



ÓBUDAI EGYETEM

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

**UAV-val végzett adatgyűjtés felhasználása
mérnökgeológiai feladatoknál**

OE-AMK
2018

Hallgató neve: **Horváth Cristopher**
Hallgató törzskönyvi száma: T000049/FI12904/A-G



Hallgató neve: Horváth Cristopher

Neptun kódja: [REDACTED]

Képzés: Földmérő és Földrendező mérnöki szak, Geoinformatikai szakirány, Nappali

Intézet: Geoinformatikai Intézet

Szakedolgozat száma: 446/2018

A dolgozat címe: UAV-val végzett adatgyűjtés felhasználása mérnökgeológiai feladatoknál

A dolgozat címe angolul: UAV based data collection for engineering geological application

Feladat:

- Végezzen szakirodalmi kutatást a témával kapcsolatban!
- Egy választott mintaterületen készítsen nagyfelbontású felvételeket!
- A felvételek alapján állítsa elő a terület felszínmodelljét!
- A felszínmodell adatait felhasználva végezzen mérnökgeológiai számításokat!
- Tapasztalatai alapján értékelje a nagyfelbontású felvételek felhasználási lehetőségeit mérnökgeológiai feladatoknál!

Beadandó munkarészek: - műszaki leírás,
- felszínmodell

Intézményi konzulens neve: Dr. Tóth Zoltán adjunktus, Balázsik Valéria mestertanár

A kiadott téma elévülési határideje: 2020. december 15.

A beadás határideje: 2018. december.15.

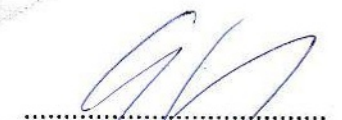
A záróvizsga tárgyai: komplex záróvizsga

Székesfehérvár, 2018. március 23.



Dr. Busics György
intézetigazgató




Dr. habil. Györök György
dékán



HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott **Horváth Cristopher** 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.

Kelt: 2018.12.07.


hallgató aláírása

TARTALOM

1. BEVEZETŐ.....	6
2 FŐBB ADATNYERÉSI TECHNOLÓGIÁK VIZSGÁLATA.....	7
2.1 Lézerszkennelés.....	7
2.2 Általános Geodézia.....	7
2.3 Földi fotogrammetria.....	7
2.4 Lézer alapú távérzékelés – LIDAR	8
2.5 Légi fotogrammetria.....	10
3 FELHASZNÁLT ESZKÖZÖK ISMERTETÉSE	13
3.1 DJI Mavic Pro Platinum	13
3.2 Leica SR530 GNSS vevő	15
4. FELHASZNÁLT SZOFTVEREK:	15
4.1 Agisoft PhotoScan	15
4.2 Dronedeploy	16
4.3 ArcGIS.....	17
4.4 CloudCompare.....	18
4.5 Autodesk AutoCAD	18
4.6 Autodesk ReCap	19
5. TESZTTERÜLET BEMUTATÁSA	20
6. TEREPI ADATGYŰJTÉS MENETE	21
6.1 Repülés megtervezése	22
6.2 Repülés folyamata	25
7. ADATFELDOLGOZÁS LÉPÉSEI, ELEMZÉSEK:.....	26
7.1 Agisoft PhotoScan – UAV felvétel feldolgozása	26
7.1.1 Kubatúraszámítás	31
7.1.2 Keresztmetszet, keresztmetszelvény generálás	32
7.2 ArcGIS – LIDAR felvétel feldolgozása	33
7.2.1 Súlyozott számtani közép.....	35
7.2.2 TIN modell (szabálytalan háromszög modell) generálása	36
7.2.3 Lejtőkategóriák vizsgálata	37
7.2.4 Láthatóságvizsgálat	38

7.3 CloudCompare – LIDAR és UAV pontfelhők összehasonlítása.....	41
7.3.1 Pontfelhők összehasonlítása.....	43
7.3.2 Kubatúra számítás	47
7.4 AutoCAD Civil 3D – vízgyűjtők, lefolyási vonalak modellezése	49
7.4.1 Mesh előállítása Agisoft PhotoScan szoftverrel	49
7.4.2 Hidrosztatikai modellezés AutoCAD segítségével	51
8. ÖSSZEFOGLALÁS	55
9. CONCLUSION.....	56
10. MELLÉKLETEK.....	57
11. IRODALOMJEGYZÉK	58

1. BEVEZETŐ

Napjainkban a térinformatikai adatgyűjtési technológiák rengeteg lehetőséget kínálnak. Az adatgyűjtés módszere és a feldolgozás, a végtermék sokszínűsége széles palettát tár elénk. Fontos már az előkészítés, tervezés és a felmérési módszer kiválasztása során az elvárt pontosság, költségekkel való számolás és a rendelkezésre álló idő figyelembevétele. Vajon megéri-e a sokkal költségesebb, pontosabb eljárás alkalmazása, vagy elérhető-e hasonló minőség egy újabb, olcsóbb, felhasználóbarát módszerrel is? Dolgozatomban bemutatom a teszt terület egy korábbi, 10 évvel ezelőtti LIDAR-os felméréséből készült és az általam UAV-val felmért digitális domborzatmodell közötti eltéréseket. Összehasonlítok egy manapság is eléggé költséges LIDAR felmérési módszert egy költséghatékonyabb, megfizethetőbb és egyszerűen kivitelezhető UAV adatgyűjtési módszerrel. Az UAV felmérést saját eszközzel végeztem, így egy átfogó és részletekbe menő leírást adok egy ilyen és ehhez hasonló térképezési eljárás irodai és terepi munkafázisairól. Bemutatom egy külszíni bánya és környezetében UAV-val végzett terepfelmérés munkafázisait, nehézségeit, észrevételeit. A nyers mérési eredmények feldolgozását számos programon keresztül mutatom be és dokumentálom. A legfőbb UAV-LIDAR pontfelhő összehasonlítás mellett az elkészült pontfelhő és felszínmodelleken számos számítást, összehasonlítást és elemzést végeztem, hogy megtudjam felhasználói szemmel milyen lehetőségek rejlenek a végtermékek előállítását és felhasználását illetően. Ilyen számítások például összelátás vizsgálat, pontfelhők közötti távolság, nagy időt felölelő terepváltozások modellezése, lefolyás és vízgyűjtők modellezése, lejtőkategóriák vizsgálata felszínmodell segítségével.

2 FŐBB ADATNYERÉSI TECHNOLOGIÁK VIZSGÁLATA

2.1 Lézerszkennelés

Manapság az egyik leghatékonyabb adatnyerési módszer. A lézerszkennerek másodpercek alatt több millió 3D koordinátával ellátott pontot képes rögzíteni, melyhez igénytől függően RGB adatokat is rögzíthet fotózással. Napjaink legmodernebb lézerszkennerei (Leica RTC360) már illesztőpontot sem igényelnek, az illesztőpont választás OTF (On the Fly) történik, automatikusan kiválasztott térbeli pontokkal. Belső terek és kisebb kültéri objektumoknál a leghasznosabb, nagy kültéri tereptárgyak és terepfelvételezésnél az adatgyűjtési idő megsokszorozódhat így ez a módszer csak korlátozottan, vagy egyáltalán nem használható. Szakdolgozatom esetében a nagy terület miatt ez az adatgyűjtési módszer nem tűnt megfelelő választásnak.

2.2 Általános Geodézia

Hagyományos mérőállomásos illetve GNSS vevővel végzett terepfelmérés. Az adatgyűjtés lassú, a mért tereppontok eloszlása nem egyenletes és sokszor nem is elegendő. Geodéziai felmérés esetén szükséges, hogy a terep megközelíthető, bejárható legyen. Irodai feldolgozása is viszonylag lassú, kevésbé automatizálható. Feladatom miatt nem bizonyult megfelelőnek.

2.3 Földi fotogrammetria

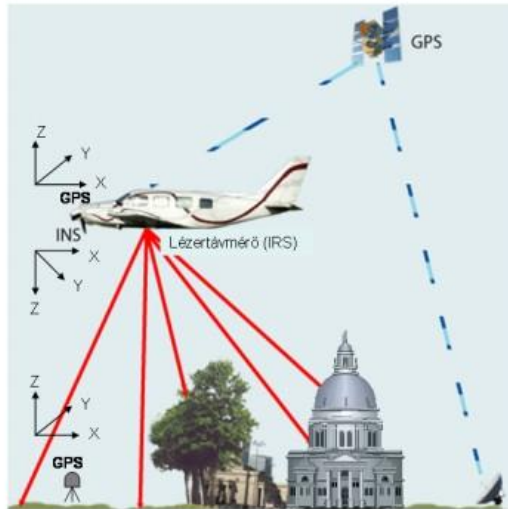
Földről, kézből vagy állványról készített fényképek és ezek kiértékelését jelenti. Gyors adatgyűjtési és viszonylag gyors feldolgozási idő. Könnyen automatizálható. Homlokzatok, kisebb 3D objektumok modellezésére megfelelő. Nagy kiterjedésű területek, magas épületek lefedésére nem alkalmas, légi fotogrammetriát támogató kiegészítő felmérésnek viszont nagyon hasznos lehet. [1]

	<u>Általános Geodézia</u>	<u>Földi Fotogrammetria</u>	<u>Lézerszkennelés</u>
Információ mennyiség	Viszonylag kis mennyiségű pont térbeli helyzetének a meghatározása.	Nagy mennyiségű pont térbeli helyzetének közvetett meghatározása, részletes képi információkkal.	Nagy (gyakran felesleges) adatmennyiség, korlátozott képi információkkal.
Pontosság	A legszélsőségesebb pontossági követelményeket is kielégíti.	A pontosságot az alkalmazott eljárás és a fényképezőgép nagyban befolyásolja, de általában alacsonyabb, mint a geodéziai és lézerszkenneres eljárásnál.	Közepes pontosság (lézerszkennelés felbontásától függ).
Adatgyűjtés gyorsasága	A terepi munka és az utófeldolgozás egyaránt hosszadalmas a többi módszerhez képest.	Rendkívül gyors a terepi mérés (fotózás), de a fotók kiértékelése hosszadalmas és bonyolult folyamat.	A terepi mérés és annak utólagos feldolgozása is viszonylag gyors.

1. táblázat

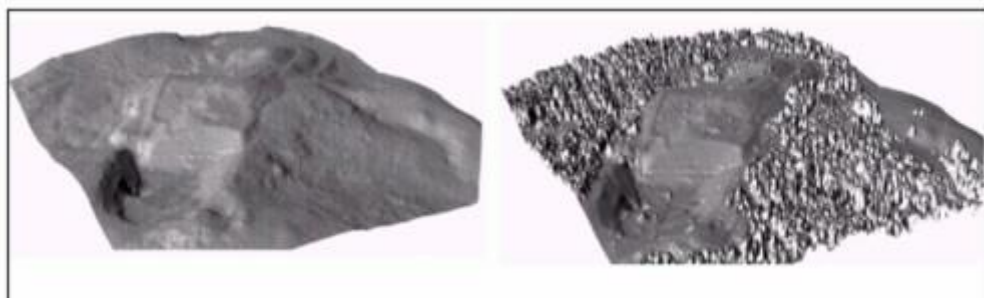
2.4 Lézer alapú távérzékelés – LIDAR

A LIDAR (Light Detection And Raging) egy lézer elvén alapuló, aktív adatgyűjtési eljárás, amely saját energiaforrással rendelkezik. A hordozó eszközön egy lézernyalábot kibocsájtó eszköz található, amely különböző hullámhosszúságú sugárnyalábot képes előállítani. A fedélzeten található egy érzékelő is, amely a földfelszínről visszavert hullámokat képes érzékelni. A módszer elve a távmérésen alapszik. A felvétel pillanatában a szenzor egy impulzust bocsájt ki a terepfelszín felé, amely az útját álló tereptárgyakkal kapcsolatba lép és visszaverődik. A visszavert sugárnyaláb ezt követően beérkezik a szenzorba. A kibocsájtás és a beérkezés pillanatának ideje rögzített a fedélzeten. A két időpontból képzett különbség adja a terepi pont számításának alapját. Ahhoz, hogy a pontos helyzete számítható legyen, ismerni kell a fény terjedési sebességét, továbbá a szenzor felvételezési pozícióját. Az elektromágneses energia terjedési sebessége ismert, a tereptárgy helyzete a szenzorhoz képest az idő különbségekből számítható, így az ismeretlen a hordozó eszköz pozíciója, amely a fedélzeten elhelyezett navigációs és műholdas eszközök segítségével számítható (1. ábra).



1. ábra: A lézer alapú tévérzékelési rendszer elemei [2]

A légi fotózással ellentétben a nyersanyag itt nem a felszínről készített képek sokasága, hanem egy ponthalmaz, pontfelhő, amely intenzitási értékekkel a felszínt és azon elhelyezkedő objektumokat (növényzet, épületek, burkolatok, stb.) ábrázolja magassági értékekkel együtt. Végtermékek előállítására szempontjából elég sokrétű, a légi fotogrammetriához hasonlítható, georeferált pontfelhő, digitális terepmodell, vagy felszínmodell (DDM/DFM), szabálytalan háromszög hálózat (TIN) és hálószerű (GRID) modell, ortofotó is előállítható, ha egyidőben felvételek is készültek (2. ábra).



2. ábra: LIDAR felmérésből generált DFM első és utolsó visszaverődés DDM [3]

Előnyei:

- Aktív rendszer lévén független a természetes megvilágítástól, rossz megvilágítási körülmények között, vagy akár éjjel is történhet a felmérés
- Felhős időben is történhet a felmérés, ha a repülés magassága a felhőzet alsó síkjánál nem magasabb

- A lézer képes áthatolni a növényzeten, így a visszaverődés történhet a növényzetről, de az alatta található felszínről is (többszörös mintavételezés). A lézer áthatoló képessége miatt fás, erdős területek topográfiai modellezésére is alkalmas. (Csak ritka lomboszat esetén éri el a lézer a talajszintet!)
- Az adatokról elmondható, hogy nagy pontosságúak vertikálisan és horizontálisan is.
- Különböző hullámhosszúságú lézerenergiával vízmélység, mederfelmérés, növényborítottság is modellezhető

Hátrányai:

- A lézer nem képes a vízfelszínről visszaverődni, partvonal azonosítása nehézkes
- légköri vízpára és inhomogén légrétegek zavarhatják a jel terjedését
- rendkívül magas eszköz és üzemeltetési költség (bár a felmérések költséghatékonyak)
- kevésbé automatizálható adatnyerési eljárás [4]

2.5 Légi fotogrammetria

Valamilyen repülő eszközzel készített felvételek esetében légi fotogrammetriáról beszélünk. Régebben a repülést gondos és részletes irodai előkészítés előzte meg, manapság a legtöbb repüléstechnikai tulajdonság és az eszköz paramétereinek beállítása a terepen is elvégezhető, főleg az UAV-k esetében. A repülést évtizedekkel ezelőtt pauszpapírra rajzolva tervezték meg, számolva a sorok közötti és soron belüli átfedések százalékos arányával, lefedett terület nagyságával, repülési tengelyek irányával, repülési magassággal, a szükséges fényérzékeny film mennyiségével, megfelelő mérőkamera kiválasztásával. [15]

A digitális fotogrammetria térnyerésének köszönhetően ezek közül sok paramétert manapság nem szükséges figyelembe vennünk. A többi paraméter, amely analóg és digitális fotogrammetria esetén is fontos tényező a terepen, a távvezérlő kontroller vagy okostelefon kijelzőjén keresztül pillanatok alatt elvégezhető. A repülés és felvételezés paramétereinek betáplálását és a repülés lebonyolítását lehetővé tévő szoftvereket automatizált repüléstervező szoftvereknek nevezzük, amelyeknek legtöbbször asztali és

mobil verziója is egyaránt rendelkezésünkre áll. Az irodában megtervezett repülési terv így a terepen, a mobil eszközön a felhőbe való szinkronizálás (Cloud sync) eredményeképpen azonnal rendelkezésünkre áll.

