



ÓBUDAI EGYETEM

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

Geofizikai célú domborzatmodellezés

OE-AMK

2022

Hallgató neve: **Bujdosó Márton** Hallgató
törzskönyvi száma: **T000663/FI12904/A-G**



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Bujdosó Márton

Szakedolgozat száma: SZD22011414113727

Törzskönyvi száma: T000663/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: geoinformatikai szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: Geofizikai célú domborzatmodellezés

A dolgozat címe angolul: Terrain modeling for geophysical purposes

A feladat részletezése:

1. Készítse el a kijelölt területről a felvételeket UAV-on rögzített digitális kamerával.
2. Szakirodalom és Internetes források alapján ismertesse a domborzatmodellezés lehetséges megoldásait és alkalmazási területeit.
3. Végezze el a kijelölt felvételek kiértékelését a rendelkezésre álló modellező szoftver segítségével.
4. Készítse el a terület domborzatmodelljét és végezzen geofizikai célú elemzést az elkészült modell segítségével. Adja meg az elkészült modell pontosságát és további felhasználási lehetőségeit.
5. Az elvégzett munkát műszaki leírásban összegezze.

Intézményi konzulens neve: Dr. Jancsó Tamás

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 12. 15.

Beadási határidő: 2022. 05. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2022. 04. 07.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

Dr. Jancsó Tamás
belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai 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 található eredményeket az egyetem, mint a feladatot kiíró intézmény saját céljaira térítés nélkül felhasználhatja.

Kelt: BUDAPEST, 2022. május 09.

Bydleró Márton
hallgató aláírása

TARTALOM

1. Bevezetés	6
2. Domborzatmodellezés	8
2.1 Fotogrammetria	8
2.1.1. Belső tájékozás	10
2.1.2. Külső tájékozás	10
2.2. Légi lézeres felmérés (LIDAR)	12
3. Alkalmazási módszerek a geofizikai és a geológiai tudományok területén és egyéb szakterületeken	14
3.1. Geofizika	14
3.1.1. Projekt előkészítésE	15
3.1.2. Kiértékelés	17
3.2. Geológia	18
3.3. Egyéb szakterületek.....	19
3.3.1. Mezőgazdasági terület felmérése	19
3.3.2. Bányászat	19
3.3.3. Régészet	20
3.3.4. Épületfelmérés	20
3.3.5. Erdőgazdálkodás	20
3.3.6. Földmérés	20
4. Kutatási terület bemutatása.....	22
4.1. Területi viszonyok, illesztőpont-mező tervezése és telepítése	23
5. Feladat kivitelezése	27
5.1 Alkalmazott eszköz bemutatása.....	27
5.2 Repülési terv készítése, repülés végrehajtása.....	29
6. Feldolgozás lépései.....	31
6.1. Előfeldolgozás	32
6.2. Alacsony sűrűségű pontfelhő létrehozása.....	32
6.3 Domborzatmodell előállítása.....	34

7. Eredmények.....	39
7.1. RTK-val és illesztőpontokkal végzett légiháromszögelés összehasonlítása.....	39
7.2. Végeredmény alkalmazása egy megvalósult geofizikai projekt során	42
8. Összegzés	48
9. SUMMARY.....	50
Köszönetnyilvánítás	52
Irodalomjegyzék	53
Ábrajegyzék.....	55
Mellékletek	1

1. BEVEZETÉS

A pilóta nélküli járművek, hasonlóan más iparágazatok elektronikai termékeihez, az utolsó évtizedekben rohamos fejlődésen mentek keresztül. A drónok a köztudatban legtöbbször továbbra is egy szórakoztató elektromos cikként vannak jelen, melyek fő funkciója, hasonlóan a digitális fényképezőgépekhez, fotók és videók rögzítése.

A drónok a hagyományos felvételeken túl, a megfelelő időben és megfelelő helyen készített képek rögzítését követő kiértékelésével, rengeteg értékes információt nyújthatnak a különböző ágazatokban elhelyezkedő felhasználók számára, gyorsan és költséghatékonyan alkalmazhatóak számos szakterületen. Az akkumulátorok, navigációs rendszerek, szenzorok és egyéb dróntechnológiához köthető eszközök fejlesztésével a drónok lehetséges alkalmazási területeinek spektruma folyamatosan szélesedik. Egyre nagyobb felhasználói csoport épül ki, akik hozzám hasonlóan, elsősorban munkaeszközként tekintenek az UAV-re (Unmanned Aerial Vehicle). A drónokra a sima képalkotó eszközökön túl, lézerszkennerek, hőkamerák, multispektrális, hiperspektárlis kamerák, geofizikai eszközök, permetező rendszerek és számos egyéb feladatok megoldásait szolgáló egységek telepíthetők.

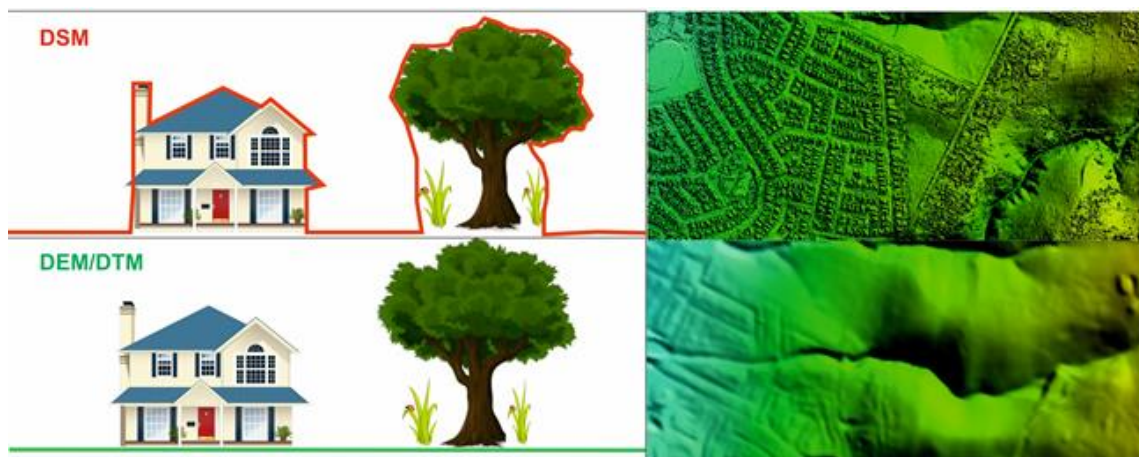
Az akkumulátorok kapacitásának növekedésével és a járművekre csatolható szenzorok tömegének csökkentésével az egységi idő alatt térképezhető terület nagysága folyamatosan növekszik, hatékonyabbá téve ezzel a technológiát. A területek növekedése a térképezés felbontásának megtartása mellett, azonban nagyobb adathalmazok létrehozásával jár. Már a mérés tervezése során fontos tisztában lenni a feladat kivitelezéséhez szükséges tárolási- és a feldolgozási számítógépes erőforrás-igényekkel.

Szakdolgozatomban részletesebben foglalkozok a légi távérzékelés által nyújtott alkalmazási lehetőségekkel a saját és egyéb más szakterületeken. Megvizsgálom, hogy a geofizika ágazatában, a szakirodalom alapján, milyen felhasználási lehetőségek léteznek, válaszokat keresve arra, hogy hogyan képes a fotogrammetriai módszer egy másik tudományterület munkáját segíteni, kiegészíteni, minőségét javítani. Bemutatom egy konkrét geofizikai projekt során a kutatási terület felett végzett repülés tervezését, kivitelezését és az eredmények feldolgozását és kiértékelését. Ismeretem az elvégzett

gyakorlati feladat elméleti háttérét, röviden kitérek a feladat elvégzéséhez szükséges eszközök és szoftverek ismertetésére.

2. DOMBORZATMODELLEZÉS

A digitális terepmodell tartalmazza a földfelszín X, Y, Z koordinátáit [Timár,2013]. A modellezéssel a terepfelszínt akarjuk leegyszerűsíteni, leképezni, a változásokat vizsgálni. Különbséget teszünk a terep szilárd, tereptárgyak, növényzet nélküli felszínét meghatározó felület (DTM=Digital Terrain Model) és a tereptárgyakkal, növényzettel, épületekkel modellezett komplex felszín (DSM=Digital Surface Model) között (1. ábra).



1. ábra: Értelmezett felszínek (forrás: <https://www.satpalda.com/5m-dsmdtm>)

Természetesen, ezeken felül más topográfiai felszíneket is leírunk, mint például a talajvíz-tükör felszínét vagy éppen egy adott talajtípus valamelyik határfelületét. Még tágabb értelemben használva gyakran ábrázolunk felületmodelleken fizikai vagy kémiai paraméter- eloszlást (talajmechanikai paraméterek, elektromos vezetőképesség, sótartalom, szerves anyag tartalom stb.), társadalmi mutatókat (népsűrűség, etnikai összetétel, nyelvtudás stb.) vagy meteorológia tényezőket (hőmérséklet, légnyomás, szél erősség stb.)

2.1 Fotogrammetria

Egy területről egy adott magasságban közel függőleges kameratengellyel felvételeket készítve a képekből fotogrammetriával előállítható egy olyan térmodell, melyeken geometriai számítások végezhetőek [Linder,2009]. A módszer több, mint 100

éves múltat tekint vissza, az utolsó húsz évben a képelemzési technika rohamosan fejlődött [Baltasavias, 1999]. A fotogrammetria jelentése fényképmérés. A fényképek alapján ez a módszer a tárgyak helyét és alakját is képes meghatározni, művészeti és tudományos körökben is elterjedt. A fotogrammetria definíciója a Nemzetközi Fotogrammetriai és Távérzékelési Társaság szerint: „A fotogrammetria a tárgyakról és környezetünkről származó hiteles információk beszerzésének tudománya és technológiája oly módon, hogy rögzítjük, mérjük és értelmezzük a fényképeket, valamint az elektromágneses spektrum egyéb jeleit.” [forrás: <https://acrsa.org/hu/index.php/fogalomtar>]

A fotók további kiértékelésével a terület digitális felszínmodellje is előállítható. Ez a modell olyan adatbázis, mely egy topográfiai felület bizonyos pontjainak X, Y, Z térbeli koordinátáit tartalmazza [Timár,2013]. A különböző objektumok modellezéséhez a függőleges tengelyű képek mellé manapság már gyakran készítenek a leképzési síkkal nem merőlegest bezáró, ferdetengelyű felvételeket is, amivel a végeredmény még részletgazdagabbá és pontosabbá tehető.

A fotózás előtt a felszínre kihelyezett, jól látható objektumok a kiértékelés pontosságát nagyban növelik, amennyiben ezek pozícióját centiméteres horizontális és vertikális pontosságú RTK korrekcióra képes geodéziai GPS segítségével bemértük. A kihelyezett pontok száma, sűrűsége, a területen elfoglalt pozíciója a kiértékelés pontosságát nagyban befolyásolja [Martínez-Carricondo, 2018]. A feldolgozás során ezeket az objektumokat azonosítjuk, majd az algoritmus ezeknek a képpontoknak a koordinátája alapján rendel a kép többi képpontjához valós koordinátákat.

A fotók információinak feldolgozása után leggyakrabban előálló a végtermék a pontfelhő, a domborzatmodell és az ortofotó, melyek egymással szoros kapcsolatban vannak.

A digitális fotók pixel-koordinátáiból két fő lépésben, de gyakorlatilag egy három lépcsős művelet sor után kapjuk meg a vetületi koordinátákat. Ezzel a folyamattal állítható elő a térmodell, mely folyamatot tájékozásnak nevezzük.

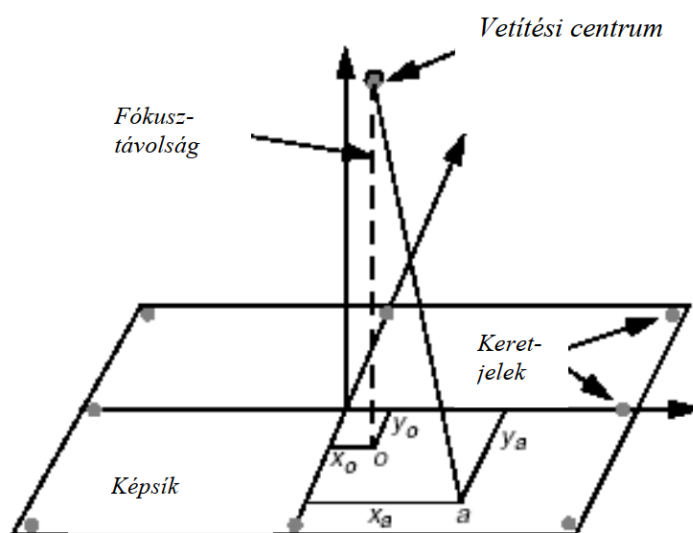
1) Belső tájékozás

2) Külső tájékozás

- a) Relatív tájékozás
- b) Abszolút tájékozás

2.1.1. BELSŐ TÁJÉKOZÁS

A belső tájékoztatás során meghatározzuk a kamera modelljét. Kiszámítjuk azokat a transzformációs állandókat, amikkel a digitális kép pixel koordinátáit át lehet számítani képkoordinátákká. A kamera modelljét a képek rögzítéséhez alkalmazott kamera belső geometriáját leíró változók határozzák meg, melyek a következők: képfőpont koordinátái, fókusz-távolság (=kameraállandó értéke), keretjelek helye (analóg felvételeken fordul elő), optikai elrajzolás értéke (2. ábra). [Dr. Jancsó, 2010]



2. ábra: Kamera geometriáját leíró elemek

2.1.2. KÜLSŐ TÁJÉKOZÁS

Ebben a kiértékelésben adjuk meg a képsík és a hozzátartozó vetítési centrum helyzetét a geodéziai koordinátarendszerben. A folyamat kétlépcsős. Az első lépésben relatív tájékozással létrejön a térmodell, egy saját modell-koordinátarendszerben. Második lépésben abszolút tájékozással a térbeli modellt transzformációs folyamatokkal elhelyezzük a geodéziai koordinátarendszerben. [Dr. Jancsó, 2010]

Relatív tájékozás

Ahhoz, hogy a feldolgozás megvalósítható legyen szükségeszerű, hogy a különböző pozíciókból centrális projekcióval rögzített képeken legyenek közös, átfedésben lévő területek. Ezeken a területeken keressük a kapcsolópontokat, amik több felvételen azonosíthatóak. A pontok vetületi koordinátája ekkor még nem ismert. [Dr. Jancsó, 2010]

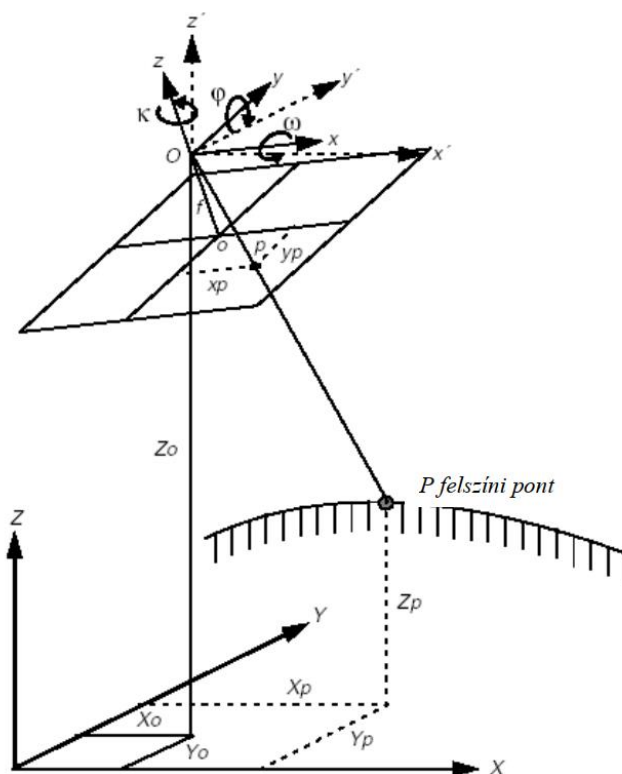
Légi háromszögeléssel az átfedésben lévő képeket egymáshoz kapcsoljuk, képsorokat alkotva. A képsorokat szintén a sorok közötti átfedési sávokkal egymásba kapcsoljuk, tömböt alkotva. Amennyiben valamennyi, a különböző pozíciókból, homológ pontpárokból kiinduló vetítésugarak közös modellpontokban metszik egymást, az átfedési területeken előáll a térmodell. Ezt a folyamatot relatív tájékozásnak nevezzük. [Dr. Jancsó, 2010]

Abszolút tájékozás

Az abszolút tájékozással meghatározzuk azokat a transzformációs paramétereket, amelyekkel az összeállított térmodellek ismert vetületei rendszerbe illeszthetők. A képek térbeli helyzetének a geometriája (**3. ábra**) a külső tájékozási elemekkel írható le. Ezek a következők:

- Vetítési középpont koordinátái a vetületi rendszerben (X_0, Y_0, Z_0)
- Kameratengely dőlését jellemző szögek (ω, ϕ)
- Sugárnyaláb elfordulása a kameratengely körül (κ)

[Dr. Jancsó, 2010]



3. ábra: Képek külső tájékozási elemei

A földfelszínén elhelyezkedő alakzatokat, egy adott geodéziai koordináta-rendszerben elhelyezve és centrális vetítést alkalmazva, visszakapjuk a felszíninformák, objektumok eredeti alakját és helyzetét. A felszínmodellt ismerve a perspektivikus torzulásoktól mentes, geometriailag helyes kép, az ortofotó is előállítható.

