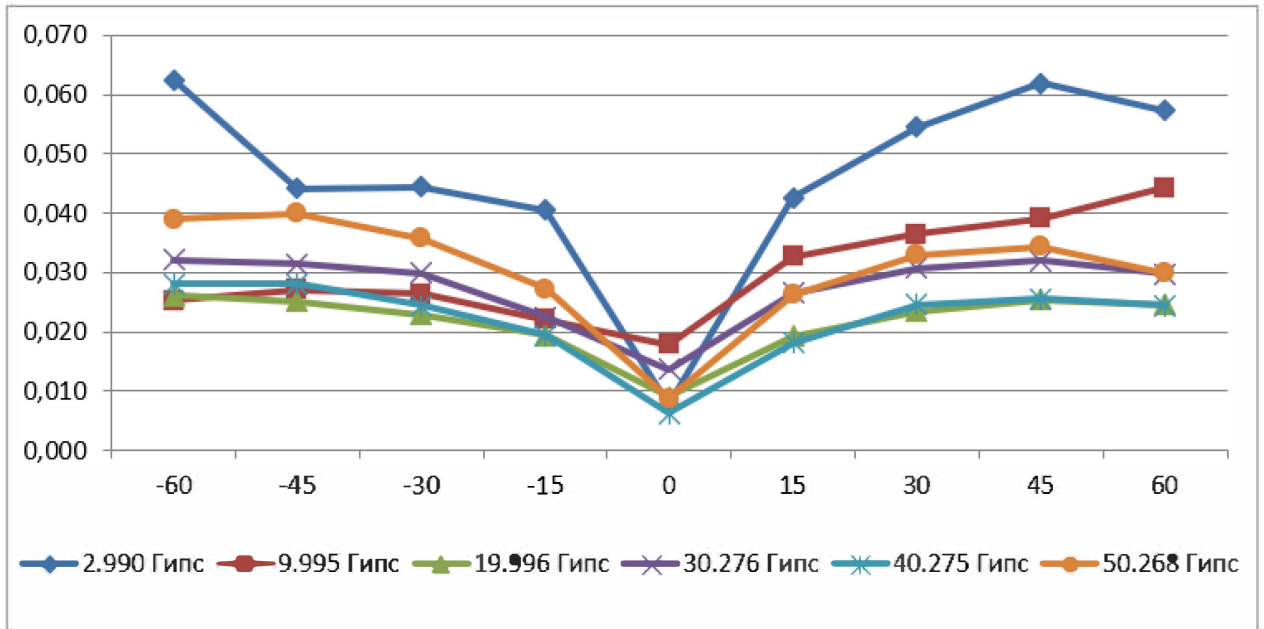


БЕЗРЕФЛЕКТОРНИ ТЕХНОЛОГИИ В МАРКШАЙДЕРСКАТА ПРАКТИКА



Милена Бегновска

**БЕЗРЕФЛЕКТОРНИ ТЕХНОЛОГИИ В
МАРКШАЙДЕРСКАТА ПРАКТИКА**

София, 2024

Автор: доц. д-р инж. Милена Дончева Бегновска

**БЕЗРЕФЛЕКТОРНИ ТЕХНОЛОГИИ В
МАРКШАЙДЕРСКАТА ПРАКТИКА**

Катедра „Маркшайдерство и геодезия“

Минно-Геоложки Университет „Св. Иван Рилски“

Българска, първо издание

Рецензент: доц. д-р Александър Цонков

Научен редактор: проф. д-р Станислав Топалов

ISBN (print): 978-954-353-453-1

ISBN (online): 978-954-353-486-9

Издателска къща „Св. Иван Рилски“ на МГУ „Св. Иван Рилски“

София, 2024

СЪДЪРЖАНИЕ

Предговор	5
1. Безрефлекторни технологии в маркшайдерската практика – общи сведения и проблеми	6
1.1. Класификация на видовете подземни пространства (празнини), подлежащи на маркшайдерско заснемане.....	6
1.2. Източници на грешки при определяне пространственото положение на подземните недостъпни повърхнини.....	8
1.3. Руднична атмосфера.....	9
1.4. Показатели на някои отражателни повърхности.....	11
1.5. Методи за заснемане на недостъпни подземни пространства.....	12
1.5.1. Полярен (тахиметричен) метод.....	17
1.5.2. Фотограметричен метод.....	17
1.5.3. Телеметричен метод.....	18
1.5.4. Радиометричен метод.....	18
1.5.5. Локационен метод.....	18
1.5.5.1. Звуколокационна снимка на камери образувани чрез излужване през сондажи и на карстови образувания.....	19
1.5.5.2. Звуколокационна снимка и контрол на минните работи при подводно разработване на находищата.....	19
1.5.6. Наземни системи за лазерно сканиране.....	21
1.5.7. Георадари.....	22
1.6. Методи за определяне обема на подземните празнини.....	22
2. Експериментални измервания в лабораторна и естествена среда – резултати и анализ	26
2.1. Анализ на резултати при безпризмено измерване с лазерен далекомер до обекти с различни оптични свойства.....	30
2.2. Анализ на резултатите от измерване на разстояния с лазерен далекомер до образци с различни отражателни характеристики.....	38
2.3. Експериментални измервания на разстояния с лазерен далекомер при наличие на аерозол по трасето.....	45
2.4. Експериментално изследване и анализ на грешки, дължащи се на разстоянието и албедото при безрефлекторни измервания.....	48
2.5. Експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер до образци от строителни материали.....	56
2.6. Експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер до рудни и скални образци, и минерална суровина с кристална структура.....	60

2.6.1. Влияние на вида на отражателната повърхност и условията на измерване върху резултатите от маркшайдерските наблюдения.....	68
2.6.2. Определяне на обема при маркшайдерско заснемане на недостъпни повърхнини, в участъци с различни геоложки характеристики, чрез пространствени триъгълни пирамиди. Оценка на точността.....	81
3. Експериментални измервания в руднични условия – резултати и анализ.....	98
3.1. Маркшайдерска снимка на хоризонтална изработка в рудник „Крушев дол“ чрез различни технологии.....	98
3.2. Маркшайдерско заснемане контурите на капитална минна изработка при различна детайлност на информацията. Технология и резултати.....	102
3.3. Заснемане на камера за добив на гипс в находище „Кошава“.....	110
3.4. Заснемане на капитална изработка в рудник „Челопеч“.....	113
Заключение.....	116
Литература.....	117

Предговор

Успешното решаване на различни минно-технически задачи до голяма степен зависи от качеството на маркшайдерското заснемане и съставяне на точен и актуален модел на минните изработки, позволяващ ефективно вземане на управленски решения. Нарастващите изисквания към осигуряване на безопасност на работата, по-висока ефективност на полевите измервания, и получаване на обективна маркшайдерска информация с по-висока точност, убедително аргументират използването на съвременни снимачни технологии.

В резултат от минната дейност или от въздействието на различни природни фактори в земните недра могат да се образуват празни пространства (празнини). Част от тях са недостъпни или с големи размери по площ и височина. Точното определяне на местоположението, размерите и формата им в пространството осигурява надеждно проектиране, възможност за спазването на основни принципи и безопасно водене на минните работи.

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.

Книгата е създадена на базата на защитен дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен „Доктор“ със заглавие „Методи и средства за маркшайдерско заснемане на недостъпни повърхнини“. Тя представя експериментално изследване и анализ на текущи проблеми, възникващи при заснемане на недостъпни повърхнини в подземни празни пространства, и изследване на възможностите за приложение на съвременните снимачни технологии при извършване на измервания в руднична среда.

Книгата може да се използва като учебно помагало за студентите от специалност „Маркшайдерство и геодезия“ при МГУ „Св. Иван Рилски“, както и от специалисти с приложни интереси в областта на маркшайдерската практика.

1. Безрефлекторни технологии в маркшайдерската практика – обща сведения и проблеми

В геодезическата и маркшайдерската практика, 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 се налага извършване на 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.

Голямото разнообразие на формите на различните обекти и на цвета, структурата и грапавостта им, както и на взаимното положение между тях и далекомера, поставят въпроса за качеството на постигнатите резултати при извършване на линейни измервания.

Допълнително обстоятелство при стремежа за постигане на максимална и удовлетворителна точност се явява и 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. в средата, в която те се провеждат.

1.1. Класификация на видовете подземни пространства (празнини), подлежащи на маркшайдерско заснемане [21]

Според начина на тяхното образуване

- Естествено образувани празнини.

- Карстови празнини.
- Тектонски пукнатини и разломи.

- Изкуствено създадени празнини (техногенни).
 - Празнини, образувани при отбиване на стерилна скална маса/полезно изкопаемо с пробивно взривни работи.
 - Тунели, камери с различно предназначение, минно-проходчески работи, изработки за движение на хора, минна механизация и машини.
 - Образувани при отбиване на руда в камери с магазиниране на минната маса.
 - Образувани при отбиване на руда в открити камери.
 - Празнини, образувани при взривяване на дълбоки сондажи или камерни заряди.
 - Образувани при отбиване на руда в камери с магазиниране на минната маса.
 - Образувани при отбиване на руда в открити камери.
 - Празнини от камуфлетно взривяване, рудоспусъци и др. подобни.
 - Празнини, образувани при самообрушаване.
 - Подземни празнини, образувани при обрушаване на скалите.
 - Мулда, образувана от обрушаване на повърхността вследствие влиянието на минните работи.
 - Празнини, образувани от добив чрез излужване на полезните изкопаеми (геотехнологични).
 - С подземни изработки.
 - Със сондажи прокарани от земната повърхност.
 - Празнини, образувани чрез механично изрязване на скалите.
 - Минно-проходчески изработки.
 - Камери в солни шахти.
 - Вертикални шахти, прокарани чрез пробиване с шнекови уредби.

Според формата на празнините

- Геометрично правилни.
- Геометрично неправилни.

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.

От гледна точка на маркшайдерската снимка

- Достъпни.

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

- Празнини, при които Правилникът за безопасност на труда позволява присъствие на оператор в тях.
 - При камерно-стълбова система на разработване, транспортни изработки и тунели с голямо сечение.
 - Камери за помпени (водоотливни) инсталации, специални рудоспусъци, трошачни комплекси, подземни бункери и други.
- Празнини с възможен достъп на инструмент през специален проходен отвор.
 - При специални методи на добив на полезни изкопаеми, подземно излужване на соли и руди, газификация на въглища и др.
 - Подземни камери за съхранение на нефт, газ и други добити суровини.
 - Дълбоки рудоспусъци с голямо сечение и бункери.
- Празнини в контури с невъзможен достъп на оператор и инструмент.
 - При етажно-камерна система на разработване.
 - При системи на разработване с обрушаване на скалите в горнището.
 - При камерни системи на разработване с твърдо запълнение.
 - Фуниевидни участъци на повърхността над обрушени пространства.

1.2. Източници на грешки при определяне пространственото положение на подземните недостъпни повърхнини

Маркшайдерската снимка на недостъпните подземни пространства осигурява обективни изходни пространствени данни за решаване на широк кръг инженерни, минно-геоложки и технико-икономически задачи, свързани с добива на полезни изкопаеми и/или строителството на подземни съоръжения [21]. 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, заснетите пространства могат да бъдат изобразени върху специални планове – явяващи се основа за съставяне на вертикални и/или похоризонтни разрези. Създаденият графичен материал е основа за решаване на различни

минно-технически задачи, което предполага и съответни изисквания към необходимата точност на определяне на елементите от заснетите повърхности.

Провеждането на минно добивни работи при камерните системи на разработване води до образуването на обрушени пространства, чиито контури имат неравен характер – неизбежно явление при отбиване на полезното изкопаемо чрез пробивно-взривни работи [21]. Тези неравности могат да се приемат за първи източник на грешки при заснемането на камерите. Ако точките от недостъпното пространство бъдат определени с достатъчно висока степен на точност, неравностите ще доведат до грешка, зависеща основно от степента на неравност. В някои случаи тази грешка може да бъде значителна по стойност – до около 0.5 m. Влиянието на този източник може да бъде минимизирано, чрез съгъстяване на заснеманите точки, но това не винаги е възможно поради ограниченията в подходите към недостъпното пространство.

Втори източник, водещ до натрупването на грешки при определяне положението на повърхнините, се явяват възможностите на използваните методи за заснемане и инструменти [21]. Определянето на полярните координати на заснеманите точки е съпроводено с евентуални грешки в измерването на хоризонталните и вертикални ъгли, и на разстоянията. По опитни данни е установено, че измерването на полярните ъгли с точност до $\pm 10'$ не оказва влияние на точността при определяне на точките от недостъпното пространство. Основно влияние оказва точността на измерените разстояния.

Третият източник на грешки е свързан с точността при построяване на планове и разрези на заснетото пространство [21]. В последните години този източник на грешки практически не е с толкова съществен дял, поради възможностите на използваните софтуерни приложения, даващи възможност за обработване на информацията от измерванията, нейното систематизиране, оценка и използване за създаване на числен модел на заснетите обекти, а впоследствие – за поддържане и текуща употреба.

Необходимата точност при извършване на маркшайдерско заснемане на недостъпни пространства трябва да бъде съобразена най-вече с конкретното предназначение на снимката и задачите, които предстои да бъдат решавани на базата на резултатите от нея.

1.3. Руднична атмосфера

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 [21]:

- ✓ 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.

Често рудничният въздух има в състава си значителни по количество и разнообразни по състав, плътност и форма прахови частици [21]. Освен това, минно-геоложките и минно-техническите условия на по-голяма дълбочина предопределят повишаване на атмосферното налягане, температурата и влажността на въздуха. Променливите и непостоянни направление и скорост на движението на въздуха водят до променлива концентрация на прах в различните участъци. Наличието на конвекционни потоци във въздуха, както и движението на хора, машини и механизми, възпрепятстват утаяването на дребните частици. Запрашеността на рудничната атмосфера основно е предизвикана от добивните дейности с използване на пробивно взривни работи, работата на машини и механизми, транспортиране на руда (по рудоспусъци) от камерите и др. Праховите частици по размер могат да бъдат разделени на: макроскопични (с диаметър по-голям от 10 μm), микроскопични (с диаметър от 0.25 до 10 μm) и ултрамикроскопични (с диаметър по-малък от 0.25 μm). В спокойна атмосфера, утаяването на макроскопичните и микроскопичните частици е възможно. По-дребните частици обаче, в резултат на брауновото движение, постоянно се намират в разпръснато състояние.

Заедно със запрашеността, в рудничната атмосфера се намират и частици вода и други течни съединения [21]. Като цяло рудничната атмосфера представлява колоидна система, в която във въздуха и водните пари са разпръснати прахови частици с различни размери. Тези частици представляват ядра на кондензация на водни пари. Образоващите се в ядрото на кондензация капки са покрити с тънък слой погълнат въздух, който образува ципа, възпрепятстваща сливането на частиците. От количеството ядра на кондензация съдържащи се в даден обем въздух, зависят размерите на частиците, образувани се при кондензацията на влагата. При по-голям брой ядра на кондензация, се образуват по-дребни частици с диаметър 0.5 – 1 μm образувани така наречената мъгла. При намаляване броя на ядрата може да се образува мъгла със среден диаметър на частиците 5 – 9 μm . Всички тези частици, съдържащи се в рудничната атмосфера, могат да се обединят под общото название аерозол. В атмосферата на добивните камери може да се съдържа по-голямо количество аерозол с размери от 0.1 до 10 μm , като преобладават частиците с размери от 0.5 до 3 μm .

Възможността за използването на един или друг метод за снимка на подземни празнини зависи не толкова от тяхната достъпност, по отношение извършването на измервания, но и от прозрачността на работната среда в конкретната празнина, влияеща на разпространението на звуковете и

електромагнитни вълни [34]. За определен вид излъчване, работната среда може да се счита за прозрачна, ако независимо от поглъщането и разсейването е възможно отчитане на отразено излъчване от ограничаващите празнината повърхнини. Поради наличието в рудничната атмосфера на разнообразни по размери, форма и състав аерозоли, тя се явява мътна (не напълно прозрачна) среда по отношение на електромагнитните вълни от оптичния диапазон. Преминаването на светлината през такава среда се съпровожда с отслабване на излъчването, за сметка на поглъщането на енергията на излъчване и разсейване на излъчването.

Ако работната среда в подземната празнина притежава коефициент на отслабване, при който е възможно да бъде регистрирано отразеното излъчване, то за този вид излъчване, според специалистите, тя се приема за прозрачна.

За постигането на надеждно и всеобхватно изследване на подземните празнини е необходимо извършването на качествено, актуално, и достоверно маркшайдерско заснемане. За тази цел е необходимо прилагането на съответни 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 излъчването се връща в приемника на прибора [21]. Установено е експериментално, че коефициентът на отражение на скалите за обикновената светлина и излъчването от оптичните квантови генератори в оптичния диапазон не се различават значително един от друг.

Проведено е експериментално изследване за определяне коефициента на отражение върху 30 образци от различни скали и минерали в Текелийското и Алтын-Топканското находища [21]. Отразяващата способност на вместиците скали в Текелийското находище (въглищни шисти) е едва 4 до 10 %. При рудите тя е от 11.5 до 20 %. Изпитанията, проведени върху образци от скали в Алтын-Топканското находище, показват, че коефициентът на отражение при рудите е от 12.5 до 28 %; порфирити от 13 до 22.5 %; порфири от 14.5 до 38 %; скали от скарнов тип от 9.5 до 40 %; сиви варовици от 16 до 29 %. Доказано е експериментално, че с увеличението на размера на зърната на полезното изкопаемо, коефициентът на отражение намалява. При дребнозърнестия пирит той е от 29 до 56.5 %, в същото време при едрозърнестия е от 10.5 до 19 %. Отклонението на направлението на падане на светлинния поток от нормалата към отразяващата повърхност предизвиква намаляване на коефициента на

отражение 1.5 – 3.5 пъти, освен това, отражателната способност на влажни полезни изкопаеми е 1.5 – 3.0 пъти по-ниска от тази при сухите.

Ако полезните изкопаеми са покрити с прах, тяхната отражателна способност зависи от свойствата му и се определя от коефициента на отражение на самия прах, като може да се намали спрямо първоначалното си значение до няколко пъти [21]. При белия варовик коефициентът на отражение е от 72 до 78 %. Когато е покрит с прах от халкопирит е 8 %, като снижава отражателната си способност 10 пъти. Прахът от рудообразуващите минерали притежава много ниска отражателна способност. Например прахът от пиротина има $K_{отр} = 3.5$ %; от пирит – 3.5 %; от галенит – 5.5 %; от ковелин – 10 %; от сфалерит – 21 %.

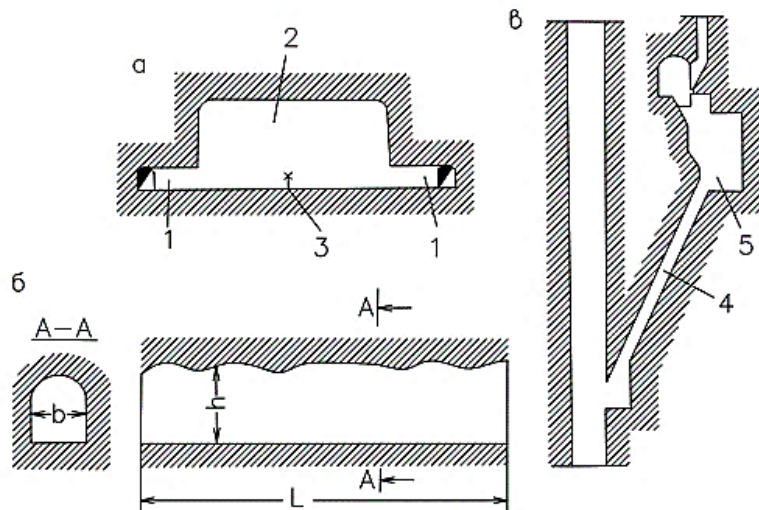
Представените примери, както и получените резултати от подобни изследвания показват, че за сметка на поглъщането и разсейването на светлината от отразяващата повърхност на обекта, средно се губи до 80 % от светлинната енергия.

1.5. Методи за заснемане на недостъпни подземни пространства

Както бе посочено по-горе при добива на полезни изкопаеми или вследствие въздействието на различни природни фактори, се образуват кухини в земните недра (камери, празнини), запълнени с въздух, газ, вода, нефт, разсол, глинести разтвори и др [29]. Като обект на маркшайдерската снимка, те условно могат да се разделят на достъпни и недостъпни. Към недостъпните се отнасят тези празнини, в които е невъзможен достъп до стените им или е съпроводен с опасност за изпълнителя, при възможно присъствие в изработката. Всички останали могат да се отнесат към категорията на достъпните.

В зависимост от характера на снимачните работи, недостъпните празнини могат да бъдат разделени на три групи [21]:

В границите на празнините от **първа група** (фиг. 1.1) е възможно и допустимо присъствието на маркшайдер с инструмент. Към точността на снимката се предявяват най-високи изисквания, които могат да бъдат изпълнени благодарение на възможностите за надежден контрол на снимачния метод.

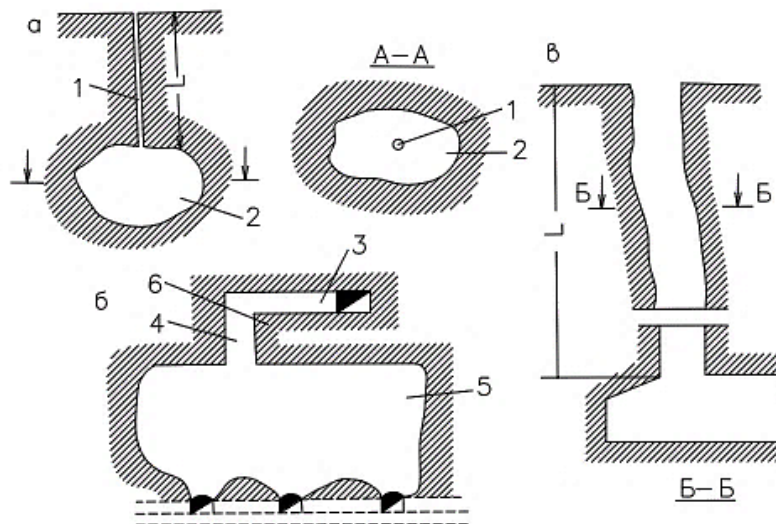


Фиг. 1.1. Празнини от първа група [21]

а - добивна камера; б - транспортна изработка; в - изработки, прокарани от вертикална шахта

1 - подходна изработка; 2 - недостъпни участъци от празнината; 3 - точка на разполагане на инструмента и наблюдателя; 4 - достъпни празнини; 5 - недостъпни празнини

В границите на тези от **втора група** (фиг. 1.2) е невъзможен достъпът на маркшайдер или престоят му там е забранен от съществуващите правила за безопасност. Снимката може да бъде изпълнена чрез разполагане на измервателните устройства в границите на празнината през ограничени отвори.

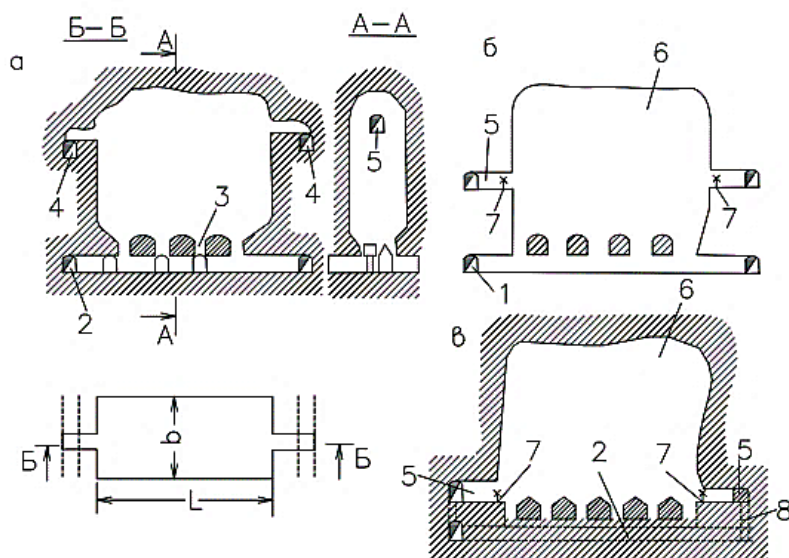


Фиг. 1.2. Празнини от втора група [21]

а - сондаж от повърхността; б - добивна камера; в - дълбок рудоспусък

1 - сондаж; 2 - празнина; 3 - подходна изработка от горния хоризонт; 4 - вертикален комин в горнището; 5 - камера; 6 - целик в тавана на камерата

При разработването на рудни находища, често се срещат празнини от **трета група** (фиг. 1.3), като в тях не е възможен достъпът нито на маркшайдер, нито на инструмент. В този случай при извършване на снимка, за станция се избира точка в подходна изработка, от която е възможно да се заснеме част от празнината, или инструментът се разполага в някоя крайна точка на изработката чрез специална преносима конструкция.



Фиг. 1.3. Празнини от трета група [21]

а, б, в - добивна камера с достъп съответно от горната, средната и долната част

1 и 2 - извозни изработки; 3 - рудоспуск (дучка); 4 - вентилационно-сондажен хоризонт; 5 - подходна изработка; 6 - камера; 7 - точка на разполагане на инструмента и наблюдателя; 8 - рудоспусци

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 и по-конкретно от:

- броя и разположението на подходните изработки;
- съотношението на формата и линейните размери на камерата (дължина, ширина, дълбочина) и вероятността за възникване на „мъртви зони“;
- ъгъла на наклона на стените на камерата, граничещи с точката на разполагане на инструмента и др.

Както вече беше описано, от извършени експериментални изследвания е установено, че за сметка на поглъщането и разсейването на светлината от отразяващите повърхности (стените на камерата) се губи средно 80 % от светлинната (лъчистата) енергия, като колкото по-неравна, по-запрашена и по-овлажнена е повърхността, толкова по-голяма е загубата на светлинна енергия [21]. Освен това запрашеността, влагата и наличието на газове в рудничната

атмосфера също водят до отслабване на светлинния поток, до рязко снижаване на точността и до ограничаване на разстоянието при измерване с оптически прибори.

Както бе посочено по-горе, концентрацията на прах в камерите след извършване на взривни работи е значителна. В тези условия, съставът на разпръснатите частици е основно с размери от 0.5 до 2–3 μm (90 %) и тяхното утаяване става много бавно [21]. Например частици с размер 0.7 μm се утаяват на дълбочина 50 m за около 360 часа в спокойна атмосфера. В използваните в миналото за снимки на камери оптични проекционно – визуални далекомери, се използва видимият спектър на светлината, чиято дължина на вълната е в границите от 0.4 до 0.7 μm . Очевидно е, че е възможно голямо отслабване на светлината. По този начин, използването на оптични прибори за снимка на недостъпни празнини е крайно ограничено от външните условия, което от своя страна е довело до необходимостта от разработване и прилагане на нови технологии и прибори за заснемане на подземни недостъпни пространства.

В България за първи път са извършени измервания с помощта на лазерен лъч през 1977 г. от инж. Иван Маринов при заснемане на недостъпни празни пространства в рудник „Плакалница“ [26]. Заснемането е извършено с лазерен теодолит Kern DKM-2AL и базисен редуциционен тахиметър BRT-006. Методът дава възможност да бъдат заснемани характерни точки по определени профили от стените, тавана и пода на камерата.

Ограниченията и затрудненията при измерването на дължини са преодоляни със създаването на нов вид далекомери [25]. Действието на този клас инструменти се основава на законите за разпространение на електромагнитните вълни, чрез сравняване характеристиките на изпратения и отразения лъч. Състоят се от предавател, приемник и отражател. Излъчените от предавателя електромагнитни вълни се отразяват от отражателя и се връщат в приемника. Разстоянието между предавателя и отражателя се определя от скоростта на разпространение на електромагнитните вълни и от времето t .

$$S = V \frac{t}{2} = \frac{c}{n} \frac{t}{2}, \quad (1.1)$$

където:

V – скорост на разпространение на електромагнитните вълни в атмосферата;

c – скорост на разпространение на електромагнитните вълни във вакуум –
299 792 458 \pm 1.2 m/s;

n – показател на пречупване на въздуха, зависещ от дължината на вълната и състоянието на атмосферата (температура, атмосферно налягане, влажност).

Времето t може да бъде определено пряко или косвено, като в зависимост от метода за определянето му, далекомерите се делят на две основни групи – импулсни и фазови. Тези, при които времето се измерва пряко, са импулсни – предавателят излъчва периодично електромагнитни вълни на кратки импулси. След отразяването им, приемникът улавя сигнала и отчита времето между изпращане и приемане. Фазовите далекомери определят разстоянието чрез разликата между фазите на изпратените и приетите електромагнитни вълни. Предавателят изпраща едновременно две вълни – една към отражателя и втора (наречена опорна) – за определяне на разликите между фазите $\Delta\varphi$. Приемникът изпраща получената вълна във фазомера, където се извършва измерването.

В последните години, с усъвършенстването на техниката и технологиите, стана възможно измерването на дължини с инструмент без отражател. Този вид технология се прилага най-често при заснемане на недостъпни обекти с ясни очертания [30, 40]. Вместо отражател се използва самата повърхнина на обекта. При този метод на измерване е важен ъгълът, под който се пресичат визирната линия на инструмента и отразяващата повърхност. При малък ъгъл между тях може да се получи приплъзване на лъча и разстоянието да е грешно. Другият проблем, който може да възникне, е от грапавостта на отразяващата повърхност. Когато тя е със значителни грапавини, например в руднични условия, също могат да се получат „лъжливи“ разстояния. Като цяло, точността на измереното разстояние зависи от ъгъла между визирния лъч и отразяващата повърхност, от цвета и грапавината ѝ, от запрашеността и влажността на атмосферата. В съвременните безотражателни системи се използват далекомери и от двата типа: импулсни и фазови.

Всеки метод на измерване е предназначен за решаването на конкретни задачи и се използва в различни приложения.

В маркшайдерската практика се използват и електронни ролетки, разработени на принципа на светлодалекомерите [25]. Те са с малки размери и маса. Възможностите им позволяват разстоянието да се определя непряко, необходима е само видимост между крайните точки, могат да се измерват разнообразни дължини – от стена до стена, до недостъпни повърхности (тавани), перпендикулярно на линия или равнина и т.н.

Характерът на условията, в които се извършват геодезическите и маркшайдерски дейности, нуждата от повишаване на производителността им и др., довеждат до непрекъснато усъвършенстване на геодезическото и маркшайдерско оборудване.

Тоталните станции са последните модели електронни тахиметри. Основните им части са електронен теодолит, светлодалекомер и компютър, които постоянно се развиват и усъвършенстват [25]. Основни производители на геодезическа техника предлагат на пазара голям набор от модели тотални станции, представени в серии, като във всяка серия влизат по няколко модела и съответните им модификации. В последните модели тотални станции е вградена технология за измерване без отражател. Това създава удобство за работа там, където използването на отражател е невъзможно или е съпроводено с риск за фигуранта/замерчика. Съвременните тотални станции разполагат с вградено програмно осигуряване, което облекчава рутинните изчисления и предоставя възможност някои от тях да бъдат извършвани по време на измерването. Напоследък все по-често се предлагат и автоматизирани и роботизирани тотални станции. Различните модели разполагат с усъвършенствани системи за центриране и хоризонтиране. Тези допълнителни приложения са много подходящи за условията, в които се извършват маркшайдерските измервания и част от маркшайдерските трасировъчни дейности. Освен това, в трудните и опасни условия в някои от минните обекти, приложенията намаляват риска за оператора и сътрудниците му. Немалко предимство е и тяхната все по-висока производителност.

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. Полярен (тахиметричен) метод

Основан е на използване на инструменти и технологии за заснемане, даващи възможност да бъдат определени координатите на заснеманите точки. Методът се използва за заснемане на празнини от първа и трета група.

1.5.2. Фотограметричен метод

При него се използват инструменти и методи за заснемане, използващи принципите за фотографиране на недостъпните пространства [12]. Определят се координатите на точките, чрез преобразуване на фотограметричните координати в истински, чрез обработката на фотографското изображение (първичната информация) със специална апаратура. Този метод е приложим за заснемане на празнини и от трите групи.

1.5.3. Телеметричен метод

Приложим е за заснемане на недостъпни обекти (подземни хранилища, тръбопроводи и т.н.) [12]. Осигуряваната от метода точност за разстояния от 2 до 10 m е около 5 %.

1.5.4. Радиометричен метод

В маркшайдерската практика се прилага основно за заснемане на кариери и подземни минни изработки [12]. За заснемане на камери се използва радио локационна система. При този метод могат да бъдат измерени разстояния до 300 m с грешка около 30 cm. Въпреки предимствата си, методът притежава някои недостатъци: голямо поглъщане и разсейване на радиовълните от отразяващата повърхност (стените на камерата), висока скорост на разпространение на електромагнитните вълни, отразяваща се върху точността на определяне на разстоянията.

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 [21, 29, 20, 12]. Приборите, които се използват при този метод, се базират на принципите на звуколокацията, радиолокацията, фотограмметрията и телеметрията. Методът е приложим за заснемане на празнини от втора група и частично от трета, като при снимка на празнини от втора група приборът трябва да има дистанционно управление и автоматичен запис на показанията.

Заснемането на подземни празнини с помощта на звуколокация дълго време е било широко разпространено в маркшайдерската практика, като при определени условия е и единственият възможен метод [12]. С помощта на звуколокация във въздушна среда могат да бъдат заснемани обекти като: недостъпни подземни празнини (камери), изкуствено образувани при отработването на полезни изкопаеми и естествени (природни) карстове; вертикални минни изработки (рудоспусъци, стволоче на шахти, шурфове, комини); хоризонтални и наклонени минни изработки; недостъпни складове за минна суровина и/или готова продукция (нефт, азбест, цимент). Принципите на измерване във въздушна среда са същите както и при дражното разработване (във водна среда). Като недостатък се явява високата вискозност на въздушната среда, предизвикваща интензивно затихване на акустичните колебания (право пропорционално на честотата на колебанията), което довежда до рязко снижаване на дължината на разпространението на звука в сравнение с водната среда.

През годините са създадени различни типове на звуколокатори за снимка на камери.

1.5.5.1. Звуколокационна снимка на камери образувани чрез излужване през сондажи и на карстови образувания

При разработването на солни находища и други полезни изкопаеми по метода на разтваряне на подземното богатство в земните недра чрез напорна вода, подавана през сондаж, в масива се образуват големи празни пространства (камери), напр. запълнени с разсол [12]. Тези камери са свързани със земната повърхност само чрез сондажи и са недостъпни за визуално наблюдение или снимка чрез обичайните маркшейдерски снимачни методи. В същото време за правилната експлоатация на находището е необходимо да се знае не само обема на камерата, но и нейните форма и положение в пространството, тъй като в хода на разработването често се налага процеса на разтваряне да бъде контролиран и управляван. В противен случай това би довело до нерационално отработване на находището, чести аварии (обрушаване на камерата) и големи загуби на запаси (до 80 %) подготвени и/или готови.

Разработени са през годините няколко вида звуколокатори, предназначени за снимка на добивни камери за разтвори, подземни хранилища и/или карстове, с цел пространственото им изобразяване.

В голяма степен, рационалното използване на земните недра и ефективността при управлението на процесите на добив на сол, зависят от точното и оперативно определяне на размерите, формата и пространственото разположение на подземните камери за разтваряне [16, 17]. Плановите изследвания на сондажите позволяват да бъдат избегнати аварии, свързани с пропадане и свличане на земни маси. Процесите при добив на сол изискват постоянен контрол и висока отговорност.

1.5.5.2. Звуколокационна снимка и контрол на минните работи при подводно разработване на находищата

Методите и условията при разработване на подводни залежи могат да бъдат разделени на [20]:

- разработване на разсипни (наносни) находища чрез драги – с изкуствено и естествено оводняване.
- разработка на подводни залежи с екскаватори, земснаряди и скрепери.
- разработка на залежи в дънни отлагания в морета и дълбоководни езера, чрез специални механизми, приложими за специфичните условия.

Заснемането и контролирането на минните работи, при този вид изработки с традиционната техника е затруднено и неефективно. Най-подходящ метод за заснемане на тези недостъпни пространства е чрез звуколокация.

Хидроакустичните прибори могат да работят при разнообразни дълбочини и позволяват получаването на изображения на подводното пространство с резолюция до няколко сантиметра [44]. Днес съществуват множество хидроакустични системи на различни производители. Качеството и достоверността на получената чрез тях информация зависи, както от техническите параметри на самата апаратура, така и от условията на разпространението на звуковите вълни във водата. Скоростта на разпространение на звука във водата е непостоянна величина, което е обусловено от изменението на солеността, температурата и хидростатичното налягане на различните слоеве вода. При повишаване температурата на водата с 1°C , скоростта се увеличава с 2.5 m/s , а увеличаването на налягането с 1 atm , предизвиква увеличение на скоростта с $\sim 0.2\text{ m/s}$. В чиста вода затихването на звука е малко, но значително се увеличава при наличие в нея на въздушни мехурчета и неразтворени вещества. Въздушните мехурчета се образуват при разлагането на органични вещества. Например, наличието на въздушни мехурчета в количество 0.01% от обема на водата, намалява с до 40% скоростта на разпространението на звука в нея, което зависи също и от размерите на въздушните мехурчета, а наличието на суспендирани частици, почти линейно увеличава поглъщането на звуковите трептения. При значително количество суспендирани частици във водата е почти невъзможно извършването на звуколокация поради значителното отслабване на сигнала.

Влияние върху точността на звуколокацията оказват също така скоростта на разпространението и затихването на звуковите колебания в дънните отлагания [44]. Тези параметри се определят до голяма степен от състава на скалите, формиращи тези наноси. Теоретичната оценка на „изкривяването“ на резултатите от измерванията, предизвикани от тези параметри е доста сложна и следователно резултатите, получени експериментално, могат да бъдат приети за по-надеждни. Силата на отразения сигнал се влияе значително от коефициента на отражение, като практически рядко се получава отражение на звук с малки загуби. При отражение от неравни и грапави повърхности се получава дифузно разсейване на звука, т.е. звукът се разсейва в различни посоки, като интензивността и посоката на разсейването зависят от формата на тези неравности и от техните размери, в сравнение с дължината на звуковата вълна. Времето за разпространение на звука във вода или дънни отлагания може да се определи по фазов, честотен, импулсен метод или в съчетание от различните методи.

В днешни дни, развитието на техниката и технологиите при хидроакустичните прибори довежда до създаването на нови по-усъвършенствани, компактни прибори, използващи най-новите преносими компютри, интегрирани с нови технологии за измерване, както и възможности за надеждно използване на безжична връзка.

1.5.6. Наземни системи за лазерно сканиране

Развитието на технологиите доведе до създаване на лазерни сканиращи системи, чието използване при заснемане на подземни минни изработки осигурява висока точност, бързина и достатъчна безопасност при работа [25]. Особено подходящи са при заснемане на недостъпни изработки и такива със сравнително сложна форма. Полученото изображение осигурява много добра информативност (обективност) и нагледност. По получените данни от снимката може да се построи модел на елементите на изработката, да бъдат изчислявани обеми, да се построят различно ориентирани сечения, които впоследствие да бъдат обработвани със специализирани програмни продукти, вкл. за минно планиране, както и да се изготвя минно-графична документация.

Технологията за лазерно сканиране е един от най-съвременните методи за заснемане. Особено полезна е в сфери, нуждаещи се от пространствени (т. нар. 3D) данни. В основата на принципа на лазерното сканиране е лазерен лъч, който се изпраща от скенера, отразява се от повърхността на обекта и се връща в скенера [30]. Регистрира се необходимото му време, както и положението му спрямо скенера. След допълването на тези данни с информация, получена по класически геодезически методи, се определя местоположението в пространството на заснетата точка от обекта, спрямо геодезическата координатна система.

