



Wydział Górnictwa, Inżynierii
Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej

**KATEDRA GEOMECHANIKI
I BUDOWNICTWA PODZIEMNEGO**



Silesian
University
of Technology



**RESEARCH
UNIVERSITY**
EXCELLENCE INITIATIVE
Ministry of Science
and Higher Education

Wybrane praktyczne elementy badań laboratoryjnych z zakresu mechaniki skał, jako podstawa do opisu własności masywu skalnego w kontekście projektowania oraz realizacji budowli i struktur energetycznych

Seminarium. POB6.11.
Strategia zrównoważonego rozwoju energetyki i energetyka gazowa
Gliwice, 30.06.2021r.

Dr inż. Krzysztof Tomiczek

Krzysztof.Tomiczek@polsl.pl

Tel.: +48 32 2372169, M.:+48 737994564

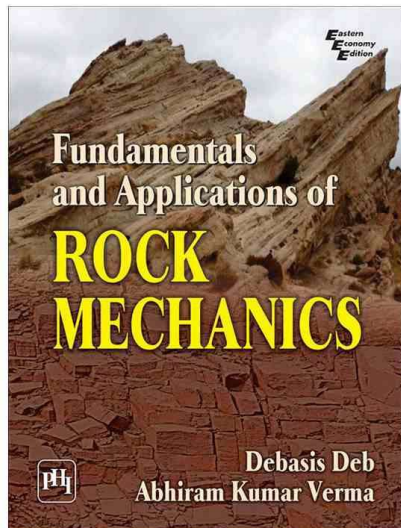
Skype/E-mail: K.Tomiczek@hotmail.com

Jakiegolwiek zmiany w górotworze wynikające z działalności człowieka wymagają wiedzy, nt. odpowiedzi górotworu wyrażającej się, m.in. zmianami pól naprężeń i przemieszczeń.

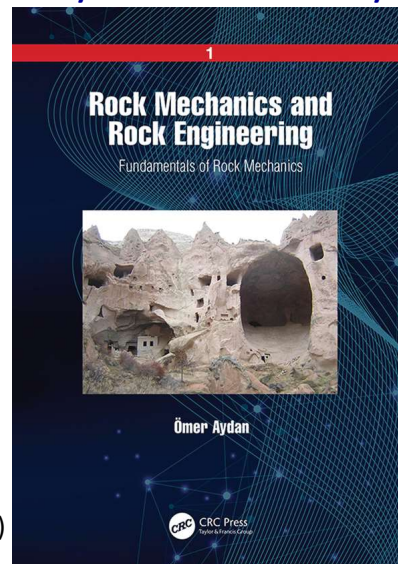
Podstawy teoretyczne i analizy zachodzących zjawisk w masywach skalnych są przedmiotem: **mechaniki skał, mechaniki górotworu i geomechaniki.**

Natomiast, bardzo obszerne dziedziny, takie jak mechanika gruntów i geotechnika skupiają się na opisanu zjawisk towarzyszących zmianom w płytszych strefach górotworu, a przedmiotem badań są zazwyczaj ośrodki gruntowe lub rozdrobniony materiał skalny.

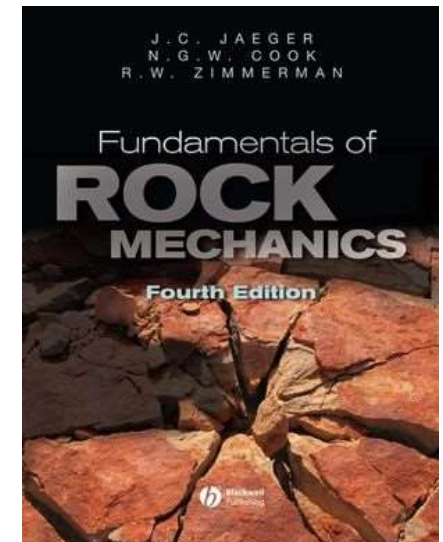
(Widely Publ., 2007-2021)



(PHI LEARNING PVT. LTD, 2016)



(CRC Press, 2019)



Silesian University
of Technology

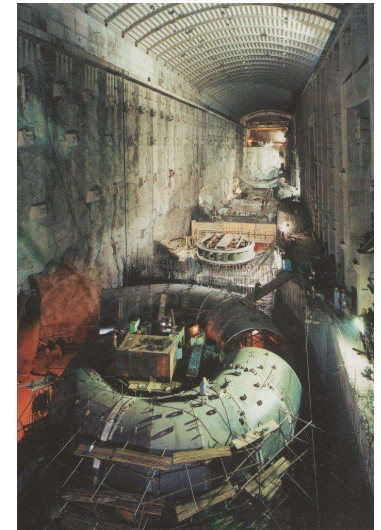


RESEARCH
UNIVERSITY
EXCELLENCE INITIATIVE

Przedmiotem mechaniki skał, mechaniki górotworu i geomechaniki są ośrodki skalne.

Oprócz pozyskiwania kopalnych surowców energetycznych, również ropy i gazu eksploatuje się, np. pierwiastki ziem rzadkich, metale półszlachetne i szlachetne.

Budowle podziemne związane z procesami wytwarzania energii i magazynowania surowców energetycznych, np. podziemne komory turbin hydroelektrowni i komory podziemnych strategicznych rezerw paliw wymagają wiedzy z zakresu (ogólnie) mechaniki górotworu.



