

# SZAKDOLGOZAT

László Diána

KAPOSVÁR

2025

MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

KAPOSVÁRI CAMPUS

Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszék

# Szántóterület távérzékeléses felmérése kukorica esetében

Készítette:

László Diána

Mezőgazdaági mérnöki Bsc szakos hallgató

Konzulens:

Dr. Lukács Aurél István

egyetemi docens

Tanszékvezető:

Dr. Bártfai Zoltán

egyetemi docens

Kaposvár

2025

## Tartalom

1.	Bevezetés.....	6
2.	Szakirodalmi áttekintés .....	7
2.1.	Távérzékelés.....	7
2.1.1.	Multispektrális távérzékelés .....	7
2.1.2.	Légi- és űr távérzékelés .....	8
2.2.	A kukorica ( <i>Zea mays</i> L.) morfológiai és biológiai jellemzői .....	8
2.2.1.	Morfológiai felépítés .....	9
2.2.2.	Élettani és fenológiai fejlődési szakaszok .....	9
2.2.3.	Biológiai sajátosságok és agrotechnikai jelentőségük .....	11
2.3.	Kukorica gazdasági jelentősége Magyarországon .....	12
2.3.1.	Termesztés és termésmennyiség .....	13
2.3.2.	A kukorica gazdasági hatása .....	13
2.3.3.	Az export és az import szerepe.....	14
2.3.4.	Előnyök .....	14
2.3.5.	Kihívások .....	15
2.3.6.	A kukorica jövője és fenntarthatósági kérdések.....	15
2.4.	Precíziós gazdálkodás jelentősége a kukorica termesztésben .....	15
2.5.	Pilóta nélküli légitársaságok felhasználása a mezőgazdaságban .....	16
2.5.1.	Távérzékelés és vegetációmonitorozás .....	16
2.5.2.	Térképezés és adatgyűjtés .....	17
2.5.3.	Permetezés és növényvédelem .....	17
2.5.4.	Termésbecslés és hozamelőrejelzés .....	17
2.5.5.	Jövőbeli irányok és automatizálás.....	17
2.5.6.	A vegetációs indexek használata és jelentősége a mezőgazdaságban.....	17
2.6.	Az általam alkalmazott vegetációs indexek .....	18
2.6.1.	NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).....	18
2.6.2.	GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index).....	18
2.6.3.	LCI (Leaf Chlorophyll Index).....	19
2.6.4.	MCARI (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index).....	19

2.6.5.	NDRE (Normalized Difference Red Edge Index).....	20
2.6.6.	SIPI2 (Structure Insensitive Pigment Index 2).....	20
2.7.	Multispektrális drónfelvételek feldolgozására alkalmas szoftverek .....	21
2.7.1.	Kiskereskedelmi szoftverek .....	21
2.7.2.	Nyílt forráskódú alternatívák.....	21
3.	Anyag és módszer .....	22
3.1.	A légi jármű adatai és leírása .....	23
3.2.	Hogyan és mikor kell a vizsgálatot végezni? .....	23
3.3.	Repülési magasság és sebesség megválasztása.....	24
3.4.	Repülés iránya és átfedés .....	24
3.5.	Repülés kivitelezése .....	24
3.6.	Mérés feldolgozása és vegetációs indexek megválasztása.....	26
3.7.	Kiegészítő termés kiesés számítás.....	27
4.	Eredmények.....	28
4.1.	Adatok rövid áttekintése.....	28
4.2.	Időpontokénti, fenológiával összekapcsolt értékelés .....	28
4.2.1.	2024. május 28. – 6–10 leveles állapot (V6–V10).....	28
4.2.2.	2024. június 24. – Címerhányás (VT) .....	30
4.2.3.	2024. július 26. – Virágzás vége, szemképződés (R1–R2) .....	32
4.2.4.	2024. augusztus 6. – Tejes–viaszerés (R4–R5), érés előtti állapot .....	34
4.3.	Indexek dinamikája, százalékos változások és csúcspontok .....	37
4.4.	Az állomány homogenitása és heterogenitása (szórás, CV) .....	37
4.5.	Együttjárás az indexek között (egymás kiegészítése) .....	38
4.6.	Agronómiai jelentőség, döntéstámogatási pontok .....	38
4.7.	Kiegészítő termés kiesést becsülő felmérés .....	39
5.	Következtetések és Javaslatok .....	40
6.	Összefoglalás.....	42
7.	Irodalomjegyzék.....	44
8.	Mellékletek.....	47

8.1.	A repülés feldolgozásának menete .....	47
8.2.	A 2024.05.28-as repülés indexeinek feldolgozásának adatai.....	52
8.3.	A 2024.06.24-es repülés indexeinek feldolgozásának adatai.....	55
8.4.	A 2024.07.26-os repülés indexeinek feldolgozásának adatai.....	58
8.5.	A 2024.08.06-os repülés indexeinek feldolgozásának adatai.....	61
8.6.	Kiegészítő terméskiesés számítása .....	64
9.	Köszönetnyilvánítás .....	69
10.	Egyéb, kötelező mellékletek .....	70

## 1. Bevezetés

Amikor a szakdolgozatom témáját kerestem, bevallom, eleinte tanácstalan voltam. Aztán a Precíziós gazdálkodás alapjai órán elhangzottak a drónok – és bevillant: ez az! Gyerekkorom óta imádom őket; apukámnak is volt, és lenyűgözött, ahogy a madártávlati képeken látni a világot. Felmerült bennem, hogy mennyire izgalmas lenne egy kukoricatábla fejlődését ilyen módon, a levegőből követni. Egyből éreztem, hogy ez nemcsak menő, de pizszokul aktuális is. A gazdálkodás manapság már sokkal inkább az adatokról szól, és a távérzékelés a jövő.

Nagy lökést adott a választásnak az egyik ismerősöm, aki már belevágott a precíziós gazdálkodásba. Tőle hallottam a legtöbbet arról, mekkora segítséget jelent ez a szemléletváltás. Elmesélte, hogy a drónfotókkal sokkal hamarabb kiszúrja a gyomokat, a tápanyaghiányt, és így céltudatosan tud beavatkozni. Miután beruházott egy multispektrális drónra, kapva kaptam az alkalmon: együtt mérhettük fel az egyik kukoricatábláját. Ez maga volt a jackpot! Nemcsak elméletben kellett kutatnom, hanem élesben is kipróbálhattam mindent. A terepen szerzett tapasztalatok felbecsülhetetlenek voltak.