Лазерните скенери изпращат и обработват сигнали за хиляди точки в секунда, които описват повърхнината на заснемания обект. Първичните данни от лазерното сканиране представляват групи от точки с тримерни координати и образуват (наричат се) облаци от точки [30]. Тези точки могат да се класифицират и разделят на групи според тяхното значение. Всяка точка, освен информация за местоположението си, притежава и данни за силата на отразяване, от която може да се съди за вида на повърхнината. Ако в процеса на сканиране са заснети и дигитални снимки, то след допълнителна обработка, всяка точка може да получи информация за цвета на обекта в нея.

Крайният продукт от лазерното сканиране може да бъде прецизен модел на терена, представен с неправилна мрежа от триъгълници (TIN) или допълнително генерализиран 3D векторен модел. Използването на наземни лазерни скенери осигурява не само повишаване на производителността на труда при

маркшайдерските измервания, но и получаване на данни за пространственото положение на обектите във вид на триизмерни компютърни модели. Съвременните скенери притежават голяма точност на позиционирането на обектите от снимката.

Както бе посочено по-горе, задачата за заснемане на недостъпни подземни празнини е твърде отговорна, достатъчно сложна и много трудоемка. 3D лазерното сканиране е значително по-прецизен метод в сравнение с конвенционалните методи. Чрез тази технология може да се гарантира не само точен анализ на заснеманото пространство, но също така и безопасността на персонала. Въпреки неоспоримите си предимства, методът трябва да продължава да се изследва и доусъвършенства, поради специфичната атмосфера в подземните пространства и наличието на влага, мъгла, запрашеност и влиянието им върху отражението на лазерния сигнал. Също така методът не е изрично класифициран като конструктивно безопасен и възможността за приложението му в участъци, където има риск от запалим/взривоопасен газ, трябва да бъде потвърдена.

1.5.7. Георадари

Съвременният георадар представлява сложен геофизичен уред, предназначен за подповърхностно изследване на дадена среда като почва, бетонни съоръжения, стени, вода, лед и други [47]. С помощта на георадарите е възможно да се извърши недеструктивно изследване, локализиране, определяне на дълбочината, оценка на състоянието, картиране и мониторинг в находищата на подземни богатства. Методът позволява да бъдат открити стари минни галерии, рудни залежи, подземни комуникации, разседи, каверни, водни хоризонти, опасни зони и др. Георадарното изследване е приложимо и при локализиране на подземни проводни съоръжения и обекти на културно историческо наследство, и изработването на специализирани кадастрални карти. За успешното извършване на изследването, от основно значение са физикохимичните свойства на сканираната среда и обследваните обекти.

1.6. Методи за определяне обема на подземните празнини

Въпросът за определяне размерите и обема на подземните пространства е от съществено значение при разработването на находищата на подземни богатства [19]. По данните от измерванията, обработката и изчисленията се извършва отчет за добива и определяне обема на извършените минни работи. Целта на маркшайдерския отчет е контрол за изпълнението на плана за развитие на минните работи, в съответствие със заложените в проекта. Графичните материали от маркшайдерския отчет, заедно с геоложката документация се

използват за отчет на състоянието и движението на запасите на подземни богатства и за количествена оценка на загубите и обедняването. Друга важна задача при определяне обема на подземните празнини е коректното планиране на дейностите по запълване на отработеното пространство, заплащане на труда на работниците, прогнозиране на устойчивостта на горнището и опазване на обектите и съоръженията на повърхността. Също така, по данните от изчисленията, може да бъде извършена оценка и на качеството на извършените минно-строителни и минно-добивни работи.

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“.

$$V = f(P) \quad (1.2)$$

Напоследък все по-широко навлизат нова техника и технологии. 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 последваща обработка на измерванията, съответните изчисления и изграждане и поддържане на числени модели [39]. Съществуват все още и множество конвенционални геодезически програми, както и редица постоянно усъвършенствани САД приложения.

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.

Всеки метод за определяне има своите различни предимства и недостатъци в зависимост от формата на обекта. При изчисляване на обеми, могат да бъдат разграничени две групи обекти – линейни и площи [39]. При линейните обекти най-често обемите се изчисляват по метода на вертикалните сечения. Обемът на площен обект може да се изчисли чрез сечения, по метода на трапецоида (прави правоъгълни или триъгълни призми), метода на Симпсън, метода на средната стойност, както и подобрени методи (на основата на Симпсън, кубичен сплайн и др.). Обемът на обекти, ограничени от повърхнини относително лесно може да бъде изчислен по няколко метода, наречени най-общо методи на трапецоида.

При изчисляване с вертикални успоредни сечения през еднакъв интервал точността на определения обем може да бъде определена по следния метод [24]:

$$V = L_c \left(\frac{P_k}{2} + P_{k+1} + \dots + P_{m-1} + \frac{P_m}{2} \right) + \Delta V_k + \Delta V_m, \quad (1.3)$$

където:

L_c – интервалът между сеченията,

k, m – номерата на крайните сечения,

$\Delta V_k, \Delta V_m$ – обемите минна маса, извън крайните сечения.

От тук, като се пренебрегнат грешките в ΔV_k и ΔV_m и ако се означат номерата на сеченията с $1, 2 \dots n$, се получава:

$$m_v = \pm L_c \sqrt{\left(\frac{m_{p1}}{2}\right)^2 + m_{p2}^2 + \dots + m_{pn-1}^2 + \left(\frac{m_{pn}}{2}\right)^2} \quad (1.4)$$

Ако бъдат заместени средните квадратни грешки m_{p_i} , $i = 1, 2 \dots n$, със съответната грешка на средната площ – $m_{\bar{p}}$ и се отчете неравенството, известно като неравенство на Коши-Буняковски-Шварц

$$n m_{\bar{p}}^2 \leq \sum_1^n m_{p_i}^2, \quad (1.5)$$

се получава

$$m_v = \pm K L_c m_{\bar{p}} \sqrt{\frac{2n-3}{2}}, \quad (1.6)$$

където:

n – брой на сеченията,

K – коефициент, който зависи от разпределението на стойностите на площите на иззетите сечения ($K \geq 1$),

При изразяване на обема посредством средната площ на сеченията

$$V = \bar{P} L_c (n - 1), \quad (1.7)$$

се получава:

$$\frac{m_v}{V} = \pm \frac{K m_{\bar{p}}}{\bar{P}(n-1)} \sqrt{\frac{2n-3}{2}} \quad (1.8)$$

Когато броят на сеченията е по-голям от 10

$$\frac{m_v}{V} = \pm \frac{K m_{\bar{p}}}{\bar{p} \sqrt{(n-1)}}, \quad (1.9)$$

Представената формула показва, че точността на определя обем зависи от разнообразни фактори:

✓ Коефициентът K отразява неравномерното разпределение на площите на иззетите сечения, от които се изчислява обемът. Стойността му е свързана с технологията на добива ($K \geq 1$).

✓ Средната площ на иззетите сечения се определя от точността на маркшайдерските работи.

✓ Броят на сеченията зависи от интервала между тях и от дължината на изработката (камерата).

✓ Средната квадратна грешка $m_{\bar{p}}$ зависи от грешките при измерванията и от формата и размерите на площта.

От формулите за изчисляване площта на затворен контур по правоъгълните координати на върховете [24]:

$$P = 0.5 \sum_1^n X_i (Y_{i+1} - Y_{i-1}) \quad (1.10)$$

$$P = 0.5 \sum_1^n Y_i (X_{i-1} - X_{i+1}) \quad (1.11)$$

следва:

$$m_{\bar{p}} = \pm 0.5 \sqrt{\sum_1^n m_{X_i}^2 (Y_{i+1} - Y_{i-1})^2 + \sum_1^n m_{Y_i}^2 (X_{i-1} - X_{i+1})^2}, \quad (1.12)$$

където:

n – брой на върховете;

m_{X_i} и m_{Y_i} – средните квадратни грешки, с които се определят координатите X_i и Y_i на контурните точки от сечението.

Ако се приеме, че $m_{X_1} = m_{X_2} \dots m_{X_n}$ и $m_{Y_1} = m_{Y_2} \dots m_{Y_n}$, следва:

$$m_{\bar{p}} = \pm 0.5 \sqrt{m_X^2 \sum_1^n (Y_{i+1} - Y_{i-1})^2 + m_Y^2 \sum_1^n (X_{i-1} - X_{i+1})^2} \quad (1.13)$$

2. Експериментални измервания в лабораторна и естествена среда – резултати и анализ

Днес във времето на високите технологии, далекомерната техника представлява относително сложна апаратура, чието разработване е свързано с развойната дейност на множество области от науката – физика, оптика, електроника, автоматика, изчислителна техника и др. [25]. В последните години в маркшайдерската и геодезическата практика все по-широко се използват безрефлекторни технологии за измерване. Може да се отбележи, че не са много изследванията относно тяхната надеждност при приложението им в практиката. Съществуват данни за техническите възможности на използваните инструменти, но варирането на условията на измерване и спецификата на средата (вкл. минната), водят до промяна в качеството на получените резултати. 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.

Извършените проучвания, относно възникващите проблеми при безрефлекторните измервания [35, 36, 38, 41, 42, 28, 27, 30], дават отговор на някои от въпросите, но също така поставят и нови такива.

Например, в [35, 36] авторите са представили проучвания относно възможните източници на грешки при безрефлекторно измерване на разстояния. Посочено е, че ъгълът, типът и цветът на отразяващата повърхност оказват значително влияние върху енергията на обратно отразения лъч от тази повърхност до тоталната станция и следователно върху точността на инструменталните наблюдения. Изследван е ефектът на различни цветови цели и ъгъл на разпространение при измерването на разстояния. Резултатите от изследванията показват следното: въпреки че различните материали имат различни отразяващи свойства, няма значителна разлика в измерването при отражение от различни цветни повърхности (бял, зелен, черен, син, червен и жълт цвят). Също така, резултатите от проучванията показват, че грешката в разстоянието се увеличава при увеличаване на ъгъла между визирния лъч и изследваната повърхност. В [36] е установено е, че капацитетът на батерията на

инструмента оказва влияние върху резултатите от наблюденията. Практически тестове потвържават увеличаване на стойностите на грешките в измерванията при намаляването на капацитета ѝ.

В [41] правилно е посочена необходимостта от по-добро разбиране за изискваните точности на измерванията. Авторът посочва, че въпреки технологичния напредък, е възможно специалистите да се превърнат в оператори на изследователско оборудване, разчитайки на технология и компютърен софтуер за постигане на резултатите от проучването. Резултатите от проучванията, генерирани от сложни инструменти и компютърен софтуер, не бива да се приемат, без да се поставя под въпрос точността. В изследването е проучена възможността за извършване на мониторинг в минни предприятия в Южна Африка, при сурови метеорологични условия, (характерни за минната среда), изискващи поставянето на инструмента в укритие със стъклена преграда. Резултатите от изследването потвърждават възможността за извършване на измервания през стъклена среда. Дебелина на стъклото по-малка от 3.0 mm не оказва влияние върху точността на измерванията, докато дебелината над 3.0 mm предизвиква грешки в разстоянията, наблюдавани през стъклото. Препоръчано е да се използва само гладко, плоско стъкло за прозорци за наблюдение, в противен случай трябва да се извършат допълнителни изследвания, за да се моделира въздействието на формата на стъклото (вдлъбната и изпъкнала). В изследването е посочено също, че отстоянието между тоталната станция и прозореца за наблюдение не оказва влияние върху точността на измерване на разстоянието. Препоръчително е обаче, същото да бъде възможно най-малко. Не на последно място е отправена препоръка, ако се налага разстоянието да се измерва през стъклена среда, свойствата на стъкления материал да бъдат отчетени при избора на стъклото за цялостната конструкция за наблюдение. Тестовите са извършени на закрито, където атмосферните вариации са незначителни или почти постоянни, за разлика от минните обекти, където атмосферните параметри могат да варират значително. Тези разлики биха могли да окажат неблагоприятно въздействие върху дължинните измервания.

В [42] е извършено изследване и анализ на грешките, възникващи при измерванията с наземни лазерни скенери при импулсен метод на измерване. Авторът разделя тези грешки в четири групи: инструментални, обектно свързани, грешки свързани с влиянието на околната среда и методически. Въз основа на проучванията и резултатите, получени от други изследователи, е съставен модел на грешка за наземни лазерни скенери, който се използва за оценка на точността на единичната точка. Изследванията „на открито“ не са показали значително влияние на „нормалните“ атмосферни условия върху точността на измерванията в диапазона до 50 m. В изследването е направена

констатацията, че въпреки постигнатия значителен напредък през последните години в тази област, е наложително много въпроси да бъдат допълнително проучени, за да се осигури по-задълбочено разбиране на самата технология, както и да се разработват подходящи методологии за нейното използване в различни приложения. В разработката е посочено, че грешките свързани с обекта се появяват, поради това, че при безрефлекторното измерване резултатите зависят от отражението от повърхността на сканираните обекти, което от своя страна е функция на множество фактори. Отбелязано е, че свързаните с обекта грешки са в тясна зависимост от инструменталните грешки в лазерния далекомер. Грешките свързани с влиянието на околната среда се въвеждат от условията на средата, в които се използва лазерният скенер. Една част от тези грешки се дължи на атмосферното влияние. Поради отслабване и разсейване, предизвикани от промяна в атмосферните условия, интензитетът на лазерния лъч отслабва при разпространяването му. Траекторията на лъча също така може да бъде променена поради пречупване и атмосферна турбулентност.

Правилното разбиране на факторите, които предизвикват тези грешки, е основно за правилното провеждане на проучването с наземен лазерен скенер.

В [27, 28] са представени резултатите от изследване ефекта от ъгъла на падане на лазерния лъч и отражателните свойства на повърхността до която се извършва измерването, върху точността на измерваните разстояния с тотална станция. Въз основа на анализа на получените данни са разработени препоръки за подобряване точността на линейните измервания, извършени в безрефлекторен режим. Обект на изследването са дванадесет от най-често използваните строителни материали. Измерванията са извършени с всеки от дванадесетте образци на разстояние 9.8 m и 16.9 m и с шест образца на разстояние 63.6 m. Резултатите показват, че грешката не надвишава обявената точност в техническите характеристики на тоталната станция в безрефлекторен режим, при ъгъл на отклонение на визирния лъч в диапазона от 0° до 40°. За поцинковани повърхности и алуминий грешката при измерване на разстоянието не надвишава обявената точност само при ъгли на отклонение на визирния лъч в диапазона от 0° до 15°. Преди извършване на измервания върху повърхности от други материали, които не се разглеждат в това изследване, се препоръчва да се извършат аналогични проучвания, които да позволят определяне графики на зависимостите, както и да се определят максимално възможните ъгли между визирния лъч и изследваната повърхност.

Проблеми възникват тогава, когато измерванията не могат да бъдат проверени за грешки [38]. Това се отнася за безрефлекторните измервания, поради самото им естество (недостъпни обекти, много трудни за проверка). Как тогава може да се разчита на такива измервания, особено когато високата

точност на резултатите е от съществено значение и дори прости проверки като използването на мерна лента или ролетка между две отделни точки са невъзможни. Тоталните станции предоставят възможност за определяне на тримерни координати с висока точност, изчислени от вградения в инструмента компютър, чрез използване на тригонометрични изчисления. Инструментът измерва хоризонтални и вертикални ъгли, както и наклонено разстояние. Съхраняваните координати позволяват изчисляване на отношения между точки в пространството. Ако разстоянието се измерва неправилно, тогава резултатната координата също ще бъде грешна.

В [38], авторът представя изследване, което позволява да бъдат определени вероятните граници на надеждност на безрефлекторните инструменти в различни ситуации, особено по отношение на измерване при големи ъгли между визирния лъч и изследваната повърхност, както и по отношение на неточности, причинени от отразяващи повърхности състоящи се от различни материали и с различни форми. Това проучване показва, че ъгълът на разпространение на измервателния сигнал към повърхността на наблюдавания материал силно влияе върху точността на измерването. При търсенето на точни резултати от извършването на измерване на недостъпни точки, е от решаващо значение да се гарантира коректност на измерванията, което предполага и доброто разбиране на възможностите на безрефлекторните инструменти. Резултатите от изследването потвърждават, че измерванията под прав ъгъл към обекта са в рамките на спецификациите на производителите, но при измервания под различен ъгъл, особено при отклонение над 30° от нормалата, грешката нараства. Представени са редица технологии на измерване, приложими когато прякото измерване не е възможно и измерванията без рефлектор се считат за ненадеждни. Представени са някои ограничения на инструментите при различни ситуации, включително при измервания на вътрешни и външни ъгли на обекти (максимално разстояние от 60 m за външни ъгли и 30 m за вътрешни ъгли), както и ограничения при измерване до малки цели като болтове при стоманодобивната промишленост. Също така е отбелязано, че са възможни грешки в измерването до силно отразяващи повърхности от близко разстояние. Изследването е извършено с два различни инструмента и въпреки някои минимални разлики в резултатите, общите изводи остават непроменени.

В [30] авторите разглеждат основните съвременни направления за събиране, съхранение и обработка на геопространствените данни за местността, класифицирани по сфери на приложение и цели за използване. Представени са теоретичните основи на далекомерната техника, основите на теорията за светлината като електромагнитно излъчване, принципите на работа на светлодалекомерите (импулсни и фазови), разгледан е принципът на работа на

безотражателните светлодалекомери и тотални станции. Акцентирано е върху необходимостта от повишаване изискванията към теоретичната и общопрофесионална подготовка на инженерите, свързана с познаването на съвременните технически средства и технологии, оценка на техните предимства и недостатъци, и на тази база – сферите на най-подходящо приложение за всяка една от тях. В представения материал е дадена теоретичната основа, върху която се разработва една или друга технология, като е акцентирано върху направлението в развитието на конкретни технически средства и технологии.

Въз основа на извършеното по-горе проучване на световния опит при безрефлекторно заснемане на повърхнини 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 настоящата разработка са извършени експериментални линейни измервания до разнородни обекти (образци) с цел анализиране влиянието на вида на отражателната 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.

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

Възприета е следната експерименталната постановка [3]: Определено разстояние е измерено първоначално със специална отражателна повърхност (марка). Проведени са многократни измервания, с тотална станция Trimble S6, на четири дължини: 35.808 m, 44.965 m, 56.545 m и 77.831 m. Стойностите им са приети за еталон.

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.

Ефективността от използването на определен метод, при решаване на конкретни задачи, зависи от точността на измерванията.

Една част от грешката при измерване на разстояния е свързана с разходимостта на лазерния лъч (диаграма на насоченост). Тя зависи от множество фактори и определя до голяма степен точността на измерваното разстояние.

Една от основните грешки при измерване с лазерните далекомери зависи от ъгъла, който се сключва между оста на излъчване и повърхността, до която се измерва разстоянието. При ъгъл, равен или близък до 90° , грешката може да бъде определена по схемата, показана на фиг. 2.1 и следната формула [1]:

$$m_{\text{д.н.}} = S' - S, \quad (2.1)$$

където:

$m_{\text{д.н.}}$ – грешка на измереното разстояние, зависи от насочеността на лазерния лъч, m;

S' – възможна стойност на разстоянието, в границите на ъгъла на диаграмата на насоченост, m;

S – разстояние от инструмента до обекта, m.

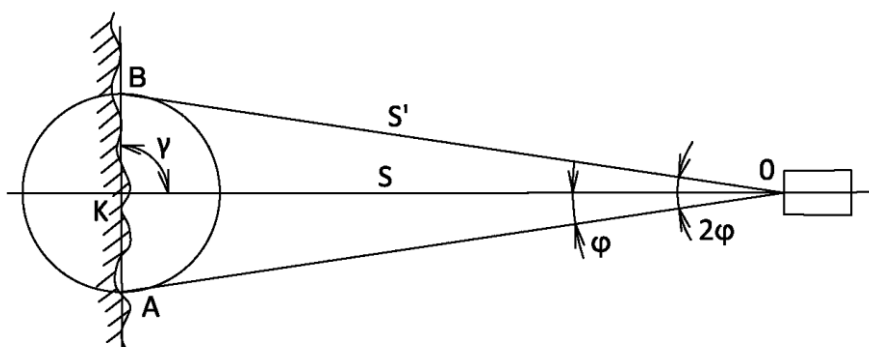
Тъй като

$$S' = S / \cos\varphi, \quad (2.2)$$

то

$$m_{\text{д.н.}} = S / \cos\varphi - S = \pm S(1 / \cos\varphi - 1), \quad (2.3)$$

където: φ е половината ъгъл на диаграмата на насоченост, deg.



Фиг. 2.1. Отчитане на грешката при измерване на разстояния при $\gamma = 90^\circ$ [1]

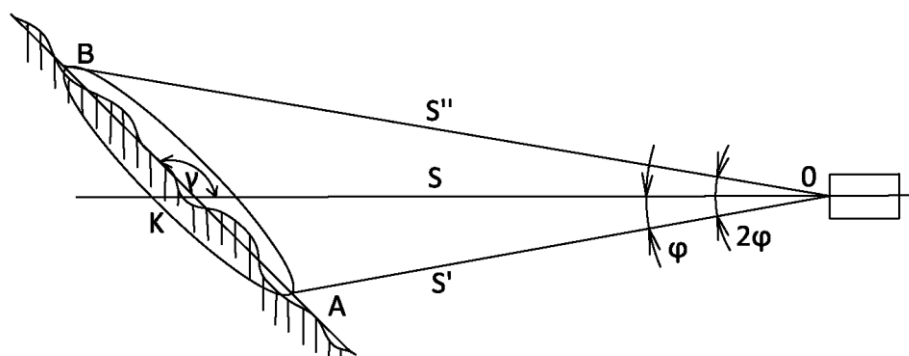
Когато лъчът и повърхността до която се извършва измерването сключват ъгъл, различен от 90° , грешката може да се определи по схемата, показана на фиг. 2.2 и следната формула:

$$S' = S \sin\gamma / \sin(\varphi + \gamma), \quad (2.4)$$

Разликата $S - S'$ е стойността на възможната грешка, зависи от стойността на диаграмата на насоченост и големината на ъгъла γ на срещане на оста на излъчване с плоскостта на обекта.

От формула (2.1) следва:

$$m_{\text{д.н.}} = S - S \sin \gamma / \sin(\varphi + \gamma) \quad (2.5)$$



Фиг. 2.2. Отчитане на грешката при измерване на разстояния при $\gamma \neq 90^\circ$ [1]

В конкретния случай се получава:

При разстояние 35.808 m:

$$m_{\text{д.н.}} = 35.808 - 35.808 \sin 45 / \sin (0.0114 + 45) = 7 \text{ mm},$$

като $\varphi = 0.0114^\circ$

При разстояние 44.965 m:

$$m_{\text{д.н.}} = 44.965 - 44.965 \sin 45 / \sin (0.0114 + 45) = 9 \text{ mm}$$

При разстояние 56.545 m:

$$m_{\text{д.н.}} = 56.545 - 56.545 \sin 45 / \sin (0.0114 + 45) = 11 \text{ mm}$$

При разстояние 77.831 m:

$$m_{\text{д.н.}} = 77.831 - 77.831 \sin 45 / \sin (0.0114 + 45) = 15 \text{ mm}$$

Експерименталните изследвания са проведени „на закрито“, като са осигурени сравнително добри условия, т. е. лишени от екстремални стойности на състоянието на средата.

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° , $+45^\circ$, -45° спрямо посоката на визирния лъч.

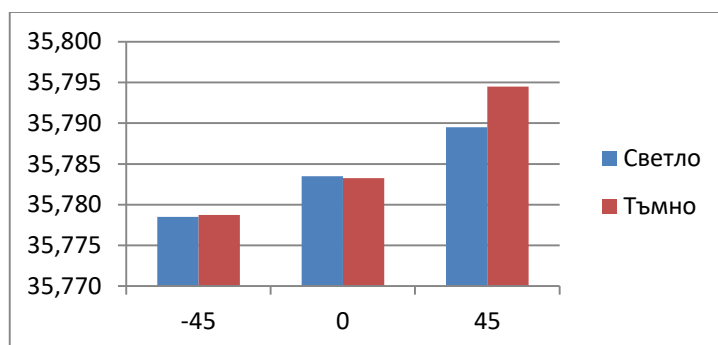
При разстояние 44.965 m и 56.545 m, са извършени измервания само на светло.

В табл. 2.1 са представени резултатите от измерванията до трите вида образци, при различните разстояния.

Табл. 2.1

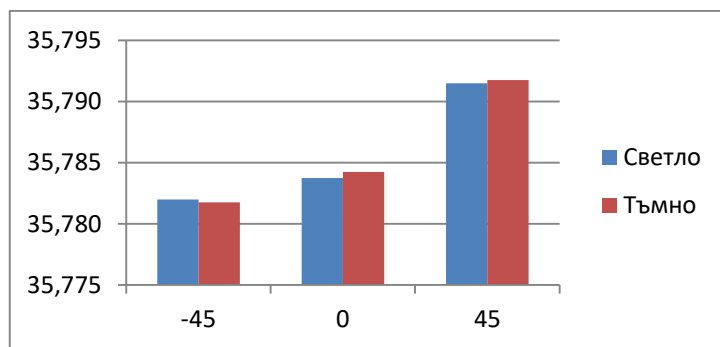
Еталон	35.808	35.808	44.965	56.545	77.831	77.831
Завъртане	Светло	Тъмно	Светло	Светло	Светло	Тъмно
Варовик с калцитни прожилки - шлифована повърхност						
- 45°	35.779	35.779	44.990	56.534	77.978	77.964
0°	35.784	35.783	44.989	56.547	77.919	77.938
+ 45°	35.790	35.795	44.989	56.558	77.962	77.990
Варовик с калцитни прожилки - грапава повърхност						
- 45°	35.784	35.784	44.989	56.542	77.895	77.907
0°	35.785	35.785	44.990	56.548	77.902	77.921
+ 45°	35.794	35.794	44.990	56.559	78.129	78.132
Променен ултрабазит (талк-хлоритов шист) - шлифована повърхност						
- 45°	35.782	35.782	44.993	56.541	78.155	78.151
0°	35.784	35.784	44.990	56.550	78.072	78.072
+ 45°	35.792	35.792	44.991	56.551	78.337	78.337
Променен ултрабазит (талк-хлоритов шист) - грапава повърхност						
- 45°	35.787	35.787	-	-	78.114	78.114
0°	35.788	35.788	-	-	77.959	77.960
+ 45°	35.798	35.798	-	-	78.298	78.297
Гипсова скала						
- 45°	35.799	35.799	45.008	56.564	77.854	77.854
0°	35.794	35.793	45.001	56.562	77.863	77.862
+ 45°	35.800	35.800	45.004	56.576	78.155	78.137

На фиг. 2.3 са представени резултатите от измерванията за *варовик с калцитни прожилки – шлифована повърхност*. От таблица 2.1 се вижда, че измереното разстояние се различава от еталонното с до 29 mm. При промяна на ъгъла от - 45 до + 45 градуса, независимо от осветеността, разликата в разстоянията е около 16 mm (фиг.2.3).



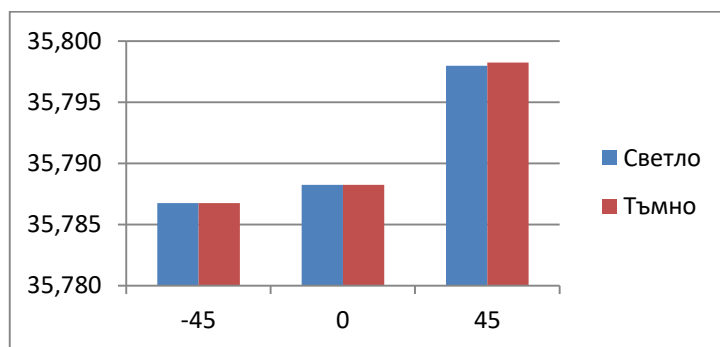
Фиг. 2.3. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние [3]

Резултатите от измерванията за *променен ултрабазит (талк-хлоритов шист)* – гладка страна са представени на фиг. 2.4. Разликата спрямо еталонното разстояние е от 16 до 26 mm, а между различните посоки е в диапазона до 10 mm.



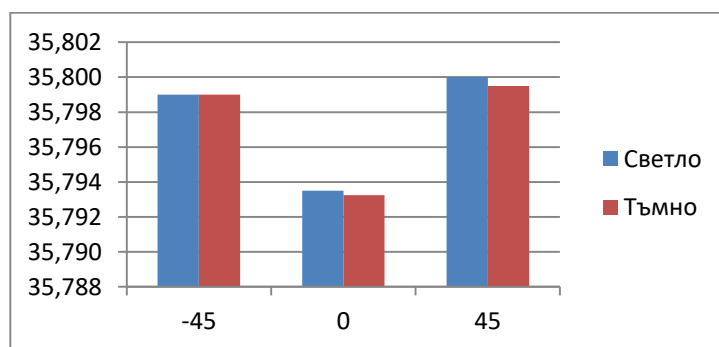
Фиг. 2.4. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние [3]

За грапавата страна на същия минерал, резултатите от измерванията са представени в табл. 2.1 и фиг. 2.5. Максималната разлика спрямо еталонното разстояние и при различните ориентации е 21 mm и 11 mm, съответно.



Фиг. 2.5. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние [3]

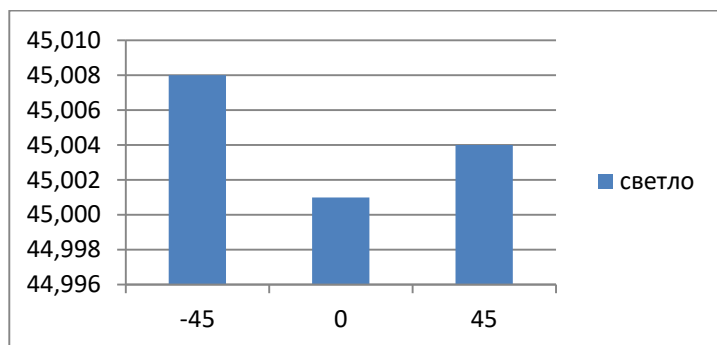
На фиг. 2.6 е показана промяната в измерените разстояния при различните ориентации и различна осветеност за *гипсова скала*. Тук отново влиянието на осветеността е пренебрежимо. Разликата спрямо еталонното разстояние е до 15 mm, а между завъртанията – максимално 7 mm.



Фиг. 2.6. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние [3]

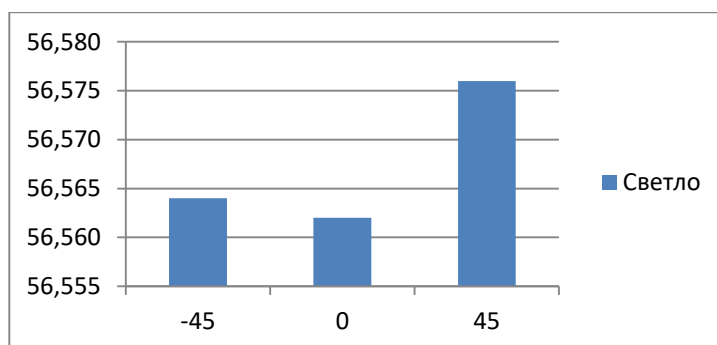
При разстояние 44.965 m и 56.545 са извършени измервания само на светло (табл. 2.1).

На фиг. 2.7 са представени отклоненията в измерените разстояния (за 44.965 m) при различните ориентации за *гипсова скала*. Разликата спрямо еталонното разстояние е до 43 mm, а между завъртанията – максимално 7 mm.



Фиг. 2.7. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние [3]

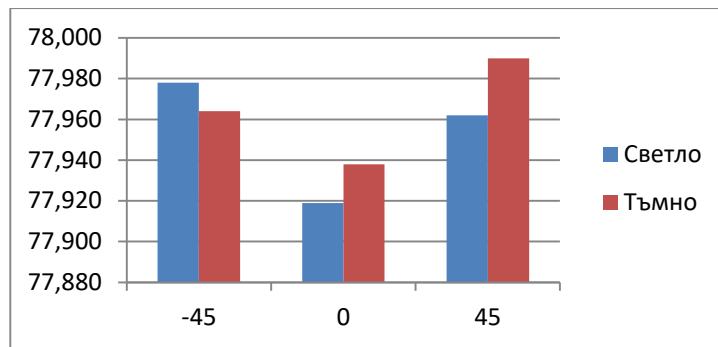
Резултатите от измерванията отново за *гипсова скала* (за 56.545 m) са показани на фиг. 2.8. Разликата спрямо еталонното разстояние е до 31 mm, а между различните посоки е в диапазона до 14 mm.



Фиг. 2.8. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние [3]

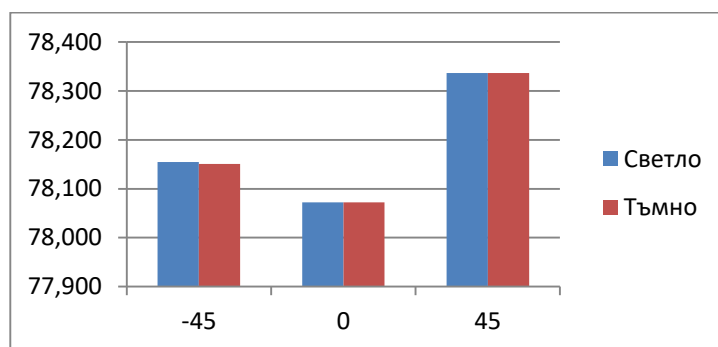
При последното разстояние, измерванията са отново проведени на светло и на тъмно.

На фиг. 2.9 са представени резултатите от измерванията за *варовик с калцитни прожилки – шлифована повърхност*.



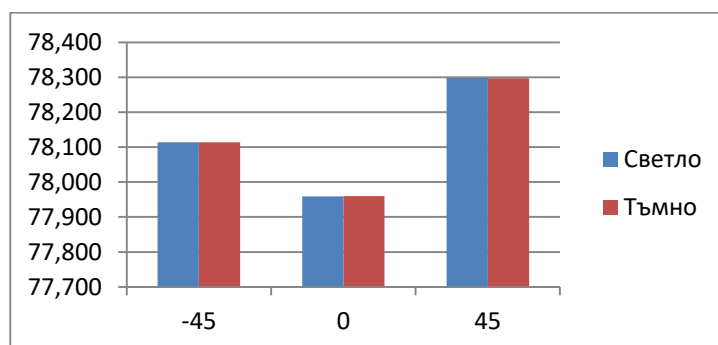
Фиг. 2.9. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние [3]

Резултатите от измерванията за *променен ултрабазит (талк-хлоритов шист) – гладка страна* са представени на фиг. 2.10.



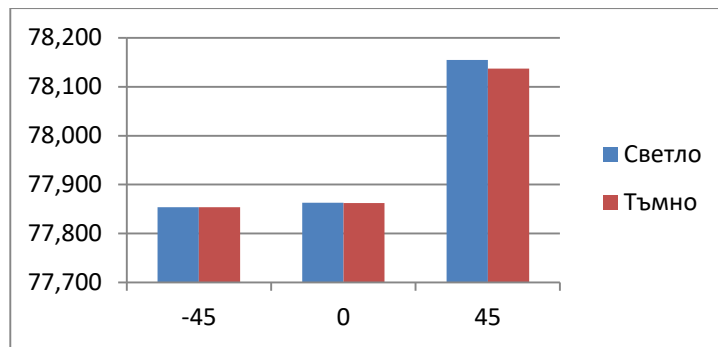
Фиг. 2.10. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние [3]

На следващата фигура са показани резултатите от линейните измервания за *променен ултрабазит (талк-хлоритов шист) – грапава страна*.



Фиг. 2.11. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние [3]

На фиг. 2.12 е показана промяната в измерените разстояния при различните ориентации и различна осветеност за *гипсова скала*.

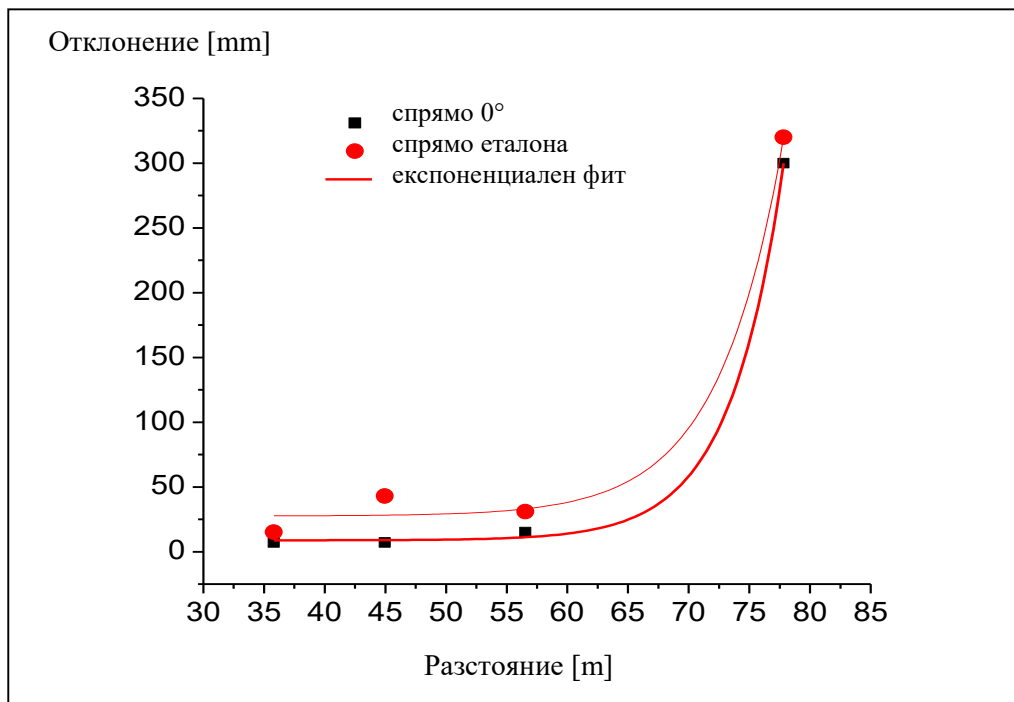


Фиг. 2.12. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние [3]

Изводи

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

1. При завъртане на гипсовата скала от - 45 до + 45 градуса, се наблюдава промяна в дължините спрямо нулевото положение и спрямо еталона. Тази зависимост е показана на фиг. 2.13. Вижда се, че тенденцията и в двата случая е експоненциална.



Фиг. 2.13. Зависимост между разстоянието до обекта и грешката [3]

2. Почти във всички случаи на измерване промяната в осветеността на минерала, независимо 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.

3. При сравнение на гладката страна на варовик с калцитни прожилки и променен ултрабазит (талк-хлоритов шист) за първата и последната дължина (35.808 и 77.831) и между гладката и грапавата страна на променен ултрабазит (талк-хлоритов шист), за същите две дължини се вижда, 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

Представени са резултатите от извършено безрефлекторно измерване (с тотална станция Trimble S6) на разстоянията до 7 обекта с различни отражателни характеристики, а именно [6]:

Гипс – $\text{Ca}[\text{SO}_4]2\text{H}_2\text{O}$. Кристализира в моноклинна сингония. Кристалите му имат плочест хабитус. Минералните агрегати са масивни, кристални групи. Относително тегло 2.32. Показател на лъчепречупване 1.521 – 1.530. Притежава силна дисперсия.

Диопсид – $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$. Кристализира в моноклинна сингония. Кристалите му са късопризматични. Относителното тегло 3.3 – 3.5. Показател на лъчепречупване 1.670 – 1.700.

Доломит – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Кристализира в тригонална сингония. Относителното тегло е 2.95. Показател на лъчепречупване 1.500 – 1.679.

Хематит – Fe_2O_3 . Кристализира в тригонална сингония. Срещат се ромбодрични и пинакоидални кристали. Относително тегло 5.26. Показател на лъчепречупване 2.940 – 3.220.