Légi fotogrammetria esetén nagy területről, gyorsan, nagy mennyiségű adatot tudunk rögzíteni. Nem szükséges a terep megközelítése. Megkülönböztetünk mérőkamerával és amatőr kamerával készített fényképeket. A mérőkamerának minden paramétere laboratóriumi körülmények között meghatározott és ismert, a feldolgozás során előre beállított. Az amatőr kamerák esetében ezeket az értékeket mérni kell, illetve EXIF adatokból utólag kell meghatároznunk és a feldolgozó szoftverben beállítani. A kamerát hordozó repülő eszköz lehet helikopter, repülő vagy a manapság elterjedt pilóta nélküli repülő eszköz is.

UAV, RPV, UAS

Az UAV az angol Unmanned Aerial Vehicle rövidítése, amely magyarul pilóta nélküli légi járművet jelent. Más néven RPV (Remotely Piloted Vehicle) távolról irányított (légi) jármű. Az UAS (Unmanned Aerial System) a teljes rendszert jelenti a földi vezérlő egységtől a jeladón át a légi járműig. Napjainkban a legtöbb többrotoros távirányítással ellátott repülő eszközt „drón” címszóval jellemzik, holott ez a legtöbb esetben téves. A „drón” mint fogalom eleve a katonai, távirányításos repülő eszközöktől ered. A civilek által megvásárolható többrotoros repülő alkalmatosságokat helyesen UAV-nek, vagy pilóta nélküli légi járműnek szokás nevezni.

Az UAV-ket többféle módon csoportosíthatjuk:

- Vezérlésük történhet rádiójelekkel, analóg (kötél) vagy előre programozott autonóm módon is.
- Méretük, súlyuk a pár kilogrammostól a több tíz tonnásig terjed.
- Szárnyszerkezetük lehet merev vagy forgószárnyas
- Meghajtásuk szerint eltérőek, lehetnek elektromos, belsőégésű motoros, sugárhajtóműves, gázturbinás.
- Rotorok száma szerint lehet quadro, hexa vagy octocopter.
- Hatótávolságuk alapján közeli, közép és távol hatótávú

Katonai UAS rendszerek:

El kell különítenünk a katonai célra fejlesztett drónokat a köztudatban ismert quadrokopterektől. A harcászatban az 1960-as évektől kezdve alkalmaznak UAS rendszereket megfigyelésre, térképezésre és fegyveres beavatkozásra egyaránt.

Irányításuk akár több ezer kilométerről történik katonai támaszpontokról. Ezek a repülő eszközök több órát is képesek a levegőben tartózkodni. Előnyük, hogy a fedélzeten nem tartózkodik ember, így kisebb a kockázat egy esetleges lezuhanás, vagy támadás esetén.

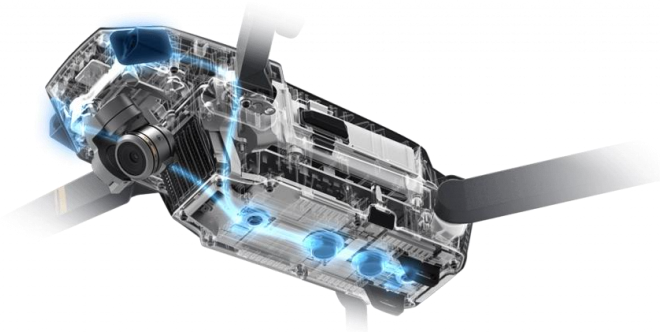
Polgári célú UAV-k:

A technológia fejlődésével és a jogi szabályozások enyhítése révén egyre kisebbek, egyre felhasználóbaráttá váltak ezek az eszközök, melyek irányítása az automatika kifinomultsága miatt szinte gyerekjáték lett az utóbbi években. Ennek megvannak a pozitív és negatív hatásai is. Egyrészt sokkal több az amatőr pilóta és ezzel együtt a veszély, a baleset esélye, viszont így az bárki hozzájuthat ezekhez a nagyon sok területen alkalmazható eszközökhöz. Az UAV-k elterjedése az adatgyűjtés területén nem meglepő, hiszen gyorsan, nagy területről és viszonylag nagy pontossággal, sok adatot képesek rögzíteni. Az áruházakban is megvásárolható drónok robbanásszerű elterjedése valamikor a DJI Phantom megjelenésére datálható. Hasonló mérföldkő volt, mint az első Iphone megjelenése az okostelefonok terén. A DJI akkor egy olyan eszközt jelentetett meg, amely repülési tulajdonságában és teljesítményben is magasan a vetélytársak felett volt. Ez a fölény mind a mai napig megmaradt, ugyanis a DJI a piac közel 70%-át uralja és szinte minden területet lefed a belépő szinttől a professzionális hollywoodi szintű eszközökig. DJI (Dà-Jiāng Innovations) egy Shenzhen székhelyű Kínai cég, amelyet 2006-ban alapítottak. A többek között repülés irányító rendszerekkel, kamerákkal, kamerastabilizátorokkal, elektromos motorokkal, szoftverfejlesztéssel foglalkozó cég egy olyan ökoszisztémát tudott kialakítani, amely egyedülálló a stabilizált kamerák piacán, legyen az földi vagy légi, nem beszélve a külső felektől származó alkalmazások általi támogatottságról.

3 FELHASZNÁLT ESZKÖZÖK ISMERTETÉSE

3.1 DJI Mavic Pro Platinum

A szakdolgozatomban használt UAV saját tulajdonú, DJI Mavic Pro Platinum, amely egy 2017-ben megjelent amatőr - félprofi szinten elhelyezkedő eszköz. Előnye az összecsukhatóságban rejlik (5. ábra), így könnyen magunkkal vihető bárhová. Repülési tulajdonságai és képminősége méretéhez képest meglehetősen jók. Fedélzetén egy 3 tengelyes motorizált stabilizátoron (gimbal) elhelyezett 12 megapixeles kamera található (4. ábra). Az eszköz stabilitását és intelligenciáját az összesen 7 komponensből álló „FlightAutonomy” repülési rendszer adja, amely 5 kamerából (előre néző 2 akadály érzékelő, lefelé tekintő 2 talaj figyelő és a fő kamera), dupla csatornás műholdas rendszerből (GPS és GLONASS vevő), 2 ultrazónikus távolságérzékelőből, redundáns iránytű és barométerből, továbbá egy 24 magos mikroprocesszorból áll (3. ábra).



3. ábra: „Flight Autonomy” rendszer [5]

Az eszköz hatótávolsága 5-7 km, maximum sebessége 65 km/h és akár 30 percet képes a levegőben maradni, amely hatalmas szabadságot nyújt videók és fotók készítésekor, de autonóm térképezési felmérések során is. Az eszköz megvásárlásakor még a méret, hordozhatóság és az ebből fakadó felvételek és képkészítés lehetősége ragadott meg, nem sokkal később be kellett látnom, hogy a szakmámból kifolyólag a földmérésben is hatalmas szerepe van ezeknek a „repülő fényképezőgépeknek”.



4. ábra: 12 Megapixeles fedélzeti kamera elhelyezkedése a 3 tengelyes stabilizátoron [6]



5. ábra: Mavic Pro Platinum összecsukva [7]

DJI Mavic Pro Platinum főbb tulajdonságai:

- Súly: 743g
- Max. sebesség: 65km/h
- Max. tengerszint feletti magasság: 5000m
- Max. repülési idő: 30 perc
- GPS mód: GPS / GLONASS
- Érzékelő szenzor: 1/2.3" (CMOS), Effektív pixel: 12.35 M
- Lencse: Látószög: 78.8°, 28mm, f/2.2
- Max. képméret: 4000x3000
- Redundáns barométer, iránytű, gyorsulásmérő

3.2 Leica SR530 GNSS vevő

Az SR530 egy kétfrekvenciás Geodéziai GNSS vevő, amely L1 és L2 frekvencián is képes az adatok vételére. A műszer 3 részből áll: kontroller, Rover, és a táskában vagy a kontrollerrel együtt a rúdon elhelyezett fedélzeti számítógép. A műszer használható RTK (Valós idejű kinematikus) és PPP konfigurációban. Korrekciók vételezése és a feldolgozás történhet valós időben (On the Fly) illetve utólagosan is. Valós időben a beépített rádió modullal, külső GSM mobiltelefonhoz csatlakoztatva, statikus észlelés esetén utólagos feldolgozással. A szakdolgozatom mérése során az illesztőpontok mérését RTK módszerrel, a korrekciókat NTRIP (RTCM adatátvitel interneten keresztül) szolgáltatóhoz kapcsolódva, belső modemmel valósítottuk meg.

4. FELHASZNÁLT SZOFTVEREK:

A feladat elvégzése során több szoftver közül a lehető leghatékonyabbat és legkézenfekvőbbet választottam ki. Külön szoftver alkalmazására került sor az UAV és a LIDAR adatok kiértékelésekor. A feldolgozandó UAV-s repülésből nyert adatokat az általam készített képek alkották. A LIDAR nyers adathalmazt egy pontfelhő alkotta txt file formájában. Az elemzések során különböző programokat és azok beépített moduljait használtam, így elég széles rálátásom alakult ki a pontfelhő és digitális felszínmodellekkel való adatfeldolgozás folyamatairól.

4.1 Agisoft PhotoScan

Széles körben alkalmazott, orosz fejlesztésű térfotogrammetriai szoftver. Digitális fényképek fotogrammetriai kiértékelésén keresztül képes 3D térbeli adatok előállítására, kezelésére, módosítására. Felhasználási területei többek között régészet, mezőgazdaság, műszaki létesítmények felmérése, ipari felmérések, megvalósulás, 3D modellezés. Végtermékei a ritka pontfelhő, sűrű pontfelhő, digitális domborzat, vagy felszínmodell, háló, textúra, ortofotó, szabálytalan háromszög hálózat. Az előállított végtermékeket plasztikusan, érthetően és kiemelve ábrázolja, azokon különböző számítások végezhetők. Könnyedén készíthetünk keresztmetszelvényeket egy egyenes mentén, ahol szeretnénk.

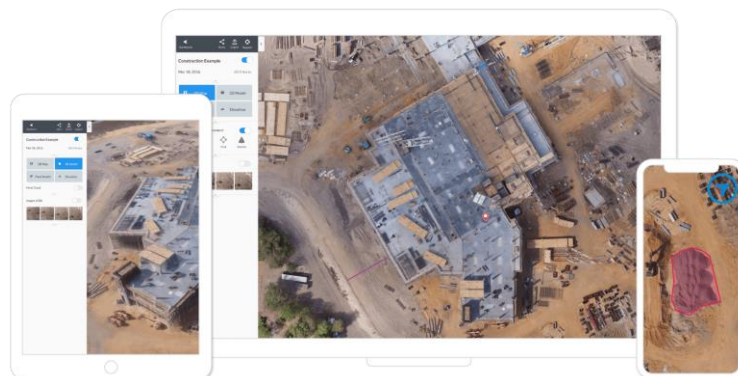
Földtömeg számításra lehetőség nyílik a DEM munkafázis lefuttatása után. A poligonnal körbezárt alakzat térfogatát a szoftver gombnyomásra elvégzi, ilyenkor nem szükséges 2 sík definiálása, a szoftver automatikusan a körvonal mentén metszi a térbeli modellt, a térfogatot ettől felfelé vagy lefelé számolja. Ez a megoldás nem minden esetben ad pontos eredményt. Ha a számítandó depó egy függőleges falra vagy sarokra illeszkedik, ilyenkor ferdén, a depó aljától a fal tetejéig metszené el és számolná a térfogatot.

A program kezeli a gömb, szférikus, halszemoptikás kamerafelvételeket. Képi koordináták alapján azokat képes illeszteni, majd közöttük automatikusan képazonos pontokat felismerni. További pontosságot a terepen elhelyezett illesztőpontokkal érhetünk el, melyeket a programban a valós helyre illeszthetünk. Lehetőségünk van automatikus illesztőpont felismerésre is, ehhez speciális PhotoScan által ismert pontjelek kihelyezésére van szükség.

4.2 Dronedeploy

UAV-vel végzett adatgyűjtés során a repülést automatizáló és feldolgozó szoftvercsomagot képezi. Két részre osztható, az ingyenes, bárki által elérhető iOS vagy Android rendszerű okostelefonokra telepíthető alkalmazás, a repülés megtervezését, paraméterezését és lebonyolítását teszi lehetővé. A beállítható paraméterek: a repülési terület körvonala, repülési tengelyek iránya, repülés magassága, soron belüli és sorok közötti átfedés százalékos aránya, automatikus vagy manuális fókusz és expozíció beállítása, modellező mód (oblique és nadír felvételek együttes alkalmazása), repülés sebessége, kezdőpont megadása, egyéb. Ha úgy döntünk, hogy a fizetős opciót választjuk, akkor a repülés végeztével a képeinket azonnal feltölthetjük a DroneDeploy szervereire, ahol távoli számítógépeken, automatizált, általunk kevésbé paraméterezhető számítások történnek. (6. ábra) A végtermékeket szinte készen kapjuk, letölthetjük, illetve online megjelenítőben szemlélhetjük. Ilyen végtermék lehet ortofotó, digitális felszínmodell, szabálytalan háromszög háló, 3D térbeli modell, repülésről elkészült jelentés, növény egészség vizsgálat, sűrű pontfelhő. A kezelőfelület segítségével méreteket, térfogatot számolhatunk, időbeli lefolyásokat követhetünk nyomon több repülés általi felvételek átlapolásával. Repülés közben akár élőben nyomon követhetjük, ahogy a képernyőn egy ortofotó mozaik kirajzolódik az éppen elkészített képek csatolásával.

Szakedolgozatom elkészítése esetében az alkalmazás ingyenes, csak mobil eszközökre szánt alkalmazását használtam, mely segítségemre volt a repülés lebonyolításában. Az adatok feldolgozása utólag, más programmal történt. Hasonló repüléstervező programok, amelyek rendelkezésre állnak a Pix4D, Altizure, Litchi, Precision Hawk, 3DF Zephyr, egyéb.



