



**СЪСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ НА ТЕХНИКИТЕ ЗА LiDAR.  
МОНИТОРИНГ НА БОРДОВЕТЕ В ОТКРИТИ РУДНИЦИ.  
ЧАСТ ВТОРА – ТЕХНИЧЕСКО ОБЕЗПЕЧАВАНЕ В РЕАЛНО ВРЕМЕ**

**Петър Тодоров**

**РЕЗЮМЕ**

*В предходния доклад със същото заглавие обяснихме какво представлява и какво може да предложи 3D LIDAR лазерното сканиране и как да изберем правилната LiDAR система за едно малко, средно или много обширно и дълбоко открито рудно находище, като основно се базирахме на наземните лазерни сканиращи системи на фирмата RIEGL от Австрия. Обяснихме също какво представлява и как може да бъде използвана Относителната отражателна способност, Реалновременната обработка на вълновата форма на сигнала, Реалновременната обработка на отклоненията във вълновата форма на отразения сигнал, Реалновременната регистрация на отделните сканове при скенерите с обозначение “i” в края на името си, 3D воксел анализи и пр. Сега на базата на вече натрупан практически опит ще ви представим допълнителни хард- и софтуерни решения за перманентен уеб базиран мониторинг на открити рудни находища от разнообразни по големина мащаби, където пространствени и времеви подробни масиви от данни, интегрирани в управлението на риска като системи за ранно предупреждение ще се грижат за вашата сигурност и спокойствие.*

**STATUS AND DEVELOPMENTS OF SLOPE LiDAR. MONITORING TECHNIQUES IN OPEN PIT MINES.  
PART TWO - TECHNICAL SUPPORT IN REAL TIME**

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

**ABSTRACT**

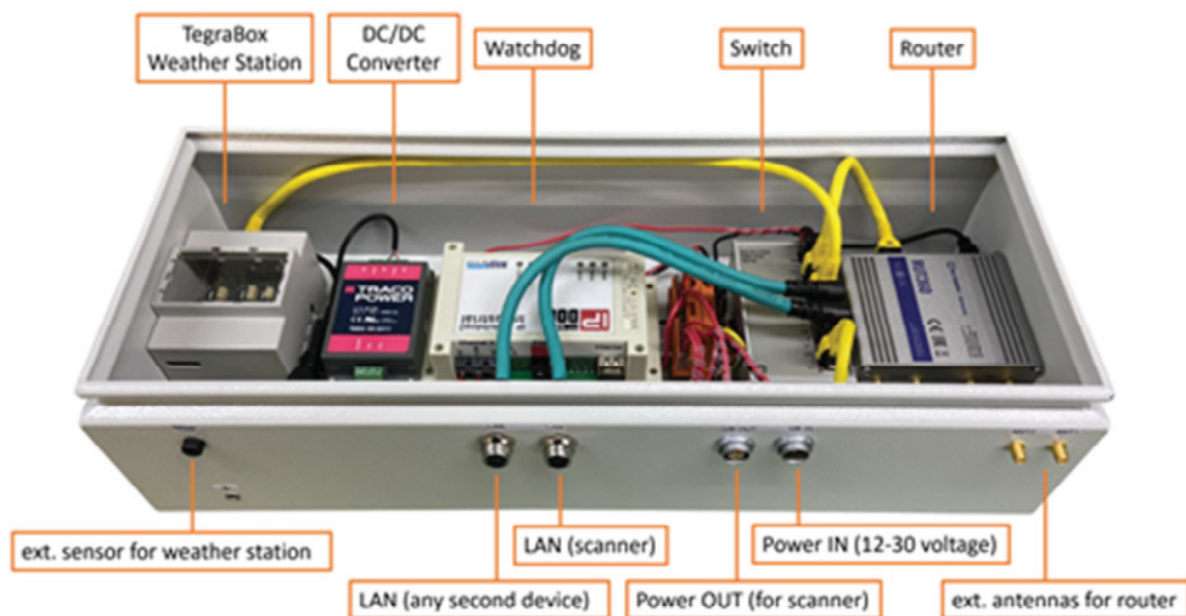
*In the previous report with the same title, we explained what 3D LIDAR laser scanning is and can offer, and how to choose the right LiDAR system for a small, medium or very large and deep open pit mine, based primarily on the RIEGL's terrestrial laser scanning systems. We also explained what Relative Reflectance is and how it can be used, Real-time waveform processing, Real-time processing of deviations in the reflected waveform, Real-time registration and georeferencing, 3D voxel analyses, etc. Now, on the basis of already accumulated practical experience, we will present to you additional hardware and software solutions for permanent web-based monitor-ring of open-pit ore deposits of various size scales, where spatial and temporal detailed data sets integrated in the management of risk such as early warning systems will take care of your security and peace of mind.*

