

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

Pilóta nélküli repülő eszközök alkalmazhatósága a precíziós mezőgazdálkodásban

SZAKDOLGOZAT
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK
TÉRKÉPÉSZ ÉS GEOINFORMATIKUS SZAKIRÁNY

Készítette:

Dusek Bence

Témavezető:

Dr. Gede Mátyás

adjunktus

ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék



Budapest, 2018

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	3
2.	PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐ ESZKÖZÖK	5
2.1.	Fogalma	5
2.2.	Osztályozásuk, besorolásuk	6
2.2.1.	Általános besorolások	6
2.2.2.	Fel- és leszállás módja szerinti besorolás	10
2.2.3.	KRESZ és biztonság	16
3.	PRECÍZIÓS MEZŐGAZDÁLKODÁS	18
3.1.	Jelentősége, szerepe	18
3.2.	Modern gazdaság bemutatása	21
4.	MEZŐGAZDASÁGI UAV-K	23
4.1.	Jelentőségük	23
4.2.	Kamerák	25
4.2.1.	Elektromágneses sugárzás	25
4.2.2.	RGB kamerák	26
4.2.3.	Termális infravörös kamerák	27
4.2.4.	Multispektrális kamerák	28
4.3.	Vegetációs index térképek.....	32
4.3.1.	NDVI	34
4.3.2.	GNDVI	35
4.3.3.	NDRE	35
4.3.4.	SAVI és RDVI.....	36
5.	REPTETÉS	37
5.1.	Mintaterület bemutatása	37
5.2.	Adatok felvételezése.....	39
5.2.1.	Mérési eszközök specifikációi	39
5.2.2.	A tesztrepülés menete	41
5.3.	Multispektrális csatornák feldolgozása	42
5.4.	Multispektrális felvételek pontosságának vizsgálata.....	44
6.	EREDMÉNYEK.....	45

7. ÖSSZEFOGLALÁS	50
8. HIVATKOZÁSOK	52
8.1. Irodalomjegyzék	52
8.2. Ábrajegyzék.....	55
8.3. Táblázatjegyzék	59
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	61
NYILATKOZAT	62

1. BEVEZETÉS

Az információs technológia korában felnövő fiatalként személyem is érdekelt lett mindenben, ami modern, ami új, ami automatizált. Amikor felmerült a lehetőség, hogy a fent említett témát feldolgozzam szakdolgozatomban, kapva kaptam az alkalmon. Bár jómagam nem reptetek drónokat, magával a témával és az egyes katonaságban használatos dróntípusokkal tisztában voltam, ezekkel már korábban foglalkoztam. Az Eszterházy Károly Egyetem Gyöngyösi Campusán lévő Távérzékelési és Vidékfejlesztési Kutatóintézetből – személyes ismeretségem révén – kaptam a témajavaslatot, ők ugyanis most éppen ezt a technológiát próbálják meghonosítani a hazai precíziós mezőgazdálkodásban.

Úgy vélem, hogy bár a technológiának még van hová fejlődnie, a benne rejlő potenciálról és lehetőségekről érdemes beszélni. Mindenképpen javasolt velük foglalkoznia akár a szakmám, a térképészek képviselőinek is, ugyanis a mi munkánkat is nagyban meg tudják könnyíteni ezek a szerkezetek.

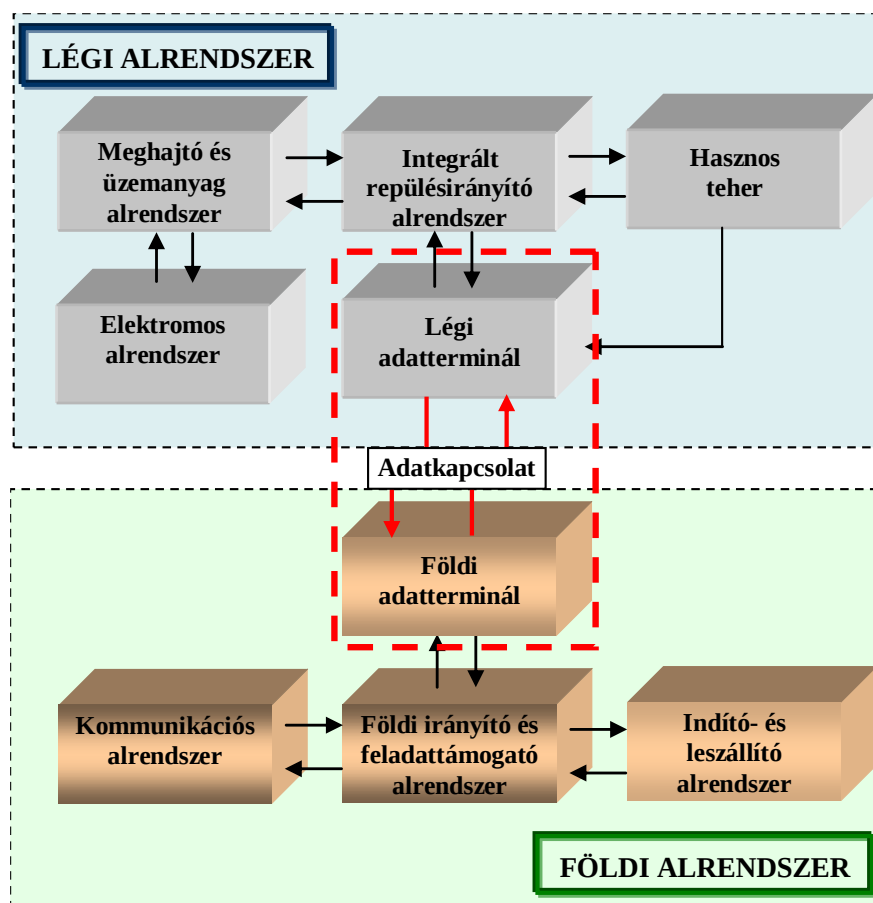
Minden laikus, akivel beszédbe elegyedtem a témáról, csak a hobbi oldalát ismerte a dolgoknak, a „drón reptetés” fogalmához jellemzően azt az életképet társította magában, ahogyan a pilóta egy puszta közepén saját szórakoztatása céljából, öncélúan egy miniatürizált repülőt vagy helikoptert irányítgat. Persze, ez félig-meddig igaz, hiszen a



1. ábra
A drón-reptetés fogalma a laikus számára

drón-reptetés a szabadidő eltöltésére is alkalmas, viszont – ahogyan szakdolgozatomban is bemutatni kívánom – ennél jóval hasznosabban és szélesebb körűen is fel lehet használni.

Valószínűleg a repülés romantikája, a vágy, hogy az ember a felhők között járhasson, a pilóta nélküli repülés elterjedése is nagy hatást gyakorolt, de az eszközök széles körű használhatósága éppúgy segítette a fejlődésüket, mint a repülés gondolatának esztétikuma.



2. ábra
A drón-reptetés fogalma valójában

Dolgozatom fő célja az, hogy részletesen bemutassam ezt a technológiát, hasznosíthatóságának jellemző felhasználási területeit egy általam kiválasztott példán keresztül (precíziós mezőgazdálkodás), valamint annak bemutatása, hogyan kapcsolódik ez a térképészethez és a geoinformatikához. Dolgozatom második felében a Távérzékelési és Vidékfejlesztési Kutatóintézet által működtetett drón tesztelésének és repültetésének a részletes leírására teszek kísérletet.

A téma kifejtésének első lépéseként, tekintsük át röviden, mit is jelent pontosan, hogy pilóta nélküli repülő eszköz, majd mit jelent az, hogy precíziós mezőgazdálkodás!

2. PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐ ESZKÖZÖK

2.1. Fogalma

„A pilóta nélküli repülőgép, vagy drón (amely az angol drone, azaz here – a méhek dolgozói – szóból ered), amely kezdetekben elsősorban katonai feladatokra alkalmazott olyan repülőeszköz, mely valamilyen ön- vagy távirányítással (leggyakrabban a kettő kombinációjával) rendelkezik, emiatt fedélzetén nincsen szükség pilótára. Amennyiben katonai célokra használják, a harci robotok egyik fajtája. Ellentétben a robotrepülőgéppel, mely használatakor megsemmisül, a pilóta nélküli repülőgép, léghajó vagy helikopter többször is felhasználható.”¹

Ahhoz, hogy tovább tudjunk haladni, fontos tisztázni a pilóta nélküli repülő eszközök alapvető terminológiáját, amibe beletartoznak maguk a repülő járművek és a repülésüket biztosító rendszerek:

- Az UAV – (Unmanned Air Vehicle) az a légi jármű, ami teljesen egyedül, a programja szerint repül, pilóta nélkül repül.
- Az UAS – (Unmanned Aircraft System) a járművön kívül a működést biztosító rendszerek összessége. Ez tehát magában foglalja a földi irányító állomást, a kommunikációs csatornákat, a műszaki felkészítő és karbantartó rendszereket, az indító és a visszaérkezést biztosító és magát a rendszert vezérlő, irányító, kiszolgáló embereket is.
- Az RPV – (Remotely Piloted Vehicle) esetenként RPA – (Remotely Piloted Aircraft) az a légi jármű, amit a pilóta távolról, a járművön kívül irányít.
- Az RPAS – (Remotely Piloted Aircraft System) lényegét tekintve ugyanaz, mint az UAS. Ezt a távirányított repülőgép rendszer elnevezést, az európai civil alkalmazásokat szorgalmazó szervezetek használják elsősorban, hogy ezzel jelezzék a különbséget, a katonai rendszerekhez képest.

¹ WIKIPÉDIA (2018): *Pilóta nélküli repülőgép*.

- Az UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle) és az UCAS (Unmanned Combat Air System) pedig a katonaságban használt rövidítések, melyekkel a felfegyverzett pilóta nélküli harci repülőgépeket, illetve azok repülését biztosító rendszerét jelentik.
- A légi alrendszer – minden olyan eszköznek és alrendszernek az összessége, amelyek magához a pilóta nélküli légi járműhöz kapcsolódnak.
- A földi alrendszer – minden olyan eszköznek és alrendszernek az összessége, amelyek távolról, a földről figyelik meg, indítják és kommunikálnak a járművel.²

Előfordul, hogy az ember felcserélve használja az UAV és RPV megnevezéseket, pedig nagyon egyszerű a különbség. Az UAV tulajdonképpen egy olyan pilóta nélküli repülő eszköz, aminek nincs pilótafülkéje, tehát pilótája sem, semmilyen formában. Az RPV pedig egy olyan pilóta nélküli repülő eszköz, amelynek szintén nincs pilótafülkéje, de van pilótája, csak az eszköztől több száz méterre, akár kilométerre. Röviden, Az RPV az egyfajta UAV, csak távirányítással. Főleg katonai berkeken belül fontos a kettő közti különbség, ahol vannak még olyan feladatok, amelyekben számít az emberi döntéshozás. A továbbiakban a szerző a két kifejezés közül, az egyszerűség kedvéért, az UAV megnevezést fogja használni minden pilóta nélküli repülő eszközre.³

2.2. Osztályozásuk, besorolásuk

2.2.1. Általános besorolások

A pilóta nélküli repülő eszközöknek sokféle besorolása létezik, de nem csak aszerint csoportosíthatjuk őket, hogy ember vagy gép által irányított a drónunk. Attól függően, hogy milyen felhasználási területeken alkalmazzák, milyen a felépítésük, mekkora a méretük vagy milyen messzire képesek repülni, más és más osztályozást tudunk alkalmazni. A mai napig nincs egyetértés a szakemberek között abban, hogy melyik a leghatékonyabb csoportosítási forma, tekintve, hogy többféle besorolás létezik, nagyon széles az a feladatkör, amire felhasználhatóak. Ráadásul a pilóta nélküli légi járművek csak az elmúlt

² PALIK ET AL. (2013): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.*

³ JOAN, B. (2017): *Difference between UAV and RPV.*

évtizedben kerültek be a köztudatba, tehát még nem volt elég idő sem arra, hogy egy jól átgondolt besorolás kialakuljon.

Az egyik leglényegesebb tulajdonság, ami szerint csoportosíthatjuk a pilóta nélküli légi járműveket, az, hogy megállapítsuk, milyen feladatot látnak el. A munkavégzés célja szerint két nagy csoportba soroljuk őket (azon belül számos kisebbbe), ahogy azt az 1. táblázat is mutatja.

Polgári, kereskedelmi célú UAV	Katonai UAV
<i>Rekreációs</i>	<i>Cél és csaligépek (drónok)</i>
<i>Sport</i>	<i>Felderítő</i>
<i>Fényképezési</i>	<i>Csapásmérő</i>
<i>Filmezési</i>	<i>Szárnycsökkentő</i>
<i>Biztonsági (például kutatóhajók ellenőrző helikopterei)</i>	<i>Logisztikai és szállító</i>
<i>Felderítési célú (pl. archeológia)</i>	<i>Kutatási, fejlesztési célú</i>
<i>Felmérési célú (pl. térképészet, kataszter, három dimenziós modellezés, távérzékelés)</i>	
<i>Mérőberendezéseket célba juttató (például vegyelemző, meteorológiai mérések, stb.)</i>	
<i>Vegyszereket, gyógyszereket, élelmiszert célba juttató</i>	
<i>Kutatási, fejlesztési célú</i>	

*1. táblázat
A pilóta nélküli repülő eszközök munkavégzés célja szerinti osztályozása*

Ezekben belül a katonai szervezetek a saját maguk által készítettet használják, míg a polgári, kereskedelmi szféránál nincs rögzített csoportosítás, mindig egy kicsit változik és fejlődik az idő előrehaladtával. A felhasználással szoros összefüggésben biztos, hogy a legértékesebb a méret, repülési távolság és teherbíró képesség szerinti osztályozás. Az általunk vizsgált felhasználási terület, a precíziós mezőgazdaság számára is a méret és

a teherbírás az egyik legfontosabb tulajdonság, ami szerint csoportosíthatók az UAV-k. Ez alapján tudják eldönteni, hogy milyen hasznos terhet (érzékelőket, kamerákat) lehet rászerelni és mennyit.

A legegyszerűbb méret szerinti csoportosítás:

- Nagyon kis UAV
 - Micro vagy Nano UAV
 - Mini UAV
- Kis UAV
- Közepes UAV
- Nagy UAV

Átlagosan a nagyon kis UAV-k nagyságukat tekintve elérhetik akár a 30-50 cm-t is, de az is előfordulhat, hogy a drón alig nagyobb egy rovarnál. A micro vagy nano UAV-eket a katonaság tudja leginkább kihasználni kémkedésre, információgyűjtésre és biológiai hadviselésre, ezek mellett népszerű még a hobbi pilóták körében is. A mini drónok mérete megegyezik az átlagos hobbi drónokéval, ezek a legelterjedtebbek. Ez már több polgári feladat ellátására is alkalmas, mint például, koncertfelvétel, filmfelvétel, fényképezés, meccsközvetítés, alapszintű terepi felmérés, rendfenntartás.

Azok a drónok nevezhetők kis UAV-nek, aminek az egyik tengelyen nagyobb a mérete, mint 50 centi és kisebb, mint 2 méter. Sok modell merevszárnyú ebből a kategóriából, legtöbbjük állványról vagy kézből indítható. Ezek a drónok már komolyabb távérzékelési eszközöket is tudnak hordozni, és képesek komolyabb feladatok ellátására. A terepen használt drón is ebbe a típusba tartozik.

A közepes UAV megnevezést azokra a pilóta nélküli légi járművekre használják, amik már elég nehezek, hogy egy felnőtt ember ne bírja felemelni, de még könnyebbek, mint egy sportrepülőgép. Teherbírásuk általában 100-200 kg között van, valamint szárnyfeszításvuk 5-10 méter között (feltéve, hogy merevszárnyú). Ez a csoport az, melynek eszközeit mind a polgári, mind a katonai szféra tudja hasznosítani. Felderítés, csapásmérés, logisztika, távérzékelés, meteorológiai mérések és megannyi felhasználási terület. Méretéből adódóan, nagyobb rajta a hasznos teher, és nagyobb távolságot is képes megtenni, mint az előbb említett dróntípusok.



3. ábra

A NASA RQ-4 Global Hawk (bal) és MQ-9 Reaper / Predator B (jobb) típusú UAV-ja

A nagy UAV-k csoportjába minden olyan pilóta nélküli repülő eszköz besorolható, amelyek az előző csoportokból kimaradtak. Méretük vetekszik a „rendes”, pilótákkal ellátott társaikéval. Ezt a mérettartományt inkább a katonaság és egyes hivatalos, kormánysszervezetek tudják kihasználni. Leghíresebbek a Predator A, B és a Global Hawk típusú UAV-k.⁴

A következő táblázat talán az egyik legismertebb, a katonaság által használt osztályozást mutatja be, az úgy nevezett „Group” (magyarul, csoport) osztályozási rendszert, ahol 1-5-ig terjedő kategóriákba sorolják be a drónokat. (2. táblázat)

Kategória	Méret	Maximális felszállási össztömeg (MGTW) (kg)	Normál irányítási magasság (m)	Légsebesség (csomó)
1-es csoport	Kis	0-10	<350 AGL	<100
2-es csoport	Közepes	11-25	<1.000 AGL	<250
3-as csoport	Nagy	<600	<5.500 MSL	<250
4-es csoport	Nagyobb	>600	<5.500 MSL	Bármekkora
5-ös csoport	Legnagyobb	>600	>5.500 MSL	Bármekkora

2. táblázat

A US Department of Defense (DoD) által használt UAV osztályozás
(AGL=Above Ground Level, azaz talajszint feletti magasság; MSL= Mean Sea Level, azaz közepes tengerszint)

⁴ DUTTON, J. A. – ABDULLAH, Q. (2018): *Classification of the Unmanned Aerial Systems*.