A kukoricát nem véletlenül választottam hiszen az egyik legfontosabb szántóföldi kultúránk, és a fenológiai fázisai a szárba indulástól a virágzásig, megannyi látványos változást hordoznak magukban. A multispektrális felvételek olyan rejtett részleteket is megmutatnak, amiket szabad szemmel esélytelen meglátni. Döbbenetes volt látni, mi minden derül ki egy-egy drónképen.

Manapság a mezőgazdaságban az a lényeg, hogy időben reagáljunk. A drónok segítenek megelőzni a nagy károkat, mint például a túlgyomosodást, ráadásul velük tényleg célzottan tudunk anyagokat kijuttatni, így nem pazarolunk, a költségek is csökkennek, és a környezetet is kevésbé terheljük. Óriási előny az is, hogy a felvételezést a saját időmhöz igazíthattam, és a képek sokkal részletesebbek, mint a ritkán frissülő műholdas adatok. Persze, be kell látni, hogy a multispektrális drón és a szoftverek (például a Pix4Dfields) komoly befektetést jelentenek, ami sokaknak még áthidalhatatlan akadály. De szerintem ez csak idő kérdése.

A szakdolgozatommal azt szeretném elérni, hogy megmutassam, ez az eszköz nem csak egy trendi „kütyü”, hanem a gazdálkodók igazi, kézzelfogható segítsége. Szeretném bemutatni, hogy a drónos felmérés mekkora előrelépés a mindennapi természetben.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2.1. Távérzékelés

Ahhoz, hogy megértsük mikről is van szó, kezdjük az elejéről. Fontos tisztázni mi is az a távérzékelés.

A távérzékelés a földfelszínről, annak elemeiről és folyamatairól történő információszerzés olyan módja, amelynél a megfigyelő és a megfigyelt objektum térben elválik egymástól. A felvételek alapja az elektromágneses sugárzás, amelyet a különböző szenzorok érzékelnek és képi információként rögzítenek. Ezek a felvételek lehetnek földi, légi vagy műholdas eredetűek, és alapvető szerepet játszanak a tájelemzésben, a környezetmonitoringban és a mezőgazdasági megfigyelésekben (Jombach, 2015).

A távérzékelés két fő típusa a passzív és az aktív távérzékelés. Passzív távérzékelés esetén a természetes, többnyire a Napból származó sugárzás szolgál adatforrásként, míg az aktív rendszerek mesterségesen kibocsátott elektromágneses hullámokat használnak, például radar- vagy LIDAR-rendszerek esetében (Jombach, 2015; Engler, 2000).

A passzív képalkotó távérzékelés célja a természetes sugárzás különböző hullámhossz-tartományaiából származó információk rögzítése és feldolgozása. A spektrális és geometriai felbontás, illetve a felvételek időbeli gyakorisága határozza meg, hogy mennyire részletes elemzések végezhetők. Az így nyert adatok segítségével a felszínborítás, a vegetáció, a vízfelületek, az épített környezet és a domborzat is hatékonyan vizsgálható (Jombach, 2015).

#### 2.1.1. *Multispektrális távérzékelés*

Én a vizsgálatom során ezt a távérzékelési módszert használtam. A multispektrális távérzékelés a passzív rendszerek egyik legfontosabb kategóriája, amely több hullámhossz-tartományban gyűjt adatokat ugyanarról a területről. Ennek segítségével az egyes felszíni objektumok (például a növényzet, talaj, vízfelület) eltérő spektrális viselkedése alapján elkülöníthetők és jellemezhetők.

A multispektrális felvételek főként a látható és a közeli infravörös tartományban készülnek, és a növényzet állapotának meghatározásában, az index-számításokban (pl. NDVI, GNDVI) és a felszínborítás-térképezésben nélkülözhetetlenek. Az ilyen adatok nagy mennyiségben és

rendszeresen frissülve állnak rendelkezésre, így alkalmasak a tájváltozások nyomon követésére, a mezőgazdasági területek megfigyelésére és a természeti erőforrások vizsgálatára

A multispektrális technológia legnagyobb előnye, hogy képes a felszínről visszavert sugárzás alapján olyan mintázatokat is feltárni, amelyek az emberi szem számára nem láthatók.

Az adatok feldolgozása során radiometriai és geometriai korrekciók, képosztályozás és index-elemzések révén megbízható, kvantitatív információ nyerhető a felszín állapotáról. Ezek az eljárások a tájkarakter-elemzésben is fontos szerepet kapnak, hiszen lehetővé teszik a különböző tájjelemek térbeli és spektrális azonosítását (Jombach, 2015)

### **2.1.2. Légi- és űr távérzékelés**

A távérzékelési adatok származhatnak különböző magasságokból: földi, légi és űrplatformokról. A légi távérzékelés során repülőgépekre, helikopterekre vagy pilóta nélküli légi járművekre szerelt érzékelőkkel készülnek felvételek. Magyarországon a légifelvételek készítését és felhasználását jogszabályok szabályozzák (21/1997. FM–HM rendelet; 399/2012. Korm. rendelet). Az ország teljes területéről 2000 óta rendszeresen készülnek ortofotók, amelyek domborzati torzításoktól mentes, térképként is használható felvételek.

Az infravörös légifelvételek különösen alkalmasak a vegetáció térképezésére, mivel az egészséges növényzet a közeli infravörös tartományban erős visszaverést mutat. Az ilyen adatokból készített ortofotók (0,5–2 m felbontással) precíz alapot biztosítanak a mezőgazdasági és tájökölógiai vizsgálatokhoz, valamint a változás-elemzésekhez.

Az űrtávérzékelés ezzel szemben műholdakra telepített szenzorokkal működik, amelyek globális lefedettséget és rendszeres megfigyelést tesznek lehetővé. Az ASTER GDEM és az SRTM domborzati adatbázisok például világszerte ingyenesen elérhetők, és alkalmasak a tájkarakter-elemzésben használt domborzatmodellek előállítására. A műholdas multispektrális felvételek például a Sentinel-, és Landsat-sorozatok naprakész információt biztosítanak a felszínborítás, a vegetáció és a környezeti változások vizsgálatához (Jombach, 2015).

Az így nyert légi és űrfelvételek feldolgozása során végzett korrekciók, index-képzések és osztályozások lehetővé teszik a tájjelemek pontos jellemzését, a tájváltozások követését és a tájkarakter értelmezését a különböző térbeli léptékekben.