2.2. Légi lézeres felmérés (LIDAR)

Mivel a felvételezés az emberi szem által érzékelhető hullámhossztartományban 380 nm-780nm között történik, fotogrammetriai módszerrel a felszínborítás alatti térrészt nem tudjuk leképezni [Zwinkels,2015]. Az ilyen típusú feladatokra a légi járművekre szerelt lézerszkennerekre (LIDAR-Light Detection and Ranging) van szükség. Ezek a távérzékelési eszközök meglehetősen költséges tételek. Az eljárás az aktív távérzékelési módszerek családjába tartozik, ugyanis az eszközök saját lézeres jelforrással rendelkeznek. A leképezendő objektumok műszertől való távolsága az elektromágneses hullámok futási idejéből számolható, mivel ismert az impulzus kibocsátásának és a visszaverődésnek az ideje. Az időkülönbségek alapján, a hullám terjedési sebességének felhasználásával, származtatni tudjuk a távolságot. Másodpercenként, az alkalmazott

lézerszkennerek műszaki paramétereitől függően, akár egy millió pont is leképezhető egy másodperc alatt. A használatuk lehetőséget ad a terepről visszaverődő pontok 3D-s pontfelhőjének megalkotására, mely adathalmazból interpolációval vagy modellezéssel a legjobban simuló felszín elkészíthető [Habib, 2004].

3. ALKALMAZÁSI MÓDSZEREK A GEOFIZIKAI ÉS A GEOLÓGIAI TUDOMÁNYOK TERÜLETÉN ÉS EGYÉB SZAKTERÜLETEKEN

3.1. Geofizika

A geofizikus szakma aktívan használja a különböző térképeket már a kezdetektől fogva. A terepi munkafolyamatokat a mérések feldolgozása, majd kiértékelése követi, a sort az adatok térképes ábrázolása és elemzése zárja. A különböző mélységekben mért fizikai paraméterek, koordináták nélkül nem érnek semmit, ugyanis utólag a célközönség (pl. megrendelő) nem tudja elhelyezni, elképzelni, hogy a mért adatok hova, mely területre vonatkoznak pontosan. Ebben az esetben a befektetett munka haszontalannak tekinthető. A számítástechnika eszközök (szoftverek, hardverek) és a geodéziai eszközök fejlődésével a geofizika ágazata is tartotta a lépést. A növekvő felhasználói igényeket a műszergyártó cégek egyre precízebb és gyorsabb műszerek fejlesztésével, gyártásával igyekeznek kielégíteni. A folyamat során egyre több és több adatot gyártunk, az adatok térképek előállítására egyre összetettebb feladat. Az ügyfelek igényei növekszenek, a száraz, túl hosszú jelentéseket nem szívesen olvassák végig. A munkánk értelmét be kell bizonyítanunk a megrendelőnek, meg kell győzni, hogy a természettudományoknak létjogosultsága van, a pénzét jó szolgáltatásba fekteti be. Ebben a jó ábráknak, elemzéseknek, térképeknek kulcsszerepe van.

Egy geofizikai kutatás megvalósításánál általában két dolognak kell megfelelni. Az egyik, hogy a megrendelő az adott kérdésre kielégítő választ kapjon. Ez legtöbbször kimerül abban, hogy területre jellemző geológiai adottságokat a méréseink alapján bemutatjuk vagy bizonyos események (pl. szennyeződés lehatárolás, szivárgás vizsgálat stb.) okait vizsgáljuk. A másik feltétel, hogy a megoldandó problémára olyan árajánlat nyújtunk, mely a megrendelő elképzeléseibe és anyagi lehetőségeibe beleillik. Az árajánlat legbizonytalanabb pontja esetünkben a terepi munkavégzés időtartamának és ezáltal költségének pontos megbecslése. Ezen a ponton lehet a legjobban alul vagy túlbecsülni a cél eléréséhez szükséges munkanapok számát az adott kutatási területre vonatkozóan.

3.1.1. PROJEKT ELŐKÉSZÍTÉSE

Egy geofizikai mérés vagy projekt megtervezéséhez elengedhetetlen a kutatási terület környezetének pontos ismerete. Egy árajánlat elkészítését megelőzi egy helyszíni terepbejárás, ahol a szakember a területre érkezve tudja, hogy milyen tényezőket kell kiszűrnie, amik a méréseket akadályozhatják. A geofizikai mérések kivitelezését befolyásoló tényezők a területen található növényzet, a domborzat geometriája, a betonfelületek nagysága és az egyéb zavaró tényezők távolsága (forgalmas út, elektromos közművek, egyéb zavaró objektumok stb.) Előfordulhat, hogy ezen felsorolt tényezők némelyike nagymértékben akadályozza vagy adott esetben teljesen korlátozza a mérési feladatot.

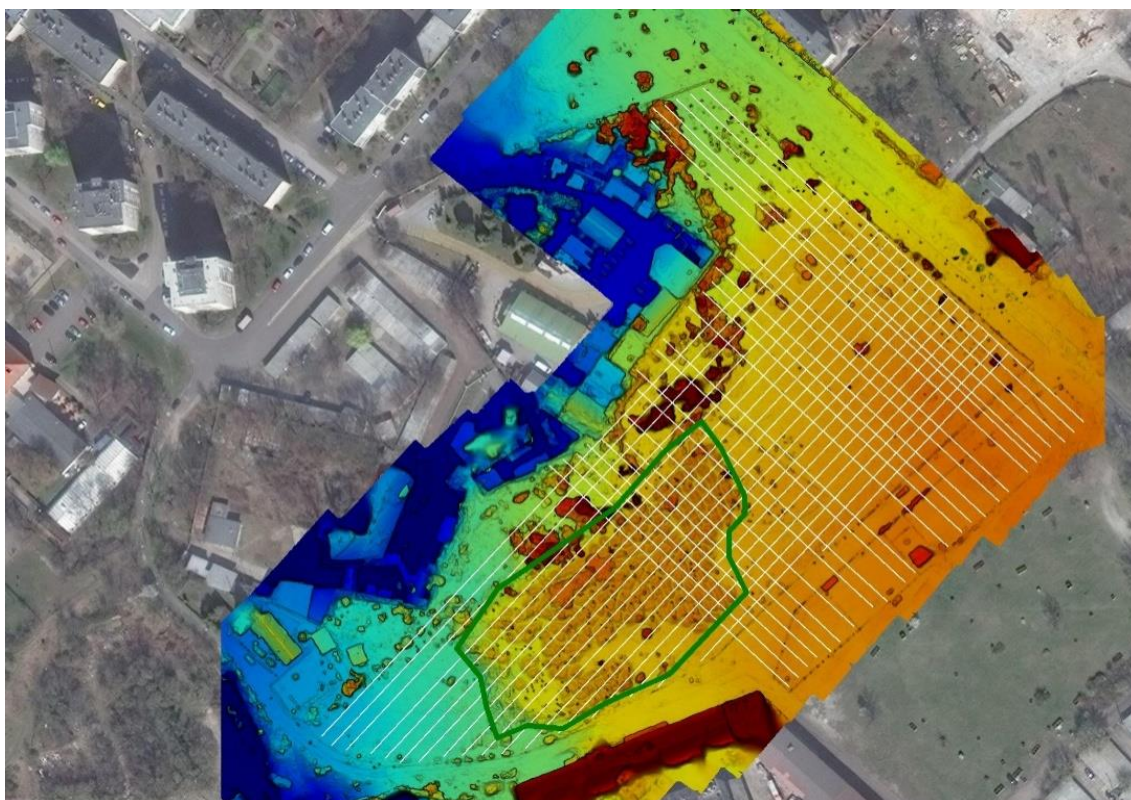
A legtöbb geofizikai módszernél a térképezés rendszerint egyenes profilok mentén zajlik. A különböző fizikai paraméterek eloszlásának vizsgálata a profilok vonalában, legtöbbször kétdimenziós térben valósul meg. A méréstervezés során fontos, hogy olyan helyszíneket válasszunk ezeknek a szelvényeknek, ahol egyrészt fizikailag megvalósíthatóak a munkafolyamatok, másrészt még a megrendelő által kijelölt célzóna határain belül tartózkodunk. Ehhez a tervezéshez egy nagyobb terület esetében egy helyszíni bejárás nem elegendő, hiszen legtöbbször nincsen arra pénzügyi erőforrás, hogy akár egy több, mint 10 hektáros vagy akár néhány km²-es terület minden szegletét feltérképezze a szakember.

Az ilyen esetekben a projekttervező legtöbbször műholdképes ortofotók alapján valósítja meg a tervezést és ez alapján tájékozódik. Saját gyakorlati tapasztalat, hogy a műholdfelvételeken látottak egyrészt a gyengébb térbeli felbontás, másrészt a műholdas felvétel és a mérési terv készítése között eltelt idő miatt az esetek egy jelentősebb hányadában nem nyújtanak elegendő információt. Az SRTM domborzati adatok alapján meghozott döntésekre ez hatványozottan igaz, ugyanis egy nem sík területen a lokális domborzat meglehetősen változékony lehet, ami olykor-olykor jelentősen növelheti a munkaidő tartamát. Előfordulhatnak meredek lejtők, éles sziklafalak, amiknek a szintvonalai nem minden esetben rajzolódnak ki egy gyengébb felbontású térképen. Az információs hiányok komoly tervezésbeli hibákhoz vezethetnek, melyek a projekt költségvetését súlyosan növelhetik, ezzel csökkentve vagy akár negatívba helyezve a tervezett profitot.

Egy árajánlat készítés során egy részletesebb, néhány centiméteres felbontású (**4. ábra**), aktuális állapotot mutató térkép birtokában a mérés jobban tervezhető. Felismerhetők azok az akadályoztató tényezők, terepi objektumok, épületek, domborzati viszonyok (**5. ábra**), melyek a mérés idejét jelentősen befolyásolhatják. A terepi mérés paraméterei (pl. szelvényhosszúság, szelvényköz) pontosan számszerűsíthetők, a vonalak megvalósításának elméleti helyszíne kijelölhető. Az információk alapján az adott kutatásra vonatkozó humán erőforrásigény jobban tervezhető, a ráfordítási költség pontosabban számolható.



4. ábra: Árajánlat melléklet, üregkutatás geofizikai módszerekkel, elméleti mérési háló szemléltetése nagy felbontású légi felvételen



5. ábra: *Digitális domborzatmodell. A modellen jól kijelölhető volt a mérést akadályoztató síttek helyszíne*

3.1.2. KIÉRTÉKEELÉS

A kutatás során alkalmazott elektromos ellenállás tomográfiában, a topográfiai eltérések egy vízszintes síkhoz képest jelentős hatást gyakorolnak a mért látszólagos fajlagos elektromos ellenállás adatokra. Ezek a hatások modellezhetők, tehát ezeket figyelembe kell venni a felmérések tervezésekor és az adatok feldolgozása közben [Tsourles et al. 1999]. A GPS-jel minősége egyaránt befolyásolja a szondázási pontok felmérésének horizontális és vertikális pontosságát. Az RTK (real-time kinematic) GPS internetes kapcsolaton keresztül kap a kutatási terület közelében található ismert pozíciójú bázistoronyról – referenciavevőből – korrekciós jelet, amivel néhány centiméteres pontosságú, valós idejű kinematikus helymeghatározást kap a felhasználó a mérési pont rögzítése során.

Előfordulhat, hogy a mérési terület egyes részein, a gyenge térerő miatt, nem sikerül a szerverrel való internetes kommunikáció vagy a lombkorona miatt a GPS antennája takarásban van. Ekkor a helyzetünket jellemző pont rögzítésének koordinátái hibával

lesznek terheltek, mely hibák akár több méteres eltéréseket is okozhatnak a rögzített adatokon. Mivel ezek a hibák véletlenszerűen – nem állandó eltéréssel – terhelik a felméréseket, ezért ezek a geofizikai feldolgozások során, hamis útra terelhetik a különböző algoritmusokat. Ezt a hatást természetesen ki kell küszöbölni. Ez megtehető mérőállomás használatával vagy a levegőből elkészített domborzat modell segítségével. A geofizikai mérések során, általában az erősen változó domborzati viszonyok között, több száz pont koordinátájának a meghatározására van szükség. Egy mérőállomással végzett geodéziai mérés nagyon időigényes és a járulékos költségei is magasabbak. A mérési pozíciók pontos meghatározásnak nem csak az elektromos tomográfiánál, hanem a mágneses, szeizmikus, elektromágneses kutatásoknál is nagy jelentősége van.

A mikrogravitációs kutatási módszernél nem csak a mérőpont pontos helyzetének a meghatározása, hanem a mérőpont közvetlen morfológiájának ismerete is fontos, ugyanis a felszínen végzett mérésekkel a gravitációs tér térbeli változását térképezzük. Ahhoz, hogy a felszín alatti sűrűségkülönbségek a pont környezetében ismertté váljanak, az úgynevezett zavaró tömegek hatását korrigálni kell. A mérőpont környezetében egy hegy tömegtöbbletet, egy völgy tömeghiányt okozhat, mely hatások befolyásolják a rögzített nehézségi gyorsulás értékét [Seigel,1995]. Ennek a hatásnak a kiküszöbölését topográfiai korrekciónak hívjuk, mely korrekció pontossága a domborzatmodell felbontásának javulásával arányosan növekszik.

3.2. *Geológia*

A piacon elérhető drónokra szerelhető digitális kamerákkal és fotogrammetria szoftverekkel a mérnök geológiai és szerkezetföldtani célú adatgyűjtés minősége jelentős fejlődésen ment keresztül a közelmúltban [Francioni,2019]. A nagyfelbontású háromdimenziós modelleken a különböző szerkezeti elemek jól dokumentálhatók rövid idő alatt. A légi járművekkel térképezhető helyeken, feltárások közelében lehetőség van pl. a törési felületeken, elmozdulási síkokon dőlésirány, dőlésszög vagy az elvetődés miatt a közzetömbök közti távolságok számítására.

