

APPLICATION OF POLAR, PHOTOGRAMMETRIC AND LiDAR METHOD IN MEASUREMENT OF STONE AGGREGATE STOCKPILE VOLUME

ПРИМЕНА ПОЛАРНЕ, ФОТОГРАМЕТРИЈСКЕ И LiDAR МЕТОДЕ КОД МЕРЕЊА ЗАПРЕМИНЕ ДЕПОНИЈА КАМЕНОГ АГРЕГАТА

Bojan Kostić¹

UDK: 528.7:628.477.6.036

DOI: 10.14415/zbornikGFS40.01

CC-BY-SA 4.0 license

Summary: At this time, the methods of surveying details by unmanned aerial vehicles and LiDAR (Light Detection and Ranging) systems have become equal to classical geodetic methods, especially when surveying larger areas in a very short period of time with great precision. One of the most important applications of the above systems is the calculation of material stock quantities. It is quite certain that these methods represent the future in modern geodesy. Unmanned aerial vehicles and LiDAR systems with various types of sensors are currently available on the market, which justify their use in geodetic works with their quality and relatively low price. With the development of new methods, mathematical models and software solutions, modern photogrammetry makes maximum use of new technology with the help of which it is possible to perform measurements with centimeter precision and accuracy.

Keywords: total station, photogrammetry, LiDAR, volume.

Резиме: У овом тренутку методе снимања детаља беспилотним ваздухопловним и LiDAR (Light Detection and Ranging) системима постале су равноправне класичним геодетским методама, посебно код снимања већих површина у веома кратком временском периоду са великом прецизношћу. Једна од најбитнијих примена напред наведених система је прорачун количина залиха материјала. Сасвим је извесно да ове методе представљају будућност у савременој геодезији. На тржишту су тренутно доступни беспилотни ваздухоплови и LiDAR системи са разним врстама сензора који својим квалитетом и релативно ниском ценом оправдавају своје коришћење у геодетским радовима. Уз развој нових метода, математичких модела и софтверских решења савремена фотограмetriја максимално користи нову технологију уз помоћ које је могуће извршити мерења са центиметарском прецизношћу и тачношћу.

Кључне речи: тотална станица, фотограмetriја, LiDAR, запремина.

¹ Bojan Kostić, dipl. inž. geodez., University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering Subotica, Kozaračka 2a, Subotica, Serbia, tel: +381 24 554 300, e – mail: kostic.bojan@gmail.com

1. INTRODUCTION

This scientific paper gives a brief overview of the development of a 3D model of the stockpile by the polar, photogrammetric and LiDAR methods, measuring its volume and comparing the obtained data. It is necessary to measure the volume of the stockpile of crushed stone aggregate fraction 11-16 mm on the asphalt plant of the company VOJPUT DOO from Subotica and compare the obtained data.

2. THEORETICAL FOUNDATIONS

2.1 Calculation of volumes from digital terrain model

The expansion of information technologies has led to the development of a large number of software packages for 3D design, modeling and integration of spatial data. By applying them, the volumes can be determined very easily. These programs enable the creation of digital terrain models in the form of grid (Figure 1) and TIN (Triangulated Irregular Network). The TIN algorithm is based on Delaunay triangulation. The surface of the terrain is represented by spatial triangles whose vertices are collected during the geodetic survey of the terrain. In addition to points, structural lines, isohypses and objects whose position is defined in space can be used.

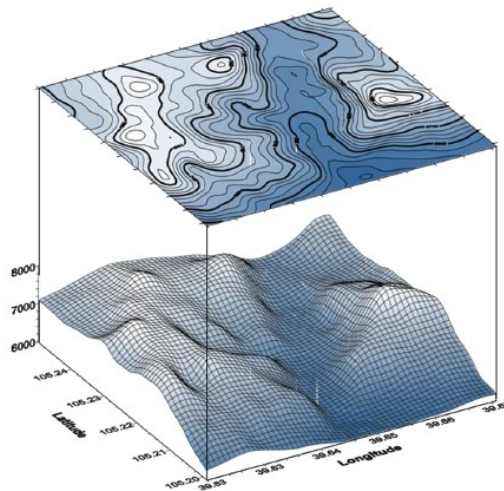
1. УВОД

Овај рад даје кратак преглед израде 3D модела депоније поларном, фотограметријском и LiDAR методом, мерење запремине исте и поређење добијених података. Потребно је извршити мерење запремине депоније дробљеног каменог агрегата фракције 11-16 mm на асфалтној бази предузећа ВОЈПУТ ДОО из Суботице и упоредити добијене податке.

2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

2.1 Рачунање запремина из дигиталног модела терена

Експанзија информационих технологија довела је до развоја великог броја програмских пакета за 3D пројектовање, моделирање и интеграцију просторних података. Применом истих могу се веома једноставно одредити запремине. Ови програми омогућавају креирање дигиталних модела терена у форми грида (слика 1) и TIN-а (Triangulated Irregular Network или мрежа неправилних троуглова). TIN алогоритам је базиран на Делонеовој триангулацији. Површ терена се представља просторним троугловима чија су темена тачке прикупљуне приликом геодетског снимања терена. Поред тачака могу се користити структурне линије, изохипсе и објекти чији је положај дефинисан у простору.



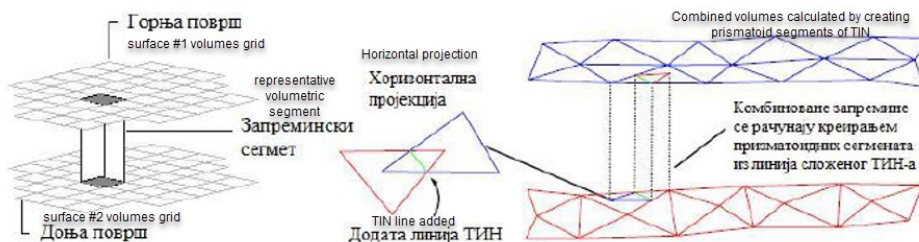
Слика 1 – Грид метода рачунања запремина помоћу дигиталног модела терена
Figure 1 – Grid volume calculation method using a digital terrain model

For the purposes of determining volumes, in software packages, two digital terrain models (DTM) are required, base and new layer, which must be positioned one above the other. By overlapping the two DTMs, terrain changes can be easily observed. [3]

A large number of methods for determining volumes are based on the calculation of volumes by adding individual volumes of prisms which are obtained as geometric figures with the base of a square, rectangle or triangle. The two most well-known methods are the grid method and the combined method (Figure 2).