6. ábra: A DroneDeploy elérhető okostelefontól asztali számítógépekig [8]

4.3 ArcGIS

Az ESRI cég szoftvere, az ArcGIS egy olyan térinformatikai szoftver, amely térbeli, időbeli adatok és ahhoz kapcsolódó attribútum adatok kezelésével, elemzésével, megjelenítésével és kiértékelésével foglalkozik. Térbeli megoldások tervezését, kezelését és megvalósítását teszi lehetővé. Az ArcGIS szoftvercsomagot több modul alkotja: ArcReader, ArcView, ArcEditor, ArcInfo, ArcMap. Felépítésük hasonló, az adatmegosztás köztük folyamatos és konzisztens. Metaadatok, kezelőfelületek, jelentések, térképek, térképi adatok, szimbólumok, modellek a modulok között cserélhetők, megoszthatók. Az ArcGIS Server segítségével hálózaton keresztüli megosztása is lehetséges ezen adatoknak. Bővítmények (extension) alkalmazásával az elvégezhető feladatok száma megsokszorozódik, lehetőségünk adódik raszteres adatok feldolgozására, térbeli megjelenítésre, modellezésre. A Desktop ArcGIS elemei az ArcMAP, ArcToolbox, ModelBuilder és az ArcGlobe. Elsajátításuk után hatékonyan végezhetünk el szinte bármilyen térinformatikai feladatot, legyen az egyszerű vagy bonyolultabb. Szakedolgozatomban a LIDAR felvételezésből nyert pontfelhő feldolgozásához használtam a szoftvercsomag ArcMap modulját. [9]

4.4 CloudCompare

A CloudCompare egy nyílt forráskódú, ingyenesen letölthető és használható 3D pontfelhő és felület feldolgozó szoftver. Eredetileg összetett, sűrű pontfelhők és felületek közötti összehasonlításokra tervezték, majd később kiegészítették a funkcióit átlagos pontfelhő feldolgozási feladatok ellátására. A szoftver fejlesztése 2003-ban kezdődött Daniel Girardeau-Montaut doktori tanulmánya nyomán. A szoftver számos funkciót kínál a felhasználóknak:

- különböző vetítések (tengely alapú
- pontfelhő regisztráció (ICP)
- távolság alapú számítások (pontfelhő-pontfelhő vagy pontfelhő – felület, legközelebbi szomszéd „nearest neighbour” módszer
- statisztikai számítások
- szegmentálás
- geometriai tulajdonságok elemzése (sűrűség, durvaság)

A CloudCompare végtelen számú skalár mezőt képes kezelni. A skalármező, vagy skalártér egy skalármennyiséget rendel a tér minden pontjához, például, ha több ponton mértünk hőmérsékletet, akkor minden ponthoz a hőmérsékleti értékeket hozzárendeljük, így a pontok egy számot (skalár értéket) kapnak. A támogatott fájlformátumok között megtaláljuk a leggyakrabban használt .LAS, .LAZ pontfelhő és .SHP .OBJ felület formátumokat, de a program számos egyéb, harmadik féltől származó adathalmazt is képes beolvasni. [13]

4.5 Autodesk AutoCAD

Az Autodesk piacvezető szoftvere, az AutoCAD a legszélesebb körben használt mérnöki, tervező CAD szoftver. Zárt, fizetős licenz alapú, több modulból építkező program. Eleinte egyszerűbb vektoros rajzoló programnak indult, eszköztára manapság mindenre kiterjedő mérnöki munkát képes lefedni. A szoftver egyszerű rajzelemekből építkezik: pont, vonal, kör, de vannak bonyolultabb, összetettebb elemek: vonallánc, blokk. Képes raszter file-ok (vagy fájlok) importálására és kezelésére is, pontfelhő alapú számítások elvégzésére, térbeli 3D modellezésre, látványtervezésre. Alap fájlformátuma a .DWG,

mely importálható, kezelhető más szoftverekkel is. A szövegszerkesztőkkel megnyitható változata a .DXF. Moduláris felépítése miatt az AutoCAD számos, specifikusan az adott szakterületre fejlesztett szoftverből áll. Ezek közül a legtöbb felhasználóval rendelkező az AutoCAD Civil 3D, amely főként infrastruktúra, közlekedés, területfejlesztés, 3D modellezés területére lett fejlesztve.

Pontfelhő kezelő modulja is létezik, például az Autodesk Recap, amely külső forrásból származó LAS fájlokat alakítja át AutoCAD által beolvasható formátummá, ezen kívül egyszerűbb pontfelhő alapú szerkesztésekre is alkalmas.

4.6 Autodesk ReCap

A szoftvert arra tervezték, hogy natívan kezelje a lézerscanner vagy UAV felmérésekből származó pontfelhőket. Egyszerűen és gyorsan importálhatunk különböző fájlformátumú pontfelhőket, amelyeket beolvasás közben szűrhetünk, illetve több állományt is beolvashatunk egy projektbe. A program a pontfelhő számítás és az azzal való további feldolgozás munkafolyamata között helyezkedik el, egyfajta kapocs az Autodesk további szoftvercsomagjaihoz. Mivel az adatállományunkat alpból Autodesk szoftverben dolgozzuk fel, támogatottságot élvez azonnali elemzésekre és feldolgozásra például az AutoCAD szoftverrel. Szükségességét indokolja továbbá, hogy a natív és elég gyakori .LAS kiterjesztésű pontfelhőket az AutoCAD nyersen nem támogatja, de a ReCap-pel átalakított .rcp formátumot képes kezelni. A ReCap segítségével pontfelhőinket darabolhatjuk, kombinálhatjuk, összefűzhetjük, szűrhetjük, például síkok szerint. A szűrés eredményeképpen csak a nekünk megfelelő, lényeges, méret és számítási igény csökkentett részek maradnak meg, amely felgyorsítja a feldolgozás folyamatát.

5. TESZTTERÜLET BEMUTATÁSA

A mintaterület kiválasztásakor egy kevésbé homogén felszínt kerestem, így esett a választásom az Iszkaszentgyörgy határában található füves, dombos területre, melyen egy kisebb dolomitbánya is található. A terepről korábbi években (2008) már történt LIDAR felvételezés, amely kiváló összehasonlítási alapot adott az általam végzett UAV felméréssel. Iszkaszentgyörgy Fejér megyében, Székesfehérvártól néhány kilométerre, észak-nyugat irányban található. A Bakonyhoz tartozó tájegységre a mészkő és dolomit alapkőzet a jellemző, a terület környezetében több ilyen bánya is található.

Az itt elhelyezkedő bányában zúzott dolomitot értékesítenek. A terep adottságainak megismerését segítette a korábbi félévekben végzett iskolai terepgyakorlat az adott területen, így a felmérést megelőző bejárás során főleg az illesztőpontok megfelelő elhelyezésére, a repülés előkészítésére és megtervezésére összpontosítottam.



7. ábra: A mintaterület elhelyezkedése [11]



8. ábra: A mintaterület Google Maps műholdképen [12]

6. TEREPI ADATGYŰJTÉS MENETE

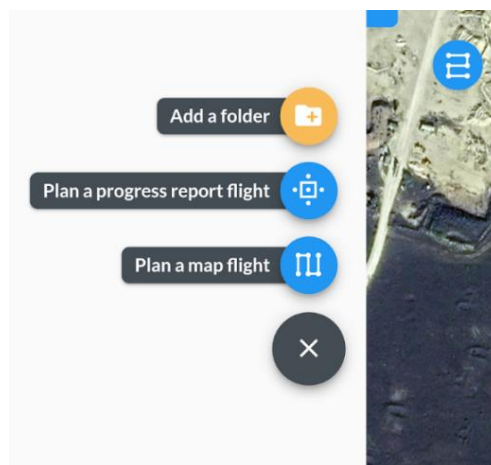
A repülésre 2018. október 06-án, egy szombati napon került sor. A repülést megelőzte egy terepbejárás, amely során a terep tulajdonságait vettük szemügyre, majd az illesztőpontok elhelyezésének legoptimálisabb helyeit kutattuk (9. ábra). Az illesztőpontok a területet egyenletesen lefedve lettek kihelyezve, szám szerint 6 darab.



9. ábra: Mintaterület látképe

6.1 Repülés megtervezése

Ezután következett a repülés megtervezése okostelefon és a DroneDeploy alkalmazás segítségével. A felhasznált UAV, a Mavic Pro Platinum nagyjából 25 percet képes a levegőben maradni optimális körülmények között egy akkumulátorral. Rendelkezésemre állt 3 akkumulátor, így már a repülés megtervezésekor figyelembe kellett vennem a lefedni kívánt terület méretét, magassági sajátosságait és egyéb adottságait. Figyelnem kellett a szélirányra és erősségre is. Minden ilyen zavaró tényező tovább csökkenti a repülési időt, amellyel számolni kell, különben nem lesz optimális a lefedett terület nagysága. A drón bekapcsolása és az okostelefon csatlakoztatása után indítható a DroneDeploy applikáció. Az indítás után a kezdőképernyő jelenik meg, ahol láthatjuk az eddigi repüléseinket dátum szerint. A repülések átnevezhetők, törölhetők, duplázhatók és módosíthatóak. Új repülés megtervezését a jobb alsó sarokban lévő + gombbal indíthatunk (10. ábra).



10. ábra: Új repülési terv létrehozása

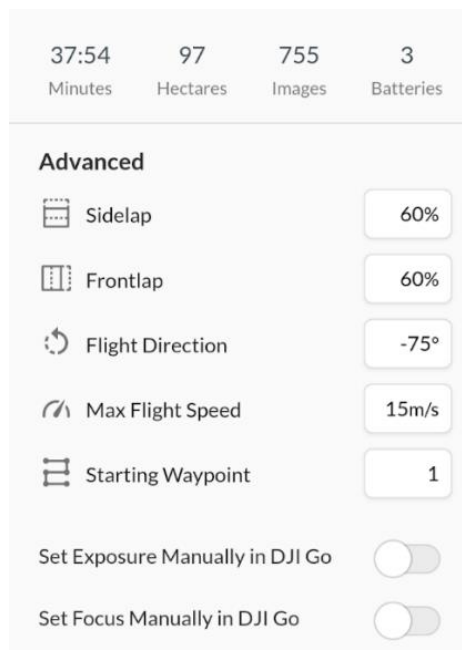
Ezt követően jelenik meg a különböző repülési terv specifikus beállítási lehetőség és információ: Repülési terv neve, tervezett repülés ideje, terület mérete hektárban, előre számított elkészítendő képek száma, a repüléshez szükséges akkumulátorok száma a becsült repülési idő alapján. Ezek az információk a lefedni kívánt terület, magasság, soron belüli és sorok közötti átfedési értékek állításával folyamatosan változnak. Ezen a felületen van lehetőségünk a repülési magasság megadására, amely esetemben 75 méterre adódott. Így a megfelelő nagyságú területet tudtam lefedni, de közben a lehetőségekhez

mérten jó felbontású képet kaptam a terepről. Fontosnak tartom megjegyezni, hogy a repülési magasság a felszállási ponton értendő, tehát ha a terep dombos, vagy egyenletesen lejtős területen található, az említett felbontási érték nem lesz a terep minden pontján azonos. Esetemben a terep legmagasabb pontjáról indítottam a repülést, így a tervezett 75m tovább nőtt a terepszint csökkenésével. A repülési magasság alatt a becsült terepi felbontás mértéke is látható, amely függ a repülő eszközön elhelyezett kamera felbontásától és a repülési magasság mértékétől.

Plan Name			
Iszkaszentgyörgy			
37:54 Minutes	97 Hectares	755 Images	3 Batteries
Flight Altitude Res: 2.2 cm / px		75m	
Structures Mode		☐	
Live Map		☐	
Obstacle Avoidance Enabled if sensors are available		☐	

10. ábra: Repülési terv alap beállításai

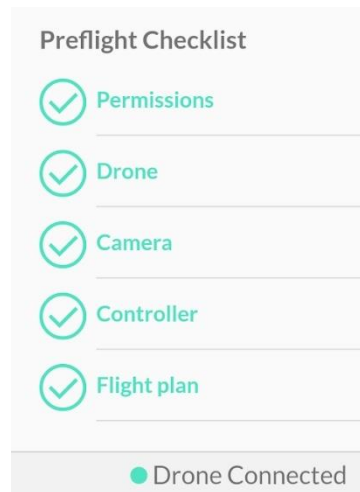
A „Structures Mode” háromdimenziós modellezés, illetve nagy értékű magassági kiugrások, tereptárgyak esetén jelent előnyt. A funkció bekapcsolásával nem csak nadír (terepre merőleges), hanem oblique (45 fokos dőlésszögben) képek is készülnek. Bekapcsolható még továbbá az akadálykikerülés és a repülési terv offline elérhetősége. A további paraméterezhetőség az „Advanced” fül alatt található. Lehetőségünk van KML és SHP poligon adatokat importálni. Ez fontos lehet abban az esetben, ha előre kijelölt területet kapunk, illetve más programból exportáljuk a térképezendő területünket, így nem kell újra megtervezni a repülési poligon határát (10. ábra).



11. ábra: Repülési terv részletes beállításai

Az „Advanced” menübe lépve beállítható a sorok közötti és soron belüli átfedés. Az adatgyűjtés során ezt az értéket 60%-ban állapítottam meg, ugyan csak a térképezendő terület mérete és a repülési idő függvényében. Beállítható a repülési tengelyek iránya fokban, ezt a program automatikusan a leghosszabb oldallal párhuzamosan próbálja meg beállítani, de ennek iránya a felhasználó igényeire szabva állítható. A szoftver szintén automatikusan állítja a repülés sebességét, alacsony magasság esetén lassabb repülést engedélyez a képvándorlás elkerülése érdekében. Ennek értéke felülírható. A „Starting Waypoint” értéke befolyásolja, hogy melyik repülési tengelytől kezdődjön a fényképezés. Utolsó 2 kapcsolóval állítható hogy manuális vagy automatikus fókusz és expozíciót szeretnénk alkalmazni (11. ábra).

A paraméterek beállítása után, a jobb alsó sarokban lévő pipával elfogadhatjuk. A szoftver ekkor egy ellenőrzési listát futtat le, elküldi a drón fedélzetére az általunk beállított repülési terv koordinátáit, beállítja a kamerát, ellenőrzi a memóriakártya meglétét és a szabad hely méretét (12. ábra).



12. ábra: Felszállás előtti ellenőrző algoritmus

6.2 Repülés folyamata

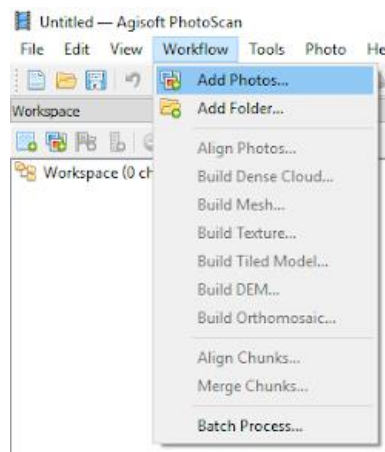
Ha mindent rendben talált, a repülőgép ikonra kattintva megkezdődik a repülés, a drón felemelkedik a beállított magasságra, a kameratengely nadír irányt vesz fel, megtörténik a fehér egyensúly, expozíció és a fókusz beállítása, majd a gép elindul az első repülési tengelyhez. Repülés közben az okostelefon képernyőjén nyomon követhető valós időben a repülés menete, az akkumulátor szintje, az elkészült képek száma, az eszköz pozíciója és annak élő kameraképe. A repülést bármikor megszakíthatjuk sport módba való kapcsolással, vagy hazatérés (Go Home) parancsot adhatunk ki a képernyőn, illetve a távirányítóval. Az akku szint határérték alá csökkenésekor a drón automatikusan visszatér a felszállási pontra, letudva a tervezett repülés egy bizonyos részét. Akkumulátor csere után a repülést ott folytatja, ahol a hazatérés pillanatában tartott, így nem keletkeznek kihagyott, de többszörösen átfedett részek sem.

A repülés nagyjából 1 órát vett igénybe, ez alatt 1131 db, 12 megapixeles fénykép készült, amely 5.34GB adatot eredményezett. Miután a repülés befejeződött, következett az illesztőpontok GNSS vevővel való bemérése, majd a pontjelek összegyűjtése a mintaterületről.

7. ADATFELDOLGOZÁS LÉPÉSEI, ELEMZÉSEK:

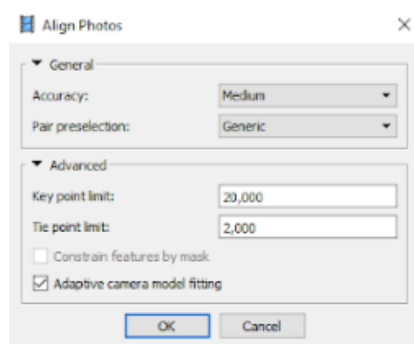
7.1 Agisoft PhotoScan – UAV felvétel feldolgozása

Az UAV-val végzett repülés készült képeket az Agisoft PhotoScan program segítségével dolgoztam fel. Ebben a fejezetben bemutatom a feldolgozás lépéseit és annak menetét.