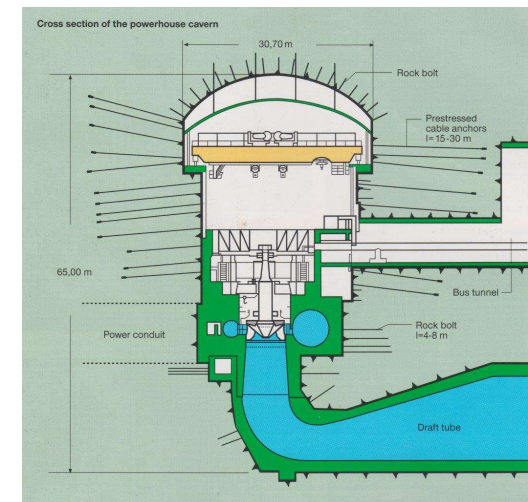
Podziemne komory hydroelektrowni Ertan (TRT Construction Programming, 2021)



Podziemny magazyn paliwa w komorze solnej (PV Magazine, 16.06.2020)



Podziemny magazyn paliwa w komorze kamiennej w Singapurze (Agapito Ass., Inc., 2021)



Składowiska odpadów poenergetycznych i szczególnie niebezpiecznych, np. radioaktywnych, składowanych w materiale skalnym wymagają wszechstronnych badań i opisanie własności materiału skalnego.



Naziemna i podziemne część podziemnego składowiska radioaktywnych odpadów po paliwie nuklearnym; składowanych jest 60 000 t, Wielkie Jeziora, Kanada (Detroit Free Press, 2020)

Miedziana kapsuła z odpadami radioaktywnymi po paliwie nuklearnym, Eurajoki, Finlandia (Reuters, 2019)



Z punktu widzenia *geoinżynierii energetycznej* materiał skalny górotworu traktowany jest sam w sobie, jako materiał, który ma stać się systemem *nośnym*, uzupełniającym potencjalnie zastosowaną dodatkową obudowę.

Dlatego materiał skalny wymaga szczegółowych badań i wyznaczenia stałych, które opisują jego własności.

Skały są materiałami:

- sprężysto-plastyczno-lepkimi (w różnym stopniu),
- niejednorodnymi (w różnej skali),
- nieciągłymi (w różnej skali),
- często izotropowymi, a często anizotropowymi.

Dodatkowo mają inne cechy strukturalne, np. cechuje je łupliwość oraz blokowość.

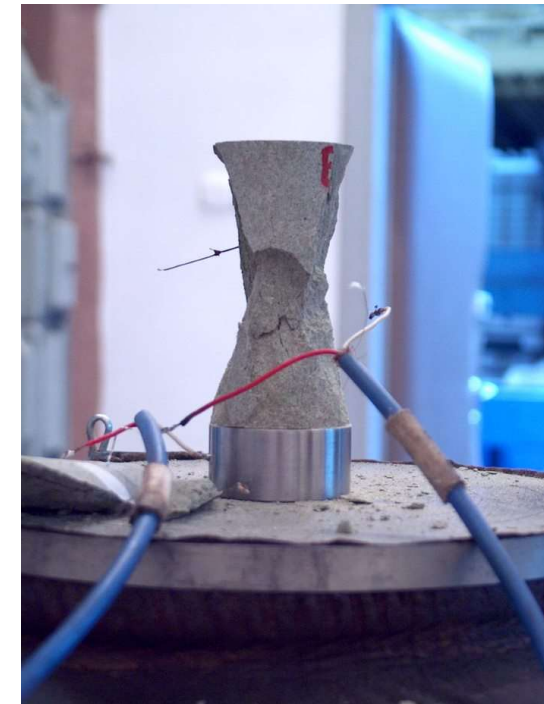


(zdj. autorskie)

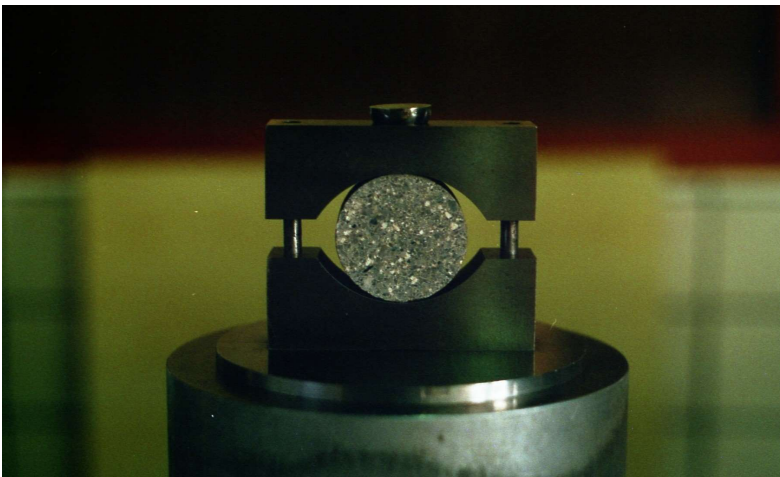


Stałymi materiałowymi, które najczęściej opisują własności skał są:

- wytrzymałość graniczna na (jednoosiowe) ściskanie σ_c , R_c (stała *ułomna*),
- wytrzymałość graniczna na (jednoosiowe) rozciąganie σ_T , R_r (stała *idealna*, ale niezwykle *kłopotliwa* do wyznaczenia),
- wytrzymałość na rozciąganie wyznaczona metodą pośrednią, np. brazylijską σ_{TB} (stosunkowo *prosta* do wyznaczenia, ale nie będąca *właściwą* stałą),
- spójność lub kohezja c (generalnie *poprawna* stała dla materiału skalnego),
- kąt tarcia wewnętrznego φ (generalnie *poprawna* stała dla materiału skalnego),