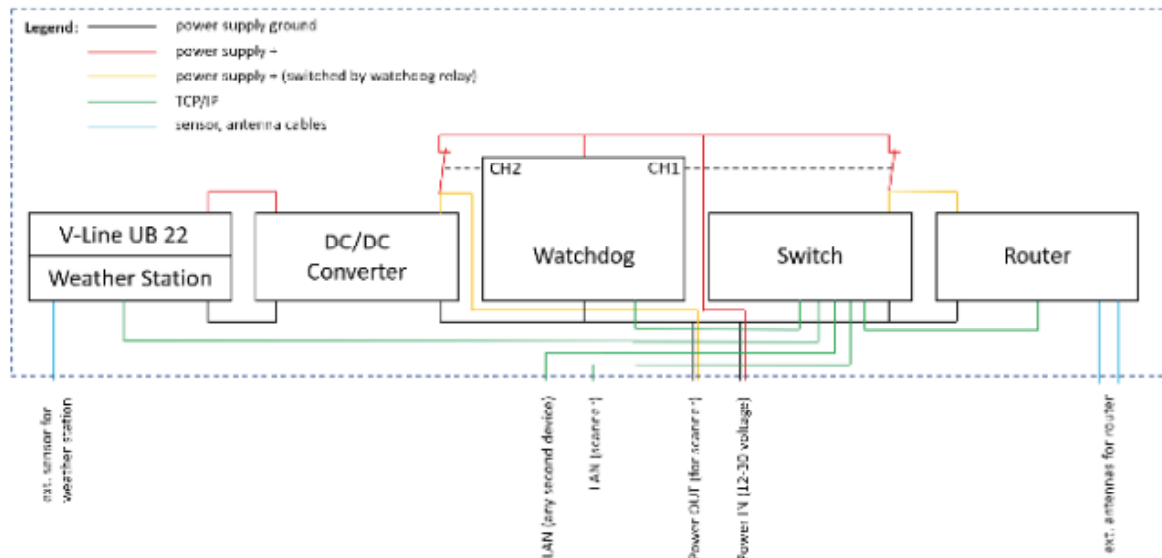
Основните процедури за измерване на геометричните промени са установени от десетилетия, без лазерното сканиране да представлява специално предизвикателство. Програмата за монито-ринг трябва да бъде индивидуално адаптирана към наблюдавания обект, за да открива дребни и значителни геометрични промени. Трябва да се има предвид, че пространствената дискретизация на обекта трябва да се извърши според очакваните премествания. Освен това трябва да се има предвид времевата дискретизация. По този начин не може да настъпят значителни измествания по време на една епоха на измерване и никакви движения не могат да останат ненаблюдавани поради интервала



между две последователни измервания. Техническият напредък на лазерните скенери на RIEGL насочен към комуникационни, програмируеми мултисензорни системи, позволяват инсталации за Постоянно Лазерно Сканиране (PLS - ПЛС) в интересни зони, както и тяхното интегриране в системи за ранно предупреждение в реално време. За да се създаде система за мониторинг, не са необходими предварителни проучвания за очакваните характеристики на движение. В допълнение към техническите изисквания за самата сензорна технология, условията за интегриране на данни, съхранение на данни и накрая визуализация трябва да бъдат изпълнени в рамките на холистична система за управление на риска. В този контекст лазерните скенери на RIEGL допълват съществуващата сензорна технология по целенасочен начин и не трябва да се разбират като основен заместител. По-специално е показана способността за специфична за потребителя системна интеграция чрез отворена системна хардуерна архитектура, базирана на специализиран софтуер. През последните години бяха въведени редица нови наземни лазерни скенери на RIEGL с възможности за измерване на разширен обхват. VZ-6000 предлага максимален обхват от 6000 m дори върху сняг и лед. Многократната обработка във времето (MTA) беше ключовата технология за измерване на големи разстояния в комбинация с високи скорости при измерването. Освен това отворената операционна система LINUX позволи персонализирането на скенера за специални цели чрез стартиране на приложения в C++ и скриптове на Python на самия скенер. Това позволява програмиране на специализирани приложения, предоставящи точни по време резултати от скенера при изпълнението на специални приложения. Тези характеристики правят използването на хардуера в рамките на система за наблюдение практично. Надеждността се поддържа от компактния и здрав дизайн в защитен от прах и пръски корпус (IP64).