## **2.2. A kukorica (*Zea mays* L.) morfológiai és biológiai jellemzői**

A kukorica (*Zea mays* L.) a világ egyik legjelentősebb gabonaféléje, amely sokoldalúan hasznosítható mind takarmány-, valamint élelmisznővényként. Morfológiai és élettani sajátosságai nagyban meghatározzák termesztéstechnológiáját, fejlődési dinamikáját és terméshozamát. A növény szerkezeti felépítése és fenológiai fázisainak ismerete nélkülözhetetlen a megfelelő agrotechnikai beavatkozások (pl. vetésidő, tápanyagellátás, öntözés) optimális megválasztásához.

A következőkben a kukorica főbb morfológiai jellemzőit, valamint élettani és fenológiai fejlődési szakaszait ismertetjük, a növény fejlődési logikáját és termesztési sajátosságait kiemelve (Radics, 1994).

### **2.2.1. Morfológiai felépítés**

A kukorica a pázsitfűfélék (Poaceae) családjába tartozó, egylaki, váltivarú, szél általi beporzású növény. A szántóföldi növénytermesztésben világszerte az egyik legnagyobb jelentőségű gabonaféle, amely morfológiai tulajdonságainak és nagyfokú plaszticitásának köszönhetően igen jól alkalmazkodik a különböző termesztési feltételekhez (Radics, 1994).

A növény szára hengeres, csomókra (nóduszokra) és szártagokra (internódiumokra) tagolódó, egyenes növekedésű tengely, amelynek magassága a fajtától és a termesztési körülményektől függően 1–4 méter között változhat. A csomókon találhatóak a levelek, amelyek váltakozó állásúak és párhuzamos erezetűek. A levél három részből áll: a levélhüvelyből, a levéllemezéből és a nyelvecskéből. A levéllemez a fotoszintézis fő szerve, nagysága és állása jelentősen befolyásolja a növény fényhasznosítását és vízháztartását.

A gyökérzete bojtos típusú, amelyet kezdetben a csíragyökér, később a mellék- és járulékos gyökerek alkotnak. A gyökérzet döntően a talaj felső 60–80 cm-es rétegében fejlődik, de kedvező feltételek mellett akár 2 méter mélyre is lehatolhat. A szár alsó csomóiból megjelenő támasztógyökerek biztosítják a növény stabilitását és dőlésállóságát. A gyökérzet szerkezete meghatározza a víz- és tápanyagfelvétel hatékonyságát, ezáltal a terméshozamot is.

A virágzata egylaki, váltivarú: a hímvirágzat (címer) a szár csúcsán helyezkedik el, míg a nővirágzat (torzsa) a levelek hónaljában fejlődik. A hímvirágzat kalászkái két virágot tartalmaznak, amelyek portokjaiból pollen szabadul fel. A nővirágzat bibeszálai a torzsa végéből hosszan kinyúlnak, ezek fogják be a pollenszemeket. A kukorica szél általi beporzású növény, ezért a virágzási időpontok azonossága meghatározó a sikeres megtermékenyülés szempontjából.

A termése szemtermés (caryopsis), amely a csutkán sorokban elhelyezkedő szemekből áll. A maghéj a termőfalból alakul ki, a szem színe fajtánként változó (sárga, fehér, vöröses árnyalatok), az endospermium pedig főként keményítőből és fehérjéből épül fel. A szemek alakja, mérete és keményítő-tartalma szerint több típus különböztethető meg (kemény-, lófogú-, viasz-, pattogató- és csemegekukorica) (Radics, 1994).

### **2.2.2. Élettani és fenológiai fejlődési szakaszok**

A kukorica fejlődése két fő szakaszra bontható: vegetatív (V) és generatív (R) fázisra. A vegetatív fázis a vetéstől a címerhányásig tart, míg a generatív szakasz a virágzástól a szemek teljes éréséig (Radics, 1994).

### **Csírázás és kelés (V1–V2)**

A csírázás 8–10 °C feletti talajhőmérsékleten indul meg, és akkor tekinthető befejezettnek, amikor a hajtás áttöri a talajfelszínt. A folyamat során a mag vizet vesz fel, a gyököcske előtör, majd megindul a hajtásnövekedés. A csírázás sikeressége döntően a talaj nedvességtartalmától, hőmérsékletétől és szerkezetétől függ (Radics, 1994).

### **Vegetatív növekedés és levélfejlődés (V3–V12)**

A kelést követően a növény gyors ütemben növeli levélszámát és levélfelületét. Minden új levél megjelenése egy-egy vegetatív stádiumot jelez (V3, V4 stb.). A 6–8 leveles állapotban (V6–V8) a kukorica fejlődése a legintenzívebb: megnövekszik a fotoszintézis intenzitása, és kialakul a szártagok végleges száma. Ekkor fejlődnek ki az első járulékos gyökerek, amelyek javítják a növény tápanyag- és vízfelvételét, valamint stabilitását nyújtanak. A vegetatív fázis során alakul ki a későbbi virágzatok alapja is: a növény ekkor differenciálja a hím- és nővirágzati részeket, amelyek még mikroszkopikus méretűek. A tápanyaghiány vagy vízstressz ebben a szakaszban különösen súlyos hatású, mivel a későbbi termésképződés alapját rontja (Radics, 1994).

### **Címerhányás (VT)**

A címerhányás a vegetatív fejlődés végét jelzi. Ekkor a növény eléri maximális magasságát, a szár növekedése lelassul, és a tápanyagok a virágzatok irányába áramlanak. A címerben a pollenszemek érése párhuzamosan történik a nővirágzat, azaz a torzsa fejlődésével. A címerhányás idején a növény vízigénye a legnagyobb: a transzspiráció intenzív, a napi vízfelhasználás elérheti a 6–8 mm-t is. A megfelelő vízellátás hiánya ilyenkor csökkenti a pollenképződést és a virágpor életképességét (Radics, 1994).

### **Virágzás és megtermékenyülés (R1)**

A virágzás kezdetekor megjelennek a bibeszálak, és a portokokból megindul a pollenszórás. A hím- és nővirágzat közötti időzítés (az ún. anthesis–silking interval, ASI) általában 2–3 nap. A megporzást kizárólag a szél végzi, ezért a pollen és bibeszálak térbeli és időbeli találkozása kulcsfontosságú. A sikeres megtermékenyülés után a csövön minden bibeszál egy-egy szemet hoz létre. Kedvezőtlen (száraz, forró) időjárás esetén a virágzáskori vízhiány pollensterilitást és hiányos kötődést eredményezhet (Radics, 1994).

