



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**



Wpływ drgań na stateczność skarp wybranych kopalń odkrywkowych

Michał Kowalski, Stanisław Rybicki, Jerzy Flisiak

Nazwa wydziału: Górnictwa i Geoinżynierii

**Nazwa katedry: Geomechaniki, Budownictwa
i Geotechniki**

Skarpy w kopalniach odkrywkowych



Urabianie utworów trudnourabialnych



Urabianie utworów trudnourabialnych





Zastosowanie materiałów wybuchowych

Użycie materiału wybuchowego powoduje przekazanie energii wybuchu na ośrodek gruntowy generując w nim powstanie drgań wywołanych rozchodzeniem się fal sprężystych o różnych charakterystykach

- **długość fali,**
- **częstotliwość,**
- **energia.**

Parasejsmiczne efekty użycia materiałów wybuchowych w kopalniach odkrywkowych

Parasejsmiczne efekty użycia materiałów wybuchowych są zależne głównie od:

- **całkowitej masy ładunków we wszystkich otworach,**
- **mas ładunków w każdym pojedynczym otworze,**
- **wartości zwłoki czasowej w odpalaniu poszczególnych ładunków wybuchowych.**

Efekty te są także zależne od odległości miejsca pomiaru.

Wpływ innych czynników, takich jak:

- **sposób rozmieszczenia otworów strzałowych,**
- **usytuowanie otworów na zboczach kopalni odkrywkowej,**
- **rodzaje gruntów i skał,**

jest zazwyczaj mniejszy.

Charakterystyczne cechy drgań gruntu w Kopalni Siarki „Machów” (Matuszyk & Szybiński, 1988)

Grupa drgań	Częstotliwość	Amplituda przemieszczeń	Amplituda Przyspieszeń	Współczynnik sejsmiczny	Długość fali	Czas trwania	Ilość cykli
	F [Hz]	A_A [μm]	A_a [m/s^2]	$k = a/g$	λ [m]	[s]	
Wysokie częstotliwości	20 – 80	20 – 200	1 – 10	0,1 – 1	10 – 40	~0,2	10
Niskie częstotliwości	2 – 20	200 – 1200	0,1 – 1	0,01 – 0,1	40 – 400	~1	5

Kopalnia siarki „Machów”

Eksperyment u podstawy północnego zbocza

Wysokość skarpy: 30 m

Nachylenie skarpy: 65°

Odpalanie ładunków wybuchowych w łożach krakowieckich celem sprowokowania osuwiska.

Trzy serie strzelań:

- **seria pierwsza 50 m, ładunek $Q_c = 305$ kg; $Q_o = 101$ kg;**
- **seria druga 25 m, ładunek $Q_c = 305$ kg, $Q_o = 101$ kg;**
- **seria trzecia 15 m, ładunek $Q_c = 310$ kg, $Q_o = 102$ kg.**

Dla trzeciej serii uzyskano $a_x \approx 1.5g$, $a_z \approx 6g$.

Skarpa uległa osunięciu w miejscu odstrzału dopiero po upływie 3 tygodni.

Metoda pseudostatyczna

Terzaghi (1950): uwzględnienie w analizach stateczności tzw. *siły sejsmicznej*.

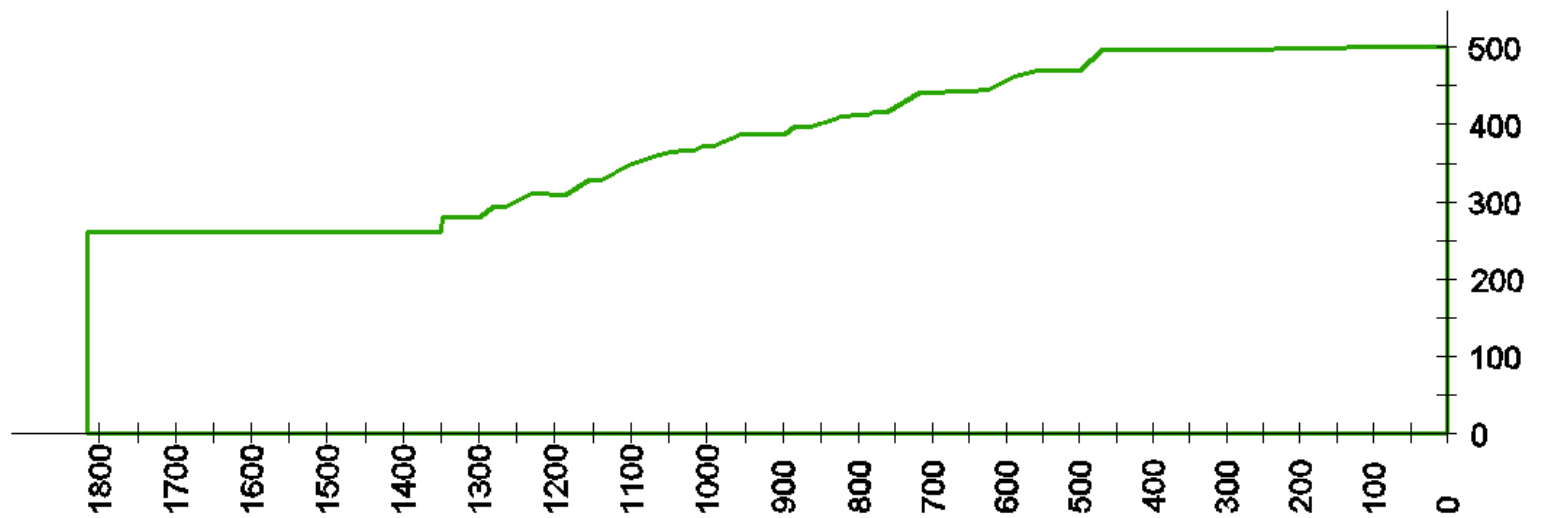
Rozchodzące się w ośrodku gruntowym fale sprężyste wywołane trzęsieniami ziemi, nadają określonej masie (bryle osuwiskowej) gruntu (m) pewne przyspieszenie (a), którego efektem jest siła sejsmiczna (F):