За потребе одређивања запремина, у програмским пакетима, неопходна су два дигитална модела терена (ДМТ), базно и ново стање, који морају бити позиционирани један изнад другог. Преклапањем два ДМТ веома једноставно се могу уочити промене терена. [3]

Велики број метода за одређивање запремина базира се на рачунању запремина сабирањем појединачних запремина призми које се добијају као геометријске фигуре са основом квадрата, правоугаоника или троугла. Две најпознатије методе су грид метода и комбинована метода (слика 2).



Слика 2 – Грид и комбинована метода рачунања запремина
Figure 2 – Grid and combined volume calculation method

2.2 Calculation of volumes from the digital terrain model

Volume is calculated with DTM. Before calculating the volume, it is necessary to generate a point cloud and DTM. A network of squares representing pixels is projected over the DTM (Figure 3). The distance of two consecutive pixel centers measured on the ground is represented by the GSD (Ground Sampling Distance). The higher the value of GSD, the lower the spatial resolution, ie. details are less visible [3]. GSD is calculated based on:

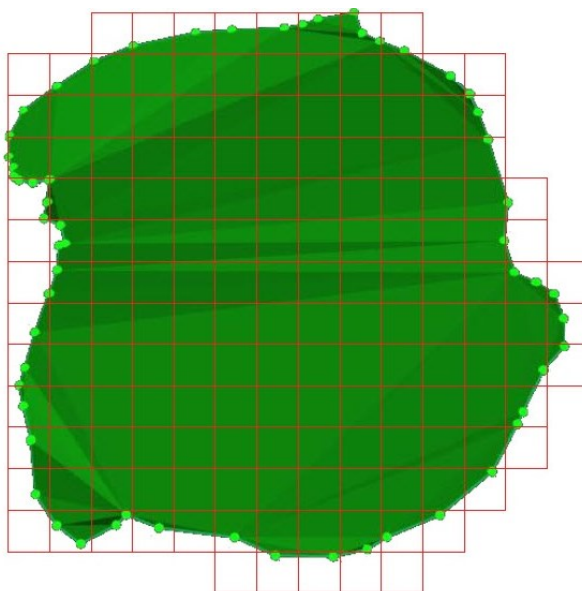
- flight altitude / distance of the drone from the terrain or object;
- Camera specifications: image widths, sensor widths and focal lengths.

2.2 Рачунање запремина из дигиталног модела терена

Запремина се рачуна са ДМТ. Пре рачунања запремине неопходно је генерисати облак тачака и ДМТ. Преко ДМТ пројектује се мрежа квадрата који представљају пикселе (слика 3). Растојање два узастопна центра пиксела мерена на тлу представља GSD (Ground Sampling Distance). Што је већа вредност GSD-а то је мања просторна резолуција тј. детаљи су мање видљиви [3].

GSD се рачуна на основу:

- висине лета/удаљености дрона од терена или објекта;
- спецификације камере: ширине слике, ширине сензора и фокалне дужине.



Слика 3 – Мрежа квадрата преко ДМТ
Figure 3 – A network of squares over a digital terrain model

For each cell and network, the volume (V_i) is calculated:

За сваку ћелију i мреже, запремина (V_i) рачуна се:

$$V_i = L_i \cdot W_i \cdot H_i \quad (1)$$

where is:

L_i = cell length, W_i = cell width, H_i = cell height.

The length (L_i) and width (W_i) of the cell are equal to the GSD. Height (H_i) is calculated:

где је:

L_i = дужина ћелије, W_i = ширина ћелије, H_i = висина ћелије.

Дужина (L_i) и ширина (W_i) ћелије су једнаки GSD-у. Висина (H_i) рачуна се:

$$H_i = Z_{Ti} - Z_{Bi} \quad (2)$$

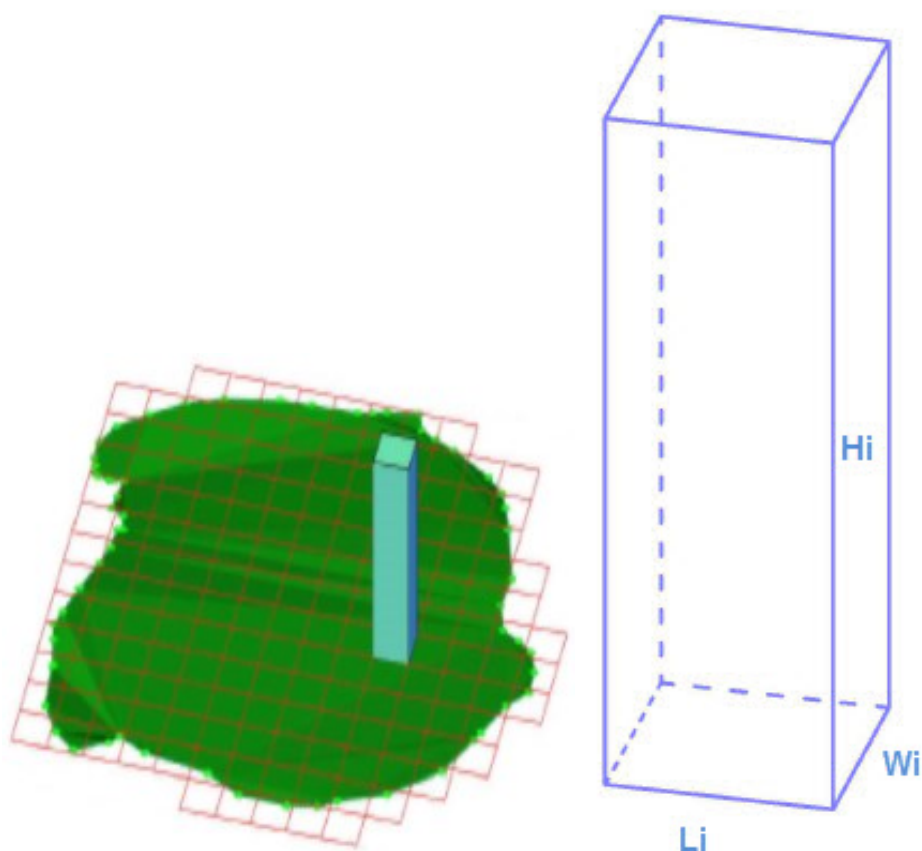
where is: Z_{Ti} = height of each cell in the center of the same, Z_{Bi} = height of the base of each cell in the center of the same.

