

МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ
„СВ. ИВАН РИЛСКИ”
МИННОТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА „МАРКШАЙДЕРСТВО И ГЕОДЕЗИЯ”



инж. Милена Дончева Бегновска

**МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА МАРКШАЙДЕРСКО ЗАСНЕМАНЕ НА
НЕДОСТЪПНИ ПОВЪРХНИНИ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане на
образователна и научна степен „доктор”

Научна специалност: „Маркшайдерство”
Професионално направление: 5.7. Архитектура, строителство и геодезия
Област на висшето образование: 5. Технически науки

Научни консултанти:
доц. д-р Станислав Топалов
доц. д-р Пламен Савов

София
2018

СЪДЪРЖАНИЕ

Обща характеристика на дисертационния труд.....	3
Въведение.....	3
Актуалност на проблема.....	3
Цели и задачи на дисертационната работа.....	3
Научни подходи и методи.....	4
Публикации.....	4
Съдържание на дисертационния труд.....	4
1. Анализ на състоянието на проблема.....	4
1.1. Преглед на класификацията на видовете подземни празни пространства (празнини).....	4
1.2. Необходима точност за определяне пространственото положение на подземните празнини.....	4
1.3. Особенности на работната среда в подземните празнини.....	5
1.4. Показатели на някои отражателни повърхности.....	5
1.5. Методи за заснемане на подземните празнини.....	5
1.6. Методи за определяне обема на подземните празнини.....	5
2. Експериментални измервания в лабораторна и естествена среда – резултати и анализ.....	7
2.1. Анализ на резултати при безпризмено измерване с лазерен далекомер до обекти с различни оптични свойства.....	7
2.2. Анализ на резултатите от измерване на разстояния с лазерен далекомер до образци с различни отражателни характеристики.....	7
2.3. Експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер при наличие на аерозол по трасето.....	9
2.4. Изследване и анализ на грешки, дължащи се на разстоянието, албедото, различен ъгъл, дъжд и мъгла при безрефлекторни измервания.....	10
2.5. Анализ на резултатите от експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер до образци от строителни материали.....	13
2.6. Експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер до рудни и скални образци от района на действащ рудник „Джурково” и минерална суровина с кристална структура от минна изработка в рудник „Кошава”.....	13
3. Експериментални измервания в руднични условия – резултати и анализ.....	22
3.1. Маркшайдерска снимка на хоризонтална изработка в рудник „Крушев дол“ чрез различни технологии.....	22
3.2. Маркшайдерска снимка на капитална изработка при различна детайлност на информацията.....	23
3.3. Заснемане на камера за добив на гипс в находище „Кошава”.....	26
3.4. Заснемане на капитална изработка в рудник „Челопеч”.....	26
Заклучение и намерения за бъдещи изследвания.....	27
Претенции за приноси.....	27
Публикации свързани с дисертационната работа.....	28
Библиография.....	29

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Въведение

Една от основните задачи на маркшайдерското осигуряване на геолого-проучвателната и минно-добивна дейности е правилно и безопасно водене на минните работи, което е свързано и с качеството на маркшайдерската документация. За да отговаря на своето предназначение, тя трябва да бъде пълна, актуална и точна, което налага удовлетворяване на определени изисквания към методите и средствата за набиране на информацията, необходима за съставянето ѝ.

Еволюцията на линейните измервания, започваща от древността (пряко измерване с ролетка), преминаваща през конструирането на далекомири (оптико-механични устройства и приспособления към теодолита - от началото на XIX до средата на XX век), радиодалекомерите (с активен отражател), светлодалекомерите (с пасивен отражател), достига до светлодалекомери без специален отражател. Последният клас инструменти може да ползва за отражател повърхнината на заснемания обект. Голямото разнообразие на формите на различните обекти и на цвета, структурата и грапавостта им, както и на взаимното положение между тях и далекомира, поставят въпроса за качествата на постигнатите резултати при извършване на линейни измервания. Допълнително обстоятелство при стремежа за постигане на максимална и удовлетворителна точност се явява и влиянието на средата, в която се извършват измерванията. В руднични условия, измерванията са затруднени от наличния прах в рудничната атмосфера вследствие на различни технологични процеси, променливите влажност, температура, скорост на въздушната струя и др.

Изследванията в настоящия труд са фокусирани конкретно върху влиянието на вида на отражателната повърхнина, ъгъла между нея и визирната линия и средата, в която се извършват линейни измервания, върху точността на получените резултати в реални условия („хипотетично идеални” – лабораторни и реални производствени – руднични).

Актуалност на проблема

В геодезическата и маркшайдерската практика, предвид спецификата на много от ежедневните полеви дейности, често се налага да бъдат извършвани дължинни измервания до недостъпни точки. Причините за това са разнообразни - осигуряване на безопасност за екипа, невъзможен или ограничен достъп до заснеманите повърхнини и др. В подобни случаи намира приложение развитието на безрефлекторните технологии. В същото време, за осигуряване на по-висока обективност и точност на данните, се поставят и определени изисквания към този тип измервания. За да може да се осигури необходимата точност на данните е необходимо подробно задълбочено изследване и по-конкретно определяне на възможните източници на грешки и връзките между тях. Изборът на оптимален метод за извършване на измервания, с отчитане особеностите при разпространение на лазерните лъчи в рудничната атмосфера, е интересна и актуална задача. Лазерната измервателна апаратура осигурява удобство и бързина при работа, но в същото време възникват и множество въпроси, свързани с оценката на точността при този вид измервания, с отчитане факторите на външната среда, за които все още няма достатъчно много публикувани резултати и/или все още не са намерили достатъчно теоретично обосновано обяснение. За проверка на влиянието на някои от тези фактори е необходимо те да бъдат установени и анализирани.

Цели и задачи на дисертационната работа

Целта на дисертационната работа е извършване на експериментално изследване и анализ на текущи проблеми, възникващи при заснемане на недостъпни повърхнини в подземни празни пространства, изследване възможностите за приложение на съвременните снимачни технологии при извършване на измервания в руднична среда.

Във връзка с това, са дефинирани следните основни задачи:

1. Преглед на класификацията на видовете подземни празни пространства.
2. Проучване на прилаганите методи за заснемане на подземни празни пространства.
3. Дефиниране на открояващи се проблеми при извършване на маркшайдерско заснемане с безрефлекторни инструменти, породени от:
 - качествата на отразяващата повърхност;
 - ъгъла, сключен между нея и визирния лъч;
 - специфични особености на рудничната атмосфера и т.н.

4. Изследване влиянието на детайлността на информацията при заснемане на подземни празни пространства върху резултатите от решавани инженерни задачи.

Научни подходи и методи

При решаването на поставените задачи са използвани следните общонаучни методи и подходи: формулиране на основните решавани задачи, провеждане на експериментални измервания в „лабораторна“ и руднична среда, анализ на получените резултати за изследваните обекти.

Публикации

Общите положения и конкретно получени резултати и заключения, отразени в дисертационния труд, са поместени в 3 публикации в научни издания и сборници.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е структуриран във въведение, три глави, заключение и намерения за бъдещи изследвания, претенции за приноси, публикации от автора по темата и използвана литература. Общият обем на дисертацията е 170 страници. Текстът е онагледен със 153 фигури, 21 таблици и 86 номерирани формули. Цитирани са 56 литературни източници, сред които 9 интернет ресурси, представени в библиографски списък, както следва: 36 бр. на кирилица и 11 бр. на латиница. Номерата на фигурите, таблиците и формулите в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ПРОБЛЕМА

В резултат от минната дейност или от въздействието на различни природни фактори в земните недра могат да се образуват празни пространства. Част от тях са недостъпни или с големи размери по площ и височина. Точното определяне на местоположението, размерите и формата им в пространството е от особена важност за стриктно спазване на основни принципи за развитие на минно-добивната дейност, надеждно проектиране, безопасно водене на минните работи и т.н. Затова успешното решаване на различни минно - технически задачи до голяма степен зависи от качеството на маркшайдерското им заснемане, респ. съставяне на точен и актуален (графичен и/или дигитален) модел на минните изработки/празнини, позволяващ ефективно вземане на управленски решения.

1.1. Преглед на класификацията на видовете подземни празни пространства (празнини)

1.1.1. Според начина на тяхното образуване [17]:

- Естествено образувани празнини.
- Изкуствено създадени празнини (техногенни).

1.1.2. Според формата празнините са:

- Геометрично правилни.
- Геометрично неправилни.

1.1.3. Според тяхното предназначение:

- Добивни изработки.
- За транспортни цели.
- За съхранение на нефт, газ и вода.
- Обрушени пространства над изкуствено създадени празнини.
- За разполагане на стационарно оборудване, машини и механизми.

1.1.4. От гледна точка на маркшайдерската снимка:

- Достъпни.
- Недостъпни – празнини с невъзможен или съпроводен с опасност достъп до стените им.

1.2. Необходима точност за определяне пространственото положение на подземните празнини

Всеки метод за заснемане на недостъпни повърхности се състои в определяне положението на точки, принадлежащи на повърхнините ограничаващи подземните празнини. В зависимост от използваните методи и технологии, положението на заснетите точки се определя с различна точност.

След систематизиране и обработване на информацията от извършената снимка, повърхнините могат да бъдат изобразени върху специални планове – явяващи се основа за съставяне на вертикални и/или похоризонтни разрези на празнините. Създаденият графичен материал е основа за решаване на различни минно-технически задачи, което предполага и изисквания към необходимата точност на точките от заснетите повърхности.

1.3. Особенности на работната среда в подземните празнини

При избора на метод за заснемането на подземни празни пространства трябва да се вземат предвид и някои специфични особености на рудничната атмосфера, по-основни от които са [17]:

- ✓ Наличие на аерозоли в рудничната атмосфера.
- ✓ Различна отражателна способност на скалите (слаб отразен сигнал).
- ✓ Зависимост на скоростта на разпространение на вълните от температурата, налягането и др.

Възможността за използването на един или друг метод за снимка на подземни празнини зависи не само от тяхната достъпност, по отношение извършването на измервания, но и от прозрачността на работната среда в конкретната празнина, влияеща на разпространението на звуковите и електромагнитни вълни [34]. Надеждното изследване на подземните празнини и качествената маркшайдерска снимка трябва да се базират на методи и технически средства, осигуряващи необходимата пълнота на получаваната информация със зададена степен на точност.

1.4. Показатели на някои отражателни повърхнини

Освен отслабването на излъчването при преминаването му през мътна среда, значителна част от енергията се губи и при отразяването от повърхността на обекта, поради което само ограничена част от сигнала се връща в приемника на прибора [17]. За сметка на поглъщането и разсейването на светлината от отразяващата повърхност на обекта, средно се губи до 80% от лъчистата енергия.

1.5. Методи за заснемане на подземните празнини

Изборът на метод за заснемане на недостъпните празнини е по преценка на възможността за достъп в конкретната празнина, нейните характеристики и предназначението на снимката. Подборът на инструмент за извършване на снимката зависи от особеностите на заснеманата празнина.

Класификация на методите за заснемане на подземни празнини може да се направи и на базата на физико-геометрични принципи и минно-техническите условия, от които зависи използването на съответна апаратура. Според нея най-популярните методи са:

1.5.1. Тахиметричен метод – основан е на използване на инструменти и технологии за заснемане, даващи възможност да бъдат определени координатите на заснеманите точки.

1.5.2. Фотограметричен метод – при него се използват инструменти и методи за заснемане, използващи принципите за фотографиране на недостъпните пространства.

1.5.3. Телеметричен метод – приложим е за заснемане на недостъпни обекти (подземни хранилища, тръбопроводи и т.н.).

1.5.4. Радиометричен метод – в маркшайдерската практика се прилага основно за заснемане на кариери и подземни минни изработки.

1.5.5. Локационен метод – основан е на използването на апаратура, позволяваща да се определят координатите на точките чрез измерване и преобразуване на физически величини във величини, характеризиращи параметрите на недостъпното пространство.

1.5.6. Наземни системи за лазерно сканиране – използва се лазерен лъч, изпратен от скенера, отразен от повърхността на обекта и регистриран отново в скенера, като се отчита необходимото време и положението му спрямо скенера. Особено подходящ метод при заснемане на недостъпни изработки и такива със сравнително сложна форма.

1.6. Методи за определяне обема на подземните празнини

Подземните естествени или изкуствено създадени празнини, са със сложна и често, твърде неправилна форма, поради което обемът им се определя като функция на площите на сечения на „тялото“ [15].

$$V = f(P), \tag{1.17}$$

Традиционно, изчисляването в зависимост от формата на празнината, е извършвано по метода на вертикалните, или хоризонтални успоредни сечения, през еднакъв или променлив интервал.

Напоследък с все по-широкото навлизане на нова техника се променят и технологиите. Методите за пресмятане на обемите на минните изработки също бележат развитие в посока многовариантност. Най-често всяка компания, произвеждаща геодезически инструменти и технологии предлага и съответен софтуер за обработка на измерванията, съответни изчисления, изграждане и поддържане на числени модели [41], и решаване на приложни задачи. Ползват се все още множество конвенционални геодезически програми, а напоследък редица постоянно усъвършенствани CAD приложения.