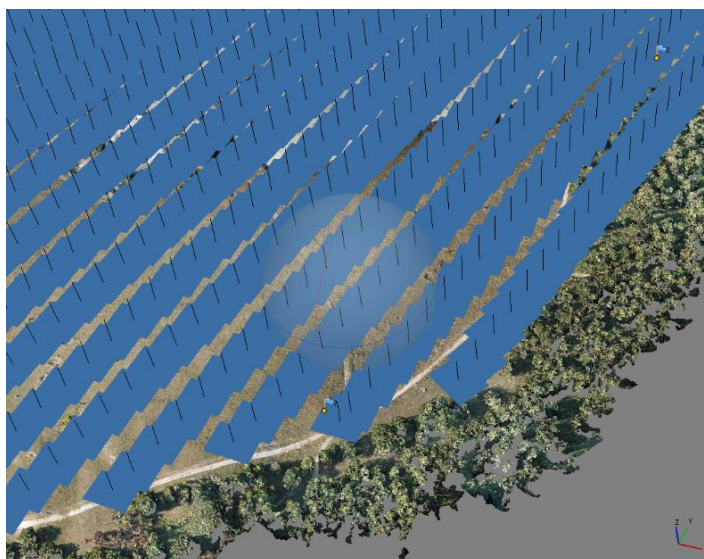
13. ábra: Képek importálása

A szoftvert elindítva a kezdőképernyő jelenik meg, ahol dönthetünk, hogy új projektet indítunk, vagy egy meglévőt folytatunk. Új projekt esetében az első lépés a képek importálása. Ehhez a bal felső eszköztáron a „Workflow” menüben az „Add Photos”-t választottam (13. ábra). Itt kijelöltem a megfelelő képeket (1131db) és hozzáadtam. A következő lépésekhez szükséges funkciókat az előzőhöz hasonlóan a „Workflow” menüből értem el. Ez a fül szisztematikusan és a feldolgozás menetét nézve sorrendben elhelyezve tartalmazza a főbb funkciókat. A képek hozzáadása után a képek illesztése történik. A szoftver automatikusan keresi az egymást fedő képeken a terepazonos pontokat (illesztőpontokat), amelyek egy képre jutó számát és az illesztés pontosságát a felhasználó állíthatja be. Az illesztésre medium (közepes) értéket, illetve képenként 20.000 pontot állítottam be (14. ábra). A képek illesztésének futási ideje nagyban függ a feldolgozni kívánt képek számától, továbbá a beállított minőségi és mennyiségi paraméterektől.



14. ábra: képek illesztésének paraméterei

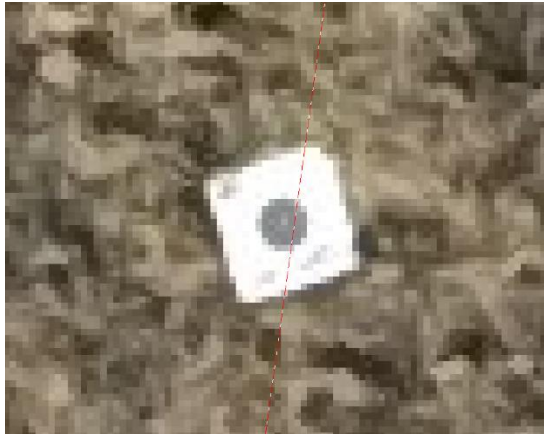
Az illesztést követően a lefedett területről egy átfogó képet kapunk illetve láthatóvá válik a képek felvételezési helye. A modelltérben leképződik egy ritka pontfelhő is az illesztett képek alapján (15. ábra).



15. ábra: Képek illesztése EXIF információk alapján

Következő lépés az illesztőpontok képeken való megjelölése. Az átfedés mértékétől és a repülés magasságától függően egyes illesztőpontok 15-20 képen is megjelenhetnek.

Az „Import” funkció segítségével az illesztőpontok koordinátáit behívtam a programba, majd képenként megjelöltem a terepazonos pontokat. Az első pont („Marker”) elhelyezése után a program egy epipoláris egyenes mentén jelöli a következő képen ugyanannak az illesztőpontnak a helyét (16. ábra).



16. ábra: Epipoláris segédegyenes megjelenése az első illesztőpont elhelyezése után

A második képen történt illesztés után a PhotoScan automatikusan felismeri az összes képet, amelyiken az adott illesztőpont megjelenik és közelítőleg el is helyezi. A teendőm ezek finom igazítása és átvizsgálása volt. Hasonlóan végeztem a további 5 illesztőpont elhelyezését is (17. ábra).



17. ábra: Illesztőpontok pontos megjelölése

Pontosabb eredmény elérése érdekében fontos elvégezni a kamera kalibrációt. A program EXIF (fényképeken tárolt kamera információk) információk alapján képes a kamera pozíciók és a képek egymáshoz viszonyított helyzetének korrigálására. A “Tools” menüben a “Camera Calibration” -ra navigálva a felugró ablakon lehetőség van a kamera adatok megadására. Itt az “Adjusted” fülre kattintva a gyári kamera adatokkal való javítást választottam.

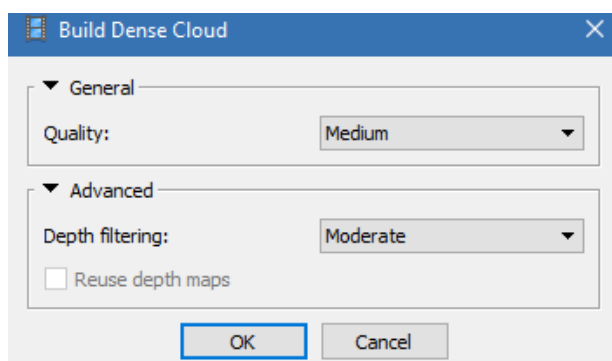
Miután ezt elfogadtam az “Ok” gombbal, ugyancsak a “Tools” menüben az “Optimize Cameras” funkcióval indítottam el a kalibrálást. A program ezt viszonylag kis futásidejű

számítással elvégezte. Az illesztést követően már országos koordinátarendszerben dolgozhatunk, a szoftver egy táblázat formájában kimutatja illesztőpontonként eltéréseket pixel és méter mértékegységben, amely a feladatom pontossági igényeit tekintve megfelelőnek bizonyult. Látható továbbá, hogy hány felvételen képződött le az adott pont (Projections), azok koordinátái és az összesített hibaelterés (Total Error) (17. ábra).

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
☒ 1	591242.617000	209534.928000	248.030000	0.005000	0.058008	8	0.213
☒ 2	591567.286000	210120.003000	217.130000	0.005000	0.063866	17	0.176
☒ 3	591293.043000	210382.792000	203.930000	0.005000	0.048595	11	0.237
☒ 4	590945.216000	210170.962000	217.555000	0.005000	0.058094	12	0.153
☒ 5	591041.311000	209748.157000	231.549000	0.005000	0.092100	12	0.235
☒ 7	591448.479000	209674.039000	243.598000	0.005000	0.075358	12	0.154
Total Error							
Control points					0.067505		0.195
Check points							

17. ábra: Illesztést követő maradék ellentmondások méter és pixel mértékegységben

Miután megbizonyosodtam, hogy megfelelő a pontosság, a sűrű pontfelhő (Dense Cloud)generálása következett. A „Workflow” lenyíló menüben a „Build Dense Cloud” funkciót kiválasztva 2 beállítási lehetőség kínálkozik. Egyik a pontfelhő generálás pontossága (Quality) a másik pedig a magassági szűrés (Depth Filtering). A szűrést hagytam a gyári moderált beállításon, mivel a területemen nagy magassági kiugrások nem voltak. A pontfelhő pontosságának közepeset választottam (18. ábra).



18. ábra: Sűrű pontfelhő generálás beállításai

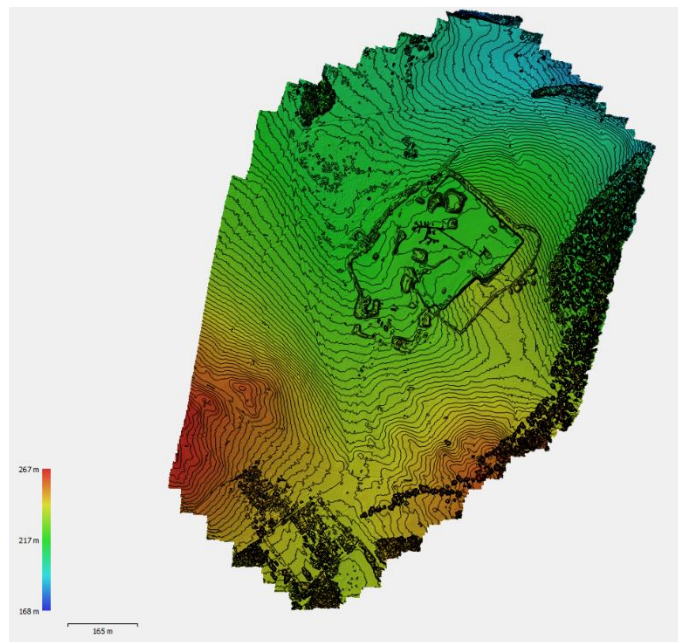
A több órás számítási folyamatot követően a modelltérben megjelenik a sűrű pontfelhő, amely több mint 71 millió pontból áll (19. ábra). A sűrű pontfelhő a terep sokkal plasztikusabb ábrázolását teszi lehetővé, de továbbra sem alkot felületet, így számomra a probléma vizsgálatához nem elegendő.



19. ábra: A bánya sűrű pontfelhőként való leképződése

DEM: magyarul DDM, A Digitális Domborzatmodell esetében a magassági adatok a fizikai földfelszínre vonatkoznak. A rajta lévő tereptárgyak magassági értékeit nem vesszük figyelembe. A terület mentes volt mesterséges tereptárgyaktól, így a modellezést ez a tényező megkönnyítette.

Digitális domborzatmodell ábrázolásához a „Workflow” menü „Build DEM” (Digital Elevation model) menüt választottam. A paraméterek beállítása után eredményül egy magasságilag hűen színezett modellt kaptam. További szemléltetésképpen a modellre szintvonalakat illesztettem. A szintvonal generálás a „Tools” menü „Generate Contours” menüponttal indítható.



20. ábra: DEM leképződése a szintvonalakkal

A végeredmény egy magassági modell, amely színekkel és szintvonalakkal is hűen, plasztikusan ábrázolja a terepet (20. ábra). A modell alapján könnyedén végezhetünk további számításokat. Számításaink lehetnek mennyiségi és minőségi értelmezések is. [14]

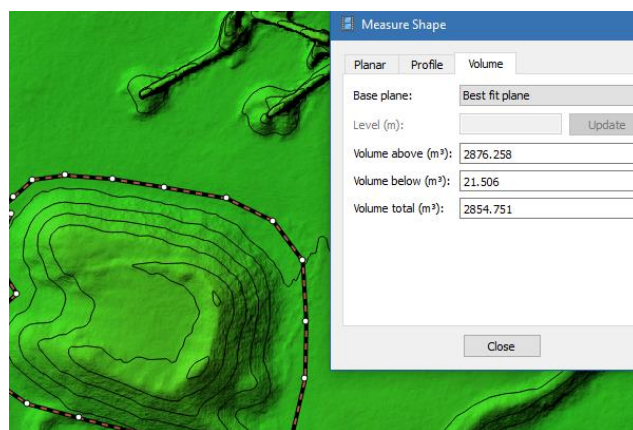
7.1.1 Kubatúraszámítás

A digitális domborzatmodell segítségével kubatúraszámítást/térfogatszámítást végezhetünk egy adott poligonon belül. Tegyük fel, hogy földtömeget szeretnénk számolni. Első lépés, hogy lehatároljuk az adott idomot egy poligonnal, ügyelve hogy az egész számítandó terület a poligon körvonalán belül maradjon. A poligon rajzolást a felső eszköztáron a „Draw polygon” menüponttal lehet indítani. A lehatárolás után, egy dupla kattintást követően a szoftver bezárja az alakzatot. Kurzorra visszaváltva és az alakzaton jobb egérrel kattintva felugrik egy menü, ahol több lehetőség közül a „Measure” jelenti a számítást. A szoftver a poligon körvonalának síkjával elmetszi a terepszintet, amelyet alapszintként kezel. A futást követően megjelennek az alakzatot alkotó pontok, azok koordinátái, magassága (21. ábra).

Measure Shape			
Planar Profile Volume			
Point	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	591215.218	210064.385	219.923
2	591213.424	210060.276	220.009
3	591214.003	210056.166	220.293
4	591216.029	210052.983	220.689
5	591212.903	210050.147	220.370
6	591209.951	210045.690	220.402
7	591210.530	210042.159	220.376
8	591217.476	210037.240	220.111
9	591224.884	210035.214	220.595
Perimeter (m): 149.505			
Area (m ²): 1487.874			
Close			

21. ábra: Poligon tulajdonságai

A „Volume” fülön szemlélhető a lefedett terület köbméterben számított térfogata (Volume above). A számítás finoman hangolható azáltal, hogy egyedi magasságot adunk meg, például, ha az alapszinten magasságot mértünk és ezt pontosabbnak véljük. Amennyiben a terepet metsző alapszintnél alacsonyabban fekvő tereppontok is vannak, a szoftver számítja annak térfogatát is (Volume below). Az összesített köbméter érték a „Volume total” sorban olvasható (22. ábra).

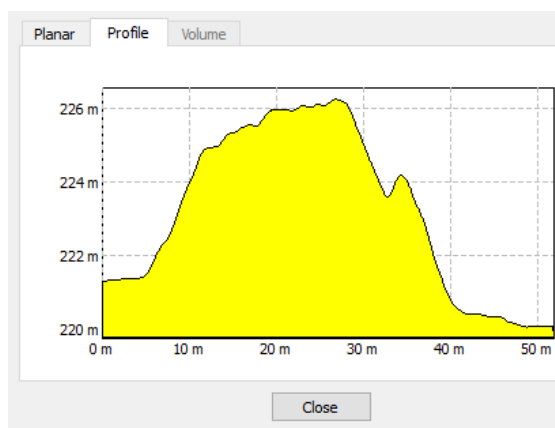


22. ábra: A poligonnal körbekerített depó földtömeg számítása

7.1.2 Keresztmetszet, keresztaszelvény generálás

A PhotoScan lehetőséget ad a terep függőleges síkkal elmetszett képének ábrázolására. A metszeni kívánt terep mentén egy egyenest húzunk a „Draw Polyline” funkcióval. Jobb

egérgombbal kattintva a vonalon „Measure”, majd „Profile” fül alatt magassági skálán látható az egyenes mentén elmetezett terep képe (23. ábra). A vízszintes tengely a metszési vonal hosszát, a függőleges tengely a terep magasságát jelöli.

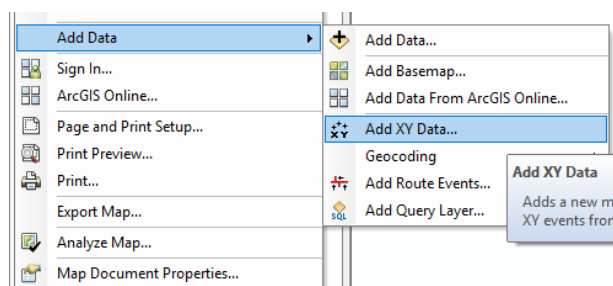


23. ábra: Depó keresztmetszete

7.2 ArcGIS – LIDAR felvétel feldolgozása

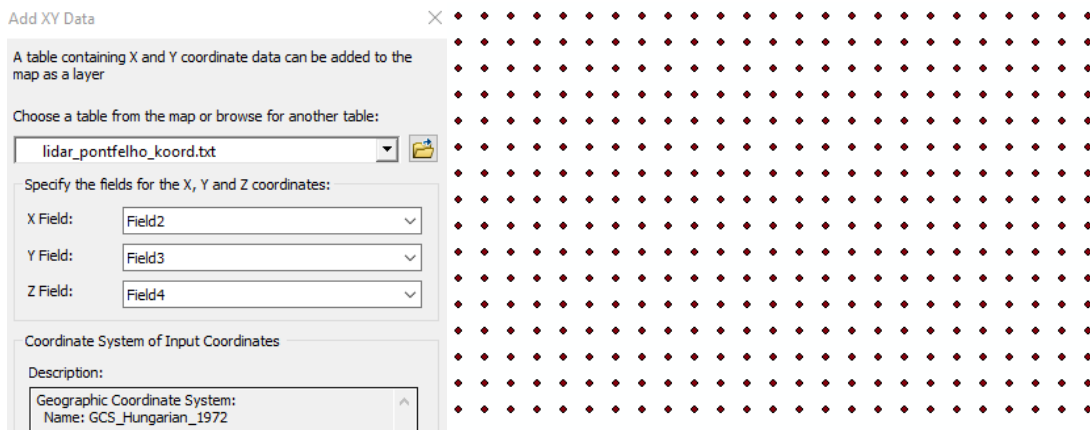
Az ArcGIS szoftvermoduljai közül az ArcMAP-et használtam a feldolgozás során. A feldolgozni kívánt LIDAR állomány egy pontokat koordinátaival leíró .txt kiterjesztésű szövegfájlként állt rendelkezésemre. A pontok távolsága a terepen 1m.