Биотит – $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH,F})_2$. Кристализира в моноклинна сингония. Среща се като псевдохексагонални кристали и неправилни люспи или люспести агрегати. Относително тегло 2.8 – 3.4. Показател на лъчепречупване 1.565 – 1.696 [2, 22, 14].

Базалт – Относително тегло 2.6.

Диабаз – Относително тегло 2.79 – 3.3.

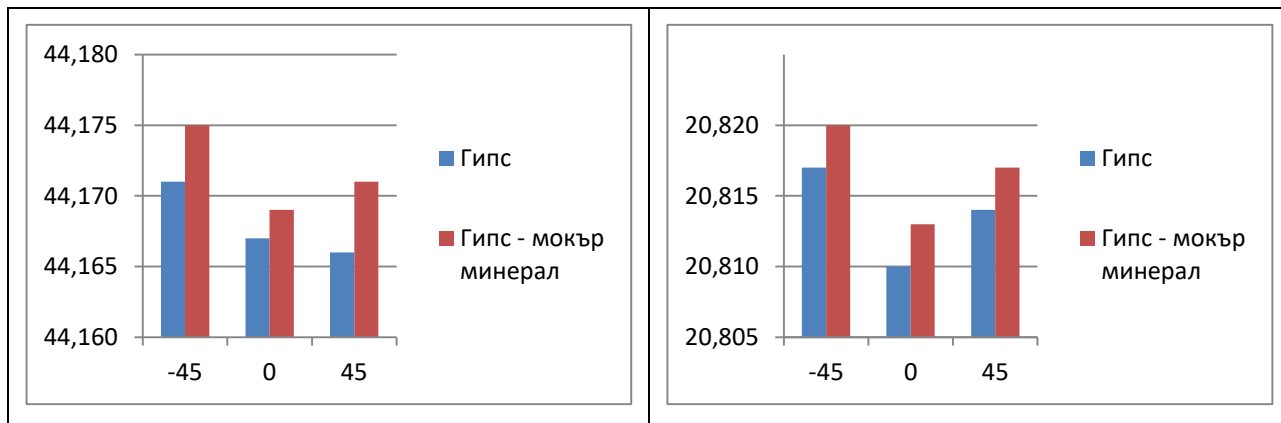
Проведени са измервания на две разстояния 20.799 m и 44.148 m. Първоначално разстоянията са измерени с отражателна марка. Стойностите им са приети за еталон.

В табл. 2.2 са представени резултатите от измерванията до седемте образеца, при различните разстояния.

Табл. 2.2

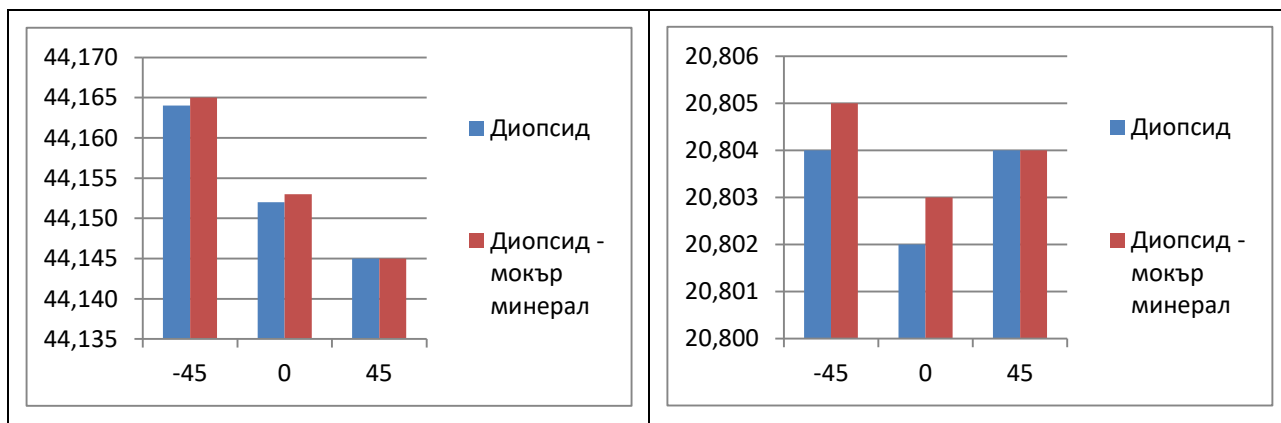
	Разстояние	Разстояние	Разстояние	Разстояние
	Еталон 44.148		Еталон 20.799	
Завъртане	Гипс	Гипс - мокър минерал	Гипс	Гипс - мокър минерал
- 45°	44.171	44.175	20.817	20.820
0°	44.167	44.169	20.810	20.813
+ 45°	44.166	44.171	20.814	20.817
Завъртане	Диопсид	Диопсид - мокър минерал	Диопсид	Диопсид - мокър минерал
- 45°	44.164	44.165	20.804	20.805
0°	44.152	44.153	20.802	20.803
+ 45°	44.145	44.145	20.804	20.804
Завъртане	Доломит	Доломит - мокър минерал	Доломит	Доломит - мокър минерал
- 45°	44.145	44.146	20.802	20.803
0°	44.148	44.148	20.801	20.802
+ 45°	44.149	44.151	20.801	20.803
Завъртане	Хематит	Хематит - мокър минерал	Хематит	Хематит - мокър минерал
- 45°	44.146	44.144	20.799	20.799
0°	44.148	44.148	20.798	20.798
+ 45°	44.148	44.148	20.799	20.798
Завъртане	Базалт	Базалт - мокър минерал	Базалт	Базалт - мокър минерал
- 45°	44.151	44.150	20.803	20.802
0°	44.149	44.152	20.802	20.801
+ 45°	44.155	44.153	20.801	20.802
Завъртане	Диабаз	Диабаз - мокър минерал	Диабаз	Диабаз - мокър минерал
- 45°	44.144	44.144	20.796	20.796
0°	44.147	44.145	20.797	20.795
+ 45°	44.147	44.147	20.795	20.794
Завъртане	Биотит	Биотит - мокър минерал	Биотит	Биотит - мокър минерал
- 45°	44.146	44.145	20.806	20.805
0°	44.148	44.148	20.803	20.803
+ 45°	44.150	44.150	20.805	20.805
Завъртане	Диопсид - мъгла пред минерала		Диопсид - мъгла пред минерала	
0°	44.136		20.792	

На фиг. 2.14 са представени резултатите от измерванията за *гипсова скала* при двете дължини. От таблица 2.2 се вижда, че измереното разстояние се различава с до 27 mm при еталонна дължина 44.148 m, а при дължина 20.799 m с до 21 mm. При промяна на ъгъла от - 45 до + 45 градуса, разликата в разстоянията е до 7 mm (фиг. 2.14).



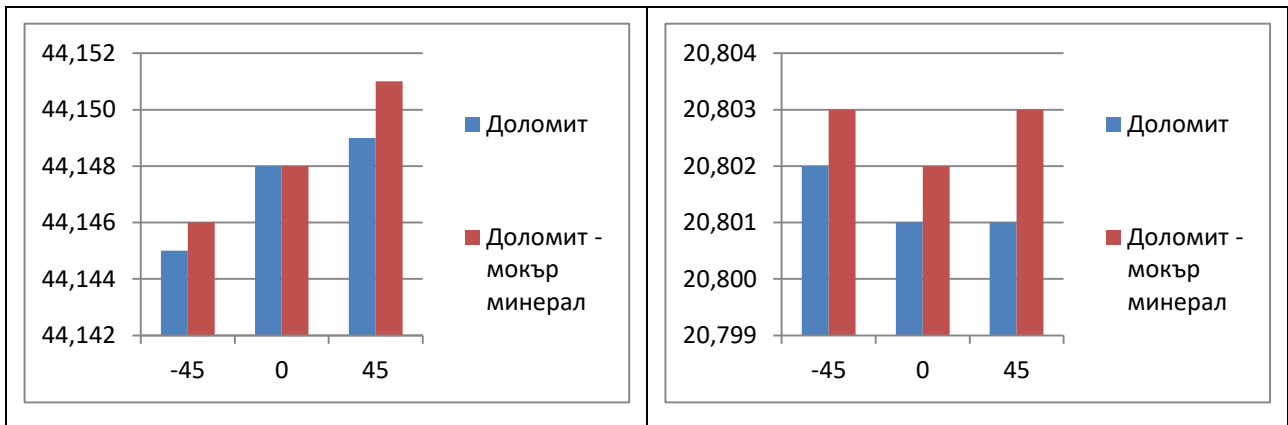
Фиг. 2.14. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние за гипс [6]

Резултатите от измерванията за *диопсид* са представени на фиг. 2.15. Разликата спрямо еталонното разстояние при дължина 44.148 m е до 17 mm, при дължина 20.799 m – до 6 mm, а между различните посоки е в диапазона до 12 mm при дължина 44.148 m.



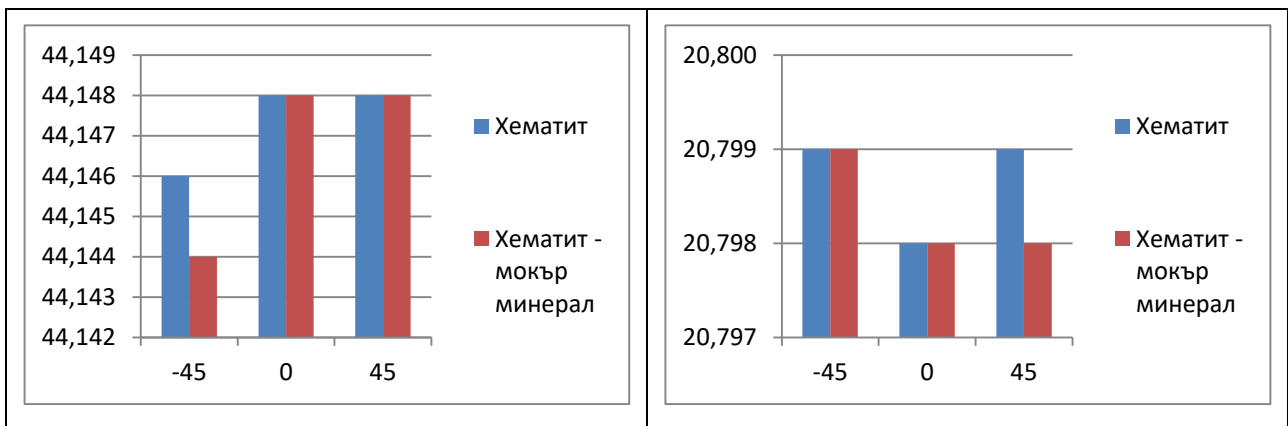
Фиг. 2.15. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние за диопсид [6]

На фиг. 2.16 е показана промяната в измерените разстояния при различните ориентации и различните дължини за *доломит*. Разликата спрямо еталонното разстояние при дължина 44.148 m е до 3 mm, при дължина 20.799 m – до 4 mm, а между завъртанията – максимално 3 mm при дължина 44.148 m.



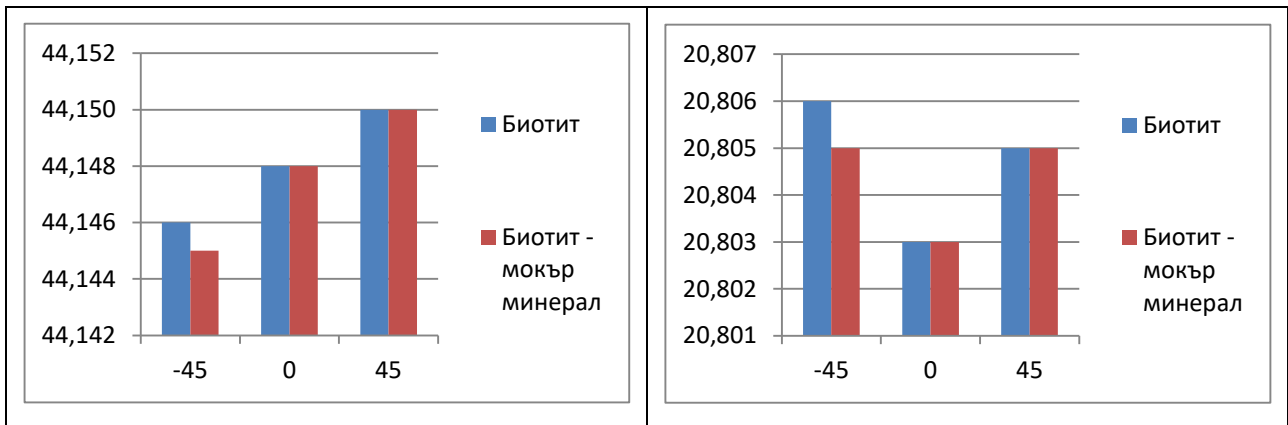
Фиг. 2.16. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние за доломит [6]

От представените резултати в табл. 2.2 и на фиг. 2.17 се вижда, че при *хематит* отклоненията спрямо еталонното разстояние, както и при промяна на ъгъла от - 45 до + 45 градуса, са до 4 mm при дължина 44.148 m и до 1 mm при дължина 20.799 m.



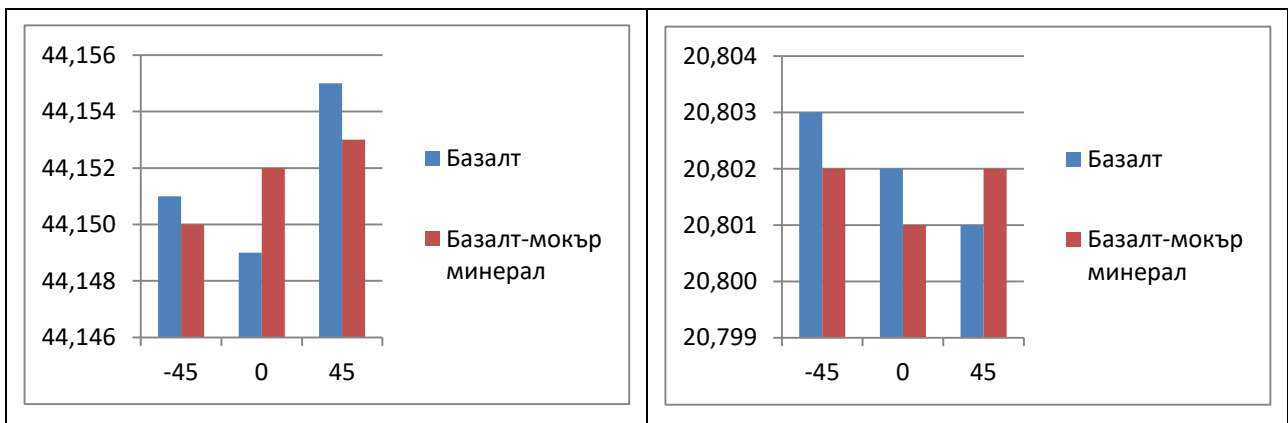
Фиг. 2.17. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние за хематит [6]

На фиг. 2.18 са представени резултатите от линейните измервания за *биотит*. При него се наблюдават разлики спрямо измереното еталонно разстояние до 3 mm при дължина 44.148 m и до 7 mm при дължина 20.799 m, а между завъртанията – максимално 3 mm и при двете дължини.

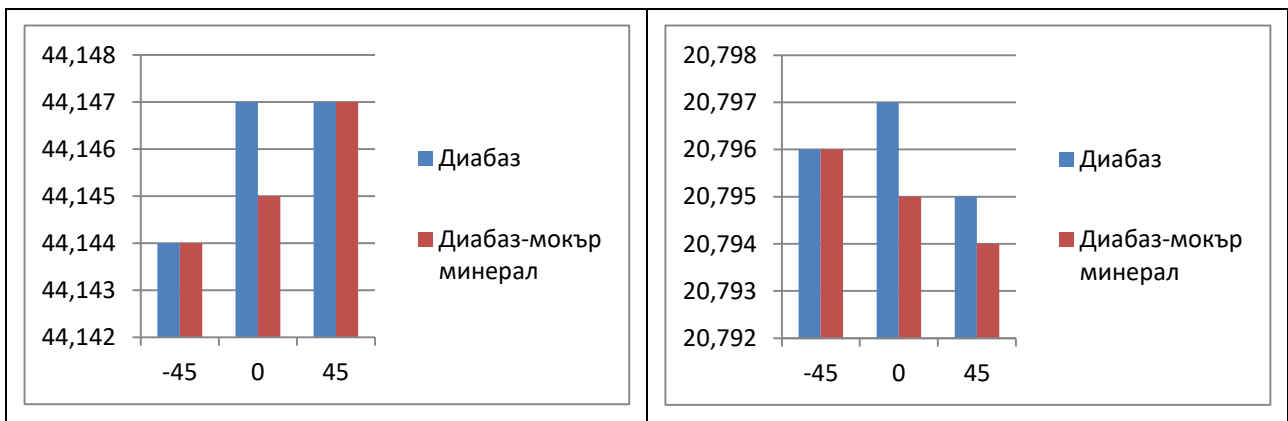


Фиг. 2.18. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние за биотит [6]

На следващите две фигури фиг. 2.19 и фиг. 2.20 са показани резултатите от извършените измервания за *базалт и диабаз*. От табл. 2.2 се вижда, че и при двата образца разликите спрямо еталонното разстояние са до 7 mm, а между различните посоки максимално 6 mm.



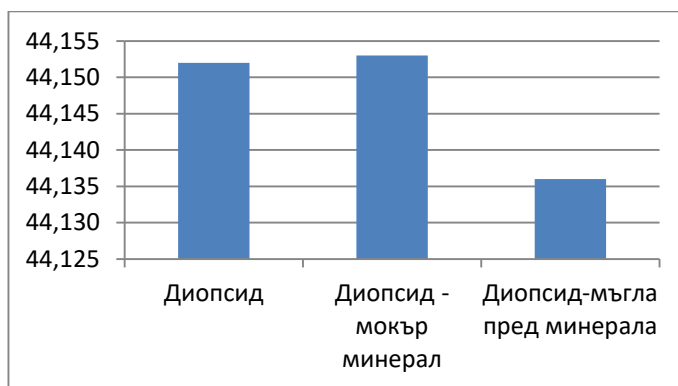
Фиг. 2.19. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние за базалт [6]



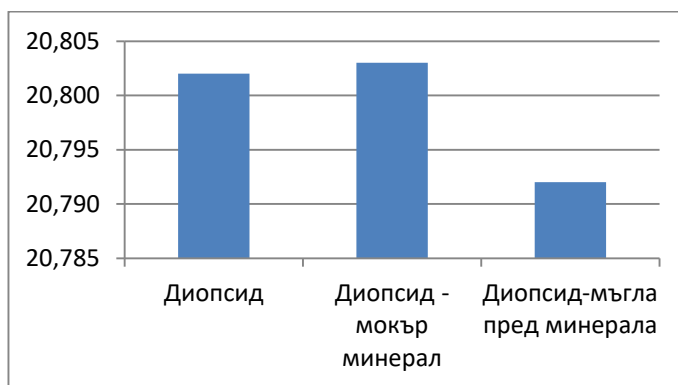
Фиг. 2.20. Зависимост между посоката на ориентация и измереното разстояние за диабаз [6]

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.



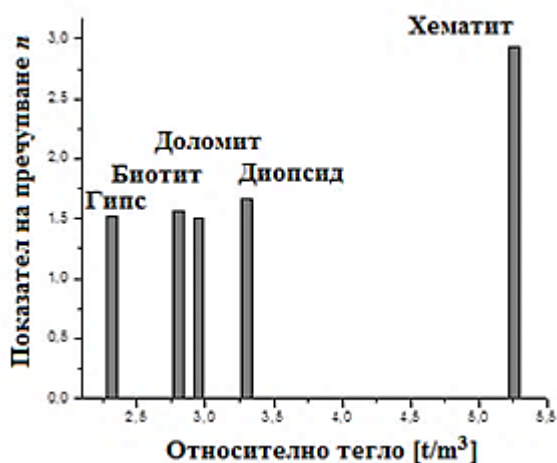
Фиг. 2.21 [6]



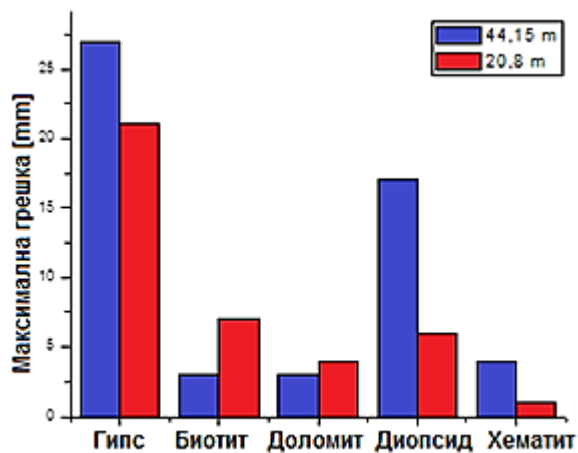
Фиг. 2.22 [6]

На фиг. 2.23 е представена зависимостта между показателя на пречупване и относителното тегло на отделните образци.

На следващата фиг. 2.24 е представена графика на максималните грешки за двете разстояния при различните минерални образци, подредени по нарастване на относителното им тегло.



Фиг. 2.23 [6]

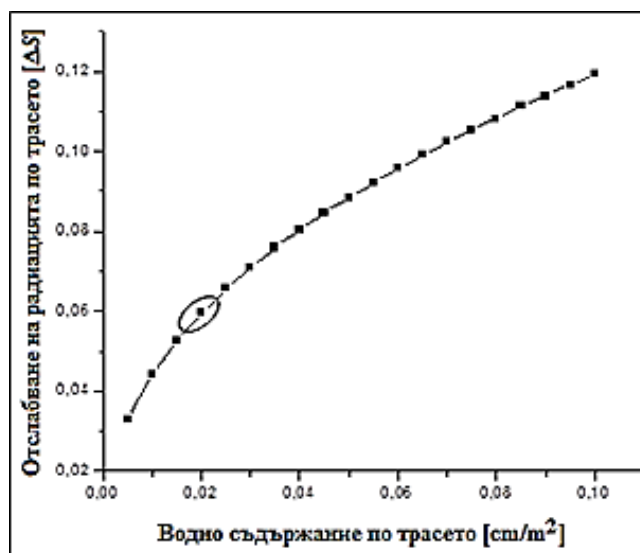


Фиг. 2.24 [6]

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 [18].

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

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 [6]

Водното съдържание е в сантиметри воден стълб ($1 \text{ cmH}_2\text{O} = 10 \text{ l}$). Измерванията са проведени при влагосъдържание около $100 \text{ g}/\text{m}^2$, което е еквивалентно на $0.2 \text{ l}/\text{m}^2$, 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

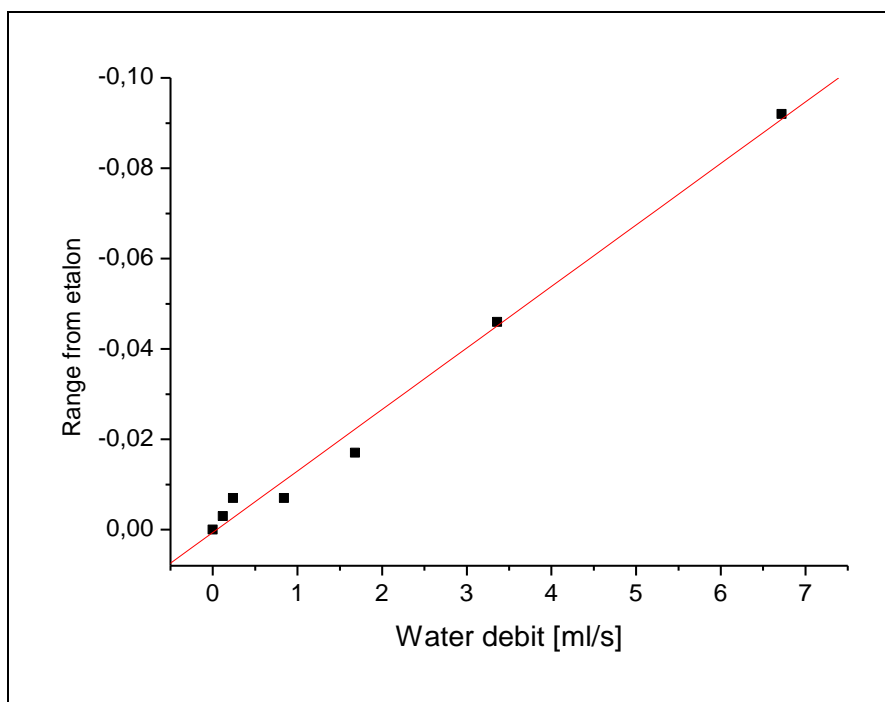
За целите на експерименталното изследване е имитирана мъгла с помощта на пулверизатор с възможност за промяна на дебита [5]. Най-малкият дебит е 0.12 ml/s, като постепенно е увеличен 2, 7, 14, 28 и 56 пъти.

Резултатите от измерването (отново с тотална станция Trimble S6) са представени в табл. 2.3.

Табл. 2.3

Измерване	Разстояние, m	Разлика спрямо еталона, m
Еталон	21.788	
1	21.785	-0.003
2	21.781	-0.007
3	21.781	-0.007
4	21.771	-0.017
5	21.742	-0.046
6	21.696	-0.092

На фиг. 2.26 е представена зависимостта 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.



Фиг. 2.26. Зависимост между отклоненията в измереното разстояние спрямо еталона и увеличаването на дебита на пулверизатора [5]

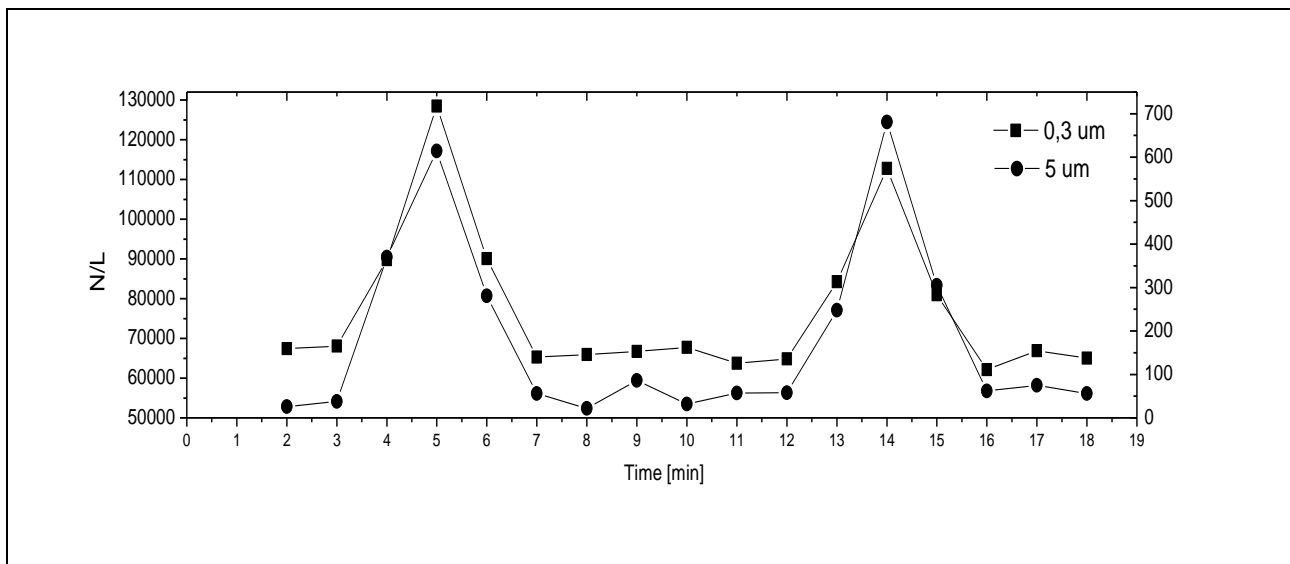
В табл. 2.4 е представен видът на полинома и стойностите на коефициентите му, както и точността с която са определени.

Табл. 2.4

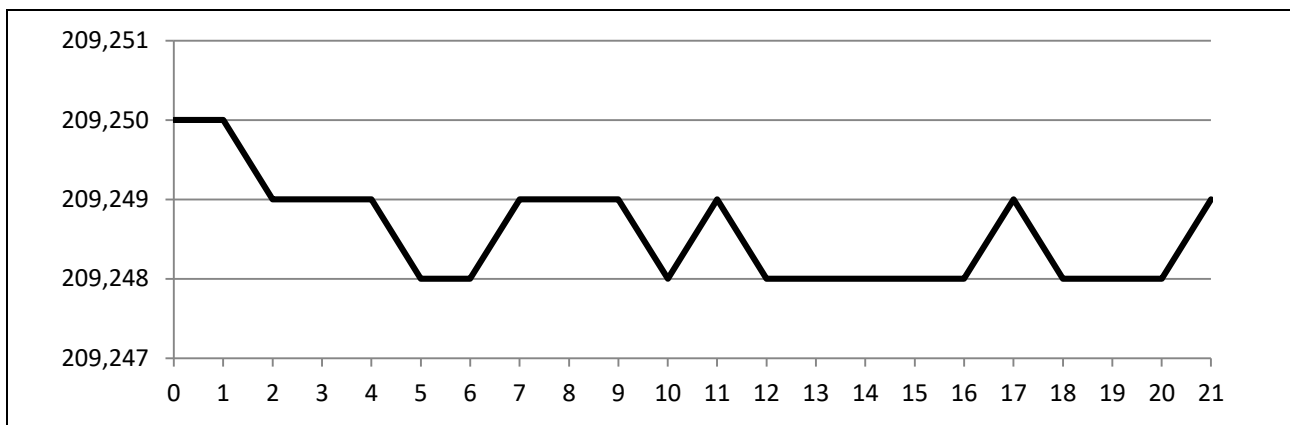
Linear Regression			
$Y = A + B * X$			
Parameter	Value	Error	
A	6.34029E-4	0.00179	
B	-0.01361	6.1177E-4	
R	SD	N	P
-0.99499	0.00367	7	<0.0001

При втория експеримент са проведени измервания в реална среда, като е регистрирана запрашеност на въздуха с частици с размер 0.3 μm и частици с размер 5 μm . 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 [5]



Фиг. 2.28. Промяна на измереното разстояние (в метри), като функция от времето (в минути) [5]

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. Експериментално изследване и анализ на грешки, дължащи се на разстоянието и албедото при безрефлекторни измервания

Представени са експериментални резултати от проведени линейни измервания до 8 разнородни образца [7]: 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.

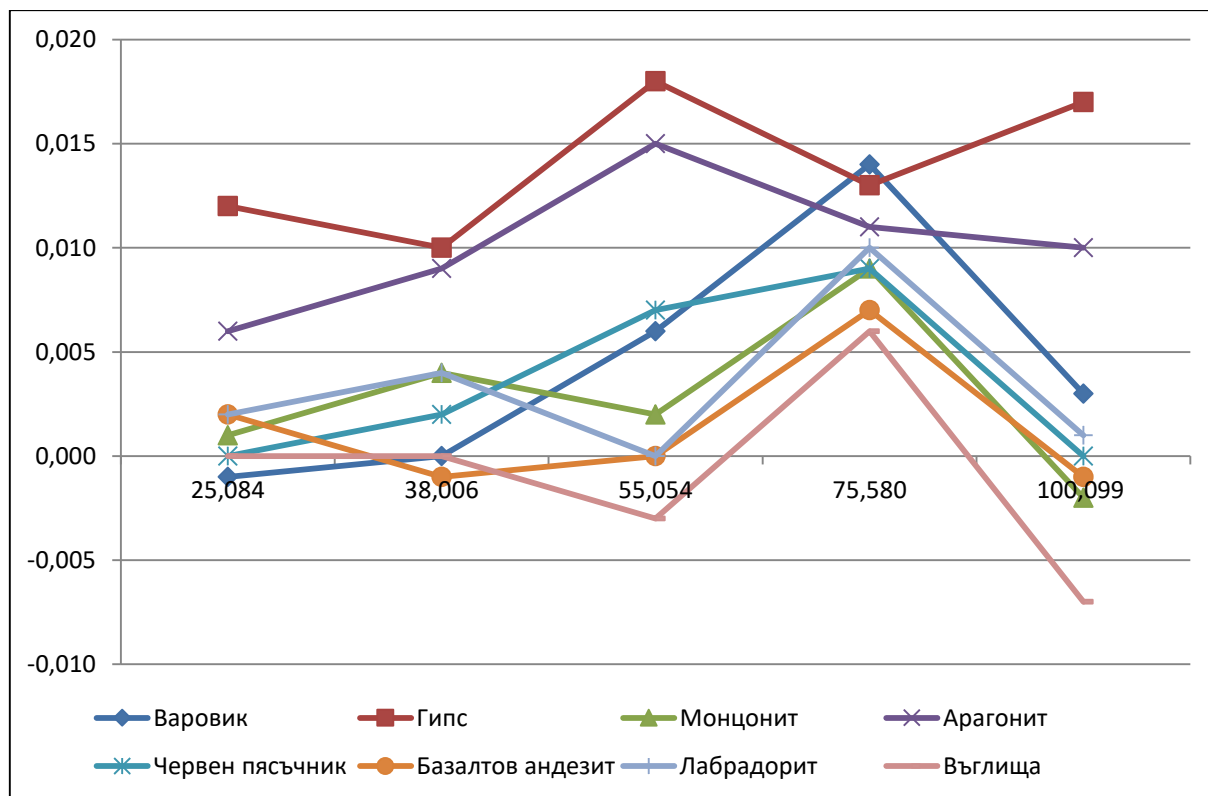
Проведени са измервания на пет дължини 25.080 m, 38.002 m, 55.054 m, 75.580 m и 100.099 m. Разстоянията са измерени първоначално с отражателна марка и стойностите им са приети за еталон. Използвана е тоталната станция Trimble S6. Резултатите от измерванията са представени в табл. 2.5.

Табл. 2.5

Еталон	25.080	38.002	55.054	75.580	100.099	25.080	38.002	55.054	75.580	100.099
Завъртане	Варовик					Червен пясъчник				
-60°	25.080	38.002	55.066	75.593	100.113	25.082	38.011	55.066	75.595	100.125
-40°	25.081	38.005	55.062	75.595	100.106	25.082	38.010	55.063	75.591	100.104
-20°	25.082	38.006	55.061	75.594	100.103	25.083	38.009	55.061	75.590	100.104
0°	25.083	38.006	55.060	75.594	100.102	25.084	38.008	55.061	75.589	100.099
20°	25.083	38.007	55.061	75.595	100.102	25.083	38.009	55.061	75.588	100.102
40°	25.083	38.006	55.062	75.597	100.101	25.084	38.008	55.063	75.586	100.101
60°	25.082	38.004	55.064	75.599	100.103	25.085	38.009	55.069	75.586	100.106
Завъртане	Гипс					Базалтов андезит				
-60°	25.117	38.027	55.101	75.608	100.134	25.087	37.996	55.056	75.589	100.092
-40°	25.113	38.031	55.097	75.612	100.136	25.087	38.001	55.054	75.587	100.097
-20°	25.107	38.030	55.087	75.610	100.133	25.086	38.004	55.053	75.587	100.101
0°	25.096	38.016	55.072	75.593	100.116	25.086	38.005	55.054	75.587	100.098
20°	25.107	38.031	55.091	75.611	100.124	25.087	38.004	55.053	75.587	100.099
40°	25.113	38.038	55.093	75.612	100.129	25.090	38.001	55.052	75.587	100.099
60°	25.115	38.039	55.091	75.602	100.129	25.094	37.995	55.049	75.592	100.087
Завъртане	Монцонит					Лабрадорит				
-60°	25.088	38.011	55.060	75.593	100.100	25.087	38.011	55.056	75.592	100.092
-40°	25.086	38.010	55.057	75.593	100.098	25.086	38.010	55.057	75.592	100.108
-20°	25.085	38.010	55.056	75.590	100.096	25.086	38.010	55.055	75.588	100.103
0°	25.085	38.010	55.056	75.589	100.097	25.086	38.010	55.054	75.590	100.100
20°	25.086	38.009	55.055	75.588	100.095	25.086	38.009	55.054	75.587	100.100
40°	25.086	38.011	55.055	75.591	100.096	25.088	38.008	55.053	75.586	100.111
60°	25.088	38.017	55.055	75.590	100.095	25.090	38.006	55.050	75.582	100.112
Завъртане	Арагонит					Въглища				
-60°	25.090	38.014	55.073	75.589	100.113	25.091	38.007	55.046	75.573	100.666
-40°	25.090	38.015	55.071	75.595	100.106	25.089	38.007	55.049	75.577	100.399
-20°	25.091	38.016	55.070	75.593	100.107	25.088	38.006	55.052	75.582	100.189
0°	25.090	38.015	55.069	75.591	100.109	25.084	38.006	55.051	75.586	100.092
20°	25.091	38.016	55.069	75.591	100.109	25.083	38.005	55.049	75.584	100.375
40°	25.092	38.015	55.070	75.588	100.104	25.083	38.003	55.048	75.580	100.376
60°	25.093	38.015	55.065	75.586	100.128	25.080	37.999	55.041	75.571	100.332

Далекомерът в Trimble S6 е импулсен с дължина на вълната 905 nm. За изчисляване на разстоянието при импулсния метод се определя точното време за преминаване на импулса до целта и обратно. Излъчването на светлината се осъществява във вид на много кратки импулси, притежаващи голяма концентрация и енергия [30]. Времето за преминаване на двойно измерваното разстояние – от излъчвателя до отражателя и обратно, се измерва непосредствено с помощта на брояч на количеството времеви импулси между моментите на излъчване на сигнала и приемане на отразения сигнал. Инструменталната точност на импулсния далекомер се определя от възможността на брояча да регистрира два последователни времеви импулса през възможно най-кратък период от време. Върху точността на далекомера оказват влияние също и интензитетът, и формата на излъчения импулс.

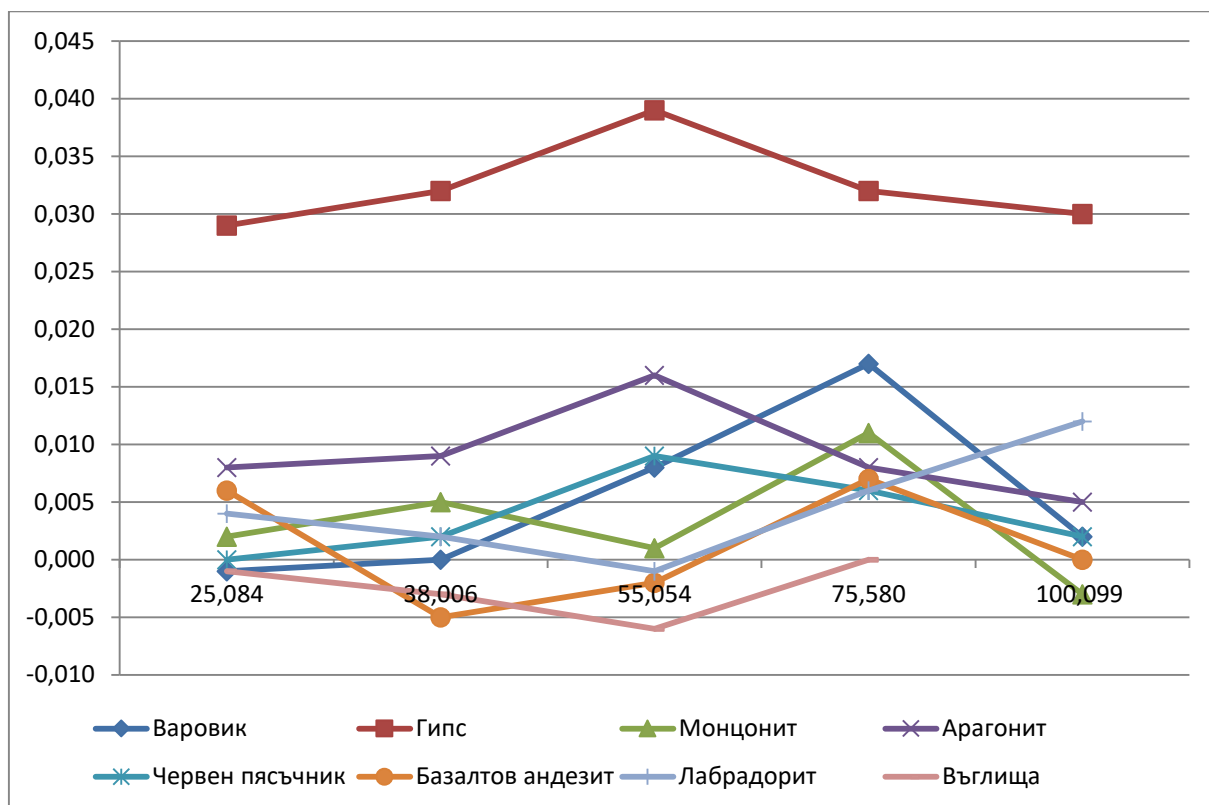
На фиг. 2.29 са представени, разликите спрямо еталонното разстояние, за 8-те образца, при различните дължини и ъгъл на завъртане 0° .



