



НОВИНИ ЗА ШИРОКО-ОБХВАТНО НАЗЕМНО LiDAR ЛАЗЕРНО СКАНИРАНЕ

Петър Тодоров

РЕЗЮМЕ

Този доклад ще презентира новостите в областта на наземните LiDAR сканиращи системи с изключително висок обхват на действие до 4600 метра за нуждите на открития добив при много големи и дълбоки минни изработки. Тук ще обясним какво представлява и какви предимства осигурява автоматичната регистрация в реално време на борда на самия скенер на отделните сканове при заснемането на големи открити рудници. Ще покажем също и някои нови приложни програми в областта на непрекъснатия мониторинг на бордовете на основата на конкретни скални реалности, особено при планирането на големи и дълбоки открити рудници с цел осигуряване на висока безопасност и повишена производителност.

NEWS ABOUT WIDE-ANGE TERRESTRIAL LiDAR LASER SCANNING

Peter Todorov

Inovation Optic Electron Systems – IOES Ltd.

Krivolak-str. Nr.2, 1164-Sifia, Bulgaria

Corresponding author email: p.todorov@ioes-co.com

ABSTRACT

This report will present the latest developments in the field of terrestrial LiDAR scanning systems with extremely high range of up to 4600 meters for the needs of opencast mining in very large and deep mining operations. Here we will explain what it is and what advantages the automatic real-time registration on board the scanner itself of individual scans provides when surveying large opencast mines. We will also show some new applications in the field of continuous monitoring of the boards based on specific rock realities, especially in the planning of large and deep opencast mines in order to ensure high safety and increased productivity.

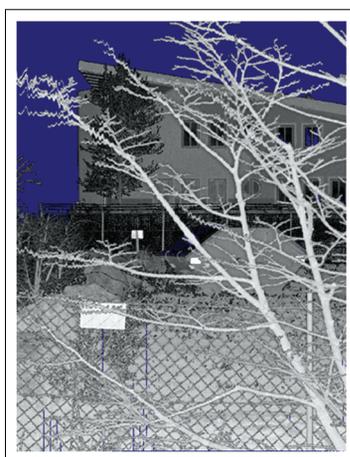
LiDAR - Light Detection And Ranging – Откриване на отразена светлина и измерване на разстояние – представлява активна дистанцианна технология за наблюдение, която използва оптико-електронни измервания на отразената светлина (в случая лазерна) за определяне на разстояние (Young, 2006). Измерванията могат да се извършват от въздуха (самолети, дронове и др.), от превозни средства (автомо-) или чрез наземни лазерни сензори. При импулсните сензори разстоянието до различните обекти се определя от времето на закъснение между излъчения и отразения лазерен импулс. Точността и прецизността при различните сензори на база само на единично измерване варира от няколко милиметра до няколко сантиметра. Лазерните сканиращи системи могат да се онагледят като свръхбързи без-рефлекторни 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. На базата на получения точков модел може да бъде генерирана с изключителна прецизност повърхнината на изследвания обект. През последното десетилетие 2015-2025 импулсните лазерни сканиращи системи постигнаха много голям напредък в своето развитие (обхват на действие повече от 6000 метра) и намериха отличен прием в минния добив (открит и подземен) на полезни изкопаеми. Тук ще се спрем само на един последен модел от наземните лазерни



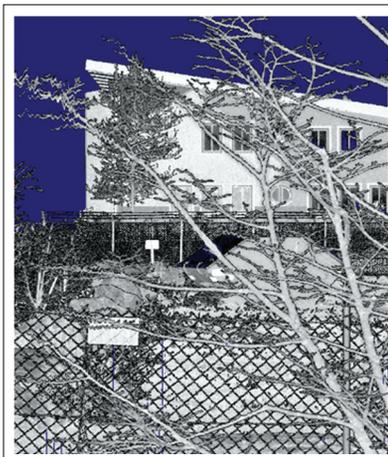
сканиращи системи на фирмата RIEGL[12] от Австрия, като най-успешно развиващ се производител и все още ненадминат в реалновременната обработка на резултатите от сканирането, като отново се спрем на някои от най-важните характеристики, които ще послужат за основа на реалновременните обработки на данните на борда на самия скенер.

