

**УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ - ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ**

**UNIVERSITY GOCE DELCEV - STIP
FACULTY OF NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES**

UDC: 622:55:574:658

ISSN: 185-6966

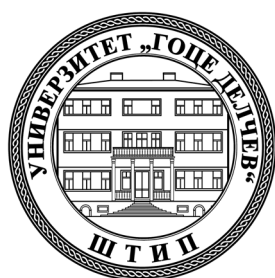
Природни ресурси и технологии Natural resources and technology

**Број 14
No 14**

**Година 14
Volume XIV**

**Декември 2020
December 2020**

**УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” – ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ**



**Природни ресурси и технологии
Natural resources and technologies**

**декември 2020
December 2020**

**ГОДИНА 14
БРОЈ 14**

**VOLUME XIV
NO 14**

**UNIVERSITY “GOCE DELCEV” – STIP
FACULTY OF NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES**

ПРИРОДНИ РЕСУРСИ И ТЕХНОЛОГИИ
NATURAL RESOURCES AND TECHNOLOGIES

За издавачот

Проф. д-р Зоран Десподов

Издавачки совет

Проф. д-р Блажо Боев
Проф. д-р Зоран Десподов
Проф. д-р Лилјана Колева - Гудева
Проф. д-р Зоран Панов
Проф. д-р Борис Крстев
Проф. д-р Мирјана Голомеова
Проф. д-р Благој Голомеов
Проф. д-р Дејан Мираковски
Проф. д-р Тодор Серафимовски
Проф. д-р Војо Мирчовски
Проф. д-р Тена Шијакова - Иванова
Проф. д-р Соња Лепиткова
Проф. д-р Гоше Петров
Проф. д-р Кимет Фетаху,
(Политехнички универзитет во Тирана, Р.Албанија)
Проф. д-р Ивајло Копрев,
(МГУ Софија, Р. Бугарија)
Проф. д-р Никола Лилиќ,
(Универзитет во Белград, Р. Србија)
Проф. д-р Јоже Кортник
Универзитет во Љубљана, Р. Словенија
Проф. д-р Даниела Марасова,
(Технички универзитет во Кошице, Р. Словачка)

Editorial board

Prof. Blazo Boev, Ph.D
Prof. Zoran Despodov, Ph.D
Prof. Liljana Koleva - Gudeva, Ph.D
Prof. Zoran Panov, Ph.D
Prof. Boris Krstev, Ph.D
Prof. Mirjana Golomeova, Ph.D
Prof. Blagoj Golomeov, Ph.D
Prof. Dejan Mirakovski, Ph.D
Prof. Todor Serafimovski, Ph.D
Prof. Vojo Mircovski, Ph.D
Prof. Tena Sijakova - Ivanova, Ph.D
Prof. Sonja Lepitkova, Ph.D
Prof. Gose Petrov, Ph.D
Prof. Kimet Fetahu, Ph.D
R. Albania
Prof. Ivajlo Koprev, Ph.D
R. Bulgaria
Prof. Nikola Lilik, Ph.D
R. Srbija
Prof. Joze Kortnik, Ph.D
R. Slovenia
Prof. Daniela Marasova, Ph.D
R. Slovacka

Редакциски одбор

Проф. д-р Зоран Десподов
Проф. д-р Зоран Панов
Проф. д-р Борис Крстев
Проф. д-р Мирјана Голомеова
Проф. д-р Благој Голомеов
Проф. д-р Дејан Мираковски
Проф. д-р Николинка Донева
Проф. д-р Марија Хаци - Николова

Editorial staff

Prof. Zoran Despodov, Ph.D
Prof. Zoran Panov, Ph.D
Prof. Boris Krstev, Ph.D
Prof. Mirjana Golomeova, Ph.D
Prof. Blagoj Golomeov, Ph.D
Prof. Dejan Mirakovski, Ph.D
Prof. Nikolinka Doneva, Ph.D
Prof. Marija Hadzi - Nikolova, Ph.D

Главен и одговорен уредник
Проф. д-р Афродита Зенделска

Managing & Editor in chief
Prof. Afrodita Zendelska, Ph.D

Јазично уредување
Весна Ристова
(македонски јазик)

Language editor
Vesna Ristova
(macedonian language)

Техничко уредување
Славе Димитров

Technical editor
Slave Dimitrov

Редакција и администрација
Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип
Факултет за природни и технички науки
ул. „Гоце Делчев“ 89, Штип
Република Северна Македонија

Address of the editorial office
Goce Delcev University - Stip
Faculty of Natural and Technical Sciences
Goce Delcev 89, Stip
Republic of North Macedonia

С о д р ж и н а / C o n t e n t s

Благој Голомеов, Мирјана Голомеова, Афродита Зенделска КОНТРОЛА НА ФИЛТРАЦИОНИТЕ ПРОЦЕСИ НИЗ ТЕЛОТО НА БРАНАТА НА ЈАЛОВИШТЕ 3-2 НА РУДНИК „САСА“ Vlagoj Golomeov, Mirjana Golomeova, Afrodita Zendelska CONTROLLING OF FILTRATION PROCESSES THROUGH THE BODY DAM OF TFS 3-2 AT MINE SASA	5
Радмила Каранакова Стефановска, Зоран Панов, Ристо Поповски КОМЕРЦИЈАЛИЗАЦИЈА НА ПОДЗЕМНАТА ГАСИФИКАЦИЈА НА ЈАГЛЕН ВО ЗЕМЈИТЕ ОД ЕВРОПСКАТА УНИЈА Radmila Karanakova Stefanovska, Zoran Panov, Risto Popovski THE MAINSTREAMING OF UNDERGROUND COAL GASIFICATION IN EUROPEAN UNION COUNTRIES	13
Ванчо Аџиски, Зоран Панов, Ристо Поповски, Радмила Каранакова Стефановска МЕТОД НА ДИСКРЕТНИ ЕЛЕМЕНТИ (ДЕМ) ЗА АНАЛИЗА НА СЕГРЕГАЦИЈАТА НА ГРАНУЛАРНИ МАТЕРИЈАЛИ: АНАЛИЗА НА ОДЛАГАЛИШТЕ ФОРМИРАНО ОД ЛЕНТЕСТ ТРАНСПОРТЕР Vancho Adjiski, Zoran Panov, Risto Popovski, Radmila Karanakova Stefanovska DISCRETE ELEMENT METHOD (DEM) FOR SEGREGATION ANALYSIS OF GRANULAR MATERIALS: ANALYSIS OF STOCKPILE FORMED BY CONVEYOR BELT	19
Зоран Панов, Ванчо Аџиски, Афродита Зенделска, Ристо Поповски, Радмила Каранакова Стефановска ОСВРТ КОН ПРИМЕНА НА МАТЕМАТИЧКО – МОДЕЛИСКИ ПРИСТАПИ ПРИ ГЕОМЕХАНИЧКИ ЛАБОРАТОРИСКИ ИСПИТУВАЊА Zoran Panov, Vancho Adjiski, Afrodita Zendelska, Risto Popovski, Radmila Karanakova Stefanovska APPROUCH OF APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELLING IN GEOMECHANICAL LABARATORY TESTS	27
Дејанчо Тонев, Дејан Мираковски, Марија Хаџи-Николова МОДЕЛИРАЊЕ НА ДИСПЕРЗИЈА НА ПРАШИНА НА ПЛАНИРАНИОТ ПОВРШИНСКИ КОП ЗА БАКАР И ЗЛАТО „ПЛАВИЦА“ Dejancho Tonev, Dejan Mirakovski, Marija Hadzi-Nikolova DUST DISPERSION MODELING WITHIN PLANNED COPPER AND GOLD “PLAVICA” SURFACE MINE	39
Иван Боев ПЕТРОЛОГИЈА НА ВУЛКАНСКИТЕ КАРПИ ОД ОБЛАСТА ДОБРО ПОЛЕ ГРАДЕШНИЦА РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА Ivan Bоеv PETROLOGY OF VOLCANIC ROCKS OF AREA DOBRO POLE-GRADESNICA NORTH MACEDONIA	49
Афродита Зенделска, Николинка Донева, Марија Хаџи-Николова, Дејан Мираковски, Ѓорѓи Димов ЕКОЛОШКИ ЕФЕКТИ ОД СПРОВЕДУВАЊЕ НА ПРОЕКТОТ „БИООТПАД“ ВО ОПШТИНА ПРОБИШТИП Afrodita Zendelska, Nikolinka Doneva, Marija Hadzi-Nikolova, Dejan Mirakovski, Gorgi Dimov ECOLOGICAL EFFECTS FROM THE IMPLEMENTATION OF THE PROJECT “BIOWASTE” IN MUNICIPALITY OF PROBISHTIP	63

