

# Utjecaj broja fotografija i položaja kamere na točnost fotogrametrijskog mjerenja kuta sipanja

---

**Maletić, Krešimir**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:160048>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij rudarstva

**UTJECAJ BROJA FOTOGRAFIJA I POLOŽAJA KAMERE NA TOČNOST  
FOTOGRAMETRIJSKOG MJERENJA KUTA SIPANJA**

Diplomski rad

Krešimir Maletić

R-263

Zagreb, 2021.

UTJECAJ BROJA FOTOGRAFIJA I POLOŽAJA KAMERE NA TOČNOST FOTOGRAMETRIJSKOG  
MJERENJA KUTA SIPANJA

Krešimir Maletić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Kut sipanja predstavlja kut koji tvori materijal sa horizontalnom ravninom kada ga se sipa na gomilu. Ovdje je riječ o fizikalnom svojstvu osobito primjenjivom u tehničkim strukama, ali i šire. Naglasak je stavljen na pripremu i izvođenje laboratorijskih ispitivanja koja su za cilj imala utvrditi utjecaj promjene broja fotografija te položaja kamere na iznos kuta sipanja. Navedena ispitivanja vršena su metodom cilindra na realnoj hrpi materijala, a potom i na referentnom stošću. Obzirom da je korištena metoda 3D modela za određivanje kuta sipanja, obrada digitalnih fotografija rađena je u *Agisoft PhotoScan*-u, a proračun kuta sipanja u *Python*-u. Rezultat ispitivanja pokazuje minimalan utjecaj promjene položaja kamere, dok je nešto veći utjecaj prisutan kod promjene broja fotografija na kut sipanja.

Ključne riječi: kut sipanja, laboratorijska ispitivanja, broj fotografija, položaj kamere

Diplomski rad sadrži: 30 stranica, 4 tablice, 22 slike i 12 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Tomislav Korman, docent RGNF

Pomagao pri izradi: Dr. sc. Mario Klanfar, docent RGNF

Ocjenjivači: Dr.sc. Tomislav Korman, docent RGNF  
Dr.sc. Mario Klanfar, docent RGNF  
Dr.sc. Dubravko Domitrović, docent RGNF

INFLUENCE OF NUMBER OF PHOTOGRAPHS AND CAMERA POSITION ON ACCURACY OF  
PHOTOGRAMMETRIC MEASUREMENT OF ANGLE OF REPOSE

Krešimir Maletić

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Mining and Geotechnical Engineering  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The angle of repose is the angle that forms the material with the horizontal plane when it is poured on the pile. This is a physical property particularly applicable in the technical professions, but also beyond. Emphasis was placed on the preparation and performance of laboratory tests aimed at determining the impact of changes in the number of photographs and the position of the camera on value of angle of repose. These tests were performed by the cylinder method on a real pile of material and then on a reference cone. Since the 3D model method was used to determine the angle of repose, the processing of digital photos was done in Agisoft PhotoScan and the calculation of the angle of repose in Python. The test result shows a minimal impact of changing the camera position, while a slightly greater impact is present when changing the number of photos on the angle of repose.

Keywords: angle of repose, laboratory tests, number of photos, camera position

Thesis contains: 30 pages, 4 tables, 22 figures, and 12 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Assistant Professor Tomislav Korman, PhD

Tech. assistance: Assistant Professor Mario Klanfar, PhD

Reviewers: Assistant Professor Tomislav Korman, PhD  
Assistant Professor Mario Klanfar, PhD  
Assistant Professor Dubravko Domitrović, PhD

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA .....	2
2.1. Metoda određivanja kuta sipanja iz 3D modela .....	2
2.2. Problematika vezana za kut sipanja i fotogrametrijsku metodu .....	4
3. IZRADA 3D MODELA HRPA IZ DIGITALNIH FOTOGRAFIJA .....	6
4. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA.....	8
4.1. Metoda mjerenja .....	8
4.2. Opis uzoraka .....	10
4.2.1. Realna hrpa materijala .....	10
4.2.2. Pravilna hrpa (referentni stožac).....	11
4.3. Postupak ispitivanja .....	12
5. OBRADA I ANALIZA REZULTATA .....	15
5.1. Obrada digitalnih fotografija .....	15
5.2. Izračun kuta sipanja .....	19
5.3. Analiza rezultata .....	20
6. DISKUSIJA.....	24
6.1. Utjecaj broja fotografija i položaja kamere na odstupanje rezultata na primjeru realne hrpe materijala .....	24
6.2. Utjecaj broja fotografija i položaja kamere na točnost mjerenja na primjeru referentnog stošca .....	26
7. ZAKLJUČAK .....	28
LITERATURA .....	29

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2-1</b> Princip rada i mjerenja metodom 3D modela (Kostrić, 2018) .....	2
<b>Slika 2-2</b> Usporedba oblika realne i pravilne stožaste hrpe te izostavljanje gornjeg i donjeg dijela na realnoj hrpi materijala (Wójcik i dr., 2017) .....	5
<b>Slika 2-3</b> Utjecaj brzine podizanja cilindra na iznos kuta sipanja (Rackl i dr., 2017) .....	5
<b>Slika 3-1</b> Kronološki slijed postupka dobivanja oblaka točaka (Wójcik i dr., 2017) .....	6
<b>Slika 3-2</b> Cjelokupni kronološki postupak izrade 3D modela iz digitalne fotografije (Klanfar i dr., 2021.) .....	7
<b>Slika 4-1</b> Shematski prikaz provođenja metode cilindra (Liu, 2008) .....	8
<b>Slika 4-2</b> Dolomitni uzorak frakcije 2/4 mm .....	10
<b>Slika 4-3</b> Formiranje referentnog stošca na fotografskom papiru (Kostrić, 2018) .....	11
<b>Slika 4-4</b> Posipanje granuliranog materijala na plašt stošca (Kostrić, 2018).....	11
<b>Slika 4-5</b> Položaj kamere pod kutem od 30° .....	13
<b>Slika 4-6</b> Položaj kamere pod kutem od 45° .....	13
<b>Slika 4-7</b> Položaj kamere pod kutem od 60° .....	14
<b>Slika 5-1</b> Sučelje programa za obradu fotografija <i>Agisoft PhotoScan</i> .....	15
<b>Slika 5-2</b> Učitavanje digitalnih fotografija u <i>Agisoft PhotoScan</i> .....	16
<b>Slika 5-3</b> Tlocrtni prikaz stožaste hrpe materijala u obliku oblaka točaka .....	16
<b>Slika 5-4</b> Izrada triangulirane mreže .....	17
<b>Slika 5-5</b> Prevođenje <i>psx</i> datoteke u <i>stl</i> oblik datoteke.....	18
<b>Slika 5-6</b> Formirani 3D model stožaste hrpe iz digitalnih fotografija .....	18
<b>Slika 5-7</b> Dijagram ovisnosti kuta sipanja o broju fotografija .....	20
<b>Slika 5-8</b> Dijagram ovisnosti kuta sipanja o položaju kamere.....	21
<b>Slika 5-9</b> Dijagram ovisnosti kuta sipanja o broju fotografija .....	22
<b>Slika 5-10</b> Dijagram ovisnosti kuta sipanja o položaju kamere.....	23

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 6-1</b> Utjecaj broja fotografija na iznos i odstupanje rezultata kuta sipanja.....	24
<b>Tablica 6-2</b> Utjecaj položaja kamere na iznos i odstupanje rezultata kuta sipanja .....	25
<b>Tablica 6-3</b> Utjecaj broja fotografija na iznos i točnost rezultata kuta sipanja .....	26
<b>Tablica 6-4</b> Utjecaj položaja kamere na iznos i točnost rezultata kuta sipanja .....	27

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
$\alpha$	°	kut sipanja
$\alpha_{sr}$	°	prosječni kut sipanja
$\alpha_1, \dots, \alpha_n$	°	kutovi nagiba pojedinih trokuta
$P_1, \dots, P_n$	°	površine pojedinih trokuta
$V$	$m^3$	volumen krnjeg stošca
$\pi$	-	matematička konstanta ( $\approx 3,14$ )
$P_1$	$m^2$	površina donje baze krnjeg stošca
$P_2$	$m^2$	površina gornje baze krnjeg stošca
$V_1$	$m^3$	volumen cilindra
$V_2$	$m^3$	volumen stošca
$r_1$	m	polumjer baze cilindra
$r$	m	polumjer baze stošca
$h_c$	m	visina cilindra
$h_s$	m	visina stošca

## 1. UVOD

Kut sipanja kao jedno od ključnih fizikalnih svojstava materijala definira se kao kut koji tvori materijal sa horizontalnom plohom kada ga se sipa na gomilu (Kujundžić, 2010). Pri tome, treba razlikovati statički od dinamičkog kuta sipanja. Statički je onaj kada se materijal sipa s male visine pri čemu ne dolazi do odskakanja materijala po obodu stošca, a postiže se maksimalni kut sipanja. Osim toga, taj kut se poistovjećuje sa koeficijentom trenja čestica pri mirovanju. Nasuprot tome, o dinamičkom kutu sipanja govori se kada se materijal sipa s veće visine te posjeduje značajnu brzinu i bolje kliže po površini stošca (Kopunić, 2019).

S obzirom da je kut sipanja kao svojstvo relativno kratko u središtu interesa mnogih znanstvenika, postoje različite metode kojima ga je moguće mjeriti, a među njima su najistaknutije: metoda kutomjera, metoda zasnovana na mjerenju promjera te visine hrpe materijala, zatim metoda 2D modela i metoda 3D modela temeljena na stereofotogrametriji. Iz brojnih metoda proizlazi kako nema univerzalne metode kojom bi se služili znanstvenici diljem svijeta u cilju izmjere kuta sipanja na dobivenim stožastim hrapama materijala. Upravo ta činjenica predstavlja osnovni problem ka normizaciji mjerenja kuta sipanja što bi omogućilo jednake uvjete u laboratorijima prilikom ispitivanja. Uz to, problematika leži u ovisnosti iznosa kuta sipanja o brojnim parametrima kao što su veličina i oblik zrna materijala, njegova morfologija te stanje i sastav uz hrapavost podloge, ali i temperaturu te vlažnost zraka (Cvitković, 2019).

Također, razlog više koji ide u prilog normizaciji metode mjerenja kuta sipanja je i široka primjena istog. Bez njega nije moguće točno odrediti koeficijent punjenja lopate ili sanduka kod utovarnih i transportnih strojeva, zatim neizbježan je faktor kod dimenzioniranja deponija materijala, transportnih traka, raznih spremnika, silosa ili pak rotacijskih peći. Osim navedene primjene u rudarstvu, uvelike je prisutan kod određivanja stabilnosti kosina, određivanju kuta sipanja granuliranih materijala u proizvodnji lijekova, ali i u mnogim drugim granama industrije (Beakawi i Baghabra, 2018).

