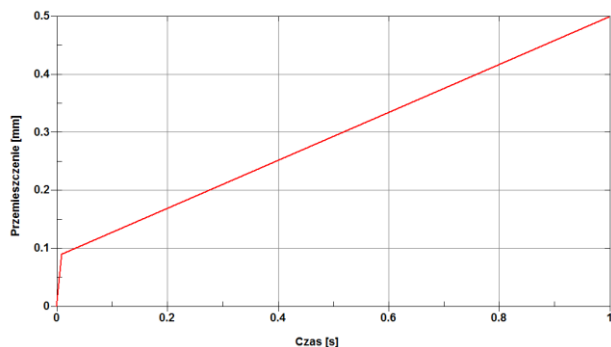
### 3. Przyjęte warunki brzegowe

Celem analizy jest obserwacja zachowania łupka w wyniku wciskania ziarenka proppantu. Utwierdzenie zostało nałożone na powierzchnie cylindryczną łupka. Na rys. 2 zaprezentowano miejsce w którym zadano utwierdzenie odbierając wszystkie stopnie swobody w każdym z węzłów.



Rys. 2. Miejsce przyłożenia utwierdzenia

Dodatkowo, uwzględniając fakt, że do obliczeń przyjęto czwartą część modelu, nałożono na ściany odpowiednie warunki symetrii. Proces wciskania ziarenka proppantu został wywołany za pomocą przyłożonego przemieszczenia, które narastało w trakcie analizy według wykresu zamieszczonego na rys. 3 [4].



Rys. 3. Wykres przyrostu przemieszczenia w czasie

Dla zapewnienia prawidłowego oddziaływania między kontaktującymi się modelami, ziarno proppantu w początkowej fazie odsunięto od szczeliny o 0,1 mm.

#### 4. Model materiałowy

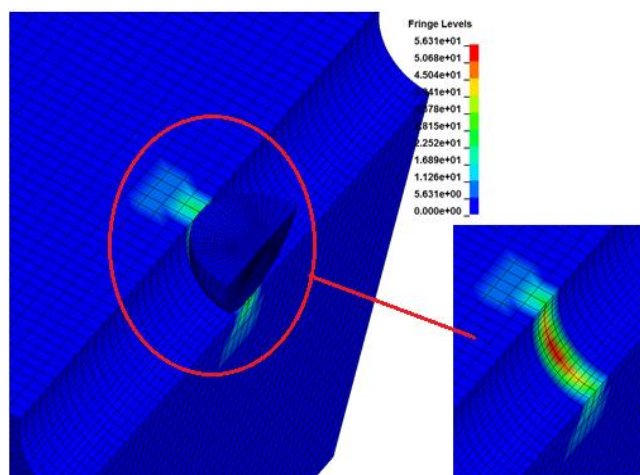
Jako model materiałowy dla skały łupkowej przyjęto MAT\_084/85-WINFRITH\_CONCRETE o parametrach mechanicznych zamieszczonych w tab. 1. Natomiast dla modelu proppantu przyjęto materiał RIGID, czyli całkowicie nieodkształcalny [3].

Tabela 1. Właściwości mechaniczne skały łupkowej, przyjęte do analizy

Parametr	Wartość
Moduł Younga, [MPa]	4000
Liczba Poissona,	0,25
Gęstość, [kg/m <sup>3</sup> ]	2200
Wytrzymałość na rozciąganie, [MPa]	1
Wytrzymałość na ściskanie, [MPa]	40

#### 5. Wyniki analizy

Analizę przeprowadzono w warunkach statycznych. Otrzymano naprężenia o maksymalnej wartości 56 MPa, które skupiają się na linii kontaktu proppantu z modelem skały, co zaprezentowano na rys. 4. Ponadto zaobserwowane maksymalne odkształcenie węzłów bezpośrednio reagujących z wciskaniem proppantem na poziomie 0.016mm.



Rys. 4. Zagięcie proppantu w skałę z obszarem występowania największych naprężeń

#### 6. Wnioski

Dla przyjętych modeli materiałowych oraz warunków brzegowych, zaobserwowano proces wciskania ziarenka proppantu. Po przeprowadzeniu analizy można wyciągnąć następujące wnioski:

- 1) Stosunkowo niewielkie naprężenia prowadzą do uszkodzenia materiału.
- 2) Obszar wpływu naprężeń, wywołanych wciskaniem proppantu jest niewielki.
- 3) Maksymalna wartość uzyskanych naprężeń jest wyższa niż wytrzymałość skały na ściskanie. Może to wynikać z faktu występowania złożonego stanu naprężenia w obrębie kontaktu skały z proppantem.

*Praca powstała w ramach projektu BG2/DIOX4SHELL/14, objętego finansowaniem na lata 2014-2017 przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.*

#### Literatura

- [1] Nowakowski A., Nurkowski J., Lizak Z., *Zależność wyniku testu ściśliwości próbki węgla od rodzaju płynu porowego*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Tom 14, nr 1-4, (2012), s. 53-62.
- [2] . Majcherczyk T., Małkowski P., Niedbalski Z., *Ocena przemieszczeń górotworu wokół wyrobiska korytarzowego z wykorzystaniem parametrów empirycznych Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Mat. Symp. str. 249-260.*
- [3] Walszczyk J., Florkowska L., *Komputerowa symulacja stanu naprężenia w sąsiedztwie wyrobiska górniczego z uwzględnieniem przepływu gazu*. Górnictwo i geoinżynieria. Rok 34. Zeszyt 2. 2010.
- [4] *LS-dyna keyword user's manual volume 1 LS-dyna r8.0*, Livermore Software Technology Corporation (LSTC), 03/23/15 (r:6319).