



ПРИМЈЕНА САВРЕМЕНИХ ТЕХНОЛОГИЈА ПРИКУПЉАЊА И ОБРАДЕ
ПРОСТОРНИХ ПОДАТАКА У ПРИВРЕДНИМ ПРОЈЕКТИМА

APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES OF COLLECTING AND PROCESSING
SPATIAL DATA IN ECONOMIC PROJECTS

Славица Радић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ГЕОДЕЗИЈА И ГЕОМАТИКА

Кратак садржај – У раду је са теоријског аспекта описана примјена савремених технологија за прикупљање података – мобилно ласерско скенирање са аутомобила и мобилно ласерско скенирање из ваздуха, као и технологија беспилотних летјелица. У практичном дијелу рада детаљно је описана примјена беспилотне летјелице *senseFly eBee*, за потребе рударства. Дати су и примјери коришћења наведених технологија у свијету, у привредним пројектима.

Кључне ријечи: Мобилно ласерско скенирање, беспилотне летјелице, DSM, ортофото, рудници

Abstract – This paper describes the use of modern technology for data collection - mobile laser scanning with cars and mobile laser scanning from the air, and the technology of unmanned aerial vehicle. The practical part of the paper describes in detail the use of the *senseFly eBee* unmanned aerial vehicle for mining purposes. There are also examples of using these technologies in the world, in business projects.

Кључне ријечи: Мобилно ласерско скенирање, беспилотне летјелице, DSM, ортофото, рудници

1. УВОД

Прикупљање просторних података у сврху израде квалитетних геодетских подлога за пројектовање, за геодете је прави изазов. Геодезија је наука која се почела развијати у античком периоду, па се од тада до данас, начин прикупљања података свакако мијењао.

Првобитно, за прикупљање података, коришћени су само папир и оловка. Касније, прешло се на ортогоналну и поларну методу премјера. Тиме је повећана тачност, убрзан је рад, а појава тоталне станице омогућила је аутоматску регистрацију мјерења и могућност рачунања координата на лицу мјеста. Појавом GNSS технологије, значајно је убрзан процес снимања детаља. Следећа метода која се појавила је дигитална фотограметријска метода.

Данас, највећу примјену налазе технологија ласерског скенирања и технологија беспилотних летјелица.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Зоран Сушић.

Појавом ових технологија, створили су се услови за креирање 3Д модела, на брз и ефикасан начин. Због тога, ове технологије данас привлаче огромну пажњу и често су предмет истраживања, као што је случај и у овом раду.

2. САВРЕМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ПРОСТОРНОГ ПРИКУПЉАЊА ПОДАТАКА

У геодезији, данас, највећу примену имају технологија ласерског скенирања и технологија беспилотних летјелица. Свакодневно, на тржишту се појављују нови елементи, којима се надограђују постојећи системи из наведених категорија геодетских инструмената. Наиме, у наставку рада биће описани најпознатији мобилни ласерски системи за скенирање са покретне платформе на земљиној површини, као и са ваздушних платформи. Такође, биће описане и беспилотне летјелице, које данас имају највећу примјену, како у геодезији тако и у дисциплинама гдје се захтева да се за кратко вријеме, на већим површинама, прикупи што више просторних података.

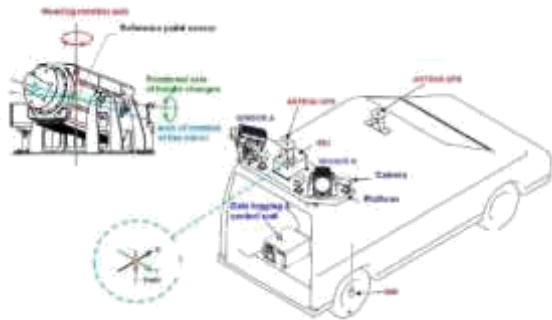
У оба случаја, резултат рада је подлога за пројектовање. Да би се добио квалитетан ортофото некада је било потребно много времена и труда. Данас, то је много једноставнији посао, а резултат је сасвим задовољавајући, у смислу тачности и прецизности добијених резултата. Недостатак савремених технологија представља вријеме обраде података, због огромне количине снимљених информација, уколико се не располаже специјализованим софтверима.