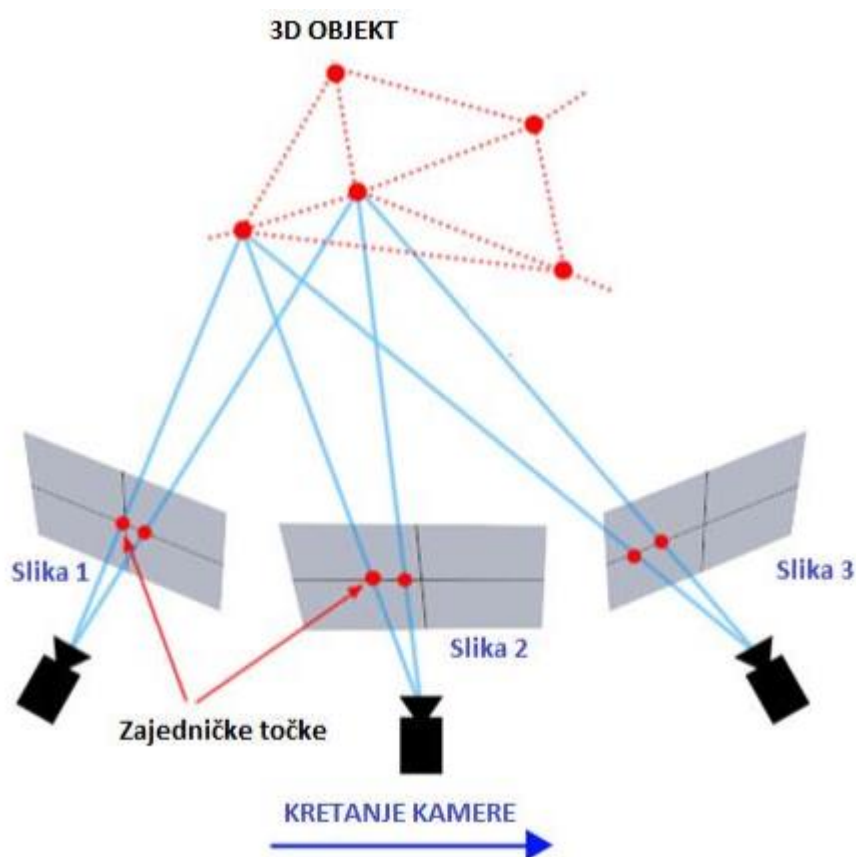
Stoga je primarni cilj ovog rada utvrditi utjecaj broja fotografija te položaja kamere na iznos kuta sipanja koristeći se 3D metodom mjerenja uz hipotezu kako bi s povećanjem broja fotografija trebala rasti točnost iznosa kuta sipanja.



## 2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Metoda određivanja kuta sipanja iz 3D modela

Temeljni princip ove metode određivanja kuta sipanja je stereofotogrametrija. Definira se kao tehnika određivanja oblika ili sličnih prostornih informacija o nekom objektu na osnovi stereoskopije, odnosno snimanja i interpretacije dviju snimaka dobivenih s različitih mjesta snimanja (Hrvatska enciklopedija, 2021). Pojednostavljeno, cilj metode je da se na svakoj fotografiji obuhvate zajedničke točke kojima se triangulacijom mogu odrediti koordinate u prostoru, odnosno njihov položaj (Slika 2-1).



**Slika 2-1** Princip rada i mjerenja metodom 3D modela (Kostrić, 2018)

Sljedeći korak u ovoj metodi je unos digitalnih fotografija u neki od programa za obradu istih te izrada tzv. oblaka točaka koji se potom koristi za dobivanje mreže, odnosno triangulirani model stožaste hrpe. Ta se hrpa zatim može unijeti primjerice u gotov algoritam programskog jezika Python koji računa kut sipanja. Upravo takva metoda koristila se pri izradi ovog rada te je istaknula svoje prednosti u vidu brzine proračuna kuta sipanja kao i točnosti istog, a nedostatak je svakako posjedovanje opreme te računalnih programa.

Sve veća zainteresiranost znanstvenika te akademske zajednice za ovu metodu rezultirala je istraživanjem Wójcika i dr. (2017) koji su proveli iscrpnih 600 mjerenja čime su ustanovili kako se metoda 3D modela (fotogrametrijska) može koristiti za različite vrste nekoherentnih materijala.

Također, istraživanje pod nazivom „*Testing the novel method for angle of repose measurement based on area-weighted average slope of a triangular mesh*“ (Klanfar i dr., 2021) za cilj je imalo razviti novu metodu mjerenja kuta sipanja temeljenu na 3D fotogrametriji i to na granuliranim materijalima uz što je moguće veću točnost zbog manje osjetljivosti na nepravilnosti hrpe. Uzorci su bili predstavljeni kao realne hrpe materijala, ali i kao referentni stožac te CAD modeli.

Zanimljivo istraživanje proveli su Galantucci i Percoco (2006) kada su ispitivali utjecaj markera, izoštrjenja fotoaparata (kamere), rezolucije te broja fotografija na točnost fotogrametrijskog mjerenja industrijskih materijala od čelika što je detaljnije opisano u sljedećem podpoglavlju 2.2.

Osim dominantnog korištenja metode 3D modela u različite svrhe, u prilog joj ide i raznolikost mogućnosti koje ista pruža. Primjerice, Kostrić (2018) se koristeći ovom metodom poslužio osim neizbježnim programom za obradu fotografija (*PhotoModeler*) i programom za vektorsku grafiku kao što je *Microstation*. *PhotoModeler* je korišten za formiranje oblaka točaka i slojnica 3D modela stožaste hrpe u *dxg* formatu kako bi bio podržan u *Microstationu*. Od tih se slojnica potom izradi triangulirana mreža kojoj se može odrediti volumen u istom programu, a izmjerivši površinu donje i gornje baze krnjeg stošca dolazi se do kuta sipanja pomoću sljedeće relacije:

$$\tan \alpha = \frac{3V \cdot \sqrt{\pi}}{\sqrt{P_1^3} - \sqrt{P_2^3}} \quad (2-1)$$

gdje su:  $\alpha$  – kut sipanja;

$V$  – volumen krnjeg stošca;

$\pi$  – matematička konstanta ( $\approx 3,14$ );

$P_1$  – površina donje baze krnjeg stošca;

$P_2$  – površina gornje baze krnjeg stošca.

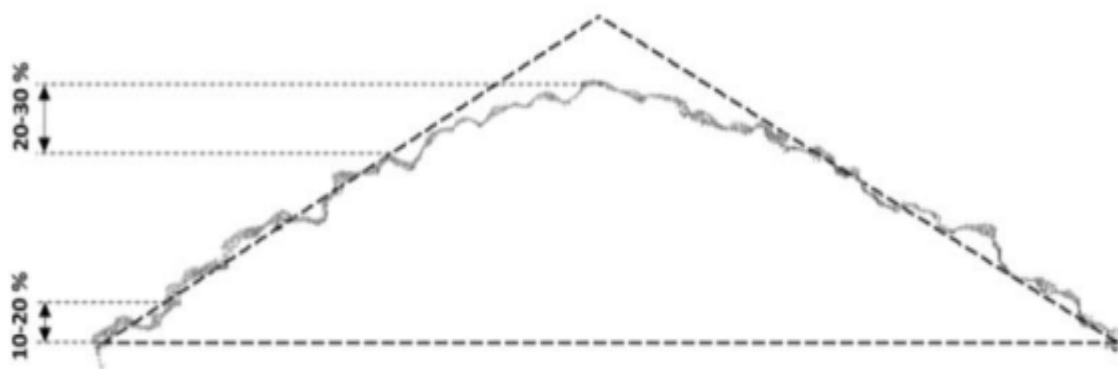
## 2.2. Problematika vezana za kut sipanja i fotogrametrijsku metodu

Osim spomenute fotogrametrijske metode, postoje i druge korištene metode za određivanje kuta sipanja. Razlozi su raznoliki, od činjenice da brojni čimbenici utječu na iznos kuta sipanja do slučaja kada sami istraživači ne posjeduju sredstva ili opremu koji su neophodni za provođenje određenom metodom. Nekima od njih je pak vrijeme ključan faktor pa se okreću jednostavnijim metodama poput kutomjera ili metode promjera i visine.

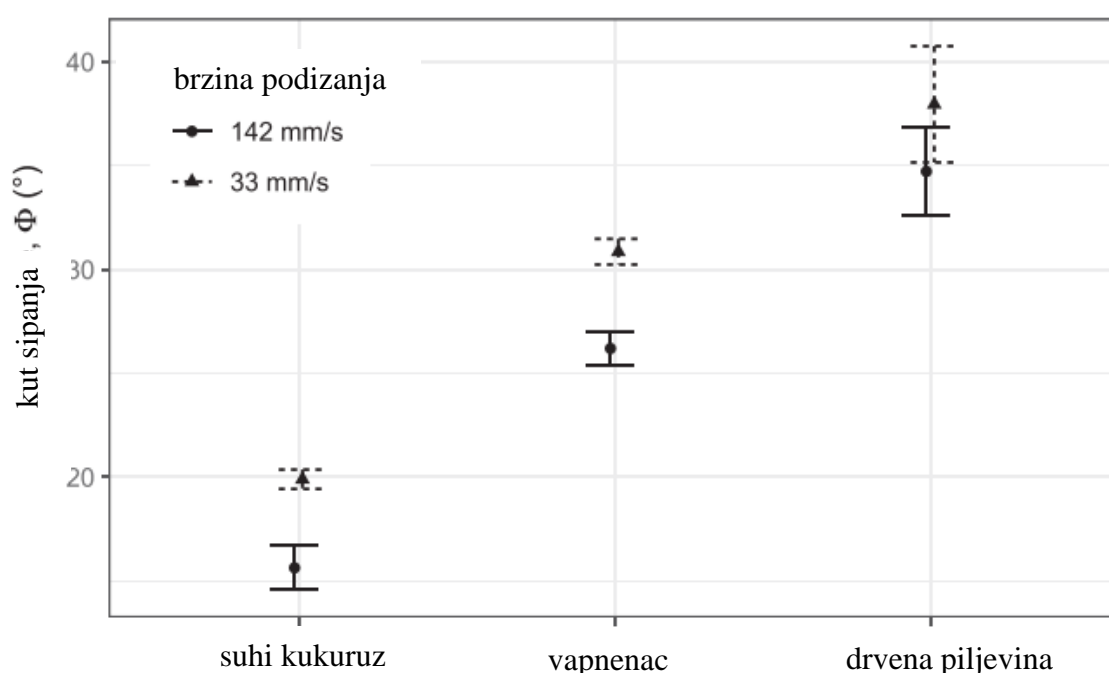
Također, problem proizlazi i iz različitih metoda formiranja stožaste hrpe materijala. Neke od najistaknutijih zasigurno su metoda nagibnog stola, metoda fiksnog lijevka, metoda valjka te metoda cilindra (Beakawi i Baghabra, 2018), a posljednja u nizu metoda korištena je u svrhu izrade ovog rada.

