ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ СОФИЯ

Том Volume 58 2025 Брой Issue 2

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY SOFIA

DOI: 10.71167/uaceg.2025.580208

Получена: 12.03.2025 г.
Приета: 27.03.2025 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА СЪВРЕМЕННИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ДОКУМЕНТИРАНЕ НА НЕДВИЖИМОТО КУЛТУРНО НАСЛЕДСТВО

Кр. Микренска[1], Г. Симеонова[2]

Ключови думи: *недвижимо културно наследство, пространствени данни, наземно лазерно сканиране, безпилотен летателен апарат, тримерни цифрови модели*

РЕЗЮМЕ

Документирането на недвижимото културно наследство представлява процес на събиране, анализ и съхраняване на информация за исторически, архитектурни и археологически обекти с цел тяхното опазване, реставрация и популяризиране. Традиционно, геодезическите методи играят ключова роля в набирането на данни, но напредъкът в технологиите открива нови възможности за реалистично и детайлно представяне на историческите обекти. Безпилотните летателни апарати (БЛА) и наземното лазерно сканиране се утвърждават като ефективни инструменти за създаване на тримерни цифрови модели, които осигуряват висока точност, подпомагат реставрационните дейности и съхраняват ценна визуална информация за бъдещите поколения. Настоящото изследване разглежда приложимостта и значението на тези методи в процеса на документиране, анализ и опазване на културното наследство.

1. Въведение

Законът за културно наследство (чл. 2, ал. 1) дефинира понятието културно наследство. Терминът обхваща както материални, така и нематериални ценности, които

[1] Кристина Микренска, доц. д-р инж., кат. „Геодезия и геоинформатика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: kmikrenska_fgs@uacg.bg
[2] Габриела Симеонова, д-р инж., кат. „Геодезия и геоинформатика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: gabriela.simeonova3@gmail.com

представляват историческа памет и национална идентичност и притежават научна или културна стойност. В закона са описани и различните видове културно наследство, което подчертава разнообразието на обектите, които трябва да бъдат опазвани.

Според [2] опазването на културното наследство е важен въпрос, тъй като културата и наследството играят основна роля в развитието на хората и колективното развитие на един народ. Опазването на културното наследство е процес, който се състои от издирване, изучаване, идентификация, документиране, регистрация, консервация, реставрация и адаптация. Проучването и документирането на състоянието на архитектурно-строителното културно наследство е процес, чиято цел е да се опише състоянието на обекта и включва планиране, информация за собствеността на обекта на културното наследство, описване на състоянието, оценка на риска и изготвяне на препоръки [1]. Геодезията заема важна роля при документирането на архитектурно-строителното културно наследство, тъй като предоставя пространствени данни и продукти на архитекти и инженери за създаване на:

- фасадни планове;
- ситуационни планове;
- етажни схеми;
- детайли на орнаменти и елементи;
- откриване и регистриране на пукнатини;
- проблеми и деформации на конструктивни елементи.

Тримерното (3D) моделиране е процес по набиране и подбор на определени пространствени данни и тяхната последваща обработка с цел създаване на адекватен образ на моделираната предметна област [4, 5]. 3D моделите намират все по-широко приложение в различни предметни области – управление и запазване на културно-историческото наследство, инвестиционно проектиране, проектиране и изграждане на инженерни съоръжения, следене на деформации и др.

Геодезическите методи винаги са играли водеща роля в събирането на данни, като развитието на инструментите дава възможност да бъдат увеличени точността, гъстотата на точките, времето за набиране на пространствени данни, което води и до по-точни и реалистични модели на изследваните обекти и разнообразни крайни продукти като: фасадни чертежи, етажни планове и др.

2. Обект на изследване

Обект на настоящата разработка е църквата „Света Петка“, село Ситово, община Родопи, обл. Пловдив. Построена е през 1849 г., намира се на скалисто възвишение в централната част на селото и е функционираща към днешна дата. Камбанарията на църквата е построена през 1927 г. и е ремонтирана през 2018 година. Покривът не е ремонтиран от построяването ѝ. Конструкцията на черквата е каменна зидария от брациговската Каменоделска гилдия, покривът също е каменен с глинена набивка отгоре и подредени тикли (каменни плочи) [7, 8]. Черквата е функционираща и сградата е в добро състояние, от долната страна каменният покрив е измазан с хоросан и изписан със стенописи от времето на построяването на църквата.

