



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

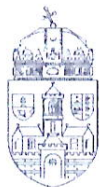
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet



Domborzatmodellezés vizsgálata

OE-AMK
2021

Hallgató neve: Kéri Eszter
Hallgató törzskönyvi száma: T000437/FI12904/A-G



HALLGATÓI NYILATKOZAT

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

Egyéb jelentős segítséget nem vettem igénybe.

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

Kelt: 2021. 12. 06.

Kéri Eszter
hallgató aláírása



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Kéri Eszter

Szaktervezési szám: SZD20120110302834

Törzskönyvi szám: T000437/FI12904/A-G

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Domborzatmodellezés vizsgálata

A dolgozat címe angolul: Analysis of topographic models

A feladat részletezése: Végezze el egy tetszőleges munkaterület topográfiai felmérését többféle módszerrel. Hasonlítsa össze a kapott modelleket, javasoljon módszereket azok összehasonlítására.

Intézményi konzulens neve: Dr. Tóth Zoltán

Külső konzulens neve: Kéri Gyula

Munkahelye: Földmérő Kft

A kiadott téma elévülési határideje: 2023. május 15.

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2021. 10. 28.

P.H

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

Dr. Tóth Zoltán

belső konzulens

Kéri Gyula

külső konzulens

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	5
2.	MUNKATERÜLET BEMUTATÁSA	6
2.1.	Zalacsány település.....	6
2.2.	Zala Springs Golf Resort	6
2.2.1.	A golfpálya geodéziai munkái.....	7
3.	A FELADAT ISMERTETÉSE	11
3.1.	Digitális terepmodell	11
3.2.	Ortofotó	12
4.	ADATNYERÉSI TECHNOLÓGIÁK, FELHASZNÁLT MŰSZEREK.....	14
4.1.	GNSS technológia	14
4.2.	Légi fotogrammetria	15
5.	A GOLFPÁLYA FELMÉRÉSE	20
5.1.	Felmérés szükségessége.....	20
5.2.	Felmérés végrehajtása.....	20
6.	A MÉRÉSI EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA	23
6.1.	Sűrű pontfelhő létrehozása	23
6.2.	Pontosságvizsgálat	30
6.3.	DEM létrehozása	34
6.4.	Ortofotó készítése	34
6.5.	Digitális domborzatmodellek készítése.....	36
7.	A DOMBORZATMODELLEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	41
8.	ÖSSZEGZÉS	45
9.	IRODALOMJEGYZÉK	47

1. BEVEZETÉS

Szakdolgozatom témájaként a zalacsányi Zala Springs Golf Resort területén történt domborzatváltozások vizsgálatát választottam. Azért döntöttem a golfpálya felmérése mellett, mert a közel 160 hektáros területen geodéziai és építészeti szempontból is egyedi munkafolyamatok zajlanak le, melyet több szempontból is lehetőségem van megvizsgálni. Dolgozatomban összehasonlítom a kezdeti felszín, melyről rendelkezésemre állnak az eredeti domborzatmérés adatai a jelenlegi állapottal, melynek felmérését és feldolgozását én végzem el, ezzel lehetőségem van a különböző adatnyerési technológiák összehasonlítására.

Dolgozatomban röviden bemutatom a munkaterületet és jellemzem a különböző adatnyerési technológiákat, valamint fontosnak tartom bemutatni a drónhasználat jelenlegi jogi hátterét Magyarországon. Leírom a repülés megtervezésének és végrehajtásának folyamatát, részletesen ismertetem a feldolgozás lépéseit. Összehasonlítom az eredeti felmérési eredményekből létrehozott modellt a saját eredményemmel és megvizsgálom annak pontosságát.

Témaválasztásom során fontosnak tartottam, hogy a geodéziának olyan területével foglalkozzak, ami közel áll hozzám és amit szeretek csinálni. Korán egyértelművé vált, hogy a szakmában a terepi munkának szívesen állok neki, tanulmányaim alatt is erősödött bennem az elhatározás, hogy legalább annyit szeretnék az irodán kívül dolgozni, mint azon belül. A végső döntés meghozásában fontos szerepet játszott, hogy a feladat végrehajtásához új módszerekről, technológiákról tanulhassak, ezért olyan adatnyerési technológiát is választottam a számomra már ismerős földi felmérések mellett, amellyel korábban még nem volt tapasztalatom.

2. MUNKATERÜLET BEMUTATÁSA

2.1. Zalacsány település

Zalacsány Zala megye északkeleti részén fekvő község. Jól megközelíthető helyen található, áthalad rajta a Balatonszentgyörgyöt Zalaegerszeggel összekötő 76-os főút, valamint néhány percen belül elérhető távolságra vannak Kehidakustány és Lenti üdülőtelepülések is.

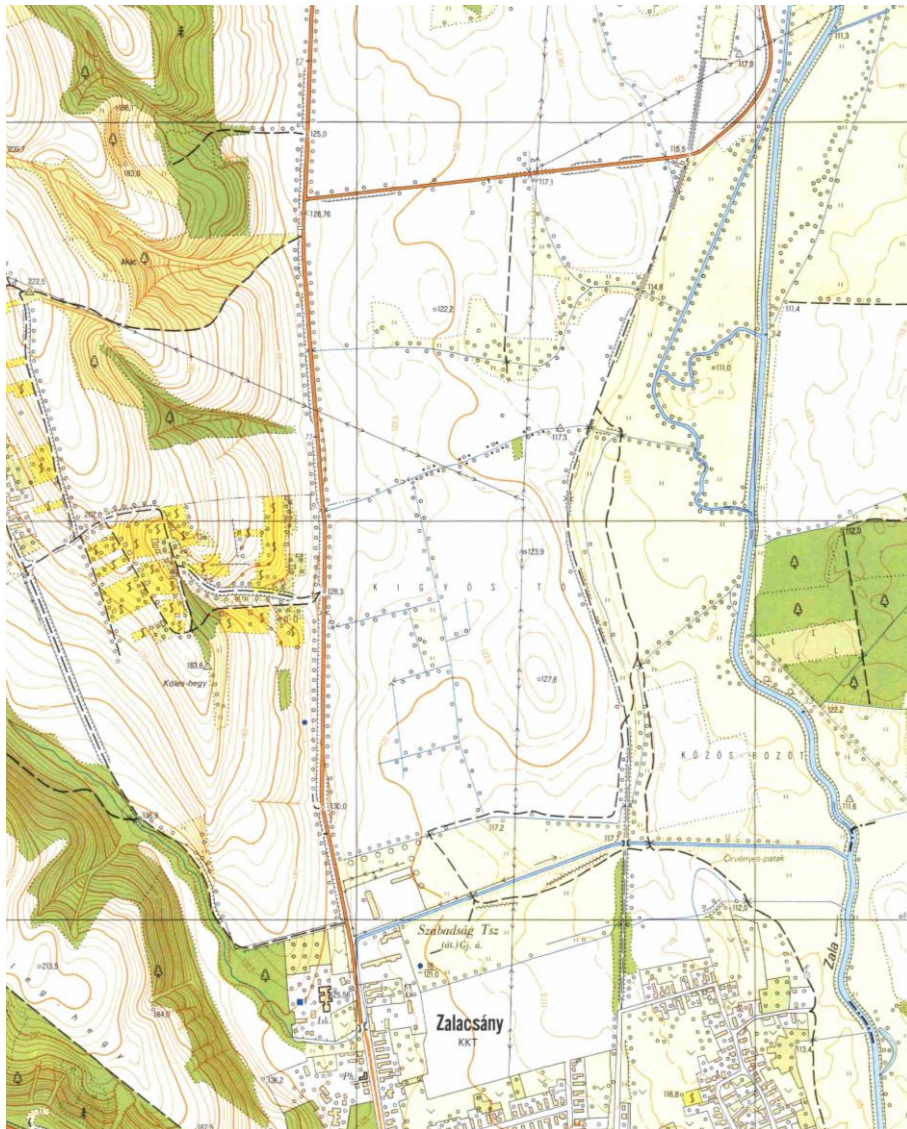
A rendelkezésre álló források szerint a római kor óta lakott, neve írásos forrásban először 1019-ben tűnt fel. A középkorban az áradások miatt meghatározó szerepet játszott a területen a Zala-folyó és a Kettős patak, de fontos kiemelni, hogy ezek a környező bükk- és tölgyerdőkkel együtt a török hódítások idején menedéket is nyújtottak az itt lakóknak.

Zalacsányban született a 18. század végén a politikus Csány László, aki a magyar történelem meghatározó alakja, szülőfalujában pedig a róla elnevezett utca is őrzi emlékét. A községben a mai napig meghatározó turisztikai vonzerő a Batthyány-kastély, amely a Csány család kúriájaként épült, később a Batthyány család vásárolta meg és bővítette. 2010 környékén magánkézbe került a Batthyány Kastély, majd ennek a befektetésnek eredményeként épült meg néhány évvel később a Zala Springs Golf Resort. [1]

2.2. Zala Springs Golf Resort

A Zala Spring Golf Resort nemcsak Magyarországon, de egész Európában egyedülálló létesítménynek számít mind turisztikai, mind építészeti szempontból.

A golfpálya ötlete először 2007-ben fogalmazódott meg az akkori befektetőkben és végül 160 hektárnyi ingatlant vásároltak meg, amelyek közül a délen fekvők Zalacsány, az északiak pedig Kehidakustány településhez tartoznak. A szerves egységet képező golfpálya érdekessége ezáltal az, hogy az időközben bekövetkezett közigazgatási változások miatt részben a zalaszentgróti, részben a keszthelyi járáshoz tartozik. [1]



1. ábra: Topográfiai térkép a golfpálya területéről az építkezés megkezdése előtt

2.2.1. A golfpálya geodéziai munkái

A golfpályát Robert Trent Jones Jr. világhírű építész tervezte. Az Amerikában született mérnök nevéhez több, mint 300 pálya tervezése fűződik, a világ leghíresebb golfpálya-tervezőjeként emlegetik. Az építész nemcsak megtervezte amerikai irodájában a pályát, de többször el is látogatott Zalacsányba és akár repülőre szállva ellenőrizte a kivitelezési munkákat. [2]

A 160 hektáros területen egyidőben indult meg a 18 pálya kivitelezése, ami a terepbe történő jelentős beavatkozással járt. Több százezer köbméter föld megmozgatásával a kiviteli

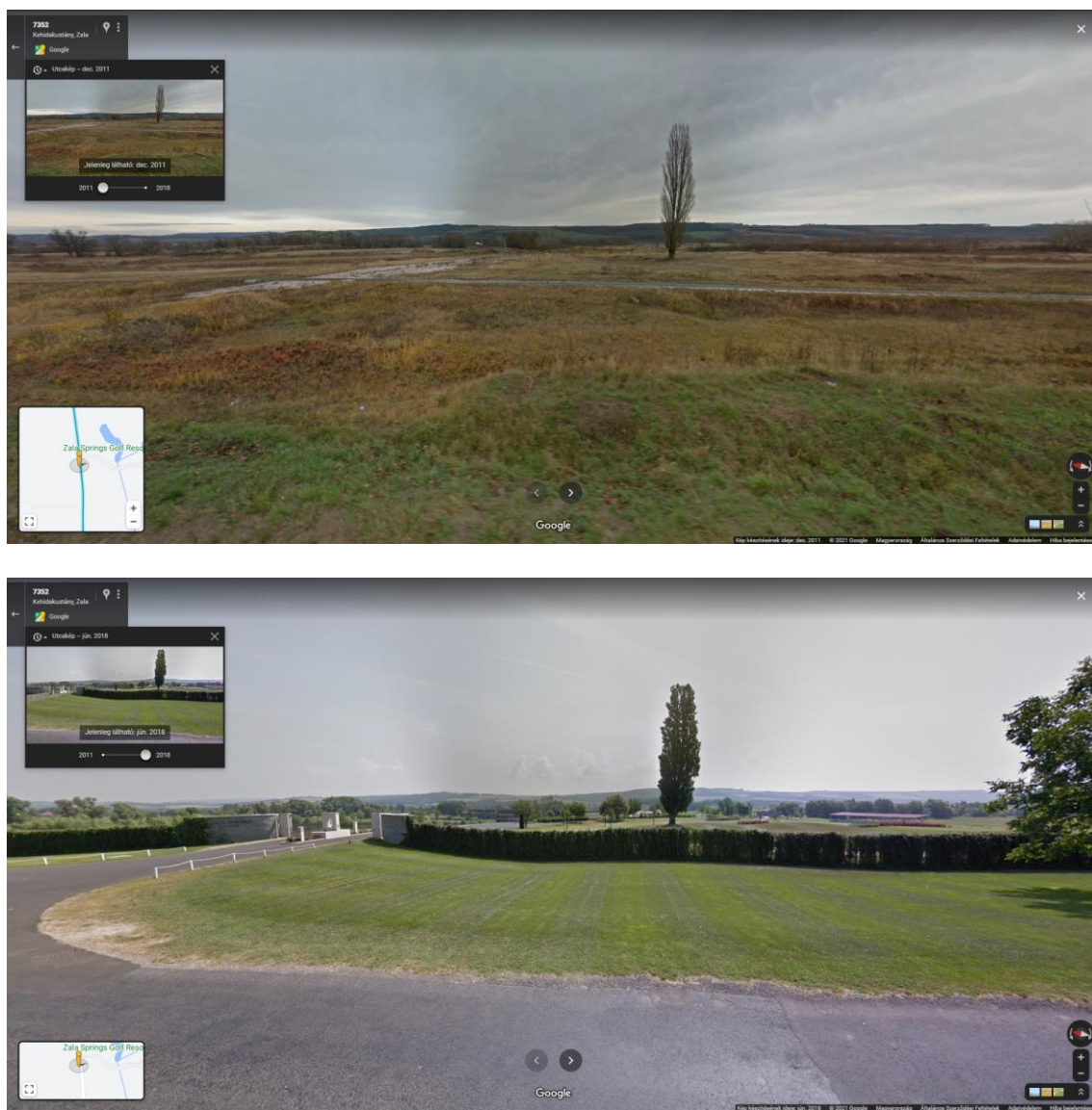
terveknek megfelelő új terep állt elő. A golfpálya építése során a tervezett 18 szakasz kivitelezése geodéziai művezetéssel történt, a földmunkákat végző több alvállalkozó elszámoltatása a napi, heti rendszerességű geodéziai felmérés után, a földtömegszámítás alapján történt. A projekt érdekessége ezen felül, hogy a pálya idegen anyag leszállítása nélkül épült meg, tehát csak a területen belül történt földmozgatás: amit például egy tó építéséhez kiástak, azt később a domborzat alakítására használták.