A szoftver indításakor egy üres modell nézet „Blank Map” jelenik meg. XYZ pontok importálásához a „File” menü, „Add Data”, „Add XY Data...” menüpontba kell navigálni (24. ábra).



24. ábra: Pontok importálásának lépései

A felugró ablakban tallózható az importálandó fájl, megadhatók a megfelelő koordináták oszlopai és a vetületi rendszer, esetemben „Hungarian Datum 1972”.



25. ábra: Pontfelhő importálása és leképződése a modelltérben

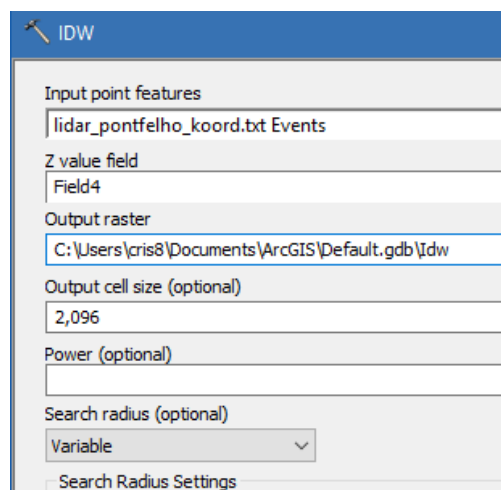
A beállítások elfogadása után az ArcGIS betölti a pontokat, melyek a modell térben szemléltethetők. Látható, hogy a pontok egyenletes rácsháló formában helyezkednek el, 1m-es távolságban egymástól (25. ábra).

Az importált adatok tulajdonságait is megtekinthetjük. Ezt a „Table of Contents” oszlopban a megfelelő adatstruktúrán jobb egérgombbal kattintva, a „Properties” fülön érhetjük el. Az adatok tulajdonságainál rengeteg dolgot tudunk paraméterezni: szimbólumok, méretarány, megjelenítési méretezés, szín, kategorizálás, feliratozás, osztályozás, metaadatok. Az attribútum adatokat ugyanebben a felugró menüben, „Open Attribute Table” opcióval érjük el. Az attribútum táblázat tartalmazza az adott adathalmaz felépítését, tárolt információit, adatait sor-oszlop felosztásban.

A felszínmodell generálásához meg kell adni, hogy melyik oszlop milyen információt tárol, ezért itt előzőleg érdemes feljegyezni ezeket. A felszínmodell egy interpoláció (Súlyozott számtani közép) következtében jön létre az IDW (Inverse distance weighted) számítás eredményeképpen. Ahhoz, hogy ezt a funkciót elérhetővé tegyük, aktiválnunk kell a 3D analízis és az Arc Toolbox eszköztárat. A felső eszköztáron „Customize” lenyíló menüben az „Extensions” felugró ablaknál az „Arc Toolbox” és a „3D Analyst” eszköztárakat kell bepipálni, majd „OK”. A súlyozott számtani közép (IDW) számítás az „Arc Toolbox” eszköztáron belül Spatial Analyst Tools / Interpolation / IDW almenübe navigálva érhető el.

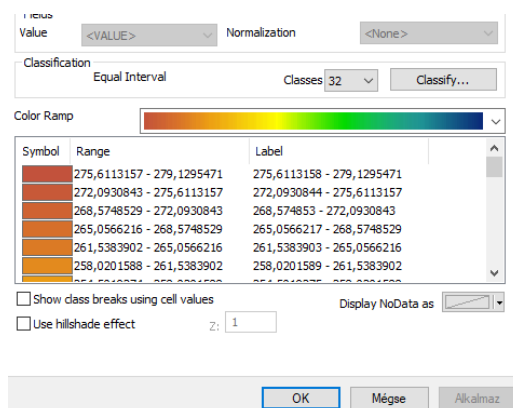
7.2.1 Súlyozott számtani közép

Angolul IDW egy olyan interpolációs eljárás, amely egy vízszintes kiegyenlítő síkot vesz alapul. Lényege, hogy a szoftver a közelben lévő pontok magasságával súlyozott számtani közepet számol és a kapott értéket elosztja az interpolálandó területre. A számolás során a súly, mint tényező fordítottan arányos.



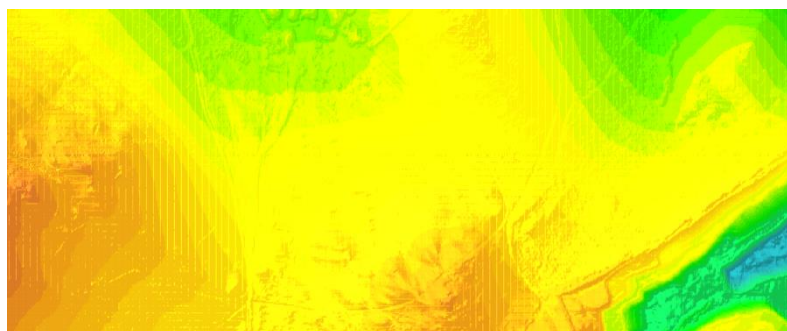
26. ábra: IDW futtatás előtti paraméterezése

Generáláskor meg kell adnunk a bemenő adatokat tartalmazó file-t, amely esetemben a pontfelhőt tartalmazó.txt file. Második sorban az attribútum adatok közül meg kell adni a magasságot tartalmazó „Z” oszlopot (26. ábra). Mentés helye és a cellaméret beállítása után futtatható a számítás. Ezt követően a bal oldalon a „Table of Contents” menüben megjelenik a végeredmény, a hozzá rendelt magassági értékekkel és osztályozással. Jobb egérgombbal kattintva a tulajdonságoknál állíthatók be a kategorizáláshoz rendelt színek és azok számai. Minél több kategóriát állítunk be, annál szebb, plasztikusabb és részletesebb modellt kapunk. Kategóriák színezése terén választhatunk egyedieket, több szín keveréséből előállított színátmenetes, vagy egy szín árnyalataival szemléltetett közül (27. ábra)



27. ábra: Megjelenítési lehetőségek

Az osztályok számát a maximális 32-re állítottam, így kaptam a lehető legplasztikusabb ábrázolást. A színezéskor a vöröstől a kékig terjedő színskálát állítottam be. A vörös terület magasabban, a zöldes, kékes területek mélyebben fekszenek a modellen (28. ábra)



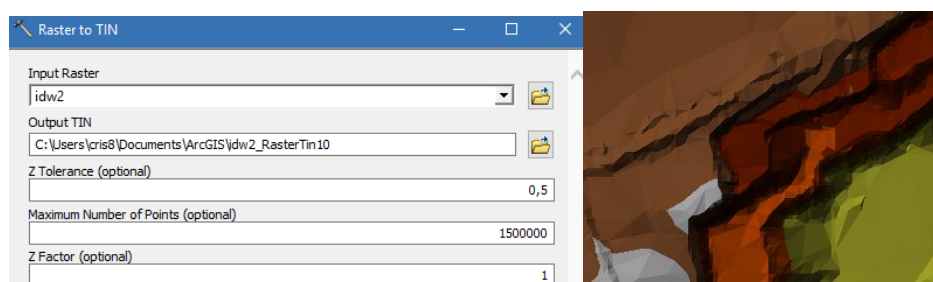
28. ábra: IDW színskálával ellátott modellje

7.2.2 TIN modell (szabálytalan háromszög modell) generálása

TIN: (Triangulated Irregular Network) Szabálytalan háromszög hálózatot jelent tükörfordításban. A modell a felszínt háromszögekből építi fel. Alakja és elrendezése szabálytalan, de elmondható, hogy a nagy magasságkülönbségű területek váltakozásakor sűrűbb és kisebb háromszöget alkotják a modellt, míg a sík területeken nagyobb és ritkább háromszögekből építkezik.

A felszín további vizsgálataihoz szükségem volt egy TIN modell-re, amelyen számításokat végezhetek. A probléma megoldásához az ArcGIS TIN generáló funkcióját

használtam. Kiinduló adatként rendelkezésemre állt a fent generált raszter modell. Az Arc Toolbox eszköztáron belül a „3D Analyst Tools/Conversion/From Raster/Raster to TIN” menüpontját választottam.

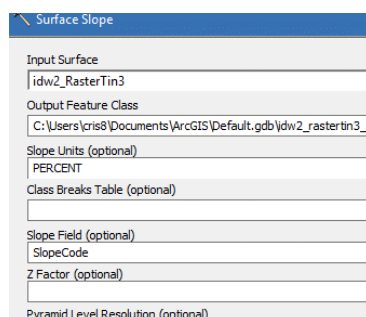


29. ábra: TIN konverzió beállításai és a leképződött háromszögmodell

Bemeneti adatként megadtam a raszter file-t, kimeneti adatként a TIN modell nevét és magassági toleranciának fél métert állítottam be. A számítás lefutása után a terep háromszögekből alkotott és magasság szerint hűen színezett modellje jön létre (29. ábra).

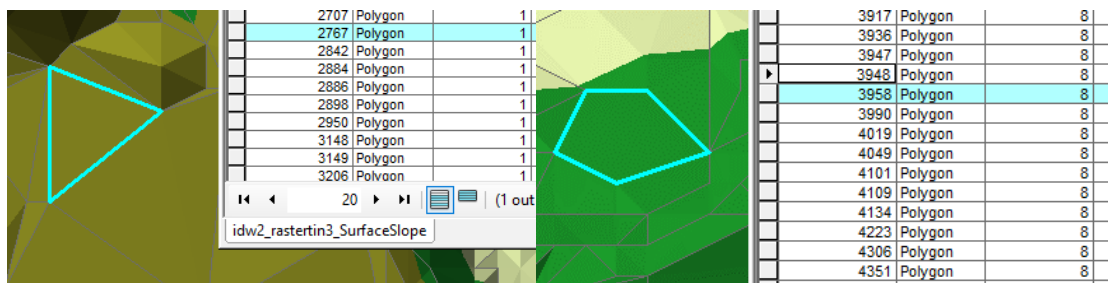
7.2.3 Lejtőkategóriák vizsgálata

Tervezések alapjaként illetve terepfelvételezés esetén fontos lehet a talaj lejtő kategóriáinak vizsgálata. Az ArcGIS és a TIN modell segítségével a felületen lejtőkategóriák számíthatók, majd ezeket szegmentálhatjuk és osztályba sorolhatjuk. Az ehhez szükséges menüpont a Toolbox eszköztárban „3D Analyst Tools/Triangulated Surface/Surface Slope” néven található. Az input adat a generált TIN modell, output a lejtőkategóriák neve. Kiválasztható „Slope Units” azaz lejtő mértékegységként hogy százalékos vagy fok kijelzést szeretnénk. A „Slope Field” sorban megadhatjuk, hogy mely oszlop tartalmazza a lejtő besorolását (30. ábra).



30. ábra: Lejtőkategóriák létrehozása ArcGIS-ben

Az osztályozás futtatása után a létrejött réteg attribútum táblázatát szemlélve látható a lejtő értékek 1 és 8 érték közötti eloszlása. Az értékek értelmezése a számok növekedésével történő egyre nagyobb meredekséget jelenti. A TIN modellt megjelenítve háttérként jól szemlélhető, hogy az 1 és 2 „SlopeCode” értékekkel rendelkező alakzatok viszonylag sík területekre esnek, míg a 7-8 értékkel rendelkezők nagy magasságkülönbég hirtelen váltakozásakor létrejövő meredek részsű, illetve partfal mentén helyezkednek el (31. ábra). A végeredmény exportálható réteggént, illetve CAD rajzként is további elemzés céljából.

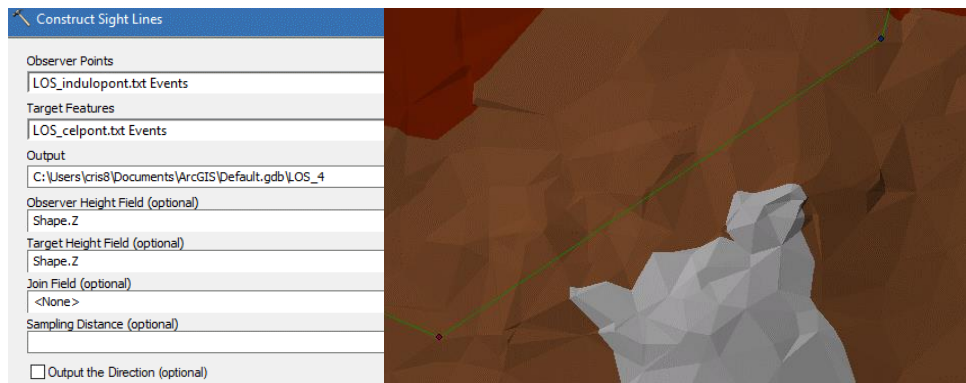


31. ábra: Kisebb és nagyobb lejtésű területek besorolása a megfelelő osztályokba

7.2.4 Láthatóságvizsgálat

Különböző építmények, átjáró tornyok, antennák elhelyezésekor kulcsfontosságú a megfelelő összelátás 2 terepi pont között. A LIDAR felvételeket eleinte direkt láthatóságvizsgálati célból rendelték meg és használták széles körben, viszont ez hatalmas költségeket is jelentett. Ennek a problémának a vizsgálatára és szemléltetésére végeztem az UAV repüléshez mért illesztőpontok között összelátás számításokat a LIDAR felvétel alapján. A feladat megoldásához két módszert is kipróbáltam, az egyik a 3D Analyst eszköztárból indítható egyszerűbb, bármely 2 pont között elvégezhető összelátás vizsgálat. A másik módszer esetében előre meg kell adnunk a kezdő és végpontokat tartalmazó állományokat és egyéb paramétereket. Komplexebb, több pont közötti vizsgálat esetében ez a módszer időtakarékosabb. Az összelátás vizsgálatához vonalakat kell első lépésben generálni a pontok között. Ehhez az összelátás szempontjából vizsgált pontokat tartalmazó állományokat kell importálni. A láthatósági vonal generálás a Toolbox menüben, „3D Analyst Tools/Visibility/Construct Sight Lines” menüpontban található (32. ábra).

