



**SOPRONI
EGYETEM**

ERDŐMÉRNÖKI
KAR

Tudományos Diákköri Konferencia

**Sarangolt faanyag választék-rakatok korszerű
eszközökkel történő hatékony felmérése,
számbavételezési lehetőségeinek vizsgálata**

Fekete Gellért

Erdőmérnök osztatlan MSc szak

2024

Szerzői nyilatkozat

Alulírott Fekete Gellért (neptun kód: BHYIX0) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a Sarangolt faanyag választék-rakatok korszerű eszközökkel történő hatékony felmérése, számbavételezési lehetőségeinek vizsgálata című:

házi dolgozat

(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.

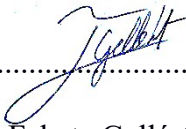
Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt, illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg**.

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, 2024. november 4.

.....

Fekete Gellért

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

*Sarangolt faanyag választék rakatok korszerű eszközökkel történő hatékony
felmérése, számbavételezési lehetőségeinek vizsgálata*

A dolgozatom a sarangolt kemény- és lágylombos energetikai faanyag térfogatának meghatározására összpontosít dróntechnológia alkalmazásával. Célom, hogy ez a felvételezési módszer Magyarországon elfogadottá váljon, mivel jelentősen felgyorsíthatná az erdészeti leltározást és készletnyilvántartást. Kutatásom során dróntechnológiát, különféle mérési módszereket, térinformatikai eszközöket és szoftvereket használtam az adatok gyűjtésére és elemzésére. A felmérések helyszíne a Papierholz Austria GmbH. Magyarországi Fióktelepe volt, Balogunyomban. Méréseim középpontjában a technológia megbízhatósága és pontossága állt. Kutatásom alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az általam kidolgozott mérési módszer megbízhatóan alkalmazható.

Abstract

*Assortment of industrial laminated timber – Investigation of possibilities for
efficient measurement and inventory of stacks using modern equipment*

My thesis focuses on determining the volume of stacked hardwood and softwood biomass for energy purposes using drone technology. My goal for this survey method is to gain acceptance in Hungary, as it could significantly expedite forest inventory and stock management processes. In my research, I used drone technology, various measurement methods, geospatial tools, and software for data collection and analysis. The surveys were conducted at the Hungarian branch of Papierholz Austria GmbH. in Balogunyom. The reliability and accuracy of the technology were at the center of my measurements. Based on my research, I concluded that the developed measurement method is reliably applicable

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. Szakirodalmi áttekintés	3
2.1. Távérzékelés alapfogalma	3
2.2. Fotogrammetria: Az elmélet és alkalmazási módszerek áttekintése	4
2.3. Felszínmodellek összehasonlítása: BFM, DDM, nBFM	4
2.4. Drónok (UAV) alkalmazása a távérzékelésben	4
2.5. Structure-from-Motion (SfM)	4
2.6. Fotogrammetria és LiDAR összehasonlítása	5
2.7. 3D modellezési módszerek és integrált megközelítések	5
2.8. Erdészeti alkalmazások	5
3. A kutatás helyszíne és a mérés tárgya	6
3.1. Mérés során alkalmazott eszközök	7
3.1.1. <i>ForGEO Puli Rev 2, antennarúd, csipesz</i>	7
3.1.2. <i>Segédeszközök</i>	8
3.1.3. <i>DJI Mavic 3 drón</i>	9
3.2. Mérés során alkalmazott programok	10
3.2.1. <i>DJI Pilot 2 vezérlő alkalmazás</i>	10
3.2.2. <i>Agisoft Metashape</i>	11
3.2.3. <i>Adatfeldolgozás</i>	11
3.2.4. <i>QGIS (Quantum Geographic Information System) szoftverrel történő adatelemzés</i>	12
3.3. Adatgyűjtési és elemzési módszerek	12
3.3.1. <i>Adatgyűjtés módszerei</i>	12
3.3.2. <i>Fotogrammetriai adatok és feldolgozás</i>	14
3.3.3. <i>30 m és 40 m-es repülési magasság</i>	17
3.4. Statisztikai elemzés	17

3.4.1. Korrelációs elemzés.....	17
3.4.2. Lineáris regresszió.....	18
4. Eredmények	19
4.1. Máglyák drónos mérései és a leterhelt faanyag űrméter értékei	19
4.2. A 3-as számú máglya háromszori, nagy időbeli eltéréssel történt méréseinek eredménye	20
4.3. 30 m és 40 m-es repülési magasság eredményei	21
5. Eredmények értékelése	21
5.1. Máglyák drónos mérései alapján kapott űrméter értékek összehasonlításai a leterhelt faanyag űrméterével	21
5.1.1. Korrelációs elemzés.....	22
5.1.2. Lineáris regresszió.....	22
5.2. A 3-as számú máglya háromszori, nagy időbeli eltéréssel történt mérési eredményeinek értelmezése	24
5.3. 30 m és 40 m-es repülési magasságból történt mérések	25
6. Következtetések	25
Köszönetnyilvánítás	27
Irodalomjegyzék	28
Ábrajegyzék	29
Táblázatjegyzék	29

1. Bevezetés

Kutatásomban a sarangolt faanyag választék-rakatok korszerű eszközökkel történő hatékony felmérésével, számbavételezési lehetőségeinek vizsgálatával foglalkozom. A címben megfogalmazott téma számos lehetőséget rejt. Ennek oka, hogy ezen cím nem csak a Tudományos Diákköri Konferencia dolgozatom címe lesz, hanem a diplomamunkámé is, amelyben további módszerek is tárgyalásra kerülnek.

Ezen kutatás témája a sarangolt választék drónnal történő fatérfogatának („űrméterben”) meghatározása. Ezt a témát különösen fontosnak tartom, mivel napjainkban minden modern technológia elérhető, amely az említett mérések pontos elvégzéséhez szükséges. Úgy vélem, hogy a hagyományos, kézi eszközökkel történő mérés nagy méretű faanyag máglyák vagy rakatok esetében rendkívül pontatlan lehet. Kézi módszerrel nehéz megfelelően számbavételezni, hiszen a szélső sorokon belüli részeket nem látjuk át, így a számításhoz szükséges alapvető adatok torzulnak, és nem tükrözik a valós mennyiséget. Az említett tényező nem más, mint az átlagmagasság. Továbbá problémát jelent manapság a humán erőforrás, valamint az időhatékonyság is. Ezen mérési módszer nagyban felgyorsítja a munkát, pontosítja, valamint csökkenti a szükséges munkaerőt és munkaidőt.

A kutatásom során mérési eredményeimmel szeretném bizonyítani, hogy a távérzékelés adta lehetőségekkel, azaz drónos felméréssel valóban pontosan meghatározható az adott sarang / máglya / rakat űrméter-értéke. Végző célom, hogy az általam kidolgozott mérési módszer elfogadott és alkalmazható legyen a gyakorlatban.

A fotogrammetria és a távérzékelés használata az erdőgazdálkodásban és sarangolt választék felmérésében egyre nagyobb jelentőséggel kellene, hogy bírjon. Bácsatyai és Márkus (2001) szerint ezek a technológiák lehetővé teszik a nagy területek hatékony vizsgálatát, ami különösen fontos az erdészeti mérések során. [V. Balázsik (2010)] kiemeli a fotogrammetria és a távérzékelés közötti szoros kapcsolatot, amelyek együtt képesek pontos, háromdimenziós modelleket készíteni a faanyag mennyiségek (űrm³) felméréséhez. A távérzékelés erdőtérképezési célú felhasználását vizsgáló tanulmányok [96. Belényesi et al. (2013)] igazolják, hogy a korszerű adatelemzési módszerek jelentős előrelépést jelentenek a hagyományos mérési technikákhoz képest. Ezek a kutatások alapot nyújtanak a dróntechnológia használatának további fejlesztéséhez a sarangolt faanyagok

űrméterértékének pontos meghatározásában.

Általam vélt hipotézis, hogy a drónos felmérés pontosabb és hatékonyabb módszer a sarangolt faanyag választékok űrméterértékének meghatározására, mint a hagyományos, manuális mérési eljárások.

„Napjainkban, a több mint egy évszázados elektronikus technológia korában, globálisan kiterjesztettük a központi idegrendszerünket, eltörölve a bolygónkat érintő teret és időt.”

Marshall McLuhan: A média megértése: Az ember kiterjesztései (1964)

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Távérzékelés alapfogalma

A távérzékelés az elektromágneses sugárzás mérésére épül, lehetővé téve az objektumok közvetlen érintkezés nélküli vizsgálatát. Ennek során a vizsgált objektumról visszaverődő vagy kibocsátott elektromágneses sugárzást elemzik, így részletes információ nyerhető az objektumok alakjáról, struktúrájáról, valamint elhelyezkedéséről. Az erdészeti és geomatikai tudományokban a távérzékelés nagyban hozzájárul a terepi adatgyűjtés pontosításához és az összetett struktúrák részletes elemzéséhez (Balázsik, 2010).

Belényesi és mtsai (2013) szerint a távérzékelési eljárásoknak kilenc fő jellemzőjük van, melyek az alábbiak:

1. nem befolyásolják és nem roncsolják a vizsgált objektumot,
2. valós fizikai mennyiségekből indulnak ki, melyekből mennyiségi (kvantitatív) és minőségi (kvalitatív) információk is nyerhetők,
3. nagy választék, mely lehetővé teszi, hogy mindig az adott kutatáshoz megfelelő információgyűjtési és adatfeldolgozási mód legyen alkalmazva,
4. a látható tartományon kívül is végezhető megfigyelés,
5. az összegyűjtött adatok bármikor elemezhetők és összehasonlíthatók más felvételekkel, így nemcsak statikus, hanem dinamikus adatok gyűjtésére is lehetőségünk van,
6. nagy térbeli területekről igencsak rövid idő alatt nagy mennyiségű adat gyűjtését teszik lehetővé,
7. más vizsgálati módszerekkel elérhetetlen területek is megfigyelhetők,
8. jó tér- és időbeli mintavételezésű adatrendszert szolgáltat,
9. fajlagosan olcsó.

2.2. Fotogrammetria: Az elmélet és alkalmazási módszerek áttekintése

A fotogrammetria célja a háromdimenziós (3D) geometriai információk kinyerése képek segítségével. A fotogrammetriai módszerek képeket készítenek különböző szögekből, majd ezeket 3D modellekké alakítják át, lehetővé téve a különböző objektumok – például felszíni elemek és építmények – mérését és vizsgálatát (Bácsatyai & Márkus, 2001). Balázsik (2010) tanulmánya hangsúlyozza a távérzékelés és a fotogrammetria közötti szoros kapcsolatot, amely lehetőséget nyújt arra, hogy az adatgyűjtési folyamat során integrált megközelítéseket alkalmazzanak.

2.3. Felszínmodellek összehasonlítása: BFM, DDM, nBFM

A felszínmodellek típusai közé tartozik a Borított Felszínmodell (BFM), a Digitális Domborzatmodell (DDM) és a Normalizált Borított Felszínmodell (nBFM). A BFM magában foglal minden terepen található objektumot, például fákat és épületeket, amelyek lehetővé teszik a felszín változatosságának részletes vizsgálatát. A DDM kizárólag a talajfelszín jeleníti meg, így a domborzat topográfiai elemzésére használható. A nBFM viszont a domborzathoz viszonyítva mutatja az objektumok magasságát, lehetővé téve a relatív magasságok pontos mérését (Király et al., 2017).

2.4. Drónok (UAV) alkalmazása a távérzékelésben

A drónok, vagy más néven UAV-k (Unmanned Aerial Vehicles), jelentős mértékben hozzájárulnak a távérzékelési technológiák fejlődéséhez. A drónok gyorsan és hatékonyan képesek adatot gyűjteni nagy területeken, így különösen hasznosak a terepi felmérések során. A drónos távérzékelés előnye, hogy költséghatékony megoldást nyújt, és magas felbontású adatokat szolgáltat, amelyeket fotogrammetriai eljárások segítségével lehet 3D modellekké alakítani (Berteška & Ruzgienė, 2013). Đuka (2023) vizsgálatai szerint a drónokkal végzett faanyag-felvételezési módszerek pontosabbak és gyorsabbak lehetnek, mint a hagyományos kézi mérési módszerek, különösen a nagy térfogatú faanyag esetében.

2.5. Structure-from-Motion (SfM)

A Structure-from-Motion (SfM) egy technológia a 3D modellek létrehozására, amely különböző nézőpontból készített 2D képekből építi fel a 3D geometriát. Westoby et al. (2012) tanulmányukban rámutatnak, hogy az SfM fotogrammetria hatékony megoldást nyújt

a geotudományi alkalmazások során. A módszer nagy előnye, hogy viszonylag alacsony költséggel, akár fogyasztói drónok és digitális fényképezőgépek használatával is kivitelezhető a modellalkotás (Verhoeven et al., 2012).

2.6. Fotogrammetria és LiDAR összehasonlítása

A fotogrammetriai módszerek, például az SfM, és a LiDAR technológia különböző előnyökkel és korlátokkal rendelkeznek. A LiDAR egy aktív távérzékelési módszer, amely lézersugarak segítségével méri a távolságot, és rendkívül részletes pontfelhőt állít elő. Ez a technológia különösen előnyös sűrű növényzet, esetünkben nagy mennyiségű sarangolt választék esetén, mivel pontosan méri a fák és tereptárgyak magasságát, függetlenül a fényviszonyoktól (Polat & Uysal, 2018). Az SfM előnye, hogy alacsonyabb költségekkel jár, azonban érzékenyebb a környezeti tényezőkre, mint a fényviszonyok, tükröződés és a látási viszonyok (Westoby et al., 2012).

2.7. 3D modellezési módszerek és integrált megközelítések

A távérzékelés és a fotogrammetria integrált megközelítése lehetőséget nyújt a különböző 3D modellezési módszerek kombinálására. A LiDAR és a fotogrammetria kombinációja lehetővé teszi a pontosság és a részletgazdagság növelését, különösen a nagy kiterjedésű vagy sűrű növényzettel borított területek esetében (Ruiz et al., 2013).

2.8. Erdészeti alkalmazások

Az erdészeti kutatások és alkalmazások területén a távérzékelési és fotogrammetriai módszerek pontosabb, kevésbé szubjektív adatokat szolgáltatnak a faállomány szerkezetének, magasságának és térfogatának felméréséhez. Iglhaut et al. (2019) vizsgálatai rámutatnak, hogy az SfM fotogrammetria kiváló lehetőségeket kínál az erdészeti adatgyűjtésre, különösen az alacsony költségű adatgyűjtési igények esetén. Király et al. (2017) a digitális felszínmodellek alkalmazását vizsgálták az erdészeti elemzések során, és megállapították, hogy a DDM és BFM használata különösen hasznos a faállomány magasságának és eloszlásának, valamint a domborzati viszonyok elemzésében. Ezeket tovább gondolva, alkalmasak a sarangolt választékok felmérésére is.

3. A kutatás helyszíne és a mérés tárgya

A vizsgált anyag 2 méter hosszú, ritkábban 3 méteres sarangolt kemény- és lágylombos energetikai faanyagból áll. Az energetikai faanyag 90%-át a telephelyre 60 km-es körzetből szerzik be. A manipulációs folyamat után a faanyagot vasúton szállítják a 150 km-re lévő célüzembe, ami a fenntarthatósági célok szempontjából kedvezőbb, hiszen egy vagon kapacitása 2,5 kamionnak felel meg. Ezzel az éves, tervezett 70.000 m³ faanyag szállítása körülbelül 2.800 kamionforgalmat vált ki, mérsékelve a közúti terhelést és a károsanyag-kibocsátást. Ahhoz, hogy ez létre tudjon jönni feltétlenül szükségesek azon kutatások, fejlesztések, aminek ez a kutatás is egy fontos láncszeme lehet. Méréseimet a Papierholz Austria GmbH. Magyarországi Fióktelepén (1. ábra) végeztem el Balogunyom külterületén.

Videó a telepről: https://www.youtube.com/watch?v=KnPG_8O6Nog



1. ábra: Papierholz Austria GmbH. Magyarországi Fióktelepének felülnézete 2024.08.08.

Fióktelep területén megtalálható, a magyarországi szabályozásnak megfelelően, 10 darab máglyahely. Alapterületeket tekintve:

- 1-5: $25 \text{ m} \times 72 \text{ m} = 1.800 \text{ m}^2$
- 6-9: $31 \text{ m} \times 58 \text{ m} = 1.795 \text{ m}^2$
- 14: $23 \text{ m} \times 62 \text{ m} = 1.426 \text{ m}^2$

3.1. Mérés során alkalmazott eszközök

3.1.1. ForGEO Puli Rev 2, antennarúd, csipesz

A ForGEO Puli Rev 2 földmérésben használatos RTK GNSS (Global navigation satellite system) vevőeszköz (2. ábra), amely IP65 terepállóságú. Kompakt, kis méretének, valamint a III. generációs dőléskompenzátor technológiának köszönhetően egyszerűen és gyorsan bemérhetőek a szükséges GPS koordináták. Dőléskompenzátor technológia ellenére az antennarudat minden esetben rögzítettem egy csipesszel, amely lehetővé tette, hogy a műszer vízszintben legyen és ne mozduljon el a mérés közben. Továbbá a Unicore UGypsophila RTK feldolgozási technológiájával a vevő azokat a műholdakat is felhasználja az RTK mérés során, amelyekről nem kap adatokat a bázistól. Ez a technológia nagymértékben javítja a használhatóságot, megbízhatóságot és pontosságot.



2. ábra: ForGEO Puli Rev 2, antennarúd, csipesz

Főbb technikai paraméterek

A GNSS vevő többféle műholdrendszert támogat, köztük a GPS-t (Global Positioning System), a GLONASS-t (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema <ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА> – Oroszország Globális Navigációs Műholdrendszere), a Galileót (az Európai Unió által fejlesztett helymeghatározó rendszer) és a BeiDou-t (Beidou Navigation Satellite System – Beidou Navigációs Műholdrendszer, Kína helymeghatározó rendszere). A vevő pozícionálási pontossága RTK (Real-Time Kinematic) módban vízszintesen $8 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$, míg függőlegesen $15 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$. PPP (Precise Point Positioning) üzemmódban a pontosság 0,5 m és 1 m között van. Statikus méréseknél a vízszintes pontosság $3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ ppm}$, a függőleges pontosság pedig $3,5 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ ppm}$. Az eszköz akkumulátora egy töltéssel 8-10 órás üzemidőt biztosít, ami ideális terepi használatra.

3.1.2. Segédeszközök

- Illesztőpontok (3. ábra): Olyan pont, amely a fotogrammetriában a kép térbeli helyzetének a meghatározására szolgál. Helyzete az adott geometriai rendszerben ismert és a fényképen azonosítható.
- Karók és kalapács: Az akáckarókat terepszintig kell leütni, minimum 30 cm mélységbe, annak érdekében, hogy biztosítva legyen az adott pont stabilitása (ne tudjon elmozdulni, apróbb erőbehatástól, mint például a fűnyírás). Ezzel rögzített, fix pontokat hoztam létre a terepen. A kalapács segít ezeknek a stabil elhelyezésében.
- Szögek: Szögeket a karók négyzet keresztmetszetű, az meghúzott átlók metszéspontjába kell kalapáccsal beleütni. Ez biztosítja a „pontot”, amelyre az antennarúd hegye pontosan ráhelyezhető.
- Jelölőfesték: Ezzel a festékekkel a terepen kijelöltem a pontokat, hogy a későbbi mérések során könnyebben felkereshetők legyenek a már bemért pontok.
- A vizuális illesztőpont (más néven vizuális marker) egy olyan elem, amelyet gyakran használnak különféle képfeldolgozási és helymeghatározási rendszerekben az objektumok pontos beazonosításához vagy követéséhez. Ezek az illesztőpontok általában jól elkülönülő, kontrasztos mintákat használnak – például fekete-fehér színekombinációt –, amelyeket könnyen felismernek a kamerák és a képfeldolgozó

algoritmusok. Az ilyen markerek reflektanciája szögesen eltérő; a fekete részek elnyelik, míg a fehér részek visszaverik a fényt, ami erős kontrasztot eredményez. A vizuális illesztőpontok elhelyezése lehetővé teszi a számítógépes látórendszerek számára, hogy pontosan azonosítsák vagy követhetővé tegyék az adott objektumot, illetve meghatározzák annak térbeli pozícióját és orientációját. Ennek köszönhetően gyakran alkalmazzák őket robotikában, kiterjesztett valóságban és 3D modellezési rendszerekben.



3. ábra: Illesztőpont

3.1.3. DJI Mavic 3 drón

A DJI Mavic 3 (4. ábra) korszerű drónmodell. Kiválóan alkalmas távérzékelési feladatok elvégzésére. A beépített nagy felbontású kamerájával részletes légi felvételeket készít, amelyek a faanyag máglyák úrméterértékének pontos meghatározásához használhatók. A drón egyszerűen kezelhető, hosszú repülési idővel rendelkezik, és stabil képeket készít, amelyek alapjául szolgálnak a későbbi fotogrammetriai elemzésekhez.



4. ábra: DJI Mavic 3 drón

Főbb technikai paraméterek

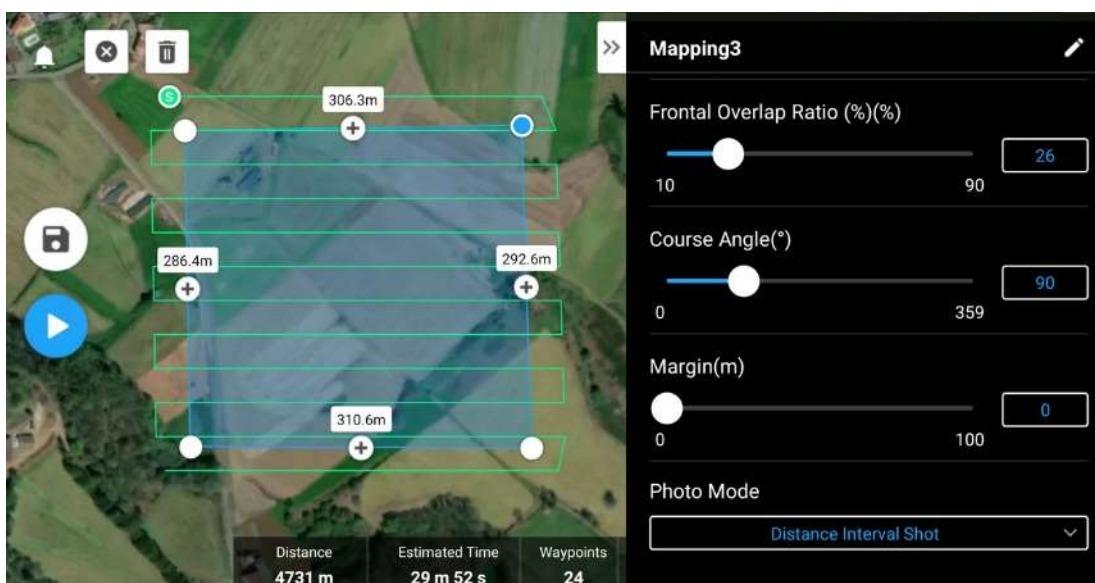
Az eszköz súlya a Standard verzió esetében 895 gramm. A fő kamerája egy 4/3 CMOS szenzorral rendelkezik, amely 20 megapixeles felbontású. Az objektív 24 mm-es, rekeszértéke f/2.8 és f/11 között állítható, 84°-os látószöveget biztosít. Az ISO érzékenység 100 és 6400 között mozog mind videó, mind fotó mód esetén, a záridő pedig 8 másodperc és 1/8000 másodperc között változtatható. A maximális fotófelbontás 5280 x 3956 pixel. A drón 0,7 másodpercenként képes fényképet készíteni.

A repülési teljesítmény a maximális sebességet tekintve 21 m/s Sport módban, 15 m/s Normál módban, és 5 m/s Cine módban érhető el. Az eszköz maximális emelkedési sebessége 8 m/s, a süllyedési sebessége pedig 6 m/s. Egy akkumulátorral az eszköz akár 46 perc repülési időt is biztosítani tud ideális körülmények között.

3.2. Mérés során alkalmazott programok

3.2.1. DJI Pilot 2 vezérlő alkalmazás

A DJI Pilot 2 alkalmazás (5. ábra) a DJI drónok vezérlésére és repülési útvonaluk megtervezésére szolgál. Az alkalmazásban előre beállíthatók a drón által bejárando területek, így biztosítható, hogy a sarangolt faanyag máglyák teljes területe lefedett legyen a felvételekkel. A program segítségével távolról irányítható a drón, és valós idejű adatokat, azaz élő képet szolgáltat a terepről.



5. ábra: DJI Pilot 2 alkalmazás (WEBI: <https://www.dji.com>)

3.2.2. Agisoft Metashape

Fotogrammetriai szoftvert (6. ábra) segítségével készültek a digitális képek alapján a 3D modellek. Használható georeferált ortofotók és térképek létrehozására, pontos helymeghatározás céljából. Képes nagy felbontású digitális domborzatmodell (DDM) és borított felszínmodellek (BFM) előállítására. A szoftver ideális drónfelvételek feldolgozásához, különösen térinformatikai és környezeti kutatásokhoz. Alkalmazható épületek és helyszínek dokumentálására, így támogatja a kulturális örökségvédelem céljait is. Agrotechnikai elemzésekhez is használható, például növénytakaró térképek készítéséhez. Továbbá, geomorfológiai elemzésekhez és földtani vizsgálatokhoz nyújt segítséget. A Metashape hatékonyan használható mérésekhez és 3D rekonstrukcióhoz a mérnöki projektek során. Támogatja a különböző exportformátumokat, így integrálható más szoftvekkel. Használata intuitív, ezért széles körben alkalmazzák különböző tudományos és ipari területeken. Esetemben azon részét használtam, amely képes automatikusan felismerni a képeken a közös pontokat (keypoint matching), és ezeket összeillesztve pontos háromdimenziós modellt készíti. A faanyag máglyák esetében ez lehetővé teszi a térfogat pontos meghatározását, mivel a szoftverből nyerhető felületmodellek űrméterértékek számítására használhatók.



6. ábra: Agisoft Metashape logó (Web2: <https://www.agisoft.com>)

3.2.3. Adatfeldolgozás

Excel táblázatkezelő szoftverrel rendeztem a bevitt adatokat és elemeztem azokat. Az Excelben a terepi mérések és a modellezési eredmények feldolgozhatók, kiszámíthatók az átlagok, valamint elemzések és grafikonok készíthetők a felmért faanyagok mennyiségének vizuális bemutatására.

3.2.4. QGIS (Quantum Geographic Information System) szoftverrel történő adatelemzés

A QGIS nyílt forráskódú térinformatikai szoftver, lehetővé teszi a földrajzi adatok elemzését, vizualizálását és térképezését. A QGIS segítségével az Agisoft Metashape által készített 3D modelleket és térképeket tovább lehet elemezni és vizualizálni. A szoftver számos elemzési eszközt kínál, például távolság- terület- és magasságmérést, valamint lehetőséget biztosít a terepi adatok összevetésére és integrálására a fotogrammetriai eredményekkel.

3.3. Adatgyűjtési és elemzési módszerek

3.3.1. Adatgyűjtés módszerei

3.3.1.1. Papierholz Austria GmbH. által szolgáltatott adatok

Minden szükséges adatot – azaz a nyerges és önrakodós kamionokon beszállított, majd a telephelyen a telepvezető által meghatározott máglyahelyre leterhelt mennyiségeket űrméterben – minden esetben Excel-táblázatban és/vagy a telephely sematikus térképén a máglyahelyekhez rendelve kaptam meg. Ezen adatok szolgáltatták az adott máglya térfogatát, és összességük az erdész által a szállítójegyen feltüntetett értékekből adódik.



7. ábra: Papierholz Austria GmbH. logó (Web3: <http://www.papierholz-austria.at>)

Fontos megjegyezni, hogy az átvételkor csak a máglyák magasságát ellenőrzik: minden rakoncaközben, a választék két végpontján egy tolómérővel mérik a magasságot, mivel a rakonca szélessége adott – 2,1 és 2,35 méter között változik. A rakoncaszélességet minden esetben feltüntetik a szállítójegyen, amit a kamionsofőr is megerősít. A választék hossza adott, és a teljes felterhelt mennyiséget a választék méterértékének és a rakoncaközök számának szorzata adja meg. Az átvétel során a Papierholz Austria GmbH. (7. ábra) munkatársai csupán akkor jeleznek problémát, ha a felterhelt rakoncaközben a választékok

nem érik el a szállítójegyen feltüntetett magasságértéket, mivel az elszámolás alapja a szállítójegyen feltüntetett érték.

Ennek a módszernek van egy mellékhatása: az erdész, aki a szállítójegyet kitölti, sokszor alábecsüli a magasságot, feltételezve, hogy a szállítás során a faanyag elmozdul és ennek okán a rakoncaközbe felterhelt rakat tömörödi. Így elkerülhető az átvétellel kapcsolatos bármilyen probléma. Ez azonban azt is jelenti, hogy minden egyes kamionon valamennyivel több faanyag található, mint amennyit a szállítójegyen feltüntetnek.

3.3.1.2. Drónos adatgyűjtés

A repülés tervezése a DJI Pilot 2 alkalmazásban történik, ahol előre meghatározható a repülési útvonal és a fedélzeti kamera beállításai. A DJI Mavic 3 drón a meghatározott útvonal szerint automatikusan repül, miközben a beépített kamera rögzíti az adatokat, jelen esetben fényképeket 0,7 másodpercenként.

A repülési magasság és az átfedések mértéke közvetlenül befolyásolja a drón repülési idejét és a létrehozott 3D modell pontosságát.

40 méteres repülési magasság mellett 90%-os bázisirányú és 85%-os sorok közötti átfedés szükséges. Király et al. (2017) átfedés: Centrális vetítésű képek (fényképek) egymásba nyúló, közös területe. Az átfedést %-ban szokás kifejezni, vagy a leképzett terület méreteivel. A légi fotogrammetriában a repülés irányára vonatkozóan ismerünk hosszirányú (repülésirányú vagy soron belüli) és keresztirányú (repülésre merőleges vagy sorok közötti) átfedést. Bár a nagy átfedés meghosszabbítja a repülés idejét, azonban elengedhetetlen. Ez a beállítás 1 cm/pixel felbontást biztosít, ami rendkívül részletes képeket eredményez. A „cm/pixel” arány pedig azt jelzi, hogy egy pixel mekkora területet fed le a terepen, tehát minél kisebb ez az érték, annál részletesebb a modell.

3.3.1.3. Illesztőpontok elhelyezése és bemérése

A pontos mérés érdekében terepi illesztőpontok használata szükséges, amelyek meghatározását a már fent taglalt geodéziai GPS-szel végeztük. A terepi illesztőpontok pontos bemérése lehetővé teszi, hogy a drón által gyűjtött adatok feldolgozásakor ezek a referenciapontok garantálják, hogy az elkészült 3D modell a valós földrajzi helyzetet és arányokat tükrözze.

Ezen illesztőpontokat a terepen stratégiai helyeken helyeztük el, figyelembe véve a mérendő

terület domborzati viszonyait és kiterjedését. A geodéziai GPS-mérések során figyelmet fordítottunk a műholdas jelek zavartalan vételére, valamint az esetleges interferenciák minimalizálására, hogy a legpontosabb koordináta adatokat nyerjük ki. A méréshez szükséges pontok karóval állandósítva lettek. Így azokat a későbbi mérésekhez is fel tudtuk használni.

3.3.2. Fotogrammetriai adatok és feldolgozás

A projekt során közel 1500 kép készült, amelyek 7 hektáros területet fednek le. A képek feldolgozása fotogrammetriai szoftverrel történik, amely lehetővé teszi a részletes térbeli modell létrehozását a telepről.

3.3.2.1. Képek illesztése és 3D pontfelhő generálás

Működésének alapja a következő lépésekből áll:

- Képegyeztetés: A szoftver automatikusan azonosítja és összekapcsolja a különböző képeken lévő közös pontokat, lehetővé téve a képek pontos helyzetének és orientációjának meghatározását.
- Kapcsolópontok keresése: A program azonosítja és nyomon követi a képeken található azonos vagy hasonló jellemzőket (pixel adatok alapján), amelyek segítségével a 3D pontfelhő létrehozható.
- Sűrű pontfelhő és háló létrehozása: A kapcsolópontok alapján a szoftver sűrű pontfelhőt generál, amelyből háromdimenziós háló, textúra és ortofotók készülnek.

Ezt követően a szoftver egy 3D pontfelhőt generál, amelyben körülbelül 4000 pont/m² található, így nagy részletességet biztosít. Minden egyes pont geodéziai méréssel rögzített térbeli koordinátákkal van meghatározva. Ez a 3d koordinátarendszer teszi lehetővé a pontos térbeli modellek létrehozását.

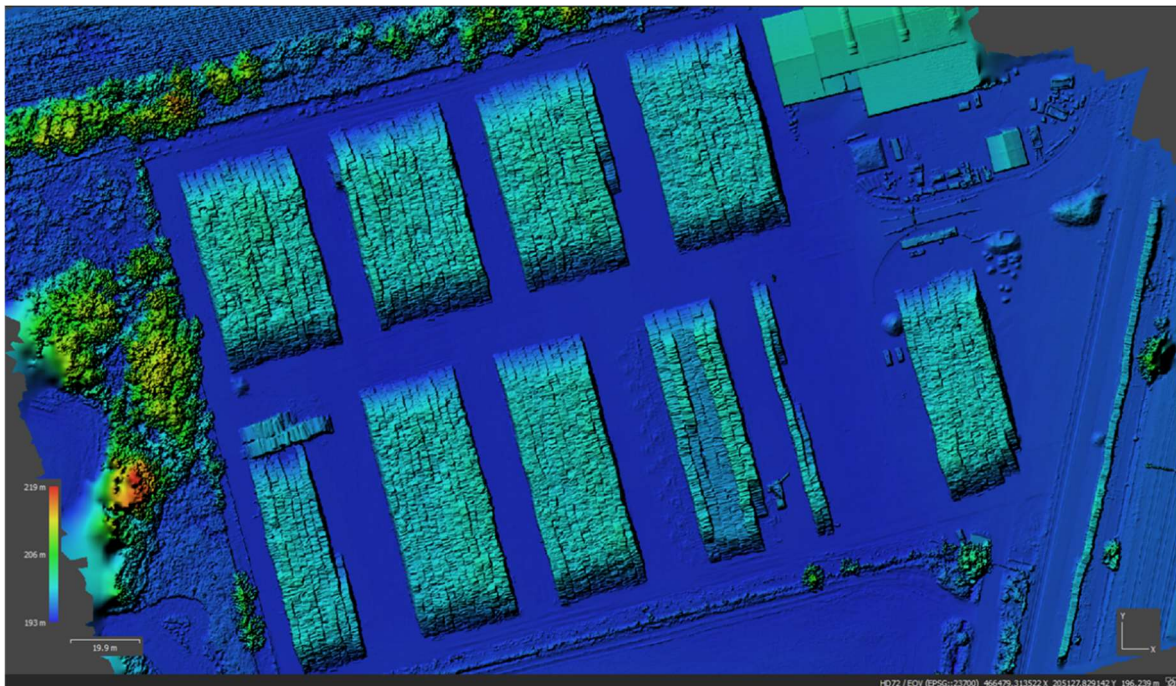
3.3.2.2. Raszteres modell készítése és magassági értékek

A renderelt pontfelhőből egy raszteres modellt állítunk elő, ahol a felbontás 2 cm/pixel, így egy pixel 4 cm² területet képvisel. Tehát 7 hektáron 175 millió pixel van.

A modell minden egyes pixele olyan magassági értéket tartalmaz, amely a tengerszint feletti magasságot jelöli, nem pedig közvetlenül a talajfelszín feletti magasságot. Ez a borított felszínmodell, amely a felszínen található objektumok (esetünkben máglyák) magasságát is figyelembe veszi. Ahhoz, hogy valóban a talajfelszín feletti magasságot kapjuk meg, egy

domborzatmodell készítése szükséges, amely az adott terület talajszintjének tengerszint feletti magasságait tartalmazza, figyelmen kívül hagyva a felszínen található objektumokat.

A talajfelszín feletti magasság (objektumok relatív magassága) meghatározásához a ki kell vonni a borított felszínmodellből (8. ábra) a digitális domborzatmodellt. Az így kapott eredmény a normalizált borított felszínmodell, amely azt az értéket adja meg, hogy az adott pont a talajfelszínhez képest mekkora magasságban helyezkedik el. Ennek a módszernek köszönhetően a máglya bármely magassági pontja leolvasható a raszteres modellről.

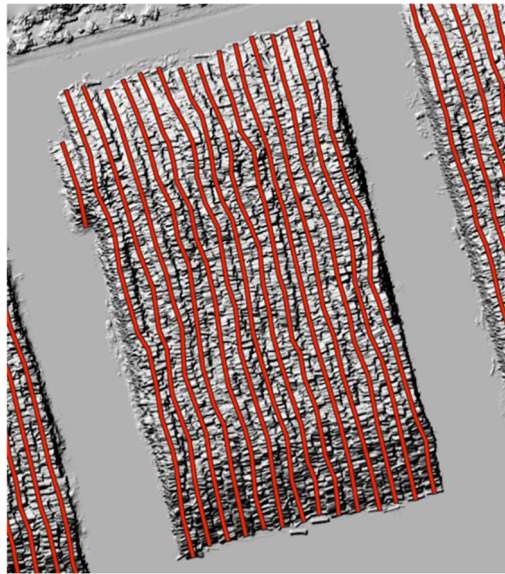


8. ábra: Borított felszínmodell

3.3.2.3. Térinformatikai szoftveres kiértékelés és magassági átlagok

A QGIS térinformatikai szoftver segítségével kiértékeltem a területet. A normalizált borított felszínmodell minden máglyájának minden egyes során végig húztam egy vonalat (még manuális folyamat), amely követi a sor görbüléseit. E vonal mentén 25-25 cm-es pufferzónát hoztam létre mindkét oldalon (9. ábra), így egy poligon területet kaptam. A poligon által lefedett felület pixeleihez tartozó magasságértékekből számított átlag adja meg az átlagmagasságot, amelyet minden sorra külön kiszámítottam. Próbálkoztam azzal is, hogy nem átlagmagasságot számolok, hanem a sarang hosszát veszem X tengelynek és a vonal alatti területet, azaz Y tengely adataiból egy függvény alatti területet integrálással számolok, amit aztán csak szorozni kell a választék hosszával. Azonban a módszer sokkal

hosszadalmasabb és nem hoz az átlagos módszertől eltérő eredményeket.



9. ábra: Normalizált borított felszínmodell – pufferezónák soronként

Ezek alapján:

$$V_{máglya} = \sum_{i=1}^n (V_i \times H_i \times \acute{A}_i) \quad (1)$$

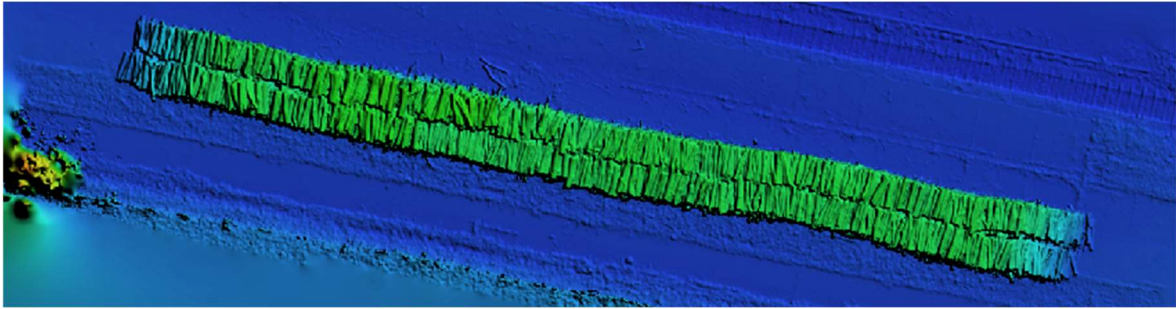
Esetemben:

- V_i : választék (m)
- H_i : sor hossza (m)
- $\acute{A}_i$: sor átlagmagasság (m)
- $V_{máglya}$: máglya űrméter értéke

Fontosnak tartom ismételtlen megjegyezni, hogy a beszállítás mennyisége (kamionon átvett űrméterértékek összege) sosem fog pontos egyezést mutatni a máglya űrméterben kifejezett térfogatával, hiszen történik egy kamionról való leterhelés, illetve a máglya magasságából adódóan sokkal nagyobb teher nyomja a máglya aljában lévő hengeres faanyagot, amely tömörödést idézhet elő. Továbbá minden kamionról más és más sofőr rakodja le a faanyagot, így a sofőr rutinja, tapasztalata is meghatározó lehet. Akár nevezhetném ezt átrakási módosító tényezőnek is.

3.3.3. 30 m és 40 m-es repülési magasság

A hatékonyság növelése érdekében elvégeztünk egy mérést egy számunkra elkülönített, két sorból álló sarangon. A mérés célja annak vizsgálata volt, hogy a szükséges 90%-os bázisirányú és 85%-os sorok közötti átfedés mellett mutatkozik-e eltérés a kapott értékekben, ha a repülést 40 méteres, illetve 30 méteres magasságban végezzük el (10. ábra).



10. ábra: 20 kamion faanyagából álló két soros sarang, 2024. július 2.

3.4. Statisztikai elemzés

Ebben a részben a drónos mérési eredmények és a különböző tényezők közötti statisztikai összefüggéseket vizsgáltam. Elsőként arra kerestem választ, hogy a leszállított mennyiség (L) és a drónos mérésből számított eltérés (D-L) között van-e szignifikáns kapcsolat. Emellett elemeztem, hogy a sorok száma hogyan befolyásolja a mérési eltéréseket, és van-e köztük kimutatható összefüggés.

1. Összefüggés a leszállított mennyiség és a mérési eltérés között: Korrelációs elemzéssel (2) és lineáris regresszióval (3) megvizsgáltam, hogy a leszállított mennyiség (L) és a drónos mérés eltérése (D-L) között van-e szignifikáns kapcsolat.
2. Összefüggés a sorok száma és a mérési eltérés között: Korrelációs elemzéssel (2) és lineáris regresszióval (3) megvizsgáltam, hogy a sorok száma és a D-L eltérés között van-e szignifikáns kapcsolat.

3.4.1. Korrelációs elemzés

A korrelációs együttható kiszámításához a következő képletet használtam:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \times \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

Esetemben:

- X és Y az összehasonlítani kívánt két változó, vagyis
 - Az első esetben: X a "Leszállított mennyiség (L)" és Y a "D-L" eltérés
 - A második esetben: X a "Sorok száma" és Y a "D-L" eltérés.
- X_i és Y_i az egyes adatpontok az X és Y sorozatban.
- $\bar{X}$ és $\bar{Y}$ az X és Y átlagai.

A korrelációs együttható (r) értéke -1 és +1 között van:

- $r = 1$: erős pozitív kapcsolat,
- $r = -1$: erős negatív kapcsolat,
- $r = 0$: nincs kapcsolat.

3.4.2. Lineáris regresszió

A lineáris regresszióhoz két modellt készítettem:

1. Leszállított mennyiség (L) és a mérési eltérés (D-L) közötti kapcsolat elemzése:

Azt vizsgáltam, hogy a leszállított mennyiség (L) hogyan hat a mérési eltérésre (D-L).

2. Sorok száma és a mérési eltérés (D-L) közötti kapcsolat elemzése:

Azt vizsgáltam, hogy a sorok száma mennyiben befolyásolja a mérési eltérést (D-L).

Mindkét esetben kiszámítom a lineáris regressziós egyenletet, amely általánosan így néz ki:

$$Y = a + bX \quad (3)$$

Esetemben:

- Y a függő változó (a "D-L" mérési eltérés),
- X a független változó (az első modellnél a "Leszállított mennyiség", a második modellnél a "Sorok száma"),
- „a” az Y-tengely metszéspontja,
- „b” az X-koefficiens, amely megmutatja az X-ben bekövetkező egységnyi változás hatását Y-ra.

4. Eredmények

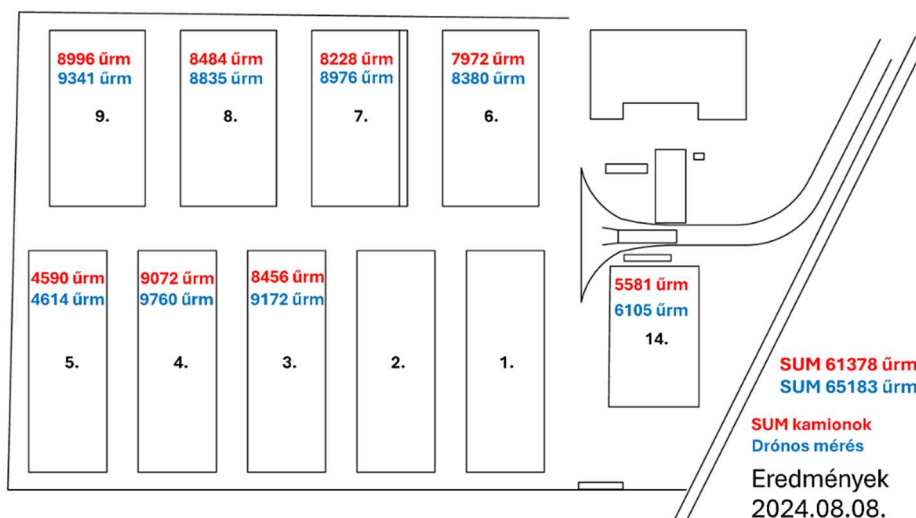
4.1. Máglyák drónos mérései és a leterhelt faanyag űrméter értékei

Az 1. táblázat a különböző máglyák esetében végzett drónos mérések eredményeit és a leszállított faanyag térfogati (űrméter) értékeit tartalmazza, amelyeket a terepi megfigyelés során rögzítettek.

1. táblázat: Mérési eredmények 3, 4, 6, 7, 8, 9, 14 máglyák

Máglya	Sorok száma	Választék	Leszállított mennyiség (L)	Drónos mérés (D)
3	11	2 m	8456,210 űrm	9171,952 űrm
4	12	2 m	9072,735 űrm	9759,959 űrm
6	14	2 m	7972,361 űrm	8380,456 űrm
7	13	2 m - 3 m	8228,438 űrm	8975,898 űrm
8	15	2 m	8484,085 űrm	8835,021 űrm
9	14	2 m	8995,982 űrm	9340,857 űrm
14	10	2 m	5581,505 űrm	6105,059 űrm

A 11. ábra a telephely sematikus felülnézeti rajzát mutatja, amelyen a felmért és leterhelt faanyagok űrméter térfogat értékei is szerepelnek, így könnyebben áttekinthetőek az egyes máglyák elhelyezkedése és mennyiségi adatai.



11. ábra: Telephely sematikus rajza, máglyánkénti egészre kerekített űrméter értékekkel

4.2. A 3-as számú máglya háromszori, nagy időbeli eltéréssel történt méréseinek eredménye

A 2. táblázat a 3-as számú máglyán végzett három drónos mérés eredményeit mutatja, amelyek a GPS technológia megbízhatóságát és a máglya természetes tömörödésének hatását szemléltetik.

2. táblázat: Mérési eredmények hármasszámú máglya

Hármasszámú máglya				
Mérés	Drónos mérés időpontja	Illesztőpontok bemérése	Drónos mérés	Megjegyzés
1.	2024.01.31	2024.01.31	9239 ürm	2024. január 31-én kitűzött illesztőpontokat használtam a 2024. január 31-én rögzített képek kiértékeléséhez.
2.	2024.01.31	2024.08.08	9237 ürm	2024. augusztus 8-án újrámért illesztőpontokat használtam a januárban rögzített képek kiértékeléséhez.
3.	2024.08.08	2024.08.08	9172 ürm	2024. augusztus 8-án kitűzött illesztőpontokat használtam a 2024. augusztus 8-án rögzített képek kiértékeléséhez.

4.3. 30 m és 40 m-es repülési magasság eredményei

A 3. táblázat a 30 és 40 méteres repülési magasságok összehasonlítását mutatja, szemlélítve a magasságváltozás hatását a fényképek számára, repülési időre, tárolási igényre és mért térfogatra.

3. táblázat: 30 m és 40 m-es repülési magasság eredményei

	30m	40m	Eltérés 40m-hez viszonyítva
Fényképek száma	418 db	246 db	169,92%
Repülési idő	18 perc	14 perc	128,57%
Fényképek tárhelyigénye	5,12 GB	3,23 GB	158,51%
Mért térfogat	767 űrm	757 űrm	101,06%

5. Eredmények értékelése

5.1. Máglyák drónos mérései alapján kapott űrméter értékek összehasonlításai a leterhelt faanyag űrméterével

A 4. táblázat a máglyák drónos méréseiből származó űrméter értékek és a leszállított faanyag űrméter értékeinek összehasonlítását mutatja, kiemelve az eltéréseket.

4. táblázat: Máglyák drónos mérései alapján kapott űrméter értékek összehasonlításai a leterhelt faanyag űrméterével

Máglya	Sorok száma	Választék	Leszállított mennyiség (L)	Drónos mérés (D)	D-L	D-L/L
3	11	2 m	8456,210 űrm	9171,952 űrm	715,742 űrm	8,46%
4	12	2 m	9072,735 űrm	9759,959 űrm	687,224 űrm	7,57%
6	14	2 m	7972,361 űrm	8380,456 űrm	408,095 űrm	5,12%
7	13	2 m - 3 m	8228,438 űrm	8975,898 űrm	747,460 űrm	9,08%
8	15	2 m	8484,085 űrm	8835,021 űrm	350,936 űrm	4,14%
9	14	2 m	8995,982 űrm	9340,857 űrm	344,875 űrm	3,83%
14	10	2 m	5581,505 űrm	6105,059 űrm	523,554 űrm	9,38%

5.1.1. Korrelációs elemzés

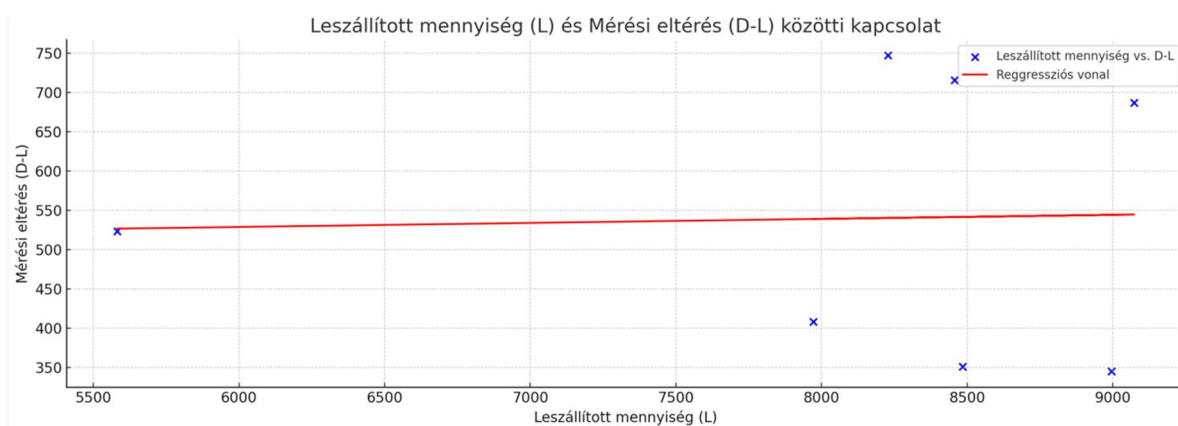
Leszállított mennyiség és a mérési eltérés (D-L) közti kapcsolat: A korrelációs együttható 0,035, ami nagyon gyenge pozitív kapcsolatot jelez, de ez gyakorlatilag nem szignifikáns. Ez azt jelenti, hogy a leszállított mennyiség és a mérési eltérés között nincs lényeges kapcsolat.

Sorok száma és a mérési eltérés (D-L) közti kapcsolat: A korrelációs együttható -0,606, ami közepesen erős negatív kapcsolatot mutat. Ez azt jelzi, hogy nagyobb sorok száma esetén kisebb lehet a mérési eltérés, bár ez az összefüggés nem feltétlenül erős. Ezek alapján úgy tűnik, hogy a sorok száma és a mérési eltérés között van némi kapcsolat, de a leszállított mennyiség nincs szoros összefüggésben a mérési eltéréssel.

5.1.2. Lineáris regresszió

1. Leszállított mennyiség (L) és D-L közötti regresszió (12. ábra):

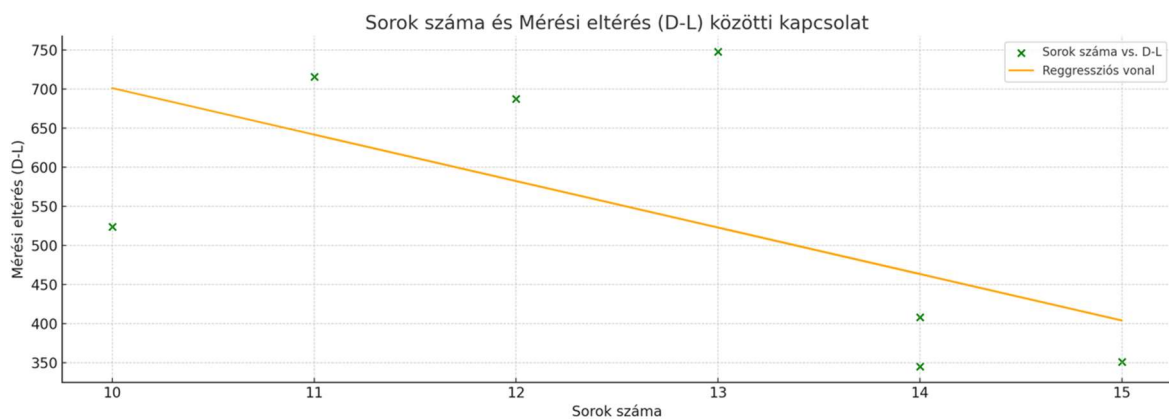
- Egyenlet: $D-L = 497.87 + 0.0052 \times \text{Leszállított mennyiség (L)}$
- R-squared: 0.001, ami azt jelzi, hogy a modell nagyon kevés változatosságot magyaráz az eltérésben.
- P-érték a független változóra: 0.941, ami nem szignifikáns kapcsolatot mutat. Ebből az látszik, hogy a leszállított mennyiség nem áll szoros kapcsolatban az eltéréssel (D-L).



12. ábra: Leszállított mennyiség (L) és D-L közötti regresszió

2. Sorok száma és D-L közötti regresszió (13. ábra):

- Egyenlet: $D-L = 1295.63 - 59.46 \times \text{Sorok száma}$
- R-squared: 0.367, ami arra utal, hogy a modell mérsékelten magyarázza az eltérés változatosságát.
- P-érték a független változóra: 0.149, ami azt jelzi, hogy a kapcsolat nem szignifikáns a szokásos 0,05-ös szinten, de közelebb áll hozzá, mint az előző esetben.



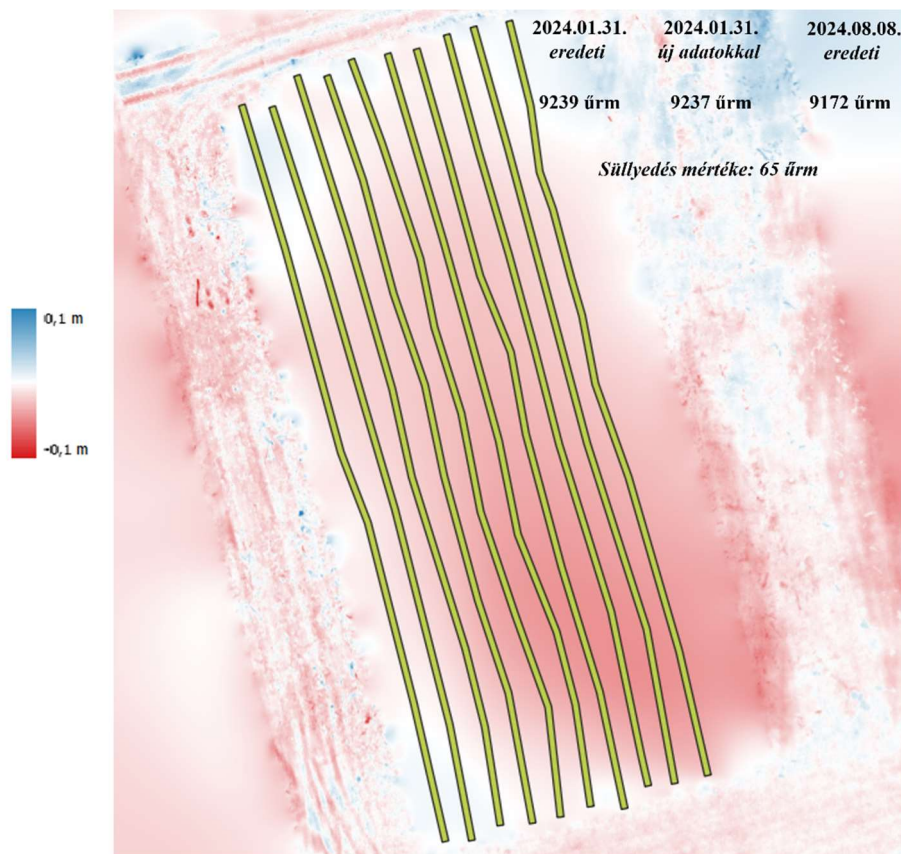
13. ábra: Sorok száma és D-L közötti regresszió

Összességében a sorok száma valamennyire kapcsolatban van a D-L eltéréssel, de a szignifikancia nem erős, és a leszállított mennyiség hatása gyakorlatilag elhanyagolható. A második modell esetében a negatív koefficiens (-59.46) azt sugallja, hogy több sor esetén csökkenhet az eltérés, de a bizonytalanság miatt további adatokra lenne szükség a megbízhatóbb következtetésekhez.

5.2. A 3-as számú máglya háromszori, nagy időbeli eltéréssel történt mérési eredményeinek értelmezése

A január 31-én végzett első mérés során 9239 ürméter értéket kaptam, amikor aznap kitűzött illesztőpontokat használtam. A második mérésnél, amikor szintén január 31-i képeket elemeztem, de augusztus 8-án újramért illesztőpontokat használtam, az eredmény szinte azonos lett: 9237 ürméter (14. ábra). Ez arra utal, hogy a GPS technológia megbízható, mivel az eltérés mindössze 2 ürméter, ami minimálisnak tekinthető.

A harmadik mérés, amely augusztus 8-án készült képeket és illesztőpontokat használt, 9172 ürméter térfogat értéket eredményezett. Az alacsonyabb érték feltehetően a faanyag természetes süllyedéséből vagy tömörödéséből adódik, nem pedig a technológiai pontatlanságra vezethető vissza.



14. ábra: 3-as számú máglya tömörödése

5.3. 30 m és 40 m-es repülési magasságból történt mérések

A 30 méteres magasságban történő repülés nem biztosít érdemi pontosságnövekedést a 40 méteres magassághoz képest, viszont jelentősen több időt, tárhelyet és erőforrást igényel. Mindezek alapján a 30 méteres repülési magasság nem előnyös, mivel növeli a költségeket és az erőforrásigényt anélkül, hogy számottevő előnyt nyújtana a mérések pontosságában.

6. Következtetések

A klímaváltozás hatásai Magyarország erdőállományát is egyre súlyosabban érintik, ami az erdők egészségi állapotának fokozatos leromlásában mutatkozik meg. Az aszályos időszakok és a szélsőséges időjárási jelenségek következtében az erdők ellenálló képessége gyengül, faanyagminőség romlik. Egyre nagyobb arányban képződik sarangolt választék, rostfa forgácsfa, tűzifa; energetikai apríték-alapanyag. Napjainkban az anyagmozgatások hatékonyságának növelése és a munkaműveletek csökkentése miatt a sarangolt választékok nem a hagyományos 1 m vagy 2 m hosszban kerülnek választékolásra, hanem olykor 4-6 vagy akár 8-10 m-ben is. Ezeknek a méreteknél és mennyiségeknek a számbavétele, feldolgozása és értékesítése komoly kihívásokat jelent, amelyek megfelelő technikai háttér nélkül szinte megoldhatatlanok.

Az Európai Unió új, 2025-ben bevezetésre kerülő Európai Unió Erdőirtásmentességi Szabályozása (EUDR, European Union Deforestation-free Regulation) célja, hogy az EU piacára kerülő termékek ne járuljanak hozzá az erdőirtáshoz és a természetes élőhelyek pusztításához. A szabályozás különösen nagy figyelmet fordít az olyan termékek nyomon követhetőségére, mint a fa és faalapú termékek, amelyek előállításánál különösen fontos a fenntarthatóság és a legális eredet igazolása. [Web4: <https://ec.europa.eu/>]

Az elektronikus szállítójegyzet bevezetése is ehhez a követelményhez kapcsolódik. Ez a digitális dokumentáció lehetővé teszi a faanyag mozgásának valós idejű nyomon követését, és megfelelőségi bizonyítékként szolgál a hatóságok és az érintett cégek számára. A rendszer bevezetése tovább növeli a transzparenciát és segíti az erdőirtásmentes szabályok betartását, ugyanakkor a technikai háttér kiépítése és az adminisztrációs terhek kezelése komoly kihívást jelent az ágazat szereplőinek. [Web6: <https://www.nak.hu/>]

A jövőben kiemelt fontosságvá válik a technológia és az automatizáció alkalmazása, amely lehetővé teszi a faanyagok átvételi és leltározási folyamatainak minél kevesebb

humán erőforrással és minél pontosabb, megbízhatóbb módon történő lebonyolítását.

Jelenleg a sarangolt faanyag elektronikus eszközökkel történő térfogatmeghatározása nem elfogadott átvételi és leltározási módszer Magyarországon. Ausztriában azonban az összes átvételi mód hivatalossá tételét és engedélyezését egy független szervezet, a Holzforschung Austria végzi. A Holzforschung Austria felelős a különböző átvételi módszerek akkreditálásáért, és külső, független szervezetként szűrőpróbaszerű ellenőrzésekkel biztosítja azok megfelelőségét és pontosságát. Ez a szervezet alapvető szerepet játszik az osztrák faipar szabványainak fenntartásában és a minőségi ellenőrzések végrehajtásában, amely hozzájárul a nemzetközi versenyképességük megőrzéséhez is. [Web7: <https://www.holzforschung.at/>]

Fent említettek ismeretében, valamint a kutatásom során kapott eredmények alapján megállapítható, hogy az általam kidolgozott mérési technológia konzisztensen jól működik és egyszerűen használható, bevezethető lehetne az erdészeti készletnyilvántartás egyszerűsítésére. Természetesen hozzá kell tennem, hogy jelenleg és a jövőben is tovább fogunk dolgozni a mérésim technológia-lánc fejlesztésén és pontosításán az eddigi méréseinket alapul véve, valamint további méréseket elvégezve. További pontosításhoz, amennyiben lehetőségem nyílik, úgy a LIDAR felmérést is szeretném összehasonlítani a hagyományos fénykép alapú felméréssel.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek: Szász Botondnak, aki iránymutatásával, feltétlen támogatásával és minden szükséges eszköz biztosításával hozzájárult a kutatásom sikeréhez, valamint Szakálasné Dr. Mátyás Katalinnak, aki szintén mindenben támogatott a kutatásom során.

Köszönöm a családomnak az eddigi tanulmányaim során nyújtott szellemi és anyagi támogatást, amely lehetővé tette, hogy idáig eljussak.

Hálás vagyok továbbá Dr. Christian Schnedlnek és DI Andreas Koglernek, a Papierholz Austria GmbH. ügyvezető igazgatóinak, hogy felbecsülhetetlen értékű lehetőséget biztosítottak számomra, engedélyezve a balogunyomi Magyarországi Fióktelep használatát kutatásom céljaira.

Köszönöm évfolyamtársaimnak, Nagy Péternek és Ujhegyi Kristófnak, valamint a Papierholz Austria GmbH Magyarországi Fióktelep munkatársainak, Bontovics Istvánnak és Tóth Andrásnak a terepi felvételezésben és adatszolgáltatásban nyújtott segítségüket.

Irodalomjegyzék

- Bácsatyai, L., & Márkus, I. (2001). Fotogrammetria és távérzékelés. Tankönyvpótló segédlet az erdőmérnök hallgatók részére, Sopron.
- Belényesi, M., Burai, P., Czimber, K., Király, G., Kristóf, D., & Tanács, E. (2013). Távérzékelési adatok és módszerek erdőtérképezési célú felhasználása. An Augur Kft., Budapest, 96.
- Berteška, T., & Ruzgienė, B. (2013). Photogrammetric mapping based on UAV imagery. *Geodesy and Cartography*, 39(4), 158-163.
- Đuka, A., Papa, I., Lovrinčević, M., Bumber, Z., Poršinsky, T., & Tomljanović, K. (2023). Terrestrial vs. UAV-based remote measurements in log volume estimation. *Remote Sensing*, 15(21), 5143.
- Király, G., Balla, C., Barton, I., Mészáros, G., Petrányi, B., & Szabó, K. (2017). Borított felszínmodellek erdészeti felhasználása. In Bidló A.–Facskó F.(szerk.): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VI. Kari Tudományos Konferencia. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, 118-122.
- Polat, N., & Uysal, M. (2018). An experimental analysis of digital elevation models generated with Lidar Data and UAV photogrammetry. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(7), 1135-1142.
- Ruiz, J. J., Diaz-Mas, L., Perez, F., & Viguria, A. (2013). Evaluating the accuracy of DEM generation algorithms from UAV imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 333-337.
- Verhoeven, G., Doneus, M., Briese, C., & Vermeulen, F. (2012). Mapping by matching: a computer vision-based approach to fast and accurate georeferencing of archaeological aerial photographs. *Journal of Archaeological Science*, 39(7), 2060-2070.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.
- Web1: <https://www.dji.com>
- Web2: <https://www.agisoft.com>

- Web3: <http://www.papierholz-austria.at>
- Web4: <https://ec.europa.eu>
- Web5: <https://eur-lex.europa.eu>
- Web6: <https://www.nak.hu/>
- Web7: <https://www.holzforschung.at/>

Ábrajegyzék

1. ábra: Papierholz Austria GmbH. Magyarországi Fióktelepének felülnézete 2024.08.08.	6
2. ábra: ForGEO Puli Rev 2, antennarúd, csipesz	7
3. ábra: Illesztőpont	9
4. ábra: DJI Mavic 3 drón.....	9
5. ábra: DJI Pilot 2 alkalmazás (WEB1: https://www.dji.com).....	10
6. ábra: Agisoft Metashape logó (Web2: https://www.agisoft.com).....	11
7. ábra: Papierholz Austria GmbH. logó (Web3: http://www.papierholz-austria.at).....	12
8. ábra: Borított felszínmodell	15
9. ábra: Normalizált borított felszínmodell – pufferezónák soronként.....	16
10. ábra: 20 kamion faanyagából álló két soros sarang, 2024. július 2.	17
11. ábra: Telephely sematikus rajza, máglyánkénti egészen kerekített űrméter értékekkel .	19
12. ábra: Leszállított mennyiség (L) és D-L közötti regresszió.....	22
13. ábra: Sorok száma és D-L közötti regresszió	23
14. ábra: 3-as számú máglya tömörödése	24

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Mérési eredmények 3, 4, 6, 7, 8, 9, 14 máglyák	19
2. táblázat: Mérési eredmények hármas számú máglya	20
3. táblázat: 30 m és 40 m-es repülési magasság eredményei.....	21
4. táblázat: Máglyák drónos mérései alapján kapott űrméter értékek összehasonlításai a leterhelt faanyag űrméterével	21