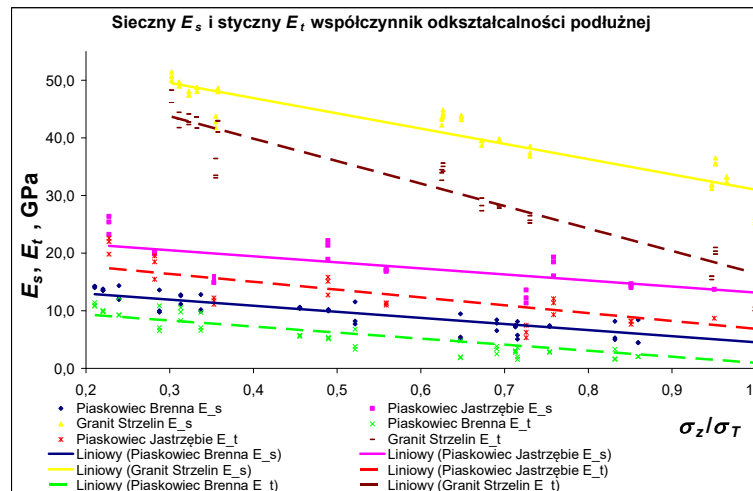


(zdj. autorskie)



Stałymi materiałowymi, które najczęściej opisują własności skał są (c.d.):

- moduł Younga E , a właściwie w przypadku skał liniowy współczynnik sprężystości podłużnej (ograniczona poprawność traktowania, jako modułu Younga),
- współczynnik Poissona ν (obarczony tym samym *grzechem pierwotnym* traktowania skał, jako ośrodków sprężystych),
- współczynniki odkształcalności postaciowej G i objętościowej K (oparte na E i ν),
- stałe warunku wytrzymałościowego Heoeka-Browna, bazujące na już wymienionych stałych (upraszczając) oraz wskaźnikach oceny jakości i naruszenia górotworu,
- inne stałe, których podstawą są wyżej wymienione.



(zdj. autorskie)



Zatem:

- 1. Wszelkie działania prowadzone w górotworze oraz w przypowierzchniowych warstwach skalnych, związane z realizacją budowli energetycznych i podziemnych składowisk, wymagają znajomości oraz zastosowania rozwiązań znanych z mechaniki skał i górotworu oraz geomechaniki.**
- 2. Bez zastosowania tych rozwiązań, poprawne opisanie zjawisk i ich konsekwencji jest często niemożliwe, a często błędne.**
- 3. Wiedzę o wytrzymałościowych i odkształceniowych właściwościach skał pozyskujemy na podstawie badań laboratoryjnych.**



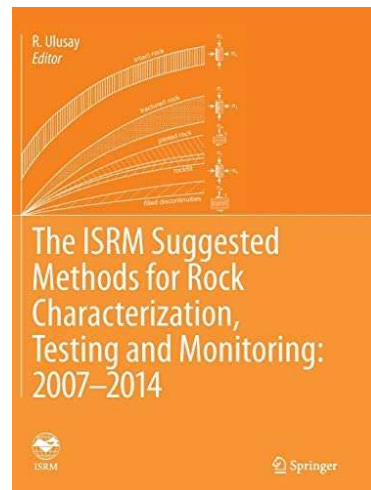
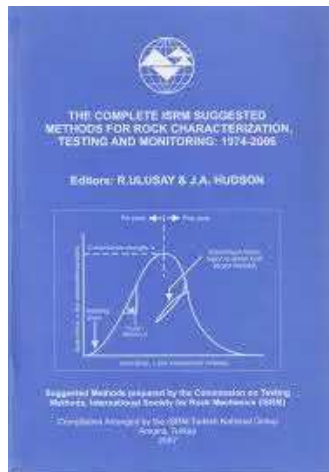
(Sari M., 2019)



Badania laboratoryjne skał (ale także niektórych materiałów ziarnistych) wymagają bazy badawczej i reżimów badawczych.

Zalecanymi metodami są: standardy ISRM i ASTM wykonywane na nienaruszonej skale (*intact rock*) w warunkach laboratoryjnych.

Np.: próbki i uchwyty/ podkładowki powinny być wykonane z wymaganą dokładnością i wymiarami/ smukłością. Dokładność wykonania próbek jest rzędu 2×10^{-2} mm, a podkładek używanych do badań 5×10^{-3} mm. Innymi rygorami są, np.: średnica/ długość krawędzi i smukłość, prędkość obciążania.



(ISRM, 2006, ISRM, Springer 2014)



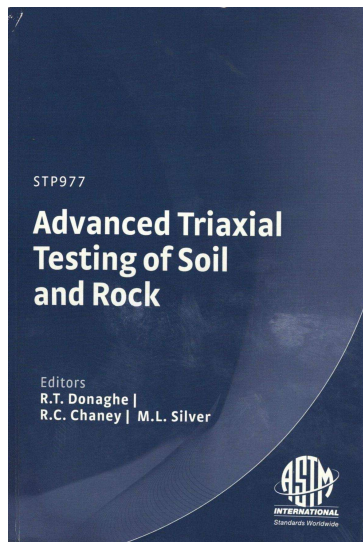
(zdjęcia autorskie)

Zalecane są badania laboratoryjne na próbkach wykonanych w warunkach laboratoryjnych z brył skalnych.

W celu uzyskania wymaganych dokładności niezbędne jest, np. szlifowanie próbek.