Therefore, the volume V_i of the cell (Figure 4) is given by the following formula:

где је: Z_{Ti} = висина сваке ћелије у центру исте, Z_{Bi} = висина базе сваке ћелије у центру исте.

Према томе, запремина V_i ћелије (Слика 4) је дата следећом формулом:

$$V_i = GSD \cdot GSD \cdot (Z_{Ti} - Z_{Bi}) \quad (3)$$



Слика 4 – Запремина једне ћелије
Figure 4 – The volume of one cell

2.3 Calculation of volumes from digital terrain model

Measurement (surveying) of details means the collection of field data for points for which the detail is geometrically determined, in order to create a plan or map of the surveyed detail. This data defines the position of the detailed points or details that are the subject of the survey. The method of collecting field data is called the method of surveying details or land surveys.

There are graphic and numerical surveying methods. Numerical methods ensure greater accuracy of the surveyed detail, and graphic methods are much more efficient and therefore more rational.

Numerical surveying methods got this name because they provide numerical data for each detailed point. Based on this data, an appropriate scale plan can be made. If the plan is larger, the accuracy of the surveyed detail should be higher and vice versa. Figure 5 shows the division of geodetic survey methods.

2.3 Рачунање запремина из дигиталног модела терена

Под мерењем (снимањем) детаља подразумева се прикупљање теренских података за тачке којима је геометријски одређен детаљ, у циљу израде плана или карте снимљеног детаља. Ови подаци дефинишу положај детаљних тачака односно детаља који је предмет премера. Начин прикупљања теренских података назива се метод снимања детаља или премера земљишта.

Постоје графичке и нумеричке методе снимања. Нумеричке методе осигуравају већу тачност снимљеног детаља, а графичке су знатно ефикасније и самим тим рационалније.

Нумеричке методе снимања добиле су овај назив по томе што се код њих за сваку детаљну тачку добијају нумерички подаци. На основу ових података може се израдити план у одговарајућој размери. Ако је план крупније размере, тачност снимљеног детаља треба бити већа и обрнуто. На слици 5 приказана је подела метода геодетског снимања.



Слика 5 – Методе снимања у геодезији [4]
Figure 5 – Surveying methods in geodesy [4]

Geodetic table and orthogonal method have not been used in data collection in geodesy for a long time. The division of geodetic survey methods can be divided into direct and indirect.

In direct methods, both the instrument and the observer are located on the Earth's surface. These include orthogonal, polar, terrestrial laser scanning and the GNSS (Global Navigation Satellite System) method.

In indirect methods, the measurement is performed from the air or from space. These include aerial photogrammetry, radar imaging, laser scanning from airplanes or helicopters, satellite imagery methods, and more. [4].

2.4 Polar method surveying

The polar method belongs to the so-called classical methods of surveying the terrain. It is characterized by high accuracy of certain coordinates and a good description of the characteristics of the captured objects. This method is also called tachymetry due to the fast data collection.

The polar method collects elements for calculating the coordinates of points, such as the measured angle between one in the space defined line and the direction to the point whose coordinates are determined and the measured lengths from the vertex of the measured angle to the same point.

The basic principle of operation is based on measuring three elements: horizontal angle, vertical angle and oblique length. All other sizes are derived from these.

The polar surveying station can be a point of geodetic basis or a freely chosen, temporarily marked and determined point.

Measurement (surveying) of details by the polar method is performed by a total station. A total station is an optical instrument commonly used in civil engineering and geodesy. A total

Геодетски сто и ортогонална метода се одавно не користе у прикупљању података у геодезији. Подела метода геодетског снимања може се извршити и на непосредне и посредне.

Код непосредних метода се и инструмент и опажач налазе на површини Земље. Овде спадају ортогонална, поларна, терестичко ласерско скенирање и GNSS (Global Navigation Satellite System) метода.

Код посредних метода премер се изводи из ваздуха или из свемира. Овде спадају аерофотограметријско, радарско снимање, ласерско скенирање из авиона или хеликоптера, метода сателитских снимака итд. [4].

2.4 Поларна метода снимања

Поларна метода припада такозваним класичним методама снимања терена. Одликује се високом тачношћу одређених координата и добрим описом карактеристика снимљених објеката. Ова метода се због брзог прикупљања података назива још и тахиметрија.

Поларном методом прикупљају се елементи за рачунање координата тачака, као што су измерени угао између једне у простору дефинисане праве и правца на тачку чије се координате одређују и измерене дужине од темена измереног угла до исте тачке.

Основни принцип рада заснива се на мерењу три елемента: хоризонтални угао, вертикални угао и коса дужина. Све остале величине су изведене из ових.

Станица за снимање поларном методом може бити тачка геодетске основе или слободно изабрана, привремено обележена и одређена тачка.

Мерење (снимање) детаља поларном методом врши се тоталном станицом. Тотална станица је оптички инструмент који се обично

station is a combination of a digital theodolite, an electronic distance measuring device and a microprocessor with a memory unit. The original name for an instrument of this type was an electronic tachometer. The latest generations of total stations combine high-speed surveying, imaging and 3D scanning into one precise and reliable instrument.

2.5 Photogrammetry method surveying

Photogrammetry is a science that deals with obtaining reliable information about the properties of physical objects and surfaces without direct contact with the object of measurement and interpretation of the obtained data. [2]. Obtaining information about the measured objects is done with sensors that register electromagnetic radiation, most often in the form of a photograph, but other types of sensors can also be used, such as a laser.

The results of photogrammetric measurements can be used to measure the exact shape, position, size of the measured object, as well as to measure the length, angles, volume and other physical properties of the object being measured. It is possible to interpret the obtained measurement results or to analyze the qualitative characteristics of the object of measurement.

Currently, photogrammetry is widely used in the production of orthophotos and digital elevation models used in geographic information systems. In engineering geodesy, digital height models are used to create terrain profiles.

