



## ПРИЛОЖЕНИЕ НА MTLS – ТЕХНОЛОГИЯ ПРИ ОДИТ НА ТУНЕЛНОТО СТРОИТЕЛСТВО

Александър Постоловски<sup>1</sup>, Мариан Димитров<sup>2</sup>, Марко Марков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>“ГеоВилд Мак“ ООД, Скопие, Македония, [aleksandar.postolovski@gmail.com](mailto:aleksandar.postolovski@gmail.com)

<sup>2</sup>“Геотехинженеринг“ ООД, София, България, [dimitrovmarian94@gmail.com](mailto:dimitrovmarian94@gmail.com)

<sup>3</sup>Университет по архитектура, строителство и геодезия, София, България, [markomarkov8@abv.bg](mailto:markomarkov8@abv.bg)

## APPLICATION OF MTLS – TECHNOLOGY BY AUDIT OF THE TUNNEL CONSTRUCTION

Aleksandar Postolovski<sup>1</sup>, Mariyan Dimitrov<sup>2</sup>, Marko Markov<sup>3</sup>

### ABSTRACT

*The first in the country application of MTLS – technology for a concrete phase of the tunnel construction is presented. The basic steps by practical realization of the technology are described in detail. The working algorithm, used by the processing of the scanned data is presented. The applicability and the effectiveness of the MTLS – technology in the course of the tunnel construction is well grounded*

