

COMPARATIVE STATISTICAL ANALYSIS OF GEODETIC DATA OBTAINED BY AERO PHOTOGRAMMETRIC AND GNSS METHOD

СТАТИСТИЧКА АНАЛИЗА ГЕОДЕТСКИХ ПОДАТАКА ДОБИЈЕНИХ АЕРОФОТОГРАМЕТРИЈСКОМ И GNSS МЕТОДОМ

Bogdan Bojović¹, Zagorka Gospavić², Jelena Tatalović³

Paper type: Original scientific paper

Received: 28.11.2022.

Accepted: 12.12.2022.

Available online: 15.12.2022.

UDK: 519.21/.24:528.7

DOI: 10.14415/JFCE-888

CC-BY-SA 4.0 license

Summary: in contemporary geodetic works, data obtained by different measurement technologies are often utilized. The numerous research of photogrammetric method accuracy implicates a need for further research. In this paper the authors have presented results of the performed research of coordinates accuracy obtained by aero photogrammetric method based on a case study of the industrial zone in Požega. A sample for the research was a difference of coordinates obtained by the aero photogrammetric and GNSS methods of 30 ground control points. The research was performed by statistical methods which are commonly utilized in geodesy. Obtained results justified this research even performed on the relatively small size of samples. Obtained accuracy is of the centimetre order which could be considered as a very good result related to research in contemporary literature.

Резиме: у савременим геодетским радовима честа је употреба података добијених различитим геодетским технологијама. Бројна истраживања тачности фотограметријских метода указују на потребу да се овој области посвети пажња. У овом раду аутори су приказали резултате истраживања тачности координата добијених аерофотограметријском методом на примеру мерења у области индустријске зоне у Пожеги. Истраживачки узорак представљале су разлике координата добијене аерофотограметријском и ГНСС методом на 30 контролних тачака. Истраживање је извршено применом статистичких метода које се стандардно користе у геодезији. Добијени резултати указују на оправданост оваквих истраживања и на релативно малим узорцима. Добијена тачност је реда величине једног центиметра што се може сматрати веома добрим резултатом у односу на истраживања приказана у савременој литератури.

¹ Bogdan Bojović, mast.inž. geodez., University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering Subotica, Kozaračka 2a, Subotica, Serbia, tel: +381 64 488 1726, e-mail: bojovic@gf.uns.ac.rs

² Prof. dr Zagorka Gospavić, dipl. inž. geodez., University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering Belgrade, King Aleksander Boulevard 73, Serbia, tel: + 381 62 254 124, e-mail: zaga@gf.bg.ac.rs

³ Doc. dr Jelena Tatalović, dipl. inž. geodez., University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering Subotica, Kozaračka 2a, Subotica, Serbia, tel: +381 64 273 5082, e-mail: lazicjelena@uns.ac.rs

Keywords: Normal distribution, Hypotheses testing, Correlation, GNSS, Aero photogrammetry, Terrestrial geodetic methods

Кључне речи: Нормална расподела, Тестирање хипотеза, Корелација, ГНСС, Аерофотограмetriја, Терестричке геодетске методе

1. INTRODUCTION

Contemporary geodetic works, to a greater extent, are based on the requirements of other engineering domains that they should be interpreted in form of point clouds, with many details and a satisfactory level of accuracy. These requirements are mostly impossible to be fulfilled with utilization of only one geodetic method but, in order to reach those goals, it is necessary to combine more geodetic methods by utilizing different geodetic technologies. According to [1] contemporary automated photogrammetry is based on the four innovations:

- a cost-free increase of overlap between images when sensing digitally,
- improved radiometry,
- multi-view matching, and
- a Graphics Processing Unit (GPU), making complex algorithms for image matching very practical.

Besides those improvements of photogrammetry, it still lacks from connections of the point cloud with certain coordinate system (nevertheless a local coordinate system or any other) without a coordinate transformation based on common points. During analysis of photogrammetric accuracy, it is necessary to take into analysis the errors and their sources [2] of the photogrammetric method.