2.1. Технологија ласерског скенирања - LiDAR

Ласерско скенирање представља начин прикупљања просторних података помоћу ласера. То је нова технологија из области геодетског премјера. LiDAR технологија базира се на прикупљању три врсте података. Да би се одредила позиција сензора, потребно је користити GNSS пријемник, и то фазна мјерења у режиму релативне кинематике. Оријентација сензора, одређује се употребом Inertial Measurement Unit (IMU).

Следећа компонента LiDAR система је ласерски скенер. Он шаље инфрацрвени зрак према земљиној површини и рефлектује се од сензора. Мјери се вријеме протекло од емитовања до пријема сигнала, уз познавање позиције сензора и оријентације и на основу тога, могуће је рачунање

тродимензионалних координата на земљиној површини. Осим наведених компоненти, систем садржи и камеру, за колоризацију облака тачака.



Слика 1. Компоненте система за мобилно ласерско скенирање

У зависности од положаја скенера у простору, извршена је подјела ласерског скенирања, па се тако могу разликовати: терестричко, скенирање из ваздуха и индустријско ласерско скенирање. Терестричко ласерско скенирање се користи приликом скенирања фасада објеката, рудника, цјевовода, индустријских постројења.

Ласерски скенер може бити постављен на покретну платформу или на постолје, а користе се принципи фазног или пулног мјерења растојања. Дели се на статичко и динамичко ласерско скенирање. Динамичко ласерско скенирање – мобилни систем скенирања налази примјену у скенирању путева, шина и огледа се кроз снимање у покрету.

Снимање из ваздуха (авионско ласерско скенирање) карактеристично је због тога што се скенер поставља на ваздушну платформу (авион, хеликоптер, сателит). Предмет скенирања су терен, путеви, далеководи, насипи итд.

Индустријско ласерско скенирање се врши уз помоћ контактнoг и безконтактнoг скенера. Код контактнoг, координате тачака се добијају путем физичког додира са објектом, а код бесконтактнoг, објекат је на неком растојању, које није много велико. Са малог растојања врши се скенирање индустријских дијелова (нпр. аутомобилски дијелови), људског тијела, вајарских дјела [1].



Слика 2. Платформе за мобилно ласерско скенирање

2.1.1 Мобилно ласерско скенирање са аутомобила

Ласерски скенер емитује импулсе са високом фреквенцијом и рефлектује се од површи назад до инструмента. Огледало унутар ласерског трансмитера се помјера ротирајући управно на правац летења, чиме се омогућује мјерење у ширем појасу.

Вријеме протекло од емисије до повратка сваког импулса и угао одклона од вертикалне осе инструмента се користе за одређивање релативне позиције сваке мјерене тачке. Комбинацијом

ласерског опсега, угла скенирања, позиције ласера (добијене GNSS-ом) и оријентацијом ласерске платформе (добијене INS-ом), могу се срачунати тродимензионалне координате на земљиној површи за сваки ласерски зрак, са високом тачношћу. Данашњи комерцијални LiDAR системи обезбјеђују прикупљање од 30.000 до 1.000.000 мјерења у секунди, која кориснику омогућавају аквизицију свих структурних линија на терену [2].

У данашње вријеме, велики је број компанија које производе и пласирају на тржиште скенере који раде на описан начин. Технологија ласерског распрострањања, максимални домет, видно поље, количина послатих импулса, фреквенција и тачност скенирања, као и густина тачака, само су неки од индивидуалних карактеристика скенера.