**Keywords:** Mobile Terrestrial Laser Scanning, point cloud, data processing

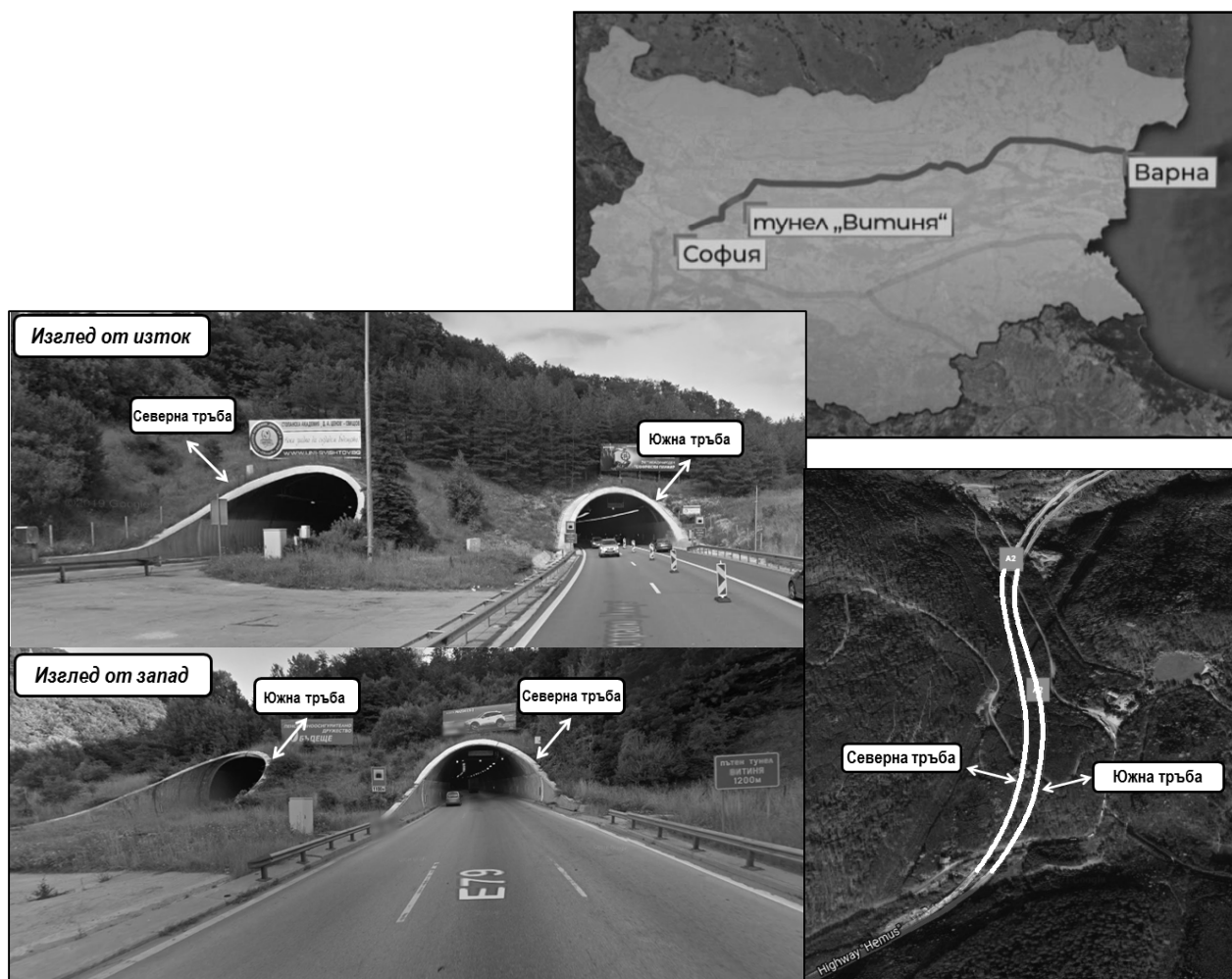
### 1. Въведение

Технологията на лазерното заснемане на различни реални обекти, ситуирани на и под земната повърхност, намира все по-широко приложение в геодезическата практика. В началото на последното десетилетие нараства интересът към мобилните приложения на тази технология (Mobile Terrestrial Laser Scanning – MTLS) и по-точно към мобилните картографиращи системи (MMS). Модерната MMS е наземна, мултисензорна картографираща система, която включва различни компоненти за навигация или придобиване на пространствено-времеви данни за местоположение, размери и други характеристики на обектите.

Системата, в нейния пълен и комплект, се монтира върху движеща се платформа – моторни и жп – превозни средства, плавателни съдове и др.. Особено успешно MTLS – технологията се прилага при заснемането на линейни транспортни обекти, с прилежащата им инфраструктура, елементи на урбанизираната среда, мостови съоръжения и тунели [1, 2, 3]. Неоспоримите технологични предимства, в тези случаи, са концентрирани в бързината и недостижимата детайлност в сравнение с други, прилагани понастоящем, технологии.

### 2. Практическа реализация

Първото и единствено до момента приложение на MTLS – технологията, в сферата на тунелното строителство у нас, е реализирано при финалния одит на реконструкцията на северната тръба на тунел „Витиня“ (Фиг. 1). Този тунел е построен през 80-те години на XX век, като по това време е най-дългият автомобилен тунел в България. Намира се в източната част на планината Мургаш (Западна Стара планина). Всяка от тръбите е с дължина от 1125 m., сечението на тръбата е 86m<sup>2</sup> в диаметър и има една свързваща галерия. През 2018 година, поради сериозни проблеми по конструкцията му, е стартиран проект за реконструкция.



Фиг.1: Тунелът „Витиня“, елемент от Автомагистрала „Хемус“

## 2.1. Подготовка и реализация на измерванията

Поради неоспоримия факт, че ГНСС – апаратурата, неразделна част от MMS, е ефективна само извън тунела, а във вътрешността му системата разчита единствено на жирокопите и одомеръта DMI, монтирани в инерциалната система, се създават предпоставки за „изместване“ и „усукване“ на траекторията на подвижната платформа. Това би довело до незадоволителни резултати на обработения впоследствие и съвместен с траекторията облак от точки [3, 4, 5]. За да бъде достигната желаната точност на измерванията, са предварително поставени контролни марки (Фиг. 2), във вътрешността на тунела, по една за лявото и дясното платно, през 100 метра – общо 21 броя. Марките предварително са координирани, като за изходна база е използвана предварително създадената работна геодезическа основа (РГО), обслужваща комплекса от строителни работи в тунела. Марките са поставени в тротоарното пространство или по стените на тунела, за да бъде избегнато евентуалното им унищожаване от преминаваща техника или невнимателни действия на работници.