Всеки метод за определяне има своите различни предимства и недостатъци. По отношение изчисляването на обеми на иззети пространства, трудно може да се даде конкретен отговор на въпроса, кой е най-добрият метод. При избора му следва да бъдат отчетени различни фактори като: форма (конфигурация) и размер на заснеманото пространство, налично оборудване, изисквана точност, икономически показатели. Използването на измервателна и изчислителна технология, обединяваща съвременни хардуерни решения, и съответстващ софтуер са главните предпоставки за получаване на точни и бързи резултати.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗМЕРВАНИЯ В ЛАБОРАТОРНА И ЕСТЕСТВЕНА СРЕДА – РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

В последните години в маркшайдерската практика все по-широко се използват безрефлекторни технологии за измерване. Възможностите за безконтактно измерване, високата точност и бързина при работа са основни фактори предопределящи избора им. Не липсват и някои недостатъци при използването им. Необходимо е да се имат предвид физическите закони за отразяване на светлината и оптичните свойства на материалите. Точността на измереното разстояние зависи от качествата на отразяващата повърхност, от нейната грапавост, цвят, запрашеност, овлажненост. Влияние върху точността на измерванията оказва също така и ъгълът, който се сключва между визирния лъч и отразяващата повърхност. При извършване на измервания в минни изработки, влияние оказва и спецификата на рудничната атмосфера.

Въз основа на извършени проучвания на световния опит при безрефлекторно заснемане на повърхнини [35, 36, 38, 43, 45, 25, 26, 29] се установява необходимост от по-подробно изследване и конкретно определяне на източниците на грешки и взаимоотношенията между тях, за да може да се гарантира необходимата точност на данните.

В тази връзка, в настоящата разработка, са извършени експериментални линейни измервания до разнородни обекти (образци) с цел анализиране влиянието на вида на отразителната повърхност, на ъгъла между нея и визирната линия и средата, в която се извършват измерванията, върху точността на получените резултати в руднични условия. Измерванията основно са извършени с тотална станция Trimble S6, притежаваща безрефлекторна технология за измерване. Първоначално разстоянията са измервани с отразителна марка. Стойностите им са приети за еталон.

2.1. Анализ на резултати при безпризмено измерване с лазерен далекомер до обекти с различни оптични свойства.

Проведени са многократни измервания на четири дължини: 35.808 m, 44.965 m, 56.545 m и 77.831 m. Обектите до които е извършено измерването са: варовик с калцитни прожилки - шлифована и грапава повърхност, променен ултрабазит (талк-хлоритов шист) - шлифована и грапава повърхност, и гипсова скала.

При разстояние 35.808 m и 77.831 m, са извършени измервания при осветеност 35 - 40 lx (на светло) и при осветеност 1 - 2 lx (на тъмно). Измерванията са извършени в три положения при 0°, + 45°, - 45° спрямо посоката на визирния лъч. При разстояние 44.965 m и 56.545 m, са извършени измервания само на светло.

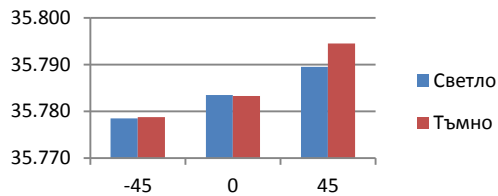
От направения анализ на експерименталните данни може да се заключи следното:

- При завъртане на гипсовата скала от - 45 до + 45 градуса, се наблюдава промяна в дължините спрямо нулевото положение и спрямо еталона.

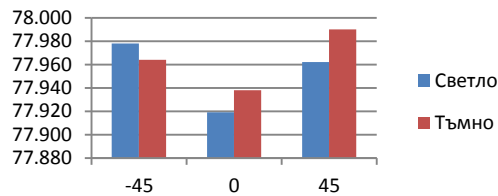
- Почти във всички случаи на измерване промяната в осветеността на минерала, назависимо от неговата ориентация, не води до съществено изменение в грешката по дължина. Това показва, че за тези разстояния на измерване, интензитетът на обратно разсеяния сигнал е значително по-голям от интензитета на фона при осветеност 40 lx и не се влияе от него.

- На следващите фигури е представена зависимостта между посоката на ориентация и измереното разстояние. При сравнение на гладките страни на варовик с калцитни прожилки (фиг. 2.3 и фиг. 2.9) и променен ултрабазит (талк-хлоритов шист) (фиг. 2.4 и фиг. 2.10) за първата и последната дължина (35.808 и 77.831).

Варовик с калцитни прожилки – шлифована повърхност.

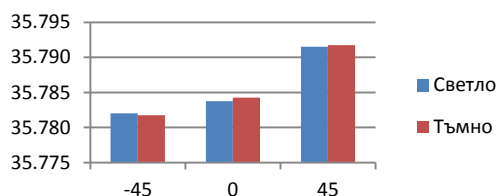


фиг. 2.3

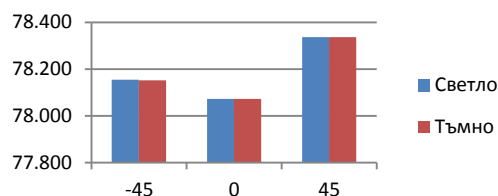


фиг. 2.9

Променен ултрабазит (талк-хлоритов шист) – шлифована повърхност



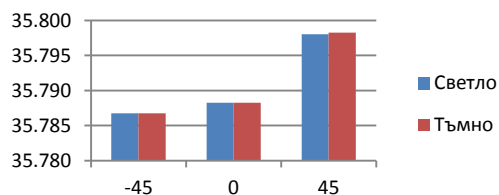
фиг. 2.4



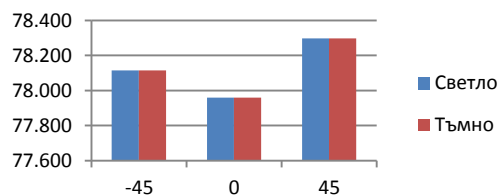
фиг. 2.10

Както и между гладката (фиг. 2.4 и фиг. 2.10) и грапавата страна (фиг. 2.5 и фиг. 2.11) на променен ултрабазит (талк-хлоритов шист), за същите две дължини (35.808 и 77.831).

Променен ултрабазит (талк-хлоритов шист) – грапава повърхност



фиг. 2.5

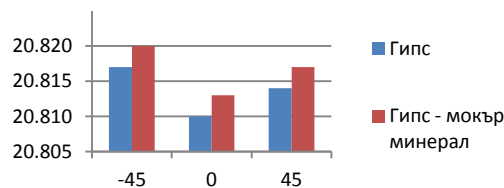
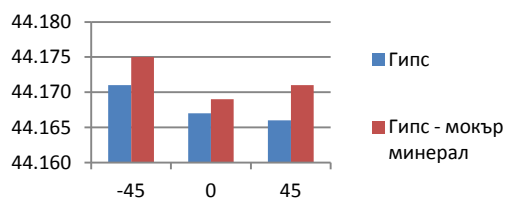


фиг. 2.11

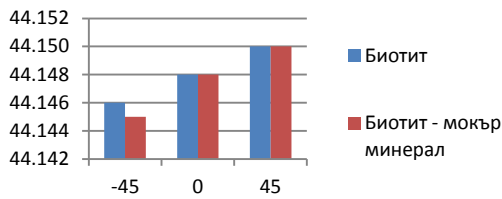
Вижда се, че по-съществено влияние има по-скоро видът на минерала отколкото неговата грапавост. Този факт най-вероятно се дължи на по-силното влияние на физикохимичните и оптични свойства на минерала върху скоростта на разпространение и отражение на сигнала от „мишената”, отколкото влиянието на грапавостта на нейната повърхност.

2.2. Анализ на резултатите от измерване на разстояния с лазерен далекомер до образци с различни отражателни характеристики.

Резултатите са от безрефлекторно измерване на разстоянията до 7 обекта с различни отражателни характеристики, а именно: Гипс, Диопсид, Доломит, Хематит, Биотит, Базалт и Диабаз. Проведени са измервания на две разстояния 20.799 m и 44.148 m. Част от резултатите са представени на следващите фигури.

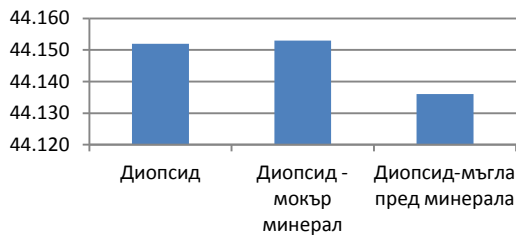


фиг. 2.14. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние за гипс.

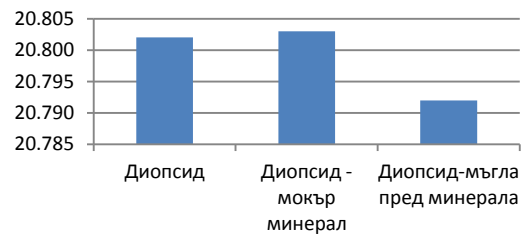


фиг. 2.18. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние за биотит.

На фиг. 2.21 и фиг. 2.22 са представени резултатите от измерванията за *диопсид*, като измерванията са извършени първоначално спрямо сух образец, след това образеца е омокрен и отново е извършено линейно измерване, а третото измерване е извършено след като пред образеца е имитирана мъгла.

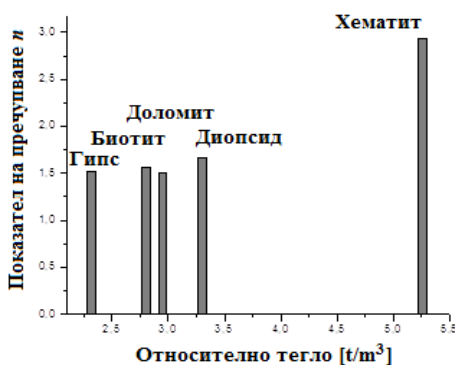


фиг. 2.21

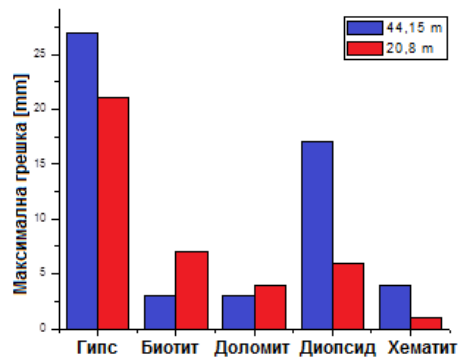


фиг. 2.22

На фиг. 2.23 е представена зависимостта между показателя на пречупване и относителното тегло на отделните образци, а на фиг. 2.24 - графика на максималните грешки за двете разстояния при различните минерални образци, подредени по нарастване на относителното им тегло.



фиг. 2.23

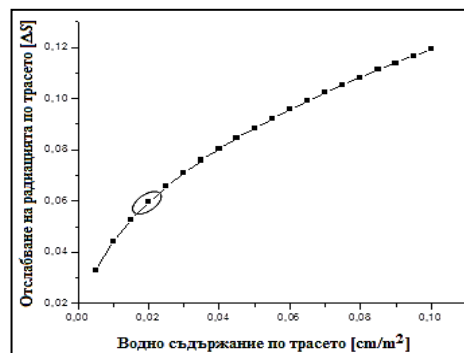


фиг. 2.24

На фиг. 2.25 е показана зависимостта на отслабване на електромагнитната радиация (на лазерния лъч) в зависимост от водното съдържание по трасето, изчислено по емпиричната формула, предложена от С. В. Зверева [14].

$$\Delta S = 0.476W^{0.43}, \quad (2.6)$$

където: W е водното съдържание в стълба въздух по трасето с напречно сечение 1 m^2 , а ΔS е отслабването на радиацията при преминаване през влажния въздух (или мъглата).



Фиг. 2.25

Водното съдържание е в сантиметри воден стълб ($1 \text{ cm}_{\text{H}_2\text{O}} = 10 \text{ l}$) Измерванията са проведени при влагосъдържание около 100 g/m^2 , което е еквивалентно на 0.2 l/m^2 , заради двойния път на лъча (до образца и обратно). В този случай отслабването на сигнала попада в зоната на около 5 – 6%, означена на фиг. 2.25 с елипса.

Изводи

От направения анализ на експерименталните данни може да се заключи следното:

1. Наличието на мъгла пред образца предизвиква увеличаване на отклонението в измерената дължина спрямо същата измерена при сух и влажен образец (фиг. 2.21 и фиг. 2.22), което се дължи на отслабването на сигнала при преминаване през мъглата, илюстрирано с фиг. 2.25.