2. ábra: Már a korai látványterveken is jól szemléltethető a változás. A beruházás során fontos volt a növények védelme, a fák jelentős részét nem vágták ki.

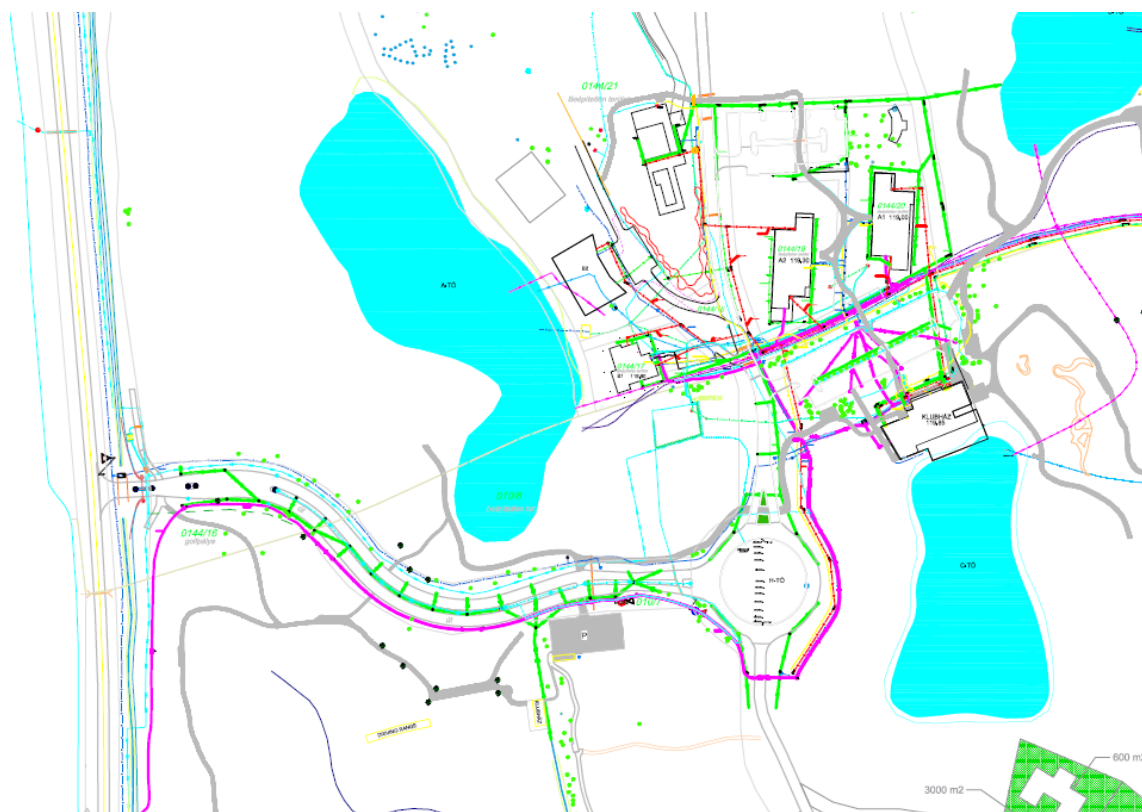
Párhuzamosan a golfpályák kivitelezésével önálló beruházásként megindult a vízelvezetés kialakítása. Az eredetileg tervezett két tó helyett az üzemeltetés nagy vízigénye miatt négy került kialakításra olyan módon, hogy az öntözéshez szükséges vízmennyiséget a pálya nyugati határán található Zala folyó biztosítsa.

A golfpálya középső részén egy úgynevezett „fejlesztési terület” került kijelölésre, ahol mostanra egy új, „minitelepülés” jött létre golffaluként (klubház, amely rendezvényközpontként is szolgál, apartmanházak és szállodák, étterem és kávlzó, wellness részleg, üzemeltetés). A fejlesztési területen a beruházói igényeknek megfelelően létrejött épületek kivitelezése szintén rendkívüli geodéziai munkát igényelt. A kivitelezéshez kapcsolódó geodéziai kitűzéseket a tervezéshez létesített alapponthálózatra támaszkodva végzik azóta is. Az eredeti hálózat egy része azóta az építkezések során elpusztult, de pótlásra és bővítésre is sor került az igényeknek megfelelően.



3. ábra: Google Maps segítségével is látványos képet kapunk: a 2011-ben és 2018-ban készült StreetView fotókon jól látható a változás.

A generáltervező határozott fellépése eredményeként a beruházás első napjától kezdve a genplan digitális formában jött létre és vezetése azóta is folyamatosan történik. A beruházás magánterületen zajlik, minden földbe fektetett vezeték és kábel nyíltárkos beméréssel kerül bedolgozásra a genplanba.



4. ábra: Részlet a genplanból.

3. A FELADAT ISMERTETÉSE

A golfpálya kivitelezése időben nagy intervallumot foglal magába. Ennek következménye, hogy a technológia fejlődéssel új geodéziai módszerek kerülnek alkalmazásra: ma már például egy ekkora területet egyszerűbb UAV használatával térképezni, mint GNSS technológiával vagy mérőállomással felmérni.

3.1. Digitális terepmodell

A digitális terepmodell egy olyan digitális adatbázis, amely a modellezni kívánt terep pontjainak X, Y és Z koordinátáit tartalmazza. A terepmodell három fajtáját különböztetjük meg attól függően, hogy milyen információt tárolunk el:

- A digitális domborzatmodell (DDM) csak a földfelszínt tartalmazza, a tereptárgyak nem kerülnek megjelenítésre.
- A digitális felszínmodellen (DFM) megjelenik a földfelszín mellett a növényzet és az építmények is. A légifényképeken lévő képelemek automatikus egymáshoz illesztésével például a különböző szoftverek drónos felvételek alapján ezt modellt képesek előállítani. Fontos megjegyezni, hogy ezzel a módszerrel azt tudjuk meghatározni, amit „fentről látunk”, tehát sűrűn borított terep esetén magát a földfelszínt nem lehet modellezni.
- Digitális szintvonalmodell (DSZM) készítésekor a domborzatot leíró szintvonalakat rögzítjük.

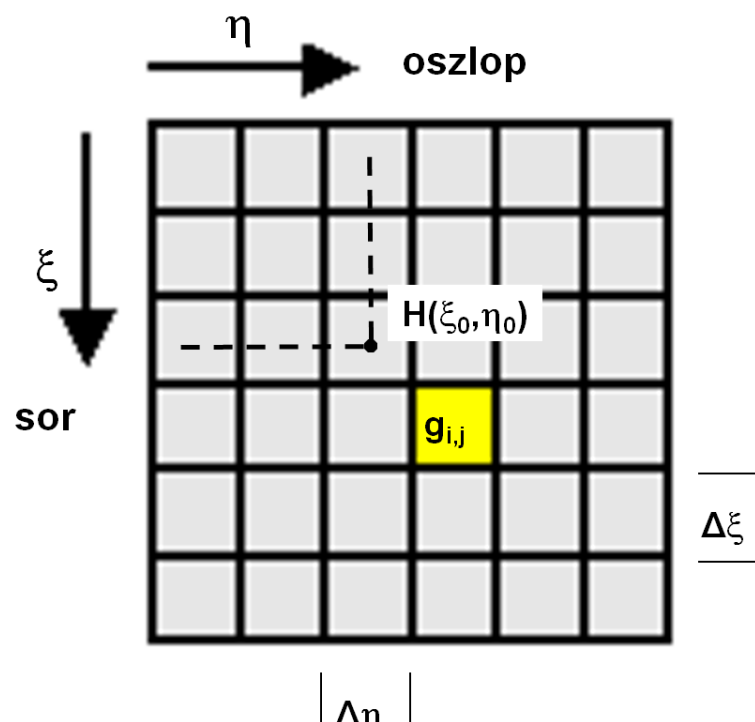
A digitális domborzatmodellt három formában tudjuk rögzíteni:

- GRID adatszerkezet: a terepet leíró magassági adatokat egy rácsháló sarokpontjaival adjuk meg. Ebben a formátumban gyorsan megtalálhatjuk és megjeleníthetjük a keresett adatokat, valamint a későbbi feldolgozás során egyszerű számítási módszereket lehet alkalmazni, de a terep jellemzőit csak akkor tudjuk pontosan leírni vele, ha nagyon sűrű rácshálót alkalmazunk.

- TIN modell: olyan háromszögháló, amelyben a magassági adatok háromszögek csúcspontjaihoz tartoznak. Ez a modell pontosan tudja követni a domborzat jellemzőit, de nehezebben tárolható és bonyolultabb az adatkeresés.
- Rasztere modell: egy pixelhez tartozik a magassági adat úgy, ahogy a digitális képek szerkezeténél ismerjük. Előnye ennek legfőképpen a megjelenítés során van, a domborzat jellemzőit nehezen tudjuk leírni. [3] [4]

3.2. Ortofotó

Ma már elmondható, hogy ortofotók előállítása során általában digitális képekkel dolgozunk. A digitális kép leírható úgy, mint egy kétdimenziós mátrix: bizonyos számú i és j sorból áll, melyben egy-egy képelem, vagy másnéven pixel mérete $\eta \cdot \xi$. A képen minden pixel helye ismert és minden pixelhez egy 0-tól 255-ig skáláról vett érték tartozik, melynél 0 a feketét, 255 pedig fehéret jelöli. Ha a kép színes, akkor több spektrális sávban is eltároljuk ezeket a szürkeségi fokozatokat. [5]



5. ábra: Digitális kép [5]

Általánosságban elmondhatjuk, hogy UAV-val végzett felmérés esetén nem sík területről készítünk felvételeket. Ebben az esetben a képeket a magasságkülönbségek miatt torzulások terhelik. Digitális ortofotó előállítása során ezeket a perspektív torzulásokat megszüntetjük és a

légifotókat illesztőpontok segítségével térképi rendszerbe is transzformáljuk. Az így kapott torzulásmentes képeknek minden pixeléhez koordináta tartozik, így az ortofotó közvetlenül is használható lesz térképezési, geodéziai célokra. A digitális ortofotó legnagyobb előnye, hogy nagy mennyiségű, jó minőségű információt szolgáltat egy adott területről, viszonylag gyorsan létrehozható akár nagyobb területről is. Digitálisan tárolható, bármikor megjeleníthető és kiértékelhető, de fontos, hogy csak a mérés pillanatában történő állapotot rögzíti. [5] [6] [7]

4. ADATNYERÉSI TECHNOLOGIÁK, FELHASZNÁLT MŰSZEREK

4.1. GNSS technológia

A GNSS rövidítés az angol Global Navigational Satellite System kifejezést takarja. Ez a helymeghatározási technológia ahogy azon alapszik, hogy a műholdak helyzete adott időpillanatokban ismert és meghatározott vonatkoztatási rendszerben definiálható a földön található pályakövető állomások segítségével, tehát a műholdak adott időpillanatban felfoghatók alappontként. A GNSS vevő képes saját maga és az általa észlelt műholdak között távolságot mérni és ezek segítségével a helyzetét meghatározni egy előre definiált koordináta-rendszerben. Ahhoz, hogy a geodéziában elvárt néhány centiméteres pontosságú helymeghatározást el tudjuk végezni, arra van szükségünk, hogy ugyanazon időpillanatban megmérjük és számoljuk legalább három műholdtól a GNSS vevő távolságát.

A GNSS rendszer három fő részre tagolható:

- Az alarendszerek magukba foglalják a navigációs műholdakat és a földön létesített követőállomásokat.
- A kiegészítő rendszerek alapja lehet földi vagy műholdas. Működésüknek célja a ma már a pontosság és a gazdaságosság.
- A felhasználói oldalhoz tartozik maga a vevő és minden, a működéshez szükséges szoftver. [8]

A legelső terepmodell elkészítéséhez szükséges felmérés kettő Leica 500 típusú GPS műszerrel történt. A területen található vegetáció és a rendelkezésre álló rövid határidő miatt a kor technológiájának megfelelően ez volt a legpraktikusabb megoldás. A ma ismert és elterjedt rover-bázis technológia helyett a közel 50 kilométerre lévő nagykanizsai irodába telepített BlackBox segítségével lehetőség volt egyetlen bázisállomás felhasználásával három GPS vevő egyidejű alkalmazására a terepen. Ez a megoldás az alapja a későbbi RTK technológiának is. A felmérés két terepnapot vett igénybe és több ezer részletpont felmérésével készült el a szintvonalas helyszínrajz. A terepmodell előállítását AutoGEO alkalmazásban történt. Ez a tervezési alaptérkép lett minden későbbi szakági tervezés alapja (településszerkezeti terv, vízelvezetés, golfpálya tereprendevezése, építészeti és szakági tervek).

4.2. Légi fotogrammetria

A fotogrammetria egy olyan távérzékelési eljárás, amely során a tárgyak helyét és alakját fényképek kiértékelésével határozzuk meg. Ezt a kiértékelést három módon tehetjük meg:

- analóg módszerekkel: analóg fényképekkel és analóg műszerekkel dolgozunk,
- analitikus módszerekkel: analóg fényképekkel és analitikus műszerekkel dolgozunk,
- digitális módszerekkel: digitális képekkel és digitális műszerekkel dolgozunk.

Ma már az esetek többségében digitális fotogrammetriát alkalmazunk, ami azt jelenti, hogy a fotók csak digitálisan állnak rendelkezésünkre, azok tárolása, feldolgozása és kiértékelése is digitálisan történik. A digitális fotogrammetriában használt képek lehetnek korábbi analóg képek digitalizált változatai is. Ha a képek forrását vizsgáljuk, akkor a következőkről beszélhetünk:

- Földi fotogrammetria esetén valamilyen földi eszközzel készülnek a fotók, ilyen megoldással dolgozik ma például a Leica GS18 műszere is.
- Légi fotogrammetriáról beszélünk, ha valamilyen repülő eszközt használunk a fényképezéshez. Erre jól ismert példa az egyre jobban elterjedő drónok használata.
- Űrfotogrammetriának nevezzük a több száz kilométer magasságban történő légifelvételést. Az így készült képeket például kisméretarányú térképezéshez használhatjuk.

Digitális fotogrammetria esetén a munkafolyamatok végtermékei is általában digitálisan állnak rendelkezésre, ilyenek például a különböző háromdimenziós modellek és az ortofotók.

