



Получена: 30.12.2022 г.

Приета: 07.03.2023 г.

НАЗЕМНО ЛАЗЕРНО СКАНИРАНЕ – ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА И ВЪЗМОЖНОСТИ ПРИ СЪЗДАВАНЕ НА ТРИМЕРЕН МОДЕЛ НА СГРАДИ

Г. Симеонова¹, Г. Антова²

Ключови думи: пространствени данни, наземно лазерно сканиране, 3D модел, облак от точки, класически геодезически измервания

РЕЗЮМЕ

В публикацията е разгледана накратко същността и предимствата на наземното лазерно сканиране като метод за набиране на пространствени данни. Технологиата на наземното лазерно сканиране е обект на научни изследвания през последните десетилетия в множество научни и приложни области като геодезия, строителство, архитектура и други.

Описана е възможността за създаване на тримерен модел на сгради, като са използвани различни технологии за получаване на пространствени данни. За обхвата на задачата е избран офис център „България 2000“, разположен в силно урбанизираната част на район „Лозенец“, град София. За създаването на модела са извършени класически геодезически измервания с тотална станция и наземно лазерно сканиране (НЛС). Направена е съпоставка на получените модели, като резултатите от нея показват предимствата на наземното лазерно сканиране, а именно голям обхват, висока точност, бързо получаване на данни и високо ниво на детайлност.

¹ Габриела Симеонова, инж. докторант, кат. „Геодезия и геоинформатика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: gsimeonova_fgs@uacg.bg

² Гергана Антова, доц. д-р инж., кат. „Геодезия и геоинформатика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: antova_fgs@uacg.bg

1. Въведение

Тримерното моделиране на сгради е сложен процес, който се състои от набиране на пространствени данни и последваща обработка за пресъздаване на точен геометричен модел на изследвания обект.

Класическите измервания чрез тотална станция са широкоизползван метод за набиране на пространствени данни, който се свежда до определяне на координати на подробни точки чрез измервания на ъгли и разстояния [1, 2]. При тази технология трябва да има добре развита геодезическа основа, но при липса на такава е препоръчително методът да бъде комбиниран с ГНСС технологията.

Технологията на наземното лазерно сканиране е обект на научни изследвания през последните десетилетия в множество научни и приложни области като геодезия, строителство, архитектура и други. При този метод се използват лазерни лъчи за измерване на разстояния от инструмента до обектите от заобикалящата го среда.

За целите на разработката са извършени класически геодезически измервания с тотална станция и наземно лазерно сканиране за създаване на тримерни модели на сграда. Направено е сравнение на създадените 3D модели и анализ на ефективността на двата метода.

2. Същност на 3D лазерно сканиране

В съвременната геодезия многобройните методи за измерване могат да бъдат разделени на две големи категории: 1) измервания на място с ГНСС приемници, тотални станции или нивелири, и 2) дистанционни методи за наблюдение с помощта на лазерни скенери (Lidar) или фотограметрия. Лазерното сканиране и безпилотните летателни апарати са популярни за много проекти. Точността, гъстотата на точките, времето за придобиване, времето за обработка и разходите са важни критерии за оценка на ефективността. Сравнението на резултати от лазерно сканиране и класически измервания в рамките на един проект не може да даде категорични отговори, тъй като изборът зависи от нуждите на специалистите и характеристиките на проекта. Независимо от това, сравнението може да помогне да се посочат предимствата и недостатъците на двата метода, което е и целта на настоящото изследване.

Прилагането на тези методи поставя нови предизвикателства и проблеми пред архитекти, конструктори и геодезисти. В съвременната инженерна наука и практика, в частност архитектура, строителство и геодезия, все повече навлиза изграждането на сгради и съоръжения със сложни и често уникални решения и размери – със сложна пространствена геометрия или „Сгради със сложни пространствени геометрични решения“. При проектирането и изграждането на този тип обекти (сгради с различно функционално предназначение, зали, стадиони и др.) много често се явяват два проблема – конструктивната част и фасадната част, които са специфични и се нуждаят от отделно проектиране и изпълнение [3]. Интерес за настоящия проект представлява фасадната част.