Osim toga, kod samog određivanja kuta sipanja nekom od metoda, nužno je znati da oblik stožaste hrpe materijala ima značajan utjecaj na konačan iznos kuta sipanja. Prilikom formiranja stožaste hrpe, njezina zrna će imati tendenciju rasipanja na svojoj bazi, dok se pri vrhu tvori zaobljenje. Samim time, očito je postojanje razlike u kutu sipanja između tako formirane hrpe materijala i pravilne stožaste hrpe jer je kod realne hrpe materijala kut sipanja manji u odnosu na pravilnu hrpu. Rješenje za taj problem ponudili su Wójcik i dr. (2017) na način da se kod realne stožaste hrpe materijala zanemari 10-20% visine stošca odozdo, ali i 20-30% visine odozgo (Slika 2-2). Preostali srednji dio koji bi ostao, činio bi 50-70% početno promatranog stošca i kao takav ostao reprezentativan za određivanje kuta sipanja.

Znanstvena ekipa Rackl i dr. (2017) potvrdila je činjenicu kako kod metode cilindra brzina podizanja cilindra ima utjecaj na iznos kuta sipanja. Točnije, manja brzina podizanja čini kut sipanja stožaste hrpe većim, dok veća brzina podizanja cilindra čini taj kut sipanja manjim što potvrđuje pretpostavku o razlikama između statičkog i dinamičkog kuta sipanja (Slika 2-3).



**Slika 2-2** Usporedba oblika realne i pravilne stožaste hrpe te izostavljanje gornjeg i donjeg dijela na realnoj hrpi materijala (Wójcik i dr., 2017)



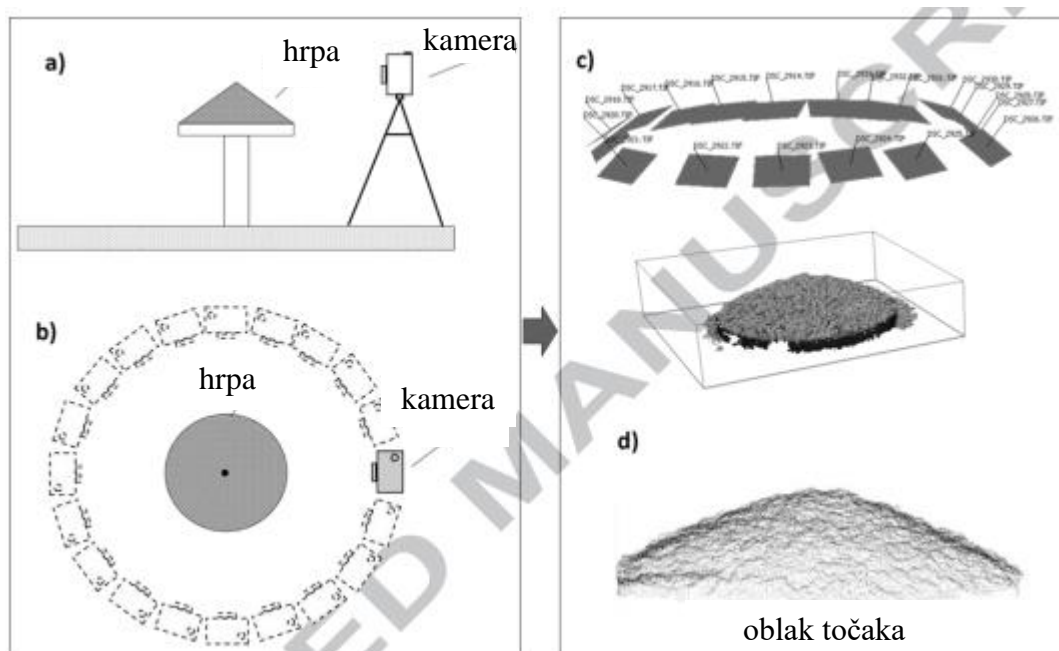
**Slika 2-3** Utjecaj brzine podizanja cilindra na iznos kuta sipanja (Rackl i dr., 2017)

Kada se kut sipanja određuje fotogrametrijskom metodom, treba uvažiti i moguće probleme koji prate odabranu metodu. Izuzetno važan zaključak o utjecaju broja fotografija na točnost fotogrametrijskog mjerenja uvidjeli su Galantucci i Percoco (2006) provodeći ispitivanja na dvama oblikom različita predmeta. Jedan je bio kuglastog, a drugi valjkastog oblika. Naime, istraživanje govori kako kod predmeta proučavanja koji ima kompleksniju površinu poput kugle broj fotografija ima velik utjecaj, dok kod jednostavnijih oblika poput valjka broj fotografija ima veoma mali ili nikakav utjecaj na točnost fotogrametrijskog mjerenja.

### 3. IZRADA 3D MODELA HRPA IZ DIGITALNIH FOTOGRAFIJA

Imajući na umu da fotogrametrijska metoda postaje dominantno korištena, sve više se ističe potreba za optimiziranjem procesa obrade tako dobivenih digitalnih fotografija čime se u konačnici želi postići što učinkovitija izrada 3D modela, a pritom zadržati točnost.

Općenito, postupak započinje prilikom učitavanja digitalnih fotografija iz memorije fotoaparata ili kamere u neki od brojnih programa za obradu fotografija. Zatim se određuje njihova orijentacija u programu, a koordinatni sustav se postavlja na osnovu stereoparova, odnosno generiranih parova slika koji su georeferencirani pomoću markera, a postavljeni su pri dobivanju fotografija. Slijedi formiranje oblaka točaka koji za cilj ima stvaranje jednostavnog i neobrađenog prikaza ispitivanog uzorka u 3D digitalnom okruženju (Wójcik i dr., 2017). Opisani postupak dobivanja oblaka točaka na primjeru stožaste hrpe materijala prikazan je na slici 3-1.



Slika 3-1 Kronološki slijed postupka dobivanja oblaka točaka (Wójcik i dr., 2017)

Dodatno, može se koristiti neki od programa za određivanje geometrijskih parametara novonastalog oblaka točaka koji pak otvaraju mogućnost da se oblak točaka aproksimira najbližim geometrijskim tijelom čime se smanjuju moguće greške u daljnjoj obradi. Posljednji korak nije nužan ukoliko je vrijeme ograničavajući faktor, no ako je zahtijevana točnost prioritet, dobro ga je uvesti u postupak izrade. No, bilo da se koristi dodatan program ili ne, oblak točaka postaje temelj za nadogradnju na složeniji 3D oblik. Za navedeno, triangulacija je ključan pojam jer se između točaka koje čine oblak stvaraju trokuti koji

predstavljaju najbolju varijantu površine geometrijskog tijela. Triangulacija podrazumijeva utvrđivanje položaja točaka u mreži trokuta koje se provodi mjerenjem kutova među stranicama pojedinih trokuta uz određivanje duljine najmanje jedne od stranica trokuta (Hrvatska enciklopedija, 2021). Obzirom da postoji mnoštvo podskupova triangulacije, za ovaj rad najbitnija je tzv. Delaunayjeva triangulacija koja označava matematičku metodu konstruiranja trokuta iz nepravilnog skupa točaka. Njezina primjena seže od modeliranja terena pa sve do računalnih modela za simulaciju fizikalnih pojava (Hrvatska enciklopedija, 2021). Možda teorijski najsloženiji, ovaj prethodni korak je ujedno i posljednji pri samoj izradi 3D modela uzorka iz digitalnih fotografija jer se pritom iz *Point Clouda* formira *Mesh Model* koji je pogodan za uređivanje kao što je mjerenje kuta sipanja zbog posjedovanja neprekinute površine. Konačno, cijeli postupak izrade 3D modela na primjeru hrpe nekonsolidiranog materijala prikazan je na slici 3-2.

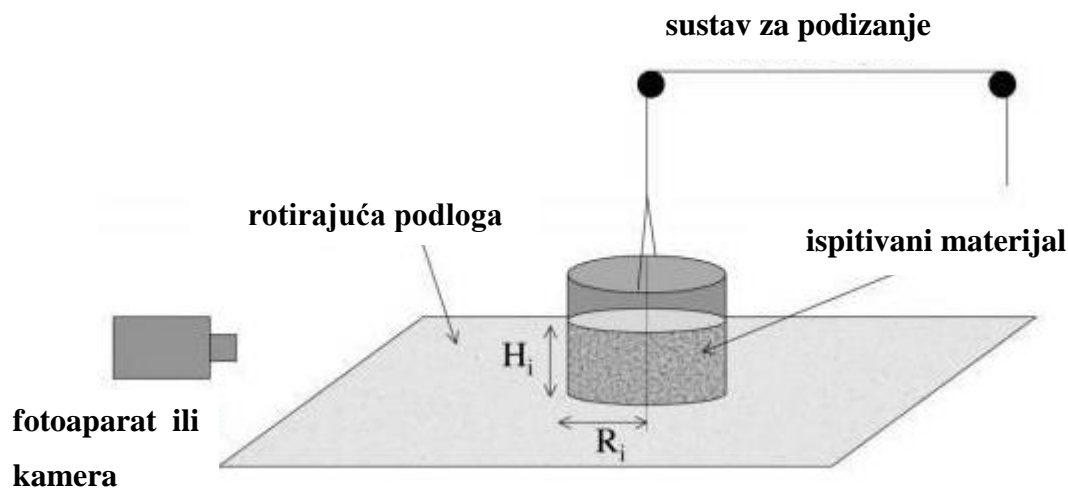


**Slika 3-2** Cjelokupni kronološki postupak izrade 3D modela iz digitalne fotografije (Klanfar i dr., 2021.)

## 4. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

### 4.1. Metoda mjerenja

Kao što je već spomenuto, odabrani način formiranja stožaste hrpe u svrhu izrade ovog rada bio je metodom cilindra. Ona se bazira na nekoliko ključnih dijelova od kojih treba istaknuti šuplji cilindar, rotirajuću podlogu, sustav za podizanje kao i fotoaparati ili kameru (Slika 4-1).



Slika 4-1 Shematski prikaz provođenja metode cilindra (Liu, 2008)

U suštini, šuplji cilindar se spusti na rotirajuću podlogu te se u njega nasipa predviđena količina materijala koji se ispituje, a potom se može krenuti u podizanje cilindra jednolikom brzinom. Time se omogućava slobodno formiranje hrpe materijala koja ima tendenciju stvaranja približno obliku stošca. Tada je postupak gotov čime započinje faza određivanja statičkog kuta sipanja nekom od metoda.

Kujundžić (2010) daje izvod za izračun kuta sipanja prema formuli G.W. Köhlera uz pretpostavku da je visina cilindra 1 m te da mu je površina 1 m<sup>2</sup>. Tada slijedi:

$$V_1 = r_1^2 \cdot \pi \cdot h_c = 1 \text{ m}^3 \quad (4-1)$$

$$V_2 = \frac{r^2}{3} \cdot \pi \cdot h_s = 1 \text{ m}^3 \quad (4-2)$$

gdje su:  $V_1$  – volumen cilindra ( $m^3$ );  
 $V_2$  – volumen stošca ( $m^3$ );  
 $r_1$  – polumjer baze cilindra (m);  
 $r$  – polumjer baze stošca (m);  
 $h_c$  – visina cilindra (m);  
 $h_s$  – visina stošca (m).

