



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai/Mérnöki/
Természettudományi és Szoftvertechnológiai Intézet

DIPLOMAMUNKA

Bányafelmérés UAV felvételek alapján

OE-AMK
2021

Szabó Gergő
T000433/FI12904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Szabó Gergő
Szakdolgozat száma: SZD20120110306376
Törzskönyvi száma: T000433/FI12904/A-G

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: földmérő és földrendező mérnök
Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Bányafelmérés UAV felvételek alapján

A dolgozat címe angolul: Mine survey based on UAV images

A feladat részletezése:

1. Készítse el a kijelölt bányáról felvételeket UAV-on rögzített digitális kamerával.
2. Szakirodalom és Internetes források alapján ismertesse a 3D modellezés lehetséges megoldásait és alkalmazási területeit.
3. Végezze el a kijelölt felvételek kiértékelését a rendelkezésre álló modellező szoftverek segítségével.
4. Készítse el a bánya fotó-renderelt 3D modelljét és egyes részokról végezzen részletesebb kiértékelést. Adja meg az elkészült modell pontosságát és felhasználási lehetőségeit.
5. Az elvégzett munkát műszaki leírásban összegezze.

Intézményi konzulens neve: Habil. Dr. Jancsó Tamás

Külső konzulens neve: Fejes Ádám

Munkahelye: Kvalitron Kft

A kiadott téma elévülési határideje: 2023. december 15.

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2021. 10. 28.

P.H

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens

KVALITRON Kft.
1088 Budapest, Puskin u. 14-16.
Adószám: 14113181-2-42
Bank: 10918001-00000046-9507000



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Mérnöki/Geoinformatikai/
Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott szigorló hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem.

Egyéb jelentős segítséget nem vettem igénybe.

Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Romhány, 2021.12.10.

.....
hallgató aláírása

Tartalom

1. BEVEZETÉS	5
2. ÁLTALÁNOS FOTOGRAMMETRIAI TECHNOLOGIÁK.....	7
2.1 Műszaki terv készítése	8
2.2 Repülési terv készítése	8
2.3 Geodéziai előkészítés.....	9
3. UAV-VAL VÉGZETT FELMÉRÉS LEÍRÁSA	10
3. UAV-val végzett felmérés leírása.....	10
3.1 Különböző módszerekkel elérhető pontosság.....	10
3.2 A hatályos magyar légiközlekedési joganyag „UAV szemszögből”	12
3.3 A légi fényképezés engedélyeztetési folyamata	13
4. BÁNYAFELMÉRÉS ELMÉLETI ÁTTEKINTÉS	14
4.1 Földtömegszámítás	14
4.2 3D tervezés	15
4.3 A helyszín bemutatása	16
4.4 A hossz- és keresztmetszvény mérés	16
5. FELHASZNÁLT UAV ÉS FELDOLGOZÓSZOFTVER BEMUTATÁSA.....	18
5.1 UAV bemutatása.....	18
5.2 3Dsurvey általános ismertetése.....	19
5.3 AgiSoft MetaShape képfeldolgozó szoftver áttekintése	20
5.4 Ortofotó.....	22
6. REPÜLÉSI TERV KÉSZÍTÉSE, ÉS VÉGREHAJTÁSA.....	23
6.1 Tervezés	23
6.2 Repülés végrehajtása.....	25
7. FELVÉTELEK FELDOLGOZÁSA.....	28
7.1 3Dsurvey-el készült feldolgozás	28
7.2 Feldolgozás AgiSoft MetaShape programmal	32
7.3 AutoCad-ben végzett feldolgozás	38
8. MŰSZAKI LEÍRÁS	43
9. ÖSSZEFOGLALÁS	46
10. SUMMARY	47
11. IRODALOMJEGYZÉK	48
12. ÁBRAJEGYZÉK.....	49
13. TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE.....	50
14. MELLÉKLETEK.....	51

1. BEVEZETÉS

Hazánkban mára egyre inkább feltörő technológiának számítanak az UAV eszközök. Ezek a pilóta nélküli légitárművek számtalan feladat elvégzésére képesek, ezek lehetnek például fotogrammetriai, modellezési, topográfiai vagy akár távérzékelési célú munkálatok is. Az általam választott téma a Keszegen található kőbánya felmérése UAV-val, melyet geodéziai mérésekből kapott illesztőpontokkal transzformáltam a terepi koordinátarendszerbe. A szakdolgozatomban bemutatom a felhasznált technológiákat, szoftvereket, eszközöket, magát a mérést és tervezést, végül a feldolgozást. 2021. januárjában hazánkban sajnos megváltoztak a pilóta nélküli légitárművekre, ismertebb nevükön a drónok használatára vonatkozó szabályok, amelyeket még utólag kibővítenek. Ezzel kissé megnehezítették a magyarországi drónozást, ezért ismertetni fogom az aktuális UAV-val kapcsolatos eljárásokat és kis betekintést nyújtok a légtérhasználat szabályozásába.

A felméréseink során nagy segítséget jelent az UAV használata akár egy földtömegszámítás, akár egy ortofotó készítésében. Ezeket a felvételeket egyes szoftverek segítségével könnyedén kiértékelhetjük és feldolgozhatjuk. Az eszköz könnyedén kezelhető és programozható a hozzátartozó alkalmazások és szoftverek segítségével. Egy másfajta szemléletben alkalmazható monitoringra, műemlékvédelmi feladatokra, erdészeti és régészeti célokra is. A magasabb árkategóriájú gépek képesek önálló munka végzésére, melyet különböző paraméterek beállításával tudunk automatizálni. Ehhez példaként a DJI applikációját tudnám említeni, azaz a DJI GO 4-et, bár ez az applikáció inkább az átlag felhasználók számára és azok számára használatos, akik hobbi célra használják az eszközüket. Geodéziai célokra inkább a DroneDeploy használható, az alapfunkciói erre a célra lettek kifejlesztve. Ahol meg kell adnunk milyen gépet használunk és bele kell egyezni a felhasználói feltételekbe, hogy használni tudjuk az alkalmazást és magát az UAV eszközünket. Az applikáció elérhető iOS és Android rendszerekre egyaránt. A fejlesztők több alkalmazást is létrehoztak a különböző feladatok elvégzéséhez. Ilyen szoftver például a 3Dsurvey, mellyel többek között könnyedén tudunk háromdimenziós, azaz 3D modellt létrehozni, földtömeget számolni illesztőpontok segítségével, és metszeteket készíteni.

A pontosság nagy mértékben függ a kamera belső adatainak pontos ismeretétől. A termelékenység és a megbízhatóság azonban nem csak a kamera jellemzőitől, hanem a repülő eszköz képességeitől is függ, ilyen például, a repülési idő és a teherbírás is. Amennyiben a cél a lehető legnagyobb pontosság biztosítása a fotogrammetriában, akkor először a kamerát kell kiválasztanunk és pontosítani a paramétereit, majd megnézzük mely UAV eszköz képes a kiválasztott kamerával az indokolt időtartamig repülni. Az idő nagyon fontos tényező a mai gyorsuló világban, de számunkra sem lényegtelen az, hogy hány plusz akkumulátort kell vásárolnunk. Nagy felbontású, nagy látószögű kamerával magasabbról készíthetünk felvételt, nagyobb területtel tudunk dolgozni. A kis felbontású kamerával alacsonyabb magasságon szállva érhetjük el a megfelelő pontosságot. A megfelelő képminőség eléréséhez lassan célszerű repülni, hogy a képvándorlást és annak minőségromló hatását minimalizáljuk. Ugyanakkor, alacsony repülés mellett csökken a belátható terület. Az ideális fotózási magasságot a feladat jellege, a domborzat magassági változása, és a felhasznált kamera határozza meg. Többségében hozzávetőleg 50-200 méter között érdemes repülni, ezen belül jellemzően 80-120 méter magasságban végzünk repüléseket.

A munkám során egy DJI Phantom 4 Pro-t használtam, az illesztőpontokat pedig mérőállomással mértem be. A repülés előtt kamera kalibrációt kellett végezni és ezek tudatában a felmérés feldolgozásához azokat felhasználni. A kamera kalibrációját a DJI GO 4 alkalmazáson belül kellett elvégezni úgy, hogy az UAV eszközünket először vízszintesen 360°-ban körbe kellett vele fordulni, majd ugyanígy függőleges pozícióban tartva az eszközt megismételni ezt 360°-ban. A kiértékeléshez és a feldolgozáshoz az AgiSoft Metashape, a 3Dsurvey és az AutoCad Civil 3D szoftvereket alkalmaztam. A feldolgozás végeredményeként hossz- és keresztzelvényeket hoztam létre, térfogatot számítottam és 3D modellt készítettem a bányáról.

2. ÁLTALÁNOS FOTOGRAMMETRIAI TECHNOLOGIÁK

A fotogrammetria elsősorban a térképészeti és topográfiai felmérések, a pontsűrítési feladatok megoldását szolgálja. Tehát a fotogrammetria fő feladata a részlet kiértékelés, térképezés és a pontsűrítés. De emellett vannak még, speciális alkalmazási területei is.

A fotogrammetria feladatát általánosan úgy fogalmazhatjuk meg, hogy ez az információgyűjtés, feldolgozás, tárolás és adatszolgáltatás egyik speciális változata. Jellemző rá, hogy a tárgyak vagy jelenségek vizsgálatához szükséges információkat analóg (fénykép) vagy digitális képen rögzíti.

A fotogrammetria több más szakterület igényeit ki tudja elégíteni. A vizsgált tárgyak, a fotogrammetriai termékeket hasznosító tudomány, illetve szakterület alapján megkülönböztethetünk mérnöki, építészeti, ipari, erdészeti, régészeti stb. fotogrammetriát. A fotogrammetria nem térképészeti célú felhasználása szűkebb, speciális ismeretek meglétét is igényli. [1.]

Az UAV térképkészítési technológia az alábbi munkafázisokat tartalmazza: [2.]

- Projekt paraméterek [PP]
- Repülési terv [FP]
- Autonóm légi felmérés [APF]
- Adatok minőségellenőrzése [QCD]
- UAV tömbháromszögelés [UAV BT]
- DSM, Ortofotó, 3D Modell [DO3D]

2.1 Műszaki terv készítése

A térképezési feladat a műszaki terv elkészítésével kezdődik, ahol az alábbi szempontokat vesszük figyelembe: a felméréndő terület kiterjedését, a pontossági feltételeket, a méretarányt, a vetületi rendszert, a síkrajzi és domborzati tartalmat.

Először is adatgyűjtést kell végezni, ahol beszerezzük az adott területen található összes geodéziai alappontot, mindezt vízszintes és magasságiértékben is, a munkaterület adott térképeit, esetleges légifényképeket, más jellegű munkák esetén a térkép tartalmától függő minden egyéb adatot, mint például a közműveket.

A műszaki terv dokumentálja a megrendelésből és az adatgyűjtésből a következő szempontokat:

- a feladatot [a megrendelés rövid összegzésével],
- a kiinduló helyzetet [az adatgyűjtés végkimenetele],
- a megoldás módját [milyen technológiával],
- a kalkulált árakat,
- a leadandó munkarészeket,
- a határidőt. [1.]

2.2 Repülési terv készítése

A repülési terv elkészítéséhez sokirányú ismeret szükséges. Ismerni kell a térképezési vagy más mérési feladat követelményein kívül a kiértékelő szoftver képességeit, pontosságát, a kiértékelés módját, valamint ismerni kell a légifényképezés végrehajtásának körülményeit. A repülési terv adatainak kiszámításában elkövetett hiba megakadályozhatja az elkészült digitális felvételek kiértékelését és a feladat pontossági előírásainak teljesítését.

A tervezésnél tehát figyelemmel kell lenni a következőkre:

- a repülőgép teljesítményének adataira,
- a mérőkamerák paramétereire,
- a kiértékelő szoftver képességeire,
- az előállítandó termék fajtájára,
- a domborzati viszonyokra,
- az előállítandó térképek szelvénykiosztására,
- a pontossági követelményekre. [1.]

2.3 Geodéziai előkészítés

A geodéziai előkészítés az adatgyűjtés, a technológiai utasítás és a repülési terv alapján, a munkaterületen végzett helyszíni geodéziai, jelölési munkákból áll, amelynek során a meglévő alappontok felkeresését, a helyszínrajzi változások átvezetését, új tónusos helyszínrajtok elkészítését (ha szükséges), az új pontok (alap-, illesztő- és F-pontok) kitűzését és állandósítását, a régi és az új pontok jelölését végzik el. [1.]

A feladatom során GPS segítségével összesen 25 illesztőpont koordinátáit határoztam meg statikus módon RTK segítségével, ahol a jelek nagysága 50x50 cm volt a 60-80 méteres repülési magasság láthatósága miatt, itt azért beszélhetünk két különböző magasságról, mert az első felmérés során, ahol a bányaterület egy kisebb részét választottuk ott 60 méteres repülésimagasággal készült a felmérés a közel 5 hektáros területről. A bánya teljes területét pedig 80 méteres repülésimagasággal hajtottam végre. A terület sarkain körbe, a bánya belsőjében és a jól látható falakon helyeztem el az illesztőpontokat (1 ábra). Az illesztőpontokat centiméteren belüli pontossággal határoztam meg EOVS koordináta rendszerben milliméter éleséggel.



1. ábra Illesztőpontok elhelyezkedése a lehatárolt bányaterületen

3. UAV-VAL VÉGZETT FELMÉRÉS LEÍRÁSA

3. UAV-val végzett felmérés leírása

A nem távirányítású légi jármű-rendszerekhez képest az UAV-ok legfontosabb előnye, hogy anélkül használhatók kockázatos helyzetekben, hogy az emberi életet veszélyeztetnék, bevethetőek nehezen megközelíthető területeken, alacsony magasságban és olyan repülési profiloknál, ahol a légénységgel ellátott rendszerek nem alkalmazhatóak.

Az UAV-ok néha az egyetlen olyan gyakorlati alternatíva, ha nehezen hozzáférhető területről van szó, esetleg nem áll rendelkezésre személyzettel rendelkező repülőgép, vagy egyéb megoldás. Ha az objektum távolsága megfelelő ahhoz, hogy a felhők alatt repüljenek, akkor nincs akadálya az UAV-okkal történő adatfelvételnek sem felhős időben, sem pedig szitáló esőben. Ezek az időjárási körülmények nem teszik lehetővé, hogy az adatgyűjtés nagy formátumú légi fényképezőgépekkel történjen. [2.]

Rögzíthetünk a platformra kalibrált fényképezőgépet, mérőkamerát, lézerszkennert vagy egyéb mérőberendezést, de minden ilyen esetben figyelembe kell venni annak súlyát, és az aerodinamikai tulajdonságok változását. A repülési tervet minden ilyen esetben a felhasznált mérőberendezéshez kell igazítani, ugyanis a kívánt terepi felbontás, térképi részletesség és méretarány elsősorban a mérőberendezés felbontásától, optikai rendszerének feloldóképességétől, fókusztávolságától és a terep feletti repülési magasságtól függ. Szintén ez határozza meg a soron belüli és sorok közötti távolságot is. A gyűjtött adatok feldolgozása, mint amilyen például a háromdimenziós felületmodell pontossága és részletessége a fotogrammetriai feldolgozás esetén többek között függ a sorok közötti átfedéstől, valamint a soron belüli átfedés mértékétől. [3.]

3.1 Különböző módszerekkel elérhető pontosság

A fotómozaik pontosságát eleve meghatározza az automatikusan bemért kapcsolópontok feldolgozása esetén a kapcsolópontok pontossága. Ezeknek a kapcsolópontoknak a hibáját bizonyos mértékben kiegyenlíti az egy blokkban kezelt sugárnyaláb kiegyenlítéssel végzett fotogrammetriai feldolgozás, de ebben az

esetben az ortofotó hibája a kapcsolópontok átlagos hibájánál kizárólag nagyobb lehet. Ami elérhető, az 1-2 cm -es pontosság, mivel a GPS méréssel elérhető pontosság illesztőpontok esetén tipikusan ebben a pontossági tartományban mozog.