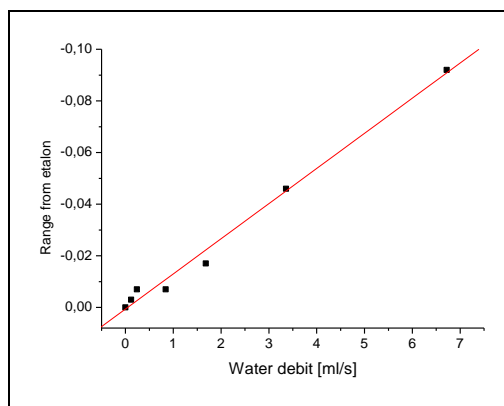
2. Освен отслабването на излъчването при преминаването му през мътна среда, част от енергията се губи при отражението от повърхността на образца. Отражателната способност при влажни образци е по-ниска от тази при сухите. Това може да бъде наблюдавано при минералите гипс, диопсид и доломит, които се влияят от омокряне на повърхността им, предизвикващо по-големи отклонения в стойностите на измереното разстояние, както спрямо еталонното разстояние, така и спрямо различните ориентации и при двете измервани дължини. При останалите образци, това влияние не е така силно изразено. Това вероятно се дължи на различните физикохимични свойства на минералите.

3. За минералите с по-голяма плътност скоростта на разпространение на светлината е по-малка. От фиг. 2.23, се забелязва, че с нарастване на относителното тегло на представените образци, се увеличава и показателят на лъчепречупване, който представлява количествена мярка за оптичната плътност на минералите. Забелязва се (фиг. 2.24), като основна тенденция, че с намаляване на показателя на лъчепречупване се проявява по-голяма грешка при измерените разстояния.

2.3. Експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер при наличие на аерозол по трасето.

За целите на експерименталното изследване е имитирана мъгла с помощта на пулверизатор с възможност за промяна на дебита. Най-малкият дебит е 0.12 ml/s , като постепенно е увеличен 2, 7, 14, 28 и 56 пъти.

На фиг. 2.26 е представена зависимостта между отклоненията в измереното разстояние спрямо еталона и увеличаването на дебита на пулверизатора.

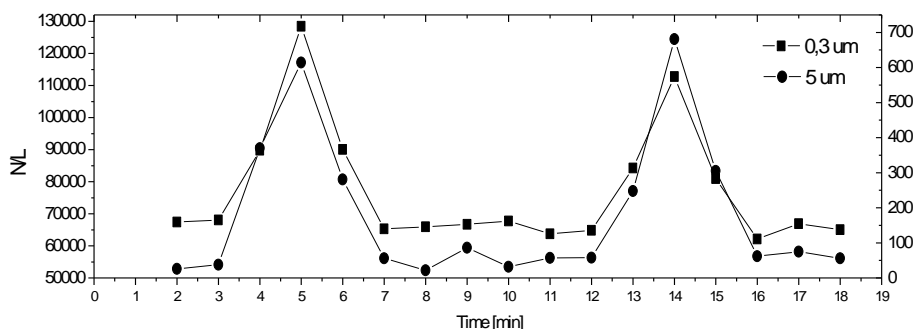


фиг. 2.26. Зависимост между отклоненията в измереното разстояние спрямо еталона и увеличаването на дебита на пулверизатора.

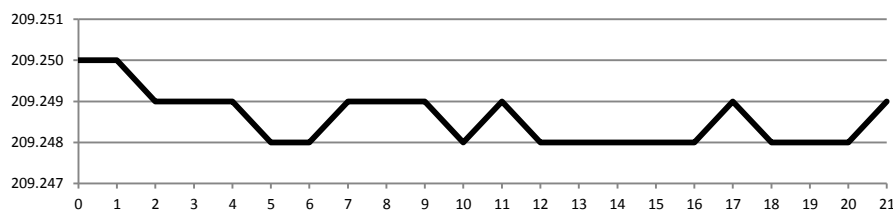
С точки са дадени експерименталните резултати, които са апроксимирани с полином от първа степен. Вижда се, че зависимостта между дебита и скъсяване на разстоянието в рамките на грешката е почти правопрпорционална.

При втория експеримент са проведени измервания в реална среда, като е регистрирана запрашеност на въздуха с частици с размер $0.3 \mu\text{m}$ и частици с размер $5 \mu\text{m}$. Измерванията са извършени с шест канален лазерен брояч на частици TROTEC PC 200.

На фиг. 2.27 е представена промяната на запрашеността във времето и е сравнена с промяната на разстоянието при тази запрашеност (фиг.2.28). По абсцисата е нанесено времето в минути, а по ординатата – брой частици в литър въздух (N/L).



фиг. 2.27. Промяна на запрашеността във времето.



фиг. 2.28. Промяна на измереното разстояние (в метри), като функция от времето (в минути).

Изводи

От направения анализ на експерименталните данни може да се заключи следното:

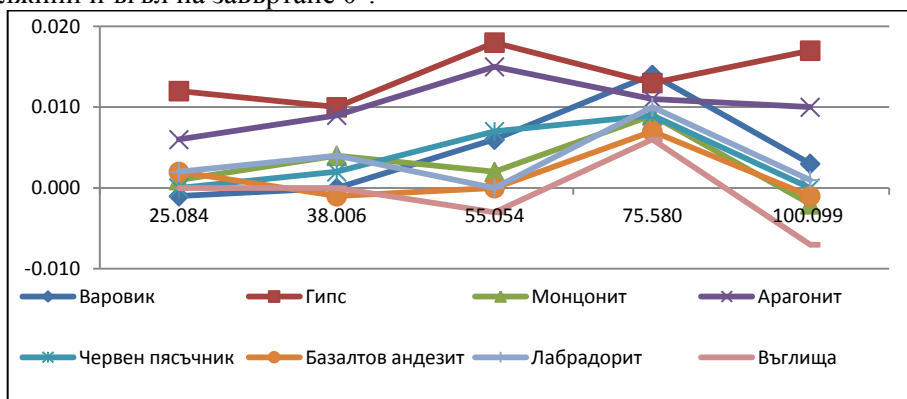
1. Увеличаването на влагосъдържанието по трасето, предизвиква намаляване на стойността на измерената дължина спрямо еталонната, като зависимостта е линейна. Този факт се дължи на отслабването на енергията на излъчване при преминаване през мъглата. От графиката (фиг. 2.26) се вижда, че при дебит до 1 ml/s скъсяването е до 7 mm .

2. При увеличаване нивото на запрашеност на въздушните маси, се регистрира намаляване на стойностите на измереното разстояние (фиг. 2.27 и фиг. 2.28). Забелязва се, че влиянието на частиците с размер $5 \mu\text{m}$, е по-силно изразено. Въпреки, че разстоянието при втория експеримент е около 10 пъти по-голямо от това при експеримента в „условия на мъгла“, абсолютната грешка не надхвърля 2 mm .

2.4. Изследване и анализ на грешки, дължащи се на разстоянието, албедото, различен ъгъл, дъжд и мъгла при безрефлекторни измервания.

Представени са експериментални резултати от проведени линейни измервания до 8 разнородни образеца: варовик, гипс, монцонит, арагонит, червен пясъчник, базалтов андезит, лабрадорит и въглища, при различен ъгъл между оста на излъчване и повърхността, до която се измерва разстоянието. Първоначално образецът е ориентиран така, че визирният лъч да пада фронтално, след което е завъртан на ъгъл 20° , 40° и 60° , в две противоположни посоки. Проведени са измервания на пет дължини 25.080 m , 38.002 m , 55.054 m , 75.580 m и 100.099 m .

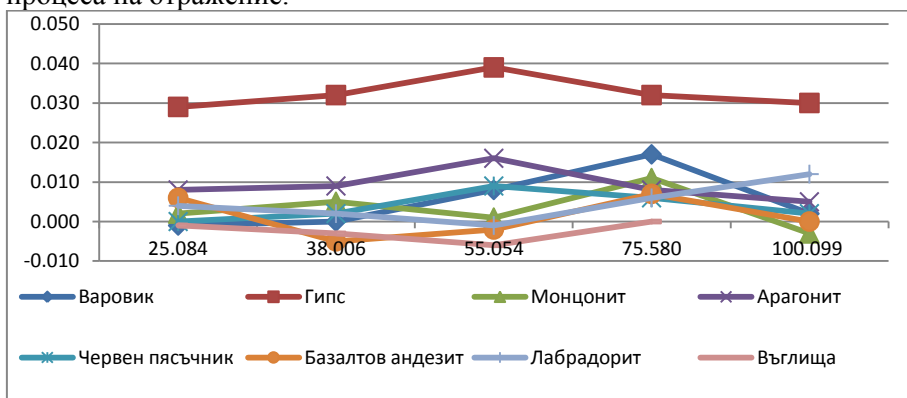
На фиг. 2.29 са представени, разликите спрямо еталонното разстояние, за 8-те образеца, при различните дължини и ъгъл на завъртане 0° .



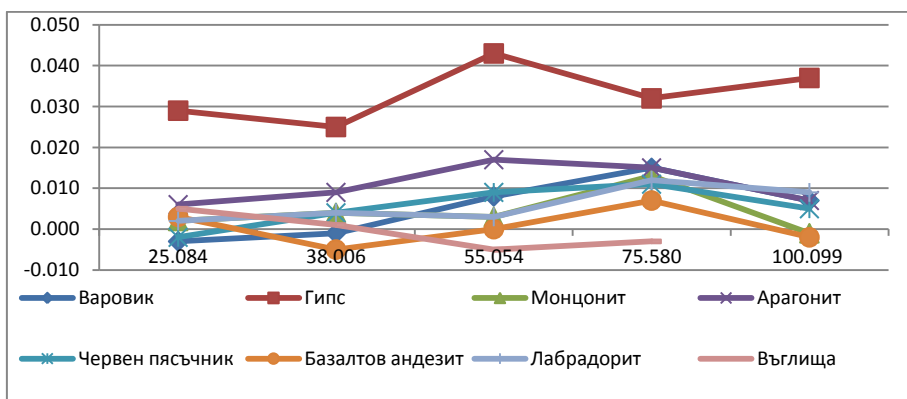
фиг. 2.29. Разлики спрямо еталонното разстояние при ъгъл на завъртане 0° .

От графиката се вижда, че при повечето образци, първоначално разликата е най-малка, при 75.580 m. е най-голяма и при 100.099 m намалява. При настоящото експериментално изследване, най-големи разлики в дължините спрямо еталонното разстояние бяха констатирани при минералите гипс и арагонит.

От представените на фиг. 2.30 и фиг. 2.31 експериментални резултати, при различните разстояния и различните минерали се забелязва, че и при ъгъл на завъртане $+40^\circ$ и -40° тенденцията се запазва. При дължина 100.099 m, не са представени резултати за въглища, тъй като при тях измерените разстояния се различават значително от еталонното, което при тази дължина би могло да бъде обяснено с вида и качествата на отразяващата повърхност, което води до специфични особености на процеса на отражение.

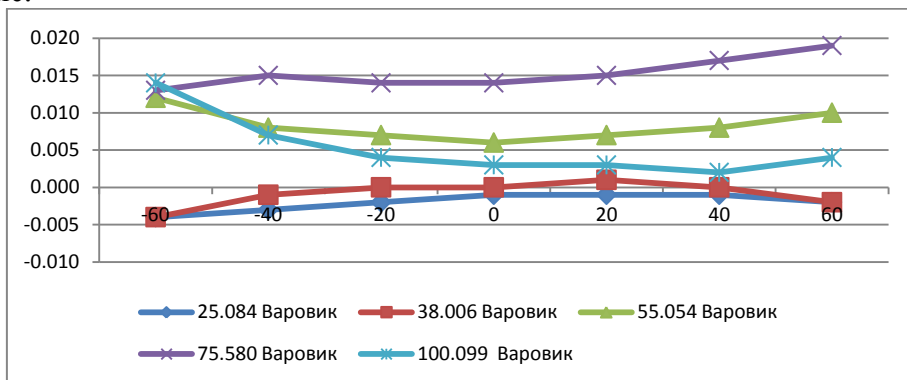


фиг. 2.30. Разлики спрямо еталонното разстояние при ъгъл на завъртане $+40^\circ$.

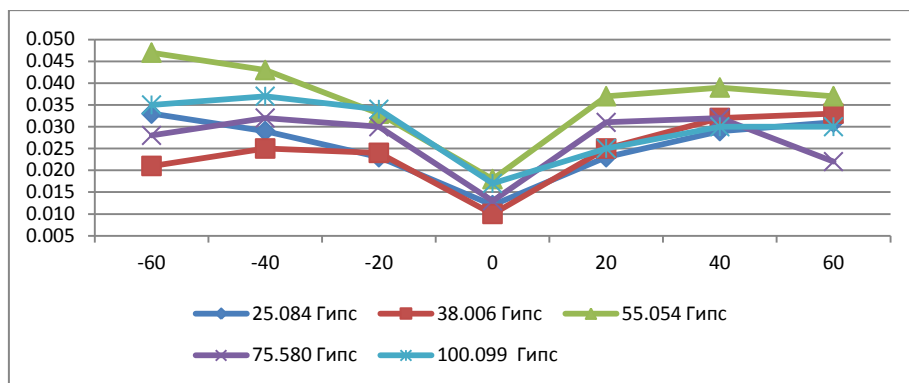


фиг. 2.31. Разлики спрямо еталонното разстояние при ъгъл на завъртане -40° .