Компаније које се истичу у домену продукције високо прецизних ласерских скенера су TOPCON и TRIMBLE. Међутим, постоје и мање компаније, чији производи такође задовољавају потребе корисника. То су: OPTECH, RIEGL, MDL, SITECO, 3D LASER MAPPING и IGI. Оне и иначе производе геодетске инструменте и ласерске системе за потребе картографња.



Слика 3. Мобилни ласерски системи за скенирање са аутомобила

2.2. Технологија беспилотних летјелица

Беспилотне летјелице су аутоматски системи за контролу и планирање лета, у циљу просторне аквизиције података. Према дефиницији, UAV је генерички авион дизајниран за рад без људске посаде. Термин UAV се обично користи у геоматичкој стручној јавности, али се користе и термини као што су: *Remotely Piloted Vehicle (RPV)*, *Remotely Operated Aircraft (ROA)*, *Remote Controlled (RC) Helicopter*, *Unmanned Vehicle Systems (UVS)* и *Model Helicopter* [3].

Прве беспилотне летјелице појавиле су се за војне потребе, гдје су дуги низ година биле користан извор информација о непријатељу, његовом кретању и терену на којем се налази. Званично су у употреби од Другог свјетског рата до данас, у различитим дијеловима свијета и на различитим задацима [4].

У последње вријеме, све је израженија употреба UAV летјелица у геодезији. UAV фотограмetriја отвара нове могућности и даје предност блископредметним фотограметријским методама у односу на алтернативне методе са људском посадом [4].

UAV представља веома флексибилан систем који се лансира руком, аутоматски је операбилан, користи IMU сензор и представља најекономичнију методу снимања из ваздуха. Због ових карактеристика, летјелица је лака, па јој јаки налети вјетра могу створити проблеме.

Корисник беспилотних летјелица, треба добро да проучи спецификацију произвођача, гдје је јасно наведено под којим временским условима и при којој максималној брзини вјетра је безбједно коришћење беспилотне летјелице.

Да би се добили квалитетни модели, треба се ивршити заједничка оцјена параметара спољашње оријентације и контролних тачака на површи терена. У случајевима када није исплативо реализовати класичан аерофотограметријски премјер, због мале површине снимања, потпуно је функционална примјена беспилотних летјелица.

Временска димензија података овој технологији обезбјеђује реалнију интерпретацију стварног стања на терену у односу на класичну аерофотограметрију и сателитске снимке. Предност примјене микро и мини летјелица се односи на елиминацију атмосферских утицаја, као што су магла и облачност, гдје су класична фотограметрија и сателитски снимци веома осјетљиви [4].

Ове технологије се веома брзо развијају, захваљујући експанзији нискобуџетних платформи са аматерским или професионалним камерама и GNSS/INS системима неопходним за навигацију са високом прецизношћу.



Слика 4. Беспилотне летјелице *senseFly eBee*

Беспилотни системи за аерофотограметрију и инспекцију објеката (Слика 4.), представљају технологије које имају огромну примјену у разним гранама привреде. Динамично се развијају. Беспилотни системи за аерофотограметрију идеални су за премјер како мањих, тако и већих површина (SenseFly eBee X). Упоредо са њима, развијали су се и беспилотни системи за инспекцију објеката, који омогућавају приступ неприступачним позицијама на објекту, преглед у реалном времену, снимање видео/фото материјала у видљивом или инфрацрвеном дијелу спектра.

Ови беспилотни системи омогућавају економично и лако снимање из ваздуха, за потребе разних мјерења, анализа или надзора у геодезији, грађевинарству, шумарству, пољопривреди и другим областима.

3. РЕАЛИЗАЦИЈА СЛИЧНИХ ПРОЈЕКТА У СВИЈЕТУ

У наставку рада, биће приказано скенирање моста „The Silver Jubilee Bridge“ у енглеском градићу Ранкорну. Ово подручје карактеришу честе појаве клизишта, која уништавају саобраћајнице [5].