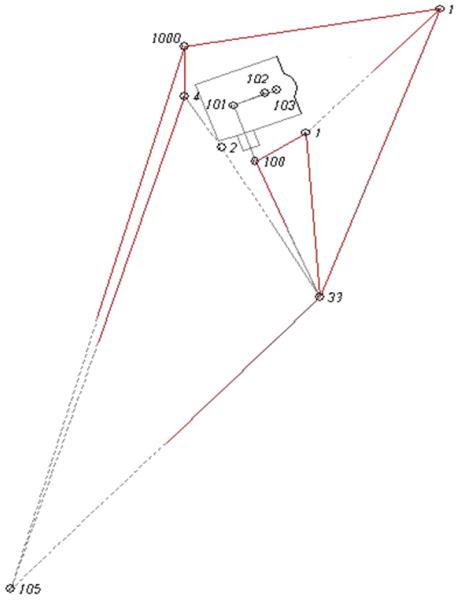
За да се получи по-добра представа за интериора и архитектурата, може да се направи 360-градусова виртуална разходка, която е заснета с панорамна камера GoPro Max, достъпна на следния линк: https://app.lapentor.com/sphere/khram-sveta-petka-s-sitovo?scene=6587232f1720c8ec0f0b05a7.

Църквата „Света Петка“ е включена в две категории на Националния регистър на културните ценности (НКЦ): художествена, според Писмо № 890 от 12.03.1979 г., и архитектурно-строителна, с Писмо № 890 от 12.03.1979 г. Допълнителна информация може да се намери на официалния сайт: http://ninkn.bg/Documents/categoryPreview/27.

Фиг. 1. Църквата „Света Петка“

3. Използвани методи за набиране на пространствени данни

За набиране на пространствени данни за църквата „Света Петка“ са приложени 2 метода: наземно лазерно сканиране и близкообхватна фотограметрия.



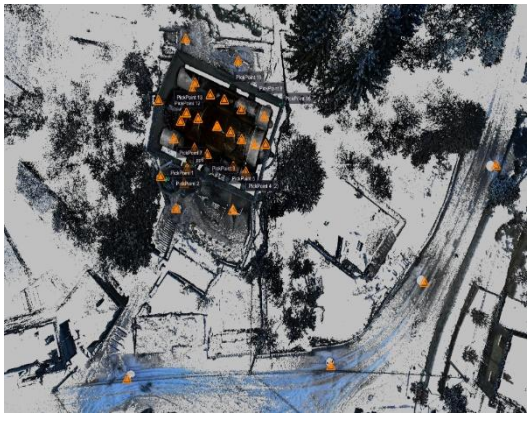
Фиг. 2. Схема на РГО

За георефериране на пространствените продукти са заснети предварително поставени марки по външните фасади на църквата и естествени точки по повърхността на външните и вътрешните стени. Координирането е извършено с тотална станция Trimble S3, като за изходни точки са използвани съществуващата РГО на селото – рт 1, рт 33 и рт 33, а останалите точки са допълнително стабилизирани чрез маркиращи пирони и координирани. За заснемане на точки в самата църка са използвани 3 латови точки (лт 101, лт 102 и лт. 103), които са стабилизирани с временни знаци (фиг. 2). Координатите на работната геодезическата основа са показани в табл. 1.