Za *prawdziwe* stałe opisujące własności wytrzymałościowe i odkształceniowe skał powinno uznawać się te, wyznaczone z zachowaniem wymaganych rygorów badań.

Badania powinny posiadać pełną dokumentację fotograficzną, a w przypadku pomiaru odkształceń - pełny zapis ścieżek naprężenie-odkształcenie.



(Astm Intl, 1988-2020)



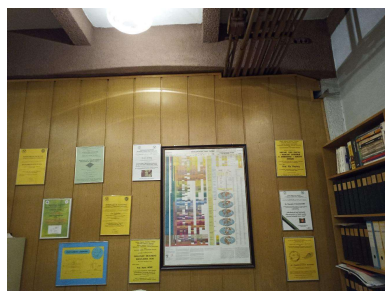
(zdjęcia autorskie)



Przykładowy zakres badań typowego laboratorium zajmującego się zagadnieniami mechaniki skał i górotworu, na przykładzie Laboratorium Mechaniki Skał (obecnie laboratoria Katedry Geomechaniki i Budownictwa Podziemnego) na Wydziale Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej (rok założenia 1975, prof. Marek Kwaśniewski, 1941-2014).

Zakres i tematyka badań

Zakres. Równania stanu, warunki stanu granicznego i stałe materiałowe skał, mechanika i zwiastuny kruchego pęknięcia, zachowanie się skał w warunkach wysokich ciśnień, zdolność do gromadzenia energii sprężystej, zachowanie się w stanie pokrytycznym i tąpliwość skał, pełzanie i własności reologiczne skał, tarcie w skałach, anizotropia mechanicznych własności skał, struktura geometryczna powierzchni ścianek spękań w skałach, mechanika spękanych ośrodków skalnych, stan naprężenia i przemieszczenia górotworu w sąsiedztwie wyrobisk, deformacje górotworu i powierzchni terenu pod wpływem eksploatacji podziemnej, geomechaniczne podstawy projektowania obudowy i utrzymywania wyrobisk, zapobieganie zagrożeniom ze strony górotworu.



(zdjęcia autorskie)



Tematyka badań:

- Równania konstytutywne i warunki stanu granicznego skał,
- Stałe materiałowe,
- Mechanika i zwiastuny kruchego pęknięcia skał,
- Zachowanie się skał w warunkach wysokich ciśnień,
- Zdolność do gromadzenia energii sprężystej, zachowanie się w stanie postkrytycznym i tąpliwość skał,
- Pełzanie i własności reologiczne skał,
- Tarcie w skałach,
- Anizotropia mechanicznych własności skał,
- Struktura geometryczna powierzchni ścianek spękań w skałach,
- Własności mechaniczne spękań i zachowanie się skał spękanych w polu sił,
- Deformacje i przemieszczenia górotworu poddanego wpływom eksploatacji podziemnej,
- Deformacyjne i dynamiczne przejawy ciśnienia górotworu w sąsiedztwie wyrobisk górniczych,
- Geomechaniczne podstawy projektowania wyrobisk i budowli podziemnych.



(zdjęcia autorskie)



Pracownie/laboratoria:

- badań wysokociśnieniowych,
- badań reologicznych,
- badań serwosterowanych,
- fraktografii,
- modelowania numerycznego w geomechanice,
- przygotowania próbek.

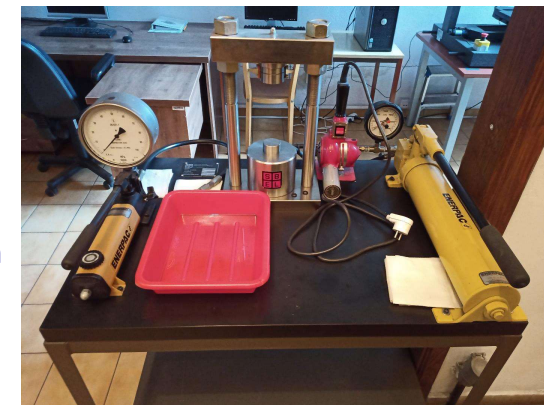


(zdjęcia autorskie)



Urządzenia i aparatura do badania mechanicznych własności skał:

- standardowa maszyna wytrzymałościowa EDZ-40 (400 kN, ściskanie/rozciąganie), standardowa prasa wytrzymałościowa EDB-60 (600 kN, ściskanie),
- serwohydrauliczna maszyna wytrzymałościowa SHM-MG 250/4 (250 kN, ściskanie/rozciąganie) do badań statycznych i dynamicznych sterowanych sygnałem siły, przemieszczenia lub odkształcenia,
- prasa sztywna (1,75 MN/mm) do badania zachowania się próbek skalnych w stanie pokrytycznym (480 kN, ściskanie),
- osiem pełzarek hydrauliczno-sprężynowych PSH-400 (480 kN) do badania skał na pełzanie przy jednoosiowym ściskaniu, pełzarkę do badania skał na pełzanie przy trójosiowym ściskaniu,
- dwie komory trójosiowe KTK-60 do badania skał na ściskanie przy ciśnieniach okólnych do 60 MPa, komorę trójosiową KTK-100 do badania skał na ściskanie przy ciśnieniach okólnych i porowych do 100 MPa,
- aparat trójosiowy ATK-400 "Unipress" do badania skał na ściskanie przy ciśnieniach okólnych i porowych do 400 MPa,
- aparat f-my SBEL (model RM-442) do badania skał na ściskanie przy ciśnieniach okólnych do 70 MPa
- praska ręczna LCP-20 do badania wytrzymałości skał na jednoosiowe ściskanie (200 kN), trzy praski ręczne do oznaczania wytrzymałości skał na obciążenie punktowe (100 kN),
- uchwyty do badania skał na rozciąganie bezpośrednie,
- przyrządy do oznaczania wytrzymałości granicznej skał na rozciąganie metodą brazylijską,
- przyrząd do oznaczania wytrzymałości materiału skalnego i spękań w skałach na ścinanie przy ściskaniu w uchwycie,
- przyrządy do badania próbek skalnych na ścinanie proste cylindryczne,
- czujniki i aparatura do pomiaru i rejestracji sił, ciśnień, odkształceń i przemieszczeń, w tym 16-kanalowy wzmacniacz pomiarowy MGCplus f-my Hottinger Baldwin Messtechnik,
- przyrządy do cechowania przetworników siły i przemieszczenia,
- komputerowy system akwizycji i przetwarzania danych pomiarowych z kartą PCL-718 12-bitowego przetwornika A/C.



