



## НОВОСТИ В LiDAR ТЕХНОЛОГИЯТА ЗА ПРЕЦИЗНО БЕЗПИЛОТНО ИЗРАБОТВАНЕ НА „3D LiDAR ОРТОФОТО“ НА УРБАНИЗИРАНИ ТЕРИТОРИИ

инж. Петър Тодоров

### INNOVATIONS IN LiDAR TECHNOLOGY FOR PRECISE UNMANNED “3D LiDAR ORTHOPHOTO” PRODUCTION IN URBANIZED AREAS

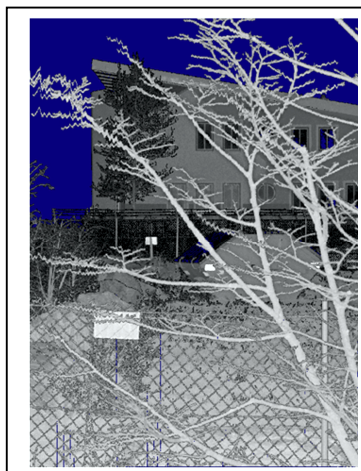
Peter Todorov  
Innovation Optic Electron Systems – IOES Ltd.  
Krivolak-str. Nr.2, 1164-Sofia, Bulgaria  
Corresponding author email: p.todorov@ioes-co.com

#### ABSTRACT

*In the last decade 2010-2020, pulsed laser scanning systems - terrestrial, mobile and airborne, including unmanned, have made great strides in their development and quickly found their acceptance in the mapping of the earth's surface. Here we will focus only on the airborne and unmanned laser scanning systems of the company RIEGL from Austria, as the most successfully developing manufacturer and still unsurpassed in the real-time processing of scan results. We will also explain what RIEGL's LiDAR technology represents and what can offer for precise unmanned “3D LiDAR orthophoto” (true- orthophoto) in urban areas.*

**LiDAR** - Light Detection And Ranging – Откриване на отразена светлина и измерване на разстояние – представлява активна дистанционна технология за наблюдение, която използва оптико-електронни измервания на отразената светлина (в случая лазерна) за определяне на разстояние (Young, 2006). Измерванията могат да се извършват от въздуха (самолети, дронове и др.), от превозни средства (автомобили) или чрез наземни лазерни сензори. При импулсните сензори разстоянието до различните обекти се определя от времето на закъснение между излъчвания и отразения лазерен импулс. **Точността** и прецизността при различните въздушни сензори на RIEGL на база само на единично измерване варира от **5 милиметра до 2 сантиметра**. Лазерните сканиращи системи могат да се онагледят като свръхбързи базорефлекторни геодезически тотални станции – свръхбързи, защото могат да излъчат и приемат вече и милиони импулси по същия брой направления за една секунда. Резултатът представлява така нареченият “облак от точки”, където всяка точка е описана със своите пространствени координати **и още други важни допълнителни атрибути**. На базата на получения точков модел може да бъде генерирана с изключителна прецизност повърхнината на изследвания обект.

**Относителната отразителна способност** - Последните иновации в LiDAR технологията на RIEGL проправиха пътя за получаване на допълнителна информация едновременно с всяко лазерно измерване. **Важно е да се разберат иновациите**, които дават възможност за реалновременното обработване и записване на тази допълнителна информация. Фотографията получена едновременно с LiDAR данните също представлява допълнителен източник на информация за използване при анализиране на повърхностните характеристики и други геоложки точки на интерес. Калибрираната амплитуда на сигнала (интензитет) и отразяваща способност (рефлективност) позволява да се отделят стойности от обхвата на скана, което позволява материалите да бъдат класифицирани въз основа на информацията за относителната (за основа бяла цел) отразителна способност на различните обекти.