Прије неколико година, клизиште у Ватфорду је оштетило дио жељезничке пруге, па су се возови сударили и дошло је до несреће у којој је повријеђено неколико особа. Због тога, направљен је план за унапређење како жељезничке, тако и путне мреже, који представља највећи програм модернизације у скенирању саобраћајница.

Редовном скенирањем LiDAR технологијом, могуће је раније примјетити промјене у конфигурацији терена и самим тим спријечити невоље или након неког инцидента, могуће је обезбједити бржу и ефикаснију обнову уништених објеката.

Напредак у мобилном ласерском скенирању има огромне могућности захваљујући великом подручју које је могуће снимити у једном скенирању – до десет километара дневно. Комбинујући систем инерцијалних навигационих система високе прецизности и LiDAR скенер са двије главе, од којих свака мјери 550.000 тачака у секунди, технологија снима у веома високој резолуцији, са тачношћу од 10 до 20 mm [5].

На Слици 5. приказан је облак тачака моста, добијен мобилним ласерским скенирањем, скенерским системом ROBIN+PRECISION. Да би се прикупио овај облак тачака, било је потребно само 10 минута, а тачност је око 7mm [5].



Слика 5. Облак тачака моста *The Silver Jubilee Bridge*

3.1. Скенирање рудника „Luck Stone“ беспилотном летјелицом

Као један од највећих произвођача агрегата у породичном власништву у САД-у, компанија „Luck Stone“ има „пословнице“ на 25 различитих локација, које се протежу од Јужне Каролине до Мериленда.

На тако великим површинама, укључујући каменоломе, путеве и дистрибутивне центре, било је тешко управљати и надгледати радове и захтијевало је много новца. Употребом беспилотних летјелица, „Luck Stone“ је успјела да прати складишта на свим локацијама и добија детаљније и интегрисане увиде у пословање.

Компанија је набавила senseFly eBee летјелицу и за годину и три мјесеца, летјелица је радила 400 часова, снимајући до 1 200 слика по локацији или више од 14 000 слика за свако подручје ископа. Осим тога, компанија је остварила значајне финансијске уштеде у трошковима, усвајањем UAV технологије у овом сектору. Са eBee RTK, захваљујући интегрисаном рјешењу, складишта се могу мјерити четири пута годишње по приближно истом трошку.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА ПРИМЈЕНЕ САВРЕМЕНИХ ТЕХНОЛОГИЈА НА ИНЖЕЊЕРСКИМ ПРОЈЕКТИМА

У експерименталном дијелу овог рада, биће приказана примјена беспилотне летјелице SenseFly eBee приликом праћења ископа угља, у Зависном предузећу „Рудник и Термоелектрана Угљевић“ у Угљевику, које послује у оквиру Мјешовитог Холдинга „Електропривреда Републике Српске“.

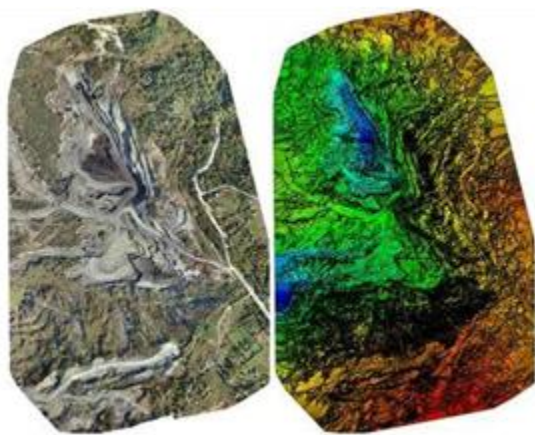
Рударство је грана привреде која се бави процесом ископавања руде и њене припреме за искоришћавање у другим областима индустрије. Први радови на ископавању угља на подручју угљевичког угљеног басена, започети су крајем XIX вијека – 1899. године, када је отворен рудник „Угљевић“ и од тада се рударски радови непрекидно одвијају.