Марија Хаци-Николова, Дејан Мираковски, Ѓорги Димов, Николинка Донева, Афродита Зенделска ПРИМЕНА НА АВТОНОМНИ КОМПОСТЕРСКИ ЕДИНИЦИ ВО УПРАВУВАЊЕ СО БИОРАЗГРАДЛИВИОТ ОТПАД Marija Hadzi-Nikolova, Dejan Mirakovski, Gorgi Dimov, Nikolinka Doneva, Afrodita Zendelska IMPLEMENTATION OF AUTONOMOUS COMPOSTING UNITS IN BIODEGRADABLE WASTE MANAGEMENT	71
Благица Донева, Марјан Делипетрев, Ѓорги Димов ЗАГАДУВАЊЕ НА ВОДИТЕ И СЕДИМЕНТИТЕ ОД ТАБАНОВСКА РЕКА СО ТЕШКИ МЕТАЛИ ОД ПОРАНЕШНИОТ РУДНИК „ЛОЈАНЕ“ Blagica Doneva, Marjan Delipetrev, Gorgi Dimov POLLUTION OF WATER AND SEDIMENTS FROM TABANOVSKA RIVER WITH HEAVY METALS FROM THE ABANDONED MINE LOJANE.....	79
Јане Томов, Зоран Десподов ПРИМЕНА НА МЕТОДИТЕ ЗА ПОВЕЌЕ КРИТЕРИУМСКО ОДЛУЧУВАЊЕ ПРИ ДОНЕСУВАЊЕ НА ОДЛУКИ ВО ИНДУСТРИСКОТО ИНЖЕНЕРСТВО И ПРОИЗВОДСТВО Jane Tomov, Zoran Despodov APPLICATION OF THE METHODS OF MULTI CRITERIA DECISION MAKING IN INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANUFACTURING	87

ОСВРТ КОН ПРИМЕНА НА МАТЕМАТИЧКО – МОДЕЛИСКИ ПРИСТАПИ ПРИ ГЕОМЕХАНИЧКИ ЛАБОРАТОРИСКИ ИСПИТУВАЊА

Зоран Панов¹, Ванчо Адиски¹, Афродита Зенделска¹, Ристо Поповски¹,
Радмила Каранакова Стефановска¹

¹ Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип
zoran.panov@ugd.edu.mk

Апстракт. Во овој труд даден е пристап кон можна примена на математичко – моделски истражувања при геомеханички испитувања. При тоа, се направени конкретни геомеханички лабораториски испитувања на примерок на ганит. Потоа за овие испитувања, е направено математичко – моделски истражувања со цел замена моделирање на физичко – механичките истражувања. При тоа, лабораториски материјалот е здробен, класиран и се пресметани волуменската маса во природна и растресита состојба (по дробењето). Исто така, е подготвен 3D модел со реконструкција на слики од реалниот модел. Потоа, од овој 3D модел со примена на DEM (Discrete Element Method), е направен модел од честички (зрна) кои го заменуваат здробениот материјал и на кој се анализирани некои физичко – механички карактеристики. Со компаративна анализа е дефинирана разликата помеѓу реалните лабораториски и моделираните резултати.

Клучни зборови: моделирање, анализа, геомеханика, испитувања, DEM, парчиња.

APPROUCH OF APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELLING IN GEOMECHANICAL LABARATORY TESTS

Zoran Panov¹, Vancho Adjiski¹, Afrodita Zendelska¹, Risto Popovski¹,
Radmila Karanakova Stafanovska¹

¹ Faculty of Natural and Technical Sciences, Goce Delcev University, Stip, Macedonia
zoran.panov@ugd.edu.mk

Abstract. This paper provides an approach to the possible application of mathematical-model research in geomechanical tests. In addition, specific geomechanical laboratory tests were performed on a granite sample. After that for these tests, mathematical-model research was done in order to replace the modeling of physical-mechanical research. The laboratory material is crushed, classified and it is calculated the volume mass in the natural state and in the loose state (after crushing). Also, 3D model has been prepared with the reconstruction of images from the real model. Then, from this 3D model, using the DEM (Discrete Element Method), is made a model of particles (pieces), that replace the crushed material. On this model are analyzed some physical-mechanical characteristics. A comparative analysis defines the difference between actual laboratory and modeled results.

Kew words: Modelling, Analysis, Geomechanics, Tests, DEM, particles.

1. Вовед

Геомеханичките лабораториски испитувања денес бараат софистицирана опрема, едуцирани кадри и пред сè во многу експерименти долго време за изведување на одредените тестови. Често пати овие опити можат да бидат и релативно скапи и да бараат користење на скапа опрема. Од овие причини, се наметна потребата од размислување кон изработка на одредени пристапи кои „евтини“ и брзи постапки како што се математичкото моделирање, особено примената на DEM моделирањето и 3D реконструкцијата на 2D слики со цел добивање на 3D модели. Вака формираните модели би можеле со примена на соодветни математичко – моделиски методологии да симулираат одредени постапки и тестови во геомеханичките лабораториски испитувања.

Основната цел на овој труд е да се дефинираат некои пристапи кон примена на математичкото моделирање во геомеханичките испитувања. Тоа значи дека со ова ќе се дефинира само почетно истражување кое би требало понатаму да се користи во изработка на далеку посфистицирани моделирања.

Предметот на истражување е тврда карпа, ганит и неговото моделирање за некои негови физичко – механички карактеристики.