**24/7 работа на дистанционния скенер** - Скенерите на RIEGL са добре известни със своята стабилност при работа дори при тежки условия. Въпреки това може да се случи някаква неизправност, а скенерът да не реагира или вече да не работи. В такъв случай може да се случи така, че графичният потребителски интерфейс (GUI) вече да не отговаря. От разстояние няма начин да се реши този проблем. Захранването трябва да бъде прекъснато и възстановено отново, което налага рестартиране на скенера. Но какво са случва ако скенерът работи на отдалечено място, където няма кой да спре и после да пусне захранването. За такава примерна ситуация RIEGL предлага "communication-box", който гарантира безпроблемна 24/7 работа на цялата система (фиг. 1).

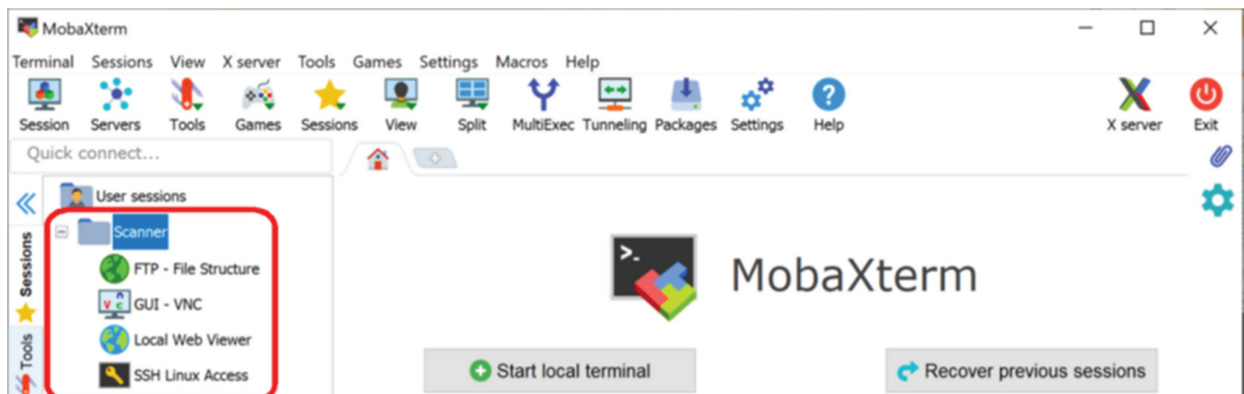




Фигура 1. V-Line CB22 за RIEGL V-Line скенери

Тази кутия включва стандартен рутер за осигуряване на интернет достъп. Освен задължителните настройки на защитната стена за сигурна работа, всички необходими настройки за пренасочване на портове, пред-варително конфигурирани на рутера. DDNS може да се използва, ако мрежовият доставчик не предлага статичен ip-адрес. Фиг. 2 показва софтуерния инструмент MobaXterm (<https://mobaxterm.mobatek.net/>), който може да обработва множество комуникационни сесии като FTP, SSH, VNC и др. Ние използваме VNC-viewer, за да установим комуникация с графичния потребителски интерфейс на скенера и SSH комуникира със своята Linux среда. Също така е възможен достъп до интегриран FTP сървър за скенера. Потребителят може, разбира се, да стартира друго софтуерно решение като putty за SSH комуникация, всеки FTP клиентски софтуер и приложението от серията RIEGL VZ-i като VNC визуализатор.

Вътре в комуникационната кутия е инсталиран хардуерен „пазач“. Този хардуерен компонент проверява всички други свързани хардуерни устройства за правилна работа. Той изпраща ring по определен график, за да провери жизнеността на свързаните устройства. В случай на липса на отговор от пингуваното устройство, пазачът активира хранващо реле, за да наложи твърдо рестартиране на неотговарящия компонент. Ще бъде изпратено имейл известие на конфигуриран имейл адрес. Освен свързания скенер и самият рутер е наблюдавани от този пазач. Дори ръчно рестартиране на цялата система от разстояние е възможно чрез използване на уеб интерфейса на пазача. Ако скенерът работи в комбинация с комуникационната кутия на RIEGL, можем да гарантираме стабилна 24/7 дистанционна работа на скенера.