(zdjęcia autorskie)



Do badania petrograficznych właściwości skał i geometrycznej struktury powierzchni spękań w skałach służą:

- polaryzacyjny mikroskop petrograficzny,
- sterowany komputerem profilomierz laserowy,
- kamera CCD i komputerowy system analizy obrazu.

Pracownia przygotowania próbek wyposażona jest, m. in. w:

- wiertarkę kadłubową WKA-40 do wywiercania walcowych rdzeni z bloków skalnych, ze specjalnym urządzeniem obrotowym umożliwiającym wywiercanie próbek w różnych kierunkach względem płaszczyzn warstwowania lub laminacji skały,
- wiertarkę słupową MAXION BS 35, dwie duże dwutarczowe przecinarki do skał typu PR-400B,
- przecinarkę stołową Minosecar 2,
- automatyczną szlifierkę do płaszczyzn służącą do szlifowania końców próbek skalnych,
- szlifierkę stołową do skał Montasupal 101 i szlifierko-polerkę laboratoryjną MPL-2.

Do wywiercania, przecinania i szlifowania próbek skalnych stosowane są narzędzia (koronki wiertnicze, tarcze i ściernice) diamentowe.



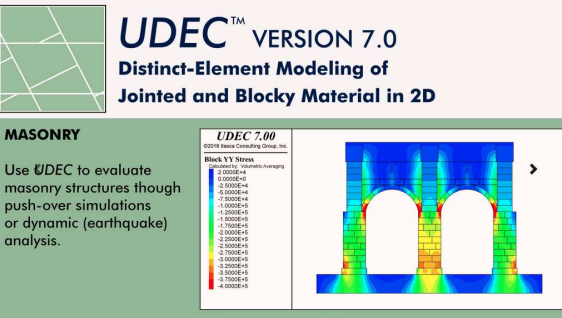
(zdjęcia autorskie)



Modelowanie numeryczne górotworu i badanie stanu naprężenia i przemieszczenia oraz deformacji ciągłych i nieciągłych górotworu w sąsiedztwie wyrobisk oraz budowli podziemnych wykonywane jest w pracowni modelowania numerycznego w geomechanice.

Pracownia ta, wyposażona w komputery klasy IBM PC, dysponuje programami metody elementów skończonych (FEM), metody różnic skończonych (FDM), metody elementów brzegowych (BEM) i metody elementów odrębnych (DEM), w tym między innymi następującymi programami f-my Itasca Consulting Group, Inc.:

- FLAC (*Fast Lagrangian Analysis of Continua*) v. 8.1,
- FLAC3D v. 7.0,
- UDEC (*Universal Distinct Element Code*) v. 5.0,
- 3DEC v. 4.1,
- PFC2D (*Particle Flow Code*) v. 3.1,
- PFC3D v. 3.1.

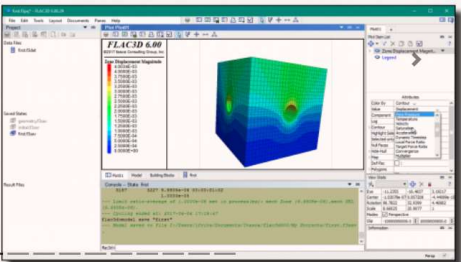


UDEC™ VERSION 7.0
Distinct-Element Modeling of Jointed and Blocky Material in 2D

MASONRY
Use UDEC to evaluate masonry structures through push-over simulations or dynamic (earthquake) analysis.

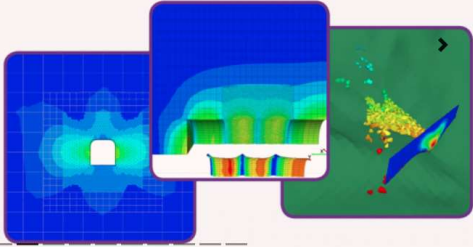
UDEC 7.00
©2018 Itasca Consulting Group, Inc.

Block, YY Stress
Legend: 2.0000E+4, 0.0000E+0, -6.0000E+4, -1.0000E+5, -1.5000E+5, -2.0000E+5, -2.5000E+5, -3.0000E+5, -3.5000E+5, -4.0000E+5



FLAC3D™ VERSION 7.0
Explicit Continuum Modeling of Non-linear Material Behavior in 3D

WATCH THE QUICK START TUTORIAL
This tutorial steps through the actions necessary to quickly create and solve a FLAC3D model using the latest tools.