На фиг. 2.32 и фиг. 2.33 са представени разликите спрямо еталонното разстояние за варовик и гипс.



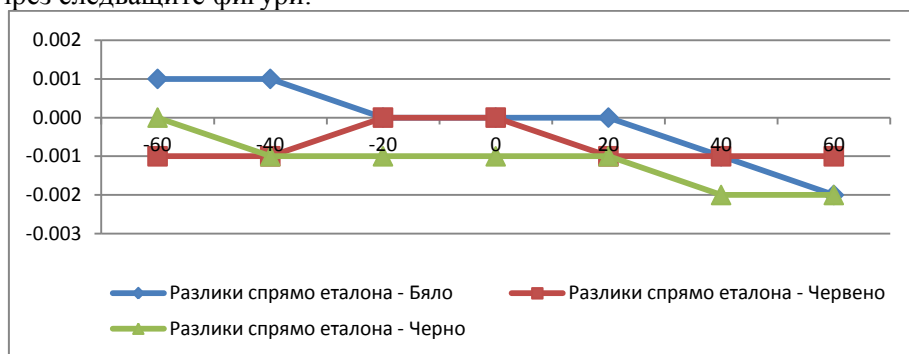
фиг. 2.32. Разлики спрямо еталонното разстояние за варовик.



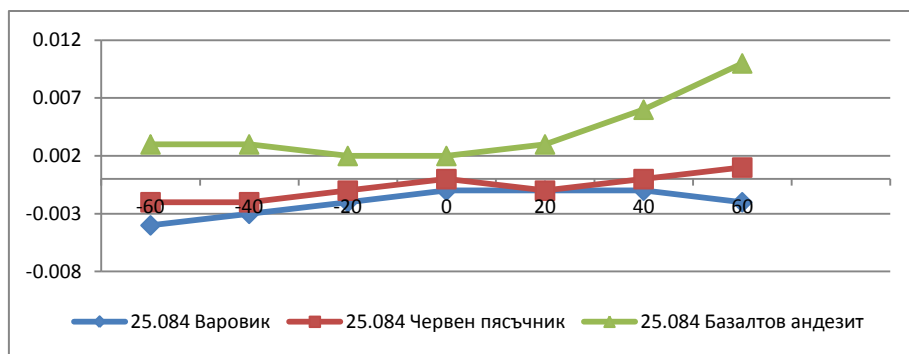
фиг. 2.33. Разлики спрямо еталонното разстояние за гипс.

От фигурите се вижда, че при гипс разликите спрямо еталонното разстояние при промяна ъгъла от 0 ° до 60 ° са чувствително по-големи, отколкото при варовик, което се дължи на кристалната структура на минерала гипс.

Грешките, дължащи се на албедото, при конкретните изследвания, могат да бъдат илюстрирани чрез следващите фигури:



фиг. 2.37. Разлики спрямо еталонното разстояние при различните цветове.



фиг. 2.38. Разлики спрямо еталонното разстояние за варовик, червен пясъчник и базалтов андезит.

На фигура 2.37 са представени резултати от проведено дължинно измерване до 3 образца – цветни листове хартия – бял, червен и черен цвят. Еталонното разстояние е 20.702 m. Резултатите показват, че при измерванията с цветна хартия, разликите спрямо еталонното разстояние са по-малки, отколкото при измерване спрямо минералите: варовик, червен пясъчник и базалтов андезит, при еталонно разстояние 25.084 m, представени на фиг. 2.38. Това показва, че разликите се дължат не на цвета, а на физикохимичните свойства на образците. Измервания са извършени и до образци (листове хартия) с жълт, син и зелен цвят, като и при тях не са констатирани съществени разлики спрямо еталонното разстояние.

Изводи

От направения анализ на експерименталните данни може да се заключи следното:

Грешката при безрефлекторно измерване на разстояния нараства, при увеличаване на ъгъла между оста на излъчване и повърхността, до която се измерва разстоянието, но зависи пряко и от вида на отразяващата повърхност. Всеки отделен минерал взаимодейства по специфичен начин с падащата върху него електромагнитна енергия. Освен това един и същи минерал в зависимост от разстоянието до станцията и ъгълът между лъча и равнината на падане по различен начин отразява светлинната енергия. Всички тези особености в отражението, пречупването и поглъщането на светлината в различните минерали, разположени по различен начин в пространството водят до съществени промени в интензитета и формата на отразения обратен сигнал. Въпреки, че съвременните станции са конструирани така, че автоматично да внасят необходимите корекции в зависимост от промяната в параметрите на околната среда, безрефлекторното измерване на разстояния до различни обекти може да доведе до значителни грешки. Ето защо, при измерване на дължини в безрефлекторен режим трябва да се вземат предвид физическите закони за отразяване на светлината и оптичните свойства на повърхността, до която се измерва разстоянието.

2.5. Анализ на резултатите от експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер до образци от строителни материали.

Проведено е експериментално измерване на разстояния до 9 различни по цвят и структура образца от строителни материали: червена тухла, бетон, асфалт, дърво, газобетон, стиропор, боядисано в зелен цвят дърво и два вида алуминиеви листове (матов и лъскав), при различен ъгъл между оста на излъчване и повърхността, до която се измерва разстоянието. Първоначално образецът е ориентиран така, че визирният лъч да пада фронтално, след което е завъртан в две противоположни посоки на 20°, 40° и 60°. Проведени са многократни измервания на три дължини 36.275 m, 70.988 m и 100.242 m.

Изводи

При анализиране на резултатите от експерименталното измерване може да се обобщи следното:

1. Най - големи отклонения спрямо еталонното разстояние са получени при образца от стиропор и при трите измерени дължини (36.275 m, 70.988 m и 100.242 m).
2. При образца от алуминиев лист, при измерване на дължина 36.275 m, са получени значително отклоняващи се от еталона резултати при ъгъл на завъртане +40° (отклонението спрямо еталонно измереното разстояние, при матовата повърхност е 0.052 m, а при лъскавата съответно 0.263 m), което може да бъде обяснено със структурата и вида на отразителната му повърхност.
3. Както вече бе отбелязано, точността на наблюденията, при измерване с тотална станция в безрефлекторен режим зависи главно от силата на сигнала, който се отразява от изследваната повърхност. Интензивността на обратен отразения сигнал зависи от разстоянието от инструмента, ъгъла на наклона на отразяващата повърхност и вида ѝ.
4. При това експериментално изследване отново не се установява зависимост между цвета на повърхността на изследваните образци и резултатите от дължинните измервания.

2.6. Експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер до рудни и скални образци от района на действащ рудник „Джурково” и минерална суровина с кристална структура от минна изработка в рудник „Кошава”

При реализиране на активен експеримент са извършени линейни измервания до скални образци: мрамор (шлифована и грапава повърхност), гнайс (шлифована и грапава повърхност) и рудни късове (с шлифована и грапава повърхност) от района на действащ рудник „Джурково” и минерална суровина с кристална структура от минна изработка в рудник „Кошава”.

Предвид конкретните условия в посочените рудници и текущите дейности от маркшайдерското осигуряване на процесите, са избрани дължини с приблизителни стойности: 3, 10, 20, 30, 40 и 50 m. Всеки образец е завъртан през определен ъгъл от 0° (фронтално по посока на лъча) до 60° през 15°, в две противоположни посоки и са измерени посочените дължини.

След анализиране на резултатите, могат да бъдат формулирани следните изводи:

1. Най-голямо отклонение спрямо еталонното разстояние има при минерала гипс, като разликата нараства при увеличаване на ъгъла между лъча и измерваната повърхност. Разликите

спрямо еталона за мрамор - шлифована повърхност са по-големи от тези при мрамор - грапава повърхност, докато при рудния образец – шлифована повърхност, разликите спрямо еталона са по-малки от тези при същия образец с грапава повърхност, при гнайс, не се установява обща тенденция.

2. Тези резултати потвърждават изводите, направени при предходни изследвания, че по-съществено влияние има видът на образца отколкото неговата грапавост, което най-вероятно се дължи на по-силното влияние на физикохимичните и оптични свойства на конкретно изследваните образци, върху скоростта на разпространение и отражение на сигнала от повърхността им отколкото влиянието на грапавостта на отражателната им повърхност.

3. Потвърждава се също и изводът направен отново при предходно проучване, че разликите не се дължат на цвета на изследваните образци, а на физикохимичните им свойства.

4. Върху точността на получените резултати в руднични условия влияние оказва също така и ъгълът между оста на излъчване и повърхността, до която се измерва разстоянието.

Извършено е и измерване на разстоянията (достатъчно близки до две от еталонните разстояния) 20.002 m и 40.281 m и с тотална станция Leica TCR 702. Размерът на посочените две разстояния е избран така, че да съответства на отделните разстояния измерени с другия инструмент (Trimble S6) и същевременно да даде възможност за сравнение, при условие че измерванията с двата инструмента са реализирани чрез различни методи – импулсен и фазов.

От така извършеното експериментално изследване може да се направи следния извод:

В диапазона 20-40 m, като фактор за получаване на различие, доминиращ е по-скоро видът на отражателната повърхност, а не методът на измерване или дължината на вълната.

2.6.1. Надеждност на определения обем в зависимост от вида на отражателната повърхност и условията на измерване.

Изчислени са средните квадратни грешки (2.9) на измерените разстояния до седемте изследвани образца.

$$m_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - S_{\text{ет}})^2}{n}}, \quad (2.9)$$

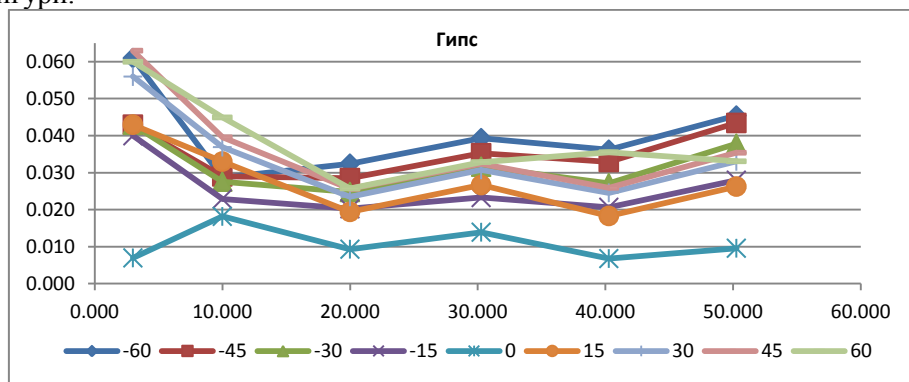
където:

S_i – измерено разстояние;

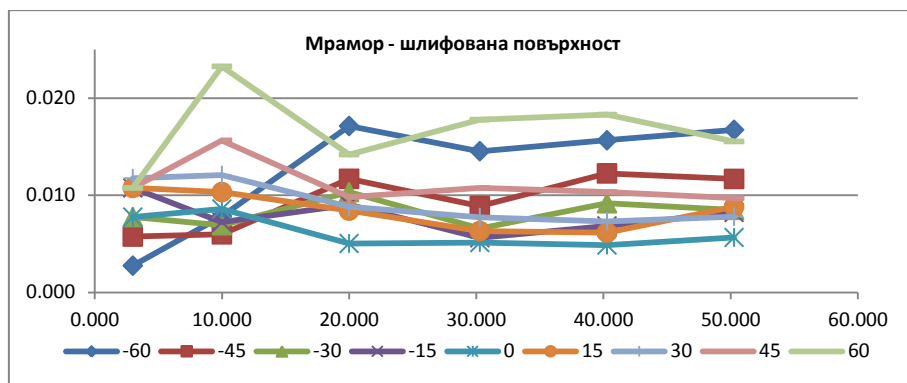
$S_{\text{ет}}$ – еталонно (прието за истинско) разстояние;

n – брой на измерванията.

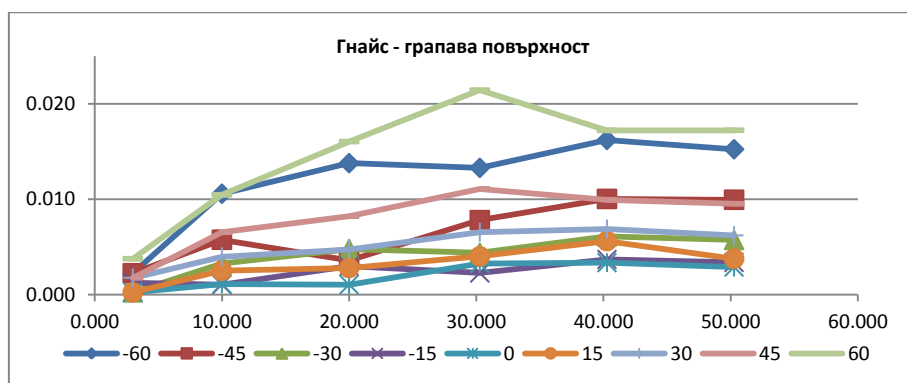
С цел придобиване на визуална представа за характера и стойностите на средните квадратни грешки на измерените разстояния, за различните образци, при различните разстояния и различните ъгли между визирния лъч и изследваната повърхност, част от тях са представени графично на следващите фигури.