Фиг.2: Контролна марка



Фиг.3: Инерциалната система MTLN RIEGL VMZ 2000 – монтирана върху автомобил

В резултат на анализ от страна на работния екип е установено, че е целесъобразно за бъдат реализирани 4 цялостни преминавания по трасето на тунелната тръба, като на две от преминаванията скенерът да е позициониран в хоризонтално положение, за по-обстойно заснемане на пътното плътно и тротоара, а през другите две преминавания скенерът да е монтиран във вертикално положение, с цел едно цялостно заснемане на ситуацията във вътрешността [6, 7].

За прецизно определяне на траекторията [9, 10] е използван допълнителен двучестотен ГНСС приемник, работещ в статичен режим, в качеството му на базова станция. Приемникът е поставен върху точка от РГО, със зададен интервал на записване на информацията 1 сек.. Скенерът „RIEGL VMZ 200“, е монтиран върху автомобил (Фиг. 3). Предварително са инициализирани системите, съответно „LV POS View“ (за позициониране и ориентиране въз основа на инерционна технология) и „RiAcquire“ (за събиране на данни). Направено е съгласуване с ГНСС системата. Инерциалната система е инициализирана чрез задвижване и с вариации в скоростта, при съблюдаване на наклона на терена. При достигане на удовлетворяващи за целите на проучването резултати в ъгловите показатели – „Roll“ и „Pitch“ от 0,050 deg. и „Yaw“ от 0,075 deg., е реализирано измерването, посредством MTLN - технологията. Средната скорост на автомобила, при извършване на измерването е от порядъка на 20



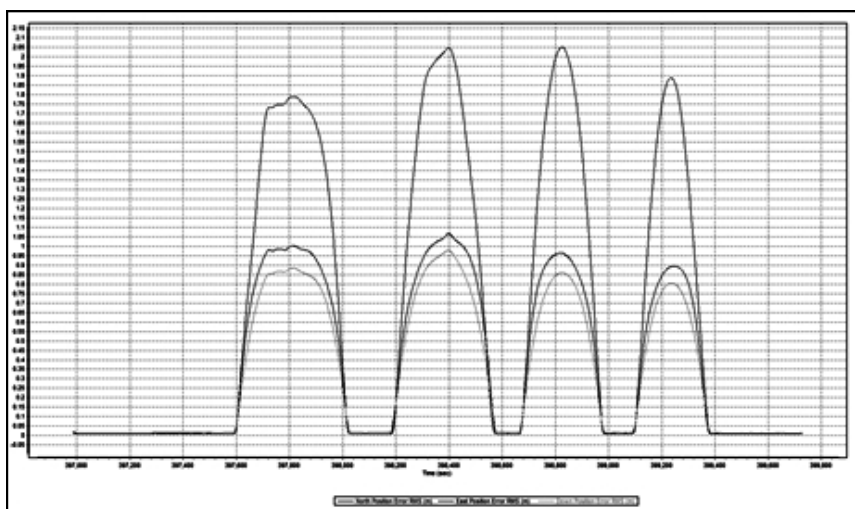
km/h, като при преминаването в близост до контролните марки, скоростта е намалявана за по-добра визуализация в процеса на последващата обработка на облака от точки. За да бъдат избегнати проблеми със записа, той е обновяван на всеки 2 минути. След всяко цялостно преминаване през тунела, са коригирани стойностите на ъгловите показатели.

## 2.2. Обработка на данните

Обработката на данните е разделена на три основни етапа, с цел постигане на максимално точен модел на облака от точки.

**През първия етап** е обработена траекторията на измерването, при което е направена актуализация и верификация на данните от одомеръра, статистическа редукция до минимума на стандартните отклонения, както и въвеждането на актуалните координати на базовата ГНСС станция. След задаване на коректните параметри траекторията е обработена, така че да бъдат постигнати първоначалните временни резултати. При тази обработка е интегрирана цялата налична информация от INS – GNSS навигационна система, както и от одомеръра DMI и са нанесени диференциални поправки към ново обработената траектория. За тази цел е използван програмният продукт POSPac MMS.