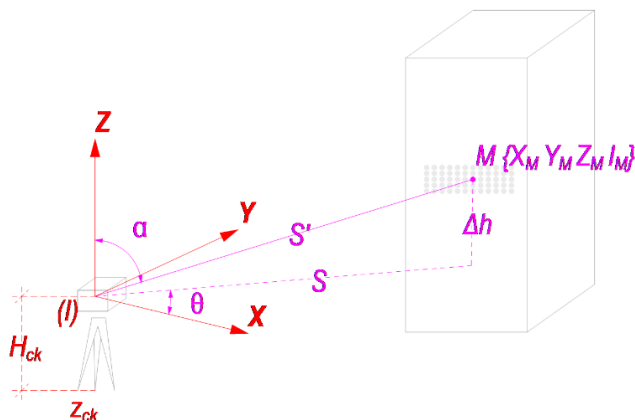
Триизмерното лазерно сканиране е електро-оптична дистанционна технология за определяне на разстояния до обекти с използване на насочен сноп светлина, без необходимост от пряк достъп до изследвания обект [4].

Предимството на лазерното сканиране пред класическите измервания е, че се регистрират пространствени данни с голяма гъстота. Като недостатък може да се посочи липсата на фиксирани точки, които могат да се измерят при изследване на деформации, освен ако не са специално маркирани, за да се гарантира тяхното разпознаване [5].

Разграничават се два вида лазерно сканиране: наземно лазерно сканиране (Terrestrial Laser Scanning – TLS) и въздушно лазерно сканиране (Airborne Laser Scanning – ALS).

2.1. Наземно лазерно сканиране

Технологията на наземното лазерно сканиране представлява безрефлекторно измерване на разстояния с помощта на лазерни лъчи. Резултатът от сканирането е облак от точки, които имат пространствени координати X , Y и Z и интензитет на отразения сигнал, който зависи от отразяващата способност на повърхностите на заснеманите обекти.



Фиг. 1. Измерване с НЛС [2]

На фиг. 1 е показан принципът на работа на лазерния скенер, като за координатите X_M , Y_M , Z_M на точка M в координатната система на скенера може да се каже:

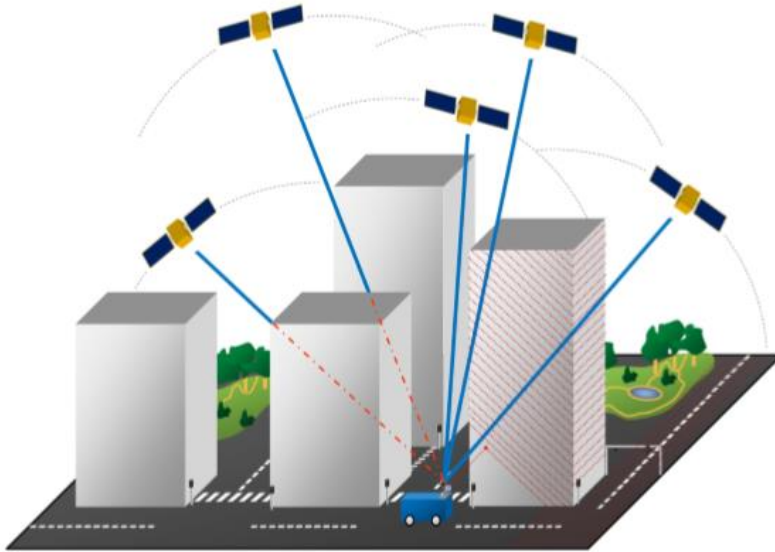
$$\begin{aligned} X_M &= X_{CK} + S' \cos \theta \cos \alpha \\ Y_M &= Y_{CK} + S' \sin \theta \cos \alpha \\ Z_M &= Z_{CK} + H_{CK} + S' \operatorname{ctg} \alpha, \end{aligned} \quad (1)$$

където X_{CK} , Y_{CK} , Z_{CK} са координатите на точката на стационариране, H_{CK} е височината на скенера, S' е наклоненото разстояние до точката, α и θ са полярни ъгли, определящи положението за сканиращия лъч, а I е интензитетът на отразения сигнал.

