

**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

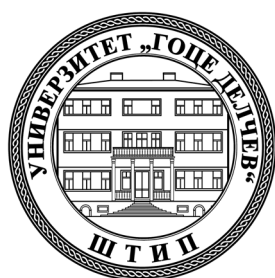
Природни ресурси и технологии Natural resources and technology

**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

МЕТОД НА ДИСКРЕТНИ ЕЛЕМЕНТИ (ДЕМ) ЗА АНАЛИЗА НА СЕГРЕГАЦИЈАТА НА ГРАНУЛАРНИ МАТЕРИЈАЛИ: АНАЛИЗА НА ОДЛАГАЛИШТЕ ФОРМИРАНО ОД ЛЕНТЕСТ ТРАНСПОРТЕР
Ванчо Адзиски¹, Зоран Панов¹, Ристо Поповски¹, Радмила Каранакова Стефановска¹

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

Апстракт. Зрната кои имаат исти или слични физички својства и се подложени на некои динамички состојби, имаат тенденција да сегрегираат, односно да се групираат во кластери. Сегрегацијата е честа појава во многу индустрии каде има преработка, ракување и транспорт на грануларни материјали и истата има многу непожелни ефекти. Во оваа студија е направена анализа за лоцирање и пресметка на механизмите на сегрегација при формирање на одлагалиште од лентест транспортер со помош на Метод на дискретни елементи (ДЕМ). За потребите на овој труд се направени два ДЕМ модели во кои се анализирани механизмите на сегрегација создадени од динамичките процеси поврзани со лентестите транспортери и како истите ќе влијаат во формирањето на самото одлагалиште. Резултатите од ова истражување, укажуваат на фактот дека во отсуство на лесно достапни механички алатки, ДЕМ анализата претставува ефикасна и ефтина алатка за следење и анализа на ваквите процеси.

Клучни зборови: Метод на дискретни елементи (ДЕМ), анализа, сегрегација, лентест транспортер, одлагалиште.

DISCRETE ELEMENT METHOD (DEM) FOR SEGREGATION ANALYSIS OF GRANULAR MATERIALS: ANALYSIS OF STOCKPILE FORMED BY CONVEYOR BELT

Vancho Adjiski¹, Zoran Panov¹, Risto Popovski¹, Radmila Karanakova Stefanovska¹

¹Faculty of natural and technical sciences, „Goce Delcev“ University, Shtip, R.N. Macedonia
 vanco.adziski@ugd.edu.mk

Abstract. Particles that have the same or similar physical properties and are subject to some dynamic states, tend to segregate or form groups of clusters. Segregation is common in many industries where there is processing, handling and transport of granular materials and it has many undesirable effects. In this study, an analysis was made for locating and calculating the mechanisms of segregation during the formation of a stockpile by conveyor belt, using the Discrete Element Method (DEM). For the purpose of this paper, two DEM models have been made in which the segregation mechanisms created by the dynamic processes related to the conveyor belt are analyzed and how they will effect on the formation of the stockpile itself. The results of this research, indicate the fact that in the absence of easily accessible mechanical tools, DEM analysis is an efficient and inexpensive tool for monitoring and analyzing such processes.

Kew words: Discrete Element Method (DEM), analysis, segregation, conveyor belt, stockpile.

1. Вовед

Сегрегацијата во целина, претставува одвојување или групирање на зрната (гранулиран материјал) врз основа на нивните карактеристики кога се подложени на некои надворешни сили [1]. Сегрегацијата претставува сериозен проблем при транспортот на мешавини од грануларни материјали бидејќи значително може да ги зголеми трошоците поради загуба на хомогеноста и создавање на отежнати услови за земање на проби и одредување на квалитетот на самиот материјал [2].

Главни фактори кои може да придонесат за појава на процес на сегрегација се: големината, густината, обликот и површинските својства на гранулираниот материјал, како и динамичките процеси во форма на вибрации и триење кои се генерирани од опремата [3-4].

Најраните публикации поврзани за сегрегацијата се насочени кон транспортот на јаглен кога Garve (1925) [5], открил дека при полнење на силос, поголемите парчиња на јаглен биле пронајдени близу сидовите, додека поситните во центарот на силосот. Williams (1976) [6], многубројните експериментални анализи од своите истажувања ги сумирал во научна публикација во која како главен фактор за појавата на сегрегацијата ја потенцирал големината на зрната (парчињата).

Lawrence and Beddow (1968) [7], спровеле експеримент за следење на сегрегацијата на металичен прав со големина од 40 до 2000 μm , и од нивните резултати може да се заклучи дека разликата во големината на честичките е далеку подоминантна во процесот на сегрегација, отколку формата и густината на самите честички, што е во согласност со истражувањата на Williams (1976) [6].