$$F = m \cdot a = \frac{W \cdot a}{g} = k \cdot W$$

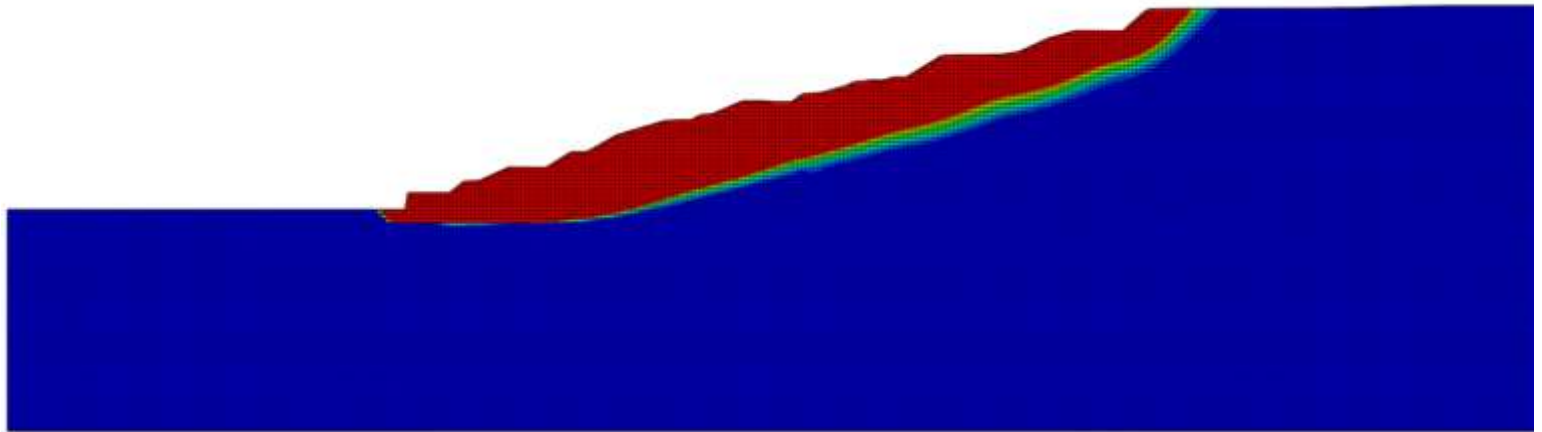
gdzie:

- W – ciężar gruntu w bryle osuwiskowej [kG],
- g – przyspieszenie ziemskie = 9,81 [m/s²],
- m – masa gruntu w bryle osuwiskowej [kg],
- a – generowane przyspieszenie [m/s²],
- k – współczynnik sejsmiczny = a/g .