During the process of decision making about utilization of the photogrammetric method, the crucial factor is assessment of its accuracy which could be reached by performing it in practical use [3]. According to [4], photogrammetry and laser scanning are complementary geodetic methods, but also the

1. УВОД

Савремени геодетски радови у све већој мери заснивају се на захтеву других инжењерских струка да се геопросторни подаци предају у облику облака тачака, са што више доступних детаља и са одговарајућим нивоом тачности. Ови захтеви се најчешће не могу остварити само применом једне геодетске методе већ је, за постизање захтеваних циљева, потребно комбиновати више геодетских метода уз коришћење различитих геодетских технологија. Према [1] савремена аутоматизована фотограмetriја базирана је на четири иновације:

- бесплатном преклапању дигиталних фотографија,
- унапређеној радиомetriји,
- поређењу на основу више тачака посматрања и
- графичкој процесорској јединици и сложеним алгоритмима који су учинили поређење фотографија врло практичним.

Међутим, сва ова унапређења фотограмetriје и даље не омогућују прецизно повезивање облака тачака у циљни координатни систем (био он локални или неки други) без његове трансформације на основу заједничких тачака. При томе се морају имати у виду и грешке као и њихови извори присутне код фотограмetriјске методе мерења [2]. При одлучивању о коришћењу фотограмetriјске методе пресудну улогу треба да има процена њене тачности која се може остварити у практичним применама [3]. Према [4], фотограмetriја и ласерско скенирање су комплементарне геодетске методе, али се теренска и

photogrammetry and measurement in field are inseparable geodetic activities. Regardless of all improvements of photogrammetric technology and methods they are still the issue of further research from the aspect of their accuracy [5].

Research presented in [6] showed that analysis of coordinate accuracy obtained by the aero photogrammetry method and compared with 21 ground control points, whose coordinates were determined by RTK GNSS belonging to the interval 4-6 cm in horizontal sense while the accuracy in vertical sense was inside the interval of 5-6 cm.

In [7], research of a points cloud was performed for building 3D model of an object by using the laser scanner and close range photogrammetry and by using 20 control points. In that research the known distances and angles were utilized for comparison and results point out that hybrid approach increases the accuracy of distance and angles determination. In paper [8] is stated that "The use of photogrammetry as a measurement technique for different purposes is a very effective, fast, cheap and safe method, especially it has the ability to survey and observe targets without physical contact."

In the paper [9] the analysis of accuracy of a digital elevation model obtained by low-cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is performed. For accuracy testing, 237 points were used and only 3 points failed the accuracy of the detailed points.

In the paper [10], achieved accuracies of 21 mm, 25 mm and 96 mm in direction of axes X, Y and Z, respectively, are obtained by a simplified structure-from-motion photogrammetry approach in order to perform analysis of urban development.

The tendencies in this domain of research as well as presented papers indicate the significance of accuracy analysis of photogrammetry and possibilities of contemporary digital photogrammetry for different practical

фотограметријска мерења и даље не могу раздвајати када је потребно уклапање у циљни координатни систем. Без обзира на сва унапређења фотограметријских метода, оне и даље представљају предмет истраживања у погледу тачности [5].

У истраживању [6], извршена је анализа тачности координата добијених аерофотограметријским снимањем терена и њиховим поређењем са 21 контролном тачком на терену чије су координате одређене RTK GNSS методом. Добијени резултати указују на тачност 4-6 cm у хоризонталном и 5-6 cm у вертикалном смислу.

У раду [7] извршено је истраживање хибридних облака тачака за формирање 3Д модела објеката коришћењем ласерског скенера и блиских фотограметријских снимака уз коришћење 20 контролних тачака. У овом истраживању коришћене су познате дужине и углови ради поређења и резултати указују да хибридни приступ повећава тачност одређивања угла и дужина. У раду [8] износи се став да је коришћење фотограметрије, као мерне технике за различите намене, ефективан, брз, јефтин и сигуран метод, нарочито када треба осматрати објекте без физичког контакта. У раду [9] извршена је анализа тачности дигиталног модела висина добијеног јефтиним беспилотним летелицама. За тестирање је коришћено 237 тачака при чему само 3 тачке нису испуниле захтеве тачности. У раду [10] постигнута је тачност реда величине 21 mm, 25 mm и 96 mm у правцу X, Y и Z осе респективно коришћењем поједностављеног приступа за праћење урбаног развоја. Наведени радови указују на значај анализе тачности фотограметријских снимака и на могућности које пружа савремена дигитална фотограметрија за различите практичне примене. Ова чињеница

purposes. This fact has been motivated the authors to contribute with this research to the domain of contemporary tendencies in the field of aero photogrammetry applications. The case study is based on the data obtained from the concrete project.