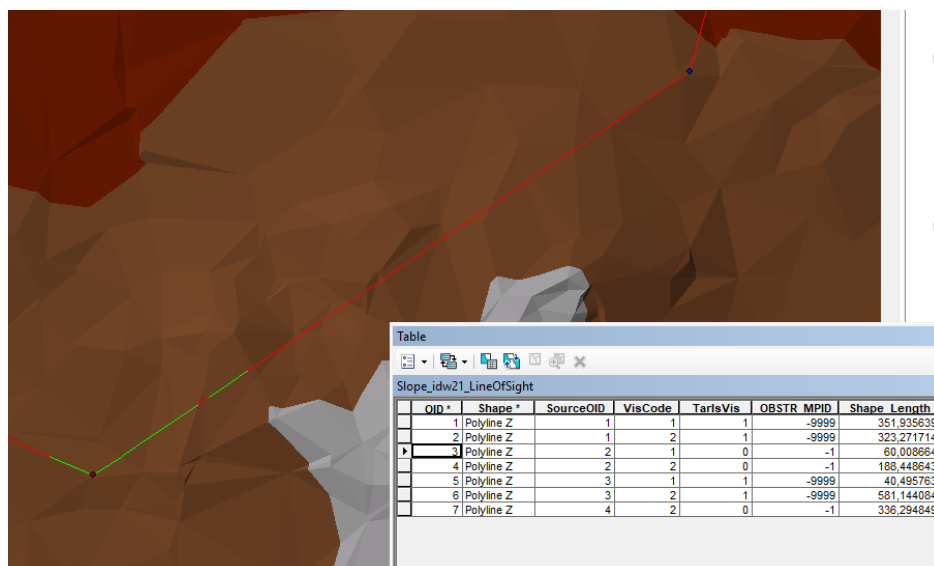
Bemenő adat a 2 vizsgálandó pont állomány, továbbá a magassági adatokra vonatkozó oszlop. Megadható a megfigyelő (Observer Height Field) és a célpont (Target Height Field) magassága is. Ez hasznos abban az esetben, ha tudjuk a megtervezni kívánt építmény magasságát illetve a megfigyelő (vevő, átjátszó, kamera) magasságát.



32. ábra: Láthatósági vonalak generálása a TIN modellen

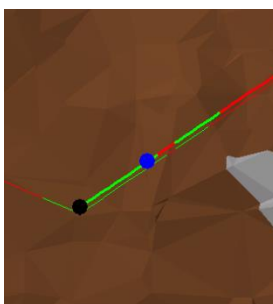
A szoftver a megadott pontokat összeköti, ez alapján történik a számítás következő lépése.

A „3D Analyst Tools/Visibility/Line Of Sight” funkciót használva a felugró ablakban a szükséges adatok az előbb létrehozott láthatósági vonalak, illetve a generált TIN modell, amelyen a számítást el szeretnénk végezni. A számítás végkimenetelét befolyásoló terepen lévő további akadályok esetén, ezek adatállománya is importálható.



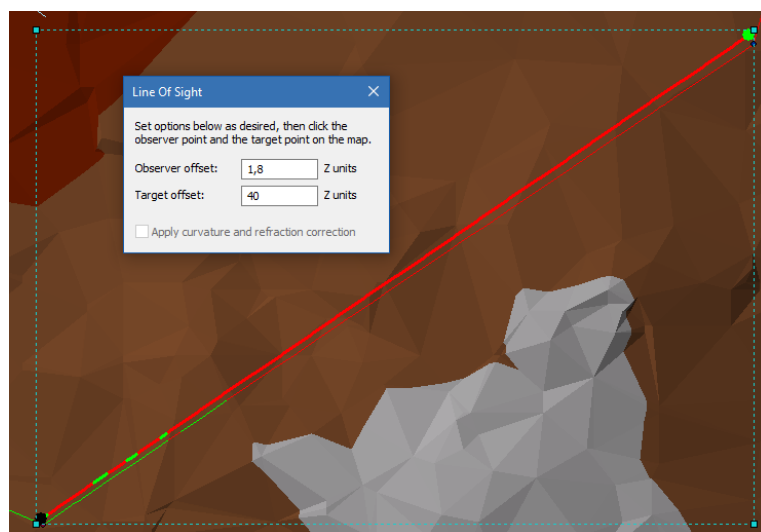
33. ábra: Összelátás elemzése a láthatósági vonalak mentén

A számítás eredménye a pontokat összekötő vonalakra fektetett piros és zöld szakaszok, melyek a megfigyelő nézőpontból látható és nem látható felszínrészeket jelölik (33. ábra). A láthatóságot továbbá a „VisCode” érték jelöli az attribútum adatok között. Az 1-es értékkel jelölt zöld szakaszok a látható felületet, a 2-vel jelölt piros szakaszok a nem látható felszín jelölik. A létrejött réteg .DWG és egyéb CAD állományként exportálható. Második esetben a „3D Analyst” külső eszköztárában lévő láthatóságvizsgálat funkciójával is elvégeztem ugyanannak a 2 pontnak az összehasonlítását vizsgálatát.



34. ábra: 2 láthatósági elemzés összehasonlítása

A számítás hasonló eredményt mutatott az előző számításhoz képest (34. ábra). Érdekességgént elemeztem, vajon hány méter magasnak kellene lennie egy toronynak a végpontnál, hogy én az 1.80 m magasságommal lássam a tetejét? Kérdésemre azt a választ kaptam, hogy legalább 40 méter magasnak kell lennie a toronynak ahhoz, hogy lássam a tetejét (35. ábra).



35. ábra: 40 méteren már látható lenne számomra a torony

7.3 CloudCompare – LIDAR és UAV pontfelhők összehasonlítása

Látványos és érdekes összehasonlítási alap lehet kettő, azonos terepről, de időben nagyobb távlatot felölelő felvételezés eredményeképpen kapott pontfelhő. Különösen akkor, ha a modellezni kívánt létesítmény időben nem állandó és hajlamos a változásra. Ilyen objektum lehet például bármely földmunka, építmények létesítése és megszüntetése, földcsuszamlás, süllyedés, környezeti károk, katasztrófa érintett területek, belvíz, árvíz. A teszterületen elhelyezkedő kőbánya is folyamatos és aktív használatban van, ami azt jelenti hogy folyik a kitermelés, így a kitermelt földmennyiség és a terepszint, esetleg a bánya méretének változása modellezhető, ha van 2 eltérő időben készült felvételezésünk.

Az általam végzett UAV felvételezés és a LIDAR felvétel között 10 év telt el. Ez elegendő idő ahhoz, hogy nagyobb, lassabban lefolyó változásokat is képesek legyünk érzékelni, modellezni.

A számítások elvégzéséhez a CloudCompare szoftvert használtam, amely többek közt épp ilyen és ehhez hasonló pontfelhő-pontfelhő közötti vizsgálatokra készült.

Az UAV felvételeket előzetesen az Agisoft PhotoScan szoftverrel dolgoztam fel. Az itt végtermékként exportált .LAS kiterjesztésű pontfelhő állomány alkotta az összehasonlítás alapját. A LIDAR-os módszerrel készült pontfelhő nem igényelt előfeldolgozást, így egyből importálhattam a szoftver segítségével.

A LIDAR felvételezés pontjai EOVS (Egységes Országos Vetület) rendszerűek. Ahhoz, hogy az UAV pontfelhő megfelelően illeszkedjen, előzetesen az Agisoft PhotoScan feldolgozás során georeferálást kellett végezni az illesztőpontok segítségével (36. ábra). Az alábbi képen jól látszik a LIDAR és a légifotókból előállított georeferált pontfelhő illeszkedése.



36. ábra: A két pontfelhő illeszkedése az EOVS rendszerben

Azonos kameraszögből szemlélve és a két pontfelhő rétegének ki-bekapcsolásával szembevető a bányás 10 év alatt bekövetkezett változása. Például a bányás területe és a kitermelés mértéke megnövekedett, egyes depók eltűntek, míg másutt újak jöttek létre (37. ábra). A megjelenítés szempontjából a LIDAR esetében nincs pontfelhő színezés, az általam készített pontfelhőnél pedig RGB valós színes megjelenítés került alkalmazásra.



37. ábra: azonos kameraállásból szemlélt UAV és LIDAR pontfelhő

A két pontfelhő esetében elmondható, hogy a LIDAR felvétel csak a felszínt ábrázolja, minden zavaró tereptárgy és növényzet nélkül. A növényzet esetében a többszörös mintavételezésnek és a lézer terjedési tulajdonságainak köszönhetően választhatunk, hogy a talaj vagy a növényzetről érkező sugárnyalábot érzékeljük, míg tereptárgyaknál

az utómunka eredményeképpen szabadulhatunk meg a számunkra felesleges adatoktól. Az általam feldolgozott állomány mentes volt minden ilyen jellegű tereptárgytól. Az UAV felmérésből származó pontfelhőn megjelennek a „zaj”-nak nevezett és az elemzés szempontjából hátráltató tényezőként jelentkező növényzet, terepi objektumok, járművek és minden olyan dolog, amely egy fotón is leképződik.. A bánya területe elég homogén, így a környező területek leválogatásával megfelelő összehasonlítási alapot kaptam. A kivágást a CloudCompare beépített szelektálás funkciójával végeztem el. Ahhoz hogy mind a 2 pontfelhőn ugyanazok részek legyenek leválogatva, kijelöltem mind a kettőt a rétegek eszköztáron, majd elkezdtem lehatárolni egy poligonnal a bánya területét (38. ábra). A lehatárolást után a kijelölt területek külön réteggént jelennek meg minden állomány esetében.

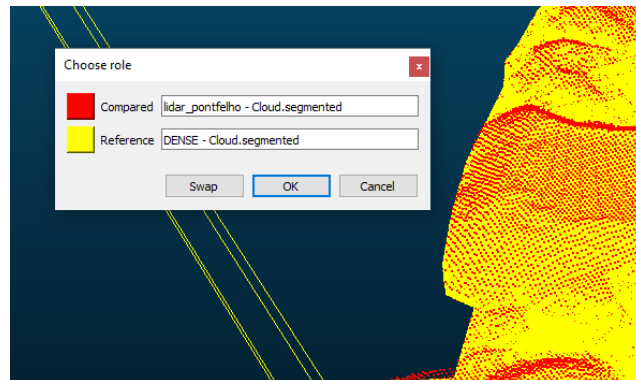


38. ábra: Elemzés alapját szolgáló bányarész kivágat

7.3.1 Pontfelhők összehasonlítása

Az eltérések kimutatásához a szoftver pontfelhő – pontfelhő közötti távolság számítás funkcióját használtam. Ebben az esetben is fontos a 2 állomány kijelölése, amelyen a műveletet szeretnénk végezni (39. ábra). Megadható a referencia (kiinduló állapot) és az ahhoz hasonlított (jelenlegi állapot) állomány. Tapasztalataim szerint ez a beállítás a szemléltetés szerepében játszik legnagyobb szerepet, a szoftver nem a referencia, hanem az ahhoz hasonlított pontfelhőt színezi. Ezért referenciának én az UAV felmérésből

származó pontfelhőt, hasonlításkepp pedig a LIDAR állományt adtam meg, így látszik jóla lidar pontfelhőn a kitermelt földmennyiség.

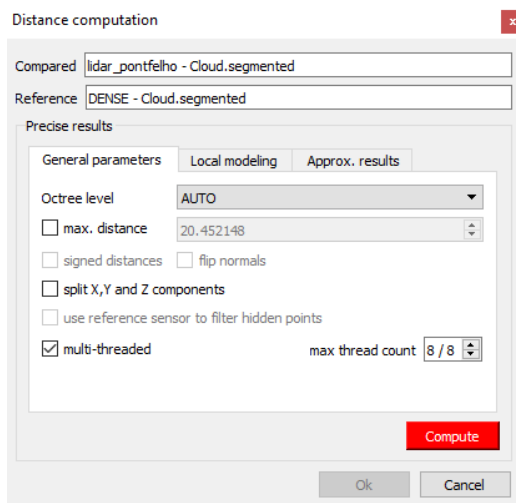


39. ábra: pontfelhők importálása

Az algoritmus először futtat egy durva számítást, amely számszerű adatokat egyelőre nem takar. A pontfelhőt a távolság arányában színezi kéktől a pirosig, ahol a piros jelenti a legnagyobb mértékű távolságkülönbséget. A durva számítás szükséges a programnak a megfelelő „octree” szint beállításához. Az „Octree” szint a befoglaló téglalap alakzatokat jelöli, amelyek között a számítás végbemegy. Ezt az értéket érdemes „AUTO” értéken hagyni, mivel a számítás így a leghatékonyabb.

A felugró „Distance computation” ablakban a „General parameters” fülön a számításhoz szükséges finomhangolási paraméterek adhatók meg. „Octree” szint, maximum távolság, amely automatikusan a 2 pontfelhő legnagyobb pontban mért távolsága, X,Y,Z tengelyek szerinti külön skalár eltérések számolása, számításhoz dedikált processzorszálok száma (40. ábra).

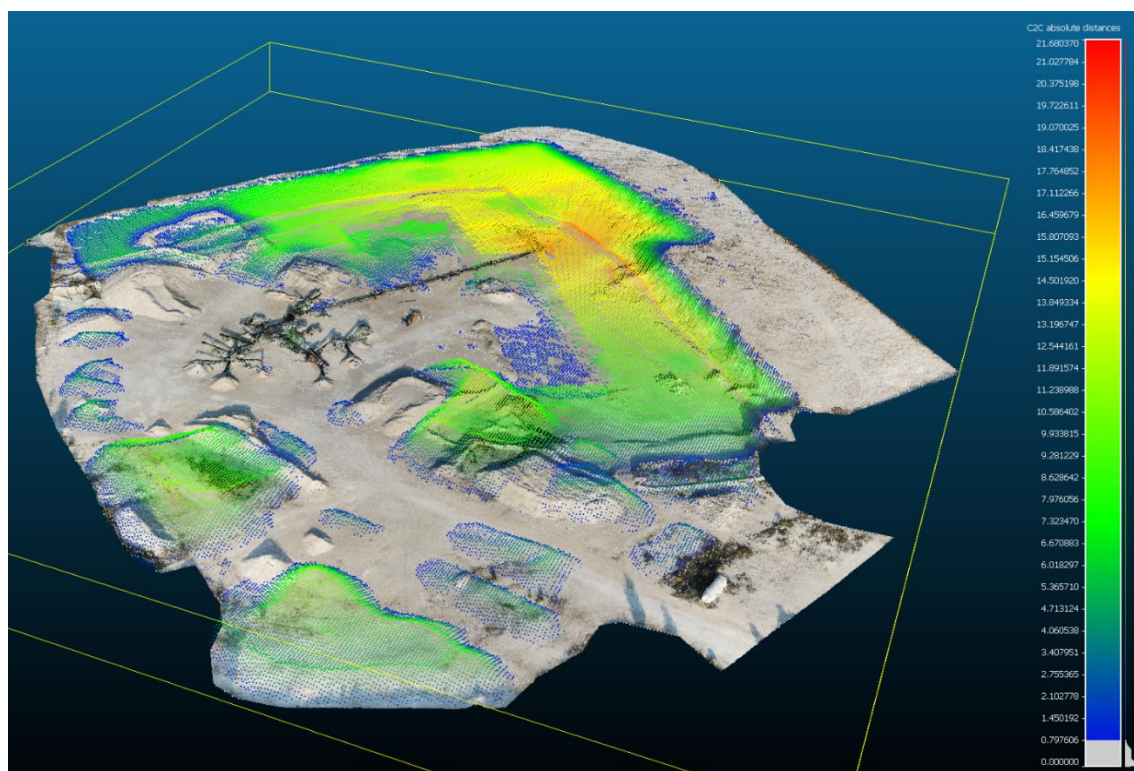
A maximum távolság értéke hagyható a szoftver által számolt gyári beállításon, módosítása abban az esetben fontos, amikor az összehasonlítandó pontfelhők közötti távolság nagy, így a számítás ideje megnövekedhet. A maximum távolság értékénél nagyobb távolságban lévő pontok nem kerülnek számításra, helyette az általunk beállított értékkel lesznek helyettesítve.



40. ábra: távolság számítás paraméterezése

A „Local modeling” azaz helyi modellezés fülön különböző számítási algoritmusok közül választhatunk (Quadratic, Triangulation, Least square plane). Ha a beállítás gyári „NONE” értéken van, akkor a legközelebbi szomszéd módszerét alkalmazza a program. A probléma ezzel az, hogy a legközelebbi szomszéd általában nem a legközelebbi szomszéd a felületen, amelyet a pontfelhő jellemez. Ez különösen igaz, ha a referencia pontfelhő alacsony felbontású (pontfelhő pontjai közt nagy távolság van) vagy nagy lyukak vannak benne. Ebben az esetben hasznos a helyi modellezés, amely a legközelebbi pont közelében egy modellt számol, így pontosabb valódi távolságot tud számolni. Összességében elmondható, hogy a fentiek miatt érdemes a referencia állományként a sűrűbb pontfelhőt alkalmazni, ahogy azt tettem az UAV pontfelhő kiválasztásával. Számadatok szerint a metszett LIDAR felvétel 94 640, az UAV felvétel 6 594 077 pontból áll.