PFC™ VERSION 7.0
General Purpose Distinct-Element Modeling Framework

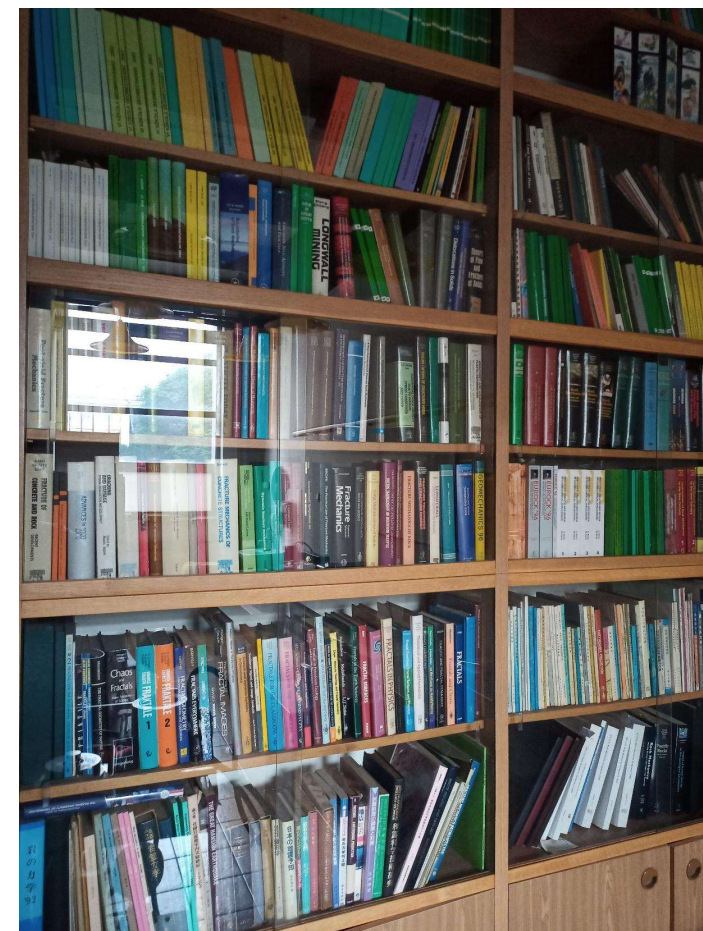
PFC3D & FLAC3D Coupling

(źródło: Itasca C.G., 2021)



Działalność dydaktyczna - zajęcia laboratoryjne i projektowe ze studentami.

Biblioteka – ponad 2000 pozycji książkowych i około 1500 artykułów.



(materiały autorskie)

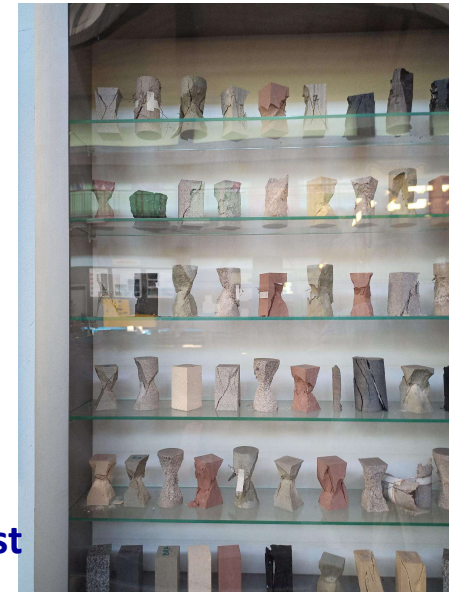


Silesian University
of Technology



Podsumowanie

- Wszelkie działania prowadzone w masywie skalnym, również te związane z budowlami energetycznymi, wymagają zbadania i opisanie własności ośrodka skalnego,
- W przypadku budowli energetycznych oraz składowisk odpadów poenergetycznych, ze względu na gabaryty i specyfikę, prawidłowa ocena cech masywu skalnego jest szczególnie istotna,
- Badania laboratoryjne na materiale skalnym powinny być prowadzone zgodnie z zalecanymi reżimami,
- *Tylko* stałe wyznaczone zgodnie z tymi normami mogą być uznane za *prawdziwe stałe materiałowe*,
- Dobrą weryfikacją poprawności wykonania badań laboratoryjnych skał jest obraz próbek po zniszczeniu.



Text and information, incl. based on the project of the RML website in the years 1998-2005 and the presentation: Tomiczek K., "Selected laboratories and research laboratory scopes at the Faculty of Mining and Geology", English paper for students from the Department of Geomechanics and Underground Construction of the Faculty of Civil Engineering in Ostrava (Czech Republik) and students from the Faculty of Civil Engineering of the Silesian University of Technology (Poland), under the supervision of doc. RNDr. Eva Hruběšová, PhD (October 22, 2013).

(zdjęcia autorskie)



Silesian University
of Technology



RESEARCH
UNIVERSITY
EXCELLENCE INITIATIVE

Źródła

Examples of international research projects (selected):

- Kwaśniewski M.: "Mechanics of jointed rock masses - Geometric Surface Structure and Mechanical Properties of Rock Joints" (1996-2014) Research partner: China University of Mining and Technology, Beijing Campus, P. R. China
- Kwaśniewski M.: "Study of the dilatant behavior of rocks under general triaxial compression conditions" (2003-2014) Research partner: Research Center for Deep Geological Environments, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) in Tsukuba Japan "Fault micro-behavior project" (1999-2014)

Examples of doctoral thesis (selected):

- Wang Jin-an (Institute of Mining and Technology in Xi'an, Shaanxi Province, P. R. CHINA), Morphology and Mechanical Behavior of Rock Joints. The thesis was submitted to the Faculty Council of the Department of Mining Engineering of the Silesian University of Technology in June 1994.
- Nguyen-viet-Hung (Hanoi University of Technology, Vietnam), Anisotropy of Rheological Properties of Selected Carboniferous Rocks (Thesis submitted to the Faculty Council of the Department of Mining Engineering of the Silesian University of Technology).
- The public defense of the thesis took place on 4th November 1980.
- Chilkhaagiyn Tegshsaykhan (Scientific-Research and Industrial Institute of Geology and Ore Mining in Ulaanbaatar, Mongolia), Anisotropy of Strength and Deformational Properties of Selected Carboniferous Rocks (Thesis submitted to the Faculty Council of the Department of Mining Engineering of the Silesian University of Technology).