### **Tejesérés (R3)**

A megtermékenyítést követően megindul a szemek fejlődése, amelyek eleinte tejes, majd viaszéresi állapotba kerülnek. A tejesérés szakaszában a szemek zöldek, a belső rész folyékony, magas cukortartalmú. A növény tápanyag- és vízellátása ekkor is döntő, mert a szemkitalítódás

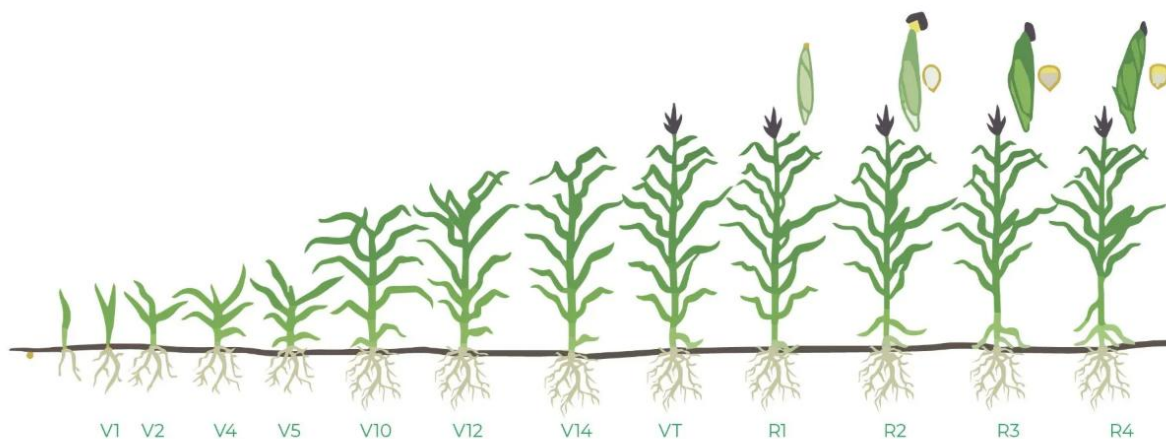
keményítő-felhalmozás intenzíven zajlik. A csemegekukorica betakarítása rendszerint ebben a fázisban történik, amikor a szemek cukortartalma a legmagasabb.

#### **Viaszérés (R4–R5)**

A szemek víztartalma fokozatosan csökken, a cukrok keményítővé alakulnak. A növény alsó levelei kezdenek elszáradni, a tápanyag-áramlás egyre inkább a szemekbe irányul. A viaszérés végén a szemek felülete már kemény, de még enyhén rugalmas tapintású. Ez a fázis döntő a szemtermés minősége és beltartalmi értékei szempontjából

#### **Teljes és fiziológiai érés (R6)**

A fiziológiai éréskor a szemek tövéén megjelenik az ún. fekete réteg, ami a tápanyagáramlás megszűnését jelzi. Ekkorra a szemek víztartalma 28–32% körüli, a csövek már megszilárdultak, a növény alsó levelei pedig elszáradnak. A betakarítás ideális időpontja e fázis után következik, amikor a szemek kellően szárazak, és a termés mechanikai betakarításra alkalmas. A fiziológiai érettség elérése után a kukorica életfolyamatai leállnak, a növény kiszárad, és befejeződik a vegetációs ciklus (Radics, 1994).



1. ábra A kukorica fenológiai fázisai

#### **2.2.3. Biológiai sajátosságok és agrotechnikai jelentőségük**

A kukorica biológiai sajátosságai rendkívül kedvezőek a mérsékelt égövi szántóföldi termesztés szempontjából. Meleg- és fényigényes növény, optimális fejlődéséhez 25–30 °C közötti hőmérséklet és jó vízellátottság szükséges. A mag csírázása 8–10 °C talajhőmérsékletnél indul meg, de a fejlődés ütemét és a termésbiztonságot a tenyészidő alatti hőösszeg és csapadékeloszlás nagymértékben befolyásolja. A kukorica C4-es fotoszintetikus típusú növény, ezért kiemelkedően hatékonyan hasznosítja a napenergiát, ami magyarázza magas terméspotenciálját is

A növény gyökérzete mélyre hatoló és erőteljesen elágazó, amely lehetővé teszi a tápanyagok és a víz hatékony felszívását. Ennek köszönhetően a kukorica jól tűri az átmeneti szárazságot, ugyanakkor a virágzás és termésképzés időszakában különösen érzékeny a vízhiányra. Az optimális vízellátás ebben az időszakban elengedhetetlen a megfelelő fejlődéshez.

Tápanyagigénye jelentős, különösen nitrogénből és káliumból igényel nagyobb mennyiséget. A nitrogénellátás a vegetatív fejlődést, a kálium a vízháztartást, a foszfor pedig a gyökérképződést és a termésérés folyamatát segíti. A talajok tápanyag-szolgáltató képessége ezért döntően befolyásolja a terméseredményt és a minőséget.

A kukorica rendkívül jól reagál a modern agrotechnikai beavatkozásokra. Termesztése teljesen gépesíthető, a vetéstől a betakarításig korszerű gépsorral végezhető. A hibridnemesítés és a heterózishatás kihasználása jelentősen növelte a termésátlagokat: míg az 1940-es években az országos átlag 2,2 t/ha körül alakult, napjainkra a korszerű hibridekkel elérhető hozam 8–10 t/ha is lehet (Radics, 1994).

A kukorica sokoldalú felhasználhatósága miatt agronómiai szempontból is kiemelt jelentőségű. Főként takarmány- és ipari növényként termesztik, de egyre nagyobb szerepet tölt be a bioenergia-termelésben is. Silókukoricaként nagy tápanyagtartalmú, karotindús takarmányt biztosít, míg a szemeskukorica az abraktakarmány alapja. A szárazúzalék és a nedves szemeskukorica silózása az állattenyésztés számára értékes energiaforrást jelent a téli takarmányozásban.

A növény jól alkalmazkodik a különböző ökológiai viszonyokhoz, és olyan területeken is eredményesen termesztethető, ahol más szemes növények már nem adnak kielégítő hozamot. Ez az alkalmazkodóképesség, valamint a korszerű termesztéstechnológiai eljárások, mint a precíziós tápanyag-utánpótlás, a célzott növényvédelem és a drónos állományfelmérés tovább növelik a kukorica szerepét a fenntartható növénytermesztésben.