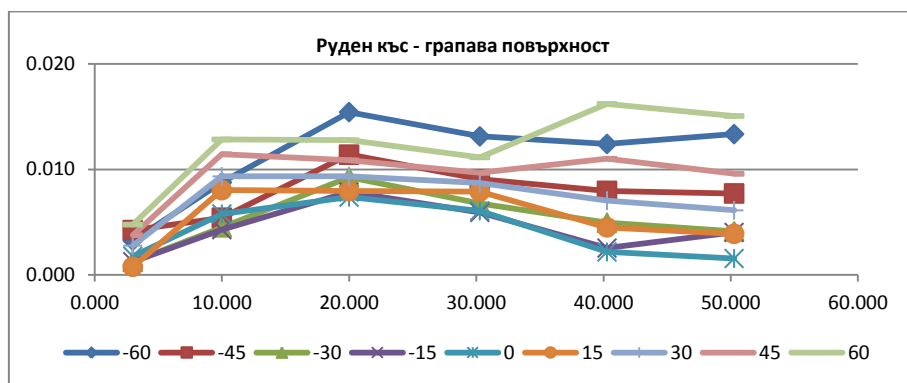
фиг. 2.52. Средни квадратни грешки на измерените разстояния за образец гипс.



фиг. 2.53. Средни квадратни грешки на измерените разстояния за образца мрамор - шлифована повърхност.

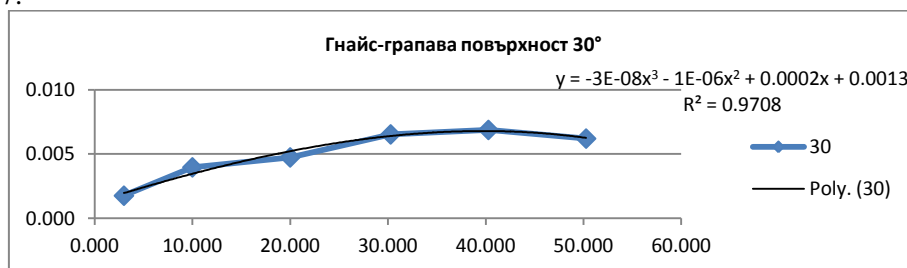


фиг. 2.56. Средни квадратни грешки на измерените разстояния за образца гнайс - грапава повърхност.

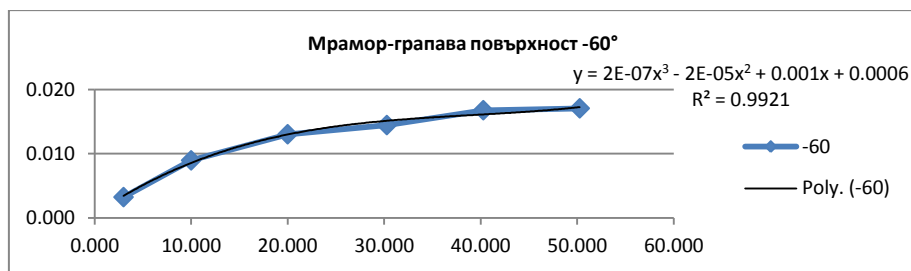


фиг. 2.58. Средни квадратни грешки на измерените разстояния за образца руден къс - грапава повърхност.

Видът на представените графики и възможностите на софтуерния продукт MS Excel, са послужили при определяне на теоретични модели на изменението на средните квадратни грешки в зависимост от ъгъла на завъртане на образца, като някои примери за това са представени на фиг. 2.62 и фиг. 2.67.



фиг. 2.62



фиг. 2.67

Получените модели позволяват да бъдат изчислени средните квадратни грешки при различни дължини (в диапазона на проведеното експериментално измерване от 2.990 m до 50.268 m) за различни ъгли на завъртане.

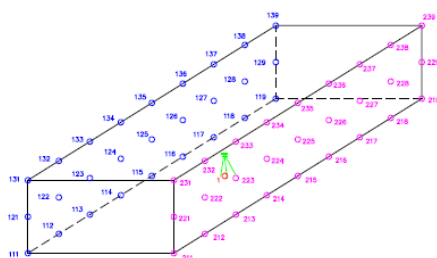
По аналогичен начин са получени модели и за изчисляване на разликите спрямо еталонното разстояние при различните дължини (в диапазона на проведеното експериментално измерване от 2.990 m до 50.268 m) за различните ъгли на завъртане.

2.6.2. Определяне на грешката в обема, при маршайдерско измерване на недостъпни повърхнини, в участъци с различни геоложки характеристики.

Една от основните задачи на маршайдерската служба във всяко минно предприятие е определяне местоположението на контурите на изработките, отразяването им върху графичната документация (поддържане на числения модел на минните изработки), изчисляване на площи (отработени и пр.), и изчисляване на обеми отработени пространства.

При заснемане на минните изработки се координират точки (най-често характерни от елементите им) от стените, тавана и пода на изработките. Обемът за конкретен участък може да бъде определен чрез приравняване към правилни фигури, чрез метода на вертикалните сечения, чрез изграждане и поддържане на числен модел в приложни софтуерни продукти, ползващи координатите на тези точки. За целта, според утвърдени и възприети алгоритми, се формират пространствени фигури, сумата от обемите на които формират общия търсен обем.

За извършване на анализ относно надеждността на определения обем на отработеното пространство, в зависимост от вида на отражателната повърхност и условията на измерване, е представен метод за изчисляване на обема чрез декомпозиране до набор триъгълни пирамиди. Проектиран е идеализиран модел на минна изработка с правилна форма (теоретично изчисленият обем може да се приеме за еталон). При избора на точки, принадлежащи на елементите на „изработката“ и при това характерни такива, гъстотата им е съобразена с плътността при реално заснемане и привидна правилност на стените и/или тавана. Техните координати са изчислени в условна координатна система.



фиг. 2.68

В зависимост от положението на инструмента в отработеното пространство са възможни два случая:

- Заснемане на контурите на елементите на „изработката“ от една или няколко точки, когато инструментът е в отработеното пространство.
- Заснемане на контурите на елементите на „изработката“ от една или няколко точки, когато инструментът е извън отработеното пространство (напр. регистриране напредъка на галерия).

Определянето на обема на едно правилно/неправилно тяло може да се сведе до определяне обема на p на брой елементарни тела. В случая, предвид технологията за определяне координатите на характерните точки, най-подходящо елементарно тяло се явява триъгълната пирамида. Три от точките, образуващи нейната основа в пространството, са точки от елементите на изработката с определени координати при заснемането, а четвъртата – нейния връх - точка с координати, определени чрез снимачната технология. Броят и взаимното положение на елементарните тела са подчинени на алгоритъм, осигуряващ коректност и еднозначност на решението. Общият обем на тялото (в случая „изработката“) се явява сумата от обемите на елементарните тела (триъгълните пирамиди).

Обемът на всяка пирамида се определя по формулата:

$$V = \frac{SH}{3}, \quad (2.10)$$

където:

S - площ на основата на пирамидата;

H - височина на пирамидата.

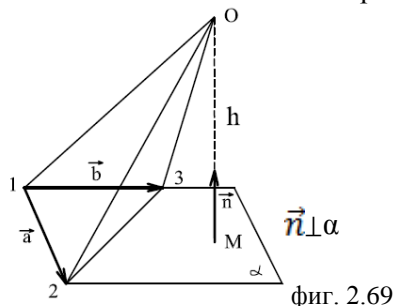
Чрез координатите на три заснети точки от контурите на изработките (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , (x_3, y_3, z_3) , се определя равнината на основата на всяка от пирамидите в пространството [32].

Поради характера на заснеманите повърхнини, равнината на основата на всяка от пирамидите е с различно пространствено положение, което налага изчислението да бъде извършвано за всяка една от пирамидите поотделно. По аналогични причини и височините на тези пирамиди имат различни стойности. За всяка от тях, височината се определя като разстояние в пространството между точка (върха на пирамидата) и равнина (равнината на нейната основа).

- Определяне на размера (стойността) на височината на пирамидата (разстоянието от върха ѝ до равнината на основата):

$$H = \frac{|Ax+By+Cz+D|}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}} - \text{разстояние от точка до равнина} \quad (2.13)$$

- Определяне координатите на петата на височината на пирамидата.



фиг. 2.69

$$\vec{a}(X_2 - X_1, Y_2 - Y_1, Z_2 - Z_1)$$

$$\vec{b}(X_3 - X_1, Y_3 - Y_1, Z_3 - Z_1)$$

$$\vec{n}(A, B, C)$$

$$\alpha = \begin{vmatrix} X - X_1 & Y - Y_1 & Z - Z_1 \\ X_2 - X_1 & Y_2 - Y_1 & Z_2 - Z_1 \\ X_3 - X_1 & Y_3 - Y_1 & Z_3 - Z_1 \end{vmatrix} \Rightarrow$$

$$\alpha : A(X - X_1) + B(Y - Y_1) + C(Z - Z_1) = 0, \quad (2.14)$$

където:

$$A = (Y_2 - Y_1)(Z_3 - Z_1) - (Z_2 - Z_1)(Y_3 - Y_1) \quad (2.15)$$

$$B = -\{(X_2 - X_1)(Z_3 - Z_1) - (Z_2 - Z_1)(X_3 - X_1)\} \quad (2.16)$$

$$C = (X_2 - X_1)(Y_3 - Y_1) - (Y_2 - Y_1)(X_3 - X_1) \quad (2.17)$$

$$h : \begin{cases} X = X_0 + At \\ Y = Y_0 + Bt \\ Z = Z_0 + Ct \end{cases} \quad (2.18)$$

$$\text{От (2.14)} \Rightarrow A(X_0 + At - X_1) + B(Y_0 + Bt - Y_1) + C(Z_0 + Ct - Z_1) = 0 \quad (2.19)$$

$$t = \frac{A(X_0 - X_1) + B(Y_0 - Y_1) + C(Z_0 - Z_1)}{A^2 + B^2 + C^2} \quad (2.20)$$

$$M : \begin{cases} X_M = X_0 + At \\ Y_M = Y_0 + Bt \\ Z_M = Z_0 + Ct \end{cases} \quad (2.21)$$

Площта на основата на всяка от пирамидите в пространството се изчислява по известните формули [56]:

$$S_{YZ} = \frac{1}{2} [Y_1(Z_2 - Z_3) + Y_2(Z_3 - Z_1) + Y_3(Z_1 - Z_2)] \quad (2.22)$$

$$S_{XZ} = \frac{1}{2} [Z_1(X_2 - X_3) + Z_2(X_3 - X_1) + Z_3(X_1 - X_2)] \quad (2.23)$$

$$S_{XY} = \frac{1}{2} [X_1(Y_2 - Y_3) + X_2(Y_3 - Y_1) + X_3(Y_1 - Y_2)] \quad (2.24)$$

$$S_{\Delta} = \sqrt{S_{YZ}^2 + S_{XZ}^2 + S_{XY}^2}, \quad (2.25)$$

където:

S_{YZ}, S_{XZ}, S_{XY} – площи на проекциите на пространствения триъгълник върху координатните равнини YZ, ZX и XY;

S_{Δ} – площ на основата на пирамидата в пространството.

- Оценка на точността.

Точността на координатите на измерените точки от горепосочените повърхнини се оценява по известни формули:

$$X_i = X_{\text{станция}} + S_i \cos \alpha_i \quad (2.26)$$

$$Y_i = Y_{\text{станция}} + S_i \sin \alpha_i \quad (2.27)$$

$$Z_i = Z_{\text{станция}} + I_{\text{станция}} + \Delta h_i \quad (2.28)$$

$$h_i = L_{ni} \cos Z_i, \quad (2.29)$$

където:

S_i – хоризонтално разстояние;

L_{ni} – наклонено разстояние.

$$m_{Xi}^2 = m_{X_{\text{ст}}}^2 + \cos^2 \alpha_i m_{Si}^2 + S_i^2 \sin^2 \alpha_i \frac{m_{\alpha_i}^2}{\rho^2} \quad (2.30)$$

$$m_{Yi}^2 = m_{Y_{\text{ст}}}^2 + \sin^2 \alpha_i m_{Si}^2 + S_i^2 \cos^2 \alpha_i \frac{m_{\alpha_i}^2}{\rho^2} \quad (2.31)$$

$$m_{Zi}^2 = m_{Z_{\text{ст}}}^2 + m_{Ii}^2 + \cos^2 Z_i m_{L_{ni}}^2 + L_{ni}^2 \sin^2 Z_i \frac{m_{Z_i}^2}{\rho^2} \quad (2.32)$$

Ако измерването се извършва само от една станция, от формули (2.30), (2.31) и (2.32) отпадат грешките на положението (в координатите) на тази станция (m_X, m_Y, m_Z, m_I). При заснемане от повече от една станция е необходимо да се оценят координатите им и съответно тези оценки ще участват в общата оценка на изчислените обеми.