При обекти със сложна пространствена геометрия се налага заснемане от няколко станции, за да може да се получи цялостно сканиране за създаване на пълен 3D модел на изследвания обект. Това налага привързване на отделните облаци от точки в една обща координатна система (регистрация на облаци от точки). При интегриране на крайния продукт в ГИС система се налага регистрираните облаци от точки да бъдат трансформирани в желана координатна система. Този процес се нарича геореферирание.

В зависимост от това дали скенерът е статичен по време на сканирането или е подвижен, се различават два вида наземно лазерно сканиране: статично и мобилно лазерно сканиране.

При статичното лазерно сканиране скенерът е фиксиран по време на измерването. При мобилното лазерно сканиране инструментът е монтиран върху мобилна платформа, която може да представлява вид превозно средство като автомобил, кораб или железопътна мотриса. Мобилността на скенера осигурява по-голям обхват на сканиране. Пространственото позициониране на подвижния скенер се постига чрез интегриране на GNSS технология и устройство за измерване на инерцията (IMU) (фиг. 2).



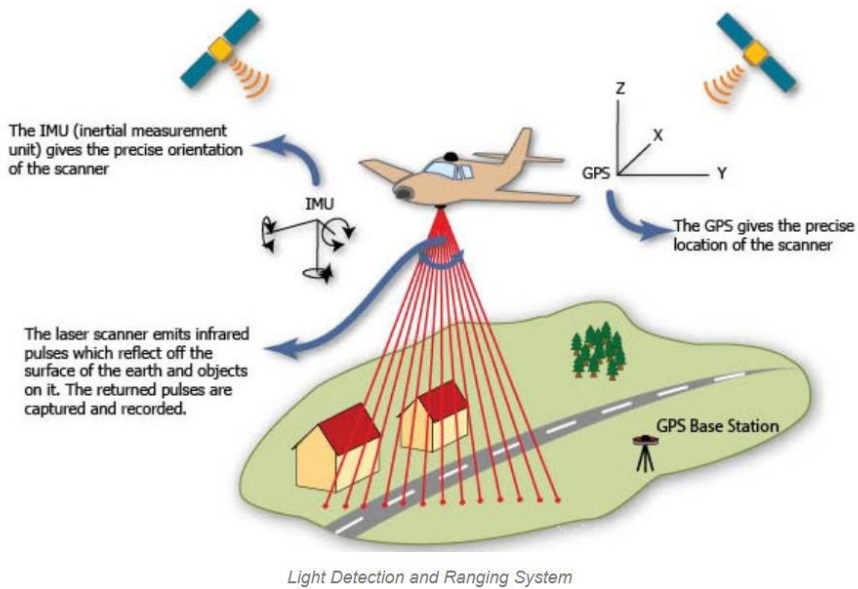
Фиг. 2. Мобилна лазерна сканираща система използваща GNSS-IMU позициониране за директно геореферирание на получените данни [6]

В силно урбанизирани територии GNSS технологиите не са винаги най-добрият метод за позициониране, поради огрешаване на резултатите заради липса на пряка „видимост“ към спътниците. Поради тази причина в мобилните лазерни скенери е интегрирано и IMU оборудване. Това е инерционна навигация, която осигурява високочестотни данни чрез следене на промените по и около трите оси на линейно ускорение и ъглова скорост.

2.2. Въздушно лазерно сканиране

Въздушното лазерно сканиране представлява сканираща система, която е монтиран летателен апарат (фиг. 3). ALS може да бъде използвано за набиране на пространствени данни за големи територии поради обемния си обхват на работа. При тази технология отново се разполага с GNSS технология и устройство за измерване на инерцията (IMU) за точно позициониране във всеки един момент.