A geológusok egyik legfontosabb terepi feladata egy elmozdulási felületen a létrehozó erők irányát megállapítani, a főfeszültség tengelyeket meghatározni, mely folyamatok általában időigényesek és olykor veszélyes terepi térképezéssel járnak

[Dang,2015]. Ezen okok miatt manapság a fotogrammetria a mérési pontosság, funkcionalitás és költségvetési szempontokból is előnyösebb megoldásnak tűnik a korábbi kézi eszközökkel elvégzett mérésekhez képest [Unal,2000].

3.3. *Egyéb szakterületek*

A légi eszközökkel elvégzett fotódokumentáció és ezen felvételek kiértékelése a gyorsaságuk és hatékonyságuk miatt, a földtudományok területén túl, számos egyéb ágazatok számára nyújt hasznos információt

3.3.1. MEZŐGAZDASÁGI TERÜLET FELMÉRÉSE

A 21. század társadalmának az élelmiszer- és ivóvíz ellátása a fokozódó szélsőségesebb időjárási körülmények között egyre nagyobb kihívás elé állítja a mezőgazdasági szektort. Az egyedüli megoldás az agrárszektorban a termelési folyamatok optimalizálása, olyan eszközök és módszerek segítségével, melyek képesek hatékonyabbá tenni a mezőgazdasági növénytermesztést.

Ezekben a precíziós folyamatokban megkerülhetetlenül fontosok a talaj, növény és különböző meteorológia szenzoros mérések mellett, a pilóta nélküli járművekkel végzett RGB vagy egyébspektrális sávokon mért, a növények állapotfelmérését célzó felvételek a mezőgazdasági szakemberek számára. A mérésekkel fejleszthető az öntözési kultúra, optimalizálható a területre kiszórt műtrágya és vegyszer mennyisége, jobban becsülhető a vizsgált tábla terményhozama. A kiértékelt ortofotók távolság- és területszámításra alkalmasak, így ezeken akár vadkár-felmérés is végezhető. A domborzati modellel szintvonalas térkép szerkeszthető, mellyel meghatározhatók a terület lejtésvizonyi, precízebben tervezhető lesz a terület vízelvezetési rendszere.

3.3.2. BÁNYÁSZAT

A bányászati cégek rendszeres felmérést végeznek a külszíni fejtések állapotáról. Ez többféleképpen is megtehető, egyik eszköz a feladat elvégzésére a légi fotogrammetria. A földön elvégzett geodéziai mérések abszolút pontosságától elmarad, viszont így a bánya teljes területe térképezhető, ellentétben a pontszerű felszíni mérésekkel. A megrendelő az aktuális domborzatmodellel a hossz-és magasságmérés mellett, térfogatot, dőlésszögeket számolhat, lejtőtérképet tud készíteni. Az ortofotók a

tervezés szakaszában is segítséget nyújtanak, tervezhető a bányaudvar vízelvezető árokrendszere és a szervízút hálózata, vizsgálhatóak az esetleges veszélyforrások.

3.3.3. RÉGÉSZET

A térinformatika régészettel való kapcsolódása nem véletlen, hiszen a leletdokumentáció geolokáció nélkül mit sem ér. A nagy építőipari kivitelezési munkálatokat megelőző régészeti ásatások legtöbbször időhiányban szenvednek, nincs idő a helyszín eredeti állapotának kellően pontos modellezésére. Ezen kívül a feltárás során a régész többnyire roncsolja a lelőhelyet [Pusztai T. – Tari E. 2011], ezért kiemelkedően fontos a munkafolyamatok kellően precíz dokumentációja.

A nagyfelbontású ortofotók és elkészült domborzatmodellek fontos információkat nyújthatnak a régészek számára, azonosíthatók az esetleges temetkezési helyek, kiválthatják a rajzdokumentációk egyes elemeit [Mészáros, 2017].

3.3.4. ÉPÜLETFELMÉRÉS

A marketing célú drónos épületfotózásokon felül, a megfelelő szögekből és magasságokból, megfelelő átfedésekkel készült fotókkal, fotogrammetriai technológiával BIM modellt készíthetünk, amely könnyen beépíthető a tervezőkörnyezetbe.

3.3.5. ERDŐGAZDÁLKODÁS

Bizonyos lombkorona-méret alatt a kutatás célkeresztjében helyezkedő erdőterületről fotogrammetriával felszín és domborzatmodell is készíthető. A magasságkülönbségek alapján, famagasság-térkép készíthető. A térképezést többször meghatározott időközönként megismételve monitorozható a fafajok magasságának változása, a vizsgált erdőterület fejlődése. Ezeket az adatokat kiegészítve erdészeti mérésekkel a szakemberek következtethetnek a termőhelyi viszonyokra [Zboray, Z., 2007]. Továbbá a módszer alkalmas vihar és aszálykárok felmérésére, növénybetegségek azonosítására és üzemi térképek pontosítására [Bakó, 2015].

3.3.6. FÖLDMÉRÉS

Bonyolult idomok, felszínformák esetében UAV-val a terület morfológiai viszonyainak meghatározása, térfogatszámítások elvégzése ideálisabb lehet a

pontszerűen elvégzett hagyományos geodéziai felmérések helyett. Számítható különböző depóniák térfogata, egy átlagos sűrűségi értékkel becsülhető ezeknek a térképezett testeknek a tömege. Egy adott helyszínen a repülést megismételve, monitorozható a terület fejlődéstörténete, megfelelő mérés technikát alkalmazva, vizsgálható különböző terepi objektumoknak az elmozdulása.

4. KUTATÁSI TERÜLET BEMUTATÁSA

A kutatás helyszíne Románia területén található, Arad megyében. A feltérképezett bánya (6. ábra) és környezete Nagyhalmágy településtől körülbelül 4 kilométeres távolságban, nyugati irányban fekszik, közvetlenül a Fehér-Körös partján.

A geofizikai mérés célja a bányaterület felett található kutatási területen a szálban álló andezit, illetve a felette található fedőréteg vastagságának és térbeli kiterjedésének vizsgálata. A választott geofizikai kutatási módszer a felszín alatti egységek elektromos ellenállás mérésén alapul, a végeredményként kapott szelvényeken az előre meghatározott vonalak mentén egy felső, kb. 30-40 méter ellenállás eloszlás térképét kapjuk meg. A fajlagos elektromos ellenállás értékek változása különböző kőzetekre, anyagokra utal.



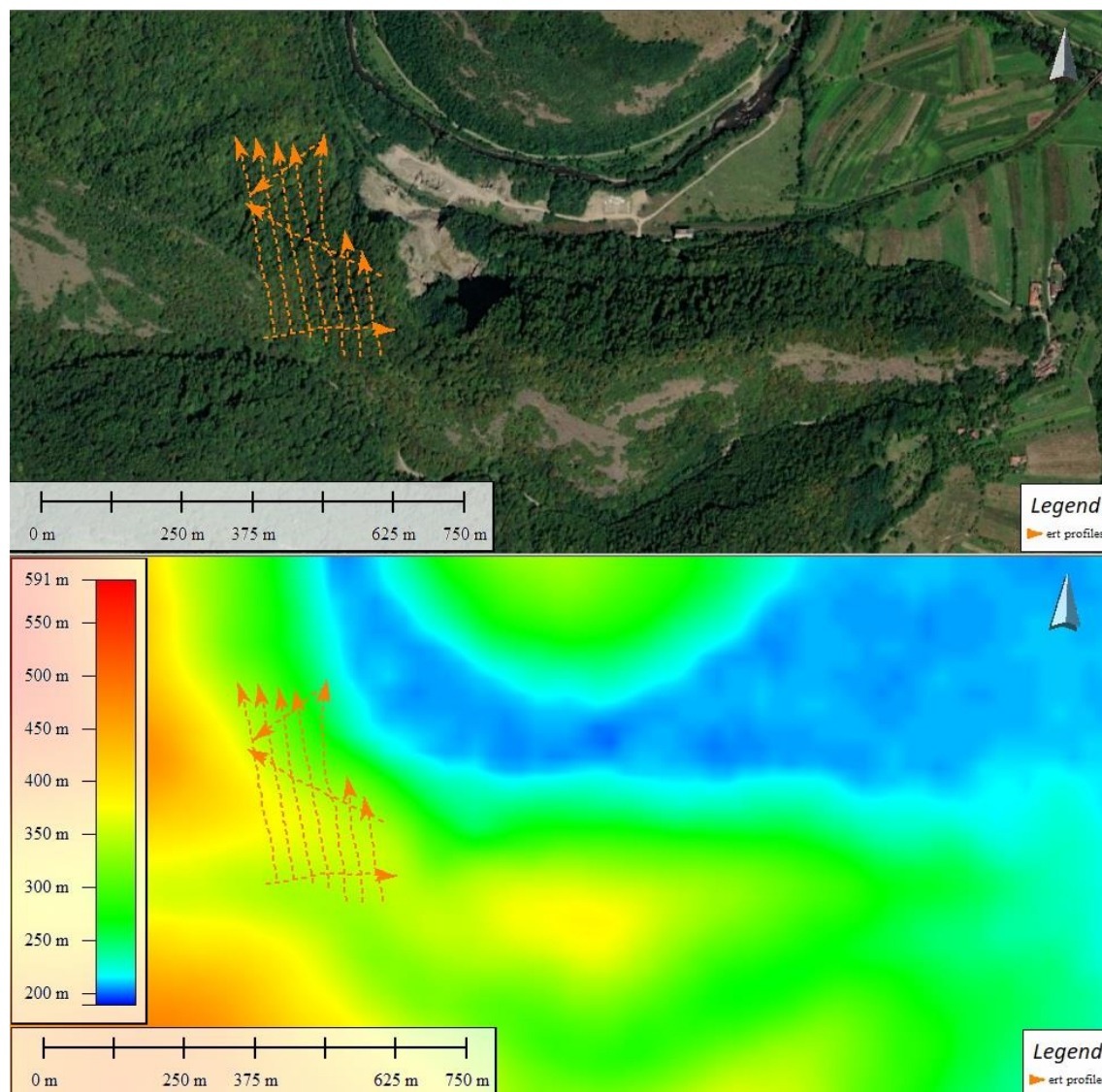
6. ábra: A kutatási terület a bányaudvarról nézve

A geofizikai szelvények szondázási pontjainak horizontális és vertikális pozíciójának pontos meghatározása a 3. fejezetben részletezettek szerint kiemelkedő jelentőségű. A terület nagyrészen a szondázási pontokon nem volt elérhető korrekciós jel, így a kutatási terület pontosabb domborzati viszonyainak meghatározásához drónos RTK felmérést is alkalmaztunk. Ezáltal kiküszöbölhetőek voltak a feldolgozáskor a fák között végzett GPS

mérések vertikális hibái, melyek a sűrű növényzetben többször előfordultak. Az eredmények fejezetben a két profilozási módszer magasságkülönbségeit összehasonlítom.

4.1. Területi viszonyok, illesztőpont-mező tervezése és telepítése

A geofizikai kutatás területének műholdas ortofotójára és az SRTM domborzatmodelljére tekintve (7. ábra) jól látható, hogy a terület nagyrészt növényzet borítja. A Fehér-Körös, a szűkebb terület miatt, mély szorost vágott, a bányaudvar környezetében több százméteres szintkülönbségek uralkodnak.



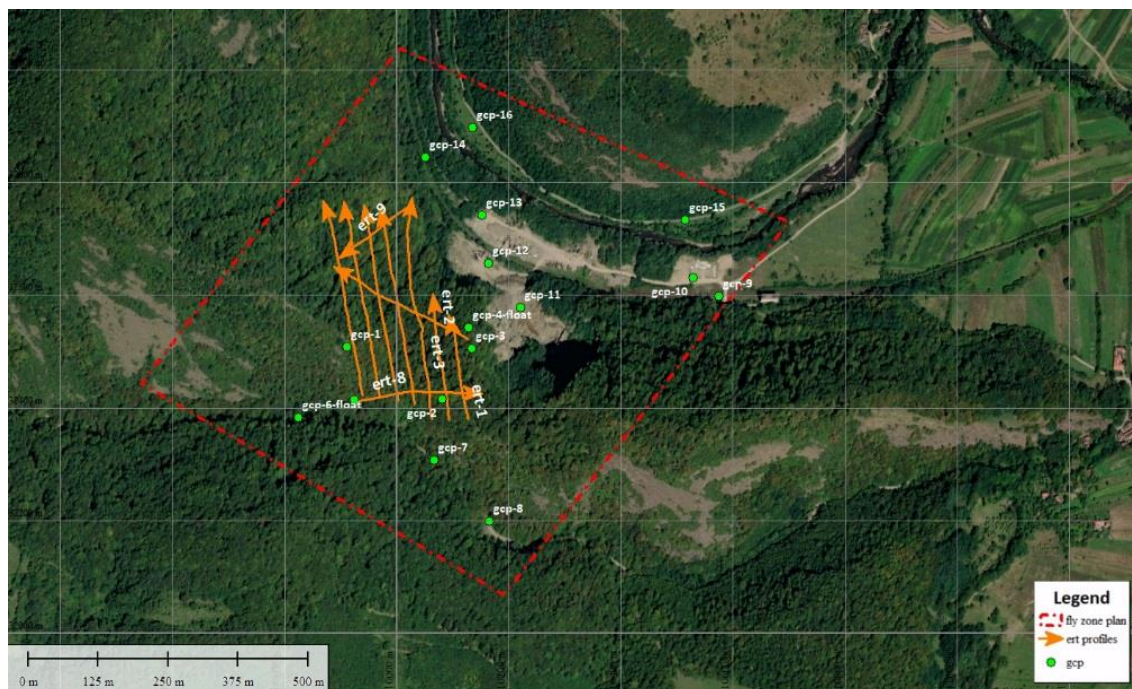
7. ábra: Domborzati viszonyok a kutatási területen

A sűrű növényzet miatt célszerű volt a megérkezés napján a gyengébb fényviszonyok ellenére is egy első repülés megtétele. A repüléshez egy Mavic Air 2 típusú drónt használtam, a fő cél az volt, hogy rendelkezésre álljon az illesztőpontok kihelyezésének tervezéséhez egy nagyobb felbontású, a terület aktuális növényzeti viszonyait ábrázoló friss térkép. A sűrűbb fákkal borított terület takarás nélküli részeit kerestem, ahova kihelyezhetőek a feldolgozást segítő terepi illesztőpontok. Az ilyen helyek meghatározása egy ismeretlen területen a gyengébb és korábban elkészített műholdfotók alapján bizonytalan. Az alábbi **8. ábrán** szemléltetem a műholdas és a UAV-s felvételek felbontásainak különbségét.