Според анализата на досегашните истражувања во Светот од оваа проблематика можат да се издвојат интересни истражувања. Од нив, на пример се истражувањата нааправени од Barrios, GK et al. [1], Fang, H. Y. et al. [2] и др.

2. Материјал и метод на работа

Истражувањето е направено на примероци од ганит земен од околината на Штип (во близина на штипскиот Исар). Парчињата на ганит се земени површински. За да се утврди видот на примерокот – карпа, освен визуелно препознавање од страна на геолози од Факултетот, направен е и минералошко – петролошко препарат, преку микроскопска анализа, е утврдено дека станува збор за ганит.



Слика 1. Примерок од ганит
Figure 1. Granite sample



Слика 2. Челојска дробилка (PEF100x60)
Figure 2. Jaw crusher (PEF 100x60)

Понатаму примероците се здробени со челојска лабораториска дробилка со отвор од 8 mm. Дробењето е направено на примероци со маса од околу 700 г.

По дробењето, материјалот лабораториски е класиран со суво сеење со 7 сита. Ситовата анализа е дадена во Табела 1. За секоја од добиените осум класи поединечно се измерени масата и волуменот, а потоа е пресметана волуменската густина во растресита состојба (Табела 1). На Слика 3 се дадени користените лабораториски сита од Тајлеровата (Tyler) серија на сита, а на Слика 4 се прикажани ганулометриските криви на просев и отсев.

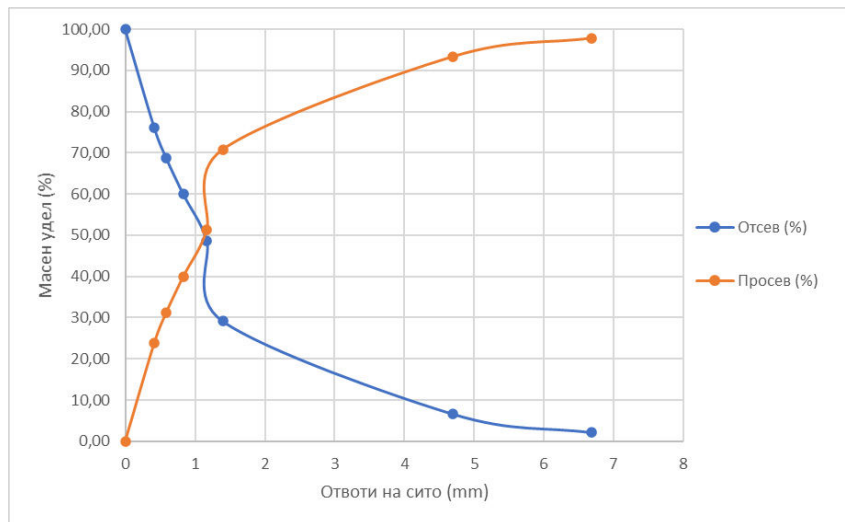


Слика 3. Тајлерова серија на сита
Figure 3. Tyler sieve series

Табела 1. Класирање на материјал
Table 1. Material classification

Класа на материјал	Отвор на сито	Маса	Маса	Отсев	Просев	Волумен (во растресита состојба)	Волуменска густина (во природна состојба)	Волуменска густина (во растресита состојба)
	mm	g	%	%	%	cm ³		g/cm ³
1	+ 6,680	15.20	2.17	2.17	100.00	13.18	1.99	1.15
2	- 6,680 + 4,699	31.40	4.49	6.66	97.83	28.26	2.01	1.11
3	- 4,699 + 1,397	157.80	22.54	29.20	93.34	126.65	2.10	1.25
4	- 1,397 + 1,168	136.70	19.53	48.73	70.80	105.15	2.09	1.30
5	- 1,168 + 0,833	78.70	11.24	59.97	51.27	57.07	2.17	1.38
6	- 0,833 + 0,589	61.40	8.77	68.74	40.03	44.43	2.22	1.38
7	- 0,589 + 0,417	51.50	7.36	76.10	31.26	36.81	2.39	1.40
8	- 0,417	167.30	23.90	100.00	23.90	109.42	2.50	1.53
Вкупно		700.00	100.00			520.97	2.21	1.34

Во Табела 1 се дадени добиените податоци за основните физичко – механички карактеристики на анализираниот ганит: маса, волумен и волуменска густина во природна растресита состојба, за секоја од класите на материјал. Врз основа на овие податоци пристапено е кон моделирање на парчињата на класиран материјал со правилни геометриски форми. Како наједноставен начин на моделирање секако е примената на сфери. Поточно, зрната со одреден радиус се заменуваат со сфера со истиот радиус. Во Табела 2, се дадени податоците од моделот, односно дијаметарот, радиусот и волуменот на честичките – моделирани во сфери.



Слика 4. Ганулометричка крива на анализираниот ганит
Figure 4. Granulometric curve on the analyzed granite

Табела 2 претставува продолжение на моделирањето и пресметките започнати во Табела 1. Ако го знаеме волуменот на честичката која е репрезент на дадена класа на материјал, тогаш лесно можеме да ја пресметаме и нејзината маса, како производ од волуменот и зафатнинската густина (Табела 3).

Табела 2. Формирање на модел (1)
Table 2. Model creation (1)

Класа на материјал	Дијаметар на честичка (модел)	Радиус на честичка (модел)	Радиус на честичка (модел)	Волумен на честичка во форма на сфера (модел)
	mm	mm	cm	cm ³
1	6.70	3.35	0.335	0.15748
2	5.70	2.85	0.285	0.09697
3	3.05	1.53	0.153	0.01486
4	1.30	0.65	0.065	0.00115
5	1.00	0.50	0.050	0.00052
6	0.70	0.35	0.035	0.00018
7	0.50	0.25	0.025	0.00007
8	0.40	0.20	0.020	0.00003

Табела 3. Формирање на модел (2)
Table 3. Making of model (2)

Класа на материјал	Маса на честичка во форма на сфера (модел)	Број на честички во класа	Број на честички во класа (модел)	Волумен на класа (модел)	Маса на честички во класа (модел)	Остапување на маса
	g			cm ³	g	%
1	0.3131	48.55	49	8	15.340	0.92
2	0.1951	160.95	161	16	31.411	0.03
3	0.0311	5068.26	5068	75	157.792	0.01
4	0.0024	56803.90	56804	65	136.700	0.00
5	0.0011	69137.96	69138	36	78.700	0.00
6	0.0004	153848.22	153848	28	61.400	0.00
7	0.0002	329782.92	329783	22	51.500	0.00
8	0.0001	1996996.65	1996997	67	167.300	0.00
Вкупно			2611848	316	700.14	0.02