Данните, получени от въздушното лазерно сканиране, се събират чрез изпращане на лазерни лъчи с помощта на импулсни или фазови вълнови технологии. Разстоянието се определя чрез измерване на времето за пътуване или фазовото изместване на излъчения сигнал. Резултатът от сканирането представлява 3D модел на терена (Digital surface model – DSM), защото съдържа точки от повърхността на земята и точки от обектите върху нея (сгради, дървета и др.) [7].



Фиг. 3. Принцип на работа на ALS [8]

3. Набиране на пространствени данни и създаване на 3D модели

Обект на изследването е административна сграда „България 2000“ (фиг. 4). Разположена е в силно урбанизираната територия на район „Лозенец“, град София. Сградата е предмет на интерес заради сложната ѝ пространствена геометрия.



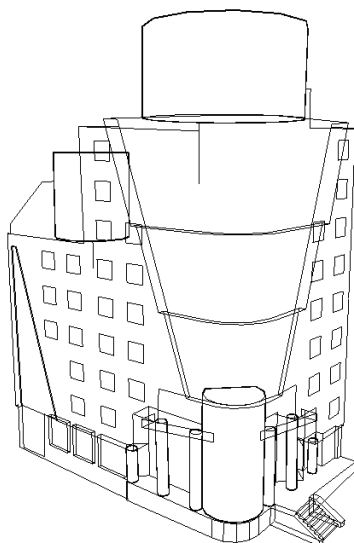
Фиг. 4. Обект на изследването

Скенера̀т разполага с широко̀гълна 10 MP HDR камера. Сканирането е извършено от 5 станции (с оглед на осигуряване на плътно покритие на фасадите на сградата към улиците с облаци от точки) с гъстота на сканиране 5,7 mm.



Фиг. 6. Измерване с наземен лазерен скенер

3.2. Създадени модели

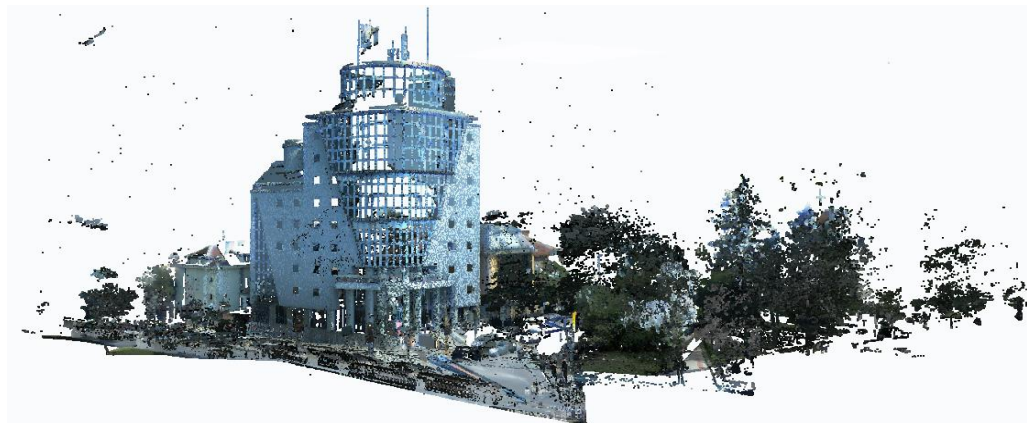


Фиг. 7. 3D модел на офис център „България 2000“, получен чрез измервания с тотална станция

За получаване на координатите на 383 подробни точки, заснети с тотална станция, е използван програмен продукт TPLAN. Подробните точки са импортирани в графичната среда на Civil3D и с помощта на водената ръчна скица по време на измерването е получен 3D моделът, показан на фиг. 7.

Облаците от точки от обработените данни дават пълно и точно представяне на геометрията на сградата [9].

Данните от лазерното сканиране са обработени с програмен продукт Trimble RealWorks. Тъй като сканирането е направено от няколко станции, първата стъпка е отделните облаци от точки да се приведат в единна координатна система. Поради невъзможност за поставяне на специални марки, които са предоставени от производителите на скенера, е избран метод за регистрация – съпоставяне на застъпващи се повърхнини, а там, където не е възможно, е приложен методът „cloud-to-cloud“. Методът „cloud-to-cloud“ представлява регистрация с помощта на идентични точки в отделните облаци. Пространствените данни за сградата, които са получени от наземното лазерно сканиране, представляват облак от точки (фиг. 8), който е георефериран към координатната система на измерванията с тотална станция с помощта на 3 подробни точки, които не лежат на една права.