След анализа на графиката със стойностите на СКГ по положение и височина, са установени максимални стойности от 2 m. на траекторията в тунела и 2 cm. извън него, които са удовлетворяващи за този етап от обработката. Обработената траектория е експортирана в .SBET формат (Фиг. 4).



Фиг.4: Стойностите на СКГ за координатите на траекторията

**През втория етап** на обработката са извършени управление, обработка и анализ на данните, придобити посредством MTLs. Основните компоненти на управлението на данни са: информация за проекта, информация за системата за лазерно сканиране (информация за устройството, за монтажа, данни за калибрирането и конфигурацията на лазера; информация за навигационното устройство (позиция и насочване на IMU и GNSS устройството), оригинални данни за лазера, данни за траекторията.

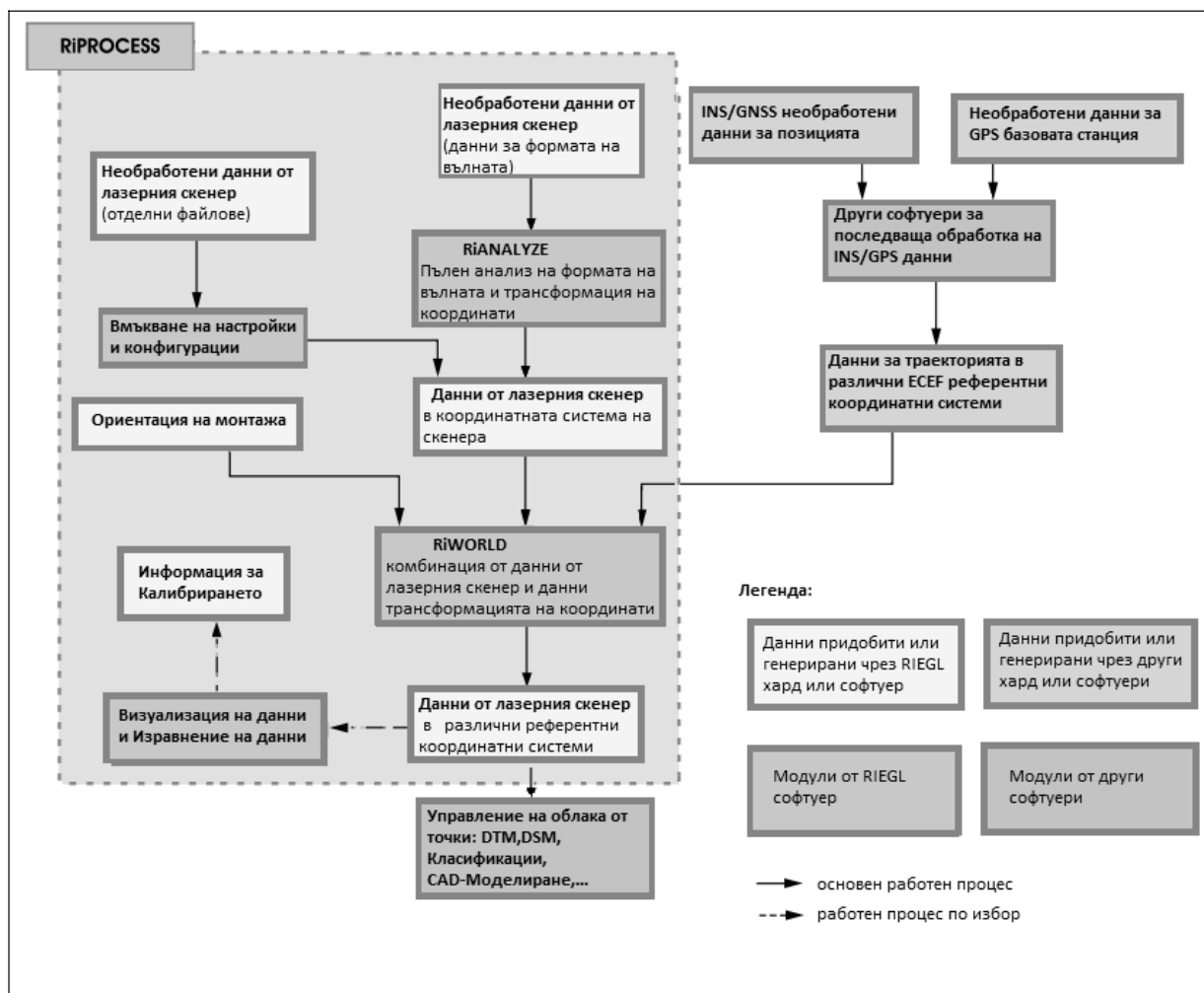
След като траекторията вече веднъж е обработена, към нея са присъединени отделните записи. След това данните са обработени, в няколко подетапа (Фиг.5). За целта е използват програмния продукт RiProcess.