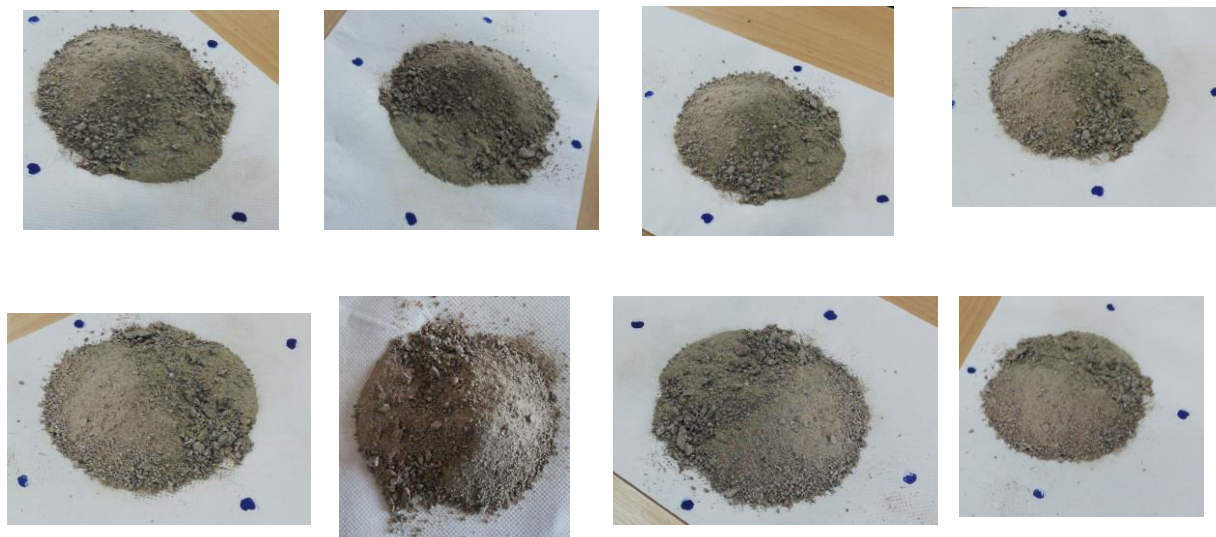
Значи, е формиран модел на класи на материјал од 1 до 8, со симулација на зрна (честички) во сфери со одреден радиус, маса и волумен. Вака формираниот модел може да послужи за понатамошни DEM моделирања на одредени геомеханички лабораториски тестови. Нормално, за одредени тестови се потребни и дополнителни информации за материјалот како што е јунговиот модел на еластичност, пуасоновиот коефициент и сл. Во продолжение е направен модел на метод на гавитациско таложење. Ова е основен модел на кој се базирани многу стандарди за испитувања, почнувајќи од натрупување на материјали, па сè до таложење на аеросоли. За таа цел од издобената проба од 700 g., земена е нова репрезентативна проба со вкупна маса од 186.5 g. Овој материјал е даден на Слика 4. Најсоодветно можеби би било да се користи поимот консолидација, наместо гавитациско таложење. Но, ако станува збор за консолидација тогаш е потребно да се воведат и надворешна сила, односно притисок, под кој ќе се изврши процесот на консолидација. Ова веќе е основа на едометарски опит, кој би можел да се моделира со дополнителна адаптација.



Слика 4. Проба од издробениот ганит за анализа на гавитациско таложење
Figure 4. Sample of crushed granite for analyze of gravity deposition

Моделирањето на овој материјал најнапред ќе започне со изработка на негов 3D модел. Еден од начините на изработка на 3D модел е со сликање на истиот со дигитален фотоапарат (во случајот DSLR), односно од добиените 2D слики да се направи нивна 3D реконструкција и добивање на соодветен модел. Потоа моделот софтверски се конвертира во 3D површина или дури во 3D тело, кои освен за визуелен приказ, може со неа да се пресмета волуменот на материјалот, потоа да се извадат профили на материјалот преку кои можат да се добијат податоци на пример за аголот на внатрешно триење и слично.

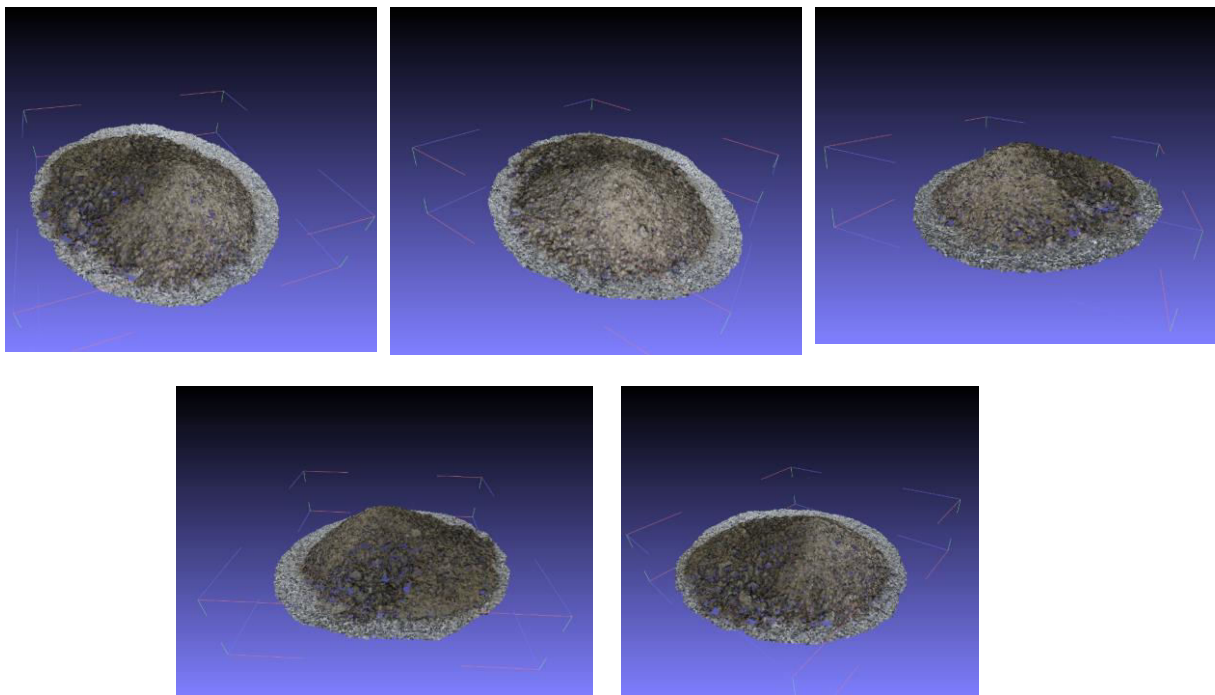
Во продолжение на Слика 5 се дадени дел од сликите со кои е направена 3D реконструкција која послужи за формирање на 3D модел на пробата. Инаку за моделот се искористени 32 2D слики.