- Оценката на точността на площта на основата за всяка от пирамидите в пространството се определя по формула [56]:

$$m_{S_{\Delta}}^2 = \frac{1}{2} \frac{S_{YZ}^2}{S_{\Delta}^2} m^2 \sum_{i=1}^n (Y_i^2 + Z_i^2) + \frac{1}{2} \frac{S_{XZ}^2}{S_{\Delta}^2} m^2 \sum_{i=1}^n (X_i^2 + Z_i^2) + \frac{1}{2} \frac{S_{XY}^2}{S_{\Delta}^2} m^2 \sum_{i=1}^n (X_i^2 + Y_i^2), \quad (2.33)$$

където:

X_i, Y_i, Z_i са редуцирани спрямо центъра на тежестта на триъгълника;

S_{Δ} – площ на основата на пирамидата в пространството, изчислена по формула (2.25);

m – средна квадратна грешка на координатите на центъра на тежестта на триъгълника в пространството, определена чрез оценките на трите точки, формиращи основата на пирамидата.

$$m = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (m_{X_i}^2 + m_{Y_i}^2 + m_{Z_i}^2)} \quad (2.34)$$

- Оценка на точността на височината на пирамидата:

Височината на пирамидата може да бъде определена чрез координатните разлики на върха на пирамидата и петата ѝ върху равнината на основата [55].

$$H = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}, \quad (2.35)$$

където:

X_1, Y_1, Z_1 – координати на върха на пирамидата;

X_2, Y_2, Z_2 – координати на петата на височината на пирамидата.

$$m_H = \sqrt{\begin{aligned} & \left(\frac{\partial H}{\partial X_1}\right)^2 m_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial X_2}\right)^2 m_{X_2}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial Y_1}\right)^2 m_{Y_1}^2 \\ & + \left(\frac{\partial H}{\partial Y_2}\right)^2 m_{Y_2}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial Z_1}\right)^2 m_{Z_1}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial Z_2}\right)^2 m_{Z_2}^2 \end{aligned}} \quad (2.36)$$

Оценката на изчисления обем за всяка една от пирамидите се получава чрез формули:

$$V = \frac{SH}{3} \quad (2.10)$$

$$m_V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial H}\right)^2 m_H^2} \quad (2.43)$$

$$m_V = \sqrt{\left(\frac{H}{3}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{S}{3}\right)^2 m_H^2} \quad (2.44)$$

Оценката на общия обем се получава чрез изчислените грешки за отделните пирамиди.

$$m_V^{\text{общ}} = \sqrt{m_{V_1}^2 + m_{V_2}^2 + \dots + m_{V_n}^2} \quad (2.45)$$

В разглеждания пример са изчислени обемите на две правилни тела с приети размери (10×20×5 m и 20×40×5 m). В общата оценка на обема участват грешките при измерване на хоризонтални ъгли, грешките при измерване на зенитни ъгли и грешките при измерване на дължини, (от една станция).

Оценката на определения обем в конкретния пример е изчислена в два варианта:

- Измерените дължини са оценени чрез зададената точност на дължинните измервания за използвания инструмент (TRIMBLE S6). $m_S = a + bS_{\text{km}}$, за примера $m_S = 2\text{mm}$.

- Измерените дължини са оценени чрез определените им средни квадратни грешки, в зависимост от вида на отразяващата повърхност и ъгълът между визирния лъч и отразяващата повърхност.

В разглежданите две примерни тела са формирани 70 елементарни пирамиди чрез които са получени общите обеми и техните оценки.

В табл. № 2.14, са представени резултатите от изчисленията за двата варианта за двете примерни тела.

Сравнителна таблица за грешките в обемите при различните минерали вследствие на грешки при маркшайдерските измервания

табл. 2.14

Фигура	Показател	Теор. ст-ст	Ст-ст при $m_s=0,002$	Гипс	Мрамор-шл.	Мрамор-гр.	Гнайс-шл.	Гнайс-гр.	Руден къс-шл.	Руден къс-гр.
10×20×5	S (m ²)	500.000	499.979							
	V (m ³)	1000.000	999.953							
	m _v (m ³)		0.268	4.227	1.653	1.231	1.225	1.177	1.394	1.176
	(m _v /V), %		0.027	0.423	0.165	0.123	0.123	0.118	0.139	0.118
20×40×5	S (m ²)	1400.000	1399.933							
	V (m ³)	4000.000	3999.815							
	m _v (m ³)		0.857	12.797	4.957	3.709	3.719	3.564	4.220	3.580
	(m _v /V), %		0.021	0.320	0.124	0.093	0.093	0.089	0.106	0.090

Изчислени са също така и обемите на двете примерни тела, при различните минерали, отчитайки разликите между еталонни и измерени разстояния. В табл. 2.15 са представени данни за разликите в обемите при двете примерни тела, в зависимост от разликите между еталонни и измерени разстояния.

Сравнителна таблица за разлики в обемите при различните минерали вследствие на разлики между еталонни и измерени разстояния

табл. 2.15

Фигура	Показател	Теор. ст-ст	Гипс	Мрамор-шл.	Мрамор-гр.	Гнайс-шл.	Гнайс-гр.	Руден къс-шл.	Руден къс-гр.
10×20×5	S (m ²)	500.000							
	S _{изм} (m ²)		503.632	501.195	500.820	500.475	500.088	500.401	500.465
	(S _{изм} -S)/S, %		0.726	0.239	0.164	0.095	0.018	0.080	0.093
	V (m ³)	1000.000							
	V _{изм} (m ³)		1011.049	1003.211	1002.089	1000.928	999.894	1000.445	1001.027
	(V _{изм} -V)/V, %		1.105	0.321	0.209	0.093	-0.011	0.045	0.103
20×40×5	S (m ²)	1400.000							
	S _{изм} (m ²)		1403.621	1400.909	1400.097	1399.758	1399.087	1400.226	1400.944
	(S _{изм} -S)/S, %		0.259	0.065	0.007	-0.017	-0.065	0.016	0.067
	V (m ³)	4000.000							
	V _{изм} (m ³)		4016.892	4004.642	4001.519	3999.727	3996.943	4001.396	4004.482
	(V _{изм} -V)/V, %		0.422	0.116	0.038	-0.007	-0.076	0.035	0.112

Поради избраните размери на примерните тела, върху получените оценки на изчислените обеми влияние оказват грешките при измерване на дължините в диапазона до 20 m, получени от експерименталното измерване. При по-големи размери на заснеманото пространство трябва да се отчита влиянието на стойностите им за съответните дължини.

В средата на софтуерния продукт Microsoft Excel, чрез използване на програмния език Visual Basic for Applications (VBA) [30], е създадена програма чрез която са определени стойности на минимална и максимална грешка в обемите на пирамидите, породени от грешки в координатите на точките от основата им. Стойностите за обемите са получени при зададени изчислени оценки на координатите на точките от основата на всяка от елементарните пирамиди, чрез вариране на стойностите на грешките на трите точки (9³ комбинации). В таблица 2.16 са представени данните от изчислението за различните изследвани минерали, за едното експериментално тяло с размери 10×20×5 m.

табл. 2.16

ОБЕМ (m3)	V _{теоретичен} = 1000.000		
	V _{измерен}	V _{минимален}	V _{максимален}
	Гипс		
Обем (m3)	999.953	975.799	1024.341
Разлика (m3)		-24.154	24.388
(V/V _{теор.}), %		-2.415	2.439
	Мрамор-шл.		
Обем (m3)	999.953	992.029	1007.901
Разлика (m3)		-7.925	7.948
(V/V _{теор.}), %		-0.792	0.795
	Мрамор-гр.		
Обем (m3)	999.953	994.095	1005.824
Разлика (m3)		-5.859	5.871
(V/V _{теор.}), %		-0.586	0.587
	Гнайс-шл.		
Обем (m3)	999.953	994.764	1005.152
Разлика (m3)		-5.190	5.199
(V/V _{теор.}), %		-0.519	0.520
	Гнайс-гр.		
Обем (m3)	999.953	995.196	1004.719
Разлика (m3)		-4.757	4.765
(V/V _{теор.}), %		-0.476	0.477
	Руден къс-шл.		
Обем (m3)	999.953	994.014	1005.905
Разлика (m3)		-5.939	5.952
(V/V _{теор.}), %		-0.594	0.595
	Руден къс-гр.		
Обем (m3)	999.953	994.521	1005.396
Разлика (m3)		-5.432	5.443
(V/V _{теор.}), %		-0.543	0.544

При подобен анализ за конкретни минни обекти, сходимостта на получените стойности следва да се сравнява с нормите в Техническата маркшайдерска инструкция [46] (табл.18), където се посочват допустими разлики в обемите при заснемане на празни пространства (за рудни находища, вариращи в границите от 3 до 8 % в зависимост от системата на разработване).

Изводи

1. От представените изчислени обеми за двете примерни тела, при различните минерали, в зависимост от разликите между еталонни и измерени разстояния, най-голяма е разликата спрямо теоретично изчисления обем при минерала гипс.

2. Преди извършване на измервания в среда формирана от повърхности различни от изследваните образци, е препоръчително да бъдат извършвани предварително подобни изследвания и изчисления за конкретен минен обект.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗМЕРВАНИЯ В РУДНИЧНИ УСЛОВИЯ – РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

3.1. Маркшайдерска снимка на хоризонтална изработка в рудник „Крушев дол“ чрез различни технологии.

Хоризонталната изработка – гал. 1 хор. 450 е заснета чрез тотална станция SOKKIA SET 5 и електронна ролетка BOSCH, налични в маркшайдерския отдел на рудника. Възможностите на тоталната станция допускат измерване на дължини само до отражателна призма. Полученият резултат за обема скална маса от гал. 1 е 483 m^3 , който е изчислен вземайки предвид определените размери на отделни напречни сечения и разстоянията между тях.

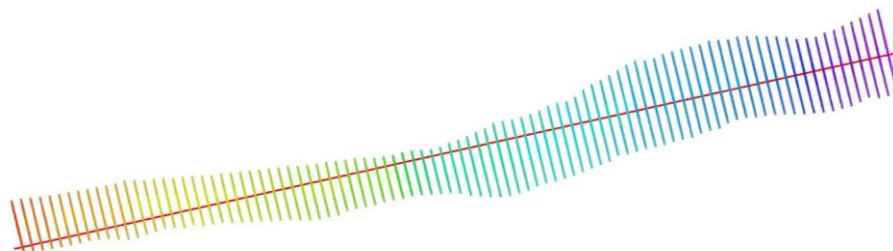
С цел оценка и на отражателната среда (формирана от различни по вид и грапавост скали), е извършено заснемане с тотална станция Trimble S6.

След първоначалното настройване и ориентиране на станцията, е извършено сканиране на част от галерията със софтуера Tunnels (допълнителен програмен модул към базовия софтуер на инструмента). Сканирането е извършено по пространствено дефинирани профили и зададени стойности на възможни отклонения в различните направления. След старта на програмата, се оказва, че поради силно неправилната форма на галерията и отклоненията на проектното от действителното ѝ сечение, този метод на работа е неприложим.

По-нататъшното заснемане на изработката е извършено с приложението за сканиране на повърхнини, като е използван методът „Rectangular plane“ за дефиниране на равнина по 3 точки [48].

Последващата обработка на резултатите от снимката е извършена в средата на софтуера Trimble RealWorks. Изработени са:

- 3D напречни профили на изработката (94 на брой) – основно сечение 0.5 m;



фиг.3.7

- 2D напречни профили (склопени профили) на изработката – основно сечение 0.5 m;
- Надлъжни профили на пода и тавана на изработката;
- 3D повърхнина на изработката.

Полученият резултат за обема скална маса от гал.1, при изчисляване чрез напречни сечения през 2 m разстояние е 408 m^3 .

Изводи и анализ на получените резултати

1. Информацията за положението на стените, тавана и пода на галерията е най-богата от автоматизираното заснемане на изработката, всяка от 1900-те точки е с определени координати и принадлежи на едно от 94-те броя напречни сечения.

2. Всяко сечение е определено с поне 20 точки, което дава достатъчно ясна представа за формата му и достатъчно точна стойност за големината му. Стойността на площите на отделните сечения варира в твърде широки граници от 5.36 m^2 до 13.68 m^2 . Тази изменчивост на напречното сечение по протежение на галерията, обуславя и разликата в обемите иззета и извозена минна маса, определени чрез маркшайдерска снимка по двата метода.