Ha olyan UAV-ot használunk, amely bázis-rover alapon működő direkt tájékozással van ellátva, akkor elegendő csak egy pontot a terepen bemérni, és ez a bázis talppontja. Ha ideális körülmények állnak rendelkezésünkre, akkor a direkt tájékozás akár 2 cm pontosságot is biztosíthat számunkra, amennyiben ezt a pontot pontosan határoztuk meg. Természetes körülmények között 2 cm terepi felbontás esetén általában 5 cm pontosság biztosítható, ami tulajdonképp 2,5 pixeles eltérés.

Az utófeldolgozós módszer esetén a felmért pontok [jelen esetben a direkt tájékozás során a képkészítési helyekhez kapcsolt koordináták] pontosítását a felmérést követő labormunkák során végezhetjük el. Ilyen esetekben felmérés közben az UAS vagy a kamera GPS készüléke nyers műhold adatokat gyűjt, amelyeket bázisadatokkal vagy rinex fájl segítségével egy irodai szoftverbe betöltve lehet utófeldolgozni. [3.]

Már a GPS-korszak kezdetén kidolgozásra került a rinex (Receiver Independent Exchange Format) formátum, amely azt a célt szolgálja, hogy lehetőség nyíljon egységesíteni az egyes gyártók saját mérési formátumait, és rendelkezésre álljon egy olyan független mérési állomány, amely független a műszertől és a gyártótól. A rinex egy olyan egyszerű szövegfájl, amely bármely rendelkezésre álló szövegszerkesztővel olvasható. Két részből áll, a fejlécből és a listából, amely a nyers mérési adatokat tartalmazza. A fejléc minden sora (ún. rekordja) 80 karakter hosszúságú, és amelynek utolsó 20 karaktere megjegyzésként írja le a rekord tartalmát. [4.]

Egyes, erre irányuló vizsgálatok kimutatták, hogy az utófeldolgozással egy 120 cm átlaghibával rendelkező terepi GPS mérési nap pontjait átlagosan 3 cm pontosságra lehet javítani. A gyakorlati tesztek azt mutatták, hogy ezzel a módszerrel direkt tájékozás esetében 80 km/h terephez viszonyított repülési sebességnél az alacsony költségű, 0,14 - 5 m hibával rendelkező GPS mérések esetében 4 - 16 cm pontosság érhető el. [3.]

3.2 A hatályos magyar légiközlekedési joganyag „UAV szemszögből”

Definíció szerint a pilóta nélküli légijármű (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) „olyan légijármű, mely légtérben való közlekedését fedélzetén tartózkodó gépszemélyzet nélkül, földi irányítás mellett vagy autonóm módon végzi.” „A magyar légtér Magyarország kizárólagos és elidegeníthetetlen tulajdona, a légiközlekedés számára fizikailag igénybe vehető magasságig terjedő része. A légiközlekedési célra kijelölt légtér légiforgalmi légtérre, időszakosan korlátozott, korlátozott, veszélyes és tiltott légterekre oszlik.” [5.]

Az állami és a polgári célú légiközlekedés alapvető szabályait Magyarország hatályos légügyi törvénye keretjelleggel, valamint „A légiközlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény” felhatalmazása alapján kibocsátott végrehajtási rendeletek (kormányrendeletek, tárcarendeletek), kiegészítő jelleggel határozzák meg.

A légijárművek részletszabályait az alábbi rendeletek határozzák meg:

- 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet a magyar légtér igénybevételéről;
- 26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM együttes rendelet a magyar légtér légiközlekedés céljára történő kijelöléséről;
- 14/2000. (XI. 14.) KöViM rendelet a Magyar Köztársaság légterében és repülőterein történő repülések végrehajtásának szabályairól;
- 3/2006. (II. 2.) HM rendelet az állami repülések céljára kijelölt légterekben végrehajtott repülések szabályairól;
- 7/2009. (VI. 11.) HM rendelet a Magyar Honvédség légvédelmi készenléti repüléseiről. [6.]

A törvény a pilóta nélküli légijárművek repüléséről a következőképpen rendelkezik: „(5) A légiközlekedési hatóság, az állami célú légiközlekedéssel összefüggő feladatok tekintetében a katonai légügyi hatóság engedélyével repülhet a magyar légtérben az a légi jármű, amely vezető nélküli repülésre alkalmas, továbbá a jogszabályban meghatározott repülőmodell, illetve repülőeszköz. Lakott terület felett a modellrepültetés a légiközlekedési hatóság engedélyén túlmenően csak a helyi önkormányzat által feladatkörében kiadott rendeletben kijelölt területen és feltételek mellett hajtható végre.” [7.]

3.3 A légi fényképezés engedélyeztetési folyamata

A légi fényképezés Magyarországon 1992-ig különleges engedélyhez kötött tevékenység volt. Ha a felmérés passzív távérzékelésnek minősült, akkor sem a légi felmérésekhez, sem a légi fényképezéshez nem kellett engedélyt kérni 1992-2013 között.

2013 januárja óta a légi felvételezés a Magyar Honvédség Térképészeti Hivatalának engedélyéhez kötött.

A földmérési és térképészeti tevékenységről szóló 2012. évi XLVI. törvény 30. § alapján "Légi járműből, levegőből végzett távérzékelés végrehajtásához, felvétel vagy adat közzétételéhez, illetve kereskedelmi célú felhasználásához engedély szükséges. A kormányrendeletben állapítja meg a levegőből végzett távérzékelés végrehajtásának, illetve a távérzékelte adat felhasználásának rendjét."

A Magyar Honvédség Térképészeti Hivatalához, mint a honvédelem térképészeti támogatásáért felelős szervhez kell benyújtani a légi távérzékelési engedély kiadása iránti kérelmet. A légi távérzékelés engedélyezésének és a távérzékelési adatok használatának rendjéről szóló 399/2012. (XII. 20.) Korm. rendelet alapján, amelynek a következőket kell tartalmaznia:

- a kérelmező személy (szerv) nevét, telefonszámát, elektronikus levélcímét,
- a távérzékelés, valamint a fel- és leszállás helyét, a tervezett repülési útvonalat térképen
- a végrehajtás tervezett időszakát
- a légijármű típusát,
- a légijármű üzemben tartójának nevét,
- a távérzékelés végrehajtójának nevét, címét,
- a légiközlekedésről szóló törvény alapján kiadott légi távérzékelési tevékenységi engedélyének számát,
- a távérzékelés felhasználási célját,
- a távérzékelés, a távérzékelő eszközök technikai paramétereit, valamint

a távérzékelés folyamata alatt a felvételező eszköz által vett vagy rögzített adatok, képek és jelek (a továbbiakban együtt: távérzékelte adatok) távközlési úton való továbbítására vonatkozó kérelem előzetes engedélyhez kötött megjelölését. [3.]

4. BÁNYAFELMÉRÉS ELMÉLETI ÁTTEKINTÉS

4.1 Földtömegszámítás

A földtömeg, másnéven térfogat számítási feladatok az iparban gyakran előfordulnak. Több módszere is ismert. Azt, hogy milyen módszert alkalmazunk a feladat jellege határozza meg. A számításokat napjainkban különböző programok segítségével végezzük, előtte hagyományos eszközök segítségével számították a földtömeget, ezekhez mm papírt, ceruzát, vonalzót és számológépet alkalmaztak. Manapság a gyakorlatban szoftveres terepmodellező az elterjedt eljárás, amely a hagyományos elveken alapuló számításokat végeznek. A számítások közelítéseken alapulnak, hiszen a geodéták akármilyen pontosan végzik el a terepfelmérését a mért pontokra illesztett felület csak egy közelítés, nem hibátlanul írja le a terepet. A legtöbb földtömegszámítási módszer azon alapszik, hogy a földfelszínen felvett két-két pont között az esés (emelkedés) egyenletes. A másik fontos szempont, hogy tömör földre értelmezzük, ugyanakkor a kitermelt és a bedolgozandó talajok lazák. A laza és a tömör talaj térfogatának az aránya sok tényezőtől függ, az értékét többnyire csak durva közelítéssel becsüljük. A tervezés során számított földtömegek valamekkora hibával mindig terheltek, a gyakorlat szerint ± 5 százalékos eltérés sem számít szembetűnőnek. A nagyobb földmunkák során persze ezek az eltérések többletköltségekhez, illetve megtakarításokhoz vezethetnek, ezért törekednünk kell a lehető legpontosabb számítás elvégzésére. Néhány számítási módszer:

- földtömegszámítás rácsháló alkalmazásával,
- földtömegszámítás keresztshelvények alapján,
- földtömegszámítás szintvonalakból,
- földtömegszámítás két állapot között.

A földtömegszámítás rácsháló alkalmazásával módszert például munkagödrök térfogatának kiszámításánál célszerű alkalmazni, amikor az eredeti terep változása egyenletes és a munkagödör feneké vízszintes, esetleg lépcsős kialakítású. A földmunka területén egy négyzet, esetleg háromszög vagy téglalap alapú rácshálót kell kialakítani, és a háló pontjaiban ki kell számolni a munkagödör mélységét (az

eredeti terep és a munkagödör fenekének magasságkülönbségét). Minél sűrűbben vesszük fel a rácpontokat, annál pontosabb eredményt kapunk, ugyanakkor a számítás mennyisége is jelentősen megnőhet. Célszerű valamilyen ésszerű középutat választani. Feltételezzük, hogy a rácpontok között a munkagödör mélysége lineárisan változik, így a háló egy cellájára vonatkozóan a térfogat az alapterület és az átlagos mélység szorzataként számítható. Hasonló számítás végezhető minden mezőre, négyzetháló esetén a következő általános képletet kapjuk:

$$\text{ahol: } V = \frac{A}{4} (\sum h_1 + 2\sum h_2 + 3\sum h_3 + 4\sum h_4) \quad (1)$$

A négyzetháló egy rácsmezőjének területe:

- h_1 a rácsháló azon mélységei, amelyeket csak egyszer használunk a számítások során, pl. h_1
- h_2 a rácsháló azon mélységei, amelyeket kétszer használunk a számítások során, pl. h_2
- h_3 a rácsháló azon mélységei, amelyeket háromszor használunk a számítások során, pl. h_3
- h_4 a rácsháló azon mélységei, amelyeket négyszer használunk a számítások során, pl. h_4

Nem négyzet alapú háló esetén az egyes mezőkre vonatkozó térfogatokat külön-külön kiszámítjuk. [8.]

4.2 3D tervezés

A fotogrammetria a földmérés/térképészet/geodézia eszköze, mely nagy területről egyidőben rögzített felvételek (drón platformról készült, légi-, űr- vagy földi felvételek egyaránt), vagy más ismert modell szerint leképződő adatkészletek (LIDAR, hőfelvételek stb.) speciális feldolgozásán keresztül biztosítja az adatnyerést, amivel elérhető a metrikus, meghatározott vonatkoztatási rendszerben értelmezhető információgyűjtés, modellezés, térképezés. A felméréndő terület kiterjedése, annak „nagysága” relatív, így érthető ez pl. z egy modellezendő emberi alak egyes részleteire, egy térbeli művészeti alkotás (dombormű, szobor) akár egy részletére, egy épületre, egy településre, az országra, vagy akár Föld egészére.

A lényeg a kép – térkép térbeli és tartalmi transzformációs lehetőségének megteremtése.

A fotogrammetria a valós világot képzi le 3D-ben. A célja az olyan digitális tér kialakítása, amelyben pontos mérést tudunk végezni. A kialakított virtuális környezet, mint a háromdimenziós modellek és adatok a megfelelő geometriai alapot biztosítják a különböző tervezések, elemzések, felmérések, térképezési feladatok és nyilvántartások során. A légi- és űrfelvételek feldolgozása biztosít alapot szinte minden téren, ez lehet az állam vagy a mezőgazdaság és minden állampolgár számára. [9.]

4.3 A helyszín bemutatása

Az általam választott felméréendő bánya Keszegen található Nógrád megyében, amelyet a Rétsági járásba sorolunk be. A község Budapesttől kb. 45 km-re található. Megközelítőleg egy 650 fős község, néhány nevezetességgel, mint például a Római katolikus templom, a Huszár-Purgly-kastély és a Szjúdi-birtok. A keszegi kőbánya hegységrögei főképp mészkőből állnak, amelyet a váci cementgyárnak termelnek nyersanyagként. Sajnos a környék szegény az ásványkincsekben. A legmagasabb hegység a Keszegi-hegy, amely 361 méter magas, míg a község tengerszint feletti magassága 260 méter körül található. Maga a bánya erdővel határos gyönyörű helyen fekszik. A bányát 2, helyenként 3 szintes bányaudvar övezi, ahol triász korú mészkövet fejtenek, de mindezek mellett ásványokban is igen gazdag vidék a Cserhát szívében. A kőfejtő a mai napig üzemel és folyamatosan változnak a terepi adottságai. A választásom fő szempontja volt, hogy a megközelíthetősége jó legyen, illetve a hely ne legyen átlagosnak mondható a természetben, mindemellett a belépést is sikerült leegyeztetnem. A domborzatmodellezés során egy változatos és nagy kiterjedésű terepet sikerült választani, amely a környezeti viszonyok fényében megfelelő kihívásnak ígérkezett. [10.]

4.4 A hossz- és keresztzelvény mérés

Hossz-szelvénynek nevezzük a tervezett, vagy meglévő vonalas létesítmények (út, vasút, patakmeder, csővezeték stb....) tengelyvonalára állított függőleges síknak és a terep felszínének metszetét. Keresztzelvénynek nevezzük a tengelyvonalra

merőleges, (a feladat jellegétől függő) szélességű vonalra állított függőleges síknak és a terep felszínének metszetét. A keresztaszelvények, és az azokon mérendő részletpontok sűrűsége szintén a vonalas létesítmény és a feladat jellegétől, valamint a terepalakulatoktól függ. A gyakorlatban jellemzően egy kiválasztott kezdőponttól mérve, 10, 20, 50 vagy 100 méteres közökben, illetve a nyomvonal jellemző vízszintes és magassági töréspontjaiban, főpontjaiban veszünk föl keresztaszelvényeket.

A hossz- és keresztaszelvények szintezése általában nem önállóan végezhető feladat, többnyire a vonalas létesítmények (meglévő vagy tervezett) nyomvonalának meghatározása, vízszintes értelmű kitűzése, a keresztaszelvények tipikus helyének a nyomvonalon elhelyezett kijelölése előzi meg. Napjainkban a mérnöki gyakorlat során a szelvények szintezését leváltották a mérőállomások, melyek tahimetrián alapulnak és képesek egy időben a magassági értékeket is meghatározni valamint a műholdas vagy fotogrammetriai helymeghatározáson alapuló eszközök. Hogyha ezeket az eszközöket valamilyen oknál fogva nem tudjuk használni vagy nem érjük el a kívánt pontosságot hagyományos eljárást kell végeznünk a hossz- és keresztaszelvények elkészítéséhez. [11.]

5. FELHASZNÁLT UAV ÉS FELDOLGOZÓSZOFTVER BEMUTATÁSA

5.1 UAV bemutatása

A feladatom során egy DJI Phantom 4 Pro típusú pilóta nélküli eszközzel végeztem (2. ábra) az általam választott feladatot. A DJI cég egy eléggé népszerű márka ezen a területen, többek között a filmiparhoz is vannak elérhető eszközeik. 2006-ban kezdett népszerű, versenyképes vállalattá válni, több országban is fellelhetőek az irodáik. A DJI termékei napjainkban széleskörűen reformálják meg a különböző lehetőségek kiaknázását egyes iparágak részére. Itt lehet szó távérzékelési feladatok elvégzéséről, filmek és promóciós reklámok készítéséről, katonai célú felhasználásról, mezőgazdaságról és még rengeteg szakágról, amelyet a DJI termékeivel hatékonyan, gyorsan és biztonságosan el lehet végezni.



2. ábra DJI Phantom 4 Pro modell és a hozzá tartozó kontrollér [12.]