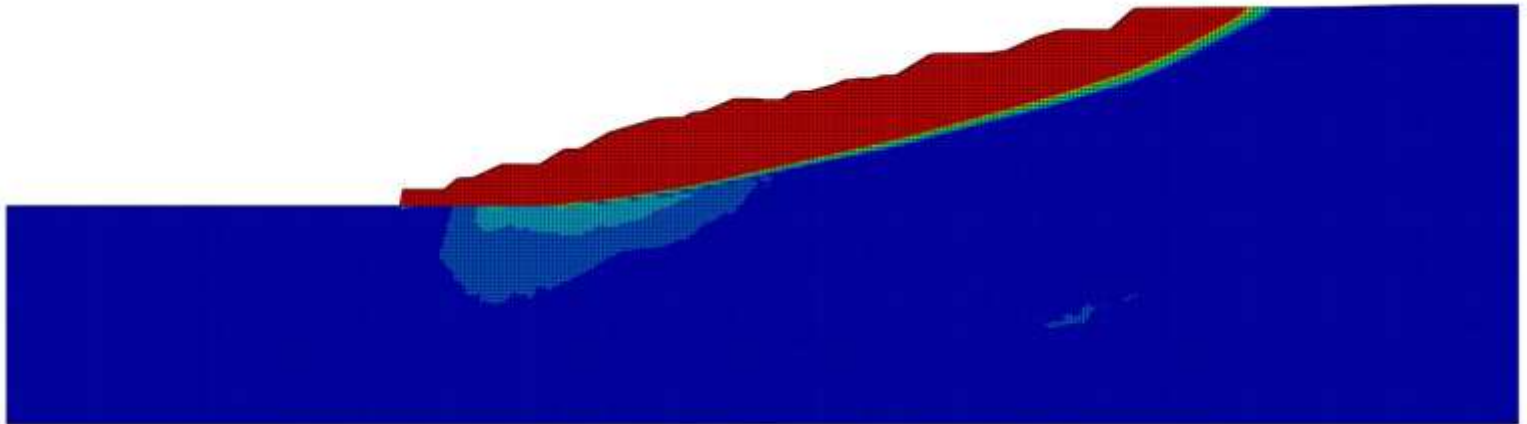
Analizowany model zbrocza



Potencjalna powierzchnia poślizgu dla zbocza o jednorodnej budowie geologicznej

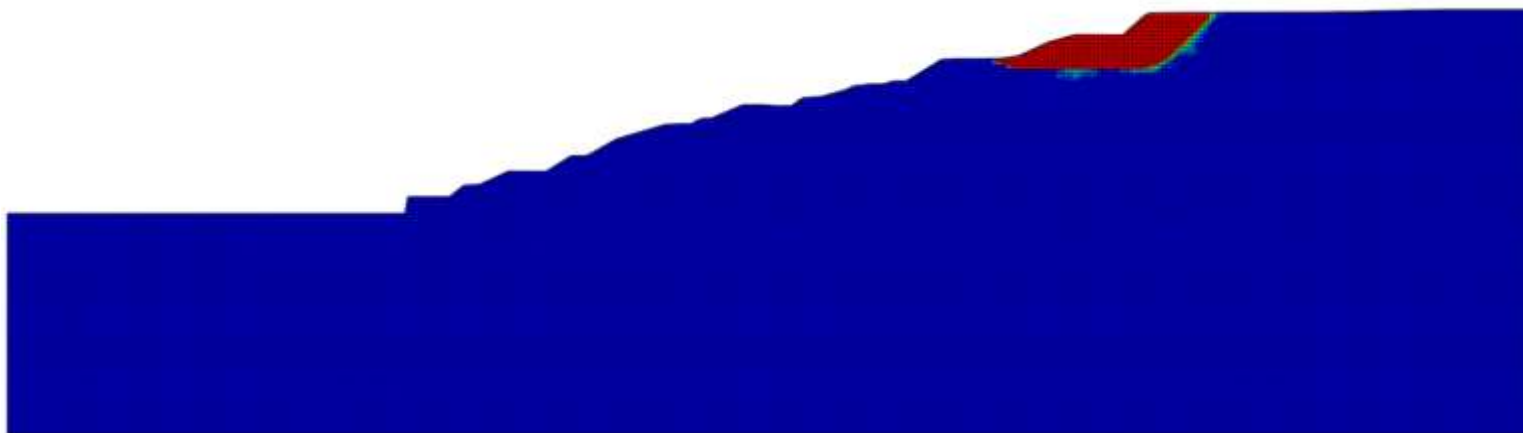


$k_H = k_V = 0.0$ $FS = 3.00$

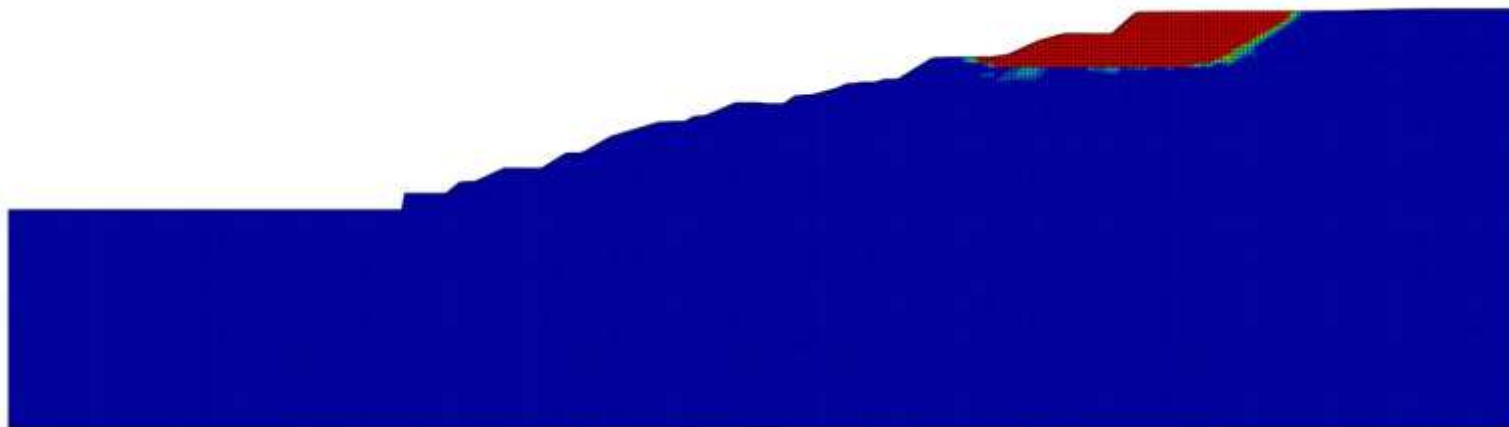


$k_H = k_V = 0.3$ $FS = 1.38$

Potencjalna powierzchnia poślizgu dla zbocza o niejednorodnej budowie geologicznej