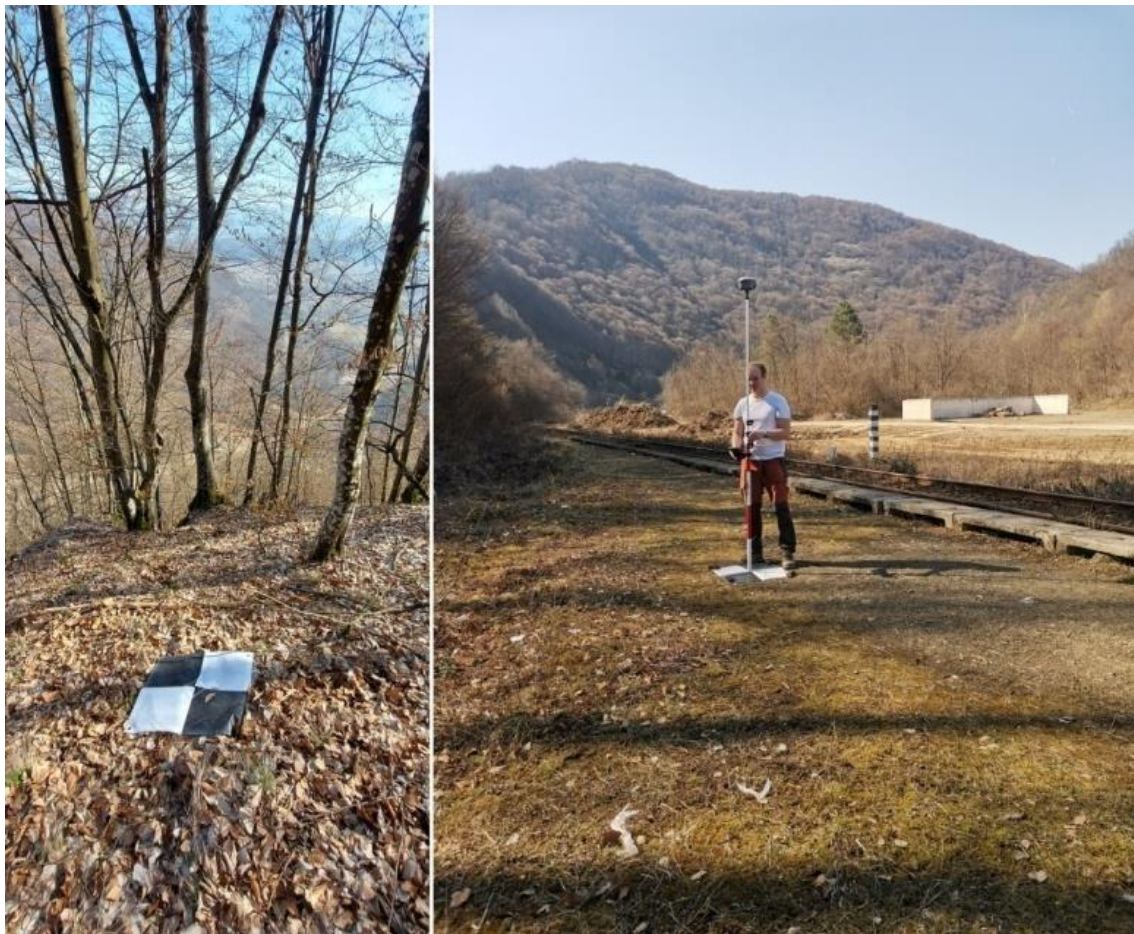
8. ábra: *Illesztőpont helyének kijelölése nagyfelbontású ortofotó alapján*

Összesen 16 db illesztőpontot helyeztem ki (9. ábra) a tervezett repülési zóna területén. Geodéziai módszerrel bemért pontok kerültek a terület sarokpontjaira, a közepére és több különböző magasságban elhelyezkedő szintekre is. A hálózatszerű pontkiosztás a terület morfológiai és egyéb akadályozó tényezők miatt nem volt lehetséges.



9. ábra: Kihelyezett illesztőpontok térbeli eloszlása

A terület nyugati sarkába terepi viszonyok miatt nem tudtam illesztőpontot kihelyezni, így végül ennek a saroknak a térképezése kimaradt, csökkentve ezzel a repülés időtartamát. A geofizikai szelvényezés szempontjából is érdektelen volt ez a zóna. A külszíni fejtést és a bányaudvar közvetlen környezetét nem akartam a felvételekből kihagyni, érdekelt, hogy a felmérés milyen pontosságú eredményeket tesz lehetővé a kiértékelés után ilyen szintkülönbségű helyszíneken. Az illesztőpontok bemérése CHCNAV I90-es (10. ábra) RTK GPS-sel történt meg.



10. ábra: Kihelyezett illesztőpontok és a pontok felmérése RTK GPS-sel

5. FELADAT KIVITELEZÉSE

5.1 Alkalmazott eszköz bemutatása

A 4. fejezetben részletezettek szerint az első repülést egy Mavic Air 2-vel végeztem el. Mivel a kiértékelés részben nem ezzel a drónnal elkészített felvételekből elkészült eredményeket tárgyalom, így most ennek a drónnak a tulajdonságait nem tárgyalom külön.

Az eredmények fejezetben taglalt ortofotó, domborzatmodell és pontfelhő egy DJI Matrice 300-as (**11. ábra**) készülékkel valósult meg. Ezt a típus a gyártó cég nem hobbi célú feladatok használatra szánta, RTK GNSS rendszerrel működik, többféle kamerával konfigurálható. A nagyobb teherbírása miatt lézerszkennerek és akár kisebb geofizikai műszerek (magnetométerek, radarok) is rácsatlakoztathatók.



11. ábra: A feladat kivitelezéséhez alkalmazott eszközök (balra a DJI Mavic Air 2, jobbra DJI Matrice 300 RTK)

A gyári leírás szerint a dón akár 15 km-es távolságból is képes az irányító egységgel kommunikálni és 55 percig a levegőben maradni. Az eddigi gyakorlati tapasztalataim szerint plusz teherrel, kamerával felszerelve a repülés idő ideális időjárási körülmények között 40-45 percre csökken. A drón biztonságos használatát 6-irányú, 40 méteres távolságból is hatékony érzékelő rendszer biztosítja. A megbízhatóság fokozása miatt a gyártó cég, a korábbi modellekhez képest, új fejlesztésekkel érkezett, melyek az alábbiak:

- AirSense (ADS-B) technológia a fokozott légtérbiztonságért.
- Ütközésgátló jeladó a repülőgép jobb láthatóságához.
- IP45 védetség és önmelegítő akkumulátor: kedvezőtlen időjárási viszonyok között (-20 és 50 °C között).
- A 6-Directional Sensing and Positioning System

[forrás: <https://myactioncam.hu/dji-matrice-300-rtk-2934>]

A repüléshez egy ZENMUSE P1 kamerát használtam, mely egy három tengelyes stabilizáló rendszerrel együtt működik. A kamera full-frame szenzorral működik, melyhez fix fókuszú lencsék csatolhatóak. Nekem egy 35 mm-es objektív állt rendelkezésemre a feladatok elvégzéséhez, a jelenlegi repülésnél is ezt használtam. Repülés közben akár 0.7 másodpercenként is készülhetnek a felvételek.

A kamerában mechanikus zárszerkezet van, amivel a csúszózár-effektus csökkenthető. Ez a hatás legtöbbször akkor jelentkezik, ha gyors mozgás közben rögzítünk felvételeket. Gyakran a sebességre a tervezett repüléseknél szükség van, hogy minél nagyobb területet tudjunk egy felszállás alatt lefedni. A kamera további, a térképezés szempontjából mértékadó tulajdonságait az **1. táblázat** tartalmazza.

Szenzor	35.9x24mm (állókép),
Effektív pixel szám	45 MP
Lencse	DJI DL 35mm F2.8 LS ASPH(ENTERPRISE) FOV 63.5°
Pixelméret	4.4 µm
Fényképméret	8192x5460
Zársebesség	1/2000-1/8s mechanikus; 1/8000-8s elektronikus
Blende-tartomány	f/2.8-f/16
ISO tartomány	100-25600 fotó; 100-3200 videó
Fájltípusok	Fénykép, GNSS nyers mérési adat, kép log file

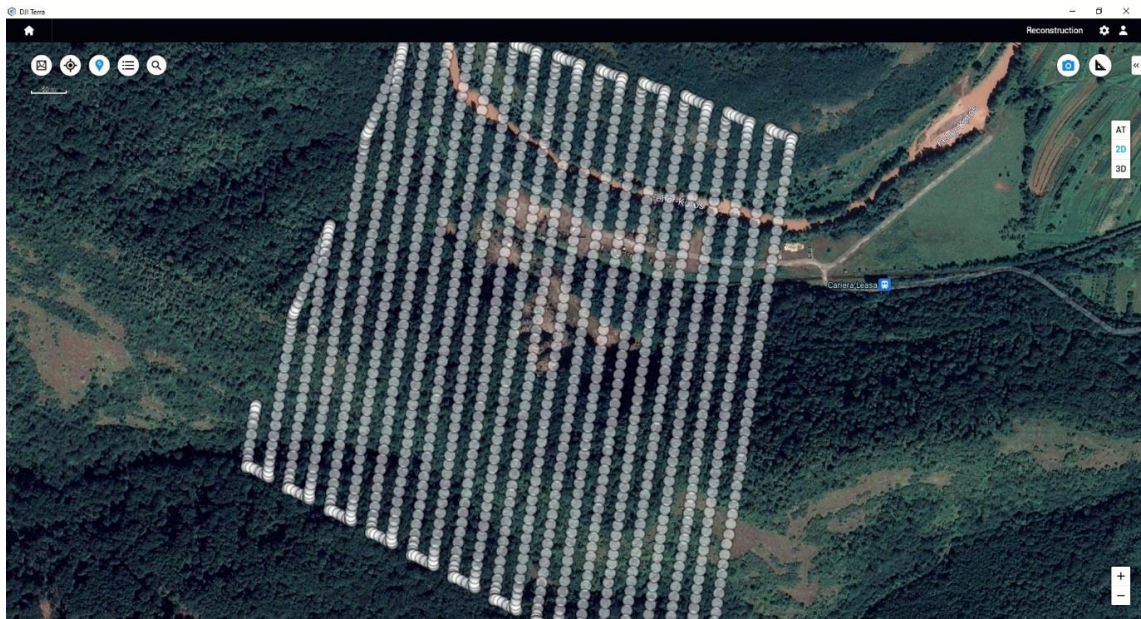
1. táblázat: *Zenmuse P1 specifikációk (forrás: <https://www.dji.com/hu>)*

5.2 Repülési terv készítése, repülés végrehajtása

A végeredmény minősége nagyban függ a repülés körülményeitől. A repülés időpontját az időjárási körülményekhez igazítottam, 3-4 nappal előre kiválasztottam egy a közeljövőben várhatóan napsütéses és szélcsendesebb napot. A kiértékelésnél használt terepi felvételek 2022. március 24-én készültek el 11.00-12.00 között. Felhőképződés nem volt jelen az égbolton, az időjárás derültnek tekinthető, a feladat elvégzését a gyenge szél nem akadályozta. A repülés időpontjának azért ezt a napszakaszt választottam, mert igyekeztem csökkenteni a lehetőségét a magas hegyoldalak miatt kialakulható árnyékos zónák kialakulásának. A felmérésen, a meglehetősen meredek bányafalaktól eltekintve, az árnyékos foltokat sikerült elkerülni.

A felületmodell pontossága és részletessége függ a mérési háló geometriájától, a soron belüli és a sorok közti átfedések mértékétől [Bakó,2015]. A feladat elvégzéséhez 100 méteres repülési magasságot választottam, 70%-os oldalirányú és 80%-os haladási irányú átfedésű repülési tervet készítettem. A légi felvételek elkészítésénél célszerű arra törekedni, hogy a terepi felbontás nagyjából állandó legyen a teljes területen. Ezt a törekvést úgy lehet megvalósítani, ha a drón a felszíntől egy állandó távolságot próbál tartani, amely egy sík területen könnyen kivitelezhető. Sajnos ezt a hegyvidéki területen nekem nem sikerült megvalósítanom így a terepi felbontásom nem homogén. A terület déli részén, ahol a domborzat kiemelkedik, a távolság kisebb a kamera és a leképzett felszín között így ezen a részen értelemszerűen jobb a felbontás. A folyómeder és a bányaudvar körzetében, ahol a tengerszint alatti magasságok kisebbek ez fordítva igaz.

Összesen 1510 felvétel (**12. ábra**) készült, a térképezett terület nagysága 63.3 hektár. Az összes fotó a jó fényviszonyoknak és szélcsendes időnek köszönhetően kifogástalan minőségű, így az összes képet felhasználtam a kiértékeléshez.



12. ábra: *A repülési sorok elhelyezkedése*

6. FELDOLGOZÁS LÉPÉSEI

A felvételek kétféle módszerrel lettek kiértékelve. Az első körben a modell elkészítése illesztő pontok használata nélkül történt meg. Ezt követően a légiháromszögelés végrehajtása illesztőpontok segítségével történt meg. A légi felvételek elkészítése közben a drónnak végig volt a korrekciót biztosító bázisállomással kapcsolata, így az összes kép kamera pozíciója RTK pontossággal lett rögzítve.

A feldolgozás a DJI Terra nevű programmal történt, mivel a P1 kamera vásárlásához a forgalmazó cég egy licenc kulcsot is biztosított az említett szoftverhez a fényképező mellé is. Bizonyos feldolgozási lépéseket (pl. fotók minőségének ellenőrzése) az Agisoft Metashape ingyenesen hozzáférhető próbaverziójában is lefuttattam.

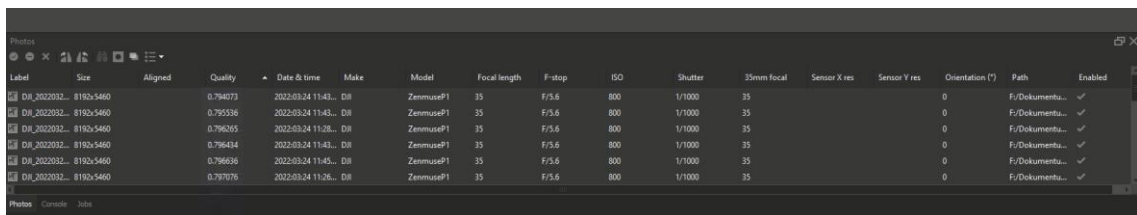
Azért, hogy a két módszer geometriai pontosságának az eredményei összehasonlíthatóak legyenek, független ellenőrző mérések elvégzésére van szükség. Ez a munkafolyamat az egyik legjelentősebb része az ilyen típusú projektnek. Nagyon fontos, hogy a különböző eszközökkel gyűjtött és feldolgozási módszerrel létrehozott téradatok minőségének az ellenőrzése megtörténjen. Az elkészült termékek minőségi ellenőrzését az ACRSA egyesület javaslatai szerint teszem majd meg a következő fejezetben. Az alábbi értékek közlésére hívják fel a figyelmet.

- Síkrajzi eltérések átlaga (HCE_a)
- Síkrajzi eltérések maximuma (HCE_{max})
- Síkrajzi pontosság az átlagos négyzetes hiba gyökeként megadva (RMSE_h)
- Megbízhatóság a 95%-os konfidencia szinten ($1.7308 * RMSE_h$)
- Magassági értékek átlagos hibája (VE_a)
- Maximális magassági eltérés (VE_{max})
- Magassági pontosság az átlagos négyzetes hiba gyökeként megadva (RMSE_v)
- Megbízhatóság a 95%-os konfidencia szinten ($1.9600 * RMSE_v$)

[forrás: <https://acrsa.org/hu/index.php/mennyire-pontos>]

6.1. Előfeldolgozás

A képek először az Agisoft Metashape-be (13. ábra) olvastam be és ellenőriztem az összes, 1510 db felvétel minőségét. Egy kép akkor nem jó, ha nagyon alacsony pontértéket kap. A projekt során 0.79 volt a minimum érték, tehát a képek minősége kifogástalannak tekinthető. Mivel a Metashape próbaverziójában több funkció is korlátozott, a teljes munkafolyamathoz a DJI Terrát használtam.