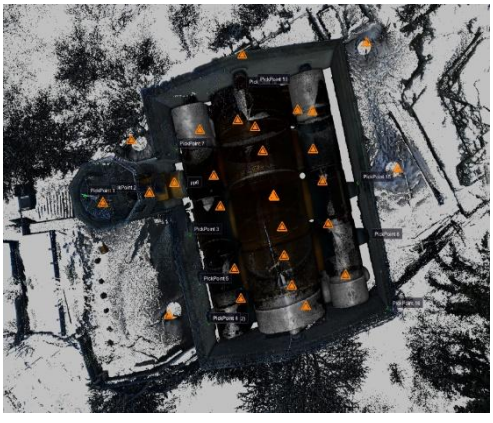
Таблица 1. Регистър на работна геодезическа основа

№	Клас по положение	X [m]	Y [m]	Клас по височина	H [m]	M_x [mm]	M_y [mm]	M_s [mm]	M_h [mm]
пт1	8	4644036,48	426673,22	6	1272,91	25	18	30	-
пт33	8	4643981,94	426652,10	6	1273,07	27	27	38	-
пт105	8	4643926,64	426597,73	6	1271,39	28	28	40	-
лт1	9	4644013,05	426649,73	7	1276,68	3	3	4	1
лт2	9	4644010,26	426634,79	7	1275,69	4	4	6	2
лт4	9	4644019,87	426628,31	7	1275,66	4	4	5	2
лт100	9	4644007,65	426640,72	7	1275,67	4	5	6	2
лт101	10	4644018,20	426636,83	8	1275,96	6	8	10	2
лт102	10	4644020,56	426642,39	8	1275,98	7	9	12	3
лт103	10	4644021,22	426644,56	8	1276,06	8	10	12	3
лт1000	9	4644029,45	426628,21	7	1277,91	3	3	4	1
Координатна система: ККС 2005; Височинна система: EVRS 2007									

3.1. Наземно лазерно сканиране



Фиг. 3. Разположение на вътрешни станции на сканиране

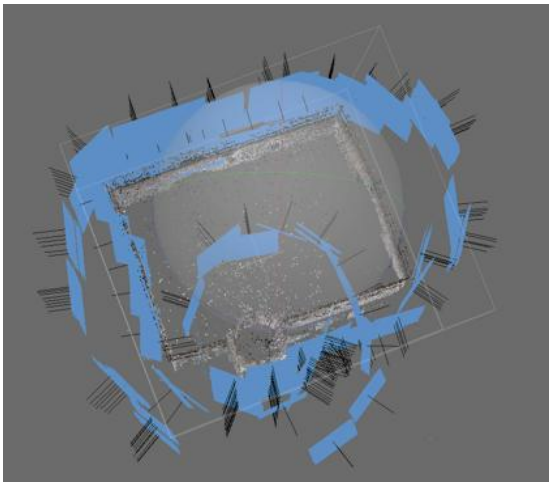


Фиг. 4. Разположение на станции на сканиране

Наземното лазерно сканиране е извършено от 33 станции (пълно зрително поле от 360 градуса; оцветен облак от точки; резолюция 22,6 mm @ 30 m – 34,7 MPts), от които 20 (фиг. 3) са разположени във вътрешността на църквата. Направени са 4 станции от по-голямо разстояние (фиг. 4) – 25 – 34 m, тъй като църквата се намира на скала, оградена от пропаст, и няма достъпност за поставяне на инструмент за сканиране на източната фасада.

3.2. Близкообхватна фотограметрия

Използван е БЛА DJI Mini 3. За заснемането на външните фасади на църквата е извършен свободно пилотиран полет и в резултат са получени 291 снимки (фиг. 5). Във вътрешността на църквата са направени въздушни и наземни снимки с оглед на заснемане на таванните елементи, тъй като най-високата част на църквата е около 7,80 m. Осветлението не беше достатъчно за направата на снимките и поради тази причина се използваха допълнителни прожектори за осветяване на тъмните участъци. Общият брой на направените снимки за вътрешността на църквата е 1172 бр.