Посредством данните от ГНСС измерванията, координатно ориентираните жирокопи в инерциалната система и допълнително измерените контролни марки, е изравнена траекторията, заедно с отделните записи от Light Detection and Ranging технологията (LIDAR).

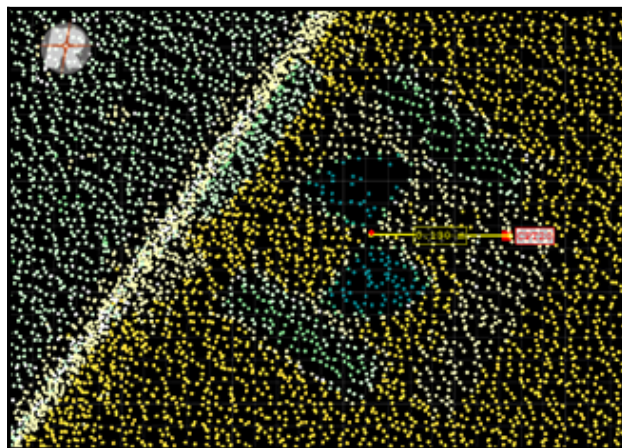
Използвана е и функцията за автоматично разпознаване на контролните марки. При това проучване са използвани главно припознатите марки от записите получени от скенера, позициониран в хоризонтално положение [3].



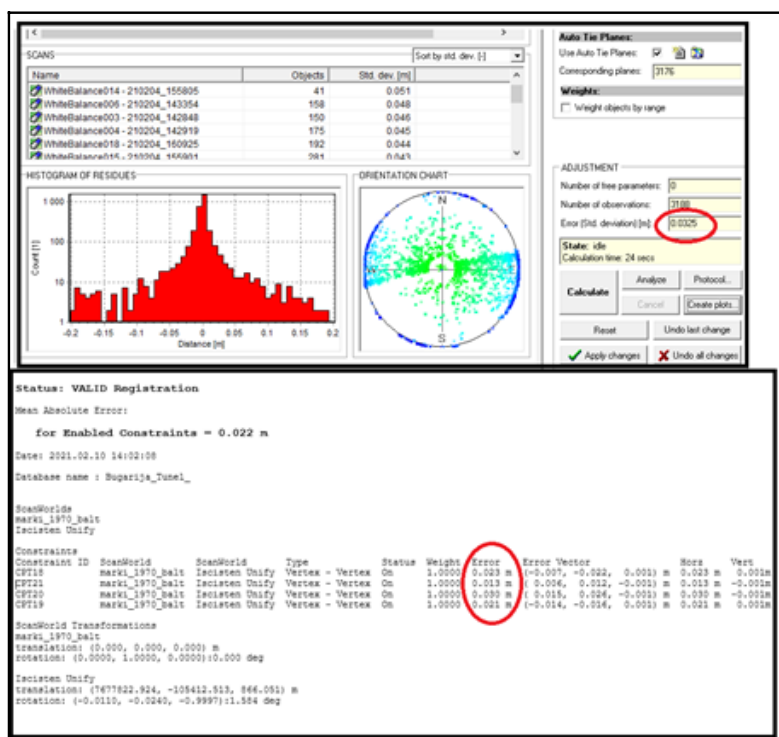
Преди изравнението са установени разлики от порядъка на 8-29 cm, между припознатите контролни марки от облака от точки и координираните преди това идентични контролни марки (Фиг. 6). След изравнението, тези разлики са сведени в диапазона от 1,8 до 3,4 cm, в планово положение и от 1 до 11 mm - във височинно (Фиг. 7)