Engineering photogrammetry deals with shooting at distances from a few tens of meters to several hundred meters with accuracy from a few centimeters to a few millimeters. It can be terrestrial or the surveying can be performed by drones. It is also called short-subject photogrammetry. It is used in

користи у грађевинарству и геодезији. Тотална станица је комбинација дигиталног теодолита, електронског уређаја за мерење удаљености и микропроцесора са меморијском јединицом. Првобитни назив за инструмент ове врсте био је електронски тахометар. Најновије генерације тоталних станица комбинују снимање, сликање и 3D скенирање велике брзине у један прецизан и поуздан инструмент.

2.5 Фотограмметријска метода снимања

Фотограмetriја је наука која се бави прибављањем поузданих информација о својствима физичких објеката и површи без непосредног контакта са предметом мерења и интерпретацијом добијених података. [2].

Прибављање информација о мереним објектима се врши сензорима који региструју електромагнетско зрачење, најчешће у виду фотографије, али се могу користити и друге врсте сензора као што је ласер.

Резултати фотограмметријског мерења могу се користити за мерење тачног облика, положаја, величине мереног објекта, као и за мерења дужине, углова, запремине и других физичких особина предмета мерења. Могуће је вршити интерпретацију добијених резултата мерења односно анализирати квалитативне особине предмета мерења.

Тренутно фотограмetriја има велику примену у изради ортофото-а и дигиталних модела висина који се користе у географским информационом системима. У инжењерској геодезији дигитални модели висина користе се за израду профила терена.

Инжењерска фотограмetriја бави се снимањем на раздаљинама од неколико десетина метара до неколико стотина метара са

construction, architecture, geodesy, etc.

2.6 Method of surveying by terrestrial laser scanner – LiDAR

Terrestrial laser scanner - LiDAR is a remote sensing technology that uses a laser pulse to collect measurements that can then be used to create 3D models and maps of objects and environments. LiDAR works in a similar way to radar and sonar, but uses laser light waves instead of radio or sound waves. The LiDAR system calculates how long it takes for light to "hit" an object or surface and is reflected back to the scanner. The distance is then calculated using the speed of light. LiDAR systems can emit about 1,000,000 pulses per second. Each of these measurements can be processed into a 3D visualization known as a "point cloud". Laser systems are most often used for geodetic tasks. When the sensor data is combined with the position and orientation obtained from the integrated GNSS / IMU (Inertial Navigation System) systems, the result is a large number of points with known coordinates (so-called point clouds) that make an extremely high quality digital surface model. In addition to this, the collected three-dimensional data can also be used for building models, applications in telecommunications, forestry (tree canopy modeling), hydrology, cartography, etc. [1]. High-density data can be collected by LiDAR surveying (extremely large number of points per square meter). The accuracy of laser dots is in the range (+/-) 3 cm in position and height. Mobile mapping is the process of collecting geospatial data from a mobile vehicle (car, vessel, rail vehicle ...) that

тачношћу од неколико центиметара до неколико милиметара. Може бити терестичка или се снимање може изводити беспилотним ваздухопловима. Назива се и блископредметна фотограметрија. Користи се у грађевинарству, архитектури, геодезији итд.

2.6 Метода снимања терестричким ласерским скенером – LiDAR

Терестрички ласерски скенер – LiDAR је технологија даљинског истраживања која користи пулс ласера за прикупљање мерења која се затим могу користити за креирање 3D модела и мапа објеката и окружења. LiDAR ради на сличан начин као радар и сонар, али користи светлосне таласе из ласера, уместо радио или звучних таласа. LiDAR систем израчунава колико је потребно да светло „удари“ у објекат или површину и рефлектује се назад на скенер. Удаљеност се затим израчунава користећи брзину светлости. LiDAR системи могу емитовати око 1.000.000 импулса у секунди. Свако од ових мерења може се обрадити у 3D визуелизацију познату као „облак тачака“. Ласерски системи се најчешће користе за геодетске задатке. Када се подаци са сензора комбинују са позицијом и оријентацијом добијеном са интегрисаних GNSS/IMU (Inertial Navigation System) система као резултат се добија велики број тачака са познатим координатама (тзв. облак тачака) које чине изузетно квалитетан дигитални модел површи. Осим овога, прикупљени тродимензионални подаци се могу користити и за израду модела зграда, примену у телекомуникацијама, шумарству (моделирање крошњи дрвећа), хидрологији, картографији, итд. [1]. Снимањем LiDAR-ом могу се прикупити подаци велике густине

are usually equipped with a series of photographic, radar, laser, LiDAR or an unlimited number of remote sensing systems. Such systems consist of an integrated array of time-synchronized navigation sensors and surveying sensors mounted on a mobile platform. The primary output from such systems includes GIS (Geographic Information System) data, digital maps, and georeferenced images and video.

Mobile mapping systems provide fast, efficient, economical and complete collection of geospatial data.

The basic components of the mobile mapping system are: laser scanner, digital camera, GNSS antenna and navigation system, odometer and inertial measurement device (Figure 6).

(изузетно велики број тачака по квадратном метру). Тачност ласерских тачака се креће у опсегу (+/-) 3 cm по положају и висинама.

Мобилно мапирање је процес прикупљања геопросторних података из мобилног возила (аутомобил, пловило, шинско возило ...) која су обично опремљена низом фотографских, радарских, ласерских, LiDAR или неограниченог броја система даљинског истраживања. Такви системи се састоје од интегрисаног низа временски синхронизованих навигационих сензора и сензора снимања постављених на мобилној платформи. Примарни излаз из таквих система укључује ГИС (Географски Информациони Систем) податке, дигиталне мапе и геореференциране слике и видео.

Системи за мобилно мапирање обезбеђују брзо, ефикасно, економично и комплетно прикупљање геопросторних података.

Основне компоненте система мобилног мапирања су: ласерски скенер, дигитална камера, GNSS антена и навигациони систем, одометар и уређај инерцијалних мерења (слика 6).