Со појавата на компјутери со зголемена моќност, компјутерската симулација станува сè почеста алатка за истражување на процесот на сегрегација. Голем број истражувачи изработиле различни модели за симулација на сегрегација на честички. Visscher и Bolsterli (1972) [8], се меѓу првите истражувачи кои ја вовеле симулацијата како алатка за анализа на сегрегацијата на честичките под влијание на вибрации. Rosato (1986) во своето истражување ја воведува Монте Карло симулацијата за да ја докаже зависноста на сегрегацијата од големината на честичките.

Во ова истражување ќе биде презентирани ДЕМ симулацијата како алатка за анализа на сегрегацијата на грануларни материјали низ лентести транспортери и во процесот на распределба на материјалите во одлагалиштата.

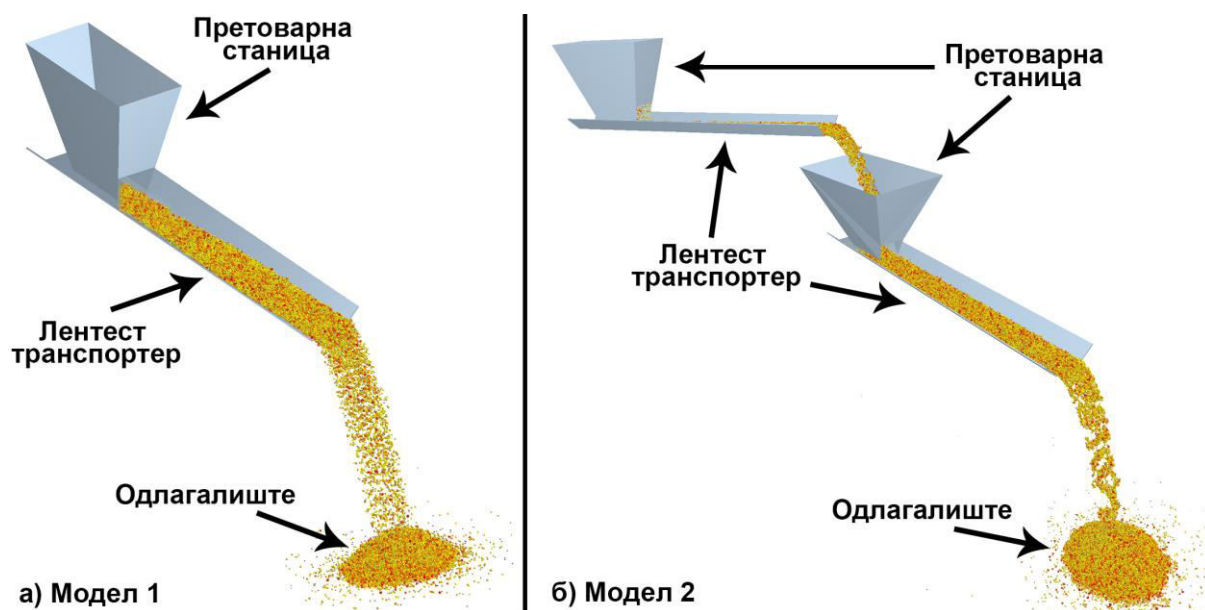
2. Механизми на сегрегација

Сегрегацијата има тенденција да се појави кога материјалот во грануларна форма се транспортира. Затоа, секоја активност за ракување и преработка на материјалот може да предизвика услови во кои ќе се појави процес на сегрегација.

На пример, кога грануларните материјали во големи количини се транспортираат во некој работен процес или во силос, ова движење им дозволува на зрната во смесата да имаат голем степен на слобода за преместување, што резултира во сегрегација.

Првиот чекор кон лоцирање на најзначајните механизми кои ја предизвикуваат сегрегацијата е конкретно дефинирање на системот кој ќе се анализира. Причината за овој аргумент е тоа што различни методи за транспорт на материјали во грануларна форма предизвикуваат различни механизми на сегрегација. Со други зборови, нема да биде можно да се направи точна симулација без да се постави моделот во соодветната форма.

На Слика 1, се прикажани модели на кои се анализирани и лоцирани механизмите на сегрегација на грануларните материјали. Системот под кој ќе се следи сегрегацијата се една претоварна станица и една транспортна лента (Слика 1а), и две претоварни станици со две транспортни ленти (Слика 1б).



Слика 1. Изработени 3D ДЕМ модели за анализа на сегрегацијата
Figure 1. Developed 3D DEM models for segregation analysis

Со дефинирањето на моделот ги добиваме самата геометрија и работните параметри на целокупниот систем, а со тоа и трансферните зони на грануларните материјали, што ни овозможува да ги утврдиме оперативните механизми на сегрегацијата.