In this paper, the differences of coordinates obtained by utilization of photogrammetric method related to coordinates measured in field on the base of system AGROS (Active Geodetic Reference Frame of Serbia) are investigated. The research encompasses the hypotheses about normality of distribution, hypotheses about the gross errors and hypotheses about significance of correlation coefficients of investigated coordinate differences. The results are obtained on the base of geodetic measurements performed in Požega for the purpose of surveying an area planned for building an industrial zone.

2. MATERIALS AND METHODS

The data utilized for analysis are obtained from surveying of industrial zone area of 113 ha in Požega. The approximate coordinates of considered area are $\varphi=43^{\circ}50'N$ and $\lambda=20^{\circ}03'E$. Figure 1 shows the area where surveying was performed. For analysis, 30 differences of common points' coordinates were considered. The points were determined on the base of aero photogrammetric photographs and with a GNSS method based on the AGROS. Table 1 shows the differences of points' coordinates, while Table 2 shows average values and root mean square errors.

мотивисала је ауторе да дају свој истраживачки допринос у савременим тенденцијама примене фотограметријске методе. Студија случаја је заснована на подацима добијеним из конкретног пројекта.

У овом раду истражују се разлике координата добијених применом фотограметријске методе у односу на координате добијене мерењем на терену у систему АГРОС (Активни Геодетски Референтни Оквир Србије). Истраживање обухвата хипотезе о нормалности расподеле, хипотезе о грубим грешкама и хипотезе о значајности корелације посматраних разлика координата. Подаци су добијени на основу мерења извршених у Пожеги за потребе снимања детаља у подручју планиране изградње индустријске зоне.

2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

Подаци коришћени за анализу добијени су из резултата мерења подручја индустријске зоне, површине 113 ha у Пожеги. Оријентационе WGS координате посматраног подручја су $\varphi=43^{\circ}50'N$ и $\lambda=20^{\circ}03'E$. Слика 1 приказује зону у којој је извршено мерење. За анализу су коришћене координатне разлике 30 заједничких тачака одређених на основу аерофотограметријских снимака и GNSS методом уз коришћење АГРОС-а. Табела 1 приказује разлике координата док Табела 2 приказује средње вредности разлика и њихове средње грешке.

Табела 1 – Разлике координата заједничких тачака
 Table 1 – The differences of common points' coordinates

Point/ Тачка	ΔX [cm]	ΔY [cm]	ΔZ [cm]	Total/Укупно [cm]
GCP5	0,16	-1,00	-0,11	1,02
GCP7	0,63	-0,01	0,41	0,75
GCP9	0,48	0,70	0,02	0,85
GCP10	-0,35	-0,02	0,16	0,38
GCP11	-0,24	-1,41	0,50	1,51
GCP12	-0,51	0,76	0,38	0,99
GCP14	-0,14	-0,06	-0,67	0,69
GCP17	-0,56	1,49	-0,62	1,71
GCP19	-0,88	0,90	0,80	1,49
GCP20	-0,21	-0,64	-0,36	0,77
GCP22	0,05	0,88	-0,24	0,91
GCP25	-0,12	0,30	-0,28	0,43
GCP26	0,27	0,46	-0,09	0,54
GCP27	-2,09	-4,76	2,82	5,91
GCP28	0,92	-1,00	-0,79	1,57
GCP29	0,30	1,17	0,16	1,22
GCP31	1,06	-0,95	-0,30	1,46
GCP34	0,39	0,45	0,26	0,65
GCP36	-1,87	0,82	0,21	2,06
GCP37	0,61	-0,16	0,14	0,64
GCP39	1,14	-1,08	-0,07	1,57
GCP40	0,72	-0,88	-0,11	1,14
GCP41	-1,44	0,56	0,34	1,58
GCP42	-1,33	1,18	1,08	2,09
GCP43	2,61	-1,60	-2,28	3,82
GCP46	-1,20	-0,16	0,42	1,28
GCP48	-1,00	-0,17	1,04	1,46
GCP50	-0,24	-0,18	0,59	0,66
GCP52	1,17	-1,34	-1,08	2,09
GCP54	-0,45	0,76	-0,67	1,11



Слика 1 – Оквирни положај подручја које треба снимити
Figure 1 – The approximate position of surveying zone

Табела 2 – Средње вредности разлика координата и средње грешке
Table 2 – The averages of coordinate differences and root mean square errors

	ΔX [cm]	ΔY [cm]	ΔZ [cm]	Total/Укупно [cm]
\bar{X}	-0.07	-0.17	0.06	1.41
m_x	1.00	1.22	0.85	1.09

The basic groups of hypotheses which will be utilized for sample of data analysis are:

- hypotheses about normality of coordinate differences distribution,
- hypotheses about gross errors of coordinate differences, and
- hypotheses about significance of correlation between coordinate differences.