Фиг.5: Работен алгоритъм при обработка с RiProcess



Фиг.6: Припознатата контролна марка в облака от точки

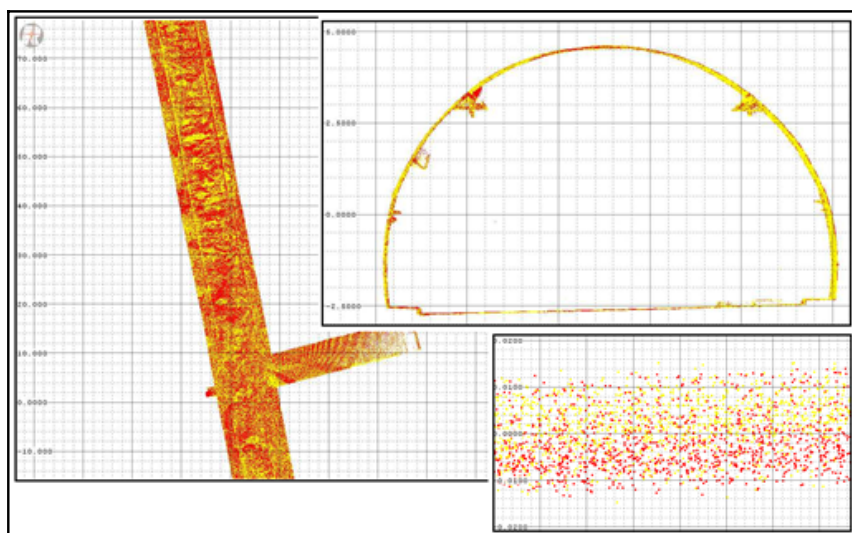


Фиг. 7: Резултати от изравнението с контролни марки

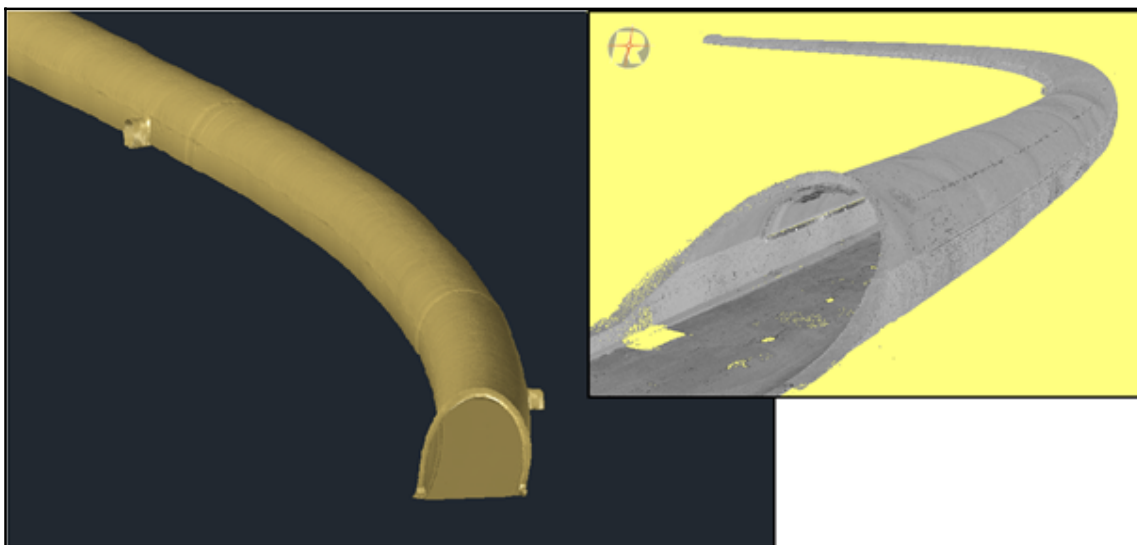
**Третият етап** от обработката на проекта е реализиран през няколко подетапа:

- Обединяване на всички облаци от точки в един общ;
- Филтрация, чрез която са премахнати ненужните сканирани обекти;
- Редуциране на модела;
- Създаване на 3D Mesh повърхнина от редуцирания модел.

Първоначалният 3D модел на обекта, получен в резултат на сканирането, е формиран от около 800 милиона подробни точки, които в процеса на обработка на резултатите и формирането на окончателния модел е редуциран до 215 457 000 точки. След преминаването през тези подетапи, от геореферирания облаци от точки (Фиг. 8) е формирана 3D повърхнината на северната тръба на тунел „Витиня“ (Фиг. 9), от която в последствие могат да бъдат извлечени различни данни, нужни за одита на обекта. В случая са използвани за програмните продукти „RiSCAN PRO“ и „3D Reshaper“.



Фиг. 8: Геореферирани облаци от точки



Фиг.9: 3D повърхнина на северната тръба на тунел „Витиня“

### 3. Заключение

Високата ефективност и продуктивност, показани при успешната реализация на проекта доказват, че MTLs – технологията е подходяща и дава добро начало за решаване на бъдещи задачи, свързани с геодезически измервания в тунелното строителство.

Измерванията с мобилна наземна лазерна система в тунели намаляват риска от трудови злополуки и времето за изпълнение. Същевременно количеството и детайлността на получената информация надхвърля в пъти това при класическите методи за измерване, като същевременно не отстъпва по отношение на постигнатата точност.

### Литература

- [1] Господинов, С., Постоловски, А., Щерева, К., Технологии наземного лазерного сканирования – новые горизонты в области строительства и архитектуры, Международный научно-образовательный форум Бургас 2013, Святой Влас, Болгария
- [2] Stereva, K., Postolovski, A., Gospodinov, S. Control, in the process of the building construction, by means of stationary terrestrial laser scanning, 6th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium - WMESS 2020, Prague, Czech Republic
- [3] Kremena S., Postolovski A., Shaytura S.V., Using mobile laser scanning in road safety repair and audit, Slavic forum, Materials of the 5-th International Scientific and Practical Conference, Integration, Analytics and Geoinformation Services, (5 th january 2021, Burgas, Bulgaria)
- [4] Шайтура С.В., Господинов, С.Г., Васкина М.Ю. Комплексная цифровая модель мониторинга района – В сборнике: Методы и программные средства информационного сервиса в информационных и пространственных полях. Сборник научных трудов. Бургас, 2020. С. 51-57.
- [5] Шайтура С.В., Сумзина Л.В., Розенберг И.Н., Винтова Т.А. Моделирование и визуализация трехмерных пространственных объектов – Монография – Бургас, 2018.
- [6] Шайтура С.В., Минитаева А.М.м Розенберг И.Н., Кожаев Ю.П., Трехмерное моделирование и создание панорам – Монография – Бургас, 2019
- [7] Akinci, B. , Anumba, C. /2008/, Technological assessment and process implications of field data capture technologies for construction and facility – infrastructure management
- [8] Schulz, T. , /2007/ Calibration of a TLS for Engineering Geodesy
- [9] Alkan, R.M., Karsidag, G., Analysis of The Accuracy of Terrestrial Laser Scanning Measurements, FIG Working Week 2012, Rome, Italy, 6-10 May 2012.
- [10] Boehler, W., Marbs, A., Investigating Laser Scanner Accuracy