Иако во литературата се класифицирани многу различни механизми на сегрегација, како најважни и со најголемо влијание за избраната студија на случај, се лоцирани следниве [10-12]:

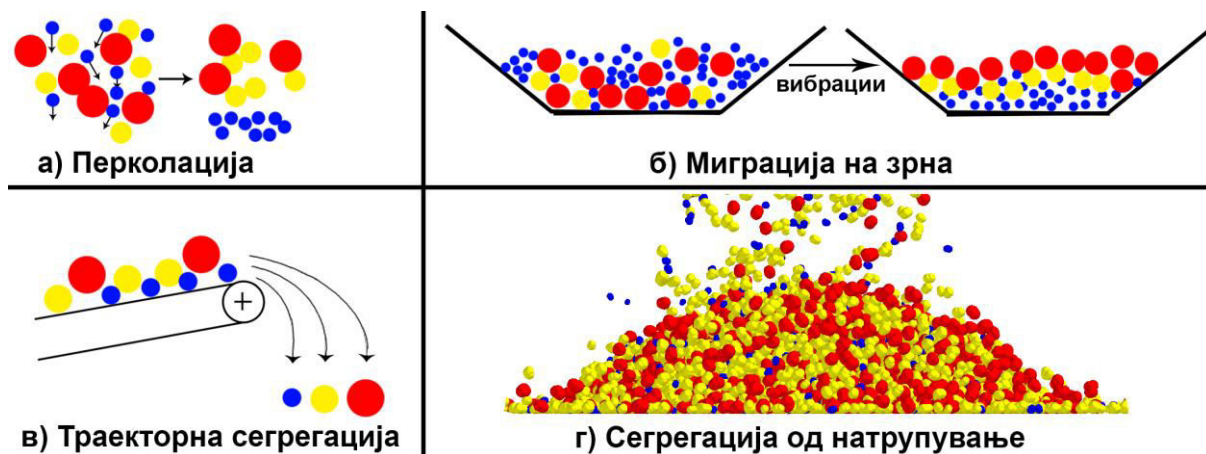
- перколација;
- миграција на зрна (грануларни материјали);
- траекторна сегрегација;
- сегрегација од натрупување.

Перколатијата како механизам на сегрегација се јавува кога има придвижувања на индивидуалните зрна и тоа се случува најчесто во зоната на трансфер на грануларните материјали, бидејќи се врши нивно преуредување. Материјалите со помала гранулатија лесно можат да навлезат во празнините формирани од оние со поголема гранулатија и да формираат долна рамнотежна позиција (Слика 2а).

Миграцијата на зрната, односно движењето на материјалите со поголема гранулатија во нагорна линија под дејство на вибрации е механизам на сегрегација кој најчесто е генериран од самиот транспортен систем (Слика 2б). Движењето на транспортната лента произведува мали периодични поместувања во вертикална насока во вид на вибрации, кои на поголеми должини можат да имаат значително влијание.

Траекторната сегрегација се јавува при истоварање на грануларните материјали и е еден вид на нивно раздвојување, каде од едната страна паѓаат поголемите и потешките зрна а од друга страна поситните и полесните зрна (Слика 2в). Ова е затоа што инерцијата на зрната зависи од нивната големина и густина, што значи дека зрната ќе усвојат различни траектории во зависност од овие променливи.

Сегрегација од натрупување, се појавува за време на формирањето на слојот во зоната на трансфер на материјалот и во формирањето на одлагалиштето од грануларните материјали. Во овој механизам на сегрегација, големите зрна поради поголемиот импулс и во зависност од својата форма и својство на тркалање, најчесто ќе се превртуваат на страните од формируваниот слој или одлагалиште (Слика 2г).



Слика 2. Најчести механизми на сегрегација кај грануларните материјали генерирани од лентестите транспортери

Figure 2. Common segregation mechanisms of granular materials generated by conveyor belts

3. Механизми на сегрегација

3.1 Формулирање на моделот

За целите на ова истражување се направени два 3D модели (Слика 1) за кои ќе се следи сегрегацијата на материјалот со помош на ДЕМ анализа. Нумеричката анализа на моделите е направена со користење на софтвер со бесплатна лиценца за користење Yade. ДЕМ е нумерички метод кој го предвидува движењето на секоја индивидуална честичка во зависност од надворешните и нивните меѓусебни сили и дејствија. Принципот на работа и математичките формулации зад ДЕМ анализата може да се најдат во публикациите на Zhao (2017) и Šmilauer (2015) [13,14].

Механичките и физичките својства на грануларните материјали во ДЕМ моделот ги вклучуваат: формата на зрната, густината, распределбата на големината на материјалот, агол на натрупување на материјалот, модулот на смолкнување, коефициентот на триење, коефициентот на статичко триење и коефициентот на реституција (односот на конечната кон почетната релативна брзина помеѓу две зрна откако ќе се судрат).