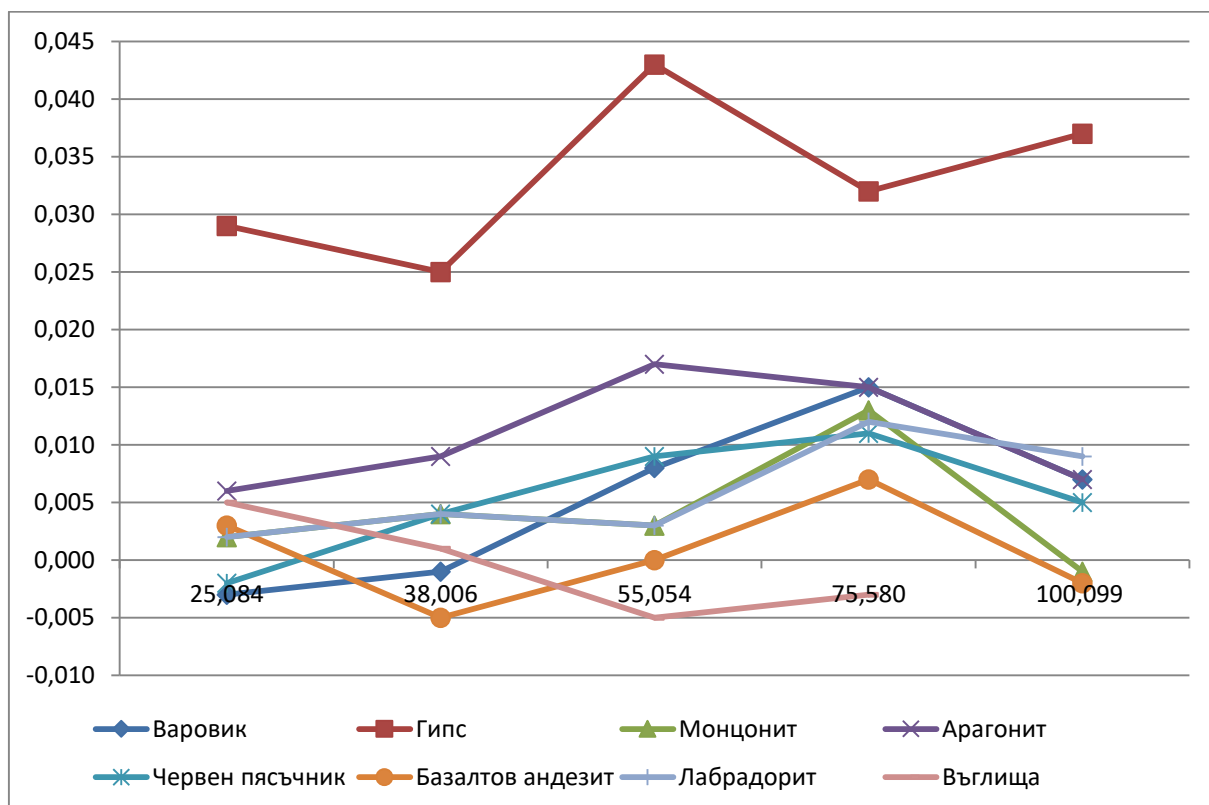
Фиг. 2.29. Разлики спрямо еталонното разстояние при ъгъл на завъртане 0° [7]

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.

На следващите фигури (фиг. 2.30 и 2.31) са представени разликите спрямо еталонното разстояние при ъгъл на завъртане + 40° и - 40°



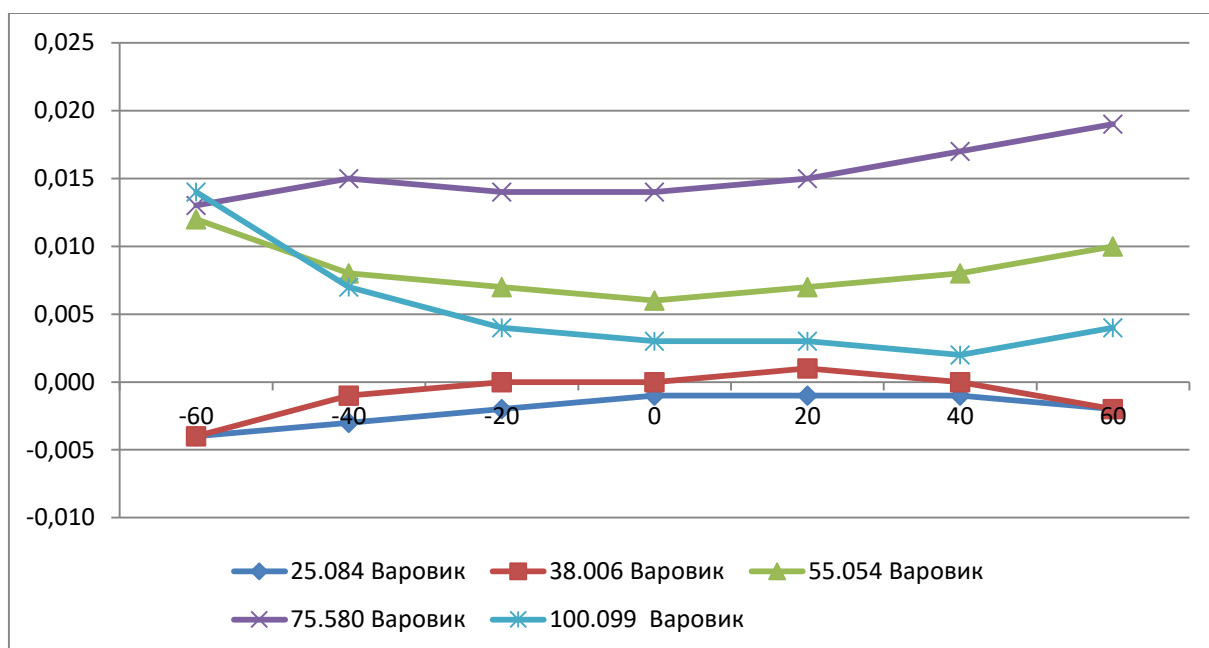
Фиг. 2.30. Разлики спрямо еталонното разстояние при ъгъл на завъртане + 40° [7]



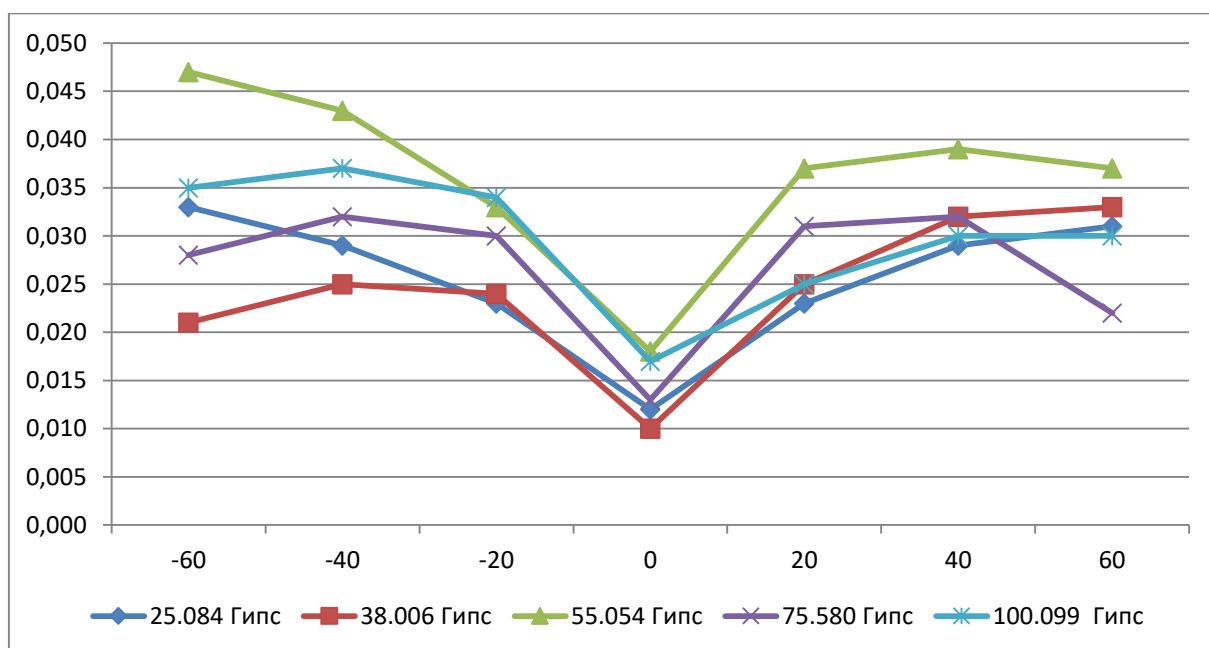
Фиг. 2.31. Разлики спрямо еталонното разстояние при ъгъл на завъртане - 40° [7]

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.

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



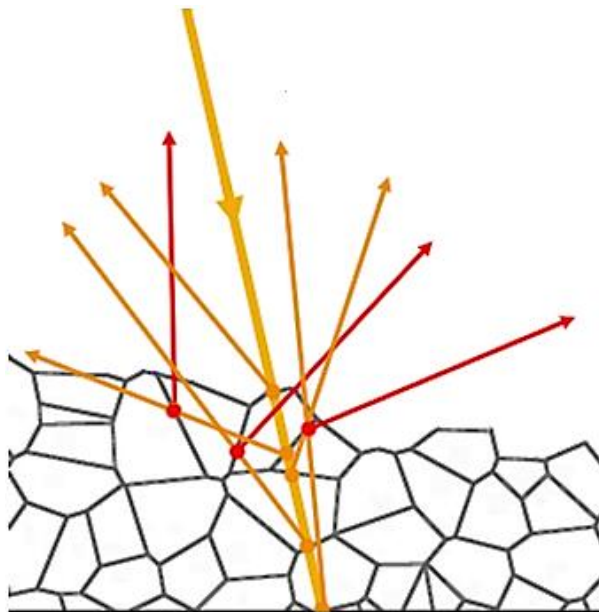
Фиг. 2.32. Разлики спрямо еталонното разстояние за варовик [7]



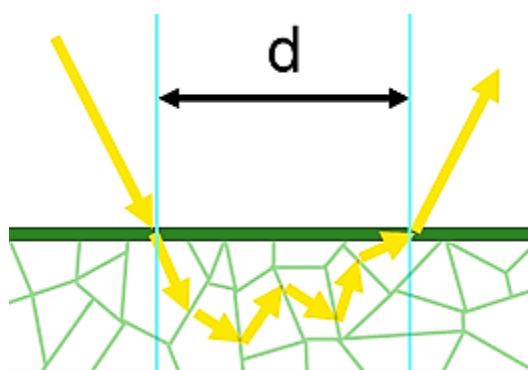
Фиг. 2.33. Разлики спрямо еталонното разстояние за гипс [7]

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

Това може да бъде илюстрирано с фиг. 2.34 и фиг. 2.35, където нагледно е представено, че при някои минерали, лазерният лъч се пречупва и отразява в самия минерал от минералните зърна, също така е налице и поглъщане (абсорбция) от минералите.



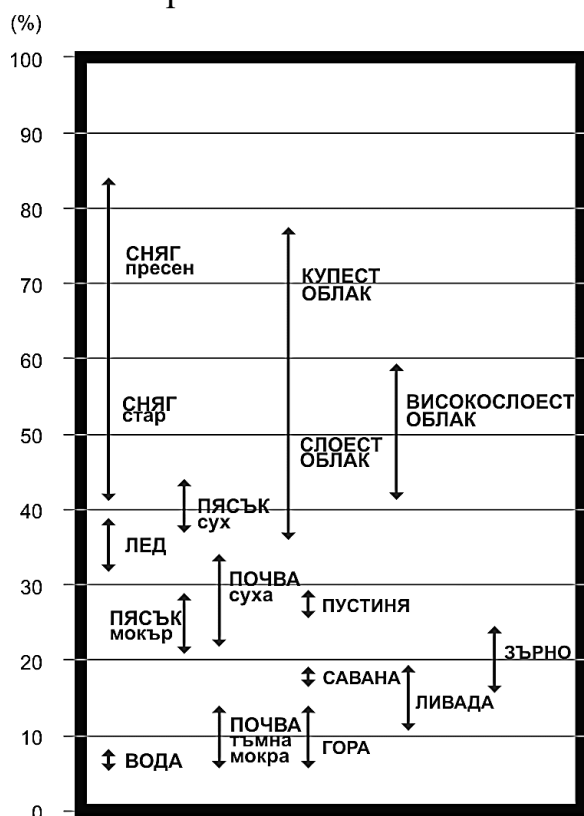
Фиг. 2.34. Отклоняване на лазерните лъчи от първоначалната посока, чрез отражение и пречупване [7]



Фиг. 2.35. Подповърхностно разсейване [7]

За да се изследва влиянието на албедото върху точността на измерено разстояние, то следва да се изясни неговата същност. Алbedo е отношението между отразената и падащата светлина върху дадено тяло – отражателна способност на тялото. То приема стойности от 0 до 1, които биха могли да се

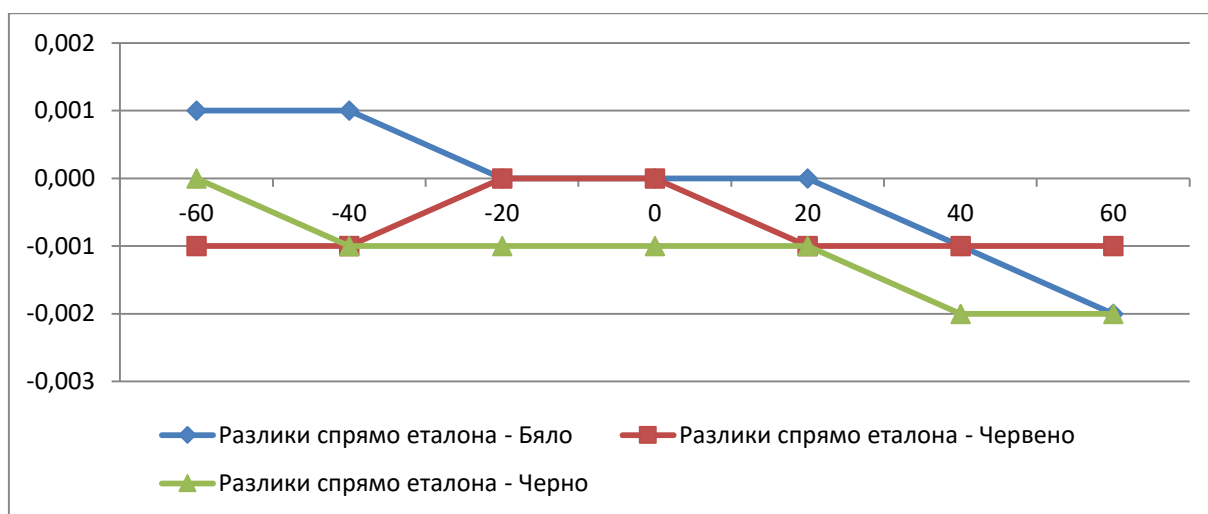
представят и в проценти. Албедото зависи от ъгъла на падане на светлината и отражателната способност на повърхността.



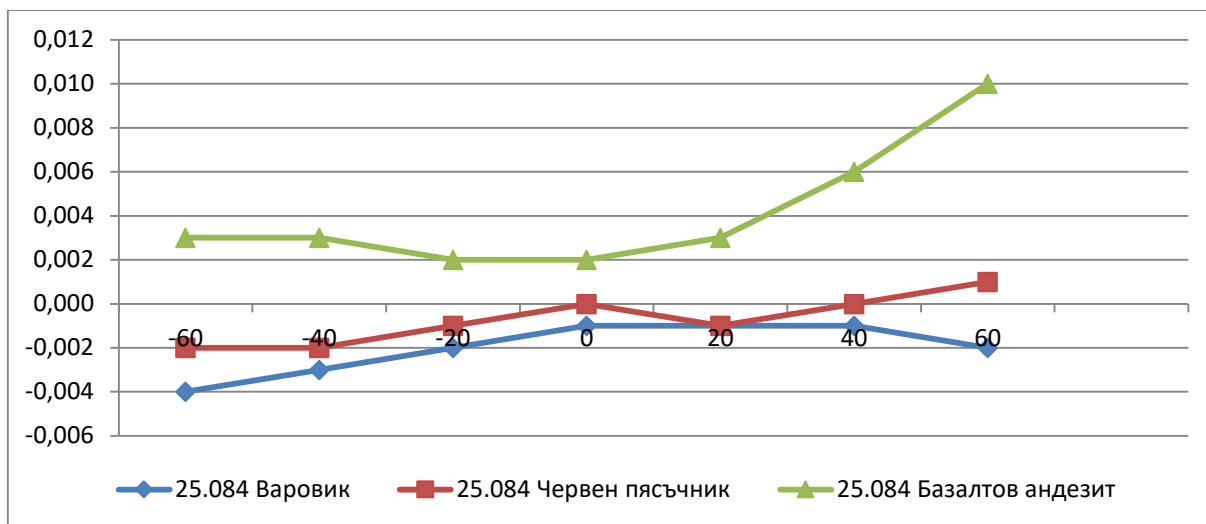
Фиг. 2.36 [48]

Например, на фиг. 2.36 може да се види количеството на отразената слънчева светлина от различни повърхности на Земята [48].

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 [7]



Фиг. 2.38. Разлики спрямо еталонното разстояние за варовик, червен пясъчник и базалтов андезит [7]

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.

При лазерното измерване на разстояния, грешките свързани с околната среда произтичат главно от атмосферни промени в температура, налягане и влажност, които влияят върху коефициента на пречупване и променят дължината на вълната на електромагнитната енергия.

Известно е, че атмосферата на Земята винаги се намира в състояние на вихрово движение, което от своя страна причинява хаотична промяна в стойностите на температурата и като следствие – промяна в показателя на пречупване. Въпреки, че максималните стойности на флуктуациите на температурата са от порядъка на 1°C, причинените от тях съответстващи изменения на показателя на пречупване оказват съществено влияние върху амплитудата и фазата на лазерния сигнал.

Показателят на пречупване на въздуха в оптичния и близкия до него диапазон приблизително може да се представи с формулата [23]:

$$n - 1 = 77,6(1 + 7,52 \cdot 10^{-3} \lambda^{-2})(P/T)10^{-6}, \quad (2.7)$$

където:

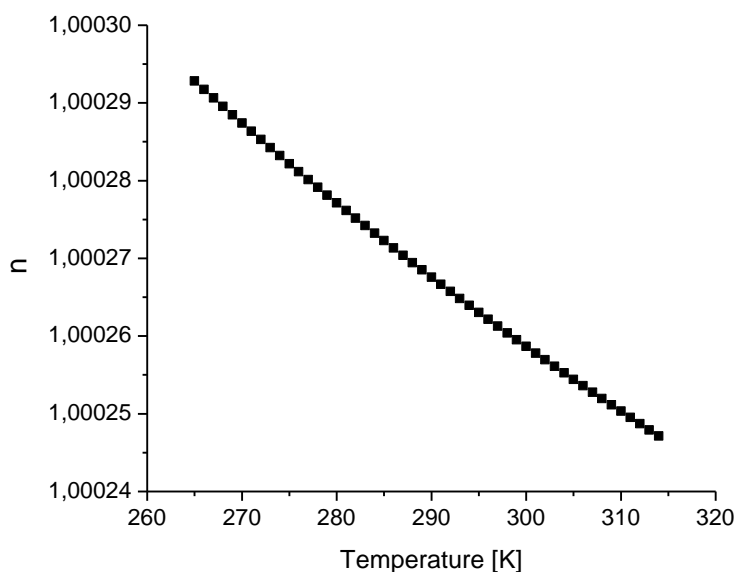
P – налягането в милибари;

T – температура на въздуха в келвини;

λ – дължина на вълната на лазерното лъчение в микрометри.

В уравнението е пренебрегнат членът, свързан с влиянието на влажността на въздуха. Установено е, че в болшинството от случаите, при измервания над сушата, грешката от закръглението обикновено не надвишава 1 %.

Промяната в показателя на пречупване означава промяна и в скоростта на разпространение на лазерния лъч в съответната среда (в случая въздух) в сравнение с тази във вакуум. Обикновено разликата на този показател, измерен на морско ниво е около $3 \cdot 10^{-4}$. На фигура 2.39 е показана зависимостта на показателя на пречупване на въздуха на морско ниво ($P = 1000 \text{ mbar}$), за дължина на вълната $1 \mu\text{m}$.



Фиг. 2.39. Промяна на показателя на пречупване на въздуха в зависимост от температурата на морско ниво за дължина на лазерното лъчение $1 \mu\text{m}$ [7]

Тъй като част от лазерните далекомери мерят разстоянието до обекта чрез прецизно измерване на времето, за което светлината отива до обекта и се връща в приемника, предполагайки че скоростта на светлината е константа, малка промяна на показателя на пречупване в рамките на споменатата по-горе би могла да доведе до грешка от няколко сантиметра на 100 m . За да се отстрани тази грешка, в голяма част от съвременните уреди е въведена автоматична корекция на показателя на пречупване в зависимост от параметрите на средата.

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 ъгъла 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 тотални 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. Експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер до образци от строителни материали

Представени са резултати от проведено експериментално измерване на разстояния до 9 различни по цвят и структура образца от строителни материали [11]: 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. Разстоянията са измерени първоначално с отражателна марка и стойностите им са приети за еталон.

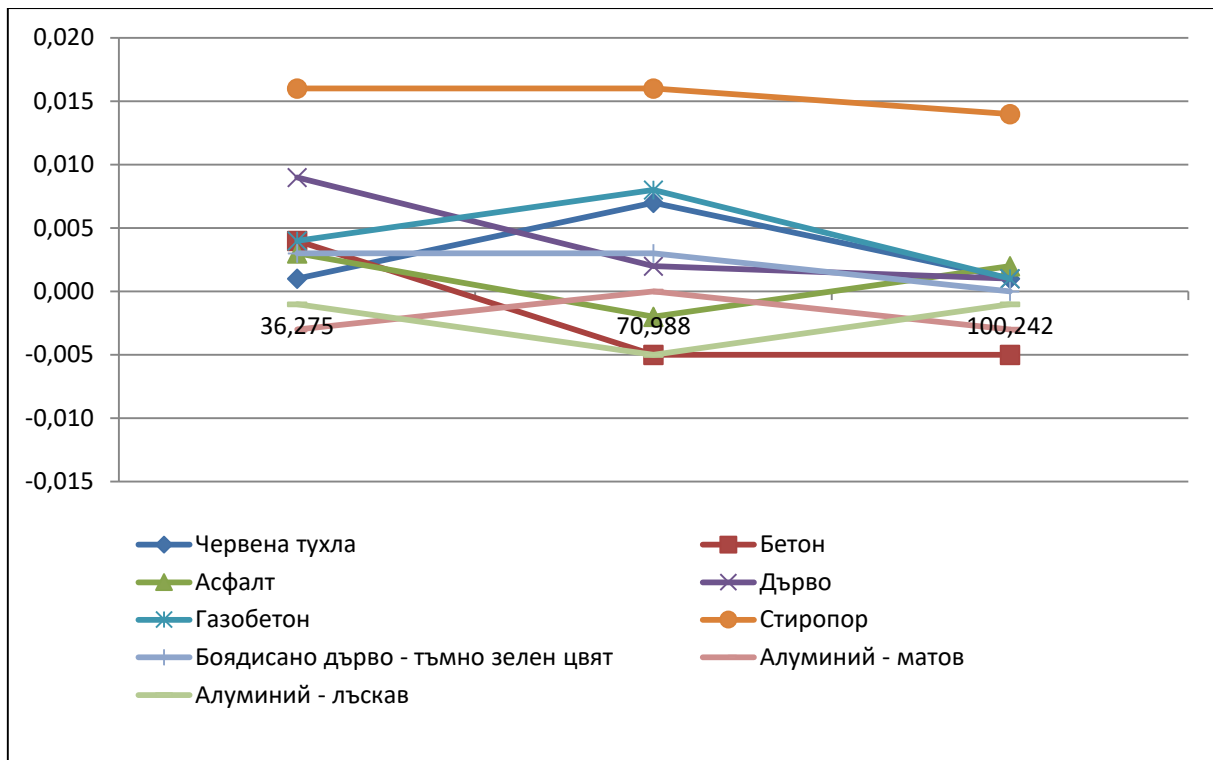
Измерванията са извършени „на закрито“ (с тотална станция Trimble S6), където атмосферните вариации са незначителни или почти постоянни.

Усреднените резултати от измерванията до деветте образца, при различните разстояния и ъгли на завъртане са представени в табл. 2.6.

Табл.2.6

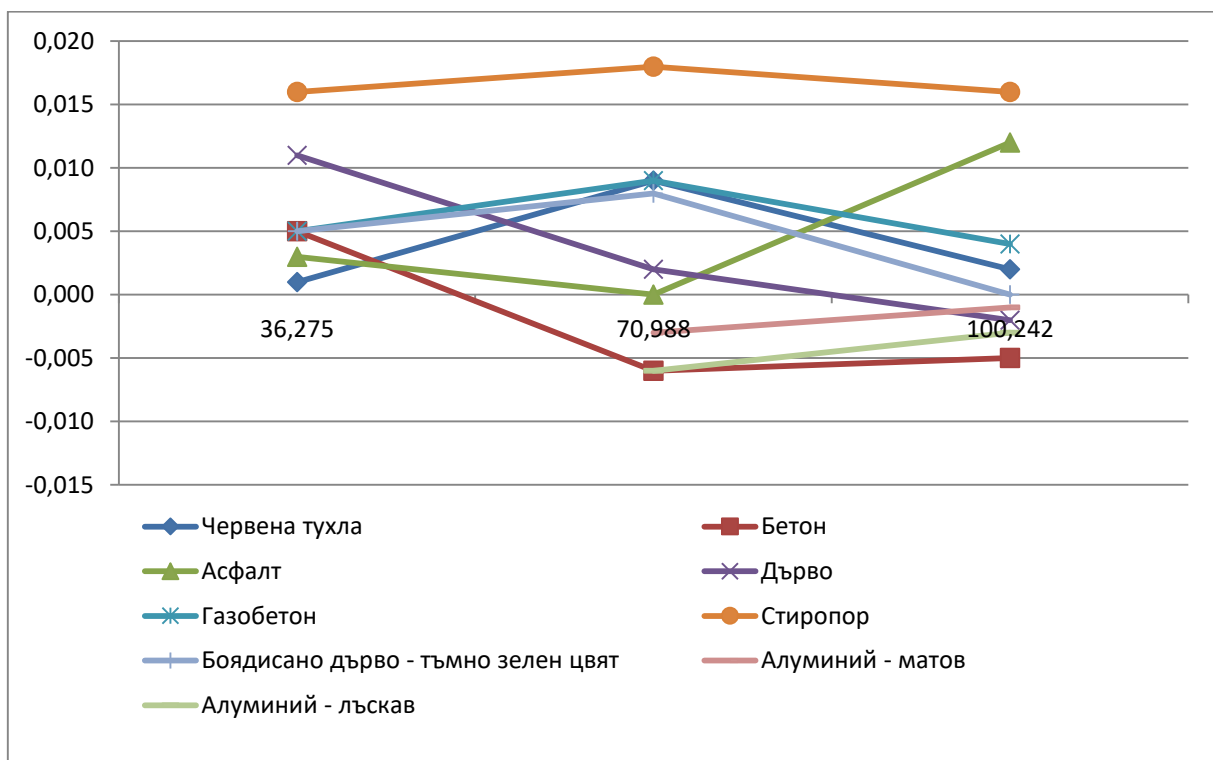
Еталон	36.275	70.988	100.242	36.275	70.988	100.242	36.275	70.988	100.242
Завъртане	Червена тухла			Бетон			Асфалт		
-60°	36.274	70.996	100.242	36.279	70.979	100.237	36.276	70.989	100.244
-40°	36.276	70.997	100.244	36.280	70.982	100.237	36.278	70.988	100.254
-20°	36.276	70.996	100.244	36.279	70.982	100.237	36.277	70.987	100.248
0°	36.276	70.995	100.243	36.279	70.983	100.237	36.278	70.986	100.244
20°	36.277	70.996	100.244	36.279	70.983	100.236	36.278	70.986	100.246
40°	36.278	70.997	100.244	36.279	70.984	100.235	36.278	70.983	100.244
60°	36.279	71.000	100.243	36.280	70.980	100.233	36.279	70.978	100.242
Завъртане	Дърво			Газобетон			Стиропор		
-60°	36.286	70.990	100.241	36.281	70.999	100.248	36.288	71.005	100.257
-40°	36.286	70.990	100.240	36.280	70.997	100.246	36.291	71.006	100.258
-20°	36.284	70.990	100.241	36.279	70.997	100.244	36.292	71.006	100.257
0°	36.284	70.990	100.243	36.279	70.996	100.243	36.291	71.004	100.256
20°	36.285	70.989	100.241	36.280	70.999	100.243	36.291	71.003	100.255
40°	36.286	70.988	100.240	36.281	71.000	100.242	36.288	70.998	100.255
60°	36.290	70.980	100.241	36.283	71.006	100.242	36.284	70.992	100.250
Завъртане	Боядисано дърво – тъмно зелен цвят			Алуминий - матов			Алуминий - лъскав		
-60°	36.281	70.999	100.242	36.277	70.985	100.245	36.559	70.983	100.238
-40°	36.280	70.996	100.242	36.327	70.985	100.241	36.538	70.982	100.239
-20°	36.280	70.993	100.241	36.284	70.987	100.239	36.718	70.984	100.240
0°	36.278	70.991	100.242	36.272	70.988	100.239	36.274	70.983	100.241
20°	36.279	70.990	100.240	36.271	70.982	100.236	36.273	70.979	100.239
40°	36.278	70.989	100.239	36.268	70.980	100.235	36.270	70.977	100.235
60°	36.280	70.984	100.240	36.263	70.975	100.231	36.264	70.969	100.231

На фиг. 2.40 са представени, разликите спрямо еталонното разстояние, за 9-те образца, при различните дължини и ъгъл на завъртане 0°.



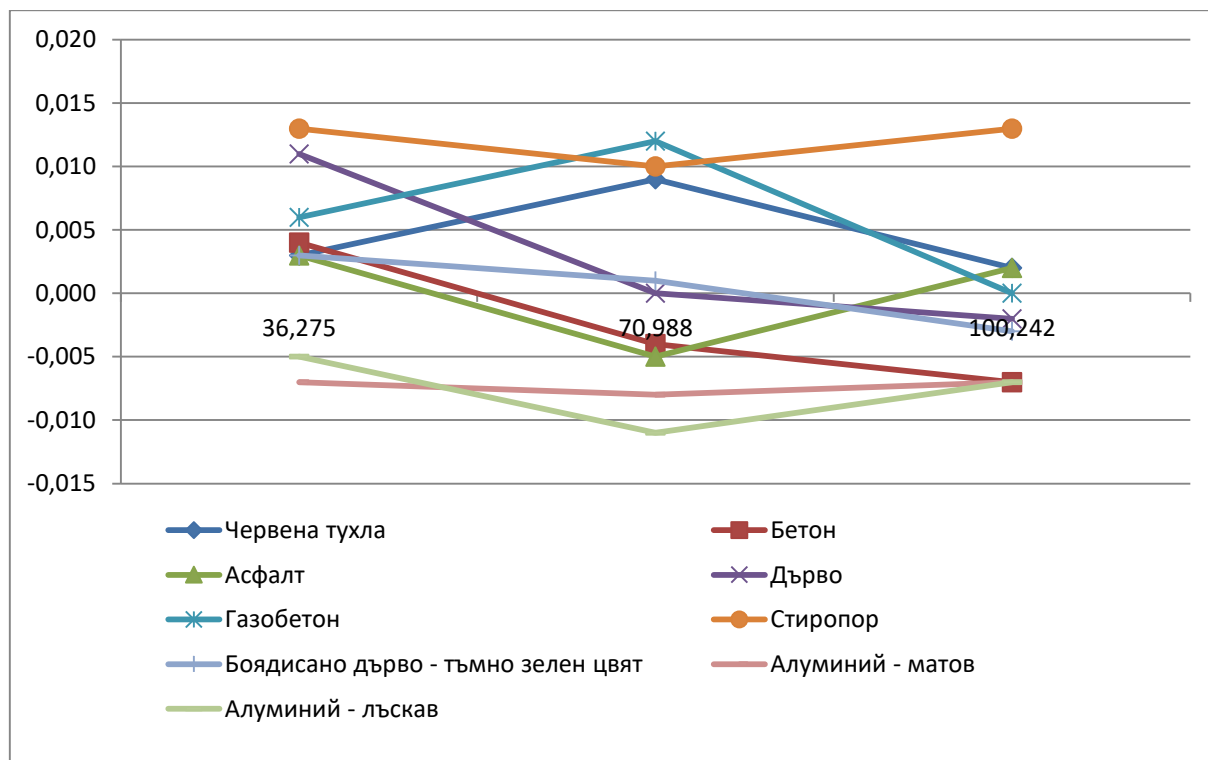
Фиг. 2.40. Разлики спрямо еталонното разстояние при ъгъл на завъртане 0° [11]

На фиг. 2.41 и 2.42 са представени разликите между еталонното разстояние и получените резултати за измерените дължини до деветте образца при ъгъл на завъртане + 40° и - 40°.



Фиг. 2.41. Разлики спрямо еталонното разстояние при ъгъл на завъртане + 40° [11]

При двата образца от алуминий (матов и лъскав) (фиг. 2.41), при измерване на дължина 36.275 m, не са получени достоверни резултати. Същите не са представени в графиката, поради значителното им отклонение от еталонното разстояние.



Фиг. 2.42. Разлики спрямо еталонното разстояние при ъгъл на завъртане - 40° [11]

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 отражателната му повърхност.

3. 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 обратно 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, и минерална суровина с кристална структура

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 рудник „Джурково“ и минерална суровина с кристална структура от минна изработка в рудник „Кошава“ (фиг. 2.76).

За целите на експеримента е използвана тотална станция Trimble S6, притежаваща безрефлекторна технология за измерване на дължини. С цел постигане на значими резултати от измерванията е осигурена статистическа съвкупност с достатъчен обем ($n = 60$), като е изследвана и надеждността на средната стойност на резултатите от всяка серия.

Предвид конкретните условия в посочените рудници, текущите дейности от маркшайдерското осигуряване на процесите и цикличността им, са избрани дължини с приблизителни стойности: 3, 10, 20, 30, 40 и 50 m - това са често измервани разстояния. Първоначално, разстоянията са измерени с отражателна марка и тези стойности са приети за еталон. Впоследствие 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 същите дължини.

По време на провеждане на експеримента температурата е била в границите от 18°C до 25°C и влажност на въздуха от 40 % до 52 %.

Резултатите от измерванията до седемте подбрани образца, извършени под различен ъгъл при различните разстояния са представени в табл. 2.7, като са дадени усреднените им стойности.

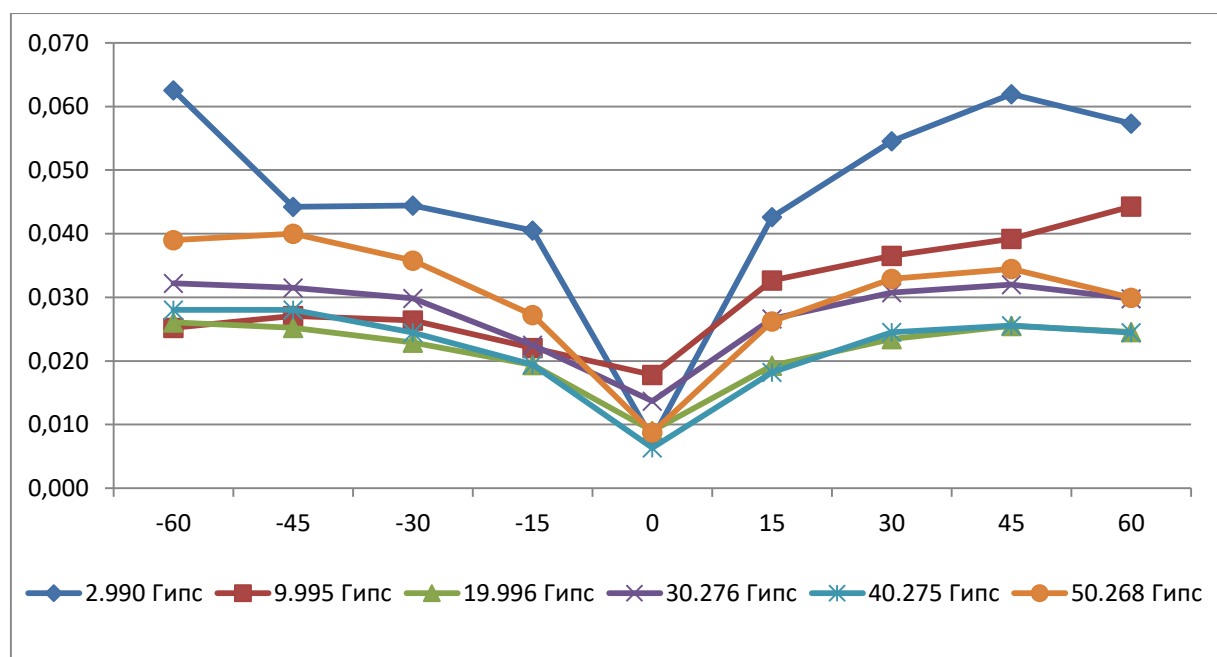
Табл. 2.7

	Гипс	Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - грапава повърхност	Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - грапава повърхност	Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - шлифована повърхност
Еталон	2.990	2.990	2.990	2.990	2.990	2.990	2.990
-60°	3.053	2.997	2.991	3.005	2.989	3.001	2.989
-45°	3.035	2.999	2.995	2.990	2.989	2.994	2.988
-30°	3.035	3.000	2.997	2.989	2.989	2.993	2.990
-15°	3.031	3.001	2.997	2.991	2.990	2.992	2.990
0°	2.998	2.997	2.997	2.991	2.990	2.990	2.991
15°	3.033	3.001	2.997	2.990	2.990	2.992	2.991
30°	3.045	3.001	2.996	2.990	2.991	2.993	2.991
45°	3.052	3.000	2.994	2.991	2.990	2.994	2.990
60°	3.048	2.998	2.992	2.991	2.990	2.995	2.989

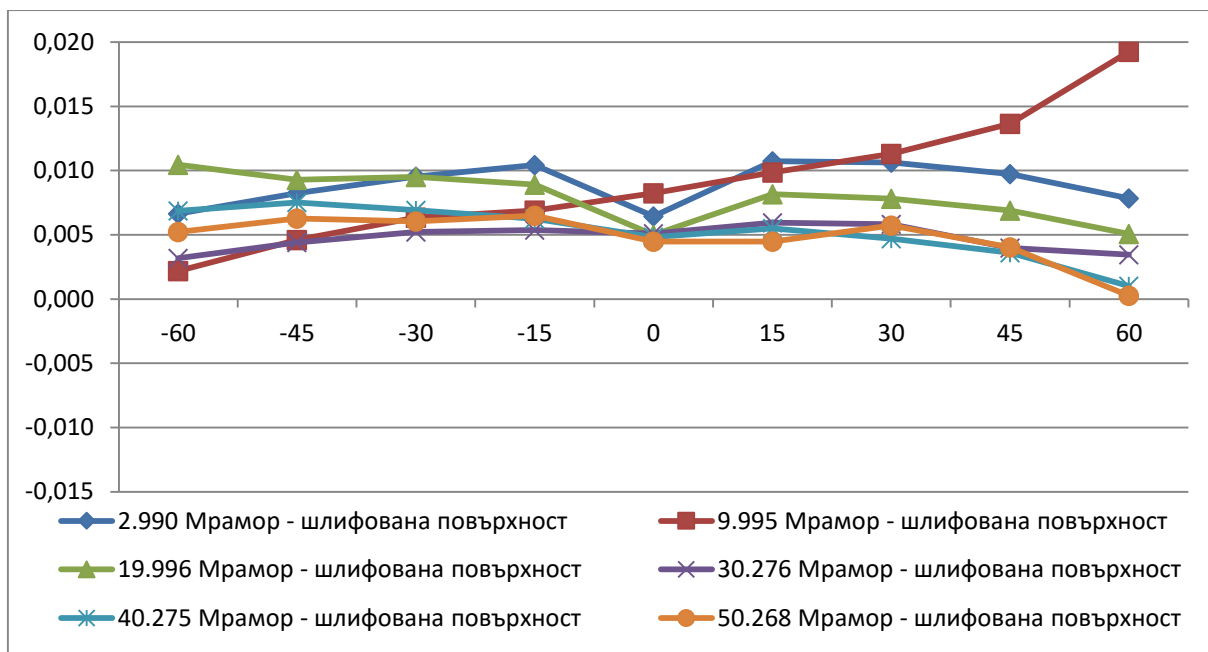
	Гипс	Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - грапава повърхност	Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - грапава повърхност	Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - грапава повърхност
Еталон	9.995	9.995	9.995	9.995	9.995	9.995	9.995
-60°	10.021	9.998	9.994	9.991	9.987	9.986	9.991
-45°	10.022	10.000	9.996	9.994	9.991	9.991	9.995
-30°	10.022	10.002	9.998	9.995	9.993	9.993	9.998
-15°	10.017	10.002	10.000	9.996	9.995	9.995	9.998
0°	10.013	10.004	10.001	9.998	9.996	9.995	10.001
15°	10.028	10.005	10.003	9.998	9.997	9.998	10.003
30°	10.032	10.007	10.004	10.000	9.998	10.000	10.004
45°	10.035	10.009	10.006	10.002	9.999	10.003	10.005
60°	10.040	10.015	10.009	10.006	10.001	10.008	10.005
	Гипс	Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - грапава повърхност	Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - грапава повърхност	Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - грапава повърхност
Еталон	19.996	19.996	19.996	19.996	19.996	19.996	19.996
-60°	20.022	20.006	20.000	19.996	19.991	20.001	20.008
-45°	20.021	20.005	20.000	19.996	19.993	20.001	20.006
-30°	20.019	20.006	20.000	19.996	19.993	20.001	20.005
-15°	20.015	20.005	19.999	19.996	19.994	20.000	20.004
0°	20.005	20.001	20.000	19.994	19.995	19.997	20.003
15°	20.015	20.004	20.000	19.994	19.994	19.999	20.003
30°	20.019	20.004	19.998	19.994	19.994	19.999	20.003
45°	20.021	20.003	19.997	19.993	19.992	19.998	20.003
60°	20.021	20.001	19.994	19.991	19.989	19.996	20.001
	Гипс	Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - грапава повърхност	Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - грапава повърхност	Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - грапава повърхност
Еталон	30.276	30.276	30.276	30.276	30.276	30.276	30.276
-60°	30.308	30.279	30.277	30.283	30.277	30.277	30.284
-45°	30.308	30.280	30.279	30.281	30.276	30.277	30.284
-30°	30.306	30.281	30.279	30.280	30.276	30.277	30.282
-15°	30.298	30.281	30.280	30.279	30.276	30.277	30.282
0°	30.290	30.281	30.279	30.278	30.273	30.276	30.282
15°	30.303	30.282	30.279	30.278	30.274	30.277	30.283
30°	30.307	30.282	30.279	30.277	30.273	30.277	30.283
45°	30.308	30.280	30.278	30.277	30.271	30.276	30.281
60°	30.306	30.279	30.276	30.275	30.267	30.272	30.276
	Гипс	Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - грапава повърхност	Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - грапава повърхност	Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - грапава повърхност
Еталон	40.275	40.275	40.275	40.275	40.275	40.275	40.275
-60°	40.303	40.282	40.272	40.275	40.274	40.276	40.273
-45°	40.303	40.283	40.274	40.275	40.273	40.279	40.276
-30°	40.299	40.282	40.274	40.274	40.273	40.279	40.274
-15°	40.294	40.281	40.275	40.273	40.273	40.277	40.274
0°	40.281	40.280	40.274	40.273	40.272	40.274	40.273
15°	40.293	40.280	40.273	40.272	40.272	40.275	40.272
30°	40.300	40.280	40.273	40.271	40.270	40.273	40.272
45°	40.301	40.279	40.271	40.269	40.270	40.272	40.270
60°	40.299	40.276	40.269	40.265	40.266	40.271	40.273

	Гипс	Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - грапава повърхност	Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - грапава повърхност	Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - грапава повърхност
Еталон	50.268	50.268	50.268	50.268	50.268	50.268	50.268
-60°	50.307	50.273	50.273	50.259	50.270	50.264	50.266
-45°	50.308	50.274	50.273	50.265	50.266	50.270	50.268
-30°	50.304	50.274	50.273	50.265	50.267	50.270	50.268
-15°	50.295	50.274	50.272	50.266	50.266	50.270	50.268
0°	50.277	50.272	50.272	50.266	50.265	50.267	50.268
15°	50.294	50.272	50.271	50.264	50.265	50.268	50.267
30°	50.301	50.274	50.271	50.264	50.264	50.268	50.267
45°	50.302	50.272	50.269	50.261	50.263	50.267	50.265
60°	50.298	50.268	50.265	50.255	50.259	50.265	50.260

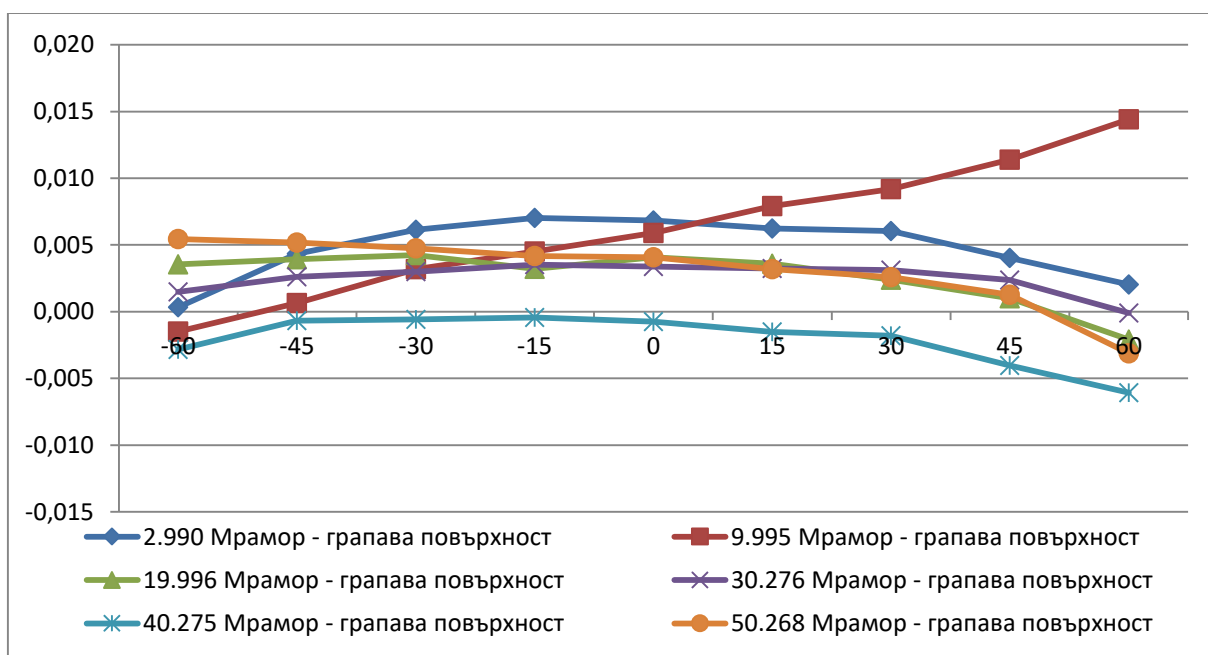
На графиките от фиг. 2.43 до фиг. 2.49 са представени получените разлики между еталонното разстояние и положението на отражателната повърхнина за 7-те образца, при посочените условия (различни дължини и приети ъгли на завъртане).



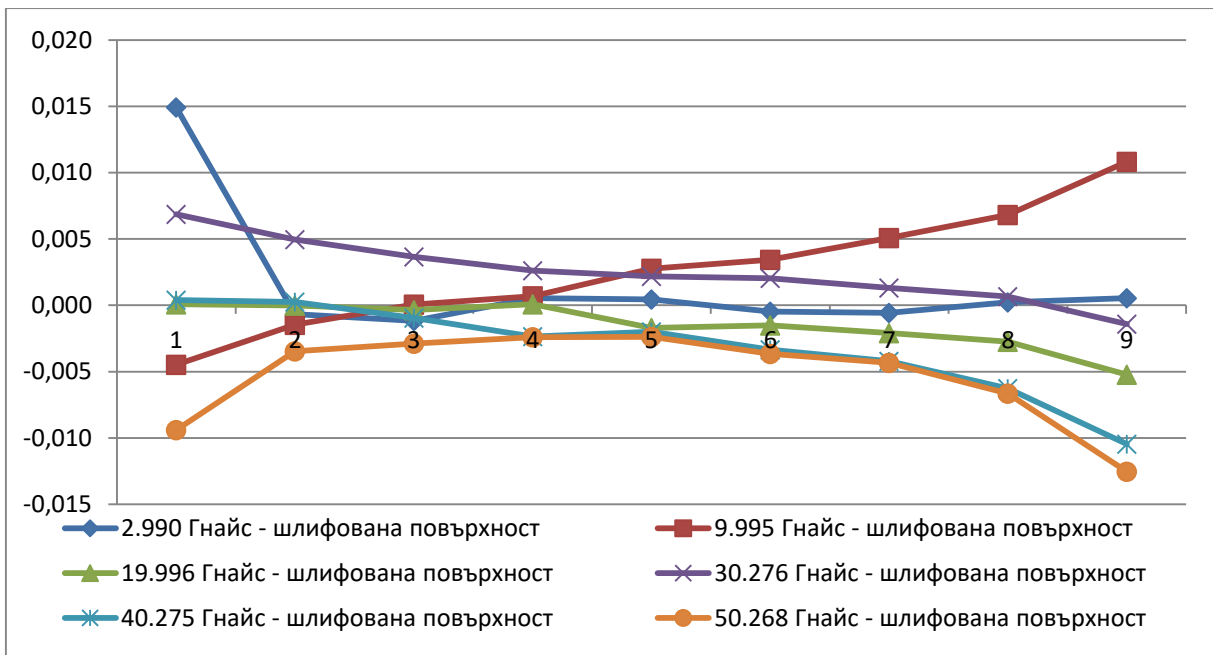
Фиг. 2.43. Разлики между еталонното разстояние и конкретно измерената дължина при образца гипс



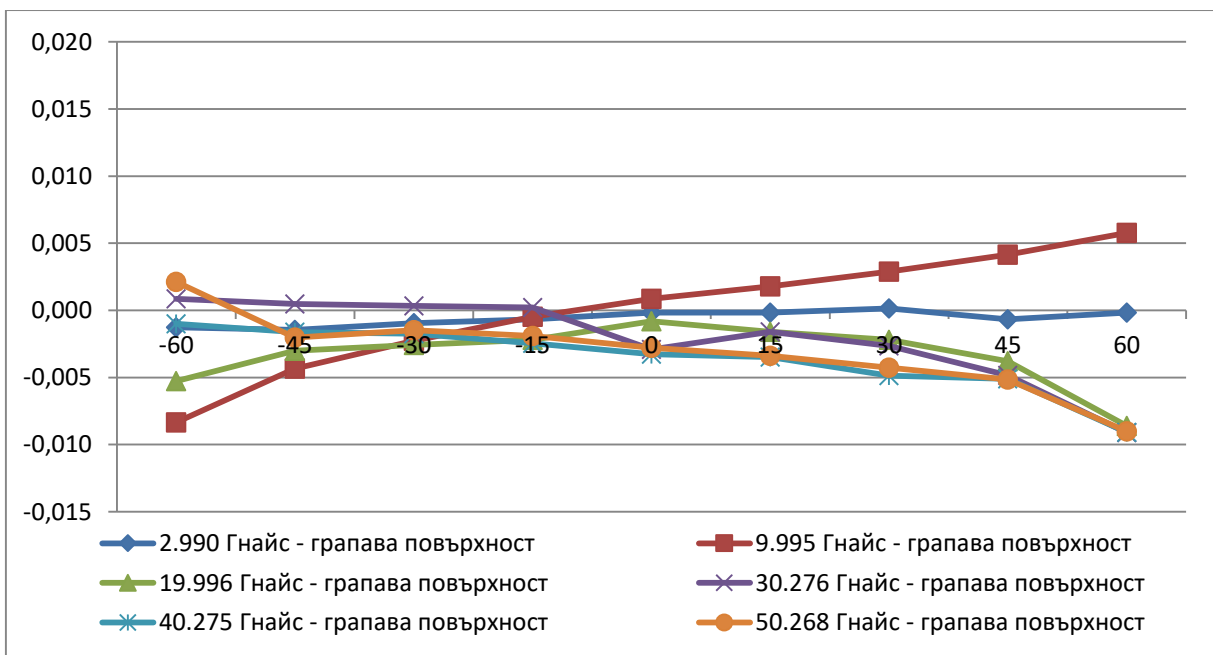
Фиг. 2.44. Разлики между еталонното разстояние и конкретно измерената дължина при образца мрамор - шлифована повърхност



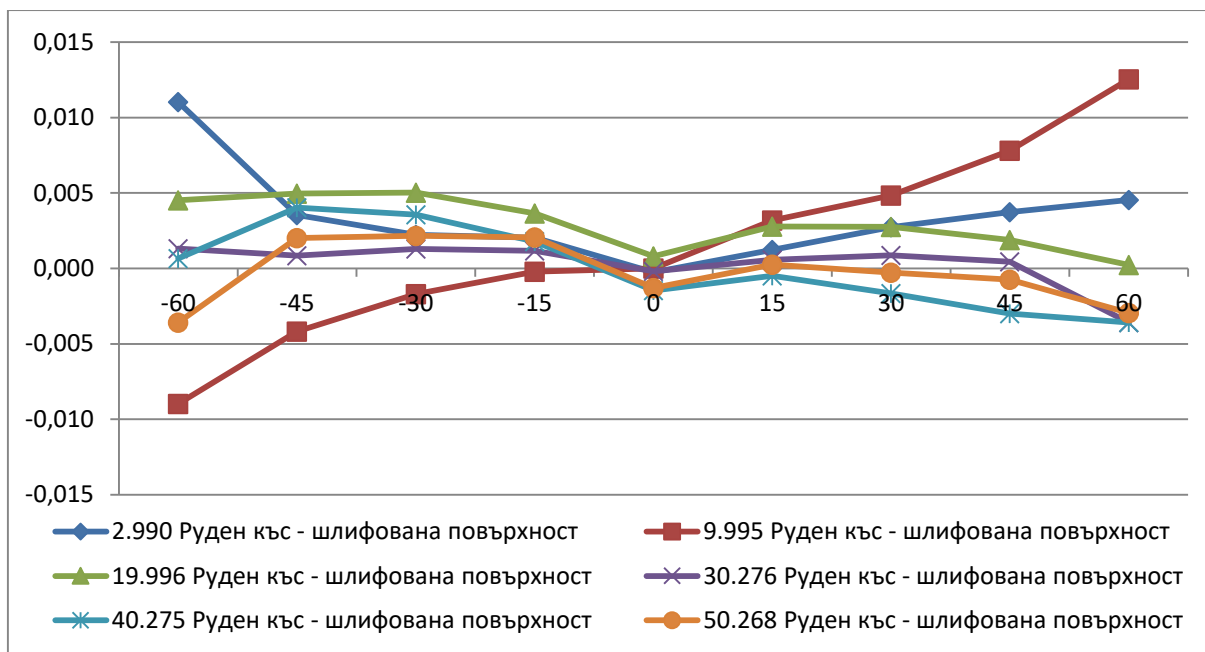
Фиг. 2.45. Разлики между еталонното разстояние и конкретно измерената дължина при образца мрамор - грапава повърхност



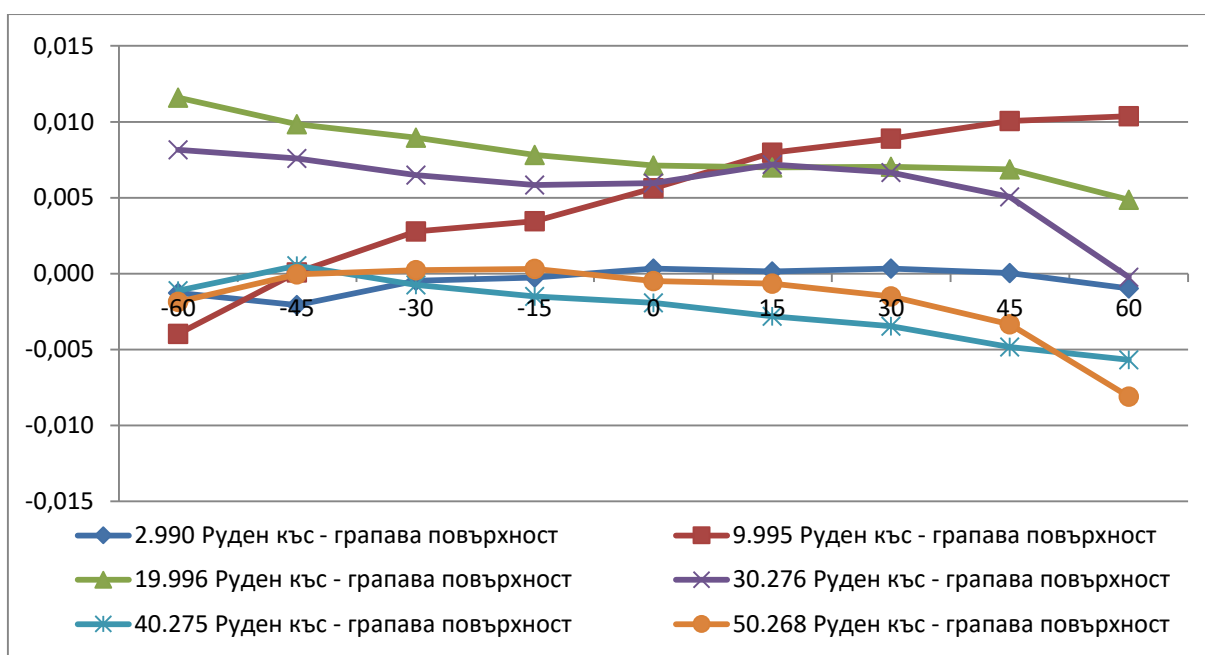
Фиг. 2.46. Разлики между еталонното разстояние и конкретно измерената дължина при образца гнайс - шлифована повърхност



Фиг. 2.47. Разлики между еталонното разстояние и конкретно измерената дължина при образца гнайс - грапава повърхност



Фиг. 2.48. Разлики между еталонното разстояние и конкретно измерената дължина при образца руден къс - шлифована повърхност



Фиг. 2.49. Разлики между еталонното разстояние и конкретно измерената дължина при образца руден къс - грапава повърхност

От представените графики, фиг. 2.43 до фиг. 2.49, се вижда, че най-голямо отклонение спрямо еталонното разстояние има при минерала гипс, особено при увеличаване на ъгъла между лъча и измерваната повърхност. Също така на фиг. 2.44 и фиг. 2.45 се забелязва, че разликите спрямо еталона за мрамор - шлифована повърхност са по-големи от тези при мрамор - грапава повърхност. При гнайса, няма никаква обща тенденция, което е илюстрирано с фиг. 2.46 и фиг. 2.47. При

рудния образец – грапава повърхност (фиг. 2.49) и този с шлифована повърхност (фиг. 2.48), грешката намалява с увеличаване на разстоянието, като при шлифованата повърхност на същия образец, разликите спрямо еталона са по-малки от тези при грапавата.

Резултатите от проведеното експериментално изследване дават основание да се обобщи, че:

1. Разликите от еталонното разстояние, при конкретно изследваните образци, зависят по-скоро от вида на минерала, отколкото от грапавостта на неговата повърхност.

2. Те също зависят и от ъгъла под който пада визирният лъч спрямо отразяващата повърхност.

Допълнително е извършено измерване на разстоянията (достатъчно близки до две от еталонните разстояния) 20.002 m и 40.281 m и с тотална станция Leica TCR 702. Получените резултати са представени в табл. 2.8.

Табл.2.8

	Гипс	Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - грапава повърхност	Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - грапава повърхност	Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - грапава повърхност
Еталон	20.002	20.002	20.002	20.002	20.002	20.002	20.002
-60°	20.016	20.003	19.996	19.994	19.996	19.995	19.996
-45°	20.017	20.004	19.999	19.994	19.998	19.996	19.997
-30°	20.016	20.005	20.000	19.996	19.999	19.997	19.998
-15°	20.013	20.006	20.001	19.997	19.999	19.997	19.998
0°	20.007	20.005	20.002	19.998	19.999	19.996	19.999
15°	20.014	20.006	20.002	19.997	20.000	19.998	19.999
30°	20.019	20.006	20.001	19.997	19.999	19.999	19.999
45°	20.022	20.006	20.000	19.996	19.999	19.999	19.999
60°	20.023	20.005	19.997	19.996	20.000	19.997	20.000
	Гипс	Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - грапава повърхност	Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - грапава повърхност	Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - грапава повърхност
Еталон	40.281	40.281	40.281	40.281	40.281	40.281	40.281
-60°	40.330	40.285	40.281	40.293	40.280	40.287	40.282
-45°	40.349	40.286	40.282	40.291	40.281	40.287	40.283
-30°	40.322	40.286	40.282	40.288	40.282	40.286	40.283
-15°	40.311	40.286	40.283	40.285	40.281	40.285	40.282
0°	40.289	40.284	40.283	40.281	40.281	40.282	40.283
15°	40.314	40.286	40.283	40.284	40.281	40.285	40.283
30°	40.324	40.286	40.282	40.289	40.280	40.286	40.283
45°	40.326	40.284	40.281	40.294	40.281	40.287	40.282
60°	40.325	40.283	40.279	40.295	40.281	40.286	40.279

Размерът на посочените две разстояния е избран така, че да съответства на отделните разстояния измерени с другия инструмент, като същевременно даде възможност за сравнение, при условие че измерванията с двата инструмента са реализирани чрез различни методи – импулсен и фазов. В таблици 2.9 и 2.10 са представени някои основни характеристики на двата инструмента Trimble S6 и Leica TCR 702:

Табл.2.9



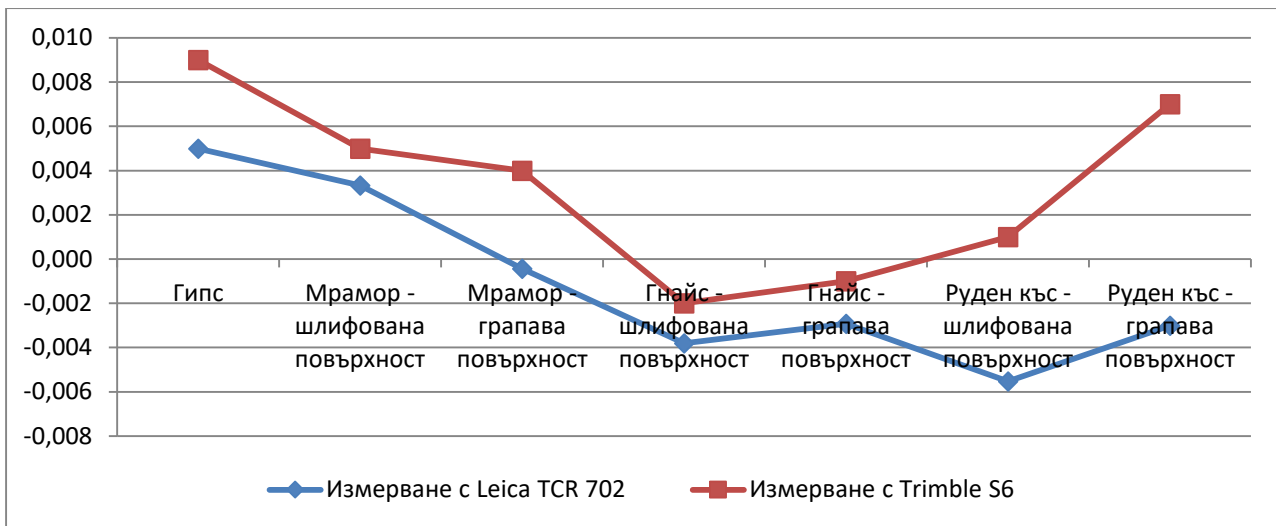
		
Характеристики на тотална станция Trimble S6		
Метод на измерване	Импулсен	
Дължинни измервания	Точност	
С призма	2 mm + 2 ppm	
Безрефлекторно	2 mm + 2 ppm	
Размер на лазерното петно	Хоризонтално 4 cm / 100 m	Вертикално 8 cm / 100 m

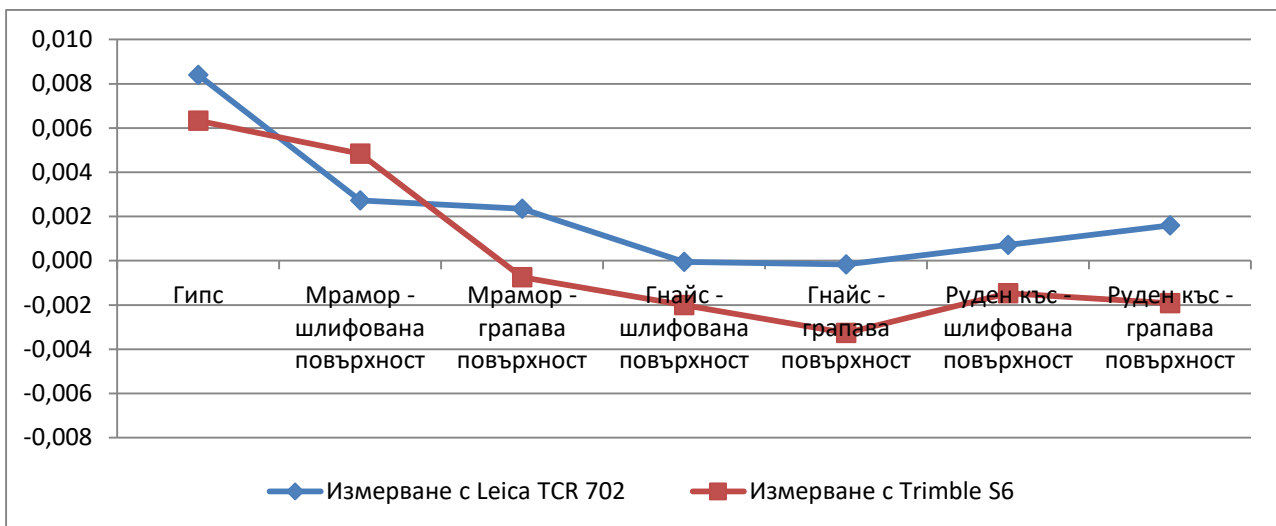
Табл.2.10

		
Характеристики на тотална станция Leica TCR 702		
Метод на измерване	Фазов	
Дължинни измервания	Точност	
С призма	2 mm + 2 ppm	
Безрефлекторно	3 mm + 2 ppm	
Размер на лазерното петно	На разстояние 20 m 7 mm × 14 mm	На разстояние 50 m 10 mm × 20 mm

На фиг. 2.50 се вижда разликата между еталонното разстояние (20 m) и получените резултати за измерените дължини, до седемте образеца, при ъгъл на завъртане 0°, извършени с двата инструмента, а на фиг. 2.51 - съответно при разстояние 40 m.



Фиг. 2.50. Разлики спрямо еталонното разстояние при ъгъл на завъртане 0° на разстояние 20 m



Фиг. 2.51. Разлики спрямо еталонното разстояние при ъгъл на завъртане 0° на разстояние 40 m

Може да се направи следният извод:

Графиките показват, че 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. Влияние на вида на отражателната повърхност и условията на измерване върху резултатите от маркшайдерските наблюдения [10]

Изчислени са средните квадратни грешки (2.8) на измерените разстояния до седемте изследвани образеца, а стойностите им могат да се проследят в табл. 2.11.

$$m_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - S_{\text{ет}})^2}{n}}, \quad (2.8)$$

където:

S_i – измерено разстояние;

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

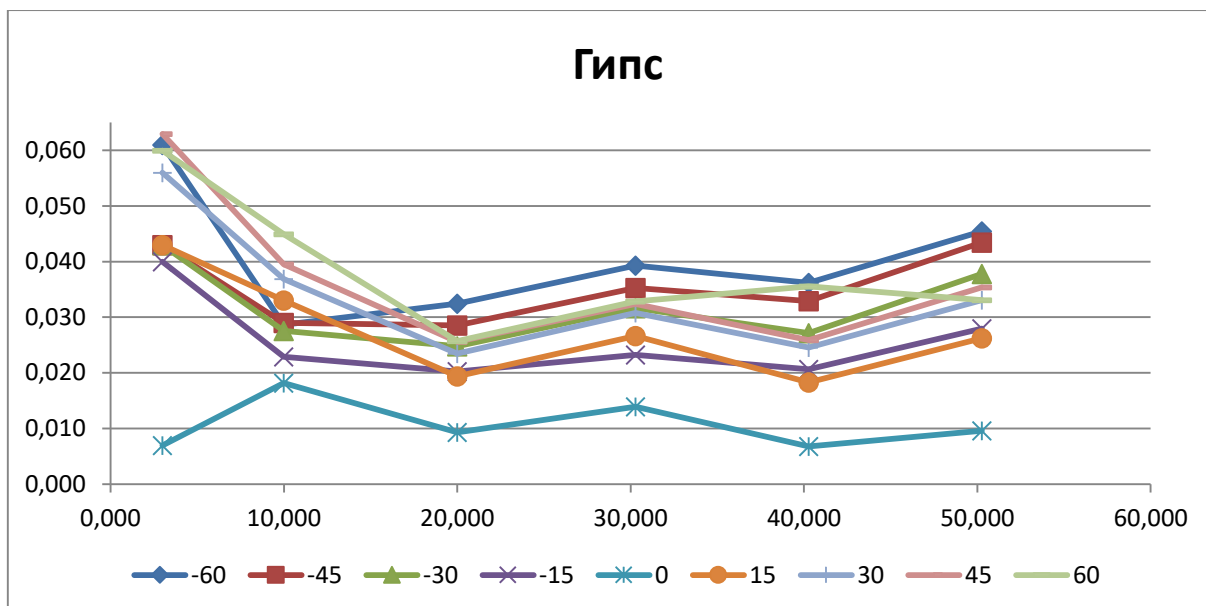
n – брой на измерванията.

Табл. 2.11

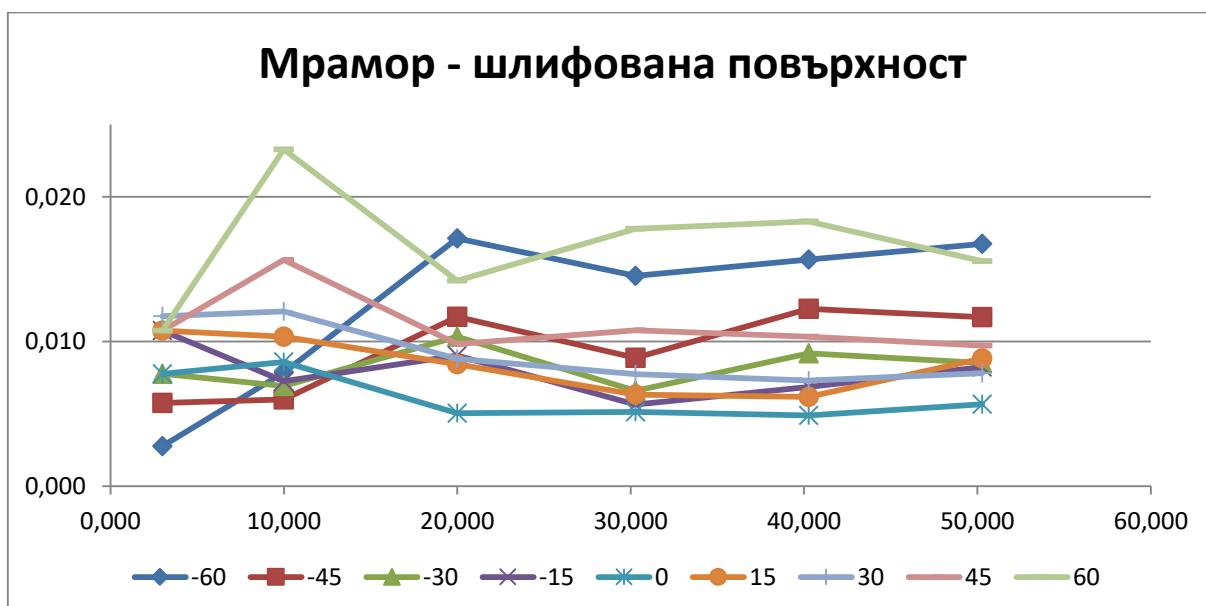
Еталон	2.990	9.995	19.996	30.276	40.275	50.268
Завъртане	Гипс					
-60°	0.061	0.029	0.032	0.039	0.036	0.045
-45°	0.043	0.029	0.029	0.035	0.033	0.043
-30°	0.043	0.028	0.025	0.032	0.027	0.038
-15°	0.040	0.023	0.020	0.023	0.021	0.028
0°	0.007	0.018	0.009	0.014	0.007	0.010
15°	0.043	0.033	0.019	0.027	0.018	0.026
30°	0.056	0.037	0.023	0.031	0.025	0.033
45°	0.063	0.040	0.026	0.032	0.026	0.035
60°	0.060	0.045	0.026	0.033	0.036	0.033
Завъртане	Мрамор - шлифована повърхност					
-60°	0.003	0.008	0.017	0.015	0.016	0.017
-45°	0.006	0.006	0.012	0.009	0.012	0.012
-30°	0.008	0.007	0.010	0.007	0.009	0.009
-15°	0.011	0.007	0.009	0.006	0.007	0.008
0°	0.008	0.009	0.005	0.005	0.005	0.006
15°	0.011	0.010	0.008	0.006	0.006	0.009
30°	0.012	0.012	0.009	0.008	0.007	0.008
45°	0.011	0.016	0.010	0.011	0.010	0.010
60°	0.011	0.023	0.014	0.018	0.018	0.016
Завъртане	Мрамор - грапава повърхност					
-60°	0.003	0.009	0.013	0.014	0.017	0.017
-45°	0.003	0.004	0.008	0.008	0.010	0.012
-30°	0.006	0.004	0.006	0.005	0.006	0.008
-15°	0.007	0.005	0.004	0.004	0.003	0.005
0°	0.007	0.006	0.004	0.003	0.001	0.004
15°	0.008	0.008	0.004	0.004	0.003	0.005
30°	0.008	0.010	0.004	0.006	0.006	0.005
45°	0.007	0.013	0.006	0.010	0.010	0.009
60°	0.005	0.018	0.011	0.017	0.018	0.013
Завъртане	Гнайс - шлифована повърхност					
-60°	0.012	0.008	0.012	0.015	0.012	0.019
-45°	0.003	0.004	0.007	0.010	0.008	0.010
-30°	0.001	0.002	0.004	0.006	0.005	0.006
-15°	0.001	0.001	0.002	0.004	0.003	0.004
0°	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
15°	0.001	0.004	0.003	0.004	0.005	0.005
30°	0.001	0.006	0.005	0.006	0.008	0.007
45°	0.003	0.008	0.008	0.011	0.013	0.012
60°	0.003	0.014	0.014	0.019	0.023	0.022

Завъртане	Гнайс - грапава повърхност					
-60°	0.002	0.011	0.014	0.013	0.016	0.015
-45°	0.002	0.006	0.004	0.008	0.010	0.010
-30°	0.000	0.003	0.005	0.004	0.006	0.006
-15°	0.001	0.001	0.003	0.002	0.004	0.003
0°	0.000	0.001	0.001	0.003	0.003	0.003
15°	0.000	0.003	0.003	0.004	0.006	0.004
30°	0.002	0.004	0.005	0.007	0.007	0.006
45°	0.002	0.007	0.008	0.011	0.010	0.010
60°	0.004	0.010	0.016	0.021	0.017	0.017
Завъртане	Руден къс - шлифована повърхност					
-60°	0.008	0.011	0.014	0.006	0.013	0.016
-45°	0.000	0.006	0.010	0.009	0.009	0.010
-30°	0.000	0.003	0.008	0.006	0.006	0.006
-15°	0.002	0.002	0.005	0.004	0.004	0.004
0°	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001
15°	0.001	0.004	0.003	0.001	0.001	0.002
30°	0.005	0.006	0.003	0.005	0.005	0.005
45°	0.006	0.010	0.006	0.010	0.010	0.009
60°	0.008	0.016	0.013	0.020	0.016	0.015
Завъртане	Руден къс - грапава повърхност					
-60°	0.003	0.009	0.015	0.013	0.012	0.013
-45°	0.004	0.005	0.011	0.009	0.008	0.008
-30°	0.001	0.004	0.009	0.007	0.005	0.004
-15°	0.001	0.004	0.008	0.006	0.003	0.004
0°	0.002	0.006	0.007	0.006	0.002	0.002
15°	0.001	0.008	0.008	0.008	0.004	0.004
30°	0.003	0.009	0.009	0.009	0.007	0.006
45°	0.004	0.011	0.011	0.010	0.011	0.010
60°	0.005	0.013	0.013	0.011	0.016	0.015

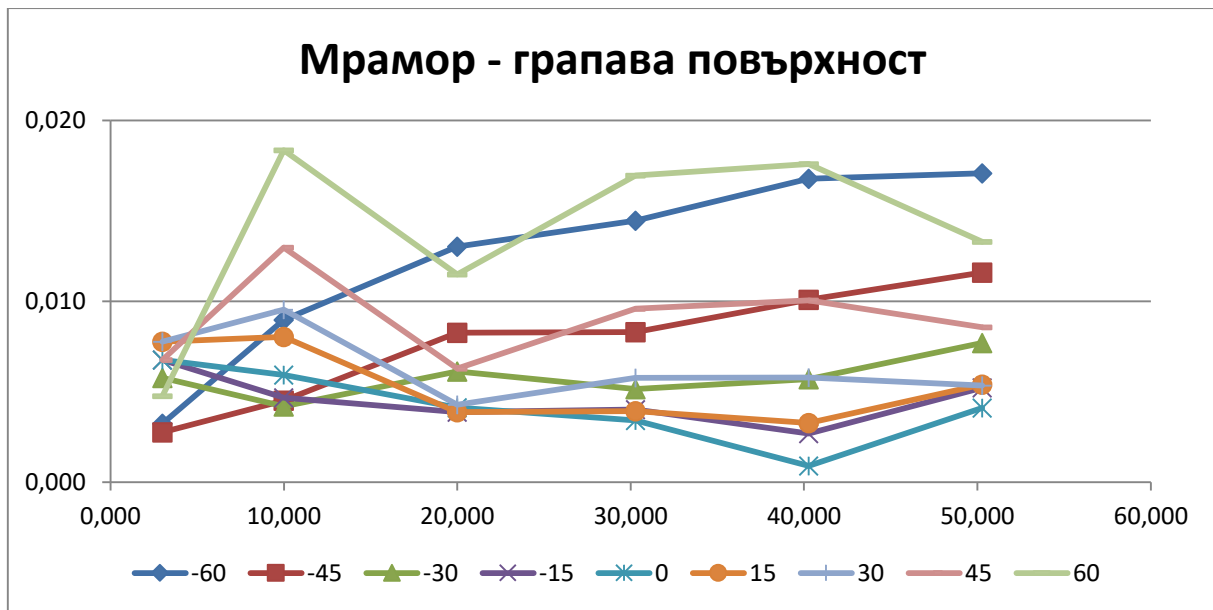
С цел придобиване на визуална представа за характера и стойностите на средните квадратни грешки на измерените разстояния за различните образци, при различните разстояния и различните ъгли между визирния лъч и изследваната повърхност, те са представени графично на фиг. 2.52 до фиг. 2.58.



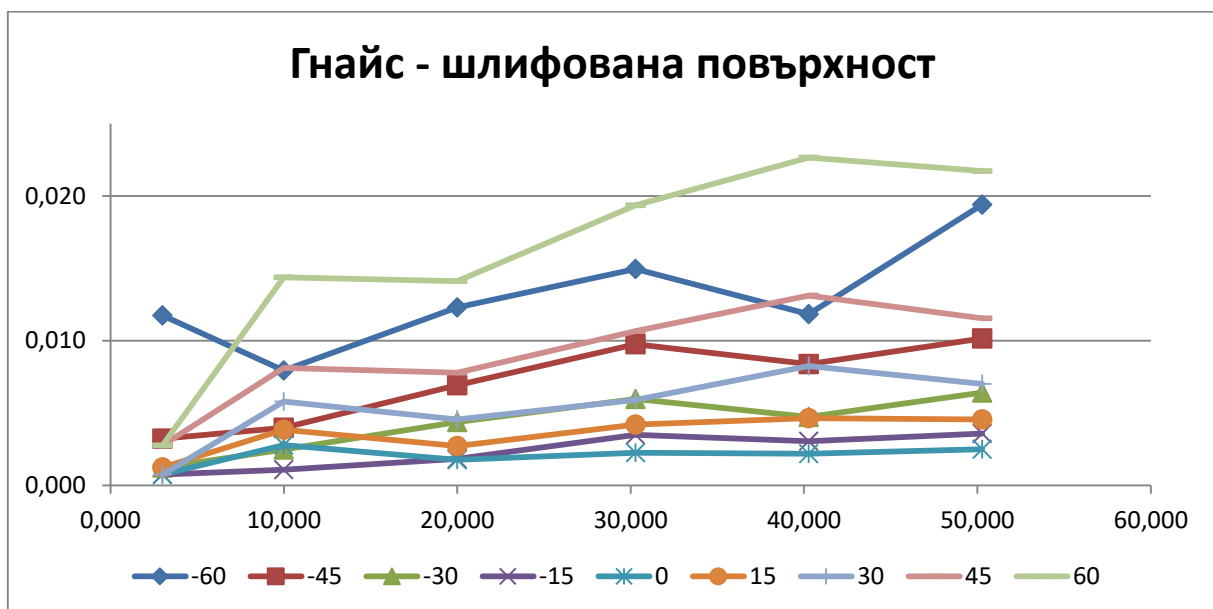
Фиг. 2.52. Средни квадратни грешки на измерените разстояния за образца гипс [10]



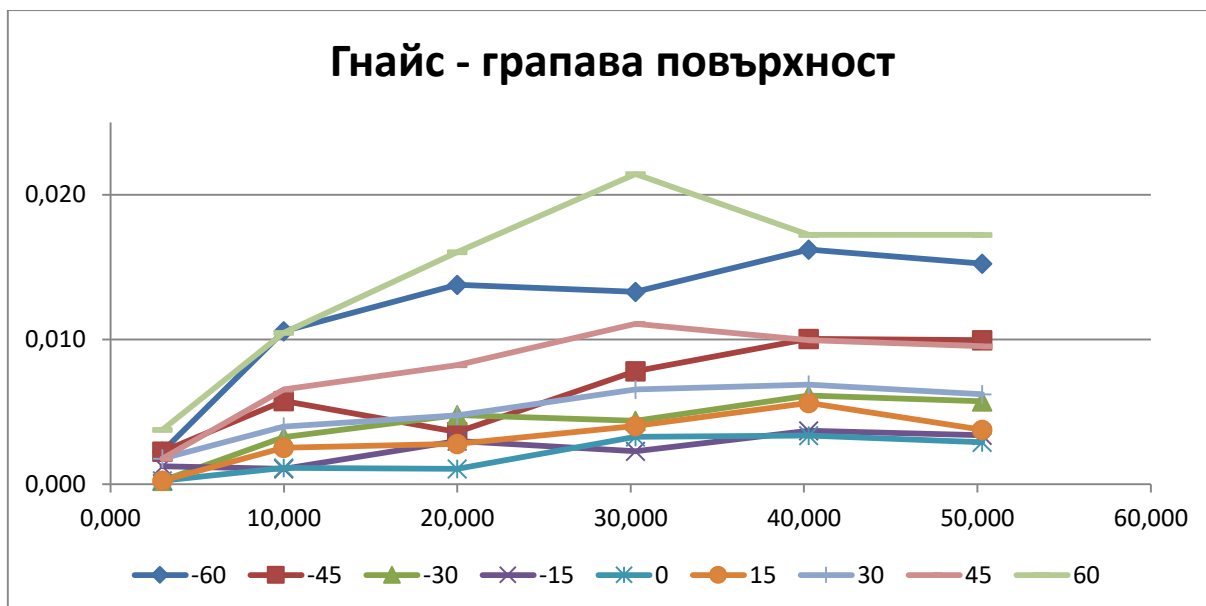
Фиг. 2.53. Средни квадратни грешки на измерените разстояния за образца мрамор - шлифована повърхност [10]



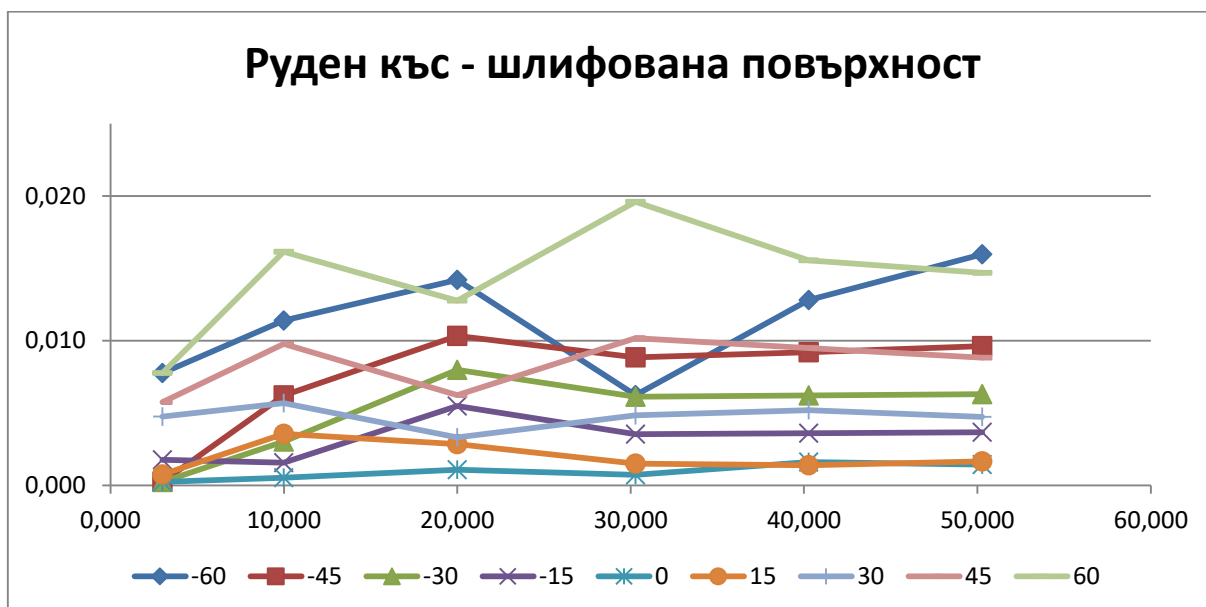
Фиг. 2.54. Средни квадратни грешки на измерените разстояния за образца мрамор - грапава повърхност



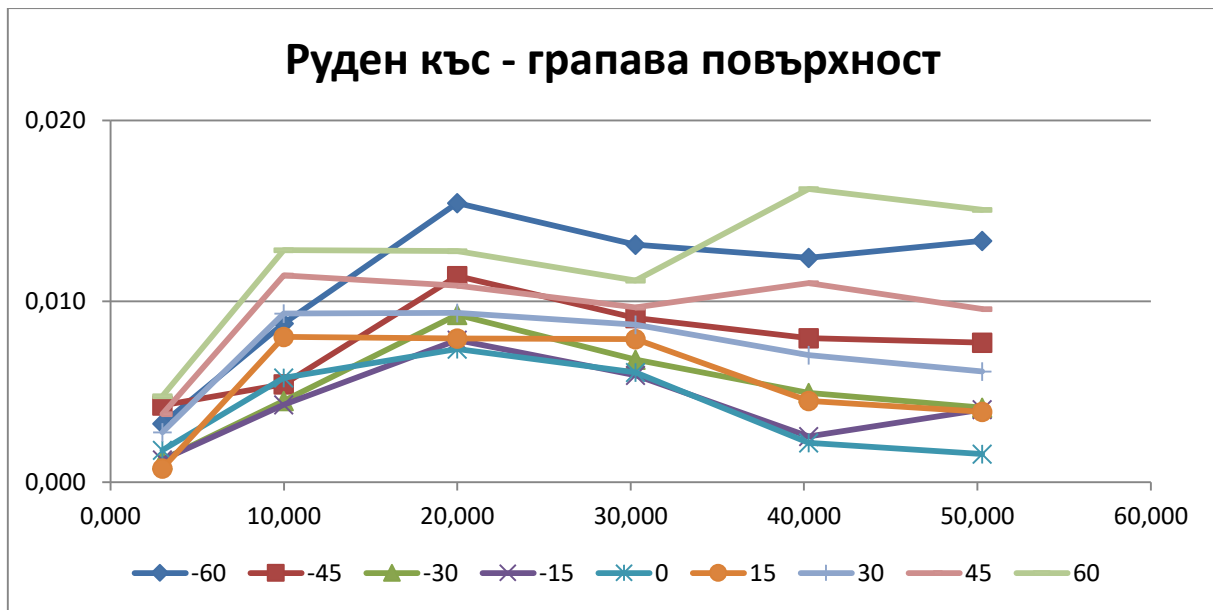
Фиг. 2.55. Средни квадратни грешки на измерените разстояния за образца гнайс - шлифована повърхност



Фиг. 2.56. Средни квадратни грешки на измерените разстояния за образца гнайс - грапава повърхност [10]

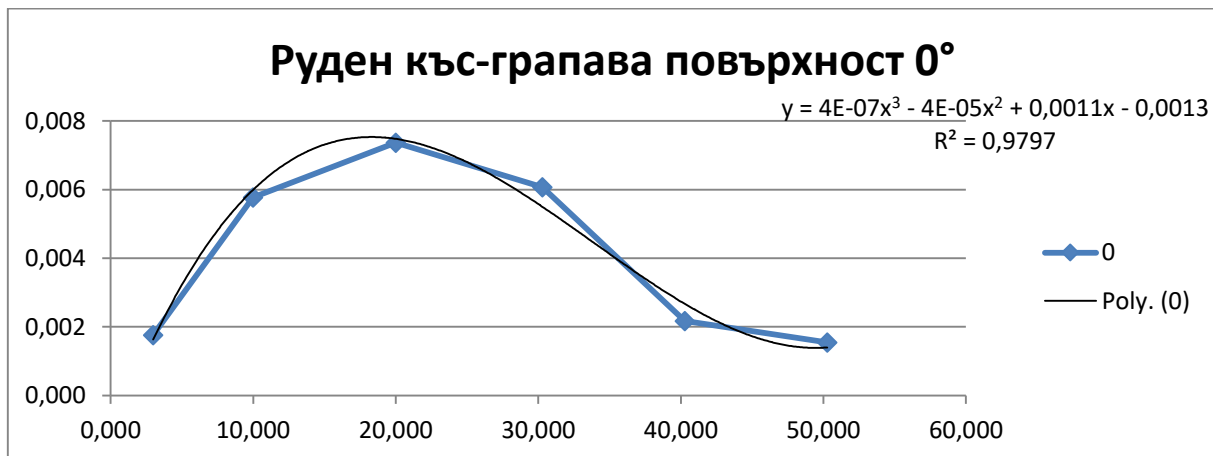


Фиг. 2.57. Средни квадратни грешки на измерените разстояния за образца руден къс - шлифована повърхност

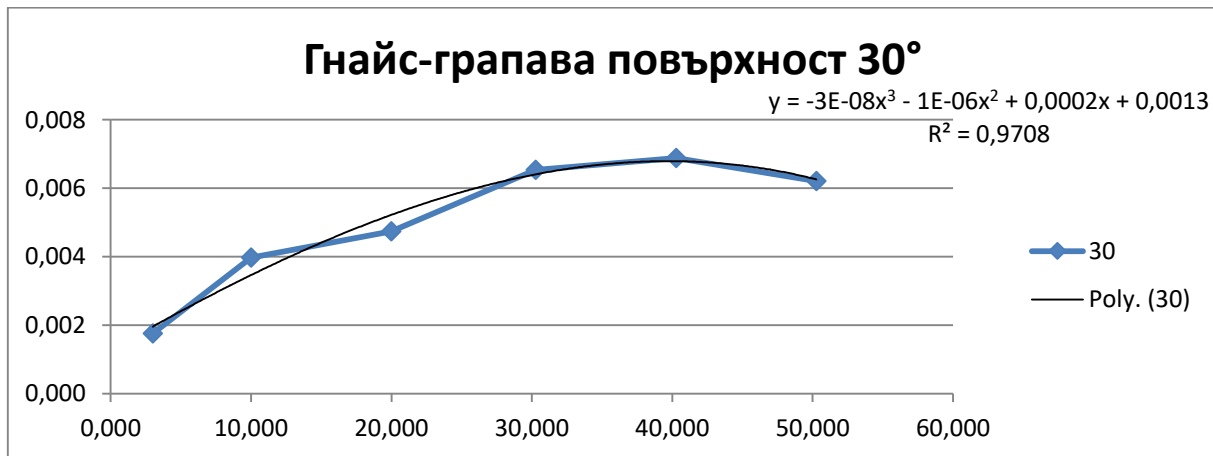
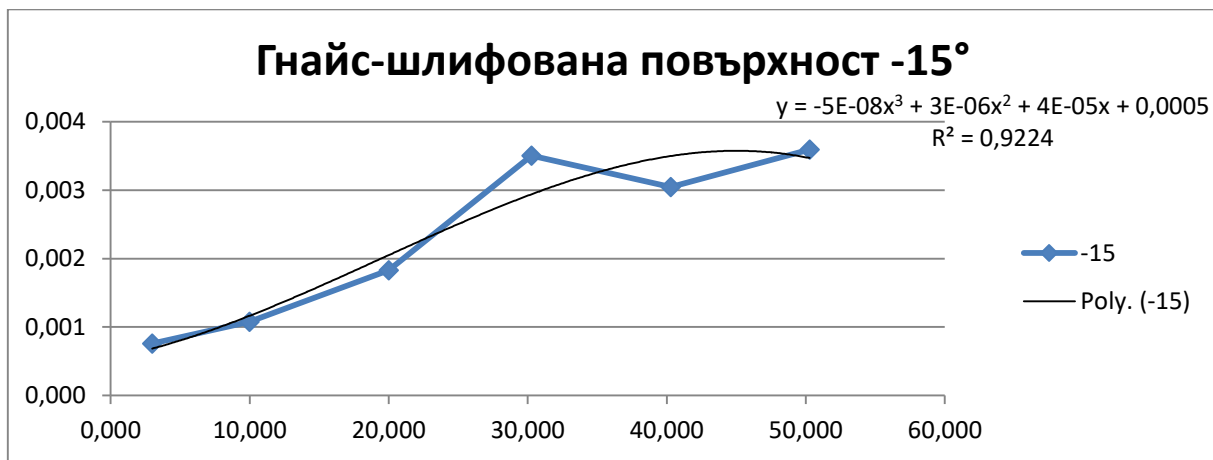
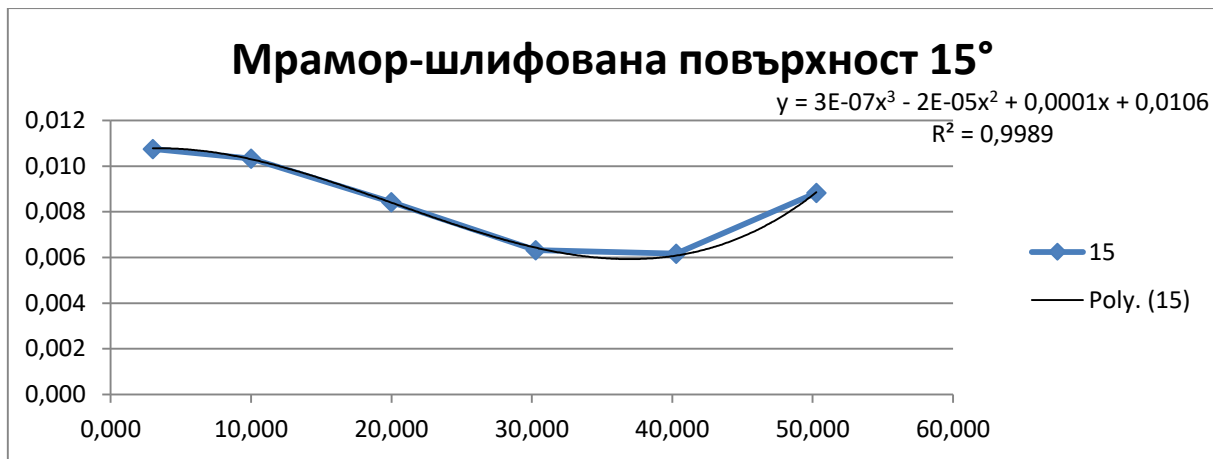


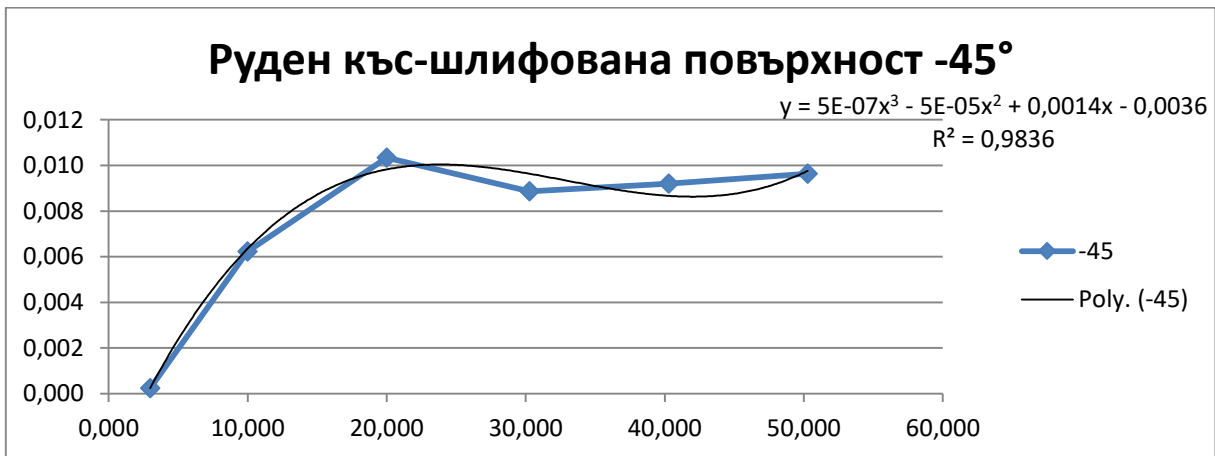
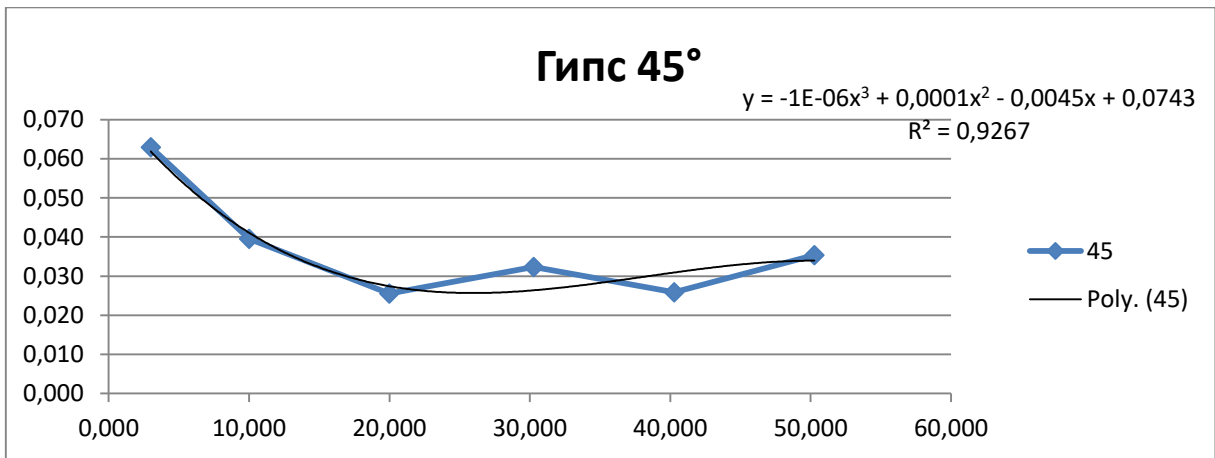
Фиг. 2.58. Средни квадратни грешки на измерените разстояния за образца руден къс - грапава повърхност [10]

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. 2.59 до фиг. 2.67 и табл. 2.12.



Фиг. 2.59





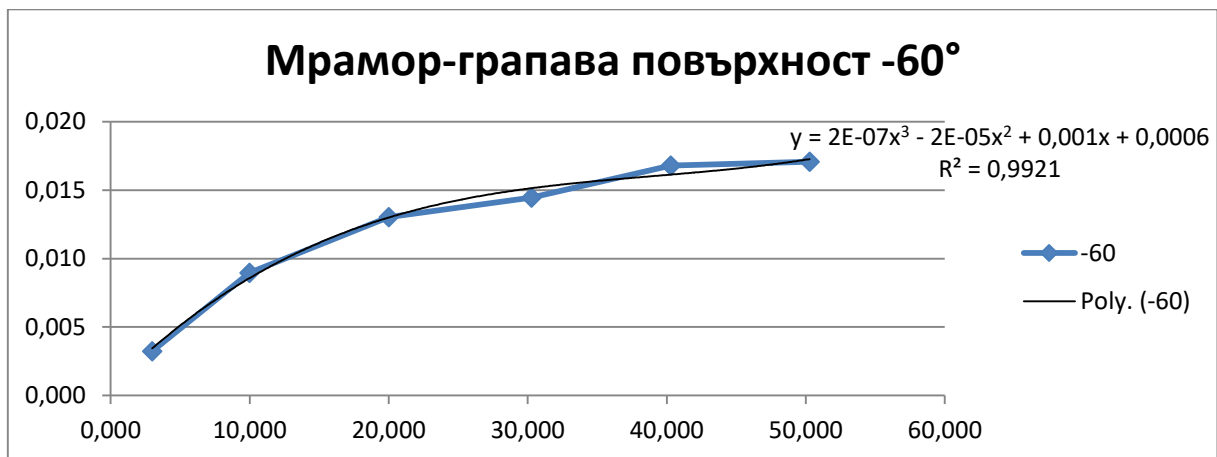
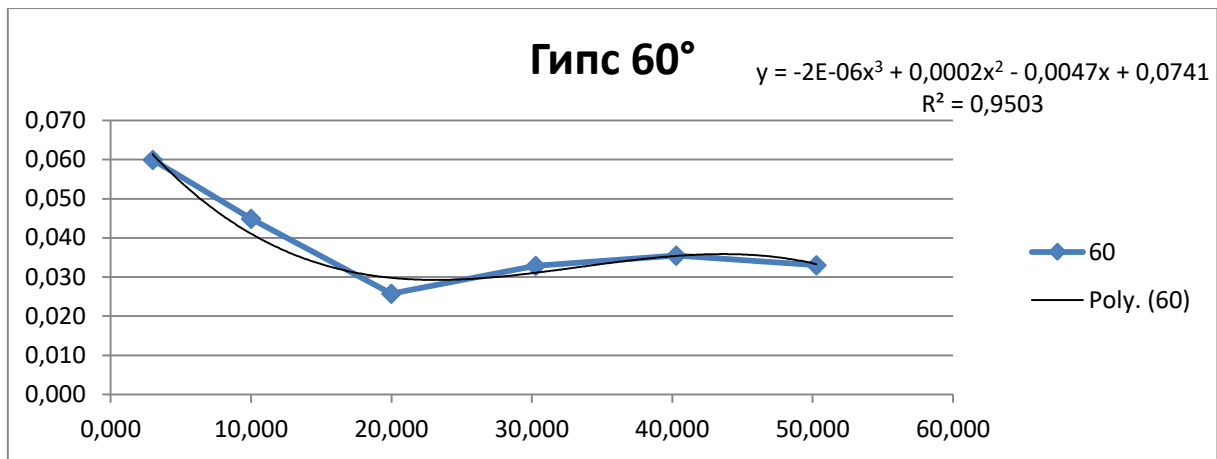


Табл. 2.12

0°	15°
Гипс	Гипс
$y = 8E-07x^3 - 7E-05x^2 + 0.0015x + 0.0044$	$y = -4E-07x^3 + 5E-05x^2 - 0.0022x + 0.0491$
Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - шлифована повърхност
$y = 1E-07x^3 - 5E-06x^2 - 6E-05x + 0.0084$	$y = 3E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0001x + 0.0106$
Мрамор - грапава повърхност	Мрамор - грапава повърхност
$y = 2E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0001x + 0.0064$	$y = 2E-07x^3 - 7E-06x^2 - 1E-04x + 0.0085$
Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - шлифована повърхност
$y = 1E-07x^3 - 1E-05x^2 + 0.0003x + 0.0004$	$y = 5E-08x^3 - 6E-06x^2 + 0.0002x + 0.0011$
Гнайс - грапава повърхност	Гнайс - грапава повърхност
$y = -1E-07x^3 + 8E-06x^2 - 5E-05x + 0.0005$	$y = -8E-08x^3 + 3E-06x^2 + 0.0001x + 0.0003$
Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - шлифована повърхност
$y = 5E-09x^3 - 7E-07x^2 + 5E-05x + 0.0001$	$y = 3E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0005x - 0.0004$
Руден къс - грапава повърхност	Руден къс - грапава повърхност
$y = 4E-07x^3 - 4E-05x^2 + 0.0011x - 0.0013$	$y = 5E-07x^3 - 5E-05x^2 + 0.0014x - 0.0026$

30°	45°
Гипс	Гипс
$y = -1E-06x^3 + 0.0001x^2 - 0.0039x + 0.0658$	$y = -1E-06x^3 + 0.0001x^2 - 0.0045x + 0.0743$
Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - шлифована повърхност
$y = 1E-07x^3 - 8E-06x^2 - 4E-05x + 0.0123$	$y = 2E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0003x + 0.011$
Мрамор - грапава повърхност	Мрамор - грапава повърхност
$y = 2E-09x^3 + 2E-06x^2 - 0.0002x + 0.0092$	$y = 9E-08x^3 - 9E-06x^2 + 0.0002x + 0.0077$
Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - шлифована повърхност
$y = 9E-08x^3 - 1E-05x^2 + 0.0004x + 0.0003$	$y = -6E-09x^3 - 5E-06x^2 + 0.0004x + 0.0023$
Гнайс - грапава повърхност	Гнайс - грапава повърхност
$y = -3E-08x^3 - 1E-06x^2 + 0.0002x + 0.0013$	$y = 1E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0008x - 0.0002$
Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - шлифована повърхност
$y = -7E-08x^3 + 7E-06x^2 - 0.0002x + 0.0057$	$y = -1E-08x^3 - 1E-06x^2 + 0.0002x + 0.0062$
Руден къс - грапава повърхност	Руден къс - грапава повърхност
$y = 4E-07x^3 - 4E-05x^2 + 0.0012x - 4E-05$	$y = 4E-07x^3 - 4E-05x^2 + 0.0012x + 0.0014$
60°	-15°
Гипс	Гипс
$y = -2E-06x^3 + 0.0002x^2 - 0.0047x + 0.0741$	$y = -8E-07x^3 + 9E-05x^2 - 0.0027x + 0.0458$
Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - шлифована повърхност
$y = 4E-07x^3 - 4E-05x^2 + 0.001x + 0.0104$	$y = 4E-08x^3 + 2E-06x^2 - 0.0002x + 0.0108$
Мрамор - грапава повърхност	Мрамор - грапава повърхност
$y = 3E-07x^3 - 3E-05x^2 + 0.0012x + 0.0039$	$y = 4E-08x^3 + 1E-06x^2 - 0.0002x + 0.0071$
Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - шлифована повърхност
$y = 2E-07x^3 - 3E-05x^2 + 0.0013x + 0.0006$	$y = -5E-08x^3 + 3E-06x^2 + 4E-05x + 0.0005$
Гнайс - грапава повърхност	Гнайс - грапава повърхност
$y = 2E-07x^3 - 3E-05x^2 + 0.0014x - 0.0004$	$y = -3E-08x^3 + 1E-06x^2 + 5E-05x + 0.0009$
Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - шлифована повърхност
$y = 2E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0009x + 0.0063$	$y = 1E-07x^3 - 1E-05x^2 + 0.0004x + 0.0002$
Руден къс - грапава повърхност	Руден къс - грапава повърхност
$y = 4E-07x^3 - 4E-05x^2 + 0.0011x + 0.0029$	$y = 5E-07x^3 - 5E-05x^2 + 0.0012x - 0.0025$
-30°	-45°
Гипс	Гипс
$y = -7E-07x^3 + 8E-05x^2 - 0.0025x + 0.048$	$y = -7E-07x^3 + 7E-05x^2 - 0.0022x + 0.0473$
Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - шлифована повърхност
$y = 7E-08x^3 - 6E-06x^2 + 0.0002x + 0.0069$	$y = 5E-08x^3 - 8E-06x^2 + 0.0004x + 0.0042$
Мрамор - грапава повърхност	Мрамор - грапава повърхност
$y = 5E-08x^3 - 2E-06x^2 + 9E-06x + 0.0053$	$y = 1E-07x^3 - 1E-05x^2 + 0.0005x + 0.0011$
Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - шлифована повърхност
$y = 1E-07x^3 - 1E-05x^2 + 0.0004x - 7E-05$	$y = -7E-09x^3 - 3E-06x^2 + 0.0003x + 0.002$

Гнайс - грапава повърхност	Гнайс - грапава повърхност
$y = 1E-07x^3 - 1E-05x^2 + 0.0005x - 0.001$	$y = -1E-07x^3 + 9E-06x^2 - 1E-05x + 0.003$
Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - шлифована повърхност
$y = 3E-07x^3 - 3E-05x^2 + 0.001x - 0.0027$	$y = 5E-07x^3 - 5E-05x^2 + 0.0014x - 0.0036$
Руден къс - грапава повърхност	Руден къс - грапава повърхност
$y = 4E-07x^3 - 4E-05x^2 + 0.0011x - 0.0023$	$y = 2E-07x^3 - 3E-05x^2 + 0.0008x + 0.0012$
-60°	
Гипс	
$y = -2E-06x^3 + 0.0002x^2 - 0.005x + 0.0707$	
Мрамор - шлифована повърхност	
$y = 5E-07x^3 - 5E-05x^2 + 0.0017x - 0.0025$	
Мрамор - грапава повърхност	
$y = 2E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.001x + 0.0006$	
Гнайс - шлифована повърхност	
$y = 8E-08x^3 - 2E-06x^2 + 6E-05x + 0.0103$	
Гнайс - грапава повърхност	
$y = 4E-07x^3 - 4E-05x^2 + 0.0014x - 0.0011$	
Руден къс - шлифована повърхност	
$y = 7E-07x^3 - 5E-05x^2 + 0.0011x + 0.0049$	
Руден къс - грапава повърхност	
$y = 5E-07x^3 - 5E-05x^2 + 0.0017x - 0.0017$	

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. Представени са в табл. 2.13.

Табл. 2.13

0°	15°
Гипс	Гипс
$y = 7E-07x^3 - 6E-05x^2 + 0.0013x + 0.0056$	$y = -4E-07x^3 + 5E-05x^2 - 0.0022x + 0.0487$
Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - шлифована повърхност
$y = 1E-07x^3 - 7E-06x^2 + 7E-05x + 0.0068$	$y = 5E-08x^3 - 3E-06x^2 - 0.0001x + 0.0112$
Мрамор - грапава повърхност	Мрамор - грапава повърхност
$y = 4E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0003x + 0.0058$	$y = 5E-07x^3 - 4E-05x^2 + 0.0006x + 0.005$
Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - шлифована повърхност
$y = 6E-09x^3 - 3E-06x^2 + 4E-05x + 0.0009$	$y = 2E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0004x - 0.0008$

Гнайс - грапава повърхност	Гнайс - грапава повърхност
$y = 2E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0003x - 0.0006$	$y = 2E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0002x - 0.0003$
Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - шлифована повърхност
$y = 1E-07x^3 - 1E-05x^2 + 0.0003x - 0.0011$	$y = 3E-07x^3 - 3E-05x^2 + 0.0006x - 0.0002$
Руден къс - грапава повърхност	Руден къс - грапава повърхност
$y = 7E-07x^3 - 7E-05x^2 + 0.0017x - 0.0044$	$y = 9E-07x^3 - 8E-05x^2 + 0.002x - 0.0051$
30°	45°
Гипс	Гипс
$y = -9E-07x^3 + 0.0001x^2 - 0.0037x + 0.0639$	$y = -1E-06x^3 + 0.0001x^2 - 0.0044x + 0.073$
Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - шлифована повърхност
$y = 3E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0001x + 0.0107$	$y = 5E-07x^3 - 4E-05x^2 + 0.0005x + 0.0097$
Мрамор - грапава повърхност	Мрамор - грапава повърхност
$y = 5E-07x^3 - 4E-05x^2 + 0.0006x + 0.0053$	$y = 9E-07x^3 - 7E-05x^2 + 0.0011x + 0.0025$
Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - шлифована повърхност
$y = 3E-07x^3 - 3E-05x^2 + 0.0006x - 0.0009$	$y = 4E-07x^3 - 3E-05x^2 + 0.0006x - 1E-05$
Гнайс - грапава повърхност	Гнайс - грапава повърхност
$y = 3E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0003x + 4E-05$	$y = 4E-07x^3 - 3E-05x^2 + 0.0004x - 0.0002$
Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - шлифована повърхност
$y = 4E-07x^3 - 3E-05x^2 + 0.0006x + 0.0014$	$y = 6E-07x^3 - 4E-05x^2 + 0.0007x + 0.0026$
Руден къс - грапава повърхност	Руден къс - грапава повърхност
$y = 1E-06x^3 - 9E-05x^2 + 0.0021x - 0.005$	$y = 1E-06x^3 - 0.0001x^2 + 0.0023x - 0.0056$
60°	-15°
Гипс	Гипс
$y = -6E-07x^3 + 8E-05x^2 - 0.0033x + 0.0673$	$y = -8E-07x^3 + 9E-05x^2 - 0.0029x + 0.0468$
Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - шлифована повърхност
$y = 9E-07x^3 - 7E-05x^2 + 0.0012x + 0.0074$	$y = -1E-08x^3 + 4E-06x^2 - 0.0002x + 0.0105$
Мрамор - грапава повърхност	Мрамор - грапава повърхност
$y = 1E-06x^3 - 8E-05x^2 + 0.0013x + 0.0013$	$y = 2E-07x^3 - 1E-05x^2 - 5E-05x + 0.0067$
Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - шлифована повърхност
$y = 6E-07x^3 - 5E-05x^2 + 0.0008x + 0.0009$	$y = -1E-08x^3 - 3E-06x^2 + 0.0001x + 2E-05$
Гнайс - грапава повърхност	Гнайс - грапава повърхност
$y = 4E-07x^3 - 3E-05x^2 + 5E-05x + 0.0021$	$y = -3E-08x^3 + 2E-06x^2 - 7E-05x - 0.0004$
Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - шлифована повърхност
$y = 8E-07x^3 - 6E-05x^2 + 0.0008x + 0.0047$	$y = 8E-09x^3 - 1E-06x^2 + 5E-05x + 0.0012$
Руден къс - грапава повърхност	Руден къс - грапава повърхност
$y = 1E-06x^3 - 1E-04x^2 + 0.0021x - 0.0053$	$y = 7E-07x^3 - 6E-05x^2 + 0.0016x - 0.0055$
-30°	-45°
Гипс	Гипс
$y = -8E-07x^3 + 9E-05x^2 - 0.0029x + 0.0504$	$y = -7E-07x^3 + 8E-05x^2 - 0.0027x + 0.0496$
Мрамор - шлифована повърхност	Мрамор - шлифована повърхност
$y = -3E-08x^3 + 3E-06x^2 - 0.0002x + 0.0094$	$y = -8E-08x^3 + 7E-06x^2 - 0.0002x + 0.008$

Мрамор - грапава повърхност	Мрамор - грапава повърхност
$y = 3E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0002x + 0.0049$	$y = 3E-07x^3 - 2E-05x^2 + 0.0002x + 0.0026$
Гнайс - шлифована повърхност	Гнайс - шлифована повърхност
$y = -2E-07x^3 + 5E-06x^2 + 8E-05x - 0.0014$	$y = -4E-07x^3 + 3E-05x^2 - 0.0003x - 0.0003$
Гнайс - грапава повърхност	Гнайс - грапава повърхност
$y = -2E-07x^3 + 2E-05x^2 - 0.0003x - 0.0003$	$y = -4E-07x^3 + 3E-05x^2 - 0.0005x - 0.0006$
Руден къс - шлифована повърхност	Руден къс - шлифована повърхност
$y = -2E-07x^3 + 1E-05x^2 - 0.0001x + 0.0015$	$y = -4E-07x^3 + 3E-05x^2 - 0.0007x + 0.0037$
Руден къс - грапава повърхност	Руден къс - грапава повърхност
$y = 6E-07x^3 - 6E-05x^2 + 0.0017x - 0.006$	$y = 4E-07x^3 - 5E-05x^2 + 0.0016x - 0.008$
-60°	
Гипс	
$y = -2E-06x^3 + 0.0002x^2 - 0.0059x + 0.0744$	
Мрамор - шлифована повърхност	
$y = -2E-08x^3 + 4E-07x^2 + 4E-05x + 0.0053$	
Мрамор - грапава повърхност	
$y = 6E-07x^3 - 4E-05x^2 + 0.0009x - 0.0034$	
Гнайс - шлифована повърхност	
$y = -2E-06x^3 + 0.0002x^2 - 0.0036x + 0.0221$	
Гнайс - грапава повърхност	
$y = -6E-07x^3 + 5E-05x^2 - 0.0012x + 0.0006$	
Руден къс - шлифована повърхност	
$y = -1E-06x^3 + 0.0001x^2 - 0.0024x + 0.014$	
Руден къс - грапава повърхност	
$y = 2E-07x^3 - 4E-05x^2 + 0.0014x - 0.008$	

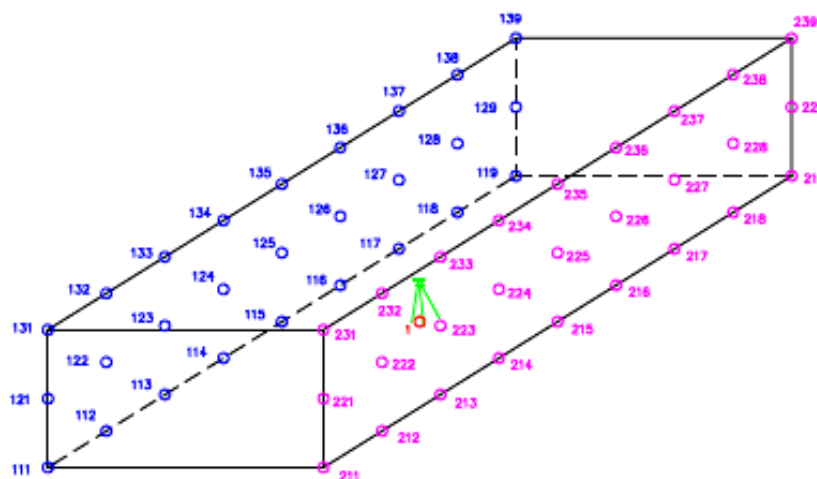
2.6.2. Определяне на обема при маркшайдерско заснемане на недостъпни повърхнини, в участъци с различни геоложки характеристики, чрез пространствени триъгълни пирамиди. Оценка на точността [10]

Една от основните задачи на маркшайдерската 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 триъгълни пирамиди [10]. 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 n 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, образувачи нейната основа в пространството, са точки от елементите на изработката с определени координати при заснемането, а четвъртата – нейният

връх - точка с координати, определени чрез снимачната технология [9]. 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:

$$V = \frac{SH}{3}, \quad (2.9)$$

където:

S - площ на основата на пирамидата;

H - височина на пирамидата.