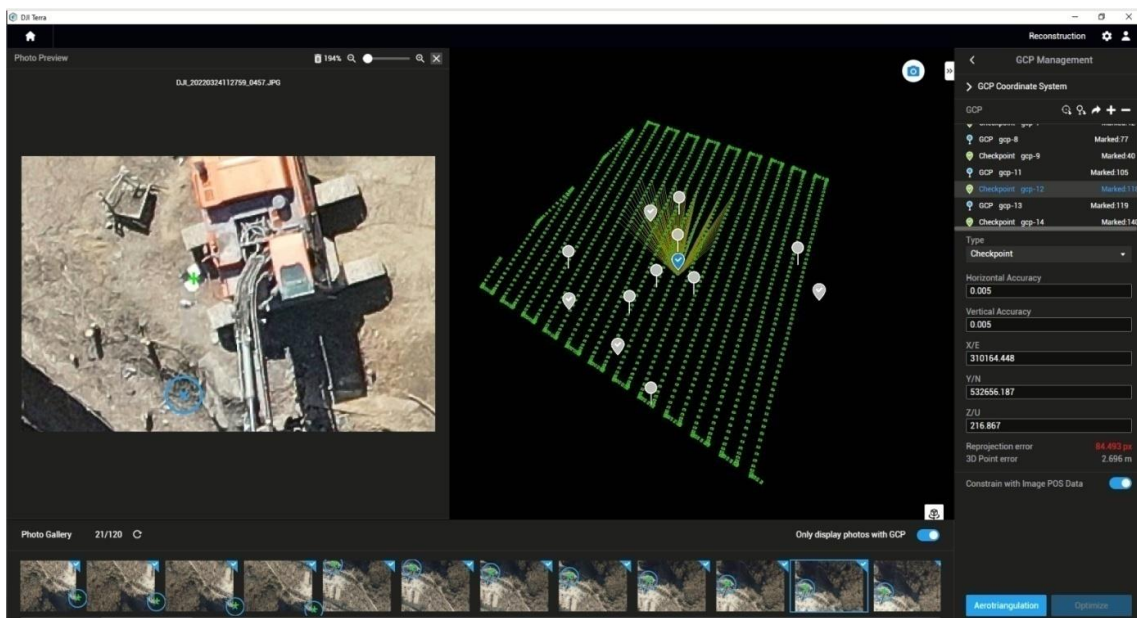


Label	Size	Aligned	Quality	Date & time	Make	Model	Focal length	F-stop	ISO	Shutter	35mm focal	Sensor X res	Sensor Y res	Orientation (°)	Path	Enabled
DR_20220322_8192x5400	0.794073		0.794073	2022.03.24 11:43...	DJI	ZenmuseP1	35	F/5.6	800	1/1000	35			0	F:\Dokumentu...	✓
DR_20220322_8192x5400	0.795336		0.795336	2022.03.24 11:43...	DJI	ZenmuseP1	35	F/5.6	800	1/1000	35			0	F:\Dokumentu...	✓
DR_20220322_8192x5400	0.796265		0.796265	2022.03.24 11:43...	DJI	ZenmuseP1	35	F/5.6	800	1/1000	35			0	F:\Dokumentu...	✓
DR_20220322_8192x5400	0.796434		0.796434	2022.03.24 11:43...	DJI	ZenmuseP1	35	F/5.6	800	1/1000	35			0	F:\Dokumentu...	✓
DR_20220322_8192x5400	0.796636		0.796636	2022.03.24 11:43...	DJI	ZenmuseP1	35	F/5.6	800	1/1000	35			0	F:\Dokumentu...	✓
DR_20220322_8192x5400	0.797076		0.797076	2022.03.24 11:43...	DJI	ZenmuseP1	35	F/5.6	800	1/1000	35			0	F:\Dokumentu...	✓

13. ábra: Felvételek minőségének ellenőrzése

6.2. Alacsony sűrűségű pontfelhő létrehozása

A megfelelő koordinátarendszer kiválasztása után, amibe a modellünket akarjuk beilleszteni, azonosítjuk a felvételeken a megadott illesztőpontokat (14. ábra).



14. ábra: Illesztőpontok azonosítása

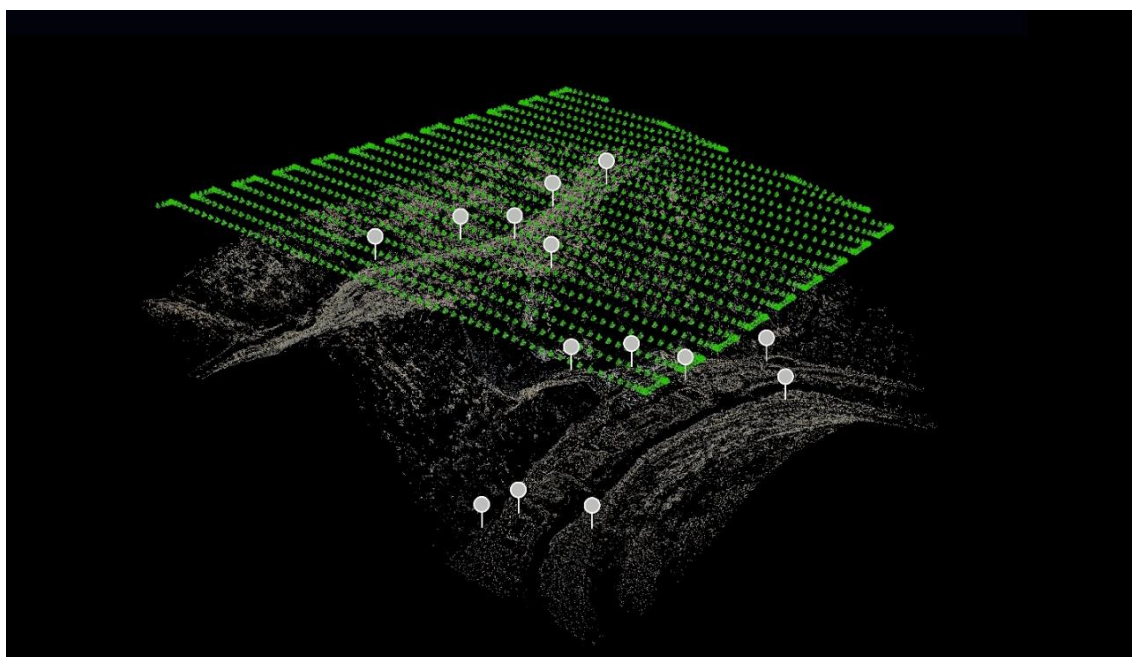
Az illesztő-és az ellenőrzőpontok helyét a terepi lehetőségekhez mérten igyekeztem egyenletesen elosztani a munkaterületen. Az illesztőpontok irányzása a fotókon hosszabb

ideig tartott, mivel közel ezer fotón kellett a folyamatot megismételnem. A pontok koordinátájából kiszámolt ellentmondásokat az **2. táblázat**-ban részletezem.

Illesztőpont neve	STEREO 70 X	STEREO 70 Y	Z	dX (m)	dY (m)	dZ (m)
gcp-1	309912.3	532508.1	386.767	-0.119898	0.242126	0.177613
gcp-2	310081.2	532415.6	347.96	0.079101	0.392688	0.222617
gcp-3	310134.3	532504.4	344.247	-0.239074	0.198065	0.24248
gcp-8	310166.3	532198.7	303.09	0.10578	-0.091304	0.23421
gcp-11	310221.3	532577.2	225.205	0.072383	0.28622	0.125687
gcp-13	310152.7	532742.1	208.131	0.109157	0.283857	-0.147764
gcp-15	310514.7	532732.6	205.841	-0.256234	0.097542	-0.132443
gcp-16	310136	532897.8	206.588	-0.040835	0.080177	-0.276628

2. táblázat: *Illesztőpontok ellentmondásai*

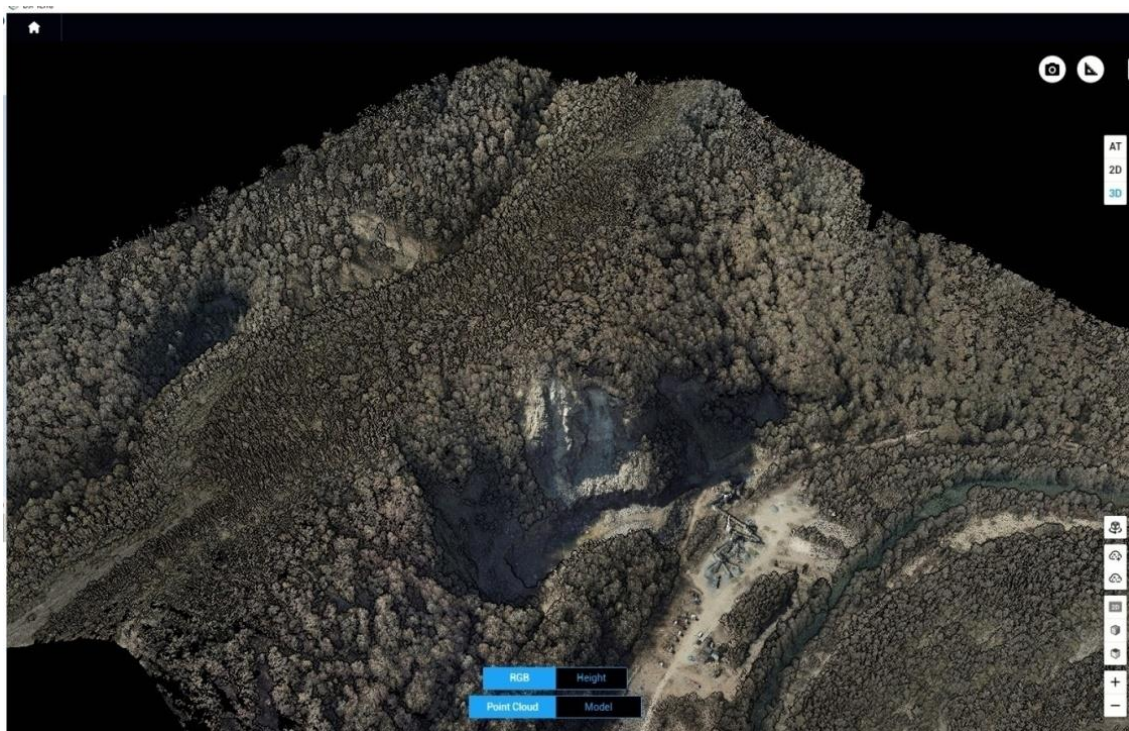
A fotók betöltése és ellenőrzése után a képek illesztése (align) következik. A program megvizsgálja, hogy melyik kép, melyik oldalról pontosan honnan készült, majd elindul a tájékozási folyamat. A képkapcsolatok alapján az algoritmus kiszámol egy alacsony sűrűségű pontthalmazt (**15. ábra**).



15. ábra: *A tájékozás után kapott ritka pontfelhő*

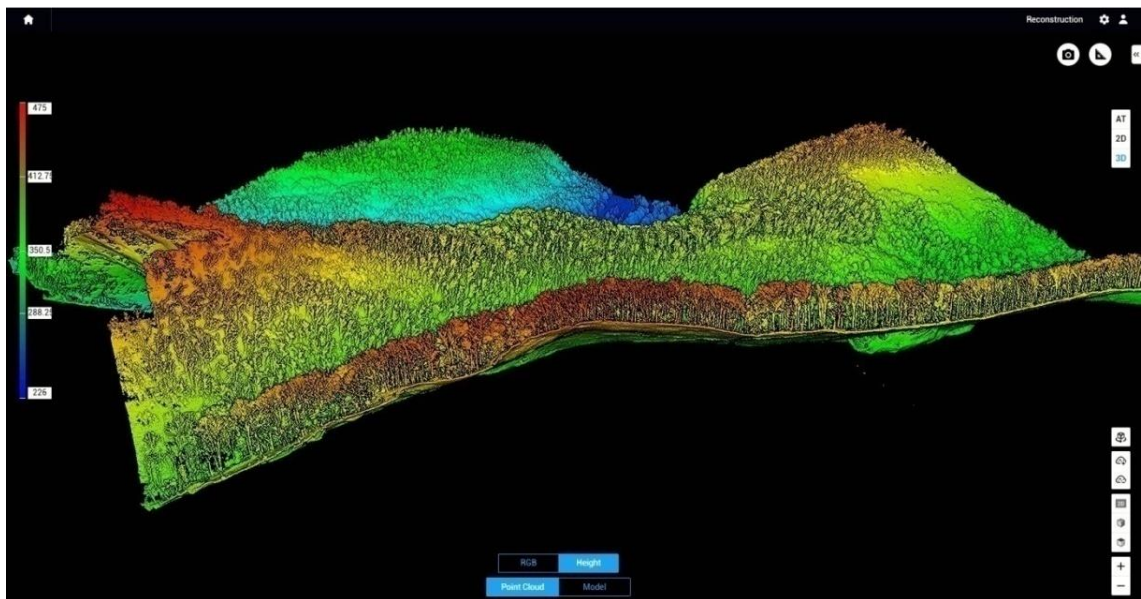
6.3 Domborzatmodell előállítása

A pontfelhő létrehozásánál a maximum sűrűséget választottam ki, bízva abban, hogy a tavaszi kezdetleges lombkorona alatt is nagy sűrűségű pontfelhőt kapok és így könnyebb lesz a felszín leválasztása.



16. ábra: A terület pontfelhője

A számítások befejezése után összesen több, mint 124 millió pontból álló térmodell (**16. ábra**) keletkezett. A modell forgatásával és a nagyítási nézetek változtatásával, közelebbről vizsgálhatóak a különböző felszíni objektumok térbeli megjelenése. A program lehetőséget biztosít a színkulcsos megjelenítésre, ahol a meleg és hideg színek változása a pont magasság koordinátájának az értékére utal. A **17. ábrán** a modellterület szélén jól megfigyelhető, hogy a növényzet és a felszín elkülönül egymástól.



17. ábra A pontfelhő 3-dimenziós ábrázolása szíkulccsal

A felszímodellel kétdimenziós kivetítése a **1. számú mellékletben** jelenik meg.

A nagy terepi felbontásnak köszönhetően, mind a domborzatmodellen, mind az elkészült nagy felbontású ortofotón (Hiba! A hivatkozási forrás nem található.) jól felismerhetőek az erdei utak, a külszíni fejtés területe, a Fehér-Körös folyómedre és a különböző



emberalkotta objektumok is. A felvételeken lehetőség van hossz-, magasság-, kerület és területmérésre. A nagyfelbontású térképen az egészen kis méretű objektumok koordinátáinak a meghatározása is lehetséges.

További számításokkal lejtésszögek és dőlésszögek is meghatározhatóak. Ehhez viszont szükség van a valós fizikai szilárd burkolatot képző felszín modelljére.

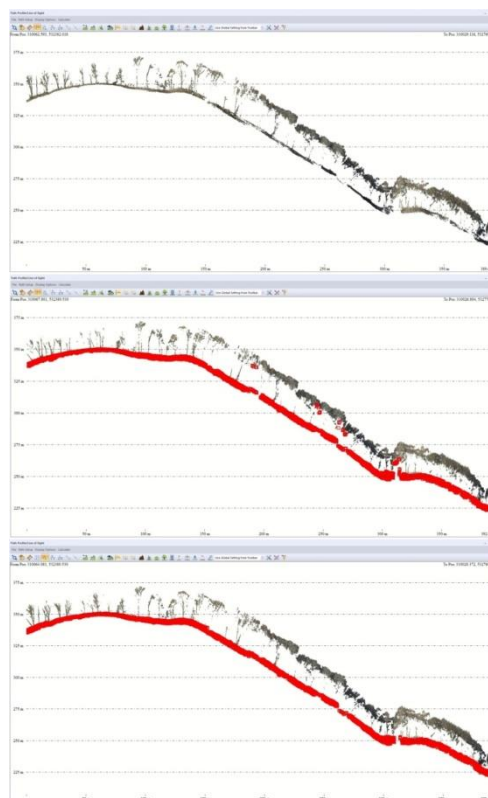
A nagy felbontású pontfelhő birtokában lehetőségünk van a pontokat osztályozni.