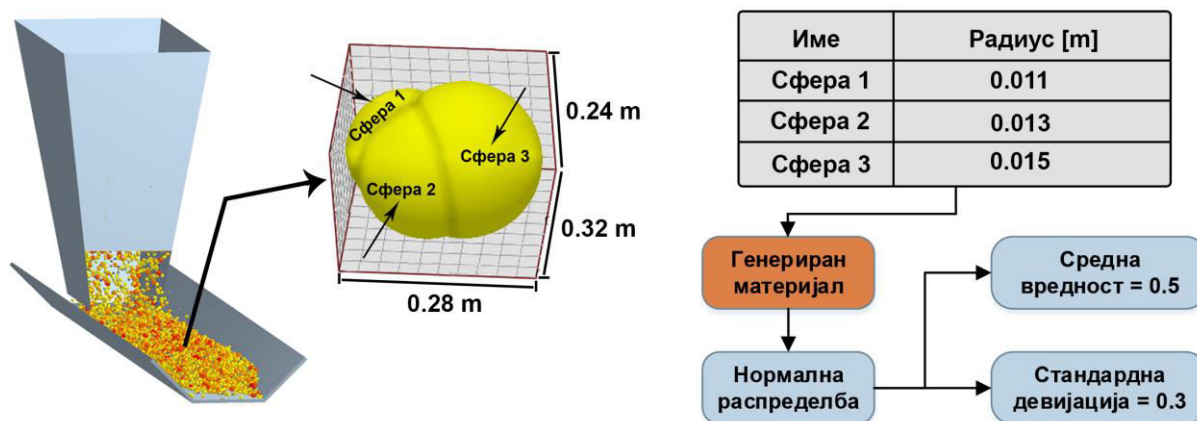
Геометриските, механичките и физичките својства на системот кој е анализиран во оваа студија се прикажани во Табела 1.

Табела 1. Геометриски, механички и физички својства на објектите и грануларните материјали користени во ДЕМ моделот
 Table 1. Geometric, mechanical and physical properties of the facilities and granular materials used in the DEM model

Својства	Вредности
Должина на лентест транспортер (модел 1)	10 [m]
Должина на лентест транспортер (модел 2)	10+10 [m]
Ширина на лентест транспортер (модел 1 и 2)	1.2 [m]
Брзина на движење на лентест транспортер (модел 1 и 2)	1.5 [m/s]
Висина на претоварна станица (модел 1 и 2)	2 [m]
Висина на истовар на материјал во одлагалиште (модел 1 и 2)	3 [m]
Густина на материјалот (модел 1 и 2)	2243 [kg/m ³]
Агол на натрупување на материјалот (модел 1 и 2)	45°
Модул на смолкнување (модел 1 и 2)	1.0 x 10 ⁷ [Pa]
Коефициентот на реституција (модел 1 и 2)	0.5
Коефициент на статичко триење (модел 1 и 2)	0.7
Коефициент на триење (модел 1 и 2)	0.15
Големина на зрна (дијаметар) (модел 1 и 2)	0.0139-0.468 [m]
Количина на генериран материјал (модел 1 и 2)	3 [t]

Како прв чекор во предложената методологија е изработка на 3D CAD модели со соодветна геометрија, потребна за целите на истражувањето и нивно внесување во Yade софтверот. Следен чекор е внесување на механичките и физичките својства на претходно дефинираните грануларни материјали кои се прикажани во Табела 1.

По дефинирањето на материјалните својства, одлучено е да се моделира кластер од три сфери за секое индивидуално зрно. Овој кластер од сфери ќе обезбеди пореална симулација на материјалот и ќе ја ограничи можноста да се тркалаат слободно, како што би бил случајот со една сфера (Слика 3). За да се претстави стохастичката распределба на големината на зрната кои го сочинуваат материјалот, истите беа генерирани со помош на нормална распределба со средна вредност од 0.5 и стандардна девијација од 0.3 (Слика 3).