1.) Лазерна снимка (скан) по интензитет на сигнала



2.) Лазерна снимка (скан) по рефлексивност на сигнала

Encoding by calibrated amplitude  
(0 dB to 50 dB above detection threshold)  
Brightness decreases from near objects to far objects

$$A_{dB} = 10 \cdot \log \left( \frac{P_{echo}}{P_{DL}} \right)$$

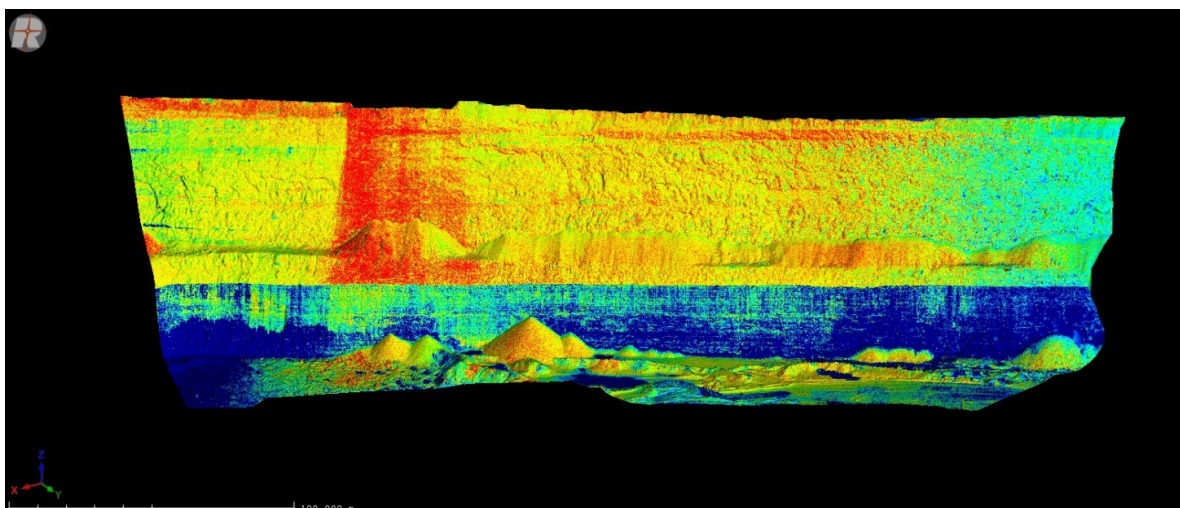
$A_{dB}$  ... calibrated amplitude [dB]  
 $P_{echo}$  ... echo signal power [W]  
 $P_{DL}$  ... detection limit [W]

Encoding by reflectance (-20 dB to 3 dB,  
with respect to diffuse white target)  
Brightness independent of object distance.

$$\rho_{rel,T} = A_{dB,T} - A_{dB,White}(R_T)$$

$R_T$  ... target range

3.) Определения



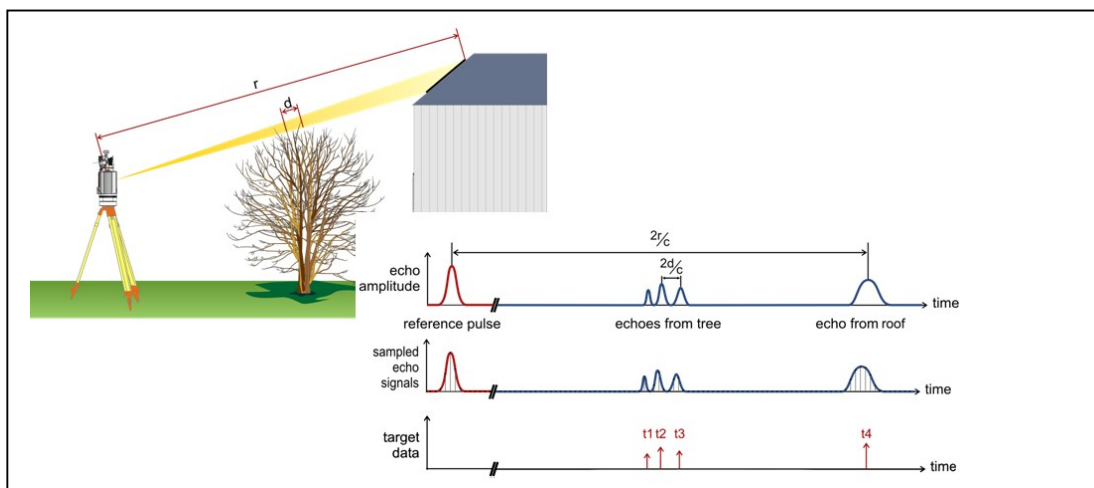
4.) Част от скан на въглищна мина, допълнително оцветен на база рефлексивност на сигнала

Този метод на класификация на материалите се използва успешно в ситуации, при които традиционните методи биха изисквали твърде много време, за да работят ефективно. Високоскоростен лазерен скенер на RIEGL може да заснеме обекта за минути. След това наборът от данни може да бъде проверен и анализиран в офисна среда, което намалява грешките и увеличава производителността. Типът на материала, който представлява интерес, след като бъде определена относителната му стойност на отражение, може да се филтрира, за да се извлече информация за местоположението на един тип материал.

