

**Piotr Klejment**

**doctoral dissertation - abstract**

**„The microscopic insight into fracturing of brittle materials with the Discrete Element Method”**

Geophysics is an extremely vast field of science that studies the physical processes taking place on Earth or other planets. One of such processes is fracturing of materials. To support these words, two phenomena can be mentioned. Materials subjected to extreme external conditions, such as ice or rock masses, after exceeding their certain strength parameters, start to fracture, which is manifested by glaciers calving or catastrophic earthquakes.

Despite the huge scientific progress made in recent decades, many issues in geophysics are still unexplained. The commonly used laboratory and field research methods have their limitations. Therefore, in recent years, a relatively new research technology, which is numerical modelling, has raised the interest. The rapidly increasing power of computers allows to create more and more sophisticated models and study phenomena to which traditional research methods do not give access.

In this dissertation, the analysis of the issue of material fracturing in geophysical applications was undertaken. The Discrete Element Method was used, which is ideally suited for simulating the fracturing process, because it assumes a discrete model of matter (consisting of particles), and also allows to considerate all kinds of issues related to particle rotations and movements. The carried out research consisted of two stages. In the first one, it was attempted to simulate material cracking during three different material tests: uniaxial compression, Brazilian test and uniaxial stretching. The aim was to obtain data that cannot be obtained during laboratory measurements. These include: particles energy - kinetic energies of linear and rotational motions, as well as, potential energies of bonds between particles; dependencies between microscopic parameters of bonds and particles, and macroscopic parameters of the whole material, as well as the influence of particle size on material behaviour under the influence of external loading.

In the second stage of the research, the transition to the extremely important and current problem of climate change was undertaken. As a result of global warming, glaciers lose more of their mass as a result of the so-called calving, i.e. the phenomena when the block of ice breaks off and falls into the water. Again, the essence of this process is the fracturing, and the DEM method can be very useful for analysing this process. As part of the research, a DEM model of calving glacier was created. Various scenarios were analysed when blocks of different sizes fall from different heights. Inside glacier and water, a network of receivers was created, measuring accelerations during the entire simulation. An attempt was made to determine how two parameters related to calving (the size of the falling down block of ice and the height from which the fall occurs) affect the acceleration of water and glacier particles.

The obtained data provided information about materials fracturing. As part of the uniaxial compression simulation, it was found that the fracturing materials are characterized by a constant relationship between different potential energies of bonds between particles, regardless of their macroscopic parameters. The highest potential energies occurred during compression and shearing between particles, the smallest in relation to bending and rotations. In the case of the Brazilian test, the linear relationship between the critical stress (at which the fracture occurs) and the inverse of the size of the smallest particles forming the material is probably the most interesting. In the uniaxial stretching test, three classes of material cracking were discovered depending on the bonds parameters between the particles. Simulations of calving the glacier provided information about the propagation of the signals in a material similar to water and ice.

Piotr Klejment

*Piotr Klejment*

**Piotr Klejment**

**rozprawa doktorska - streszczenie**

**„The microscopic insight into fracturing of brittle materials with the Discrete Element Method”**

Geofizyka to niezwykle rozległa dziedzina, która zajmuje się badaniem Ziemi lub innych planet. Jednym z najczęstszych zjawisk, które leży u podstaw wielu procesów geofizycznych, jest pękanie materiałów. Dla poparcia tych słów wymienić można dwa takie procesy, niezwykle imponujące i przemawiające do wyobraźni, czyli trzęsienia ziemi oraz cielenie się lodowców. Poddane ekstremalnym warunkom zewnętrznym materiały, takie jak lód lub masy skalne, po przekroczeniu parametrów wytrzymałościowych zaczynają pękać, co przejawia się obrywaniem się mas lodu od czoła lodowca lub katastrofalnymi trzęsieniami ziemi.