Фигура 2. Софтуер MobaXterm за установяване на множество комуникационни портове със скенера



**Откриване на трипел призми** - Новите скенери на RIEGL, както и съществуващи скенери с обновен фърмуер, предлагат възможност за откриване на стъклена трипел призма (класическа призма за тотална станция) при минимално разстояние от 200 m до скенера. Като втора стъпка, откритите призми се сканират с висока разделителна способност и центърът на призмата се изчислява. Тази нова функционалност отваря широка гама от приложения и предимства. От една страна, тези мишени са лесни за инсталиране в прост-ранството на обекта поради компактния си дизайн и са по-малко чувствителни към физически влияния от другите конвенционалните мишени. Освен това, поради тяхното радиометрично взаимодействие с лазерния скенер, не се изисква трипел призмите да бъдат пропорционални на размера на разстоянието което се измерва. Освен тези свойства е важно, че чрез използването на тези призми е възможна комбинация с други сензори без никакви ограничения. Това позволява постигане на хомогенно геореферирание на всички сензори в рамките на проекта за мониторинг. Въз основа на отражателната способност на измерваната призма се изчисляват два прага – „Ниско срязване“ и „Високо срязване“. Всички точки с отразяваща способност над "Cut high" са част от ядрото на призмата. Всички други точки на измерване с коефициент на отражение между "Cut low" и "Cut high" принадлежат към средата на призмата. За изчисляване на триизмерния център на призмата се използват както ядрото, така и средата около него. За самото ядро се изчислява центърът на тежестта. Чрез средата около ядрото от своя страна, се оценява плановата равнина. Изчисленият център на тежестта се проектира върху равнината. По този начин ядрото се използва за определяне на позицията (тета, фи), а средата се използва за оценка на разстоянието (обхвата). Прецизността и точността на откриване на призма е специфицирана в два сценария за измерване на разстояние до 1200 m - това разстояние се отнася за тестовия обект при използване на RIEGL скенера VZ-2000i. Откриването на призма работи в цялата гама лазерни скенери на RIEGL. Прецизността е определена чрез измервания в продължение на 4 седмици върху 21 стъклени призми при реални условия в долината Валс на австрийските Алпи. Паралелното използване на тотална станция позволява измервателните системи да се сравняват при подобни условия. Прецизността, наричана още възпроизводимост или повторямост, е степента, до която по-нататъшните измервания показват същите резултати. Точността е степента на съответствие на измерената величина с нейната действителна (истинска) стойност. Резултатът показва, че може да се очаква сравнима прецизност и точност с прецизна тотална станция за проведените измервания. Максималното разстояние на което е проведен теста е 1200 m, което позволява извеждането на отлични резултати по положение и по разстояние, но не и при вертикалните отклонения.

**Таблица А1.** Прецизност и точност на откриване на призма при RIEGL VZ-i line – Стойности в метри [m]

	Прецизност (повтарямост)		Точност	
	Единично	Средно	Единично	Средно
По положение	0.0100	0.0021	0.0160	0.0030
По вертикала	0.0080	0.0016	-	-
По разстояние	0.0016	0.0003	0.0020	0.0004

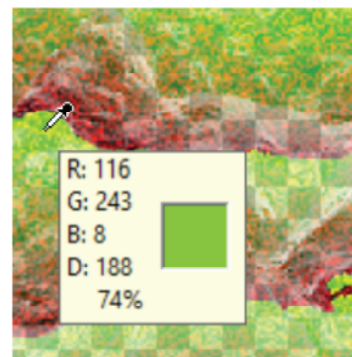
**Приложение за наблюдение** - RIEGL разработи пакет от така наречените „приложения за копаене“ за скенерите от серията VZ-i, за да позволи автоматично събиране и обработка на данни, последвано от отдалечена визуализация на резултатите от обработката от интегриран уеб сървър. Приложенията за копаене представляват пакет от приложения – приложението за мониторинг, приложението DesignCompare и приложението SlopeAngle. Приложението за мониторинг сравнява действителното сканиране с дефинирано референтно сканиране и визуализира разликите чрез уеб viewer, който работи на всички стандартни уеб браузъри. Приложението DesignCompare сравнява действителното сканиране не с референтно сканиране, а с даден модел на дизайн. Накрая приложението SlopeAngle изчислява локалните ъгли на наклона и визуализира цветно кодирани ъгли на наклона. В нашия