Слика 3. Процес на моделирање на зрната
 Figure 3. Particle modeling process

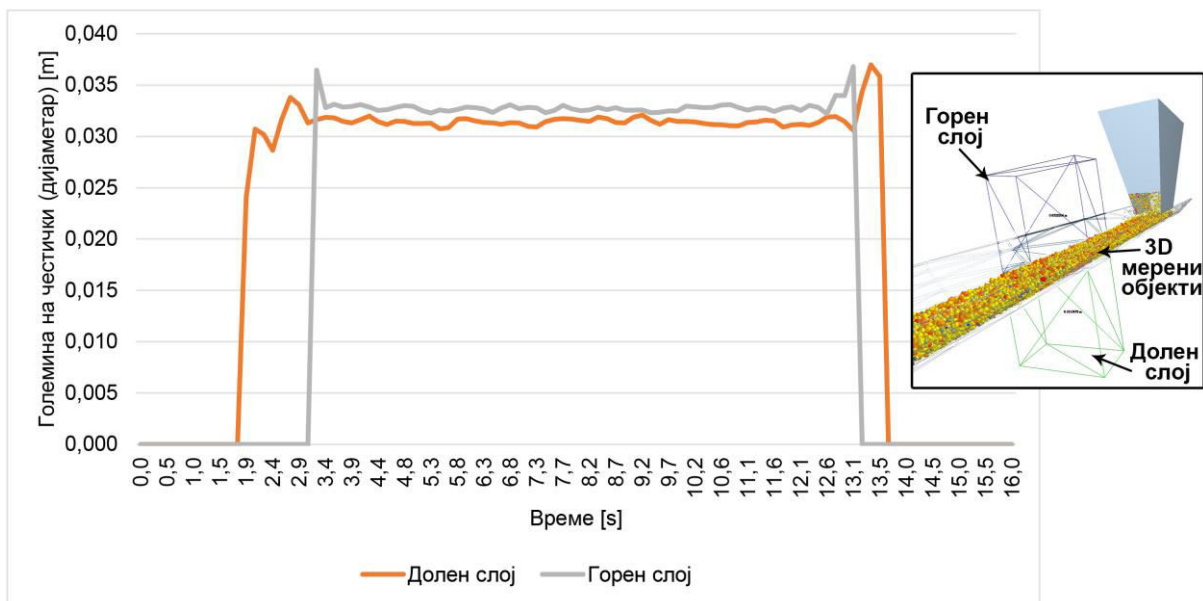
Во оваа студија, зрната содржани во материјалот се суви со слободни текови каде што се пресметува нормалната контактна сила од теоријата на Hertz-Mindlin (без лизгање). Деталите за овие модели, пресметани со теоријата на Hertz-Mindlin (без лизгање) се достапни во следнава литература [14].

4. Резултати и дискусија

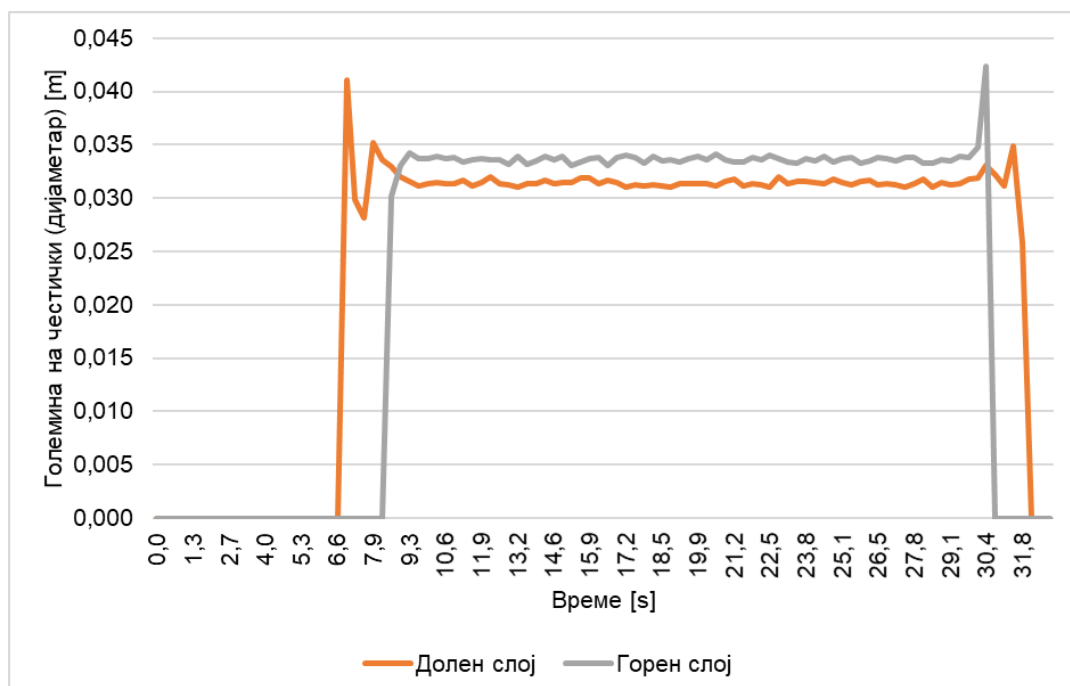
ДЕМ моделите направени со софтверот Yade, беа користени за да се симулираат и анализираат ефектите на сегрегација за проток на материјал низ лентест транспортер и во формирање на одлагалиштето. Моделите беа анализирани од аспект на претходно дефинираните механизми на сегрегација кои беа лоцирани од поставеноста на системот.

Во претставените ДЕМ модели за следење на перколацијата како механизам на сегрегација се поставени фиксни мерни 3D објекти ($1,5m(x) * 0,5m(y) * 1m(z)$) кои го делат протокот на материјал во две рамномерни нивоа на лентестиот транспортер. Како резултат се добива средната вредност на дијаметарот од сите поедини зрна кои во ист момент се наоѓаат во овие 3D мерни објекти.