### **2.3. Kukorica gazdasági jelentősége Magyarországon**

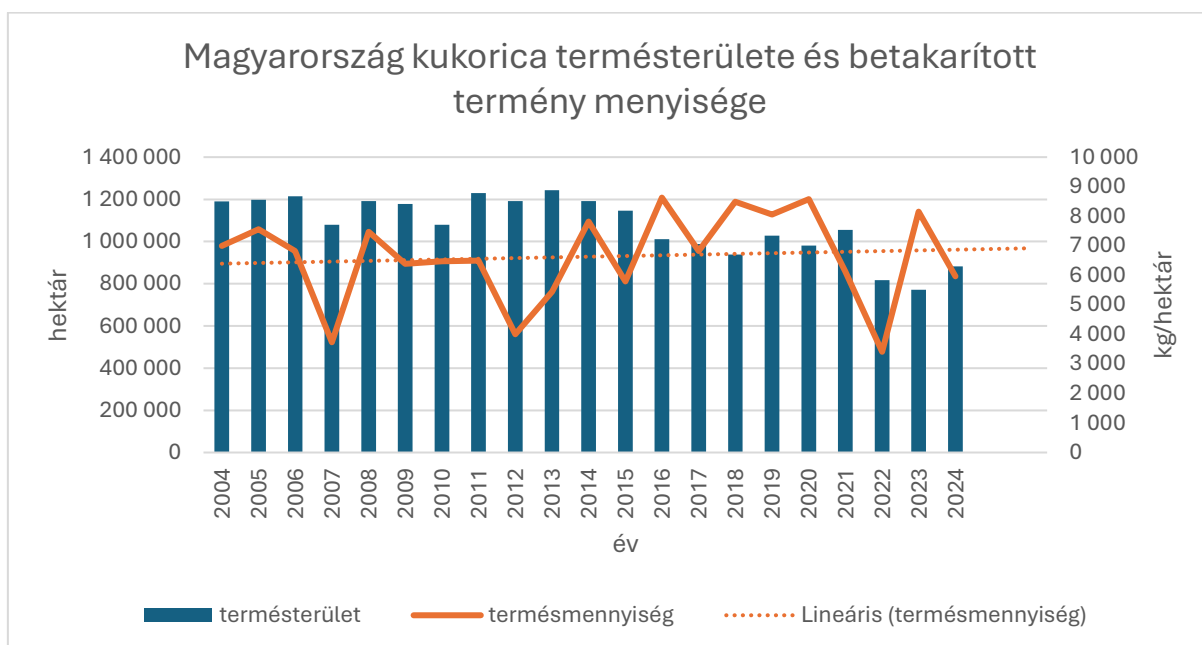
A kukorica Magyarország egyik legfontosabb szántóföldi növénye, melynek gazdasági jelentősége meghatározó a mezőgazdaságban. Az ország éghajlata és talajadottságai kedvezőek a kukorica termesztésére, így Magyarország a kukorica termesztése terén jelentős helyet foglal el Európában. A kukorica nemcsak az élelmiszeriparban, hanem az állattenyésztésben, az ipari feldolgozásban és az energiatermelésben is fontos szerepet játszik. Ezenfelül a

kukoricatermesztés közvetlen és közvetett hatásai a gazdaság más ágazataira, például a szállítmányozásra és az exportpiacokra is kiterjednek.

### 2.3.1. Termesztés és termésmennyiség

Magyarországon a kukorica a legnagyobb területen termesztett szántóföldi növény. Az ország éves kukoricatermése több millió tonnára rúg, és az éves termelési volumen jelentősen hozzájárul a mezőgazdasági GDP-hez. A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) adatai alapján a kukorica éves termőterülete 300–400 ezer hektár között ingadozik, azonban a becsült termésmennyiség évente 6-8 millió tonna között mozog (KSH, 2024).

A kukorica termelése Magyarországon a déli és középső országrészre összpontosul, ahol az optimális hőmérsékleti és csapadékszint biztosítja a növény megfelelő fejlődését. A Balaton-felvidék, valamint a Duna-Tisza köze és a Tiszántúl régiók a legnagyobb termelési központok (FAO, 2023).



1. diagram Magyarország kukorica termésterülete és betakarított termésmennyisége 2024, saját készítés

### 2.3.2. A kukorica gazdasági hatása

A kukoricatermesztés a magyar mezőgazdaság egyik alappillére, mivel a kukoricából készült termékek széles skálán szerepelnek a nemzetgazdaságban. A kukorica felhasználása három fő szektorban jelentős: élelmiszeripar, állattenyésztés és ipari feldolgozás.

Élelmiszeripar: Bár Magyarországon a kukorica legnagyobb része takarmányként kerül felhasználásra, az emberi fogyasztásra szánt termékek is jelentős szerepet kapnak. A kukoricából készült termékek, például kukoricadara, kukoricapehely és kukoricakemikáliák, alapvető összetevői a pékáru- és édességiparnak (Magyar Agrárkamara, 2023).

**Állattenyésztés:** Az állattenyésztésben a kukorica takarmányként való felhasználása rendkívül fontos. A tehén- és sertéstelepek, valamint a baromfitenyésztők jelentős része kukoricát használ az állatok takarmányozásában. A kukorica a magas kemikáliatartalma miatt kiváló energiaforrás, amely segíti a gyors növekedést és a magas hozamok elérését (KSH, 2024).

**Ipari feldolgozás:** A kukorica felhasználása az iparban szintén jelentős, különösen a bioüzemanyagok, az etanol előállítása terén. Az ipari feldolgozás során a kukoricát alapanyagként használják különféle termékek, például kukoricaszirup, kukoricakemikáliák, és a biogáz termelésére (FAO, 2023).

### **2.3.3. Az export és az import szerepe**

Magyarország kukoricatermesztése egyben exportorientált tevékenység is, mivel az ország rendszeresen exportálja a termelt kukoricát. Az Európai Unió piacain kívül más országok, például Oroszország, Törökország és számos közép-kelet-európai ország is jelentős vásárlók (Magyar Agrárkamara, 2023). Az exportált kukorica jellemzően takarmányként vagy ipari felhasználásra kerül, de a kukoricadara és egyéb feldolgozott termékek is jelentős szerepet kapnak az exportpiacon.

A kukorica importja Magyarországra az utóbbi években kisebb mértékben emelkedett, különösen a nem megfelelő minőségű, vagy a helyi termelési mennyiséghez képest alacsonyabb árú termékek révén (KSH, 2024).

A kukorica gazdasági előnyei és kihívásai

### **2.3.4. Előnyök**

**Piaci kereslet:** A kukorica iránti kereslet, különösen az exportpiacon, folyamatosan stabil, így a termesztés hosszú távú gazdasági fenntarthatóságot biztosít. A kukorica és annak feldolgozott termékei, mint az etanol és a takarmányok, folyamatos keresletet generálnak (FAO, 2023).