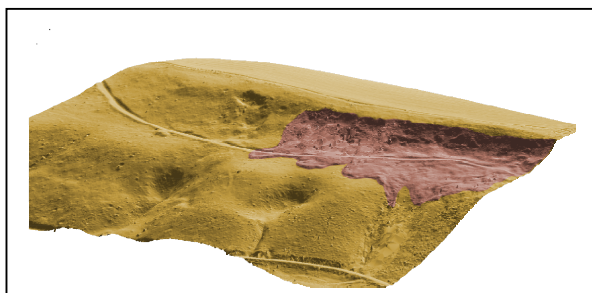
**Реалновременна обработка на вълновата форма на сигнала** - Наземните лазерните скенери от V-серията на RIEGL използват усъвършенствана технология за обработка на сигнала, наречена онлайн или реалновременна обработка на сигнала. Тази технология дава възможност в реално време да се извърши пълен анализ на формата на вълната на всеки излъчен и върнат импулс и строго многоцелево откриване и заснемане на обектите, без необходимостта от допълнителна последваща обработка на данните. Всеки излъчен лазерен импулс може да срещне множество обекти по своя пряк път. Технологията дава възможност за изчисляване и регистриране на всеки обект, с който се среща или засича всеки отделен лазерният лъч. Онлайн обработката на вълновата форма позволява да се определи разстоянието до всеки обект частично засегнат от лазерния импулс – или иначе казано - по



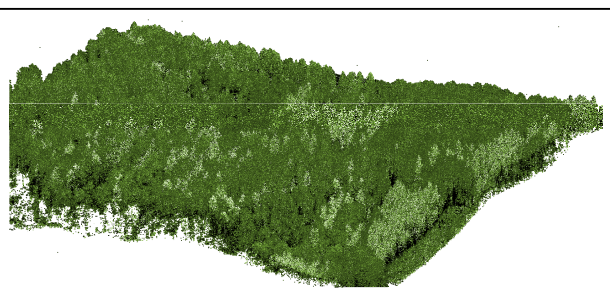
направлението на един лазерен импулс можем да заснемем до 15 последователни цели. След това при последваща обработка специален филтър може да премахне изкуствените обекти на база разликата във времената за връщане на отделните импулсни амплитуди, за да се разкрие голата земна повърхност. Така лесно, бързо и без грешки може да се генерира модел на реалната земна повърхност - DTM.



5.) Реалновременна обработка на вълновата форма на 1 бр. изл. импулс = 4 бр. заснети цели



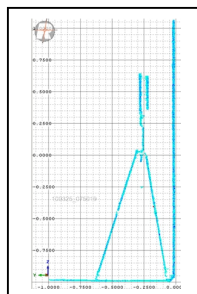
6.) Оцветена лазерна снимка на гора



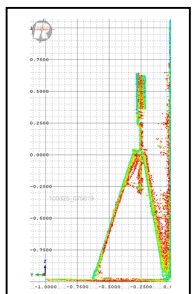
7.) Гол терен след премахване на растителността

При повторно сканиране след едногодишен интервал от време се установява и бърз ерозионен процес.

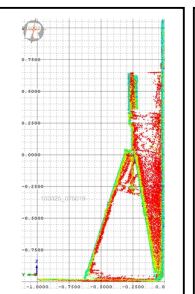
**Реалновременна обработка на отклоненията във вълновата форма на отразения сигнал** – това е друга много важна характеристика на лазерните сканиращи системи на RIEGL, която дава възможност да бъдат изчистени “шумовете” в точковия облак.