18. ábra: Centiméteres felbontású ortofotó

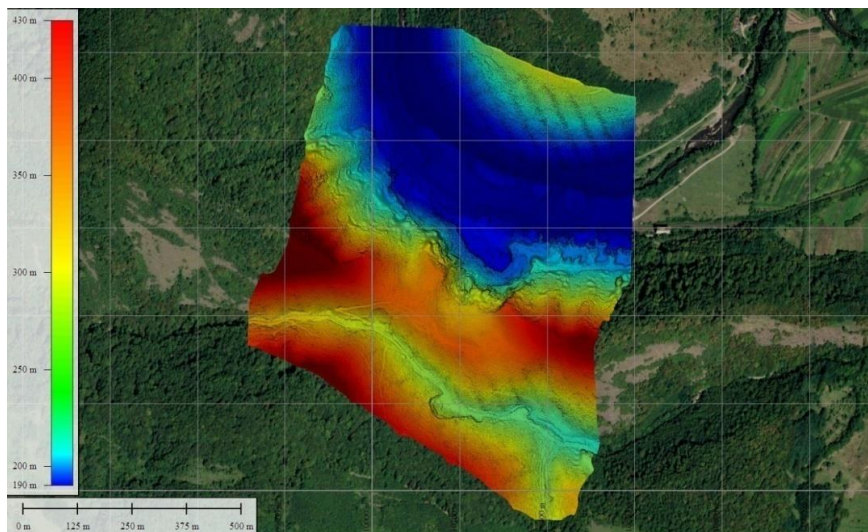
A célunk jelen esetben csak azon ponttípusok megtartása, ami a domborzat változásáról ad információt. A fotogrammetriával készült pontfelhő birtokában lehetőségünk van a terephez és nem terephez köthető pontok szétválasztására.

Az osztályozási algoritmusokat a Global Mapper programban futtattam. Célszerű az algoritmusok paramétereit változtatni és azoknak a hatását figyelemmel követni (19. ábra). Beállítható a domborzat lejtésviszonya vagy akár a keresési cellák mérete is megadható. Lehetőség van a már korábban osztályozott rétegek pontjainak kiválasztására, szűrésére. A feladat a tereptárgyak és növényzet és minden olyan pont eltávolítása, ami valószínűleg nem a talaj leképezéséből született. A sikeres osztályozás után csak a talajhoz közeli pontokat mentettem el egy külön las fájlba.

Az exportált las fájlal a Surfer programban dolgoztam tovább. A beolvasott adatpontokat újrarmintavételeztem és egy



19. ábra: A pontfelhő klasszifikációjának lépései



20. ábra: Digitális terepmodell

cella), ami még nem rontja túlságosan a terepi felbontást, mozgó átlagos simítást alkalmaztam. Az így kapott grid fájl már a domborzatmodellezés végeredménye. A rá illesztett szintvonalas térképen (Hiba! A hivatkozási forrás nem található.) jól látszik, hogy

szabályos rácshálójú
grid fájlt hoztam
létre. Az osztályozó
algoritmus
eredménye nem
minden esetben volt
teljesen tökéletes
ezért egy
tetszőlegesen
kiválasztott szűrő
mérettel (9x9

a felszínmodellhez képest egy letisztult felületet kaptunk végeredményként. Az erről a modellről leolvasott magasság értékek lesznek a geofizikai adatrendszer bemenő adatai is.

7. EREDMÉNYEK

A kétféle háromszögeléssel végzett kiértékelés következtetéseinek levonásához szükség van a végtermékek minőségeinek összehasonlítására. Ezt követően részletezem, hogy a jobb minőségű végeredmény a geofizikai eredmények feldolgozásához, hogyan és milyen pontosságban tud hozzájárulni a kutatási munkához.

7.1. RTK-val és illesztőpontokkal végzett légiháromszögelés összehasonlítása

A minőség-ellenőrzés úgy tud hiteles lenni, ha számszerűsítjük a feldolgozás után kapott különbségeket a GNSS méréseinkhez képest. Az egységes paraméterek vizsgálata teszi lehetővé, hogy a munkafolyamatok végeredményének minősége, számokban kifejezhető legyen.

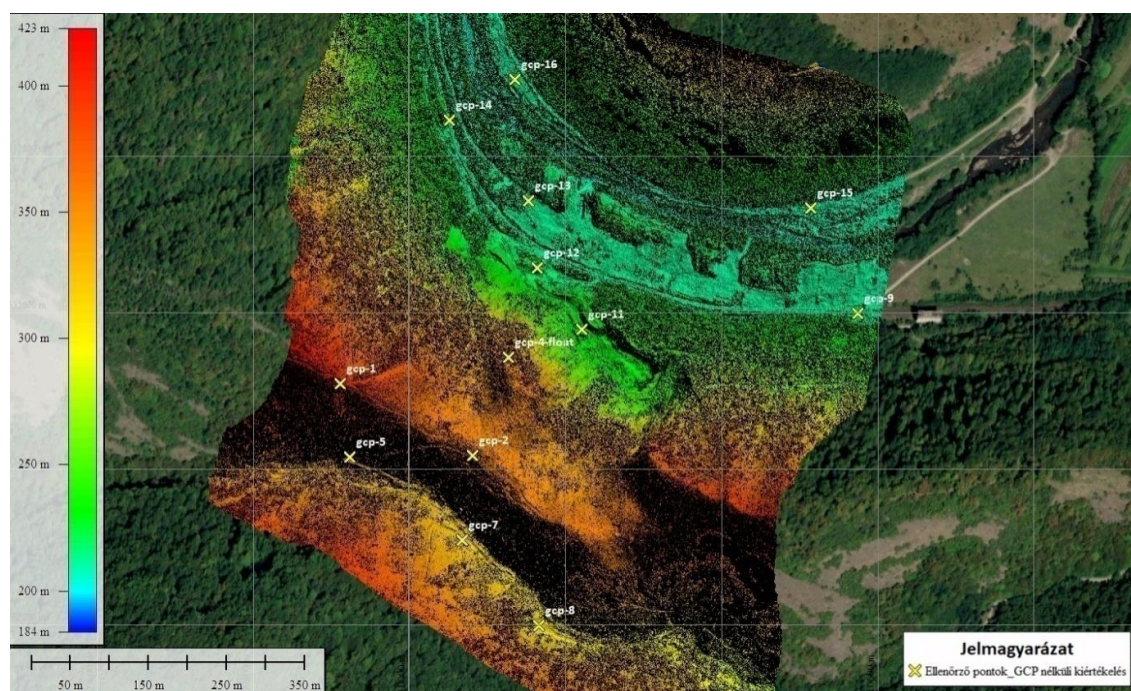
Az első kiértékelés oly módon valósult meg, hogy az illesztőpontok a fotogrammetriai munkafolyamatokba nem lettek bevonva. Az ellenőrzést úgy valósítottam meg, hogy a létrehozott ortofotót és felületmodellt exportáltam, majd beolvastam a Global Mapperbe.



21. ábra: *Illesztőpontok beazonosítása manuálisan*

Ezután behívtam az RTK-val rögzített GCP pontok állományát, melyeket piros színű, kereszt alakú szimbólummal jelöltem (**21. ábra**). A kétdimenziós térképen megfigyelhető a pontok horizontális pozícióinak különbsége. A jelölőkre manuálisan pontokat helyeztem a programban, majd a kiexportált DEM-ről (**22. ábra**) a pontokhoz hozzárendeltem a magasság értékeket. Mivel az illesztők nem takart helyzetbe voltak kihelyezve, így ezeken a részeken a leolvasott magasságértékek a föld felszínét jelölik. Az így már X, Y, Z értékeket tartalmazó réteget kiexportáltam. Ezek után már

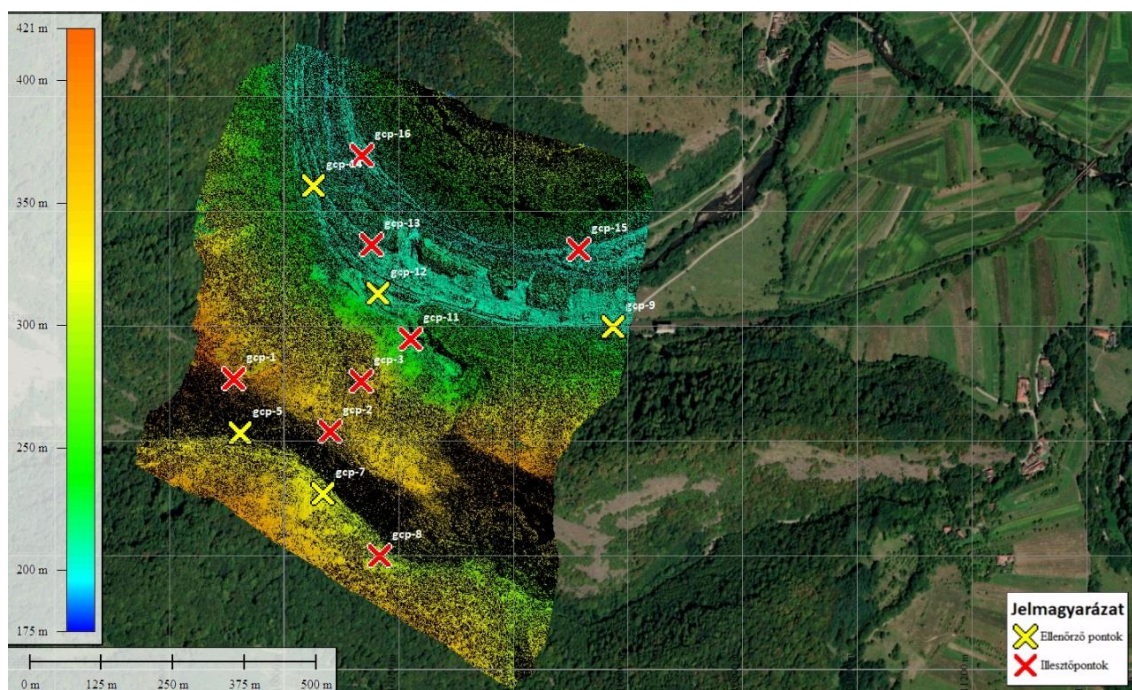
rendelkezésekre álltak a hibák számolásához szükséges mérési adatok. A GNSS felmérés és ezen leolvasott adatokkal együtt a különböző minőséget leíró paraméterek számíthatók (3. táblázat). A számítások alapját a különböző koordináta tengelyek szerinti távolságkülönbségek képezik.



22. ábra: Magassági adatok leolvasása a DEM alapján

Termék minőségéről szóló paraméterek	Jel	Érték [m]	Megbízhatóság 95% konfidencia szinten [m]
Átlagos négyzethiba Y	RMSE Y	0.135	
Átlagos négyzethiba X	RMSE X	0.977	
Átlagos négyzethiba Z	RMSE Z	4.093	
Horizontális maradék ellentmondás	RMSE h	0.987	1.708
Vertikális maradék ellentmondás	RMSE v	4.093	8.023
Síkrajzi átlaghiba	HCEa	0.538	
Maximális síkrajzi eltérés	HCEmax	1.253	
Magassági értelemben vett átlaghiba	VEa	4.090	
Maximális magassági eltérés	VEmax	4.306	

3. táblázat: Illesztő pontok nélküli feldolgozás eredményeinek minőség vizsgálata (számítások forrása: <https://acrsa.org/hu/index.php/mennyire-pontos>)



23. ábra: Illesztőpontok és ellenőrzőpontok eloszlása a kutatási területen

Ellenőrző pont neve	dX(m)	dY(m)	dZ(m)
gcp-7	-0.041821	-0.117313	0.450574
gcp-9	-0.028151	0.345750	0.064937
gcp-12	-0.081945	0.407216	0.018925
gcp-14	0.053328	0.270265	-0.230086
gcp-5	-0.243816	-0.203237	0.436777

4. táblázat: Illesztő pontok horizontális és vertikális ellentmondásai

Termék minőségéről szóló paraméterek	Jel	Érték [m]	Megbízhatóság 95% konfidencia szinten [m]
Átlagos négyzethiba Y	RMSE Y	0.288	
Átlagos négyzethiba X	RMSE X	0.120	
Átlagos négyzethiba Z	RMSE Z	0.300	
Horizontális maradék ellentmondás	RMSE h	0.311	0.539
Vertikális maradék ellentmondás	RMSE v	0.300	0.589
Síkrajzi átlaghiba	HCEa	0.017+	
Maximális síkrajzi eltérés	HCEmax	0.415	
Magassági értelemben vett átlaghiba	VEa	0.240	
Maximális magassági eltérés	VEmax	0.451	

5. táblázat: Illesztő pontokkal végzett légi háromszögelés eredményeinek minőség vizsgálata (számítások forrása: <https://acrsa.org/hu/index.php/mennyire-pontos>)

7.2 Végeredmény alkalmazása egy megvalósult geofizikai projekt során

Az elkészült légi felvételek a különböző háromszögelési technikák összehasonlításán túl a geofizikai eredmények kiértékelésében is szerepet játszottak. A terület geológiai szerkezetének megismerésére elektromos ellenállás tomográfia méréseket alkalmaztunk (24. ábra).



24. ábra: Elektromos ellenállás szelvényezés és a szondázási pontok rögzítése RTK GPS-sel

A mérési nyers adatokon inverziót kell végrehajtani, hogy a mérési geometriából adódó hatások (topográfia, elektróda konfiguráció) figyelembe legyenek véve és ki legyen számolva a valós fajlagos elektromos ellenállás. A 3-as fejezetben már kitértem erre, hogy mennyire jelentős az ilyen algoritmusok futtatásakor a topográfia pontos ismerete. Hatványozottan igaz ez az állítás akkor, amikor a kutatási területen hasonló domborzati körülmények vannak, mint itt.

Amikor a szelvények nem a magassági izovonalakkal párhuzamosan, hanem arra merőlegesen vagy valamilyen nagyobb szöget bezárva futnak, akkor a szelvények végpontjainak geodéziai értelemben vett távolsága ($X_1 \ Y_1$, $X_2 \ Y_2$) már a kiértékelést

befolyásoló csökkenéssel jár, a képzeletbeli derékszögű háromszög átfogójának hosszához képest. Az átfogó jelöli a felszínt, ahol a szelvények fizikailag ki lettek helyezve.

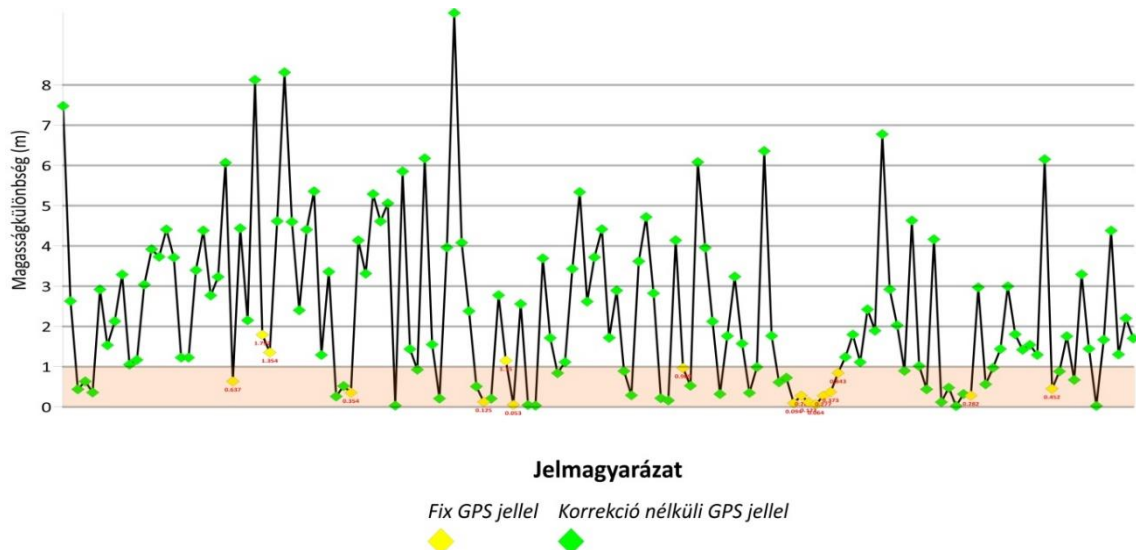
A domborzat morfológiájának pontos ismerete azért is kritikusan fontos, mivel a legtöbb esetben a felszín nem modellezhető egy derékszögű háromszöggel. A kutatási helyszíneken völgyek, kiemelkedések, tereplépcsők lehetnek.