**Multifunkcionális felhasználás:** A kukorica nemcsak élelmiszerként és takarmányként, hanem ipari alapanyagként is széles körben használható. A biológiai alapú iparágak, mint a bioüzemanyagok termelése, szintén segítenek abban, hogy a kukorica kiemelt szereplővé váljon a fenntartható gazdaságban (Magyar Agrárkamara, 2023).

**Jövedelemforrás a vidéki területeken:** A kukoricatermesztés jelentős jövedelmet biztosít a vidéki közösségek számára, különösen a kis- és közepes gazdaságokban. Ezen túlmenően a kukorica feldolgozó iparágak, mint a takarmánygyártók és az etanol előállítók, munkahelyeket teremtenek a vidéki területeken (KSH, 2024).

### **2.3.5. Kihívások**

**Klímaváltozás hatása:** A kukorica érzékeny a szélsőséges időjárási viszonyokra, így a csapadékhiány, a szárazság és a hőmérsékleti ingadozások negatív hatással lehetnek a termésre. Az éghajlatváltozás hatásai különösen a Tiszántúlon, a legnagyobb kukoricatermelő régióban érezhetőek (FAO, 2023).

**Piaci volatilitás:** A nemzetközi piaci árak ingadozása és a kereskedelmi háborúk hatásai befolyásolhatják a magyar kukorica versenyképességét. Az árak volatilitása bizonytalanságot okozhat a gazdák számára, akik közvetlenül érzékelhetik a kereslet-kínálat változásait (Magyar Agrárkamara, 2023).

**Környezeti hatások:** A kukorica monokultúras termesztése hosszú távon káros hatással lehet a talaj minőségére, a biodiverzitás csökkenésére és a vízminőségre. Az intenzív műtrágyahasználat és a növényvédő szerek alkalmazása szintén környezeti kihívásokat jelenthetnek (KSH, 2024).

### **2.3.6. A kukorica jövője és fenntarthatósági kérdések**

A kukoricatermesztés jövője Magyarországon nagymértékben függ a fenntartható gazdálkodási gyakorlatok elterjedésétől. Az innovatív agrártechnológiák, mint az okos öntözési rendszerek, a precíziós mezőgazdaság és a klímatudatos termesztési módszerek, segíthetnek abban, hogy a kukorica gazdaságilag és környezetileg is fenntartható maradjon. Az EU-s agrártámogatások és a zöldgazdaságra való áttérés szintén hozzájárulhatnak a kukoricatermesztés hosszú távú sikeréhez (Magyar Agrárkamara, 2023).

## **2.4. Precíziós gazdálkodás jelentősége a kukorica termesztésben**

A precíziós gazdálkodás (angolul: Precision Agriculture, PA) napjaink egyik legdinamikusabban fejlődő mezőgazdasági technológiája, amely kiemelten fontos szerepet tölt be a kukorica termesztésének hatékonyságában és fenntarthatóságában. Alapelve, hogy az inputanyagokat - például műtrágyát, vetőmagot, növényvédő szereket - térben és időben differenciáltan, a helyi adottságokhoz igazodva juttatjuk ki, ezzel maximalizálva a termés hozamot, miközben minimalizáljuk a környezeti terhelést és a költségeket (Blackmore et al., 2003).

A kukorica esetében különösen indokolt a precíziós gazdálkodás alkalmazása, mivel a növény tápanyag- és vízigénye igen magas, és jelentős különbségek lehetnek a tábla egyes részeinek termőképességében. A talaj heterogenitása, a mikroklímatis viszonyok és a különböző stresszhatások (pl. aszály, kórokozók) eltérő módon befolyásolják a növény

fejlődését. A precíziós technológiák – például hozamtérképezés, talajmintavétel alapú zónázás, műholdas és drónos távérzékelés – lehetővé teszik ezen különbségek feltárását és kezelését (Gebbers & Adamchuk, 2010).

A GNSS-alapú gépvezérlés, az automata kormányzás és a változó dózisu kijuttatás (VRA: Variable Rate Application) révén a vetési sűrűség, a műtrágya kijuttatás és a növényvédelem is optimalizálható. Ezen módszerek alkalmazása kukorica esetén bizonyítottan növeli a terméshozamot és a jövedelmezőséget. Magyarországi kutatások alapján a precíziós technológiák használata akár 10–20%-os termésnövekedést, illetve 15–30%-os input-megtakarítást is eredményezhet (Tóth et al., 2019).

A dróntechnológia szerepe is egyre jelentősebb, hiszen a multispektrális felvételek segítségével pontos képet kaphatunk az állomány állapotáról, a gyom- és kórokozófertőzöttségi szintről, valamint a vízhiányról. Ezek az információk döntéstámogatási rendszerekbe integrálva gyors és pontos beavatkozásokat tesznek lehetővé (Zhang & Kovacs, 2012).

Összefoglalva, a precíziós gazdálkodás nem csupán technológiai újítás, hanem egy komplex gazdálkodási szemlélet, amely a fenntarthatóságot, a környezet védelmét és a gazdaságosságot egyaránt szolgálja. A kukorica, mint stratégiai fontosságú szántóföldi növény esetében, alkalmazása különösen nagy potenciált rejt a magyar mezőgazdaság versenyképességének növelésében.

## **2.5. Pilóta nélküli légi járművek felhasználása a mezőgazdaságban**

Az informatika és a robotika fejlődése az agrárszektorban is jelentős változásokat hozott. A digitális technológiák, köztük a pilóta nélküli légi járművek (Unmanned Aerial Vehicles, UAV-k), lehetővé teszik a gazdálkodási tevékenységek pontosabb, gyorsabb és hatékonyabb végrehajtását. A drónok alkalmazása különösen a precíziós mezőgazdaság területén vált elengedhetlenné, ahol kulcsfontosságú az adatalapú döntéshozatal.

### **2.5.1. Távérzékelés és vegetációmonitorozás**

A drónokkal végzett távérzékelés egyik legelterjedtebb célja a növényállapot monitorozása. A multispektrális és hiperspektrális kamerák segítségével készített felvételek révén különböző vegetációs indexek, például NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), GNDVI (Green NDVI), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) - számíthatók, amelyek információt nyújtanak a növények fotoszintetikus aktivitásáról, vízhiányos állapotáról vagy betegségről (Hunt et al., 2010; Bendig et al., 2015). Ezek segítik a gazdálkodókat a célzott beavatkozások tervezésében,

így csökkentve a költségeket, óvjuk a környezetet a felesleges kemikáliáktól és a felesleges anyag használatától.