Uz pretpostavku istih volumena cilindra i stošca, nadalje slijedi:

$$V_1 = V_2 \quad (4-3)$$

$$r_1^2 \cdot \pi \cdot h_c = \frac{r^2}{3} \cdot \pi \cdot h_s = 1 \quad (4-4)$$

Koristeći trigonometriju, dolazi se do sljedećeg pri čemu je kut sipanja označen grčkim slovom  $\alpha$ :

$$\tan \alpha = \frac{h_s}{r} \quad (4-5)$$

Potom se dolazi do sljedeće relacije koristeći izraze 4-4 te 4-5:

$$\tan \alpha = \sqrt{\frac{\pi}{3}} \cdot \sqrt{h_s^3} \quad (4-6)$$

Obzirom da konstanta  $\sqrt{\frac{\pi}{3}}$  iznosi približno 1, konačno se dobiva izraz za kut sipanja:

$$\tan \alpha \approx \sqrt{h_s^3} \quad (4-7)$$



## 4.2. Opis uzoraka

Već u planskom dijelu izrade ovog rada bilo je zamišljeno da se laboratorijska ispitivanja provode ne samo na realnoj hrpi nekonsolidiranog materijala, nego i na pravilnoj hrpi, tj. referentnom stošcu sa otprije poznatim kutem sipanja čime se uz odstupanje rezultata može provjeriti i točnost.

### 4.2.1. Realna hrpa materijala

U svojstvu ispitivanog materijala bio je dolomit podrijetlom sa eksploatacijskog polja Gradna nedaleko Samobora čiji je koncesionar Samoborka d.d. Riječ je o prirodnom materijalu sive boje, frakcije 2/4 mm, što podrazumijeva da je najveći postotak zrna veličine između 2 i 4 milimetra. Kao agregatu, primjena mu je uglavnom vezana za pripravu betona različitih receptura. Neposredno prije provođenja laboratorijskih ispitivanja, uzorak dolomita je temeljito ispran s ciljem da se u što većoj mjeri spriječi stvaranje prašine pri dizanju cilindra. Realna hrpa dolomitnog uzorka prikazana je na slici 4-2.



Slika 4-2 Dolomitni uzorak frakcije 2/4 mm

#### 4.2.2. Pravilna hrpa (referentni stožac)

Osnovna svrha ovog uzorka je mogućnost usporedbe rezultata dobivenih fotogrametrijskom metodom sa referentnom vrijednošću. Međutim, taj je uzorak obzirom na to trebalo izraditi, a navedeno je učinjeno pomoću postavljanja ispisanog plašta stošca na fotografski papir koji je pogodan zbog savitljivosti i čvrstoće. Taj se plašt savija u željeni oblik stošca i izrađuje mu se baza što je vidljivo na slici 4-3 (Kostrić, 2018).



**Slika 4-3** Formiranje referentnog stošca na fotografskom papiru (Kostrić, 2018)

Posljednje se lijepila dvostruko ljepljiva traka na plašt stošca kako bi granulirani materijal koji se posipa ostao na željenom mjestu na plaštu (Slika 4-4).



**Slika 4-4** Posipanje granuliranog materijala na plašt stošca (Kostrić, 2018)

### 4.3. Postupak ispitivanja

Laboratorijska ispitivanja s ciljem utvrđivanja utjecaja broja fotografija te položaja kamere na točnost fotogrametrijskog mjerenja kuta sipanja provedena su u Laboratoriju za vjetrenje, kvalitetu zraka i tehniku sigurnosti na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu. Pritom je sve organizirano na način da se može obaviti unutar vremenskog perioda od jednog radnog dana zbog osiguravanja identičnih uvjeta temperature, vlažnosti zraka te ostalog.

Korišteni način formiranja stožaste hrpe materijala metodom cilindra detaljnije je opisan u podpoglavlju 4.1 pa ovdje neće biti ponovno objašnjen, već će biti pružene samo specifične informacije poput unutarnjeg promjera cilindra od 103 mm, a vanjskog od 110 mm. Njegova visina pritom iznosi 320 mm. Kada se materijal postavi u šuplji cilindar koji je prethodno stavljen na rotirajuću podlogu, poravna se ispitivani uzorak unutar cilindra kako bi sva zrna imala što je moguće sličnije početne uvjete. Potom se na rotirajuću podlogu od drveta postave markeri, odnosno orijentiri koji su neophodni za fotogrametrijsku metodu. Tada se može aktivirati sustav za podizanje cilindra koji je predviđen za jednoliku brzinu rada od približno 4 mm/s. Kada se ispitivani materijal u potpunosti umiri, tj. kada nijedno zrno više nije u gibanju, formirana je stožasta hrpa materijala pogodna za fotogrametrijsko određivanje kuta sipanja. Konkretno, riječ je o realnoj hrpi, budući da je ispitivani materijal bio dolomit frakcije 2/4 mm.

Obzirom da rotirajuća podloga ima podjelu (skalju) po  $10^\circ$  duž cijelog vanjskog ruba kako bi se znalo za koliko stupnjeva se zarotirala od proizvoljno postavljenih  $0^\circ$ , ispitivanje se vršilo tako da se određena hrpa materijala okreće upravo za  $10^\circ$  te se tada fotografira kamerom Pentax K-5 i tako dok se rotirajuća podloga ne vrati u početni položaj. Samim time, za realnu hrpu materijala generira se 36 fotografija, a isti princip korišten je i za pravilnu hrpu (referentni stožac) koji je imao svrhu kalibriranog stošca uz napomenu da kod njega nije bilo potrebno provoditi metodu cilindra korištenjem sustava za podizanje znajući da je to već gotova tvorevina na koju se zalijepio kameni agregat. Međutim, bitno je napomenuti kako se položaj kamere mijenjao za svaki set od 36 fotografija. To znači da je u prvom slučaju i realna i pravilna hrpa bila fotografirana 36 puta kamerom postavljenom pod  $30^\circ$ , zatim u drugom slučaju pod  $45^\circ$ , dok je u posljednjem, trećem slučaju taj kut iznosio  $60^\circ$ . Različiti položaji kamere u odnosu na horizontalnu ravninu prikazani su na slikama 4-5, 4-6, 4-7.