Относителна отразителна способност/рефлексивност - 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 реално-временното обработване и записване на тази допълнителна информация. Фотография 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 (рефлексивност) 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.

По-нататък ще видим, че именно рефлексивността ще легне в основата на реалновременната регистрация на отделните сканове.



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]

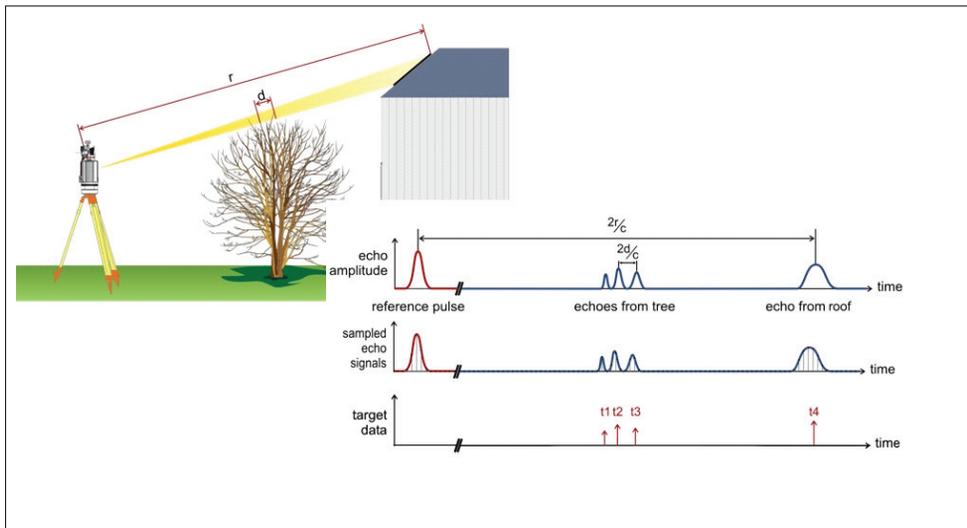
Encoding by reflectance (-20 dB to 3 dB,
with respect to diffuse white target)
Brightness independent of object distance.

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

R_T ... target range

3.) Определения

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 среща множество обекти по своя пряк път, подобно на тесния лъч на фенерче, което осветява много клони в едно дърво. Тази технология 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 един лазерен импулс – или иначе казано - по направлението на един лазерен импулс можем да заснемем до 15 последователни цели. После при последваща обработка специален филтър може да премахне например растителността въз основа на разликата във времената за връщане на отделните импулсни амплитуди, за да се разкрие в случая голата земна повърхност.



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

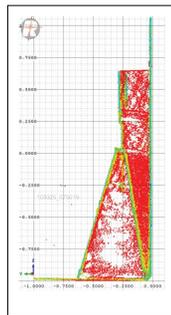
Реалновременна обработка на отклоненията във вълновата форма на отразения сигнал – това е друга много важна характеристика на лазерните сканиращи системи на RIEGL, която дава възможност да бъдат изчистени “шумовете” в точковия облак.



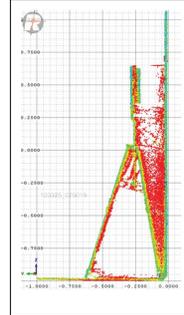
5.) Тестов панел
преди изгл.



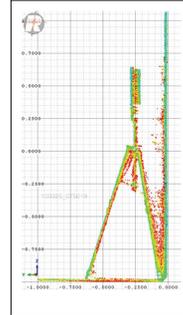
6.) Тестов панел
от страни



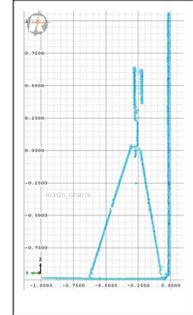
7.) $dev_{unlimited}$



8.) $dev_{max} = 50$



9.) $dev_{max} = 25$



10.) $dev_{max} = 6$

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.