казус приложението за мониторинг се използва за откриване на потенциално критични топографски промени. Всяко приложение, инсталирано на скенера, предоставя на потребителя насочващи различни стъпки за изпълнение чрез интегриран графичен потребителски интерфейс (GUI). За приложението за мониторинг потребителят първо определя общи настройки и име на проект, последвано от дефиниране на шаблон за сканиране и график за събиране на данни. Накрая се определят прагови стойности за сравнение на данни и цветни таблици за визуализиране на получените разлики. Фигура Всички приложения за копаене включват планировчик за сканиране, който позволява дори сложни графици за получаване на данни чрез използване на общия синтаксис на `rontab`. За повече подробности, моля, вижте <https://en.wikipedia.org/wiki/Cron>. Например график, който стартира сканиране на всеки три часа в например в кръглия час. Праговете стойности за сравнение се задават например минимум 2 cm и максимум 30 cm. С всяко набране на данни, приложението за мониторинг анализира облака от точки в полярната координатна система на скенера и преобразува облака от точки в лесно за управление, компресирано 2D представяне за последващ анализ на разликите между два отделни набора от данни. Като за дълги периоди от време външната ориентация на лазерния скенер не е необходимо да бъде абсолютно постоянна, приложението също така определя с всяко събиране на данни всякакви малки промени във външната ориентация по отношение на първия набор от данни. Всички 3D лидарни точки са растеризирани върху правилна решетка в азимутален ъгъл и полярен ъгъл. Всички точки от данни в една растерна клетка се анализират статистически, за да се генерира 2D изображение с информация за разстоянието и ориентацията на повърхността. За визуализация на промените два от тези 2D набори от данни се сравняват един с друг. Сравнението се извършва „в движение“ в рамките на уеб визуализатора. За визуализация на промените между два набора от данни, получени в две различни времена (епохи), два от тези 2D набори от данни (изображение във формат PNG) се сравняват един с друг. Стойността на диапазона на всяка сцена се съхранява като RGB стойност (вижте формулата по-долу). RGB кодирането на разстоянието позволява стойности на обхвата с милиметрова разделителна способност за повече от 16 км обхват, който е много по-голям, отколкото всеки лазерен скенер може да измери. Локалната повърхност е нормална векторната информация и се съхранява в алфа канала на изображението. Изчислява се скаларното произведение (стойност между 0 и 1) между локалния нормален вектор и посоката на лазерния лъч. В случай, че нормалният вектор на повърхността е равен на отрицателната посока на лъча (гледаме перпендикулярно

$$\text{Range (m)} = (\text{Red} + 256 * \text{Green} + 256^2 * \text{Blue}) * 0.001$$

$$\begin{aligned} & (116 + 256 * 243 + 256^2 * 8) * 0.001 \\ & = \\ & \mathbf{586,612m} \end{aligned}$$



Фигура 3. Кодиране на диапазон в RGB стойности на изображението

към повърхността), скаларното произведение е 1, което води до стойност 255 в алфа канала. Колкото повече нормалата на повърхността е наклонена срещу посоката на лъча, толкова по-ниска е алфа стойността. Следната формула се използва за изчисляване на локалните разлики на всеки пиксел на изображението.

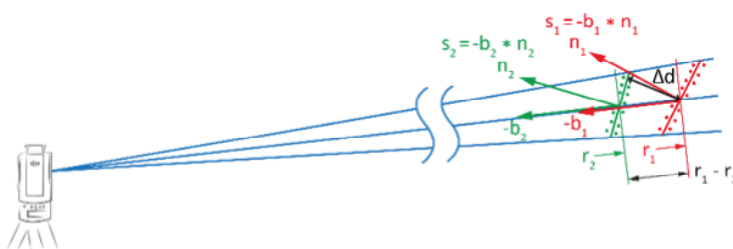


$$\Delta d = (r_1 - r_2) * \frac{s_1 + s_2}{2}$$

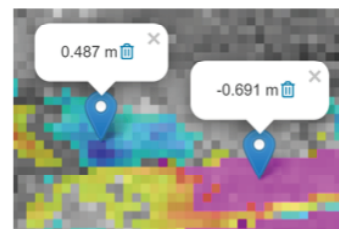
r1...range value of comparison data set  
r2...range value of reference  
s1...scalar product of comparison data set  
s2...scalar product of reference

Фигура 4. Изчисляване на локалните разлики на всеки пиксел на изображението

Получената промяна в обхвата е промяна по протежение на средния нормален вектор на двата пиксела (референтен, набор от данни за сравнение). Както можете да прочетете от Фиг. 5 положителните стойности показват по-дълъг обхват (ерозия на материала), докато отрицателните стойности показват по-къс обхват (натрупване на материал).



graphical explanation of the formula



result of formula visualized in web viewer

Фигура 5. Повърхностни разлики, изчислени по локалния нормален вектор на повърхността