All hypotheses were tested according to models which could be found in [6].

2.1. Hypotheses about normal distribution of coordinate differences

Hypotheses about normality distribution of coordinate differences are formulated as follows:

H_0 : coordinate differences are normally distributed

H_a : coordinate differences are not normally distributed

These hypotheses were tested by the Shapiro-Wilk test.

Основне групе хипотеза које се користе за анализу узорка података су:

- хипотезе о нормалности расподеле разлика координата,
- хипотезе о грубим грешкама у разликама координата и
- хипотезе о значајности корелације између разлика координата.

Све хипотезе тестирају се по моделима који се могу наћи у [6].

2.1. Хипотезе о нормалности расподеле координатних разлика

Хипотезе о нормалности расподеле разлика координата формулисане су на следећи начин:

H_0 : разлике координата су нормално распоређене

H_a : разлике координата не прате нормалну расподелу

Ове хипотезе тестирају се помоћу тест статистике за Шапиро-Вилк тест (Shapiro-Wilk).

2.2. Hypotheses about existence of gross errors into the sample of coordinate differences

The hypotheses about normality distribution of the coordinate differences are formulated as follows:

H_0 : the sample of coordinate differences contains gross errors

H_a : the sample of coordinate differences does not contain gross errors

The hypotheses about existence of the gross errors were tested by the test statistics (1). Even though the sample is relatively small, the condition for the normal distribution is used for the significance level of $\alpha=0,05$ given by the formula (2).

2.3. Hypotheses about significance of correlation between coordinate differences

The hypotheses about correlation between coordinate differences are formulated as follows:

H_0 : coordinate differences are correlated

H_a : coordinate differences are not correlated

The hypotheses about correlation were tested on the base of the test statistics given by formula (3) while criterion of significance is given by the formula (4) where:

- r : Pearson's correlation coefficient
- $K_{x,y}$: empirical covariation and
- n : sample size ($n = 30$)

2.2. Хипотезе о постојању грубих грешака координатних разлика

Хипотезе о грубим грешкама разлика координата формулисане су на следећи начин:

H_0 : разлике координата садрже грубе грешке

H_a : разлике координата не садрже грубе грешке

Хипотезе о грубим грешкама се тестирају на основу тест статистике (1). Иако је узорак мали користи се услов нормалне расподеле за ниво значајности $\alpha=0,05$ дат формулом (1) и критеријум дат формулом (2).

2.3. Хипотезе о корелисаности координатних разлика

Хипотезе о корелисаности разлика координата формулисане су на следећи начин:

H_0 : разлике координата су корелисане

H_a : разлике координата нису корелисане

Хипотезе о корелисаности координатних разлика се тестирају на основу тест статистике (3), док је критеријум за значајност корелиације дат у формули (4) са следећим значењем ознака:

- r : Пирсонов коефицијент корелације
- $K_{x,y}$: емпиријски коефицијент коваријације и
- n : број елемената у узорку ($n = 30$)

$$t = \frac{d}{\sigma_d} \sim N(0,1) \quad (1)$$

$$d \geq 1.96 * \sigma_d \quad (2)$$

$$r = \frac{K_{x,y}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3)$$

$$r \geq r^* = 3 * \frac{1-r^2}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

where:

- d : sample which is tested
- σ_d : standard deviation of sample
- $N(0,1)$: standardized normal distribution
- r : Pearson's correlation coefficient
- r^* : the critical value of correlation coefficient significance
- $K_{x,y}$: empirical covariation between samples x and y
- σ_x : standard of sample x and
- σ_y : standard of sample y .