$k_H = k_V = 0.0$ $FS = 1.58$



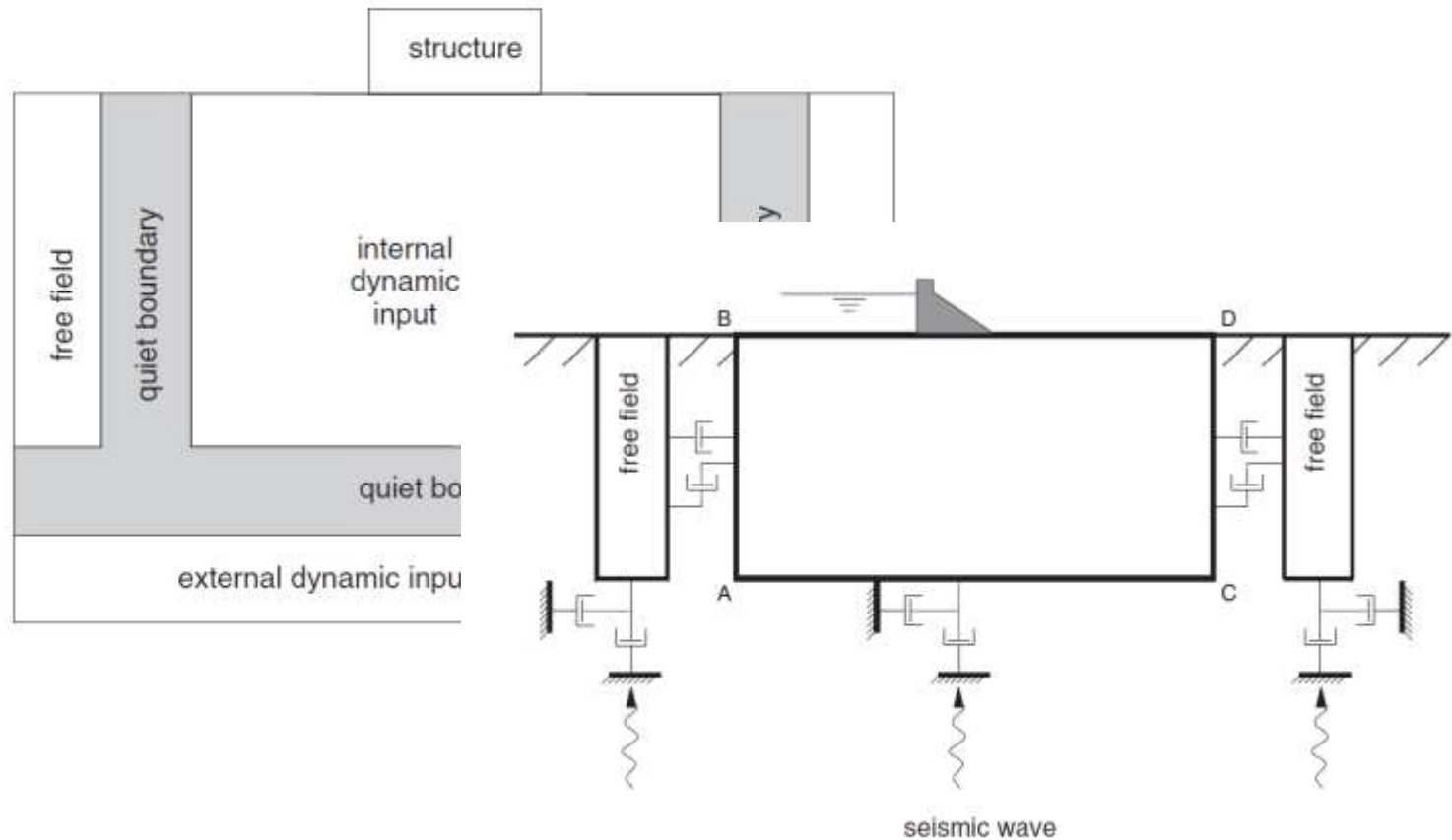
$k_H = k_V = 0.2$ $FS = 0.92$

Analiza dynamiczna

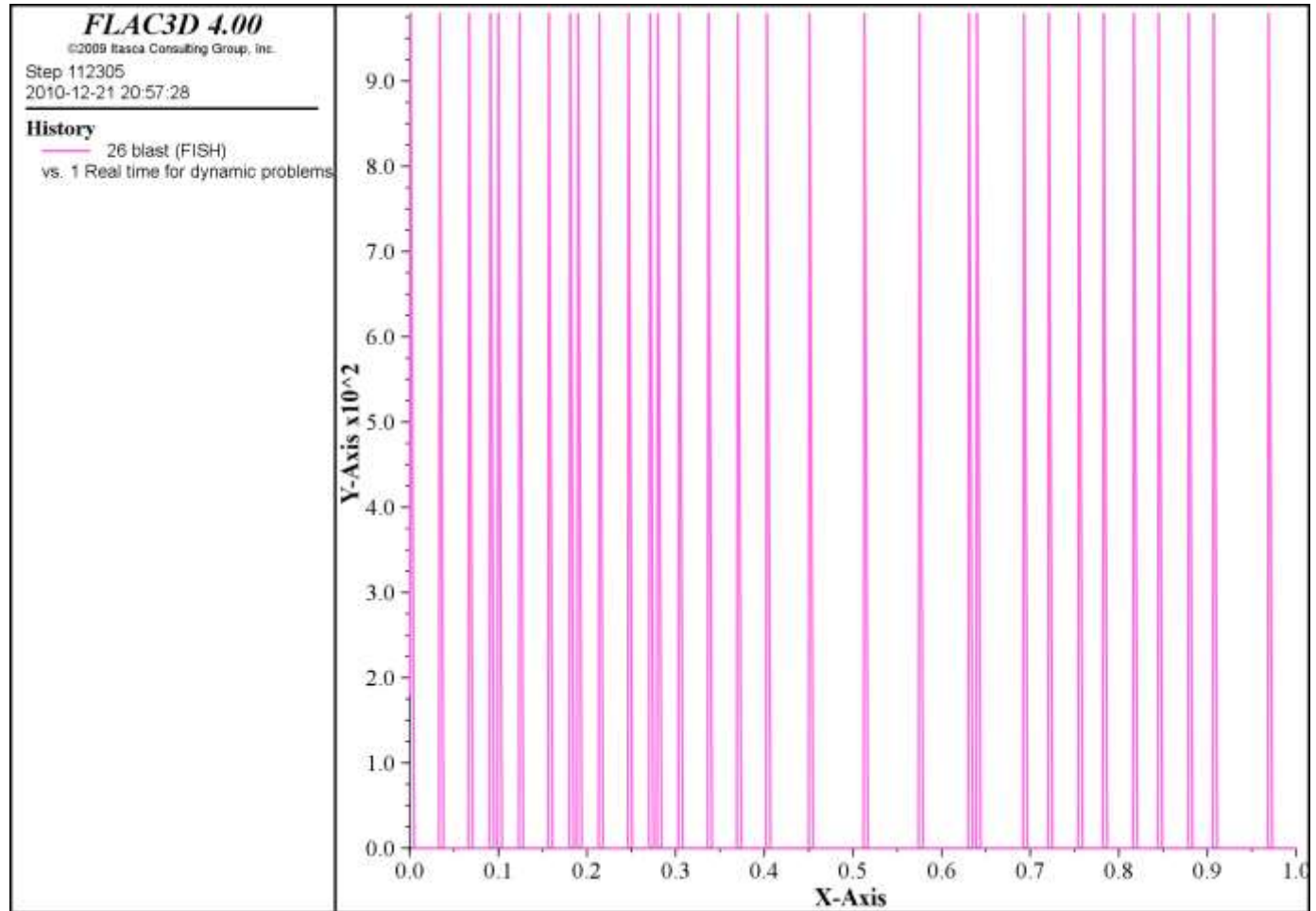
Przeprowadzenie pełnej analizy dynamicznej w programie numerycznym, wymaga rozważenia trzech ważnych aspektów. Są to:

- 1. Obciążenie dynamiczne i warunki brzegowe,**
- 2. Tłumienie mechaniczne,**
- 3. Propagacja fal przez model.**