A gép teljes súlya felszerelve, ez alatt értve a propellereket és a benne lévő akkumulátort, 1388 gramm, amely elősegíti a pozíció megtartását. A kontrollér segítségével 3 mód közül választhatunk S (Sport), A (Helyzettartás) és P (Pozicionálás). Az egyes repülési módok részletesebben:

P-mód: Erős GPS-jel esetén működik a legjobban. A GPS és a sztereo akadályérzékelő rendszer, valamint az infravörös akadályérzékelő rendszer segítségével automatikusan stabilizálja magát, navigál az akadályok között vagy követi a mozgó tárgyat. A fejlett funkciók, mint például a TapFly és az ActiveTrack, ennél a módnál nem érhetőek el.

S-mód: Az eszköz kezelési tartományai megváltoznak, hogy ebben a módban javuljon a kormányozhatósága. A maximális repülési sebesség 72 km/h azaz 20 m/s értékre emelkedik ebben a módban. Az akadályérzékelő rendszer nem érhető el ebben az üzemmódban.

A-mód: Amikor sem a GPS, sem az akadályérzékelő rendszer nem érhető el, a műszer kizárólag légnyomásmérőjét alkalmazza a helymeghatározáshoz magassága szabályzására és meghatározására.

GPS / GLONASS támogatással rendelkezik és egyszerre több műhold jelet is képes fogadni, így növelve a pontosságot. A műszer természetesen kamerával ellátott, amely egy 20 megapixeles CMOS szenzoros 4K-s képfeldolgozó rendszert tartalmaz. A maximális repülési távolság 7 kilométer és 30 perces repülési időt biztosít egy teljesen feltöltött akkumulátor. A kamera stabilizációját egy 3 tengelyű gömbcsuklós gimbal lát el, melynek segítségével mindig a számunkra ideálisan beállított szögben tudjuk tartani a kamerát. Ennek következtében 0 és 90 fok között tudjuk állítani a kamera szögünket. Az objektív látószöge (FOV) 84 °-os, kamerája 8.8 mm-es fókusztávolsággal rendelkezik és a rekeszérték $f / 2.8$ és $f / 11$ között állítható. Az ISO tartománya 100-6400 (videó esetén) és 100-12800 (fotó esetén), zársebesség 8- 1/8000 mp között változik. A DJI alapvetően a saját alkalmazását javasolja eszközeink működtetésére. A DJI GO alkalmazás, melyet mobilapplikáció keretein belül tudunk ingyenesen letölteni, támogatja az Androidos és az iOS eszközöket egyaránt. Az alkalmazáson belül először Bluetooth segítségével csatlakoztatjuk és frissítjük az UAV eszközünk. Miután ezt elvégeztük a kamerát kell kalibrálnunk és utána engedélyezett a repülés. Az alkalmazáson belül rengeteg intelligens funkciót találunk. [12.]

5.2 3Dsurvey általános ismertetése

A 3Dsurvey egy olyan program, melynek segítségével az UAV eszköz felvételeiből egy kiegyenlített pontfelhőt képes létrehozni, amiből geodézia mérésre alkalmas ortofotót lehet készíteni, ezenkívül képes térfogatot számítani, szintvonalas rajzot készíteni, illetve metszeteket. A program segítségével könnyedén és hatékonyan végezhetünk például homlokzat térképezést, épületek kataszteri mérését,

fotogrammetriai igazságügyi dokumentációt, kataszteri határok feltérképezését vagy - mint az én esetemben választott - bányafelmérést. Több mint 20 éve végeznek ezzel a programmal munkákat, amely során tömérdeksikeres projektet végeztek el. [13.]

5.3 AgiSoft MetaShape képfeldolgozó szoftver áttekintése

Az AgiSoft MetaShape az egy olyan szoftver, amely fejlett képalapú 3D modellezési megoldás, melynek célja a legjobb minőségű 3D tartalom készítése állóképekből. Több nézetből álló 3D rekonstrukciós technológián alapul. Tetszőleges képekkel működik, és ellenőrzött és nem ellenőrzött körülmények között egyaránt hatékony, tehát nem muszáj feltétlen geodéziai korrekciókat alkalmaznunk, hanem egy átlag felhasználó is képes modell előállításra. A képek tetszőleges pozícióból készíthetők, feltéve, hogy tetszőleges képekkel dolgozik, és ellenőrzött és nem ellenőrzött körülmények között egyaránt hatékony. A képek tetszőleges pozícióból készíthetők, feltéve, hogy a rekonstruálandó objektum részlete legalább két képen látható. Mind a képek tájékozása, mind a 3D modell rekonstrukciója teljesen automatizált. Egyedüli feltétel, hogy a rekonstruálandó objektum adott pontja legalább két képen látható legyen. A feldolgozott képek segítségével pontfelhőt tudunk létrehozni, majd a pontfelhőt elkészítve, számtalan lehetőségünk van a további feldolgozás során. Nem csak képekből készíthetünk modelleket, hanem már kész pontfelhőkkel is folytathatjuk a feldolgozást, mint pl. lézerszkennerekkel végzett felmérések pontfelhőiből. Lehetőségünk van a különböző felületek osztályzására is, ez a lehetőség sűrű pontfelhők esetén pontosabb eredményekhez vezet. Az AgiSoft-ban számos koordináta rendszer van integrálva és ami a legfontosabb számunkra, hogy EOVS koordináta rendszerrel is rendelkezik. Több mérést tudunk végezni metrikus elemzésekhez, mint pl. távolság, terület és térfogat. Ezekről a mérési eredményekről jegyzőkönyvet is készíthetünk, melyet PDF formátumban exportálhatunk. Az elkészített modelleket számos formátumban exportálhatjuk akár a más szoftverekben való feldolgozáshoz, ez lehet akár DXF, kmz, obj, ply esetleg PDF. Az exportálás során nem csak a teljes modellt, hanem adott munkarészekre szóló külön exportálási lehetőség adott a felhasználók számára. [14.]

Az Agisoft Metashape egy 3D modellező szoftver, amely segítségével elkészítettem a bánya 3D modelljét. Bemeneti adatok felhasználásával elkészítő eredményeket

tudunk létrehozni, melynek van egy automatizált része is, de a kézi beavatkozással történő feldolgozás lesz az igazán pontos eredményhez vezető út, amellyel centiméteres pontosságot érhetünk el. A feldolgozáshoz a Professional kivitelt használtam, ami a következő funkciókat tartalmazza:

Fotogrammetriai háromszögelés

Több képfeldolgozás:

- Légi fotogrammetria – függőleges és ferde képek
- Földi fotogrammetria – a talajról vett tárgyak képei
- Automatikus kalibrálás: támogatja a különböző típusú fényképezőgépeket (keret, gömb, hengeres, halszem)
- Több típusú kamera használatának támogatása egy projektben
- Felhőpontok: létrehozás, szerkesztés és osztályozás
- Kifinomult szerkesztési lehetőségek a pontosabb eredmények érdekében
- A pontok osztályozása
- A mod felhők exportálása .LAS formátumba
- Digitális magassági modell: DSM / DTM generálás és export
- Georeferencia EXIF-adatok, szöveges fájlok vagy a vezérlőpontok használata alapján
- Georeferenciált ortofotomozaikok generálása és exportja
- Az így kapott ortofotómozaikok georeferáltak és elérhetők a legszélesebb körben használt formátumokban (pl. Jpg, tif, geotif, .kml)
- A távolság, terület és a térfogat mérése
- A térfogatokat vagy területeket közvetlenül a Metashape-ban mérheti
- Támogatás az ellenőrző (vezérlőpontok) pontok használatához
- Az ellenőrző pontok importálásának képessége
- Kód (automatikus észleléssel) vagy nem kód célok használata
- Python szkriptek
- Lehetőség Python parancsfájlok használatára köteget feldolgozási projektekben
- Multispektrális képfeldolgozás
- Az RGB / NIR / multispektrális képek támogatása
- Többcsatornás képek generálása az NDVI index kiszámításához
- 3D modellek generálása és textúrálása

- Számos alkalmazásban használható – régészet, épületek, belső terek, emberek, tárgyak
- A Sketchfabba való közvetlen feltöltés lehetősége
- Exportálás több formátumba további feldolgozás céljából
- 4D modellezés a dinamikus jelenetekhez
- Csatlakoztasson panorámaképeket
- Készítsen 360 ° panorámaképeket a képekből egy szempontból
- A hálózati feldolgozás lehetősége [20.]

5.4 Ortofotó

A fotogrammetria egyik kiváló produktuma az ortofotó-térképek. Ezek olyan képek, melyeket térképi tartalommal láttak el, mint például koordinátahálózat és jelkulcsi elemek. Fontosjellemzőjük, hogy a képtartalma szerint méréseket is végezhetünk, ezáltal a kép geometriai értelemben a terepfelszín torzításmentes mása. Az ortofotó differenciális képátalakítással készül, ezáltal mentes a magasságkülönbség és a perspektíva okozta torzításoktól. A digitális fotogrammetriában az ortofotó előállítás, abszolút számítógépes szoftverrel zajlik. Kiindulási adatként szükség van a digitális formátumú képre és azon belül a képek külső és belső tájékozási egységeire, továbbá a terep digitális domborzatmodelljére. A terep digitális domborzatmodellje számítási alapot ad, pontjaihoz rendeljük az adott fényképről vett és számolt pixelintenzitást. [15.] Az ortofotó előállítása után sok esetben nem ér véget a feldolgozási folyamat. Ha több kép fed le egy adott területet, akkor szükség lehet az ortofotó mozaik előállítására is. Az így elkészült ortofotót vagy ortofotó-mozaikot végül át kell alakítani ortofotó-térképpé, vagyis az ortofotót el kell látnunk a térképekre jellemző járulékos adatokkal, úgymint koordinátaháló, méretarányskála, vetületi rendszer megnevezése stb. [16.]

A digitális ortofotó előállításához egy szabályos négyzetháló szerinti elrendezésben adjuk meg a DDM pontjait (GRID modell). Ugyanakkor a terepet többféle módon is reprezentálhatjuk digitális formában, melyeket csak átalakítás, vagyis szabályos négyzethálóra való átranszformálás, interpolálás és pontsűrítés után tudunk csak felhasználni. [17.]

6. REPÜLÉSI TERV KÉSZÍTÉSE, ÉS VÉGREHAJTÁSA

Amikor légi fotogrammetriát alkalmazunk, akkor repülési tervet is kell készíteni, mint például, amikor UAV eszközöket alkalmazunk a méréseink során vagy más, egyéb légijárműveket, mint például sárkányrepülőt, hőlégballont, helikoptert vagy repülőgépet. Kezdetben, amikor ezeket a légijárműveket használták fotogrammetriai célra, akkor a rajtuk található műszerek segítségével analóg módon filmre vagy üvegre történt a képalkotás. Napjainkban a digitalitás elterjedésével szinte csak digitális eszközöket alkalmaznak és a felvételeket is digitális adathordozókon tárolják, ezáltal az analóg módszerek háttérbe szorultak.

Az UAV eszközökhöz is készítünk repülési tervet, ami releváns, hiszen a felhasználó szabja meg a repülési feltételeket és adja meg az adott területet és az ahhoz szükséges paramétereket az eszköz számára. A terület megadásán kívül fontos az is, hogy milyen sebességgel végezzük a repülést, mert minden elhelyezett illesztőpontnak látszódnia kell, és figyelni kell a soron belüli és a sorok közti átfedésre is, továbbá arra, hogy a feldolgozásunkhoz megfelelő átfedés legyen. Tehát a repülési terv elkészítése egy komplex folyamat, ahol sok paramétert kell figyelembe vennünk.

6.1 Tervezés

A repülési tervet az ügyfél, vagy a légifényképeket felhasználó szervezet készíti el. A légifényképező repüléssel kapcsolatosan a nyilvántartási és raktározási szolgáltatásokat korábban a Földmérési és Távérzékelési Intézet végezte, a titoktartást, illetve a meghatalmazást a Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálatának hatáskörébe tartozik. A repülési projekt készítése széleskörű szakmai ismereteket igénylő feladat. A térképezési feladatban a mérő műszerek pontossága elengedhetetlen követelmény, a mérés módjának, valamint a légi fotográfia megvalósításának körülményeinek jártassága. A repülési terv hibaelhárításának pontosságát befolyásolhatja olyan hiba, amely a fényképezéssel optimalis képek kiértékelését, illetve így a feladat pontosságát megakadályozza.

A repülési tervnek az elkészítése során elengedhetetlen, hogy kiemelt figyelmet fordítsunk a következő pontokra:

- a kiértékelő műszer beállítási tartományai,
- a mérőkamerák paraméterei,

- a repülőgép teljesítményének adatai,
- az előállítandó termék fajtája,
- az előállítandó térképek szelvénykiosztása,
- domborzati viszonyokra,
- pontossági követelmények.

A technikai tervben kerülnek összesítésre a kamera adatai, egyéb feltételek, valamint a légifényképező repüléshez kiszámított adatok, miközben ezeket az adatokat módunkban áll ellenőrizni és légifényképező repülés ellenőrzésére is alkalmazni.

A repülési vázlat olyan digitális munkarész, ami a készítendő térkép méretarányától függően 1 : 10 000, 1 : 25 000 vagy 1:100 000 méretarányú topográfiai térkép felhasználásával valósul meg.

A repülési vázlat a következő pontokat foglalja magába:

- a munkaterület (fényképezendő terület) határvonala,
- a térképszelvény sarokpontjai,
- jól azonosítható síkrajzi vonalak,
- háromszögelési pontok,
- a repülési sorok tengelyvonalai kezdő- és végponttal,
- a tengelyek sorszáma, abszolút repülési magassága és hossza,
- megírások (megrendelő, méretarány, fényképezendő település neve, sorok száma, hossza, abszolút repülési magassága).

Napjainkban kifejezetten erre a célra készült szoftverek felhasználásával készíthetjük el a repülési tervet, azonban ennek nélkülözhetetlen szempontja, hogy a tervezés alapjául szolgáló térkép digitális változata a rendelkezésünkre álljon.

[18.]

Az általam használt GNSS vevő egy FORGEO PooLee-ra hallgató remek műszer (3. ábra), amely képes GLONASS, Galileo, GPS, BeiDou műholdak észlelésére és azok használatára, mindezek mellett a helymeghatározás során a regionális SBAS rendszerek műholdjait is van lehetőségünk bevonni. A műszer két fontosabb részből tevődik össze, amely maga a vevő és a kezelőegységből tevődik össze. A FORGEO cég saját fejlesztésű programjával működtethető ez a páros. Roverként és bázisként is egyaránt használható. A súlya mindössze 555 gramm, víz és porállósága IP65-ös szabványnak megfelelő, az ütésállósága pedig 1,5 méterig érvényes. A szakdolgozatom során az első fázisnál alkalmaztam ezt a műszert a terepen

illesztőpontok meghatározására. Nagy segítség volt számomra, hogy szinte extrém körülmények között sem volt vélhető jelvesztés, sem a pontosság romlása, mindez az Unicore UGypsophila RTK feldolgozási technológiájának köszönhető, ahol a vevő azokat a műholdakat is felhasználja RTK mérés során, amelyekről nem kap adatokat a bázistól. Így javítja nagymértékben a megbízhatóságot, pontosságot és a használhatóságot is egyaránt. A PooLee-t ellátták egy III. generációs dőléskompensátor technológiával, amely 60°-on belül asszisztál számunkra. A már meghatározott pontokat megtudtam tekinteni is, ezáltal könnyítve az illesztőpontok elhelyezését. [19.]



3. ábra PooLee GNSS vevő [19.]

6.2 Repülés végrehajtása

A repülést 2021. augusztusában sikerült végrehajtani. A délelőtti órákban került sor a felvételezésre. A mérés első lépésében GNSS vevő felhasználásával illesztőpontokat létesítettem és mértem be a bányában található teraszokat figyelembe véve, melyben a Kvalintron Kft volt segítségemre. Az illesztőpontokat egy 50x50 cm-es keresztet formázó jel segítségével jelöltem meg a bányatulajdonos által kijelölt helyen. A pontokat jól látható helyeken helyeztem el és azok középpontját meghatároztam Real Time Kinematic (RTK) segítségével. Egy pont meghatározásához 50 mérést alkalmaztam a megfelelő pontosság érdekében. A felmérés során sokat segített, hogy az általam használt GNSS vevő szinte sosem vesztett jelet és ezáltal a pontosság mindig megfelelő volt még szélsőséges körülmények között is. Az illesztőpontok elhelyezése során próbáltam

megközelítőleg szabályosan elhelyezni őket. A következő képen az illesztőpontok elhelyezkedését szemléltetem, amit a jobb átláthatóság érdekében a már összeállt kezdetleges modellen szemléltetek (1. ábra).