Най-новите разработки на RIEGL - скенерите VZ-400i, VZ-600i, VZ-2000i и сега последният VZ-4000i предлагат авангардни 3D системи за лазерно сканиране, които съчетават в себе си иновативна обработваща процесорна архитектура и интернет свързаност заедно с най-новата технология LiDAR за



обработка на сигналите. Потокът данни в реално време се обработва от платформи за двойна обработка:

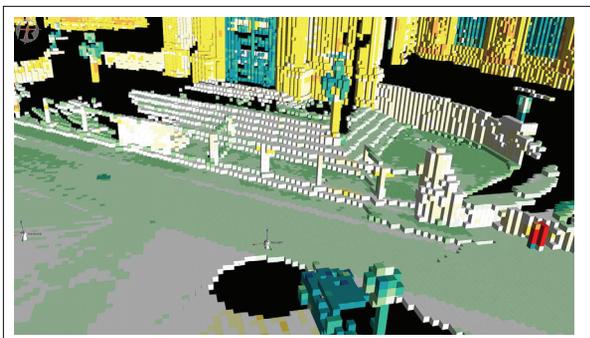
- специализирана система за обработка за едновременно получаване на сканирани данни, данни от изображения, реално времева обработка формата на вълната и други системни операции
- втора платформа за обработка, която позволява автоматична регистрация (събиране на отделните сканове в единен точков модел) на борда на скенера, геореферирание на база данни от RTK GNSS и пълен анализ, които действия се извършват автоматично и паралелно.

При подготовката за регистриране на нова позиция данните от предходното сканиране се коригират за отклонения във формата на сигнала чрез така наречения „ръбест“ шум. Същите подготвени данни чрез една равномерна пространствена растеризация на средата се извеждат към един регулярен набор от данни, който се нарича **воксел** набор от данни. Тук един воксел обикновено включва в себе си множество точки от точковия облак. Всеки воксел съдържа рефлексивността (отразяващата способност) на точките, от които е съставен и така получава „стойност на функцията“ рефлексивност. По този начин този набор от вокселни данни може да се разбира като "пространствен сигнал" и представлява основата за преход от пространствената зона към спектралната област чрез Фурие трансформация, която от своя страна позволява избирателна независима ротация и трансляция. С тази процедура от две стъпки се постига високо прецизно, автоматично последователно регистриране на сканираните данни [11].

Интегрираните сензори за ориентация MEMS (Micro Electro - Mechanical Systems) като IMU, 3-осов компас и барометър се използват за оптимален избор на референтни данни и по този начин дават възможност за автоматизирана регистрация дори при трудни условия на заобикалящата среда. Това позволява на оператора да извърши до 600 последователни скана на обект за един работен ден без необходимостта от изключване и хоризонтиране на инструмента. След приключване на последния скан се разполага с готов прецизно регистриран, геореферирани, оцветен и почистен от „шумове“ точков модел на обектите. Работата може да се продължи с последваща обработка в офиса, като на разположение са два програмни продукта на производителя – стандартния **RiSCAN PRO** [18] и специализирания за минно дело **RiMINING** [19]. Използването на конвенционални отразителните призми като цели вече е факт. Моделът на всеки един рефлектор може да бъде въведен или в RiSCAN PRO / RiMINING, или върху скенера при настройките на работния процес. RiSCAN PRO / RiMINING предлагат инструмент за копиране на модели на рефлектори от и към скенера. Всяка фино сканирана цел (призма) получава нов атрибут за качество в списъка с връзки.



11.) Скан оцветен по рефлексивност



12.) Същият скан представен от воксели

И сега **новините**:

- Представяме ви **НОВИЯ RIEGL VZ-4000i 25**
- **НОВА функционалност на приложението Monitor+**



Подобрения в сравнение с RIEGL VZ-4000:

Почти същият размер, модерен дизайн, тегло 13 кг (1,5 кг по-лек от VZ-4000), по-големи дръжки



Подобрения в сравнение с RIEGL VZ-4000:

4 програми за измерване с повишена честота на повторение на лазерните импулси (PRR) и оптимизирана производителност на обхвата