Léteztek még hasonló besorolások, mint például a Tier System (Rang rendszer), amely inkább a dróntípus által betölthető szerep szerint csoportosította a járműveket, és a katonaság használta bizonyos bevetések megtervezéséhez, illetve a US Army-nak a Future Combat Systems (Jövőbeli Harc Rendszer) besorolása. Napjainkban azonban már egyiket sem használják az Egyesült Államokbeli katonai szervezetek.

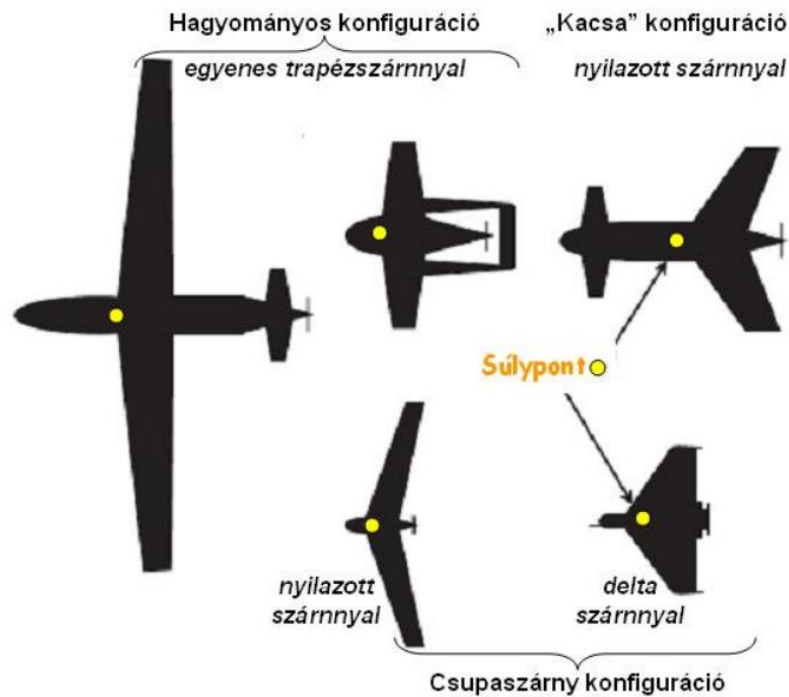
2.2.2. Fel- és leszállás módja szerinti besorolás

A következő besorolás, amit fontosnak tartok hosszabban bemutatni, az a fel- és leszállás módja szerinti csoportosítás. Ebben az osztályozási típusban két, egymástól jól megkülönböztethető kategória (vízszintesen felszálló és függőlegesen felszálló) és ezeknek a keveréke található. Általánosságban véve a (Horizontal Take Off and Landing – HTOL) járművek merevszárnyas, míg a (Vertical Take Off and Landing – VTOL) járművek forgószárnyas kialakításúak. Laikus nyelven megfogalmazva, itt a „sima” repülők és a helikopterek közötti különbségeket vesszük figyelembe.

A vízszintesen felszálló pilóta nélküli járművek talán a legelterjedtebbek az egész világon. Népszerűségüket az egyszerű technikai kialakításuknak és hatékonyságuknak köszönhetik. Irányításuk jóval egyszerűbb és könnyebben elsajátítható, mint a függőlegesen felszálló társaiké. Ezenkívül nagyobb repülési időtartamot, magasságot és sebességet lehet velük elérni.

A mai modern légi járműveknek a többsége légcsavar segítségével hozza magát mozgásba (persze van egyéb módja is, pl. a sugárhajtóművek). A légcsavar elhelyezését tekintve van vonó és toló kialakítású. Mind a kettő megoldásnak megvannak a pozitívumai és a negatívumai egyaránt. Pilóta nélküli légi járművek esetében azért preferálják inkább az utóbbit, mert így a drónok törzsére könnyebben és praktikusabban helyezhetőek el az érzékelő eszközök (optikai, infra kamera, stb). Az ilyen kialakítású eszközöknél 3 fajtát különböztetünk meg: hagyományos, canard (kacsa) és csupaszárny konfigurációkat (4. ábra).⁵

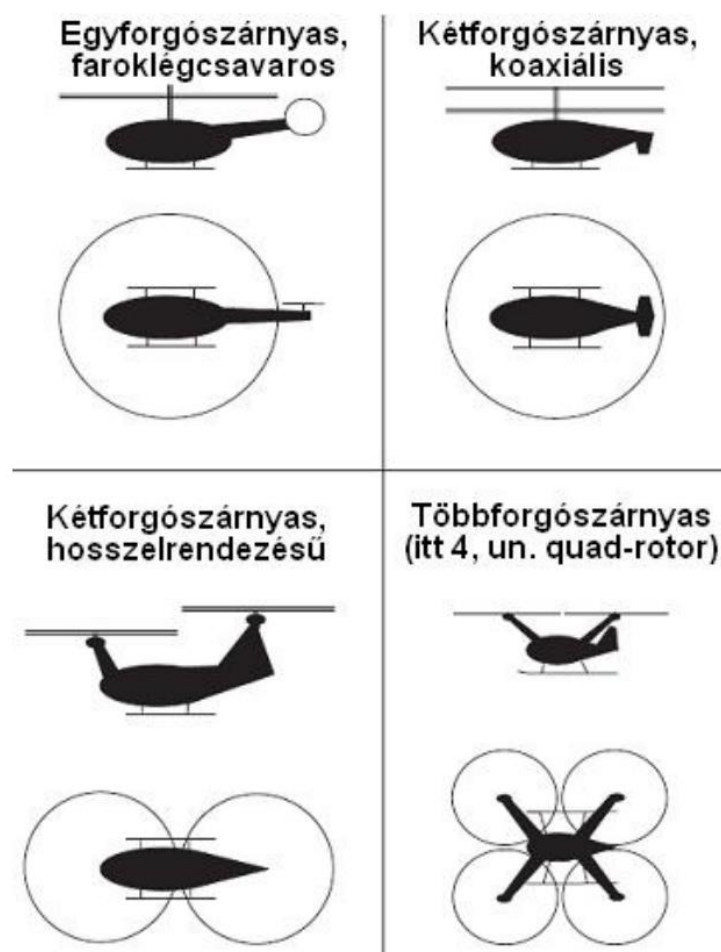
⁵ PALIK ET AL. (2013): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.*



4. ábra
Toló légcsavaros HTOL repülőgépek különböző konfigurációi

A függőlegesen felszálló (angolul, VTOL) pilóta nélküli járműveket a helikopterekkel szokták azonosítani. A pilótával ellátott változataikhoz hasonlóan, az UAV-k is különböző elrendezésű, számú és kialakítású rotorral rendelkeznek. A HTOL, merevszárnyú repülőgépek alapelve az, hogy a gép szárnya alatt és felett fellépő légnyomáskülönbség előre haladó mozgás közben felhajtóerőt generál. A VTOL-ok működési elve ugyanígy a légnyomáskülönbséget hasznosítja, azzal a differenciával, hogy nem a jármű szárnyain képződik a felhajtóerő, hanem a rotorlapátokon. Azonban a helikoptertörzs a rotor forgásának reakciónyomatéka miatt a rotorral ellentétes irányba mozdulna el, ha ezt nem kompenzálnák. Ennek a problémának a megoldásai jelentik a VTOL-ok csoportosíthatóságát.

Mint az 5. ábrán is látható, van olyan gép, ahol a rotor forgatásának reakciónyomatékát egy kisebb, vízszintes tengelyű faroklégcsavar használatával ellensúlyozzák. Van, ahol ugyanezt kettő vagy több, a fő rotorral azonos méretű forgószárnyal oldják meg. Ezek alapján megkülönböztetünk koaxiális (ahol a két rotor egymás alatt helyezkedik el), hosszfelrendezésű vagy tandem rotoros (ahol egy-egy rotor található a gép tengelye mentén, egymástól a lehető legtávolabb) és több forgószárnyas (hasonlóan az előzőhöz, csak 3, 4, 6, 8 vagy akár 16 rotort helyeznek el a lehető legtávolabb egymástól).⁶



5. ábra
Forgószárny elrendezései a VTOL drónoknak

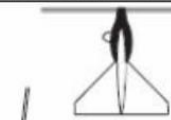
Érdemes megemlíteni a több forgószárnyas drónokat is, ugyanis a civil/hobbyi szférában a legnépszerűbb pilóta nélküli repülő eszközök ezek a típusú drónok. Valószínű, hogy ezt a népszerűséget olcsóságuknak, méretüknek és egyszerű irányíthatóságuknak is köszönhetik. Ezt úgy érik el, hogy a GYRO-stabilizált fedélzeti elektronika segítségével

⁶ PALIK ET AL. (2013): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.*

egyszerre tudják változtatni a négy (vagy több) forgószárny fordulatszámát, és ezzel növelni a könnyű manőverezhetőséget. Hátulütője a kialakításnak, hogy az enyhe szélre/széllesekére jóval érzékenyebb, mint más, forgószárnyas elrendezésű társai. Válaszreakciójuk is sokkal nagyobb, illetve mindegyik rotornak működőképesnek kell lennie ahhoz, hogy a levegőben maradjanak.

Előfordulhatnak olyan szituációk, amikor a helikopterekre érvényes függőleges fel- és leszállási módra van szükség, de közben a gépnek 200-230 km/h átlagsebességnél gyorsabban kell haladnia (végsebességük 270-280 km/h körüli). Ilyen esetekben jöhetnek szóba a VTOL és a HTOL legjobb tulajdonságait egyesítő hibrid drónok/repülőgépek.

Az előzőekhez hasonlóan, itt is minimum négyféle kialakításról beszélhetünk (6. ábra). Az ábrán látható első és második kialakítás azt mutatja, ahogyan a rotor függőleges, illetve vízszintes helyzetbe fordul szárnyastul, vagy anélkül. A harmadikon az látszik, amikor maga a gép törzse fordul el és vissza, ezt „konvertibilis” megoldásnak nevezzük. Utolsón a „Ductile Fan” vagy elfordítható csőlégcsavar keresztmetszete látszódik. Ezeken kívül, létezik egy ötödik kategória is, ezek az elfordítható gázturbinás hajtóművek. Pilóta nélküli légi járművek szintjén az utóbbi csoport nem igazán elterjedt, habár ilyen technológiát alkalmazó repülőgép már létezik (Harrier).

Repülési üzemmód	Elfordítható légcsavar	Elfordítható szárny + légcsavar
Felszállás, emelkedés		
Vízszintes repülés		
	Elfordítható repülőgéptörzs	Elfordítható csőlégcsavar kormánylapokkal
Felszállás, emelkedés		
Vízszintes repülés		

6. ábra
Hibrid repülőgép kialakítások

A leírtak alapján is látható, hogy ezen eszközök csoportosítása egyáltalán nem egyszerű. A következőkben már csak néhány olyan tulajdonságot szeretnék példaként megemlíteni, amelyek a pilóta nélküli légi járművek csoportosításainak további alapjait képezhetik:

- felhasználás módja (egyszeri és többszöri);
- indítás módja (földi - és légi indítású);
- irányítás módja (távírányítású, programvezérelt és kombinált vezérlésű);
- meghajtás módja (dugattyús, gázturbinás és elektromotoros);
- repülési jellemzők (sebesség, magasság, hatósugár, repülési időtartam szerint);
- visszatérés módja (leszállással, ejtőernyővel, elfogó hálózattal) alapján.⁷

A fejezet lezárásaként a tényleges UAV-típusok bemutatására törekszem:



7. ábra

Merevszárnyú UAV típusokról illusztrációk: (balról jobbra, fentről lefelé haladva)

Denel Aerospace – Seeker (hagyományos);

E.M.I.T. – Blue Horizon 2 (canard);

Boeing – Insitu Scan Eagle (csupaszárny);

Sagem – SPERWER (deltaszárny)

⁷ PALIK ET AL. (2013): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.*



8. ábra

*Forgószárnyú UAV típusokról illusztrációk: (balról jobbra, fentről lefelé haladva)
Boeing – A160T Hummingbird (faroklégcsavaros); Infotron – IT180 (koaxiális);
DPI – DP-14 (tandem rotoros); Syma – X8HW (többforgószárnyas)*



9. ábra

*Hibrid kialakítású UAV típusokról illusztrációk: (balról jobbra, fentről lefelé haladva)
Honeywell – T-Hawk MAV (elfordítható csőlégcsavar); MLB – V Bat (elfordítható
repülőgéptörzs); Bell Helicopter – Eagle Eye (elfordítható szárny)*

2.2.3. KRESZ és biztonság

A repülés önmagában nem veszélyes, a becsapódás viszont igen. Sok tekintetben a légtér nagymértékben hasonlít az utcai közlekedéshez, ugyanúgy vannak utak (légi folyosók), rendfenntartók (légi irányítók) és most már biciklisek is (drónok). Az olyan bicikliseket, akik úgy érzik, hogy a KRESZ nem érvényes rájuk, senki nem szereti. Nagyon sokáig a reptetést elég szabadelvűen kezelte hazánkban a szabályozás. Az utóbbi pár évben viszont kormányrendeletekkel próbálják minél jobban szabályozni a tevékenységet, annak érdekében, hogy mindkét oldal számára, a légi közlekedés és a drón pilóták számára is egy minél előnyösebb kompromisszumos szabályrendszer szülessen. Ez azonban még várat magára.

Több probléma az összehangolással adódik. Jelenleg törvény kötelez minden egyes pilótát, hogy kitöltött formanyomtatványok segítségével 30 nappal előre jelentsék be igényüket a reptetésre. Mondani sem kell, hogy ez egyrésztől megöli a reptetés romantikáját és spontaneitását, másrészt még több terhet tesz a légi irányítók vállára, mert így repülési tervek tömegét kell majd feldolgozni. Tekintve, hogy itthon az utóbbi időszakban megsokszorozódott a drónok száma (egy adatok szerint elérhetik akár a 100.000-et is), ők vannak többségben.

Másik jelentős probléma, hogy nem minden drón reptető képzett pilóta, így az amatőrök még nagyobb veszélyt jelenthetnek a légtérre. Folyamatosan be kell tartani a tervezett útvonal- és időtervet, a „látva repülés” szabályát, hiszen a pilóta nélküli légi járművek nem érzékelik a környezetük légi forgalmát, ezért más drónok vagy „rendes” repülőgépek előtt nem tudnak kitérni. Illetve az előző kérdéskörhöz kapcsolódóan, előfordulhat az is, hogy más járművek nem veszik észre a drónt mérete miatt, ugyanis a kisméretű repülőgépek alig tartalmaznak visszaverő felületet a radarok számára – azonban „transzponder” (az UAV-re szerelt válasz-jeladó berendezés, amely bizonyos radarhullámok hatására válaszol a forrásnak) felszerelésével ez a probléma kiküszöbölhető.

Nagyon nehéz ezt tehát szabályozni, viszont elsősorban talán nem is szabályozás betartása jelenti a balesetek elkerülésének legfőbb megoldását, hanem saját józan eszünk és józan ítélőképességeink. Az alábbiakban ezért – dr. Palik M. alezredes nyomán – azokat a tanácsokat gyűjtöttem össze, amire figyelve, minimalizálhatóak a balesetek:

- A magyar légtérben engedéllyel és tevékenységi jóváhagyással szabad drónt repültetni.
- Használat előtt figyelmesen ellenőrizni kell az UAV-t, alkalmas-e a repülésre.
- Szemrevételezni kell a helyszínt, kiemelt figyelmet kell fordítani a körzetben tartózkodó emberekre, állatokra, akadályokra.
- Meg kell győződni róla, hogy a látási és az időjárási körülmények megfelelnek-e az UAV biztonságos használatának.
- Repülés közben mindig látótávolságon belül kell tartani a pilóta nélküli légi járművet.
- A drónt körültekintően kell használni, folyamatosan készen állva a biztonságos „kényszerleszállás” végrehajtására.
- A drónokkal tilos repülni városok, települések sűrűn lakott területei, ipari területek és szabadban tartózkodó embercsoportok felett. Ez fokozottan igaz a repülőterekre és azok ellenőrzött légtereire.
- Az UAV-val nem szabad 50 méteren belül személyekhez, embercsoportokhoz, járművekhez, épületekhez vagy szerkezetekhez repülni.
- A drón kezelője a felelős emberekkel vagy tárgyakkal (repülőgépekkel) történő összeütközés elkerüléséért.
- Fényképek (videók) készítésekor be kell tartani a személyiségi jogokat.
- Nem szabad feledni, hogy jogilag a drón kezelője felelős a repülés biztonságos lebonyolításáért. Meg kell tehát ismerni a szabályozást, annak érdekében is, hogy elkerülhető legyen a későbbi felelősségre vonás.⁸

⁸ PALIK M. (2015): A Pilóta nélküli repülés fejlődése.