4. ábra Illesztőpont jelölése

Az illesztő pontok meghatározása vízszintesen és magassági értelemben centiméteren belüli hibákkal lett rögzítve milliméter éleséggel, EOv koordináta rendszerben a későbbi feldolgozást így megkönnyítve (5. ábra).

Pontszám	X	Y	Z
1	665608.066	277385.143	247.841
2	665547.741	277433.524	247.748
3	665481.997	277408.378	247.801
4	665489.514	277345.149	247.895
5	665505.159	277295.360	248.708
6	665497.350	277249.004	250.188
7	665457.060	277388.446	259.308
8	665484.757	277308.220	259.794
9	665472.061	277244.036	259.269
10	665439.581	277377.246	271.532
11	665454.156	277332.010	271.781
12	665466.991	277279.579	270.509
13	665611.096	277339.084	248.831
14	665618.362	277300.760	251.160
15	665622.384	277245.070	255.870
16	665625.343	277188.505	261.626
17	665569.765	277271.695	242.929
18	665549.118	277309.813	240.861
19	665593.551	277315.718	241.652
20	665607.186	277093.658	243.522

1. táblázat Illesztőpontok listája a lehatárolt bányaterületről

A terület nagy kiterjedésű volt így az illesztőpontok elhelyezése időbe telt, de az első lépés befejezésével következhetett a repülés. A műszer összeállítását és csatlakoztatását követően, a kamera kalibrációját elvégezve a DroneDeploy nevű alkalmazás segítségével. A DroneDeploy-nak elérhető egy webes felülete is, de én a telefonos alkalmazásukat alkalmaztam a tervezés során, amely elérhető android és iOS készülékeken egyaránt. Az alkalmazáson belül le kellett határolni a bányának azon területeit, ahol a mérést végeztem egy poligon segítségével előre gondolva, hogy a későbbiekben szükség lesz a bánya peremén kissé túl menni. A kijelölt terület nagyjából 5 hektár volt és ez a teljes bányaterület töredéke csupán, ahol a felvételek 60 méteres repülési magasságról készültek. A gép maximális repülési sebessége az 6 m/s volt. 80%-os képátfedéssel készültek a felvételek, ezekkel a paraméterekkel egy akkumulátor felhasználásával, amely 30 percet is képes repülni sikerül elvégezni a repülést 15 perc alatt. A repülés során 271 kép készül, ahol a terepi felbontás 1,4 cm/px, ami azt jelenti, hogy egy pixel az a valóságban 1,4 centiméternyi adatot képvisel. A teljes bányaterületet is elvégeztem ugyanezekkel a paraméterekkel kivéve a repülési magasságot, ebben az esetben 80 métert alkalmaztam. A teljes terület 34 hektár volt, amelyet megközelítőleg 25 alatt hajtott végre és 728 felvételt készített. Szemléltetésképpen készítettem pár fotót is a bányáról (5. ábra).



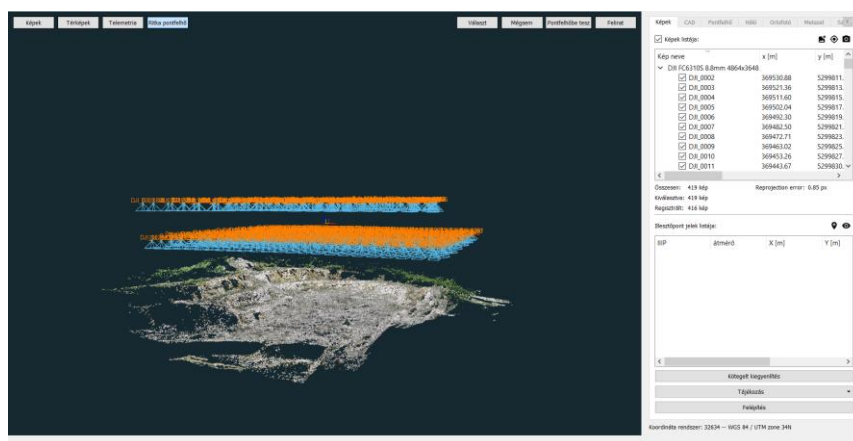
5. ábra Keszegi mészkőbánya részlet

7. FELVÉTELEK FELDOLGOZÁSA

7.1 3Dsurvey-el készült feldolgozás

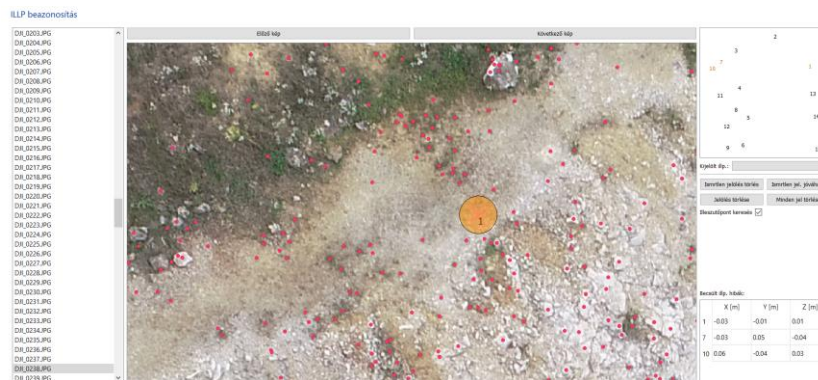
A 3Dsurvey Magyarországon a kevésbé ismert szoftverek körébe tartozik, mindezek ellenére én úgy gondolom, hogy az UAV eszközökkel végzett digitális modellezéshez kiemelkedően jól használható. A lehetőségek széleskörűek, bár bizonyos szempontból korlátozottak, viszont teljes mértékben felhasználó barát szoftver, számos beállítási lehetőséggel. Ezért is választottam a 3Dsurveyen belüli feldolgozást is egy megoldásként.

Első lépésként az elkészített fotókat kellett betölteni. Ennél a lépésnél nagyon tetszett, hogy a program felkínálja azt a lehetőséget is, hogy milyen eszközzel készítettük a képeket, és importálhatjuk a hozzá tartozó telemetriát. Lehetőségünk van vetületi rendszert is választani, ahol ugyan szerepel az EOVS rendszer, viszont, sajnos, csak olyan formában, hogy EOVS-ből transzformálva tudunk WGS 84-gyel dolgozni. Az általam használt UAV egy DJI Phantom 4 Pro volt, ahol a szoftver az EXIF-adatok alapján végezte a sugárnyaláb kiegyenlítését a következő lépésben (6. ábra). A kiegyenlítés kicsit hosszasan tartott bizonyult az esetben, ami két órát vett igénybe, de miután végzett a program, az illesztőpontokat kellett importálni és azok koordináta rendszerét megadni (1. táblázat).



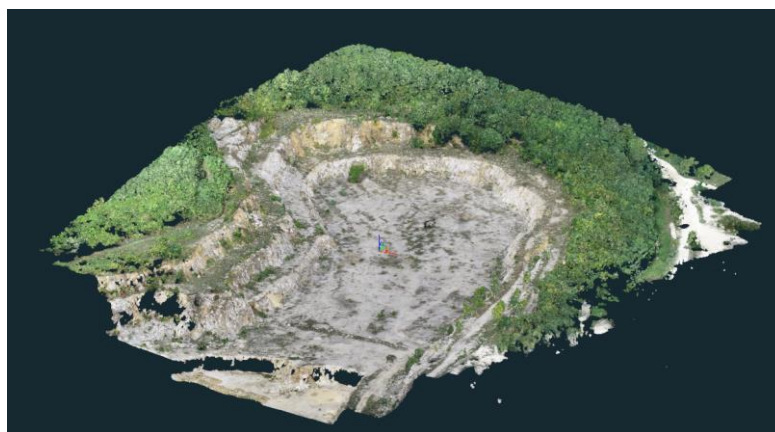
6. ábra Fényképek importálása 3Dsurveyben

Az illesztőpontokat először kézzel kell megirányoznunk, majd a program automatikusan elvégzi a megirányozást, azonban egy kis problémába ütköztem, mivel az általam használt illesztőpontjeleket nem sikerült automatikusan felismernie a 3Dsurveynek, így kézzel kellett minden pontot megirányoznom (7. ábra).



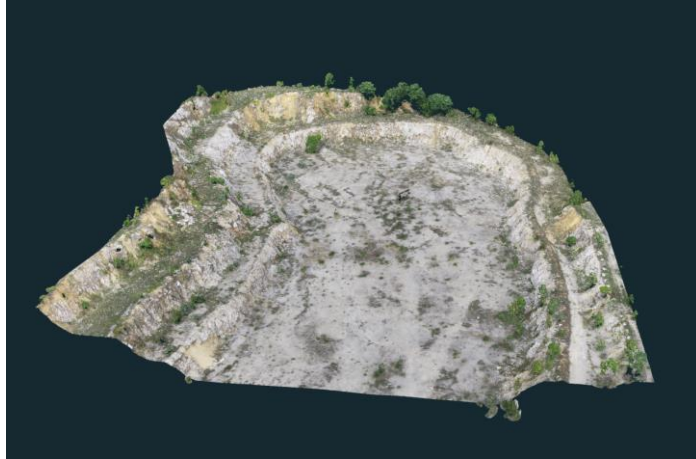
7. ábra Illesztőpontok megírányzása kézzel

Valószínűleg csak a szabvány pontjelek vannak integrálva a szoftverben a beazonosításhoz. Miután centiméter alatti hibákat sikerült előállítani, tovább léphettem és a program elkezdte a tájékozást, mindez egy / másfél órás futási időt eredményezett. Végeredményként ritka pontfelhőt kapunk, amennyiben megfelelőnek tartjuk a pontfelhőt pontossági szempontból és annak alakhelyessége is megfelelő, akkor tovább léphetünk a modell generálásra. Ennek a folyamatnak a végeredménye a sűrített pontfelhő, ahol a sűrűségét beállíthatjuk. Én a pontfelhőm sűrűségét magasra állítottam, így pár óra elteltével, nagyjából 5-6 óra alatt elkészült a sűrűpontfelhő. Látványosan és igen részletesen sikerült a 3Dsurveynek leképeznie a bányarészletet. Összesen több, mint 104 millió pontot hozott létre a program (8. ábra).



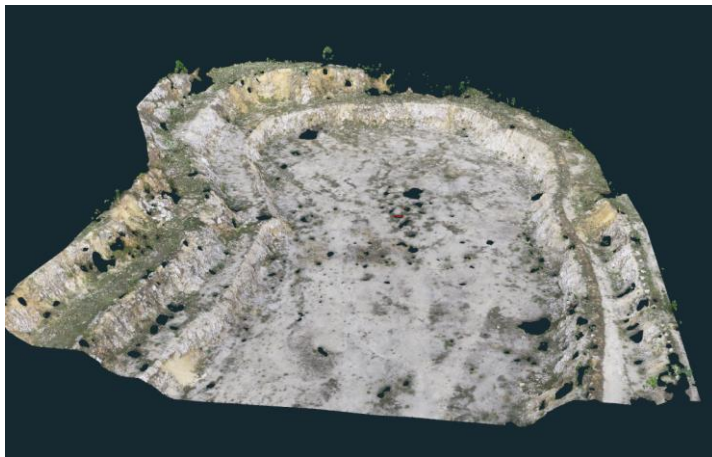
8. ábra Bányarészlet sűrűpontfelhője

Következő lépésként osztályoztam a létrejött pontfelhőt és lehatároltam a további feldolgozásokhoz igazodó poligonnal (9. ábra),



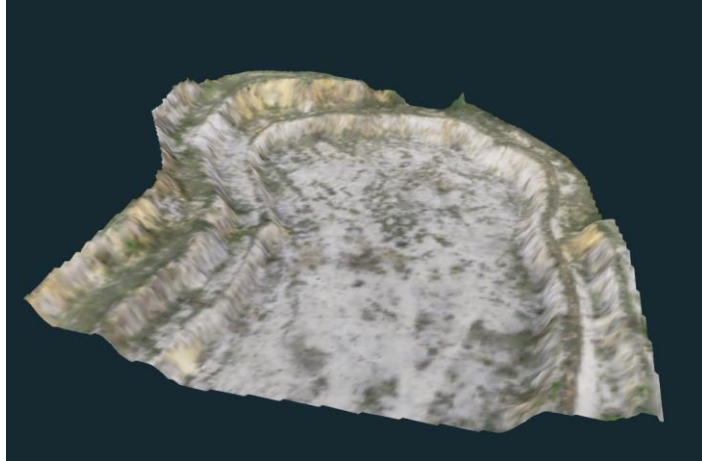
9. ábra Lehatárolt bányaterület

ahol a különböző tereptárgyakat (a növényzetet, táblákat stb.) eltüntettem a pontosabb eredmények érdekében (10. ábra).



10. ábra Tereptárgyak osztályozása

Ezt követően digitális felületmodellt készítettem. A paraméterek megadásánál a cellaméretet, a felület simítását és a lyukak kitöltési módját megadtam. Így a szoftver automatikusan kitöltötte a „lyukakat”, mind az osztályozás során létrejött, mind a takarásban lévő objektumok által leképzetteket (11. ábra).



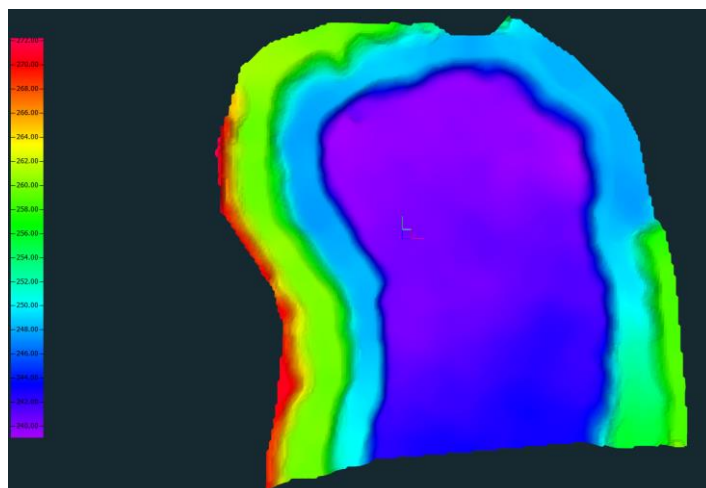
11. ábra Digitális felületmodell a tereptárgyak nélkül

A digitális felületmodell elkészültével szintvonalakat generáltam, utólagosan a magasságokat a szintvonalakon meg lehet jeleníteni (12. ábra),



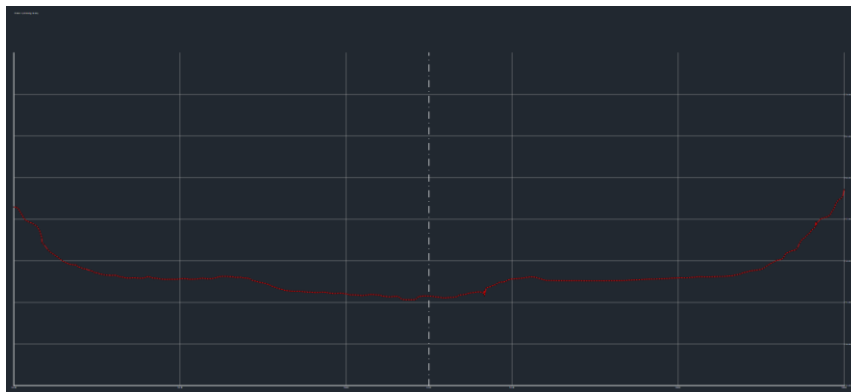
12. ábra Szintvonalak generálása és magasságok megírása

és készítettem hozzá egy digitális domborzatmodellt (DEM), amit a jobb szemléltetés miatt árnyékoltam is (13. ábra).