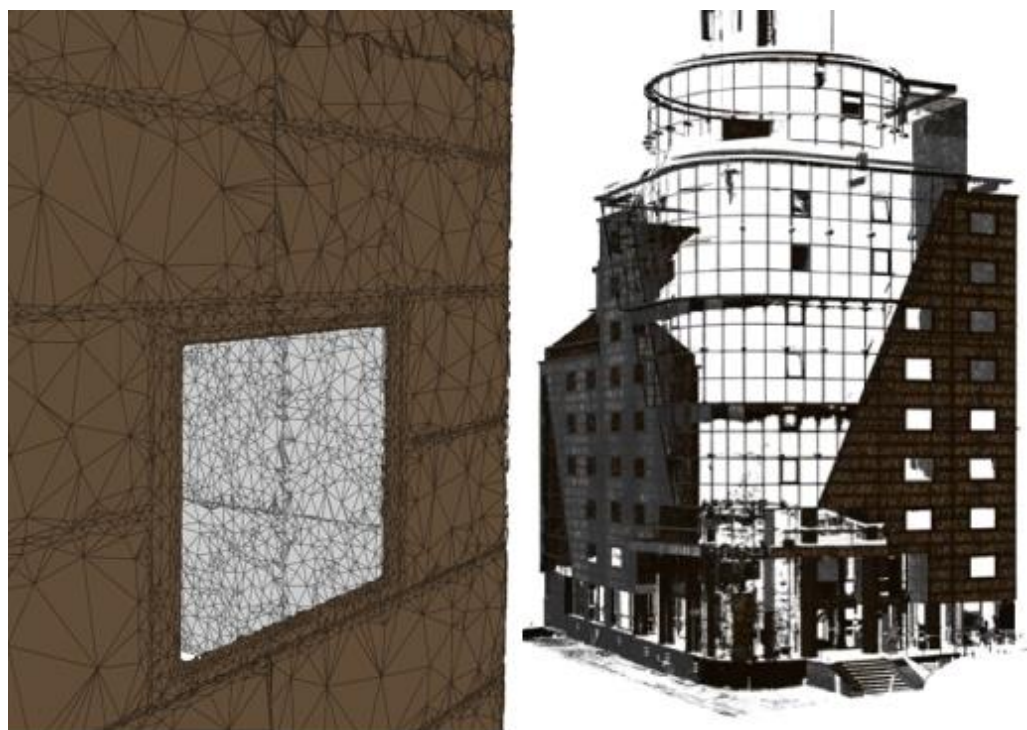


Фиг. 8. Облак от точки, получен чрез наземно лазерно сканиране

За да бъде създаден 3D модел, облакът от точки е изчистен от шумове. Общият брой на точките, който е 37 983 27, е редуциран до 16 075 307, като са премахнати излишните облаци от точки. Крайният продукт от наземното лазерно сканиране представлява 3D модел, базиран на повърхнини. При този тип модели, облаци от точки се моделират като мрежа от регулярни и нерегулярни фигури (фиг. 9).

На по-късен етап, след създаване на модела на физическия обект, е възможно да се създаде информационен модел на сграда (BIM), чиято задача е да създаде техническа документация на съществуващи сгради [10].

Друга възможност е данните от създадените модели да могат да бъдат въведени в ГИС среда. ГИС се използват много често за представяне на данни и анализ, за подпомагане на вземането на решения в управлението, за наблюдение на развитието и идентифициране на промените в градската среда [11]. С използването на ГИС за подобно изследване е възможно да се представи промяната на градската среда чрез използването на двуизмерно и триизмерно моделиране, както и пространствено-времеви анализи [12].