3. PRECÍZIÓS MEZŐGAZDÁLKODÁS

3.1. Jelentősége, szerepe

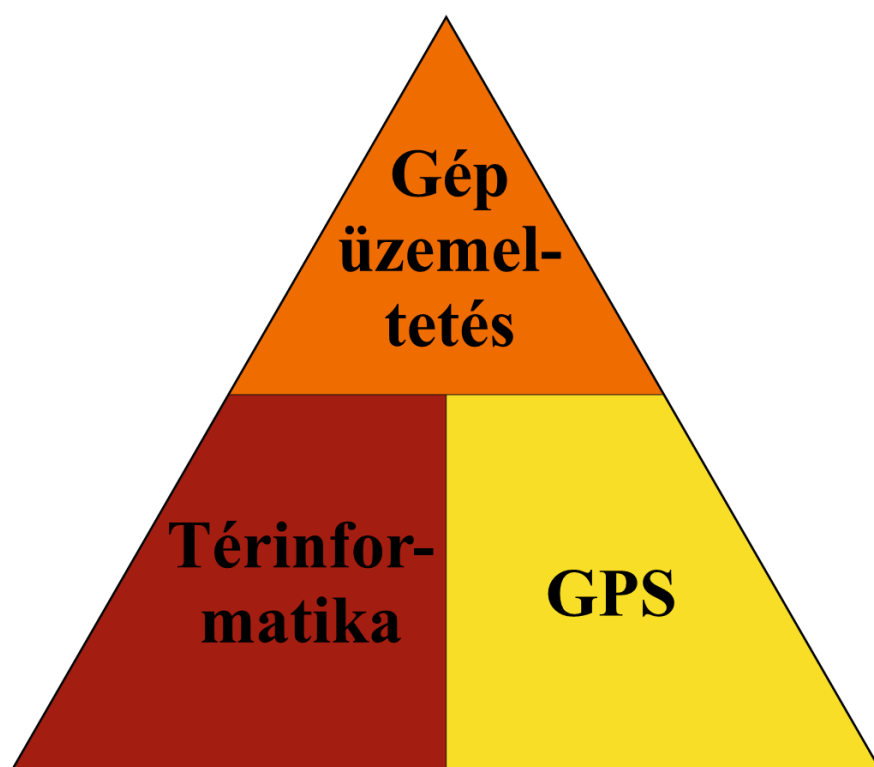
A precíziós mezőgazdaság kifejezés mára „trendi” kifejezéssé vált. Az utóbbi pár évtizedben ez a téma foglalkoztatja a termelőket, az agrárgépek forgalmazóit és gyártóit, a fejlesztési és kutatási szférában dolgozókat, valamint az idetartozó médiumokat (internetes portál, újság, ismeretterjesztő sorozat).

Ekkora mértékű változás, amely ilyen gyorsan megy vége az agrárkultúra területén, nevezhető forradalomnak is akár. Legyen bármiről szó, minden forradalomnak vannak támogatói, kihasználói és konzervatív ellenzői is. Jelen esetben is ez történt, mindenki máshogy látja a legitimitását ennek a forradalomnak, és aszerint fejleszti, gazdaságát, eszközeit, járműveit.

A fejlesztési és kutatási szférában dolgozó szakemberek pontosan értik, hogy mi ennek a forradalomnak a lényege, mi a precíziós mezőgazdaság, és ez miért tud nagy változásokat hozni az életünkbe. A kutatási eredményekhez, a külföldi szakirodalmakhoz hozzáférve, pontosan tudják, hogy ez azt a technológiát (tehát nem csak technikáról, gépekről, eszközökről van szó) jelenti, amelyek optimalizálják a mezőgazdasági termelést. Olyan adatokat vagyunk képesek megjeleníteni ennek a segítségével, amelyek segítik a termelőket, munkásokat, szakembereket a helyes döntések meghozatalában. A döntést továbbra is nekik kell meghozni, de az egyszerűbbé válik a nyújtott információk segítségével.

A kérdés már csak az, hogy hogyan állnak hozzá ehhez a mezőgazdasági forradalomhoz a termelők, azok, akik igazán számítanak, és mégis a képzeletbeli információs létra legalján helyezkednek el. Ahogyan vélelmezhető, vannak, akik üdvözlők, de vannak, aki ódzkodnak tőle. Az utóbbi eset nemcsak az új iránti félelem, hanem az információ hiánya miatt is meghatározó. Sajnos, a gazdák egy része úgy gondolja, hogy sem ideje, sem energiája nincs ahhoz, hogy komolyan utánajárjon ennek a témának. A GPS-technológián alapuló eszközök mellett talán egy független szaktanácsadó/szakértő is segítsége is nélkülözhetetlen lenne első körben. Ez a szakértő biztosíthatná a komplex technológia adaptációját az adott termelő mezőgazdaságára.

A technológia módszereinek kutatására és a kutatási eredmények gyakorlati bevezetésére már az 1980-as évek vége óta törekedtek a szakemberek. Először (mint a modern korban minden nagyobb fejlesztés és irányzat) a fejlett nyugati országokból, azokon belül is főleg az Egyesült Államokból jött ez a technológia, ahol fejlettebb mezőgazdasággal rendelkeztek. Ezt a modernizációt, a precíziós mezőgazdálkodást, a technikai feltételeit az informatika örületes sebességű fejlődése tette lehetővé, azzal, hogy létrehozta a térinformatika fogalmát. A GPS-ből és az informatikából származtatható térinformatika aztán lassan beszivárogt az iparba, a logisztikába, a mindennapi életünkbe és jelen esetünkben a mezőgazdálkodásba is. Ennek segítségével új média, új tudományágak, új munkalehetőségek teremthetők.



10. ábra
A precíziós mezőgazdálkodás alapjai

Maga a precíziós mezőgazdálkodás tulajdonképpen a térinformatika, a GPS-es helymeghatározás és a gépüzemeltetés feltételein alapuló gazdálkodási forma (10. ábra) és döntéstámogatási rendszer, amely segítségével információt kaphatunk többek között egy adott termőföld térbeli heterogenitásáról. Ezeknek a termőföldeknek az egyes táblarészeinek a földrajzi koordinátaíhoz rendeljük hozzá azokat a változókat, amelyek a minket érdeklő heterogenitást mérik. A térinformatikai adatbázisok (GIS) fő feladata, hogy ezeket a tulajdonságokat tárolják, és ezen adatbázisok feldolgozásával lehetségessé váljon

ennek a technológiának a megtervezése és a végrehajtása. Látható, hogy alapjaiban különbözik ez a szemléletmód a korábbi gazdálkodási formától, ahol a táblát egyetlen homogén felületnek tekintették és úgy is kezelték.⁹ (3. táblázat)

Hagyományos mezőgazdaság	Precíziós mezőgazdaság
Mezőgazdasági kezelési és szervezési egység a mezőgazdasági tábla, amelyet homogén termőhelyi tulajdonságúnak fogadunk el.	Mezőgazdasági és szervezési egység a termőhely, amelyet pontról-pontra eltérőnek és táblaszinten heterogénnek fogadunk el.
Átlagolt mintavételezésen alapuló tápanyag gazdálkodás.	Műholdas helymeghatározás alapú pontszerű mintavételezés és adatgyűjtés (talajállapot, növényállapot).
Átlagolt növényvédelmi kárfelvételezés és beavatkozás.	Geostatistikai interpolálás alapján „homogénként” lehatárolt táblán belüli termőhelyi blokkok.
Azonos tőszám, fajta.	Termőhelyenként változó gépüzemeltetés.
Homogén vízgazdálkodás.	Termőhelyszinten homogén blokkokba szervezett egységes növényállomány térben és időben.
Azonos gépüzemeltetés.	A gazdasági értékelés alapja a termés megoszláson alapuló költség / jövedelem viszonyok.
Táblaszinten egységes növényállomány térben és időben.	A döntési alternatívák száma az elemzés során a térinformatikai eszközök révén a térbeli összefüggéseket kiemelten képes figyelembe venni.
A gazdasági értékelés alapja a táblaszintű átlagtermésen alapuló költség / jövedelem viszonyok.	Az IT a termesztés valamennyi fázisában egységes rendszert alkotva jelen van.
A döntési alternatívák száma az elemzés során viszonylag kevés, amely a térbeli összefüggéseket korlátozottan képes figyelembe venni.	
Információs és kommunikációs eszköztár részfeladatokat támogat	

3. táblázat
A hagyományos és a precíziós gazdálkodás legfőbb eltérései

⁹ REISINGER P. (2014): *Precíziós mezőgazdaság 1. rész.*

3.2. Modern gazdaság bemutatása

Ahhoz, hogy teljes képet kapjunk arról, hogy mi a precíziós mezőgazdálkodás, egy 21. századi, amerikai mintára működő gazdaságot szeretnék bemutatni. Lehetőségem nyílt arra, hogy lakóhelyemen, Nagykátán, a helyi Nagykátai Mezőgazdasági Szövetkezet munkafolyamataiba és eszköztárába bepillantást nyerjek. Kis városi gazdasághoz képest jól felszerelt szövetkezetről beszélhetünk, technikai értelemben véve Magyarország legfejlettebbjei közé tartozik. Sokkal előrébb tartanak a gépesítésben, mint a hasonlóan kisméretű társaik.

Erőgépeik és eszközeik nagy részét adják a John Deer által gyártottak. A John Deer eszközök nagy előnye, hogy mivel ugyanaz a gyártó, egységes rendszert alkotnak, képesek kommunikálni egymással. Ha ezt a gazdák ki tudják használni, hihetetlenül meg tudja könnyíteni a munka folyamatait. Ezek természetesen mind önvezető eszközök, tudatos használat esetén (mint ebben a gazdaságban is) a humán munkaerőnek elsősorban figyelemmel kell kísérni a gépek munkáját, illetve korrigálnia kell az esetleges hibáikat.

Áprilisi nap volt, mikor először kijutottam a terepre, és megfigyelhettem a kukorica megművelésének munkafolyamatait. Aznap jó időjárásnak néztünk elébe, sok napsütéssel, de a nagy mennyiségű csapadék miatt nem tudtak minden egyes területet megművelni. Tavaszi műtrágyaszórással kezdték a munkát a gazdák, amelynek során egy önjáró traktor hozamtérkép alapján adagolta a terület különböző részeire a műtrágyát. Hozamtérkép alapján kétféleképpen lehet műtrágyázni. Az egyik metódus alapján arra területre juttatnak több inputanyagot/műtrágyát, ahol rosszabb a talaj minősége, annak érdekében, hogy ezek a termőterületek is meg tudják közelíteni az átlag termést. A másik módszer alapján, éppen ellenkezőleg, oda eresztenek ki többet, ahol jobb a talajminőség, hogy azok a növények még többet termeljenek. Itt az utóbbi módszert szokták alkalmazni.

Majd ezt követően pár napot várva, hogy álljon a műtrágya, a szövetkezet legnagyobb erőgépe, a kombinátor magágyelőkészítést hajt végre, és a műtrágyát bedolgozza a talajba. Ennél a gépnél szükség van nagy pontosságú helymeghatározás használatára, hogy a táblák közötti távolságot precízen tudja tartani az eszköz. Újabb pár nap elteltével következik maga a vetés folyamata. Érdekes volt számomra az is, hogy vetés közben is műtrágyázzák a termőföldet. A hozamtérképek alapján a traktor által vezérelt vetőgép a vetőmag mellé eltérő mennyiségű műtrágya kijuttatására is képes.

Sajnos a kukorica sorközművelésének nem lehettem személyesen tanúja, viszont megtudtam, hogy a kukorica sávos művelést igényel, ezért a sávok közt fennmaradó üres részt kétszer kell „megkapálni”, átforgatni. Egyrészt ezzel pénzt spórol meg a gazdaság (a gyomnövényeket nem kell külön kikapálni), másrészt ezzel megszellőzteti a talajt is, ami a növény és a termés szempontjából fontosabb. A későbbiekben már csak folyékony műtrágyát juttatnak ki a földekre, amit szintén önvezető járművel viteleznek ki.

Előfordulhat, hogy a talajt még a vetés előtt totális gyomirtással készítjük elő, persze mindezt csak indokolt esetben. Ezt szintén automatakormányzású eszközzel, úgynevezett vontatott permetezővel oldják meg. Ez az erőgép a táblahatárokat figyelembe véve tudja szakaszolni a szórási felületet, ami akkor hasznos, ha esetleg a permetező valamely része átlóg a szomszéd területre, ugyanis ebben az esetben automatikusan lekapcsolja a megfelelő fűvókákat.

Ahogy már említettem, a lakóhelyemen sem minden gazda körében a legelfogadottabbak az önvezető rendszerek, mert bár – mint minden gépesített munkahelyen – sokkal hatékonyabban tud működni a munkavégzés, él bennük a félelem, hogy helyettesíti, végül pedig akár teljesen ignorálhatja is az emberi munkaerőt. A nagyobb gazdaságokban használt kombájn például figyelemmel kíséri, hogy aratás során mennyi van a tartályában, s amikor már érzékeli, hogy háromnegyed részben tele van, internetes kapcsolat segítségével jelez a traktornak és a rákötött pótkocsinak, hogy kiürítesse az addigra már megtelt tartályt. Ez nagyobb részben automatizált folyamat, de amikor a mozgásban lévő kombájn alá beáll a traktor, akkor hajszálpontosan ($\max \pm 20$ cm-re) kell betoladni a pótkocsival a mozgásban lévő kombájn alá. Ebben az esetben például még szükség van az emberi tényezőre.

A jövőbeli tervek között szerepel egyébként többek közt egy modern eszközökkel ellátott quadrokopter beszerzése, amely segítségével a szövetkezet saját maga állíthatja elő a multispektrális felvételekből készített vegetációs indexeken alapuló hozamtérképeket. Eddig ezt csak a kombájnnal voltak képesek előállítani, megvizsgálva a betakarított termés nedvességét, illetve súlyát.

4. MEZŐGAZDASÁGI UAV-K

4.1. Jelentőségük

Az UAV-knak és a távérzékelésben részt vállalt szerepüknek nagyon nagy jelentőségük van abban, hogy a gépesítés erre a szintre juthatott a mezőgazdálkodásban. Ezzel függ össze az is, hogy napjainkban az UAV-kat – a katonai bevetések után – már a mezőgazdálkodásban használják legtöbbit a világon.

A távérzékelésnek a mai napig vannak más mérőeszközei is, de azok nem voltak ennyire hatékonyak és egyszerűen kezelhetők, mint a pilóta nélküli repülő eszközök. A műholdképpel és repülőgéppel készült felvételeknek is megvannak a maguk előnyei (4. táblázat), de a kedvezőbb árat és a kényelmet semmi sem tudja felülmúlni. Ezért gondolja úgy a Nagykátai Mezőgazdasági Szövetkezet is, hogy érdemes drónt beszerezni az adatrögzítő munkára.

	Előny		Hátrány	
Műhold	Sok csatornás mérés		Relatív alacsony felbontás (10-30m/pixel)	Felhők takarásának való kitettség
	Széleskörű lefedettség		Limitált lefedettség bizonyos földrészekon	A gazdától független felvételt készítés
Repülőgép	Hosszú levegőben maradási idő	Sok csatornás mérés	Drága egy kis-, közepes méretű gazdaságnak	Időjárásnak való kitettség
	Relatív magas felbontás (7cm/pixel)		Ugyanolyan engedély igénylése, mint a légi forgalomban aktívan résztvevő járművekhez	
UAV	Megfizethető egy kis-, közepes méretű gazdaságnak is	Alacsony repülési magasság (nincs felhő a felvételen)	Időjárásnak való kitettség	Országoként eltérő, szabályozások
	Relatív igen magas felbontás (2.5cm/pixel v. pár mm/pixel)	Rendkívüli pontossággal való felmérés (GCP, RTK)	Zárt lomboszonon való átlátás hiánya	

4. táblázat
A három leggyakrabban használt távérzékelési eszköz

„Az UAV technológiát számos országban a kártevők lokalizálására, (pl. kukoricamoly), földhasználat, ültetvénytípus ellenőrzésére, állományfelmérésre, levélfelület-indexek kiszámítására, növényi magasság ellenőrzésére, terménybecsléshez, talajnedvesség becsléshez, nitrogénhiány feltérképezésére, gyomtérkép készítésére, termelés monitoringra, talajosztályozásra, állattartási tevékenység nyomon követésére alkalmazzák.”¹⁰

4.2. Kamerák

4.2.1. Elektromágneses sugárzás

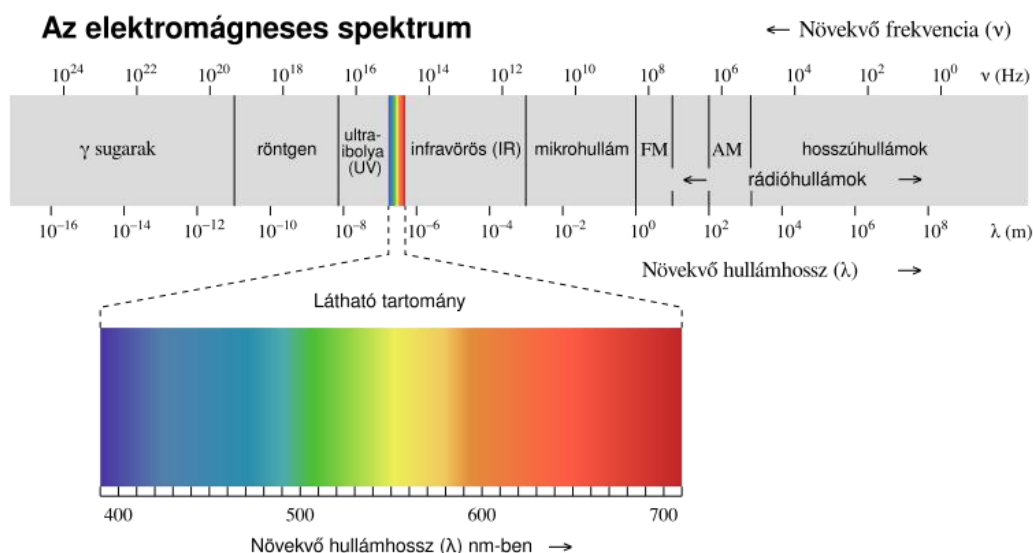
A technológia tulajdonképpen a látás elvén és működésén alapul. Laikusan megfogalmazva, a megvilágított tárgyról visszaverődő fényt valamilyen színként érzékeljük a szemünk segítségével. Szakszerűbben: a fény olyan elektromágneses hullám/sugárzás, amely a közeghatárokon reflektálódik, és érzékszervünkkel találkozva egy olyan világosságérzetet gerjeszt az agyban, amit mi színeknek hívunk. Hullám természete miatt az, hogy milyen színűnek látunk egy-egy objektumot, függ a fény hullámhosszától (λ ; „a szomszédos periódusok azonos pontjai közötti távolság”¹¹) és a frekvenciájától (ν ; „az időegység alatt megtörtént periódusváltások”¹² mennyisége).