Az elektromos mérések kiértékelésénél a nyers adatok szűrését a topográfiai adatok megadása követi. Ahhoz, hogy a terület modellezése a legpontosabban történjen meg, szükséges lenne az összes szondázási pont geodéziai bemérése. Eerre ilyen környezetben általában nincsen lehetőség, mert túlságosan lelassítaná a többi munkafolyamatot. Ezért csak a terepfelszínt leíró görbe inflexiós pontjai kerülnek bemérésre. A többi pont magassági értékét interpoláljuk, feltételezve azt, hogy két szomszédos pont között a domborzat lineárisan csökken vagy nő. Ennek a technikának az alkalmazása legtöbb esetben hibahatáron belüli különbségekkel alkalmazható. A módszerrel kapott végeredmények a legtöbb esetben elfogadhatóak. Ez azokra az esetekre igaz, amikor az inflexiós pontok X, Y, Z koordinátája csak kis mérési hibával terhelt. Abban ez esetben, ha a felszín és valamilyen geológiai réteg horizontja között akarunk térfogatbecslést elvégezni akkor szintén szükségünk lesz a nem pontszerű méréseken alapuló digitális domborzatmodellre, ugyanis ebben az esetben a becsült érték a valósághoz jobban fog közelíteni. Ez hasonlóan igaz a felszínhez viszonyított különböző rétegvastagság térképekre is.

A kutatás során az RTK GNSS rögzítések nem mindig voltak megfelelő pontosságúak. Több szonda pozícióban is tapasztaltuk, hogy két különböző időpontban ugyanazon az álláson elvégzett mérések vertikális különbségei több méteres hibával terheltek. A hibák csökkentésére, illetve kiküszöbölésére a fotogrammetriával előállított domborzatmodellből származtattuk a magasságokat.

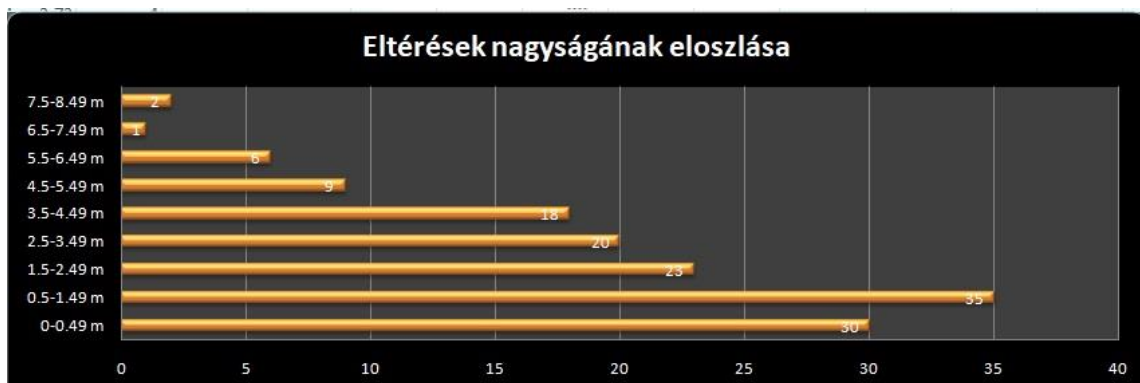
A továbbiakban megvizsgálom, hogy mekkora különbségek adódnak a geofizikai mérések szondázási pontjaiban a GNSS mérések és a drónos felmérésből származtatott magasság értékek között.

Először megvizsgáltam azt, hogy az összes olyan szondázási pontban, ahol GNSS mérés is történt, ott mekkora magasságkülönbséget kapunk az illesztőpontos módszerrel előállított domborzatmodell magasságai és GNSS mérések magasságai között (25. ábra).



25. ábra: Az összes szondázási pontban a DTM-ről leolvasott és a GPS-sel mért magasságok különbségeinek grafikonos ábrázolása

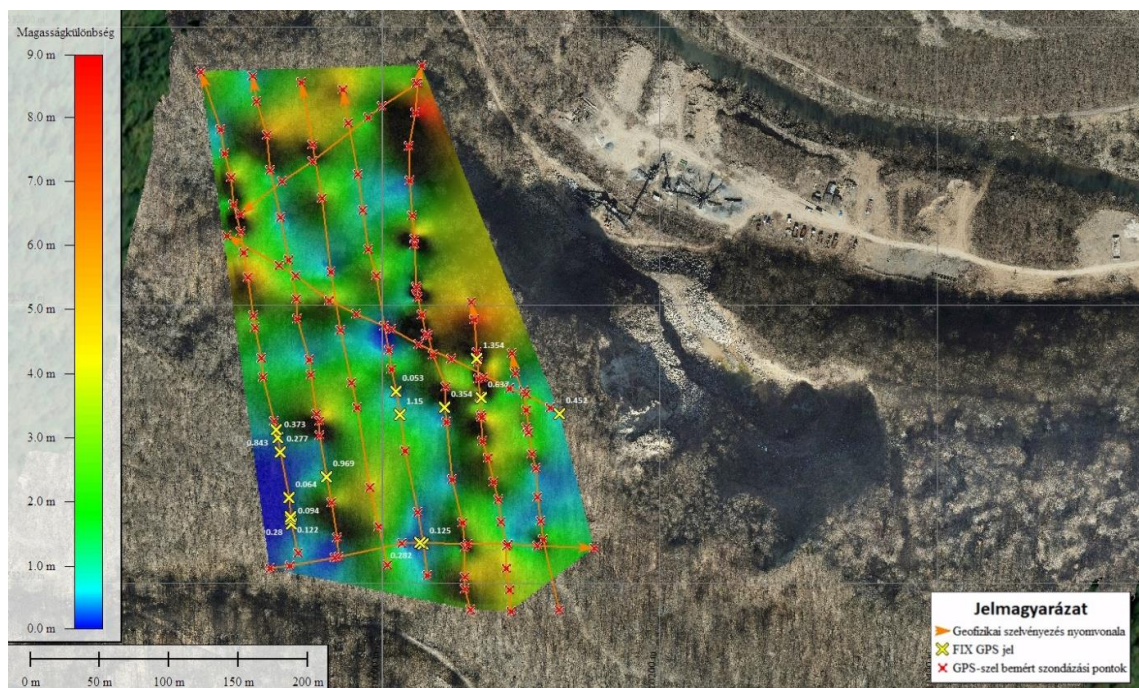
A grafikont kielemezve több következtetés vonható le. A GNSS mérések és a fotogrammetriából kiszerkesztett mérési adatok közti magasságkülönbség a legtöbb szondázási pontban többméteres. Az eltérések eloszlását a 26. ábra mutatja.



26. ábra: Hibák mértékének eloszlása

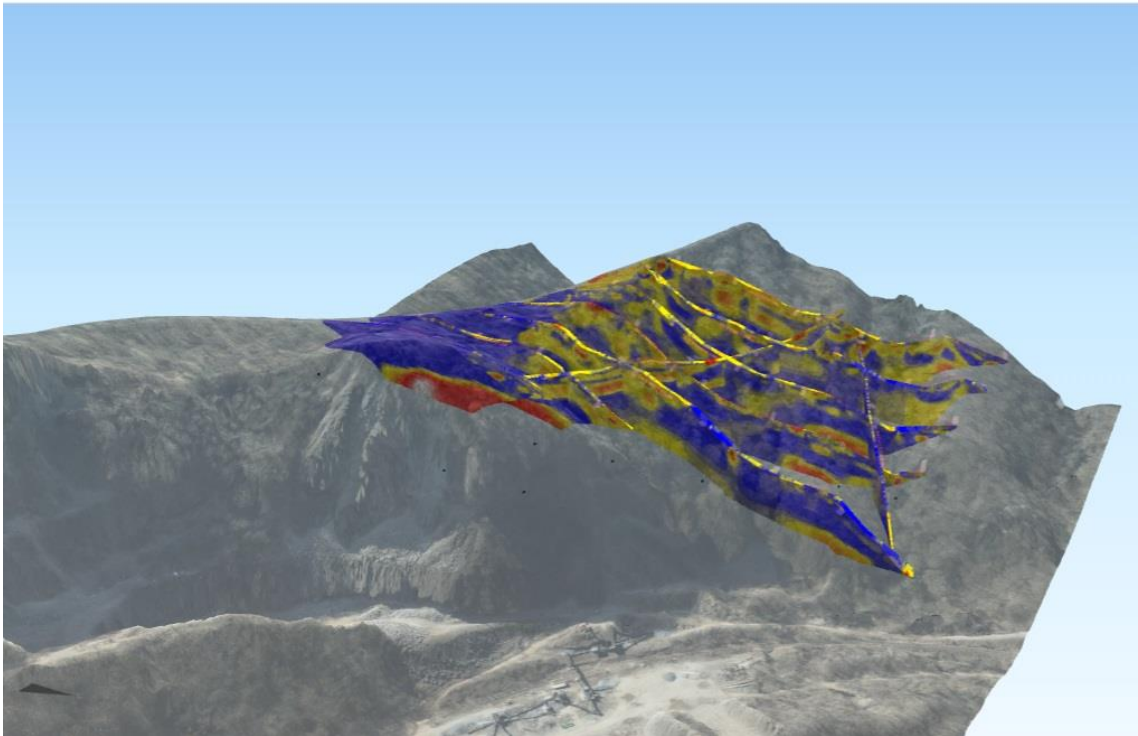
A hibák okát a korrekció nélküli GPS mérések adják. Ezt a következtetést azért vontam le, mert jól látható, hogy ahol elérhető volt a fix jel a pontrögzítés során, ott a két külön módszerrel meghatározott magasságértékek közti különbségek többsége egy méter alatti. Ez arra utal, hogy a légi felvételekkel előállított felületmodell jóval megbízhatóbb ebben a mérési környezetben a GPS mérések alapján előállított profilokhoz képest.

A geofizikai szelvények mentén a szondázási távolság egy méter volt. Már a terepen sejthető volt, hogy a GNSS mérések vertikális hibái magasak lesznek, így értelemszerűen szükségtelen volt minden szonda felszíni helyzetét rögzíteni. A bemérések helyét a **27. ábra** mutatja, piros keresztekkel jelölve. A narancssárga vonalak az elektromos ellenállás mérések nyomvonalai. A geofizikai kutatás DNY-i csücskében volt a GPS-nek fix típusú korrekciós jele, itt voltunk a legmagasabban, a hegy gerincéhez a legközelebb. A kitakarás hiánya és ezzel együtt a jobb minőségű geodéziai bemérések hatása, a hibák eloszlásán is jól megfigyelhető. Látszódik, hogy ezen a DNY-i részen a GNSS mérés pontossága miatt a magasságkülönbségek kisebbek. Ez az állítás sajnos csak a kutatási terület ezen részén, illetve még egy-két szűkebb környezetben mondható el.



27. ábra: *A hibák térképi megjelenítése*

Az ábra megerősített abban, hogy a GPS-sel rögzített magasságértékek nem kellően pontosak a geofizikai kiértékelés elvégzéséhez. Ezért a kutatás során a tomográfia szondázási pontok Z értékei a fotogrammetriával előállított módszerből lettek származtatva.

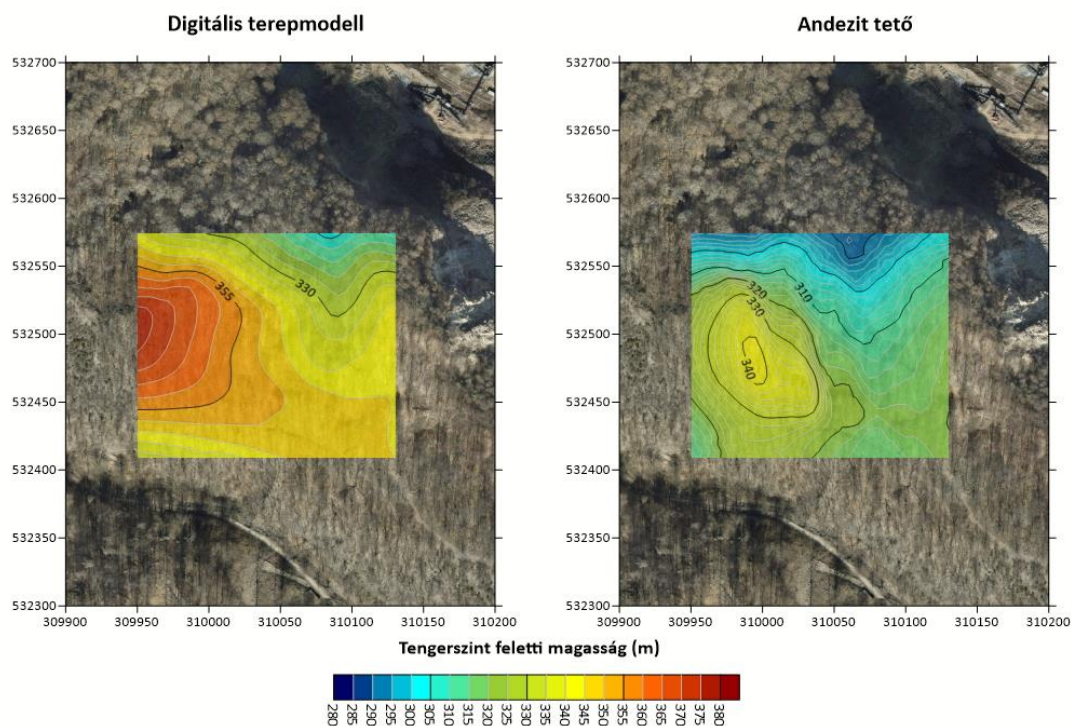


28. ábra: *Fajlagos elektromos ellenállás eloszlás térben kivetítve*

A **28. ábrán** jól látható, hogy ha a nagyfelbontású ortofotó pixeleit a domborzatmodell Z értékei alapján jelenítjük meg, akkor a végeredmény egy látványos és áttekinthető háromdimenziós modell lesz. A geofizikai szelvényezéssel kapott ellenállás értékek egy tetszőleges színskálával szintén térben kivetíthetők. A két adatrendszer egybe illesztésével a felhasználó a valós domborzat láttán sokkal egyértelműbben el tudja képzelni, hogy az ellenállás eloszlások milyen felszínalatti formációkhoz köthetők és a különböző szerkezetek a térben, a felszínhez viszonyított objektumokhoz képest hol helyezkednek el.

Mivel a légifelvételekkel nem csak pontszerű adataink vannak a területről ezért a kiszerkesztett felületmodell térfogatszámításra is felhasználható. A következőkben ábrázolom, hogy a felszínhez képest, hogyan változik a kemény szálkőzetet takaró üledékes összlet vastagsága. A **2. mellékletben** bemutatom azt a szintvonalas térképet, ami a felszín és az andezit tetőt közti távolságot jelöli. Az andezit tetőnek azokat a térbeli pontokat vettem, ahol jelentős fajlagos elektromos ellenállás növekedés van jelen a szelvények mentén. Ezután, kiszámoltam, hogy a bányászati tevékenység szempontjából haszontalan agyagos fedő réteg mekkora térfogattal rendelkezik a terület azon a szűkebb

területen, ahol a jó minőségű andezit blokk egyértelműen lehatárolható. Ehhez a számításhoz szükséges a domborzat és az agyag fekü felületének modellje (29. ábra).



29. ábra: A szűkített terület domborzati viszonyai és a felszín alatti andezit blokk tetejét vagy másképpen az agyag fedő alját jelölő határfelület

A geofizikai szelvényeken az ellenállás értékek alapján meghatározott andezit réteg és az UAV felvételek alapján kiértékelt felszín között, a 29. ábrán látható szűkebb területen a számítások szerint 848 910 m³ agyagos talajréteg eltávolítása szükséges a bányászati tevékenység előkészítéséhez.