где је:

- d : узорак који се тестира,
- σ_d : стандард са којим је узорак одређен,
- $N(0,1)$: стандардизована нормална расподела,
- r : Пирсонов коефицијент корелације,
- r^* : гранична вредност за значајност коефицијента корелације,
- $K_{x,y}$: емпиријска коваријација узорака x и y ,
- σ_x : стандард са којим је одређена величина x и
- σ_y : стандард са којим је одређена величина y .

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of hypotheses about distribution normality are given in Table 3. After analysis of distribution normality and removing some outliers, the hypotheses about the normal distribution of coordinate differences are accepted for each coordinate difference.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Резултати тестирања хипотеза о нормалности расподеле координатних разлика дати су у табели 3. После анализе нормалности расподеле координатних разлика и одбацивања резултата са великим одступањима прихваћене су хипотезе о нормалној расподели координатних разлика.

Табела 3 – Прихваћене хипотезе о нормалности расподеле координатних разлика
Table 3 – Accepted hypotheses about normality of coordinate differences distribution

Coordinate differences/ Разлике Координата	W Value of Shapiro- Wilk test	Hypothesis accepted/ Хипотеза прихваћена	Remark / Напомена
ΔX	0,982	H_0	Without removing maximal value/ Без уклањања максималне вредности
ΔY	0,856	H_0	After removing the value Y for GCP27/ Након уклањања вредности Y за GCP27
ΔZ	0,930	H_0	After removing the Z value for GCP27/ Након уклањања вредности Z за GCP27
T	0,945	H_0	After removing the T value for GCP27 and GCP43/ Након уклањања вредности T за GCP27

Results of the hypotheses about existence of gross errors are given in Table 4.

Резултати тестирања хипотеза о постојању грубих грешака дати су у табели 4.

Табела 4 – Прихваћене хипотезе о постојању грубих грешака
Table 4 – Accepted hypotheses about existence of gross errors

Point	$t(X)$	$t(Y)$	$t(Z)$	$t(T)$
GCP27	2,08 (H_a)	3,90 (H_a)	3,33 (H_a)	5,42 (H_a)
GCP43	2,60 (H_a)	1,31 (H_b)	2,69 (H_a)	3,49 (H_a)

The results of testing the hypotheses about existence of the gross errors showed that only the coordinate difference of only two points could be considered as the gross errors.

Резултати тестирања хипотеза о постојању грубих грешака показују да се координатне разлике за само две тачке могу сматрати грубим грешкама.

The results of correlation testing are given in Tables 5, 6 and 7. In Table 5 the values of correlation are given. In Table 6, the critical values of accepting hypothesis H_0 (the correlation coefficient is significant) are given, and in Table 7, the accepted hypotheses are given.

Резултати тестирања корелације дати су у Табелама 5, 6 и 7. У Табели 5 дате су вредности корелације. У Табели 6 дате су критичне вредности за прихватање хипотезе H_0 (коэффициент корелације је значајан) и у Табели 7 приказане су прихваћене хипотезе.

Табела 5 – Вредности коефицијента корелације
Table 5 – The values of the correlation coefficient

	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔT
ΔX	-	-0,13	-0,73	-0,17
ΔY		-	-0,21	-0,67
ΔZ			-	0,27
ΔT				-

Табела 6 – Критичне вредности за значајност корелације
Table 6 – The critical values of correlation significance

	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔT
ΔX	-	0,54	0,26	0,53
ΔY		-	0,52	0,30
ΔZ			-	0,51
ΔT				-

Табела 7 – Прихваћене хипотезе за значајност корелације
 Table 7 – The accepted hypotheses about correlation significance

	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔT
ΔX	-	H_a	H_0	H_a
ΔY		-	H_a	H_0
ΔZ			-	H_a
ΔT				-

The results of testing the hypotheses about correlation showed that the coordinate differences could be considered as correlated in cases $r_{\Delta X, \Delta Z}$ and $r_{\Delta Y, \Delta T}$, i.e. that the coordinate differences ΔX and ΔZ as well as the coordinate differences ΔY and total differences ΔT are correlated. The remaining combinations of the coordinate differences could not be treated as correlated. For decision making about correlation, the criterion given by formula (4) is utilized.