Szemünk kizárólag a láthatósín tartományban képes érzékelni a visszavert elektromágneses hullámokat, pedig az ennél nagyobb, illetve kisebb hullámhossz tartományokban is vannak olyan sávok, amikre kíváncsiak vagyunk. (11. ábra) Mint az ábráról is leolvasható, a látható tartomány kb. 380-720 nm-es hullámhossztartományba esik. A növények egyes élettani paraméterei viszont az emberi szem számára láthatatlan, közeli-infravörös tartományban detektálhatóak, de – bizonyos érzékelő eszközöknek köszönhetően – erről tudunk felvételeket készíteni.

¹⁰ BAKÓ G. (2015): *UAV és RPAS technológia a légi távérzékelésben*. pp. 9.

¹¹ PALIK ET AL. (2013): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. pp. 146.

¹² PALIK ET AL. (2013): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. pp 146.



11. ábra
Az elektromágneses spektrum részei

4.2.2. RGB kamerák

Az RGB kamerák a látható tartományban képesek pillanatnyi felvételeket készíteni és tárolni analóg vagy digitális formában. Ezek a hétköznapi értelemben vett kamerák, ami ma már szinte kivétel nélkül minden háztartásban megtalálhatóak, akár különálló készülékként, akár a telefonba, tabletbe, számítógépbe építve (12. ábra). Persze ezekkel a beépített gépekkel készített képek felbontása eltér az igazán professzionális, drága kamerákétól, de ezek is évről-évre egyre jobb minőségűek. A folyamatos fejlődésük tagadhatatlan. Rövid időn belül kijelenthető lesz az is, hogy a kamerák kiszorítanak minden más korábban ismeretes képrögzítési eljárást a permanens használatból. Az emberi szem a legújabb megjelenítési eljárások közti minőségbeli különbségeket már nem is tudja elsőre megállapítani.¹³

Fel szokták szerelni pilóta nélküli repülő eszközökre is, abban az esetben, ha a felhasználás célja nem követeli meg, hogy a látható tartományon kívül gyűjtsön adatokat, vagy kiegészítse a multispektrális kamerákat. Sajnálatos módon a mezőgazdaságban ezeknek a kameráknak csak korlátozott szerepük lehet – ahogy azt már korábban is említettem – hiszen a hozamtérképeket, valamint a tápanyag

¹³ PALIK ET AL. (2013): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.*

utánpótlás tervezéséhez szükséges információkat elsősorban olyan adatok alapján állítják össze, melyek a közeli-infravörös (NIR) tartományban láthatóak.



12. ábra
A kamerák előfordulása

4.2.3. Termális infravörös kamerák

Az infravörös a látható fény „mellett lévő”, annál nagyobb hullámhosszú tartomány, amelynek a hétköznapi felhasználhatósága és szerepe egyre nagyobb. Eme tartományt érzékelő eszközök segítségével képesek vagyunk „látni a meleget”, tehát egy ilyen készülék az emberi érzékszerveink által is felfogható képpé képes változtatni a látható fény tartományán kívüli hőhullámokat. Nélkülük csak a bőrünk segítségével, természetes úton volt lehetséges a hő érzékelése, azonban mára már termo-kamera használatával képesek vagyunk efféle hőképek megjelenítésére.

A hőképekhez nem szükségeltetik a megszokott megvilágítás, mert az objektumok, organizmusok mindegyike sugároz hőt különböző mennyiségben. Függetlenül attól, hogy nap-, hold- vagy lámpafény adja a megvilágítást, a felvételeken a hőmérsékleti különbségek rajzolódnak ki. Ez és az UAV technológia

együttesen olyan alkalmazást tesz lehetővé, amely segítségével a nap bármely szakában bármilyen terep megfigyelhetővé, dokumentálhatóvá, felmérhetővé válik.

A mai termo-kamerák ugyanolyanok megjelenésükben, mint a látható fény tartományban működő testvéreik, annyi különbséggel, hogy csakúgy, mint a tartomány, amiben rögzítik a fotóikat, lencséik is különlegesek. Ezek a germánium-dioxidból készült lencsék a legdrágább és legbonyolultabb részei a szerkezetnek. A termo-kamerák egyszerre alkalmazhatóak egyedül és a látható fény tartományú társaikkal is. Az utóbbi esetben egy olyan hőképet (vagy akár hőterképeket) adnak eredményül, amely a nappali fény színeivel van kiegészítve.¹⁴

4.2.4. Multispektrális kamerák

A multi- és hiperspektrális légi távérzékelés eszközeit használják a legtöbbet a pilóta nélküli légi járművek fedélzetén. Olyan mezőgazdasági feladatoknál lehet szükség ezekre az észlelő eszközökre – többek között –, mint a talajminőség, a „növényzöldesség”, a vegetáció állapotának vizsgálata. A multispektrális felvételek különlegessége, hogy minimum négy színcsatornát (két látható és két infravörös tartományban rögzített csatorna) értékelnek. A hiperspektrális technológia esetében pedig a teljes elektromágneses spektrumban végeznek vizsgálatokat. Előnye a multispektrálissal szemben, hogy magasabb a csatornaszáma, ezért jobb spektrális felbontást ad, viszont nincs mindig szükségünk arra, hogy a teljes optikai sávban készítsünk felvételeket.

A multispektrális képek segítségével képesek vagyunk vegetációs indexeket számítani (pl. NDVI, GNDVI, NDRE). Ahogy a teljesen infravörös tartományban működő kameráknál, itt is fennáll az, hogy a nap bármely szakaszában, bármennyiszer, bármilyen megvilágításnál képesek vagyunk reptetni, és közben felvételeket rögzíteni, amivel a mezőgazdasági kultúra fejlődését követhetjük. A multispektrális technológia a teljes vegetációs időszakban jól alkalmazható, a vezetői döntések meghozatalának támogatásához (pl.: tápanyag-utánpótlás, növényvédelem, termőképesség-bebecslés, aratási időpont kiválasztása stb.).

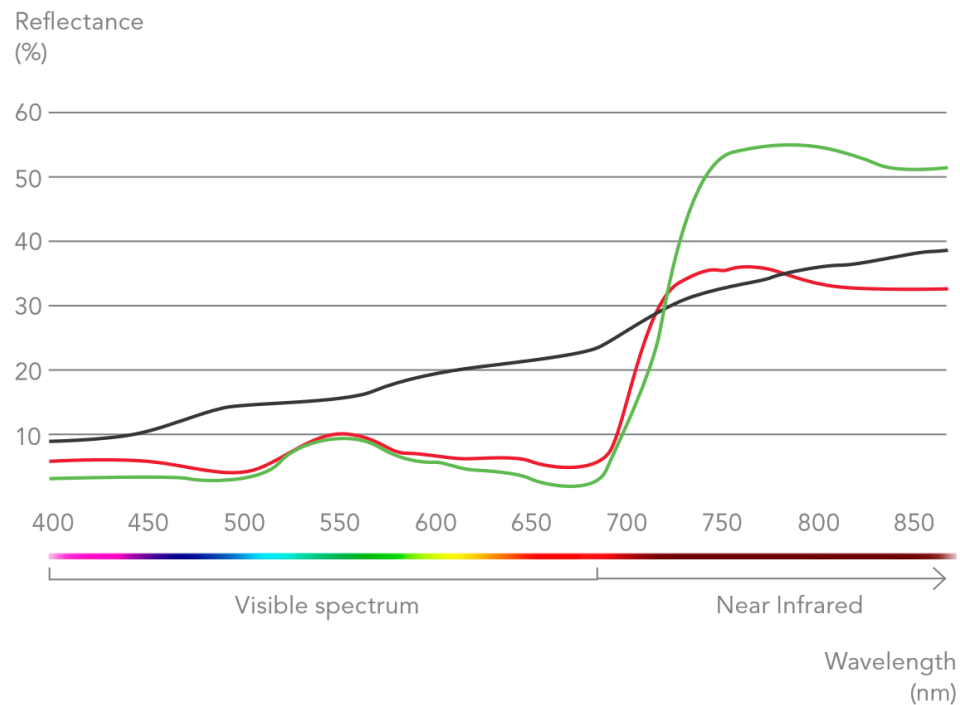
¹⁴ PALIK ET AL. (2013): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.*

A legfontosabb a multispektrális kameráknál a mezőgazdálkodás szempontjából a vörös él és a közeli-infravörös tartományt megjelenítő csatornák. Bár nem látjuk őket, mégis legalább annyira kifejezőek a terméssel és a vegetációval kapcsolatban, mint a látható tartomány. Az infravörös a levélzet sejt struktúrájáról, míg a vörös él a növény klorofill szintjéről nyújt információt.

A növények a napfényt egyedi módon verik vissza. A stressznek kitett növény növekedése és metabolizmusa megváltozik, ezért a reflexiója is megváltozik. Egy idő után ennek szemmel látható jelei is lesznek, mint például, hogy egyre barnábbakká válnak a növény levelei, de mindez a korai stádiumban még egyáltalán nem látszik. Azonban a NIR csatorna segítségével ezek a változások még időben észrevehetőek, ami időt ad a gazdának a cselekvésre.

A látható tartományban a reflektancia görbéje egy egészséges növénynek a zöld hullámhosszon (~550 nm) veszi fel a legnagyobb értéket. Ezért van az, hogy zöldnek látjuk a növények többségét. Azonban a 700 nm-nél nagyobb hullámhosszú tartományokban magasabb a reflexió értéke. Ez a vegetációnak egy sajátos tulajdonsága, hogy a látható tartományban kevés, az infravörösben pedig magas a fény visszaverődésének értéke. Összehasonlításképpen, az elszáradt, halott növényzetnek a színe azért barnás, mert a görbe a legnagyobb értéket a látható spektrumon belül valahol a sárga és vörös környékén veszi fel. Tehát az már szemmel látható, mikor a növényzet már elhalt, de az nem, amikor még folyamatban van. Ugyanis a stressznek kitett növényzet is hasonlóan veri vissza fényt a látható tartományban, mint az egészséges, de a „felette” lévőben sokkal gyengébben (13. ábra).

A mezőgazdálkodásban használt eseteknél a multispektrális kamerák általában négy színcsatornán készítik el a képeket. Kiválasztani a feladathoz a legjobb csatornákat nem egyszerű, de rendkívül fontos ahhoz, hogy a nekünk szükséges információkat kaphassuk meg. Nem minden esetben, de a leghasznosabb csatornák a mezőgazdasági feladatok elvégzéséhez a zöld, vörös, a vörös él (ami egy „kapu” a vörös és infravörös tartomány között) és az infravörös.



13. ábra

A különféle vegetációk spektrális görbéi a látható és közeli-infravörös tartományokban (zöld=egészséges; vörös=stressznek kitett; fekete=halott)



14. ábra

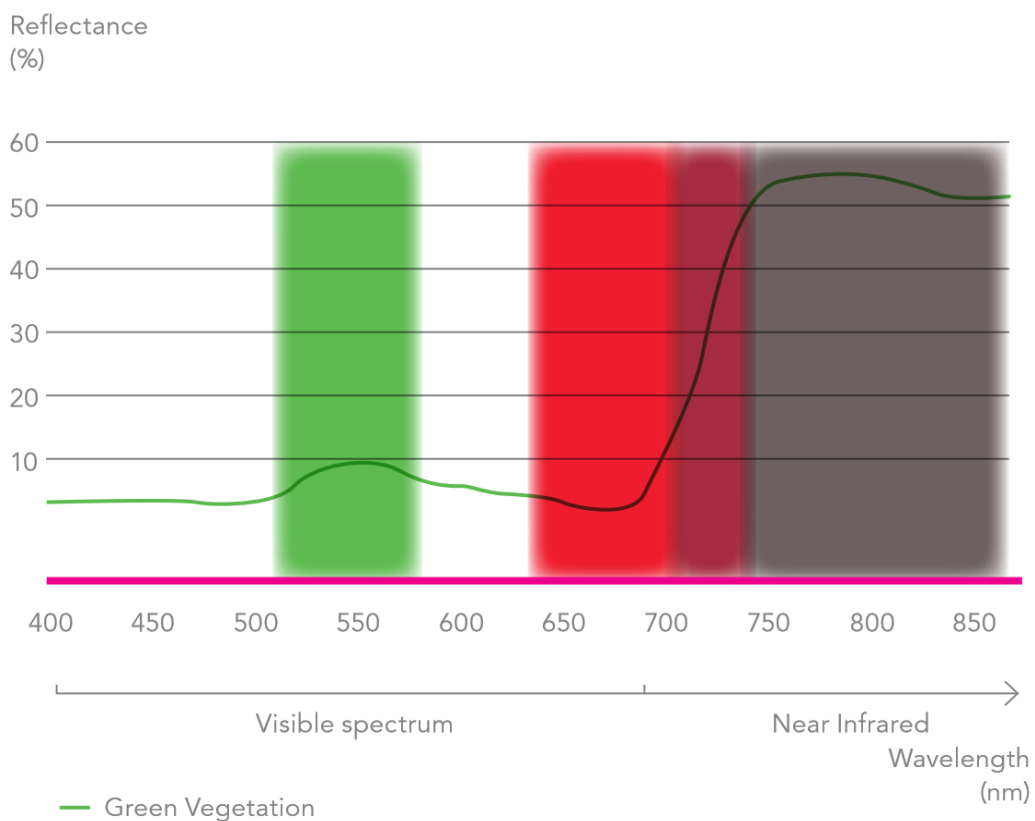
A növények különböző színcsatornák felvételein

A zöld megfelel az ~500-600 nm sávban visszavert fénynek. Ahogyan azt már említettem, a látható tartományban itt a legmagasabb a reflektanciája a növényzetnek, a legnagyobb értéket 550 nm környékén veszi fel. Ez a színcsatorna erősen korrelál a növény klorofill tartalmával.

A vörös megfelel az ~600-700 nm sávban visszavert fénynek. Az erős klorofill abszorpció ebben a sávban alacsony reflektanciát eredményez. De a reflektancia itt nagyon sok mindentől függhet, kezdve a növénytípustól, a páratartalomtól át a növényi stresszig. A legtöbb terményfajtánál ezt a sávot használják a növényzet és talaj megkülönböztetésére.

A vörös él egy igen keskeny ~700-730 nm közti sáv, amit tekinthetünk a vörös és az infravörös sáv közti átmenetnek. Itt található az a rész, ahol a reflektancia értéke hirtelen növekedni kezd. Rendkívül sok információt árul el a növény klorofill és nitrogén tartalmáról, valamint az őt ért stresszhatásról.

A közeli infravörös megfelel az ~700-1300 nm sávban visszavert fénynek. Ennek van a legerősebb reflektanciája az össze felsorolt színsatona közül. Összefüggés van az előbb említett erős reflektancia és a növényzet klorofill szintje között, valamint ez alapján a sáv alapján lehet megállapítani, hogy a vegetáció valóban valamilyen stresszhatás alatt van-e.¹⁵



15. ábra
Egészséges vegetáció reflektancia értéke az említett sávokon

¹⁵ PARROT (2018): *Understanding multispectral imagery using drones in agriculture.*

4.3. Vegetációs index térképek

Véleményem szerint napjainkra kijelenthető, hogy vegetációs index térképek nélkül nincs jól megtervezhető mezőgazdasági munka. A növényzet nitrogéntartalmától kezdve a fotoszintetikus aktivitásán át a víztartalmáig mindent képes bemutatni, és mindenről képes pillanatnyi képet adni. Definiálva, a vegetációs index egy olyan dimenzió nélküli mérőszám, amely egy meghatározott terület vegetációs aktivitását írja le. A különböző vegetációs indexeket különbözőféleképpen kell kiszámítani.