Од резултатите прикажани на Слика 4 и 5, може да се заклучи дека после зоната на трансфер на грануларните материјали, бидејќи се врши нивно преуредување, материјалите со помала гранулација најчесто завршуваат на долниот дел од формируаниот слој. Како што може да се забележи од Слика 5, поради двете претоварни станици, ефектите на перколација се повеќе застапени во моделот 2, со што имаме поизразито издвојување на двата слоја според гранулацијата на материјалот. Од прикажаните резултати, е детектирана и мала временска разлика помеѓу двата слоја на почетокот и крајот од истоварот, поради неможноста да се формира доволно висок слој од материјал на лентестиот транспортер во движење.



Слика 4. Резултати од перколацијата како механизам на сегрегација во модел 1
Figure 4. Results of the percolation as a segregation mechanism in model 1

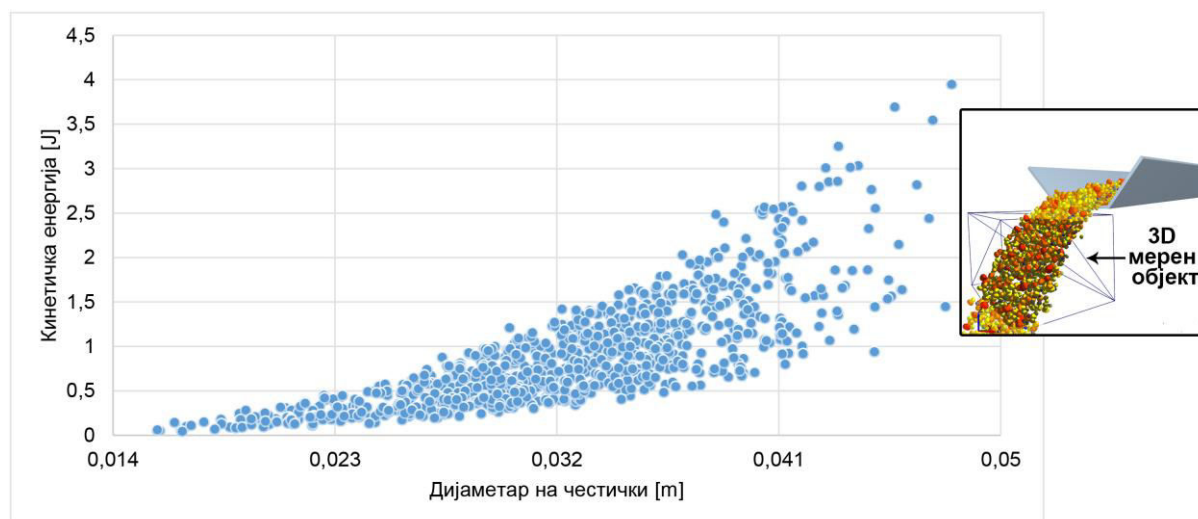


Слика 5. Резултати од перколацијата како механизам на сегрегација во модел 2
Figure 5. Results of the percolation as a segregation mechanism in model 2

Анализата на перколацијата како процес која се јавува кај лентестите транспортери е многу битен фактор во одредување на зоната за поставување на физички системи, како што се ласерско или фотографско снимање на протокот на материјал. Можноста во одредување на оптимална зона за поставување на претходно спомнатите физички системи, значително би ја зголемиле точноста при одредување на целокупната распределба на големината на зрната, измерени од горниот слој на лентестиот транспортер.

За да се анализира процесот на миграцијата на зрната, потребно е да се следи движењето на одреден волумен на материјал низ транспортна лента и да се одреди поместувањето во x, y и z оската за секое зрно. Поради малите должини на лентестите транспортери кои беа избрани за оваа студија, движењето на материјалот со поголема гранулација во нагорна линија под дејство на вибрации е незабележително. Поради овој заклучок е донесена одлука за понатамошно истражување на овој процес каде должината на лентестите транспортери ќе биде зголемена како и самата големина на вибрациите.

За анализа на траекторната сегрегација во ДЕМ моделот е поставен 3D објект ($1,5m(x) * 1m(y) * 1m(z)$) за снимање на податоците на крајот од лентестиот транспортер, односно на местото на истовар на материјалот. Регистрирањето на податоците за овој механизам на сегрегација е поставен на тој начин што ќе генерира резултати само за оние зрна кои се наоѓаат внатре во претходно поставениот 3D објект за снимање. Со оваа поставеност може да ја следиме и анализираме кинетичката енергија на секое зрно во зависност од дијаметарот при целокупниот процес на истовар на материјалот. Поради истата брзина на лентестиот транспортер во двата модели и поради малата разлика во резултатите, на Слика 6 се прикажани само резултатите за траекторната сегрегација во ДЕМ моделот 1, поврзани за временскиот интервал на 6.2 [s].