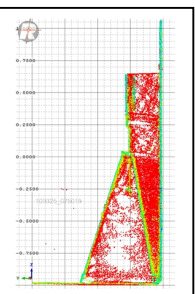
8.) Тестов панел



9.) Тестов панел



10.)  $dev_{unlimited}$



11.)  $dev_{max} = 50$



12.)  $dev_{max} = 25$



13.)  $dev_{max} = 6$

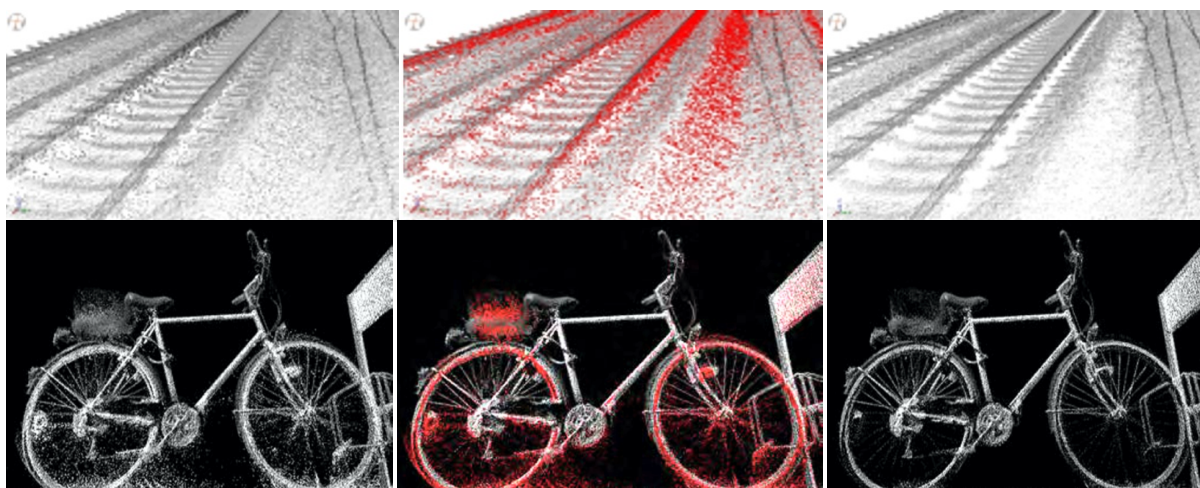
Практиката показва, че скенерите, които не контролират вълновата форма на отразения сигнал дори и при последваща обработка, показват резултати от рода на  $dev_{max} = 50$ , в най-добрия случай  $dev_{max} = 25$ ,





за разлика от скенерите на RIEGL, които работят с  $dev_{max} = 6$  и по-добра ( $dev = deviation$  или отклонение).

Дори ако разстоянието между две цели е твърде малко, за да бъдат еднозначно разпознати два върнати сигнала, то се обработва ценната информация от формата на сигнала на връщащите се импулси. Това позволява да се разграничи дали върнатият сигнал произлиза от една цел или от две близки цели. Определени прагови стойности по отношение на информацията за формата на импулса могат автоматично да премахнат повечето „невалидни“ точки и да запазят само надеждните „истински“ цели. Така на практика се получава един прецизен точков модел на изследваната повърхност. Примери:

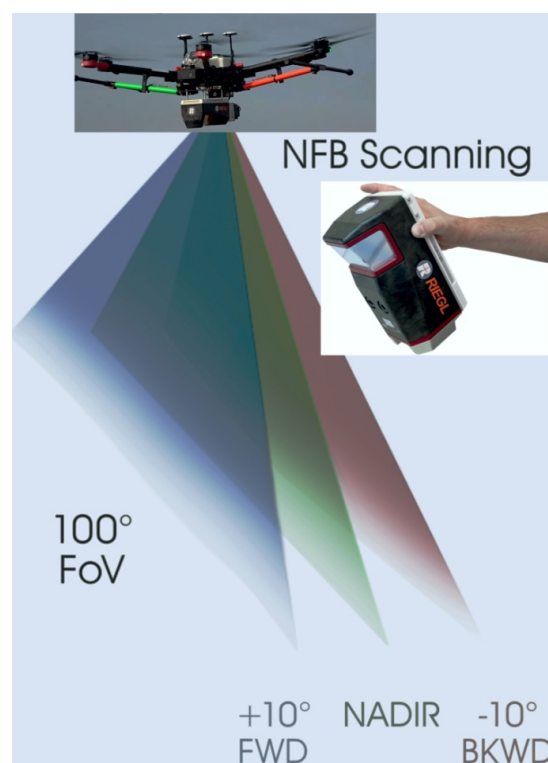


14.) Оригинален обхват данни от сканиране при изключен контрол на формата на сигнала