Számos egyéb, a növénytermesztésben használatos index van még használatban:

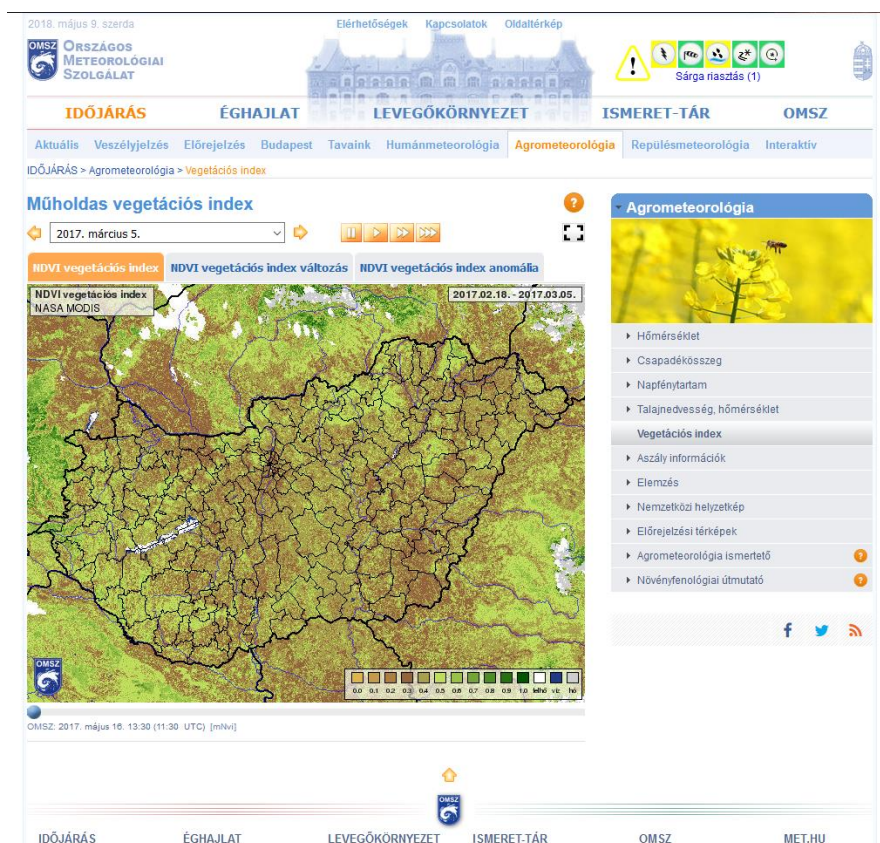
Index	Angol nevük	Képlet, hullámhossz	Referencia
NDVI (Normalizált Differenciált Vegetációs Index)	Normalized Difference Vegetation Index	$(\text{NIR}-R)/(\text{NIR}+R)$	Rouse et al., 1974
GNDVI (Zöld Normalizált Differenciált Vegetációs Index)	Green Normalized Difference Vegetation Index	$(\text{NIR}-G)/(\text{NIR}+G)$	Gitelson és Merzlyak, 1997; Buschmann és Nagel 1993
NDRE (Normalizált Differenciált Vörös-él Index)	Normalized Difference Red Edge Index	$(\text{NIR}-RE)/(\text{NIR}+RE)$	Rouse et al., 1974
DVI	Difference Vegetation Index	$\text{NIR}-R$	Tucker 1979
RDVI	Renormalized Difference Vegetation Index	$(\text{NIR}-R)/(\text{NIR}+R)^{0,5}$	ReuJean és Breon 1995; Chen 1996
SAVI (Talajjal Korrigált Vegetációs Index)	Soil Adjusted Vegetation Index	$[(\text{NIR}-R)/(\text{NIR}+R+L)]*(1+L); [L=0,5]$	Huete, 1988
SR1 (Egyszerű Arány Index 1)	Simple Ratio 1	NIR/R	Jordan, 1969; Rouse et al., 1974
SR2 (Egyszerű Arány Index 2)	Simple Ratio 2	NIR/RE	Jordan, 1969; Rouse et al., 1974

ISR1 (Fordított Egyszerű Arány Index 1)	Inverse Simple Ratio 1	R/NIR	Rouse et al., 1974
ISR2 (Fordított Egyszerű Arány Index 2)	Inverse Simple Ratio 2	RE/NIR	Rouse et al., 1974
CI (Klorofill Index)	Chlorophyll Index	$(\text{NIR}/\text{RE})-1$	Gitelson et al., 2005
DATT (Datt Index)	Datt Index	$(\text{NIR}-\text{RE})/(\text{NIR}-\text{R})$	Datt, 1999
MSR (Módosított Egyszerű Arány Index)	Modified Simple Ratio	$(\text{NIR}/\text{R}-1)/[(\text{NIR}/\text{R})^{0.5}+1]$	Chen, 1996

5. táblázat
A spektrális rétegekből előállítható biofizikai indexek
(R=vörös; G=zöld; NIR=infravörös)

A különféle növénytársulások és növények biofizikai változóinak a térképezése az egyik leggyakrabban előforduló esete a távérzékelési módszerek használatának. A vegetációról való felvételkészítésről tudni kell, hogy a vizsgált terület reflektanciája több változótól is függhet, például a borítás nagyságától, a vizsgált területen lévő növények fajtájától, azok fejlettségi fokától, állapotától, a levelek elhelyezkedésétől vagy akár magától a talajtól. A vizsgált terület teljes felszíne együttesen részt vesz a növényzet visszaverési tulajdonságainak kialakulásában. A klorofill az egyik fontos tulajdonsága a növényeknek, amelyek miatt „térképeket készítünk róluk”, ez elsősorban – a magasabb rendű növények esetében – a levélben, a fiatal termésben, valamint a külső szárszövetben található meg. Ezek után értelemszerű, hogy a legnagyobb kiterjedésű és fotoszintetizáló felület, a levélfelület alakítja a vegetáció által borított területek reflektancia tulajdonságát.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat Magyarország egész területéről szokott vegetációs index térképeket készíteni, műholdas felvételek alapján (16. ábra). Mindenki számára megtekinthető az ezekből összeállított diavetítés az OMSZ honlapján¹⁶.



16. ábra
A térkép megjelenítő kezelőfelülete

4.3.1. NDVI

A NDVI, azaz a normalizált differenciált vegetációs index az egyik leggyakrabban használt vegetációs index. Jól alkalmazható egy adott terület növényzetének az egészségi állapot, a fotoszintetikus aktivitás vizsgálatára vagy a terméshozam becslésére. Ugyanis, ahogy arról már szó volt, az egészséges növényzet a vörös tartományban a fény nagy részét elnyeli, az infravörösben pedig visszaveri. A helyzet azonban az elhalt, beteg vagy stressznek kitett növényzet esetében más. Csupasz felszíneknél az az eset áll fenn, hogy a felszín a fény nagy részét a spektrális tartományban visszaveri. Ezen tulajdonságok alapján az NDVI egy jó mérő index.

¹⁶ https://www.met.hu/idojaras/agrometeorologia/vegetacios_index/

Az NDVI kiszámításához a növényzet által a közeli infravörös és a látható vörös sugárzási tartományban visszavert hullámok használatosak, ezeknek kell venni először a különbségüket, majd az összegüket, és el kell osztani egymással. Ezek alapján számoljuk ki az NDVI értékeit képkockánként. Ezzel a módszerrel egy -1 és 1 közötti értéket fogunk kapni. Ha -1 és 0 közti a kapott érték az adott pixelre, akkor az egy olyan nem vegetációs területet jelöl, ahol a vörös sáv reflektancia értéke nagyobb, mint a közeli infravörös sáv. Ez jelenthet vizet, havat vagy akár felhőket is a képen. Ha a kapott érték 0 és 1 között helyezkedik el, az 1 a magas fotoszintetikus aktivitású, sűrű növényzettel rendelkező felszíneket, a 0 pedig a vegetáció nélküli talajt jelenti.

Mint ahogy a többi vegetációs indexek értékeit, az NDVI-t is többféle tényező befolyásolja. Ezek közé a tényezők közé tartozik például a növényzet fotoszintetikus aktivitása, a nedvességtartalma, az őt érő stresszhatások és a teljes növényborítás mértéke és kiterjedése stb. Az ilyen vegetációs indexek segítségével képesek vagyunk egy területről készült felvételeket (amelyek teljesen más időben és körülmények közt készültek) összehasonlítani a mezőgazdálkodási és az ökológiai változások vizsgálatának céljából.¹⁷

4.3.2. GNDVI

A GNDVI, azaz zöld normalizált differenciált vegetációs index kiszámítása hasonlóan zajlik, mint az NDVI index számítása, a lényeges különbség csak annyi, hogy a vörös helyett a zöld sáv használatos a képletben. Ez az index is elsősorban a vegetáció fotoszintetikus aktivitásának becslésére alkalmas, de főleg akkor használatos, amikor a növények levélzete által felvett víz és nitrogén mennyiségre is kíváncsi az ember. Egy ilyen biofizikai index segítségével a művelés alatt álló területek öntözése tervezhetővé és hatékonyá válik. Márpedig a víz egyre fogyó természeti kincseink egyike, ezért mindenki számára fontos, hogy hatékonyan gazdálkodjunk vele.

4.3.3. NDRE

Az NDRE, azaz normalizált differenciált vörös él indexet általában a levelek klorofill összetételének változásának vizsgálatára használják fel. Ennek az alapja, hogy a

¹⁷ <https://support.droneDeploy.com/docs/ndvi-algorithms>

vörös él az a sáv, ahol a növényzet reflektanciájában hirtelen emelkedés következik be. Úgy is mondhatnánk, hogy ez a csatorna a vörös-NIR lejtő fő inflexiós pontjának helye. Így lehetséges az, hogy a klorofill tartalom vizsgálatára és a vegetáció állapotának mérésére jól használható ez a biofizikai index. Felhasználásával a termelők képesek az ültetvényük fotoszintetikus aktivitás változásának tudatában megtervezni a megfelelő betakarítási időt (úgy is lehet mondani, hogy így a mérhető maximális cukortartalom, ami például szőlő esetében igen lényeges), ezzel lehetővé téve a termény optimális betakarítását. Az NDRE használható még az egyes növényi betegségek által okozott károk nagyságának feltérképezésére és meghatározására, valamint a járványok megfigyelésére és megelőzésére, ezzel is csökkentve a betegségekre és a kártevőkre fordított költségeket.¹⁸

4.3.4. SAVI és RDVI

A SAVI-t, azaz a talajjal korrigált vegetációs indexet az NDVI-ből fejlesztették ki, és tulajdonképpen egy talajjal módosított vegetációs index. Olyan esetekben előnyös a használata, amikor a vizsgált vegetációs területen nagyobb talajfoltok is előfordulhatnak, (pl. kapás növénykultúrák) így ez az index képes „elnyomni” a talajt ábrázoló pixeleket. Azért ezt alkalmazzák az NDVI helyett ezen alkalmakkor, mert az megbízhatatlan, ha a talaj bizonyos tulajdonságait is számba kell venni. Az 5. táblázatban látható biofizikai index képletében az L az 1 és 0 érték közt lévő korrekciós tényezőt jelenti, aminek szerepe az, hogy a talaj fényvisszaveréséből eredő varianciát a minimumon tartsa.

Az RDVI a DVI és az NDVI vegetációs indexek adatainak párosításából jött létre. Működését és funkcióját tekintve hasonló a SAVI-hoz, háttérbe szorítja a kész térképen a talaj és fény hatásait. Fontos különbség azonban, hogy az RDVI nem alkalmazható kellő megbízhatósággal gyér növényzetű és teljesen száraz területeken.¹⁹

Összegezve, a vegetációs indexeken alapuló térképek hasznosak, mert segítik a gazdát a jó döntés meghozásában, gyorsan elkészíthetőek, mert bővítik a precíziós mezőgazdálkodás eszköztárát, és praktikusak, mert akár fedett tér alatt ülve is képesek vagyunk információt szerezni az ültetvényünkről. Rengeteg előnye van vegetációs

¹⁸ <https://support.droneDeploy.com/docs/ndvi-algorithms>

¹⁹ <https://support.droneDeploy.com/docs/ndvi-algorithms>

indexeknek a mezőgazdálkodási gyakorlatban, ezek közül szeretném megemlíteni az általam legfontosabbnak tartottakat:

- Terméshozam előrejelzése
- Növényzet stresszhatásának vizsgálata
- Növényzet klorofill tartalmának megjelenítése
- Növényzsűrűség vizsgálat
- Biomassza megjelenítése
- Szárazság (víztartalom) vizsgálat
- Nitrogén szint megjelenítése
- Fagykár felmérés
- Kártevők, károkozók detektálása
- Termények megkülönböztetése, osztályozása
- Fenológia (érésdinamika)
- Növényzet fejlődésének figyelemmel követése

5. REPTETÉS

5.1. Mintaterület bemutatása

A reptetés időpontja egy tavaszi nap volt. Az időjárás – a májusi átlaghoz képest magas hőmérséklettől eltekintve – éppen megfelelő volt a reptetéshez. Az Eszterházy Károly Egyetem dolgozói jóvoltából megfigyelhettem testközelből is, hogyan történik egy vegetációs index térkép készítésének első fázisa, a drónnal való felvételkészítés. Az elsődleges cél számukra most nem a növényzet „zöldességének” felmérése volt, hanem a kamerarendszer tesztelése. A felvételezett területek az Eszterházy Károly Egyetem, kompolti Fleischmann Rudolf Kutatóintézet területén található kísérleti fás szárú biomassza, kisparcellás szántóföldi növény (17. ábra), illetve nagytáblás kukorica

ültetvények voltak (18. ábra). A folyamatot az 1. teszterület felmérésének leírásával kívánom ismertetni.



17. ábra
Teszterület 1. (sárga vonal)



18. ábra
Teszterület 2. (piros vonal)

5.2. Adatok felvételezése

5.2.1. Mérési eszközök specifikációi

A felvétel készítéshez használt eszközök közül, megemlítendő maga a pilóta nélküli repülő jármű és az általa hordozott multispektrális kamera, amivel a tényleges felvételek készültek.

A terepen használt UAV specifikációi:

A **Parrot Disco** merev-, csupaszárnyú drón, mely áramvonalas kialakítása mellett könnyű szén-szálakból és megnövelt polipropilénből készült. Végsebessége akár a 80 km/h-t is elérheti.

- Mérete: 1150 mm x 580 mm x 120 mm
- Szárnyfesztsávolsága: 1150 mm
- Tömege: 750 g
- Helymeghatározás módjai: GPS és GLONASS
- Motorteljesítménye: 1280 kv
- Alap kamerája: Full HD 1080p, 360p/720p-ben alkalmas streamelésre
- Szoftvere: Linux és Open Source SDK (applikáció készítéshez)
- Szenzorai: ultrahang, magasságmérő, képstabilizátor, légsebességmérő
- Belső navigációs rendszerei: 3 tengelyű giroszkóp, - gyorsulásmérő, - magnetométer
- Hardvere: Kétfagos Cortex A9 processzor, 32 GB beépített memória
- Wi-Fi szabványa: AC (2,4 vagy 5 GHz), MIMO
- Akkumulátora: 2700 mAh, akár 45 perc üzemidő²⁰

A terepen alkalmazott multispektrális kamera specifikációi:

A **Parrot Sequoia** multispektrális szenzor, mely egy 4 csatornás multispektrális kamera beépített RGB kamerával és egy kiegészítő irradiancia szenzorral rendelkezik.

²⁰ <https://www.parrot.com/us/drones/parrot-disco-fpv#spare-parts>

4 csatornás multispektrális kamera:

- Mérete: 59 mm x 41 mm x 28 mm
- Tömege: 72 g
- Beépített tárhelye: 64 GB
- Beépítve: GPS, IMU (Internal Measurement Unit; inerciális adatokat rögzítő eljárás, ami kompenzálja a kamera esetleges elmozdulását a drónon), magnetométer
- Teljesítménye: 5 W
- Felbontása: 1,2 MP
- Képfelbontása: 1280 x 960 pixel
- Radimetriai felbontása: 10 bit
- Frame rate: 1 FPS
- FOV: 70,6 °
- Fókusz távolsága: 4 mm
- Képmérete: 4,8 mm x 3,6 mm
- A 4 spektrális csatorna (diszkrét sávok):
 - zöld (G): 530-570 nm, sáv szélesség: 40 nm;
 - vörös (R): 640-680 nm, sáv szélesség: 40 nm;
 - vörös él (RE): 730-740 nm, sáv szélesség: 10 nm;
 - közeli infravörös (NIR): 770-810 nm, sáv szélesség: 40 nm²¹

RGB kamera:

- Felbontása: 16 MP
- Képfelbontása: 4608 x 3456 pixel
- FOV: 63,9°
- Fókusz távolsága: 4,9 mm
- Képmérete: 6,2 mm x 4,6 mm²²

²¹ <https://www.micasense.com/parrotsequoia/>

²² <https://www.parrot.com/global/parrot-professional/parrot-sequoia#spare-parts>

Irradiancia szenzor:

Az irradiancia szenzor egy felszín abszolút reflektanciájának kiszámításához szükséges. Ha a napsugárzás mértéke időközben megváltozik, akkor a vegetációról visszaverődött fény mértéke vele fog módosulni, és így a felmért adatok eredményei is eltorzulnak némiképp. Hogy ezt megelőzzék, a drónok tetejére felszerelnek egy második érzékelőt, az irradiancia szenzort. Repülés közben folyamatosan figyeli és gyűjti az adatokat a fényviszonyokról a multispektrális kamerával azonos spektrális tartományokban.²³

- Mérete: 47 mm x 39.6 mm x 18.5 mm
- Tömege: 35 g
- Teljesítménye: 1 W
- 4 spektrális szenzor
- Beépítve: GPS, IMU, magnetométer²⁴

A repülési magasságokhoz tartozó terepi felbontásokat az alábbi, 6. táblázat tartalmazza.