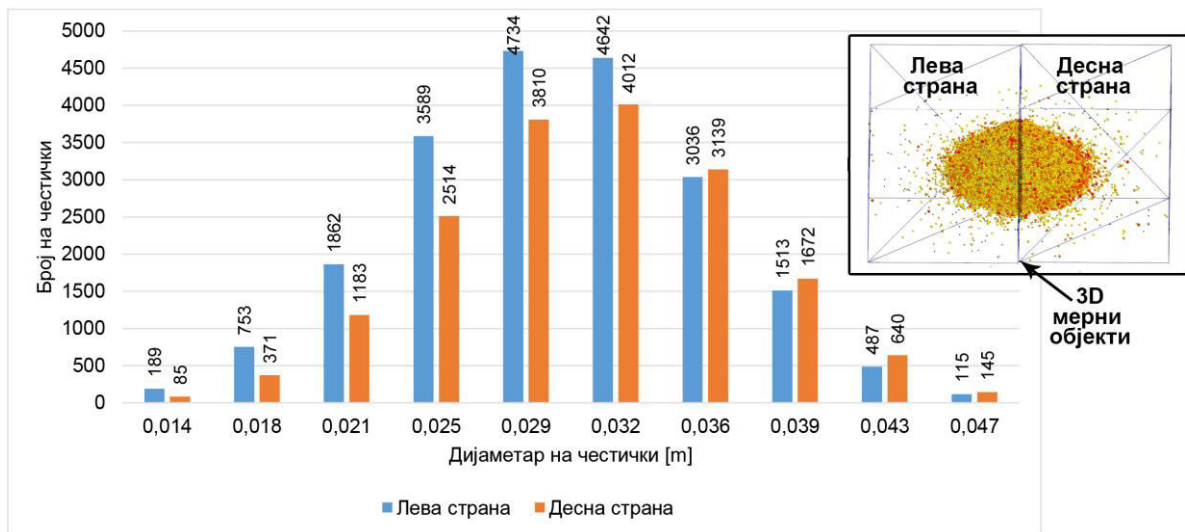


Слика 6. Резултати од траекторната сегрегација во модел 1
Figure 6. Results of the trajectory segregation in model 1

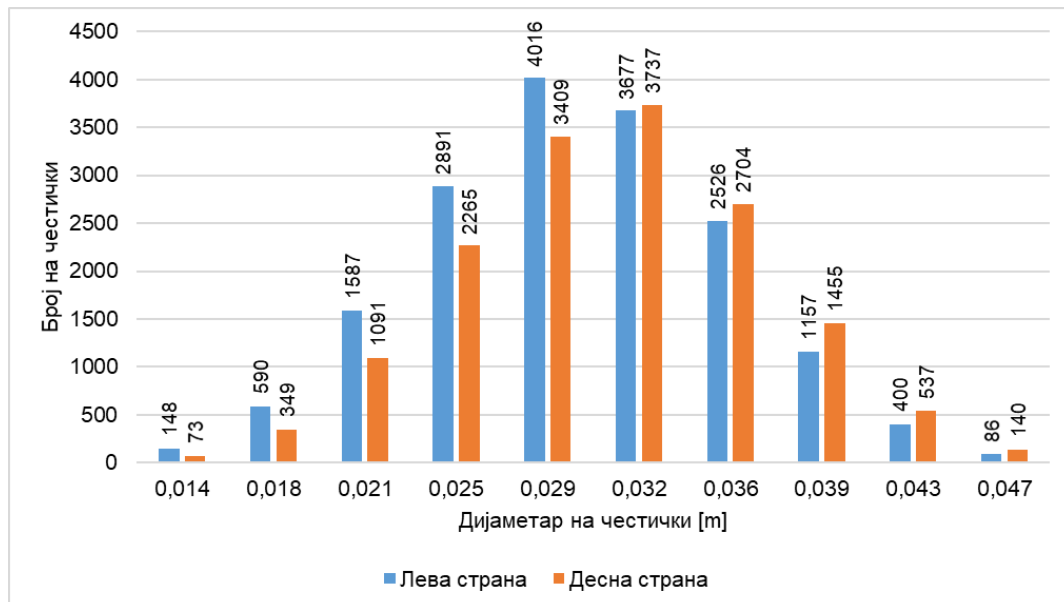
Резултатите од анализата на траекторната сегрегација, укажуваат на фактот дека покрупните зрна кои при самиот истовар ја добиваат првичната брзина на лентестиот транспортер, добиваат поголема кинетичка енергија со што се очекува нивната траекторија да има поголем кос истрел. Ова би резултирало од една страна да паѓаат поголемите и потешките зрна, а од другата страна поситните и полесните зрна.

За анализа на сегрегацијата од натрупување во процесот на формирање на одлагалиштето, во ДЕМ моделот се поставени два 3D објекти ($3m(x)*4m(y)*2m(z)$) кои го делат самото одлагалиште на два идентични дела (лево и десно). Ваквата поставеност за снимање на податоците ќе ни овозможи да го анализираме одлагалиштето од аспект на неговото формирање.