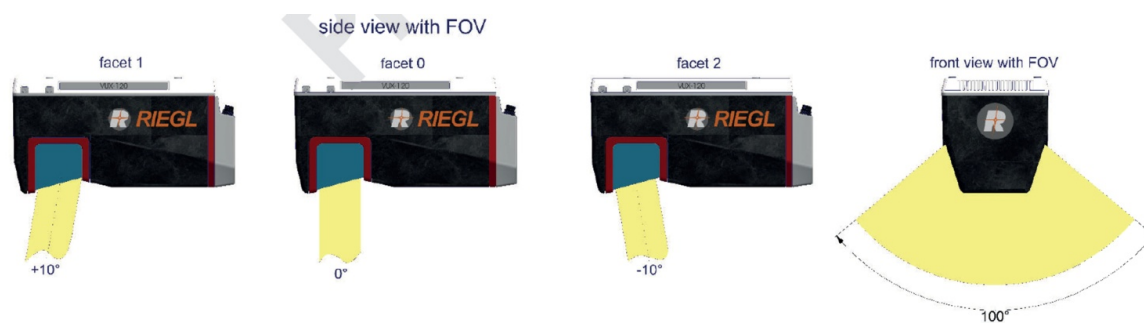
15.) Автоматичен избор на „невалидни“ точки от информация за атрибута на отклонение във формата на импулса

16.) Данни след елиминирание на „невалидните“ точки

**RIEGL VUX-120 „NFB“** е лек (2.0 kg) и универсален въздухоплавателен лазерен скенер, предлагащ широко зрително поле от 100 градуса и изключително бърза скорост на събиране на данни до 1,8 MHz. По този начин е напълно подходящ за приложения за картографиране на урбанизирани територии с висока плътност. Измервателният лъч на RIEGL VUX-120 сканира последователно в три различни посоки: редуват се от +10 градуса **напред**, строго **отвесно** и след това до -10 градуса **назад**. Това позволява събиране на данни с ненадмината пълнота, особено в предизвикателни среди с вертикални повърхности и тесни проходи. Скенерът осигурява капацитет за вътрешно съхранение на данни от 1 TByte и е оборудван с интерфейси за външна IMU / GNSS система, както и за управление на до две външни камери.



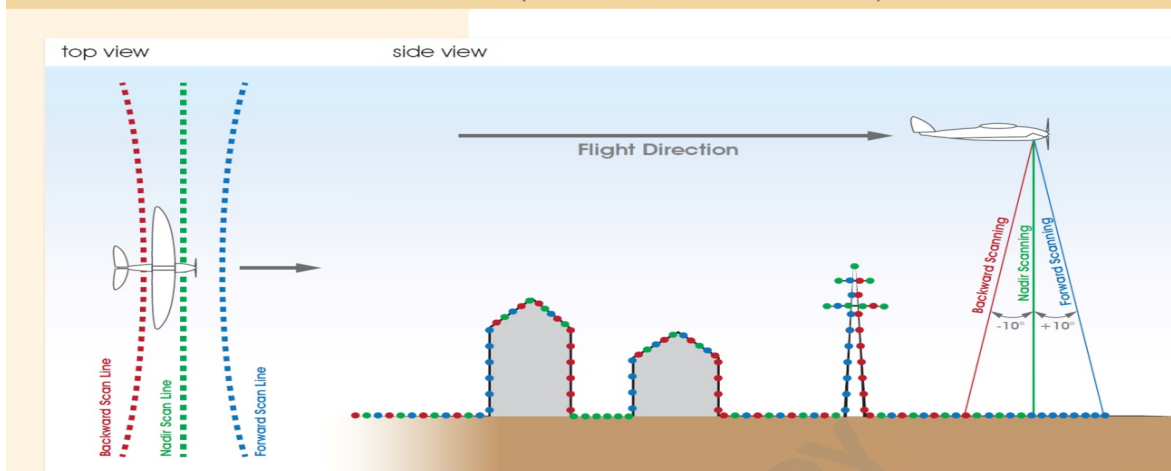




WLAN позволява директен достъп до лазерния скенер за промяна на конфигурационните настройки и проверка на състоянието на системата. Изисканият дизайн на RIEGL VUX-120 позволява плавна интеграция на UAS / UAV / RPAS, малки пилотирувани самолети като жирокоптери, но също и на хеликоптери. Предлага се като самостоятелен LiDAR сензор за БЛА, но също така и като напълно конфигурирана система с подходящи INS/GNSS и снимачни камери, за да отговори на специалните изисквания, произтичащи от различните видове приложения като: Ивично картографиране на Електропроводи, ЖП линии, Пътища, Инспекция на тръбопроводи, Реки др. **Топография на открити рудници;** Картографиране на урбанизирани територии; Археология и Документиране на културното наследство; Селско и Горско стопанство и много други.