### **2.5.2. Térképezés és adatgyűjtés**

A drónok fotogrammetriai alkalmazása lehetővé teszi nagyfelbontású ortofotók és digitális domborzatmodellek készítését, amelyeket különféle mezőgazdasági célokra, például területhasználat-elemzésre, talajlefolyás modellezésére, öntözőrendszerek tervezésére használhatnak (Colomina & Molina, 2014). A DJI RTK-modullal ellátott eszközei például centiméteres pontosságú adatokat szolgáltatnak, amely nagyban javítja a precíziós műveletek megbízhatóságát.

### **2.5.3. Permetezés és növényvédelem**

Az UAV-k egyik gyakorlati alkalmazási területe a permetezés. A permetező drónok, például a DJI Agras sorozat, lehetővé teszik a növényvédő szerek célzott kijuttatását, ami különösen fontos a kis parcellás, nehezen hozzáférhető vagy változatos domborzatú területeken. A tanulmányok szerint a drónnal történő permetezés során akár 30–50%-kal is csökkenthető a kijuttatott vegyszer mennyisége a hagyományos módszerekhez képest (Zhang et al., 2018). Emellett a munkavégzés idő- és munkaerőigénye is jelentősen csökken.

### **2.5.4. Termésbecslés és hozamelőrejelzés**

A drónos távérzékelési adatok időbeli sorozatai lehetővé teszik a növények fejlődésének nyomon követését, valamint a hozam előrejelzését. A különböző időpontokban rögzített NDVI értékek például korrelálnak a várható hozammal, így a termésbecslés már a szezon közepén is viszonylag nagy pontossággal elvégezhető (Madec et al., 2017). Az így nyert információk alapján a gazdák előre tervezhetik az értékesítést, logisztikát és tárolási kapacitásokat.

### **2.5.5. Jövőbeli irányok és automatizálás**

A mesterséges intelligenciával és gépi tanulással kombinált UAV rendszerek egyre nagyobb szerepet kapnak a növénybetegségek automatikus felismerésében, a gyomfelismerésben és az automatikus térképezésben (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). A képfeldolgozási algoritmusok fejlődésének köszönhetően a rendszer egyre pontosabban képes azonosítani a kóros állapotokat és megkülönböztetni azokat a természetes növekedési mintáktól.

### **2.5.6. A vegetációs indexek használata és jelentősége a mezőgazdaságban**

A vegetációs indexek segítenek a következő területeken:

- **Növényzet állapotának felmérése:** A különböző vegetációs indexek a növények zöld részének kondícióját mérik, és segítségével gyorsan megállapítható, hogy egy adott területen szükség van-e öntözésre, tápanyag-utánpótlásra vagy más beavatkozásra (Sishodia et al., 2020).

- **Különböző növényi stresszfaktorok azonosítása:** A vegetációs indexek alkalmazásával megfigyelhetjük a növények választ különböző környezeti stresszhelyzetekre, mint például aszály, kártevők támadása, vagy tápanyaghiány (Rouse, Haas, & Schell, 1973).
- **Terméselőrejelzés:** A növényzet egészségi állapotának nyomon követésével előrejelezhető a termés mennyisége és minősége, ami segíti a gazdálkodókat a gazdaságos döntéshozatalban (Zhang & Jia, 2018).
- **Erőforrás-gazdálkodás:** Az indexek lehetővé teszik a gazdák számára, hogy pontosan meghatározzák, mely területek igényelnek öntözést vagy műtrágyát, ezzel csökkentve a költségeket és minimalizálva a környezeti hatásokat (Xiao et al., 2019).

## 2.6. Az általam alkalmazott vegetációs indexek

A vegetációs indexek olyan számított mutatók, amelyek különböző spektrális sávok (elsősorban vörös, zöld, közeli infravörös és redEdge) reflektanciáját kombinálják annak érdekében, hogy jellemezzék a növényzet állapotát, vitalitását és fotoszintetikus aktivitását. A drónos multispektrális felmérések során ezek az indexek kiemelten hasznosak a kukoricaállomány heterogenitásának, stresszállapotának, tápanyag-ellátottságának és fejlődési különbségeinek feltérképezésére (Mulla, 2013).

### 2.6.1. NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Képlet:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Az NDVI a legismertebb vegetációs index, amelyet Rouse és munkatársai (1973) dolgoztak ki. A képlet a közeli infravörös (NIR) és a vörös (Red) sáv reflektanciájának különbségét és összegét viszonyítja egymáshoz, értéke  $-1$  és  $+1$  között mozog. Az alacsony vagy negatív értékek nem vegetált felszínt, míg a  $0,6$  feletti értékek sűrű, egészséges növényzetet jeleznek.

Drónos alkalmazhatóság:

A kukorica korai vegetatív szakaszában az NDVI jól mutatja a növényborítottságot és a zöld biomassza térbeli eloszlását. Drónos felvételek segítségével a fejlődési különbségek és a tápanyaghiányos foltok pontosan feltérképezhetők, ezáltal támogatva a precíziós tápanyag-kijuttatást (Mulla, 2013).

### 2.6.2. GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*)

Képlet:

$$GNDVI = (NIR - Green) / (NIR + Green)$$

A GNDVI az NDVI módosított változata, ahol a vörös sáv helyett a zöld sáv (Green) kerül felhasználásra (Gitelson et al., 1996). Ez a módosítás érzékenyebbé teszi az indexet a klorofill-koncentrációra, mivel a zöld sávban a levél klorofill-abszorpció még jelentős. A GNDVI különösen alkalmas a növények tápanyag-ellátottságának és stresszállapotának megfigyelésére, mivel a klorofill közvetlenül összefügg a nitrogén-tartalommal (Serrano et al., 2000).

Drónos alkalmazhatóság:

A GNDVI a kukorica középső és késői vegetációs fázisaiban előnyös, amikor az NDVI már telítődik. Drónos felvételek alapján pontosabb nitrogén-hiányos foltok azonosíthatók, ami támogatja a precíziós trágyázási döntéseket és a stresszterületek időbeni felismerését (Candiago et al., 2015).

### 2.6.3. *LCI (Leaf Chlorophyll Index)*

Képlet:

$$LCI = (NIR - RedEdge) / (NIR + Red)$$

Az LCI a levél klorofill-tartalmának meghatározására alkalmas index, amely a közeli infravörös (NIR), a vörös (Red) és a vörös él (RedEdge) sávokat használja (Datt, 1999). Az index érzékeny a klorofill-tartalom változásaira, mivel a RedEdge régióban a reflektancia meredeken növekszik a klorofill abszorpció hatására.

Értelmezés és alkalmazás:

Magas LCI érték a levél magas klorofill-tartalmát és egészséges állapotát jelzi, míg az alacsony érték klorofill-hiányra, stresszre vagy tápanyag-problémára utal (Li et al., 2014).