4. CONCLUSION

In this research, the statistical hypotheses were tested about normality of distribution, existence of the gross errors and correlation in the sample of the coordinate differences of the points' coordinate obtained by two different methods (photogrammetric and GNSS method based on the AGROS). Obtained accuracy was in the range of centimetres proving the high quality of the measurement results and concordance of two surveying methods. This research showed that, on the small samples, it is possible to perform analysis of empirical data and determine the deviations of the coordinate differences i.e. the points into the model which significantly deviate from the model. Concordance of the hypothesis about normality of the distribution and existence of the gross errors in the sample of the coordinate differences made possible to recognize the points

Резултати тестирања хипотеза о корелисаности показују да се координатне разлике могу сматрати корелисаним у случајевима $r_{\Delta X, \Delta Z}$ и $r_{\Delta Y, \Delta T}$, односно, да су корелисане координатне разлике ΔX и ΔZ као и да постоји корелација између координатне разлике ΔY и укупне разлике ΔT . Остале координатне разлике се не могу сматрати корелисаним. За доношење одлука о корелисаности коришћен је критеријум дат формулом (4).

4. ЗАКЉУЧАК

У овом истраживању извршено је статистичко тестирање хипотеза о нормалности расподеле, постојању грубих грешака и корелацији на узорку разлика координата добијених применом две различите методе (аерофотограметријском и GNSS методом базираном на АГРОС-у). Добијена је тачност реда величине центиметара што је показало висок ниво квалитета извршених мерења и сагласност резултата добијених два метода мерења. Истраживање је показало да се и на малим узорцима може вршити анализа емпиријских података и утврдити одступање координатних разлика, односно, тачака у моделу које значајно одступају од модела. Сагласност хипотеза о нормалности расподеле и постојања грубих грешака координатних разлика омогућиле су да се тачке GCP27 и

GCP27 and GCP43 as a potentially not enough good determined and to avoid utilize them into the transformation model. A relatively small sample does not allow acceptance of final conclusions about correlation of the coordinate differences but it could point to the directions of further investigation thorough the enlargement of the sample. Relative simplicity of the performed model of statistical hypotheses testing also points out its practical benefits.

GCP43 препознају као потенцијално nedovoljno dobro određene и као такве не користе у моделу за трансформацију. Релативно мали узорак не дозвољава доношење коначних закључака о корелацији координатних разлика и укупних одступања али указује на правце даљих истраживања кроз повећање обима узорка. Релативна једноставност модела тестирања статистичких хипотеза указује на могућу практичну корист од наведеног приступа.

REFERENCES

- [1] LEBERL, F., et al. "Point Clouds: Lidar versus 3D Vision." *Photogrammetric engineering and remote sensing* 76.10 (2010): 1123-1134.
- [2] Scherz, James P. "Errors in photogrammetry." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*. Vol. 11. No. 8. Elsevier Science, 1974.
- [3] Dai, Fei, and Ming Lu. "Assessing the accuracy of applying photogrammetry to take geometric measurements on building products." *Journal of construction engineering and management* 136.2 (2010): 242-250.
- [4] Baltasvias, Emmanuel P. "A comparison between photogrammetry and laser scanning." *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing* 54.2-3 (1999): 83-94.
- [5] Sims-Waterhouse, Danny, et al. "Uncertainty model for a traceable stereo-photogrammetry system." *Precision Engineering* 63 (2020): 1-9.
- [6] Elkhachy, Ismail. "Accuracy assessment of low-cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry." *Alexandria Engineering Journal* 60.6 (2021): 5579-5590.
- [7] Fawzy, Hossam El-Din. "3D laser scanning and close-range photogrammetry for buildings documentation: A hybrid technique towards a better accuracy." *Alexandria Engineering Journal* 58.4 (2019): 1191-1204.
- [8] Fawzy, Hossam El-Din. "Study the accuracy of digital close range photogrammetry technique software as a measuring tool." *Alexandria Engineering Journal* 58.1 (2019): 171-179.
- [9] Kršák, B., Blišťan, P., Pauliková, A., Puškárová, P., Kovanič, L. M., Palková, J., & Zelizňaková, V. (2016). Use of low-cost UAV photogrammetry to analyze the accuracy of a digital elevation model in a case study. *Measurement*, 91, 276-287.
- [10] Iheaturu, C., Okolie, C., Ayodele, E., Egogo-Stanley, A., Musa, S., & Speranza, C. I. (2022). A simplified structure-from-motion photogrammetry approach for urban development analysis. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 28, 100850.
- [11] Перовић, Г., Рачун изравнања, теорија грешака мерења, Грађевински факултет, Београд, 1989.