Measuring Principle / Mode of Operation	time of flight measurement, echo signal digitization, online waveform processing			
Laser Pulse Repetition Rate (PRR) – (peak) ¹⁾	70 kHz	150 kHz	300 kHz	500 kHz
Max. Measuring Range ²⁾				
natural targets $\rho \geq 90\%$	4600 m	3100 m	2350 m	2000 m
natural targets $\rho \geq 60\%$	4000 m	2700 m	2000 m	1700 m
natural targets $\rho \geq 20\%$	2550 m	1700 m	1250 m	1000 m
Minimum Range ³⁾	5 m	5 m	5 m	5 m
Max. Number of Targets per Pulse ⁴⁾	15	15	15	15

Подобрения в сравнение с RIEGL VZ-4000:

подобрена вътрешна камера - 25% по-малък размер на пикселите, повече детайли на изображението

5 пъти по-бързо заснемане на изображението



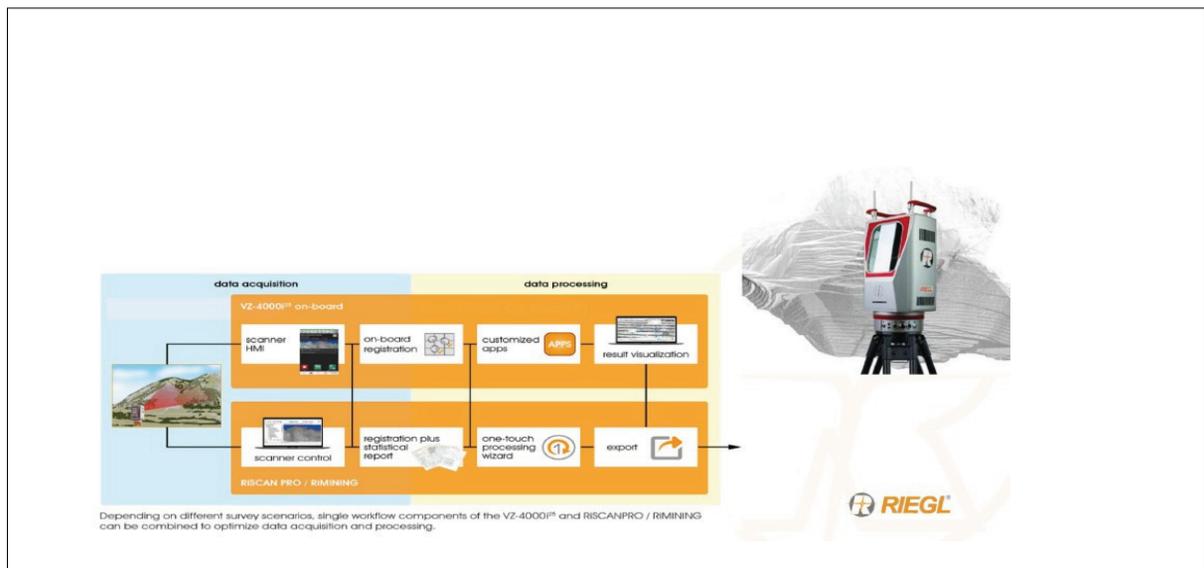
Integrated Digital Camera
field of view 7.2°x5.5° (v x h)
resolution 2560 x 1920 pixels (5 Mpixel)

Internal Camera
12 MPix CMOS color cameras, FOV 8.1° x 6.4° (v x h)
The camera field of view is dynamically deflected via the scan mirror. This allows a 60° x 360° panoramic image to be captured with total resolution of ~ 5000 MPixel.
This corresponds to a pixel resolution of 3.7 cm in 1000 m range.