Слика 6 – Компоненте система мобилног мапирања [7]
Figure 6 – Mobile mapping system components [7]

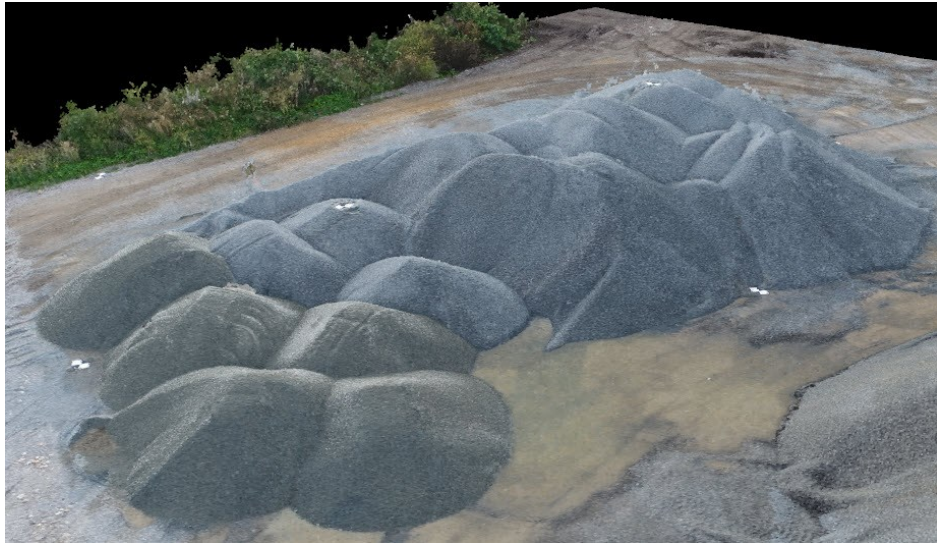
3. MEASUREMENT OF STONE AGGREGATE STOCKPILE VOLUME

The measurement of the volume of the landfill of crushed stone aggregate of eruptive origin, fraction of 11-16 mm (Figure 7), was performed on the asphalt plant of the company VOJPUT DOO from Subotica, Čantavirski put bb.

3. МЕРЕЊЕ ДЕПОНИЈЕ АГРЕГАТА

Мерење запремине депоније дробљеног каменог агрегата еруптивног порекла, фракције од 11-16 mm (слика 7), извршено је на асфалтној бази предузећа ВОЈПУТ ДОО из Суботице, Чантавирски пут бб.

ЗАПРЕМИНЕ КАМЕНОГ



Слика 7 – Депонија дробљеног каменог агрегата 11-16 мм
Figure 7 – Stockpile of crushed stone aggregate 11-16 mm

Based on warehouse documentation - item card, on 13.10.2021. year (the day when the stockpile was measured), the stocks of crushed fractionated stone aggregate 11-16 mm amount to 1,121.08 t (Figure 8).

На основу магацинске документације – картице артикла, дана 13.10.2021. године (дан када је вршено мерење депоније) залихе дробљеног фракционисаног каменог агрегата 11-16 мм износе 1.121,08 t (слика 8).



KARTICA ARTIKLA

Materijal: 513101 AGREGAT 11-16 MM LJUBOVIJA
Skladište 0130 AB SUBOTICA

Podskladište 01 OSNOVNI MATERIJAL JM t

Datum	Dokument	Broj	Otpremnica	RN	Ulaz	Izlaz	Stanje
11.10.2021	PM PRIMKA	3812	6227		29.360	0.000	1.093.600
11.10.2021	PM PRIMKA	3813	6224		29.480	0.000	1.123.080
13.10.2021	OP OTPREMNICI PRODAJA MATERIJALA	17			0.000	2.000	1.121.080
16.10.2021	OP OTPREMNICI PRODAJA MATERIJALA	18			0.000	3.000	1.118.080
Zbir:					10.734.280	9.616.200	1.118.080

VZ 041

Слика 8 – Картица артикла за дробљени камени агрегат 11-16 мм
Figure 8 – Item card for crushed stone aggregate 11-16 mm

3.1 Setting control points

Before starting to survey the stockpile, it is necessary to set control points on the surface of the terrain with known coordinates (Ground Control Point - GCP). Control points are used for all three surveying methods. A minimum of 3 control points must be set. By increasing the number of control points, we improve the accuracy of the final results. Their coordinates are obtained by traditional geodetic survey methods. Control points are used to georeference the project and reduce error.

6 control points were set up (Figure 9) in the vicinity of the landfill. Measurement of WGS / UTM (World Geodetic System / Universal Transverse Mercator) coordinates in the 34N zone was performed with a HiTarget V200 GNSS device in 30 epochs. It took 15 minutes to physically set, measure and transform the coordinates of the above control points.

3.1 Постављање контролних тачака

Пре почетка снимања депоније неопходно је поставити контролне тачке на површини терена са познатим координатама (Ground Control Point – GCP). Контролне тачке користе за све три методе снимања. Потребно је поставити минимум 3 контролне тачке. Повећањем броја контролних тачака побољшавамо тачност коначних резултата. Њихове координате се добијају традиционалним геодетским методама снимања. Контролне тачке се користе за геореференцирање пројекта и смањење грешке.

Постављено је 6 контролних тачака (слика 9) у околини депоније. Мерење WGS / UTM (World Geodetic System / Universal Transverse Mercator) координата у зони 34N извршено је HiTarget V200 GNSS уређајем у 30 епоха. За физичко постављање, мерење и трансформацију координата напред наведених контролних тачака било је потребно 15 минута.



Слика 9 – Локације контролних тачака
Figure 9 – Locations of control points

3.2 Stockpile surveying by polar method – total station

The surveying of the stockpile by the polar method was performed by the total station Ruide RIS with the associated equipment.

It is the most modern (and at the same time the strongest model of the mentioned manufacturer) device with an accuracy of measuring angles of 2", measuring with a laser up to 1000 m without a prism with an accuracy of 2 mm + 2 ppm. Before starting the surveying, it is necessary to set the total station with some of the coordinates of the control points. Surveying of detailed points by the polar method lasted 2 h and 25 min. A total of 268 points of the stockpile and 55 points of the surrounding terrain were collected. Data import and processing was performed in the Autodesk Civil 3D software package.