RIEGL VUX-120 Scan Pattern „NFB“ (Nadir/Forward/Backward)



17.) RIEGL VUX-120 „NFB“ начин на сканиране – напред, отвесно и назад



18.) RIEGL VUX-120 „NFB“ в полет на борда на DJI 600 Pro БЛА

#### Производителност на RIEGL VUX-120 „NFB“:

Височина на полета AGL в m	Скорост на БЛА в km/h	Среден брой точки на m <sup>2</sup>	Разстояние между матрично разположените точки в cm	Заето дисково пространство в GB за 1/3 час (20 min)	Заснета площ при 20% застъпване на ивиците за 1/3 час в km <sup>2</sup>	Време за последваща обработка до регистриран, георефериран и оцветен точков DSM модел в min
300	50	25	20	5	9,7	8
240	50	64	12,5	10	7,7	10
180	50	169	7,7	18	5,7	14
150	50	306	5,7	28	4,7	21
100	50	453	4,7	32	3,2	28

#### Прецизност и точност на RIEGL VUX-120 „NFB“

Прецизността при измерване на разстоянието към обектите е в рамките на 5 mm и по този си показател се равнява с прецизността на наземните стационарни скенери.

Абсолютната точност обаче силно зависи от прецизността на вградената система INS/GNSS – в нашия случай APX-20 UAV IMU/GNSS, а тя се движи в рамките на 0,5-1 cm по положение и 1-2 cm по височина.

Практиката показва, че реалната пространствена точност на крайния точков георефериран DSM модел която се постига, независимо от високата прецизност на самия скенер, варира около 2-3 cm.

#### Работен процес за създаване на 3D LiDAR true-orthophoto в урбанизирани територии и не само

Приемаме че разполагаме с RIEGL VUX-120 „NFB“ с вградена система INS/GNSS APX-20 UAV и снимачна камера Sony Alpha A6000 с 12 mm обектив – всичко това калибрирано на БЛА (например DJI 600 Pro). Ще ни е необходим още един GNSS приемник, който да се стационарира върху известна или



новосъздадена точка от реферантната система, в която ще работим. Този приемник трябва да се намира в границите на изследвания обект (в радиус до 10 km) и ще работи в стационарен режим през цялото време на LiDAR заснемането. Прави се план на летене – за урбанизирани територии е подходящо този план да включва кръстосано летене, т.е. веднъж изток-запад и веднъж север-юг, за да сме сигурни, че всички сгради и други обекти ще бъдат заснети от всичките им страни. Това на практика удвоява площта на заснемане, но от друга страна ще получим един изключително прецизен модел без „дупки“.

Приемаме височина на летене от например 180 метра над терена (погледнете таблицата по-горе в синьо) и стартираме заснемането. Едновременно с LiDAR заснемането автоматично върви и заснемането с вградената камера, като тук трябва да се отбележи, че застъпването между отделните снимки е много малко – 5-10%, толкова колкото да няма пропуски. На всеки половин час приземяваме дрона за смяна на батериите. В рамките на слънчевата част от деня можем да направим около 10-12 полета, което е равно на реални 3-4 часа време за сканиране и снимки. За това време се заснема територия от 51-68 квадратни километра, а при кръстосано летене – половината. Работният ден още не е приключил – идва време за последващата обработка, а тя трае само 25-30% от времето за сканиране. Ако реално чистото сканиране е било около 4 часа, то времето за обработка ще бъде около 1-2 часа.

Идва въпросът какво се получава като краен резултат? Един изключително прецизен, регистриран, изчистен от „шумове“, класифициран, оцветен, георефериран точков DSM модел. От този модел може автоматично да се „премахнат“ всички изкуствени обекти, за да се получи чистата гола земна повърхност или DTM, която да служи за база за по нататъшна обработка. Указва се на системния софтуер да „покаже“ само обектите, които са например на 30 cm над голия терен – излизат напречните разрези на основите на сградите, оградите, тротоарите, пътни настилки, шахти, стълбове, стволоче на дървета и пр., които лесно полуавтоматично могат да се векторизират за нуждите на кадастъра. Покривите и стрехите на сградите също лесно и автоматично могат да бъдат векторизирани.