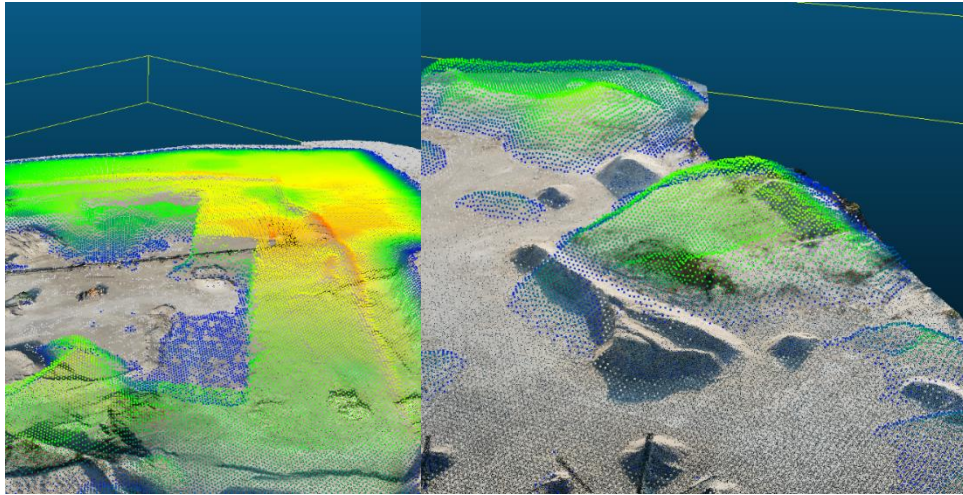
A 3. fül „Approx. Results” csak a durva számítási értékeket mutatja, amelyek a további paraméterezhetőség érdekében kerülnek megjelenítésre. A számítást követően az ablak bezárható és vizsgálatainkat a modell térben folytathatjuk.



41. ábra: LIDAR és UAV pontfelhők magassági eltéréseinek ábrázolása

Végeredmény egy meglehetősen plasztikus megjelenésű távolság szemléltetés. Egyszerre látható a LIDAR és az UAV pontfelhő. A szoftver hasonlítóképpen az importált pontfelhőt az eltérés nagyságának megfelelően színezi. A színskála saját preferenciánk szerint állítható, én ezt hagytam az alap kéktől pirosig terjedő spektrumon, így vizuálisan jól követhető az elhordott földtömeg mértéke (41. ábra).

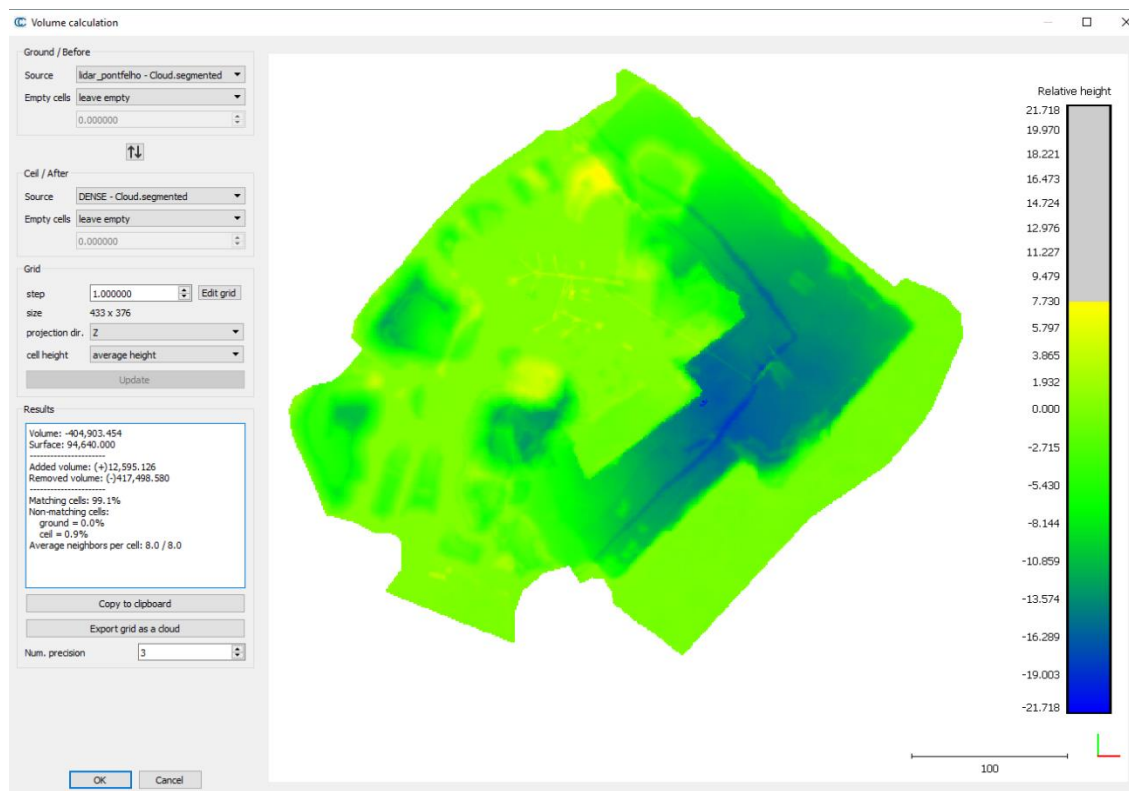
A bánya délkeleti részéről történt a legtöbb kitermelés, itt látható a legnagyobb mértékű eltérés a két pontfelhő között. Jelentős mennyiségű eltérés jelentkezik a depók esetében is, több helyen a depók körvonala az aktuális UAV felvételen jól látszik, az átfedett 10 évvel ezelőtti felvételen pedig az eltérés nagysága és az egykori depó helye vizuálisan követhető (42. ábra). Délnyugati irányban jól kivehető a partfal egykori helyzete, amely az évek során 100 méterrel tolódott el a legszélesebb pontjában.



42. ábra: Termelés következtében elmozduló partfal

7.3.2 Kubatúra számítás

A pontfelhők közötti eltérések számszerű adatok formájában is kimutathatók a CloudCompare „Volume calculation” modulja segítségével. Input adat a LIDAR pontfelhő, amely az „előtte” állapot (before) és az UAV pontfelhő amely „utána” (after) állapot. Mivel pontfelhőim elég sűrűek voltak, így az üres cellákra vonatkozó átlagolást és interpolációt nem állítottam be. A vetítés iránya, azaz az általunk vizsgált eltérés irányának tengelye a „projection dir.” menüpontban állítható, amely esetben a Z tengely. Egyéb mozgásvizsgálati feladatoknál nagyon előnyös lehet a tengelyenként leválogatott pontfelhő távolság kalkuláció: például partfal mozgás, épület süllyedés, dőlés, katasztrófa sújtotta területek modellezése, kárfelmérés.

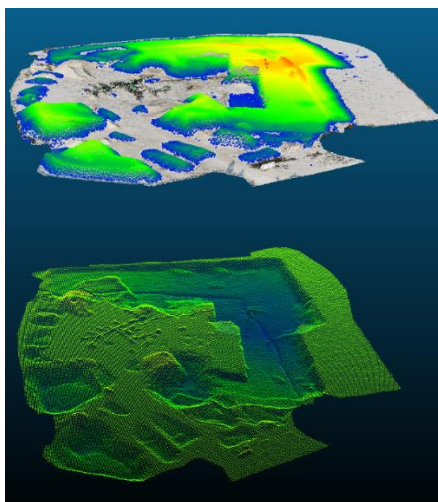


43. ábra: Pontfelhők közötti vizuális és számszerű eltérés kimutatása

A paraméterek beállítása után az „Update” gomb indítja a számítást. A szoftver számolja a kiinduló állapothoz képest a csökkenésként jelentkező elhordott földtömeget, növekedésként megjelenő felhalmozott depók köbméterben kimutatott értékét is (43. ábra). Kék színnel megfigyelhetők a kiinduló állapothoz képest alacsonyabban fekvő területek, amelyek a kitermelt területek és az elhordott depókat mutatja. Legnagyobb Z irányú eltérés -21.7 méter. Citromsárga színnel a feltöltött és a kiinduló állapothoz képest magasabban fekvő területek jelennek meg. Ezek újonnan létrehozott depókat jelölnek. Legmagasabb pontjában +7.7 méter. A pontos és teljes számítás eredményét az alábbi táblázat tartalmazza.

Az adatokból kivehető, hogy a 10 évvel ezelőtti állapothoz képest a kitermelt földmennyiség (Removed volume) meghaladja a 417 ezer köbmétert, míg a hozzáadott földmennyiség több, mint 12 ezer köbméterre adódik.

A számítás eredményét GRID rétegeként exportálva egy negatív értelemben megjelenített pontfelhőt kapunk, amelyen a kitermelés mértékét mélységgel ábrázolva láthatjuk (44. ábra).



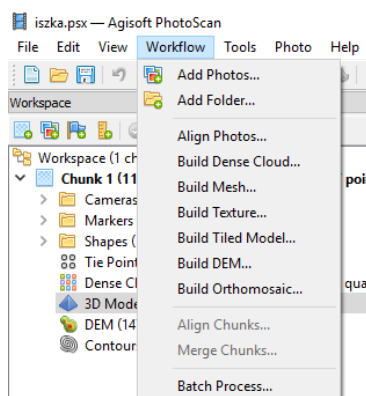
44. ábra: Eltérés ábrázolás külön rétegen

7.4 AutoCAD Civil 3D – vízgyűjtők, lefolyási vonalak modellezése

Az UAV felmérés eredményeképpen kapott pontfelhőt alapul véve vizsgáltam a további lehetséges felszínmodell alapú végtermékeket. A szimulációk futtatására az AutoCAD Civil 3D verzióját használtam. A számításokat megelőzte az UAV-val készült képek Agisoft Photoscanben való feldolgozása és a pontfelhő előállítása, majd a pontfelhőből készült felszínmodell (Mesh) előállítása.

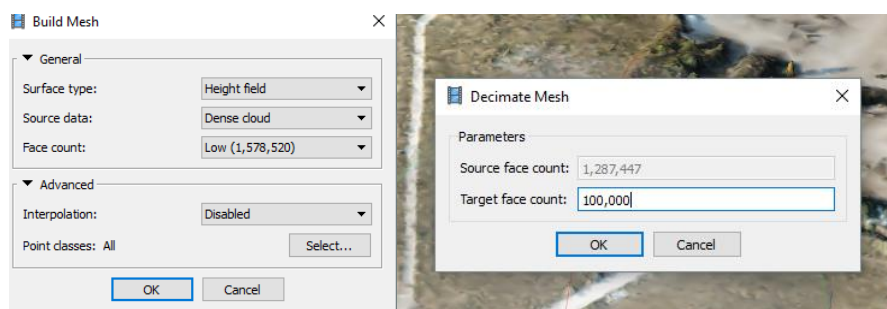
7.4.1 Mesh előállítása Agisoft PhotoScan szoftverrel

A „mesh” magyarul hálót jelent, amely esetében a felszínt hálószerűen kifeszített szabályos vagy szabálytalan alakzatok alkotják. Én egy szabálytalan háromszögekből álló felszínmodellt (TIN-t) készítettem a már meglévő sűrű pontfelhő (Dense Cloud) alapján. A felszín generálás menüpontja a PhotoScan „Workflow” legördülő menüjéből indítható. Amennyiben rendelkezünk ritka vagy sűrű pontfelhővel, a „Build Mesh” felirat aktív lesz és indítható (45. ábra).



45. ábra: Felület „mesh” generálása

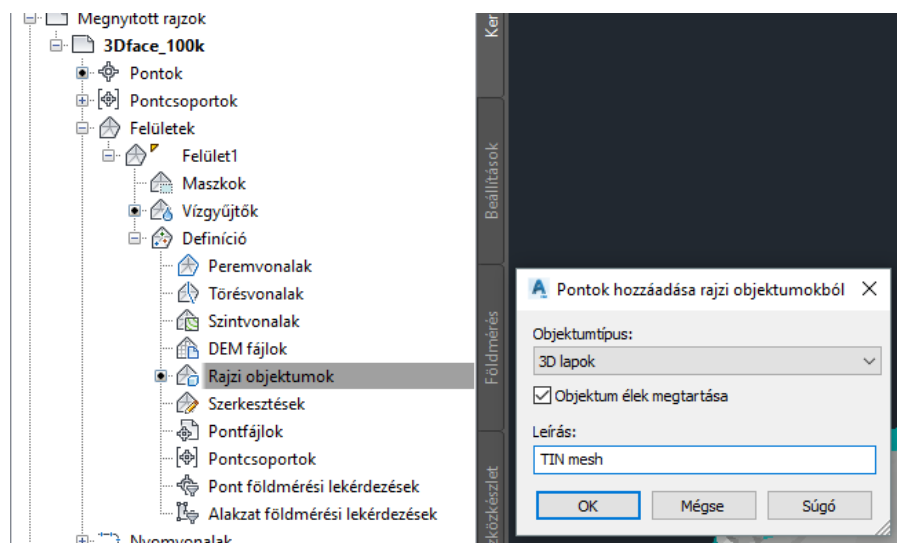
A TIN modellt sűrű pontfelhőből készítettem, a felület típusa magassági mező, a felbontást alacsony értékre állítva, interpoláció használata nélkül. Az elkészült felszínmodell a területet figyelembe véve még így is túl részletes volt az AutoCAD-dal való modellezés céljára. A modellt így butítanom kellett, hogy kevesebb háromszögből álljon. Felszínmodell felbontásának csökkentése a „Tools => Mesh => Decimate Mesh” menüben állítható (46. ábra). Eredetileg több mint 1 millió alakzat alkotta a modellt, én ezt 100.000-ben maximalizáltam a könnyebb feldolgozás érdekében. Miután a számítás lefutott, az elkészült modellt „Autodesk DXF 3DFace” formátumban exportáltam, amely kompatibilis az AutoCAD szoftverrel.