Слика 5. 2D слики за 3D реконструкција
Figure 5. 2D images for 3D reconstruction

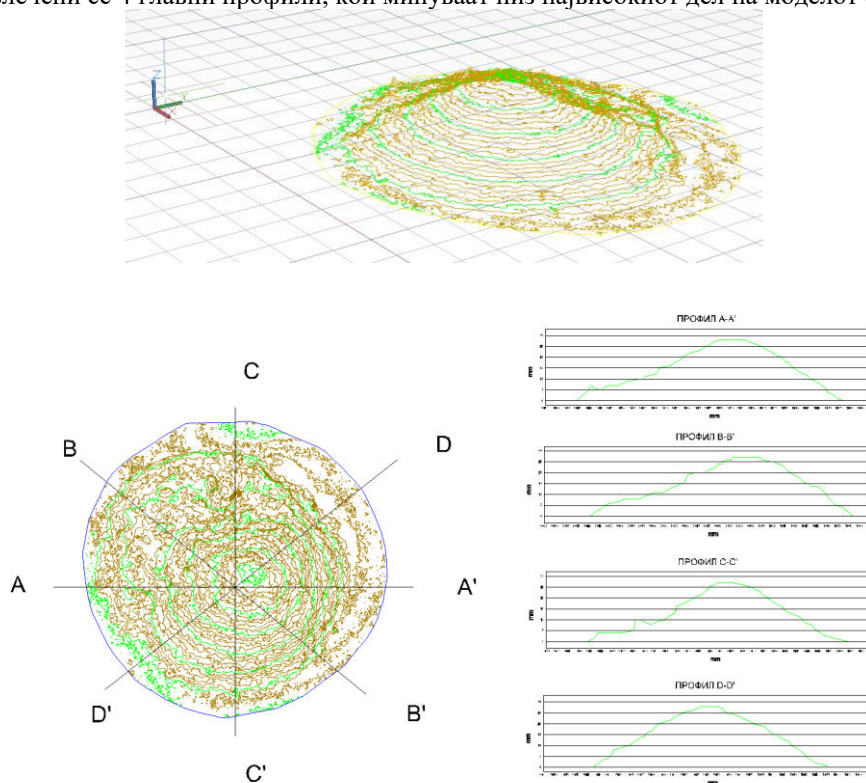
По извршената 3D реконструкција на моделот за која е користен open source софтверот MeshRoom v2020.1.0 за платформата Linux [3-4]. Потоа е пристапено кон обработка на добиениот 3D модел со изработка на облак од точки и негово постпроцесирање до изработка на мрежа, односно 3D површина. Ова е направено со користење на open source софтверот MeshLab 2020.07 за OS Linux [5-8]. Прикажаните точки на Слика 5 служат за димензионирање, односно за соодветен размерник при пресметка на должините, односно волуменот на моделираниот материјал.

На Слика 6 дадени се различни погледи од 3D моделот креиран со претходните алатки.



Слика 6. Погледи на 3D модел (MeshLab)
Figure 6. Views on 3D model (MeshLab)

Овој модел понатаму е обработен во лиценцираниот софтвер Carlson Civil Design 2018, за да се направи дополнителна геометриска анализа, односно да се пресмета волуменот на материјалот и да се нацртаат профили на истиот, со цел да се добие подетална геометриска претстава. Притоа се извлечени контури од оваа 3D површина со еквидистанца од 5 mm на главните и 1 mm на споредните. Со помош на контурите извлечени се 4 главни профили, кои минуваат низ највисокиот дел на моделот (слика 7).



Слика 7. Приказ на 3D модел и карактеристични профили
Figure 7. Preview of 3D model and its characteristic sections

Со пресметка на волумен помеѓу креираната површина на 3D моделот и површината на основата ($Z=0$, рамнина OXY), со овој софтвер е добиен волумен од околу 117800 mm^3 , односно околу 117.8 cm^3 (Табела 4).

Табела 4. Пресметка на волумен на 3D модел
Table 4. Calculation of volume on 3D model

Ред. бр.	Интервал			Волумен mm^3
	Од mm	До mm	Висина mm	
1	0	2	2	29361.33
2	2	4	2	22975.90
3	4	6	2	14888.34
4	6	8	2	12218.10
5	8	10	2	9635.84
6	10	12	2	7603.12
7	12	14	2	6057.11
8	14	16	2	4806.09
9	16	18	2	3771.07
10	18	20	2	2787.53
11	20	22	2	1910.12
12	22	24	2	1173.42
13	24	26	2	585.44
14	26	28	2	113.13
15	Вкупно			117886.57

При физички експеримент, материјалот е ставен во баждирана мензура, при што е отчитан волумен околу 120 ml , односно 120 cm^3 (слика 8).



Слика 8. Мензура за мерење на волумен на издробениот материјал

Figure 8. Mensura for probe of volume of crushed material

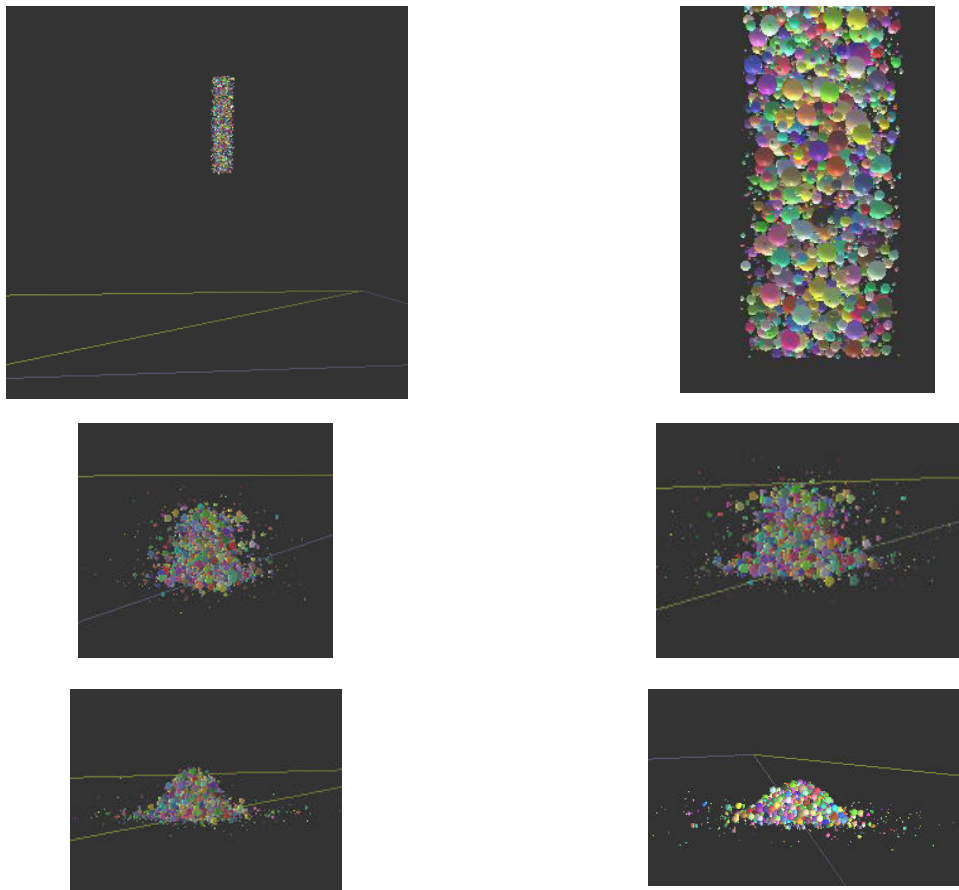
Табела 5. Влезен модел за DEM анализа
Table 5. Input model for DEM analyse

Класа на материјал	Радиус на честичка (модел)	Маса на честички во класа (за DEM анализа)	Број на честички во класа (за DEM анализа)
	mm	g	
1	3.35	4.050	13
2	2.85	8.366	43
3	1.53	42.042	1350
4	0.65	36.421	15134
5	0.50	20.968	18420
6	0.35	16.359	40990
7	0.25	13.721	87864
8	0.20	44.574	532057
Вкупно		186.50	695871

Како последно истражување во овој труд, е направена DEM симулација на истресување на материјалот (кој беше користен за претходната постапка) преку 3D моделиран честички во облик на сфера и тоа на рамна површина и во симулирана мензура (со исти димензии како и онаа што беше користена во физичкиот експеримент). За оваа цел е користен DEM open source софтвер Yade 2020-09-07 за платформата Linux [9-10].