Obciążenie dynamiczne i warunki brzegowe



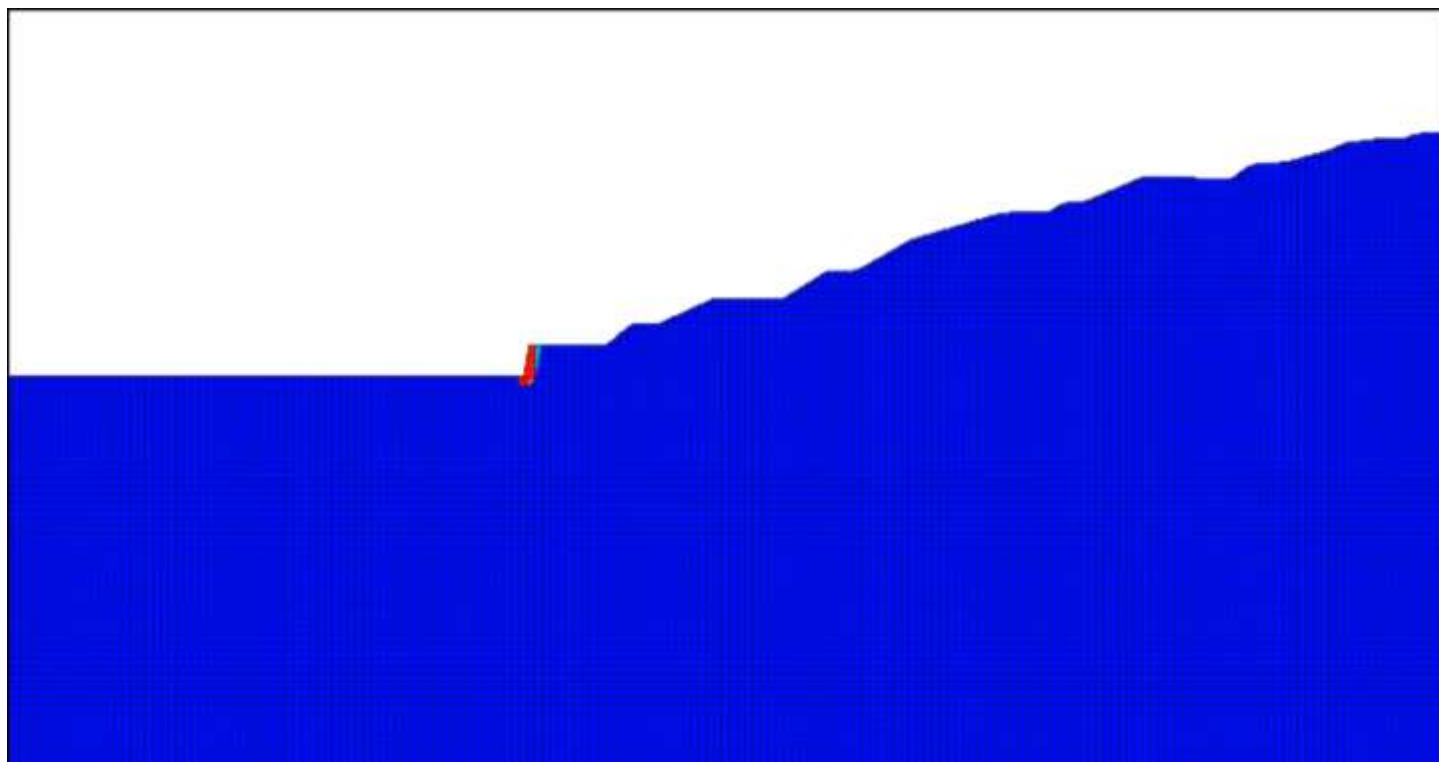
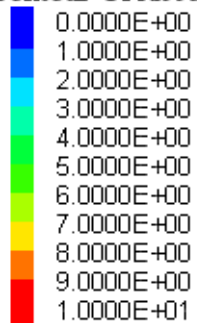
Historia przyłożonego obciążenia



Propagacja fal przez model numeryczny zbocza

Mapa przyspieszeń całkowitych

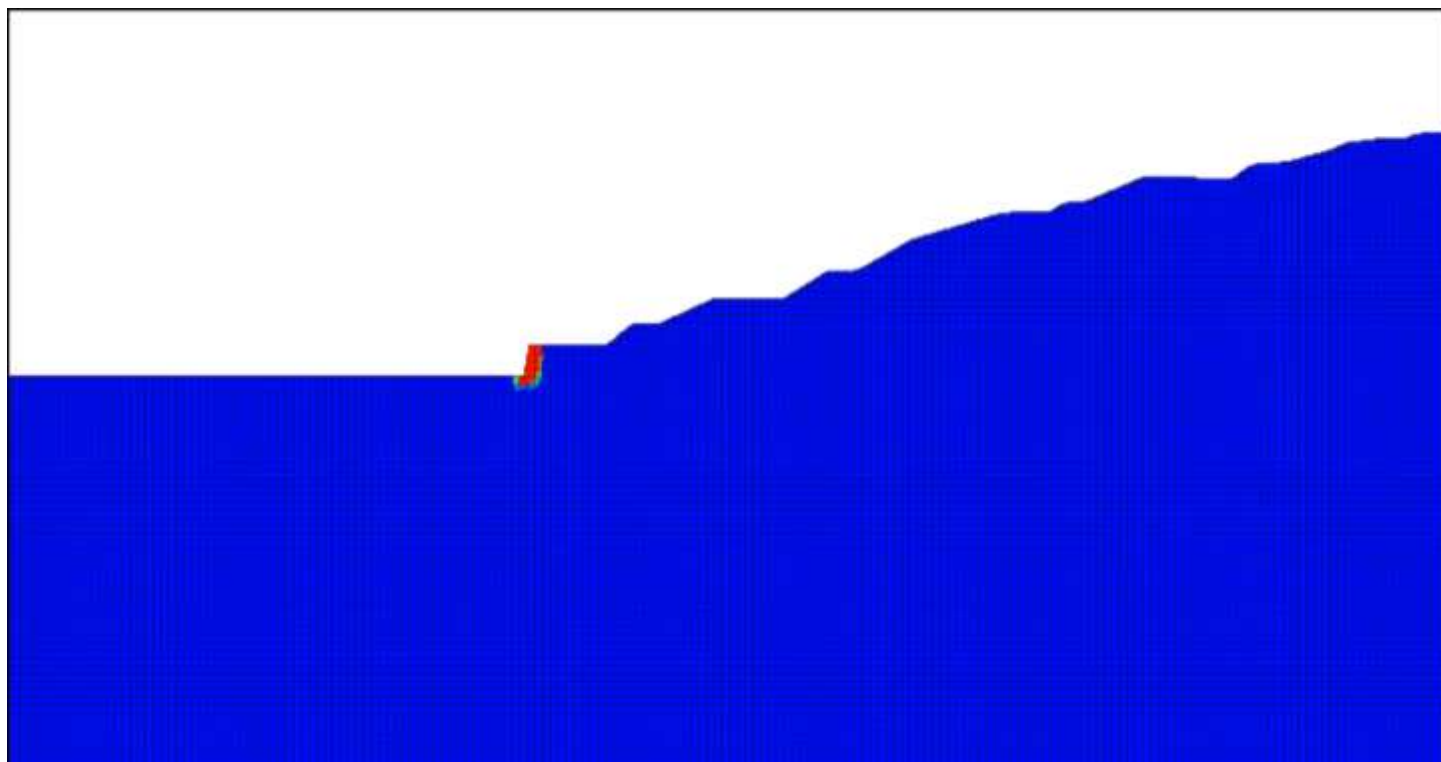
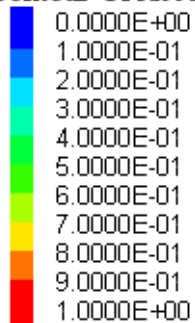
Contour Of Acceleration