Фиг. 9. 3D модел на офис център „България 2000“, получен чрез наземно лазерно сканиране

3.3. Сравнение на получените модели

След получаване на двата модела е направено сравнение на 30 идентични разстояния. Разстоянията са измерени по отличителни фасадни елементи, които са определени по класическия метод. Образувани са разликите между разстоянията от двата модела. Изчислена е средната квадратна грешка на образувания ред и е направена проверка за груби и систематични грешки:

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \partial S_i^2}{n}} \quad (2)$$

Максималната разлика, която е получена, е 2,3 см, а минималната – 0,2 см. Изследваният ред е показан в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение между получените модели

№	3D модел – тотална станция [m]	3D модел – лазерен скенер [m]	Разлики [cm]
1	14,585	14,596	1,1
2	2,900	2,891	-0,9
3	2,387	2,383	-0,4
4	2,284	2,306	2,2
5	8,857	8,843	-1,4
6	1,535	1,517	-1,8
7	1,538	1,522	-1,6
8	1,533	1,523	-1,0
9	1,528	1,505	-2,3
10	1,532	1,513	-1,9
11	1,533	1,510	-2,3
12	0,489	0,484	-0,5
13	5,932	5,915	-1,7
14	2,895	2,891	-0,4
15	5,323	5,328	0,5
16	1,456	1,450	-0,6
17	0,571	0,562	-0,9
18	2,897	2,899	0,2
19	0,499	0,508	0,9
20	1,537	1,529	-0,8
21	1,526	1,530	0,4
22	1,534	1,527	-0,7
23	1,536	1,533	-0,3
24	1,825	1,812	-1,3
25	0,587	0,591	0,4
26	8,044	8,046	0,2
27	0,694	0,672	-2,2
28	0,513	0,518	0,5
29	5,356	5,347	-0,9
30	1,291	1,285	-0,6
		Mx =	-0,6
		mx =	1,2
		3mx =	3,7

3.4. Анализ на ефективността (полска, канцеларска обработка и обем заснети данни)

Анализът на ефективността е направен по няколко критерия: времетраене на полска работа и необходим екип, времетраене на канцеларска работа и обем на заснетите данни.

Както беше отбелязано по-горе, измерването с тотална станция е извършено от един екип с двама души. Продължителността на полската работа отне 5,30 часа, а заснетият брой на подробните точки е 383. Канцеларската работа, която беше необходима за създаване на модела, е с времетраене от общо 16 часа.

Набирането на пространствена информация с наземното лазерно сканиране отне 1,30 часа. Канцеларската работа, която беше необходима за създаване на 3D модела, е 3 часа. Моделът е създаден на базата на облака, който съдържа 16 075 307 точки.

В табл. 2 е показан обобщеният анализ на ефективността.

Таблица 2. Анализ на ефективността (полска, канцеларска обработка и обем заснети данни)

Критерий	Тотална станция	Наземен лазерен скенер
Полска работа [h]	5,3	1,3
Необходим минимален човешки ресурс	2	1
Канцеларска работа [h]	16	3
Брой точки	383	16 075 307
Размер на файл [МВ]	1,69	491

4. Заключение

От табл. 2 се вижда, че данните, получени чрез наземен лазерен скенер [13], представляват голям обем, който е получен за значително по-малко време. Набирането на данни с тотална станция за сгради със сложна геометрия е значително бавен процес, защото подробните точки се заснемат една по една, докато лазерният скенер може да ни осигури до 500 000 точки в секунда. Процесът по изработка на 3D модела при тоталната станция е по-трудоемък, защото всичко се прави ръчно, а процесът при лазерния скенер е автоматизиран и включва в себе си минимален човешки ресурс. Може да се каже, че лазерното сканиране има повече предимства като голям обхват, висока точност, висока степен на подробност на заснеманите обекти, но инвестицията за лазерен скенер е в пъти повече и трябва да има голям обем от работа, за да бъде тя оправдана.