Според претходната анализа, за да се формира потребниот модел е потребно да се генерираат 8 класи на сфери со соодветни радиуси од 0.20, 0.25, ..., 3.35 mm, со соодветен број од 695871, потоа 532057, па сè до 13 сфери за првата класа на материјал со радиус од 3.35 mm. Заради зголемување на ефикасноста на моделирањето, можно е за секоја класа на материјал да се генерираат сфери со радиус во одреден интервал на распределба (најчесто нормална), и тоа на пример за класа 3, со радиус од 1.53 mm, може да се генерираат 1423 сфери со радиус од $1.53 \text{ mm} \pm 30\%$, односно во интервалот на радиуси (1.071, 1.989), односно од 1 до 2 mm. Ова е можно ако станува збор за помал број на генерирани зрна. Мора да се напомене дека за најситната класа, поточно класата 8, каде има околу 700 000 честички, ова генерирање ќе бара компјутерски системи со моќни перформанси.

Во продолжение се дадени неколку состојби на симулација на истурање на здробениот материјал на рамна површина од висина од 300 mm (Слика 9). Односно е дадена почетната состојба, состојба на „слободно“ паѓање, состојба на колизија на парчињата со површината и крајна состојба кога сите честички се во мирување.

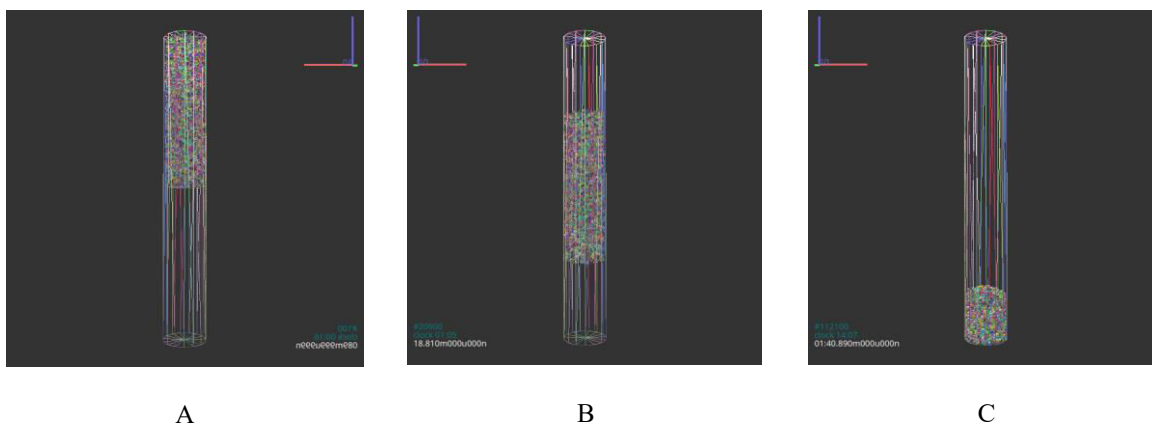


Слика 9. Состојби од симулација на истурање на здробен материјал
Figure 9. Snapshot of simulation of damping of crushed material

При симулацијата се генерира и анимација на изведување на истата. Во зависност од потребите, можат да се дефинираат најразлични услови за конкретна примена на истурањето. На пример, кога има потреба да се дефинира работа на одлагачи од транспортни ленти, потоа истурање на материјали од сипки, кипање од камиони или истурање од багерски лопати и сл. Со ова би се добиле информации не само за зафатениот простор, туку и за формата на одложениот материјал, аголот на формираната косина како и многу други елементи во зависност од условите на влезните податоци и соодветно применетите математички анализи.

За да се прикаже конкретна примена на DEM методите при геомеханичките лабораториски испитувања, направена е и симулација на истурање на материјал во мензура со зафатнина од 500 ml

(онаа што е користена во физичкиот експеримент). За таа цел е формиран модел од сфери кои ги заменуваат соодветните парчиња од дефинираните 8 класи на материјали. Искористен е истиот влезен модел како и во претходната симулација. Целта е да се анализира „полнењето“ во мензурата, како и да се пресмета волуменот на материјалот во мензурата. И овде DEM анализата е направена со изработка на соодветен програмски код во open source YADE софтверот (Слика 10).



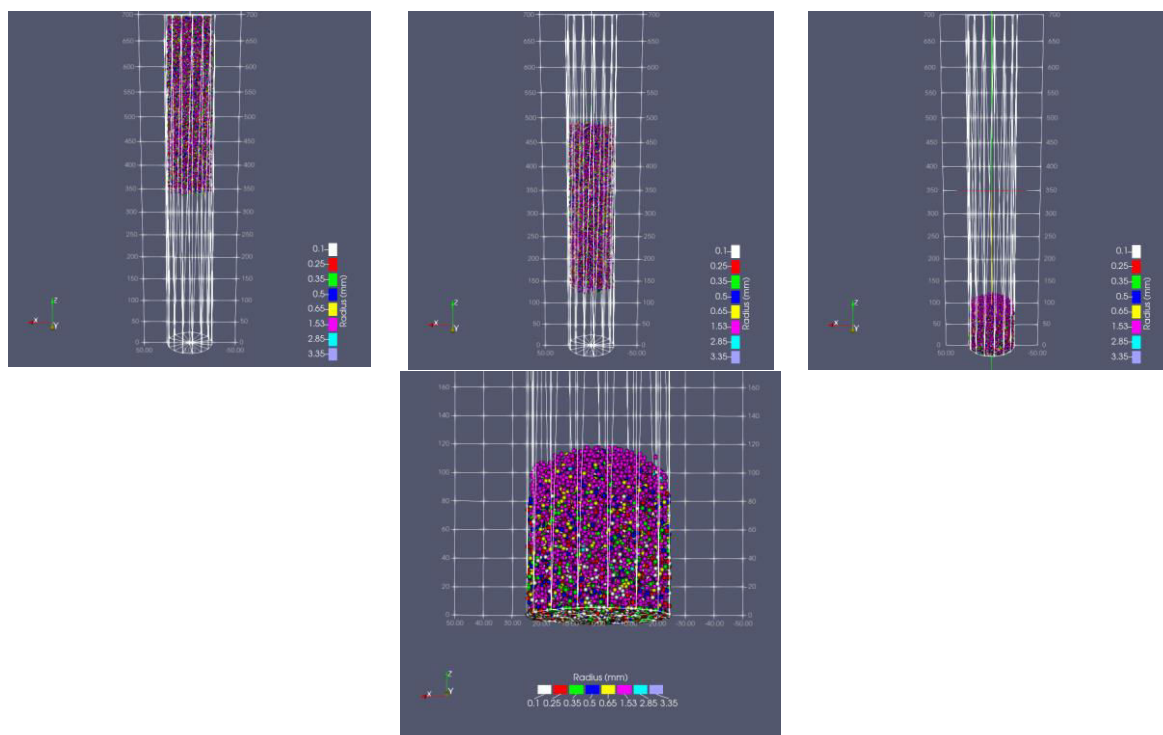
Слика 10. Приказ на состојба превземена од YADE