Articles (5 selected):

1. Lin W., Kwaśniewski M., Imamura T. & Matsuki K.: Determination of three-dimensional in situ stresses from anelastic strain recovery measurement of cores at great depth. *Tectonophysics*, Vol. 426, 221-238, 2006.
2. Kwaśniewski M. & Takahashi M.: On the dilatant behavior of rocks under general triaxial compression conditions. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 04870, 2006.
3. Zhou H., Xie H. & Kwaśniewski M.A.: Developments in characterization of surface topography of rock joint. *Progress in Natural Science*, Vol. 11, No. 7, 481-489, 2001.
4. Wang J., Xie H. & Kwaśniewski M.: Fractal properties of rock fracture surfaces. *Journal of Coal Science & Engineering (China)*, Vol. 2, No. 1, 16-23, 1996.
5. Mogi K., Kwaśniewski M. & Mochizuki H.: Fracture of anisotropic rocks under general triaxial compression. *Seismological Society of Japan Bulletin*, No. 1, D40, 225, 1978. (in Japanese)

Book chapters (5 selected):

1. Kwaśniewski M. and Takahashi M.: Effect of confining pressure, intermediate principal stress and minimum principal stress on the mechanical behavior of a sandstone. In *Proceedings of the 11th Congress of the International Society for Rock Mechanics*, Lisbon, July 9-13, 2007 (Edited by L. Ribeiro e Sousa et al.), Vol. 1, pp. 237-242. Taylor & Francis/Balkema, Leiden 2007.
2. Takahashi M., Takemura T., Kato M., Kwaśniewski M. & Li X.: New model for the volumetric strain of rocks under high differential stress and large shear displacement. In *Proceedings of the 11th Congress of the International Society for Rock Mechanics*, Lisbon, July 9-13, 2007 (Edited by L. Ribeiro e Sousa et al.), Vol. 1, pp. 351-354. Taylor & Francis/Balkema, Leiden 2007.
3. Wang J.A., Xie H. and Kwaśniewski M.A.: Direct fractal measurement of rock fracture surfaces. In *Proc. of 5th Symp. of Chinese Soc. Rock Mech. and Rock Engng.*, pp. 220-225, Shanghai, November 1998.
4. Kwaśniewski M. and Mogi K.: Effect of the intermediate principal stress on the failure of a foliated anisotropic rock. In *Mechanics of Jointed and Faulted Rock* (Edited by H.P.Rossmann), pp. 407-416. Balkema, Rotterdam 1990.
5. Borecki M., Kwaśniewski M. und Oleksy S.: Die gefahrlose Abbauteufe bei der Hereingewinnung eines Floezes im Schachtschutzpfeiler mit Hinsicht auf den Schutz des Schachtrohres im Bereich wasserhoeffiger Schichten. III. *Internationale Symposium fuer Markscheidewesen*, Band 2, 333, Leoben 1976.



Źródła

Presentations (5 selected):

1. Takahashi M., Takemura T., Kato M., Kwaśniewski M. & Li X.: New model for the volumetric strain of rocks under high differential stress and large shear displacement. The 11th Congress of the International Society for Rock Mechanics, Lisbon, July 9-13, 2007.
2. Kwaśniewski M. and Fernandez Alvarez-Santullano F.: Dependence of the pre-failure deformational characteristics and of macrofracturing mode of rock samples on the height-to-diameter ratio. The ISRM Regional Symposium EUROCK 2004 Rock Engineering - Theory and Practice, Salzburg, October 7-9, 2004.
3. Kwaśniewski M. and Mogi K.: Faulting in an anisotropic, schistose rock under general triaxial compression. The Fourth North American Rock Mechanics Symposium. Seattle, Washington USA, July 31 - August 3, 2000.
4. Xie H., Zhou H.W., Wang J.A., Kwaśniewski M.A. and Li L.Z.: Numerical prediction method of rock mechanics in mining subsidence. 5th Symposium of the Chinese Society for Rock Mechanics and Rock Engineering. Shanghai, November 1998.
5. Kwaśniewski M. and Mogi K.: Effect of the intermediate principal stress on the failure of a foliated anisotropic rock. International Conference on Mechanics of Jointed and Faulted Rock, Vienna AUSTRIA, April 18-20, 1990.