Фиг. 5. Разположение на снимките спрямо обекта за изследване

Фиг. 6. Приблизителна височина на църквата

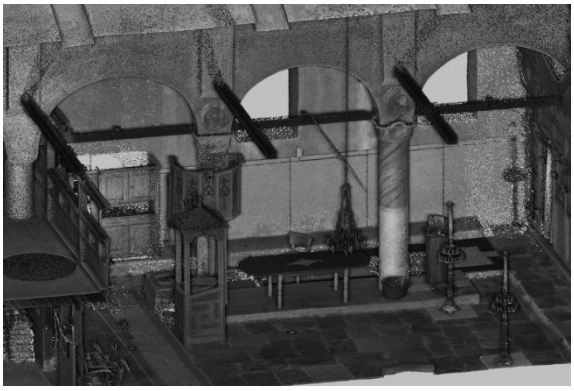
4. Обработка на пространствени данни и получаване на крайни продукти

Данните от наземното лазерно сканиране са обработени с Trimble RealWorks. Регистрирането на отделните станции е извършено чрез автоматичен метод за съпоставяне на повърхнини и метода cloud-to-cloud, тъй като нямаше възможност за осигуряване на голям процент застъпване на станциите, от които са сканирани северната и западната фасада, с останалите. Големият процент застъпване не е осигурен поради пресечения терен, на който е построена църквата и минималните разстояния между каменния зид и пропастта.

Георефернцирането на обединения облак от точки е направено с помощта на 10 ясно различими координирани точки по външните фасади на църквата. Не са използвани марки, защото сканирането е извършено на по-късен етап.

Общият брой на точките в облака е 948 780 466, а след премахване на странични шумове е сведен до 785 230 743 броя (фиг. 7 и 8).

Фиг. 7. Облак от точки, получен чрез НЛС (екстериорно)



Фиг. 8. Част от облак от точки, получен чрез НЛС (интериорно)

Снимките, получени от DJI Mini 3, са обработени с Agisoft Metashape като са направени две отделни групи, съответно за външното заснемане и за вътрешното.

За обработката на екстериорните снимки са използвани 16 контролни точки, а за интериорните – 22. Общият брой на точките в двата облака (фиг. 9) е 505 928 732.

Фиг. 9. Облак от точки, получен чрез близкообхватна фотограметрия

Облаците от точки и получените ортофотомозайки (фиг. 10) са предоставени на архитекти и проектанти за създаване на проектна документация.

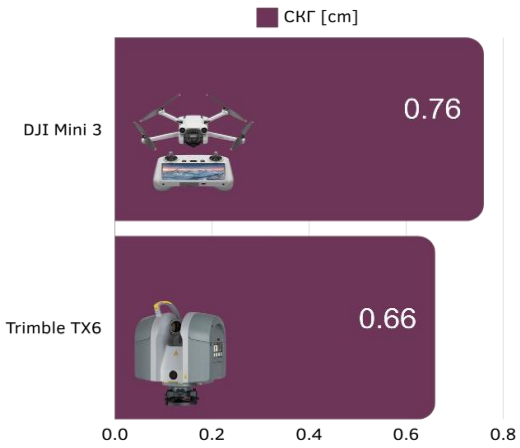
Фиг. 10. Ортофотомозайка на фасада юг

5. Анализ на получените резултати

За оценка на точността на получените данни са измерени 52 разстояния, включително интериорни елементи.

Съставен е статистически ред от грешки между контролно измерените разстояния и техните съответни в получените облаци от точки чрез съответните методи. Направена е проверка за груби и систематични грешки. Също така е направена проверка на хипотезата за съгласуване на емпиричното разпределение с нормалното чрез критерия χ^2, чрез изчисление на асиметрията, ексцеса и чрез групиране в интервали, от което е установено, че грешките в изследвания ред имат нормално разпределение и случаен характер.

Както може да се види от диаграма 1, средната квадратна грешка (СКГ) е под 1 cm. Получените резултати удовлетворяват точностите за създаване на документация на недвижимо културно наследство.