**Slika 4-5** Položaj kamere pod kutem od 30°



**Slika 4-6** Položaj kamere pod kutem od 45°

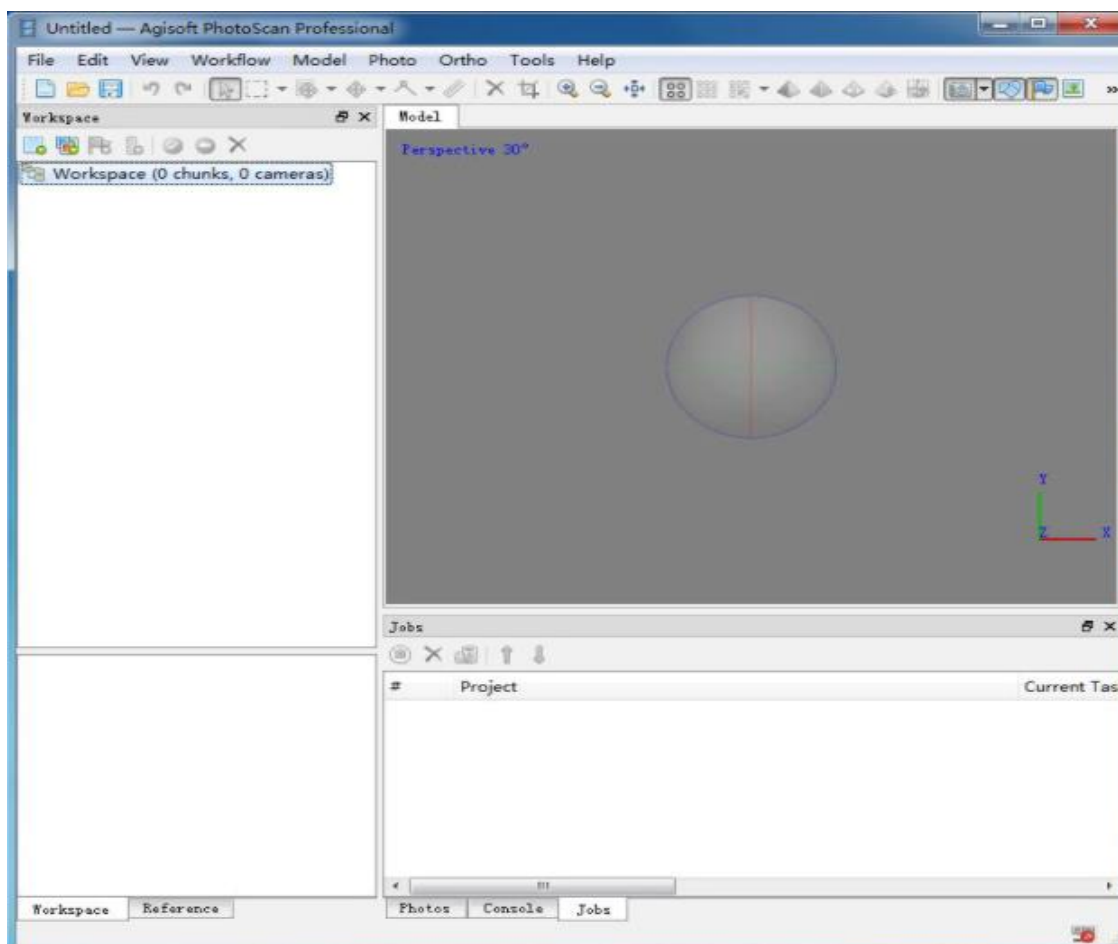


**Slika 4-7** Položaj kamere pod kutem od  $60^\circ$

## 5. OBRADA I ANALIZA REZULTATA

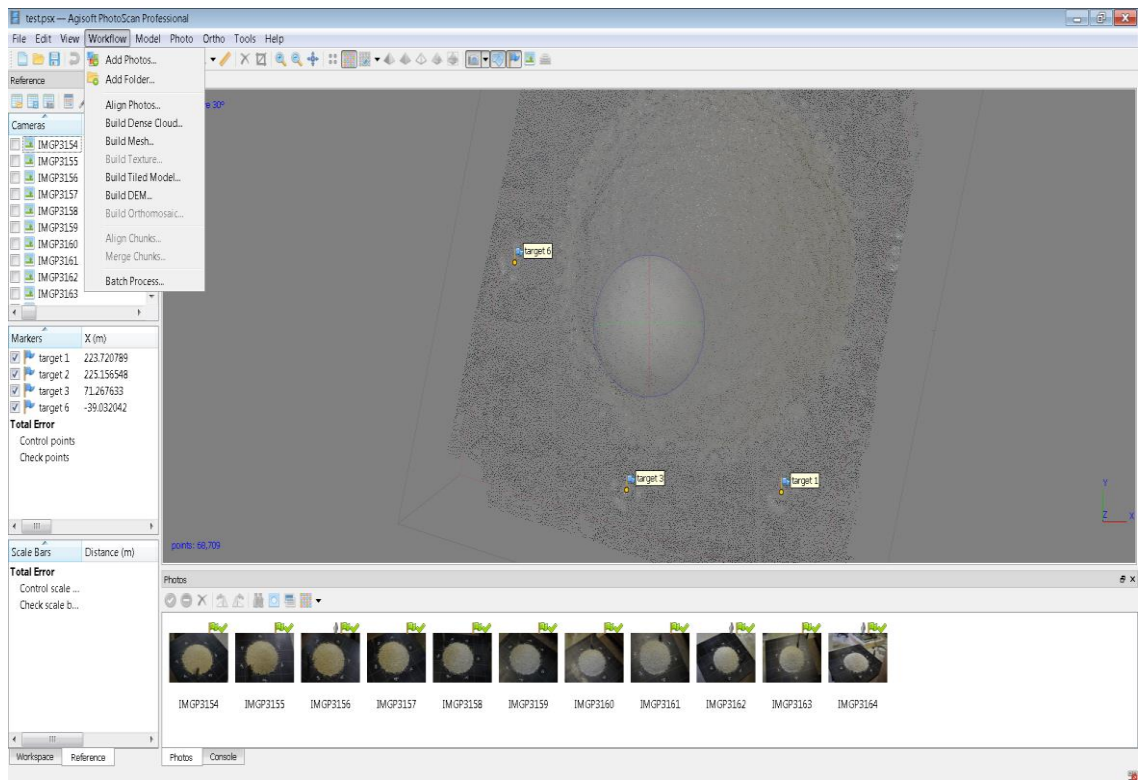
### 5.1. Obrada digitalnih fotografija

Znajući da je fotogrametrijsko mjerenje kuta sipanja srž ovog rada, bilo je potrebno spremi na računalo digitalne fotografije dobivene ispitivanjima. Kao alat za njihovu obradu korišten je računalni program *Agisoft PhotoScan* čije je sučelje prikazano slikom 5-1.

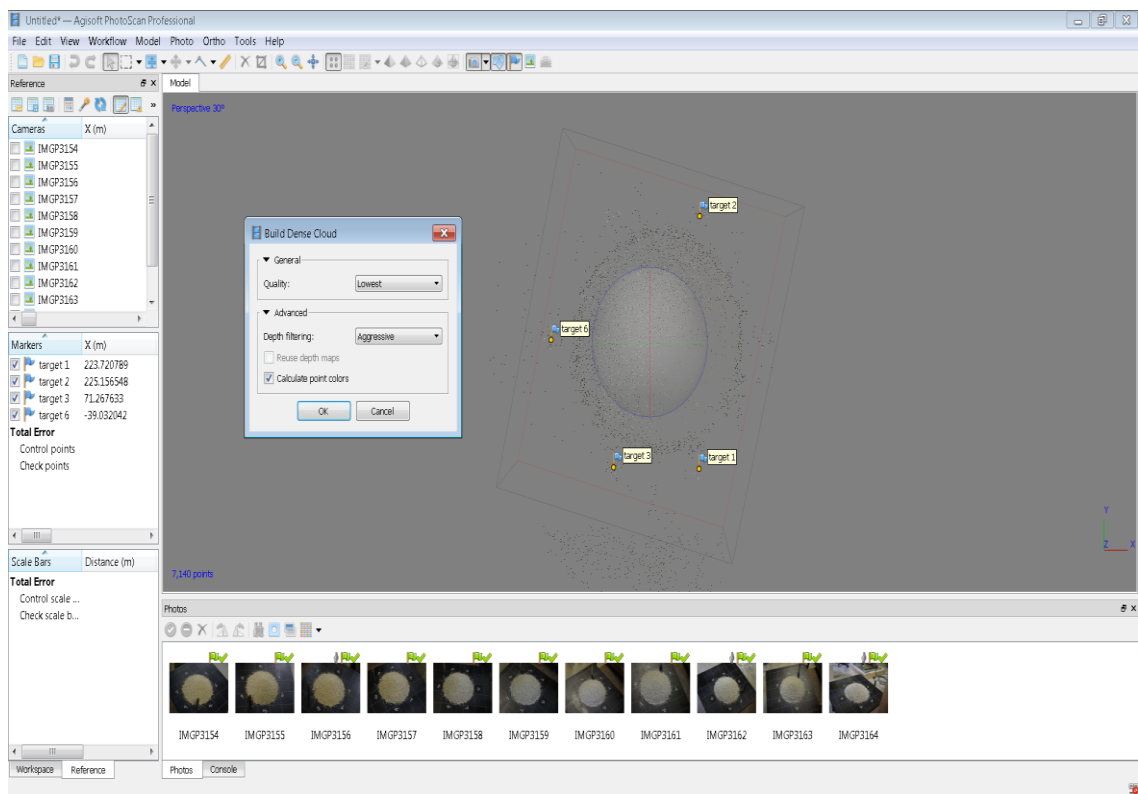


Slika 5-1 Sučelje programa za obradu fotografija *Agisoft PhotoScan*

Sljedeći korak sastojao se od učitavanja prethodno spremljenih fotografija direktno u program jednostavnim odabirom izbornika *Workflow* sa osnovne alatne trake te klikom na *Add Photos* (Slika 5-2). Uslijedilo je korištenje *Batch* procesa koji objedinjuje tri nužna koraka u obradi digitalnih fotografija, a to su redom: poravnanje fotografija (*Align Photos*), prepoznavanje markera (*Detect Markers*) te izrada oblaka točaka (*Dense Cloud*). Taj oblak točaka stožaste hrpe u tlocrtnom prikazu vidljiv je na slici 5-3.

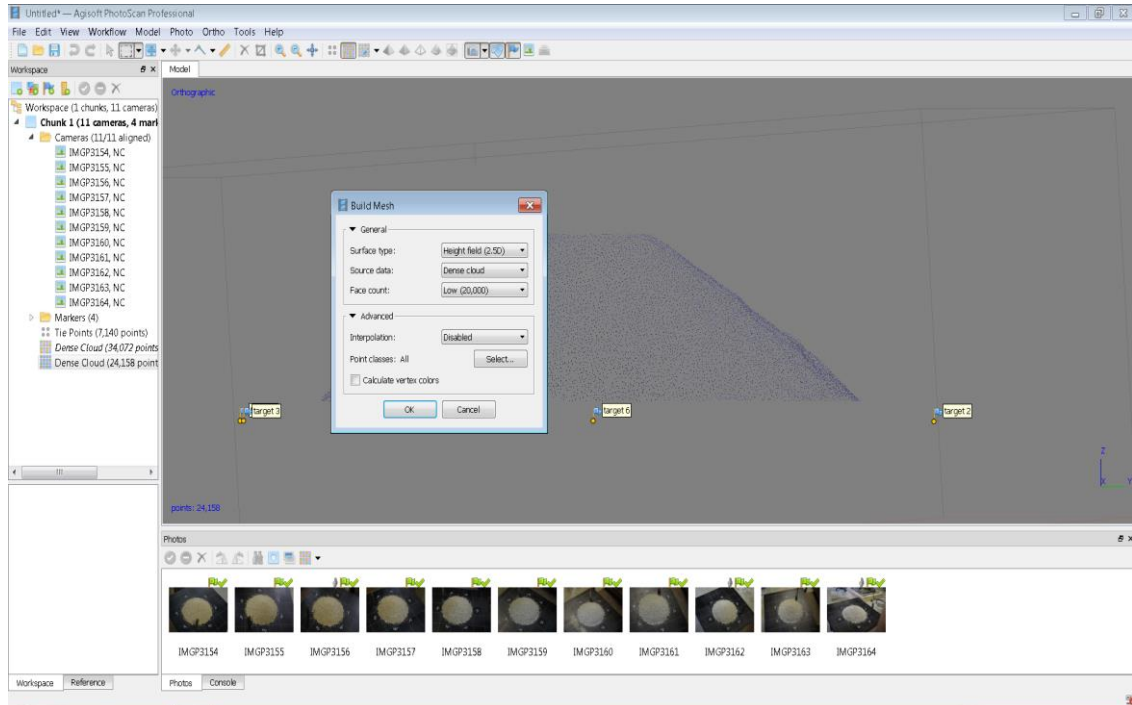


Slika 5-2 Učitavanje digitalnih fotografija u Agisoft PhotoScan



Slika 5-3 Tlocrtni prikaz stožaste hrpe materijala u obliku oblaka točaka

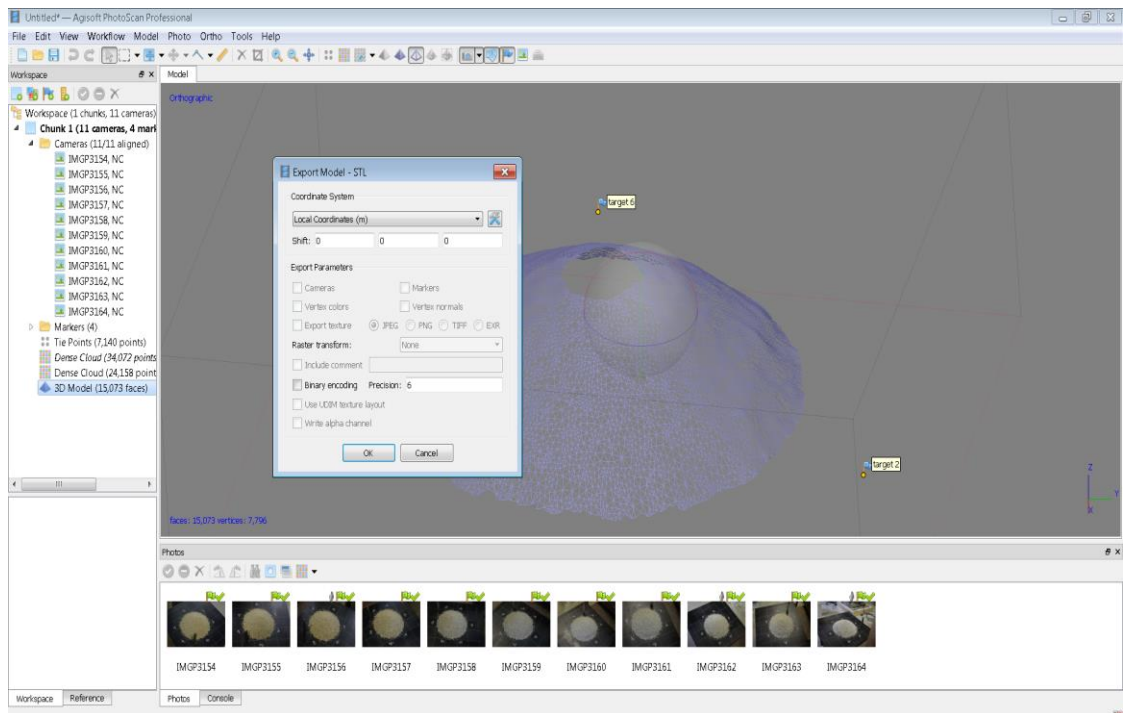
Zatim je oblak točaka trebao poslužiti kao osnova za izradu triangulirane mreže, tj. mreže koju čini značajan broj trokuta (točnije 20 000) koji tvore površinu plašta stožaste hrpe. To je omogućeno naredbom *Build Mesh* iz padajućeg izbornika *Workflow* (Slika 5-4).