Figure 10. Status view taken from YADE

A – почетна состојба, B – Состојба на движење и C – завршна состојба

Со помош на добиените состојби при вкупно направени околу 99 960 сцени при 112 100 итерации дојдено е до стабилизирање на материјалот, односно негова консолидација. При тоа т.н. небалансирани сили се помали од 0.5.

Освен ова, на овој модел е направена и пресметка на волуменот на консолидираниот материјал. Во продолжение е даден приказ (Слика 11) на кој визуелно се гледа големината на волуменот на материјалот. Секако, ова може да се пресмета и нумерички, преку производот на бројот на честички по нивниот волумен (податоци од Табела 6). Но при ова, не се зема во обзир формирањето на купа од натрупан материјал, односно можноста за формирање на агол на натрупување кој би требало да има вредност не поголема од аголот на внатрешно триење.



Слика 11. Визуелно утврдување на волуменот на натрупаниот материјал
Figure 11. Visual assessment of volume of dumping material

Според Слика 11 се гледа дека волуменот на моделот на натрупаниот сув материјал во мензурата изнесува околу 118 ml, што е незначително помалку од реалниот опит на мерење со мензурата кој беше 120 ml. Ова потврдува уште еднаш дека избраниот пристап кон примена на математичко – моделските пристапи во моделирањето на геомеханичките лабораториски испитувања е ефикасен, релативно лесно применлив, евтин и брз.

3. Резултати и дискусија

Врз основа на извршените експерименти е направена компаративна анализа на резултатите при што може да се констатира следното. Реалните геомеханички експерименти даваат резултати за кои е потребно користење на соодветна опрема, едуцирани кадри, релативно долго време и во зависност од експериментот и одредени трошоци за користење и одржување на опремата. Можноста за изведување на поголем број на експерименти со менување на разни параметри на влезот, кај реалните експерименти бараат комплетно изведување на целата постапка. За разлика од нив кај симулираните експерименти каде со примена на математичко – моделиски пристапи, можноста за експериментирање е голема со можност за брзи анализи, релативно ниски трошоци и пред сè мали временски ангажмани.

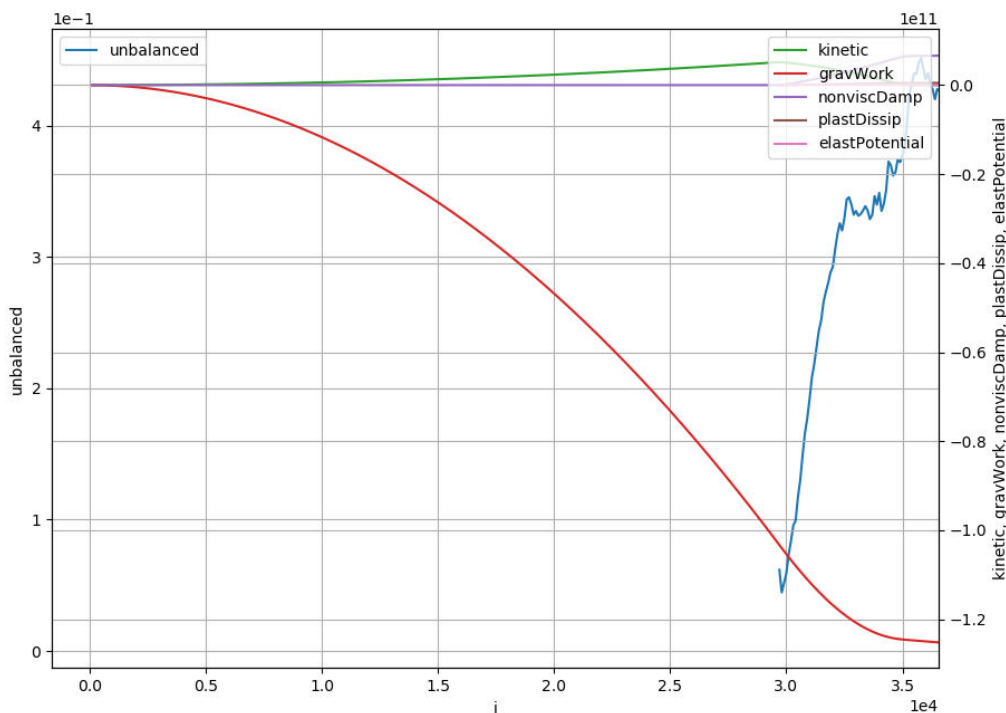
Резултатите од истражувањето покажуваат дека е можно симулирање на издробен материјал со дробилка. Односно, симулирање на разни класи на материјали. За секој од нив е можно да се направи замена со генерирање на парчиња (честички) во форма на сфери со одреден радиус кој одговара на ганулометрискиот состав на класата на здробениот материјал. Истражувањето покажа дека разликата во маса на реалниот и симулираниот материјал е незначителна и изнесува околу 0.02 % (Табела 3).

За да се направи потврда за можноста од премена на пресметка на физичките карактеристики на материјалот, во истражувањето користена е и 3D реконструкција на 2D слики. Резултатите од реконструкцијата покажаа дека е можна и е со мали отстапувања оваа постапка. Добениот модел, визуелно е многу сличен со оној реалниот. Со примената на соодветни софтверски пакети се добија пресметки за волуменот на моделираниот материјал, кој релативно малку се разликуваше од оној кој е физички пресметан во мензурата. Разликите покажуваат мали отстапувања и тоа: волуменот од моделот пресметан преку 3D реконструкција на слики и користење на CAD софтвер изнесува 117.8 ml, потоа од физичкиот опит во мензурата околу 120 ml и на крај од DEM симулираниот модел на парчиња во форма на сфери и визуелно мерење на волуменот на истиот моделиран материјал изнесува околу 118 ml. Ова се релативно точни пресметки кои би можеле да создадат услови за понатамошни истражувања и примени. Прашањето е која методологија да се примени за моделирање на реалните геомеханички експеримент? Секако одговорот не е едноставен и тој ќе зависи од многу фактори. На пример, ако е потребно да се направи пресметка на волумен *in situ*, на големи размери, на пример натрупани маси на одлагалиште, рудна гада, откоп и сл., тогаш логично доаѓа користењето на 3D реконструкцијата на слики. Слично на дигитализацијата на просторот со примена на дрoнови. И обратно, ако имаме лабораториски експерименти тогаш, секако предност има DEM моделирањето. Но, ако користеме фотогавиметрија со снимки со помош на DSLR апарати со макро леќи, потоа микроскопи и биноклари опремени со дигитален запис, тогаш можноста за примена на 3D реконструкцијата на слики станува и многу можна.