Резултатите прикажани на Слика 7 и 8 ни укажуваат на фактот дека поради влијанието на претходно спомнатите механизми на сегрегација, поголемите зрна во зависност од својата форма и својство на тркалање најчесто ќе се превртуваат на страните од формираните слој, што во овој случај е десната страна на формираното одлагалиште.



Слика 7. Резултати за сегрегација од натрупување во модел 1
Figure 7. Results for segregation from accumulation in model 1



Слика 8. Резултати за сегрегација од натрупување во модел 2
Figure 8. Results for segregation from accumulation in model 2

Од направената споредба помеѓу резултатите прикажани на Слика 7 и 8, може да се заклучи дека поради двете претоварни станици, ефектите, односно збирот на претходно идентификуваните механизми на сегрегација повеќе се изразени во моделот 2.

5. Заклучок

Во овој труд е претставена нумеричка анализа заснована врз ДЕМ симулација за да се испитаат и тестираат механизмите на сегрегација генерирани од лентестите транспортери. За оваа цел беа направени два модела, односно две сценарија во Jade софтверот, каде главна цел беше следење на сегрегацијата на грануларните материјали низ лентестите транспортери и во формирањето на одлагалиштето.

Имплементирањето на ДЕМ моделите за анализа на протокот на материјал низ лентестите транспортери нуди огромни можности и бенефити од аспект на предвидување или следење на сегрегацијата. Исто така ДЕМ анализата може да послужи во процесот на елиминација или избор на

правилен дизајн на соодветна опрема која може да обезбеди намалување на сегрегацијата онаму каде истата претставува сериозен проблем за хомогенизацијата на целокупниот материјал.

Идното продолжување и проширување на оваа студија ќе вклучува моделирање на сценарија во кои ќе се предложат механизми за намалување на факторите за сегрегација. Исто така ќе се направи обид за пресметка на оптимални локации за поставување на физички системи како што се ласерско или фотографско снимање на протокот на материјал низ лентести транспортери.

Резултатите од ова истражување ја позиционираа ДЕМ анализата како ефикасна алатка за анализа на било какви сценарија кои се поврзани со транспорт, ракување и преработка на грануларни материјали.

Користена литература

1. Ottino, J., Khakhar, D. (2000). Mixing and segregation of granular materials: Annual Review of Fluid Mechanics, 32, pp.55-91.
2. Fan, Y., Jacob, K.V., Freireich, B., Lueptow, R.M. (2017). Segregation of granular materials in bounded heap flow: A review: Powder Technology, 312, pp. 67-88.
3. Shimoska, A., Nousou, I., Shirakawa, Y., Hidaka, J. (2013). Effect of Particle Shape on Size Segregation of Particles: Chemical Engineering Transactions, 32, pp.2143-2148.
4. Brone, D., Muzzio, F.J. (1997). Size segregation in vibrated granular systems: A reversible process: Physical Review E, 56, pp.1059-1063.
5. Garve, T. W. (1925). Segregation in bins: Presented at the Annual Meeting, American Ceramic Society, Columbus, Ohio.
6. Williams, J.C. (1976). The Segregation of Particulate Materials: A Review: Powder Technology, 15, pp. 245-251.
7. Lawrence, L. R., Beddow, J. K. (1968). Powder Segregation During Die Filling: Powder Technology, 2, pp. 253-259.
8. Visscher, W. M., Bolsterli, M. (1972). Random Packing of Equal and Unequal Spheres in Two and Three Dimensions: Nature, Vol. 239, pp. 504-507.
9. Rosato, A., Prinz, F., Standburg, K.J., Swendsen, R. (1986). Monte Carlo Simulation of Particulate Matter Segregation: Powder Technology, 49, pp. 50-69.
10. Fan, Y., Jacob, K.V., Freireich, B., Lueptow, R.M. (2017). Segregation of granular materials in bounded heap flow: A review: Powder Technology, 312, pp.67-88.
11. Roskilly, S.J., Colbourn E.A., Alli, O., Williams, D., Paul, K.A., Welfare, E.H., Trusty, P.A. (2010). Investigating the effect of shape on particle segregation using a Monte Carlo simulation: Powder Technology, 203 (2010) 211-222.
12. Tang, P., Puri, V.M. (2007). Segregation quantification of two-component particulate mixtures: Effect of particle size, density, shape, and surface texture: Particulate Science and Technology, 25, pp.571-588.
13. Zhao, T. (2017). Introduction to Discrete Element Method: In: Coupled DEM-CFD Analyses of Landslide-Induced Debris Flows. Springer, Singapore, p.220
14. Šmilauer V. et al. (2015). Yade Documentation 2nd edition, p.527.