46. ábra: A számítás minőségének beállítása és a felület felbontásának csökkentése

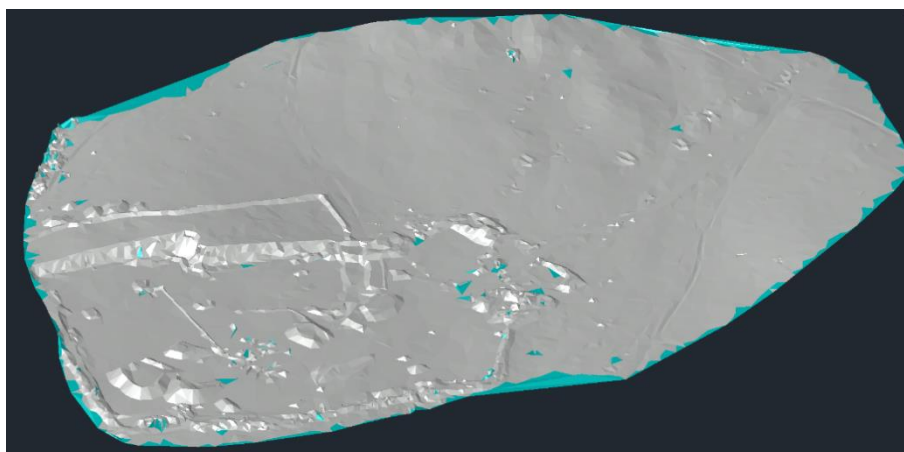
7.4.2 Hidrosztatikai modellezés AutoCAD segítségével

Az AutoCAD rendkívül erőforrás igényes és komplex szoftvercsomag. A modellt a könnyebb kezelhetőség érdekében megtisztítottam a kevésbé lényeges részekről, például az erdős és a modellezés céljából felesleges területektől. Tisztítás után a kőbánya és attól délre fekvő lejtő maradt, amely megfelelő alapot biztosított a modellezésre. A megjelenítés szempontjából a „valósághű” tűnt a legszemléltetőbb beállításnak. A modellezés előtt az importált TIN modellből a szoftver számára értelmezhető felszín kellett létrehozni. Ehhez a TIN hálót egy rajzi objektummá kell varázsolnom. A baloldalon lévő eszköztárban különböző rajzi objektumok helyezkednek el családfa szerűen. Itt először egy felület bejegyzést hoztam létre, melynek rétege, színe beállítható. A létrehozott felületet lenyitva további lehetőségek tárulnak elénk. A „Definíció” bejegyzést lenyitva található a „Rajzi objektum”, amin jobb egérrel adhatók hozzá modellterben lévő rajzi elemek (47. ábra)



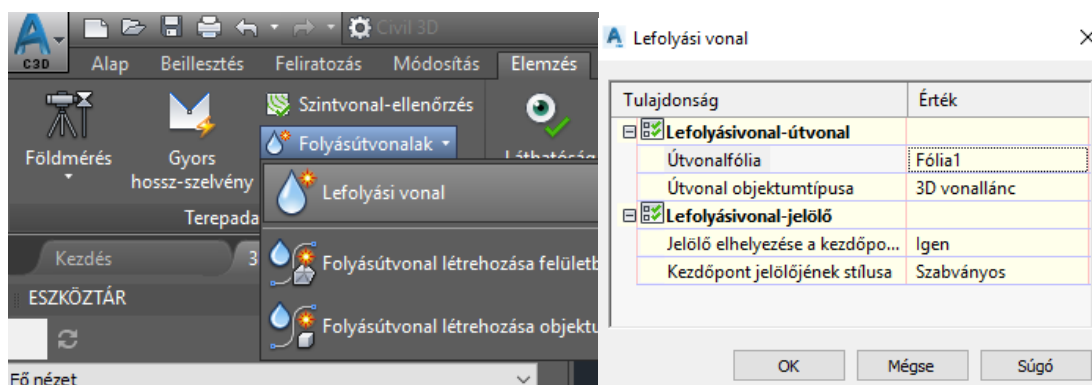
47. ábra: Felület definiálása AutoCAD-ben

Az objektum típusát „3D lapok”-ra állítva jelöltem ki a TIN hálót, továbbá az „objektum élek megtartása” funkciót bekapcsoltam. Hozzáadáshoz kijelöltem a teljes TIN hálót és elfogadtam a kijelölést. Az állomány így már feldolgozhatóvá és az AutoCAD számára felszínként értelmezhetővé vált (48. ábra).



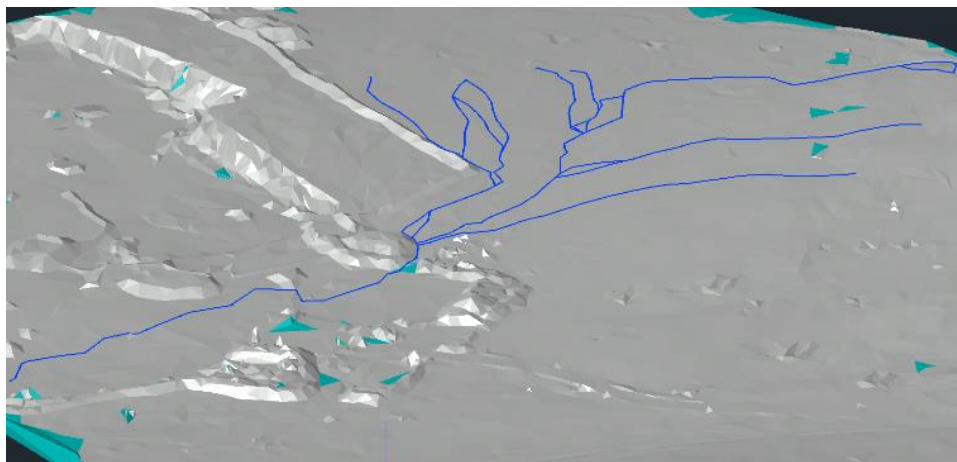
48. ábra: „Valóság-hű” 3D lapokkal való felület ábrázolás

Első hidrosztatikai vizsgálatom a lefolyási vonal modellezése volt. A lefolyási vonal egy olyan 2D vagy 3D vonallánc, amely megmutatja a felhasználó által kijelölt pontban lehulló csapadékvíz lefolyásának nyomvonalát. Segíti a felhasználót a döntéshozatali fázisban olyan munkafolyamatoknál, mint tervezés, környezetvédelem, beruházások, csatornázási tervek készítése, árvízvédelem és még sok számos mérnöki feladatnál. A modellezést az AutoCAD beépített hidrosztatikai moduljával végeztem. Az „Elemzés” fülön a „Folyásútvonalak” almenüben található ez a modul (49. ábra). Korábban létrehoztam egy réteget a vonallánc részére, melyet megvastagítottam és kék színnel láttam el. Ennek érdekében, hogy a modell illeszkedjen a felszínre 3D vonallánc beállítással végeztem el a számítást. A paraméterek elfogadása után a modellen bárhová kattinthatunk, és a kurzor helyétől számítja a szoftver a lefolyást.



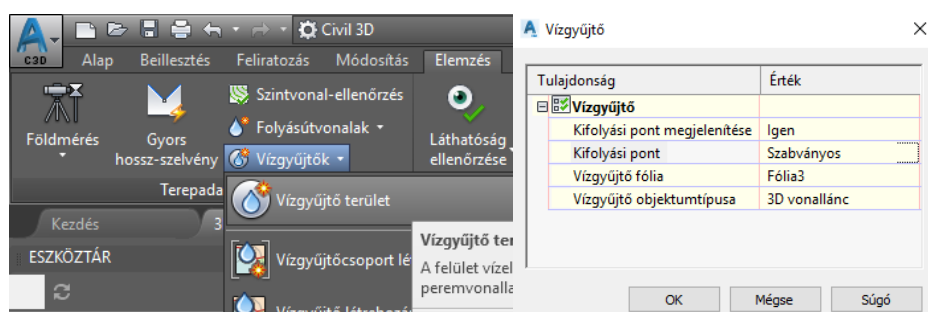
49. ábra: Lefolyási vonal generálása és paramétere

Számításaimat a bányától délkeletre lévő domboldalra korlátoztam. Kíváncsi voltam, hogy a lehulló csapadékvíz hol jut be a bányába és milyen útvonalat jár be. Érdekes megfigyelni, hogy amennyiben egy vízgyűjtő területen kattintunk többször, akkor a valóságnak megfelelően kivehető, ahogy a vízfolyások összetartanak egy folyási vonalba (50. ábra).



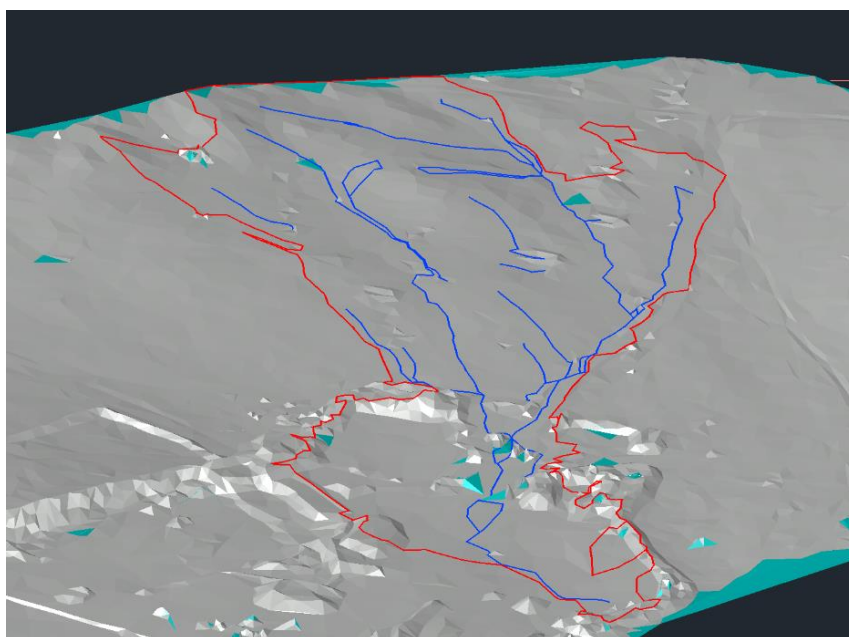
50. ábra: Lefolyási vonal modellezése a felületen

Második vizsgálat a bánya bejáratának egy pontjában végzett vízgyűjtő terület lehatárolása volt. A vízgyűjtő terület egy olyan felszínmodellen leképződő poligon, amely megmutatja azt a területet, amelyre csapadékvíz hullva a felhasználó által választott pontba folyik össze. A pont a felhasználó által szabadon kijelölhető, de értelem szerűen csak olyan területen, ahol a csapadékvíz fel tud gyülemelni. Hegyhátak és dombok esetében az AutoCAD hibaüzenettel jelzi, hogy a területen nem található vízgyűjtő terület. Az általam választott pont szintén a bánya bejárata, mely a terep egyik legalacsonyabb pontja, így a modellezés futtatása lehetséges volt. A modell számára egy piros réteget hoztam létre, így elkülöníthető volt a lefolyási vonalaktól. A vízgyűjtő terület modellezése szintén az „Elemzések” eszköztárról indítható. Az objektumtípust „3D vonallánc”-ra állítottam, hogy illeszkedjen a poligon a modell felületére. Fóliának az előzőekben említett piros fóliát alkalmaztam. [13]



51. ábra: Vízgyűjtő generálása és paramétere

Hogy a számításomat némileg alátámasszam, lefolyási vonalakat számoltattam a vízgyűjtő területen belül. Amennyiben a vízgyűjtő terület számítása helyes, a lefolyási vonalaknak nem szabad metszenie a piros poligon határvonalát.



52. ábra: Vízgyűjtő terület (piros) és a lefolyási vonalak (kék) viszonyulása

Az eredményt szemlélve a modellezett vízgyűjtő terület valós és helyes. Érdekesség továbbá a bányát el nem érő lefolyási vonalak, melyek kisebb gödrökben megakadva nem folytatják útjukat a bánya felé. Ezek a vízfolyások felgyülemlelenek és saját mini vízgyűjtő területet alkotnak, elpárolognak vagy beszivárognak a talajba.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Témaválasztásom során egy hozzám közel álló szakterületet választottam. Az UAV-eket magam is rendszeresen használom rekreációs és munkaköri feladatoknál. Szakdolgozatom során bemutattam az UAV-eszközökkel való felmérés előkészítési és lebonyolítási munkafolyamatait és munkafázisait. Saját eszközzel végeztem repülést a teszterületemen, majd ennek nyers mérési eredményeit feldolgoztam fotogrammetriai szoftverekkel. Az alkalmazott eszközök paramétereit és tulajdonságait ismertettem. Részletesen bemutattam a feldolgozás során az egyes folyamatok lépéseit és az elérhető pontosságot. A feldolgozás eredményeit több oldalról, formátumban és szoftverrel elemeztem. Mérnöki szemmel vizsgáltam a lehetséges végtermékek fajtáit és azok hasznosítási területeit számos szakterületen. Lehetőségem volt egy kőbánya két felmérési módszerének és két, időben nagyon eltérő állapotának összehasonlítására. Az általam UAV-vel készített képekből felületmodellt generáltam, melyen összelátást, lejtőkategóriákat, lefolyást és vízgyűjtőket modelleztem és ezekből konklúziókat vontam le. Érdekes volt látni, hogy a különböző szoftverek miként kezelik a pontfelhő és felület alapú végtermékeket. Elmondható, hogy az UAV felvételezés eredményeként készült több száz vagy akár ezer kép végtelen lehetőséget rejt információgyűjtés szempontjából. Az általam bemutatott vizsgálatok és eredmények csak nagyon kis részét mutatják be a pontfelhő és felszín alapú végtermékekben rejlő lehetőségek közül. Úgy gondolom, aki szakdolgozatom sorait olvassa maga is beletanul a pilóta nélküli légi járművekkel való felmérés és az ehhez kapcsolódó adatfeldolgozás világába.

Szeretnék köszönetet mondani konzulenseimnek: Balázsik Valéria és Tóth Zoltán egyetemi oktatóknak, akik segítettek a felmérés és a szakdolgozatom írása során, továbbá a LIDAR felvételt a rendelkezésemre bocsájtották.

9. CONCLUSION

During my subject selection I chose a field of expertise close to me. I use UAVs regularly for recreational and job-related tasks. During my thesis I presented the workflows and work phases of the preparation and implementation of the UAV tools survey. I flew with my own device on a test area and processed raw measurement results using photogrammetric softwares. I described the parameters and properties of the devices used. In detail, I presented the steps of each process and the available precision during data processing. I have analyzed the end results of the processing from multiple perspective, formats and software. I examined the types of possible end-products and their utilization areas in a wide range of workfields. I had the opportunity to compare a quarry with point clouds from two survey methods and two very different states of time. I created a surface model from the images I captured with UAV, on which I modeled correlation, slope categories, runoff and river basins and deduced conclusions from them. It was interesting to see how different software treat point cloud and surface based products. It can be said that hundreds of or even thousands of images made as a result of UAV recording have infinite potential for collecting information. The studies and results I have shown represent only a very small part of the potential of point cloud and surface based products. I think who reads my thesis are learning about the operation of unmanned aerial vehicles and the related data processing.

I would like to thank my consultants: Valéria Balázsik and Zoltán Tóth who assisted in writing my thesis and also provided the LIDAR record at my disposal.

10. MELLÉKLETEK

Digitális mellékletek:

1. számú melléklet: Agisoft PhotoScan feldolgozási jegyzőkönyv
2. számú melléklet: LIDAR felvétel jegyzőkönyv

11. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] <http://www.photometric.hu/3d-lezerszkenner-lezerszkenneles-54.html>
- [2] <http://www.atomnet.pl/~geodeta/1999/45text.htm>
- [3] https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_FOI3/images/FOI323.png
- [4] https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_FOI3/ch01s07.html
- [5] <https://store-guides2.djicdn.com/guides/wp-content/uploads/2017/03/Mavic-Highlights2-1024x440.png>
- [6] <https://product3.djicdn.com/uploads/images/4740/8cc1eadf-4d45-4ac4-aefb-e116551b7c06.jpg>
- [7] https://product1.djicdn.com/uploads/photos/1948/large_a50fa8ff-8f95-41f5-a72e-b936b391bf2c.jpg
- [8] <http://www.agisoft.com/>
- [9] <https://staticfiles-cdn1.droneDeploy.com/img/homepage-product.png>
- [13] <http://www.cloudcompare.org/>
- [10] https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_TEI14/ch01s03.html
- [11] http://www.sosofoldszer.hu/magyar/banyak/terkep_i/terkep_iszka.html
- [12] <http://www.google.hu/maps>
- [13] Lefolyási viszonyok vizsgálata Digitális Magassági Modell felhasználásával - Nagy Ildikó – Bíró Tibor – Tamás János, AGRÁRTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK, 2007/26. KÜLÖNSZÁM
- [14] EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR 3D-S FELÜLETMODELLEK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI – WEBES ÉS ASZTALI ALKALMAZÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA SZAKDOLGOZAT FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK Készítette: Szabó Márton térképész és geoinformatikus szakirányú hallgató Témavezető: Mészáros János tanársegéd ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék Budapest, 2014
- [15] Fotogrammetria 1., A távérzékelés fogalma, a fotogrammetria és a távérzékelés kapcsolata, Balázsik Valéria (2010), Nyugat-magyarországi Egyetem