Сравнителният анализ, основан на получените резултати на заснетата галерия 1, хор. 450, чрез двата гореописани метода, категорично сочи предимствата на втория. Тези предимства се обуславят от:

- ✓ *Детайлността на снимката*, извършена чрез тотална станция Trimble S6. – Красноречива е разликата между определените обеми иззета минна маса по двата метода – около 75 m^3 , което клони към 18 %.
- ✓ *Разходът на време за извършване на снимката*. – Вторият метод съкращава неколкостранно необходимото време, особено при коректна и всеобхватна предварителна подготовка.

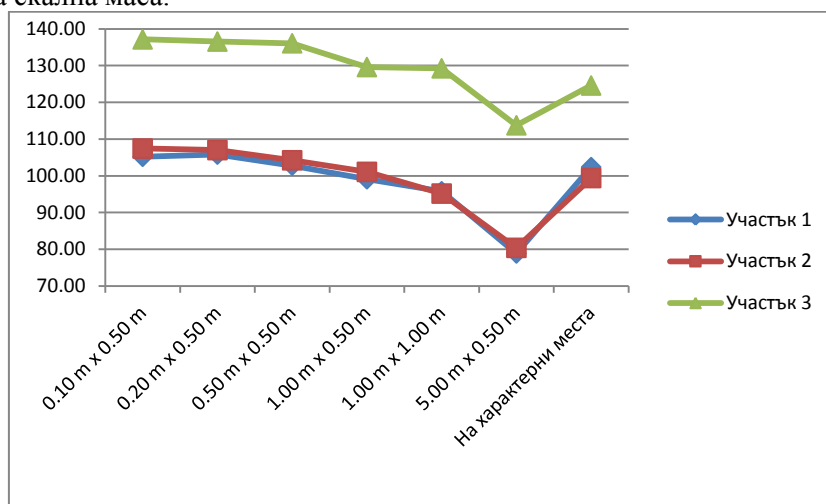
- ✓ *Разходът на труд от страна на маркшайдера и замерчика.* – Първият метод безспорно изисква много повече придвижване на маркшайдера и най-вече на замерчика.
- ✓ *Възможностите на софтуера на инструмента за заснемане на изработки със значими отклонения от проектното сечение.* – Този режим на работа на инструмента, близък до функцията сканиране на по-висок клас инструменти (скенери) позволява успешното му прилагане в описаните условия.

3.2. Маркшайдерска снимка на капитална изработка при различна детайлност на информацията.

Обектът в който е изпълнено измерването е Горубсо Златоград АД, рудник „Ерма река”, участък „Метливко”. Извършено е заснемане в три характерни участъка от капитална изработка. Един участък с железобетонен крепеж (Участък 3) и два участъка без крепеж (Участък 1 и Участък 2). В незакрепените участъци преобладаващите скали са амфибол-биотитови гнайси, повърхността им е неравна и силно овлажнена.

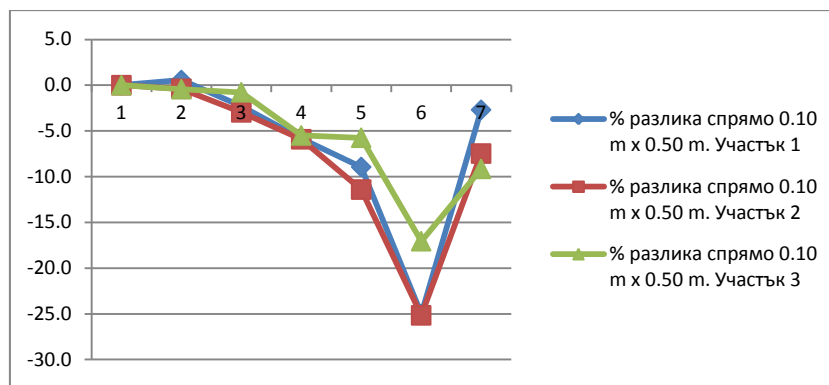
Заснемането е извършено с тотална станция Trimble S6, като е използвано вграденото в инструмента приложение за сканиране на повърхнини [48]. Използван е методът „Rectangular plane”. Във всеки от трите участъка от изработката, сканирането е извършено при разстояния между точките: $0.10\text{ m} \times 0.50\text{ m}$, $0.20\text{ m} \times 0.50\text{ m}$, $0.50\text{ m} \times 0.50\text{ m}$, $1.00\text{ m} \times 0.50\text{ m}$, $1.00\text{ m} \times 1.00\text{ m}$ и $5.00\text{ m} \times 0.50\text{ m}$. Извършено е също така и заснемане на отделни точки на характерни места, избирани по преценка на маркшайдера. Заснети са общо над 26000 точки в трите участъка. Изчислени са обеми скална маса в различните участъци.

На фиг. 3.14 са представени данните от изчисляването на обеми скална маса, в зависимост от разстоянието между точките при заснемане. Забелязва се като основна тенденция, че с увеличаване на разстоянието между точките в отделните равнини, намалява стойността на изчисленото количество иззета скална маса.



фиг. 3.14. Обем иззета скална маса в различните участъци.

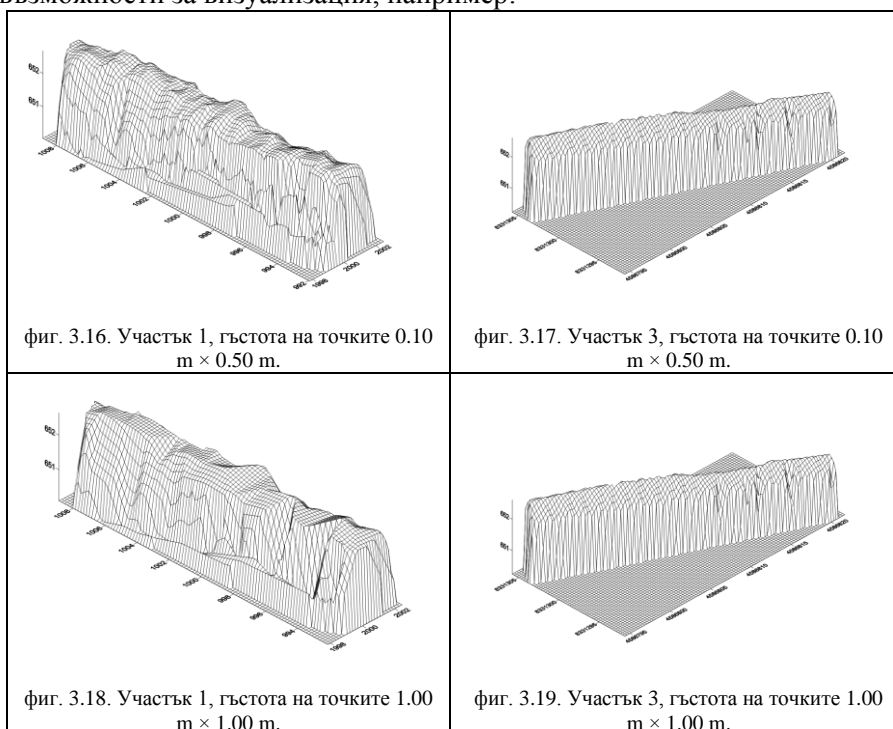
На фиг. 3.15 е представена процентната разлика в изчислените количества скална маса в трите участъка, спрямо повърхнината с най-голяма гъстота на точките ($0.10\text{ m} \times 0.50\text{ m}$), условно приета за еталон. От графиката се вижда, че и в трите участъка, при сканиране с разстояния между точките: $0.10\text{ m} \times 0.50\text{ m}$, $0.20\text{ m} \times 0.50\text{ m}$ и $0.50\text{ m} \times 0.50\text{ m}$, разликата в изчислените обеми е до 3%. При увеличаване на разстоянието между заснеманите точки процентната разлика нараства. Също така, в участък 3, процентната разлика в обеми е по-малка, което се дължи на наличието на железобетонен крепеж (относително гладък), респективно по-малката грапавост на стените на изработката.



фиг. 3.15. Процентна разлика в обемите между еталона и отделните варианти.

От двете фигури може да се забележи, че при заснемане чрез отделни точки на характерни места, избирани по преценка на маркшайдера, което е най-често прилаганият метод при извършване на маркшайдерска снимка, количествата скална маса и процентната разлика в обемите не се подчиняват на някаква обща тенденция. При този начин на заснемане, качеството на извършената работа зависи най-вече от опита и рутината на маркшайдера, както и от способността му да определя характерните точки, необходими за точното описание на контурите на изработката в подобни условия.

Връзката между характера на повърхнините и изчислените обеми може да бъде илюстрирана чрез различни възможности за визуализация, например:



фиг. 3.16. Участък 1, гъстота на точките 0.10 m x 0.50 m.

фиг. 3.17. Участък 3, гъстота на точките 0.10 m x 0.50 m.

фиг. 3.18. Участък 1, гъстота на точките 1.00 m x 1.00 m.

фиг. 3.19. Участък 3, гъстота на точките 1.00 m x 1.00 m.

На фиг. 3.16 и фиг. 3.17 са представени 3D повърхнини на Участък 1 и Участък 3, при заснемане с гъстота на точките 0.10 m x 0.50 m.

На фиг. 3.18 и фиг. 3.19 са представени 3D повърхнини на Участък 1 и Участък 3, при заснемане с гъстота на точките 1.00 m x 1.00 m.

За Участък 2, резултатите са идентични с тези при Участък 1. От фигурите се забелязва, че при участъците, в които стените на изработката са незакрепени и отражателната среда е формирана от грапави скали, при по-малко разстояние между заснеманите точки (0.10 m x 0.50 m), повърхността е много по-детайлна.

Приложеният подход и конкретните условия провокират извършване на анализ на грапавостта на повърхностите (тавана и стените) в Участък 1. Изчислени са коефициенти на грапавост по надлъжни профили в стените и тавана на изработката (през 0.5 m и 1.00 m – в зависимост от настройките избрани при заснемане), като профилите (при разстояние между заснеманите точки 0.10 m × 0.50 m) са показани на фиг. 3.22 и фиг. 3.23. Изчисленият среден коефициент при отделните интервали между точките е представен в табл. 3.2.

Коефициент на грапавост:

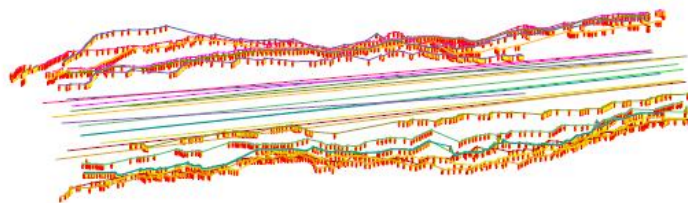
$$K=L / S, \tag{3.1}$$

където:

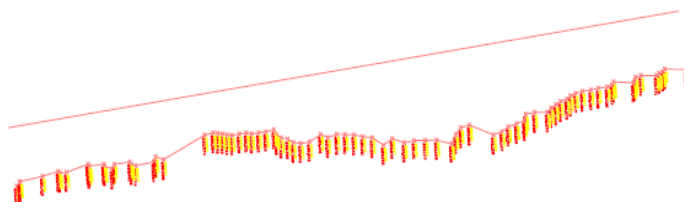
L – дължина на начупения контур, свързващ точките в отделните профили по стените и тавана на изработката;
S – дължина на линията свързваща двете крайни точки на профила.

табл. 3.2

Интервал между точките	Средна стойност на коефициент на грапавост
0.10 m × 0.50 m	1.06
0.20 m × 0.50 m	1.04
0.50 m × 0.50 m	1.02
1.00 m × 0.50 m	1.01
1.00 m × 1.00 m	1.01



фиг. 3.22. Определяне на коефициенти на грапавост по профили.



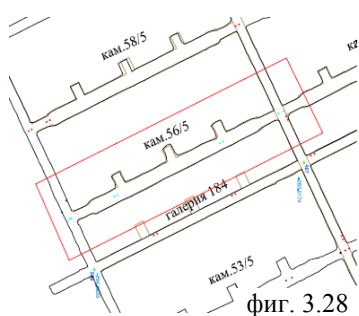
фиг. 3.23. Определяне на коефициент на грапавост за един профил.

Общи изводи и предложения

От извършения анализ на резултатите от измерванията дотук могат да бъдат формулирани някои изводи и предложения:

1. Възможностите на използвания инструмент (и на тези от същия клас) позволяват успешно прилагане в описаните условия.
2. При заснемане на минни изработки с повишена грапавост на повърхностите, е удачно да бъде извършвано сканиране с по-малки разстояния между точките, което ще позволи по-точното определяне на добитите обеми минна маса, като оптималното разстояние е добре да се съобрази и с времето необходимо за извършване на снимката, както и с изискванията на нормативната база за осигуряване на достатъчна точност.
3. Определянето на оптимален вариант за заснемане на изработките изисква извършване на систематизирането им по отношение отклонение от проектното сечение, респ. грапавост на стените.
4. Необходимо е да се добави, че при извършване на измерванията са срещнати и някои трудности при заснемане на точки в участъци с по-висока овлажненост на скалите, както и в участъците с повишена грапавост. Изложените проблеми, както и влиянието на рудничната атмосфера, ще бъдат конкретизирани в бъдещи изследвания и анализи.