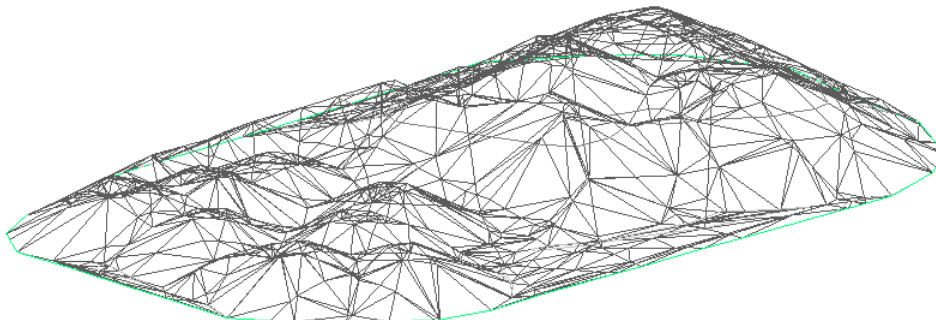
After the import of detailed points, the creation of a digital terrain model was started with the help of the TIN network (Figure 10).

3.2 Снимање депоније поларном методом – тоталном станицом

Снимање депоније поларном методом извршено је тоталном станицом Ruide RIS са припадајућом опремом.

Ради се о најмодернијем (и уједно најјачем моделу наведеног произвођача) уређају са тачношћу мерења углова од 2", мерењем ласером до 1000 m без призме са тачношћу од 2 mm + 2 ppm. Пре почетка снимања потребно је сетовати тоталну станицу са неким од координата контролних тачака. Снимање детаљних тачака поларном методом трајало је 2 h и 25 min. Укупно је прикупљено 268 тачака саме депоније и 55 тачака околног терена. Увоз и обрада података извршен је у софтверском пакету Autodesk Civil 3D.

Након увоза детаљних тачака приступило се креирању дигиталног модела терена уз помоћ TIN мреже (слика 10).



Слика 10 – Дигитални модел терена – TIN мрежа
Figure 10 – Digital terrain model - TIN network

By overlapping the two digital models, the terrain model and the stockpile model, a stockpile volume of 718,76 m³ was obtained (Figure 11).

Преклапањем два дигитална модела, модела терена и модела депоније, добија се запремина депоније од 718,76 m³ (слика 11).

Name	B	Mid-Ordinate ...	Cut Factor	Fill Factor	Style	2d Area(sq.m)	Cut(adjusted)(Cu...	Fill(adjusted)(Cu...	Net(adjusted)(C...
Deponija 11-16 TS			1.000	1.000	Contours 2...	626.99	0.19	718.96	718.76<Fill>

Слика 11 –Запремина депоније добијена снимањем поларном методом
Figure 11 – Stockpile volume obtained by polar method

3.3 Surveying of stockpile with unmanned aircraft - photogrammetry

The planning of the aerial shooting mission by drone was done via an Android mobile phone and the "Pix4Dcapture" application. The application supports well-known manufacturers of unmanned aerial aircrafts - DJI and PARROT with all models that are in their product range. Stockpile surveying was done with Double grid mission - it allows us to capture images from multiple sides with the overlap required for optimal processing. This mission is recommended for closer flying objects in order to capture more vertical details. It is suitable for obtaining 3D models (point cloud) and terrain with higher altitude fluctuation. [5]

The size of the shooting area of 100x100 m, the percentage of overlapping photos, the camera angle, the flight altitude of 40 m and the speed of the unmanned aircraft were defined. Based on the set parameters, the flight lasted 7 minutes, with which 108 photographs were collected.

The processing of the collected data was performed in Pix4Dmapper professional photogrammetry software that uses photographs to generate point clouds, digital surface and terrain models, orthomosaics and texture models. It is most often used by geospatial professionals such as surveyors and civil engineers.

After processing the photos, creating a 3D model of the landfill, a network of

3.3 Снимање депоније беспилотним ваздухопловом - фотограмetriја

Планирање мисије снимања из ваздуха беспилотним ваздухопловом извршено је путем Android мобилног телефона и апликације „Pix4Dcapture“. Апликација подржава познатије произвођаче беспилотних летелица – DJI и PARROT са свим моделима који се налазе у њиховом асортиману производа. Снимање депоније извршено је са Double grid mission – омогућава нам да се слике снимају са више страна уз преклапање потребно за оптималну обраду. Ова мисија се препоручује за ближе летење објектима како би се снимило више вертикалних детаља. Погодна је за добијање 3D модела (облак тачака) и терен са већом висинском флукуацијом. [5]

Дефинисана је величина области снимања од 100x100 m, проценат преклапања фотографија, угао камере, висина лета од 40 m и брзина беспилотног ваздухоплова. На основу постављених параметара лет је трајао 7 min са којим је прикупљено 108 фотографија.

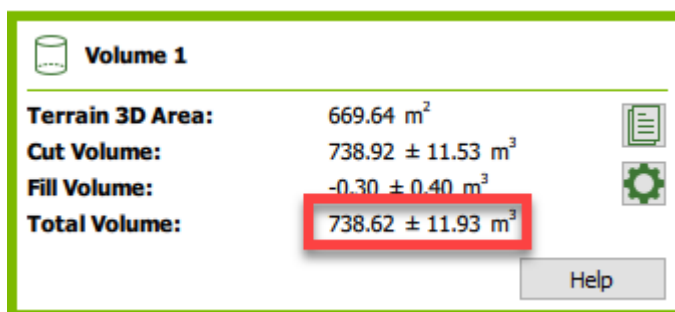
Обрада прикупљених података извршена је у Pix4Dmapper професионалном софтверу за фотограмetriју који користи фотографије за генерисање облака тачака, дигиталних модела површине и терена, ортомозаика и текстурних модела. Најчешће га користе геопросторни професионалци попут геодета и грађевинских инжењера.

triangles and choosing the landfill boundary, ie. defining the base of the stockpile, the calculation of the volume of the stockpile was started. In this process, about 2,000,000 3D points were obtained.

The total volume of the stockpile of the eruptive stone aggregate of the fraction 11-16 mm, calculated by the photogrammetric method, is $738,62 \text{ m}^3 \pm 11,93 \text{ m}^3$ (Figure 12).

Након обраде фотографија, креирања 3D модела депоније, мреже троуглова и избора границе депоније тј. дефинисања базе/основе депоније приступило се рачунању запремине предметне депоније. У овом процесу добијено је око 2.000.000 3D тачака.