Направените DEM анализи на истресување на материјалот покажаа негово динамичко однесување слично на реалното истресување. Имено со експериментот за таложеење на материјалот се добија резултати кои го покажаа однесувањето на материјалот но сватен како иделизиран модел, кој е во зоната на еластичност, без да ги земе во предвид деформациите на материјалот, отпорот на триење помеѓу сидовите на парчињата, особено од аспектот дека во моделот станува збор за парчиња во форма на сфери, кои геометриски ги минимизираат овие отпори. Токму заради ова, резултатот мора да се сфати со одреден степен на сигурност, односно резерва. Заради зголемување на степенот на веројатност на моделираниот процес, при DEM анализите, основниот фактор за прекинување на движењето е збирот на сите сили на сите парчиња (честички) да биде нула. Односно, под поимот небалансирани сили се соодносот на максималната сила на телото и средната големина на моделираната сила на дадената итерација. Ако овој сооднос е помал од 0.5, тоа значи дека средната сила на честичката е двапати помала од моделираната итеративна сила (после одреден број на итерации). Дијагамот на овие сили е даден на Слика 11.

Имено, ако веќе нема појава на „дестабилизирачки“ сили, може да се смета дека моделот е веќе стабилизирани, односно е завршено главното „консолидирање“ и моделот веќе се наоѓа во статичка рамнотежа.

Од дијагамот на сили се гледа дека по 30 000 итерации, веќе небалансираните сили имаат свој максимум и потоа почнуваат да се намалуваат. Односно, системот од парчиња честички почнува да се смирува и да се консолидира. Се до 112 100 итерација кога веќе „целосно“ е смирен и се наоѓа во статичка рамнотежа.



Слика. 12 Дијаграм на сили (по 35000 итерации)

i– итерации, kinetic – кинетичка енергија, gravWork – гравитациона потенцијална енергија, nonviscDamp – енергија на истовар без отпор на средината, plastDissip – енергија на пластично растурање (при судир на честички со честички и честички со подлога), - elastPotential – еластичен потенцијална енергија

Figure 12. Diagram of forces (after 35000 iteration)

i– iteration, kinetic – kinetic energy, gravWork – gravity potential energy, nonviscDamp – non viscouse energy damping, plastDissip – plastic dissipation energy (by collision of particles/particles and particles/bounds), elastPotential – elastic potential energy

Овие резултати покажуваат на фактот дека применливоста на овој експерименти со негово адаптирање може да се искористи и при дефинирање на стабилноста на материјалите при разни динамички сили, на пример сеизмички сили. Секако, за ова се потребни подетални истражувања, кои би опфатиле и многу други параметри.

4. Заклучок

Во овој труд е даден осврт кон примената на математичко – моделските пристапи кон лабораториските геомеханички истражувања. Истражувањата ги постигнаа очекувањата. Со нив се создаде услов за дефинирање на можен пристап за примена на некои од методологиите за математичко моделирање при пресметка на одредени физичко – механички карактеристики на карпи. Посебен осврт е даден кон можноста за примена на современи софтверски решенија за визуелизација и формирање на 3D модели. Исто така, како можност е презентирани и примената на 3D реконструкцијата на 2D слики, снимани од обични дигитални фотоапарати. Ова значи, дека е можно користење на релативно ефтина и достапна опрема, за разлика од скапи 3D ласерски скенири и друг вид на софистицирана опрема за оваа намена.

Истражувањето опфати и користење на софтвер за пресметка на волумен на дигитализирани модели. Тоа значи, можност за пресметка не само на волумен, туку и волуменски маси и маси на материјали, потоа разработка на динамики на ископ, насип итн. Ова дава можност за примена на оваа методологија не само за лабораториски услови туку и за *in situ* истражувања на терен и сл. Пред сè со ова се навестува и можноста за изработка и адаптирање на оваа методологија за разни мониторинг активности, потоа следење на ганулации, протоци, капацитети и многу други работи кои би можеле да бидат разгледувани во реално време.

Примената на DEM софтверските решенија и изработка на соодветниот модел за „консолидирање“ и таложеење на материјалот, навлегува во можноста за примена на оваа методологија за симулација и моделирање на разни експерименти и опити од геомеханиката. Пред сè, со поддршка истражувања може да се направат симулации на опити како што се симулација на екстензиометри, стрес метри, едометриски опит, опити на едноаксијална и триаксијална ќелија, прокторот опит и многу други. Потоа,

можност за примена во хидрауликата, особено од аспект на одводнување и вентилација на рудниците, потоа да не ја забравеме можноста за користење на дискретни модели во одредување на стабилноста на косини и сл.

Користена литература

1. Barrios GK, Jiménez-Herrera N, Fuentes-Torres SN, Tavares LM. DEM Simulation of Laboratory-Scale Jaw Crushing of a Gold-Bearing Ore Using a Particle Replacement Model. *Minerals*. 2020; 10(8):717.
2. Fang, H.Y. & Yang, J.H. & Chen, Q.. (2018). Particle size distribution and energy consumption during impact crushing of single granite particles. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 118. 555-561. 10.17159/2411-9717/2018/v118n5a12.
3. P. Moulon, P. Monasse and R. Marlet. [Adaptive Structure from Motion with a contrario model estimation](#). ACCV 2012.
4. M. Jancosek, T. Pajdla. [Multi-view reconstruction preserving weakly-supported surfaces](#). CVPR 2011.
5. P. Cignoni, M. Callieri, M. Corsini, M. Dellepiane, F. Ganovelli, G. Ranzuglia MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool Sixth Eurographics Italian Chapter Conference, page 129-136, 2008.
6. Paolo Cignoni, Claudio Montani, Claudio Rocchini, Roberto Scopigno, Marco Tarini Preserving attribute values on simplified meshes by resampling detail textures *The Visual Computer*, 15 (9), 1999.
7. Paolo Cignoni, Claudio Montani, Claudio Rocchini, Roberto Scopigno, Marco Tarini Preserving attribute values on simplified meshes by resampling detail textures *The Visual Computer*, 15 (9), 1999.
8. G. Ranzuglia, M. Callieri, M. Dellepiane, P. Cignoni, R. Scopigno MeshLab as a complete tool for the integration of photos and color with high resolution 3D geometry data CAA 2012 Conference Proceedings, page 406-416, 2013.
9. V. Šmilauer et al. (2015), Yade Documentation 2nd ed. The Yade Project. DOI 10.5281/zenodo.34073 (<http://yade-dem.org/doc/>)
10. V. Šmilauer and B. Chareyre (2015), Dem formulation. In Yade Documentation 2nd ed. The Yade Project DOI 10.5281/zenodo.34044 (<http://yade-dem.org/doc/>)
11. Hassner, T. and R. Basri. "Example Based 3D Reconstruction from Single 2D Images." 2006 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop (CVPRW'06) (2006): 15-15.