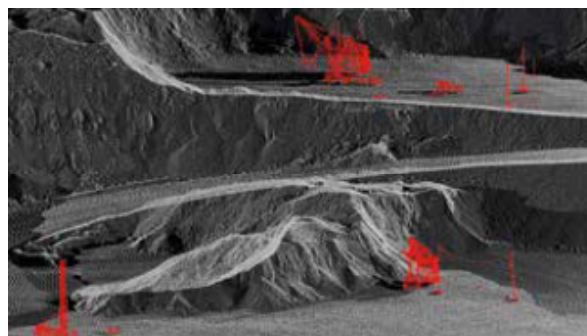
Като се имат предвид иновациите приложени към V-скенерите на RIEGL, описани по-горе, може да се твърди, а и практиката го показва, че най-малките разпознаваеми обекти заснети при сканиране от 180 m AGL са в порядъка на 0,3-2 cm и така след като се триангулира цялостния DSM модел и му се даде пак автоматично цвят от камерата (GSD на камерата в случая е около 1-2 cm) ще се получи едно изцяло завършено „3D LiDAR ортофото“, което може при необходимост да се приведе веднага в 2D.

**За нуждите на открития минен добив** важат всичките иновации, които сме показвали и публикували при наземните лазерни скенери, като автоматично откриване и векторизиране на горен и долен ръб на бордовете, изчисляване на обеми, в помощ на планирането, в помощ на геомеханиката, в помощ на взривните работи и пр. Предвидени са предварително зададени настройки за изкуствени предмети, растителност, дъжд, прах и пр. и точки под реалната повърхност, но въпреки това всички настройки могат да се допълват и конфигурират от потребителя.



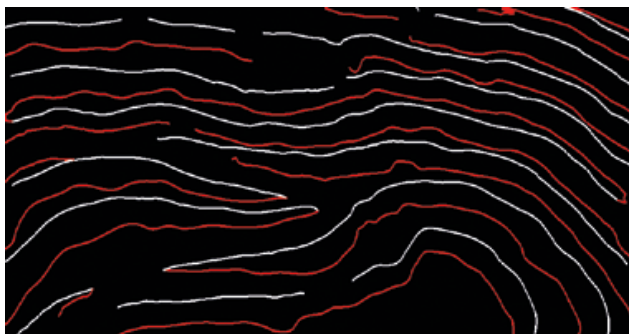
19.) Скан на част от минен обект

Структурните линии (ръбовете на бордовете) автоматично се извличат от данните на сканирането и се класифицират като долен и горен ръб на борда.

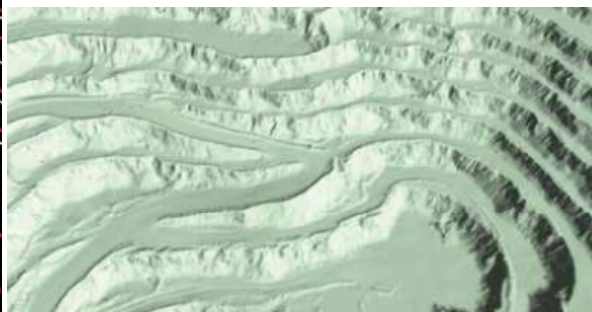


20.) Обекти филтрирани за „изтриване“





21.) Червено долен и бяло горен рѣб на бордовете



22.) Скан на мината, от който са извл. рѣбовете

### В заключение

**Предимства** – RIEGL LiDAR БЛА технологията, като пряк метод за измерване, дава възможност за бързо създаване на изключително прецизни пространствени DSM модели. Ако не са необходими RGB снимки, то може да се работи и през неосветената част от деня. Тогава остава само нормалния черно-бял или полутонов 16 битов облак от точки оцветен по рефлексивност – погледнете по-горе. Времето за последваща обработка е само 25-30% от времето изразходвано за чисто сканиране. В зависимост от задачата и възможностите на БЛА за един работен ден може да се сканира и след това веднага да се обработи площ от над 50 km<sup>2</sup>. Ако се използва жирокоптер за носител на скенера RIEGL VUX-120 „NFB“, то площта може да нарасне 4-5 пъти.

### Източници

RIEGL web [www.riegl.com](http://www.riegl.com) October 2020