8. ÖSSZEGZÉS

A geofizikai kutatások gyakran távérzékelési módszerek eredményeivel egészülnek ki. A légi felvételek kielemezésével többféle paraméter is meghatározható. Mind az aktív és passzív távérzékelési módszerek eszköztárait használva, az egyik leggyakoribb feladat a Föld domborzatának modellezése. A távérzékelési folyamatoknak a végeredménye a geofizikai feladatokban is rendkívül fontosok, mivel lényeges, hogy a mért különböző fizikai paraméterek a térben megfelelően legyenek elhelyezve a vízszintes és függőleges koordináta-tengelyei mentén is.

A dolgozatomban részletezem, hogy a fotogrammetria, hogyan képes légi fotók sokaságából megfelelő koordináta rendszerű térbeli ponthalmazt előállítani. Kitekintek arra, hogy a geofizika szakterületén belül, milyen gyakorlati felhasználási lehetőségei vannak a drónnal készített légifelvételeknek. A fotogrammetriai folyamat végeredménye a terület aktuális állapotát tükröző ortofotó, felszínmodell és pontfelhő. Ezek az eredmények nem csak a különböző geofizikai módszerek feldolgozási lépéseibe építhetők be, hanem hasznosak lehetnek a projekt tervezése vagy egy árajánlat elkészítése során is.

A fotogrammetria módszer elméleti témáinak tárgyalása után egy Romániában megvalósult geofizikai projekt domborzati viszonyainak pontosításához elvégzett repülés bemutatására térek rá a dolgozatban. A repülés egy RTK GPS-sel felszerelt DJI Matrice 300-as drónnal valósult meg. Foglalkozom a munka előkészítésének folyamatával, a képek kiértékelésének fontosabb lépéseivel, illetve a különböző módon elkészített modellek összehasonlításával. A repülést megelőzően szisztematikusan jelölő pontokat helyeztem ki a területre, mely pontok helyzetét – a feladat térinformatikai minőségi követelményei miatt – kellően pontos GPS-sel bemértem. Ezzel lehetőség volt arra, hogy a képek feldolgozása kétféle módon valósuljon meg. Először megvizsgáltam, hogy az RTK-s drónnal készített légifotók feldolgozását követően, a kapott végeredmény mennyire pontos a földön elvégzett GNSS mérésekhez képest. Ezt követően a kihelyezett illesztőpontokat azonosítottam a felvételeken és így hoztam létre a térmodellt. Itt is megvizsgáltam a kiértékelt pontok GPS mérésekhez viszonyított különbségeit a különböző koordináta tengelyek mentén. Az összehasonlítások során olyan paramétereket vizsgáltam, melyek a szakirodalom szabványai alapján vannak

meghatározva. Ezekkel meg lehet ítélni, hogy a végeredmény geometriai pontossága megfelelő minőségű-e.

A végeredmény a várakozásoknak megfelelően akkor lett pontosabb, amikor a modell létrehozásához a kapcsolópontokat is figyelembe vettem. A geofizikai kutatás területe a teljes lerepült és feldolgozott rész csak egy kisebb részét érinti. Ezen a szűkebb területen, a domborzati viszonyok és az erdős környezet miatt a kézi GNSS műszeregység a szondázási pontok jelentős részén pontatlanul működött. Az összehasonlítás után, megállapítható, hogy a légi felvételek alapján előállított domborzatmodellből származtatott magasság értékek megbízhatóbbak a szelvények mentén végzett gyenge jelű GNSS méréseknél. Ezért a bányaterületen elvégzett geofizikai szelvényezés kiértékeléséhez a bizonytalanabb GNSS adatok helyett, a fotogrammetriával előállított domborzatmodell alapján határoztam meg a szükséges pontokban a magasság értékeket.

9. SUMMARY

Geophysical researches are often supplemented by the results of remote sensing methods. Several important parameters can be determined by analysing aerial photographs. Regarding both active and passive remote sensing methods, one of their most common application is to describe the topography of the Earth. The final results of these data are also important in geophysical data processing and interpretation. It has to be ensured that the measured physical parameters are properly positioned in space along the horizontal and vertical coordinate axes.

In the present dissertation it is detailed how photogrammetry can produce a spatial point set with a proper coordinate system from several amount of aerial photographs. Some practical applications of drone imagery in the field of geophysics will be presented. The end result of the photogrammetric process is an orthophoto, surface model and point cloud reflecting the current state of the area. These results are not only used in certain processing steps of different geophysical data, but also can be a useful help for planning a survey and preparing a quotation.

After discussing the theoretical topics of the photogrammetry method, the focus will be put on the results of a flight that was performed with the aim of clarifying the terrain conditions of a geophysical survey carried out in Romania. The flight has been done with a DJI Matrice 300 drone equipped with an RTK GPS. The first part of the thesis is focusing on the preparation of the work, in the followings the most important steps of processing are presented and in the last section the comparison of the models made in different ways are described. First, I systematically placed marking points over the area. The positions of these points have been measured with an accurate GPS due to the GIS quality requirements of the project. At this way, I was able to process the images in two ways. First, I examined the accuracy of the final result obtained with the RTK drone compared to the GNSS measurements. After that, I identified the ground control points on the images and thus created the spatial model. I also have calculated the differences of the determined points compared to the GPS measurements along the different coordinate axes. As a result, I calculated parameters that are determined based on the standards of

the literature. These can be used to determine whether the geometric accuracy of the final result has the right quality.

As expected, the end result became more accurate when I also used the ground control points to create the spatial model. The field of the geophysical research covered only a small part of the total flight area and processed part. In this narrower area, due to the topographic conditions and the forested environment, the hand-held GNSS instrument was inaccurate at a significant portion of the survey points. After comparison, it can be concluded that the height values derived from the terrain model (generated from the aerial photographs) are more reliable than the low-signal GNSS measurements along the profiles. Therefore, instead of the more uncertain GNSS data, I determined the altitude values, at the required points based on the photogrammetric terrain.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúttal szeretnék köszönetet mondani Dr. habil. Jancsó Tamás egyetemi docensnek, akinek az ötletei és tanácsai segítséget jelentettek a diplomamunkám befejezésében.

Köszönöttem tartozom munkahelyemnek a Geogold Kárpátia Kft-nek, hogy megteremtették a lehetőségét, hogy két napra a kutatási helyszínre Romániába utazhassak a területet feltérképezni.

IRODALOMJEGYZÉK

Bakó, G. [2015]. *UAV és RPAS technológia a légi távérzékelésben*. Budapest: Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.

Baltsavias, E. P. (1999). A comparison between photogrammetry and laserscanning. *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2-3), 83-94.

Dang, T. T. (2015, March). The use of photogrammetry in measuring geologic structures and creating a 3D model on exposed rock faces. In *ISRM VietRock International Workshop*. OnePetro.

Dr. habil Jancsó, T. [2017]. *Digitális fotogrammetria*

Dr. Jancsó, T. [2010]. *Légiháromszögelés*. Székesfehérvár: Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

Francioni, M., Simone, M., Stead, D., Sciarra, N., Mataloni, G., & Calamita, F. (2019). A new fast and low-cost photogrammetry method for the engineering characterization of rock slopes. *Remote Sensing*, 11(11), 1267.

Habib, A. F., Ghanma, M. S., & Tait, M. (2004). Integration of LIDAR and photogrammetry for closerange applications. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35(B5), 1045-1050.

Martínez-Carricondo, P., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Mesas-Carrascosa, F. J., García-Ferrer, A., & Pérez-Porras, F. J. (2018). Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 72, 1-10.

Mészáros, János, et al. "Térinformatika és fotogrammetria alkalmazási lehetőségei a régészetben." (2017): 223-230.

Pusztai T. – Tari E. (2011): Mentő, próba és megelőző régészeti feltárás. In: Müller R. (szerk.) *Régészeti kézikönyv*. Budapest, 2011. pp. 71–107.

Seigel, H. O., Brcic, I., & Mistry, P. (1995). A guide to high precision land gravimeter surveys. Scintrex Limited, 222(1), 6-7.

Timár G., T. T. S. B. (2013) *Digitális Terepmodellek*

Tsourles, P.I., Symanski, J.E. and Toskas, G.N., 1999. The effect of terrain topography on commonly used resistivity arrays. *Geophysics*, 64, 1357-1363.

Unal, M., 2000, Modelling of discontinuity surface roughness and investigation of its effects on shear strength. PhD. Thesis, Hacettepe University, Ankara, 219 p.

Zboray, Z. (2007). Az erdő növekedésének vizsgálata térinformatikai és fotogrammetriai módszerekkel karsztos mintaterületen. *TÁJÖKOLÓGIAI LAPOK/JOURNAL OF LANDSCAPE ECOLOGY*, 5(2), 287-293.

Internetes hivatkozások

<https://acrsa.org/hu/index.php/mennyire-pontos>

<https://acrsa.org/hu/index.php/fogalomtar>

<https://myactioncam.hu/dji-matrice-300-rtk-2934>

<https://www.dji.com/hu>

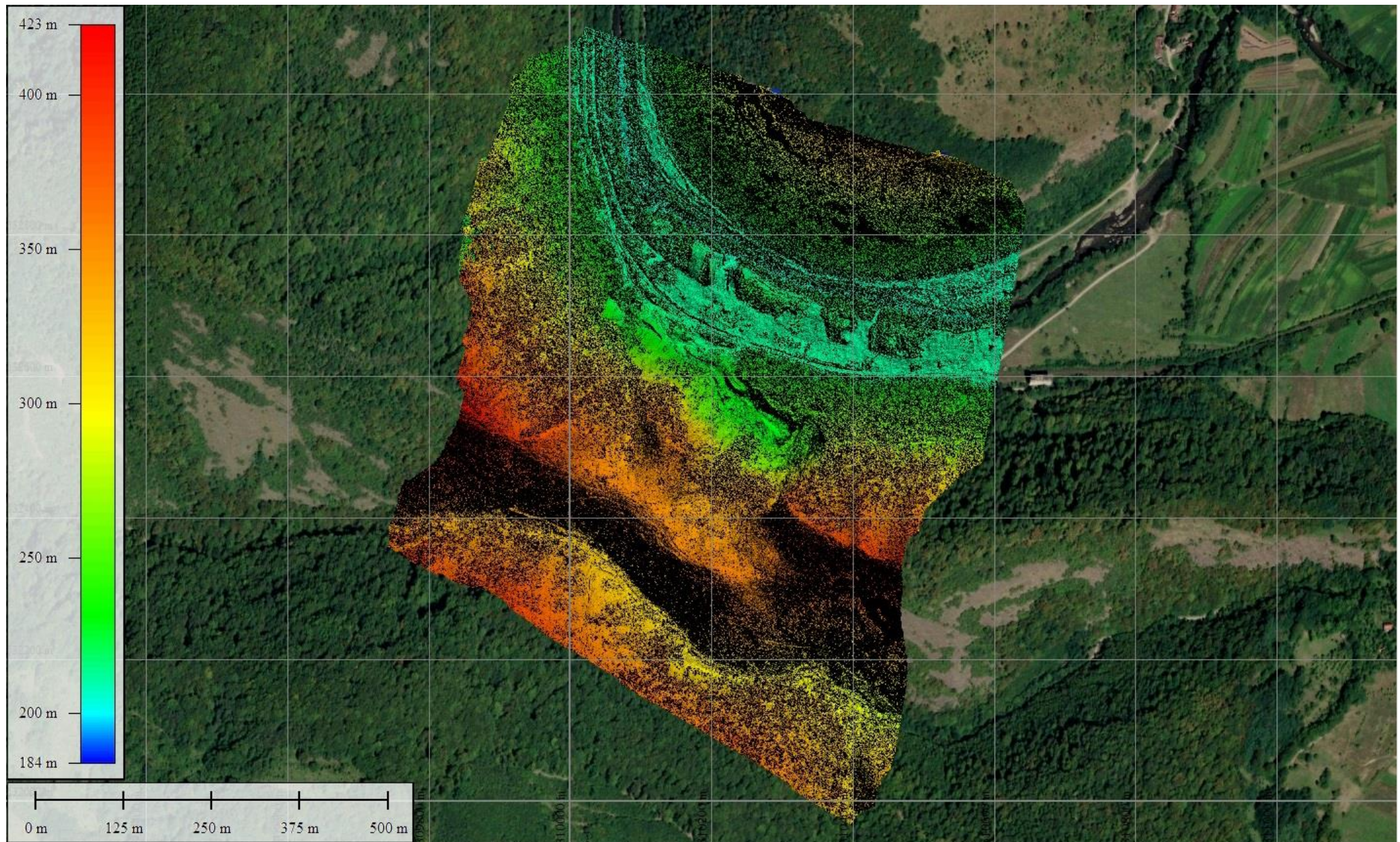
ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Értelmezett felszínek (forrás: https://www.satpalda.com/5m-dsmdtm).....	8
2. ábra: Kamera geometriáját leíró elemek	10
3. ábra: Képek külső tájékozási elemei.....	12
4. ábra: Árajánlat melléklet, üregkutatás geofizikai módszerekkel, elméleti mérési háló szemléltetése nagy felbontású légi felvételen.....	16
5. ábra: Digitális domborzatmodell. A modellen jól kijelölhető volt a mérést akadályoztató sittkupacok helyszíne	17
6. ábra: A kutatási terület a bányaudvarról nézve	22
7. ábra: Domborzati viszonyok a kutatási területen.....	23
8. ábra: Illesztőpont helyének kijelölése nagyfelbontású ortofotó alapján	24
9. ábra: Kihelyezett illesztőpontok térbeli eloszlása	25
10. ábra: Kihelyezett illesztőpontok és a pontok felmérése RTK GPS-sel	26
11. ábra: A feladat kivitelezéséhez alkalmazott eszközök (balra a DJI Mavic Air 2, jobbra DJI Matrice 300 RTK)	27
1. táblázat: Zenmuse P1 specifikációk (forrás: https://www.dji.com/hu)	29
12. ábra: A repülési sorok elhelyezkedése	30
13. ábra: Felvételek minőségének ellenőrzése	32
14. ábra: Illesztőpontok azonosítása	32
2. táblázat: Illesztőpontok ellentmondásai.....	33
15. ábra: A tájékozás után kapott ritka pontfelhő	33
16. ábra: A terület pontfelhője	34
17. ábra A pontfelhő 3-dimenziós ábrázolása színkulccsal	35
A felszímodell kétdimenziós kivetítése a 1. számú mellékletben jelenik meg.	35
18. ábra:Centiméteres felbontású ortofotó	36
19. ábra: A pontfelhő klasszifikációjának lépései	37
20. ábra: Digitális terepmodell	37
21. ábra: Illesztőpontok beazonosítása manuálisan	39
22. ábra: Magassági adatok leolvasása a DEM alapján.....	40
3. táblázat: Illesztő pontok nélküli feldolgozás eredményeinek minőség vizsgálata (számítások forrása: https://acrsa.org/hu/index.php/mennyire-pontos)	40
23. ábra: Illesztőpontok és ellenőrzőpontok eloszlása a kutatási területen	41
4. táblázat: Illesztő pontok horizontális és vertikális ellentmondásai	41
5. táblázat: Illesztő pontokkal végzett légi háromszögelés eredményeinek minőség vizsgálata (számítások forrása: https://acrsa.org/hu/index.php/mennyire-pontos)	41
24. ábra: Elektromos ellenállás szelvényezés és a szondázási pontok rögzítése RTK GPS-sel	42

25. ábra: Az összes szondázási pontban a DTM-ről leolvasott és a GPS-sel mért magasságok különbségeinek grafikonos ábrázolása	44
26. ábra: Hibák mértékének eloszlása.....	44
27. ábra: A hibák térképi megjelenítése	45
28. ábra: Fajlagos elektromos ellenállás eloszlás térben kivetítve.....	46
29. ábra: A szűkített terület domborzati viszonyai és a felszín alatti andezit blokk tetejét vagy másképpen az agyag fedő alját jelölő határfelület	47

MELLÉKLETEK

1. számú melléklet: A terület felszínmodellje



2. számú melléklet: *Az egyértelműen azonosítható andezit blokk és agyagos fedő réteg határfelülete*