**Мониторинг на работния процес** - Както вече споменахме, инсталираните трипел призми бяха наблюдавани, освен наблюдението на цялото свлачище с помощта на приложението за мониторинг. Приложението Scheduler се използва за постоянно наблюдение на призмите и работи успоредно с приложението за цялостно наблюдение. Важно е да се избере графика за събиране на данни в рамките на приложението, така че те да не си пречат взаимно. За да се избегне смущение при събирането на данни, е необходимо да се дефинират два отделни графика за фино сканиране на призмите. Събирането на данни от сканиране в рамките на приложението за наблюдение изисква приблизително 15 минути и започва на кръгъл час. Следователно приложението Scheduler може да започне финото сканиране на призмите 20 минути след кръглия час. Финото сканиране на призмите се нуждае от 9 минути, следователно може да се извършва лесно на всеки 20 минути. Задачата се определя от графика, който има поне една команда „FineScanTargets“, следван от пътя до текстовия файл, съдържащ необходимата информация за извършване на фино сканиране. Такъв текстов файл се генерира автоматично от скенера, когато стартира търсене на рефлексор на скенера. И накрая, скриптът „compute-tiepoint-list-from finescans“ създава текстов файл, съдържащ координатите и допълнителните атрибути на всички сканирани призми. Тези данни могат да се използват за визуализиране на диаграми, показващи възможни движения на призмите във времето. Друга задача показва изпълнението на скрипта на Python в приложението Scheduler по определен график. Този питон-скрипт позволява да се дефинират редица незадължителни параметри. Тъй като проектът е регистриран, координатите на призмите могат да бъдат доставени във всяка персонализирана координатна система (чрез EPSG код), дефинирана във файла geosys на скенера. При фино сканиране на цел допълнително се генерира атрибут за качество. Ако качеството падне под определен лимит (напр. 75%), тази координата няма да бъде записана във файла. Такова ниско качество може да възникне поради масивни облаци, мъгла, дъжд или сняг по време на сканиране. Пропускането на данните избягва погрешни тълкувания, които могат да доведат до откриване на неправилни движения. Крайните csv файлове с координати и обхвати на призмите могат да бъдат въведени във всяка автоматична система за наблюдение на призми, за да се визуализират получените данни във времеви диаграми.



**Интегриране в управлението на риска на клиента** - До този момент бяха представени лазерният скенер на RIEGL, комуникационната кутия и софтуерните опции за индивидуална интеграция. Всеки потребител има възможност да направи свои собствени интеграции въз основа на тези разработки. Сега представяме интегрирането на сканирани данни във външен софтуер. Интеграцията предлага предимството да се управляват сканираните данни в централна платформа заедно с данните от други сензори и да се генерира допълнителна информация чрез комбинирано използване. Уеб базираната платформата за мониторинг

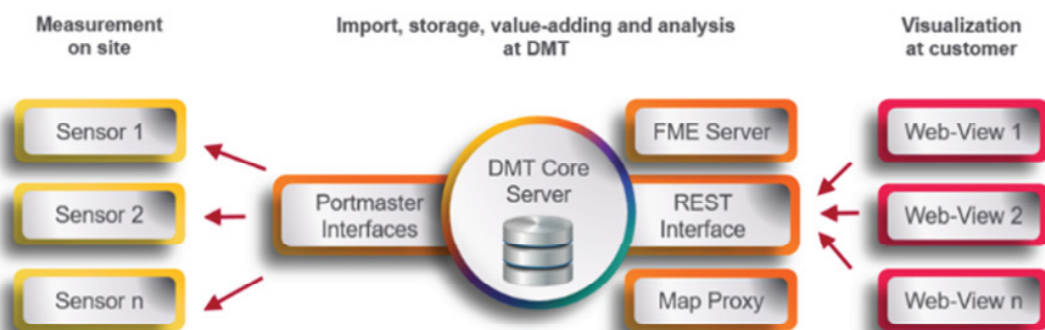
DMT SAFEGUARD на производителя DMT GROUP се използва като пример за демонстриране на такава интеграция. DMT SAFEGUARD предоставя уеб базирани данни като система за управление и геоинформация (IoT платформа) за всички видове мониторингови задачи в строителната индустрия, минното дело и за инфраструктурни проекти, с която геотехническите мониторингови данни могат лесно да бъдат събрани в обща база данни, показани онлайн, анализирани и архивирани. Като неразделна част от професионалното управление на риска, DMT SAFEGUARD позволява бързо и информирано решения за всяка фаза на роекта.