Repülési magasság (m)	Terepi felbontás (cm/px)	
	Multispektrális csatornák	RGB
100	12,4	2,7
110	13,6	2,9
120	14,8	3,3
130	16,1	3,5
140	17,3	3,7
150	18,6	4,1

6. táblázat
Terepi felbontás a repülés magasság függvényében

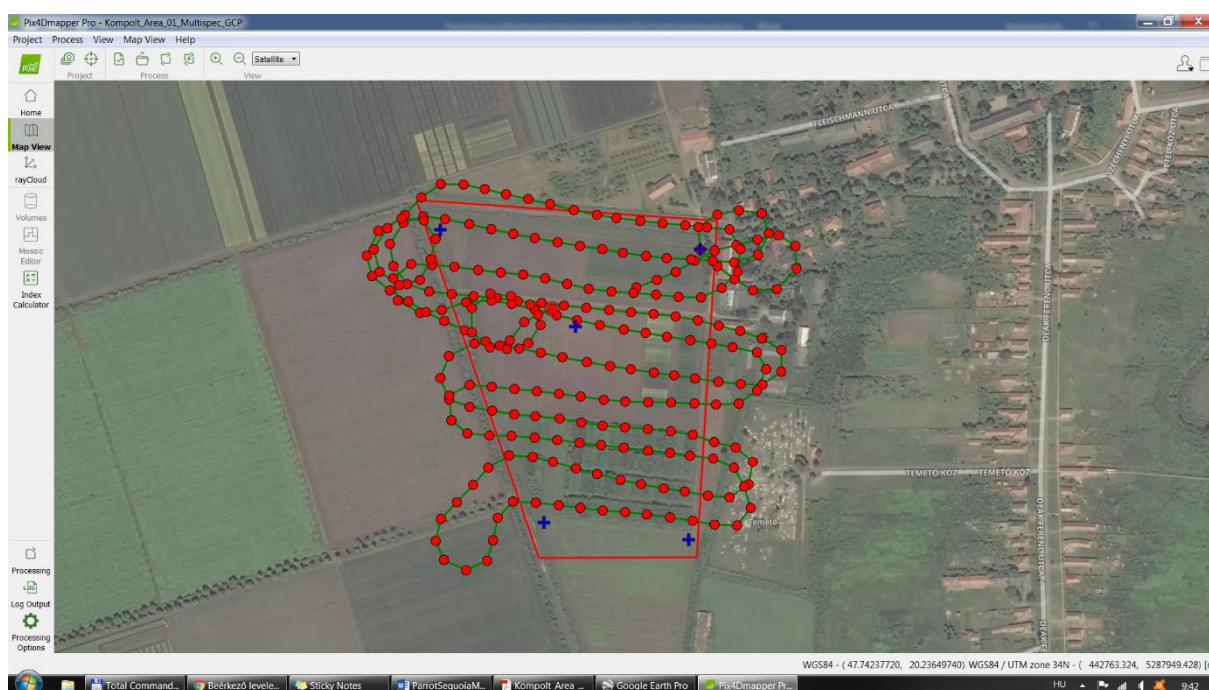
5.2.2. A tesztrepülés menete

Az 1. teszterület esetében összesen ~10 hektárnyi terület lerepüléséről beszélünk a Parrot Disco típusú UAV eszközével. Ezt a területet a drón átlagosan 12 perc alatt tudja

²³ <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/216533688-What-does-the-Sunshine-Irradiance-Sensor-on-Sequoia-do->

²⁴ <https://www.parrot.com/global/parrot-professional/parrot-sequoia#spare-parts>

végig repülni, és most is körülbelül ennyi idő kellett. A repülési útvonalat egy külön erre a célra írt kezelőprogram segítségével előre megadtuk, és ennek segítségével az UAV emberi segítség nélkül is bejárhatta azt. A repülési sávok tervezése során a megfelelő átfedés (70% sorok közötti és 75% képek közötti) érdekében váltott soros párhuzamos repülést alkalmaztunk (19. ábra). A repülés közben – kisebb széllekedéseket leszámítva – semmilyen komplikáció nem lépett fel. A feldolgozás során az emelkedés közben, alacsonyabb magasságokon készült felvételeket töröltük, és csak a tervezett repülési magasságon (100m AGL és esetleg felette) készült képeket hagytuk meg.



19. ábra
A lerepült repülés sávok és a felvételek készítésének pozíciói (piros pontok)

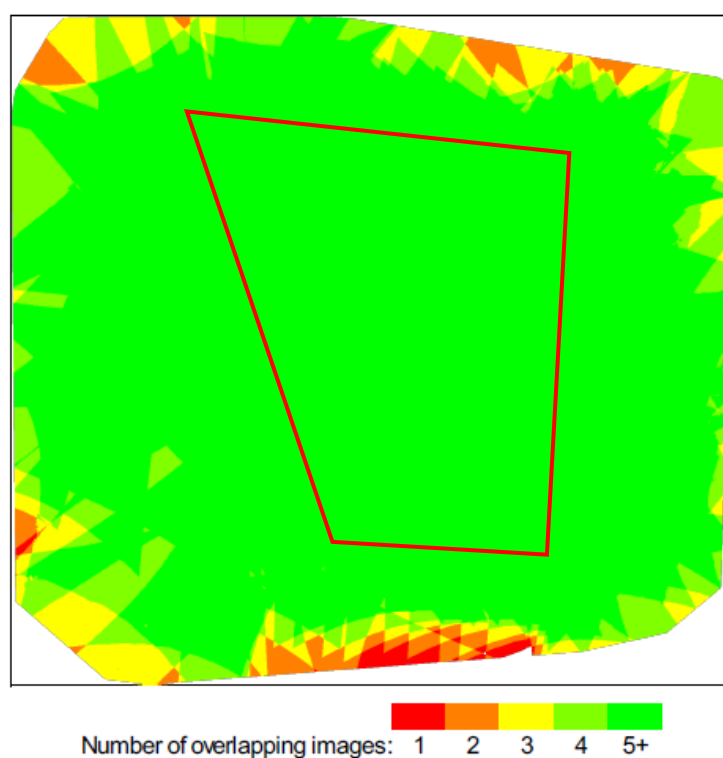
Összesen 212 ponton készült felvétel, az egy pozícióban készült képek száma 5 db volt (1 RGB látható felvétel, 1 zöld sávú, 1 vörös sávú, 1 vörösel sávú, 1 közeli infravörös sávú), ami valójában 1060 felvételt jelent. Ezek alapján meg lehet kezdeni az adatok feldolgozását.

5.3. Multispektrális csatornák feldolgozása

A tesztterületről visszaérve, Bekő László jóvoltából azt is megfigyelhettem, hogyan és milyen módszerekkel dolgozzák fel az újonnan mért adatokat. A rögzített

multispektrális felvételeket a Pix4D szoftver Ag Multispectral template-tel dolgoztuk fel. A munkát a kamerapozíciók kiszámításával, kalibrációjával és optimalizációjával kezdtük meg. Mindezek alapján a ténylegesen feldolgozott terület ~36 ha lett, ami jóval nagyobb, mint maga a teszterület, de ez így volt megtervezve. Annak érdekében, hogy minél több átfedő felvételt és mindenképpen megbízható adatokat kapjunk az ültetvényekről, inkább megnövelik a berepült terület nagyságát. Mivel a terület szélein alacsony az átfedő képek száma, ezért azok a részek alkalmatlanok a kiértékelésre.

A mozaikolt felvétel terepi felbontása 11,1 cm, valamint a feldolgozásba bevont felvételek 97%-a kalibrálásra került. A felvételek átfedését a 20. ábra mutatja.



20. ábra
Átfedő felvételek a lerepült területen (piros vonal)

Fontos, hogy a feldolgozás során alkalmazzunk több, mint kettő terepi illesztőpontot (GCP) az abszolút geometriai pontosság biztosítása érdekében. Ha ez elmarad, akkor előfordulhat, hogy a felmért adatok más koordinátákon jelenítődnek meg a feldolgozó programon, mint amelyeken valóban mértük őket. A területen öt illesztőpontot helyeztünk ki, melyeknek a pontos x,y,z koordinátáit rögzítettük geodéziai GPS készülékkel.

A kontroll pontokkal történt, ismételt optimalizálás után a felvételek abszolút pontossága (Root Mean Square Error) 0,051 méter volt (7. táblázat).

GCP név	Hiba (X) m	Hiba (Y) m	Hiba (Z) m
0001 (3D)	-0,015	0,020	-0,059
0002 (3D)	-0,083	-0,008	-0,073
0003 (3D)	-0,012	-0,020	-0,166
0004 (3D)	0,027	0,006	0,127
0005 (3D)	0,032	-0,006	-0,120
Átlag (m)	-0,010236	-0,001725	-0,058473
Sigma (m)	0,041142	0,013698	0,100085
RMSE (m)	0,042396	0,013806	0,115914

7. táblázat
Georeferencia utáni pontosság

5.4. Multispektrális felvételek pontosságának vizsgálata

A következő lépés – ennek már személyesen nem lehettem szemtanúja – a pontosság vizsgálata. Az UAV eszközre szerelt multispektrális kamera spektrális pontosságának a vizsgálatához az 1. terület kisparcellás őszi búza és őszi árpa ültetvényeinek NDVI értékeit hasonlítják össze az ASD Fieldspec3 terepi spektrofotométerrel mért spektrumok azonos hullámhossztartományainak átlagából számított NDVI értékekkel. Az UAV felvételezés és a terepi adatgyűjtés között összesen 5 nap telt el. Mind a búza, mind az árpa esetében a 4x4 db parcella mindkét oldalán (5-5) terepi spektrumot rögzítenek körülbelül azonos távolságokban.

A szántóföldi kultúrák növényi pigmentjeinek relatív mennyiségének vizsgálatához terepi spektrofotometriás módszert alkalmaznak. A spektrumok mintavételi intervalluma VNIR tartományban (350-1000nm) 1,4nm; SWIR tartományban (1000-2500nm) pedig 2nm. Ez rendkívül részletes spektrális görbét eredményez a vizsgált felületről. (Spektrális görbékkel már találkozhattunk az előző fejezetben, a 13. és 14 ábrán.) Abban az esetben használatos, ha grafikonon akarjuk ábrázolni a tárgy vagy a felszínrész

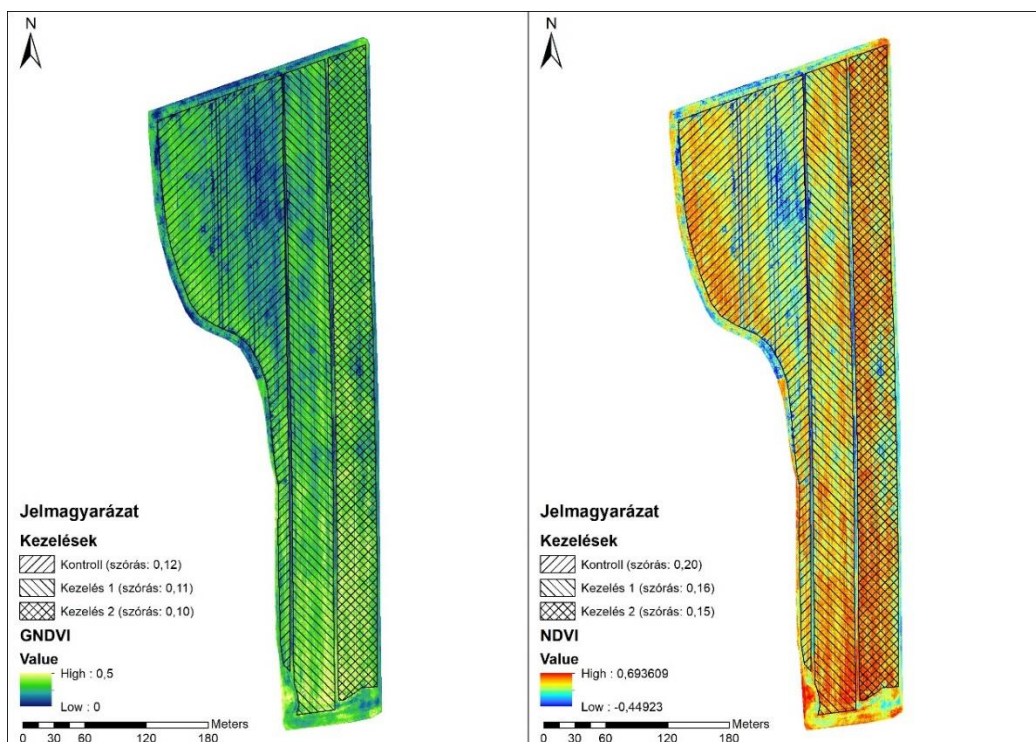
spektrális visszaverődési értékeit. Általában az x tengelyen a hullámhossztartományt, míg az y tengelyen a reflektanciát szokták megjeleníteni. Ezt a görbét főképpen a reflexió vizuális megjeleníthetősége céljából alkalmazzák. Ugyanis jól szemlélteti a különböző felszínek eltérő reflexiós és anyagi tulajdonságait. A méréseket – az előzőekkel ellentétben – nem a drón, hanem szabad kézben tartott pisztoly mérőfej segítségével, 8°-os előtét optikával végzik. A mért növény felett 60-80 cm-rel kell tartani az eszközt, úgy, hogy az a nap síkjával 45°-os szöget zárjon be.

A nyers spektrumok feldolgozása után a teljes hullámhosszból kivágják a multispektrális sávoknak (Red, Nir) megfelelő tartományokat, csoportosítják őket, majd az átlag hullámhosszokból kiszámítják az NDVI értékeket.

Erre a fázisra a térkép elkészítéséhez nem volt szükség. Itt csupán a reptetés célja – a multispektrális kamera tesztelése – végett ellenőrizték a felvételek pontosságát, azért, hogy mennyire különbözik a Parrot Sequoia által felmérték a valóságtól. A hibahatár minden vizsgált pontnál ~ 1-2 cm-en belül maradt, ami már megközelíti a geodéziai pontosságot. Persze a mezőgazdaságban ennyire precíz adatokra nincsen szükség, ugyanis a gépeknek ez már túl részletes információ, és ez a megtervezhetőség rovására mehet.

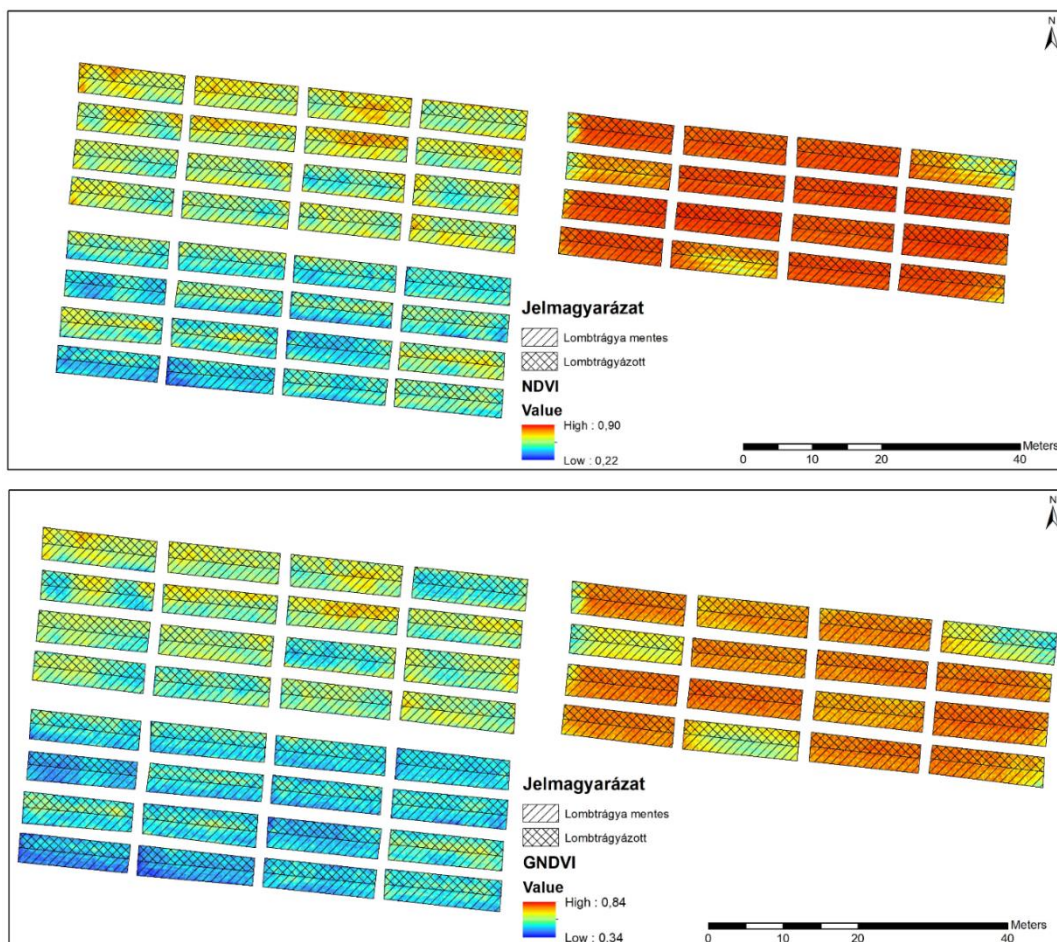
6. EREDMÉNYEK

A rögzített diszkrét multispektrális csatornákból, a fentebb bemutatott képletek alapján történt az egyes vegetációs indexek kiszámítása. Az elsődleges eredménye a számításnak az egy csatornás vegetációs index értékeket tartalmazó raszteres térképek, melyeket a 21.-26. ábrák szemléltetnek. A bemutatás előtt szerkesztést igényelnek az eredmények. Az eddig felmért és pontosított adatokat sávonként ArcGIS vagy QGIS szoftverek egyikébe importáljuk, szint rendelünk a felmért értékekhez, majd a program tervezőnézetében a térkép végleges kinézetét elkészítjük. Ezen folyamat végeredményeképp kapjuk meg a vegetációs index térképeket. A következőkben néhány ábra erejéig ilyen térképeket szeretnék bemutatni:



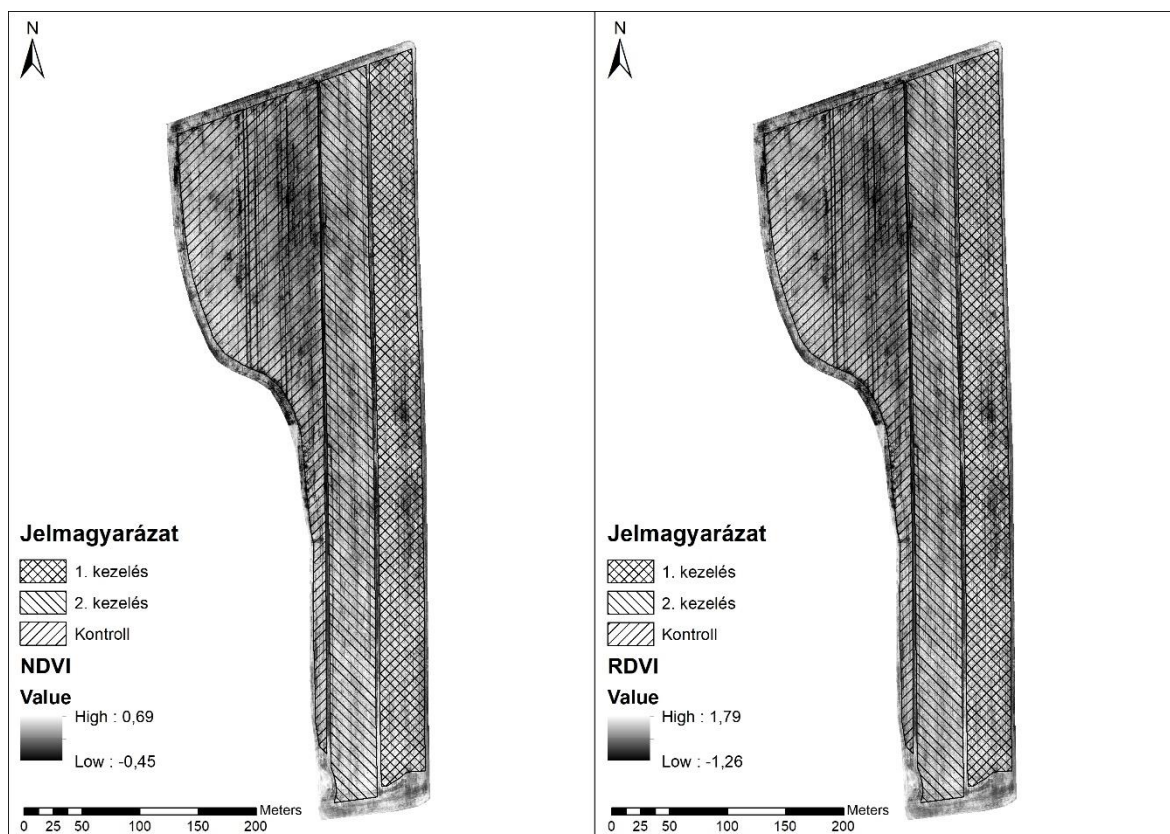
21. ábra

GNDVI és NDVI vegetációs index térképek összehasonlítása a 2. teszterületen

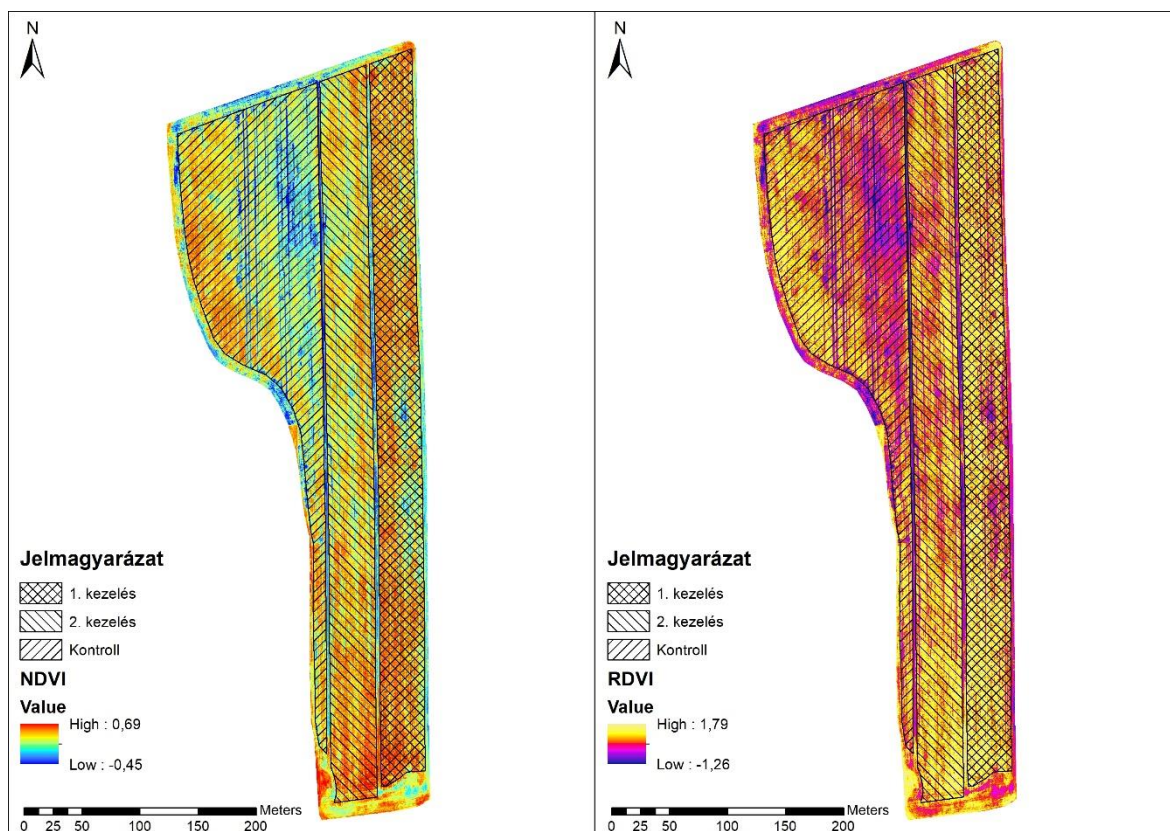


22. ábra

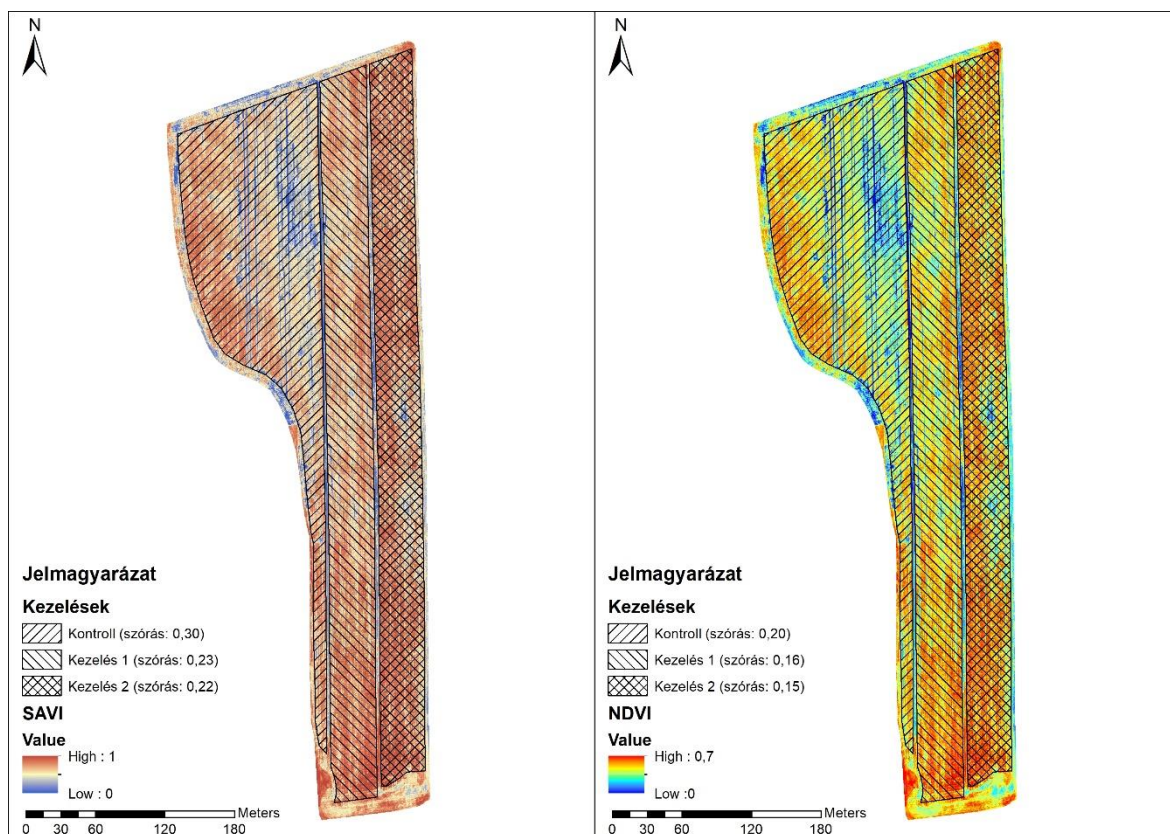
GNDVI és NDVI vegetációs index térképek összehasonlítása az 1. teszterületen



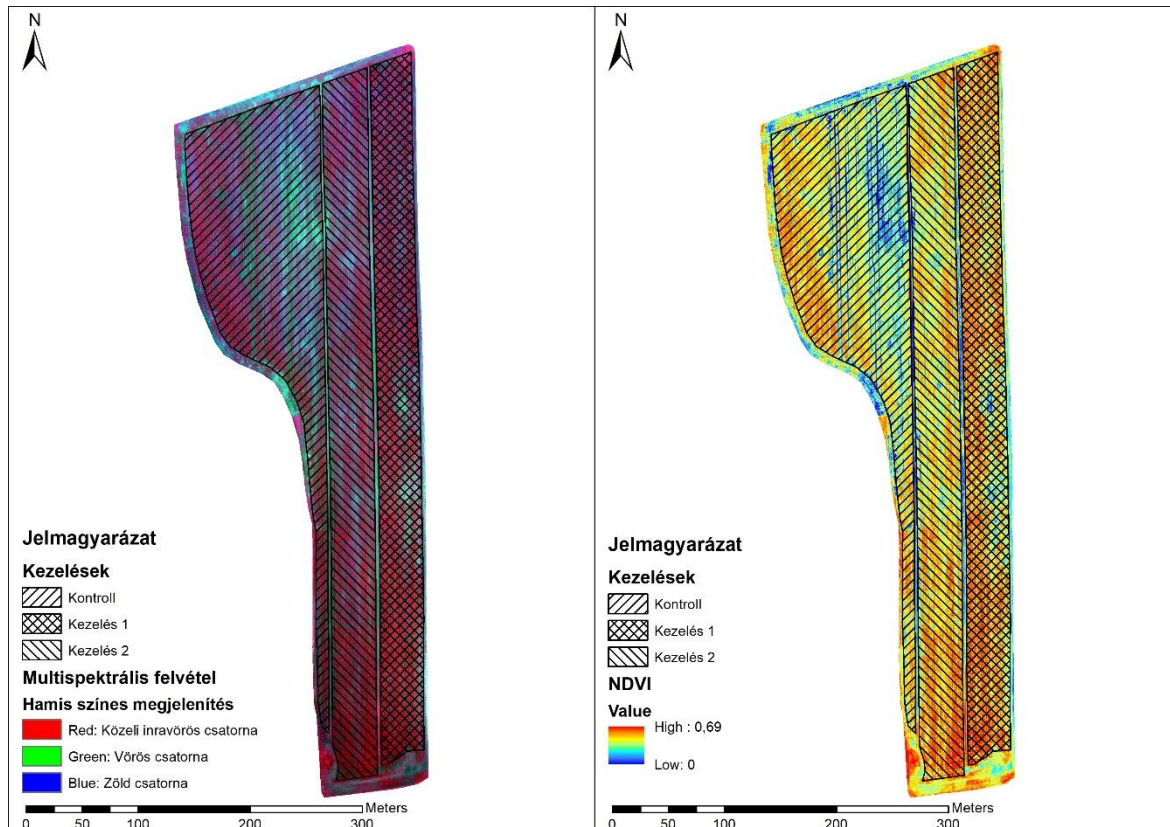
23. ábra
NDVI és RDVI vegetációs index térképek összehasonlítása a 2. teszterületen (színezés előtt)



24. ábra
NDVI és RDVI vegetációs index térképek összehasonlítása a 2. teszterületen (színezés után)



25. ábra
SAVI és NDVI vegetációs index térkép összehasonlítása a 2. teszterületen

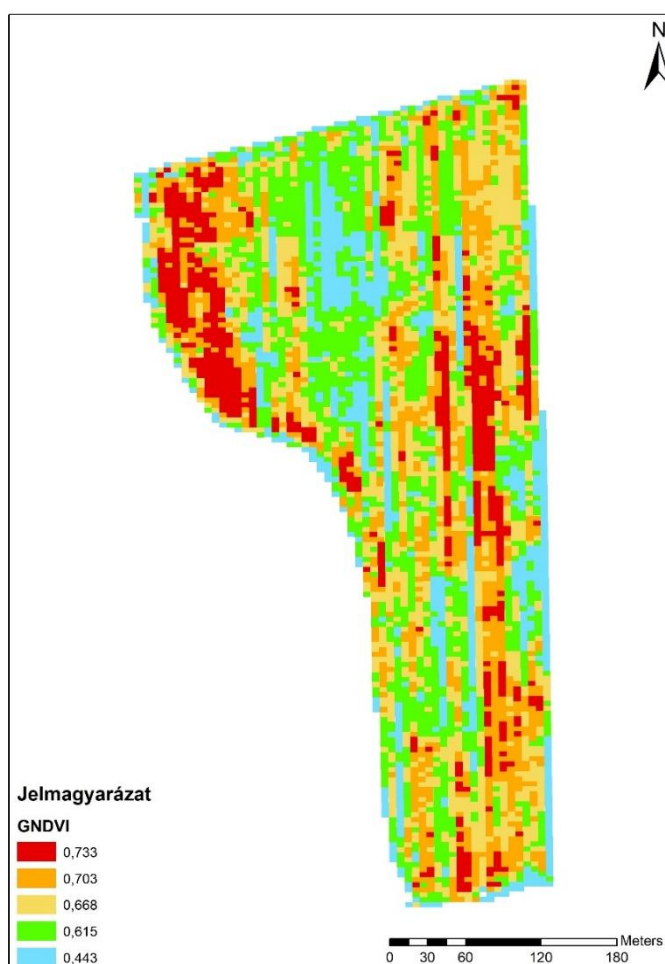


26. ábra
A multispektrális felvétel és NDVI vegetációs index térképek összehasonlítása a 2. teszterületen

Az elkészített raszteres vegetációs index rétegeken különböző területi statisztikák alapján kiszámíthatóak, az egyes parcellák vagy zónák minimum, maximum, átlag és szórás értékei az adott indexre vonatkozóan. Ezek a paraméterek és eredmény térképek nagymértékben hozzájárulnak a precíziós mezőgazdasági döntések előkészítéséhez, min pl. a tápanyag-utánpótlás tervezése, kártevők elleni védekezés vagy a termőképesség-bebecslés. A térképeket raszteres és vektoros formában is elkészítik. A raszteres képekkel inkább papír alapú formában találkozunk, hiszen ezt használják a nyomtatásokhoz, a tervezésekhez, míg a vektoros képek inkább a gépek és programok számára szükségesek (pl. a traktorok, kombájnok és egyéb mezőgazdasági eszközök is vektoros állományokat használnak).

Az ábrákon is látszik, hogy a kukoricatáblán lévő két kezelt és egy kontroll (kezelés mentes) parcellák közül a két kezelt parcellának alacsonyabb a szórása, ami azt jelenti, hogy ezeken a részeken homogénebb a növények fejlődése és kiegyenlítettebb terméshozamra lehet számítani.

A raszteres, szabályos pixelekből álló fedvényekből a különböző felbontású vektoros rétegek generálhatóak, melyek az erre alkalmas mezőgazdasági gépre közvetlenül feltölthetőek és a tápanyag utánpótlás vagy növényvédelem, ezek alapján történik (27. ábra).



27. ábra

A kukoricatábláról készített 4m-es felbontású vektoros GNDVI térkép

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakdolgozatom elején kitűzött célnak megfelelően munkám első részében a pilóta nélküli repülő eszközök, illetve a precíziós mezőgazdálkodás bemutatására vállalkoztam. Az elsőt a két legnagyobb UAV használó ágazat szempontjából (nagyobb részben a mezőgazdaságeből, kisebb részben a katonaságeből) is megvizsgáltam.

Ezt követően azt mutattam be, – amit szakdolgozatom lényegének is tekintek – hogy a két fogalom hol és hogyan találkozik a gyakorlati életben, illetve azt, hogy ezek kik számára, miért és hogyan hasznosíthatók leginkább. Bemutattam, hogy a térképészetnek milyen szerepe van ebben a témában (vegetációs index térképek), valamint magát a felmérés folyamatát, a reptetést – közvetlenül szerzett tapasztalatok alapján.

A vegetációs index térképeket persze nem csak a mezőgazdaságban szokás használni. Számos olyan egyéb ágazat létezik, ahol szintén fontos lehet a vegetáció felmérése, folyamatos megfigyelése. Véleményem szerint megvizsgálandó felhasználhatósága az alábbi területek számára is:

- Erdőgazdálkodás
- Környezetvédelem
- Földmérés
- Katasztrófa elhárítás
- Vízgazdálkodás
- Energiagazdálkodás
- Geoinformatika

Összegezve, az UAV-k rendkívül hasznosak a mezőgazdálkodók számára, ha termőföldünk, termésünk megfigyeléséről, kár detektálásáról vagy a termés aratásának, öntözésének, trágyázásának megtervezéséről van szó. Egyszóval elsősorban a gazdáknak segítenek a döntéshozatalban, természetesen nem helyettesítve azt. Ez persze már ebben a formában is megkönnyíti a termelők mindennapi munkáját, de várni kell még néhány évet arra, hogy a drónok ne csak egy megfigyelési, felmérési eszközként lehessenek jelen a mezőgazdaságban, hanem aktív részvevőkként is. Véleményem szerint Magyarországon is törekedni kell arra, hogy a gazdaság minden ágazatában szélesebb körűen, jóval több funkciót láthassanak el a pilóta nélküli repülőgépek.