Mára a geodéziában is egyre nagyobb terep hódít a légi fotogrammetria a pilóta nélküli légi járművek megjelenésével, amelyek elsősorban kis felmérési területen jelentenek nagy előnyt a hagyományos, repülőgépről történő légi felvételéhez képest. A drónos rendszereket RPAS-ként rövidíthetjük, amely az angol Remotly Piloted Aircraft System kifejezésből akad. Ez magában foglalja magát a repülésre képes eszközt, minden szükséges szenzort és a földi állomást is. Ennek másik, közismertebb elnevezése az UAV, azaz Unmanned Aircraft System.

Drónos felvételzés esetén a gyakorlatban általában több, mint egy képpárral kell együtt dolgoznunk. Azt a folyamatot, amelyben az egymással valamekkora bázisirányú átfedésben lévő képeket egymáshoz kapcsoljuk, ezzel képsorokat létrehozva, légiháromszögelésnek nevezzük. Ezeket a képsorokat aztán harántirányú átfedések szerint is összekapcsoljuk, így egy

tömböt hozunk létre, amelyek egységként kezelünk és meghatározzuk a külső tájékozási elemeket és a felhasznált illesztőpontok geodéziai koordinátáit.

Funkciójuk szerint a pilóta nélküli légi járműveket a következő kategóriák szerint csoportosítjuk:

- civil és kereskedelmi célú
- hadászati felderítő
- harcászati
- kutatás-fejlesztési
- logisztikai

Hatótávolságuk alapján a pilóta nélküli légi járműveket a következő kategóriák szerint csoportosítjuk:

Típus	Maximum magasság	Maximum hatótávolság
kézi vezérlésű	600 m	2 km
közeli típusú	1500 m	10 km
NAT típusú	3000 m	50 km
taktikai	5500 m	160 km
MALE (medium altitude, long endurance)	9000 m +	200 km +
HALE (high altitude, long endurance)	9100 m +	tetszőleges
hiperszonikus	15200 méter felett	200 km +
földkörűli	földkörűli pályán	
cislunár	Föld-Hold távolságban	

6. ábra: Légi járművek csoportosítása [12]

Felépítés szerint a pilóta nélküli légi jármű lehet:

- légballon
- merev szárnyú repülő

- helikopter
- multikopter [10] [11] [12]

A golfpálya teljes területének felmérésére egy DJI Phantom 4 RTK drónt használtam. A fenti kategóriák szerint ez egy közeli típusú multikopter, amelyet használhatunk civil és kereskedelmi célokra is, hiszen a rajta lévő GNSS vevő egy kifejezetten geodéziai, térképezési célokra kifejlesztett pilóta nélküli légi járművé teszi. A pozícionáló rendszernek köszönhetően használatával jelentősen csökkenti a felmérési időt a nem RTK-képes társaival szemben, ugyanis a földi illesztőpontok számát a munkaterülettől és a pontossági követelményektől függően csökkenthetjük vagy teljesen el is hagyhatjuk. A drónhoz tartozó vezérlőn futó GS RTK alkalmazással könnyen megtervezhető, végrehajtható és felügyelhető a repülés. [13]



7. ábra: DJI Phantom 4 RTK [9]

Drón „az EU rendelet meghatározása szerint bármely olyan légijármű, amely a fedélzetén tartózkodó pilóta nélkül üzemel vagy amelyet ilyen üzemmódra terveztek, és amely önálló vagy távirányítással történő üzemelésre képes.” [10] A drónok használatát Magyarországon nagyban korlátozza a 2021. február 10-től érvényes 1995. évi XCVII. törvény módosítása. Az Európai Unióban már 2019-ben megjelentek azok a rendeletek, amelyek alapot adtak minden tagállamnak a szabályozásban. Az uniós országoknak ezzel együtt meghatározták, hogy az EU-s rendeletekkel egyenértékű vagy azoknál szigorúbb szabályokat hozhatnak.

Magyarországon a drónokat 2021 februárjától három kategóriába sorolhatjuk felhasználási területük, céljuk szerint. Nyílt kategóriában a legfeljebb 25 kilogramm tömegű légi jármű maximum 120 méter magasan repülhet a munkaterület legalacsonyabb pontjához képest és a művelet teljes ideje alatt a pilótának folyamatosan szemmel kell tudnia tartani az eszközt.

Emberek tömege felett ebben a kategóriában tilos repülni, a külső személyeket pedig lehetőleg kerülni kell. Nyílt kategórián belül is megkülönböztetünk alkategóriákat A1, A2 és A3 jelzésekkel. Alapvetően elmondható, hogy egy 250 grammnál nagyobb tömegű drónhoz a pilótának legalább A1/A3 vizsga letételére van szüksége. Ennek tananyaga bárki számára elérhető a Közlekedéstudományi Intézet honlapján, majd a felkészülést követően bármelyik Európai Unió országban levizsgázhatsz, tagállamtól függően akár online is. Az így megkapott tanúsítványunk öt évig érvényes marad az EU egész területén, az öt év leteltével pedig újra teljesítenünk kell a vizsgát. Ahhoz, hogy például külső személyek fölött elrepülhessünk, a kiegészítő A2 drónpilóta vizsgát is le kell tennünk. Az ehhez szükséges tananyag azonban már nem áll ingyenesen rendelkezésre, a vizsgát pedig csak személyes megjelenéssel, térítés ellenében, Magyarországon tehetjük le. Emellett a sikeres A2 tanúsítvány feltétele, hogy igazoljuk, rendelkezünk megfelelő drónkezelői gyakorlattal is.

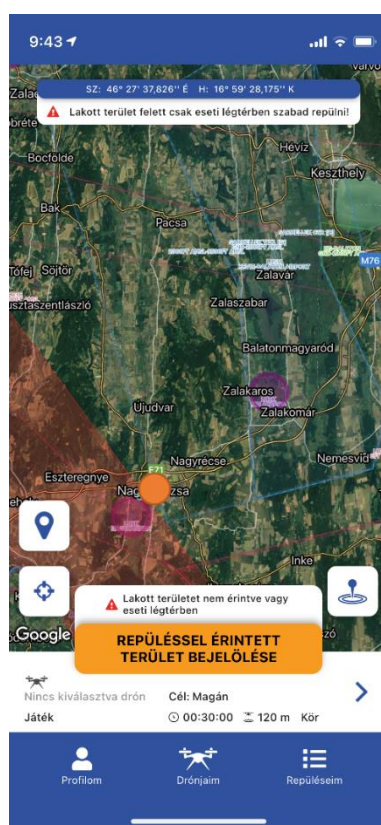
Nyílt kategórián belül a pilóta nélküli légi járművek további, C0-tól C4-ig terjedő osztályozást kapnak:

- A C0 jelzésű drón olyan 250 grammnál könnyebb UAV, amely 120 méternél magasabbra nem tud felszállni, 19 m/s-nál nem tud gyorsabban haladni, elektromos árammal működik és követési módban maximum 50 méterre távolodhat el a pilótától.
- A C1 osztályba tartozó drónok legfőbb tulajdonságai megegyeznek a C0 kategóriájával, de ezek már földrajzi meghatározó rendszerrel rendelkezhetnek, távoli azonosításra alkalmasak, lámpákkal felszereltek, sorozatszámmal ellátottak és súlyuk nem haladja meg a 900 grammot.
- C2 kategóriában már a távpilóta bármikor aktiválhatja az alacsony sebességű módot, ami a drón sebességét 3 m/s-ra korlátozza. A legnagyobb megengedett tömeg itt 4 kilogramm.
- A 25 kg-nál könnyebb és 3 méternél kisebb drónok a C3 kategóriába tartoznak.
- A C4 osztályúak 25 kilogrammnál könnyebbek és automatikusan nem irányíthatók.

C0 osztályú drón esetén nem kötelező vizsgát tenni, azonban minden más drón esetén legalább az A1/A3 vizsga szükséges a jogszerű használatához.

Miután megvásároltuk a légi járművet, annak szabályos használatához regisztrálni kell az UAS-t és annak üzemeltetőjét is nem játék drón esetén (játéknak számít a 120 grammnál könnyebb, kamerával nem rendelkező, maximum 200 méteres hatótávolságú drón). 250 grammot meghaladó súly esetén ezt kiegészíti még egy felelősségbiztosítás is, amiben már meg kell jelölnünk, hogy üzleti vagy hobbi célra vásároltuk a drónt.

Amint minden szükséges dokumentációval végeztünk, a nyilvántartásba vételi számokat feltüntettük az UAV-n, sikeresen letettük a számunkra szükséges vizsgákat, megkezdődhet a repülés megtervezése. Ennek első lépéseként mindenképpen le kell töltenünk a MyDroneSpace nevű applikációt is, ahol minden drónhasználat előtt be kell jelentetnünk a repülési területünket. Amennyiben lakott terület felett szeretnénk drónozni, eseti légtér kérelmet kell benyújtatunk, illetve egyes esetekben különböző hozzájárulásokra és engedélyekre is szükségünk lehet például repülőterektől. [14] [15]



8. ábra: MyDroneSpace applikáció

5. A GOLFPÁLYA FELMÉRÉSE

5.1. Felmérés szükségessége

A megrendelő kérésére ortofotót kellett létrehoznom a golfpálya teljes területéről, valamint annak északi feléről digitális felszínmodellt, kiemelten a már meglévő épületek környékén. Az egész felmérést DJI Phantom 4 RTK drónnal hajtottam végre, az illesztőpontok bemérésére egy Leica Viva GPS-t használtam. A felmérés nagyjából 5 órát vett igénybe, beleértve az illesztőpontok kihelyezését, azok bemérését, a repülés megtervezését és végrehajtását, majd az illesztőpontként használt jelek összegyűjtését.

5.2. Felmérés végrehajtása

A terepi felmérés 2021. szeptember 23-án történt. Korábbi napon előzetes bejárásra ebben az esetben nem került sor, ugyanis nem volt ismeretlen a munkaterület. Mivel a megrendelő részéről ortofotó és háromdimenziós modell készítése volt az elvárás, ezalkalommal a drónos felmérést más technológiával nem egészítettem ki. A repülés megkezdése előtt azonban körbejártam a területet. Ez nem csak az illesztőpontok elhelyezése és bemérése miatt volt szükséges, hanem hogy meggyőződhsek róla, jelentős változás vagy a repülést befolyásoló esemény nem történt a közelmúltban.

Miután az illesztőpontokat elhelyeztem és megjelöltem a földön, bemértem őket egy Leica Viva GNSS vevővel. Következő lépésként olyan felszálló hely keresése volt a feladat, amely megfelelt az alábbi követelményeknek:

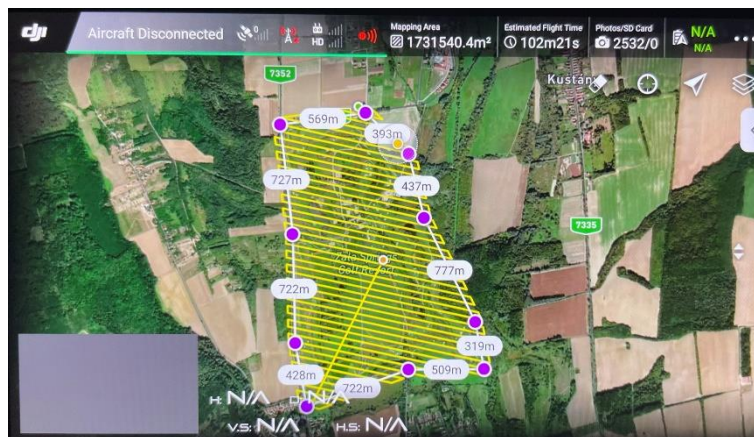
- ne legyen fák vagy épületek közvetlen közelében, takarásában vagy fedésében,
- külső személyektől minél messzebb legyen,
- ne legyen sűrű növényzet vagy tereptárgyak a talajon sem,
- a drón bármikor vissza tudjon oda térni biztonságosan,
- folyamatos stabil kapcsolat lehessen a drón és a kontroller között a megfelelő RTK kapcsolat biztosítása érdekében.



9. ábra: DJI Phantom 4 RTK kontrollere a bekapcsolás után. Első lépésként ki kell választanunk, hogy tervezés vagy repülés módot indítunk-e el.

Miután elhelyeztem a drónt a kijelölt felszállóponton, bekapcsoltam a kontrollert. Rögtön a bekapcsolás után a kijelzőn megjelenik két opció: *Fly* üzemmódban manuálisan irányíthatjuk a drónt, míg *Plan* választása esetén meg kell terveznünk a repülést. Én ez utóbbit választottam, első lépésként a felugró ablakban bejelöltem azt a területet, amelyet fel szerettem volna mérni. Ekkor már automatikusan megjelenik a kijelzőn a lehatárolt terület nagysága és egy becsült repülési idő. Ezek az értékek még nem tekinthetők véglegesnek, ugyanis a repülés további paramétereit megadva automatikusan módosulnak az előzetesen megbecsült számértékek. A képernyő jobb oldalán megjelenő menüben a repülési magasság értékét 100 méterben határoztam meg, a repülési sebességet pedig a maximum 7.9 m/s értékre állítottam. A *Return to Home* opciót kiválasztva a felmérés befejeztével a drón visszatért a kezdő, azaz „home” pozíciójára. Ezt a kezdőpontot tehát azért is kellett gondosan megválasztani, mert a repülés teljes időtartama alatt állandó maradt, így például akkumulátorcsere esetén is ide szállt vissza a drón. Bekapcsoltam az *Altitude Optimization* lehetőséget, amit engedélyezve az UAV a

terület közepére repült és közben döntött kamerával képeket készített amikor a felmérés befejeződött, hogy optimalizálja a magassági pontosságot. A *Camera Settings* menü minden beállítását az alapértelmezett értéken hagytam és továbbléptem az *Advanced Settings* lehetőségre. Itt tudtam meghatározni a sorok közötti átfedések mértékét, vízszintesen 70%-os, függőlegesen pedig 80%-os értékeket adtam meg, végül pedig a *Save* gombbal elmentettem minden szükséges beállítást. Ezzel a becsült repülési idő 102 perc 21 másodpercre növekedett.



10. ábra: A repülés megtervezése.

6. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA

6.1. Sűrű pontfelhő létrehozása

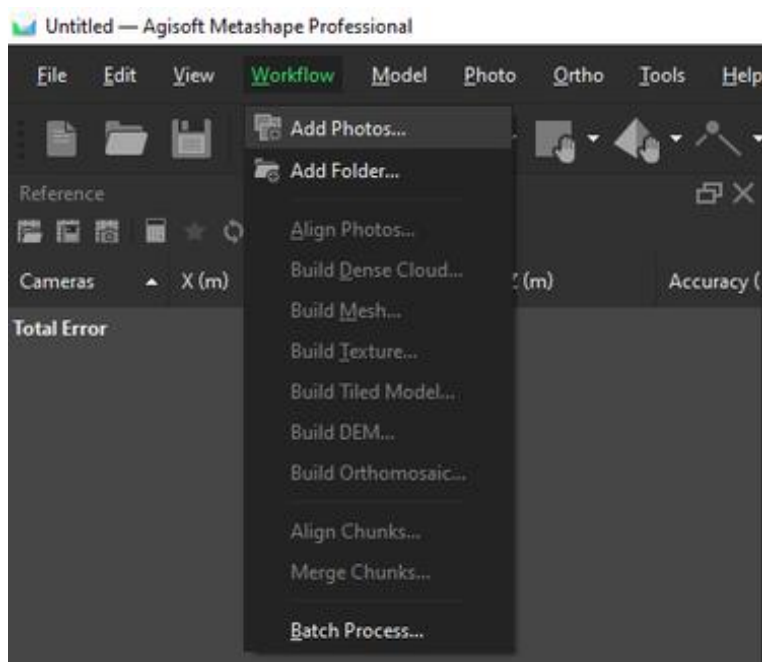
A feldolgozás első lépéséhez az Agisoft Metashape programot használtam. Ez egy digitális képek fotogrammetriai feldolgozására alkalmas szoftver, amely alkalmas többek között 3D modellek vagy ortofotó létrehozására is.

A képfeldolgozás a programban az alábbi három fő lépésből áll:

1. Az első lépés az úgynevezett „alignment”. Ebben a fázisban a Metashape megkeresi a jellegzetes pontokat a képeken és ezeket illesztőpontokként használva összeilleszti a képeket. Ezen kívül a képek alapján finomítja a kamerakalibrációs paramétereket (külső és belső tájékozási elemeket). A folyamat végén ritka pontfelhőn látjuk az eredményt és kamerapozíciókat.
2. A második lépésben felületet hozunk létre: a „mesh” modellt textúrázhatjuk a valóságnak megfelelően, a DEM modell pedig a sűrű pontfelhőn alapszik és tartalmazza a terep és a terep feletti objektumok adatait is (pl. fák, épületek).
3. A harmadik lépés a georeferált ortofotó előállítása, ami alapként szolgálhat például tervezési térképeknek. [16]

A felmérés során készült képeket a drón egy SD kártyára menti. Ezt a memóriakártyát kivettem az eszközből, majd lementettem a számítógépre minden, a méréshez kapcsolódó fájlt is. A képeket betettem egy mappába.

A feldolgozást a képek betöltésével kezdtem. A menüsorban a *Workflow* menü *Add Folder...* lehetőségét választottam, majd kijelöltem azt a mappát, ami a képeket tartalmazta. A felmérés során 3222 darab fénykép készült, így már a képek betöltése is egy kis időt vett igénybe.



11. ábra: A képeket tartalmazó mappa betöltése a programba.

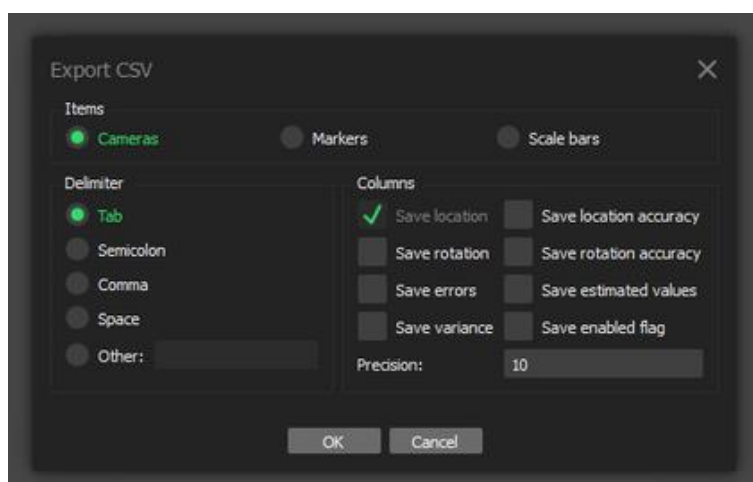
A betöltés után a képek megjelentek a bal oldali menüsorban. Minden fotóról külön-külön részletes adatokat láthatunk, amelyek közül a feldolgozás első lépésében a legfontosabbak a név (cameras), hosszúsági és szélességi koordináták (longitude és latitude), magasság (altitude) és pontosság (accuracy).

Cameras	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)	Accuracy (°)
✓ 100_00...	17.093734	46.821946	264.280000	1.3476/1.1869...		282.100	0.100	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.093123	46.821635	263.550000	1.34539/1.200...		178.900	0.100	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.095021	46.821349	265.670000	1.34163/1.213...		102.100	0.100	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.093104	46.822045	264.870000	1.33744/1.234...		276.300	0.100	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.093758	46.821528	263.370000	1.33654/1.220...		101.900	0.100	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.093507	46.821566	263.620000	1.31368/1.211...		102.800	0.100	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.093111	46.821941	264.800000	1.31302/1.221...		184.700	0.100	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.093245	46.821610	263.890000	1.30591/1.245...		108.200	0.000	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.094266	46.821455	263.240000	1.303/1.21203...		102.300	0.100	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.094007	46.821493	264.000000	1.2994/1.2139...		101.900	0.100	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.093115	46.821758	264.410000	1.29835/1.207...		179.700	0.100	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.095088	46.825446	264.740000	0.04687/0.037...		102.000	0.100	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.095342	46.825408	264.840000	0.03955/0.031...		101.500	0.100	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.099990	46.823866	233.090000	0.03844/0.023...		249.400	30.000	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.098296	46.823729	233.310000	0.03842/0.024...		338.900	30.000	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.100086	46.823891	233.210000	0.03811/0.023...		253.300	30.000	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.099815	46.823818	233.100000	0.03779/0.022...		248.600	30.000	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.100687	46.829541	264.690000	0.03776/0.029...		124.800	0.000	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.099645	46.823773	233.130000	0.03749/0.022...		249.400	30.000	0.000	10.000
✓ 100_00...	17.100567	46.829588	264.770000	0.03719/0.029...		102.900	0.100	0.000	10.000

12. ábra: A betöltött képekhez tartozó részletes adatok.

A felmérés során néhányszor előfordult, hogy a drón az „RTK signal lost, back to GNSS mode” jelzést adta. Ez azt jelentette, hogy a drón elvesztette az RTK korrekciót és csak a pontatlanabb eredményt hozó GNSS helymeghatározást használta. Habár minden ilyen esetben megállítottam a drónt és megvártam, hogy helyreálljon az RTK kapcsolat, mégis volt néhány olyan fotó, amelyek GNSS módban készültek el. Ezeknek az utólagos kiválogatása azonban egyszerűen kivitelezhető a Metashape programban is. A képeket pontosság szerint rendeztem, így ahol az *Accuracy (m)* oszlopban méteres nagyságú értékek szerepeltek, egyszerűen a kép nevére jobb gombbal kattintva a *Remove cameras* opciót választottam és kitöröltem a túl pontatlan felvételeket.

Ahogy a mellékelt ábrán is látható, a képekhez eredetileg nem EOV koordináták tartoztak. Ahhoz, hogy pontosan, országos rendszerbe tudjam helyezni a pontfelhőt, majd a modellt és az ortofotót is, át kellett transzformálnom az eredeti értékeket. Az *Export reference* gombbal kimentettem a Longitude, Latitude és Altitude oszlopból a szélességi, hosszúsági és magassági értékeket. A felugró *Export CSV* ablakban az elválasztót tabulátorra állítottam. A *Precision* értékét tízre állítottam, ezzel tudtam megadni, milyen élességű koordinátákat írjon ki a program. A *Save location* opciót hagytam csak bejelölve, ezzel tudtam megadni, hogy csak a koordinátákat szeretném a képek neve mellé exportálni. A többi beállítást változatlanul hagyva mentettem ki a koordinátákat egy .txt fájlba.



13. ábra: Szélességi, hosszúsági és magassági értékek exportálása .txt fájlba.

A koordináták transzformálását a http://www.agt.bme.hu/on_line/etrs2eov/ weboldalon végeztem. A link beírása után egy egyszerű kezelőfelület jelenik meg, ahol az eredetileg felkínált *Egy pont* helyett a *Fájl* opciót választottam, majd feltöltöttem a kiexportált

képkoordinátákat tartalmazó .txt fájlt. A *Küld* gombbal a program automatikusan elvégezte az ETRS89-ből EOVB/Balti rendszerbe való transzformálást és automatikusan egy, az eredetivel megegyező formátumú szövegfájlba mentette az eredményeket.

ETRS89 <--> EOVB/Balti konverzió

☐ Egy pont ☐ EOVB/Balti -> ETRS89
☒ Fájl ☒ ETRS89 -> EOVB/Balti

Input fájl: Fájl kiválasztása Nincs fájl kiválasztva
 Formátum: TXT ▼
[Dokumentáció](#) Küld

14. ábra: A program kezelőfelülete.

Ezután a Metashape-ben az *Import CSV* lehetőséget választottam és kijelöltem az EOVB rendszerbe transzformált koordinátákat tartalmazó .txt fájlt. A felugró ablakban megadtam a koordináta rendszert és a megfelelő elválasztókaraktert. Az alsó táblázatban rögtön láthattam az eredményeket, így biztos lehettem benne, hogy minden érték a helyére kerül. Mivel az eredeti koordináták exportálásakor nem írtam át a képek nevét a .txt fájlban és a transzformáció után sem változtattam meg őket, ezért az importálás során minden képnél automatikusan cserélődtek ki a koordináták a helyes EOVB értékekre.

Import CSV

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

Rotation angles: Yaw, Pitch, Roll

Ignore labels: ☐ Threshold (m): 0.1

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

Combine consecutive delimiters: ☐

Columns:

Label	1	Accuracy	Rotation	Accuracy
Easting	2	8	Yaw	5
Northing	3	9	Pitch	6
Altitude	4	10	Roll	7
			Enabled flag	10

Start import at row: 1 Items: All

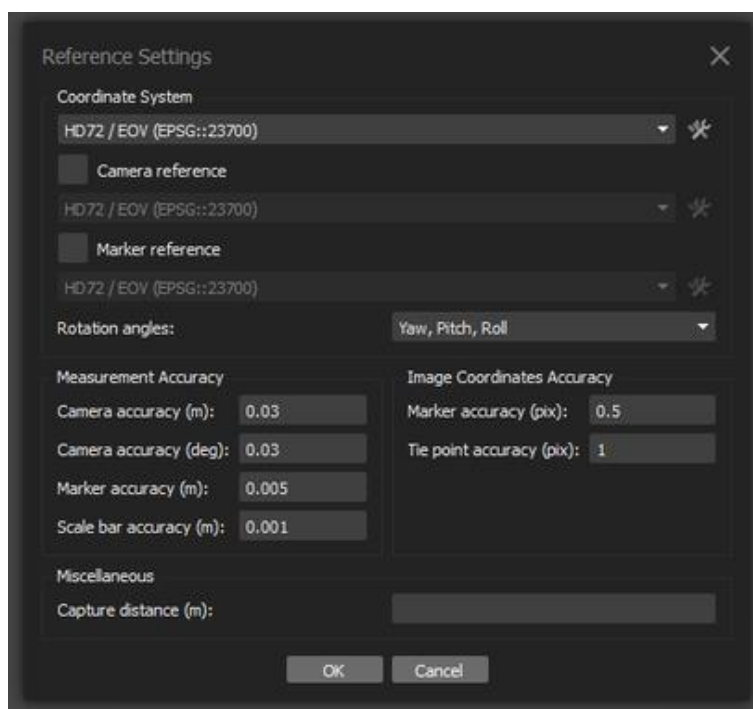
First 20 lines preview:

	Label	Easting	Northing	Altitude
1	100_0005_0001.J...	501391.06	166906.98	219.27
2	100_0005_0002.J...	501403.01	166904.62	219.30
3	100_0005_0003.J...	501422.53	166900.00	219.32
4	100_0005_0004.J...	501441.65	166895.39	219.35
5	100_0005_0005.J...	501461.00	166890.87	219.38
6	100_0005_0006.J...	501480.20	166886.26	219.41

OK Cancel

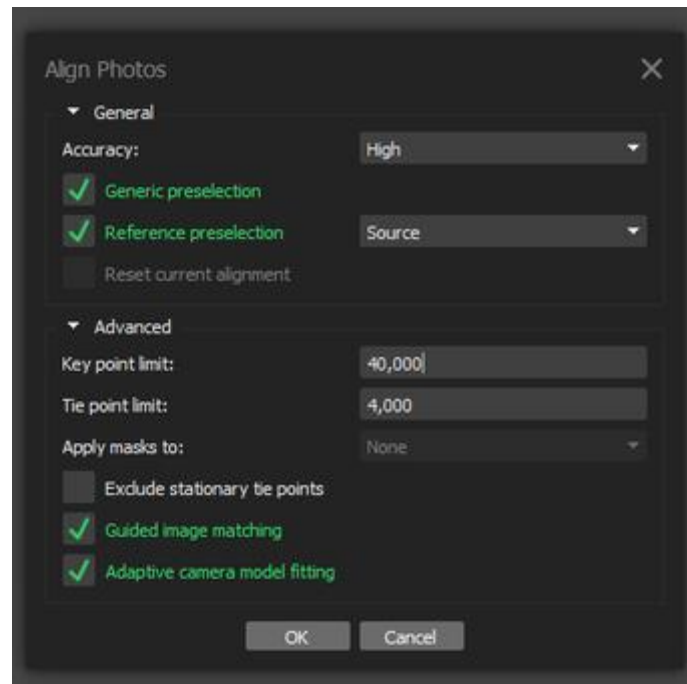
15. ábra: A transzformált koordinátákat tartalmazó fájl betöltése.

Következő lépésként a *Reference* menüből kiválasztottam a *Settings* lehetőséget. A megjelenő ablakban a *Camera accuracy* értékét 10 méterről 3 centiméterre és 10 fokról 0.03 fokra módosítottam. A többi értéket változatlanul hagytam és az *OK* gombbal elmentettem a beállításokat.



16. ábra: A képek összeillesztése előtti utolsó beállítások.

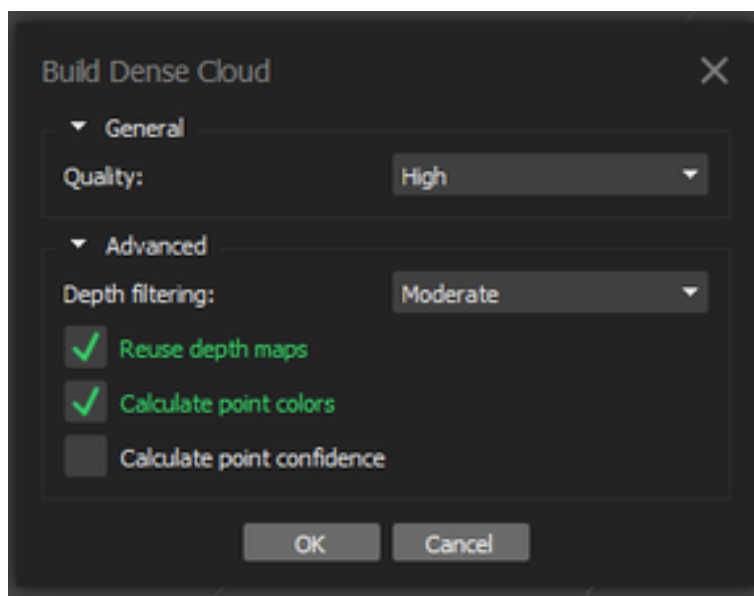
Miután minden szükséges beállítást elvégeztem, elkezdtem a képek összeillesztését. A *Workflow* menüpontból ehhez az *Align photos* lehetőséget választottam. A megjelenő menü első részében, az általános beállítások közül az *Accuracy* mértékét magasra állítottam. Az ennél alacsonyabb beállításokkal a program gyorsabban lefutott volna, de túlságosan lerontotta volna a képek minőségét, ezzel bizonytalan eredményt adva. Bepipáltam még az *Adaptive camera model fitting* lehetőséget, így a program a beépített kamera adatokat használta. Ezeket az értékeket nem kellett külön megadnom az előbeállítások során, ugyanis rögtön az első lépésben, a képek betöltésével együtt a kiválasztott mappa tartalmazta a szükséges adatokat is. A *Key point limit* értékét 40 000-re módosítottam, ezzel adtam meg, hogy a program automatikusan hány illesztőpontot keressen maximum a képek között. Érdekesség, hogy itt „nulla” értéket beírva nem korlátozzuk a programot, tehát a lehető legtöbb illesztőpontot megkereste volna, de ez nem mindig jelenti a megbízhatóság növekedését is, valamint sokkal több időt venne igénybe.



17. ábra: A képek összeillesztésének beállítására szolgáló menü ablaka.

Ennek a lépésnek a végrehajtása több órát vett igénybe, hiszen nagyon nagy területről volt szó. Amikor a program végzett, a kijelzőn megjelent a ritka pontfelhő. Ez azt a modellt jelenti, ami azok az illesztőpontok alapján jött létre, amiket a program automatikusan, a képek között ismert fel. Ilyen jellegzetes pontok például a különböző építmények pontjai vagy adott esetben akár a növényzet is, ellenben a nagy, homogén kiterjedésű területeken a program nehezen talál közös illesztőpontokat.

Mivel a ritka pontfelhő kiértékelésre nem igazán alkalmas, következő lépésként a sűrű pontfelhőt hoztam létre. Ezt a funkciót szintén a *Workflow* menüben található, de most a *Build dense cloud* lehetőségre kattintottam. A megjelent ablakban a minőséget magasra állítottam, a *Depth filtering*, azaz mélység szűrésnél pedig közepes értéket adtam meg. A három további opció közül csak a *Calculate point colors* opciót jelöltem ki végül, ezzel a program minden ponthoz egy színértéket is számolt.



18. ábra: Sűrű pontfelhő generálásának beállításai.

Az OK gombbal elindítottam a sűrű pontfelhő generálását. Ez a folyamat kis terület esetén is akár 20-30 percet igénybe vehet, viszont az általam felmért, 180 hektáros területen több, mint 12 órán át tartott a művelet.

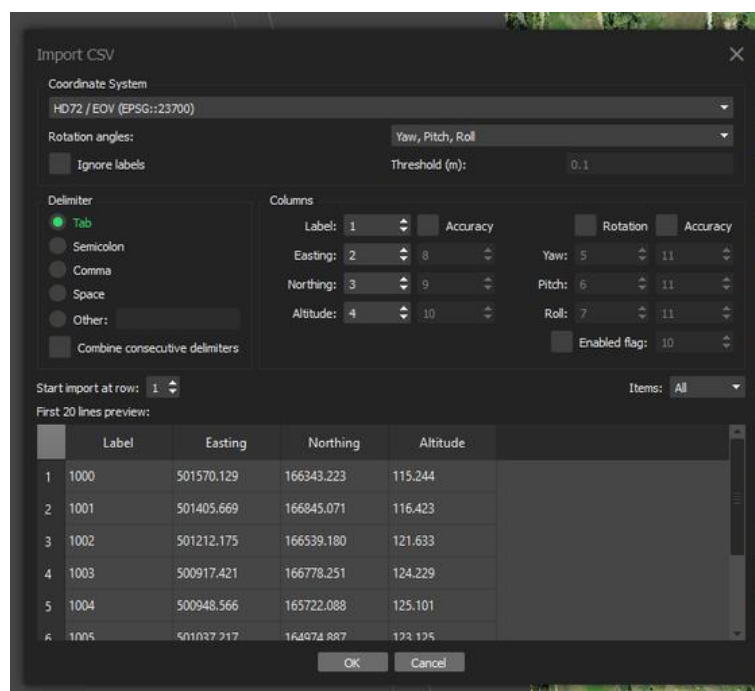


19. ábra: A létrejött sűrű pontfelhő látványos, jól visszaadja a felmért terület, csak a tavak területén „lyukas”.

6.2. Pontosságvizsgálat

A drónok használatának legnagyobb előnye, hogy megkönnyítik a terepi munkát és jelentősen lecsökkenthetik a mérés időtartamát, de hosszabb irodai feldolgozást igényelhetnek. A pilóta légi járműveknek sok típusa létezik, de könnyen belátható, hogy RTK vevővel nem felszerelt drónok esetén az illesztőpontok jelölése mind a felmérés, mind a feldolgozás során hosszabb folyamat lehet, mint például a DJI Phantom 4 RTK esetében, hiszen sokkal több pont elhelyezésére, bemérésére majd azonosítására van szükség ahhoz, hogy ugyanolyan pontosságú eredményt érjünk el. Az általam használt drón gyártója vízszintesen 1 cm + 1 ppm, függőlegesen 1.5 cm + 1 ppm pontosságot ígér, ami például tervezési alaptérképek elkészítéséhez elegendő lenne. Én azonban elhelyeztem nyolc darab illesztőpontot a felmérés előtt és meghatároztam őket, hogy megvizsgálhassam a modell pontosságát az illesztőpontok segítségével és szükség esetén a pontosság növelésére használhassa, őket.

Az illesztőpontok koordinátáit egy egyszerű, tabulátorokkal tagolt .txt kiterjesztésű fájlba exportáltam a terepi mérés befejezésekor, a sűrű pontfelhő létrehozása után pedig az *Import reference* lehetőséggel hívtam be ezt a programba. A felugró ablakban kiválasztottam az EOV koordináta rendszert, az elválasztó karaktert tabulátorra állítottam és a *Columns* részben megadtam, hogy melyik oszlop melyik értékeket tartalmazza.



20. ábra: Az illesztőpontok koordinátáinak importálása a programba.

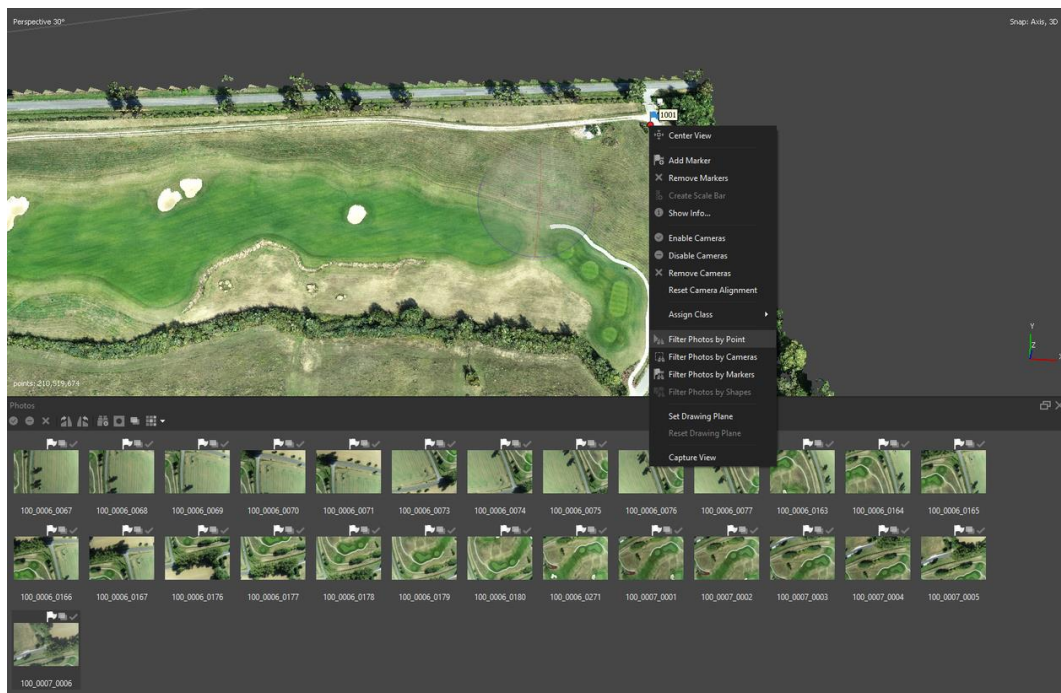
Az OK gomb megnyomása után a pontok megjelentek a modellen. Fontos megemlíteni, hogy RTK-vevővel nem rendelkező drónokkal készült felvételek feldolgozása során, amikor az illesztőpontokat betöltjük és azok megjelennek a valós helyükön, a pontfelhőn, modellen vagy ortofotón nem látjuk őket, hiszen az így létrehozott termékek nincsenek EOVRendszerbe. A fő nehézséget ilyenkor az jelenti, hogy egyesével kell elvégeznünk a pontok azonosítását és megjelölését a képeken. Bár egy bizonyos számú azonosítás után a program automatikusan megpróbálja majd felismerni az egyes illesztőpontokat a különböző képeken, általában csak néhány méteres pontossággal képes ezt önállóan megtenni. A DJI Phantom 4 RTK drón használata során már a terepen megtapasztaltam az RTK vevő előnyét, hiszen összesen nyolc illesztőpontot helyeztem el a területen.

A Metashape-ben való feldolgozás során, amikor behívtam az illesztőpontokat a programba, azok vízszintesen 2-3, függőlegesen 5-6 centiméteren belül egyből a helyükre kerültek. Ebből következően a pontok külön azonosítására így egyáltalán nem volt szükség, viszont az automatikusan jelölt ponthelyeket a fotókon korrigáltam, hogy megvizsgálhassam, mennyivel pontosabb eredményt kapok.



21. ábra: Az illesztőpontok elhelyezkedése a területen.

Az illesztőpontok jelölésének első lépéseként a bal oldali *Markers* menüben kijelöltem egy pontot, majd jobb gombbal kattintva a *Filter Photos by Point* lehetőséget választottam. Ezzel a program megjelenítette a modell alatti *Photos* ablakban az összes olyan képet, ami az 1001-es számú pontot tartalmazta.



22. ábra: Egy illesztőponthoz tartozó összes kép leválogatása.



23. ábra: Az illesztőpontok jelölése.

Ugyanezt megismétltem a többi ponttal is, a jelölés közben pedig a következő fontos észrevételeket tettem:

- Azokon a képeken, amelyeken az illesztőpont túlságosan a kép szélére esett vagy a képminőség romlásra miatt (például túl sok vagy túl kevés fény) nehezen azonosítható volt, kihagytam az azonosítást.
- A terepi felmérés során két illesztőpont megsérült: az 1003-as pontot valószínűleg a szél fújhatta el, az 1007-es pontot pedig egy arra járó munkás tette arrébb és fordította meg. Ebből következően ezeket a pontokat már nem tudtam illesztőpontként használni, ezért kihagytam őket az azonosításból.
- Az 1001-es számú pont sok képen nehezen azonosítható volt, a kedvezőtlen fényviszonyok miatt néhány képen szinte teljesen el is tűnt.

Miután mind a hat illesztőpontot azonosítottam és a helyén jelöltem, a program a *Markers* menüben az *Errors* oszlopban kiírta az egyes illesztőpontokat terhelő hibákat, amelyeknél az *Error (m)* azt a fennmaradó hibát jelenti méter mértékegységben, amely a jelölt és a becsült ponthely között van, az *Error (pix)* pedig az a négyzetes középeltérés, amelyet a program minden olyan kép alapján számol, amelyen az adott illesztőpont megtalálható. A *Total Error Control points* sorában pedig ezeket az értékeket az összes illesztőpontra együttesen vonatkoztatva látjuk, szintén méter és pixel mértékegységben kifejezve.

Markers	▲	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
✓	1000	501570.129000	166343.223000	115.244000	0.005000	0.013424	24	0.466
✓	1001	501405.669000	166845.071000	116.423000	0.005000	0.052842	21	1.784
✓	1002	501212.175000	166539.180000	121.633000	0.005000	0.009908	20	0.695
✓	1003	500917.421000	166778.251000	124.229000	0.005000		0	0.000
✓	1004	500948.566000	165722.088000	125.101000	0.005000	0.013043	20	0.412
✓	1005	501037.217000	164974.887000	123.125000	0.005000	0.021354	32	0.361
✓	1006	501573.402000	165290.409000	118.848000	0.005000	0.012013	25	0.262
✓	1007	502087.988000	165223.849000	113.247000	0.005000		0	0.000
Total Error								
Control points						0.025302		0.800
Check points								

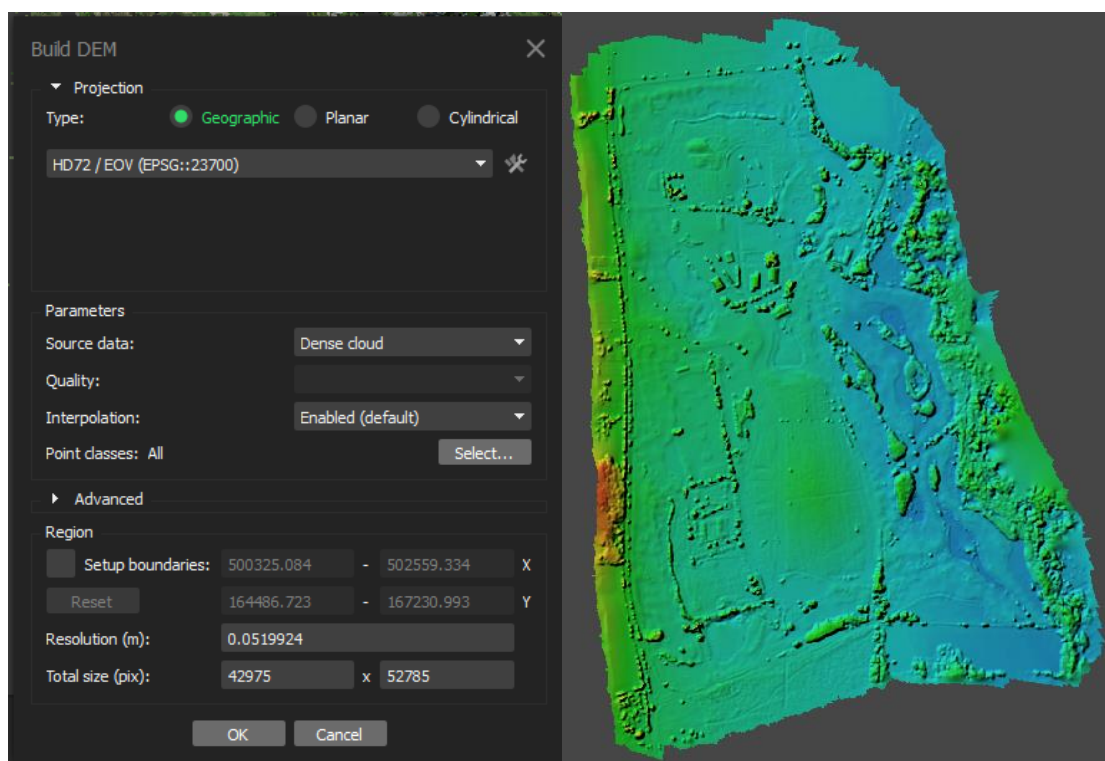
24. ábra: Eredmények az illesztőpontok jelölése után.

A mellékelt ábrán is jól látható, hogy végül 2.5 centiméteres hibával sikerült azonosítani az illesztőpontokat. A hiba nagyságában valószínűleg az 1001-es pont nehéz azonosítása nagy

szerepet játszott. Érdekességképpen kivettem ezt az illesztőpontot a listából, ekkor a *Total error (m)* értéke 1.7 centiméteres nagyságra csökkent.

6.3. DEM létrehozása

Ahhoz, hogy az egész golfpályáról ortofotót hozhassak létre, először egy DEM (Digital Elevation Model) modellt kellett létrehoznom. A *Workflow* menü *Build DEM* lehetőségét választottam. A felugró ablakban az automatikusan felajánlott EOVS koordináta rendszert változatlanul hagytam. Forrásadatként a korábban létrehozott sűrű pontfelhő adtam meg, az interpolációra pedig az engedélyez értéket állítottam be. Az OK gombra kattintva elindítottam a digitális magasságmodell létrehozását.

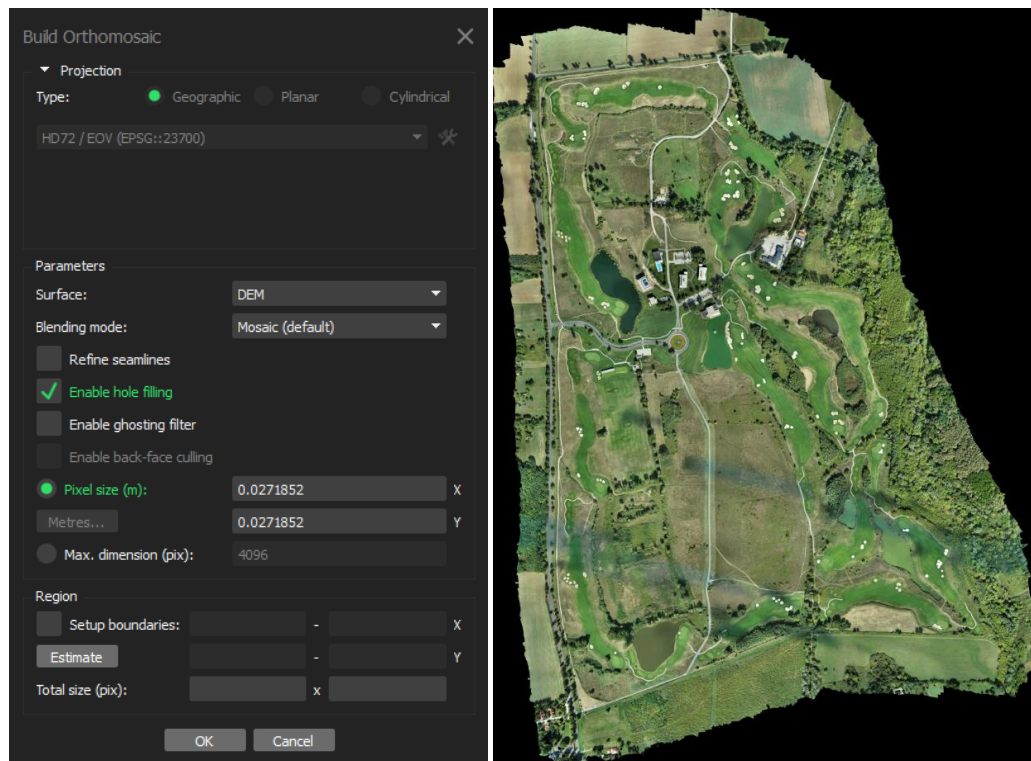


25. ábra: A DEM létrehozásához szükséges beállítások menüje és a létrejött terepmodell.

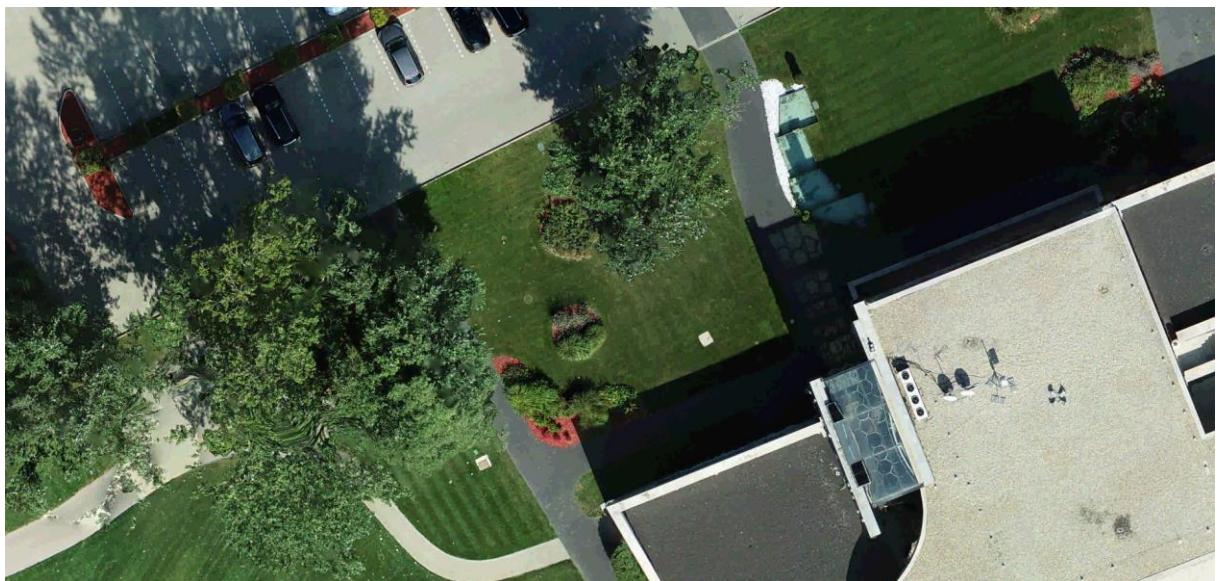
6.4. Ortofotó készítése

Az ortofotó létrehozásához újra a *Workflow* menüre kattintottam, de most a *Build Orthomosaic...* lehetőséget választottam. A felugró menüben a forrás felületként az előző lépésben létrehozott DEM-et adtam meg, ezen kívül minden beállítást változatlanul hagytam és az OK gombbal elindítottam az ortofotó készítésének folyamatát. A program közel két órán át

futott, míg végül elkészült a teljes golfpályát lefedő ortofotó. Később ezt a képet nagyjából 10%-os minőségben exportáltam, de az így kapott .tif kiterjesztésű fájl nagysága is meghaladta a 800 megabájtot, részletessége pedig bármilyen tervezési feladat támogatására elegendőnek bizonyult.



26. ábra: Az ortofotó létrehozásához szükséges beállítások menüje és az elkészült ortofotó.

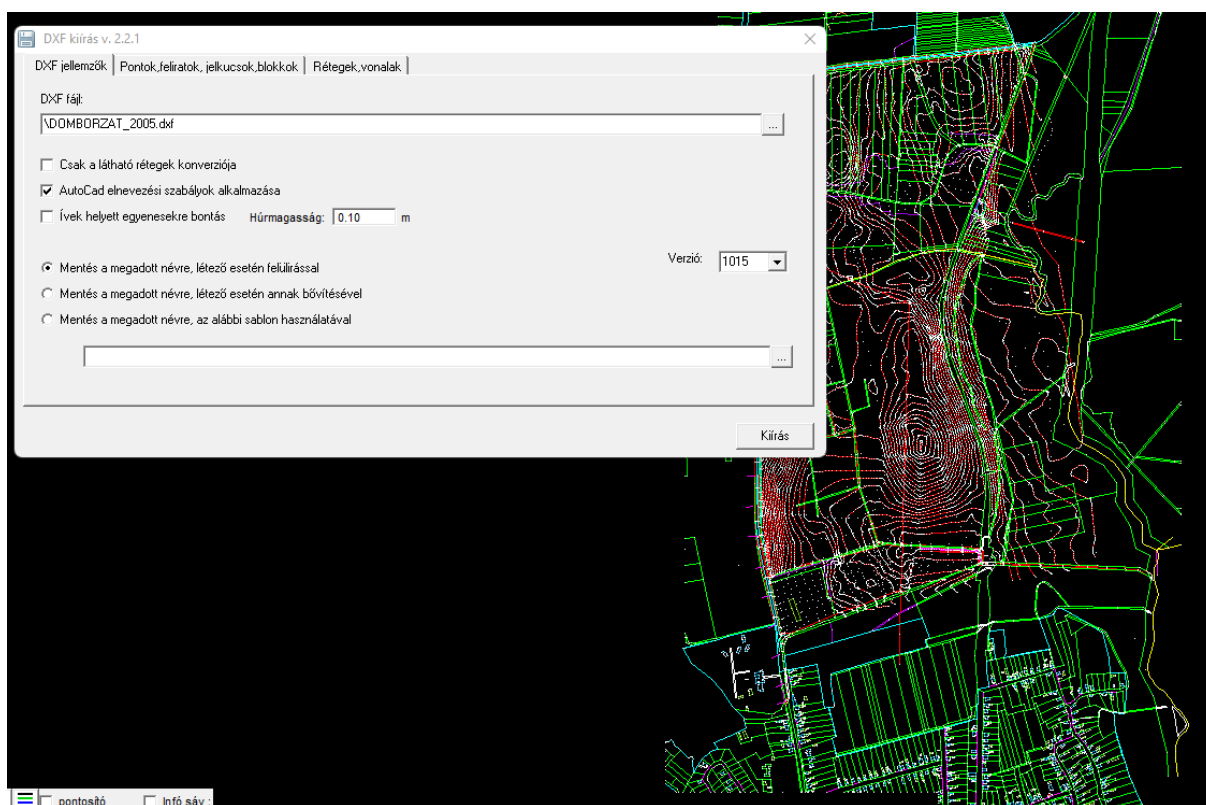


27. ábra: A 10%-os minőségben kiexportált ortofotó egy kis részlete. Tervezési alaptérépek elkészítésének támogatásához, átnézeti térképként is használható.

6.5. Digitális domborzatmodellek készítése

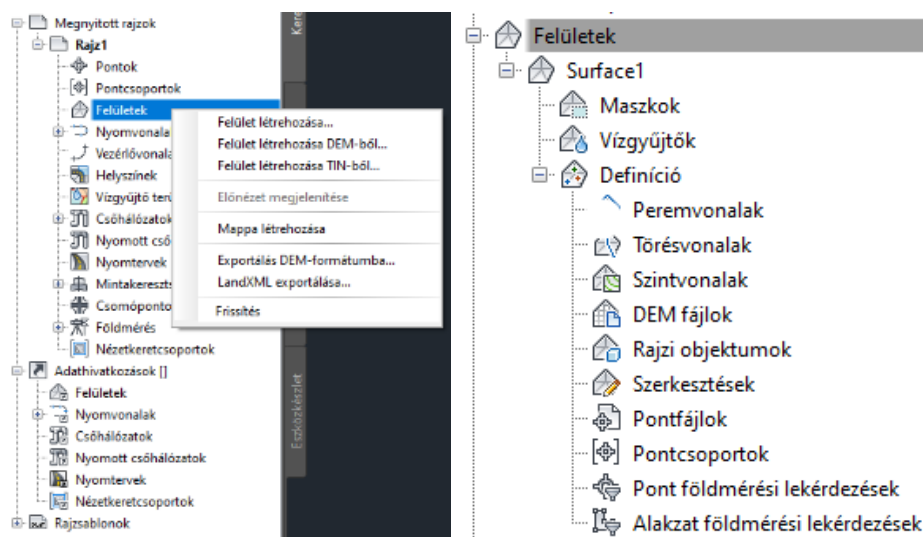
Ugyanazon területen történt időbeni változások összehasonlításának egyik leglátványosabb módja az lehet, ha a felmért területekről készült domborzatmodelleket egyszerre jelenítjük meg, magasságkülönbségeiket szemléltetjük vagy térfogatukat összevetjük.

A 2005-ben készült felmérésről egy .ibn kiterjesztésű szintvonalas rajz állt rendelkezésemre. Ahhoz, hogy ebből digitális domborzatmodellt készíthessek, először ITR 6-ban megnyitottam az állományt. A fájl tartalmazta a felmérési eredményeken kívül az akkori telekhatárokat, de ezeket ebben a lépésben még változatlanul hagytam. A *DXF export* lehetőséget kiválasztva a *Pontok, feliratok, jelkulcsok, blokkok* fülön bepipáltam a *Pontok, feliratok, jelkulcsok, blokkok 3D-ben* lehetőséget, a *Rétegek, vonalak* opciónál pedig az összes rétegnél a *3D* oszlop értékét igenre állítottam. Ezzel a kiexportált .dxf rajzon minden olyan rajzi elem, amelynek *Z* koordinataként magasság meg volt adva, háromdimenziósként került kiírásra.



28. ábra: DXF exportálása ITR 6 programból.

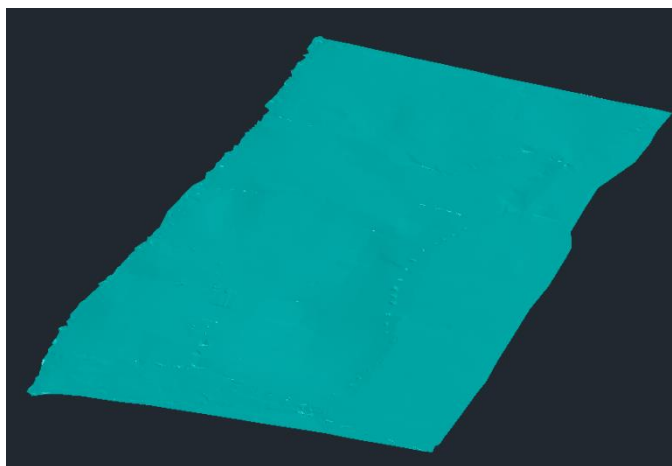
A feldolgozás következő lépéseként AutoCAD Civil 3D 2018-ban nyitottam meg a kiexportált .dxf állományt. Itt már hosszabb feldolgozásra volt szükség, amelyet azzal indítottam, hogy letöröltem minden olyan elemet, amely nem rendelkezett magassági értékkel, azaz Z értéként nulla volt megadva. Ekkor kerültek törlésre az ingatlan-nyilvántartási földrészlet határvonalak is, azonban érdekes volt látni, hogy az építkezés megkezdése előtt mennyi telekalakítási eljárást kellett lefolytatni, hogy megszüntethessék a sok elaprózódott földrészletet. Mivel az ITR 6-ból történő exportálás során bekapcsoltam a vonalak 3D-s kiexportálását is, ezért a tervezési alaptérképek szintvonalai automatikusan jó magasságban jelentek meg. Miután letisztítottam az összes, számomra nem használható pontot, az *Eszköztár* → *Felületek* opcióra jobb gombbal kattintottam és kiválasztottam a *Felület létrehozása...* lehetőséget. A felugró ablakban kiválasztottam, hogy TIN-felületet szeretnék létrehozni, a többi beállítási lehetőséget pedig változatlanul hagytam. Miután létrehoztam így a felületet, megjelent a *Definíció* lehetőség is az eszköztárban. Itt különböző rajzi elemek hozzáadásával van lehetőség definiálni egy felületet, én most a *Pontcsoportok* lehetőséget választottam, majd az automatikusan felkínált, összes pontot tartalmazó *Minden pont* csoportot választottam.



29. ábra: Felület létrehozása AutoCAD Civil 3D 2018 programban.

Ezzel létrejött egy olyan felület, amelyet az összes mérési ponttal és szintvonal törésponttal definiáltam. Természetesen így is maradtak benne olyan pontok, amelyeknek a magassága nem volt megfelelő. A modellt a ViewCube segítségével 3D nézetbe forgattam, majd itt bekapcsoltam a pontok láthatóságát a *Módosítás* → *Felület tulajdonságai* → *Felületstílus szerkesztése* lehetőséggel. A *Módosítás* → *Felület szerkesztése* → *Pont törlése* opciót jelöltem

ki, majd kiválasztottam minden olyan pontot, amely láthatóan kilógott a modellből vagy éppen túlságosan az alatt helyezkedett el. Miután kitöröltem minden olyan pontot a modellből, amelyre valójában nem volt szükségem és a *Módosítás* → *Felület szerkesztése* → *Vonal törlése* lehetőséggel kiválasztottam a nem kellő háromszögoldalakat is, elkészült a felületmodellem.



30. ábra: A létrejött TIN-modell.

Fontos megjegyezni itt, hogy az elkészült modellnek nincsenek látványosan kiemelkedő dombjai vagy mélyen futó völgyei. A golfpályát keletről a Zala-folyó határolja, teljes területével annak völgyében fekszik. 2005-ben, a felmérés kezdetekor jelentős részét szántóként hasznosították. A tervezéshez készült szintvonalas rajzból is leolvasható, hogy 15 méternél nagyobb szintkülönbség nem jellemezte. A 180 hektáros területen ekkora magasságkülönbségek szinte elvesznek, ha a terület egy részét viszont kimetszenénk, közelebbről vizsgálva enyhe lejtőket, kis emelkedőket megfigyelhetnénk. A modellt oldalról vizsgálva azonban megfigyelhetjük a terület nyugatról-keletre lejtését, ami azt is eredményezte, hogy a dombokról eső esetén érkező víz a Zala-folyó medrébe folyt.



31. ábra: A létrejött TIN-modell oldalnézete.

Az így létrehozott digitális domborzatmodellen több módosítást vagy elemzést a feldolgozásnak ebben a lépésében nem végeztem. Az állományt .dwg formátumban is elmentettem, valamint a *Fájl* menü *Exportálás* → *DXF (2013) formátum* lehetőségével kiexportáltam.

Ahhoz, hogy a saját felmérésemről készült pontfelhőből hasonló végeredményt kapjak, a korábban is használt Agisoft Metashape programban nyitottam meg az állományomat. Az előfeldolgozás során létrejött sűrű pontfelhő nyers állapotában nem volt alkalmas digitális domborzatmodell készítésére, hiszen tartalmazott minden olyan tereptárgyat, amit a drón „fentről látott”, például a fákat és az épületeket is. Ahhoz, hogy az eltérő időpontokban készült két modellt összehasonlíthassam, ezeket az objektumokat el kellett távolítanom elsőként a pontfelhőről, hogy csak a tényleges földfelszínnel dolgozhassak. Első lépésként megnyitottam a programban az elmentett sűrű pontfelhőt tartalmazó állományt, majd a menüsorról a *Selection* lehetőségek közül a *Free form selection* opciót választottam. A fák, épületek és egyéb tereptárgyak, például adok, autók kijelölését először felülnézetből végeztem. A *Free form selection* tulajdonképpen egy szabad kijelölést tesz lehetővé, így a különböző alakú objektumokat körberajzolva választottam ki, majd az *Enter* billentyű lenyomásával tudtam őket kitörölni a pontfelhőből. Fontos megjegyezni, hogy ezzel a megoldással az adott kijelölésen belül minden pontot töröl a program, tehát nem csak azokat, amelyeket felülnézetből látunk, hanem az esetlegesen alattuk található, alacsonyabb magasságú pontokat is, ezért igyekeztem a lehető legkisebb területeket kijelölni, hogy ne töröljek túl sok szükséges információt a pontfelhőből.

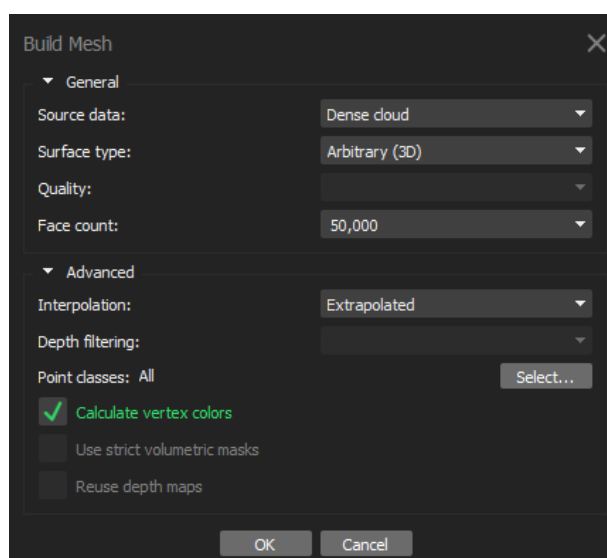


32. ábra: Fa kivágása. A fa lombkoronája mentén kijelölt terület kivágás előtt rózsaszínnel jelenik meg a kijelzőn.

A földfelszín feletti tereptárgyak kivágása hosszadalmas és aprólékos folyamat volt. Miután felülnézetből eltávolítottam minden szükséges objektumot, különböző oldalnézeti

állásokból is átvizsgáltam a pontfelhőt és igyekeztem minél több olyan pontot eltávolítani, amely felülnézetből nem látszott vagy elkerülte a figyelmem (ilyenek voltak például a füves területeken az alacsony magasságú, vagy a környezetükbe nagyon beleolvadó bokrok, illetve a fák lobkoronáinak szélei). Természetesen ezzel a módszerrel sem tudtam a sok tízmillió pont közül minden olyat kivenni a pontfelhőből, amelyre nem volt szükségem. Ez azonban a későbbiekben nem okozott problémát, hiszen a digitális domborzatmodell készítésekor további szűrési lehetőségeket állítottam be, ezzel az elszórtan még ott maradt pontokat a program figyelmen kívül hagyta.

Ahhoz, hogy a tereptárgyakat nem tartalmazó, kész modell exportálni tudjam a programból, a sűrű pontfelhőből újra DEM, majd Mesh modellt kellett készítenem. Első lépésként a *Workflow* → *Build DEM* opciót választottam. Minden beállítást hasonlóan az előző DEM készítéshez, változatlanul hagytam az alapbeállításokat, majd és az OK gombbal lefuttattam a programot. Miután megjelent a kijelzőn az eredmény, a *Workflow* menüből a *Build Mesh*-re kattintottam. Forrásként itt is a sűrű pontfelhőt adtam meg, a felület típusára pedig a 3D opciót választottam. Az interpolációhoz most extrapolált értéket állítottam be, a program így a kivágott, „lyukas” területekre és számolt értéket. A *Face count* értékét 50.000-re írtam be, ezzel megadva, hogy a modell hány „lapból” álljon. Az OK gombbal elindítottam a folyamatot, majd amint a kijelzőn megjelent a kész modell, .obj formátumban exportáltam a *File* → *Export* → *Export Model* menüben.

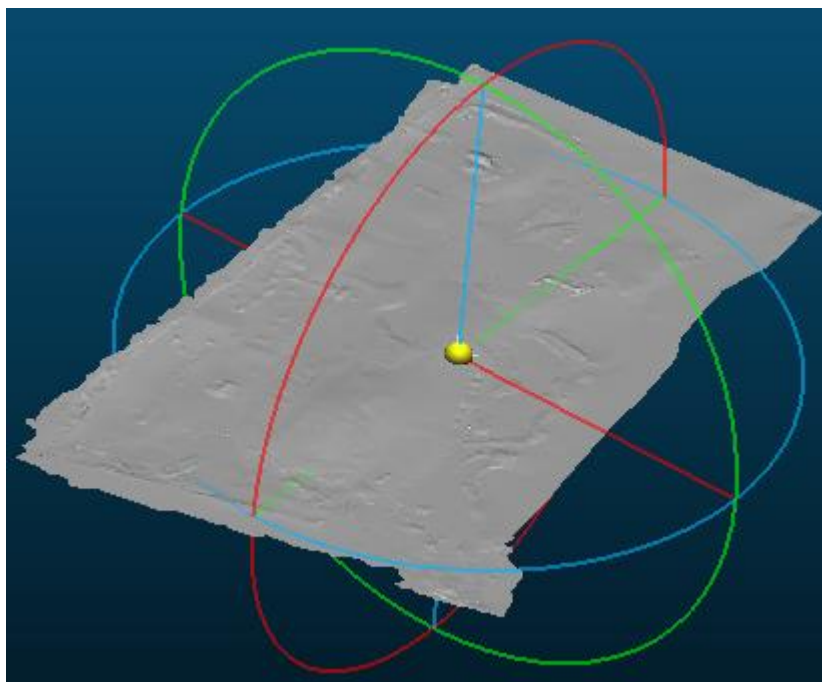


33 ábra: Mesh generálásához szükséges beállítások ablaka.

7. A DOMBORZATMODELLEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A két domborzatmodell összehasonlítására a CloudCompare programot választottam. Ez egy kifejezetten háromdimenziós pontfelhők és modellek kezelésére kifejlesztett, nyílt forráskódú szoftver. Internetről egyszerűen letölthető, majd néhány perc alatt telepíthető és használatra kész. Előnye, hogy több, mint huszonöt féle formátumú modell vagy pontfelhő megnyitására képes, de beolvashatunk akár egy egyszerű, csak pontokat tartalmazó .txt fájlt is.