13. ábra Digitális domborzat modell

Végezetül, megnéztem, hogy a hossz- keresztmetszvényeket hogyan készíti el a program. A beállításaiiban minden számunkra fontos adatot megadhatunk, mint pl. a keresztmetszvények közti távolságot. Még DXF-ből is lehetőségünk nyílik a metszet számításra. Miután a paramétereket beállítottuk, kézzel kell megadnunk a felméréndő terület pontjait (14. ábra).

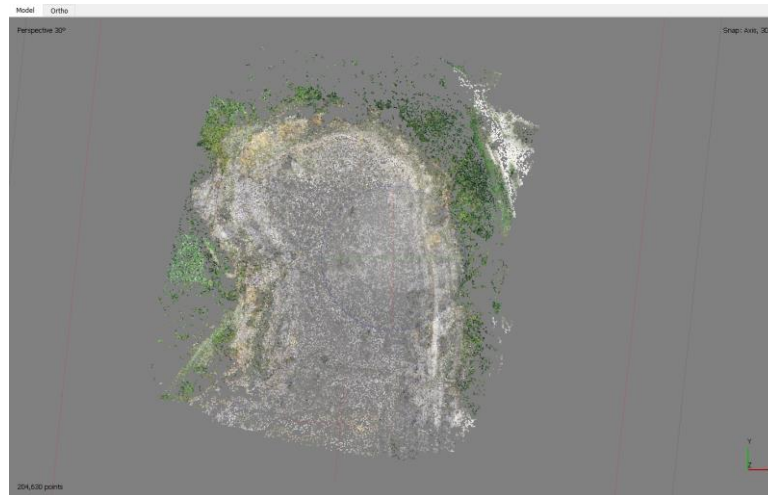


14. ábra Hossz- keresztmetszvény

Sajnos a 3Dsurvey próbaverzióját használtam, melynek lehetőségei korlátozottak, illetve mentési lehetőséget sem kínál fel a felhasználó számára, de ettől függetlenül, ez egy remek program. Szerettem volna térfogatszámítást is végezni, de sajnos a program a depók földtömeg számítását preferálja, de arra a célra az egyik lehető leggyorsabb és egyszerűbb megoldást tudja biztosítani a felhasználók számára.

7.2 Feldolgozás AgiSoft MetaShape programmal

Az AgiSoft Metashape egy közkedvelt szoftver, amely felhasználó barát és számos beállítási lehetőséggel rendelkezik. Első lépésben a képeket kellett behívni, mivel a bánya területe igen nagy megközelítőleg 5 hektár, így a bányának egy kisebb részét dolgoztam fel teljesen, amely 419 fényképből állt. A képek behívását, tájékozását követően a kapcsoló pontokat kell létrehozni, majd azok koordináta rendszerét EOVR-ra állítani, hogy így a valóságnak megfelelő vetületbe kerülhessen a felmérés (15. ábra).



15. ábra Egyszerű pontfelhő

A következő lépésben az illesztő pontokat kell importálni txt-ből, amelyet már előzetesen a feldolgozásra felkészítettem (16. ábra).

Import CSV

Coordinate System: HD72 / EOVI (EPSG::23700)

Rotation angles: Yaw, Pitch, Roll

Ignore labels: ☐ Threshold (m): 0.1

Delimiter: ☒ Tab ☐ Semicolon ☐ Comma ☐ Space ☐ Other:

Combine consecutive delimiters: ☐

Columns:

Label	Easting	Northing	Altitude	Yaw	Pitch	Roll
1	665608.066	277385.143	247.841			
2	665547.741	277433.524	247.748			
3	665481.997	277408.378	247.801			
4	665489.514	277345.149	247.895			
5	665505.159	277295.36	248.708			
6	665497.35	277249.004	250.188			

Start import at row: 1 Items: All

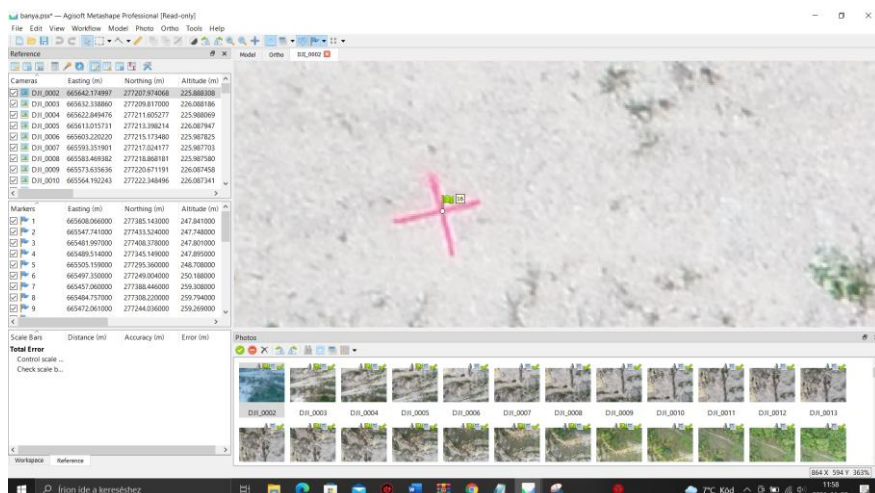
First 20 lines preview:

	Label	Easting	Northing	Altitude	Yaw	Pitch
1	1	665608.066	277385.143	247.841		
2	2	665547.741	277433.524	247.748		
3	3	665481.997	277408.378	247.801		
4	4	665489.514	277345.149	247.895		
5	5	665505.159	277295.36	248.708		
6	6	665497.35	277249.004	250.188		

OK Cancel

16. ábra Illesztőpontok behívása

Előfordulhat, hogy nem látszódnak a fotók, akkor azokat a View/Photos menüpontban tudjuk megjeleníteni. Itt a képeken megkellett keresni az illesztőpontokat, majd azokat markerekkel megjelölni a lehető legpontosabban. Én 3 fotón elvégeztem a markerek elhelyezését, majd ezt frissítve, van egy olyan lehetőségünk a szoftverben, hogy átzonosítással megjelölje a szoftver az összes fotón, amin szerepel az adott illesztőpont. Ezután az adott illesztőpont összes fotóján végig kell ellenőrizni/igazítani az adott illesztőpontot. Az Agisoft remekül végzi a munkáját, hiszen csak igazítani kellett egy minimálisat a markereken (17. ábra).



17. ábra Illesztőpontok elhelyezése

Az összes képen végig menve és közben alkalmanként frissítve a transzformációt, folyamatosan tudjuk nyomon követni a hibát. A 18. ábrán láthatóak a fényképekhez vetítési centrumok hibái. A magassági hibánál látható nagy eltérés abból adódik, hogy az UAV EXIF adata a relatív repülési magasságot, azaz a terep feletti magasságot tartalmazta, a program ezzel szemben az abszolút magasságot számolta ki.

Reference			
Cameras	East err (m)	North err (m)	Alt. err (m)
☒ DJI_0417	-1.870121	-0.277244	76.246193
☒ DJI_0418	-1.875635	-0.302720	76.029969
☒ DJI_0419	-1.965002	-0.346688	75.799939
☒ DJI_0420	-1.755843	-0.459013	75.895336
☒ DJI_0421	-1.942451	-0.493143	76.060928
☒ DJI_0422	-1.900263	-0.564719	75.996962
☒ DJI_0423	-1.878011	-0.581833	75.994111
☒ DJI_0424	-1.981658	-0.550910	76.238148
Total Error	1.553190	0.913188	76.477267

18. ábra A fotók hibái, az illesztő pontok felhasználása nélkül

A 2. táblázaton az illesztőpontokkal (Control points) bekalibrált képek által kapott hibák/középhibák láthatók, a 3. táblázaton pedig az ellenőrző pontok (Check points) hibáit láthatjuk külön táblázatban.

Psz.	X hiba (cm)	Y hiba (cm)	Z hiba (cm)	Z (cm)	Kép (pix)
1	0.735564	-0.0493955	-0.282647	0.789546	0.555 (41)
2	0.151316	0.338615	0.36832	0.5227	0.520 (31)
3	-0.877862	0.273382	0.927279	1.30584	0.552(41)
4	-0.178403	0.793809	0.159164	0.829032	0.657 (47)
5	-0.280624	-0.335573	0.494355	0.660111	0.541(44)
6	0.28097	-0.0416058	1.34513	1.37479	0.479(33)
7	-0.294686	-0.00169052	1.66753	1.69337	1.052 (27)
8	0.0601371	-0.244206	-0.412518	0.48314	0.774 (32)
10	0.103055	-0.294314	-2.07307	2.0964	1.598 (14)
11	-0.0193581	-0.143734	-0.396012	0.421734	0.555 (20)
12	0.774957	0.427196	-0.896736	1.25984	0.671 (19)
14	0.397306	0.281916	-0.721552	0.870613	0.959 (37)
15	-0.777487	0.0685373	0.521828	0.938876	0.731 (33)
16	-0.273667	0.997801	0.358725	1.09507	0.675 (11)
17	-0.617713	-0.890293	-1.0277	1.49344	0.313 (53)
18	0.234456	-0.67441	-0.506834	0.875602	0.678 (55)
19	0.597937	-0.497034	-0.326363	0.843258	0.735 (29)
Σ	0.476348	0.476507	0.897877	1.12256	0.698

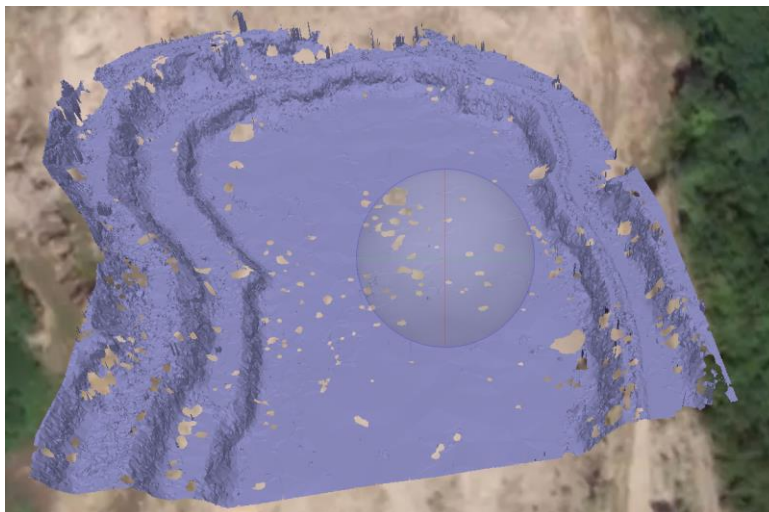
2. táblázat Hibák az illesztőpontok elhelyezése után

Psz.	X hiba (cm)	Y hiba (cm)	Z hiba (cm)	Z (cm)	Kép (pix)
9	-0,191134	-0,127407	3,82136	3,82826	1.068 (22)
13	0,472437	0,651705	0,255241	0,844431	0.576 (41)
20	-0,0534063	0,0106511	-0,149287	0,15891	0.000 (53)
Σ	0,29585	0,383434	2,21286	2,26523	0,578

3. táblázat Az ellenőrző pontok hibái

Ezt követően, a pontfelhő korrigálása után, a sűrű pontfelhőt készítettem el, amelynél minimum közepes minőséggel kell dolgozni, de a cél érdekében magas minőséget állítottam be. Ez a folyamat közel egy órás feldolgozást vett igénybe és több, mint 104 millió pontot készített a program.

Mivel a bánya területén volt növényzet és olyan tereptárgyak, amelyek nem a felület részét képezik, ezért osztályzásra volt szükség, amely során ezeket a különböző zavaró tényezőket el kellett távolítani a felvételtől, mert ezek a pontosabb számítások miatt nem képezhetik a felület részét. Két osztályt alkalmaztam a Ground-ot, illetve a Low Vegetation-t. Low Vegetation-ba kerültek a fák, bokrok és a nem oda illő tereptárgyak, az én esetemben egy nagy, vas szerkezetű tábla volt az. Miután áthelyeztem az összes tereptárgyat, másik osztályba, le kellett ellenőrizni, hogy átkerültek-e a megfelelő osztályba. Az osztályzás jól sikerült, ennek eredményeképpen „lyukak” keletkeztek az alapfelületünkön, ezeket az üres helyeket interpolálni kellett (19. ábra).



19. ábra Osztályzás a tereptárgyak eltávolításával

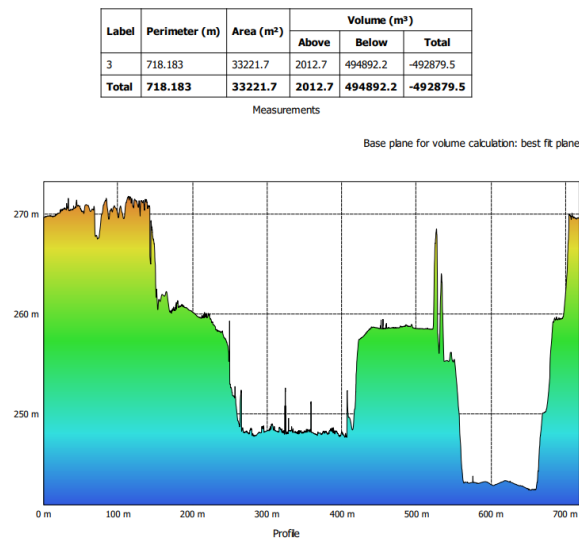
Így már egy használható 3D modellt kapunk, a paraméterek megadásánál ki kell választani az osztályt, amiből szeretnénk elkészíteni a modellt, itt kell beállítani az interpolációt is, illetve ami fontos, hogy milyen részletességgel készüljön el a modellünk. Ezt úgy kellett átgondolni, hogy később Civil 3D-ben tudjak vele dolgozni, így 500.000-re korlátoztam az értéket. Mielőtt exportáltam dxf-ként a 3D modellt, készítettem egy poligont a térfogatszámításhoz, hogy egységesen el tudjam majd készíteni a további számításokat (20. ábra).



20. ábra A bánya részlet kontúrja

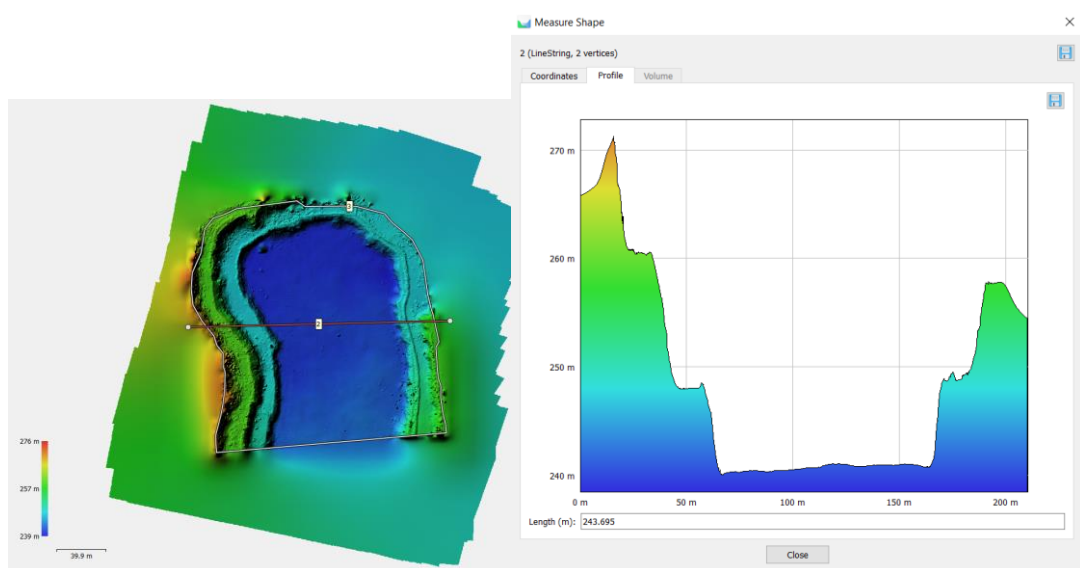
Az így elkészült modell dxf állománya már behívható a Civil 3D-be és 3D lapokként definiálható vele egy felület. Mielőtt elkezdtem volna az AutoCAD-es feldolgozást megnéztem, hogy az AgiSoft miként végzi el a térfogatszámítást és a szelvények előállítását. Ehhez a korábban elkészített poligonra volt szükség, arra jobb klikkel kattintva a lehetőségek között, a mérést választva, a szoftver el is

készíti a térfogatszámítást és a szelvényeket is. Mindezekről lehet készíteni pdf-et is (21. ábra).