Fontos itt megemlíteni azt is, hogy az EKE Távérzékelési és Vidékfejlesztési Kutatóintézetének munkatársai jelenleg is kísérleteznek drónokkal például az öntözéses mezőgazdaságban, amely hasonlóan a reptetés fejezetben ismertetett UAV-hez, előre megadott sarokpontok alapján járják be a pontokon belül lévő poligont, a leginkább ideális útvonalon, és nemcsak öntözésre, hanem folyékony trágya, illetve permetszerek kijuttatására is alkalmas a technológia.

A fejlett világhoz képest tehát némiképp le vagyunk maradva az automatizálás terén, de ahogy az előbb említett kísérlet is igazolja, elindultak ezek a fejlesztési folyamatok, többek között a magyar mezőgazdálkodásban is.

8. HIVATKOZÁSOK

8.1. Irodalomjegyzék

AGROINFORM (2017): *Hogyan halad a „precíziós mezőgazdaság” a hazánkban?* Utolsó elérés:2018.05.12.

<https://www.agroinform.hu/gazdasag/hogyan-halad-a-precizios-mezogazdasag-a-hazankban-31447-002>

ÁBRAHÁM A. (2017): *Elszállt a drónrendelet.* Utolsó elérés:2018.05.12.

<http://nepszava.hu/cikk/1133475-elszallt-a-dronrendelet>

BAKÓ G. (2015): *UAV és RPAS technológia a légi távérzékelésben.* Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, pp. 4-12.

BEKŐ L. – KAPRINYÁK T. – LÁPOSI R. – TÓTH SZ. (2018): *Multispektrális felvételek alkalmazása kisparcellás mezőgazdasági kísérletekben.*

BÉKÉSI B. – BOTTYÁN ZS. – DUNAI P. – HALÁSZNÉ TÓTH A. – MAKKAY I. – PALIK M., RESTÁS Á. – WÜHRL T. (2013): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.* Budapest, Nemzeti Közsolgálati Egyetem, pp. 11-15., pp 68., pp 66-84., pp. 146-155

BIRÓ CS. – MIKA J. – PÉNZESNÉ KÓNYA E. – UTASI Z. (2011): *Műholdakról távérzékelte adatok feldolgozása és hasznosítása.* EKF Matematikai és Informatikai Intézet

BUSCHMANN, – C.; NAGEL, E. (1993): *In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation.* International Journal of Remote Sensing. 14, pp. 711-722.

L. CARY (2016): *ICAO.* Utolsó elérés:2018.05.12.

<https://www.youtube.com/watch?v=ChOwu5sLbPY&feature=youtu.be>

- CHEN, J. (1996): *Evaluation of vegetation indices and modified simple ratio for boreal applications*. Canadian Journal of Remote Sensing. 22, pp. 229-242.
- CHRISTENSENA, S. – NTAKOS, G. – NIELSENA, J. – POULSEN, R. N. – RASMUSSENA, J. – SVENSGAARDA, J. (2015): *Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots?* European Journal of Agronomy
- DATT, B. (1999): *Visible/near infrared reflectance and chlorophyll content in Eucalyptus leaves*. International Journal of Remote Sensing. 20, pp. 2741–2759.
- DOBOS A. CS. (2011): *Precíziós növénytermesztés*, DE Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma
- DRONE DEPLOY (2018): *Documentation*. Utolsó elérés:2018.05.12.
<https://support.dronedeploy.com/docs>
- DUTTON, J. A. – ABDULLAH, Q. (2018): *Classification of the Unmanned Aerial Systems*. Utolsó elérés:2018.05.12.
<https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5>
- GITELSON, A. A. – A. VINA, V. – CIGANDA, D. C. – RUNDQUIST, T.J. – ARKEBAUER (2005): *Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops*. Geophysical Research Letters. 32.
- GITELSON, A. A. – MERZLYAK, M. N. (1997): *Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves*. Advances in Space Research. 22, pp. 689-692.
- HUETE, A. R. (1988): *A soil-adjusted vegetation index (SAVI)*. Remote Sensing of the Environment. 25, pp. 295–309.
- INDEX DATABASE (2018): *A database for remote sensing indices*. Utolsó elérés:2018.05.12.
<https://www.indexdatabase.de/db/i.php>

- JOAN, B. (2017): *Difference between UAV and RPV*. Utolsó elérés:2018.05.12.
<http://www.differencebetween.net/technology/industrial/difference-between-uav-and-rpv/>
- JORDAN, C. F. (1969): *Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor*. Ecology. 50, pp. 663–666
- OMSZ ISMERTETŐ (2017): *NDVI – Normalizált Vegetációs Index*. Utolsó elérés:2018.05.12.
https://www.met.hu/ismertetok/NDVI_ismerteto.pdf
- PALIK M. (2015): *A Pilóta nélküli repülés fejlődése*. Utolsó elérés:2018.05.12.
<http://slideplayer.hu/slide/11192547/>
- PARROT (2018): *Irradiancia szenzor specifikációk*. Utolsó elérés:2018.05.12.
<https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/216533688-What-does-the-Sunshine-Irradiance-Sensor-on-Sequoia-do->
<https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/225710688-Sequoia-s-components-GPS-IMU-Magnetometer->
- PARROT (2018): *Parrot Disco UAV specifikációk*. Utolsó elérés:2018.05.12.
<https://www.parrot.com/us/drones/parrot-disco-fpv#spare-parts>
- PARROT (2018): *Parrot Sequoia multispektrális kamera specifikációk*. Utolsó elérés:2018.05.12.
<https://www.parrot.com/global/parrot-professional/parrot-sequoia#spare-parts>
<https://www.micasense.com/parrotsequoia/>
- PARROT (2018): *Understanding multispectral imagery using drones in agriculture*.
- REISINGER P. (2014): *Precíziós mezőgazdaság 1. rész*. Agro napló. 2014/04.

REUJEAN, J. L. – BREON, F. M. (1995): *Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements*. Remote Sensing of the Environment. 51, pp. 375–384.

ROUSE, J. W. – HAAS, R.H. – SCHELL, J. A. – DEERING, D.W. – HARLAN, J. C. (1974): *Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation*. Final rep. NASA/GSFC, Greenbelt, MD.

TAMÁS J. (2001): *Precíziós mezőgazdaság*. Budapest, Szaktudás Kiadó Ház Rt., pp 3-6.

VÖLGYI A. (2015): *Felzállási engedélyre várnak a drónok*. Utolsó elérés:2018.05.12.
<https://pixinfo.com/cikkek/felzallasi-engedelyre-varnak-a-dronok/>

WIKIPÉDIA (2018): *Pilóta nélküli repülőgép*. Utolsó elérés:2018.05.12.
https://hu.wikipedia.org/wiki/Pil%C3%B3ta_n%C3%A9lk%C3%BCli_rep%C3%BCl%C5%91g%C3%A9p

8.2. Ábrajegyzék

- 1. ábra** *A drón-reptetés fogalma a laikus számára*. Utolsó elérés:2018.05.12.
<https://www.flickr.com/photos/glumpad/6347895911/in/photostream/>
- 2. ábra** *A drón-reptetés fogalma valójában*. Utolsó elérés:2018.05.12.
<http://player.slideplayer.hu/41/11192547/data/images/img7.png>
- 3. ábra** *A NASA RQ-4 Global Hawk (bal) és MQ-9 Reaper / Predator B (jobb) típusú UAV-ja*. Utolsó elérés:2018.05.12.
<https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/ed13-0399-17.jpg>
https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/258029main_ED08-0151-02_full.jpg
- 4. ábra** *Toló légszavaros HTOL repülőgépek különböző konfigurációi*.
PALIK ET AL. (2013): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. pp.71.

- 5. ábra** *Forgószárny elrendezései a VTOL drónoknak.*
PALIK ET AL. (2013): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.* pp.76.
- 6. ábra** *Hibrid repülőgép kialakítások.*
PALIK ET AL. (2013): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.* pp.81.
- 7. ábra** *Merevszárnyú UAV típusokról illusztrációk: (balról lefelé haladva) Denel Aerospace – Seeker (hagyományos); E.M.I.T. – Blue Horizon 2 (canard); Boeing – Insitu Scan Eagle (csupaszárny); Sagem – SPERWER (deltaszárny).*
Utolsó elérés:2018.05.12.
<https://21stcenturyasianarmsrace.files.wordpress.com/2015/05/south-african-seeker-400-uav.jpg>
http://2.bp.blogspot.com/_En-sxfOkXP8/Sfab3c_0KbI/AAAAAAAAAuE/pyVWJB-uEHo/s1600/Blue+Horizon-EmitUAV.bmp
<http://5.s.dziennik.pl/pliki/3558000/3558180-dron-900-664.jpg>
<http://www.hyperstealth.com/ADP/twuav10b.jpg>
- 8. ábra** *Forgószárnyú UAV típusokról illusztrációk: (balról lefelé haladva) Boeing – A160T Hummingbird (faroklégcsavaros); Infotron – IT180 (koaxiális); DPI – DP-14 (tandem rotoros); Syma – X8HW (többforgószárnyas).* Utolsó elérés:2018.05.12.
https://media.wired.com/photos/5932dbf658b0d64bb35d3beb/master/w_582,c_limit/a160_hummingbird_1.jpg
https://www.uasvision.com/wp-content/uploads/2012/06/IT180_OTAN.jpg
<http://www.dragonflypictures.com/wp-content/uploads/2014/06/DP-14-1.jpg>
https://s12emagst.akamaized.net/products/4450/4449219/images/res_b13c05317dca6cfec33ee5e0688112fa_450x450_1419.jpg
- 9. ábra** *Hibrid kialakítású UAV típusokról illusztrációk: (balról lefelé haladva) Honeywell – T-Hawk MAV (elfordítható csőlégcsavar) MLB – V Bat (elfordítható repülőgéptörzs) Bell Helicopter – Eagle Eye (elfordítható szárny).* Utolsó elérés:2018.05.12.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0e/Bell_TR911X_Eagle_Eye_scale_prototype.jpg

<https://dragondron.files.wordpress.com/2016/05/0b9faf6b-bd7b-48b2-bf5a-b8c1b2c8dc61-2.jpeg?w=778>

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/03/MicroAirVehicle.jpg/1280px-MicroAirVehicle.jpg>

10. ábra *A precíziós mezőgazdálkodás alapjai.*

A szerző által szerkesztett ábra, CorelDraw programmal.

11. ábra *Az elektromágneses spektrum részei.* Utolsó elérés:2018.05.12.

https://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A9ny#/media/File:EM_spectrum_hu.svg

12. ábra *A kamerák előfordulása.* Utolsó elérés:2018.05.12.

<https://www.macobserver.com/wp-content/uploads/2017/09/iphone-x-camera-wide.jpg>

<https://zi5fccrezotc23ug-zippykid.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2018/01/mavic-air.png>

<https://icdn8.digitaltrends.com/image/gopro-hero5-black-review-update-1-800x533-c.jpg>

<https://ksassets.timeincuk.net/wp/uploads/sites/54/2016/07/canon-eos-1300d-1-2-1220x688.jpg>

13. ábra *A különféle vegetációk spektrális görbéi a látható és közeli infravörös tartományokban (zöld=egészséges; vörös=stressznek kitett; fekete=halott).*

PARROT (2018): *Understanding multispectral imagery using drones in agriculture.*

14. ábra *A növények különböző színcsatornák felvételein.* Utolsó elérés:2018.05.12.

https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=jYlHeDbNIMU

- 15. ábra** *Egészséges vegetáció reflektancia értéke az említett sávokon.*
PARROT (2018): *Understanding multispectral imagery using drones in agriculture.*
- 16. ábra** *A térkép megjelenítő kezelőfelülete. Utolsó elérés:2018.05.12.*
https://www.met.hu/idojaras/agrometeorologia/vegetacios_index/
- 17. ábra** *Tesztterület 1. (sárga vonal).*
A Google Earth-ből kivágott ábra.
- 18. ábra** *Tesztterület 2. (piros vonal).*
A Google Earth-ből kivágott ábra.
- 19. ábra** *A lerepült repülés sávok és a felvételek készítésének pozíciói (piros pontok).*
Az UAV kezelőprogramja által készített ábra.
- 20. ábra** *Átfedő felvételek a lerepült területen (piros vonal).*
Az Eszterházy Károly Egyetem dolgozói által készített ábra.
- 21. ábra** *GNDVI és NDVI vegetációs index térképek összehasonlítása a 2. teszterületen*
Az Eszterházy Károly Egyetem dolgozói által készített ábra.
- 22. ábra** *GNDVI és NDVI vegetációs index térképek összehasonlítása az 1. teszterületen*
Az Eszterházy Károly Egyetem dolgozói által készített ábra.
- 23. ábra** *NDVI és RDVI vegetációs index térképek összehasonlítása a 2. teszterületen (színezés előtt)*
Az Eszterházy Károly Egyetem dolgozói által készített ábra.

- 24. ábra** NDVI és RDVI vegetációs index térképek összehasonlítása a 2. teszterületen (színezés után)
- Az Eszterházy Károly Egyetem dolgozói által készített ábra.
- 25. ábra** SAVI és NDVI vegetációs index térképek összehasonlítása a 2. teszterületen
- Az Eszterházy Károly Egyetem dolgozói által készített ábra.
- 26. ábra** A multispektrális felvétel és NDVI vegetációs index térkép összehasonlítása a 2. teszterületen
- Az Eszterházy Károly Egyetem dolgozói által készített ábra.
- 27. ábra** A kukoricatábláról készített 4m-es felbontású vektoros GNDVI térkép
- Az Eszterházy Károly Egyetem dolgozói által készített ábra.

8.3. Táblázatjegyzék

- 1. táblázat** *A pilóta nélküli repülő eszközök munkavégzés célja szerinti osztályozása.*
- Utolsó elérés:2018.05.12.
- A szerző által szerkesztett táblázat, MS Word programmal.
- Forrás: BAKÓ G.(2015): *UAV és RPAS technológia a légi távérzékelésben*, pp 6.
- 2. táblázat** *A US Department of Defense (DoD) által használt UAV osztályozás.* Utolsó elérés:2018.05.12.
- <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5>
- 3. táblázat** *A hagyományos és a precíziós gazdálkodás legfőbb különbségei.*
- DR. TAMÁS J. (2001): *Precíziós mezőgazdaság*, pp 5.
- 4. táblázat** *A három leggyakrabban használt távérzékelési eszköz.*
- Parrot Sequoia Understanding multispectral imagery using drones in agriculture

5. táblázat *A spektrális rétegekből előállítható biofizikai indexek (R=vörös; G=zöld; NIR=infravörös).*

A szerző által kiegészített táblázat, MS Word programmal.

Forrás: BEKŐ L (2018). ET AL: *Multispektrális felvételek alkalmazása kisparcellás mezőgazdasági kísérletekben.* pp. 3-4.

6. táblázat *Terepi felbontás a repülés magasság függvényében.*

A szerző által készített táblázat.

7. táblázat *Georeferencia utáni pontosság.*

A szerző által készített táblázat.

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom elsősorban a témavezetőmnek, Gede Mátyásnak, aki a szokatlan témám ellenére elfogadta felkérésemet, hogy a témavezetőm legyen és folyamatosan tanácsaival látott el. Továbbá szeretnék köszönetet mondani a Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék dolgozóinak és munkatársainak, hogy különböző módokon, de segítették tanulmányaimat.

Ezek mellett köszönöm az Eszterházy Károly Egyetem Gyöngyösi Campusán lévő Távérzékelési és Vidékfejlesztési Kutatóintézetnek, amiért ennyire érdekes és különleges témát tudtak számomra biztosítani, illetve amiért előben megfigyelhettem az egyik tesztrepülésüket. Külön köszönet jár a munkatársuknak, Bekő Lászlónak, akivel a dolgozat írása folyamán, többször is konzultálhattam a témával kapcsolatban, valamint olyan szakirodalomhoz adott hozzáférést, amihez nélküle biztosan nem jutottam volna hozzá.

Köszönöm még a Nagykátai Mezőgazdasági Szövetkezetnek, hogy bepillantást engedtek egy átlagos gazdaság mindennapi életébe. Külön köszönöm régi jó barátomnak, Mészáros Máténak, aki a szövetkezet dolgozójaként elvitt a munkaterületre, elmagyarázta a munkafolyamatokat, valamint bemutatta a gazdaságban használatos eszközök egy részét.

NYILATKOZAT

Név: **Dusek Bence**

ELTE Természettudományi Kar, szak: **Térképész és geoinformatikus**

Neptun azonosító: **FLWLBV**

Szakdolgozat címe: **Pilóta nélküli repülő eszközök alkalmazhatósága a precíziós mezőgazdálkodásban**

A szakdolgozat szerzőjeként fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy a dolgozatom önálló munkám eredménye, saját szellemi termékem, abban a hivatkozások és idézések standard szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

A témavezető által benyújtásra elfogadott szakdolgozat PDF formátumban való elektronikus publikálásához a tanszéki honlapon

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2018. május 15.

a hallgató aláírása