Благодарности

Авторите изразяват своите благодарности на Центъра за научни изследвания и проектиране (ЦНИП) към УАСГ за осигуреното финансиране и подкрепата за извършената дейност по научноизследователски проект по договор № Д47/2022 на тема: „Анализ на методите за набиране на пространствени данни“.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mickrenska-Cherneva, C.* Land surveying measurements with total station in coordinate mode. International Conference UACEG2009: Science & Practice, Jubilee annual of UACEG 2009.
2. *Mickrenska-Cherneva, C., Alexandrov, A.* Mobile laser scanning in highly urbanized area – a case study in Sofia. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, September 2020, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W2-2020-29-2020, License CC BY 4.0, <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLIV-4-W2-2020/29/2020/>.
3. *Milev, G., Hristov, Hr.* Trasirane i kontrolirane pri izgrazhdane na sgradi sas slozhni prostranstveni geometrichni reshenia. Geodesy, Cartography and Land management journal, ISSN 0324-1610, vol. 3-4, 2021.
4. *Blagoev, M.* 3D lazerno skaniranje v gradska sreda. <http://geocradle.eu/wp-content/uploads/2017/03/Geocad93-3DLaserScan-Blagoev.pdf>, poseten 12.2022.
5. *Ivanov, R.* 2020, Engineering Surveying and Deformation Surveys. ISBN 978-954-12-0272-2, Monograph, Sofia.
6. *Kukko, A., Kaartinen, H., Hyypä, J., Chen, Y.* Multiplatform Mobile Laser Scanning: Usability and Performance. Sensors 2012, 12(9), 11712-11733, <https://doi.org/10.3390/s120911712>.
7. *Antova, G.* Rapid precise mapping with 3D laser scanning. // Annual of UACEG, Sofia, Bulgaria, 2006, vol. XLII, pp 81-87.
8. All You Know About LIDAR Systems and Applications. <https://www.elprocus.com/lidar-light-detection-and-ranging-working-application/>, poseten na 12.2022.
9. *Antova, G., Kunchev, I., Mickrenska-Cherneva, C.* Point clouds in BIM, World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2016), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 44 (2016) 042034, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/44/4/042034>.
10. *Nedyalkov, D.* Experimental Study of Possibilities for Developing a Building Information Model of a Laser-Scanned Physical Object, 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 906 012051, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/906/1/012051>.
11. *Pavlov, P.* GIS – application in the development and management of large settlements. Geodesy, cartography and land management journal. ISSN 0324-1610, XXXIX, Vol. 4, 1999, pp. 16-20.
12. *Ilieva, T.* Analysis and GIS-based modeling of free and open data for tracking the dynamics of the urban environment: Case study for Sofia, Bulgaria, Proceedings of 22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 8. Geoinformatics, 2022 (in print).
13. <https://www.solitech.bg/bg/product/trimble-3d-laser-scanner-tx6>, poseten 12.2022.

TERRESTRIAL LASER SCANNING – CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN 3D BUILDING MODEL CREATION

G. Simeonova¹, G. Antova²

Keywords: *spatial data, terrestrial laser scanning, 3D model, point cloud, classical land surveying measurements*

ABSTRACT

The technology of terrestrial laser scanning and its possibilities are subject of scientific research in the area of geodesy, construction, architecture and even more over the last decades. This method provides point clouds data, which contains full and accurate representation of the geometrical parameters of the examined subject.

This publication discusses in short the principles and possibilities for creating a three-dimensional data model using the advantages of terrestrial laser scanning. The Office Center “Bulgaria 2000”, situated in the highly urbanized area of Lozenets, Sofia City is selected for the purpose of the task. Classical land surveying measurements with a total station and terrestrial laser scanning are used for the creation of the three-dimensional models.

A comparison and evaluation of the obtained models is made. The result of this evaluation indicates that the technology of terrestrial laser scanning is efficient for representation of high quality data with a wide scope of advantages such as high range, fast data processing, high precision and accurate details.

¹ Gabriela Simeonova, Eng. PhD Student, Dept. “Geodesy and Geoinformatics”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: gsimeonova_fgs@uacg.bg

² Gergana Antova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Geodesy and Geoinformatics”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: antova_fgs@uacg.bg