DMT SAFEGUARD позволява интегрирането на данни и сензори, независимо от типа, формата, производителя и източника. Чрез автоматизирана оценка на данните могат да се генерират и изпращат на потребителя алармени съобщения, например в случай на засечено движение на земята. WebGIS-приложението на DMT SAFEGUARD е разработено като клиентска рамка за инфраструктури за пространствени данни. Софтуерът е внедрен в JavaScript и Node.js и е изграден върху Ext JS и OpenLayers.

**Фигура 6 и Фигура 7** дават преглед на общите функции на системата. DMT SAFEGUARD може да се свърже с всеки сензор в полето на всяка мина. Системата е директно свързана с ГИС система, предоставяща функции на карта за визуализиране на данни и информация в геопространствен контекст.



**Фигура 6.** Общ преглед на функциите на системата за наблюдение



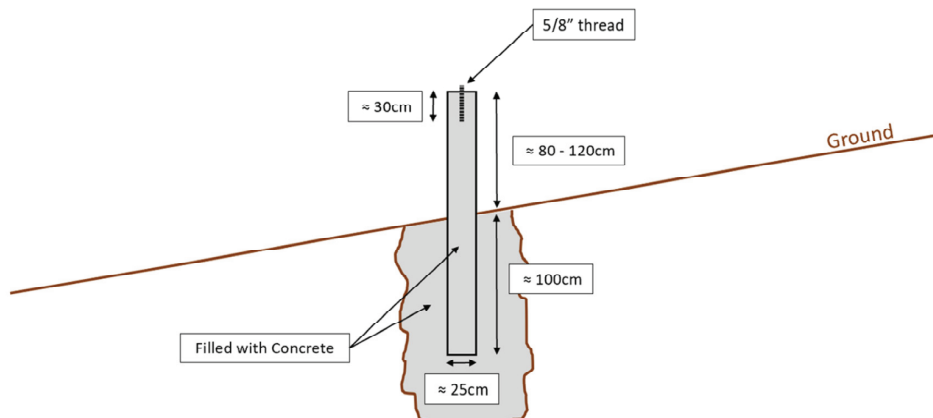
**Фигура 7.** Поток от данни от „сензор“ към потребител



**DMT SAFEGUARD LIDAR интеграция** - Фокусът на DMT SAFEGUARD LIDAR е интегрирано базирана по площ сензорна технология, която има за цел да предостави на всички заинтересовани страни набор от усъвършенствани инструменти за наблюдение, измерване и анализ, които биха могли да определят въздействието от падане на скални маси по отношение на движенията на масивите и наклона и да поддържат важни информация за състоянието на цялата наблюдавана повърхност. С DMT SAFEGUARD предоставя прецизна интеграция на лазерните скенери на RIEGL в уеб базирана платформа. В допълнение към функционалностите представени до тук, системата може да бъде разширена по желание от DMT експерти. Индивидуалните опции за персонализиране позволяват допълнителни сензори да бъдат интегрирани директно на място или да бъдат интегрирани и външни източници на данни. ГИС функционалностите позволяват интегриране на карти, за да се покажат най-важните данни. Опции за документиране в реално време, управление на документи, автоматизирана система за помощ в реално време и усъвършенствани отчети допълват услугата за всички потребители.

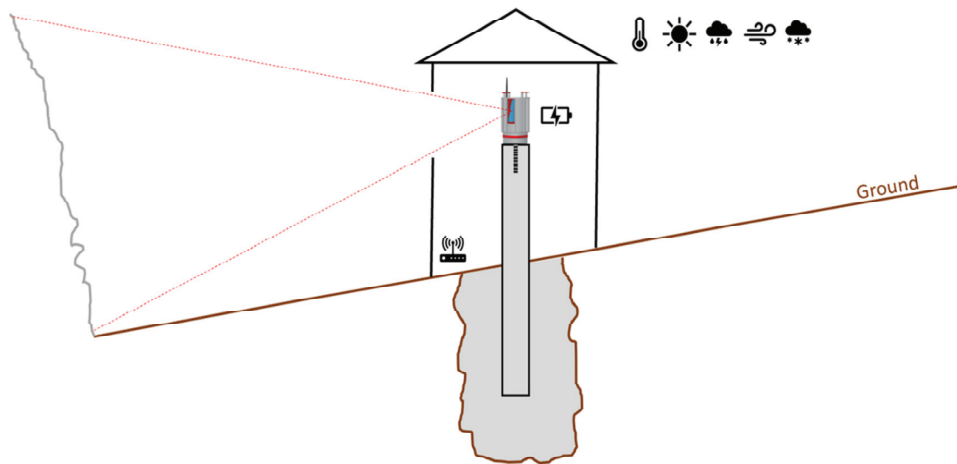
**Геодезически стълбове и монтаж на оборудване** - За задачи по инженерно геодезическо проучване, като например измерване на деформация, са необходими надеждни контролни точки, върху които се извършват многократни наблюдения в непрекъснат график. Геодезическите стълбове са най-стабилният начин за маркиране на геодезична точка, ако проектът отговаря на техническите изисквания. Подходящата позиция за стълб за проучване изисква познаване на геоложките условия на място. Стълбовете за проучване трябва винаги да се поставят извън зоната на влияние на наблюдавания обект. Във всеки случай стълбът за изследване трябва да бъде поставен извън нулевата линия на слягане. Друг важен критерий при избора на място е безпрепятствената гледка. Това гарантира, че необходимите ясни изгледи са налични за задачи за наблюдение. Оптималните места за геодезични стълбове са тези, които са естествено по-високи в терена. Отново трябва да се вземе предвид геологията на котлата. В случай на изкуствено създадени насипи като диги, язовири или шумозащитни конструкции трябва да се съгласува с отговорния експлоатационен орган дали е разрешено изкопаване на съответните веществени маси. Отчитайки всички горепосочени критерии, ще бъде изготвена окончателна концепция за монтаж на геодезичните стълбове.