21. ábra A kontúrral lehatárolt terület földtömegszámításának eredménye és annak szelvénye

Amennyiben egyedi szelvényt szeretnénk létrehozni, ahhoz még egy vonalra van szükségünk, és ugyanezzel az eljárással elkészíthetjük az adott vonalunk szelvényeit. Sajnos a szoftver egyszerre csak egy vonalat képes feldolgozni, viszont van lehetőségünk a mérésen belül áttérni másik vonalra is (22. ábra).



22. ábra Szelvénykészítés

Végül, elkészítettem a teljes bányaterület digitális modelljét és szemléltetésképpen beállítottam a műholdas képet, amellyel összevetve látszik, hogyan sikerült a modell

előállítás (23. ábra). Az 1. számú mellékletben, pedig egy jelentést készítettem az AgiSoft-on belüli feldolgozásról.

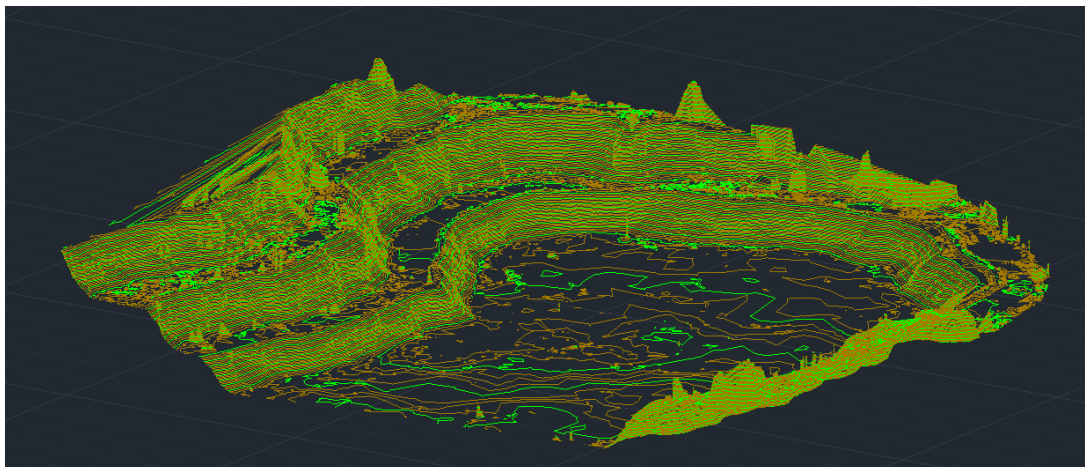


23. ábra Keszegi mészkőbánya digitális modell

7.3 AutoCad-ben végzett feldolgozás

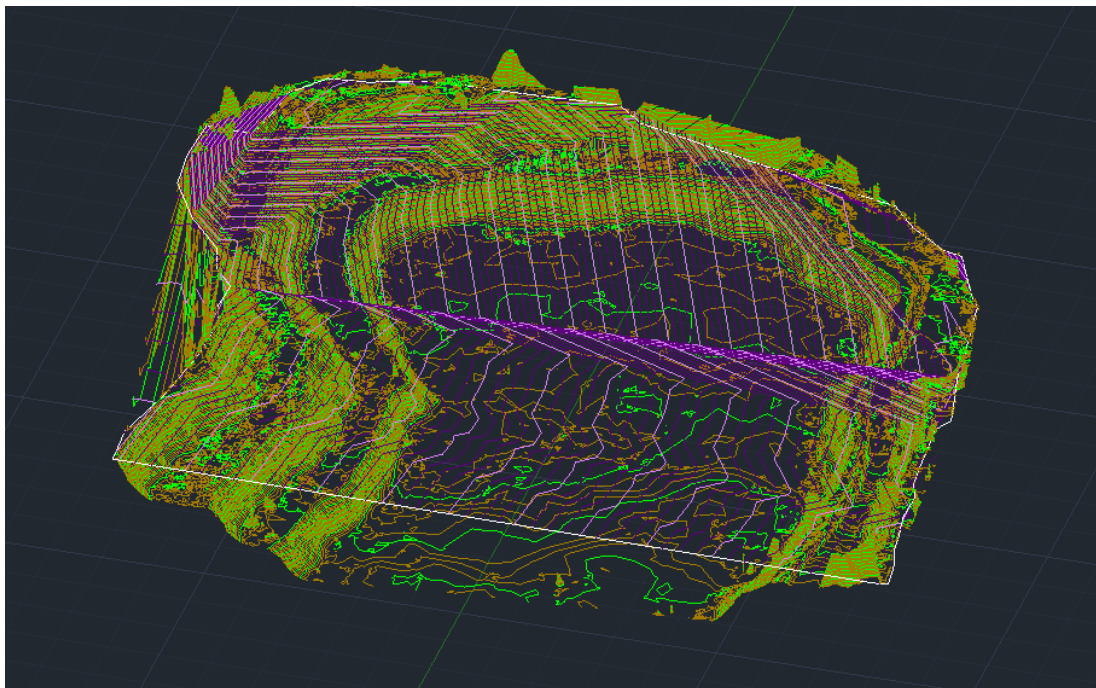
Az AutoCad egy igen elterjedt CAD-alapú alkalmazás, számos műszaki szakember, mérnök és építész használja munkái során. Az Autodesk cég által kiadott produktum, melyet az évek során egyre több felhasználó vesz igénybe világszerte, ezáltal rengeteg funkcióval bővült az első kiadás óta, ami 1982-óta létezik. A Civil 3D pedig megkönnyíti a 3D-s tervezéseket a szoftverbe integrált lehetőségeivel.

Az AgiSoft-al végzett feldolgozásom után a Civil 3D-ben készítettem el a térfogatszámításhoz szükséges lépéseket, hogy legyen egy viszonyítási alapom a két szoftver közötti feldolgozásról, annak pontosságáról és végeredményeiről. Először be kellett hívni a kész 3D modellt dxf formátumban. Ezek 3D lapok a teljes terepre, és ebből kellett 3D felületet készíteni. Az új felület hozzáadása során el kellett nevezni magát a felületet, amit én S-alapnak neveztem el, és ehhez hoztam létre egy új fóliát, ugyanúgy S-alap névvel (24. ábra).



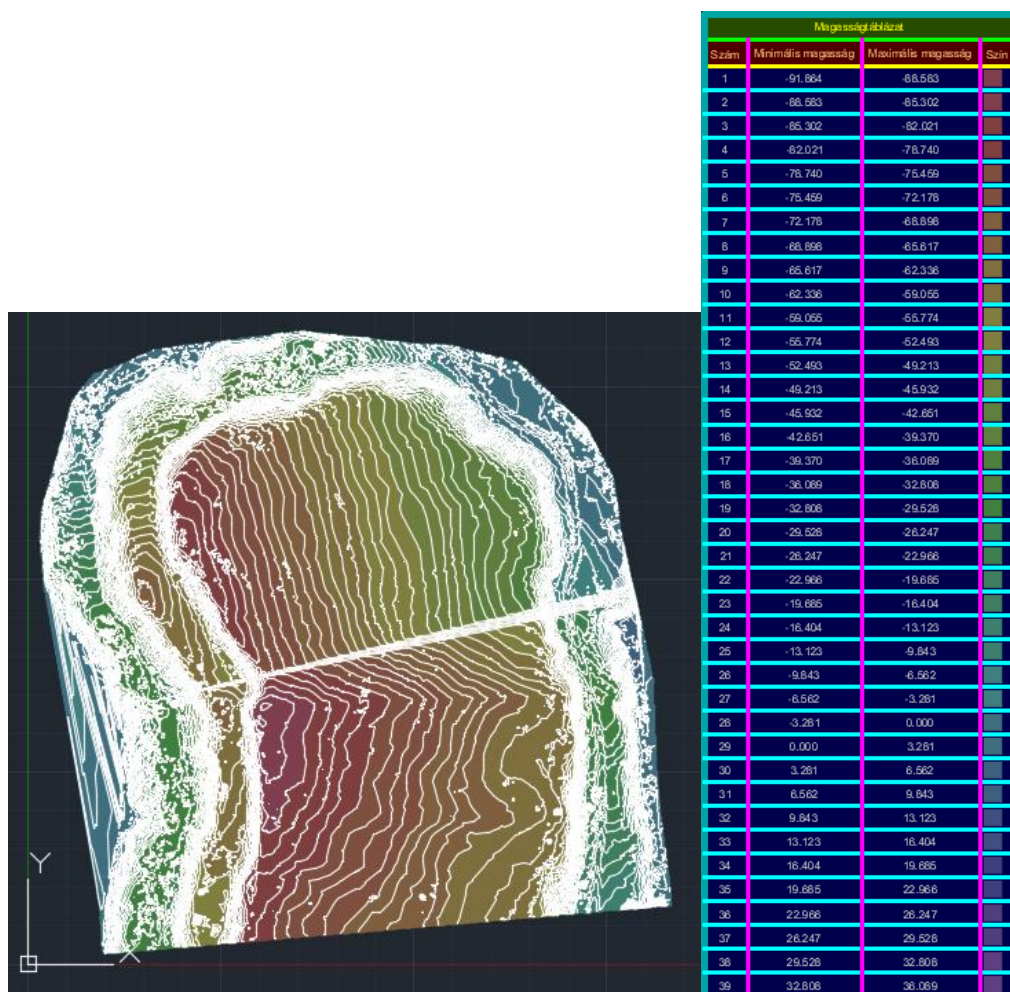
24. ábra A bánya szintvonalas rajza

Miután létrejön a felület, abban nincsen semmilyen információ, ezért ehhez hozzá kell adni rajzi objektumokat 3D lapokként. Kijelölve a behívott állományunkat, a program létrehozza a felületet, amit sárga kontúrral jelez, hogy létrejött. Az elkészült felület szintvonalakkal jött létre. Gyakorlatilag ugyanaz a modell, amit az AgiSoft-ban elkészítettem. Ezután kellett a terület kontúrja, amit szintúgy az AgiSoft-ban már elkészítettem, hogy ugyanazokkal a paraméterekkel tudjak dolgozni és az összehasonlítás is pontosabb legyen, illetve megegyező alapokon lehessen. Maga a kontúr az eredeti terep, amit lehatároltam egy 3D poligonnal, feltételezhetően az tekinthető az eredeti terepszintnek, illetve a régi terepszint a bánya felsőrészén lévő érintetlen terep. A kontúr egyből a helyén volt, így nem volt vele semmi tennivaló, csak létre kellett hoznom egy új felületet, amit S-terepnek neveztem el, és létrehoztam hozzá egy új fóliát. Ezt a felületet definiálni kellett és utána törésvonalakat kellett hozzá adni (25. ábra).



25. ábra Az eredeti feltételezhető terepszint

Így végül létrejött a második felületünk, amit 3D-ben mozgatva látunk is, a jobb láthatóság miatt átszíneztem a törésvonalakat. Mivel nem volt eredeti felmérés a bányászat előttről, így csak feltételezni lehet, hogy ahol érintetlen a terep ott egy síkkal modellezhető a bánya felülete. Már csak egy különbség felületet kellett létrehoznom, amit térfogatfelületként állítottam be. „V-terfogat”-ként neveztem el és itt is készítettem hozzá ugyanezzel a névvel egy új fóliát. Beállítottam az alapfelületet, mint S-alap (az érintetlen terület), illetve a viszonyítási felületet, mint S-terep (a felmért terület), beállítottam még a stílusát színezettre. Ehhez csináltam még egy jelmagyarázatot és megjelenítettem a térfogat-számítás eredményét is, amin a töltés és a bevágás egyaránt számolt érték, illetve a nettó földtömeget is láthatjuk. Ennél a feladatnál azt számoltam ki, hogy minden egyes pontban, az adott magasságok az eredeti terephez képest mekkorák, ezek általában az eredeti terep alá estek, de vannak pontok, ahol az eredeti terep fölé esik egy adott pont magassága (26. ábra). Az elkészült jelmagyarázatot külön táblázatként is megjeleníttem, hogy jobban látszódjanak az értékek rajta (5. táblázat).



26. ábra Földtömegszámítás eredménye Civil 3D-ben és a hozzá tartozó jelmagyarázat

Végül összehasonlítottam egy egyszerű Excel táblázatban az AgiSoft által elvégzett térfogatszámítást a Civil 3D-ben feldolgozott eredménnyel (4. táblázat). Fontos volt, hogy ugyan az a terület szerepeljen mindkét feldolgozásban, így az AgiSoft-ban készített kontúr poligonját használtam fel mindkét szoftverben készült számításnál. A poligon 3D shape-ként lett exportálva DXF formátumban így a behívást követően egyből a helyére került a kontúr (20. ábra). A táblázat is mutatja, az azonos területet. A térfogat különbség kerekítve 11 köbméter, amely a feladat elkészítésének ellenőrzéseként is szolgált.

Keszegi mészkő bánya	Térfogatszámítás összehasonlítása		
	AgiSoft	Civil 3D	Eltérés ±
Terület (m2)	33221.7	33221.7	0
Térfogat (m3)	492879.5	492868.9	10.6

4. táblázat Térfogatszámítás összehasonlítása

Magasságtáblázat			
Szám	Minimális magasság	Maximális magasság	Szín
1	-91.664	-66.563	
2	-86.563	-65.302	
3	-85.302	-62.021	
4	-82.021	-78.740	
5	-78.740	-75.459	
6	-75.459	-72.178	
7	-72.178	-68.896	
8	-68.896	-65.617	
9	-65.617	-62.336	
10	-62.336	-59.055	
11	-59.055	-55.774	
12	-55.774	-52.493	
13	-52.493	-49.213	
14	-49.213	-45.932	
15	-45.932	-42.651	
16	-42.651	-39.370	
17	-39.370	-36.089	
18	-36.089	-32.808	
19	-32.808	-29.526	
20	-29.526	-26.247	
21	-26.247	-22.966	
22	-22.966	-19.685	
23	-19.685	-16.404	
24	-16.404	-13.123	
25	-13.123	-9.843	
26	-9.843	-6.562	
27	-6.562	-3.281	
28	-3.281	0.000	
29	0.000	3.281	
30	3.281	6.562	
31	6.562	9.843	
32	9.843	13.123	
33	13.123	16.404	
34	16.404	19.685	
35	19.685	22.966	
36	22.966	26.247	
37	26.247	29.526	
38	29.526	32.808	
39	32.808	36.089	

5. táblázat Civil 3D térfogatszámításának látható táblázata

8. MŰSZAKI LEÍRÁS

Az általam választott feladat célja az volt, hogy az egyénileg választott felméréendő mészkőbányát feltérképezsem a külső konzulensem által biztosított DJI Phantom 4 Pro UAV eszköz segítségével. Az ott található teszterületen készült légifényképeket kiértékeljem eltérő szoftverek segítségével, az általam választott 3Dsurvey, Civil 3D és az Agisoft Metashape szoftverekkel. A szakdolgozatom célja, hogy a felhasznált szoftverek segítségével hossz- és keresztmetszvényeket hozzak létre, egy 3D-s terepmodellt, földtömeget számítsak a kitermelt talajmennyiségéről és azt összehasonlítsam a geodéziai felmérésből számolt módszerrel, hogy megtudjam mutatni mennyire pontos lehet egy UAV felmérés is erre a munkára, amely a földmérők munkáját felgyorsítaná és könnyebbé tenné.