Укупна запремина депоније еруптивног каменог агрегата фракције 11-16 mm, смимљена фотограметријском методом, износи $738,62 \text{ m}^3 \pm 11,93 \text{ m}^3$ (слика 12) .



Слика 12 – Запремина депоније добијена снимањем фотограметријском методом
Figure 12 – Stockpile volume obtained by photogrammetric method

3.4 Surveying of the stockpile with lidar system

Point cloud generation was performed by Teledyne Optech Maverick mobile LiDAR system. The portable and lightweight (under 9 kg) system is mounted on the roof of the passenger vehicle (Figure 13). It consists of a 360° high-resolution camera, a high-resolution LiDAR and an integrated position and orientation system. It collects up to 700,000 dots per second and captures high resolution images using 6 high quality 5 Mpix sensors.

3.4 Снимање депоније lidar системом

Генерисање облака тачака извршено је Teledyne Optech Maverick мобилним LiDAR системом. Преносан и лак (испод 9 kg) систем монтиран је на кров путничког возила (слика 13). Састоји се из 360° камере високе резолуције, LiDAR-а високе резолуције и интегрисаног сиситема за позицију и оријентацију. Прикупља до 700.000 тачака у секунди и снима слике у високој резолуцији користећи 6 високо квалитетних сензора од по 5 Mpix.



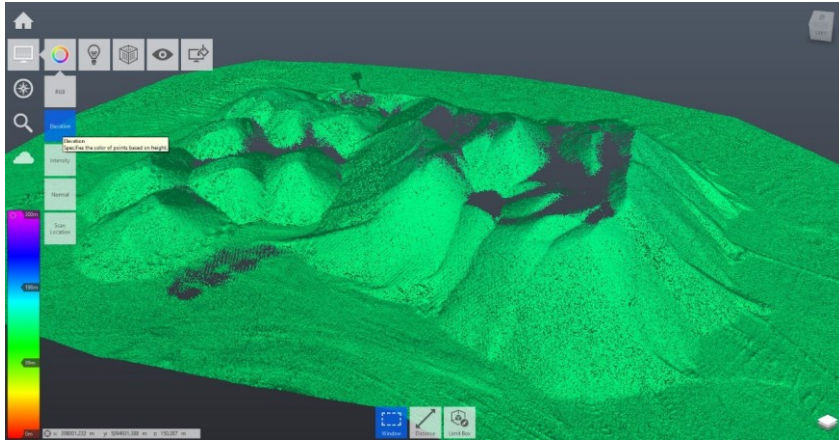
Слика 13 – Мобилни LiDAR систем
Figure 13 – Mobile LiDAR system

After surveying the stockpile in the field, it is necessary to process the obtained data. The first step is the processing of trajectories and data from the measuring system. The specified data is processed in the Novatel Intertial Explorer software tool. The software maximizes the performance of GNSS / INS hardware by providing quality speed and position data. The next step is to generate point clouds and LAS (LASer format) files, cloud coloring and point quality analysis in the Teledyne Optech LMS Pro software package. As a final result, over 9,000,000 3D points were obtained.

In order for the data obtained in the LAS file to be used to calculate the volume in the Autodesk Civil 3D software, it is necessary to convert them to the native format of Autodesk, ie. RCS (Random Control Scene) format. Autodesk ReCap Pro software is required for this step (Figure 14).

Након снимања депоније на терену потребно је обрадити добијене податке. Први корак је обрада трајекторија и података из мерног система. Наведени подаци се обрађују у софтверском алату Novatel Intertial Explorer. Софтвер максимизира перформансе GNSS/INS хардвера обезбеђујући квалитетне податке о брзини и положају. Следећи корак је генерисање облака тачака и LAS (LASer формат) фајла, бојење облака и анализа квалитета тачака у софтверском пакету Teledyne Optech LMS Pro. Као крајњи резултат добијено је преко 9.000.000 3D тачака.

Да би се подаци добијени у LAS фајлу могли искористити за рачунање запремине у Autodesk Civil 3D софтверу, неопходно их је конвертовати у нативни формат Autodesk-а тј. RCS (Random Control Scene) формат. За тај корак неопходан је Autodesk ReCap Pro софтвер (слика 14) .



Слика 14 – Конвертовање у софтверском алату Autodesk ReCap Pro
Figure 14 – Convert in Autodesk ReCap Pro software

In the point cloud, places can be seen, painted black, which due to the specific and irregular shape of the material inside the landfill could not be surveyed with mobile LiDAR. Point interpolation is performed at these locations.

After generating the RCS file, it was imported into Autodesk Civil 3D to generate a digital terrain model with a TIN network. Using a digital model of the terrain obtained by surveying by the polar method, two digital models were overlapped and the volume of the stockpile was calculated. A volume of 752,12 m³ was obtained (Figure 15).

У облаку тачака могу се уочити места, обојена са црном бојом, која због специфичног и неправилног облика материјала унутар депоније нису могла бити снимљена мобилним LiDAR-ом. На тим местима врши се интерполација тачака.

Након генерисања RCS фајла исти је увезен у Autodesk Civil 3D како би се генерисао дигитални модел терена са TIN мрежом. Користећи дигитални модел терена добијен снимањем поларном методом извршено је преклапање два дигитална модела и рачунање запремине депоније. Добија се запремина од 752,12 m³ (слика 15).