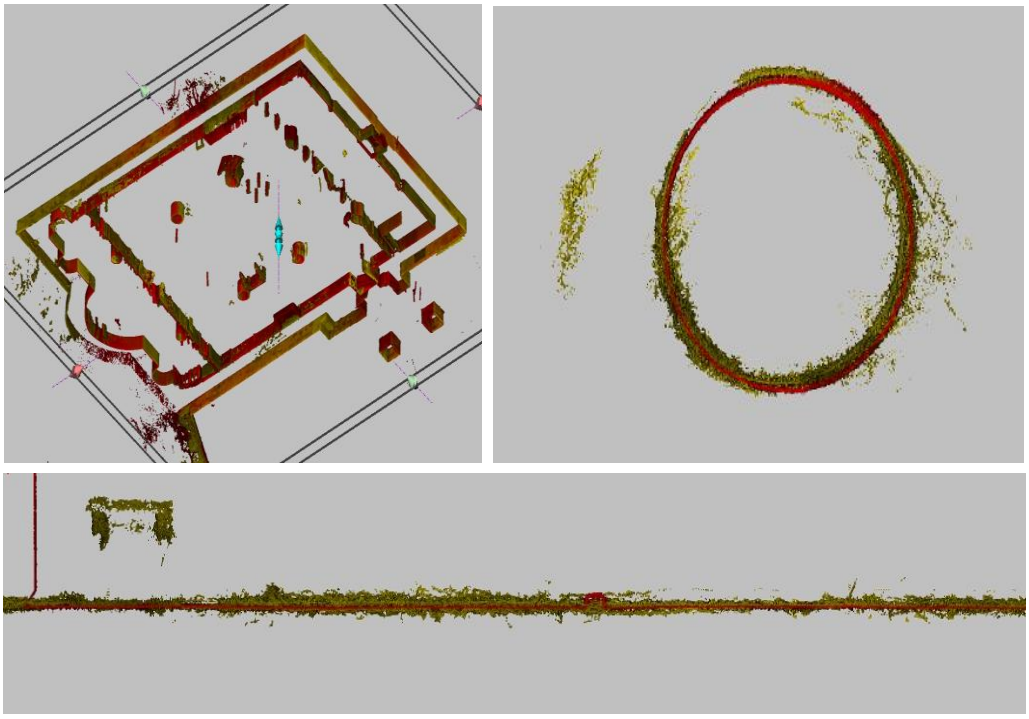


Диаграма 1. Стойности на СКГ на изследваните редове за църквата „Света Петка“, с. Ситово

Фасадните планове, създадени чрез близкообхватна фотограметрия, предлагат висока степен на детайлност и реализъм, като включват информация за покривните елементи. Въпреки това, наземното лазерно сканиране (НЛС) осигурява по-голяма точност, особено когато растителността около сградите може да бъде премахната, за да се разкрият скритите детайли. Така, макар фотограметрията да е по-силна в пресъздаването на реалистични визуализации, НЛС е предпочитан при изисквания за висока прецизност на измерванията и яснота на архитектурните елементи.

Лазерното сканиране е оценено като най-ефективен метод за интериорно набиране на данни. Прилагането на фотограметрични методи за интериора на църквата не би било възможно, ако няма добри светлинни условия. Улавянето на сложни конструкции е трудно, тъй като има наличие на голям шум (фиг. 11).

Сравнявайки всички набори от данни, регулярният модел, получен чрез наземната фотограметрия, е с най-добро качество за количествени измервания и поради тази причина този метод е подходящ за откриване и следене на пукнатини в каменните стени на църквата.



Фиг. 11. Обединени облаци от точки (сечение и оцветяване на облаците с различни цветове: жълт – Mini 3, червен – Trimble TX6)

В заключение може да се каже, че за документиране на недвижимото културно наследство няма един метод, който да може да осигури всички крайни продукти. Поради тази причина в табл. 2 са обобщени приложимите методи според задачите, които трябва да бъдат изпълнени.

Таблица 2. Приложимост на методите за документиране на недвижимо културно наследство

Задача \ Метод	ГНСС	Класически геодезически измервания	Въздушна фотограметрия	Наземна фотограметрия	Наземно лазерно сканиране
	Y– съвместим метод и задача, N – несъвместим метод и задача, CC – при определени условия				
Проверка на изходните данни	Y	CC	N	N	N
Георефериране на данни	Y	CC	CC	N	CC
Топографски план	CC	Y	CC	N	Y
Документация на фасади	N	CC	CC	CC	Y