Az általam vizsgált terület Keszegen található Nógrád megyében, Budapesttől 45 km-re és Váctól 12 km-re. Keszeg ásványkincsekben ugyan nem gazdag község, bár a Cserhátban elszórtan fellelhetőek, mindezek ellenére a mészkőbányájáról híres. A keszegi bánya a váci cementgyár számára szolgáltat nyersanyagot. Először a pontjeleket kellett megcsinálnom, amelyek 50x50 cm-es nagyságúra kellett készíteni a jó láthatóság miatt. A bányaterületen 25 illesztőpontot helyeztem el ügyelve a geometriára, majd a pontjeleket GNSS technológiát alkalmazva a külső konzulensem segítségével.

A vizsgálati mezőn a sarkokat és a belső pontokat RTK (Real Time Kinematic) módszerrel határoztuk meg és kész EOVS koordinátákat kaptunk, amit utána kiegyenlítettem, így kiegyenlített koordinátákat használtunk a mérés során. Repülési tervet kellett készíteni, azután végrehajtottam a repülést és a felvételek elkészítését. A repülési tervet a DroneDeploy nevű szoftverben készítettem el, ahol a megfelelő paramétereket megkellett adnom és le kellett határolni a mérési területet. A repülést kétszer végeztem el különböző értékekkel, ugyanis először elkészítettem a bányának az elemzendő részét, majd a bánya teljes területét is lerepültem a jobb szemléltetés miatt. A paraméterezésnél a lehatárolt munkaterület nagysága 5 hektár, mindezt 15 perc alatt sikerült a Phantom segítségével felmérni és 271 képet készítettem, 60 méteres repülési magassággal, ahol 1,4 cm / pixel volt a terepi felbontás. A képek közti átfedés beállításánál, a soron belüli átfedésre 80%-ot, a sorok közötti átfedésre pedig 75%-ot adtam meg. A kamera objektíve minden esetben előre nézett, továbbá 160°-os irányszög adta meg a sorok irányát. Szerencsére 1 akkumulátor

felhasználása elég volt az első lehatárolás lerepülésének az elvégzésére. (Végeredményt lásd a 9. ábrán).

A légi felmérést két lépésben valósítottam meg. Először a repülést megterveztem az alkalmazásban átgondolva a lehetőségeket, majd a terepre kimentem. A terepen az UAV eszközt és a hozzá tartozó kontrollert bekapcsoltam és azokat összepárosítottam, miután egymásra találtak az eszközök a DroneDeploy-ban megtervezett repülést csak végre kellett hajtani. Fontos, hogy a pilóta nélküli repülőnk „P” üzemmódban legyen. A repülés során a drón egy automatizált folyamatot végez, így a felszállástól a repülési terv végrehajtásán át, egészen a leszállásig, mindent önállóan végez.

A feldolgozást először 3Dsurvey-ben kezdtem el, mert kíváncsi voltam rá, hogyan működik ebben a szoftverben a feldolgozás, ahol a feldolgozás a következő képpen zajlott:

- Fényképek behívása
- Koordináta rendszer beállítása
- Képek tájékozása
- Illesztőpontok csatolása és elhelyezése
- Hibák javítása
- Sűrűpontfelhő létrehozása
- Osztályozás
- Digitális felület modell generálása
- Szintvonalak, metszetek és digitális domborzat modell készítése

Majd a felvételek kiértékelését az Agisoft Metashape nevű szoftverrel készítettem el, melynek a Professional kiadását használtam fel. A feldolgozás menete:

- Fényképek behívása
- Koordináta rendszer beállítása
- Képek tájékozása
- Illesztőpontok csatolása és elhelyezése
- Hibák javítása
- Sűrűpontfelhő létrehozása
- Osztályozás
- Tisztázott sűrűpontfelhő elkészítése és exportálás dxf formátumba

Az Agisoft-ból kapott sűrűpontfelhőt Civil 3D-ben feldolgoztam:

- Sűrűpontfelhő importálása
- S-alap létrehozása
- S-terep létrehozása
- Térfogatszámítás

Majd összehasonlítottam az AgiSoft-ban készített földtömegszámítást a Civil 3D-ben végzett számítással és azt egy egyszerű táblázatba foglaltam.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakdolgozati feladatom célja, hogy az általam választott bányaterületet UAV eszköz segítségével (DJI Phantom 4 Pro) való feltérképezését, modellezését, hossz- és keresztshelvényezését, földtömeg számítását oldjam meg. A légifényképek feldolgozását más-más segédszoftverek alkalmazásával végeztem el, mint például a 3Dsurvey, illetve a Agisoft Metashape és az AutoCad Civil 3D segítségével. A feladatom során modern eszközöket használhattam, így belátást nyerhettem a napjainkban lezajló különböző geodéziai munkálatok végrehajtására. A választott bánya Keszegen található, Nógrád megyén belül. A terep igencsak változatos, nagy szintkülönbségekkel és változékony domborzattal rendelkezik. A dolgozat célja az volt, hogy valós idejű GNSS-technológiával szerzett adatok segítségével és a felhasznált UAV eszközzel a bánya területét pontossággal rekonstruálhassam a változékony terepi körülmények között és számításokat végezhessenek a feldolgozott adatok segítségével.

A dolgozatban szó esik még a geodéziai GNSS- vevőkkel valós időben végezhető mérési módszerekről, a Magyarországon jelenleg elérhető korrekciós szolgáltatásokról, és a jelenleg hivatalos UAV-repülés végrehajtásának menetéről. Az általam végzett kiértékelési technológiák, vizsgálatok és elemzések egy kis szeletét mutatják be az UAV-rendszerekkel készült pontfelhők feldolgozási lehetőségeinek. Igyekeztem bemutatni és alátámasztani a különböző mérési és feldolgozási technológiák előnyeit és hátrányait. Végeredményként az adott témába való betekintés pozitív hatással volt a tanulmányaimra és úgy vélem, hogy a későbbi munkáim során is alkalmazni tudom ezt a tudást, még az iparigeodéziai feladatok elvégzésére is. Manapság ez a technológia egyre inkább kezd elterjedni, amely nem csak gyorsítja az adott munkafolyamatok elvégzését, hanem le is egyszerűsíti azt. Mindazonáltal szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek, Dr. habil Jancsó Tamás egyetemi docensnek, és a Kvalitron Kft.-nek, azon belül is Fejes Ádám vezető geodétának.

10. SUMMARY

My study was to map, model, prepare the longitudinal and the cross-sections, calculate the land mass of the mine area of my choice using a UAV tool (DJI Phantom 4 Pro). I processed the aerial photographs using different utility software such as 3Dsurvey, Agisoft Metashape and AutoCad Civil 3D. During my assignment, I was able to use modern tools to gain an insight into the implementation of different geodetic works that are carried out nowadays. The chosen subject is located in Keszeg, within the county of Nógrád. The terrain is very varied, with large differences in elevation and variable topography. The aim of the thesis was to reconstruct the mine with ideal accuracy in the variable terrain conditions using real-time GNSS data and the UAV tool used, and to perform calculations using the processed data.

The thesis also discusses the methods of measurement that can be performed in real time with geodetic GNSS receivers, the correction services currently available in Hungary, and the process of establishing the currently official UAV flight. A small slice of the evaluation techniques, tests and analyses carried out by me was also presented to illustrate the processing capabilities of point clouds produced by UAV systems. I have tried to demonstrate and justify the advantages and disadvantages of different measurement and processing technologies. As a conclusion, the insight into this topic had a positive impact on my studies and I believe that I would apply this knowledge in my future work, even for industrial geodesy tasks. Nowadays, this technology is becoming more and more widespread, which not only speeds up the execution of specific work processes, but also simplifies them. Nevertheless, I would like to express my thanks to my consultant, Dr. habil Tamás Jancsó, Associate Professor, and to Kvalitron Ltd. ,and in particular Ádám Fejes, Senior Geodesist.

11. IRODALOMJEGYZÉK

- [1.] Dr. Engler,[2010]. Általános fotogrammetriai technológia. Székesfehérvár: Nyugat-magyarországi Egyetem.
- [2.] Eisenbeiß,[2009]. UAV Photogrammetry. Zurich: Dipl.-Ing., University of Technology Dresden.
- [3.] Bakó, [2015]. UAV és RPAS technológia a légi távérzékelésben. Budapest: Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.
- [4.] Dr. Busics, [2010]. Műholdas helymeghatározás 1., A GNSS-ről általában
- [5.] UAV fogalma [https://nmhh.hu/dokumentum/193162/UAV_tajekoztato.pdf]
- [6.] Magyarország légtéhasználata[<https://legter.hu/tudastar/legterek/>]
- [7.] Dr.Palik, [2013]. Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek
- [8.] Földtömegszámítás
[<https://edu.epito.bme.hu/local/coursepublicity/mod/book/view.php?id=46741&chapterid=34>]
- [9.] 3D tervezés [<http://uj.lechnerkozpont.hu/oldal/fotogrammetria>]
- [10.] Keszeg település [<http://www.keszeg.hu/>]
- [11.]
[https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/20_2246_021_101030.pdf]
- [12.] DJI Phantom 4 Pro V2.0. [<https://www.dji.com/hu/phantom-4-rtk?site=brandsite&from=nav>]
- [13.] 3Dsurvey [<https://3dsurvey.si/>]
- [14.] AgiSoft MetaShape [https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf]
- [15.] Kraus,[1998]. Fotogrammetria [Á. Detrekő, Mélykúti, Gábor, Trans.]. Budapest: Tertia Kiadó.
- [16.] Dr. Jancsó,[2010]. Légiháromszögelés. Székesfehérvár: Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar.
- [17.] [Aronoff, 1989; Czimber, 2000; Detrói & Szabó, 2002; Markó, 2003; Márkus & Végső, 2004]
- [18.] [Engler, 2008] A légi fotogrammetriai technológia.
- [19.] FORGEO [<https://www.forgo.hu/m39.html>]
- [20.] Geoüzlet [<https://www.geouzlet.hu/uzlet/dronok/dron-szoftverek/agisoft-metashape-professional-edition/>]

12. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra Illesztőpontok elhelyezkedése a lehatárolt bányaterületen
2. ábra DJI Phantom 4 Pro modell és a hozzá tartozó kontroller
3. ábra PooLee GNSS vevő
4. ábra Illesztőpont jelölése
5. ábra Keszegi mészkőbánya részlet
6. ábra Fényképek importálása 3Dsurveyben
7. ábra Illesztőpontok megírányzása kézzel
8. ábra Bányarészlet sűrűpontfelhője
9. ábra Lehatárolt bányaterület
10. ábra Tereptárgyak osztályzása
11. ábra Digitális felületmodell a tereptárgyak nélkül
12. ábra Szintvonalak generálása és magasságok megírása
13. ábra Digitális domborzat modell
14. ábra Hossz- keresztshelvény
15. ábra Egyszerű pontfelhő
16. ábra Illesztőpontok behívása
17. ábra Illesztőpontok elhelyezése
18. ábra A fotók hibái, az illesztő pontok felhasználása nélkül
19. ábra Osztályzás a tereptárgyak eltávolításával
20. ábra A bányá részlet kontúrja
21. ábra A kontúrral lehatárolt terület földtömegszámításának eredménye és annak shelvénye
22. ábra Shelvénykészítés
23. ábra Keszegi mészkőbányá digitális modell
24. ábra A bányá szintvonalas rajza
25. ábra Az eredeti feltételezhető terepszint
26. ábra Földtömegszámítás eredménye Civil 3D-ben és a hozzá tartozó jelmagyarázat

13. TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat Illesztőpontok listája a lehatárolt bányaterületről
2. táblázat Hibák az illesztőpontok elhelyezése után
3. táblázat Az ellenőrző pontok hibái
4. táblázat Térfogatszámítás összehasonlítása
5. táblázat Civil 3D térfogatszámításának látható táblázata

14. MELLÉKLETEK

1. számú melléklet: AgiSoft-ban készített mérési jegyzőkönyv

Keszegi mészkőbánya

Processing Report

December 2021



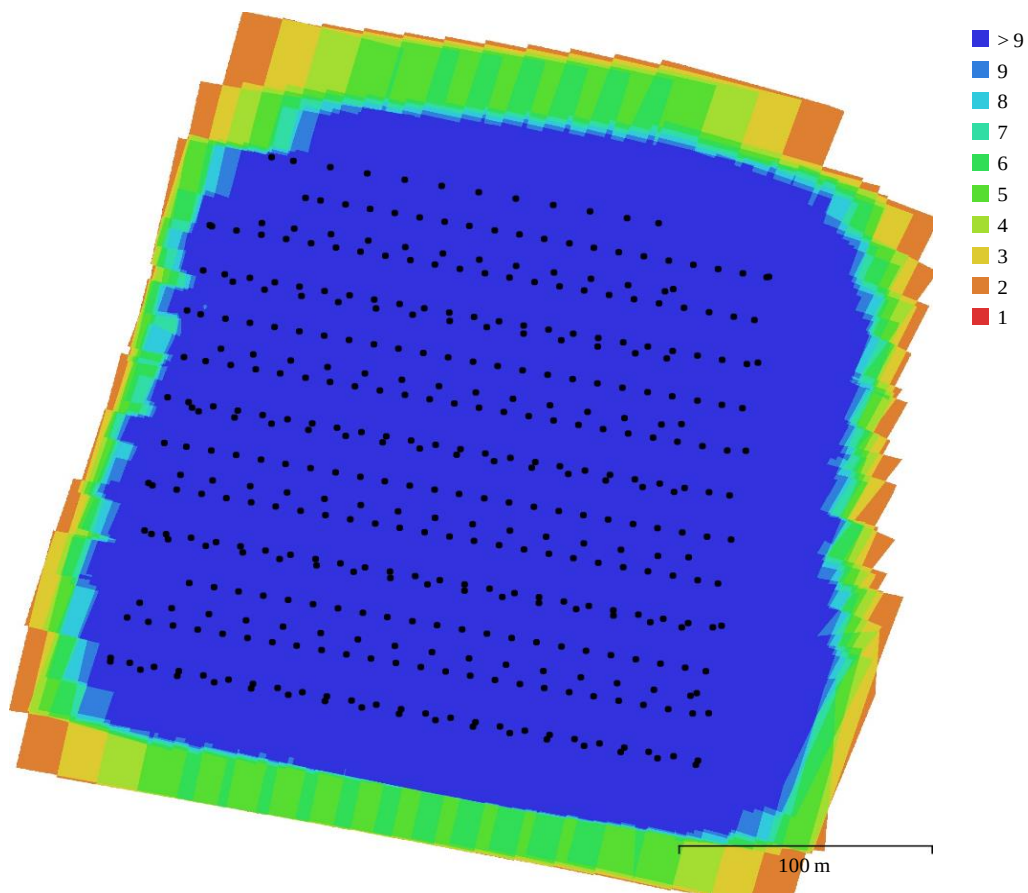


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	419	Camera stations:	419
Flying altitude:	67.5 m	Tie points:	204,630
Ground resolution:	1.77 cm/pix	Projections:	1,353,082
Coverage area:	0.0931 km ²	Reprojection error:	0.425 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310S (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 μ m	No

Table 1. Cameras.

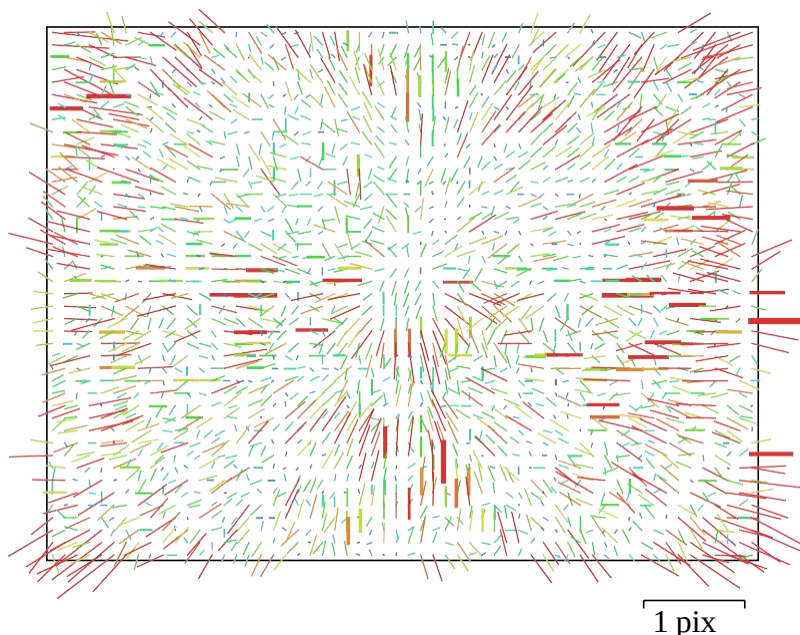


Fig. 2. Image residuals for FC6310S (8.8mm).