Радови на овом руднику тренутно се врше у два ревира: „Сјеверни ревир“ и „Источно откопно поље“. За свако од ових подручја израђује се дигитални модел површи и дигитални ортофото план.

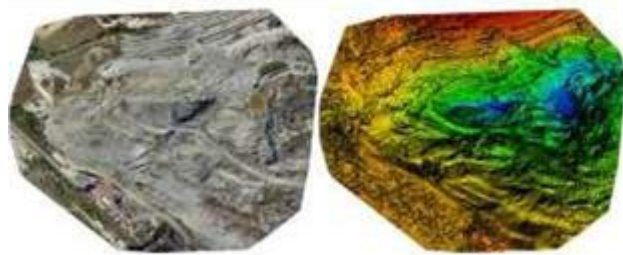
Подаци се прикупљају беспилотном летјелицом, а овом поступку претходи креирање плана лета, у софтверу *eMotion*, као и утврђивање распореда и броја оријентационих тачака и њихова сигнализација на терену.

Обрада добијених облака тачака врши се у софтверу *Pix4D*. За оба подручја, постављено је по четири оријентационе тачке, чије координате су одређене GPS методом прикупљања података. Тачке у „Сјеверном ревиру“ су 1, K5, K6 и K7, а у „Источном откопном пољу“ K1, K2, K3, K4.

На основу два модела истог подручја, снимљена у два различита временска периода, учитана један преко другог, могуће је израчунати запремину ископаног угља, у софтверу *Global Mapper*.



Слика 6. Ортофото и ДСМ – „Источно откопно поље“



Слика 6. Ортофото и ДСМ – „Источно откопно поље“

5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду су описане двије технологије прикупљања просторних података, које се данас најчешће користе – мобилно ласерско скенирање и технологија беспилотних летјелица.

Резултати обраде ових података су дигитални модел површи и ортофото план. На крају обраде, добијају се и извјештаји. Извјештаји су генерисани за оба подручја рудника „Угљевић“, гдје се тренутно изводе рударски радови – „Источно откопно поље“ и „Сјеверни ревир“. Првим летом је обухваћено 131.29ha, а другим 86.37 ha. Средња 3D грешка геореференцирања за прву обраду износи 0.033 m, а за другу 0.055 m. За први модел, средња положајна грешка оријентационих тачака је 0.0003 m, а висинска 0.0069 m. За други модел, средња положајна грешка оријентационих тачака је 0.0195 m, а висинска 0.0141 m. Тачност добијених дигиталних модела површи и ортофото планова је сасвим задовољавајућа, за потребе рударских радова, што ову технологију чини сасвим пожељном за сличне пројекте, гдје се за кратко вријеме, може снимити већа површина.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Говедарица, М., *Индустријско ласерско скенирање - Материјал са предавања*. Нови Сад: 2013
- [2] Нинков, Т., Сушић, З., Нинков, Ђ., Милосављевић, А., Шушић, В., Павловић, С. *Примена ЛИДАР технологије код пројектовања и грађења путева. Други српски конгрес о путевима*. Београд: 2016. 112 стр.
- [3] Сушић, З., Нинков, Т., Булатовић, В., Васић, Д. *Примена беспилотних летелица у поступку израде геодетских подлога за пројектовање. Други српски конгрес о путевима*. Београд: 2016. 112 стр.
- [4] Говорчин, М., Ковачић, Ф., Маганић, Ј. *Беспилотне летјелице SenseFly Swinglet CAM*. Загреб: Свеучилиште у Загребу, Геодетски факултет, 2012.
- [5] <https://www.3dlasermapping.com/blog-post/lidarforhighwaysandrail/>

Кратка биографија:



Славица Радић рођена је 1993. године у Бијељини. Дипломски рад на тему „Пројекат геодетског осматрања објекта „Барутана“ на Калемегдану“ одбранила је на Факултету техничких наука у Новом Саду, 2016. године.