Propagacja fal przez model numeryczny zbocza

Mapa przyspieszeń całkowitych

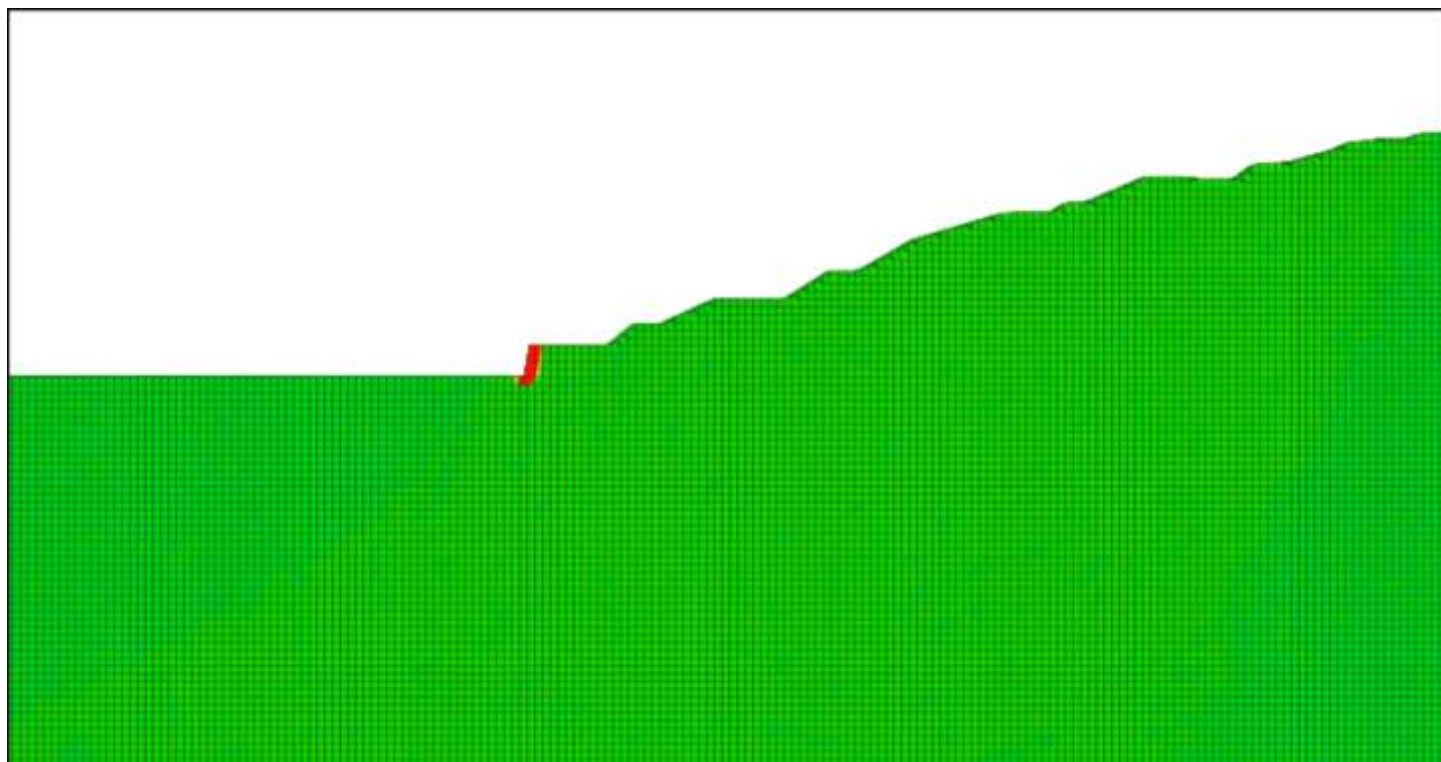
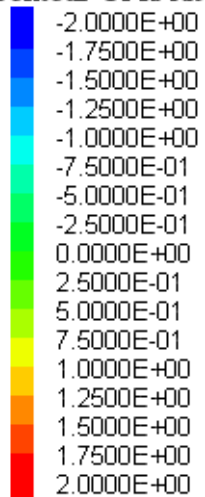
Contour Of Acceleration