Mimo ogromnego postępu naukowego, dokonanego w ostatnich dziesięcioleciach, wiele zjawisk w geofizyce wciąż pozostaje niewyjaśnionych. Stosowane powszechnie badawcze metody laboratoryjne oraz terenowe mają swoje ograniczenia. Dlatego w ostatnich latach coraz większe zainteresowanie wzbudza stosunkowo nowa technologia badawcza, jaką jest modelowanie numeryczne. Wzrastająca w szybkim tempie moc obliczeniowa komputerów pozwala na tworzenie coraz bardziej wyrafinowanych modeli i badanie zjawisk, do których tradycyjne metody badawcze nie dawały dostępu.

W niniejszej rozprawie podjęto się analizy zagadnienia pękania materiałów w zastosowaniach geofizycznych. Zastosowana została Metoda Elementów Dyskretnych, która idealnie nadaje się do symulowania procesu pękania, gdyż zakłada dyskretny model materii (składający się z cząstek), a także umożliwia rozpatrywanie wszelkiego rodzaju zagadnień związanych z ruchem obrotowym i postępowym cząstek. Przeprowadzone prace badawcze składały się z dwóch etapów. W pierwszym, podjęto się symulacji pękania materiału podczas trzech różnych testów materiałowych: ściskania jednoosiowego, próby brazylijskiej oraz jednoosiowego rozciągania. Celem było uzyskanie danych, których nie da się otrzymać podczas pomiarów laboratoryjnych. Należą do nich: energie cząstek - kinetyczna ruchu liniowego i rotacyjnego oraz energia potencjalna wiązań między cząstkami; zależności pomiędzy parametrami mikroskopowymi wiązań i ziaren oraz parametrami makroskopowymi materiału jako całości, a także wpływ wielkości cząstek (ziaren) na zachowanie materiału pod wpływem obciążenia zewnętrznego.

W drugim etapie badań podjęto się przejścia do niezwykle istotnego oraz bieżącego problemu, jakim są zmiany klimatyczne. Na wskutek ocieplenia klimatu lodowce tracą coraz większą część swojej masy w wyniku tzw. cielenia, czyli oberwania się bloku lodu i jego upadku do wody. Ponownie istotą tego procesu jest zjawisko pękania, a metoda DEM może być bardzo przydatna przy analizie tego procesu. W ramach przeprowadzonych badań stworzony został model lodowca, którego fragment pęka i spada do wody. Przeanalizowano różnorodne scenariusze, gdy bloki o różnych rozmiarach spadają z różnej wysokości. Wewnątrz lodowca i wody stworzono sieć odbiorników, mierzących przyspieszenia podczas całej symulacji. Podjęto próbę określenia, jak dwa parametry związane z cieleniem (rozmiar odrywającej się bryły lodu oraz wysokość, z której ta bryła spada) wpływają na przyspieszenia cząstek wody i lodowca.

Uzyskane dane dostarczyły informacji o sposobie, w jaki pękają materiały. W ramach symulacji ściskania jednoosiowego udało się stwierdzić, między innymi, że pękające materiały cechują się stałą zależnością pomiędzy różnymi energiami potencjalnymi wiązań pomiędzy cząstkami, niezależnie od ich parametrów makroskopowych. Największe energie potencjalne występowały podczas ściskania i ścinania pomiędzy cząstkami, najmniejsze w związku ze zginaniem oraz obrotami. W przypadku wyników dotyczących próby brazylijskiej, prawdopodobnie najbardziej interesująca jest liniowa zależność pomiędzy naprężeniem krytycznym (przy którym następuje pęknięcie) oraz odwrotnością rozmiaru najmniejszych cząstek tworzących materiał. W przypadku próby rozciągania jednoosiowego, odkryte zostały trzy klasy pękania materiału w zależności od parametrów wiązań pomiędzy cząstkami. Symulacje pękania lodowca dostarczyły informacje o propagacji sygnału w materiale podobnym do wody i materiale podobnym do lodu.

Piotr Klejment

*Piotr Klejment*