



**SOPRONI
EGYETEM**

ERDŐMÉRNÖKI
KAR

GEOMATIKAI ÉS KULTÚRMÉRNÖKI INTÉZET

SZAKDOLGOZAT

Felmérési térkép készítése UAV segítségével a Balatonkiliti Duzzasztómű területéről

(Creating a surveying map by means of UAV in the area of Balatonkiliti Dam)

Készítette: Ferenczi Zsombor Patrik

Sopron

2025



**SOPRONI
EGYETEM**

**ERDŐMÉRNÖKI
KAR**

Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet

SAKDOLOGOZAT FELADAT

Cím: Felmérési térkép készítése UAV segítségével a Balatonkiliti Duzzasztómű területéről
(*Creating a surveying map by means of UAV in the area of Balatonkiliti Dam*)

Készítő: FERENCZI ZSOMBOR, HFK33W, Földmérő és földrendező mérnöki alapszak

Kiíró intézet: Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet

Intézeti konzulens: Dr. Király Géza, egyetemi docens

Külső konzulens: Szakter Roland, geodéziai és térinformatikai referens, Közép-Dunántúli
Vízügyi Igazgatóság, Balatoni Szakasz mérnökség

Részletes feladat

- Tájékozódjon a kiválasztott terület korábbi felméréseiről;
- Tervezze meg a kiválasztott terület UAV repüléseit, mind a kamerával, mind a lézerszkennelrel;
- Értékelje ki a felméréseket;
- Készítsen ortofotót, 3D pontfelhőket és felületmodelleket a kiértékelésből;
- Keresztszelvények és változásának vizsgálata
- Elemezze a fent felsorolt termékeket;
- Készítsen részletes helyszínrajzi térképeket a fenti adatok alapján;
- Munka tapasztalatainak értékelése.

A dolgozat terjedelme nem korlátozott. A szakdolgozatot az ilyen jellegű munkákkal szemben támasztott formai kívánalmaknak megfelelően készítse el, adja be 1 példányban, és tölts fel az egyetemi repozitóriumba a bekötött példánnyal mindenben megegyező pdf-formátumú dolgozatot a 2025/26 tanév tanulmányi rendjében meghatározott időre.

A gyűjtött adatok intézeti konzulensnek való bemutatási határideje a végleges összeállítást megelőzően: 2025. október 28.

Sopron, 2025. április 2.



Dr. Király Géza
intézetigazgató

Jóváhagyom:

Dr. Czímber Kornél
szakfelelős

Dr. habil. Heil Bálint
dékán

Szerzői nyilatkozat

Alulírott Ferenczi Zsombor Patrik (Neptun kód: HFK33W) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a „Felmérési térkép készítése UAV segítségével a Balatonkiliti Duzzasztómű területéről” című:

Szakedolgozat

(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam a *szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv.* szabályait, valamint az egyetem által előírt, a dolgozat készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében¹.

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg**.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat**.

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Kijelentem, hogy a dolgozatot más szakon – más felsőoktatási intézményre vonatkozóan is – nem nyújtottam be.

Sopron, 2025. november 14.

Ferenczi Zsombor Patrik

¹ 1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1) A mű részletét - az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven - a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára - a cél által indokolt terjedelemben - szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást - a szerző nevével együtt - fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

Kivonat

Felmérési térkép készítése UAV segítségével a Balatonkiliti Duzzasztómű területéről

Szakedolgozatomban a Balatonkiliti Duzzasztómű térségének felmérését és részletes térképi feldolgozását végeztem el pilóta nélküli légi járművek (UAV) alkalmazásával. A munka során fotogrammetriai és lézerszkennelési eljárásokat használtam, melyek segítségével ortofotókat, háromdimenziós pontfelhőket és felszínmodelleket állítottam elő. Az elkészült adatokat vízügyi és tervezési szempontból elemeztem, valamint alapot adtam a további földmérési és térinformatikai feldolgozásokhoz. A vizsgálatok eredményeként részletes helyszínrajzi térképeket készítettem, amelyek hozzájárulnak a vízügyi igazgatóság munkájához, és egyben bemutatják az UAV-alapú felmérések hatékonyságát és gyakorlati alkalmazhatóságát.

Abstract

In my thesis, I carried out the surveying and detailed cartographic processing of the Balatonkiliti Dam area using unmanned aerial vehicles (UAV). During the work, I applied photogrammetric and laser scanning methods, which enabled the creation of orthophotos, three-dimensional point clouds, and surface models. I analysed the resulting data from a hydrological and planning perspective, and also provided a basis for further land surveying and geoinformatics processing. As a result of the investigations, I prepared detailed site maps, which contribute to the work of the water management authority and demonstrate the efficiency and practical applicability of UAV-based surveying.

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	1
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	2
3. ANYAG ÉS MÓDSZERTAN	5
3.1 A BALATONKILITI- DUZZASZTÓMŰ JELENTŐSÉGE, ÉS KORÁBBI FELMÉRÉSE	6
3.2 REPÜLÉST MEGELŐZŐ FELKÉSZÜLÉS.....	8
3.3 REPÜLÉS KIVITELEZÉSE	13
3.4 UAV FELMÉRÉS KIÉRTÉKELÉSE.....	14
4. EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGVITATÁSA	19
4.1 ORTOFOTÓ.....	19
4.1 3D PONTFELHŐ	22
4.2 FELÜLETMODELLEK.....	24
4.3 HELYSZÍNRAJZOK.....	26
4.4 KERESZTSZELVÉNYEK	29
5 ÖSSZEFOGLALÁS	30

1. Bevezetés

A Sió-csatorna már kiskorom óta fontos szerepet tölt be az életemben. A csatorna partján lévő kerékpárúton számtalanszor végigmentem, magas vízállás idején horgásztam, később pedig vadászat során is gyakran megfordultam a környéken. Ezek az élmények keltették fel az érdeklődésemet a Sió-csatorna és a hozzá kapcsolódó vízügyi létesítmények iránt, ami végül szakmai érdeklődéssé és a jelen szakdolgozat témaválasztásává alakult.

A vízgazdálkodási létesítmények és a hozzájuk kapcsolódó vízfolyások állapotának pontos ismerete alapvető feltétele a hatékony üzemeltetésnek és a jövőbeli fejlesztéseknek. A Balaton vízszintszabályozásában kulcsszerepet játszó Balatonkiliti Duzzasztómű és a hozzá kapcsolódó Sió-csatorna térsége különösen érzékeny terület, ahol a vízrajzi és mérnöki beavatkozások jelentős hatást gyakorolnak a környező mederformákra és a part menti területek állapotára. A közelmúltban megjelent korszerű mérési technológiák, különösen a pilóta nélküli légitjárművek (UAV) és a hozzájuk kapcsolódó fotogrammetriai eljárások, lehetővé teszik a vizsgált területek nagy pontosságú, gyors és költséghatékony felmérését. Ezek az adatok nemcsak a jelenlegi állapot részletes dokumentálására alkalmasak, hanem összehasonlítási alapot biztosítanak a korábbi mérésekkel. A dolgozat célja, hogy bemutassam a Balatonkiliti Duzzasztómű térségének UAV segítségével végzett felmérését, a felmérés feldolgozásának eredményeként előállított ortofotót, 3D pontfelhőt és felületmodelleket, valamint a keresztmetszelvények összehasonlítását a korábbi mérési adatokkal. A munka eredménye hozzájárul a terület változásainak megértéséhez és a jövőbeni vízügyi döntések megalapozásához.

2. Szakirodalmi áttekintés

Fotogrammetria

A fotogrammetria a távérzékelte képek mennyiségi kiértékelésén alapuló eljárás. Egy légi fotón, a földön lévő tárgyak perspektivikusan képződnek le a kamera helyzete alapján. A sztereoszkópikus látás segítségével az eltérő leképződések mérhetőek, lehetővé téve az objektum térbeli koordinátáinak kiszámítását. Digitális fotogrammetria esetén a digitális képanyag feldolgozása digitális eszközök segítségével történik. A speciális hardvereszközök lehetővé teszik a térbeli megfigyelést, és számos kiértékelési folyamat szoftveresen automatizálható, amely nagyban felgyorsítja a kiértékelést. Ezek a módszerek szorosan kapcsolódnak a geoinformatikához és a képfeldolgozáshoz (Czímber, 2001).

A fotogrammetria vagy más néven fényképmérés, az objektum alakjának, méretének és pozíciójának meghatározása fényképek alapján, azaz kvantitatív (mennyiségi) információszerzés. A kiértékelés a perspektivikus leképezésű földi, űr- és légifelvételek közötti sztereoszkópián alapul. Ennek folyamán, a földfelszínen elhelyezkedő objektumok különböző képeken másként képződnek le, ennek a problémának a megoldása a fotogrammetria, amely az eltérő leképződéseket méri és az így kapott adatokból számítja ki az objektumok térbeli koordinátáit. (Gallai 2019).

Felületmodell, ortofotó

A képegyeztetés eredményeként egy térbeli pontfelhőt kapunk, amelyből a kevésbé biztos pontok szűrése után digitális felületmodell állítható elő (Czímber, 2001). A borított felszínmodell (BFM) egy olyan magassági modell, amely a felvételekről levett összes tereptárgyat tartalmazza. Azt a modellt, amely az objektumok elhagyásával a földfelszín magasságát adja meg digitális domborzatmodellnek (DDM) nevezzük. A normalizált borított felszínmodell (nBFM) olyan borított felszínmodell, amely a terepen található és abból kiemelkedő tereptárgyak domborzatmodellből számított magasságát írják le (Király, 2017).

A távérzékelte képek centrális vetítéssel jönnek létre. A térkép és a legtöbb geoinformatikában alkalmazott vetületi rendszer azonban a földfelszínnek az ortogonális vetülete. A centrális vetítésű képről a merőlegesre való áttérés, vagyis az ortorektifikáció során a távérzékelte perspektivikus képet perspektív torzulásokról mentes képpé alakítjuk át. Ez a torzulásokról mentes kép az ortofotó. Digitális fotogrammetriai eljárás során a felületmodell előállítás, majd az ortofotó elkészítése szorosan egymást követő folyamat (Czímber, 2001).

Képegyeztesítés

A feldolgozás egyik kulcsfontosságú lépése a képegyeztesítés. Ennek célja, hogy azonos tereppontokat találjon meg több, különböző nézőpontból készült képen. A folyamat során a szoftver különböző algoritmusokat (pl.: SGM, SfM) alkalmaz a képi mintázatok, textúrák és élek felismerésére és megfeleltetésére. Az így kapott azonos pontokból háromszögelés segítségével kiszámíthatók a pontok térbeli koordinátái. (Nex & Remondino, 2014).

LiDAR (lézerszkennerek) szerepe

A lézerszkennelés napjaink térinformatikai és mérnöki alkalmazásaiban kiemelt szerepet játszik, mivel rendkívül nagy pontosságú és részletességű, háromdimenziós adatgyűjtést tesz lehetővé. A technológia alapja, hogy a kibocsátott lézerimpulzus visszaverődési idejéből számítják a felszín távolságát, így sűrű pontfelhők állíthatók elő. A módszer egyik legfontosabb előnye, hogy a vegetáció résein áthatoló lézerjelek segítségével a talajszint is megbízhatóan meghatározható, ami különösen fontos a nagy pontosságú digitális domborzatmodellek előállításánál. A lézerszkennelés kontaktusmentes, gyors és hatékony adatnyerést biztosít, ezért széles körben alkalmazzák többek között topográfiai felmérések, környezetvédelmi vizsgálatok, infrastruktúra-nyilvántartás és mérnöki létesítmények dokumentálása során. (Lovas–Berényi–Barsi, 2012)

UAV alkalmazása a geodéziában és vízügyben

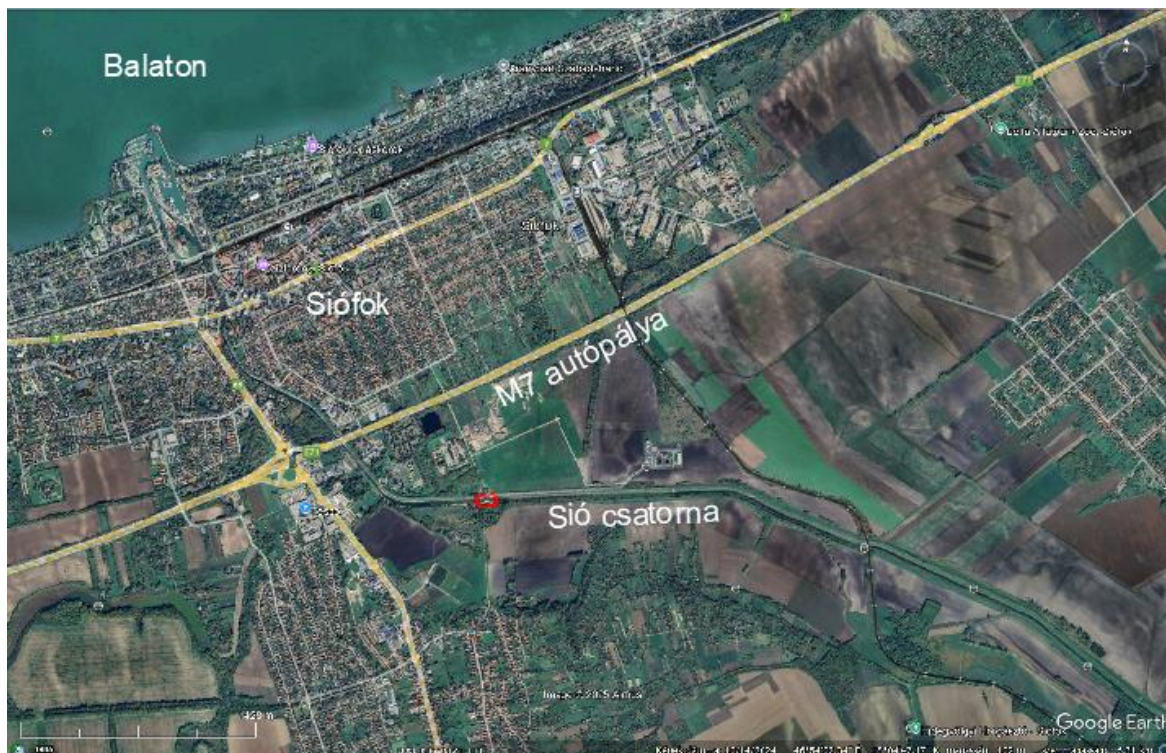
Az elmúlt évtizedben a pilóta nélküli légi járművek (UAV) alkalmazása forradalmasította a földmérési és vízügyi adatgyűjtést. A drónok rövid idő alatt, költséghatékonyan képesek nagy kiterjedésű területekről nagyfelbontású adatokat szolgáltatni. A hagyományos geodéziai módszerekkel szemben az UAV előnye, hogy a nehezen megközelíthető vagy veszélyes területek is biztonságosan felmérhetők, például duzzasztóművek, töltések és mederszakaszok esetében. Számos kutatás bizonyítja, hogy az UAV alapú felmérések pontossága elérheti a néhány centiméteres szintet. Néhány példa a konkrét alkalmazásukról. Domborzati modellezés vízügyi tervezéshez, ahol az árvízvédelmi tervezésnél egy folyó menti sávban UAV felvételek készítése, amely alapján finomabb domborzati modell állítható össze, és ebből áramlási modell. Egy másik példa a partvonalváltozások monitorozása, folyó vagy egy tó partja mentén UAV felvételek készítése több év alatt, és változásfelderítés (partfeltöltődés, lepusztulás) elvégzése. (Nex & Remondino, 2014; Colomina & Molina, 2014).

3. Anyag és Módszertan

A felmérés célja a Sió csatorna medrének és partvonalának vizsgálata volt, különös tekintettel a duzzasztómű építését megelőző és az azt követő állapotok összehasonlítására. A projekt célja annak meghatározása, hogy a meder és a part geometriája, illetve a vízszállító kapacitás milyen mértékben változott az elmúlt évek során. A felmérés eredményei fontos információt nyújtanak a csatorna vízszabályozásának hatékonyságáról, valamint a duzzasztás okozta morfológiai változásokról.

A vizsgálat a Sió csatorna 118+00 folyókilométer szelvényének térségében zajlott, amely maga a duzzasztóműnél helyezkedik el. Ez a szakasz különösen alkalmas a változások értékelésére, mivel a duzzasztás hatása itt már közvetlenül érvényesül, ugyanakkor a meder és a part formája jól követhető.

A vizsgálat két fő adatforrásra épült: a 2015-ben, a Dr. Csoma János mérőhajóval végzett meder- és partfelmérésre, valamint a jelenlegi, UAV-alapú (drónos) felmérésre, amelyet 2025 márciusában hajtottam végre. A két adatállomány összehasonlítása lehetőséget ad a csatorna állapotának és változásainak térbeli elemzésére. A terület kiválasztását az indokolta, hogy ezen a szakaszon a duzzasztó működésének hatásai, a meder szélesedése, illetve a partoldalak átrendeződése egyaránt jól vizsgálhatók.



1. ábra: Balaton-kiliti duzzasztó elhelyezkedése

3.1 A Balatonkiliti- duzzasztómű jelentősége, és korábbi felmérése

A Balaton levezető rendszerének korszerűsítése 2016-ban indult, amelynek központi eleme a Balatonkiliti mederduzzasztó újjáépítése volt. A projekt részeként a Siófoki leeresztő és hajószilip, valamint a Sió-csatorna több szakasza is megújult.

A duzzasztó fő célja a Balaton vízszintjének biztonságos és rugalmas szabályozása, a szélsőséges vízjárásokhoz való alkalmazkodás, valamint a Sió-csatorna hajózhatóságának biztosítása. Kiemelt szempont volt, hogy a műtárgy alkalmas legyen nagyobb hajók, például a BAHART új kompjai és katamaránjai felvezetésére a Dunáról a Balatonra. Az első jelentős feladata is ez volt: az új kompok felhozatalának elősegítése.

A Kiliti duzzasztó két nyílással készült: egy 8 méteres a szabályozott vízeresztéshez és egy 12 méteres a hajózás számára. Az acélból készült billenőtáblás elzárószervezetek és a több mint 2400 m³ beton biztosítják a tartósságot. Az új létesítmény átadását követően a régi duzzasztót elbontották, a csatorna mederszakaszát pedig megerősítették a megnövekedett vízhozam kezelésére.

A műszaki funkciókon túl a beruházás fontos környezetvédelmi és városfejlesztési célokat is szolgált. Siófok belterületén biztosítja, hogy a Sió-csatorna vízfelülete a vízeresztési

időszakon kívül se száradjon ki, ezzel javítva az ökológiai állapotot és a városképet. A kotrás, meder rehabilitáció, valamint a vizes élőhelyek kialakítása hozzájárul a vízminőség védelméhez és az élővilág fennmaradásához.

A fejlesztés összességében korszakváltást hozott a Balaton vízgazdálkodásában: egyszerre növeli az árvízi biztonságot, biztosítja a hajózhatóságot, és ökológiai-turisztikai szempontból is értékesebbé teszi a Sió-csatornát és környezetét.

A duzzasztó építését megelőzően, 2015-ben a Sió és a Balaton egyes szakaszain végeztek részletes meder- és partfelméréseket a Dr. Csoma János nevű mérőhajó segítségével. Ez a hajó a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság (KDVVIZIG) tulajdonában áll, és egy komplex mérőrendszerrel felszerelt kutatóplatform, amelyet kifejezetten medermérésekhez és vízügyi feladatokhoz alakítottak ki.

A mérőhajó egyik fő eszköze a NORBIT iWBMS dual multibeam szonár rendszer, amely két, egymással szöget bezáró mérőfejjel működik, és 2–50 méter vízmélységben biztosít nagy pontosságú felmérést. Ez a többnyalábos rendszer képes részletes pontfelhőt előállítani a meder alakjáról.

A vízfelszín feletti részek és a partoldalak dokumentálására a hajó a Riegl VZ-1000 3D lézerszkennert alkalmazta. Ez a rendszer 1400 méteres hatótávolsággal, másodpercenként 122 000 mérési pont rögzítésére alkalmas, és a part menti növényzet, építmények, valamint a töltések precíz térképezését is lehetővé teszi.

A vizuális kiegészítés érdekében a mérőhajó nagy felbontású fényképfelvételeket is készített egy Nikon D800 digitális fényképezőgéppel, illetve panorámaképeket rögzített a LadyBug5 kamerával. A pozíció meghatározását RTK GPS rendszerek támogatták, amelyek a felmérés pontosságát is biztosították.

A hajó felszereltsége lehetővé tette, hogy a Sió medrét és partját a víz alatt és a víz felett is pontosan feltérképezzék. A többnyalábos szonár és a lézerszkennerek együttesen egy részletes háromdimenziós képet adtak a csatorna állapotáról, amelyhez a fényképek további szemléltetést nyújtottak. Így egy olyan adatbázis született, amely jól mutatja, milyen volt a meder és a partvonal a duzzasztó megépítése előtt, és amelyhez a későbbi felmérések eredményei is összehasonlíthatók. (Albert és Kondor, 2023)

3.2 Repülést megelőző felkészülés

Engedélyezés és jogszabályi háttér

Magyarországon a repülés jogszabályi hátterét az EU 2019/947 rendelete és a hazai dróntörvény szabályozás adja. A jogszabályban olvasható, milyen feltételeknek kell teljesülnie, ahhoz hogy pilóta nélküli légi járművel repülhessünk.

„A légi járműre vonatkozó szabályok:

- a) rendelkezik egyedi azonosító jellel,
- b) rendelkezik Magyarország területére szóló felelősségbiztosítással, és
- c) rendelkezik a légi jármű azonosító jelét kiadó államban kiállított műszaki alkalmasságot igazoló tanúsítvánnyal, így légialkalmassági bizonyítvánnyal, légialkalmassági tanúsítvánnyal, egyedi repülési engedéllyel vagy ezekkel, egyenértékű dokumentummal

A pilóta:

- a) rendelkezik a légi jármű azonosító jelét kiadó államban kiállított vagy elismert, a légi jármű vezetésére jogosító, érvényes pilóta szakszolgálati engedéllyel vagy azzal, egyenértékű engedéllyel vagy tanúsítvánnyal,
- c) rendelkezik orvosi minősítéssel, és
- d) a repülést a nappali repülési szabályok és a típus megfelelési tanúsítványban foglalt feltételek szerint hajtja végre.” (2020. évi CLXXIX.törvény)

Repülési kategóriák:

Az (EU) 2019/947 rendelet három fő kategóriába sorolja a pilóta nélküli légi járművekkel (UAV) végzett műveleteket: nyílt, speciális és engedélyköteles kategóriák. A nyílt kategória a leggyakoribb, és jellemzően hobbi- és alap szintű professzionális repülésekre használják. Ebben a kategóriában a maximális repülési magasság 120 méter terepszint felett, a drónt mindig látótávolságon belül (VLOS) kell tartani, és szükség van légtérhasználati engedélyre, amit a MyDroneSpace alkalmazással lehet érvényesíteni. A nyílt kategória három alkategóriára oszlik: az A1 kategória lehetővé teszi a rövid ideig emberek feletti repülést, de tömegrendezvény felett tilos; az A2 kategóriában emberek közelében lehet repülni,

minimum 30 méteres távolság tartásával (lassú módban akár 5 méterre is csökkenthető); az A3 kategória pedig előírja, hogy csak emberektől és lakott területektől távol, legalább 150 méterre lehet repülni.

Az engedélyköteles kategória a legszigorúbb, és jellemzően nagyméretű drónokra vonatkozik. Ezeknél a műveleteknél repülőgépekhez hasonló légialkalmassági engedély, pilóta képesítés és üzemeltetői engedély szükséges, mivel magas kockázatú, komplex műveletekről van szó.

A felmérés lakott területen kívül zajlott és nem érintett korlátozott légtérrel, a művelet az Open kategóriába tartozott. A szükséges engedélyt a MyDroneSpace alkalmazáson keresztül igényeltünk, megadva a repülés pontos helyszínét, időpontját és magassági paramétereit. A művelethez elegendő volt az A1/A3 típusú drónpilóta vizsga megléte, amely igazolja a nyílt kategóriás műveletek biztonságos végrehajtásához szükséges ismereteket.

Repülés tervezés lézerszkennelvel

A felméréshez a Soproni Egyetem biztosította számomra a szükséges eszközöket, egy DJI Matrice 350 RTK típusú drónt, amelyhez egy DJI Zenmuse L1 LiDAR lézerszkennel és egy DJI Zenmuse P1 nagy felbontású kamera tartozott. A drónt Dr. Király Géza egyetemi docens biztosította a helyszínen. A felmérés megkezdése előtt a Tanár Úr segítségével közösen megterveztük a repülési tervet.

A felmérés megtervezésének első lépése a vizsgálni kívánt terület pontos kijelölése volt. Ehhez először meghatároztam a felméréendő zóna határait, majd a tervezés során a duzzasztó közvetlen környezetét is hozzárendeltem a vizsgálati területhez. Erre azért volt szükség, hogy a későbbiekben egy átfogóbb, a teljes szerkezetet és annak környezetét bemutató adatállományt kapjunk, amely segíti az értékelést és a további elemzéseket.

A következő lépésben a szenzorbeállítások és az adatgyűjtési paraméterek meghatározása történt meg. Különös figyelmet fordítottam a kamera felbontására, illetve arra, hogy egy adott négyzetméterre hány lézerpont jusson. Ez alapvetően meghatározza a létrejövő pontfelhő részletességét és megbízhatóságát. A megfelelő pontsűrűség biztosítása érdekében figyelembe kellett venni a repülési magasságot és az UAV sebességét is. Magasabb repülési

magasság mellett ugyanis csökken a pontsűrűség, míg alacsonyabb magasság esetén részletesebb adat nyerhető, de a repülési idő is megnövekszik. Hasonlóképpen, a repülési sebesség befolyásolja a felvételek közötti sűrűséget: lassabb haladás pontosabb adatokat eredményez, viszont hosszabb repülési időt igényel. A tervezés utolsó szakaszában a felvételek közötti átfedések meghatározására került sor. A nagy átfedési arány választása tudatos döntés volt, mivel ez jelentősen javítja a feldolgozás során a pontfelhő illesztését, valamint növeli a felmérés pontosságát és megbízhatóságát. Az átfedések segítségével elkerülhetők a vakfoltok, és egységes, folyamatos adatállomány hozható létre.

DJI Matrcie 350 RTK	LiDAR szkennel 1. repülés
Repülési magasság	60 m
Terepi felbontás	1,64 cm/ pixel
Pontsűrűség	329 pont / m ²
Repülési sebesség	4,5 m/s
Repülési idő	4 perc 51 másodperc

1. táblázat: Repülési adatok lézerszkennelrel

A LiDAR-felmérés során a Zenmuse L1 lézerszkennert 90 fokban lefelé irányítottuk, hogy a szenzor a lehető legpontosabban rögzítse a terep és a műtárgyak geometriáját. A felmérést két irányból végeztük: először Észak-Déli, majd Kelet-Nyugati repülésekkel, ezáltal biztosítva a sűrű és teljes körű adatgyűjtést, valamint a függőleges és rejtett felületek pontos leképezését is. Az ilyen kétirányú repülési módszer különösen fontos a bonyolult szerkezetek, pontos modellezéséhez, mivel jelentősen csökkenti az árnyékolt területek és adathiányok előfordulását.

A repülések során az RTK korrekció folyamatosan aktív volt, ami lehetővé tette a centiméteres pontosságú helymeghatározást.

Az adatgyűjtés befejezését követően a rögzített LiDAR-adatokat feldolgozásra előkészítve átmásoltuk a feldolgozó gépre, hogy azokból digitális terepmodell (DDM), borított felszínmodell (BFM) és részletes 3D pontfelhő készülhessen.

Repülés tervezés nagyfelbontású kamerával

A nagyfelbontású DJI Zenmuse P1 kamerával végzett repülés célja a Balatonkiliti Duzzasztómű és közvetlen környezetének részletes, fotogrammetriai feldolgozásra alkalmas képanyagainak gyűjtése volt. A P1 kamera teljes képkockás, 45 megapixeles szenzorral rendelkezik, amely nagy területek gyors és pontos leképezésére alkalmas. A kamera RTK pozíciókorrekciós rendszerrel működik együtt, így a felvételek helymeghatározási pontossága centiméteres szintet ért el.

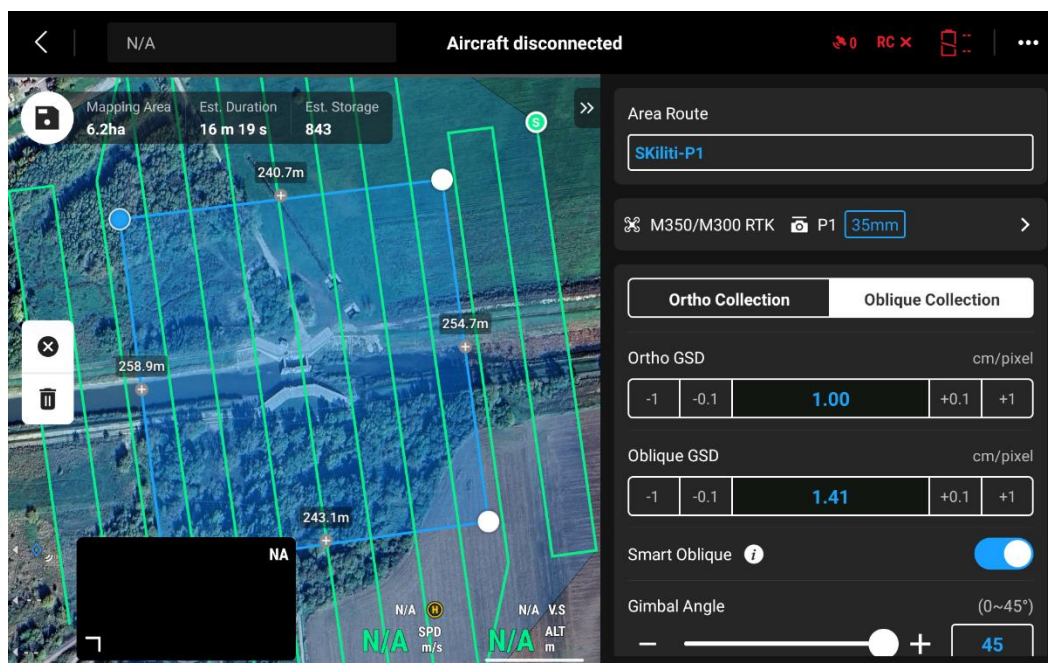
A repülési terv összeállításakor a felvételek közötti átfedést 80% hosszirányban és 60% keresztirányban határoztam meg. Ez a magas átfedési arány biztosítja a pontfelhő és az ortofotó pontos illesztését, valamint csökkenti a feldolgozás során előforduló torzulásokat. A repülés során a kamera oblique (ferde) állásban is készített képeket, amely lehetővé tette a műtárgy függőleges és oldalirányú felületeinek pontos modellezését.

DJI Matrcie 350 RTK	P1 nagyfelbontású kamera
Repülési magasság	80 m
Ortofotó terepi felbontás	1 cm/pixel
Oblique fotó terepi felbontás	1,41 cm / pixel
Képátfedés soron belül	80%
Képátfedés sorok között	60%
Képek száma	811
Repülési idő	16 perc 19 másodperc

2. táblázat: Repülési adatok nagyfelbontású kamerával

A repülési magasságot 80méterben határoztam meg, amely kompromisszumot jelentett a részletesség és a lefedett terület között. A magasság és az átfedési értékek eredményeképp a terepi felbontás (GSD – Ground Sampling Distance) Oblique képek esetében 1,41 cm/pixel körül alakult, ami elegendő a vízügyi műtárgy részletes vizsgálatához.

A repülés során összesen 848 felvétel készült, amely a teljes vizsgált területet lefedte. A repülés végrehajtásához a DJI Pilot 2 alkalmazást használtam, amely előzetes repülési útvonaltervezést és automatikus adatgyűjtést tett lehetővé.



2. ábra: DJI Pilot 2 alkalmazásban tervezett repülés.

3.3 Repülés kivitelezése

Az idei felmérés március 7.-én 15:33:09-től kezdődően valósult meg. A repülés megkezdése előtt egy gyors helyszíni ellenőrzés történt, amely során átvizsgáltuk az akkumulátorok töltöttségét, az UAV általános állapotát, a légszavakok épségét, valamint a LiDAR és a P1 kamera rögzítését is.



3. ábra: DJI Matrice 350 RTK felszállása

A repülések során minden mérést a biztonsági előírásoknak megfelelően hajtottunk végre, figyelve a stabil jelkörnyezetre és az akkumulátor kapacitására. Az UAV repülése zökkenőmentesen zajlott, a mérések során a LiDAR és a P1 kamera is megfelelően működött, így a felvett adatok kiváló minőségben álltak rendelkezésre a feldolgozáshoz.

3.4 UAV felmérés kiértékelése

Transzformáció

A drón a mérések közben az adatokat alapértelmezetten a WGS84 ellipszoidi földrajzi koordinátaként rögzítette, ami számomra nem volt megfelelő a feldolgozáshoz. Magyarországon az Egységes Országos Vetület (EOV) a szabványosan használt rendszer, ezért az adatokat át kellett alakítani. A transzformálást a DJI Terra programban végeztem el, hétparaméteres transzformációval. Ehhez a vizsgált területen kijelöltem 9 pontot, amelyek egyenletesen helyezkedtek el a felmérési zónában. Ezeket megszámoztam, majd mindegyikhez kiírtam az ETRS-89-es koordinátákat. Ezután a Lechner Tudásközpont online felületén, az EHT oldalán (ETRS-89/ETRF-2000-EOV Hivatalos Helyi Térbeli Transzformáció) a pontokat átszámítottam EOV-ba, így minden ponthoz lett egy ETRS-89 és egy EOV koordináta-hármas. A program ezeket felhasználva kiszámította a hét transzformációs paramétert, amelyek a szükséges eltolást, forgatást és méretarány tényezőt jelentik. Ezek alkalmazásával az összes mérési adat EOV-ba került átszámításra, így a kapott ortofotók, pontfelhők és modellek már a hazai rendszerben állnak rendelkezésre, és gond nélkül használhatók a további feldolgozásokhoz.



4. ábra: Georeferáláshoz felhasznált illesztőpontok

	SZÉLESSÉG	HOSSZÚSÁG	MAGASSÁG	EOV Y	EOV X	EOV Z
1.	46°53'38"	18°4'14"	148.309	172660.157	575564.661	103.621
2.	46°53'38"	18°4'18"	148.150	172676.168	575664.091	103.464
3.	46°53'39"	18°4'23"	148.251	172685.406	575753.140	103.567
4.	46°53'42 "	18°4'17"	149.215	172780.108	575625.351	104.527
5.	46°53'42"	18°4'21"	148.922	172779.383	575721.643	104.237
6.	46°53'40"	18°4'13"	150.217	172726.034	575553.353	105.528
7.	46°53'36"	18°4'12"	149.031	172606.877	575535.858	104.343
8.	46°53'36"	18°4'18"	148.491	172608.507	575653.536	103.806
9.	46°53'37"	18°4'24"	148.851	172632.486	575776.554	104.168

3. táblázat: 7 paraméteres transzformációhoz használt pontok koordinátái

LiDAR feldolgozása (L1)

A feldolgozás során a repülés közben gyűjtött LiDAR-adatokból pontfelhő készült, amely nagyon részletesen mutatta a területet. A repülés körülbelül 60 méteres magasságban zajlott, így a pontsűrűség 329 pont /m² lett, ami lehetővé tette a műtárgy és környezete pontos leképezését.

A feldolgozás közben a rendszer RTK korrekciót használt, így az adatok pontossága centiméteres tartományban maradt. Az elkészült pontfelhő LAS és PNTS formátumban lett elmentve, és a program készített egy 2D térképet is. A talajpontok a programban beállított paraméterek alapján elkülönültek a felszín feletti objektumoktól, ezért külön digitális domborzat (DDM) és borított felszínmodell (BFM) is előállítható volt.

Az ortofotó felbontása közel 1,63 cm/pixel lett, ami jól mutatja a feldolgozás részletességét. A kapott pontfelhők és modellek biztosítják az alapot a további elemzésekhez, például keresztszelvények készítéséhez és vízügyi értékelésekhez.

Fotogrammetriai feldolgozás (P1)

A kamerás felmérés során összesen 811 kép készült, ezek feldolgozását a DJI Terra programmal végeztem el. A repülés átlagosan 80 méteres magasságban zajlott, így az oblique képek terepi felbontása 1,41 cm/pixel lett. A szoftver a képek közül 810-et használt fel a légiháromszögeléshez, amely a képek közötti kapcsolópontok alapján pontosítja az RTK pozíciót és az IMU által meghatározott szögeket. Ennek pontosságát a georeferálás RMSE értéke jellemezte, ami 0,129 méter lett. Az RTK korrekciónak köszönhetően a pozíció meghatározás átlagosan vízszintesen 1,3 cm, magasságban pedig 1,9 cm pontossággal történt.

A feldolgozás eredményeként valódi ortofotó (True Orto) készült, amelynek a térképi felbontása 1 cm / pixel lett. A program emellett sűrű pontfelhőt is előállított, amely LAS és PNTS formátumban került mentésre. A pontfelhő közepes (25%) sűrűségű volt, de így is részletesen mutatta a duzzasztóművet és környezetét.

Ortofotó

Az ortofotó előállítása a DJI Terra szoftverben történt. A feldolgozás első lépéseként a drónfelvételek importálásával zajlott, amelyek megfelelő átfedéssel készültek, hogy a program felismerje a közös pontokat. Ezt követően a képek georeferálása történt meg az RTK adatok felhasználásával, ami biztosította a centiméteres pontosságú helymeghatározást. A légi háromszögelés során a szoftver meghatározta a kamerák helyzetét és dőlését, valamint az átfedő fotók közötti kapcsolódási pontokat. Ez a lépés kulcsfontosságú, mivel lehetővé teszi a képek torzításmentes összeillesztését. A feldolgozás során borított felszínmodell is készült, amely figyelembe vette a terep magassági eltéréseit és a felszínen található objektumokat. A végső valódi ortofotó a képek mozaikolásával és korrekciójával jött létre, GeoTIFF formátumban.

Felületmodellek

Előállításuk a Leica Cyclone 3DR programmal történt, amely kifejezetten a pontfelhők feldolgozására fejlesztett szoftver. A 3DR lehetőséget biztosít a talajfelszín automatikus elkülönítésére, a hálózati (mesh) alapú modellezésre, valamint szintvonalak generálására.

A digitális domborzat modell készítése során a szoftver először szűréseket alkalmaz a pontfelhőn, hogy a felszínen található tereptárgyakat (épületek, növényzet, műtárgyak) kizárja. A fennmaradó, talajhoz tartozó pontok egy ritkított rács szerint kerülnek kiválasztásra, amelyen a program ellenőrzi a pontok magassági eltéréseit. Az így meghatározott talajpontokból háromszög háló (TIN – Triangulated Irregular Network) épül, amely a felszínt közelíti. A feldolgozó szoftverben megadtam a háló finomságát, a maximális megengedett lejtést és a szűrés érzékenységet, így a modell pontossága szabályozható.

Helyszínrajz

A felmért területről egy részletes helyszínrajz készült, amely egységesen szemlélteti a vizsgált szakasz változásait. A helyszínrajzon egy szintvonalrajz is szerepel, amely a digitális domborzatmodellből (DDM) került előállításra a Leica Cyclone 3DR program segítségével. A szintvonalak félméteres szintközzel készültek, így a terep kisebb magassági különbségei is jól kivehetők.

A rajzon feltüntetésre kerültek a folyókilométer-szelvények, valamint a környező terep részletei. Az ábrázolás alapjául a valódi ortofotó szolgált, amely pontos térbeli háttérként segíti a szintvonalak és a terepviszonyok értelmezését. Az elkészült elemeket végül az AutoCAD programban szerkesztettem össze, ahol a különböző rétegek egyesítésével alakult ki a végleges helyszínrajz.

Keresztszelvény

A keresztszelvények elkészítése a Leica Cyclone 3DR program segítségével történt, mind a 2015-ös felmérés, mind a jelenlegi adatok felhasználásával. A szelvények a Sió csatorna ugyanazon szelvényében kerültek kijelölésre, amelyet a korábbi folyómétert jelölő oszlopok bemérése tett lehetővé. Ez biztosítja, hogy a két időpontból származó adatok közvetlenül összehasonlíthatók legyenek.

A vizsgálat helyszíne a 118+00 folyókilométernél található szelvény, valamint az ettől 100 méterrel feljebb és lejjebb kijelölt szelvények. A folyókilométer fogalma szerint ez „a vízfolyás középvonalán, a torkolattól a vízfolyással ellentétes irányban mért távolság kilométerben kifejezett értéke.” A 118-as folyókilométer a duzzasztómű után körülbelül 20 méterre helyezkedik el.

4. Eredmények és azok összehasonlítása

4.1 Ortofotó



1:1000

5. ábra: P1 képeiből összeállított valódi ortofotó



1:2500

6. ábra: 2015-ben készült ortofotó, repülőgépről készítve

A két kép ahogy látszódik különböző magasságokból készült, így a korábbi felvételen nagyobb terület látszódik. A terület változása jól szemléltethető. A biciklis út a műtárgy miatt, kis változáson esett át, amivel kikerüli a duzzasztó betonalapját.

A csatorna folyásirány szerinti bal oldalán épült egy ülepítő, ami a Sió csatornába torkollik. Legfőbb feladata a városból érkező vízelvezetés lelassítása, és hogy ezzel leülepítse a vízben lebegő hordalékot, iszapot és szerves anyagokat, amik így nem jutnak be a csatorna medrébe, ezzel megelőzve a vízelvezetés romlását, iszaplerakódását és esetleges kotrás igényét is.



1:500

7. ábra: Duzzasztó mellet épült ülepítő

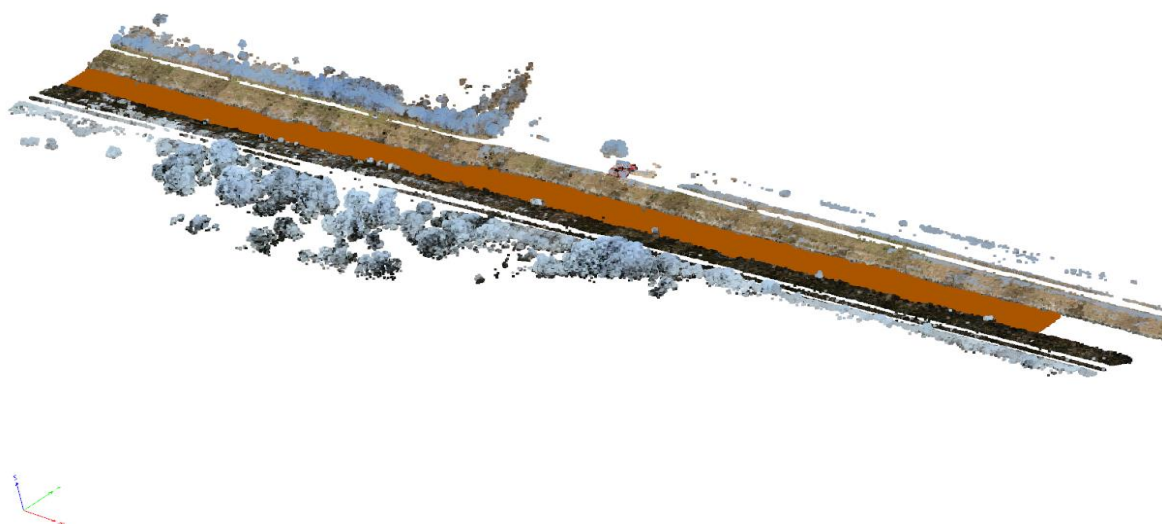
4.1 3D pontfelhő

A fotogrammetria és a LiDAR alapú adatgyűjtés egyik legfontosabb kimenete a háromdimenziós pontfelhő, amely a vizsgált területet nagyszámú, térben elhelyezett pont segítségével jeleníti meg. Az állomány minden pontja X, Y, Z koordinátát tartalmaz, kiegészítve intenzitásértékekkel vagy színezéssel. Ez a módszer lehetővé teszi, hogy a terep és a műtárgyak részletes, valóságghű 3D leképezése jöjjön létre. A feldolgozó szoftver a képek közötti átfedéseket kihasználva sűrű pontkinyerést végez, míg LiDAR esetén közvetlenül a lézersugarak visszaverődéséből építi fel a pontfelhőt. Az így létrejövő 3D adathalmaz több millió pontból áll, amelynek kezelésére ipari szabvány formátumok (pl. LAS, PNTS) használatosak. Ezek biztosítják, hogy az adatokat más szoftverekben, például QGIS-ben, AutoCAD Civil 3D-ben vagy CloudCompare-ben is fel lehessen dolgozni.



8. ábra: Idei felmérésből kapott sűrű pontfelhő

A nyers pontfelhő további feldolgozást igényelhet: zajszűrést, a talajpontok automatikus elkülönítését, illetve a vegetáció és építmények leválasztását. Ennek eredményeként a felszínről külön digitális Domborzat (DDM), míg a tereptárgyakkal együtt borított felszínmodell (BFM) hozható létre.



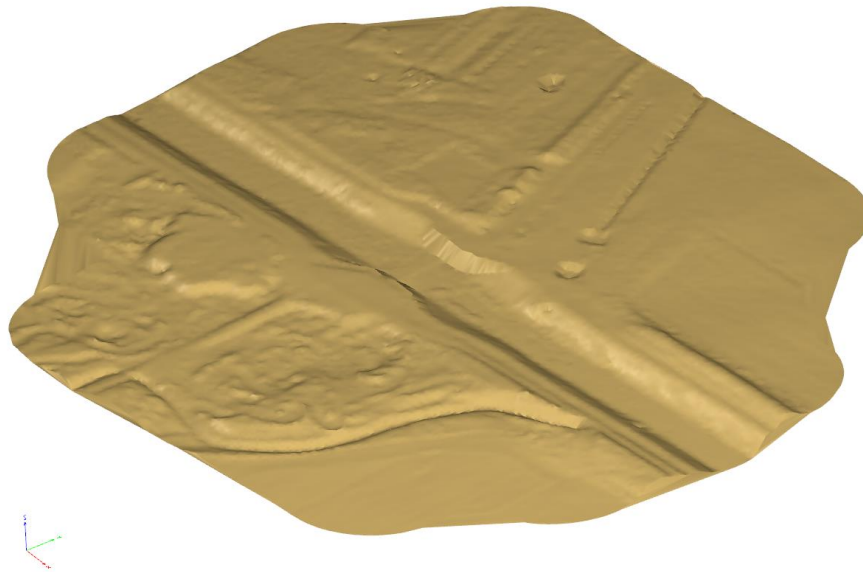
9. ábra: 2015-ös felmérésből kapott pontfelhő

A két pontfelhő közti nagy különbség elsősorban a pontsűrűségük, és a lefedett terület méretében jelentkezik. A drón által felmért terület, részletgazdagabb, a partoldal közvetlen környezete is látható, és sűrűbben helyezkednek el a pontok egymáshoz, míg ami a mérőhajóról készült ritkásabb a pontfelhő és a partoldal környezete kevésbé látható, de ez magyarázható annak, hogy a lézerszkennerek a part oldalánál feljebb nem nagyon láttak, ebből adódóan a pontfelhő és a felületmodellek kevesebb területet mutatnak be.

	átlagos pontsűrűség
Dr: Csomai János mérőhajó	16 pont / m ²
DJI Matrice 350 RTK L1 szenzor	329 pont / m ²

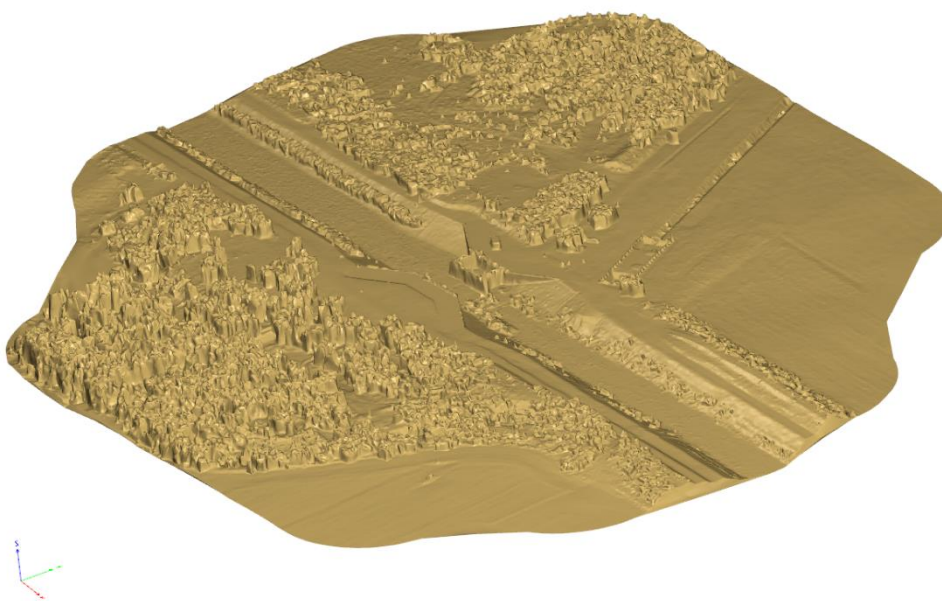
4. táblázat: Pontsűrűség összehasonlítás

4.2 Felületmodellek



10. ábra: Digitális domborzat modell

A borított felszínmodell (BFM) ezzel szemben a teljes pontfelhőből készül, tehát tartalmazza a talajt és a felszíni objektumokat is. Ennek segítségével vizsgálható például a növényzet vagy az építmények hatása a felszínre.



11. ábra: Borított felszínmodell (BFM)



12. ábra: 2015-ös felmérésből készített DDM

A két DDM (digitális domborzatmodell) összehasonlítása során jól látható, hogy a partoldalak meredeksége jelentősen megváltozott. Míg a korábbi felmérés alapján a mederpartok meredekebbek voltak, a jelenlegi állapotban azok jóval lankásabbá váltak. Ez a változás a csatorna keresztmetszetének kiszélesedését és a vízfelület növekedését eredményezi.

A hajózás szempontjából ez kedvező fejlemény, hiszen a lankásabb partok és a szélesebb meder lehetővé teszi nagyobb merülésű és szélesebb testű hajók biztonságos közlekedését. Emellett a vízmozgás dinamikája is kedvezőbben alakulhat, mivel a csatorna hidraulikai viszonyai kiegyenlítettebbé válnak, csökkentve az eróziós hatásokat a part mentén. Összességében tehát a partoldalak lankásabbá válása nemcsak a mederstabilitáson javít, hanem hajózhatóságot is javítja.

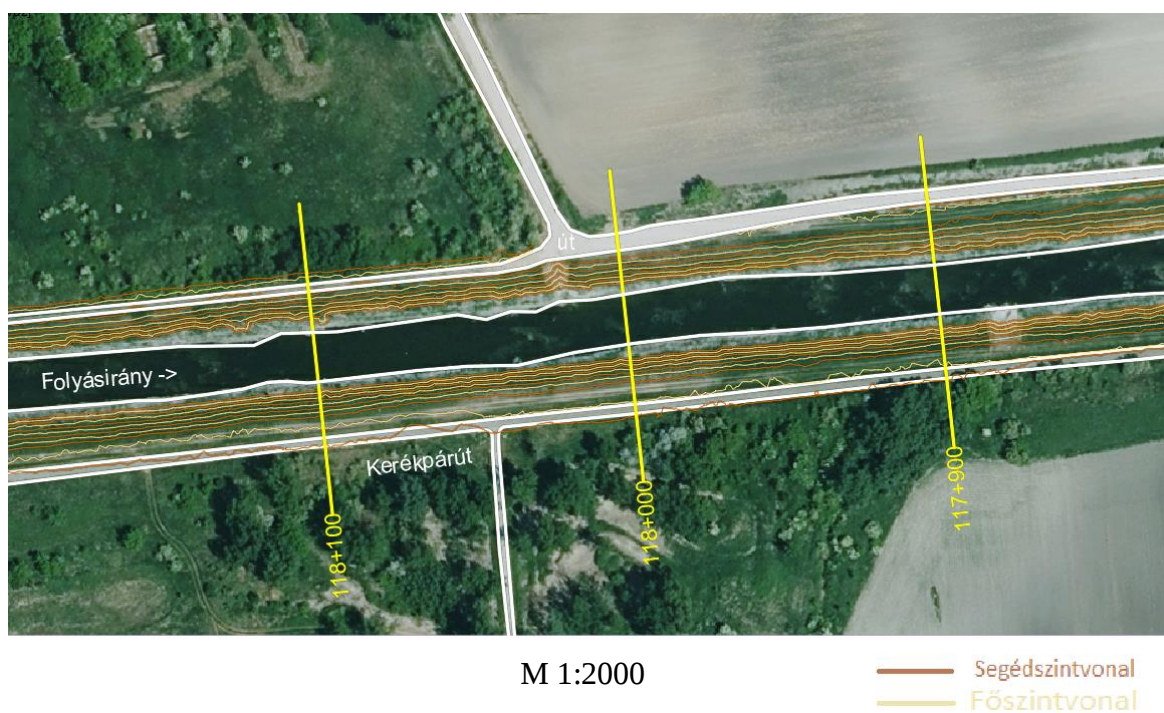
4.3 Helyszínrajzok

A térképen jól látható az adott szakasz terepi változása, ami szemléletesen mutatja a duzzasztás és a mederátalakítás hatását a vizsgált területen.



M 1:2000

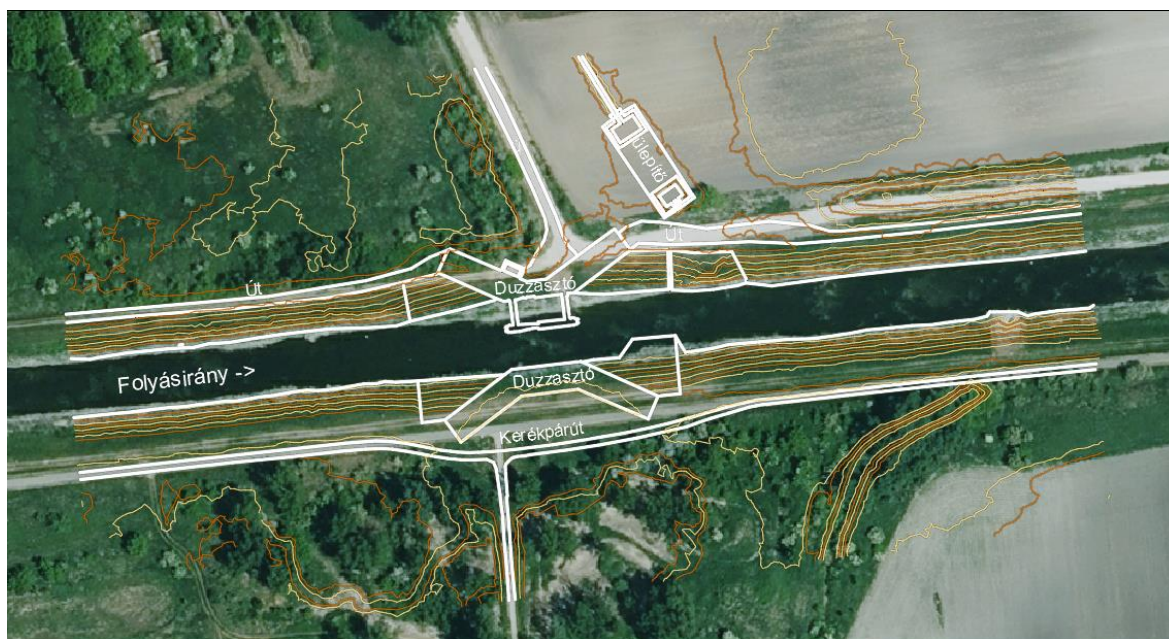
13. ábra: Részletes helyszínrajz (2025)



14. ábra: Részletes helyszínrajz (2015)

A szintvonalrajzon feltüntetett folyókilométer szelvények, azért lettek ráakva, hogy belehessen így is határozni a korábbi felmérésből, hogy hol épült meg a duzzasztó.

Mint a felületmodellen, itt is látszódik a partoldal meredekség változása, sűrűbben követik egymást a szintvonalak a 2015-ös szintvonalrajzon.



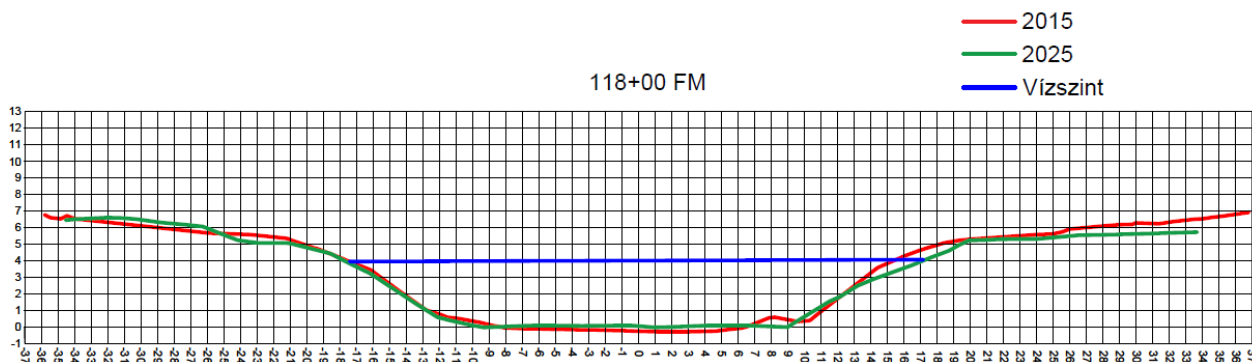
M 1:2000

15. ábra: A 2025-ös szintvonalas térkép illesztése a 2015-ös ortofotóra a duzzasztómű környezetében

A térképi ábrázolás a 2015-ben készült ortofotóra illesztett, 2025-ös felmérésből származó szintvonal- és kontúrvonal-adatokat mutatja be a duzzasztómű közvetlen környezetében. A domborzati elemek és a mesterséges létesítmények (út, kerékpárút, duzzasztó, ülepítő) egyértelműen azonosíthatók, így lehetővé válik a felszín és a terep időbeli változásainak vizsgálata.

4.4 Keresztszelvények

Az ábrán két keresztaszelvény látható, színnel megkülönböztetve. A zölddel jelölt a jelenlegi állapot, a pirossal színezett pedig a 2015-ös állapot, a kék színnel jelölt pedig a lehetséges maximális vízszint.



16. ábra: 118+00 fkm-nél készített keresztaszelvény

Az elkészített szelvények összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a csatorna medre a vizsgált időszakban kiszélesedett, a fenékszélesség 14,58 méterről 21 méterre nőtt, a teljes szélesség pedig 33 méterről 35 méterre változott. Ezzel együtt a keresztaszelvény területe is változott méghozzá, 145,93 m²-ről 185,65 m²-re növekedett. Emellett a partoldalak meredeksége is csökkent: míg a 2015-ös mérésnél a rézsű dőlésszöge átlagosan 36° volt, a jelenlegi adatok szerint már csak 22°. Ez a változás arra utal, hogy a partok lankásabbá váltak, ami kedvezőbb feltételeket biztosít a partstabilitás és a víz lefolyásának szempontjából is.

Összességében a keresztaszelvények összevetése azt mutatja, hogy a meder az elmúlt időszakban kiszélesedett, a partoldalak pedig enyhébbé váltak. Ez a vízállító kapacitás növekedését eredményezi, ami hozzájárulhat a lefolyás hatékonyságának javulásához, és szélesebb vízszabályozási lehetőségeket biztosít a Sió csatornán.

5 Összefoglalás

A szakdolgozat célja a Balatonkiliti Duzzasztómű térségének változás vizsgálata volt, korszerű pilóta nélküli légi járművel (UAV) és a 2015-ben, a Dr. Csoma János mérőhajóval készült felmérés alkalmazásával a mérések eredményei kerültek összehasonlításra. A két adatállomány feldolgozásával és elemzésével sikerült feltárni a meder és a partvonal változásait, valamint bemutatni a duzzasztómű környezetében végbement átalakulásokat.

Az RTK-korrekcióval ellátott repülések és a LiDAR-kamera kombináció lehetővé tették a centiméteres pontosságú, részletes terepmodellek előállítását. A fotogrammetriai feldolgozás eredményeként létrejött valódi ortofotó és sűrű pontfelhő pontosan visszaadja a duzzasztó és környezetének jelenlegi állapotát.

Az adatokból készült digitális domborzat- és felszínmodellek alapján megállapítható, hogy a Sió csatorna medre a duzzasztó megépülésekor kiszélesedett, a partoldalak meredeksége pedig csökkent. Ezek a változások a duzzasztás és a mederrendezés következményei, amelyek javították a vízszállító kapacitást és a hajózhatóságot. A keresztshelvények elemzése megerősítette, hogy a csatorna hidrológiai viszonya kedvezőbbé váltak, a mederstabilitás pedig növekedett.

A dolgozat eredményei igazolják, hogy a modern drónos adatgyűjtés és térinformatikai feldolgozás hatékony eszköz a vízügyi monitoringban. A módszer pontos, ismételhető és könnyen automatizálható, ezért alkalmazása a jövőben szélesebb körben is indokolt. További vizsgálatok során érdemes lenne kiterjeszteni a felmérést a Sió csatorna teljes szakaszára, valamint a duzzasztó környezetében bekövetkező üledékfelhalmozódás és partmozgások időbeli nyomon követésére.

Összességében a szakdolgozat rávilágít arra, hogy a korszerű UAV alapú felmérések nemcsak a vízügyi adatgyűjtést teszik hatékonyabbá, hanem alapot adnak a fenntartható és megalapozott vízgazdálkodási döntésekhez is.

Köszönetnyilvánítás

Elsőként szeretnék köszönetet mondani intézeti konzulensemnek, Dr. Király Géza egyetemi docensnek a rám fordított időért, türelméért és hasznos tanácsaiért, amelyekkel segítette munkámat.

Köszönettel tartozom Szakter Rolandnak, külső konzulensemnek, a témához kapcsolódó értékes javaslataiért és az adatfeldolgozás során nyújtott segítségéért.

Köszönettel tartozom a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóságnak a szakdolgozatom elkészítéséhez nyújtott lehetőségért.

Köszönet illeti a Leica Geosystems Magyarországot a Leica Cyclone 3DR szoftverhez biztosított licenckulcsért.

Végül, de nem utolsósorban szeretném megköszönni családomnak és barátaimnak a támogatást, bátorítást és segítséget, amelyet a szakdolgozatom elkészítése során kaptam tőlük.

Ábrajegyzék

1. ábra: Balaton-kiliti duzzasztó elhelyezkedése	6
2. ábra: DJI Pilot 2 alkalmazásban tervezett repülés.	12
3. ábra: DJI Matrcie 350 RTK felszállása	13
4. ábra: Georeferáláshoz felhasznált illesztőpontok	14
5. ábra: P1 képeiből összeállított valódi ortofotó	19
6. ábra: 2015-ben készült ortofotó, repülőgépről készítve	20
7. ábra: Duzzasztó mellett épült ülepítő	21
8. ábra: Idei felmérésből kapott sűrű pontfelhő	22
9. ábra: 2015-ös felmérésből kapott pontfelhő	23
10. ábra: Digitális domborzat modell	24
11. ábra: Borított felszínmodell (BFM)	24
12. ábra: 2015-ös felmérésből készített DDM	25
13. ábra: Részletes helyszínrajz (2025)	26
14. ábra: Részletes helyszínrajz (2015)	27
15. ábra: A 2025-ös szintvonalas térkép illesztése a 2015-ös ortofotóra a duzzasztómű környezetében	28
16. ábra: 118+00 fkm-nél készített keresztshelvény	29

Táblázat jegyzék

1. táblázat: Repülési adatok lézerszkennerrel.....	10
2. táblázat: Repülési adatok nagyfelbontású kamerával.....	11
3. táblázat: 7 paraméteres transzformációhoz használt pontok koordinátái	15
4. táblázat: Pontsűrűség összehasonlítás	23

Irodalom jegyzék

- Albert Kornél (2015): Csoma mérőhajó – Sió csatorna és Balaton felmérése 2015-ben. Vízügyi Közlemények, Budapest.
- Czímber K. (2001): Geoinformatika. Elektronikus jegyzet. Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar, Földmérési és Távérzékelési Tanszék, Sopron
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79–97.
- Gallai, B (2019): A faállomány-növekedés és a termőhelyi adatok összefüggéseinek geoinformatikai módszerekkel a Szalafő Erdőrezervátum területén.
- Király G., Balla C., Barton I., Mészáros Gy., Petrányi B., Szabó K. (2017): Borított felszínmodellek erdészeti felhasználása, In: Bidló A., Facskó F. (szerk., 2017): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VI. Kari Tudományos Konferencia. Soproni Egyetem Kiad Sopron
- Lovas T. – Berényi A. – Barsi Á. (2012): Lézerszkennelés
- Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: a review. Applied Geomatics, 6(1), 1–15.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling – Current status and future perspectives.
- Vosselman, G., & Maas, H.-G. (Eds.). (2010). Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Whittles Publishing, Scotland.

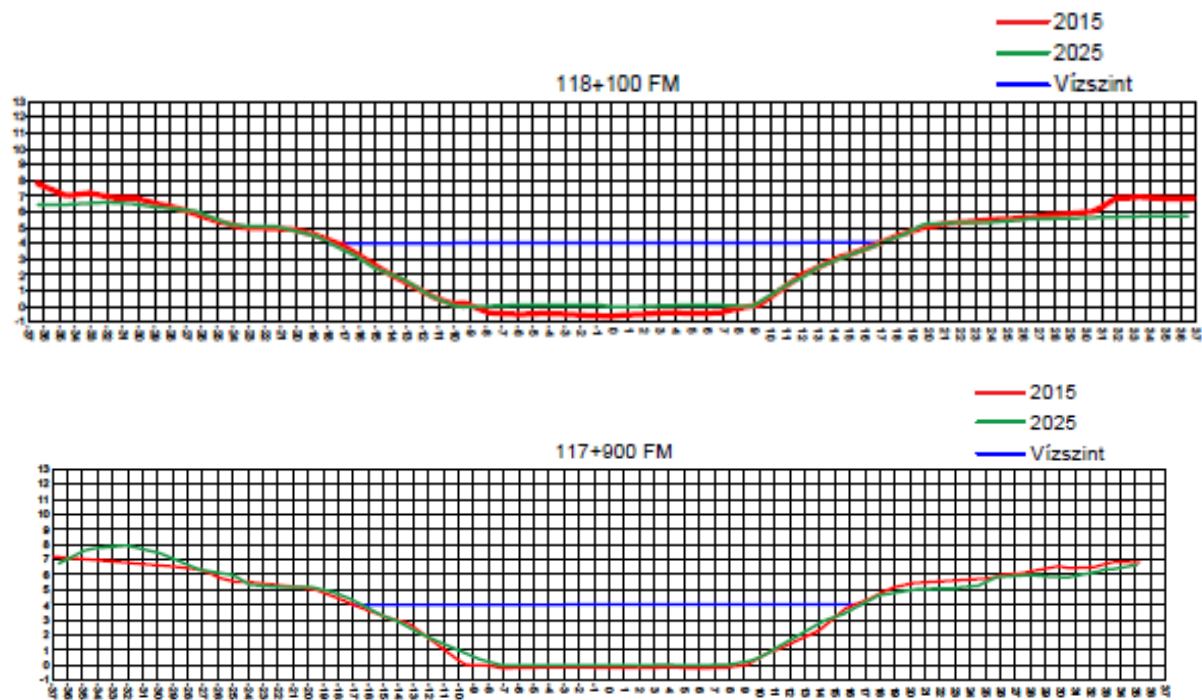
Internetes források

- DJI (2024): DJI Terra – Official User Manual. DJI Support. Elérhető: <https://support.dji.com/help/content?customId=01700005096&spaceId=17&lang=en>
- Lechner Tudásközpont (2024): EOVSzámítás és transzformációs szolgáltatások. Elérhető: <https://lechnerkozpont.hu/>
- Leica Geosystems (2024): Leica Cyclone 3DR – Help Documentation. Leica Geosystems AG. Elérhető: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone-3dr>
- Wikipédia (2024): Folyamkilométer. Elérhető: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Folyamkilom%C3%A9ter>
- Dróntörvény: <https://legter.hu/blog/dron-torveny-erthetoen-szakertoktol/>

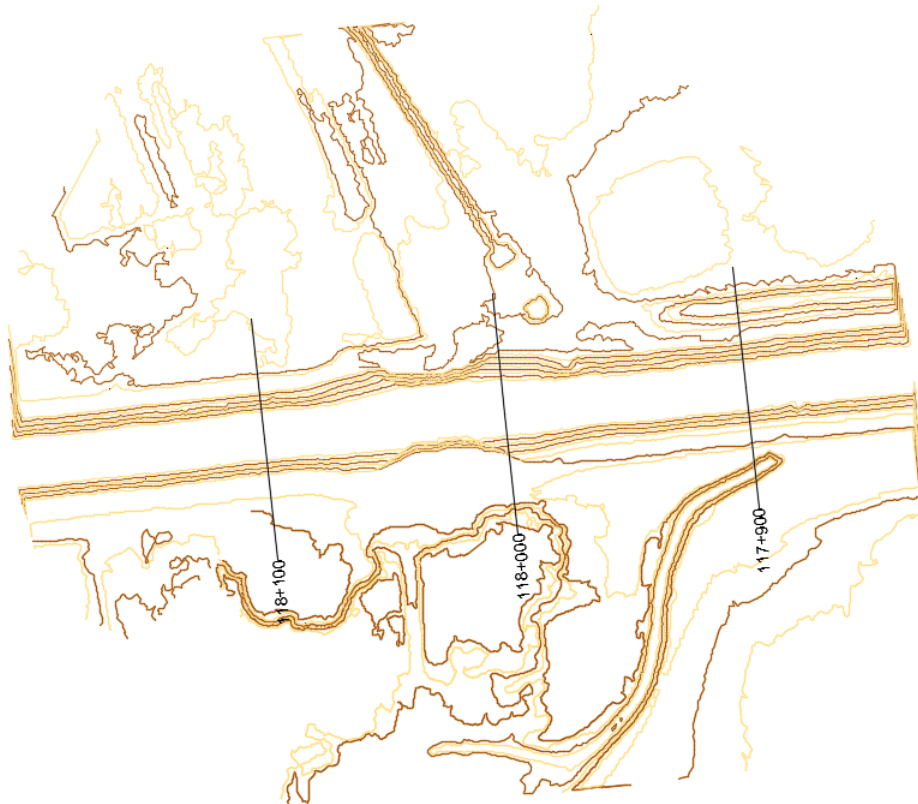
Mellékletek

1. 118+10 és 117+90Fkm szelvények összehasonítása
2. Szintvonalrajz 2025-ös állapotól
3. Szintvonalrajz 2015-ös állapotól
4. DJI Zenmuse L1 LiDAR szenzor felmérés Terra programban készült jelentése
5. DJI Zenmuse P1-es fotogrammetriai kamerával készült felmérés Terra programban készült jelentése

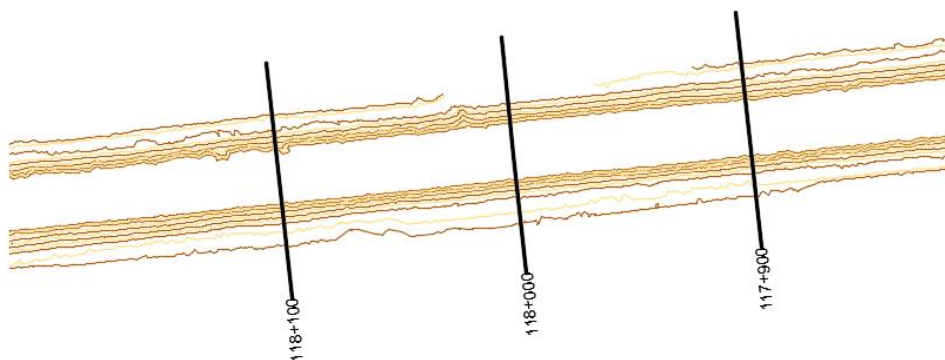
1. 118+10 és 117+90Fkm szelvények összehasonlítása



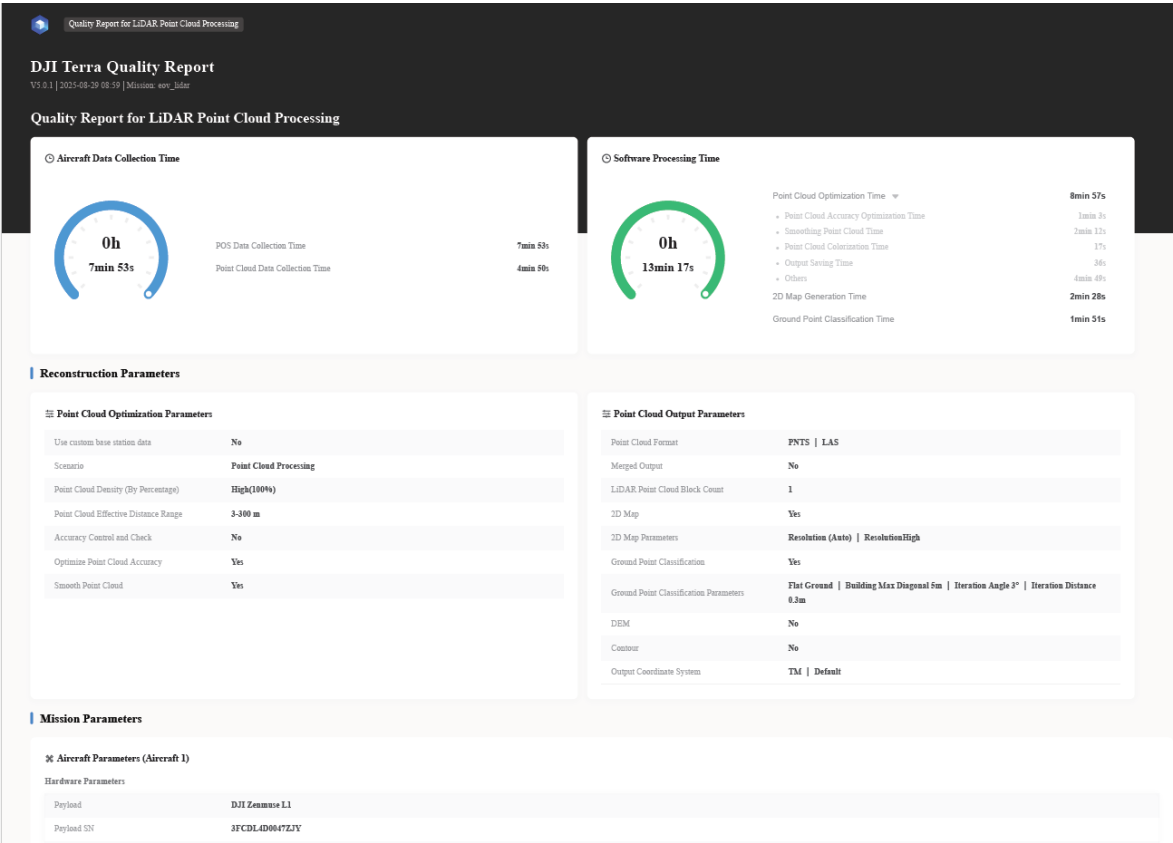
2. Szintvonalrajz 2025-ös állapotról

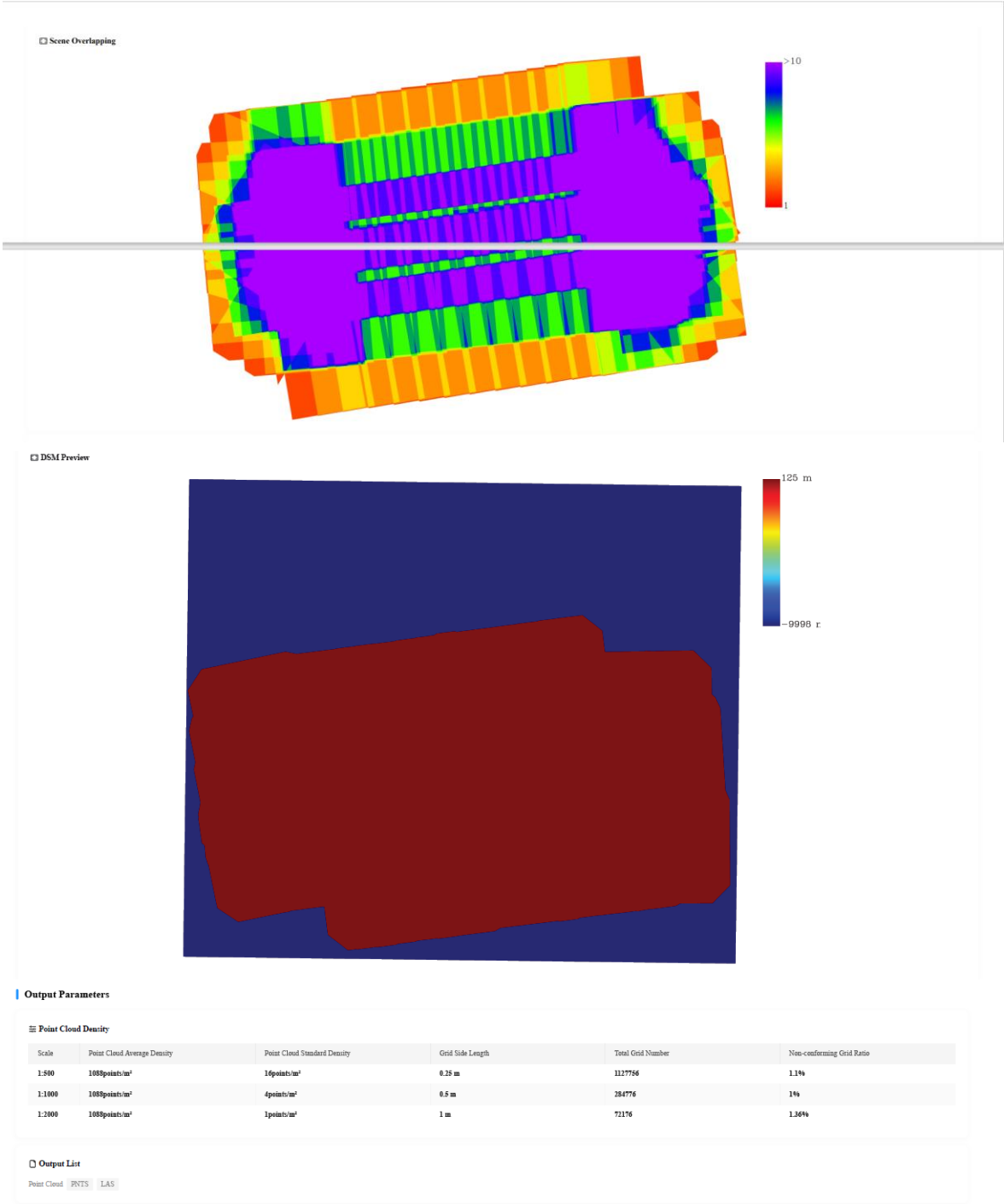


3 Szintvonalrajz 2015-ös állapotról



4. DJI Zenmuse L1 LiDAR szenzor felmérés Terra programban készült jelentése





5. DJI Zenmuse P1-es fotogrammetriai kamerával készült felmérés Terra programban készült jelentése