3.3. Заснемане на камера за добив на гипс в находище „Кошава”



Извършено е заснемане на камера за добив на гипс (кам. 56/5 – фиг. 3.28), чрез безрефлекторна технология за измерване. Заснемането е извършено с тотална станция Trimble S6, по два различни метода:

- Посредством вграденото в инструмента приложение за сканиране на повърхнини, като е използван методът „Rectangular plane” [48]. Сканирането е извършено при разстояния между точките $0.50\text{ m} \times 0.50\text{ m}$.

- Чрез заснемане на отделни точки на характерни места от контура на камерата.

По метода „Rectangular plane” са заснети общо 7541 точки (за около 8 часа), а при заснемането на характерни точки от контура на изработката – 666 точки (за малко от 2 часа).

Изчислени са обемите иззета минна маса, като резултатите са представени в табл. 3.3.

табл. 3.3

Метод на заснемане	Брой точки	Изчислен обем, m^3
„Rectangular plane”	7541	5336.78
Заснемане на характерни точки	666	4532.59
Разлика		804.19

Изводи

При анализиране на данните от измерването се установява, че:

1. При измерване по метода „Rectangular plane” заснемането е много по-детайлно. От своя страна, методът при който се заснемат само отделни точки на характерни места от контура на камерата многократно съкращава времето за работа.

2. При извършване на маркшайдерска снимка на минни изработки трябва внимателно да бъде преценен методът по който ще бъде извършено заснемането, съобразно изискванията на нормативната база за осигуряване на достатъчна точност, но също така трябва да бъде предвидено и необходимото време за заснемане.

3. Получената разлика в изчислените обеми по двата метода е 804.19 m^3 , което е около 15 %, което доказва необходимостта от прецизно планиране на маркшайдерските работи. Разликата се дължи на повишената грапавост на стените на камерата за добив на гипс, както и на показаните в предишните изследвания големи отклонения от измерена еталонна дължина при безрефлекторно заснемане на този минерал.

3.4. Заснемане на капитална изработка в рудник „Челопеч”

Извършено е заснемане на капитална изработка в рудник „Челопеч”. В конкретно заснетия участък има крепеж – торкрет бетон. Заснемането е извършено по два метода:

- С тотална станция Trimble S6, по метода „Rectangular plane” [48], при разстояния между точките $0.50\text{ m} \times 0.50\text{ m}$.

- Чрез системата CMS - Cavity Monitoring System [10], чрез която е извършено сканиране на контурите на изработката.

При заснемането с тотална станция Trimble S6 по метода „Rectangular plane” са регистрирани 3829 точки (за около 3.5 часа), а при сканирането чрез системата CMS – 153282 точки (за около 20 минути).

От така извършените две заснемания са изчислени обемите иззета скална маса, представени в табл.3.4 и фиг. 3.35

табл. 3.4

Метод на заснемане	Брой точки	Изчислен обем, m^3
„Rectangular plane” - Trimble S6	3829	1037.62
Сканиране - CMS	153282	1023.40
Разлика		14.22

На фиг. 3.34 е представено съвместно изображение на заснетите елементи на изработката по двата метода.



фиг. 3.34

Изводи

Извършено е сравнение между две различни технологии.

1. Получената разлика в изчислените обеми по двата метода е 14.22 m^3 , което е около 1.5 %. Това ни дава основание да заключим, че двете технологии са еднакво приложими в описаните уловия.

2. След анализиране на резултатите трябва да се отбележи следното: всяка технология за измерване има свои положителни и отрицателни страни: различна детайлност, различно време за извършване на измерванията, различен брой специалисти, необходими при извършване на измерването.

3. При заснемане на недостъпни пространства трябва да бъдат отчетени конкретните условия в минната изработка, предназначението на снимката и задачите, които ще бъдат решавани по резултатите от нея, както и да бъде правилно преценено приложението на един или друг метод на заснемане.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И НАМЕРЕНИЯ ЗА БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

В дисертационната работа се разглежда един актуален проблем, който е от съществено значение в съвременната маркшайдерска практика.

Предвид извършените изследвания може да се отбележи, че резултатите от експерименталните измервания доказват възможностите за успешното приложение на безрефлекторните технологии при определяне на разстояния до недостъпни повърхнини, при различни по вид и качества отражателни повърхности и различен ъгъл между визирния лъч и отразяващата повърхност, но е необходимо внимателно преценяване на вероятните граници на надеждност на конкретно измерване в определена минна изработка с отчитане влиянието на атмосферните параметри.

Намерения за бъдещи изследвания

- Извършване на класификация на минните изработки според свойствата и вида на скалите, начина на прокарване, закрепване и т.н.

- Класифициране на минните изработки по отношение отклонение от проектното сечение, респ. грапавост на стените и определяне на оптимален вариант за заснемане (обосновка на разстоянията между подробните точки при извършване на снимката). Изчисляване на обеми отработени пространства при различна грапавост на стените на минните изработки.

- Дефиниране на методика за заснемане на повърхнини в участъци с по-висока овлажненост на скалите и с повишена грапавост.

- Извеждане на емпирични формули за оценка на влиянието на атмосферните промени (температура, налягане, влажност и запрашеност) в руднична среда върху изчислените обеми.

ПРЕТЕНЦИИ ЗА ПРИНОСИ:

Приносните моменти в дисертационното изследване се съдържат в изпълнението на следните задачи:

1. Извършено е литературно проучване на видовете подземни празнини, причините за образуването им, възможност за достъп/пряк достъп до тях и развитието на методите за заснемане и документиране.

2. Изследвани са възможностите за приложение на безрефлекторни технологии, чрез извършване на експериментални линейни измервания до разнородни обекти (образци). Анализирано е влиянието на вида на отражателната повърхност, ъгъла между нея и визирната линия и средата, в която се извършват измерванията, върху точността на получените резултати в руднични условия.

3. Предложен е метод за изчисляване обема на иззето пространство (реализирана авторова идея - чрез триъгълни пирамиди) и за оценка на точността му в зависимост от вида на отражателната повърхност и условията на измерване. Създадена е програма за определяне стойностите на минимална и максимална грешка в обемите на елементарни тела, съставлящи идеализиран модел на минна изработка, чрез предварително определени грешки в координатите на точките от основата им.

4. Оценени са възможностите за приложението на съвременна техника и технологии, в участъци с различни по вид и грапавост отражателни повърхности. Извършен е анализ на получените резултати от изчислени обеми отбита и извозена минна маса, а също и сравнение на различни снимачни технологии за определяне на обеми в минни изработки.

5. Предложен е метод за определяне грапавостта на повърхнините от контура на реална минна изработка. Изчислени са коефициенти на грапавост по надлъжни профили в стените и тавана на изработката. Изчислен е среден коефициент при определени интервали на заснемане между подробните точки, въз основа на който предстои да се направи препоръка относно оптимални разстояния между подробните точки при заснемане.

ПУБЛИКАЦИИ СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

1. Бегновска, Милена и др. Маркшайдерска снимка на хоризонтална изработка в рудник „Крушев дол“ чрез различни технологии /Милена Бегновска, Росен Петков, Десислава Атанасова.// Четвърта национална научно-техническа конференция с международно участие “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, 23 – 26 септември 2014, Девин, България, с. 254-261.

2. Бегновска, Милена и др. Експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер при наличие на аерозол по трасето /Милена Бегновска, Пламен Савов.// Геология и минерални ресурси (София), 2015, № 6 , с. 31-33.

3. Бегновска, Милена. Маркшайдерска снимка на капитална изработка при различна детайлност на информацията. Пета национална научно-техническа конференция с международно участие “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, 04 – 07 октомври 2016, Девин, България, с. 101-106.

SUMMARY

METHODS AND MEANS FOR MINE SURVEYING MAPPING OF INACCESSIBLE SURFACES

Milena Doncheva Begnovska

In geodetic and mine surveying practice quite often is necessary to be measured distances to inaccessible points. The reasons are varied - ensuring safety, impossible or limited access to surveying surfaces etc. In such cases are used reflectorless technologies. At the same time to provide objective and accurate data, there are specific requirements for this type of measurements. It is necessary to have regard to the physical laws of reflection of light and optical properties of materials.

The accuracy of the measured distance depends on the properties of the reflecting surface of its roughness, color, dust availability, humidity. Influence the accuracy of measurements has been also angle between referring beam and the reflecting surface. When performing measurements in mines (both - open cast and underground), it is influenced by the specifics of the mine atmosphere.

It have to be noted, that there are not enough studies on the reliability of reflectorless measurements and their application in practice. There are evidences of the technical capabilities of the equipments, but variations of measurement conditions and specifics of the environment (incl. mining), lead to result quality change.

It is necessary more detailed study and further defining the sources of error and the relationship between them in order to ensure the required accuracy of the data.

Some obtained experimental results of linear measurements performed on a group of various objects at different angles between the axis of radiation and the reflection surface to which the distance is measured, as well as under different weather conditions are described in the thesis.

Also, the results of the measurements of distinctive sections of the horizontal drift in different underground mine by various surveying technologies, are described in the thesis. Comparative analysis was accomplished of the measurement results.

ЛИТЕРАТУРА (по реда на цитирането ѝ в автореферата)

17. Казикаев Д. М., Анцибор В. Я. Маркшейдерская съемка пустот на рудниках. М., “Недра”, 1977.
34. Шеховцов Г. А. Методы и технические средства изучения подземных пустот, Министерство образования Российской Федерации, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород - 2000.
15. Иванова И. Методи за снимка на големи подземни празни пространства. Докторска дисертация. София, 1992.
41. Pflipsen Bettina. Volume computation - a comparison of total station versus laser scanner and different software, Master’s Thesis in Geomatics, University of Gävle, Department of Technology and Built Environment, November, 2006.
35. Amezene Reda, Bekele Bedada. Accuracy analysis and Calibration of Total Station based on the Reflectorless Distance Measurement, Master of Science Thesis in Geodesy, School of Architecture and the Built Environment, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, December, 2012.
36. Ashraf A.A. Beshr a, Islam M. Abo Elnaga. Investigating the accuracy of digital levels and reflectorless total stations for purposes of geodetic engineering, Alexandria University, Alexandria Engineering Journal, Volume 50, Issue 4, December 2011, Pages 399–405.
37. Hubeny K. Ein photogrammetrisches Verfahren zur Aufnahme von Tunnelprofilen. Photographische Korrespondenz 90, 12/1954, 203-208.
38. Leigh Herbert Coaker. Reflectorless Total Station Measurements and their Accuracy, Precision and Reliability, Towards the degree of Bachelor of Spatial Science (Surveying), University of Southern Queensland, October, 2009.
43. Thomas Busuyi Afeni. An approach to eradicate the effects of atmospheric variations on total station distance measurement in a surface mine environment, Doctor of Philosophy in Engineering (Mining) Thesis, Faculty of Engineering and the Built Environment, University of the Witwatersrand, Johannesburg, 2011.
45. Yuriy Reshetyuk. Investigation and calibration of pulsed time-of-flight terrestrial laser scanners, Licentiate thesis in Geodesy, Royal Institute of Technology (KTH) Department of Transport and Economics Division of Geodesy, Stockholm, October, 2006.
25. Назаров И. А. Исследование влияния угла падения лазерного луча и отражающих свойств поверхности на точность измерения расстояний безотражательным электронным тахеометром// Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 2 (16).
26. Назаров И. А. Исследование влияния на точность измерения безотражательным электронным тахеометром угла падения лазерного луча и отражающих свойств поверхности. Сборник трудов МГСУ 2006 г. Москва 2006.
29. Петров Д., Михайлов П. Съвременни технически средства и технологии за събиране на геопространствени данни за местността. Университетско издателство „Епископ Константин реславски“, Шумен, 2014.
14. Зверева С. В. Задачник по общей метеорологии. Л., Изд. “Гидрометеиздат“, 1980.
32. Стоилова С. Учебно пособие по аналитична геометрия, София, 2013.
56. uacg.bg/filebank/att_5655.pdf
55. <https://www.matematika.bg/>
30. Роман С. Да напишем Макроси в Excel. ИК „ЗеСТ Прес“, ЕООД, София, 2000.
46. Техническа Маркшейдерска Инструкция. С., Техника.1969.
47. Брошури с информация за техническите параметри на използваната апаратура, предоставени от „Солитех“ АД, официален представител на Trimble.
48. <http://apps.trimbleaccess.com/help/en/TrimbleAccess=2016.02>
10. Грунин А. Г. Применение лазерной сканирующей системы CMS для маркшейдерских работ. Геопрофи, 2, 2003, с. 30-31.