Подобрения в сравнение с RIEGL VZ-4000:

платформа за двойна обработка, позволяваща онлайн обработка на данни
автоматична регистрация на борда
персонализирани приложения на борда



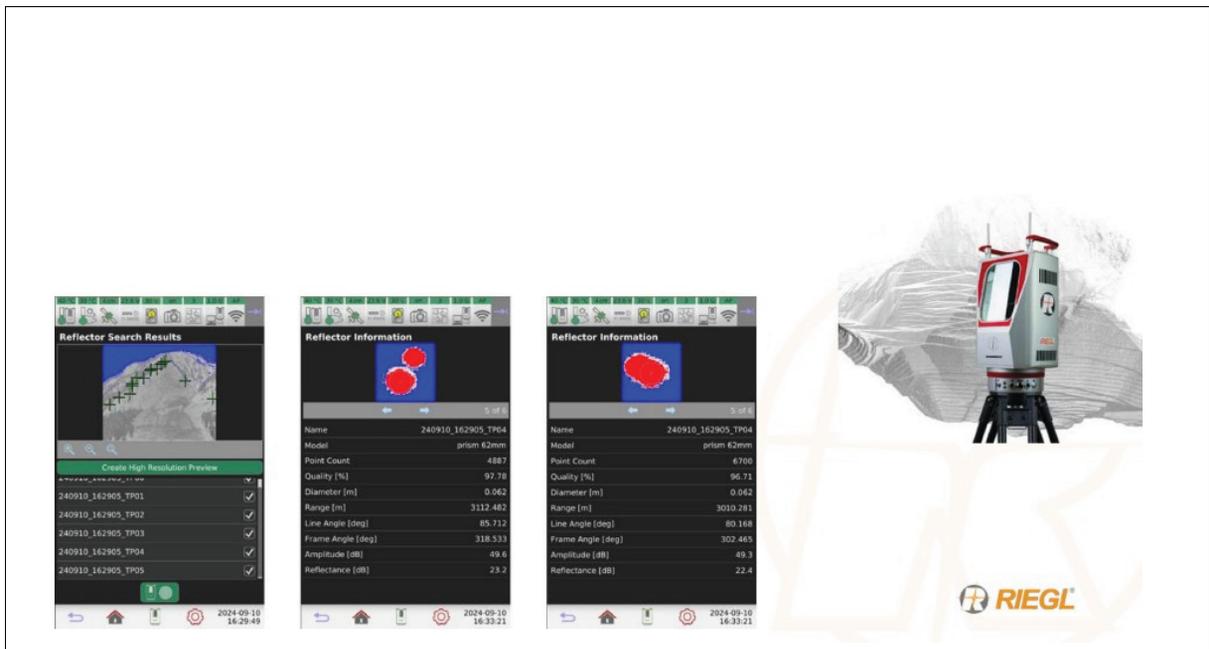
Подобрения в сравнение с RIEGL VZ-4000:

VZ-i Monitor+ приложение, уеб преглед
Поддръжка на различни сценарии за мониторинг
Подравняване на позицията на сканиране
Епохална корекция
Сканиране на различни области от интерес с различни графици в рамките на един мониторингов проект
Реализиране на мониторинг на призма/цел
Съветник за конфигуриране в RiSCAN PRO



Подобрения в сравнение с RIEGL VZ-4000:

вградено търсене и сканиране на отражателна призма, базирано на персонален модел



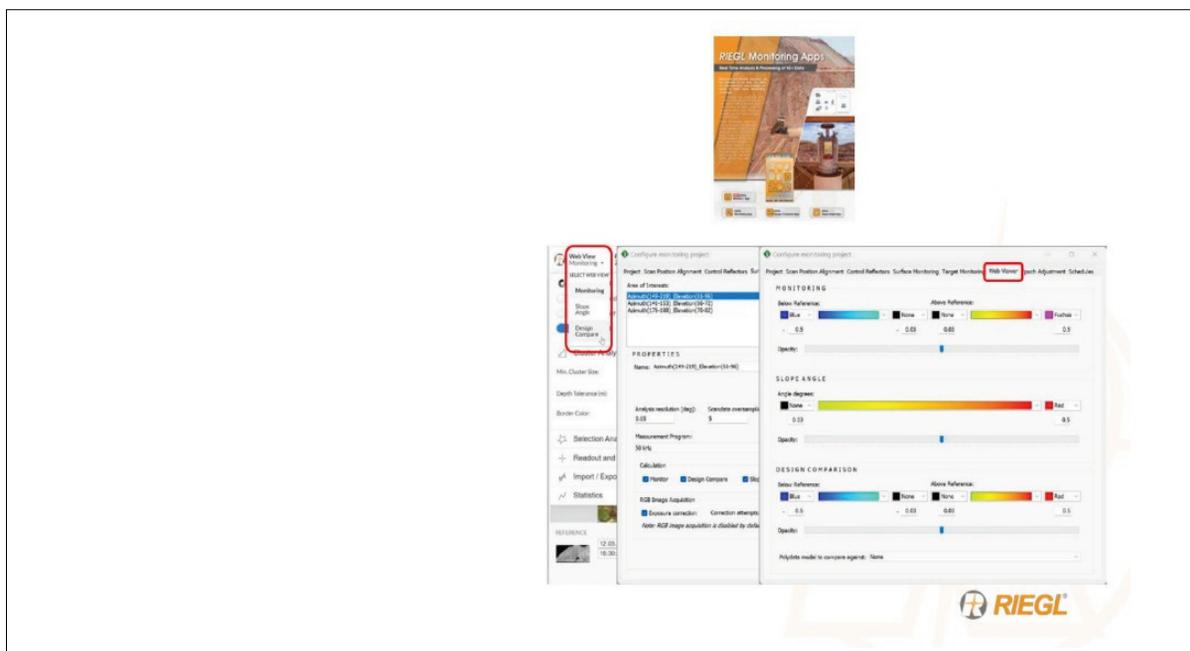
НОВО заснемане на изображения и визуализация на панорамно изображение в уеб браузър

НОВО приложение DesignComp и приложение SlopeAngle, интегрирани в приложението Monitor+ Съветник за конфигуриране в RiSCAN PRO, Приложение Monitor+

Няколко думи за софтуерния пакет RiMINING – той е проектиран да оптимизира и опрости обработката на данни от сканиране в открити рудници. Фокусът при разработването на софтуера е върху опростяването и автоматизацията на работния процес. За усъвършенствана обработка на данни е осигурена пълна съвместимост с RiSCAN PRO. Импортирането и регистрацията на полеви данни от



RIEGL VZ-xxx без никакви допълнителни цели ускорява значително полевото заснемане. Автоматичната регистрация се осъществява с помощта на най-съвременни алгоритми за подравняване в комбинация с вградени сензори на RIEGL VZ-xxx (GPS, компас, сензори за наклон). Усъвършенстваните алгоритми за филтриране позволяват автоматично елиминиране на растителност, обекти и отклонения. Типични задачи за последваща обработка на минни дейности, като откриване на линии на разлом и изчисляване на обема, се поддържат напълно. Извлечената информация може да се използва и от софтуер за планиране на мини, благодарение на поддръжката на RiMINING за различни формати за обмен на данни за минно дело.



В повечето случаи LiDAR системите се използват за картографиране на рудните полета, месечни отчети - изчисляване на иззетите обеми, планиране на минните изработки и пр., но това не натоварва скенерните системи повече от 10% от техните възможности. Използването на скенерите за дистанционно проучване на скалната маса, регулярен или постоянен LiDAR мониторинг за стабилността на бордовете би запълнило капацитета на лазерните сканиращи системи и би довело до осигуряване на висока безопасност и повишена производителност.

Източници

1. Andreas Ullrich, Christoph Fürst „Vollautomatischer Ansatz für die Onboard-Datenregistrierung im terrestrischen Laserscanning” - DVW - Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e. V.
2. RIEGL web www.riegl.com June 2025
3. RIEGL web <http://riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/48/> June 2025
4. RIEGL web <http://riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/58/> June 2025
5. RIEGL web <http://riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/92/> June 2025
6. RIEGL web <http://riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/78/> June 2025
7. RIEGL web http://riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/2023-09_Whitepaper_RIEGL_DMT_PermanentMonitoring_Monitor_.pdf June 2025
8. RIEGL web <http://riegl.com/products/software-packages/riscan-pro/> June 2025
9. RIEGL web <http://riegl.com/products/software-packages/rimining/> June 2025