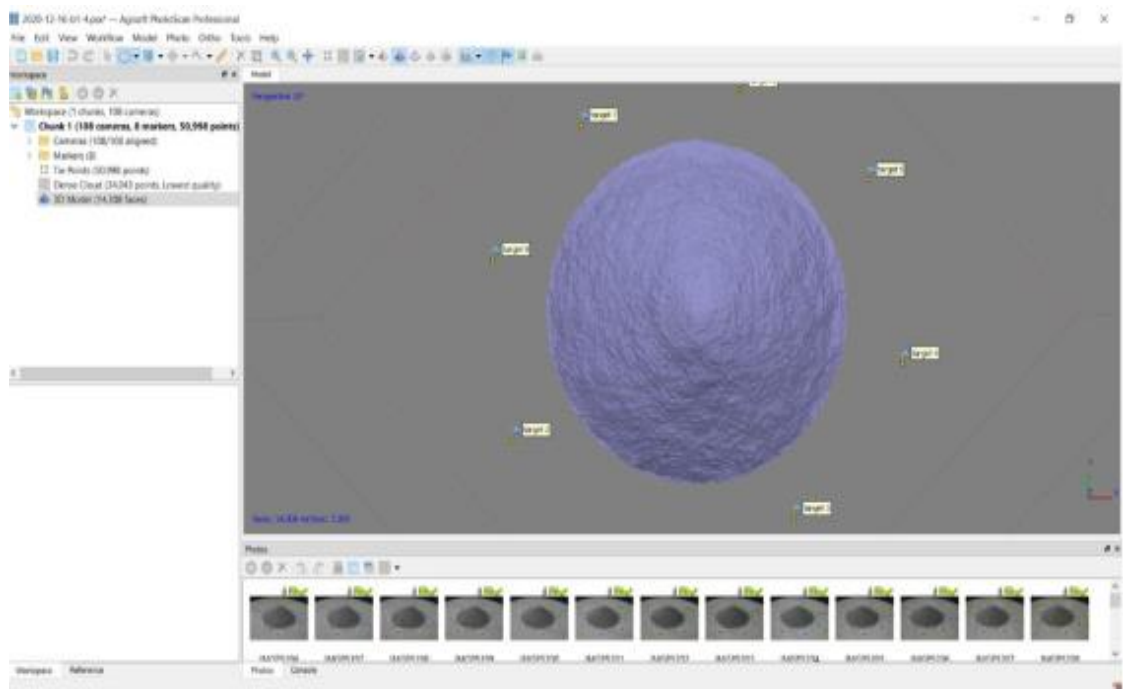
Slika 5-4 Izrada triangulirane mreže

Jedan od posljednjih koraka bio je prevođenje (*Export*) 3D modela u *stl* oblik datoteke u ASCII zapisu koji je podržan od strane algoritma u programskom jeziku *Python* koji je također korišten u ovom radu. Taj se postupak također jednostavno provodi klikom desne tipke miša na triangulirani model te odabirom na *Export Model* što je prikazano slikom 5-5, a konačan izgled 3D modela stožaste hrpe materijala vidljiv je na slici 5-6.





Slika 5-5 Prevođenje *psx* datoteke u *stl* oblik datoteke



Slika 5-6 Formirani 3D model stožaste hrpe iz digitalnih fotografija

## 5.2. Izračun kuta sipanja

Nakon postupka obrađivanja digitalnih fotografija, uslijedila je faza izračuna kuta sipanja na formiranim 3D modelima hrpa materijala i to uz pomoć algoritma generiranog u programskom jeziku *Python*. Naime, obzirom da u programu za obradu fotografija *Agisoft PhotoScan* ne postoji odgovarajući alat za računanje prosječnog nagiba stožastih hrpa, 3D modeli u *stl* formatu učitavaju se u *Python* pomoću naredbe *Run*, a potom *Run Module*. Time se otvara radni prozor u kojem se omogućava upisivanje željenih naredbi koje su definirane algoritmom, a među njima najbitnija je *slope* koja ima zadaću upravo računanje prosječnog kuta nagiba plašta stošca iz poznatih koordinata vrhova trokuta trianguliranih 3D modela. To funkcionira pojednostavljeno na sljedeći način: pozivanjem naredbe *slope* u pozadini programa odvija se računanje tako da se zbroje umnošci površina svakog pojedinog trokuta sa njegovim kutem nagiba te se potom sve to podijeli sa ukupnom površinom svih trokuta (Klanfar i dr., 2021). Pojednostavljeni analitički izraz slijedi u nastavku:

$$\alpha_{sr} = \frac{\alpha_1 \cdot P_1 + \alpha_2 \cdot P_2 + \dots + \alpha_n \cdot P_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} \quad (5-1)$$

gdje su:  $\alpha_{sr}$  – prosječni kut sipanja

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  – kutovi nagiba pojedinih trokuta

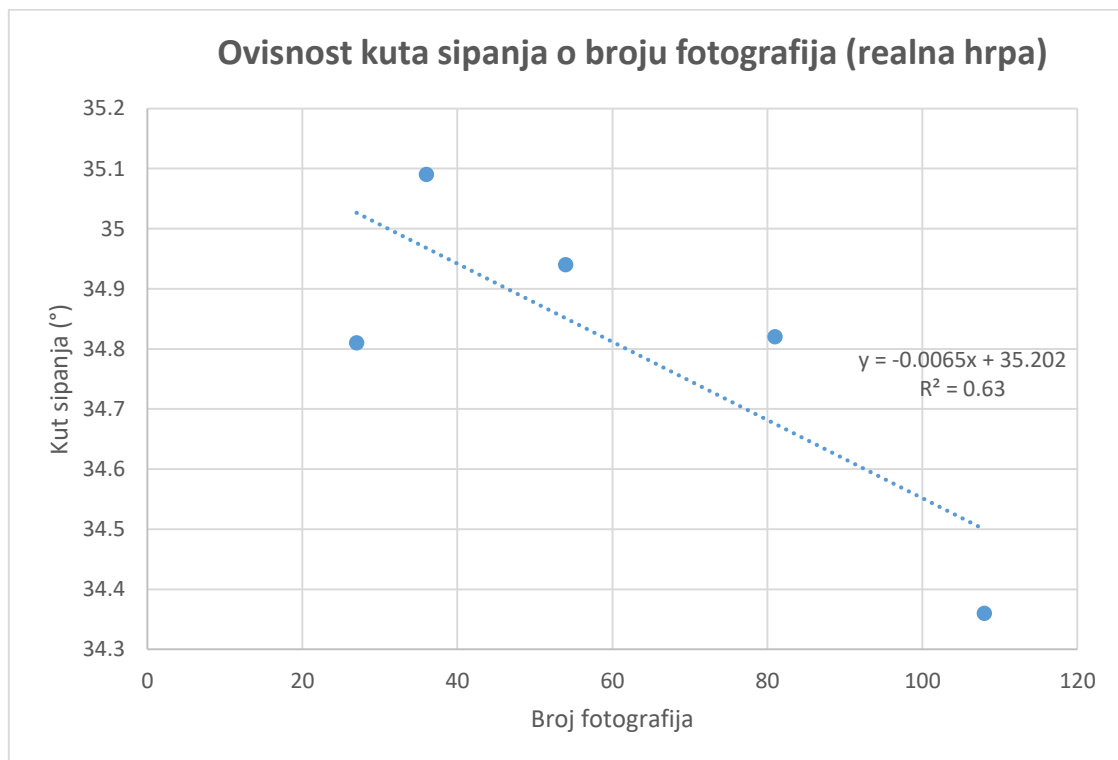
$P_1, P_2, \dots, P_n$  – površine pojedinih trokuta

Isti se postupak provodi za svaku *stl* datoteku, tj. za svaki 3D model hrpe materijala te se rezultat naredbe *slope* upisuje u program za tablično računanje kao što je *Microsoft Excel* kako bi se dobiveni podaci podvrgli analizi ovisnosti ispitivanih parametara i vrijednosti kuta sipanja.

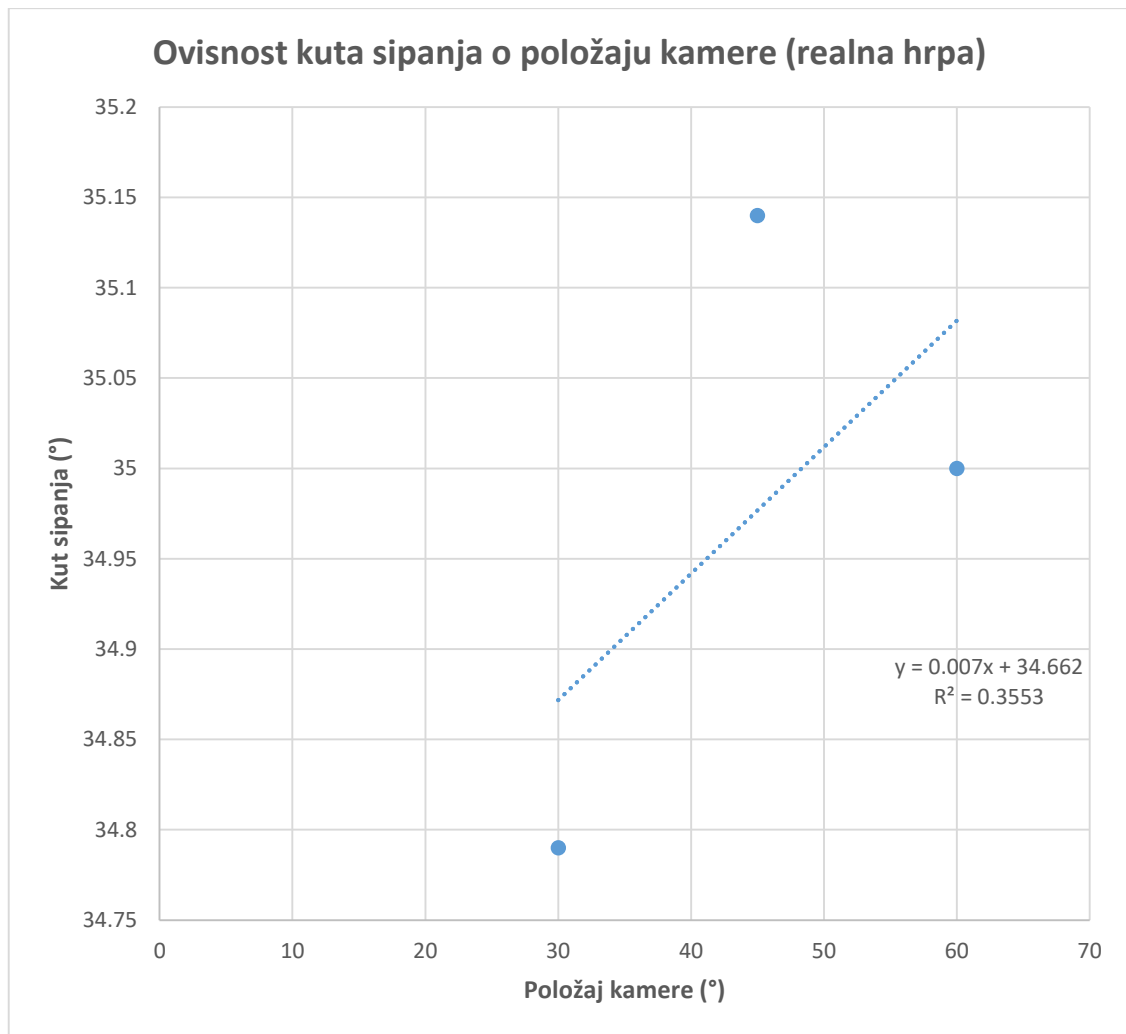
### 5.3. Analiza rezultata

Konačno se sa dobivenim iznosima kuta sipanja za svaki 3D model moglo pristupiti analizi istih ovisno o promatranim parametrima poput broja fotografija, odnosno položaju kamere. Za navedeno korištena je 2D regresijska analiza unutar programa *Microsoft Excel* na način da se izradi dijagram ovisnosti dvaju željenih parametara, a za dobivene točke se provuče najbolje aproksimiran pravac opisan jednačinom uz mogućnost prikaza i R-kvadratne vrijednosti koja upućuje na postojanje ili nepostojanje međuovisnosti (veze) dvaju parametara na temelju njezinog iznosa. Ukoliko R-kvadratna ovisnost poprimi vrijednost 0,5 ili veću, smatra se kako postoji određena međuovisnost parametara, a što je ta vrijednost bliža 1, to je međuovisnost jača.