**Фиг. 8 и 9** илюстрират как да проектирате стабилен монтаж за скенера, включително защитен подслон. Стълб с диаметър около 25 см, например PVC тръба, се бетонира приблизително на 100 см дълбочина в земята и се запълва с армиран бетон. Стълбът трябва да се издига на около 80-120 см от повърхността. В допълнение, стандартен монтаж за статив 5/8" резба е бетониран в горната част на колоната на дълбочина от прикл. мин. 30 см, към който след това се завинтва скенера. За постоянна инсталация на скенера за дълъг период от време, системата трябва да бъде защитена с навес. По този начин устройствата не са изложени на атмосферни влияния. Не трябва да има пряка връзка между навеса и бетонния стълб, върху който е монтиран скенерът. Вибрациите на навеса, причинени от вятър или други механични въздействия, не трябва да влияят на стълба на скенера. Освен това трябва да има и непрекъсвано ел. захранване за работа на скенера, както и стабилен интернет за дистанционен контрол на скенера и синхронизиране на данни към сървър или облак.



**Фигура 8.** Пример за стабилна система за принудително центриране – железобетонен стълб





Фигура 9. Пример за стабилна система за принудително центриране с подслон



Фигура 10. Монтаж на системата RIEGL VZ-2000i във Валс. Стълб и заслон.

### Заклучение

Отворената архитектура на скенерите от серията на RIEGL VZ-i позволява персонализиране на скенера за сложни задачи за събиране и обработка на данни посредством скриптове на Python и базирани на Python приложения. Доказаната онлайн технология за обработка на формата на вълната на RIEGL гарантира висококачествени данни дори при тежки условия на околната среда. Доказана е 24/7 работа на системата при напълно отдалечена работна среда. Данните от лазерното сканиране се обработват от интегрирани приложения в реално време на скенера и крайните резултати се визуализират чрез инструмента за уеб преглед, работещ на всички стандартни уеб браузъри. Въз основа на примера на DMT SAFEGUARD, ние показахме, че скенерът може да бъде интегриран в различни приложения, демонстрирайки своята висока степен на гъвкавост и надеждност.



### **Източници**

- [1] Thomas Gaisecker, Daniel Schröder: RIEGL V-Line Scanners for Permanent Monitoring Applications and Integration Capabilities into Customers Risk Management 13.04.2022
- [2] Vos, S., Anders, K., Kuschnerus, M. et al. A high-resolution 4D terrestrial laser scan dataset of the Kijkduin beach-dune system, The Netherlands 19.09.2022
- [3] Bremer, M., Zieher, T., Pfeiffer, J., Petrini-Monteferri, F., & Wichmann, V. (2019). Monitoring der Großhangbewegung Reissenschuh (Schmirntal, Tirol) mit TLS und UAV-basiertem Laserscanning. Hanke, K.; Weinold,
- [4] Hermle, D., Gaeta, M., Krautblatter, M., Mazzanti, P., & Keuschnig, M. (2022). Performance Testing of Optical Flow Time Series Analyses Based on a Fast, High-Alpine Landslide. Remote Sensing, 14(3), 455.
- [5] <http://riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/78/> - 06.2023
- [6] <http://riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/58/> - 06.2023
- [7] <http://riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/33/> - 06.2023