Name	B	Mid-Ordinate ...	Cut Factor	Fill Factor	Style	2d Area(sq.m)	Cut(adjusted)(Cu. ...	Fill(adjusted)(Cu. ...	Net(adjusted)(Cu. ...
<input checked="" type="checkbox"/> 11-16 LIDAR			1.000	1.000	Contours 2...	1087.18	5.20	757.33	752.12< Fill>

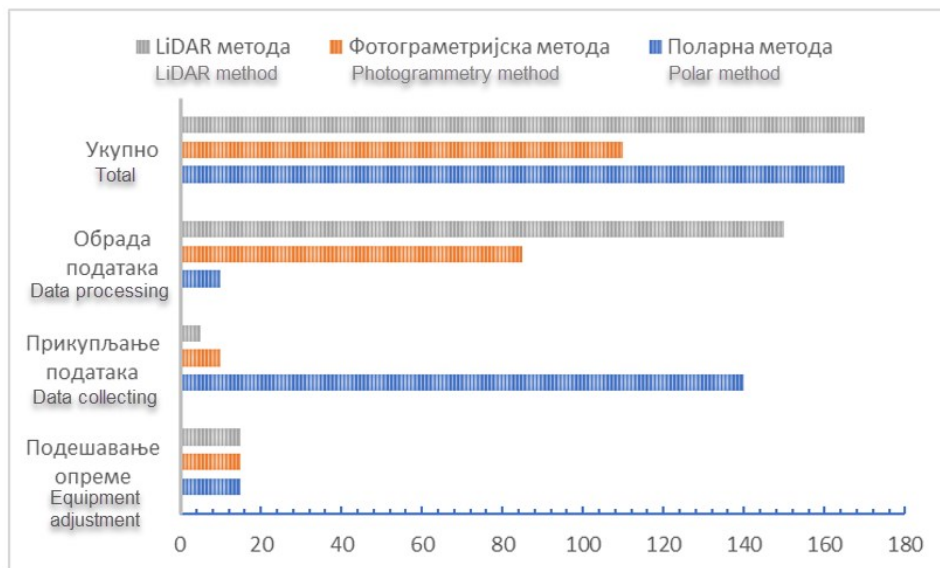
Слика 15 – Запремина депоније добијена снимањем LiDAR методом
Figure 15 – Stockpile volume obtained by LiDAR method

3.5 Comparison and analysis of obtained data

After processing the data obtained by surveying by polar, photogrammetric and LiDAR methods, the following comparative data were obtained:

3.5 Упоређивање и анализа добијених података

Након обраде података добијених снимањем поларном, фотограметријском и LiDAR методом дошло се до следећих упоредних података:



Слика 16 – Време неопходно за прикупљање и обраду података (у минутима)
Figure 16 – Time required to collect and process data (in minutes)

Табела 1 – Резултати мерења запремине депоније
Tabela 1 – Stockpile volume measurement results

Метода снимања Surveying method	Запремина Volume (m ³)	Запреминска маса у збијеном стању Bulk density in the compacted state (t/m ³)	Тежина Weight (t)	Књиг. стање Stock balance (t)	Разлика Difference (t)	Разлика Difference (%)
Поларна Polar	718,76	1,54	1.106,89	1.121,08	-14,19	-1,27%
Фотограметријска Photogrammetry	738,62	1,54	1.137,47		16,39	1,46%
LiDAR	752,12	1,54	1.158,26		37,18	3,32%

4. RESULTS AND DISCUSSION

Based on the obtained results of stockpile volume measurement and time for data collection and processing, we can unequivocally come to the conclusion that in this particular case the photogrammetric method is superior to the other two methods. Fast equipment setup, fast surveying of large areas, relatively short data processing time (directly depends on the quality of computer hardware) and very accurate results make this method indispensable when surveying stockpiles volumes. The mobile LiDAR method in this case showed certain shortcomings that affected the final result of the stockpile volume. Namely, due to the very geometrically irregular shape, the laser beams could not reach every part of the stockpile. This caused the appearance of shadows, inaccessible parts of the stockpile on the laser, which had to be interpolated, and by that process the geometric structure of the stockpile and its volume changed. This can be overcome by the ALS (Airborne Laser Scanning) method, ie. aerial LiDAR surveying.

If all asphalt plant stone aggregate stockpiles were measured, the order of the methods would be significantly different. During the time spent in collecting detailed points by the polar method of one stockpile, photogrammetric and LiDAR method, it is possible to survey the entire surface of the asphalt plant (more than 30 stockpiles). Obtaining final results in a very short period of time quickly and with significantly reduced costs is the biggest advantage of the above systems.

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

На основу добијених резултата мерења запремине депоније и времена за прикупљање и обраду података можемо недвосмислено доћи до закључка да је у конкретном случају фотограметријска метода супериорнија у односу на преостале две методе. Брзо подешавање опреме, брзо снимање великих површина, релативно кратко време за обраду података (директно зависи од квалитета хардвера компјутера) и веома тачни резултати чине ову методу незаменљиву код снимања запремина депонија. Мобилна LiDAR метода је у конкретном случају показала одређене недостатке који су утицали на крајњи резултат запремине депоније. Наиме, због веома геометријски неправилног облика ласерски зраци нису могли допрети до сваког дела депоније. То је проузроковало појаву сенки, на ласеру недоступним деловима депоније, које су морале бити интерполоване и самим тим процесом мења се геометријска структура депоније и њена запремина. Ово се може превазићи ALS (Airborne Laser Scanning) методом тј. снимање LiDAR-ом из ваздуха.

Уколико би предмет мерења биле све депоније каменог агрегата на асфалтној бази, редослед метода би се знатно разликовао. За време проведено у прикупљању детаљних тачака поларном методом једне депоније, фотограметријском и LiDAR методом је могуће снимити читаву површину асфалтне базе (више од 30 депонија). Добијање крајњих резултата у веома кратком временском раздобљу брзо и са значајно смањеним трошковима највећа је предност напред наведених система.

REFERENCES

- [1] Бојковић Наташа, Петровић Маријана, Парезановић Тања: “Примена LiDAR технологије за прикупљање просторних података дуж транспортних коридора”, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, Београд, 2016.
- [2] Вученов В.: „Анализа нормативног уређења примене беспилотних ерофотограметријских система са предлозима за унапређење – Мастер рад“, Београд 2019.
- [3] https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_5018/objava_56636/fajlovi/Sedmo%20predavanje%20in%20C5%BEenijerska%20geodezija%20%20saobra%20ajni%20smjer.pdf, download 16.10.2021.
- [4] https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_23196/objava_43272/fajlovi/Sedmo%20predavanje%20geodezija%20%20gra%20evinarstvo.pdf, download 16.10.2021.
- [5] <https://support.pix4d.com/hc/en-us/categories/200300675-Pix4Dcapture>, download 16.10.2021.
- [6] <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559239-How-Pix4Dmapper-calculates-the-Volume>, download 16.10.2021.
- [7] <https://www.oxts.com/technical-notes/why-ins-on-a-mobile-mapping-vehicle/> - download 16.10.2021.