FC6310S (8.8mm)

419 images

Type
Frame

Resolution
4864 x 3648

Focal Length
8.8 mm

Pixel Size
2.61 x 2.61 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3629.31	0.16	1.00	0.20	0.33	-0.11	0.11	0.06	-0.06	0.08	-0.10	0.00	0.02
Cx	-8.10914	0.012		1.00	0.07	0.01	0.04	0.02	-0.02	0.03	-0.03	0.78	-0.01
Cy	26.6793	0.01			1.00	-0.03	0.07	0.03	-0.03	0.04	-0.04	0.00	0.68
B1	-0.630741	0.017				1.00	0.02	-0.01	0.00	-0.00	0.00	-0.00	-0.01
B2	0.586132	0.017					1.00	0.02	-0.01	0.02	-0.02	0.00	0.00
K1	0.0101235	3.4e-05						1.00	-0.97	0.93	-0.88	-0.00	0.00
K2	-0.0793294	0.00019							1.00	-0.99	0.96	0.00	0.00
K3	0.158161	0.00043								1.00	-0.99	-0.00	-0.00
K4	-0.105561	0.00033									1.00	-0.00	0.00
P1	-0.000451601	9.8e-07										1.00	-0.00
P2	-0.000107695	8.1e-07											1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

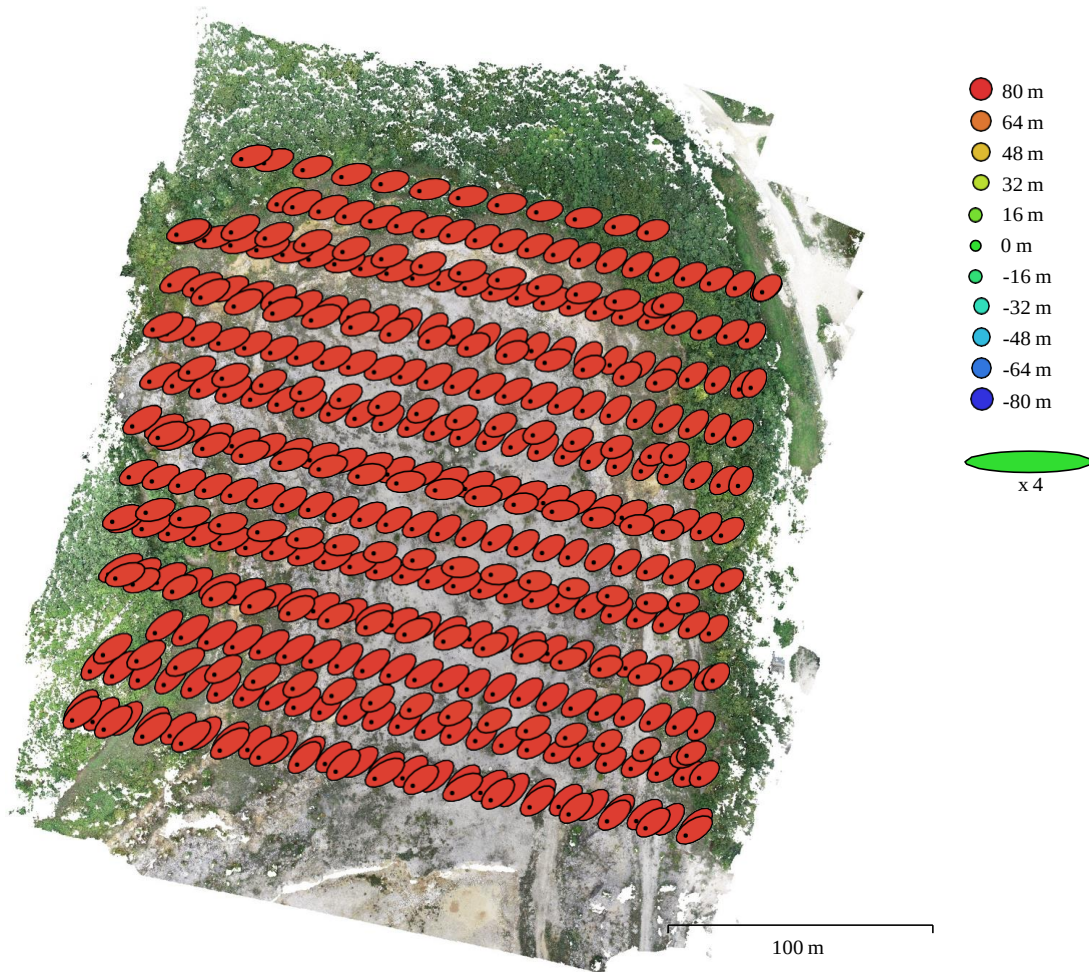


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1.55144	0.910529	76.4788	1.79889	76.4999

Table 3. Average camera location error. X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

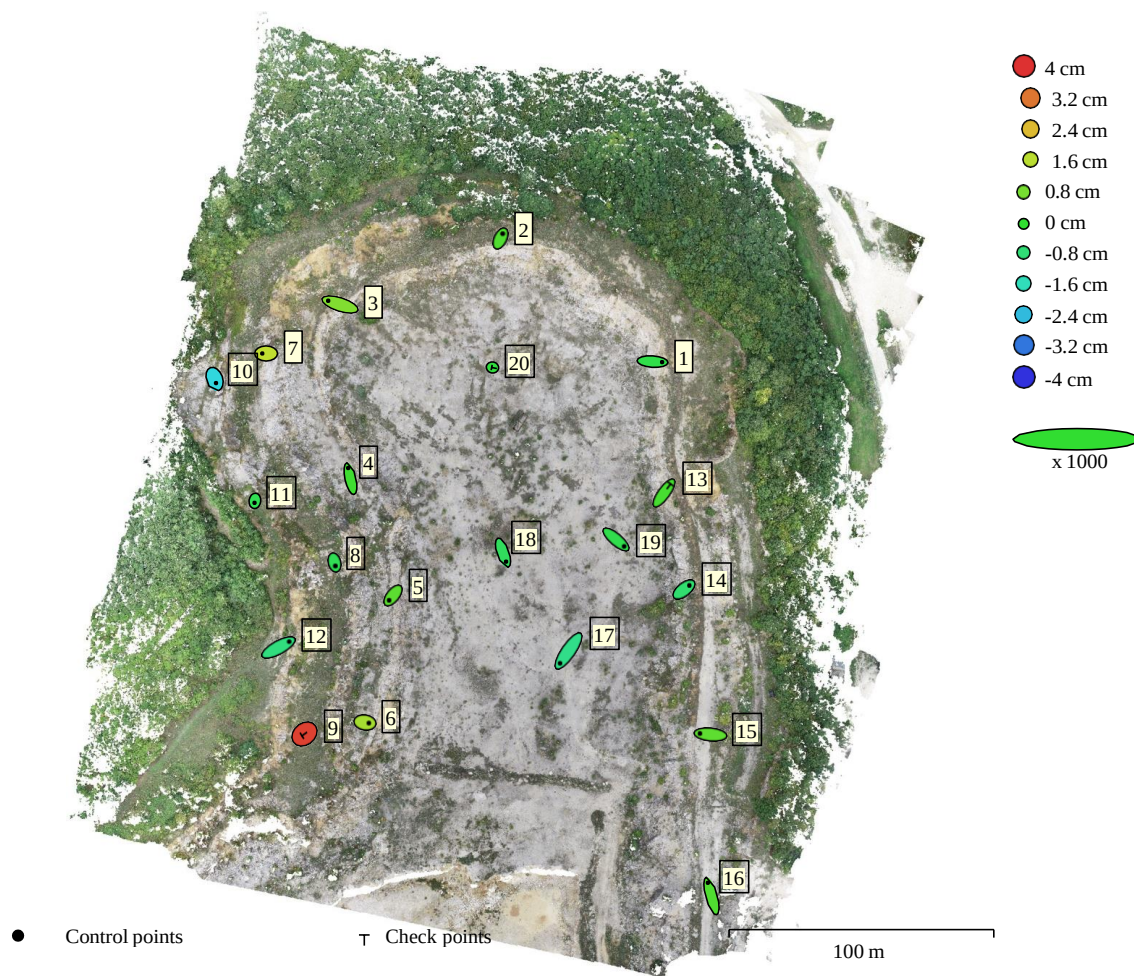


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
17	0.476348	0.476507	0.897877	0.67377	1.12256

Table 4. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
3	0.29585	0.383434	2.21286	0.484302	2.26523

Table 5. Check points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
1	0.735564	-0.0493955	-0.282647	0.789546	0.555 (41)
2	0.151316	0.338615	0.36832	0.5227	0.520 (31)
3	-0.877862	0.273382	0.927279	1.30584	0.552 (41)
4	-0.178403	0.793809	0.159164	0.829032	0.657 (47)
5	-0.280624	-0.335573	0.494355	0.660111	0.541 (44)
6	0.28097	-0.0416058	1.34513	1.37479	0.479 (33)
7	-0.294686	-0.00169052	1.66753	1.69337	1.052 (27)
8	0.0601371	-0.244206	-0.412518	0.48314	0.774 (32)
10	0.103055	-0.294314	-2.07307	2.0964	1.598 (14)
11	-0.0193581	-0.143734	-0.396012	0.421734	0.555 (20)
12	0.774957	0.427196	-0.896736	1.25984	0.671 (19)
14	0.397306	0.281916	-0.721552	0.870613	0.959 (37)
15	-0.777487	0.0685373	0.521828	0.938876	0.731 (33)
16	-0.273667	0.997801	0.358725	1.09507	0.675 (11)
17	-0.617713	-0.890293	-1.0277	1.49344	0.313 (53)
18	0.234456	-0.67441	-0.506834	0.875602	0.678 (55)
19	0.597937	-0.497034	-0.326363	0.843258	0.735 (29)
Total	0.476348	0.476507	0.897877	1.12256	0.698

Table 6. Control points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
9	-0.191134	-0.127407	3.82136	3.82826	1.068 (22)
13	0.472437	0.651705	0.255241	0.844431	0.576 (41)
20	-0.0534063	0.0106511	-0.149287	0.15891	0.000 (53)
Total	0.29585	0.383434	2.21286	2.26523	0.578

Table 7. Check points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

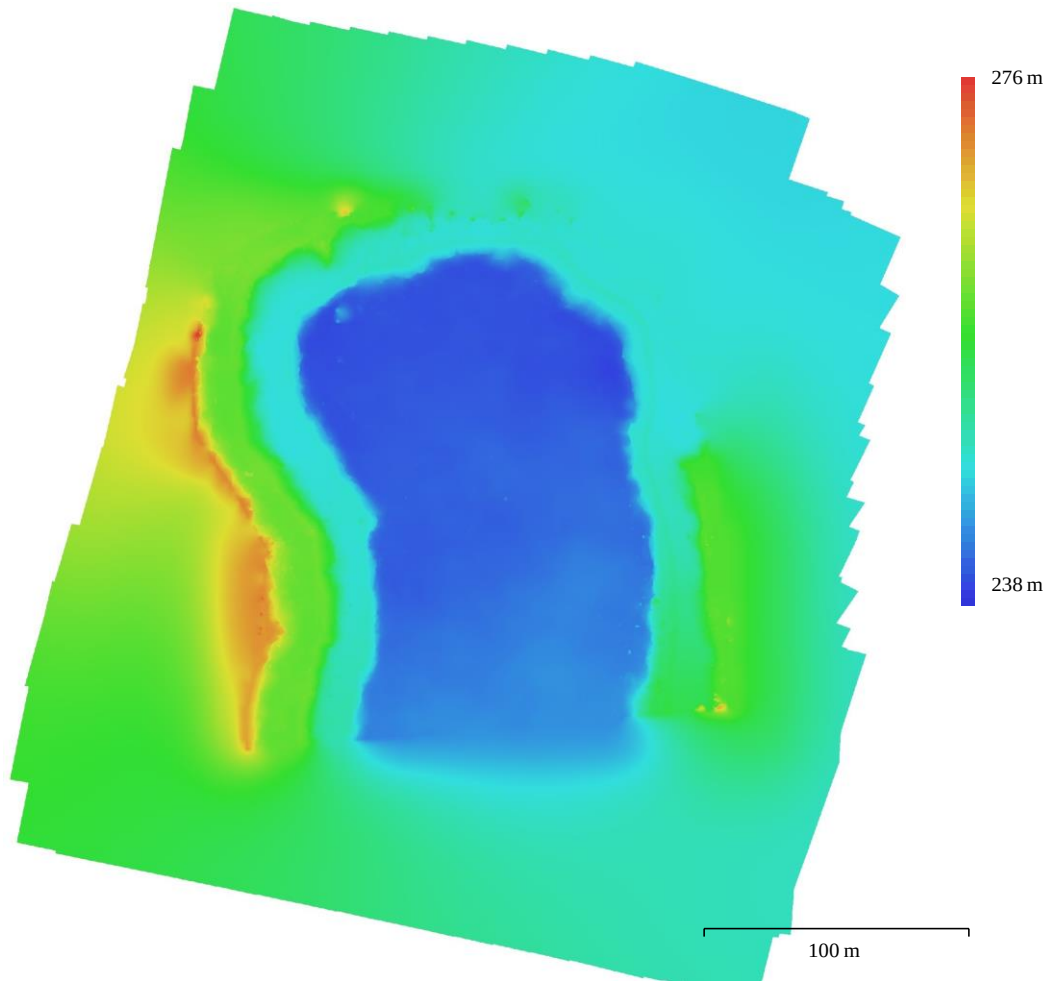


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 3.54 cm/pix
Point density: 796 points/m²

General

Cameras	419
Aligned cameras	419
Markers	20

Shapes

Point	1
LineString	2
Polygon	1
Coordinate system	HD72 / EOVS (EPSG::23700)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	204,630 of 228,529
RMS reprojection error	0.213262 (0.425205 pix)
Max reprojection error	0.83023 (17.2703 pix)
Mean key point size	2.11275 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	8.10215

Alignment parameters

Accuracy	Highest
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	No
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	7 minutes 51 seconds
Matching memory usage	5.41 GB
Alignment time	4 minutes 46 seconds
Alignment memory usage	808.66 MB

Optimization parameters

Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	4 seconds
Date created	2021:08:29 07:15:22
Software version	1.7.3.12473
File size	33.64 MB

Depth Maps

Count	419
-------	-----

Depth maps generation parameters

Quality	High
Filtering mode	Mild
Processing time	30 minutes 23 seconds
Memory usage	8.67 GB
Date created	2021:09:12 09:40:56
Software version	1.7.1.11797
File size	2.42 GB

Dense Point Cloud

Points	104,203,912
Point colors	3 bands, uint8

Depth maps generation parameters

Quality	High
Filtering mode	Mild
Processing time	30 minutes 23 seconds
Memory usage	8.67 GB

Dense cloud generation parameters

Processing time	53 minutes 55 seconds
Memory usage	11.70 GB
Date created	2021:09:12 10:34:52
Software version	1.7.1.11797
File size	1.32 GB

DEM

Size	17,426 x 28,256
Coordinate system	HD72 / EOVS (EPSG::23700)

Reconstruction parameters

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	3 minutes 31 seconds
Memory usage	308.08 MB
Date created	2021:10:03 17:02:12
Software version	1.7.1.11797
File size	275.77 MB

System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.7.4 build 12950
OS	Windows 64 bit
RAM	11.89 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @
2.80GHz	
GPU(s)	Intel(R) HD Graphics 630 NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti