



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai/Mérnöki/
Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

SZAKDOLGOZAT

UAV alkalmazási lehetőségei mezőgazdasági szektorban

OE-AMK

2023

Hallgató neve: Juhász Ákos

Hallgató törzskönyvi száma: T000879/F112904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Juhász Ákos

Szaktervezési szám: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: T000879/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: precíziós gazdálkodási szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: UAV alkalmazási lehetőségei a mezőgazdasági szektorban

A dolgozat címe angolul: UAV applications in agriculture

A feladat részletezése:

Szaktervezési alapon foglalja össze az UAV technológiát és a fejlődés trendjét!

Mutassa be a drónos adatgyűjtés előnyeit, illetve hogy melyek a legfontosabb különbségek a műholdas és a drónos adatgyűjtés között!

Részletesen ismertesse a felmérésekhez használt kamerarendszereket!

Mutassa be a legfontosabb növényindex típusokat, számítási módszereket!

Mutassa be a mérésekhez használt eszközöket és az adatok kiértékeléséhez használt szoftvereket!

Tetszőleges mezőgazdasági területen végezzen állapotfelmérést UAV eszközzel! Mutassa be a felmérés folyamatát!

Vizsgálatok során térjen ki a különböző kamerák alkalmazási lehetőségeire a mezőgazdaságban!

Intézményi konzulens neve: Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata Mária

A kiadott téma elévülési határideje: 2026. 02. 10.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szaktervezési: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 10. 24.

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találok: 2023. 12. 15.

Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata Mária

belső konzulens



[Signature]

Intézetigazgató

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai/Mérnöki/
Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozat/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: 2023.12.15.


.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	1
2.	Drónok	2
2.1	Drónok története.....	2
2.2	Korszerű eszközök tulajdonságai	3
3.	Drónos és műholdas távérzékelés	5
3.1	Távérzékelés fogalma.....	5
3.2	Elektromágneses sugárzás szerepe a távérzékelésben	5
3.2.1	Alapvető fizikai törvénye, passzív és aktív távérzékelés.....	5
3.2.2	Elektromágneses spektrum tartományok	6
3.2.3	Felszíni visszaverődés és reflektancia görbe	7
3.2.4	Időbeli, spektrális és radiometriai felbontás	9
3.3	Geometriai felbontás: GSD érték	10
3.3.1	Fényképezési magasság hatása a GSD értékre	10
3.3.2	Kamera felbontásának hatása a GSD értékre.....	13
4.	Kamerarendszerek és alkalmazásuk	14
4.1	Kamerák csoportosítása szenzor típus alapján.....	14
4.1.1	Hőkamera.....	14
4.1.2	Egyállású, NDVI-NDRE mezőgazdasági kamera	16
4.1.3	Teljes értékű multispektrális kamera	17
4.2	Kamerák csoportosítása rögzítés alapján	19
4.2.1	Egyállású, cserélhető kamerarendszerek	19
4.2.2	Gimballal stabilizált nem cserélhető és cserélhető kamerarendszerek	20
5.	Legfontosabb növényegészségügyi indexek és alkalmazásuk.....	21

5.1	Növényegészségügyi indexek jelentősége	21
5.2	Sávegyesítés, képletek elvi működése	22
5.3	Drónos felmérések során leggyakrabban alkalmazott vegetációs indexek	23
5.3.1	NDVI	23
5.3.2	NDRE.....	25
5.3.3	VARI.....	26
6.	Felméréshez felhasznált UAV eszköz	26
6.1	Felmérő eszközök felhasználhatósága	29
7.	Felméréshez használt szoftverek	29
7.1	Térkép készítéséhez szükséges metódusok.....	29
7.2	Adatnyerés – DJI PILOT repüléstervező szoftver	30
7.3	Adatfeldolgozás – Kiértékelő szoftverek	30
8.	Állapotfelmérés mezőgazdasági területen	33
8.1	Tábla adatai	33
8.2	Gyakorlati repülés lépései DJI PILOT programmal	34
8.2.1	Ortofotó jelentése.....	34
8.2.2	Táblahatár kijelölése	35
8.2.3	Repülési információk.....	36
8.2.4	Indítási pont	36
8.2.5	Legfontosabb repülési paraméterek	36
8.2.6	Talajkövetés	38
8.3	Nyersanyagok feldolgozása	38
8.3.1	Ortomozaik előállítás	38
8.3.2	Vegetáció vizsgálata UAV által készített NDVI fényképek alapján	40

8.3.3	Műhold és UAV NDVI térképének összehasonlítása.....	44
8.3.4	Domborzati adottságok vizsgálata	47
8.4	Vetett árnyék, mint mérési hiba	49
9.	Összefoglaló.....	51
10.	Summary.....	52
11.	Hivatkozások	53
12.	Ábrajegyzék	55

1. BEVEZETÉS

A pilóta nélküli légi járművek - hétköznapi nevükön drónok - forradalmi technológiai előrelépést jelentenek az ipar és a mezőgazdaság területén. Mindkét szegmensben számos alkalmazási lehetőségük van, képesek rövid idő alatt hatékonyan és automatizáltan munkát végezni, ezáltal jelentősen csökkentik a költségeket, a munkaerőigényt, javítják a termelékenységét és környezetbarát megoldásokat nyújtanak.

Ezek az eszközök képesek magas szintű adatgyűjtést és analízist végezni akár a növények állapotával és domborzati viszonyokkal a kapcsolatban. Ez lehetővé teszi a gazdálkodók számára, hogy pontosan meghatározzák például a növények víz-, tápanyag- és permetezési igényét, optimalizálva ezzel a termelést és minimalizálva a felesleges költségeket. [1] A légi kijuttatásra alkalmas drónok (permetező drónok) képesek pontosan és precízen permetezni a növényeket, minimalizálva a vegyszerfelhasználást és csökkentve a környezeti terhelést. Röviden fogalmazva nagy szerepet töltenek be a precíziós gazdálkodás folyamataiban.

Emellett természetesen szórakoztató és kreatív hobbi lehetőségeket is kínálnak a felhasználóknak. Egyre többen fedezik fel a drónok repülésének örömét és a fényképezés vagy videórögzítés kreatív lehetőségeit.

Drónos állapotfelméréseket végzek mind ipari és mezőgazdasági területeken, tapasztalom azt, hogy ezek az eszközök mennyi problémának a megoldásában segítenek. Mivel a fejlődésük folyamatos, teljes mértékben innovatív technológia, ezért agilis szemlélettel és hozzáállással készülök a jövőre.

A célom a szakdolgozatomban az, hogy bemutassam, hogy milyen eredményeket lehet elérni különböző kamerák felhasználásával UAV eszköz segítségével kimondottan mezőgazdasági területen. A dolgozat első felében ismertetem a drónos képalkotás legfontosabb alapkérdéseit, a különböző típusú kamerák sajátosságait és felhasználási lehetőségeit, illetve bemutatom a folyamat lépéseit. A második részben pedig gyakorlati példán keresztül prezentálom, hogy hogyan jutunk el az adatfeldolgozásig és az eredmény létrehozásáig, információ megállapításáig.

2. DRÓNOK

2.1 Drónok története

A drónok, másnéven UAV (Unmanned Aerial Vehicles) eszközök hivatalos megnevezése a pilóta nélküli légi jármű, ugyanis a repülés során a vezető személy nem tartózkodik a fedélzeten, ebből adódóan tehát távirányítású eszközöknek minősítjük őket. [2]

Amennyiben ezen megfogalmazás alapján indulunk el, akkor mondhatni évszázadok óta léteznek ilyen eszközök, például az 1849 körüli években kifejlesztett robbanóanyaggal megpakolt pilóta nélküli légi hajók, bár napjaink álláspontja szerint nem soroljuk őket ebbe a kategóriába. Igazi történetük a 20. század elejére, 1915 utáni évekre nyúlik vissza, ahol kezdeményezések alakultak ki és főként katonai célokra, megfigyelésre és felderítési feladatokra alkalmazták őket, de korántsem voltak olyan üzembiztos és megbízható rendszerek. Felismerve ezt a technikai lépéselőnyt az Amerikai Egyesült Államok rohamlépésekben meg is kezdte az UAV eszközök fejlesztését, bár 1980-as évekig nem igazán voltak költséghatékony és stabil megoldások. Az elektronika és számítástechnika gyors fejlődésének köszönhetően az áttörést az 1986-os év hozta, amikor is az első komoly katonai felderítő pilóta nélküli légi jármű piacra került, ez volt a *AII RQ-2 Pioneer*. (2.1. ábra) [3]



2.1. ábra [https://airandspace.si.edu/collection-objects/pioneer-rq-2a-uav/nasm_A20000794000] – AII RQ-2 Pioneer

Ennek hatására az 1980-as évek végétől kezdve a drónok technológiai fejlődése felgyorsult és megjelentek az első kereskedelmi drónok is. Az eszközök kisebb méretűvé, könnyebbé és olcsóbbá váltak, miközben a repülési teljesítményük, tudásuk, üzembiztonságuk és felhasználhatóságuk fokozatosan javult. A 2000-es években a drónok iparban és mezőgazdaságban történő alkalmazása egyre növekedett. Elkezdtek használni légi felmé-

résekhez, műszaki problémák detektálásához, logisztika optimalizálásához is. A mezőgazdaságban lehetővé teszik, hogy a precíziós technikákat alkalmazni tudjuk, például ilyen a domborzat vagy növényi állapot vizsgálat és a légi kijuttatás. [4]

Fejlődésük folyamatosan zajlik és újabb innovációk jelennek meg. A mesterséges intelligencia, az önvezető funkciók, a speciális kamerarendszerek és a hosszabb repülési időt biztosító akkumulátorok fejlődése új lehetőségeket nyitnak meg a drónok alkalmazásában. Az alábbi képen látható egy napjainkban alkalmazott korszerű, 2022 évében gyártott felmérődrón. (2.2. ábra)



2.2. ábra [<https://dron.hrp.hu/dron/dji-mavic-3m/>] – DJI Mavic 3 Multispectral típusú drón

Összességében, a drónok története az elmúlt évszázadban elképesztő fejlődést mutatott. Számos pozitív hatást hoztak a különböző iparágakban, biztosítva hatékonyabb munkavégzést, nagyobb adatpontosságot és gazdaságosabb erőforrás felhasználást.

2.2 Korszerű eszközök tulajdonságai

A napjainkban használt eszközök több paraméterben is fejlődtek az elmúlt évek alatt és az alábbiakban összefoglalom, hogy melyek azok a tulajdonságok, amelyek a legtöbb változáson mentek keresztül.

A modern eszközök jóval kisebb méretűek és könnyebbek, ami hordozhatóságukat jelentősen javítja. Nagyobb sebességet, több üzemmódot, hosszabb repülési időt és nagyobb hatótávolságot kínálnak. Kisugárzott adóteljesítménytől függ, de egy mai drón akár több km-es hatótávolságra is képes, természetesen csak ott, ahol ezt a környezeti viszonyok lehetővé teszik, ugyanis a kommunikáció alapját rádiófrekvenciás átvitel képezi, amely egyenes vonalban terjed és emiatt a nagyobb akadályok jelenléte csökkentheti ezt a távolságot. [4]

A legtöbb mai drón GPS vevőegységgel van ellátva, amely lehetővé teszi a műholdakkal való kommunikációt, ezáltal a pontos pozíciótartást, navigációt és a repülési pályák precíz beállítását, automatizált végrehajtását. A mai drónokban Li-ion típusú akkumulátorokat használnak, mert igen nagy az energiasűrűségük, ezáltal kisebb tömegben nagyobb energiát képesek tárolni. Energiahatékonyságuk folyamatosan fejlődik, ezáltal a legújabb típusokkal akár 40-50 percet is képesek vagyunk a levegőben tartózkodni egy megfelelően töltött akkumulátorral. Másrészről intelligens akkumulátoroknak hívjuk őket, ugyanis automatizált önmerítéses funkciójukkal hosszútávú élettartamot biztosítanak az akkumulátor számára.

A drónokban napjainkban egyre nagyobb hatótávolságú és pontosságú optikai szenzorokat integrálnak. Az optikai szenzorok lehetővé teszik az akadályok detektálását és az ütközésgátlást, ezért nagyobb üzembiztonságra képesek. Amíg kezdetben csak elülső és/vagy hátsó oldalon voltak ezek megtalálhatóak, addig manapság egy új drón akár minden oldalán tartalmaz ilyen optikai szenzort.

Rohamosan fejlődő kamerarendszerekkel egyre nagyobb felbontású fényképet és videóanyagot tudunk rögzíteni. Egy átlagos drón ma már akár 4K felbontásban és 60 FPS értékkel képes videófelvétel készítésére. Viszonyítási alapot a régebbi típusú eszközök adják, ahol az átlagos felbontás a Full HD volt és a képfrissítési érték pedig 30 FPS, amely 1920x1080 képpontból állt és másodpercenként 30 alkalommal frissült a kép. Az újabb eszközök pedig már több, mint négyszer akkora részletezettséget kínálnak a maguk 3840x2160 képpontjával, valamint simább és valóságosabb felvételt a kétszer akkora képfrissítési értékükkel.

Vannak ugyanakkor speciális kamerarendszerek, melyeket ipari és mezőgazdasági felmérésekre alkalmazunk, ilyen például a multispektrális vagy hőkamera, amelyek eltérő hullámhosszúságokon vizsgálják a fény visszaverődést, ezért más-más információszerzésre tudjuk őket használni.

Felmérő drónok lehetővé teszik, hogy akár percek alatt készítsünk a légifelvételtől elemzést és használható információt. Ezekhez a folyamatokhoz tervező és kiértékelő szoftve-

reket használunk, melyek folyamatosan fejlődnek és rengeteg változatuk van, az egyszerűbbtől a komoly mesterséges intelligenciát használó platformokon keresztül találunk megoldásokat.

Ezeknek a tulajdonságoknak köszönhetően, az eddigi tapasztalatok alapján, akár naponta 200 ha kiterjedésű terület is felmérhető a megfelelő típusú eszközzel és szoftverekkel.

3. DRÓNOS ÉS MŰHOLDAS TÁVÉRZÉKELEÉS

3.1 Távérzékelés fogalma

Távérzékelésnek azt a folyamatot nevezzük, amely során a környezetünkben, vagy nem közvetlen a környezetünkben található tárgyakról, jelenségekről adatot gyűjtünk úgy, hogy az adatgyűjtő berendezés nincs közvetlen kapcsolatban a vizsgált tárggyal, jelenséggel. A fényképezés az a távérzékelési adatgyűjtés, amely a tárgytól, jelenségtől meghatározott távolságra objektíven keresztül a beeső elektromágneses sugárzást (beeső fényt) egy fényérzékeny lemezre vetíti, ahol bizonyos kémiai folyamatok során kép keletkezik. Alapvetően a távérzékelést először a földfelszint pásztázó és fényképező műholdakra értettük, viszont manapság már más típusú hordozóeszközökön elhelyezett szenzorok is ugyanúgy gyűjtenek adatokat a földfelszín tárgyai által adott hullámhosszon visszavert vagy kisugárzott elektromágneses energiával kapcsolatban. [5] Ilyen eszközök például a repülőgép, helikopter vagy pilóta nélküli légi jármű, drón. Fontos, hogy a távérzékelés fogalmába nem csak az adatok gyűjtésének folyamata, hanem a kapott adatok feldolgozása is beletartozik, melyet a későbbiekben fogok bemutatni. Ebben a fejezetben a műholdas és drónos távérzékelés tulajdonságait szeretném összehasonlítani.

3.2 Elektromágneses sugárzás szerepe a távérzékelésben

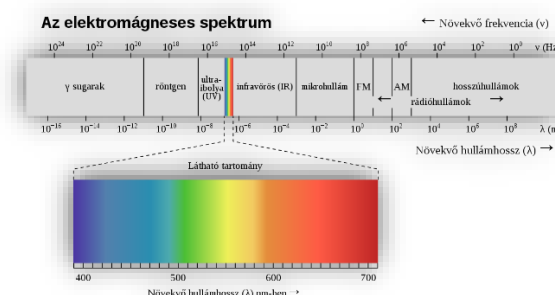
3.2.1 Alapvető fizikai törvénye, passzív és aktív távérzékelés

Amint már említettem, légifelvétel készítés során legyen szó műholdas vagy drónos felvételezésről, úgy gyűjtünk adatokat, hogy a szenzorok a földfelszín tárgyai által vissza-

vert vagy kisugárzott elektromágneses energiát rögzítik. Ehhez a folyamathoz pedig szükséges egy fényforrás, amely a beeső fénysugarakat biztosítja. Passzív távérzékelésről beszélünk, amennyiben a Napból érkező és a felszín által visszavert vagy saját kibocsátott sugárzást detektálunk. Távérzékelés során leggyakrabban természetes fényforrást alkalmazunk. Aktív távérzékelésnek nevezzük azt, amikor az elektromágneses sugárzás forrása és a detektáló szenzorok egyaránt ugyanazon eszközön találhatóak. [5] [6]

3.2.2 Elektromágneses spektrum tartományok

Vizsgálat során az elektromágneses spektrumot több részre osztjuk, mert más-más információt hordoznak az eltérő hullámhossz tartományok. Általában két halmazról beszélünk, ami nem más, mint a szabad szemmel látható és a szabad szemmel nem látható. Az alábbi ábrán látható az elektromágneses spektrum részeire bontása. (3.1. ábra)



3.1. ábra [https://hu.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1that%C3%B3_spektrum] – Elektromágneses spektrum

A látható fénytartomány 400 és 700 nm között található. Ezt további három részre tudjuk bontani, a kék tartományra, amely 450 és 495 nm között, a zöld tartományra, amely 495 és 570 nm között, valamint a piros tartományra, amely 620 és 700 nm között észlelhető. [6]

Mezőgazdasági felmérések fontos részét képezi a látható fénytartományon belüli vizsgálat. Azokat a kamerarendszereket, amelyek ilyen szűrővel vannak felszerelve, azokat RGB (R, mint „red” vagy piros, G, mint „green” vagy zöld, B, mint „blue” vagy kék) kameráknak nevezzük. RGB kamerákkal vizsgáljuk a növényzet klorofill, vagy növényi életerő tartalmát. Az tapasztalható, hogy annál nagyobb a klorofill tartalma a növénynek,

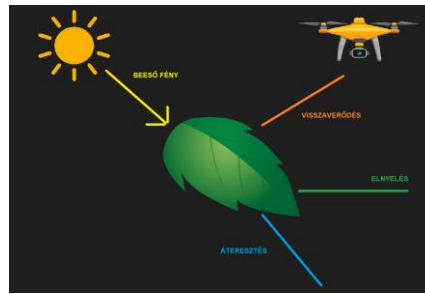
minél nagyobb mennyiségben ver vissza zöld, és minél nagyobb mennyiségben nyel el piros fényt. [5]

Másik fontos tartomány a szabad szemmel nem látható infravörös tartomány, amely elég széles sávon, 0.75 mikrométertől 15 mikrométerig észlelhető. Ez a tartomány is további három részre osztható. Az első a közeli infravörös tartomány (NIR), amely 700 és 1300 nm között detektálható. A látható fényhez hasonlóan itt is felszín által visszavert napsugárzás közvetíti az információt. A második a középső infravörös tartomány (MIR), amely 1300 és 3000 nm között található. Itt is a visszavert napsugárzás játssza a fő szerepet, bár a kibocsátott energia a távoli infravörös rövidebb hullámhosszú részében is érzékelhető. Ezért a termovíziós felvételeket érdemes napnyugta után, vagy inkább napkelte előtt rögzíteni. A harmadik a távoli infravörös tartomány, amely 3000 és 15000 nm között észlelhető. Itt jelentőssé válik a felszín által kibocsátott sugárzás, melynek segítségével a felszín termális tulajdonságait vizsgálhatjuk. [5] [6]

Külön kategóriának említjük a mikrohullámú tartományt, amely 1 mm – 1m közé tehető. Ennek a tartománynak az az előnye, hogy a légkörnek elég csekély befolyásoló hatása van a mikrohullámokra, ezáltal a felvételezés független a napszaktól és időjárási viszonyoktól. [6] Éppen ezért, mivel ez a tulajdonság az előzőekben tárgyalt többi tartományra nem érvényesül, ezért a vizsgálat során nagy figyelmet kell fordítani a felmérés környezeti körülményeire, az esetleges befolyásoló tényezőkre.

3.2.3 Felszíni visszaverődés és reflektancia görbe

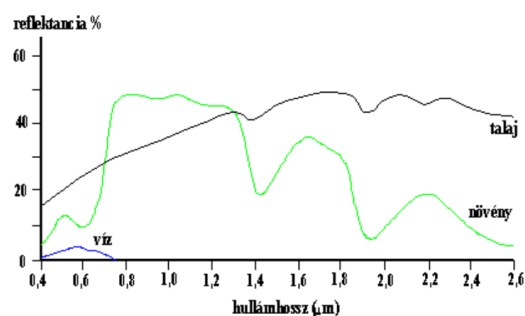
Mezőgazdasági légifelvétel készítésekor leginkább a növényi kultúrának az állapotát vizsgáljuk. A Nap beeső fénysugarai kölcsönhatásba lépnek a növényzettel, melynek következtében az energia egy részben áteresztődik (transzmittál), elnyelődik (abszorbál), egy része pedig visszaverődik, ezt jelenséget nevezzük reflexiónak. Az alábbi ábrán látható leegyszerűsítve ez a folyamat. [5] (3.2. ábra)



3.2. ábra – Beeső fénysugarak kölcsönhatása a növényzettel

A visszavert fénysugarak lesznek a legfontosabb elemek, ugyanis ezeket a sugarakat tudjuk detektáló berendezések segítségével vizsgálni. Fontos, hogy ezt különböző hullámhossz tartományokon tesszük meg, mert más-más információt tudunk kiolvasni belőlük. Ehhez több típusú kamerarendszereket alkalmazunk, melyeknek működését a későbbiekben fogom bemutatni.

Az elnyelt, áthaladó és visszavert energia aránya a felszín anyagának típusától és állapotától függ. Ezért van az, hogy a száraz talajfelszín, a tiszta vízfelszín, vagy a zöld növényzet teljes mértékben másképpen reflektál a különböző hullámhossz tartományokban. Ezeket pedig úgynevezett reflektancia görbékben fejezzük ki. [5] [6] [7] Az alábbi ábrán látható kék színnel a víz, fekete színnel a talaj és zöld színnel az egészséges növényzet általános reflektancia görbéje. (3.3. ábra)



3.3. ábra – Reflektancia görbe

Látható például, hogy az egészséges növényzetnek teljesen más a visszaverődési értéke látható, illetve infravörös tartományban. Egészséges növényzet elég csekély mennyiségben ver vissza látható, és annál magasabb értékben közeli infravörös fényt. Ennek hatására, ha a diagramot megnézzük, a két pont között elég nagy lesz a távolság, amely rengeteg információt hordoz a kultúra állapotával kapcsolatban.

A diagram alapján elmondható, hogy mezőgazdasági felmérések során leginkább a látható és a közeli infravörös tartományban vizsgálódunk.

3.2.4 Időbeli, spektrális és radiometriai felbontás

Az **időbeli felbontás** az időbeli változások gyakoriságát jelzi a képalkotás során. Azt mutatja, hogy mi az az időintervallum, amely elteltével ugyanazon területről tudunk adatot, felvételt rögzíteni. [5]

A drónok képesek gyorsan és rugalmasan képeket rögzíteni, és lehetőség van gyakoribb időközönkénti felvételekre. Könnyű manőverezhetőségüknek köszönhetően a terület bármely pontjáról bármely időpillanatban képesek fényképet készíteni. A műholdak képesek nagy területek felmérésére, de általában nem rendelkeznek olyan gyakori felvételi időközökkel, mint a drónok. Műholdas felvételeknél típustól függően 1 hét, 1 hónap vagy akár több hónap is lehet. A felbontás növelése érdekében vannak műholdrendszerek, amelyek egyidejűleg több műholdat is üzemeltetnek, például SPOT vagy Landsat.

A **spektrális felbontás** az elektromágneses spektrum különböző tartományainak a lefedettségét jelzi a képalkotás során. Alapvetően az elektromágneses spektrum több tartományát is használjuk vizsgálatok során, több felvételi sávban készített felvétellel a tereptárgyak jobban elkülöníthetők, mint egyetlen sávban készült felvétellel. Sávok számának megválasztása mindig feladatfüggő, de általában ez a szám 3 és 8 között van, és nem csak multispektrális, hanem pankromatikus sávokat is alkalmazunk, amelyek általában egy spektrális sávot felvételeznek, úgy, hogy integrálják, lefedik a teljes látható tartományt és belenyúlnak a közeli infravörös tartományba is. [5]

A drónok sokféle kamera- és szenzorrendszerrel felszerelhetők, amelyek különböző spektrális sávokban képesek képeket rögzíteni. Gyártók által meghatározott az, hogy melyik eszköz mire képes és milyen rendszerrel kompatibilis. A műholdas képalkotásnak széles spektrális lefedettsége van, amely tartalmazhat látható fényt, infravörös és egyéb spektrális sávokat is.

A **radiometriai felbontás** a rögzítő berendezés által mért sugárzási mező mérési szintjeinek száma. Az érzékelő a beérkező energiamennyiséget digitális számokká alakítja. Ez azt mutatja meg, hogy a felvételt képpontonként, sávonként mekkora, hány bites számok

írják le. Leggyakrabban használt szintszám a 256, amely 2^8 érték, tehát 8 bites a leíró érték. Ebből következően a legkisebb referenciaérték a 0, a legnagyobb pedig a 255 érték. Használhatnak még 10-12 bites rendszereket is, ami nagyobb radiometriai felbontáshoz vezet, 1024 vagy 4096 intenzitás szintnek felel meg. Magasabb számokkal több és finomabb árnyalatokat lehet kifejezni, ami különösen fontos lehet például a földhasználati elemzéseknél, növényzet monitoringnál. [5]

3.3 Geometriai felbontás: GSD érték

A geometriai felbontás a képalkotás térbeli részletességét jelzi. Az tapasztalható, hogy drónok esetében a geometriai felbontás kedvezőbb, mert alacsonyabb magasságból képesek felvételezni, ilyenkor a képérzékelő szenzor közelebb található a vizsgálandó tárgyhoz, jelenséghez, ezáltal részletgazdagabb lesz az elkészült fénykép. [5]

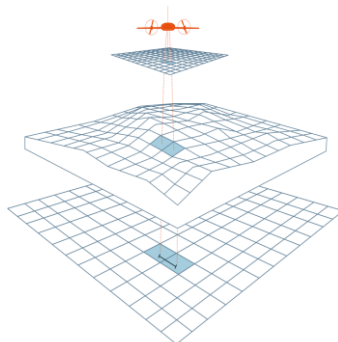
A geometriai felbontást úgynevezett GSD értékkel jellemezzük, melynek teljes elnevezése a „*Ground Sample Distance*”. Nevéből adódóan a GSD érték az elkészült fényképen az 1 pixel földfelszínre vonatkoztatható méretének értékét jelenti. Tulajdonképpen ez adja meg a felvételezés során elkészült térkép felbontását. Műholdas képalkotás esetében ez a GSD érték több méter*méter alapú, tehát típustól függően egy műholdas térkép például 10*10 méteres pixelméretű. Ezzel szemben drónok esetében centiméter / képpont alapon (rövidítve: cm/px) készítjük a térképeket, tehát kijelenthető, hogy ezzel a technológiával centiméter alapú lehet a felbontás. [7]

A GSD érték általában két fontos paramétertől függ, ez pedig a fényképezési magasság, illetve a kamera felbontása.

3.3.1 Fényképezési magasság hatása a GSD értékre

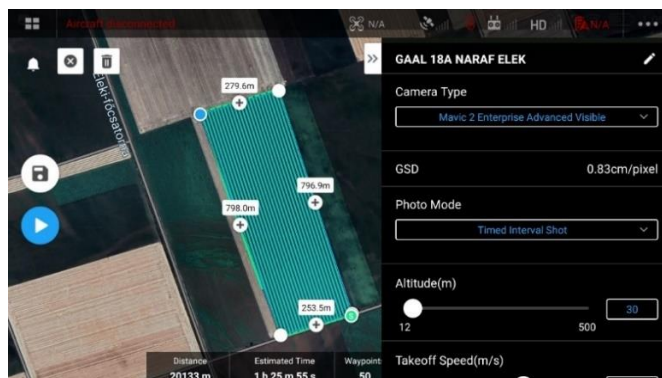
Drónos repülés során állítható a repülési magasság. Megfigyelhető, hogy minél nagyobb magasságon dolgozunk, annál inkább nő a GSD érték, tehát egy képponthoz nagyobb egységnyi terület fog tartozni. Ilyenkor nő a látótartomány, viszont a pontosság fordítottan arányos, tehát csökken. Minél alacsonyabban végzem a repülést, annál kisebb lesz ez a GSD érték, csökken a drón látótartománya, viszont a pontosság ezáltal nő. Az alábbi

ábrán szemléltethető, hogy miképp változik a GSD érték a magasság függvényében. (3.4. ábra)



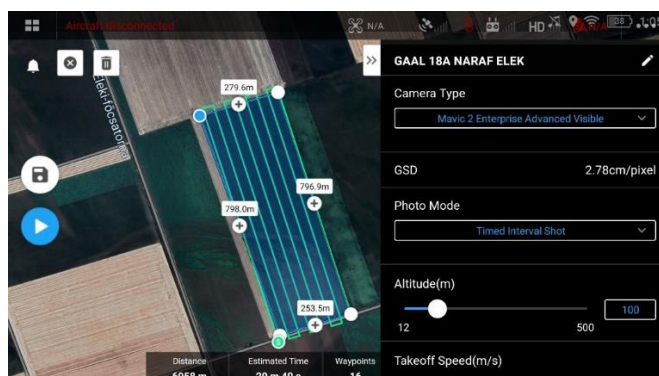
3.4. ábra [<https://wingtra.com/how-ground-sample-distance-gsd-relates-to-accuracy-and-drone-roi/>] – GSD érték

A fényképezési magasságot a repüléstervező szoftver (DJI PILOT) segítségével tudom beállítani a drón számára és egy szemléltető ábrán bebizonyítom, hogy az előbb elmondottak alapján változik a GSD érték 30 (3.5. ábra) vagy 100 méterről fényképezve ugyanazt a területet. (3.6. ábra) A programban – ahogy a képen is látható - az „Altitude” paraméter jelzi a tervezett repülési magasságot.



3.5. ábra – Repülés tervezése 30 méteres repülési magasságban

Látható, hogy 30 méteres repülési magasságon a GSD érték 0.83 cm / px.



3.6. ábra – Repülés tervezése 100 méteres repülési magasságban

100 méteres magasságon viszont a GSD érték már csak 2.78 cm / px. Látható, hogy változik a magasság függvényében, illetve a drón annál több időt kell a levegőben tartózkodjon, minél alacsonyabb a repülési magasság. 30 méteres magasságon a repülési idő 1 óra 25 perc, míg 100 méteres magasságon a repülési idő csak 30 perc a jelenlegi beállításokkal.

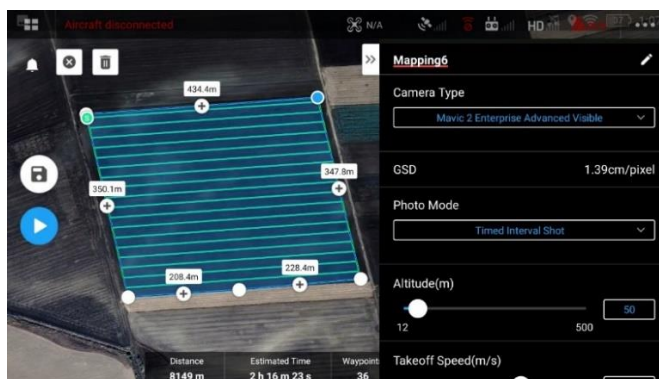
Mondhatni akkor a legoptimálisabb a térkép, ha minél nagyobb a felbontása, ezért nagyon precíz méréseknél arra törekszünk, hogy ez a GSD érték viszonylag kis értékű legyen. Általában drónos felmérések során 1-2 cm/pixel érték között szoktuk a precízebb mezőgazdasági felméréseket végezni, ilyen például egy kijuttatási terv készítés. Ugyanakkor elmondható az is, hogy kisebb precizitást igénylő felmérések – például egy kárfelmérés – esetén a felbontást nyugodtan csökkenthetjük, ilyenkor akár 5-10 cm/pixel felbontással is dolgozhatunk. Egy másik ábrán (3.7. ábra) pedig jól látható, hogy ugyanazon terület rész azonos időben teljesen más magasságból, más GSD értékkel lett felvételezve, és ennek megfelelően látszik a két térkép közötti felbontás és pontossági különbség. Ábra bal oldalán a kisebb GSD érték, az ábra jobb oldalán a nagyobb GSD érték látható.



3.7. ábra [<https://wingtra.com/how-ground-sample-distance-gsd-relates-to-accuracy-and-drone-roi/>] – GSD érték különbségének látható eredménye

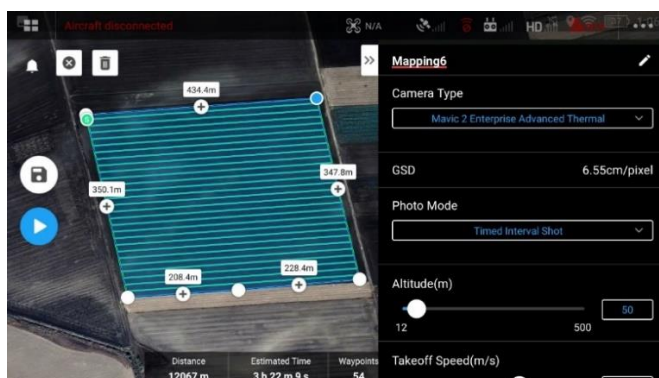
3.3.2 Kamera felbontásának hatása a GSD értékre

A másik fontos paraméter a felméréshez használt kamera felbontása, ugyanis nem minden kamerarendszer rendelkezik megegyező tulajdonságokkal, ilyen például a látószög vagy felbontás. Ezért nem minden szenzor készít azonos magasságban azonos felbontású eredményt. Térkép készítés során fontos, hogy tisztában legyünk a különböző kamerák sajátosságaival, hogy ez ne befolyásolja az elvégzendő vizsgálatot. Az alábbiakban látható egy példa, hogy két különböző, egy nagyobb (3.8. ábra) és egy kisebb felbontású (3.9. ábra) kamerát azonos magasságból szeretnénk alkalmazni és ennek megfelelően, hogyan változik a GSD érték.



3.8. ábra – GSD érték változása 8000*6000 képpontból álló kamerával

48 MP (8000*6000 px) RGB kamerát alkalmazva, 50 méter fényképezési magasságot beállítva a GSD érték 1.39 cm / px.



3.9. ábra – GSD érték változása 640*512 képpontból álló kamerával

Egy 640*512 képpontból álló rendszerrel fényképezve, melynek a felbontása töredéke az előző választáshoz képest, azonos 50 méteres repülési magasságot beállítva a kapott GSD értékünk csak 6.55 cm / px.

4. KAMERARENDSZEREK ÉS ALKALMAZÁSUK

4.1 Kamerák csoportosítása szenzor típus alapján

Drónos felmérések során napjainkban lehetőség van többféle típusú és minőségű kamerarendszer rögzítésére, ezáltal több iparágban tudjuk őket alkalmazni. Alapvetően irányadó rendszernek számít az RGB kamera, ugyanis a legtöbb eszköz alapértelmezetten tartalmazza. Ennek a rendszernek a működését kifejtettem az előző fejezetben. Használjuk hétköznapi fényképezés, filmezés során, de mezőgazdaságban és ipari szektorban is alkalmazzuk számtalan feladatra, például károk detektálására, domborzati feltérképezésekre vagy fotogrammetriás 3D modellezésre is. Ugyanakkor vannak speciális feladatok, mint például termovíziós felvételezés vagy növényállapot mérés, ahol az előző megoldás sajátos kötöttségei miatt kivitelezhetetlen a feladat, így más rendszereket kell igénybe vegyünk.

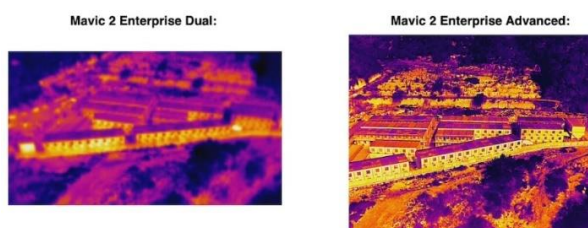
4.1.1 Hőkamera

Az emberi szem ugyan képtelen érzékelni, viszont infravörös tartományban abszolút nulla fok felett a testek elektromágneses sugarakat bocsátanak ki magukból. Ahhoz, hogy ezt detektálni tudjuk segédeszközzre van szükség, amelyet hőkamerának vagy termovíziós kamerának nevezünk. Ábrán látható módon drónokba is integrálják őket. (4.1. ábra) A műszer átalakítja az energia hullámokat feldolgozható képpé, így képesek érzékelni és megjeleníteni a hőmérséklet különbségeit és hőmintázatokat. Infravörös sugárzás 8-14 μm közötti hullámhossz tartomány alapján működnek és a berendezés minden képpontja egy hőmérsékleti érzékelőt tartalmaz és ezáltal egy hőmérsékleti képpontot jelenít meg a kijelzőn látható színes pont formájában. [8]



4.1. ábra – Hőkamera a drónban

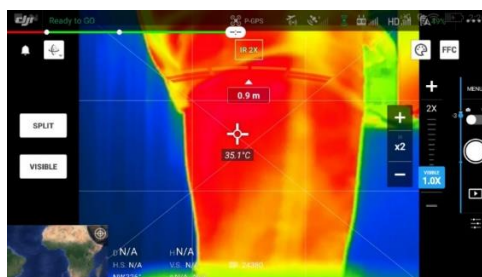
A hőkamerák felbontása töredéke egy piacon kapható RGB kamerához képest. Drónokba integrált hőkamerák legnagyobb felbontása 640x512 pixel jelenleg, amely elég részletes eredményt nyújt számunkra, ugyanis régebbi típusoknál ez csak 160x120 pixel volt. Ezen az ábrán két egymást követő széria és felbontási különbségük látható. (4.2 ábra)



4.2. ábra [https://www.agsgis.com/Mavic-2-Enterprise-New-Advanced-model-compared-to-the-DUAL-and-ZOOM_b_1071.html] -Hőkamerák felbontásának különbsége

Ezeknél a kameráknál állítható az érzékelési hőtartomány is. Az egyik tartomány a „High” (széles) tartomány, ahol körülbelül -20 és 450 Celsius fok között érzékeljük a hőmérsékleti változásokat. Itt az érzékenység alacsonyabb lesz, mivel a kisebb hőmérsékleti differenciák nem igazán érzékelhetők. Ezzel szemben a „Low” (keskeny) tartománynál ez az intervallum -20 és 150 Celsius fok közé esik. Itt az érzékenység nagyobb lesz, tehát a minimális hőmérsékleti differenciák jobban érzékelhetők. Precízebb méréseknél ezt alkalmazzuk. [8]

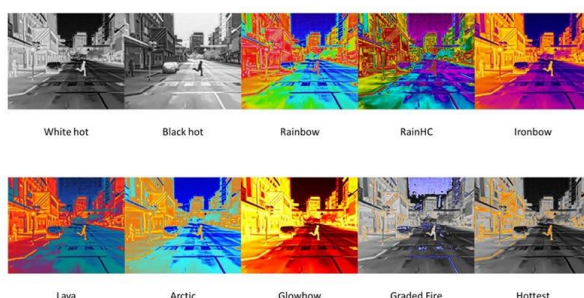
Drónokban használt hőkamerák esetén fontos szempont a radiometrikus képesség, ugyanis alkalmasak arra, hogy akár képpontonként is jelezni tudják az aktuális pont hősugárzás értékét hőmérsékletértékben kifejezve a beállított mértékegység szerint, általában Celsius fokban. (4.3. ábra)



4.3. ábra – Hőkamerák radiometrikus képessége

Állítható még a megjelenítéshez használt színpaletta is. (4.4. ábra) Itt fontos megjegyezni, hogy eltérő színpaletta más-más színvilágot rendel eltérő hősugárzási szintekhez, ezáltal

ezek a paletták más-más feladat elvégzésére optimalizáltak. Általában a hűvösebb tárgyakat kékbe vagy inkább feketébe tartó színátmenettel, a melegebb tárgyakat pedig sárgába, pirosba vagy fehérbe tartó színátmenettel láthatjuk. [8] Többek között például kutatás-mentés és vadszámolás feladatokhoz használják a „White hot/Black hot” palettát, ugyanis itt a legkevesebb a felhasznált szín és a legnagyobb a kontraszt, tehát ezzel azt tudjuk kiszűrni könnyedén, hogy van-e valamilyen élő objektum, adott esetben vad a területen.



4.4. ábra [<https://www.dronefly.com/blogs/news/the-best-thermal-drones-and-thermal-cameras/>] – Hőkamerák állítható színpalettája

A hőkamerák széles körben alkalmazhatók a biztonságtechnika, energetika, és az épületdiagnosztika területén. Mezőgazdasági szektorban is használják például hőtérkép készítésre, aszályos területek kiszűrésére, illetve vadgazdálkodási feladatokra is.

4.1.2 Egyállású, NDVI-NDRE mezőgazdasági kamera

A multispektrális kamerák olyan eszközök, amelyek több elektromágneses spektrális sávot érzékelnek és rögzítenek egyszerre. Ezek a kamerák képesek vizsgálni a látható fényen túlmutató tartományokat, például az infravörös tartományt is. Ezáltal lehetővé teszik a részletes és sokoldalú spektrális információk gyűjtését és elemzését különböző alkalmazási területeken. [6] Kimondottan mezőgazdaságban lehetővé teszik a növények egészségi állapotának, stresszszintjének és tápanyag ellátottságának vizsgálatát, a talaj tulajdonságok és a vízminőség elemzését, a természeti erőforrások monitorozását és az ökológiai változások észlelését. [6] Multispektrális kameráknak is több típusa van. Vannak az egyszerűbb egy, illetve két lencséből álló, egyállású mezőgazdasági kamerák, amelyeket nem nevezünk teljes értékű multispektrális kameráknak, illetve vannak a hat különböző lencséből álló teljes értékű multispektrális kamerák. Ezek közti különbséget fogom tárgyalni az elkövetkezendő bekezdésekben.

Az 1 vagy 2 lencséből álló, egyállású mezőgazdasági kamerák sávegyesítési technikájukból adódóan csak egy, maximum kettő vegetációs index feldolgozását teszik lehetővé. A leggyakrabban alkalmazott ilyen kamerák az úgynevezett NDVI, illetve NDRE kamerák. Úgy működnek, hogy egy lencse mindig kettő különböző fénytartományt rögzít, tehát két sávon detektálja egyszerre a fény visszaverődést, összevonja a felvételezett sávokat, egy képlet alapján digitalizálja azt és abból állít elő egy NDVI/NDRE vegetációs index értéket. Általában az összevont két tartomány közül az egyiket mindig a láthatóból, a másikat pedig a nem látható tartományból veszik. [9] [10] Azt is fontos megjegyezni, hogy ezek a kamerák nem sávonként készítenek fényképeket, hanem az összevonási művelet folyamán egy darab összevont NDVI vagy NDRE fénykép fog készülni. A leggyakoribb ilyen kétlencsés egyállású mezőgazdasági kamera az NDVI és NDRE kamera (4.5. ábra).



4.5. ábra – NDVI, NDRE kamera

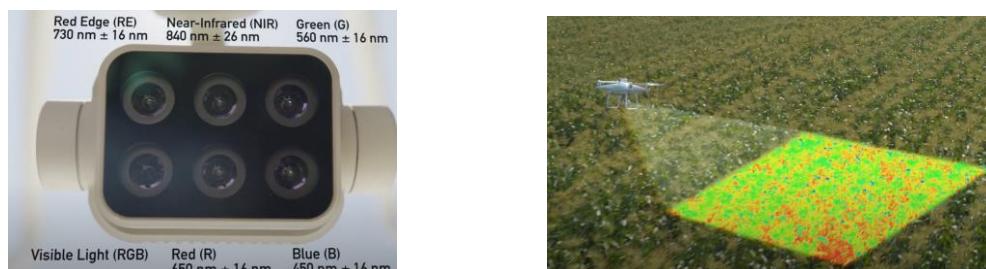
A képen látható módon ezek a drón testére speciális tartószerkezettel külsőleg, utólag rögzített rendszerek. Ezeket a kamerákat azért alkalmazzuk, mert költséghatékonyabb megoldások, mint a teljes értékű multispektrális rendszerek, ugyanakkor csak bizonyos típusokra felszerelhetők. Ezek mellett az is elmondható, hogy a mezőgazdasági, egészségügyi állapotellenőrzési, tápanyag ellátottsági vizsgálat során a leggyakrabban felhasznált ilyen vegetációs index az NDVI és NDRE.

4.1.3 Teljes értékű multispektrális kamera

A teljes értékű multispektrális kamerák az 1-2 lencséből álló mezőgazdasági kamerákkal szemben nem csak 1-2 sávot rögzítenek egyszerre, hanem hat különálló lencsével hat különböző sáv tartalmát is. Ezáltal ebben az esetben különböző nyers fénykép fog készülni minden egyes sávban és a sávokat tetszőlegesen vegyíthetjük feldolgozás során.

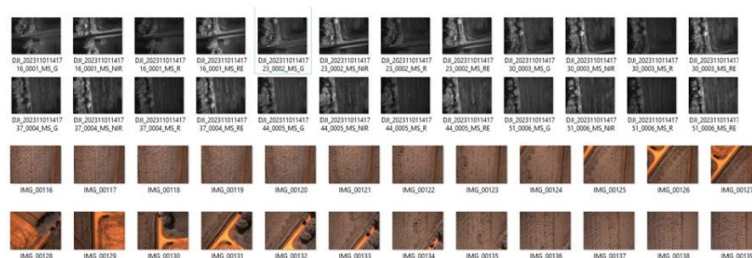
Ez azt jelenti, hogy nem csak az NDVI vagy NDRE indexet tudjuk megvizsgálni a területen, hanem bármilyen más típusú vegetációs indexet is. [6] Így több kérdésre tudunk válaszolni, viszont a bekerülési költségük is jóval magasabb, többszörösük az előző megoldáshoz képest. Multispektrális kamera a következő lencséből épül fel: R (vörös), G (zöld), B (kék), RGB, Red Edge (vörös határfény), NIR (közeli infravörös). Az alábbi ábra (4.6. ábra) bal oldalán látható egy ilyen multispektrális kamera feliratozva a hozzá tartozó sávmegjelölésekkel.

Ezen felül elmondható, hogy multispektrális kameráknak az is előnyük, hogy drónba integrálva, tehát nem dróntól függetlenül működnek, ezáltal lehetőségünk van már repülés közben megtekinteni a multispektrális kamera által nyújtott élőképet, így már előben láthatjuk a különböző indexek leképezéseit. (4.6. ábra jobb oldali képe)



4.6. ábra [https://enterprise-insights.dji.com/blog/all-about-p4-multispectral?utm_source=youtube&utm_medium=video&utm_campaign=intro] – Multispektrális kamera

Tárhely szempontjából a multispektrális kamerának hátránya lehet az, hogy mivel mind-egyik lencsével készít különállóan fényképet, ezért nagyobb mennyiségű tárhelyet kell biztosítanunk számára, mint ez előzőekben említett NDVI, NDRE kamerák esetében. Szemléltetésképp bemutatok egy ábrát, ahol felmérés után látható a drón tárhelyén a két különböző kamerarendszer által rögzített állományok sorozata. (4.7. ábra) Látható, hogy a multispektrális kamera egymás után rögzít ugyanabban az időpillanatban több fényképet is, a fájl elnevezésekből lehet tudni, hogy melyik sáv látható éppen az elkészült fényképen (például „R”, „RE” ... stb.), az NDVI kamera pedig egy időpillanatban csak egy NDVI fényképet készít és csak egy sorszám található a fájl elnevezésében. Felső részben a multispektrális, alsó részben pedig az NDVI fényképek találhatók.



4.7. ábra – Multispektrális és NDVI,NDRE fényképek

4.2 Kamerák csoportosítása rögzítés alapján

Az előzőekben felsorolt kamera típusokat különböző módokon rögzítik drónokon, a különböző rögzítési megoldások, más-más működési konstrukciót jelentenek.

4.2.1 Egyállású, cserélhető kamerarendszerek

Ez az a csoport, amely kimondottan a külsőleg, speciális tartószerkezet segítségével felhelyezett mezőgazdasági kamerákat foglalja magában. Ezeket a kamerákat nem minden típusra lehet rögzíteni, gyártó által elő van írva az, hogy melyek azok a típusok, melyek alkalmasak ilyen formájú plusz hasznos teher rögzítésére. Ezek a rendszerek külsőleg és nem gyárilag felszereltek, tehát nem integrálva vannak a drónban, így a dróntól teljesen függetlenül működnek. Saját szoftverük („firmware”) van, teljesen önállóan, automatizáltan készítenek képeket a repülés során. Tartalmaznak többféle érzékelőt, például mozgásérzékelőt és GPS vevőegységet, így amikor létrejött a műholdas kapcsolat és mozgásba lendült a drón, akkor megkezdik rögzíteni a képállományokat a bennük található tárhelyre, amely általában egy SD kártya.

Az ábrán (4.8. ábra) látható módon több gumipárnával rögzítik felületre ezeket a kamerákat, melyek hatására a mozgásból fakadó folyamatos rezgést ki tudják küszöbölni.



4.8. ábra – Egyállású mezőgazdasági kamerák rögzítése

Hátrányuk az, hogy mivel nincs közvetlen kapcsolatuk a drónnal, ezért a külső kamerák élőképét nem tudjuk megtekinteni a repülés során. Forgástengelyük nem vezérelhető, tehát a kamera állásszöge nem állítható, minden esetben -90 fok, teljesen merőleges a felmérni kívánt területre. Ezért nevezik előre meghatározott módon rögzített, röviden „fix állású” rendszereknek.

4.2.2 Gimballal stabilizált nem cserélhető és cserélhető kamerarendszerek

A kamerarendszer fontos egységét képezi az úgynevezett gimbal. A gimbal egység (4.9. ábra) feladata a mechanikus képstabilizálás megvalósítása, amely tömören megfogalmazva azt jelenti, hogy a kamera mindig nyíl egyenesen néz a felvételezni kívánt irányba. Amennyiben mozgást végzek, akkor ezt kompenzálja és ellentétes irányban végez mozgást. Ennek segítségével rezdületlen képet kapunk minden másodpercben. Emellett a forgástengelyek vezérelhetővé válnak és a kamerák állásszögét állítani lehet. A szögállítás formája az típusonként eltérhet, vannak olyan rendszerek, ahol csak 0 és -90 fok között, vannak, ahol 30 és -90 fok vagy 60 és -90 között, de találhatók olyanok is, ahol akár teljes 360 fokban lehet állítani az állásszöget. Természetesen az utóbbi rendszerek igen magas árkategóriába tartoznak. Az irányadónak tekinthető -90 fok azért hasznos, mert mezőgazdasági vizsgálatok többségében egy felülnézeti képet, úgynevezett ortofotót készítünk, amelyhez ezt a beállítást alkalmazzuk leginkább.



4.9. ábra – Gimbal egység

Fontos megjegyezni, hogy a mozgásból fakadó rezgést nem a gimbal önmagában, hanem a felületre rögzített gumipárnák végzik. (4.10. ábra)



4.10. ábra – Gumipárnák a gimbal egységben

Gimballal stabilizált rendszerek között is vannak, amelyek nem cserélhetők. Ez azt jelenti, hogy a gépen kizárólag csak azt a típusú kamerát használhatjuk, amelyet a gyártó rögzített. Jelenleg piacon kapható ilyen multispektrális típus például DJI Mavic 3 Multispectral vagy DJI Phantom 4 Multispectral. Hasonló hőkamerás rendszer például DJI Mavic 2 Enterprise Dual Advanced vagy DJI Mavic 3 Thermal.

A legmagasabb, már-már prémium kategóriának számító típus a gimballal stabilizált és cserélhető csoport. Ha egy ilyen eszközt vásárolunk, akkor itt egyrészt a forgástengely is vezérelhető bármilyen irányban, de a kamera egység is bármikor cserélhető. Arányaiban mérve ezek a rendszerek egyre kompaktabbak és a bekerülési költségük ezzel egyenes arányban nő. Ilyen típusú eszköz a jelenleg is piacon levő DJI MATRICE család szériája. (4.11. ábra)



4.11. ábra [<https://sentera.shop/products/6x-system>] – Gimballal stabilizált, cserélhető kamerarendszer

5. LEGFONTOSABB NÖVÉNYEGÉSZSÉGÜGYI INDEXEK ÉS ALKALMAZÁSUK

5.1 Növényegészségügyi indexek jelentősége

A növényegészségügyi indexek olyan fontos eszközök, amelyek segítségével felmérhetjük és értékelhetjük a növények egészségi állapotát vagy tápanyag ellátottságát. Ezek a

mutatók lehetővé teszik a növények potenciális betegségekkel szembeni ellenálló képességének és reakcióinak nyomon követését. Az alábbiakban összefoglalom, hogy vizsgálatukra miért van szükség és mi a jelentőségük.

A növényegészségügyi indexek lehetővé teszik a korai figyelmeztetést a kártevők és betegségek jelenlétére. Ez segít a gazdálkodóknak időben lépéseket tenni a megelőzés érdekében, mielőtt a probléma károsítaná a növényeket. [11] Már akkor megállapításokat tudunk tenni, amikor az emberi szem még mindent zöldnek lát. Hatékony erőforrás kezelésben is segítenek, ugyanis, a vegetációs indexek segítségével a termelők pontosan azonosíthatják például a betegséggel fertőzött területeket és célzottan alkalmazhatnak beavatkozásokat. Ez lehetővé teszi az erőforrások (víz és vegyszer) hatékonyabb felhasználását. [11] A növényegészségügyi indexek alapján a gazdálkodók pontosabb döntéseket hozhatnak a termesztéssel kapcsolatos teendőkről. Képesek meghatározni, hogy mely területekre kell a legnagyobb figyelmet fordítani és melyek azok, amelyek a legnagyobb terméshozamot produkálhatják.

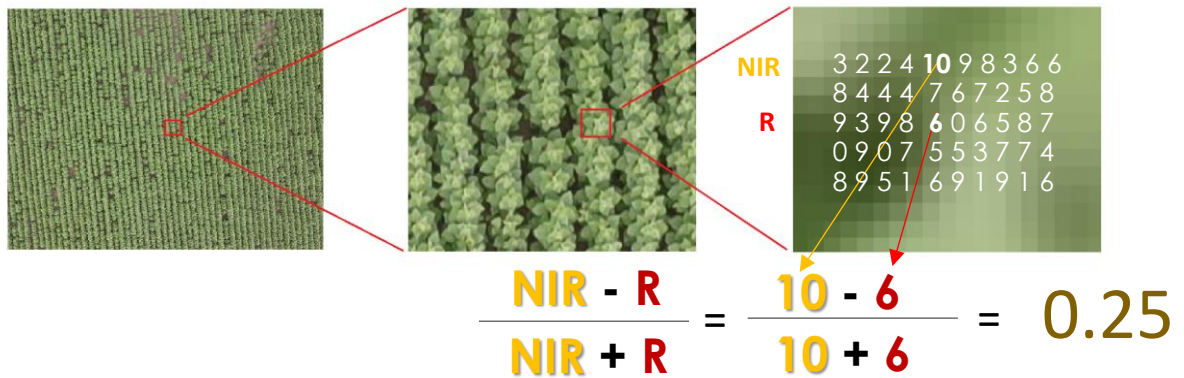
5.2 Sávegyesítés, képletek elvi működése

Ezek a növényegészségügyi indexek egymáshoz képest nagyon hasonlóan működnek, ugyanis mindegyikük úgynevezett sávegyesítési technikát alkalmaz. Külön-külön vegyítünk sávokat, például a nem látható, illetve a látható fénytartományból. Ez azért van így, mert, ha csak adott két-három sáv tartalmát vegyítem és hasonlítom össze egyszerre, akkor több és pontosabb információt vagyok képes belőle kiolvasni, mint amennyiben csak egy, vagy akár tíz sávot vizsgálnék egyidőben.

Maga a sávegyesítés fogalma azt jelenti, hogy 1 sáv tartalmában több sáv tartalmát egyesítjük. Tulajdonképpen feladat válogatja azt, hogy éppen melyik típusú indexet kell alkalmazunk. [6] Előző fejeztben említettem, hogy a multispektrális kameránál bármilyen index értéket tudunk vizsgálni, míg az egyállású NDVI, NDRE kameránál kimondottan csak az NDVI vagy NDRE indexet.

A sávok tartalma képpontonként rögzül és egy mátrixos alakban tudjuk őket értelmezni. Az index értékek mindegyike egy képlet alapján keresztül kerül kiszámításra, melyben az

aktuális sáv digitalizált értéke kerül behelyettesítésre. Az alábbi ábrán ezt a folyamatot szemléltetem NDVI indexen keresztül. (5.1. ábra)



5.1. ábra – Indexek működése

5.3 Drónos felmérések során leggyakrabban alkalmazott vegetációs indexek

5.3.1 NDVI

Az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) egy fontos növényegészségügyi index, amelyet a távérzékelés során használnak a növényi biomassa és a fotoszintetikus aktivitás becslésére. Az NDVI index segítségével a növények egészségi állapotát és a vegetációs területek változásait követhetjük nyomon. Ez az index különösen hasznos az termelés optimalizálási feladatokban. [6] [10]

Az NDVI index is sávegyesítést használ, ugyanis vegyíti a látható fénytartományból a speciális vörös, illetve a nem látható tartományból a közeli infravörös sávot és egy képlet alapján digitalizált NDVI értéket kapunk a két sáv értékéből. [10] (5.2. ábra)

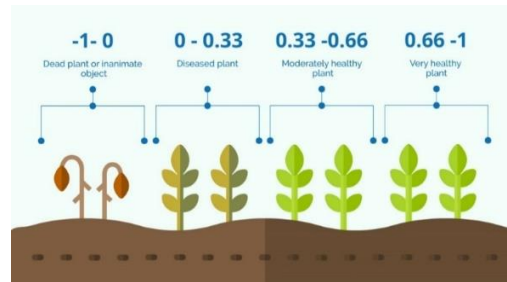
$$\frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

5.2. ábra [<https://axelglobe.zendesk.com/hc/en-us/articles/360056839034-Data-Cookbook-Agricultural-Monitoring>] – NDVI képlet

Azért ezt a két sávot egyesíti, mert egészségügyi szempontból talán ez hordozza a legtöbb információt, ugyanis az egészséges növényzet nagyon kevés piros fényt ver vissza, ugyanakkor pedig nagyon nagy mennyiségű NIR, azaz közeli infravörös fényt. Ezáltal

ilyenkor ezen két sáv között lesz a legnagyobb differencia, amely nagyon sok információt hordoz.

Több index is, mint például az NDVI egységes skálán értelmezhető. Ezen indexek segítségével a visszavert fényértékeket digitalizáljuk és egy egységes -1 és 1 érték közötti intervallumon tudjuk őket értelmezni. [10] (5.3. ábra)



5.3. ábra [<https://eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/>] – NDVI skála

Az ábrán is jól látható, hogy ezt a skálát több részintervallumra bontjuk, ugyanis ezáltal tudjuk a növényzetet különböző állapotú területi egységekre, eltérő terméspotenciálú területekre, azaz zónákra bontani. A részintervallumokat és jelentésüket az alábbiakban mutatom be. [10]

- -1 – 0: teljesen elhalt növényzet
- 0 – 0.33: beteg növényzet
- 0.33 – 0.66: mérsékelten egészséges növényzet, általános állapotú növényzet
- 0.66 – 1: ép állapotú, kimondottan egészséges növényzet

Azt is fontos megjegyezni, hogy kimondott egészségügyi felmérésre ez az index nem alkalmas korai szakaszban, ugyanis ilyenkor az tapasztalható, hogy az átlagos NDVI érték viszonylag alacsony, mert nincs olyan fejlődési állapotban még a kultúra. Éppen ezért közepi szakasztól kezdve szoktunk többnyire egészségügyi állapotot vizsgálni. Korai szakaszban viszont kiválóan alkalmazható gyomosodás felmérésre, ugyanis a gyom köztudottan sokkal gyorsabban fejlődik és ér el magasabb NDVI értéket, tehát ha ilyen időszakban átlagosnál magasabb, akár 0.6-1 NDVI értéket fedezünk fel a területen, akkor azt nagy valószínűséggel gyomos rész okozza.

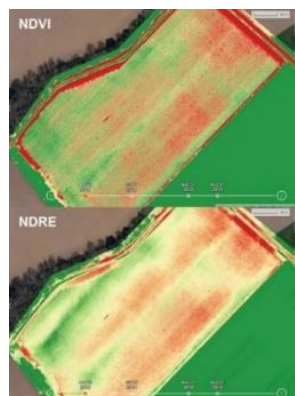
5.3.2 NDRE

Az NDRE (Normalized Difference Red-Edge) is egy fontos növényegészségügyi index, amelyet az előbbihez hasonlóan tápanyag ellátottság és stressz detektálásra alkalmazunk. [11] Az NDRE index is sávegyesítési technikát használ, ugyanis vegyíti a látható fénytartományból a vörös határfényt, illetve a nem látható tartományból a közeli infravörös sávot. (5.4. ábra)

$$\frac{(NIR - Red\ Edge)}{(NIR + Red\ Edge)}$$

5.4. ábra [<https://axelglobe.zendesk.com/hc/en-us/articles/360056839034-Data-Cookbook-Agricultural-Monitoring>] – NDRE képlet

A növény életpálya késői szakaszában bizonyos növények esetében – főként például kukorica vagy gyümölcsfa lombkorona - a felső levelek elnyelik a piros fénytartomány jelentős részét, így az alsóbb levelek nem járulnak hozzá az NDVI számításához, vagyis torz értéket kaphatunk. Ezért az NDRE kamerák az NDVI piros sávja helyett, piros sáv felső határát, úgynevezett vörös határfényt érzékelik, melyet a növények alsóbb levelei is hasznosítanak. Így az NDRE kamerával átfogóbban lehet mérni a késői szakaszában lévő növények teljes lombkoronáját. Az NDRE gabonafélék esetében is kevésbé hajlamos telítettséget mutatni. A teljes növényi életszakasz során éppen ezért indokolt mindkettő típusú (NDVI és NDRE) index használata. Az alábbi ábrán látható a telítettségi különbség kései szakaszban a két különböző indexnél. [11] (5.5. ábra)



5.5. ábra – NDVI és NDRE különbsége [<https://www.hobbycity.hu/sentera-agx-710-rgbprecision-ndvi-mezogazdasagi-kamera-dji-matrice-200210300?keyword=ndvi%20ndre>]

5.3.3 VARI

A VARI (Visible Atmospherically Resistant Index) index a látható fény sávjain alapul, tehát R, G, B sávokat használ és kiválóan alkalmazható klorofill tartalom monitorozására és zöld lefedettség mérésére mezőgazdasági területeken. [12]

A VARI index is sávegyesítési technikát használ, ugyanis vegyíti a látható fénytartomány minden sávját és egy képlet alapján digitalizált VARI értéket kapunk a sávok tartalmából. (5.6. ábra)

$$\frac{(Green - Red)}{(Green + Red - Blue)}$$

5.6. ábra – VARI képlet

Röviden megmutatja, hogy mennyire zöld a terület. Vizsgálat során nem osztjuk fel a skálát, hanem egy határértéket fogunk figyelembe venni, ez pedig a 0 érték lesz. Azt a részt, ahol 0, vagy 0 alatti VARI index érték található, azt elhalt, kitaposott, károsodott kultúrának, azt a részt viszont, ahol 0 feletti az érték, azt pedig élő kultúrának tekintjük. Ez azt jelenti, hogy könnyedén ki tudjuk szűrni a káros foltokat a területen, ahol például taposási vagy vadkár található, illetve korai szakaszban a kultúra előbujását, kikelését is jól lehet monitorozni. Alábbi ábrán látható egy RGB képek alapján előállított VARI térkép. (5.7. ábra). [12]



5.7. ábra – RGB fényképekből előállított VARI térkép

6. FELMÉRÉSHEZ FELHASZNÁLT UAV ESZKÖZ

Saját tulajdonomban levő drónom típusából és felszereltségéből adódóan az eszközt komplex mérésekhez is fel tudom használni, ugyanis többféle kamerarendszerrel rendelkezik. A drón típusa **DJI Mavic 2 Enterprise Dual Advanced**. (6.1. ábra) Ma már nem kapható a piacon, csak használt állapotban. A kifutása 2022 év végén keletkezett be. Idén január 1-től nem rendelhető.



6.1. ábra – DJI Mavic 2 Enterprise Dual Advanced drón

Specifikációja alapján felsorolom a legfontosabb paramétereit.

- 640×512 px felbontású radiometrikus hőkamera
- 48 MP felbontású RGB kamera
- $32 \times$ digitális zoom
- Centiméter pontosságú pozicionálás RTK-val (RTK képes)
- 10 km-es FullHD jelátvitel
- Minden irányú akadályérzékelés (kivéve fölfelé 90 fokban)

Az eszközön gimbal egység is található, amely a mechanikus képstabilizálás folyamatát valósítja meg. Ebben az egységben van integrálva a kamerarendszer, mely egy nagyfelbontású RGB és egy kisebb felbontású hőkamerából áll. A gimbal állásszöge ennél a típusnál 30 és -90 fok között vezérelhető.

Az eszköz igen üzembiztos, több oldalon optikai szenzorral felszerelt, amelyek az ütközésgátlást valósítják meg, több méterről érzékelik az akadályokat. Minden oldalról, kivéve a tetején nem található rajta szenzor, így repülés során a gép felett található akadályokra ügyelni kell.

Ez a drón RTK képes, tehát képes RTK korrekciós jeleket fogadni és feldolgozni, ezáltal a helymeghatározás és a pontosság lecsökkenthető akár $1-2$ centiméterre. RTK rendszerben egy lehelyezett bázisállomás kommunikál a drónnal és a pályáját ehhez az állomáshoz képest igazítja a fogadott korrekciós (RTK jel) jelek alapján. Ez kimondottan fontos lehet akár ipari volumetrikus méréseknél vagy légi kijuttatásnál. A drón ezt úgy tudja megtenni, hogy egy RTK modult csatlakoztatunk rá. (6.2. ábra)



6.2. ábra – RTK modul

Ez a drón is már úgynevezett SMART típusú L-ion (Lítiumion) akkumulátorokat alkalmaz. Található bennük önmerítéses funkció, ezért hívják őket „smart”, mint „okos” akkumulátoroknak. Ezzel a funkcióval az akkumulátor a feltöltést követően, amennyiben nem használjuk, visszamerül egy tárolási alapállapotba, ezzel megőrizve hosszútávú élettartamát. Használat előtt érdemes őket tölteni és száraz hűvös helyen, lemerítve érdemes tárolni. Figyelmet kell fordítani arra, hogy hidegebb, téli időszakban a teljesítményleadó képességük csökkenhet, ezért nem produkálják az elvárt repülési időt. Töltöttségüket úgy tudjuk leellenőrizni, hogy a bekapcsoló gombot megnyomjuk. A képen látható akkumulátorok körülbelül 50%-os töltöttségűek. (6.3. ábra)



6.3. ábra – SMART akkumulátorok

A drón testéhez külsőleg rögzítve használok egy mezőgazdasági kamerát, melynek pontos típusa *Sentera Double 4K True NDVI+NDRE Red-Edge* mezőgazdasági kamera. Képen látható módon két lencséből áll, tehát NDVI és NDRE fényképeket is készít egyidőben. (6.4. ábra)



6.4. ábra - Sentera Double 4K True NDVI®+NDRE® Red-Edge mezőgazdasági kamera

6.1 Felmérő eszközök felhasználhatósága

A felméréseket rengeteg iparágban használjuk, mind energetikai, bányai, épületdiagnosztika és mezőgazdasági területen is. A leggyakoribb alkalmazási területek például a felület modellezés, területmérés, talaj eróziós foltok kiszűrése, lejtésvizsgálat, kárfelmérések (taposási kár, vadkár, viharkár), növényegészségügyi állapotfelmérés (betegségek, gócpontok, növényi stressz detektálása), zónatérkép és importálható kijuttatási terv készítés vagy tőszámlálás, tömagasság mérése.

7. FELMÉRÉSHEZ HASZNÁLT SZOFTVEREK

7.1 Térkép készítéséhez szükséges módszerek

Felmérési folyamatoknak két főbb lépcsőfoka van, melyek nem mások, mint az adatnyerés és az adatfeldolgozás. Ezeknek elvégzéséhez szoftvereket alkalmazunk. A programok nagy része nagyon specifikus probléma megoldásában segítenek, nincs egy olyan megoldás, amely minden kérdésre használható. Ezért a szoftver választás feladatorientált.

Ahhoz, hogy egy tetszőleges területről egy nagy felbontású térképet tudjunk kapni a felvételezés után, ahhoz az alábbiakban felsorolt lépéseket szükséges követni.

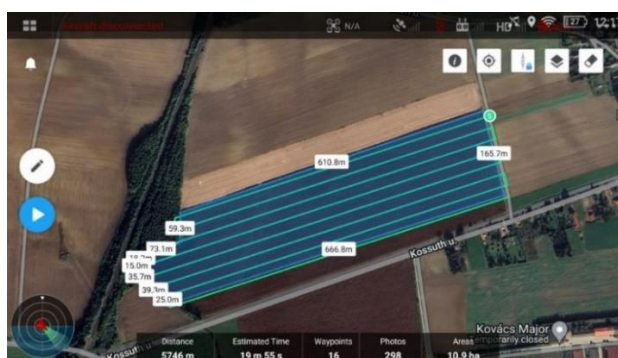
1. Projekt létrehozása és elnevezése egy külső szoftver segítségével
2. Repülési pálya megtervezése, sarokpontok beállítása
3. Repülési paraméterek beállítása
4. Repülés végrehajtása
5. Elkészült képek feltöltése/betöltése szoftverbe
6. Elkészült képek összeillesztése (szoftver végzi automatikusan)
7. Összerakott térkép használata, mérések, kiértékelések, elemzések elvégzése
8. Jegyzőkönyv, dokumentáció összeállítása

A gyakorlati beszámolómban ezeket a lépéseket fogom majd részletesen bemutatni.

7.2 Adatnyerés – DJI PILOT repüléstervező szoftver

Hivatalos megnevezése ennek a tevékenységnek légifelvétel készítés, tehát az adatgyűjtés alapját fotogrammetriás alapú felvétel készítés, képállományok fogják adni. Drónok segítségével lehetőségünk van bármilyen időpillanatban, pozícióban, bármilyen kamera beállítással, állásszöggel készíteni fényképeket, de vizsgálatok során arra törekszünk, hogy ezt a folyamatot automatizálni tudjuk, a lehetséges hibák elkerülése, az optimalizált energiafelhasználás és bekerülési időmennyiség érdekében. Ahhoz, hogy ezt meg tudjuk tenni, úgynevezett repülési tervet kell létrehozunk. A repülési terv az a terv, amelyet a drón a repülés során automatizáltan végre fog hajtani. A tervezet tartalmazza a felmérni kívánt tábla adatait - például határpontjait -, illetve a repüléshez kapcsolódó paramétereket, például repülési magasság, sebesség vagy repülési irányszög.

A legfőbb különbség a felmérő és hobbi kategóriájú drónok között az, hogy a felmérő vagy más néven monitoring drónok kompatibilisek repüléstervező és adatfeldolgozó szoftverekkel. Az előző fejezetben bemutatam a felméréshez használt eszközt. Mivel ez egy felmérő drón, hozzájutottam a gyártó felmérő drónok számára fejlesztett szoftveréhez, melynek neve **DJI PILOT**, amelyet használok majd a felmérésem során. Az alábbiakban látható egy megtervezett, végrehajtás előtt álló repülési terv. (7.1. ábra)



7.1. ábra – Kész repülésterv DJI PILOT programban

7.3 Adatfeldolgozás – Kiértékelő szoftverek

A repülési folyamatok után az elkészült felvételeket kell feldolgoznunk. Az előbb említett paraméterek beállításától függően, akár több száz vagy több ezer darab fénykép is készül-

het egy felmérés során. A képeket képnézegető segítségével megtekintve nem tudunk kiolvasni értelmezhető információt, ezért olyan szoftvereket kell alkalmazunk, amelyek képesek az elkészült adatokat összeilleszteni és például egy ortomozaikot előállítani. Nagyon fontos megjegyezni, hogy az alkalmazásokba csak és kizárólag GPS koordinátával ellátott fényképeket tudunk importálni, ugyanis a rendszer ez alapján dolgozza fel és helyezi a megfelelő pozícióra az adott képet. A felmérő drónok a képek metaadataiban tárolják ezeket az információkat.

Az adatfeldolgozó szoftvereknek több típusa is van, különbségüket általában felhasználhatóságukban és költségeikben mérjük. Vannak úgynevezett felhő alapú szoftverek, ahol maga az adatfeldolgozás felhő alapon történik, ami azt jelenti, hogy a képállományokat első lépésként fel kell tölteni a szoftver központi szerverére, ezek mellett pedig keresztplatformos megoldást nyújtanak, tehát nem operációs rendszerhez kötöttek. Ez kezdésnek alkalmas választás lehet, ugyanis a feldolgozás folyamata nem a helyi számítógépet fogja terhelni és nem szükséges hozzá erős hardveres erőforrás, ugyanakkor az is elmondható, hogy a képek feltöltése lassíthatja a feldolgozási folyamatokat, mert internet elérhetőség szükséges hozzá. Az online alkalmazások felhasználhatósága inkább kisebb területekre alkalmas, ugyanis például korlátozzák a feltölthető adat mennyiségét. A másik csoport az offline szoftverek csoportja, ahol a képek tárolása ugyan lokálisan történik, viszont a feldolgozás a helyi gép erőforrását fogja használni, épp ezért egy gyengébb hardveres koncepció esetében egy kisebb terület feldolgozása is órákba telhet, de rengeteg funkciót tartalmaznak. Ilyen például az **Agisoft Metashape** szoftver, amelyet ortomozaik előállításra fogok alkalmazni.

Alkalmazások tudása sem egyforma, ugyanis vannak az alapvető szoftverek, amelyekben a legfontosabb alapfeladatokat el tudjuk végezni térinformatikában, mint például egy ortomozaik előállítás. Ilyen szoftver például az általam is használt felhő alapú, keresztplatformos **DroneDeploy** webalkalmazás. Az alábbi ábrán látható egy összeállított, feldolgozott felülnézeti térkép egy ipari területről mérési eszközök hozzáadásával ebben a programban. (7.2. ábra)



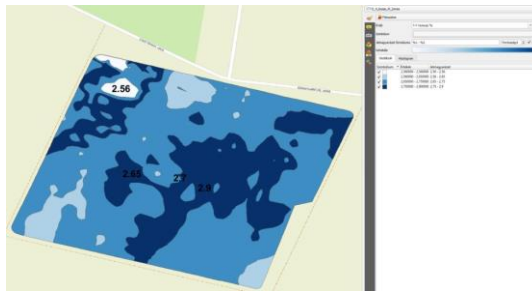
7.2. ábra – Feldolgozott térkép DroneDeploy programban

A piacon találhatóak komplexebb alkalmazások is, amelyek igen komoly mesterséges intelligenciát, képfeldolgozási algoritmusokat kínálnak a felhasználók számára. Ez azt is jelenti, hogy az ilyen típusú szoftverek fenntartási költsége sokkal nagyobb, akár több százezer vagy több millió forint is lehet évente. Ilyen speciális algoritmus például egy tőszámítás algoritmus vagy egy gyomtérkép meghatározás, amely a képadatok alapján megpróbálja megállapítani, hogy a területen milyen intenzitásban található gyomnövény. Ezek mellett kiválóan alkalmazható precíziós kijuttatási tervek készítésére is. Ez azt jelenti, hogy a programban a generált zónatervhez a zónákhoz kattintásra tudunk dózis értéket hozzárendelni és olyan speciális vektorgrafikus állományokba tudjuk kiexportálni, amelyet a precíziós gépek fel tudnak dolgozni, ilyen például a SHP állomány. Az ábrán látható egy elkészült zónatervhez való dózis hozzárendelésének egyszerű művelete **Sentera FieldAgent** programban. (7.3. ábra)



7.3. ábra – Kijuttatási terv készítés Sentera FieldAgent programban

Részletes elemzésekhez GIS, azaz geográfiai információs rendszereket is alkalmazunk. Ezek az alkalmazások lehetővé teszik a felhasználók számára, hogy térképeket, különböző térbeli adatokat, raszteres és vektoros állományokat hatékonyan kezeljenek. UAV felvételek alapján előállított ortomozaik további elemzésére is használjuk. Alábbi ábrán látható például egy humusztartalmi elemzés eredménye **QGIS** szoftverben. (7.4. ábra)



7.4. ábra – Humusztartalmi elemzés eredménye QGIS-ben

8. ÁLLAPOTFELMÉRÉS MEZŐGAZDASÁGI TERÜLETEN

Gyakorlati feladat során egy mezőgazdasági területen végeztem állapotfelmérést az előző fejezetben említett UAV eszközzel, NDVI kamera felhasználásával és műholdas légifelvételek alkalmazásával.

8.1 Tábla adatai

Saját gazdasággal nem rendelkezem, ezért mintaterületként Komárom-Esztergom vármegye, Nagyigmánd településen található 0252/22 szelvénytű, megközelítőleg 7 ha kiterjedésű mintaterületet választottam. Az adatok lekérdezéséhez az *E-közmű portált* használtam fel. (8.1. ábra)



8.1. ábra – Mintaterület E-közmű portálban

A területen ekkor napraforgó kultúra volt megtalálható (8.2. ábra). A napraforgó ebben az időpontban közepi szakasz elején járt, tehát aktívan kezdett nőni, de még a virágzás és termésképzés előtt jártunk. Ebben az esetben arra kell figyelni mérés során, hogy biztosan

nem lesz túl magas az átlagos növényegészségügyi index érték. A felvétel a felmérés indítása előtt készült, én vagyok látható közvetlen a tábla mellett. A felvétel készítésének időpontja 2023.06.03. volt. A repülés ideje 9 óra 30 perc, a körülményeket tekintve a hőmérséklet 26 Celsius fok, a szél 3 km/h és a felhősség 3% volt.



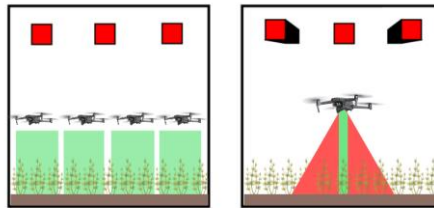
8.2. ábra – Repülés indítása előtt a helyszínen

Alapvetően a napraforgó napos, meleg éghajlatot kedveli, valamilyen szinten jól alkalmazkodik a különböző talajtípusokhoz, de inkább a mély, jó vízáteresztő képességű talajokat részesíti előnyben. Hirtelen talajelváltozásra érzékeny lehet. [13]

8.2 Gyakorlati repülés lépései DJI PILOT programmal

8.2.1 Ortofotó jelentése

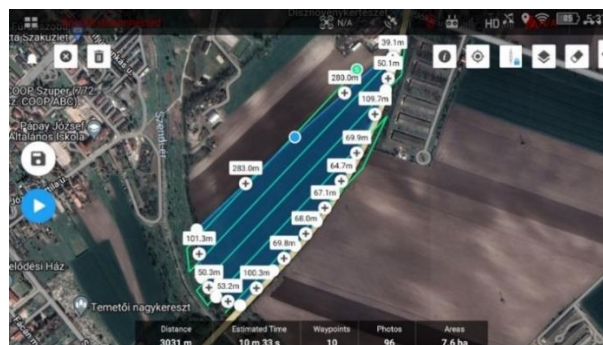
A mezőgazdasági drónos felmérések nagy százalékát az úgynevezett ortofotó adja, amely egy ideális felülnézeti térképet jelent. Ez azt foglalja magában, hogy a drón adott magasságból a mérni kívánt területre merőlegesen, -90 fokos állásszöggel készíti a fényképeket és ezek között igen nagy pozitív százalékos átfedést alkalmazunk. Így amikor feldolgozzuk a készült adatokat, felülnézetből láthatjuk jól összeillesztett, nagy felbontású térképpontot, amelyen további méréseket tudunk végezni. Az alábbi ábrán (8.3. ábra) jól látszik az ortografikus és perspektivikus típusú kép közötti különbség. Perspektivikus képek esetén az objektumok oldalnézeti képe torzul, felülnézeti kép készítés során igen magas átfedéssel dolgozva ez a probléma kiküszöbölhető. Az ábrán bal oldalon a felülnézeti, jobb oldalon a perspektivikus nézet látható.



8.3. ábra – Ortografikus és perspektivikus kép

8.2.2 Táblahatár kijelölése

A felméréshez repülési tervet fogok létrehozni a korábban említett DJI PILOT program alkalmazásával. Az első feladatunk a projekt létrehozása és elnevezése után a táblahatár kijelölése. Repülés tervező szoftverekben táblahatár kijelölésre két módszerünk van. Az egyik az, amikor tervezés előtt már rendelkezésre állnak vektorgrafikus georeferált állományok, ilyen például a SHP vagy KML fájl. Ezek tartalmazzák a tábla határvonalát, koordináta pontosan a töréspontjait és importálhatók a rendszerekbe. Ezzel a módszerrel hatékonyabban lehet dolgozni, ugyanis nem szükséges időt fordítani a pontok lehelyezésére, mert az importálandó állomány ezt az adathalmazt már tartalmazza, így elegendő csak a paraméterek beállításával foglalkozni. Amennyiben nem áll rendelkezésre ilyen állomány, akkor műholdas térképre kattintva adhatjuk hozzá sorban a pontokat. Tetszőleges poligont rajzolhatunk, végtelen mennyiségű pontot lerakhatunk. A pontokat egyével, de a teljes tervet is törölhetjük egy kattintással. A pontok helyzetét utólag is módosíthatjuk, kattintásra arrébb tudjuk mozdtítani tetszőleges pozícióra. Ilyen módszerrel rögzítettem a felmérni kívánt tábla határvonalát. (8.4. ábra)



8.4. ábra – Táblahatár kijelölése DJI PILOT programban

8.2.3 Repülési információk

A táblahatár kijelölése után látható, hogy a rendszer automatikusan kék vonalakat rajzol a létrehozott poligonba. Ez lesz a drónnak a repülési útvonala, amelyen tényleges repülést fog végezni. Repülési paraméterek módosításával ezen még lehetőségünk van változtatni.

A legfontosabb repülési információk a képernyő alsó sorában, táblázatos formában láthatók. Ez jelzi, hogy az adott tervezet milyen kiterjedésű területet fog közre, mennyi repülési időt igényelne, illetve hány darab fényképet készítené például. A repülési információk változnak annak függvényében, hogy mekkora területet jelölünk ki vagy milyen paramétereket állítunk be. A képen látható, hogy 7.6 hektáros területet jelöltem ki és a jelenlegi beállításokkal 10 perc 33 másodpercig tartana a repülés. (8.5. ábra)

Distance	Estimated Time	Waypoints	Photos	Areas
3031 m	10 m 33 s	10	96	7.6 ha

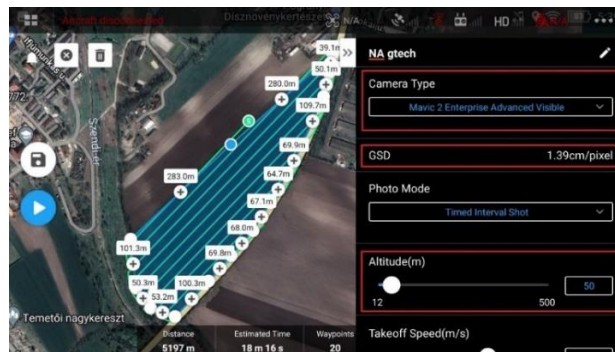
8.5. ábra – Repülési információk

8.2.4 Indítási pont

Ha megfigyeljük az előző ábrát (8.4. ábra) láthatunk a repülési terven egy zöld színű „S” karaktert, amely a tervezetünk „Start”, azaz indítási pontját fogja képviselni. Ez azt mutatja meg, hogy melyik az a pont, ahonnan a drón indítani fogja a repülést. Ennek a pontnak a helyzete akkor optimális, ha minél közelebb esik a felszállási ponthoz, hogy a drónt ne terheljük plusz távolság megtételével a repülési terv végrehajtásának elindítása előtt. A pont helyzetén állíthatunk például a repülési irányszög állításával vagy a teljes repülési terv manuális forgatásával.

8.2.5 Legfontosabb repülési paraméterek

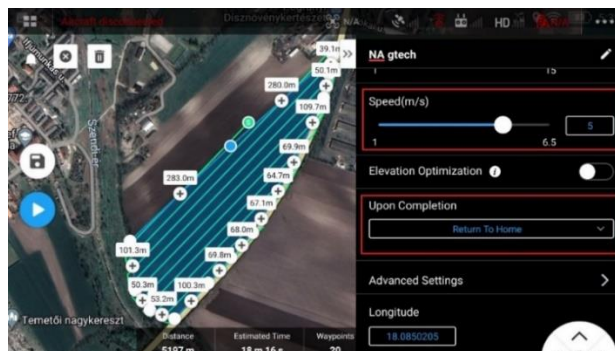
A tervező menüben a repüléshez kapcsolódó paramétereket állíthatjuk be. Ezek közül a legfontosabb a kamera beállítása, a repülési magasság és a GSD érték. A repülés során RGB kamerára fogom optimalizálni a repülést, illetve 1.39 cm/px GSD értékkel fogok dolgozni 50 méter magasan végezve a repülést. Az alábbi képen láthatók ezek a beállítások (8.6. ábra). Ha megfigyeljük a repülési információk ennek függvényében megváltoztak.



8.6. ábra – Alapvető repülési paraméterek beállítása DJI PILOT programban

A mozgás sebességét általában m/s mértékegységben számoljuk. Rosszabb időben nagyon fontos, hogy a sebességet csökkentsük, mert nagy ellenszélben a drón nehezebben fog repülni és pozíciót tartani, ekkor hajlamos fényképeket kihagyni automatizált repülés során. Ilyen esetben körülbelül 1-2 m/s sebességet szoktunk alkalmazni. (8.7. ábra)

Emellett fontos biztonsági beállítás az, hogy megszabjuk az eszköz számára, hogy mit tegyen, ha befejezte a repülés végrehajtását. Ebben az esetben egy listából választhatunk és felprogramozhatjuk tetszés szerint. (8.7. ábra) Opció a lebegés, a helybeni leszállás, az indítási ponthoz való visszarepülés, illetve az automatikusa hazatérés. Általában mezőgazdasági felmérések során, mivel kevés akadállyal találkozunk az utóbbit szoktuk alkalmazni. (8.7. ábra)



8.7. ábra – Haladó repülési beállítások DJI PILOT programban

„Advanced Settings” menüpontban található az ortofotó készítés egyik legfontosabb haladó paraméter beállítása, az átfedési érték. Az átfedés azt adja meg, hogy az egymás után készült fényképek milyen mértékben fedik egymást. Ezt százalékértékben fejezzük ki és minél nagyobb ez az érték, annál inkább átnyúlnak a képek egymásba és annál pontosabb

lesz az összeállítandó ortomozaik, viszont annál több időt kell a drónnak repüléssel töltenie. Amennyiben csökkentjük az átfedési értékeket, a repülési idő is csökken, viszont a képek egyre inkább távolodnak egymástól és a mérés eredménye sokkal pontatlanabb lesz. Ezért általában 70 - 80 %-os átfedési értékekkel dolgozunk.

8.2.6 Talajkövetés

Ezekben a szoftverekben lehetőségünk van talajkövetési mód alkalmazására. A drónokban barometrikus magasságmérő található, tehát légnyomás alapján számolnak magasságot. Ha nem alkalmazunk talajkövetést, akkor a drón a felszállási pontjához képest számolja a repülési magasságát a repülés során. A talajkövetés funkció segítségével viszont az aktuális domborzati, felszíni viszonyokhoz képest igazítja pályáját, pozícióját és számítja magasságát. Tapasztalat alapján egy nagy kiterjedésű mezőgazdasági területen kiválóan alkalmazható, de egy sűrűn változó környezetben, például lakott területen belül nem működik megfelelően. Ennek pedig az az oka, hogy talajkövetés során relatív magasságértékekkel dolgozunk, melyek műholdas adatok alapján állnak rendelkezésre, így függenek a műholdas térkép felbontásától. Az említett okok miatt és a területet szemrevételezve, az én repülésem során nem láttam szükségességét, hogy alkalmazzam ezt az üzemmódot.

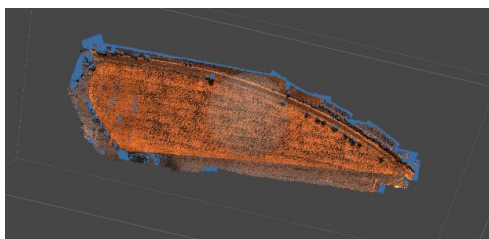
8.3 Nyersanyagok feldolgozása

A repülési folyamatok után az elkészült felvételeket kell feldolgoznunk. A fényképekből már korábban említett ortomozaikot fogok előállítani a vizsgálatához. Ehhez egy offline típusú programot fogok alkalmazni, amely az Agisoft Metashape. További elemzéshez és zónaterv készítéshez pedig a QGIS szoftvert és DroneDeploy webalkalmazást alkalmazom.

8.3.1 Ortomozaik előállítása

Agisoft Metashape programban való ortomozaik előállítás során Tóth Izsák (2021, *Szaktudomány*) által alkalmazott módszertant vettem figyelembe. [14]

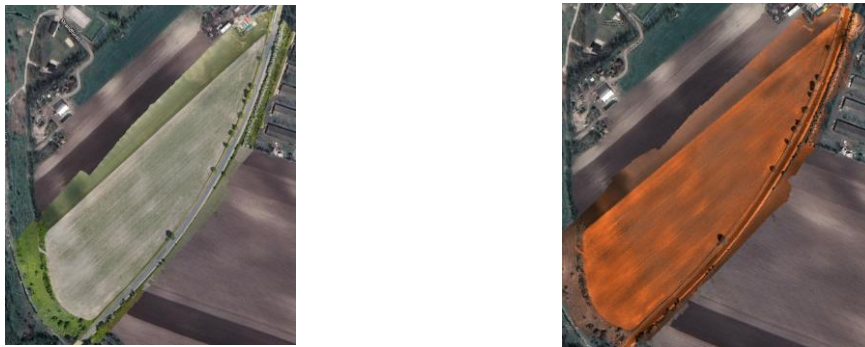
A szoftver sikeres futtatása és megnyitása után első lépésként az elkészült fénykép állományokat kell importálnunk a feldolgozási folyamat elindításához. A „Workflow” menüben az „Add Photos” gombra kattintva egy megnyíló fájlkezelő ablakon keresztül ki tudjuk választani a feldolgozni kívánt fényképeket és hozzá tudjuk adni a létrejövő projekthez. A nyers NDVI képállományokat fogom kiválasztani, ugyanis NDVI képelemzést szeretnék végrehajtani a területen. Következő lépésként a beolvasott állományokat megfelelő pozícióra kell rendezni. Ehhez pontfelhőt szükséges előállítani, amelyben a pontok a kamera pozíciók pontos helyét fogják jelölni, tehát ehhez a folyamathoz GPS koordinátákra van szükség. A felmérő drónok a képek metaadataiban tárolják a GPS koordinátákat, a szoftver pedig ezeket olvassa ki sorban. A pontfelhő generálásához a „Workflow” menü „Align Photos” funkcióját kell alkalmazni. Ez elég időigényes folyamat, függ az elkészült képek mennyiségétől és minőségétől, valamint a számítógép hardveres erőforrásaitól is. Kiválaszthatjuk, hogy milyen pontossággal építsük meg a pontfelhőt. Mivel 533 darab fénykép készült, ezért „Medium” szintet állítottam be, hogy ne tartson akár órákig a képek feldolgozása, az ábrán látható az eredmény. (8.8. ábra)



8.8. ábra – Pontfelhő előállítás Agisoft Metashape programban NDVI fényképekből

Generálás után megtekinthető az, hogy milyen szélesség, hosszúság és magasság értéket kaptunk adott kamera pozíciónál, és az is, hogy ezekhez mekkora hibát becsül a rendszer. Ez a „Reference” nevezetű adatoknál olvasható. Ennek maximum centiméteres értéknek kell lennie, mert, ha nagyobbat tapasztalunk, akkor az azt jelenti, hogy a pontfelhő nem elég pontos, így újra le kell futtatnunk magasabb pontossági értékkel az algoritmust. Amennyiben így sem működik, akkor pedig magasabb átfedési értékekkel kell újra elvégeznünk a repülést. Létrehozzuk a végleges pontfelhőt a „Build Point Cloud” parancs segítségével. Itt az előbb kalkulált értékeket építi be a modellbe a program, majd egy poligonális térbeli modellt készítünk a „Build Mesh” parancs használatával, amely most

már elérhetővé válik. Ebben a lépésben a rendszer triangulálja a felületet. Miután elkészült a két réteg, lehetőségünk van ortomozaikot készíteni, amelyet a „Build Orthomosaic” paranccsal fogunk kapni. Az algoritmus futtatása előtt be kell állítani, hogy milyen felbontásban készüljön az új állomány, illetve, hogy az összekapcsolás mozaik típusú legyen, a felszín pedig az előbb létrehozott mesh modell. Az elkészült térképet lehetőségünk van exportálni többféle formátumban. Menthetjük tipikus fénykép (PNG, JPG), akár vektorgrafikus (KML) formátumban, viszont én ezt az állományt tovább szeretném vizsgálni QGIS szoftverben, ezért GeoTIFF formátumban fogok exportálást végezni. A TIFF formátum tipikus térképes raszteres állományok tárolására megalkotott formátum, a GeoTIFF, pedig annyiban különbözik, hogy georeferált, tehát koordináta pontos lesz a kiexportált térképes adathalmaz. Ábrán látható az exportált és QGIS-ben beillesztett TIFF térkép RGB és NDVI állományok alapján egyaránt. (8.9. ábra)



8.9. ábra – RGB és NDVI ortomozaik

8.3.2 Vegetáció vizsgálata UAV által készített NDVI fényképek alapján

Mivel repülési margót is használtam, ezért meg kell vágjam a térképet a keletkező felesleges területek miatt. Ehhez egy új vektoros poligon réteget, egy SHP fájlt hoztam létre, ahol töréspontok lehelyezésével igyekeztem precízen kijelölni a táblahatárt. (8.10 ábra)



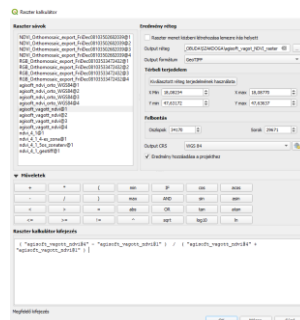
8.10. ábra – Táblahatár kijelölése, SHP fájl készítése

„Raszter vágás maszk réteg” parancs segítségével a SHP fájl alapján elvágom a modellelmet, így megkapom a nyers NDVI fényképekből összeállított megfelelő ortomozoikat. (8.11. ábra)



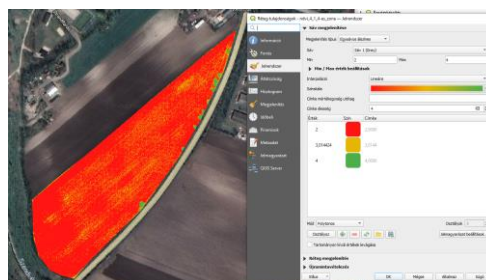
8.11. ábra – Vágott NDVI ortomozoik

NDVI értékek előállításához, a korábban említett képletet fogom alkalmazni. „Raszter kalkulátor” parancsot megnyitva a sávokat behelyettesítem a megfelelő helyre. Ehhez igénybe vettem a NDVI kamerám specifikációját. (8.12. ábra) A képlet megfelelő behelyettesítése után létrehozok egy új raszteres réteget.



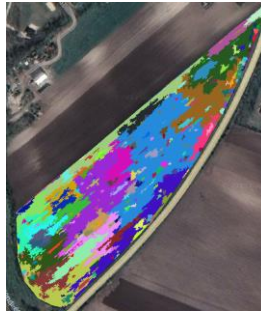
8.12. ábra – NDVI számítás „Raszter Kalkulátor” parancs használatával

Annak érdekében, hogy értelmezhetőbb legyen a megjelenés, a réteg tulajdonságainál színes osztályozást hoztam létre. Színskálát készítettem, így minél alacsonyabb az NDVI érték, annál inkább piros árnyalattal, minél magasabb az NDVI érték, annál inkább zöld árnyalattal jelennek meg a részterületek. (8.13. ábra)



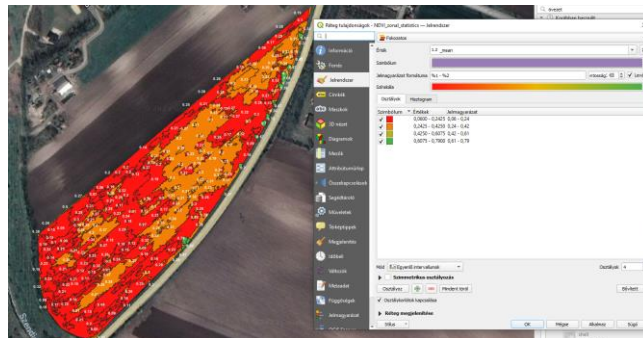
8.13. ábra – Színes megjelenítés hozzárendelése a térképhez

Kérdések megválaszolásához további szűkítésre lesz szükség, ehhez szegmentálási folyamatot indítok. Szegmentálás során egy képet vagy raszter réteget kisebb, homogén régiókká tudunk osztani, ezáltal a hasonló jellemzőkkel rendelkező pixelek egyesülnek 1-1 régióba, így a kép egyszerűbb és strukturáltabb lesz. GRASS eszköztár „i.segment” parancs futtatásával elkészítem az új réteget. (8.14. ábra)



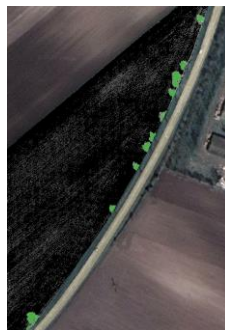
8.14. ábra – Szegmentálási folyamat eredménye

Látható, hogy sok kisebb színes régió jött létre. Azt nem tudom megmondani, hogy hány szegmens jöjjön létre, de a parancs futtatása előtt bemenetként megadhatjuk, hogy mekkora legyen a legkisebb részlet a „Minimum number of cells in a segment” beviteli mezőben. Ilyenkor figyelembe vesszük a terület méretét, minél nagyobb értéket állítunk be, annál nagyobb szegmentumokat fogunk kapni. [7] A létrejött állományt vektorizálom, hogy zónatervet készíthessek belőle. Ehhez „Felület készítés (Raszter -> Vektor)” parancsot alkalmazom és egy SHP fájlt állítok elő. Ehhez az új rétegen levő felülethez „Övezet Statisztika” funkcióval hozzárendelhetünk mérőszámokat, amiket a raszter rétegen belüli értékekből számítunk ki, esetemben az átlagos NDVI értékeket fogom számításba venni, ez pedig a keletkező attribútum táblázat „mean” oszlopában lesz megtalálható, amely az adott zóna átlagos NDVI értékét jelöli. A jelrendszert módosítva, a megjelenítést négy osztályba soroltam, hogy könnyebben lehessen értelmezni, illetve a korábban használt színskálát alkalmaztam. A megjelenést kategorizáltam a „mean” átlagérték alapján, viszont az attribútum táblázat „Mező kalkulátor” funkciójával kerekítettem az értékeket „round(ertek,3)” parancs használatával három tizedesjegyre, hogy átláthatóbb legyen a térkép. Címkeket is hozzárendeltem minden zónához, melyen ezt az értéket írtam ki. Így készült el a részletes zónaterv. (8.15. ábra)



8.15. ábra – Zónaterv

Leolvashatók az NDVI értékek is. Piros színű zónában az NDVI érték 0.24 alatti, tehát ez az a zóna, ahol a kultúra fejlődése viszonylag le van maradva. Azt nem mondhatjuk, hogy átlaghoz képest jelentősen, ugyanis a legmagasabb érték is befolyásolja az átlagot. A legmagasabb érték pedig a zöld színű zónában található és közel 0.8 értéket láthatunk itt, amely igen magas és ez túl nagy differencia ebben a fejlődési szakaszban, közel sem mondható átlagosnak, ezért további vizsgálatot végzek. Átlátszatlanság állításával kiszűröm a zöld zónát. (8.16. ábra)

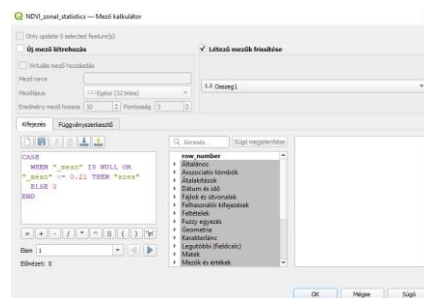


8.16. ábra – Legmagasabb NDVI értékű zónák kiszűrése

Az ábra alapján elmondható, hogy csak a terület szélén vannak kisebb kiterjedésű zöld zónák, viszont ezt felülvizsgálva megállapítható, hogy ezek nem a valós vegetációt mutatják, hanem egyfajta mérési hibából, a vetett árnyék meglétéből erednek. Ezt a későbbiekben fogom alátámasztani. Ezzel kizárhatjuk azt, hogy ilyen magas értékű lenne ilyen korai szakaszban a vegetáció.

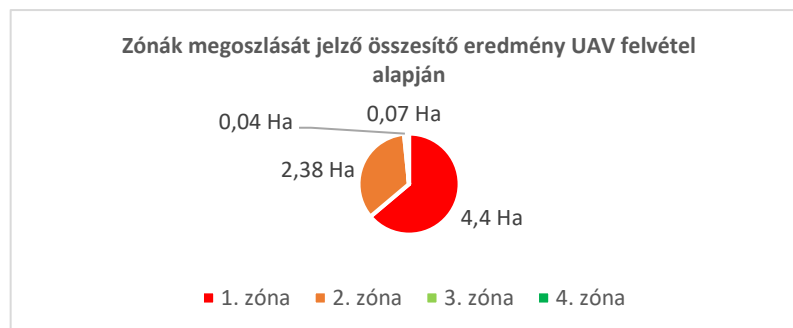
További vizsgálatban azt nézzük meg, hogy a zónáknak mekkora a területi kiterjedése, hogy lássuk a visszamaradottsági, illetve a vetett árnyékból adódó probléma megközelítőleg mekkora területen van jelen. Ehhez az attribútum táblázatot fogom módosítani, ha-

sonlóan a „Mező kalkulátor” parancs használatával. Új oszlopot fogok létrehozni, melyben hektár mértékegységben számolom a zónák területét. Ezt „\$area / 10000” parancs beírásával teszem meg. Szeretném zónánként összeszámolni a területet, ehhez elágazási kifejezést („CASE-WHEN” típusút) használok és zónánként egy „Összeg” nevű oszlopot hozok létre, és „sum” paranccsal pedig összegzem a kiterjedési értékeket oszloponként. (8.17. ábra)



8.17. ábra – Zónák területének kiszámolása

Az elemzés alapján kimutatható területi megoszlás látható a következő ábrán, a címkék a zóna kiterjedését jelölik hektár mértékegységben. (8.18. ábra)



8.18. ábra

8.3.3 Műhold és UAV NDVI térképének összehasonlítása

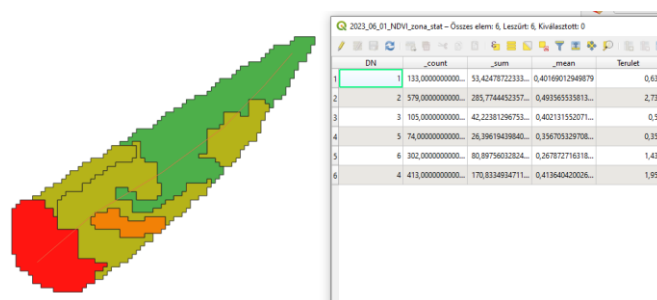
Az összehasonlításhoz műholdképeket töltöttem le ugyanahhoz az időszakhoz és UAV felvételekhez hasonlóan zónatervet hoztam létre QGIS programban. Műholdképek letöltéséhez az EO Browser felületet alkalmaztam. Letöltés során maximum 20%-os felhősséget engedtem meg. A felhasznált felvétel 5%-os felhősséget tartalmaz és 9 óra 45 perckor készült el. Mivel NDVI indexet fogok majd vizsgálni, ezért az alapvető R, G, B sávokon kívül az infravörös sávot is letöltöttem, így alakult ki a B02, B03, B04, B08 sávokból

álló letöltési csomag. QGIS szoftverben beimportáltam a sávokat, majd előállítottam az RGB színes kompozitot, a B04, B03 és B02 sáv felhasználásával. Előállítottam az NDVI térképet, majd az előző fejezetben létrehozott SHP állománnyal elvágtam a réteget. Automatikus osztályzással, szegmentálás és vektorizálás funkcióval, majd „Övezet statisztika” parancs használatával előállítottam a kész zónatervemet, melyen hasonlóan négy osztályos csoportosítás látható. A megjelenítést osztályoztam az attribútum táblázat alapján kategorizáltan, illetve címkét is rendeltem hozzá. A címkéken az adott zóna átlagértéke látható. (8.19. ábra)



8.19. ábra – Műhold adatokból előállított zónaterv

Hasonlóan kiszámoltam, hogy milyen kiterjedésűek a zónák a keletkező attribútum táblázat alapján. A zónák méretét az ábrán látható utolsó „Terület” oszlop, a zónák átlagos NDVI értékét pedig a „mean” oszlop mutatja. (8.20. ábra)



8.20. ábra – Zónák területének kiszámolása

Az UAV és műholdas felvétel alapján kapott eredményeket zónánként feljegyeztem és egy Excel táblázatban összesítettem. Összehasonlítottam, hogy ugyanazon számozású zóna esetében milyen NDVI és területi értékeket kaptunk a vizsgálat során. A számozásnál a legalacsonyabb NDVI értékű zóna képviseli egyaránt az 1-es számú osztályt, a legmagasabb NDVI értékű zóna pedig a 4-es osztályt.

Átlagos eltérést számoltam százalékos alapon. A negatív értékek ebben a kalkulációban azt jelentik, hogy az UAV felvétel alapján készített zóna adott esetben hány százalékkal nagyobb kiterjedésű területet foglal magában vagy mennyivel nagyobb az átlagos NDVI értéke. (8.21. ábra)

A	B	C	D	E	F	G
Zóna	UAV NDVI középérték	Kiterjedés (Ha)	Műhold NDVI középérték	Kiterjedés(Ha)	NDVI eltérés (%)	Területi eltérés (%)
1	0,15	4,4	0,296	1,43	49,3243	-207,6923
2	0,33	2,38	0,3525	0,55	6,3830	-332,7273
3	0,515	0,04	0,409	3,08	-25,9169	98,7013
4	0,7	0,07	0,4655	2,73	-50,3759	97,4359

8.21. ábra -UAV és műholdas eredmények összehasonlítása zónánként táblázatban

Viszonylag nagyobb értékű, például akár közel 50%-os NDVI érték eltéréseket is tapasztalhatunk. UAV felvételezés legmagasabb NDVI értéke közel 0.8 érték volt, míg a műholdas NDVI legmagasabb értéke csak 0.5. Ez alapján leszűrhető, hogy a vetett árnyékból adódó magas NDVI értékű, viszonylag kisebb kiterjedésű zónákat a műholdas leképezés nem vette figyelembe, valószínűleg a kisebb felbontás miatt.

A hibaszámításhoz a drón pontossági előnye miatt az ő értékeit veszem viszonyítási alapként és a műhold hibáját számítom ki. Átlagos abszolút hibát számoltam az alábbi képlet felhasználásával. Az „N” érték a zónák számát jelöli.

$$MAE \text{ (Átlagos abszolút hiba)} = \frac{\sum |Eltérés|}{N}$$

A megfelelő értékeket behelyettesítettem és elvégeztem a kalkulációt. Az átlagos abszolút NDVI eltérés pontosan 33% volt, tehát ennyi a műhold hibája a drónhoz képest ebben a viszonyítási alapon, ennél a felmérésnél. Minél kisebb ez az érték, annál kisebb a műhold hibája.

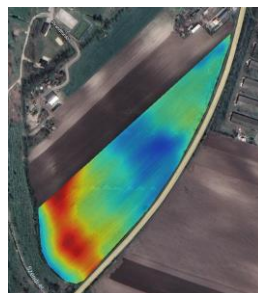
Az eddigi eredmények alapján összességében elmondható, hogy az UAV felvételezésnél nagyobb részletességet kapunk, akár centiméter pontosan elérhetőek az adatok, viszont nagy területeknél időigényes a repülés. A drónokat ezért inkább kisebb kiterjedésű területeknél precízebb felmérésekre, a műholdas képalkotást pedig szélesebb, nagyobb kiterjedésű területek monitorozására használjuk. A két technikát célszerű együttesen alkalmazni.

8.3.4 Domborzati adottságok vizsgálata

További vizsgálatot érdemelnek a domborzati adottságok, ugyanis lehet, hogy a visszamaradottsági problémát a talaj egyenetlensége okozza. Ehhez a DroneDeploy programot fogom használni, amely pár kattintásra egyszerű grafikus felületen generál szintmodellt az összeállított ortofotó alapján, így be is importáltam a rendszerbe a térképet.

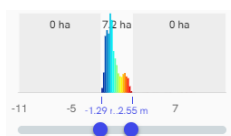
Ahhoz, hogy el tudjuk végezni a feladatot, kalibrálni kell a térképünket, hogy a magassági értékek értelmezhetők legyenek. Használhatnám az aktuális tengerszint feletti magasság értéket, viszont nem ismerem a szükséges adatot, így 0 értéket használok kalibrációs magasságként. Ez azt jelenti, hogy a területen a kalibrációs pont lesz a 0 méter érték és ehhez képest kalkulál a rendszer magasság értékeket. Valószínűleg lesznek negatív magasság értékek is, ilyenkor abszolútértékben kell gondolkodjunk.

Kalibrálás után kapok egy nyers szintmodell térképet, amelyen különböző színek láthatók, melyek különböző szintértéket jelölnek. (8.22. ábra)



8.22. ábra - Szintmodell

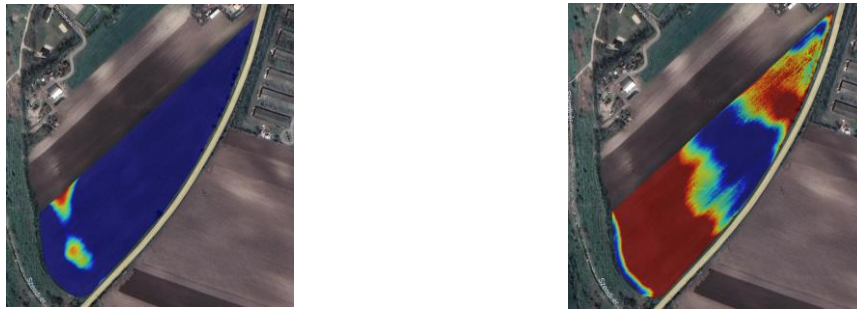
A megjelenő diagramban határértékek találhatók. A határértékek megmutatják a legacsonyabb és legmagasabb pont magassági értékét, tehát ebből már leolvasható, hogy összességében 3.84 méter magasság különbség észlelhető a területen. (8.23. ábra)



8.23. ábra – Szintérték diagram

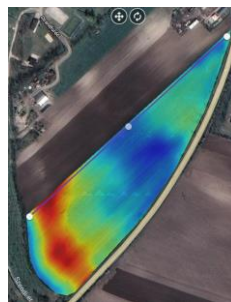
Az értékeket tetszőlegesen állíthatjuk és megfelelő beállítással ki lehet szűrni például a legmagasabban fekvő részterületet, akár pontot. (8.24. ábra bal oldala) Itt látható, hogy a legmagasabb pont a terület hátsó oldalán található, ahol NDVI képelemzés során alacsony

fejlettségű vegetációs szintet véltünk felfedezni. Ha mindkét határértéket 0 értékhez állítom, akkor a kalibrációs ponthoz képest látom a szintmodell alakulását. (8.24. ábra jobb oldala) Ebből következtethető, hogy a területen egyfajta hullámvázás detektálható, tehát egyenetlen a talaj.



8.24. ábra – Legmagasabb rész és a terület egyenetlensége

Vonalmérés eszközzel vizsgálom ennek a hullámvázásnak az intenzitását. A teljes terület vizsgálatához két áttelleges pontot választok. (8.25. ábra)



8.25. ábra – Vonalmérés eszköz

A rendszer ilyenkor eredményeket kalkulál, például a függőleges vetületi távolságot, felületre vetített távolságot, állásszöget, illetve a pontok közötti magasság különbségeket (8.26. ábra). Ami fontos információt hordoz, az a leképezett felületi profil. A profilon látható a vonalmérés eredménye a domborzati adottságokra vetítve egy diagramon. (8.26. ábra)



8.26. ábra – Vonalmérés eredménye

A diagram kimutatja, hogy a területen tényleg egyenatlenség észlelhető. A hirtelen talajelváltozás ellenőrzéséhez tovább szűkítem a mérést és a korábbi vonalmérés végpontjait áthelyezem a megfelelő pozícióra, a magasabban fekvő részterületre. Így alakul ki az új felületi profil. (8.27. ábra)



8.27. ábra – Módosított vonalmérés eredménye

Kalkulált eredmény azt mutatja, hogy 90 méteren belül 2 méter magasság különbség található, a változás közel lineáris, tehát nem mondható, hogy hirtelen változik a talajszint.

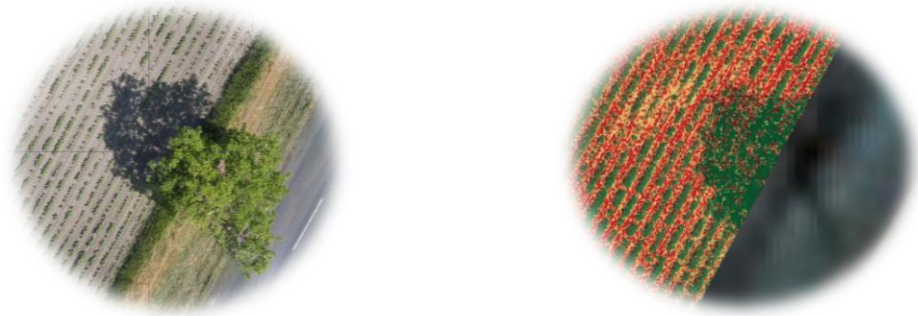
A mérés eredménye alapján elmondható, hogy a fejlődési problémát legnagyobb valószínűséggel a nem megfelelő domborzati viszonyok adták, ugyanis az eddigiek alapján összefüggésbe hozható az, hogy az átlagosnál magasabban fekvő részekben mértünk jóval alacsonyabb fejlettségi értékeket. Ezeken a területeken általában teljesen más, rosszabb a talaj vízmegtartása. A napraforgóról ismerjük, hogy különösen az a típusú kultúra, amely inkább a mélyebb fekvésű, jó vízmegtartású talajokat kedveli. [13]

8.4 Vetett árnyék, mint mérési hiba

A drónos fotogrammetriás felmérés egyik legnagyobb befolyásoló tényezője a vetett árnyék. A drónos méréseket általában magasabb napállásnál, késő délelőtti, déli órákban végezzük, mert ekkor a legkisebb az esélye a vetett árnyéknak. Árnyékos területen a visszavert látható fénytartomány mennyisége jelentősen csökken és a visszavert infraközelbi tartomány mennyisége is csökken. Ebben az esetben, ha a már említett NDVI képletet megfigyeljük, akkor minél jobban csökken az érték a látható tartományban visszaverődés során, annál magasabb NDVI értéket fogunk kapni. Ez azért is van így, mert a kultúra annál erősebb állapotban van, minél kisebb a vörös tartományban a visszaverődés. Arra kell figyelni, hogy árnyékos területen az NDVI kivétel nélkül erős vegetációt fog mutatni

és ilyenkor fals vagy nem valós NDVI értékeket tapasztalunk. Az alábbi példán bemutatom, hogy hogyan változik az NDVI érték árnyékos területen. (8.28. ábra)

NORMÁL TERÜLET	ÁRNYÉKOS TERÜLET
$\frac{0.8 - 0.5}{0.8 + 0.5}$	$\frac{0.7 - 0.3}{0.7 + 0.3}$
NDVI: 0.23	NDVI: 0.40



8.28. ábra – Mérési hiba, vetett árnyék

Sajnos a felmérést kora délelőtti órákban volt lehetőségem elvégezni, ezért nem volt kedvező a napállás és található vetett árnyékos rész a területen. Látható, hogy az árnyékkal borított részterületen az NDVI sokkal magasabb értéket mutat és szinte teljesen zöldnek látjuk.

9. ÖSSZEFOGLALÓ

A precíziós gazdálkodás összességében több mindent jelenthet, de a pontos meghatározása nem más, mint a sok bemeneti adattal rendelkező, jól átgondolt, megtervezett, precíz gazdálkodás. A precíziós gazdálkodási forma adta lehetőségek sorban jelennek meg Magyarországon, de sok gazdálkodó sajnos nem tudja kihasználni ezeket, mert bár a technikák, gépek rendelkezésre állnak, de kezelésükhöz és felhasználásukhoz további támogatás szükséges.

Bár adatnyerési eszközként több lehetőséget is bemutatam, de jelen szakdolgozatom célja az volt, hogy megismertessem, hogy a mezőgazdasági adatnyerési és adatfeldolgozási folyamatot miként lehet automatizáltan és hatékonyan elvégezni UAV eszközök felhasználásával. Bemutattam a drónokon használt különböző kamerák sajátosságát, működését és azt, hogy melyik kamerarendszert mikor és milyen feladatra érdemes alkalmazni. Gyakorlati beszámolóim során elvégeztem egy teljes állapotfelmérést egy választott mintaterületen kezdve a repülés megtervezésétől, a repülés végrehajtáson át, az elkészült képek feldolgozásáig. Ismertettem azt is, hogy milyen szoftvereket alkalmazok a tervezéshez, vizsgálathoz és részletesen bemutatam a lépéseket. Adatfeldolgozás során külön ki tértem arra is, hogy mikor milyen információkat jelenítünk meg és olvasunk ki az eredményekből és hogyan lehet például precíziós gépekbe importálható további munkavégzésre felhasználható térképeket készíteni.

A mérés során elkövetett hibáimra külön felhívtam a figyelmet, ezáltal szemléltetve azt, hogy melyek azok a paraméterek, amelyek jelentősen befolyásolhatják a méréseket és melyek azok a lehetőségek, amelyekkel esetlegesen korrigálni tudjuk a hibákat.

A munkám során rengeteg információt és tapasztalatot gyűjtöttem, de mivel innovatív technológiákat alkalmazunk, ezért a folyamatos fejlődésre számítanunk kell. Ennek tudatában igyekszem továbbiakban is agilis szemlélettel és módszertannal végezni munkámat.

10.SUMMARY

As a whole, precision farming can mean several things, but its exact definition is none other than well-thought-out, planned, precision farming with a lot of input data. The opportunities provided by the precision farming form are appearing in Hungary, but unfortunately many farmers cannot take advantage of them, because although the techniques and machines are available, additional support is required for their management and use.

Although I presented several possibilities as a data acquisition tool, the purpose of my current thesis was to introduce how the agricultural data acquisition and data processing process can be performed automatically and efficiently using UAV devices. I presented the characteristics and operation of the different cameras used on drones and which camera system should be used when and for which task. During my practical report, I carried out a complete condition assessment in a selected sample area, starting with the planning of the flight, through the execution of the flight, to the processing of the completed images. I also explained what software I use for planning and testing and presented the steps in detail. During data processing, I also discussed when to display and read out the results and how, for example, maps can be imported into precision machines and used for further work.

I specifically drew attention to the mistakes I made during the measurement, thereby illustrating which parameters can significantly influence the measurements and which are the possibilities with which we can possibly correct the mistakes.

During my work, I gathered a lot of information and experience, but since we use innovative technologies, we must expect continuous development. Knowing this, I will continue to do my work with an agile approach and methodology.

11.HIVATKOZÁSOK

- [1] M. Verőne Dr. Wojtaszek és E. Körmendy, „Távérzékelés szerepe a precíziós mezőgazdaságban, különös tekintettel az UAV felvételekre,” 2016.10.20..
- [2] A. Csóré és G. Major, „A pilóta nélküli légitáncművek (UAV) evolúciója,” *Repüléstudományi Közlemények*, pp. 171-191, 2021.
- [3] I. Papp, „Pilóta nélküli légitáncmű típusok jellemzése,” *Repüléstudományi Közlemények*, 2013.
- [4] M. Bálint, „HISTORY, TYPES, APPLICATION AND CONTROL OF DRONES,” *Biztonságtudományi Szemle*, 2022.
- [5] É. Dr Csató, I. Dr. Klinghammer és P. Dr. Márton, „Műholdadatok térképészeti alkalmazása,” Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 2000.
- [6] W. M. Verőné Dr., „FOTOINTERPRETÁCIÓ ÉS TÁVÉRZÉKELES,” Nyugat-magyarországi Egyetem, Székesfehérvár, 2011.
- [7] M. Verőné Dr. Wojtaszek, „Objektum-alapú képelemzés,” ÓE-AMK 000, 2015.
- [8] M. S. Kft., „ABÉTA - Hogyan működik a hőkamera?,” [Online]. Available: <https://www.abeta.hu/hogyan-mukodik-a-hokamera/>.
- [9] D. Lei, M. Zhihui, L. Xiaojuan, H. Zhouwei, D. Fuzhou és Yanan Yan, „UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras,” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, pp. 124-136, 2018.
- [10] E. D. ANALYTICS, „NDVI FAQ: All You Need To Know About Index,” 2019.08.30..
- [11] L. Osborn, „NDVI vs. NDRE: What’s the Difference?,” Sentera, 2022.02.04..

- [12] . M. G. Erunova, T. I. Pisman és A. P. Shevyrnogov, „he Technology for Detecting Weeds in Agricultural Crops Based on Vegetation Index VARI (PlanetScope),” *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, pp. 347-353, 2021.
- [13] H. Gábor, „Napraforgó fenológia,” Országos Magyar Méhészeti Egyesült, 2017.06.28..
- [14] T. Izsák, „Drónokkal történő terepi felvételezés a precíziós mezőgazdaság elősegítésének céljából - Szakdolgozat,” ELTE Térképtudományi és Geoinformatika Intézet, Budapest, 2021.

12.ÁBRAJEGYZÉK

2.1.	ábra	[https://airandspace.si.edu/collection-objects/pioneer-rq-2a-uav/nasm_A20000794000] – AII RQ-2 Pioneer	2
2.2.	ábra	[https://dron.hrp.hu/dron/dji-mavic-3m/] – DJI Mavic 3 Multispectral típusú drón	3
3.1.	ábra	[https://hu.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1that%C3%B3_spektrum] – Elektromágneses spektrum	6
3.2.	ábra	– Beeső fénysugarak kölcsönhatása a növényzettel.....	8
3.3.	ábra	– Reflektancia görbe	8
3.4.	ábra	[https://wingtra.com/how-ground-sample-distance-gsd-relates-to-accuracy-and-drone-roi/] – GSD érték	11
3.5.	ábra	– Repülés tervezése 30 méteres repülési magasságban	11
3.6.	ábra	– Repülés tervezése 100 méteres repülési magasságban	12
3.7.	ábra	[https://wingtra.com/how-ground-sample-distance-gsd-relates-to-accuracy-and-drone-roi/] – GSD érték különbségének látható eredménye.....	12
3.8.	ábra	– GSD érték változása 8000*6000 képpontból álló kamerával	13
3.9.	ábra	– GSD érték változása 640*512 képpontból álló kamerával	13
4.1.	ábra	– Hőkamera a drónban	14
4.2.	ábra	[https://www.agsgis.com/Mavic-2-Enterprise-New-Advanced-model-compared-to-the-DUAL-and-ZOOM_b_1071.html] – Hőkamerák felbontásának különbsége	15
4.3.	ábra	– Hőkamerák radiometrikus képessége	15
4.4.	ábra	[https://www.dronefly.com/blogs/news/the-best-thermal-drones-and-thermal-cameras/] – Hőkamerák állítható színpalettája	16
4.5.	ábra	– NDVI, NDRE kamera	17
4.6.	ábra	[https://enterprise-insights.dji.com/blog/all-about-p4-multispectral?utm_source=youtube&utm_medium=video&utm_campaign=intro] – Multispektrális kamera	18
4.7.	ábra	– Multispektrális és NDVI,NDRE fényképek	19
4.8.	ábra	– Egyállású mezőgazdasági kamerák rögzítése	19
4.9.	ábra	– Gimbal egység	20

4.10. ábra – Gumipárnák a gimbal egységben.....	21
4.11. ábra [https://sentera.shop/products/6x-system] – Gimballal stabilizált, cserélhető kamerarendszer	21
5.1. ábra – Indexek működése	23
5.2. ábra [https://axelglobe.zendesk.com/hc/en-us/articles/360056839034-Data-Cookbook-Agricultural-Monitoring] – NDVI képlet	23
5.3. ábra [https://eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/] – NDVI skála	24
5.4. ábra [https://axelglobe.zendesk.com/hc/en-us/articles/360056839034-Data-Cookbook-Agricultural-Monitoring] – NDRE képlet	25
5.5. ábra – NDVI és NDRE különbsége [https://www.hobbycity.hu/sentera-agx-710-rgbprecision-ndvi-mezogazdasagi-kamera-dji-matrice-200210300?keyword=ndvi%20ndre],.....	25
5.6. ábra – VARI képlet	26
5.7. ábra – RGB fényképekből előállított VARI térkép	26
6.1. ábra – DJI Mavic 2 Enterprise Dual Advanced drón.....	27
6.2. ábra – RTK modul	28
6.3. ábra – SMART akkumulátorok.....	28
6.4. ábra - Sentera Double 4K True NDVI®+NDRE® Red-Edge mezőgazdasági kamera	28
7.1. ábra – Kész repülésterv DJI PILOT programban	30
7.2. ábra – Feldolgozott térkép DroneDeploy programban	32
7.3. ábra – Kijuttatási terv készítés Sentera FieldAgent programban.....	32
7.4. ábra – Humusztartalmi elemzés eredménye QGIS-ben	33
8.1. ábra – Mintaterület E-közmű portálban	33
8.2. ábra – Repülés indítása előtt a helyszínen	34
8.3. ábra – Ortografikus és perspektivikus kép.....	35
8.4. ábra – Táblahatár kijelölése DJI PILOT programban.....	35
8.5. ábra – Repülési információk	36
8.6. ábra – Alapvető repülési paraméterek beállítása DJI PILOT programban	37
8.7. ábra – Haladó repülési beállítások DJI PILOT programban.....	37
8.8. ábra – Pontfelhő előállítás Agisoft Metashape programban NDVI fényképekből ..	39

8.9. ábra – RGB és NDVI ortomozaik.....	40
8.10. ábra – Táblahatár kijelölése, SHP fájl készítése	40
8.11. ábra – Vágott NDVI ortomozaik	41
8.12. ábra – NDVI számítás „Raszter Kalkulátor” parancs használatával	41
8.13. ábra – Színes megjelenítés hozzárendelése a térképhez	41
8.14. ábra – Szegmentálási folyamat eredménye.....	42
8.15. ábra – Zónaterv	43
8.16. ábra – Legmagasabb NDVI értékű zónák kiszűrése	43
8.17. ábra – Zónák területének kiszámolása	44
8.18. ábra.....	44
8.19. ábra – Műhold adatokból előállított zónaterv	45
8.20. ábra – Zónák területének kiszámolása	45
8.21. ábra -UAV és műholdas eredmények összehasonlítása zónánként táblázatban	46
8.22. ábra - Szintmodell	47
8.23. ábra – Szintérték diagram	47
8.24. ábra – Legmagasabb rész és a terület egyenetlensége	48
8.25. ábra – Vonalmérés eszköz	48
8.26. ábra – Vonalmérés eredménye.....	48
8.27. ábra – Módosított vonalmérés eredménye	49
8.28. ábra – Mérési hiba, vetett árnyék.....	50