Екстериорна документация на покрив	N	CC	Y	CC	CC
Документация на външни деформации	CC	Y	N	CC	Y
Архитектурни разпределения Разрези, профили, сечения	N	CC	N	CC	Y
Архитектурни разпределения Разрези, профили, сечения	N	CC	N	N	Y
Документация на вътрешни деформации	N	N	N	N	CC
Документация за интериорни детайли и орнаменти	N	N	N	Y	CC
Оценка на точността	CC	Y	CC	CC	Y

6. Заключение

Появата на безпилотните летателни системи трансформира събирането на пространствени данни, предлагайки несравнима гъвкавост и ефективност [4]. БЛА са особено ценни при създаване на тримерен модел на сгради и документирането на недвижимото културно наследство. С тяхна помощ и правилна технология на работа могат да бъдат създадени пространствени реалистични модели с висока разделителна способност. Те могат бързо да покриват големи площи, да имат достъп до труднодостъпни места. Тяхното интегриране в геодезическите дейности подобрява скоростта на събиране на данни, което ги прави универсален инструмент в различни приложения.

Наземното лазерно сканиране се откроява като водещ метод за набиране на детайлни и точни данни за различни обекти от заобикалящата ни среда. Приложението му при документиране на обекти на недвижимо културно наследство гарантира, че сложните детайли могат да бъдат уловени. Високата разделителна способност и точността на лазерното сканиране го правят предпочитан метод за проекти, изискващи прецизност и изчерпателност.

Дистанционните методи играят ключова роля в набирането на пространствени данни за създаване на модели на сгради, документиране на недвижимото културно наследство и височинен цифров модел. Класическите геодезически измервания и ГНСС технология все още намират място в геодезията за създаване на качествени продукти.

На по-късен етап данните от създадения модел 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 заобикалящата среда [6]. Използването на ГИС за подобно изследване е да се представи промяната на средата чрез използването на двуизмерно и триизмерно моделиране, както и пространствено-времеви анализи [3].

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор Д-165/2024 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Oncheva, F., Boshnakov, D.* 2014. Osnovni termini v sferata na konservatsiyata i restavratsiyata na kulturni tsennosti. V XIV Mezhdunarodna nauchna konferentsia VSU'2014.

2. *Bedate, A., Herrero, L. C., Sanz, J. A.* Economic Valuation of the Cultural Heritage: Application to Four Case Studies in Spain. // Journal of Cultural Heritage 2004, 5: 101 – 111.

3. *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.

4. *Ivanov, R.* Engineering Surveying and Deformation Surveys. Monograph, Sofia, 2020, ISBN 978-954-12-02722.

5. *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.

6. *Pavlov, P.* GIS – application in the development and management of large settlements, Geodesy, cartography and land management journal., Vol. 4, 1999, pp. 16 – 20, ISSN 0324-1610 – XXXIX.

7. https://rodopi-info.com/carkvata-postroena-varhu-skala-sveta-petka-v-selo-sitovo/, poseten na 24.02.2025.

8. https://pavelandreev.org/bg/campaign/crkva-sveta-petka-s-sitovo, poseten na 24.02.2025.

APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES FOR DOCUMENTATION OF IMMOVABLE CULTURAL HERITAGE

Chr. Mickrenska[1], G. Simeonova[2]

Keywords: *immovable cultural heritage, spatial data, terrestrial laser scanning, unmanned aerial vehicle, 3D digital models*

ABSTRACT

Documentation of immovable cultural heritage is the process of collecting, analysing and preserving information about historical, architectural and archaeological sites for the purpose of their conservation, restoration and promotion. Traditionally, surveying methods have played a key role in data collection, but advances in technology are opening up new opportunities for realistic and detailed representation of historic sites. Unmanned aerial vehicles (UAVs) and terrestrial laser scanning are emerging as effective tools for creating three-dimensional digital models that provide high accuracy, support restoration activities, and preserve valuable visual information for future generations. This study examines the applicability and importance of these methods in the process of documenting, analyzing, and preserving cultural heritage.

[1] Christina Mickrenska, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Geodesy and Geoinformatics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: kmikrenska_fgs@uacg.bg

[2] Gabriela Simeonova, Dr. Eng., Dept. "Geodesy and Geoinformatics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: gabriela.simeonova3@gmail.com