U nastavku će biti prikazani dijagrami provedenih regresijskih analiza na primjeru realne hrpe materijala, a potom na primjeru pravilne hrpe (referentnog stošca).



Slika 5-7 Dijagram ovisnosti kuta sipanja o broju fotografija

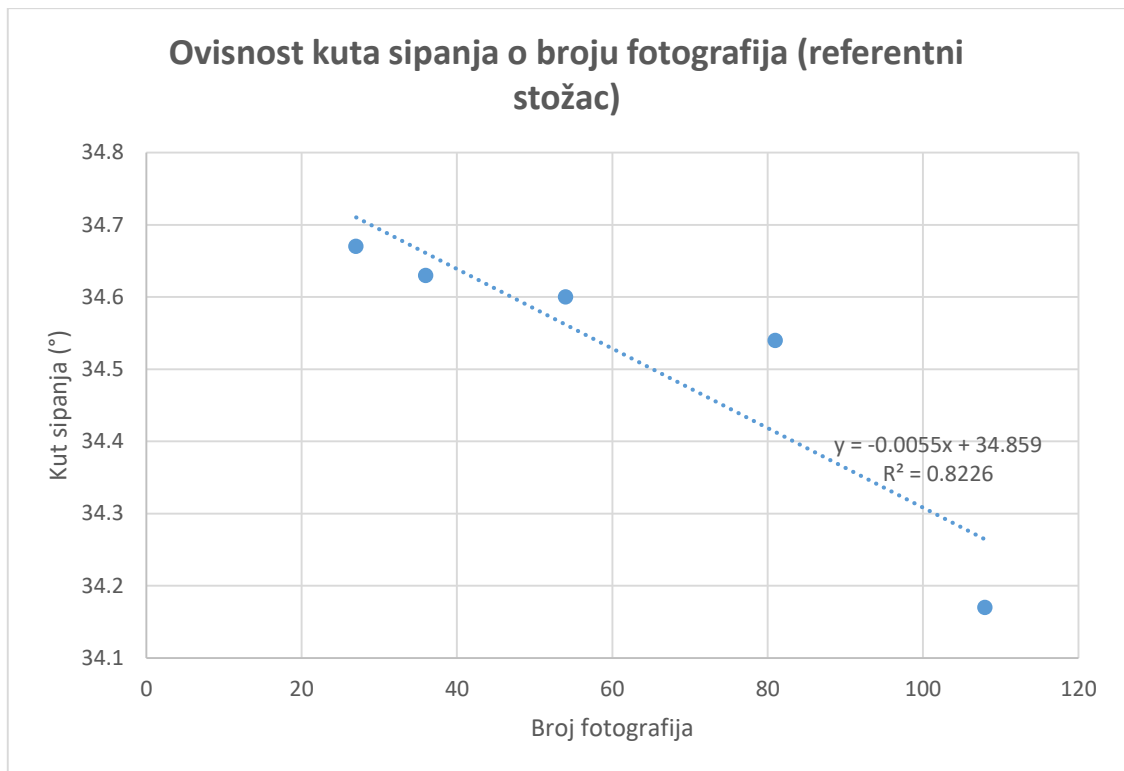


**Slika 5-8** Dijagram ovisnosti kuta sipanja o položaju kamere

Na slici 5-7 prikazan je dijagram sa provedenom regresijskom analizom na podacima sa laboratorijskih ispitivanja na primjeru realne hrpe materijala pri čemu se ispituje ovisnost iznosa kuta sipanja o promjeni broja urađenih fotografija.

Slično tome, na slici 5-8 vidljiv je dijagram regresijske analize na primjeru realne hrpe materijala, ali pritom se ispituje ovisnost iznosa kuta sipanja o položaju kamere u odnosu na horizontalnu površinu.

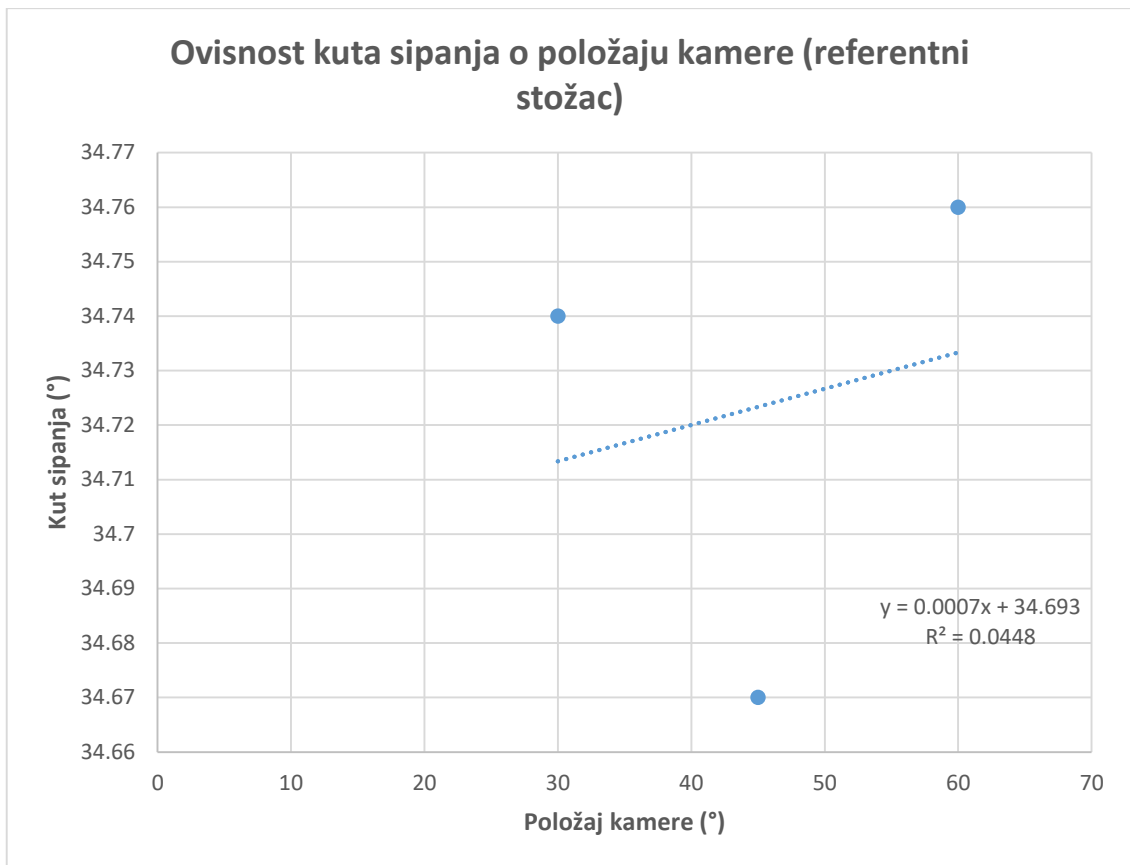
Isti postupak regresijske analize proveden je i na referentnom stošcu, a prateći dijagrami prikazani su u nastavku.



**Slika 5-9** Dijagram ovisnosti kuta sipanja o broju fotografija

Na slici 5-9 prikazan je dijagram ovisnosti iznosa kuta sipanja o promjeni broja fotografija na primjeru referentnog stošca uz odrađenu regresijsku analizu.

Na istom principu, slika 5-10 prikazuje dijagram ovisnosti iznosa kuta sipanja o promjeni položaja kamere u odnosu na horizontalu i to na primjeru referentnog stošca.



**Slika 5-10** Dijagram ovisnosti kuta sipanja o položaju kamere

## 6. DISKUSIJA

### 6.1. Utjecaj broja fotografija i položaja kamere na odstupanje rezultata na primjeru realne hrpe materijala

Grafički prikazi ovisnosti prikazani su slikama 5-7 i 5-8. Konkretno, na slici 5-7 vidljivo je da se ispitivanjima obuhvatio broj fotografija koji su redom bili: 27, 36, 54, 81 te 108. Pritom, u svakom od pet slučajeva kad se mijenjao broj fotografija, parametri poput faktora zaglađivanja (*smoothing factor*) i broja trokuta, tj. veličine mreže (*face count*) držali su se istim. Faktor zaglađivanja iznosio je 10, dok je broj trokuta bio 20 000. Također, obzirom da se radi o realnoj hrpi materijala ne može se ispitivati točnost rezultata jer ni u jednom trenutku nije poznata „prava“ vrijednost kuta sipanja, već se može promatrati odstupanje rezultata od prosjeka nekih vrijednosti, odnosno aritmetičke sredine istih. Upravo na temelju te činjenice izrađena je tablica 6-1 koja je prikazana u nastavku.

**Tablica 6-1** Utjecaj broja fotografija na iznos i odstupanje rezultata kuta sipanja

<b>Broj fotografija</b>	27	36	54	81	108
<b>Kut sipanja (°)</b>	34,81	35,09	34,94	34,82	34,36
<b>Aritmetička sredina (°)</b>	34,80				
<b>Odstupanje rezultata (°)</b>	0,01	0,29	0,14	0,02	-0,44

Ono što se može uvidjeti iz ove tablice, ali i iz slike 5-7 jest trend da se značajnim povećanjem broja fotografija smanjuje iznos kuta sipanja te je najmanji za 108 fotografija. No, treba naglasiti kako je riječ o vrlo malim iznosima promjena kuta sipanja ( $<1^\circ$ ) kao i o iznosima odstupanja ( $<0,5^\circ$ ) uz činjenicu kako R-kvadratna ovisnost za regresijski pravac iznosi gotovo 0,63 što govori u prilog postojanju veze između broja fotografija i iznosa kuta sipanja.