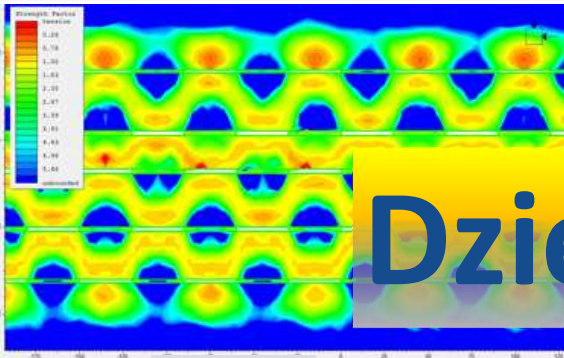
Articles in Polish (5 selected):

1. Kwaśniewski M.: Wytrzymałość skały w warunkach trójosiowego ściskania. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1756, seria Budownictwo z. 111 (Materiały Konferencji Naukowej nt. "Teoretyczne i praktyczne aspekty geotechniki" z okazji Jubileuszu 70-lecia urodzin Profesora Macieja Gryczmańskiego), 255-266, 2007.
2. Kwaśniewski M., Takahashi M. & Li X.: Sur le comportement dilatant d'un gres dans les conditions de compression triaxiale vraie. *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. XXVII, No. 1-2, 117-124, 2005.
3. Kwaśniewski M. & Mogi K.: Faulting of a foliated rock in a general triaxial field of compressive stresses. In *Tectonophysics of Mining Areas* (Edited by A. Idziak), pp. 209-232. *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego*, nr 1602. Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 1996.
4. Kwaśniewski M. i Wang J.-A.: Symulacja komputerowa eksploatacji pokładu węgla systemem ścianowym z zawałem stropu, I. Pole przemieszczeń i strefy spękań w górotworze. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, nr 1256, seria Górnictwo, z. 221, 239-266, Gliwice 1994.
5. Borecki M., Chudek M. i Oleksy S.: Problemy wpływu anizotropii masywu skalnego na stan naprężeniowo-deformacyjny wokół wyrobisk górniczych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej* nr 555, seria Górnictwo z. 85, 15-28, 1977.

Articles in Polish publishing houses (5 selected):

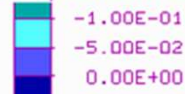
1. Winkler T., Szyguła M., Tokarczyk J. i Kwaśniewski M.: Próba identyfikacji dynamicznego oddziaływania górotworu na obudowy zmechanizowane metodami elementów odrębnych i skończonych. W monografii pt. "Zabezpieczenie systemów mechanicznych w górnictwie przed skutkami oddziaływania dużych energii" (A. Klich i A. Meder, red.), s. 209-220. Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 2004.
2. Kwaśniewski M., Takahashi M. & Li X.: On the dilatant behavior of sandstone under true triaxial compression conditions (Extended abstract). In W. Zuberek (ed.), *Mining Geophysics*, Publications of the Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences, Monographic Volume, M-24 (340), 321-324, 2002.
3. Kwaśniewski M. & Wang J.-A.: 3-D Numerical Modeling and Study of Mine Tremors Associated with Coal Mining in the Vicinity of Major Faults. *Publications of the Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences*, M-22 (310), 351-364, 1999.
4. Borecki M., Kwaśniewski M., Oleksy S., Berszakiewicz Z. i Pacha J.: Odształceniowe i wytrzymałościowe własności pewnego piaskowca Jastrzębie w warunkach konwencjonalnego trójosiowego ściskania. W monografii pt. "Metody i środki eksploatacji na dużych głębokościach - Wybrane zagadnienia", 55-76. Politechnika Śląska, Gliwice 1982.
5. Borecki M. i Kwaśniewski M.: Stałe sprężystości transwersalnie izotropowych skał karbońskich z kopalń Jastrzębie i Moszczenica. W monografii pt. "Metody i środki eksploatacji na dużych głębokościach - Wybrane zagadnienia", 249-277. Politechnika Śląska, Gliwice 1982.





Pillar systems

X-displacement contours



Contour interval= 5.00E-02



Dziękuję za uwagę!



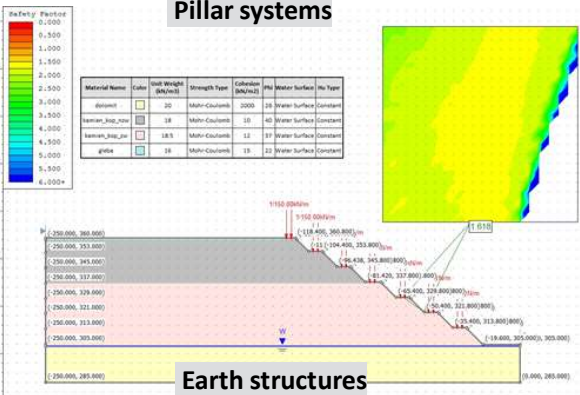
Numerical simulations of the behavior of rock masses under mining exploitation

Rheological research. Rock and soil creep under uni- and triaxial compression.

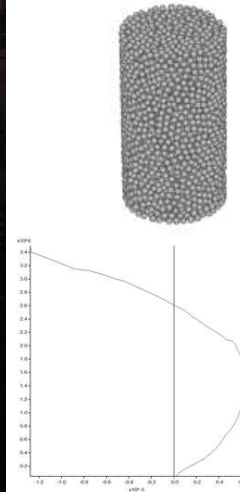
Numerical simulations of laboratory tests of the strength and deformation properties of rocks and soils



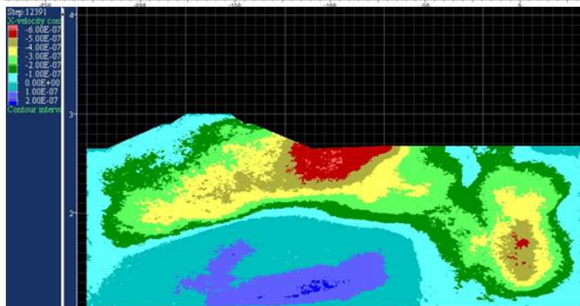
Laboratory tests of the properties of rocks, soils and granular materials



Earth structures



Shear tests



Stability of slopes and earth structures. Soil migration and flow studies.



Silesian University of Technology