Чрез координатите (X_1, Y_1, Z_1) , (X_2, Y_2, Z_2) , (X_3, Y_3, Z_3) на три заснети точки от контурите на изработките се определя равнината на основата на всяка от пирамидите в пространството [32].

$$\alpha = \begin{vmatrix} X - X_1 & Y - Y_1 & Z - Z_1 \\ X_2 - X_1 & Y_2 - Y_1 & Z_2 - Z_1 \\ X_3 - X_1 & Y_3 - Y_1 & Z_3 - Z_1 \end{vmatrix} = 0 \quad (2.10)$$

α - уравнение на равнина в пространството, минаваща през три неколинеарни точки.

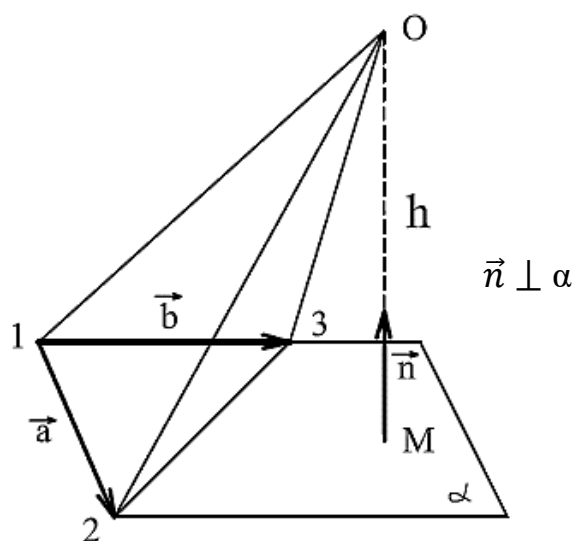
Поради характера на заснеманите повърхнини, равнината на основата на всяка от пирамидите е с различно пространствено положение, което налага изчислението да бъде извършвано за всяка една от пирамидите поотделно. По аналогични причини и височините на тези пирамиди имат различни стойности. За всяка от 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) се извършва по следния начин:

$$\alpha: Ax + By + Cz + D = 0 - \text{общо уравнение на равнината } \alpha \quad (2.11)$$

$$H = \frac{|Ax + By + Cz + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} - \text{разстояние от точка до равнина} \quad (2.12)$$

Определяне координатите на петата на височината на пирамидата



Фиг. 2.69

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

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

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

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

$$\alpha: A(X - X_1) + B(Y - Y_1) + C(Z - Z_1) = 0, \quad (2.13)$$

където:

$$A = (Y_2 - Y_1)(Z_3 - Z_1) - (Z_2 - Z_1)(Y_3 - Y_1) \quad (2.14)$$

$$B = -\{(X_2 - X_1)(Z_3 - Z_1) - (Z_2 - Z_1)(X_3 - X_1)\} \quad (2.15)$$

$$C = (X_2 - X_1)(Y_3 - Y_1) - (Y_2 - Y_1)(X_3 - X_1) \quad (2.16)$$

$$h: \begin{cases} X = X_o + At \\ Y = Y_o + Bt \\ Z = Z_o + Ct \end{cases} \quad (2.17)$$

Следователно:

$$A(X_o + At - X_1) + B(Y_o + Bt - Y_1) + C(Z_o + Ct - Z_1) = 0 \quad (2.18)$$

$$t = \frac{A(X_0 - X_1) + B(Y_0 - Y_1) + C(Z_0 - Z_1)}{A^2 + B^2 + C^2} \quad (2.19)$$

$$M: \begin{cases} X_M = X_0 + At \\ Y_M = Y_0 + Bt \\ Z_M = Z_0 + Ct \end{cases} \quad (2.20)$$

Площта на основата на всяка от пирамидите в пространството се изчислява по известните формули [46]:

$$S_{YZ} = \frac{1}{2} [Y_1(Z_2 - Z_3) + Y_2(Z_3 - Z_1) + Y_3(Z_1 - Z_2)] \quad (2.21)$$

$$S_{XZ} = \frac{1}{2} [Z_1(X_2 - X_3) + Z_2(X_3 - X_1) + Z_3(X_1 - X_2)] \quad (2.22)$$

$$S_{XY} = \frac{1}{2} [X_1(Y_2 - Y_3) + X_2(Y_3 - Y_1) + X_3(Y_1 - Y_2)] \quad (2.23)$$

$$S_{\Delta} = \sqrt{S_{YZ}^2 + S_{XZ}^2 + S_{XY}^2}, \quad (2.24)$$

където:

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

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

Оценка на точността [9]

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

Елементарната пирамида се образува от точки, координирани при измерванията (3 точки в основата и една на върха) $\Rightarrow X_i, Y_i, Z_i$

$$X_i = X_{\text{станция}} + S_i \cos \alpha_i \quad (2.25)$$

$$Y_i = Y_{\text{станция}} + S_i \sin \alpha_i \quad (2.26)$$

$$Z_i = Z_{\text{станция}} + I_{\text{станция}} + \Delta h_i \quad (2.27)$$

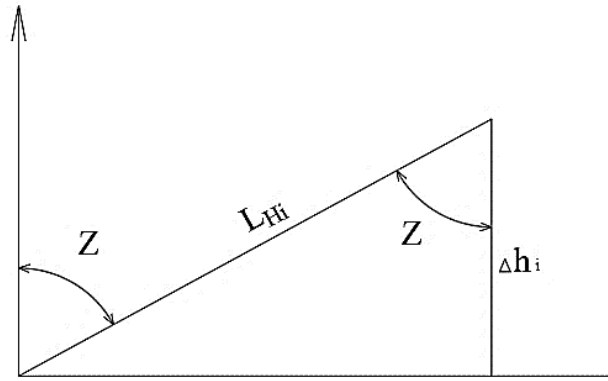
$$\Delta h_i = L_{H_i} \cos Z_i, \quad (2.28)$$

където:

S_i – хоризонтално разстояние;

L_{H_i} – наклонено разстояние;

$I_{\text{станция}}$ – височина на инструмента.



Фиг. 2.70

$$m_{X_i}^2 = m_{X_{ct}}^2 + \cos^2 \alpha_i m_{S_i}^2 + S_i^2 \sin^2 \alpha_i \frac{m_{\alpha_i}^2}{\rho^2} \quad (2.29)$$

$$m_{Y_i}^2 = m_{Y_{ct}}^2 + \sin^2 \alpha_i m_{S_i}^2 + S_i^2 \cos^2 \alpha_i \frac{m_{\alpha_i}^2}{\rho^2} \quad (2.30)$$

$$m_{Z_i}^2 = m_{Z_{ct}}^2 + m_{I_i}^2 + \cos^2 Z_i m_{L_{H_i}}^2 + L_{H_i}^2 \sin^2 Z_i \frac{m_{Z_i}^2}{\rho^2} \quad (2.31)$$

Ако измерването се извършва само от една станция, от формули (2.29), (2.30) и (2.31) 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 [46]:

$$\begin{aligned} m_{S_{\Delta}}^2 &= \frac{1}{2} \frac{S_{YZ}^2}{S_{\Delta}^2} m^2 \sum_{i=1}^n (Y_i^2 + Z_i^2) + \\ &+ \frac{1}{2} \frac{S_{XZ}^2}{S_{\Delta}^2} m^2 \sum_{i=1}^n (X_i^2 + Z_i^2) + \\ &+ \frac{1}{2} \frac{S_{XY}^2}{S_{\Delta}^2} m^2 \sum_{i=1}^n (X_i^2 + Y_i^2), \end{aligned} \quad (2.32)$$

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 (2.24);

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

$$m = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (m_{X_i}^2 + m_{Y_i}^2 + m_{Z_i}^2)} \quad (2.33)$$

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 [45].

$$H = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}, \quad (2.34)$$

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.

$$m_H = \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial X_1}\right)^2 m_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial X_2}\right)^2 m_{X_2}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial Y_1}\right)^2 m_{Y_1}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial Y_2}\right)^2 m_{Y_2}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial Z_1}\right)^2 m_{Z_1}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial Z_2}\right)^2 m_{Z_2}^2} \quad (2.35)$$

$$\frac{\partial H}{\partial X_2} = \frac{X_2}{(X_2^2 - 2X_2X_1 + X_1^2 + Y_2^2 - 2Y_1Y_2 + Y_1^2 + Z_2^2 - 2Z_2Z_1 + Z_1^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{X_1}{(X_2^2 - 2X_2X_1 + X_1^2 + Y_2^2 - 2Y_1Y_2 + Y_1^2 + Z_2^2 - 2Z_2Z_1 + Z_1^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.36)$$

$$\frac{\partial H}{\partial X_1} = -\frac{X_2}{(X_2^2 - 2X_2X_1 + X_1^2 + Y_2^2 - 2Y_1Y_2 + Y_1^2 + Z_2^2 - 2Z_2Z_1 + Z_1^2)^{\frac{1}{2}}} + \frac{X_1}{(X_2^2 - 2X_2X_1 + X_1^2 + Y_2^2 - 2Y_1Y_2 + Y_1^2 + Z_2^2 - 2Z_2Z_1 + Z_1^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial H}{\partial Y_2} = \frac{Y_2}{(X_2^2 - 2X_2X_1 + X_1^2 + Y_2^2 - 2Y_1Y_2 + Y_1^2 + Z_2^2 - 2Z_2Z_1 + Z_1^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{Y_1}{(X_2^2 - 2X_2X_1 + X_1^2 + Y_2^2 - 2Y_1Y_2 + Y_1^2 + Z_2^2 - 2Z_2Z_1 + Z_1^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.38)$$

$$\frac{\partial H}{\partial Y_1} = -\frac{Y_2}{(X_2^2 - 2X_2X_1 + X_1^2 + Y_2^2 - 2Y_1Y_2 + Y_1^2 + Z_2^2 - 2Z_2Z_1 + Z_1^2)^{\frac{1}{2}}} + \frac{Y_1}{(X_2^2 - 2X_2X_1 + X_1^2 + Y_2^2 - 2Y_1Y_2 + Y_1^2 + Z_2^2 - 2Z_2Z_1 + Z_1^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.39)$$

$$\frac{\partial H}{\partial Z_2} = \frac{Z_2}{(X_2^2 - 2X_2X_1 + X_1^2 + Y_2^2 - 2Y_1Y_2 + Y_1^2 + Z_2^2 - 2Z_2Z_1 + Z_1^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{Z_1}{(X_2^2 - 2X_2X_1 + X_1^2 + Y_2^2 - 2Y_1Y_2 + Y_1^2 + Z_2^2 - 2Z_2Z_1 + Z_1^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.40)$$

$$\frac{\partial H}{\partial Z_1} = - \frac{Z_2}{(X_2^2 - 2X_2X_1 + X_1^2 + Y_2^2 - 2Y_1Y_2 + Y_1^2 + Z_2^2 - 2Z_2Z_1 + Z_1^2)^{\frac{1}{2}}} + \frac{Z_1}{(X_2^2 - 2X_2X_1 + X_1^2 + Y_2^2 - 2Y_1Y_2 + Y_1^2 + Z_2^2 - 2Z_2Z_1 + Z_1^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.41)$$

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

$$V = \frac{SH}{3} \quad (2.42)$$

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

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

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).

Общата грешка на измерен хоризонтален ъгъл се изразява чрез формулата [12]:

$$m_\beta = \sqrt{m_{\text{изм}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{среда}}^2 + m_{\text{наклон}}^2 + m_{\text{прибор}}^2} \quad (2.46)$$

където:

$m_{\text{изм}}$ – грешка в измерен хоризонтален ъгъл в зависимост от метода на измерване;

$m_{\text{ц}}$ – грешка от центриране.

За тези грешки, при всяко отделно измерване, може да се определят числените им стойности.

При измерването на ъгли влияние могат да окажат и допълнителни грешки, за които трудно може да се даде числена стойност при конкретно измерване, а именно:

$m_{\text{среда}}$ – грешка, предизвикана от средата в която се извършва измерването;

$m_{\text{наклон}}$ – грешка от невертикалност на оста на въртене на инструмента;

$m_{\text{прибор}}$ – други инструментални (приборни) грешки.

В зависимост от начина на измерване на хоризонталните ъгли, $m_{\text{изм}}$ се изразява чрез общото влияние на грешките при визиране ($m_{\text{в}}$) и при отчитане ($m_{\text{о}}$):

- при *гирусен метод* (в n гируса):

$$m_{\text{изм}} = \pm \sqrt{\frac{m_{\text{в}}^2}{n} + \frac{m_{\text{о}}^2}{n}} \quad (2.47)$$

n – брой на гирусите

- при *репетиционен метод*:

$$m_{\text{изм}} = \pm \sqrt{\frac{m_{\text{в}}^2}{n} + \frac{m_{\text{о}}^2}{2n^2}} \quad (2.48)$$

n – брой на повторенията

Грешката от визиране може да бъде определена чрез:

- характеристиката на нишковия кръст на инструмента:

$$m_{\text{в}} = \frac{1}{2} \frac{b}{f_{\text{об}}} \rho^{\text{cc}}, \quad (2.49)$$

където:

b – дебелина на вертикалната нишка на нишковия кръст;

$f_{\text{об}}$ – фокусно разстояние на обектива на инструмента.

- най-малкия ъгъл на виждане на човешкото око:

$$m_{\text{в}} = \frac{190^{\text{cc}}}{V}, \quad (2.50)$$

където:

190^{cc} – най-малкият ъгъл при който човешкото око различава две точки като отделни;

V – увеличение на зрителната тръба.

Грешката при отчитане може да бъде определена чрез:

$$m_o = \frac{t^{cc}}{2\sqrt{3}}, \quad (2.51)$$

където:

t^{cc} – директна точност на отчитане на инструмента.

При съвременните инструменти, грешката от отчитане е грешката на ъгловия датчик, посочена в техническата характеристика на инструмента от фирмата-производител [25].

Грешката от неточно центриране на инструмента зависи от дължините на раменете на измерения хоризонтален ъгъл и неговата стойност. Тя може да се отчете от таблица (на проф. Белоликов) или да се изчисли по следната формула:

$$m_{ц} = \sqrt{\frac{\rho^2}{2a^2b^2} [e_c^2(a^2 + b^2) + e_{и}^2(a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta)]}, \quad (2.52)$$

където:

e_c – ексцентрицитет (неточно центриране) на сигнала;

$e_{и}$ – ексцентрицитет (неточно центриране) на инструмента;

a, b – рамена на измервания ъгъл.

Грешката при измерване на зенитни ъгли се определя от следната формула:

$$m_z = \sqrt{\frac{m_B^2 + m_o^2 + m_y^2}{2n}}, \quad (2.53)$$

където:

m_B – грешка от визиране;

m_o – грешка при отчитане;

m_y – грешка от неточно хоризонтиране на инструмента. При съвременните инструменти, точността на компенсатора е указана в паспорта на инструмента.

Грешката от визиране и грешката при отчитане се определят по същия начин, както при измерване на хоризонтални ъгли, а грешката от неточно хоризонтиране на инструмента зависи от точността на компенсатора на инструмента.

Оценката на определения обем в конкретния пример е изчислена в два варианта [10]:

- Измерените дължини са оценени чрез зададената точност на дължинните измервания за използвания инструмент (TRIMBLE S6).

$$m_s = a + bS_{km}, \quad (2.54)$$

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 ъгъла между визирния лъч и отразяващата повърхност.

За примера са приети условни координати на станцията, която е разположена в средата на изработката с посочените размери. Ориентацията ѝ е спрямо точка в оста на изработката (ос X съвпада с тази посока, а ос Y е перпендикулярна на стените на изработката) на разстояние 10 m за първото тяло и 20 m за второто. Възприетата идея има за цел само да облекчи изчислителната част, т. е. измерените хоризонтални ъгли да се използват за посочни при изчисляване координатите на подробните точки. Общият случай изисква допълнителни изчисления, които не променят алгоритъма.

При оценка на надморските височини на подробните точки е използвано измереното наклонено разстояние и стойността на зенитния ъгъл.

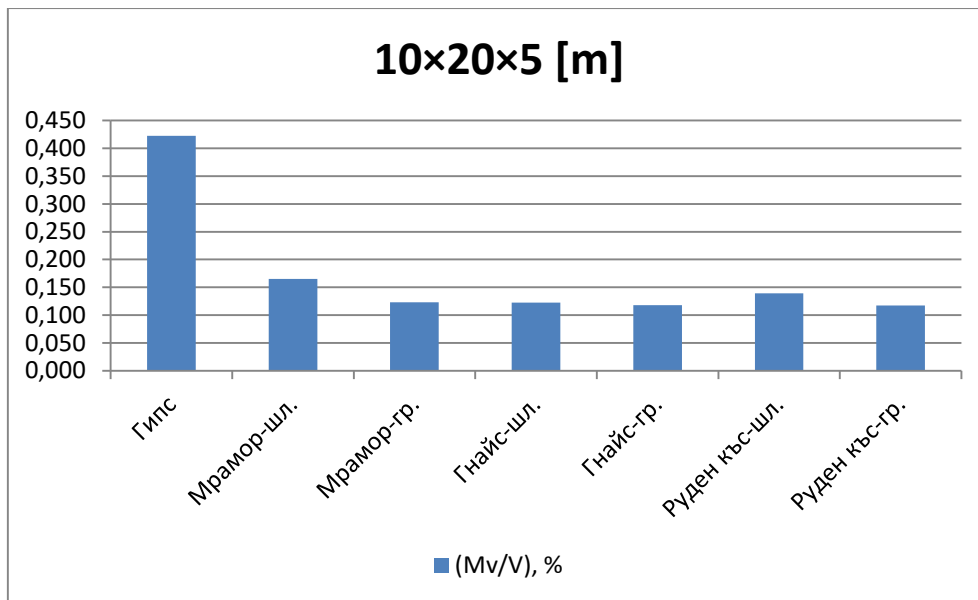
В разглежданите две примерни тела са формирани 70 елементарни пирамиди чрез които са получени общите обеми и техните оценки.

В табл. 2.14, както и на фиг. 2.71 и 2.72 са представени резултатите от изчисленията за двата варианта за двете примерни тела.

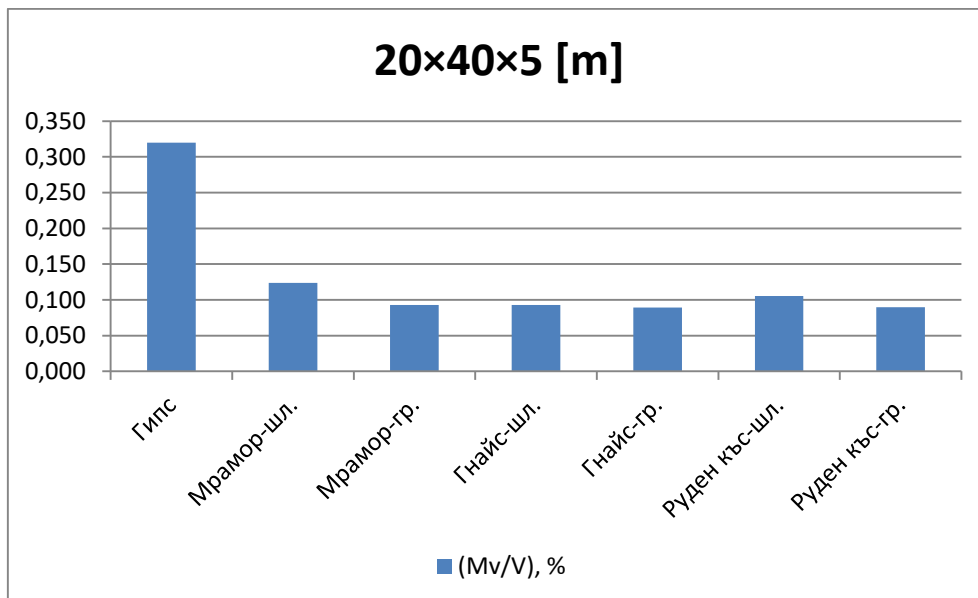
Сравнителна таблица за грешките в обемите при различните минерали вследствие на грешки при маркшайдерските измервания

Табл. 2.14

Фигура, м	Показател	Теор. ст-ст	Ст-ст при $m_s=0,002$	Гипс	Мрамор-шл.	Мрамор-гр.	Гнай-шл.	Гнай-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



Фиг. 2.71. Грешки в обемите при различните минерали вследствие на грешки при маркшайдерските измервания



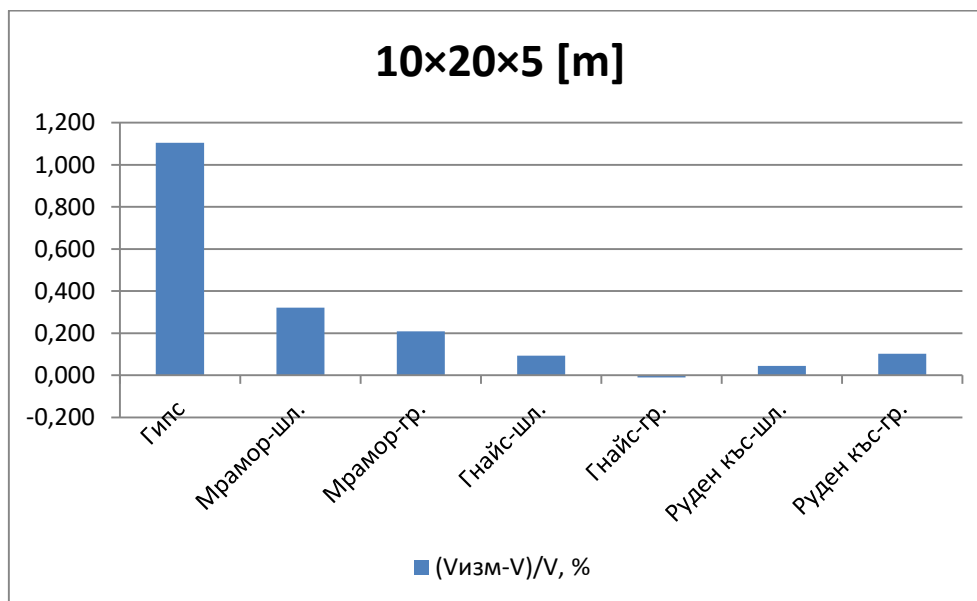
Фиг. 2.72. Грешки в обемите при различните минерали вследствие на грешки при маркшайдерските измервания

Изчислени са също така и обемите на двете примерни тела, при различните минерали, отчитайки разликите между еталонни и измерени разстояния. В табл. 2.15 и на фиг. 2.73 и 2.74 са представени данни за разликите в обемите при двете примерни тела, в зависимост от разликите между еталонни и измерени разстояния.

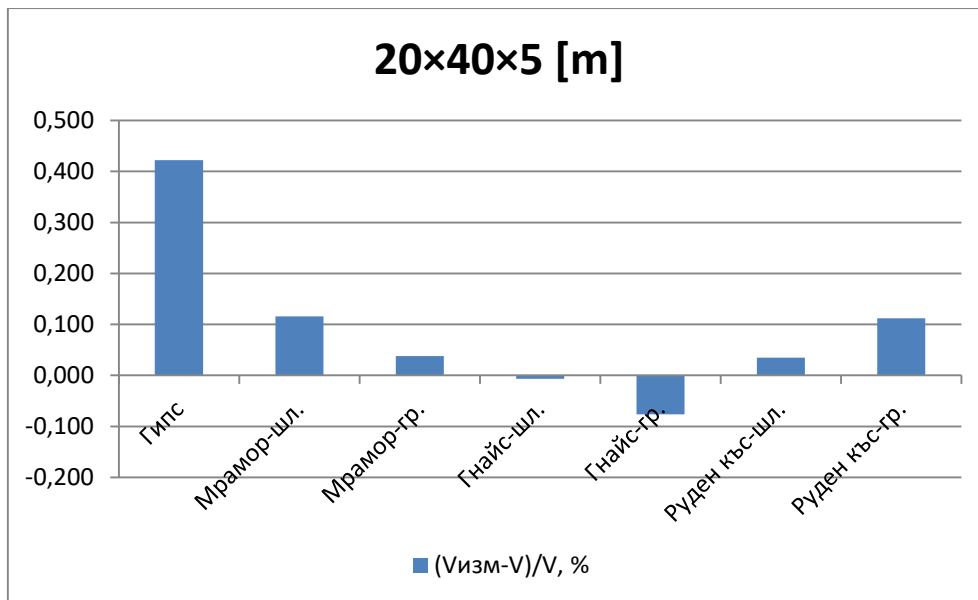
**Сравнителна таблица за разлики в обемите при различните минерали
вследствие на разлики между еталонни и измерени разстояния**

Табл. 2.15

Фигура, м	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



Фиг. 2.73. Разлики в обемите при различните минерали вследствие на разлики между еталонни и измерени разстояния



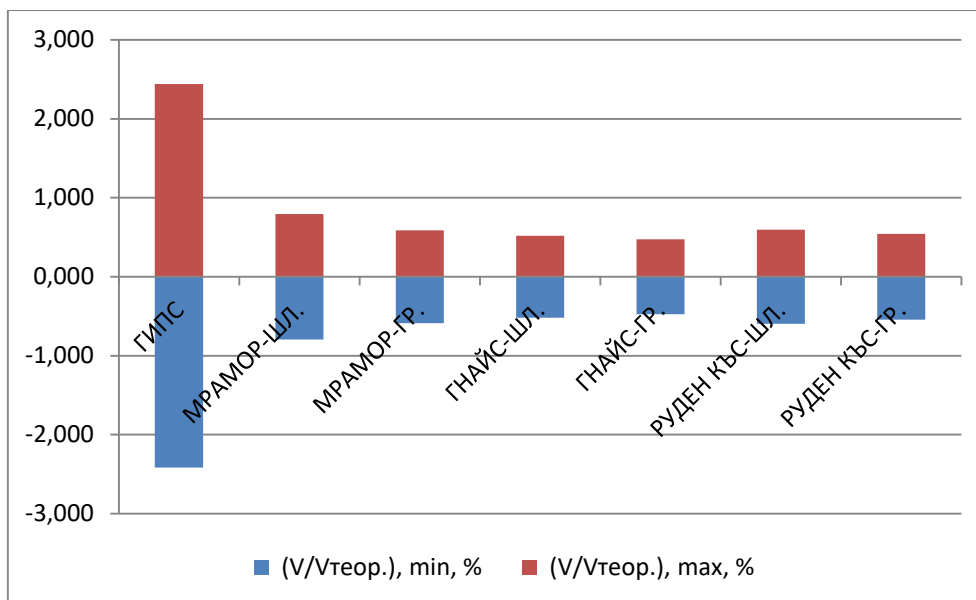
Фиг. 2.74. Разлики в обемите при различните минерали вследствие на разлики между еталонни и измерени разстояния

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) [31] (визуален програмен език позволяващ създаването на модулни програми, лежащ в основата на всички програмни среди на Microsoft Office), 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 (9^3 комбинации). В таблица 2.16 и на фигура 2.75 са представени данните от изчислението за различните изследвани минерали, за едното експериментално тяло с размери $10 \times 20 \times 5$ m.

Табл. 2.16

ОБЕМ (m ³)	V _{теоретичен} = 1000.000		
	V _{измерен}	V _{минимален}	V _{максимален}
	Гипс		
Обем (m ³)	999.953	975.799	1024.341
Разлика (m ³)		-24.154	24.388
(V/V _{теор.}), %		-2.415	2.439
	Мрамор-шл.		
Обем (m ³)	999.953	992.029	1007.901
Разлика (m ³)		-7.925	7.948
(V/V _{теор.}), %		-0.792	0.795
	Мрамор-гр.		
Обем (m ³)	999.953	994.095	1005.824
Разлика (m ³)		-5.859	5.871
(V/V _{теор.}), %		-0.586	0.587
	Гнайс-шл.		
Обем (m ³)	999.953	994.764	1005.152
Разлика (m ³)		-5.190	5.199
(V/V _{теор.}), %		-0.519	0.520
	Гнайс-гр.		
Обем (m ³)	999.953	995.196	1004.719
Разлика (m ³)		-4.757	4.765
(V/V _{теор.}), %		-0.476	0.477
	Руден къс-шл.		
Обем (m ³)	999.953	994.014	1005.905
Разлика (m ³)		-5.939	5.952
(V/V _{теор.}), %		-0.594	0.595
	Руден къс-гр.		
Обем (m ³)	999.953	994.521	1005.396
Разлика (m ³)		-5.432	5.443
(V/V _{теор.}), %		-0.543	0.544



Фиг. 2.75. Стойности на минимална и максимална грешка в обемите на пирамидите, породени от грешки в координатите на точките от основата им.

При подобен анализ за конкретни минни обекти, сходимостта на получените стойности следва да се сравнява с нормите в Техническата маркшайдерска инструкция [33] (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).

При извършването на гореизложените изчисления не са отчетени грешките, свързани със средата, произтичащи от атмосферни промени в температура, налягане, влажност и запрашеност - фактори специфични за рудничната атмосфера.

Изводи

След анализиране на представените резултати от проведеното експериментално изследване 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.

5. 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.

6. 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.



Гипс



Гипс



Мрамор -
шлифована
повърхност



Мрамор - грапава
повърхност



Руден къс -
шлифована
повърхност



Руден къс - грапава
повърхност



Гнайс - шлифована
повърхност



Гнайс - грапава
повърхност

Фиг. 2.76



фиг. 2.77

3. Експериментални измервания в руднични условия – резултати и анализ

Правилното и безопасно извършване на минните работи в съвременните миннодобивни фирми е пряко свързано с дейността на маркшайдерската служба. Маркшайдерът е водещ специалист от проучването на находището на полезни изкопаеми до окончателната ликвидация на рудника. Неговите отговорности могат да бъдат обобщени в следните основни задачи [13]:

- Своевременно и пълно заснемане на минните изработки и изобразяването им върху маркшайдерските планове и разрези.
- Решаване на геометрични задачи, възникващи при строителството и експлоатацията на рудниците.
- Контрол за спазване на наклоните, наклона и габаритите на прокарваните изработки.
- Участие в изучаването на геометричните форми на залегане на полезното изкопаемо и пространственото разпределение на свойствата му.
- Охрана на земните недра, т. е. систематичен маркшайдерски контрол за най-пълното и рационално изземване на изкопаемите подземни богатства.
- Отчет и анализ за движението на запасите.
- Изучаване на процеса движение на скалите под влияние на минните изработки и набелязване на мерки за опазване на съоръженията.
- Участие в съставянето на плановете за развитието на минните работи в рудника.

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

При това експериментално изследване е извършено маркшайдерско заснемане на един характерен участък от хоризонтална изработка – гал. 1 хор. 450, чрез тотална станция SOKKIA SET 5, налична в маркшайдерския отдел на рудника [4]. Заснемането е извършено с цел контрол за спазване проектного сечение на изработката, както и изчисляване на обема отбита и извозена минна маса. Полученият резултат за обема скална маса от гал. 1, въз основа на резултатите от маркшайдерската снимка, е 483 m³. Изчислението е извършено чрез определените размери на отделни напречни сечения и разстоянията между тях.



фиг. 3.1

Извършено е повторно заснемане на същата галерия с тотална станция Trimble S6 (фиг. 3.1) [4], с вградена технология за измерване без призма осигуряваща безопасност на измерването при достатъчно висока точност. Trimble S6 след насочване запазва положението си спрямо целта дори и при силни въздушни струи, вибрации, нарушаване положението и/или потъване на триногата, което я прави изключително подходяща за използване в минна среда.

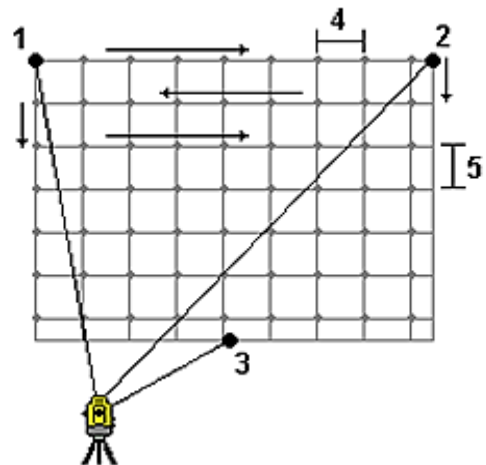
Заснемането на изработката е извършено с приложението за сканиране на повърхнини, като е използван методът „Rectangular plane“ за дефиниране на равнина по 3 точки (фиг. 3.2).

Предвид формата и размерите на заснеманата минна изработка са избрани четири повърхнини, описващи пода, тавана и двете ѝ стени [4]. Във всеки участък от изработката първоначално са

задавани по три точки от посочените повърхнини и след това, в зависимост от посочените при настройката разстояния между точките, в автоматизиран режим са извършени измерванията.

Изменението на посоката на оста на изработката в план предопредели необходимостта от избиране на три станции, от които да бъде извършвано измерване, за цялата дължина на галерията. Така заснетите 12 повърхнини, със застъпване на определен брой точки, отразяващи стените, пода и тавана на изработката осигуряват информация за пространственото положение на елементите на галерията.

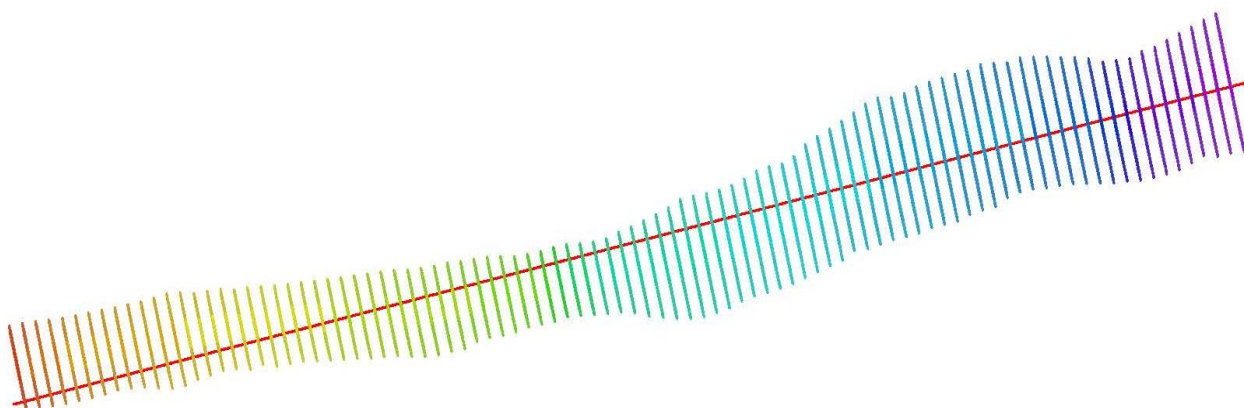
Последващата обработка на резултатите от снимката е извършена в средата на софтуера Trimble RealWorks [4].



Фиг. 3.2 [43]

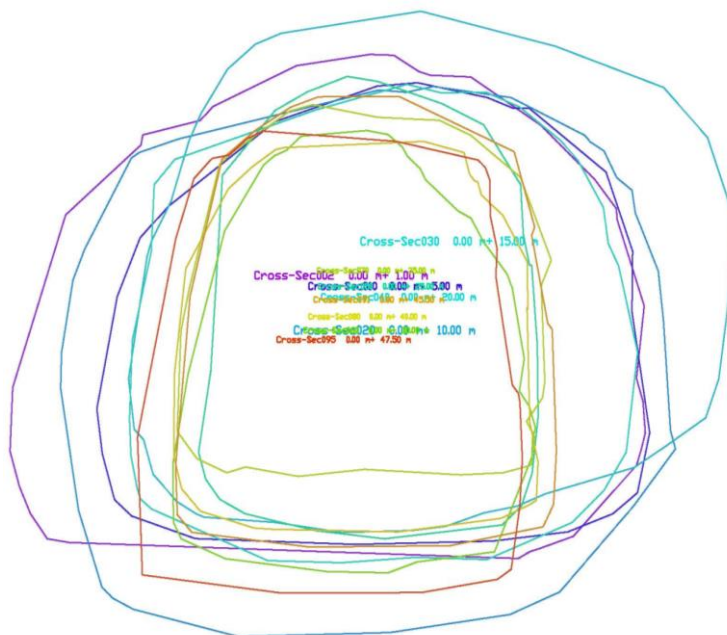
Изработени са:

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



Фиг.3.3 [4]

– 2D напречни профили (склопени профили) на изработката – основно сечение 0.5 m;



Фиг.3.4 [4]

– Надлъжни профили на пода и тавана на изработката;



Фиг.3.5

– 3D повърхнина на изработката.



Фиг.3.6 [4]

Полученият резултат за обема скална маса от гал.1, при изчисляване чрез напречни сечения през разстояние 2 m, е 408 m³ [4].

Изводи и анализ на получените резултати [4]

1. Информацията за положението на стените, тавана и пода на галерията е най-богата от автоматизираното заснемане на изработката. Заснети са 1900 точки и са формирани 94 бр. 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 m² до 13.68 m². 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 m³, което клони към 18 %.

- Разходът на време за извършване на снимката. Вторият метод съкращава неколkokратно 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. Маркшайдерско заснемане контурите на капитална минна изработка при различна детайлност на информацията. Технология и резултати

Контролът при отчета на добива на подземни богатства и определянето на обема на изпълнените минни работи в съвременните миннодобивни фирми е една от основните задачи в дейността на маркшайдерската служба [8].

Използват се два вида отчет: оперативен и маркшайдерски.