Potom su se broj fotografija (36), faktor zaglađivanja (10) te broj trokuta (20 000) držali istim, a mijenjao se položaj kamere počevši od  $30^\circ$ , zatim  $45^\circ$  pa sve do  $60^\circ$  u odnosu na horizontalnu ravninu. Cilj je bio uvidjeti utjecaj položaja kamere na iznos kuta sipanja baš kao i na pripadajuća odstupanja rezultata. Navedeno je prikazano tablicom 6-2.

**Tablica 6-2** Utjecaj položaja kamere na iznos i odstupanje rezultata kuta sipanja

<b>Položaj kamere (°)</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>
<b>Kut sipanja (°)</b>	34,79	35,14	35,00
<b>Aritmetička sredina (°)</b>	34,98		
<b>Odstupanje rezultata (°)</b>	-0,19	0,16	0,02

Kao što je vidljivo iz ove tablice, ali i slike 5-8, može se reći da na ispitivanim podacima dolazi do toga da je najveći postignuti kut sipanja za položaj kamere od 45°, dok je najmanji kut sipanja postignut za položaj kamere od 30°. No, razlike među iznosima kuta sipanja pri mijenjanju položaja kamere su veoma male ( $<0,5^\circ$ ) baš kao i odstupanja od aritmetičke sredine ( $<0,5^\circ$ ). Pritom se najmanje odstupanje postiglo za položaj kamere od 60°. No, ovdje je R-kvadratna ovisnost 0,36 čime se ne može potvrditi postojanje veze ili značajnog utjecaja položaja kamere na iznos kuta sipanja.



## 6.2. Utjecaj broja fotografija i položaja kamere na točnost mjerenja na primjeru referentnog stošca

Kod pravilne hrpe (referentnog stošca) postoji bitna razlika u odnosu na realnu hrpu materijala, a to je činjenica kako je kut sipanja kalibriran na 35° čime se otvara mogućnost ispitivanja točnosti, a ne samo odstupanja od neke srednje vrijednosti. U prethodnom poglavlju na slikama 5-9 i 5-10 prikazane su ovisnosti iznosa kuta sipanja o broju fotografija kao i o položaju kamere, a iz kojih je vidljivo da slično kao i kod realne hrpe s povećanjem broja fotografija dolazi do smanjenja iznosa kuta sipanja. S promjenom položaja kamere, regresijski pravac pokazuje pozitivan rast kao i kod realne hrpe, no ipak je nešto blažeg nagiba. No, konačan utjecaj broja fotografija kao i položaja kamere na točnost vidljiv je u nastavku, točnije u tablicama 6-3 i 6-4.

**Tablica 6-3** Utjecaj broja fotografija na iznos i točnost rezultata kuta sipanja

<b>Broj fotografija</b>	27	36	54	81	108
<b>Kut sipanja (°)</b>	34,67	34,63	34,60	34,54	34,17
<b>Aritmetička sredina (°)</b>	34,52				
<b>Stvarna vrijednost (°)</b>	35				
<b>Točnost rezultata (°)</b>	-0,33	-0,37	-0,40	-0,46	-0,83

Iz posljednje tablice vidljivo je da se za točnost rezultata najbolje pokazala kombinacija sa najmanje fotografija (27), dok su parametri poput faktora zaglađivanja (10) te broja trokuta (20 000) bili isti. U ostala tri slučaja su faktor zaglađivanja i broj trokuta bili identični, no doprinijeli su manjoj točnosti rezultata kuta sipanja, odnosno većim odstupanjima od stvarne vrijednosti kuta sipanja referentnog stošca. Nadovezujući se na sliku 5-9 vrijednost R-kvadratne ovisnosti je 0,82 za regresijski pravac, stoga se može zaključiti da je riječ o snažnoj međuovisnosti broja fotografija i iznosa kuta sipanja.

Zatim se razmatrao utjecaj položaja kamere na točnost iznosa kuta sipanja na primjeru referentnog stošca s time da su se tada broj fotografija (36), faktor zaglađivanja (10) te broj

trokuta (20 000) držali istim. Navedeni slučaj sa konkretnim vrijednostima dan je u sljedećoj tablici 6-4.

**Tablica 6-4** Utjecaj položaja kamere na iznos i točnost rezultata kuta sipanja

<b>Položaj kamere (°)</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>
<b>Kut sipanja (°)</b>	34,74	34,67	34,76
<b>Aritmetička sredina (°)</b>	34,72		
<b>Stvarna vrijednost (°)</b>	35		
<b>Točnost rezultata (°)</b>	-0,26	-0,33	-0,24

Jasno je vidljivo da promjena položaja kamere ima veoma mali utjecaj na iznos i točnost rezultata kuta sipanja obzirom da su se iznosi kuta sipanja kretali u vrijednostima  $<0,10^\circ$  baš kao i odstupanja, no pritom se točnost kod referentnog stošca kao i odstupanje kod realne hrpe materijala najboljom pokazala pri položaju kamere od  $60^\circ$  u odnosu na horizontalnu ravninu. Treba spomenuti i vrijednost R-kvadratne ovisnosti za navedeni slučaj regresijske analize (Slika 5-10) koja poprima iznos od 0,04 koji upućuje na nepostojanje veze i utjecaja položaja kamere na iznos kuta sipanja.

## 7. ZAKLJUČAK

U širem smislu riječi, razlikuju se statički i dinamički kut sipanja. Predmet promatranja i ispitivanja ovog rada bio je statički zbog lakše primjene u laboratorijskim uvjetima rada iako posebice u rudarstvu, dinamički kut sipanja ima veću zastupljenost. Osim rudarstva, primjenjuje se u nizu tehničkih grana gospodarstva poput građevinarstva, geotehničkog inženjerstva, ali i u farmaceutskoj industriji i slično. Konkretno, služi kao koeficijent u proračunima kapaciteta utovarnih i transportnih strojeva, za dimenzioniranje deponija materijala kao i odlagališta te za ispitivanje granuliranih materijala u proizvodnji lijekova.

Poznato je da mnogi parametri utječu na kut sipanja kao fizikalnu veličinu, a cilj ovog rada bio je istražiti veličinu utjecaja broja fotografija te položaja kamere jer se kut sipanja determinirao fotogrametrijskom metodom. Stoga je odlučeno da će laboratorijska ispitivanja obuhvatiti osim jedne realne hrpe dolomitnog materijala i jednu pravilnu hrpu, odnosno referentni stožac s poznatim kutem sipanja od  $35^\circ$ . Realna hrpa formirana je metodom cilindra, dok pravilnu hrpu nije trebalo formirati jer je to već gotova tvorevina.

Nakon laboratorijskih ispitivanja uslijedila je obrada fotografija, a obzirom da je fotogrametrija kao način i metoda prisutna za određivanje kuta sipanja, nužno je osigurati opremu koja zadovoljava preduvjete kako bi se ostvarili ciljevi ovog rada. Jedan od njih je program za obradu fotografija kao i alat koji je u stanju iz generiranih 3D modela hrpa odrediti nasipni kut. U tu svrhu korišteni su *Agisoft PhotoScan* i *Python*. Naime, digitalne su se fotografije učitavale u program zajedno s markerima kako bi prvotno nastao tzv. oblak točaka iz kojeg se daljnjom obradom dobiva 3D model uz pomoć triangulacije. Kao takav, pogodan je za uređivanje pa i određivanje kuta sipanja što se učinilo na način da se 3D model u *stl* formatu učita u pripremljeni algoritam programskog jezika *Python* i jednostavnim pozivanjem naredbe kao produkt dobiva se nasipni kut.

Naknadnom analizom podataka utvrđeno je da kod oba ispitivana uzorka (realni i referentni) postoji utjecaj broja fotografija na iznos kuta sipanja i to na način da se njegova vrijednost (iako malo) smanjuje s povećanjem broja fotografija što je opovrgnulo početnu hipotezu. S druge strane, utjecaj položaja kamere je praktički zanemariv, no zaključak ide u smjeru kako je  $60^\circ$  optimalni položaj, budući da se kod realne hrpe postignulo najmanje odstupanje od aritmetičke sredine, a kod referentne hrpe najveća točnost. No, ubuduće je neophodno ostvariti ispitivanja u kojem bi broj fotografija bio manji od 20 s ciljem povećavanja ulaznih podataka kao i moguće promjene trenda ponašanja kuta sipanja.

## LITERATURA

BEAKAWI AL-HASHEMI, H.M., BAGHABRA AL-AMOUDI, O.S. 2018. *A review on the angle of repose of granular materials*. Pdf. Powder technology, 330 (2008), str. 397-417.

CVITKOVIĆ, M. 2019. *Utjecaj visine uzorka na kut sipanja dolomita metodom cilindra*. Diplomski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

GALANTUCCI, L. M., PERCOCO, G. 2006. *Accuracy Issues of Digital Photogrammetry for 3D Digitization of Industrial Products*. Revue Internationale de Ingegnerie Numerique, 2, str. 29-40.

KLANFAR, M., KORMAN, T., DOMITROVIĆ, D., HERCEG, V. 2021. *Testing the novel method for angle of repose measurement based on area-weighted average slope of a triangular mesh*. Powder Technology, 387, str. 396-405.

KOPUNIĆ, M. 2019. *Metode ispitivanja kuta sipanja i ponovljivost rezultata metodom cilindra*. Diplomski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

KOSTRIĆ, S. 2018. *Određivanje kuta stošca pri ispitivanju kuta sipanja metodom cilindra*. Diplomski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

KUJUNDŽIĆ, T. 2010. *Fizikalna svojstva materijala*. Predavanja: Transport i izvoz. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

LIU, Z. 2008. *Measuring the angle of repose of granular systems using hollow cylinders*. Master Thesis. University of Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

RACKL, M., GRÖTSCH, F.E., RUSCH M., FOTTNER J., 2017. *Qualitative and quantitative assessment of 3D-scanned bulk solid heap data*. Powder Technology, 321, str. 105-118.

WÓJCIK, A., KLAPA, P., MITKA, B., SŁADEK, J. 2017. *The use of the photogrammetric method for measurement of the repose angle of granular materials*. Measurement, 24, str. 2-17.

HRVATSKA ENCIKLOPEDIJA. 2021. *Stereofotogrametrija*. URL:  
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=58027> 20.7.2021.

HRVATSKA ENCIKLOPEDIJA. 2021. *Triangulacija*. URL:  
<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=62229> 22.7.2021.



KLASA: 602-04/21-01/187  
URBROJ: 251-70-11-21-2  
U Zagrebu, 13.09.2021.

**Krešimir Maletić, student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/187, URBROJ: 251-70-11-21-1 od 07.05.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### UTJECAJ BROJA FOTOGRAFIJA I POLOŽAJA KAMERE NA TOČNOST FOTOGRAMETRIJSKOG MJERENJA KUTA SIPANJA

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Doc.dr.sc. Tomislav Korman nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj

(potpis)

Doc.dr.sc. Tomislav Korman

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc.dr.sc. Dubravko  
Domitrović

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)