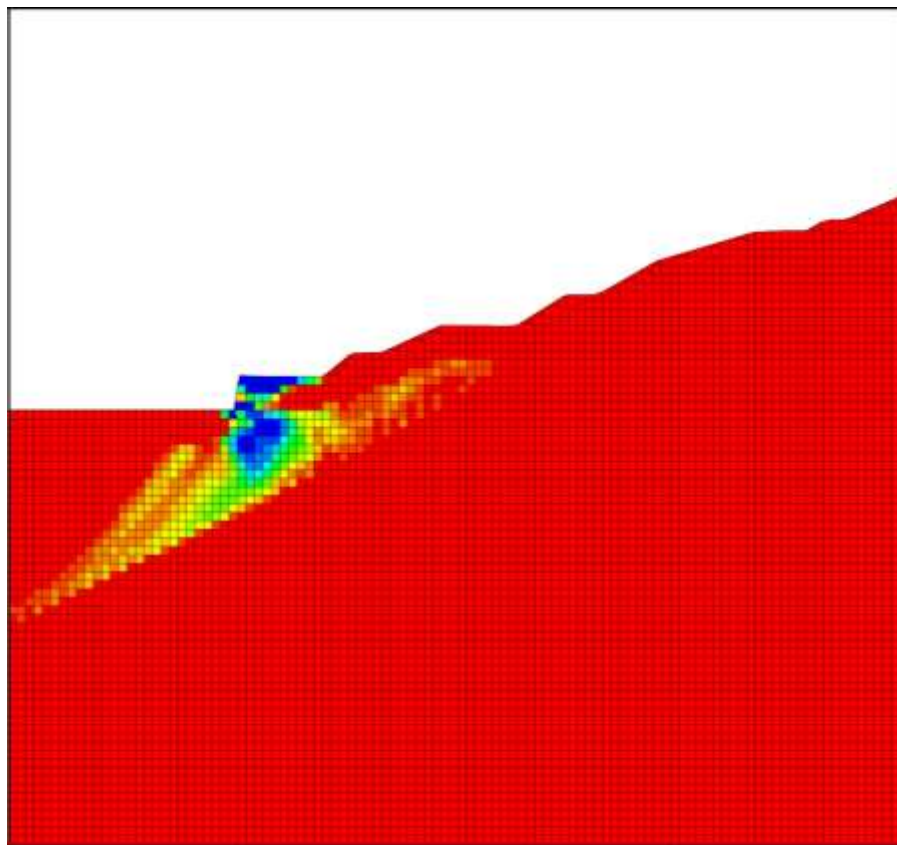
Propagacja fal przez model numeryczny zbocza

Mapa przyspieszeń poziomych

Contour Of X-Acceleration



Mapa zasięgu potencjalnych spękań



Podsumowanie

- **W świetle obserwacji, pomiarów i analiz dość powszechne przekonanie o istotnym wpływie wstrząsów parasejsmicznych na stateczność skarp i zboczy kopalń odkrywkowych wydaje się nie w pełni uprawnione. To przekonanie wynika z tego, iż w wielu dotychczasowych ocenach stateczności skarp w kopalniach odkrywkowych stosowano tzw. analizę pseudostatyczną.**
- **Analiza pseudostatyczna zakłada stałe, permanentne działanie wzbudzonej siły sejsmicznej na grunty potencjalnej bryły osuwiskowej, i nie uwzględnia rzeczywistych warunków naprężeń i odkształceń. W całym zboczu kopalni lub w jego większym fragmencie, przyspieszenia wywoływane wstrząsami działają bowiem jednocześnie i bardzo krótko w kierunku do i od zbocza, co powoduje wzajemne znoszenie się niekorzystnych oddziaływań wywołanych siłami bezwładności odkształcającej się masy gruntu.**

Podsumowanie

- **Niedocenianym dotychczas i niekorzystnym efektem wstrząsów parasejsmicznych, wpływającym na stateczność skarp i zboczy, są stwierdzone wizualnie i pomiarami geodezyjnymi niewielkie odwracalne i nieodwracalne, poziome i pionowe przemieszczenia gruntów, powodujące powstawanie mikro- i makrospękań oraz rozwarstwień, a w efekcie zmniejszenie spójności gruntu. Spójność i kąt tarcia wewnętrznego takiego gruntu może podlegać dalszemu obniżeniu wskutek penetracji wody w powstałym systemie mikrospękań, co w efekcie może prowadzić do powstania osuwiska opóźnionego czasowo w stosunku do okresu strzelań.**
- **Można przyjąć, że naruszenie struktury gruntu następuje przy wartości współczynnika k od około 0,1 do 0,3 lub większej.**

Dziękuję za uwagę