Оперативният (статистически) отчет се води от участъковото ръководство или диспечерската служба по определения брой и теглото или вместимостта на транспортните средства, които постъпват от минните изработки за смяна, седмица, месец. По данните от него се оценява само ритмичността на извършваните проходчески и добивни дейности, докато заплащането им се извършва въз основа на резултатите от маркшайдерския замер.

Маркшайдерският отчет се изготвя периодично (най-често ежемесечно) въз основа на извършено заснемане на минните изработки. Заснема се всяка една отчетна единица – изработка, части от експлоатационен блок, камера, галерия, етаж, подетаж, хоризонт и др. Измервания се извършват и в складовете, претоварните площадки, бункерите и др.

Целта на маркшайдерския отчет е извършване на контрол за изпълнението на плана за развитие на минните работи [19]. По резултатите от маркшайдерската снимка (явяваща се техническа и юридическа основа за изчисленията) се определя обема на отработеното пространство за съответния период. Графичните материали от маркшайдерския отчет, допълнени с геоложката документация, се използват за количествена оценка на загубите и обедняването, както и при отчитане на движението на запасите на полезните изкопаеми.

Предназначението на маркшайдерската снимка е осигуряване на информация за размерите, формата и пространствената ориентираност на минните изработки с необходимата точност, и изработване на качествена графична документация. Необходимата точност при извършване на заснемането трябва да бъде съобразена най-вече с предназначението на снимката и задачите, които ще бъдат решавани по резултатите от нея.

Обектът, в който е изпълнено измерването, е рудник „Ерма река“, участък „Метливко“ [8]. Извършено е заснемане в три характерни участъка от капитална изработка. Един участък с железобетонен крепеж (Участък 3, фиг. 3.7) и два участъка без крепеж (Участък 1, фиг. 3.8 и Участък 2). В незакрепените участъци

преобладаващите скали са амфибол-биотитови гнайси, повърхността им е неравна и силно овлажнена.



Фиг. 3.7. Участък 3 [8]



Фиг. 3.8. Участък 1 [8]

Целта на извършеното експериментално изследване е оценка на приложението на съвременна техника и технологии, осигуряващи безопасност, удобство, висока точност и бързина при работа, в участъци с различни по вид и грапавост отразителни повърхности.

Заснемането е извършено с тотална станция Trimble S6, като е използвано вграденото в инструмента приложение за сканиране на повърхнини [43]. Използван е методът „Rectangular plane“ за дефиниране на равнина по 3 точки (фиг. 3.2).

Отчитайки формата и размерите на заснеманите участъци от минната изработка, са дефинирани подходящо избрани повърхнини, описващи пода, тавана и двете ѝ стени [8]. Във всеки от трите участъка от изработката, сканирането е извършено при следните разстояния между точките:

- 0.10 m × 0.50 m;
- 0.20 m × 0.50 m;
- 0.50 m × 0.50 m;
- 1.00 m × 0.50 m;
- 1.00 m × 1.00 m;
- 5.00 m × 0.50 m.

Първоначално са задавани по три точки от посочените повърхнини. След това, в зависимост от посочените при настройката разстояния между тях, в автоматизиран режим са реализирани измерванията.

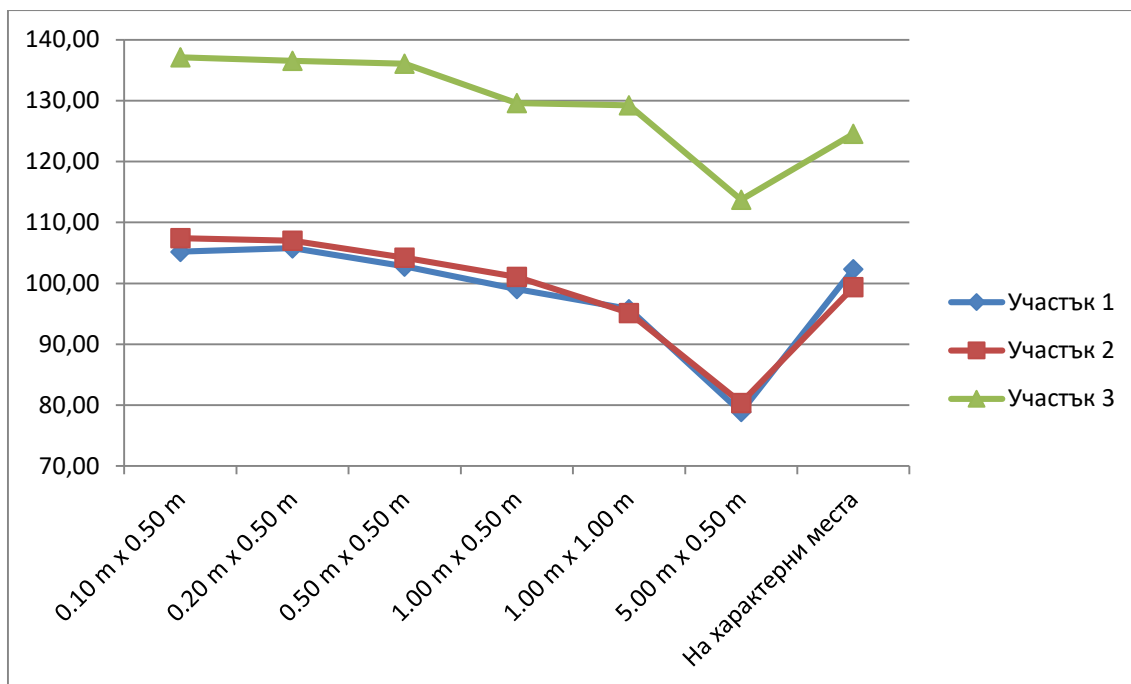
Извършено е също така и заснемане на отделни точки на характерни места, избирани по преценка на маркшайдера. Заснети са общо над 26000 точки в трите участъка.

Изчислени са обемите скална маса в различните участъци, като резултатите са представени в табл. 3.1.

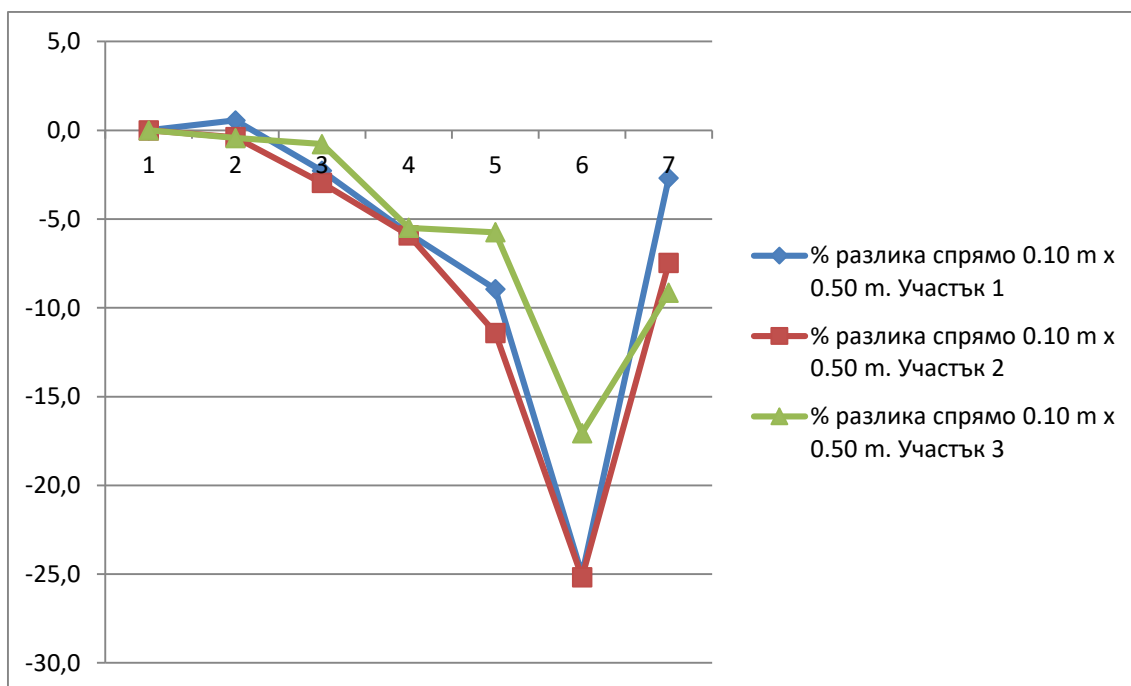
Табл. 3.1

Повърхнина	Изчислени обеми скална маса, m ³			Разлика в обемите спрямо повърхнина 0.10 m × 0.50 m, %		
	Участък 1	Участък 2	Участък 3	Участък 1	Участък 2	Участък 3
0.10 m × 0.50 m	105.19	107.42	137.15	0.0	0.0	0.0
0.20 m × 0.50 m	105.78	107.00	136.56	0.6	-0.4	-0.4
0.50 m × 0.50 m	102.79	104.23	136.09	-2.3	-3.0	-0.8
1.00 m × 0.50 m	99.07	101.07	129.62	-5.8	-5.9	-5.5
1.00 m × 1.00 m	95.78	95.16	129.27	-8.9	-11.4	-5.7
5.00 m × 0.50 m	78.86	80.38	113.75	-25.0	-25.2	-17.1
На характерни места	102.36	99.39	124.59	-2.7	-7.5	-9.2

На фиг. 3.9 са представени данните от изчисляването на обемите 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. 3.9. Обеми иззета скална маса в различните участъци [8]



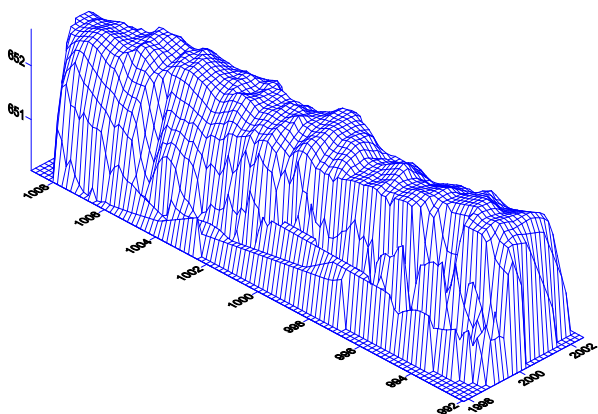
Фиг. 3.10. Процентна разлика в обемите между еталона и отделните варианти [8]

На фиг. 3.10 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 обемите е по-малка,

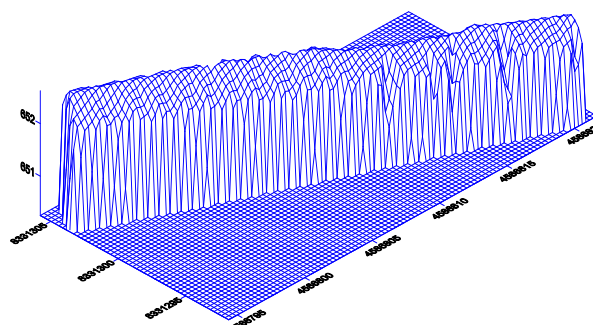
което се дължи на наличието на железобетонен крепеж (относително гладък), респективно по-малката грапавост на стените на изработката.

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.

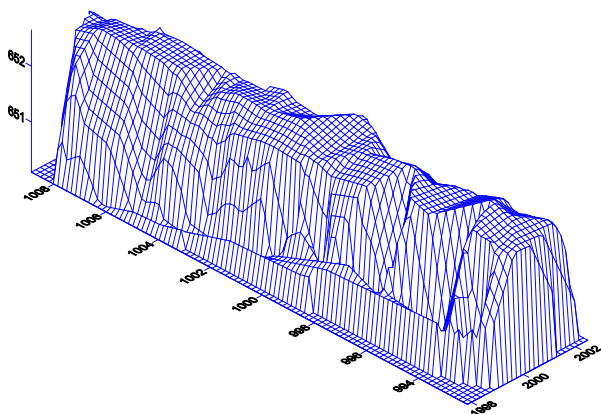
Връзката между характера на повърхнините и изчислените обеми може да бъде илюстрирана чрез различни възможности за визуализация, например:



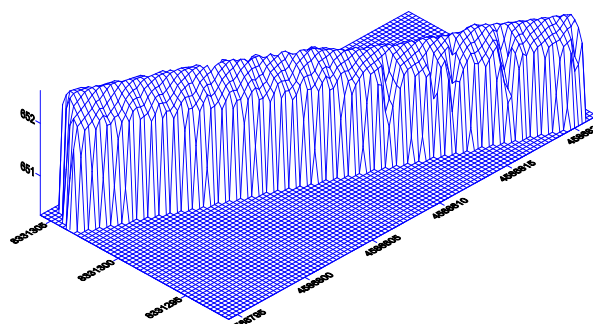
Фиг.3.11. Участък 1, гъстота на точките $0.10 \text{ m} \times 0.50 \text{ m}$ [8]



Фиг.3.12. Участък 3, гъстота на точките $0.10 \text{ m} \times 0.50 \text{ m}$ [8]



Фиг.3.13. Участък 1, гъстота на точките $1.00 \text{ m} \times 1.00 \text{ m}$ [8]



Фиг.3.14. Участък 3, гъстота на точките $1.00 \text{ m} \times 1.00 \text{ m}$ [8]

На фиг. 3.11 и фиг. 3.12 са представени 3D повърхнини на Участък 1 и Участък 3, при заснемане с гъстота на точките $0.10 \text{ m} \times 0.50 \text{ m}$.

На фиг. 3.13 и фиг. 3.14 са представени 3D повърхнини на същите два участъка, но при заснемане с гъстота на точките $1.00 \text{ m} \times 1.00 \text{ m}$.

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 ($0.10\text{ m} \times 0.50\text{ m}$), повърхността е много по-детайлна.

При това представяне на резултатите от измерванията следва да се отбележи, че условията при които е извършено заснемането са специфични за конкретния участък - капитална изработка в участък „Метливко“, рудник „Ерма река“ (фиг. 3.15, фиг. 3.16, фиг. 3.19, фиг. 3.20, фиг. 3.21 и фиг. 3.22).

Извършването на подобно експериментално заснемане и на добивни пространства, ще даде по-ясна представа относно възможностите за приложение на този вид техника в реални условия, и в отражателна среда формирана от минерали с различни оптични свойства (отражателна способност, грапавост, цвят, запрашеност, овлажненост).



Фиг. 3.15



Фиг. 3.16

Приложеният подход и конкретните условия провокират извършване на анализ на грапавостта на повърхностите (тавана и стените) в Участък 1 [8].

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 $0.10\text{ m} \times 0.50\text{ m}$) са показани на фиг. 3.17 и фиг. 3.18.

Изчисленият среден коефициент при отделните интервали между точките е представен в табл. 3.2.

Коефициент на грапавост:

$$K = L / S, \quad (3.1)$$

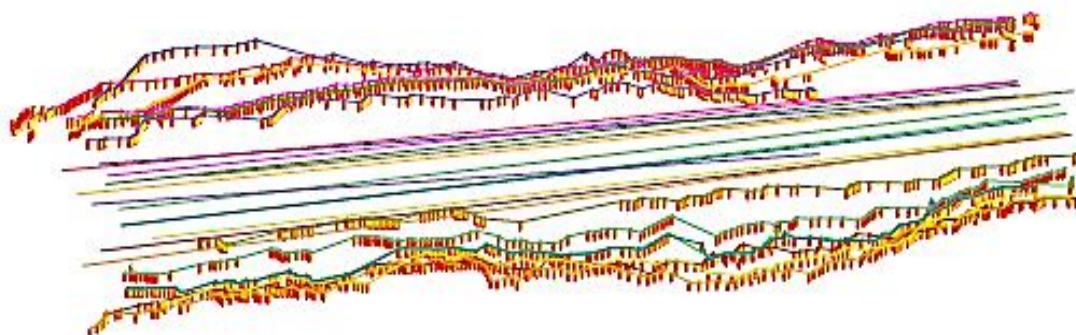
където:

L – дължина на начупения контур, свързващ точките в отделните профили по стените и тавана на изработката;

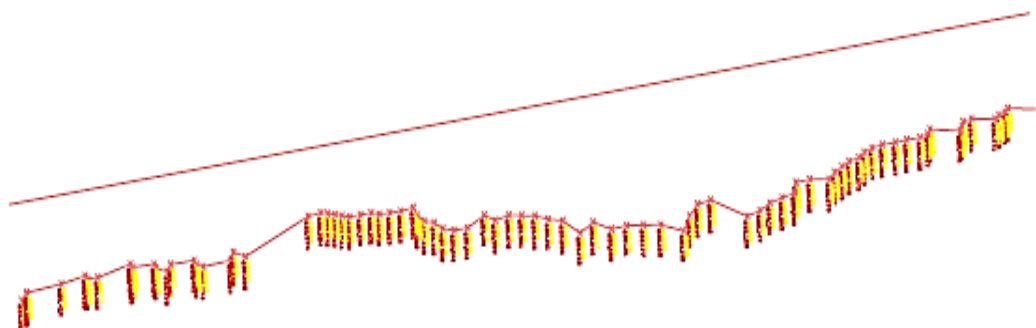
S – дължина на линията свързваща двете крайни точки на профила.

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. 3.17. Определяне на коефициенти на грапавост по профили [8]



Фиг. 3.18. Определяне на коефициент на грапавост за един профил [8]

Общи изводи и предложения

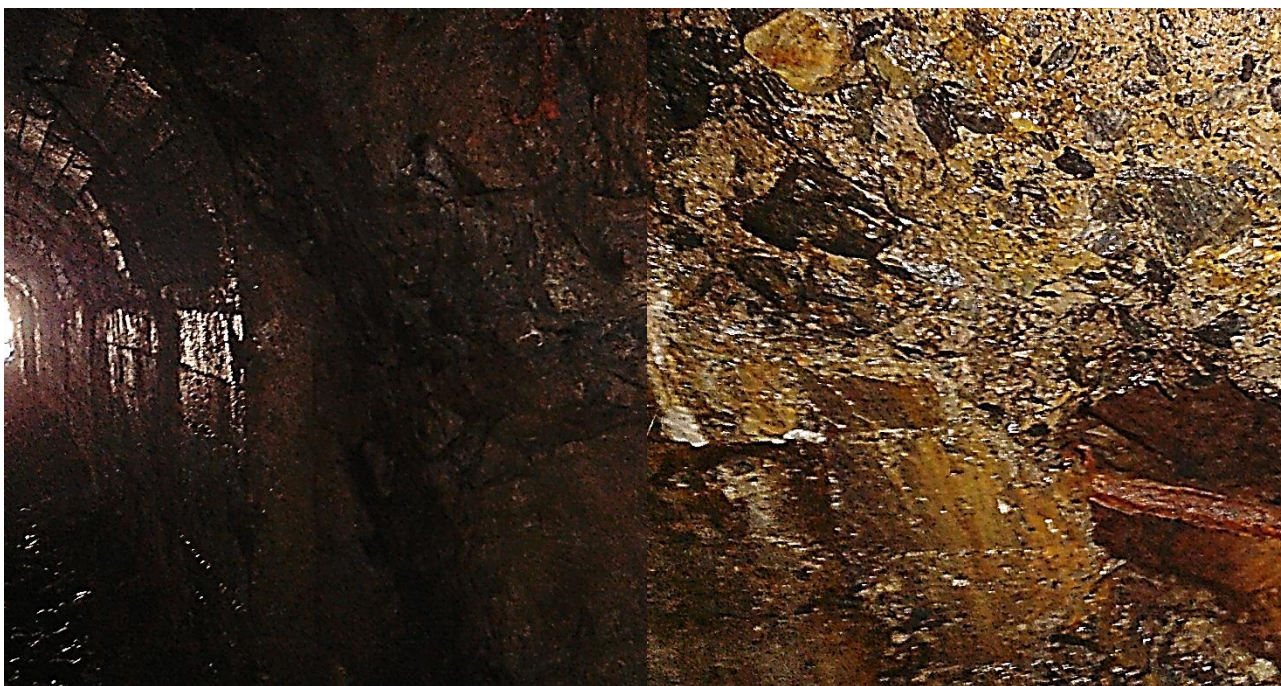
От извършения анализ на резултатите от измерванията дотук могат да бъдат формулирани някои изводи и предложения [8]:

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 то да бъде извършвано 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 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, трябва да бъдат конкретизирани с бъдещи изследвания и анализи.



Фиг. 3.19

Фиг. 3.20



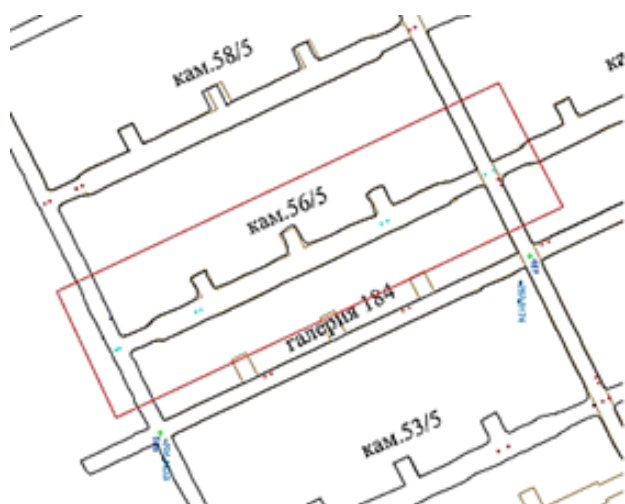
Фиг. 3.21



Фиг. 3.22

3.3. Заснемане на камера за добив на гипс в находище „Кошава“ [37]

Изземването на запасите, в гипсово находище „Кошава“, се извършва по подземен начин с камерно - стълбова система на разработване. Отбиването на гипса се извършва чрез прилагане на пробивно-взривни работи. Контролът при отчета на добива и определянето на обема на изпълнените минни работи се извършва текущо от маркшайдерския отдел на рудника.



Фиг. 3.23 [37]

Извършено е заснемане на камера за добив на гипс (кам. 56/5 – фиг. 3.23 и фиг. 3.24), чрез безрефлекторна технология за измерване. Заснемането е извършено с тотална станция Trimble S6 (фиг. 3.24 и фиг. 3.25), по два различни метода:

- Посредством вграденото в инструмента приложение за сканиране на повърхнини, като е използван методът „Rectangular plane“ [43], описан в предходните точки. 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.



Фиг. 3.24 [37]

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 по-малко от 2 часа) [37].

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 може да бъдат направени следните изводи:

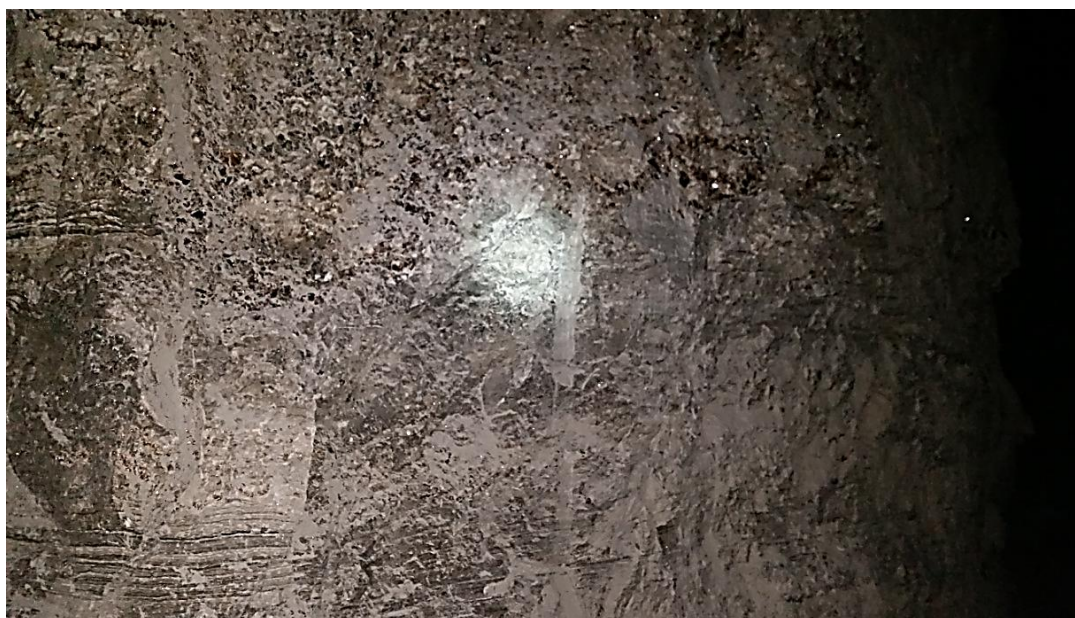
1. При измерване по метода „Rectangular plane“ заснемането е много по-детайлно. От своя страна, методът при който се заснемат само отделни точки на характерни места от контура на камерата многократно съкращава времето за работа.

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 m³, което е около 15 %. Това доказва необходимостта от прецизно планиране на маркшайдерските работи. Разликата се дължи на повишената грапавост на стените на камерата за добив на гипс (фиг. 3.24 и 3.26), както и на показаните в предходните експериментални изследвания големи отклонения от измерената еталонна дължина при безрефлекторно заснемане на този минерал.



Фиг. 3.25 [37]



Фиг. 3.26 [37]

3.4. Заснемане на капитална изработка в рудник „Челопеч“ [37]

Извършено е експериментално заснемане на капитална изработка. В конкретно заснетия участък има крепеж – торкрет бетон.

Заснемането е извършено по два метода:

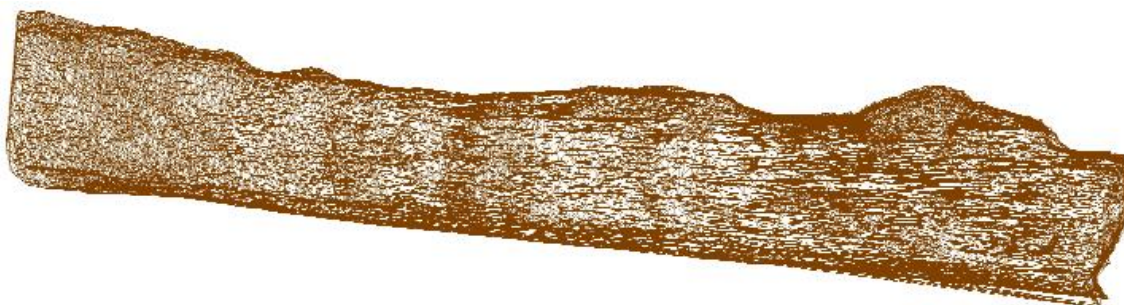
- С тотална станция Trimble S6, по метода „Rectangular plane“ [43], при разстояния между точките $0.50\text{ m} \times 0.50\text{ m}$.

- Чрез системата CMS - Cavity Monitoring System [15], чрез която е извършено сканиране на контурите на изработката.

При заснемането с тотална станция Trimble S6 (фиг. 3.27) по метода „Rectangular plane“ са регистрирани 3829 точки (за около 3.5 часа), а при сканирането чрез системата CMS (фиг. 3.28) – 153282 точки (за около 20 минути).



Фиг. 3.27 [37]



Фиг. 3.28 [37]

От така извършените две заснемания са изчислени обемите иззета скална маса, представени в табл. 3.4 и фиг. 3.32.

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. 3.29 е представено съвместно изображение на заснетите елементи на изработката по двата метода.



Фиг. 3.29 [37]

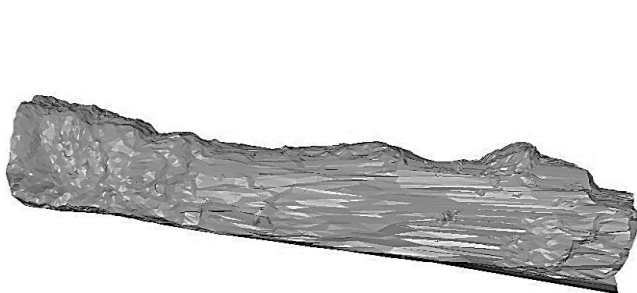
Изводи

Извършено е сравнение между две различни технологии [37].

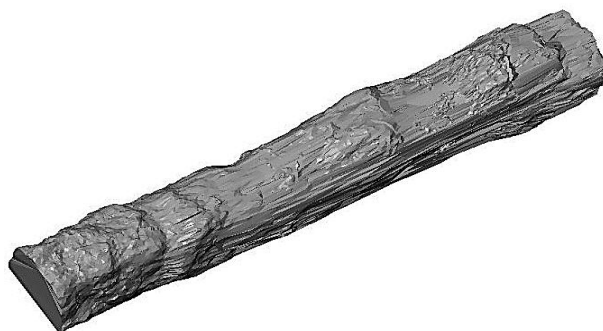
1. Получената разлика в изчислените обеми по двата метода е 14.22 m^3 , което е около 1.5 %. Това ни дава основание да заключим, че двете технологии са еднакво приложими при заснемане на подземни минни изработки.

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.

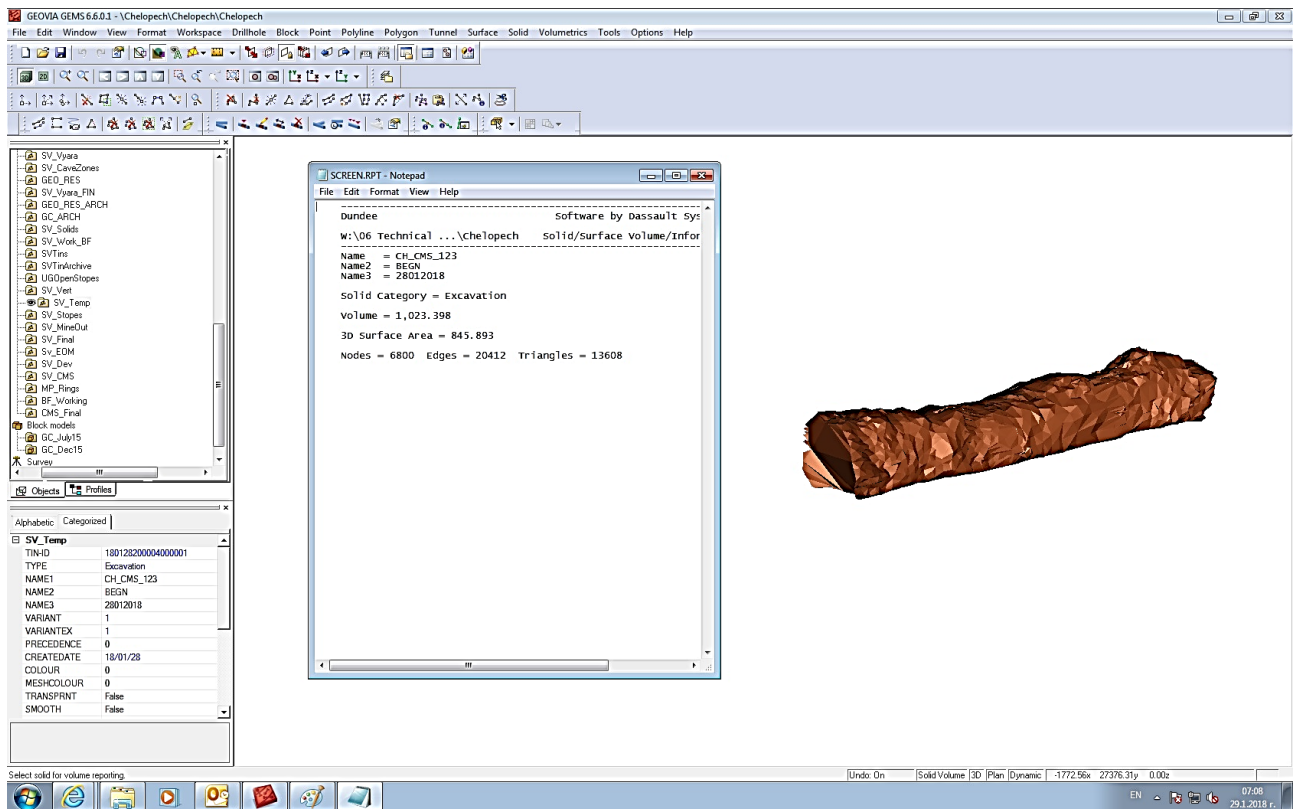
3. При заснемане на недостъпни пространства трябва да бъдат отчетени конкретните условия в минната изработка, предназначението на снимката и задачите, които ще бъдат решавани по резултатите от нея, както и да бъде правилно преценено приложението на един или друг метод на заснемане.



Фиг. 3.30 [37]



Фиг. 3.31



Фиг. 3.32 [37]

Заклучение

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

Представени са видовете подземни празнини, причините за образуването им, различните възможности за достъп до тях и развитието на методите за заснемане и документиране.

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

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 отразителната 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.

Оценени са възможностите за приложението на съвременна техника и технологии, в участъци с различни по вид и грапавост отразителни 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.

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.

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 отразителни 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.

Литература

1. Анцибор, В. Я. Лазерные приборы. М., „Недра“, 1985.
2. Банушев, Б. Практическа петрография. С., ИК „Ваньо Недков“, 2006.
3. Бегновска, М., П. Савов. Експериментални резултати при безпризмено измерване с лазерен далекомер. Сп. Геология и минерални ресурси, София, 2014, № 9, с. 18-22. ISSN 1310-2265.
4. Бегновска, М., Р. Петков, Д. Атанасова. Маркшайдерска снимка на хоризонтална изработка в рудник „Крушев дол“ чрез различни технологии. 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. ISSN 1314-7056.
5. Бегновска, М., П. Савов. Експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер при наличие на аерозол по трасето. Сп. Геология и минерални ресурси, София, 2015, № 6, с. 31-33. ISSN 1310-2265.
6. Бегновска, М., П. Савов. Анализ на резултати от измерване на разстояния с лазерен далекомер до група образци с различни отражателни характеристики. XIII Национална конференция с международно участие по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 01 – 05 септември 2015, Варна, България, с. 198-204. ISSN 1314-8877.
7. Бегновска, М., П. Савов, А. Кехайов, С. Венков. Изследване и анализ на грешки, дължащи се на разстоянието, албедото, различен ъгъл, дъжд и мъгла при безрефлекторни измервания. VII Международна конференция по геомеханика, 27 юни – 01 юли 2016, Варна, България, с. 394-401. ISSN 1314-6467.
8. Бегновска, М. 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. ISSN 1314-7056.
9. Бегновска, М. Определяне обема на отработени пространства в подземни минни изработки и оценка на точността му. Шеста национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 01 – 04 октомври 2018, Девин, България, с. 189-194. ISSN 1314-7056.
10. Бегновска, М., Ал. Цонков, В. Христов. Експериментални изследвания за определяне обема на отработени пространства в подземни минни изработки чрез маркшайдерски измервания. Шеста национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно

строителство“, 01 – 04 октомври 2018, Девин, България, с. 195-201. ISSN 1314-7056.

11. Бегновска, М. Анализ на резултатите от експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер до образци от строителни материали. Сп. Геодезия, картография, земеустройство, София, 2019, 3-4, с. 11-13. ISSN 0324-1610.

12. Белоликов, А. Н., Б. Н. Земисев, Г. А. Кротов, Г. И. Кузнецов, В. И. Лавров, В. Б. Лебедев, С. П. Павлов, И. И. Стенин, В. С. Симонович, А. Б. Хлебников. Маркшейдерское дело (часть 2). Под ред. И. Н. Ушакова. М., „Недра“, 1989.

13. Велев, К. Общо маркшейдерство с анализ на маркшейдерските работи. Техника, София, 1965.

14. Винчелл, А. Н., Г. Винчелл. Оптическая минералогия. М., Изд. „Иностранной литературы“, 1953.

15. Грунин, А. Г. Применение лазерной сканирующей системы CMS для маркшейдерских работ. Геопрофи, 2, 2003, с. 30-31.

16. Данов, В. Нетрадиционни методи за добив на твърди полезни изкопаеми (Геотехнология). ИК „Св. Иван Рилски“, София, 2006.

17. Дивлет-Кильдеев, М. Ф. Исследования скважин методом акустического каротажа. Ультразвуковой комплекс „Сканер_2000“. „Нефть. Газ. Новации“, № 10/2009. Рег. номер ПИ №ФС77–37535 от 15.09.2009 г.

18. Зверева, С. В. Задачник по общей метеорологии. Л., Изд. „Гидрометеиздат“, 1980.

19. Иванова, И. Методи за снимка на големи подземни празни пространства. Докторска дисертация. София, 1992.

20. Казаковский, Д. А., А. А. Гурич, Г. А. Кротов и др. Звуколокационная съемка горных выработок. М., „Недра“, 1973.

21. Казикаев Д. М., В. Я. Анцибор. Маркшейдерская съемка пустот на рудниках. М., „Недра“, 1977.

22. Костов, И. Минералогия. С., „Техника“, 1993.

23. Карасик В. Е., В. М. Орлов. Лазерные системы видения. Издательство МГТУ имени Баумана, 2001.

24. Маждраков, М. Маркшейдерство. Методика на маркшейдерските работи в откритите рудници. Унив. изд. „Св. Климент Охридски“, София, 2007.

25. Маждраков, М., Ил. Иванова. Геодезия. Изд. на ШУ „Епископ Константин Преславски“, Шумен, 2014.

26. Маринов, И. Снимка на недостъпни празни пространства с използване на лазерен лъч в рудник „Плакалница“, сп. „Рудодобив“, кн. 8, 1977.

27. 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.
28. Назаров, И. А. Исследование влияния угла падения лазерного луча и отражающих свойств поверхности на точность измерения расстояний безотражательным электронным тахеометром// Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 2 (16).
29. Оглоблин, Д. Н., Г. И. Герасименко, А. Г. Акимов и др. Маркшейдерское дело. М., „Недра“, 1981.
30. Петров, Д., П. Михайлов. Съвременни технически средства и технологии за събиране на геопространствени данни за местността. Университетско издателство „Епископ Константин реславски“, Шумен, 2014.
31. Роман, С. Да напишем Макроси в Excel. ИК „ЗеСТ Прес“, ЕООД, София, 2000.
32. Стоилова, С. Учебно пособие по аналитична геометрия, София, 2013.
33. Техническа Маркшайдерска Инструкция. С., Техника.1969.
34. Шеховцов, Г. А. Методы и технические средства изучения подземных пустот, Министерство образования Российской Федерации, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород - 2000.
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. Begnovska, M. Opportunities for the application of different mine surveying mapping technologies in determining volumes in underground mine workings. Journal of Mining and Geological Sciences, Volume 62, Number 2, 2019, Sofia, Bulgaria, 9-12 p. ISSN 2682-9525 (print), ISSN 2683-0027 (online).
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.
39. 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.

40. R. Höglund, P. Large. Direct Reflex EDM Technology for the Surveyor and Civil Engineer, Trimble Integrated Surveying Group, Westminster, Colorado, USA, 2003.
41. 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.
42. 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.
43. <http://apps.trimbleaccess.com/help/en/TrimbleAccess=2016.02>
44. <http://www.drillings.ru/gidroakustika>
45. <https://www.matematika.bg/>
46. uacg.bg/filebank/att_5655.pdf
47. <https://геомапix.wordpress.com/>
48. Албедо – Уикипедия (wikipedia.org)

Милена Дончева Бегновска

**БЕЗРЕФЛЕКТОРНИ ТЕХНОЛОГИИ
В МАРКШАЙДЕРСКАТА ПРАКТИКА**

Българска
Първо издание

Рецензент
доц. д-р Александър Цонков

Научен редактор
проф. д-р Станислав Топалов

Формат 60/90/16
Печатни коли 8

Издателска къща „Св. Иван Рилски“
на МГУ „Св. Иван Рилски“
София, 2024

ISBN (print): 978-954-353-453-1
ISBN (online): 978-954-353-486-9



МИННО-ГЕОЛОЖКИ
УНИВЕРСИТЕТ
„СВ. ИВАН РИЛСКИ“

Отпечатано в Издателска къща „Св. Иван Рилски“
на МГУ „Св. Иван Рилски“, София

mgu.bg