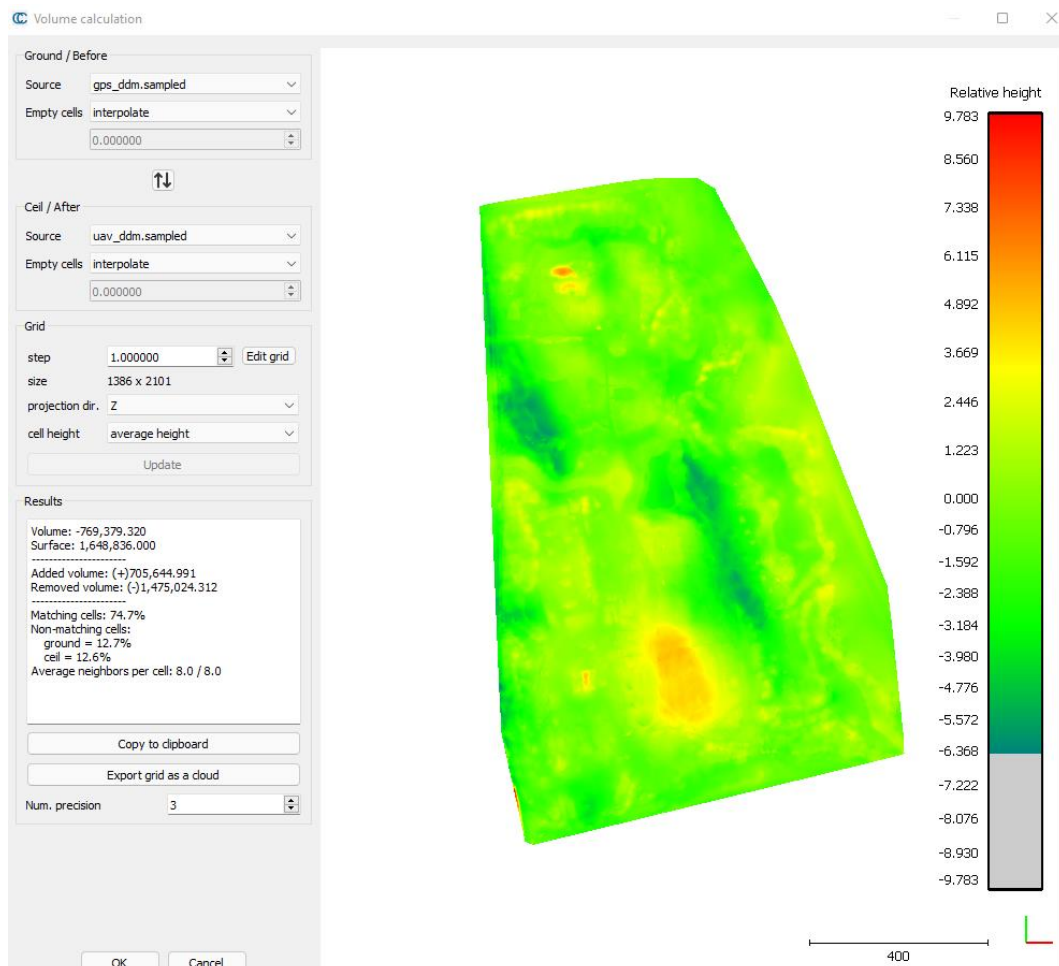
A *File* → *Open* menüpontot választottam, és betöltöttem mindkét terepmodellt. A két modell egymás felett jelent meg a kijelzőn, hiszen mindkettő az exportáláskor is megőrizte EOY-helyes koordinátáit.



34. ábra: A betöltött digitális domborzatmodellek egymáson jelennek meg, de egyszínű megjelenésükkel nem jól elemezhetők.

Ahhoz, hogy két pontfelhő közötti különbséget látványosabban tudjam szemléltetni, földtömegszámítást futtatam le. Mivel a CloudCompare két modell között nem képes tömegszámítást végezni, ezért pontfelhőkké kellett alakítanom a modelleket. A két betöltött fájlt egyszerre kijelöltem, majd a *Sample points on mesh* menüpontot választottam. A felugró ablakban a pontok számát az alapértelmezett 1.000.000 értéken hagytam, majd semmi máson nem változtattam, csak az OK gomb lenyomásával átalakítottam a modelleket pontfelhővé. Ezután a *Tools* → *Volume* → *Compute 2.5 Volume* opcióra kattintottam. A felugró ablakban

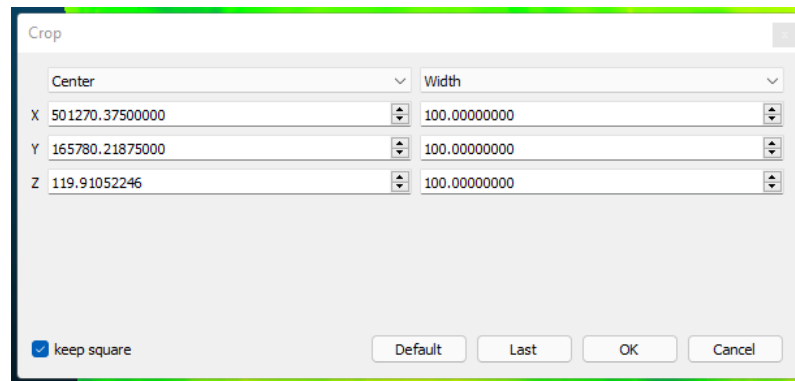
referenciaként a régebbi, a GPS-méréseket tartalmazó modellt adtam meg, összehasonlításként pedig a drónos felmérés alapján készült modellt választottam. Az üres cellák kezelésére interpolációt adtam meg, majd a többi beállítást az alapértelmezett értékeken hagyva az *Update* gombbal adtam ki a földtömegszámítás indításához szükséges parancsot. A megjelent ábrán a legnagyobb töltések piros színnel jelennek meg, azok a területek pedig, ahonnan a legtöbb humusz került elhordásra, sötétzöld színnel látszanak. Ez a megoldás azért is bizonyult jónak, mert a két létrehozott domborzatmodell területe nem egyezett teljesen: az egyik északra, a másik pedig délre nyúlt túl kissé a másikon. A CloudCompare programban azonban nem kellett ezeket külön megadnom, mert a földtömegszámítás során automatikusan csak az átfedő részeket vette figyelembe az algoritmus.



35. ábra: Tömegszámítás eredménye.

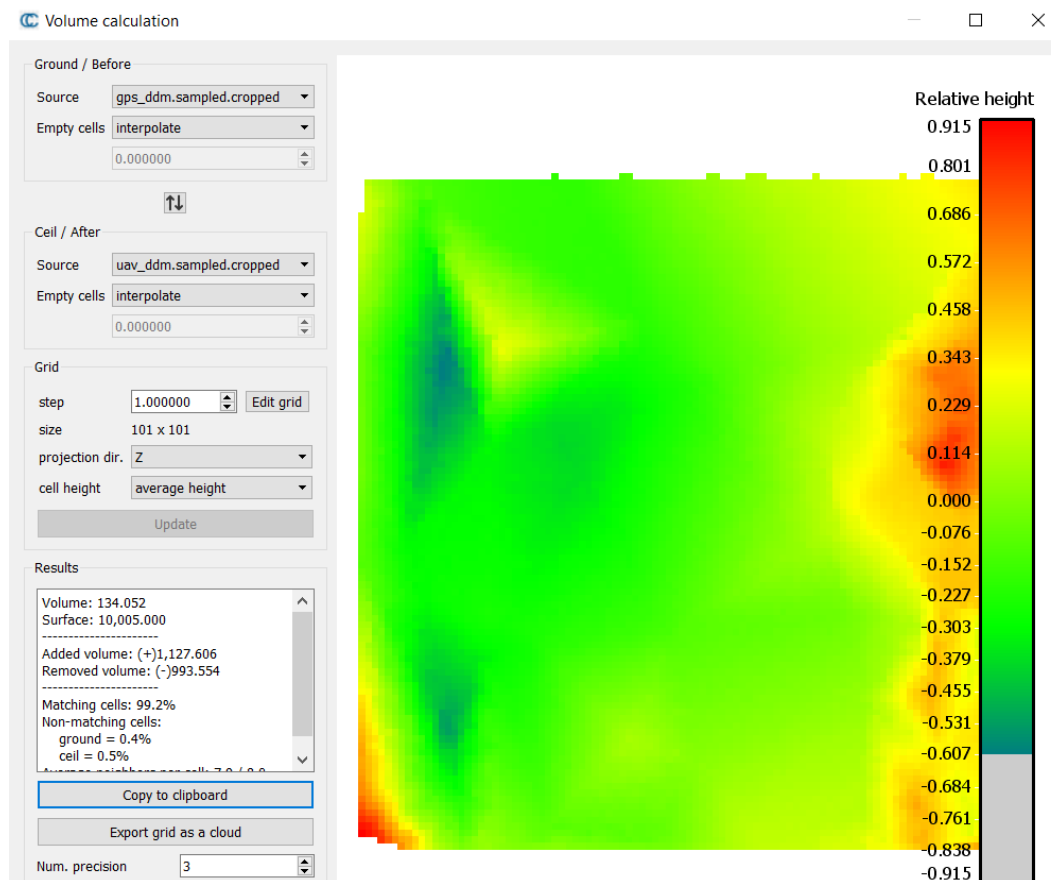
A térfogatszámítás eredményéből megfigyelhető, hogy jelentős változások történtek a felszínben. Ez a funkció használható például akkor is, ha több felmérés minősítése vagy

összehasonlítása a feladat. Ehhez kiválasztottam egy olyan, egy hektár nagyságú területet, amelyen nem volt felszínválasztás, a megfelelő terület megtalálásában az előzőleg létrehozott színes térfogatábra segített. Kijelöltem mind a két pontfelhőt, majd az *Edit* → *Crop* menüpont segítségével beírtam a terület közepének EOVS koordinátáját (megjelenítés bekapcsolása a *Display* menü *Show cursor* lehetőséggel) és megadtam a kivágandó terület nagyságát.



36. ábra: Egy hektár nagyságú területek kivágása.

Ezután a már használt *Tools* → *Volume* → *Compute 2.5 Volume* menüben lefuttattam a térfogatszámítást, referenciaként most is az eredeti földfelszínről készült domborzatmodell egy hektáros kivágatát adtam meg, összehasonlításként pedig az UAV-felmérés részletét. A számítás eredménye így 134 m^2 lett, ami egy hektáros területre vetítve a két pontfelhő egyezőségét jelenti.



36. ábra: Tömegszámítás eredménye egy hektár nagyságú területek esetén..

8. ÖSSZEGZÉS

Szakdolgozatom témájaként sikerült a geodézia egy olyan területét megismernem, amellyel korábban nem volt lehetőségem mélyebben foglalkozni. Dolgozatom írása alatt igyekeztem fenntartani az egyenlő arányt az elméleti háttér és gyakorlati lépések bemutatása között. Bár a munkaterület számomra nem volt ismeretlen, a felmérés ideje, majd feldolgozása alatt sokkal tágabb képet kaphattam a lezajlott változásokról. Tapasztalatokat gyűjthettem olyan esetről, amikor a drónos felmérést kiemelkedően nagy területen kell elvégezni. Érdekes volt látni, hogy a viszonylag rövid felmérési időt milyen hosszadalmas feldolgozás követte, néhány lépés feldolgozása akár programnak akár tizenkét óra hosszan tartott. A domborzat eredeti, szintvonalas térképének birtokában lehetőségem volt összehasonlítani a tizenhat év alatt végbement változásokat nem csak a domborzat, hanem az építészet szempontjából is. Lehetőségem volt a pontfelhő feldolgozását és a modellek összehasonlítását is számomra új szoftverekben kipróbálni. Megállapítható, hogy az RTK vevővel felszerelt drónok használata a jövőben jelentős fejlődést és változást hozhat a geodéziában, de fontos kiemelni, hogy a jelenlegi jogszabályi hátterek sokszor megnehezíthetik az UAV-k használatát Magyarországon. Legfontosabb tapasztalatként talán a pontosságvizsgálat eredményét emelném ki, hiszen ezzel tágabb képet kaphatunk arról, hogy egy RTK vevővel felszerelt drónt milyen feladatokhoz alkalmazhatunk, valamint mekkora pontosság elérésére lehetünk vele képesek. Remélem, hogy szakdolgozatomat olvasva mások számára is érthetővé válik, hogyan használhatjuk a drónokat a geodéziában és érthetőnek találja a mérési eredmények feldolgozásának lépéseit. Be kell látni azonban, hogy bár a drónok sokszínű felhasználási területet kínálnak, a „klasszikus geodéziát” továbbra sem felejthetjük el, hiszen nagyon sok feladat elvégzésére még ma sem alkalmasak például a pontossági követelmények vagy a terület fedettsége miatt.

9. CONCLUSION

During my subject selection I chose a field that I didn't really know before. During my thesis I wanted to maintain the balance between the theoretical and practical parts. Although the survey field was not unknown for me, during my survey and processing I could experience new technologies and softwares. It was interesting to see how much processing time you need after a short survey on the field. I knew the original map with contour lines so I could compare the original relief with my survey. I could try new softwares and methods during the processing of the point clouds and comparing the topographic models. I would say that drones with RTK-technology will improve a lot in the near future but it is important to mention that the Hungarian laws control the using of the UAVs in Hungary. Comparing the two clouds help to understand how we can use an UAV with RTK technology. I hope that people who read my thesis can understand how you can use a drone as a land surveyor. It is obvious that drones are useful and they can make easier our work but we can not forget the „classical geodesy”.

10. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Zalacs%C3%A1ny>
- [2] <https://zalasprings.hu/en/golf-course>
- [3] https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_TOP9/ch01s03.html
- [4] Telbisz Tamás – Székely Balázs – Timár Gábor: Digitális Terepmodellek Adat, látvány, elemzés (<http://mek.oszk.hu/12000/12042/12042.pdf>)
- [5] Balázsik Valéria: Fotogrammetria (FOT-4) 4 Mérőfénykép fogalma, jellemzői, mérőfénykép torzulások
- [6] Balázsik Valéria: Fotogrammetria (FOT-4) 8 Ortofotoszkópia
- [7] <https://lechnerkozpont.hu/oldal/ortofotok>
- [8] Dr. Busics György: Műholdas helymeghatározás 1.
- [9] <https://aqua.hu/dron/dji-phantom-4-rtk--d-rtk-2-mobile-station-combo-5999009319334-t764327>
- [10] Karl Kraus: Fotogrammetria (Egyetemi jegyzet)
- [11] Balázsik Valéria (2010): Fotogrammetria 1., A távérzékelés fogalma, a fotogrammetria és a távérzékelés kapcsolata
- [12] Dr. habil Jancsó Tamás: Digitális fotogrammetria
- [13] <https://www.djiars.hu/termek/phantom-4-rtk>
- [14] <https://legter.hu/blog/dron-torveny-2021-erthetoen-szakertoktol/>
- [15] <https://legter.hu/blog/dron-checklist/>
- [16] Agisoft Metashape User Manual, Professional Edition, Version 1.7
- [17] MMK(2021): M2 tervezési segédlet
- [18] Ágfalvi Mihály (2010): Mérnökgeodézia (Támop jegyzet)
- [19] Detrekői Ákos – Ódor Károly (1984): Ipari geodézia I-II. (Egyetemi jegyzet)
- [20] Alojz Kopacik – Jan Erdelyi – Peter Kyrinovic (2020): Engineering Surveys for Industry