Drónos alkalmazhatóság:

A kukoricában az LCI pontosabban mutatja a levélklorofill-koncentráció térbeli eloszlását, mint az NDVI, így jól használható a nitrogén-ellátottság monitorozására. Drónos felmérés esetén különösen a vegetációs csúcsidőszakban ad megbízható információt, amikor a növényborítás már zárt (Li et al., 2014).

### 2.6.4. *MCARI (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index)*

Képlet:

$$MCARI = ((R700 - R670) - 0.2 \times (R700 - R550)) \times (R700 / R670)$$

Az MCARI indexet Daughtry és munkatársai (2000) fejlesztették ki azzal a céllal, hogy a klorofill abszorpciót jobban kiemelje, miközben csökkenti a talajhátter és a levélstruktúra torzító hatását. Az index a vörös és zöld hullámhosszak különbségéből számítva érzékenyen reagál a klorofill-koncentráció változásaira.

Értelmezés és alkalmazás:

A magas MCARI érték a növény magas klorofill-szintjére és egészséges fotoszintetikus aktivitására utal, míg az alacsony érték stresszre vagy tápanyag-hiányra (Haboudane et al., 2004).

Drónos alkalmazhatóság:

A sűrű, jól fejlett kukoricaállományon belül az MCARI pontosabban különbözteti meg a klorofill-szint változásait, mint az egyszerű differencia-indexek, ezért hatékony a vegetációs csúcspont idején végzett megfigyeléseknél (Haboudane et al., 2004).

#### **2.6.5. NDRE (Normalized Difference Red Edge Index)**

Képlet:

$$NDRE = (NIR - RedEdge) / (NIR + RedEdge)$$

Az NDRE az NDVI-hez hasonló normalizált különbség-index, azonban a vörös sáv helyett a Red Edge sávot használja, amely a 700–740 nm tartományban helyezkedik el (Barnes et al., 2000). Ez a sáv érzékenyebb a klorofill-koncentráció változásaira, különösen nagy levélborítás esetén.

Értelmezés és alkalmazás:

A magas NDRE érték egészséges, klorofillban gazdag növényzetet jelez, míg az alacsony érték a pigment-tartalom csökkenését, azaz stresszt vagy tápanyaghiányt tükröz (Eitel et al., 2007).

Drónos alkalmazhatóság:

Az NDRE különösen hasznos a kukorica középső és késői fejlődési szakaszaiban, amikor a RedEdge sáv segítségével még érzékenyen kimutathatók a klorofill-tartalom különbségek. A drónos NDRE-térképek nagy pontosságot biztosítanak a nitrogén-menedzsmentben és a zónázott tápanyag-utánpótlásban (Hunt et al., 2013).

#### **2.6.6. SIPI2 (Structure Insensitive Pigment Index 2)**

Képlet:

$$SIPI2 = (NIR - Blue) / (NIR - Red)$$

A SIPI2 a pigmentarányokat jellemző mutató, amely a növény klorofill- és karotinoid-tartalmának viszonyát fejezi ki (Penuelas et al., 1995). Az index célja, hogy a növény szerkezeti (strukturális) jellemzőinek hatását kiküszöbölve a pigmentösszetétel változását tükrözze.

Értelmezés és alkalmazás:

Magas SIPI2 érték a karotinoid pigmentek arányának növekedését jelzi, ami gyakran stressz- vagy öregedési folyamatokra utal. Alacsony érték esetén a növény klorofill-tartalma domináns, ami egészséges, aktív fotoszintézist feltételez (Blackburn, 1998).

Drónos alkalmazhatóság:

A SIPI2 jól alkalmazható a kukorica élettani stresszének, például hő- vagy vízhiánynak a kimutatására. A pigmentarány-változásokat korán jelzi, mielőtt a látható sárgulás megjelenne, így alkalmas a precíziós növényvédelem korai beavatkozásainak támogatására (Liebisch et al., 2015).

## **2.7. Multispektrális drónfelvételek feldolgozására alkalmas szoftverek**

A multispektrális drónfelvételek feldolgozására számos szoftver áll rendelkezésre, amelyek célja a nyers képi információk térinformatikai adatokká, például ortomozaikká, digitális felszínmodellé (DSM), vegetációs index-térképekké vagy pontfelhővé alakítása. Ezek a szoftverek kulcsszerepet játszanak a precíziós mezőgazdaságban, a környezetmonitorozásban és a távérzékelési kutatásokban (Colomina & Molina, 2014).

### **2.7.1. Kiskereskedelmi szoftverek**

A legszélesebb körben alkalmazott kereskedelmi szoftverek közé tartozik a Pix4D szoftvercsalád, amelyet az École Polytechnique Fédérale de Lausanne kutatócsoportja alapított 2011-ben. A Pix4D Suite több komponensből áll, amelyek különböző alkalmazási területekre specializálódtak (Pix4D).

Pix4Dfields, kifejezetten a mezőgazdasági felhasználásra fejlesztették. A szoftver valós idejű térképkészítést és vegetációs indexek (pl. NDVI, NDRE, GNDVI) előállítását teszi lehetővé. Támogatja a zónatérképek létrehozását, a kísérleti parcellák elemzését, valamint a különféle statisztikai exportokat (Pix4D), ez különösen fontos a precíziós gazdálkodásban, ahol a differenciált tápanyag- és növényvédelmi kezelések alapját adják.

### **2.7.2. Nyílt forráskódú alternatívák**

A kereskedelmi szoftverek mellett több nyílt forráskódú megoldás is elérhető. Az egyik legismertebb az OpenDroneMap (ODM), amely egy közösségi fejlesztésű fotogrammetriai eszköztár. Az ODM képes ortomozaikok és 3D modellek előállítására, és bár nem kifejezetten multispektrális feldolgozásra lett optimalizálva, megfelelő formátumú adat esetén alkalmas lehet e feladatra is (OpenDroneMap, 2022).

### 3. Anyag és módszer

A kísérletemben Szabotin Péter egyik kukoricatábláját vizsgáltam, amely Kocsola határában, „Árokpart” elnevezéssel található. A terület 10,577 hektár nagyságú, a 0122/1 és 0122/2 helyrajzi számokon szerepel, szántó művelési ágban, 4-5 minőségi osztályba sorolva. A tábla AKG-s füves szegélyt is tartalmaz, teljes területe 112.857 m<sup>2</sup>, amelyből 105.777 m<sup>2</sup> a ténylegesen növénytermesztésre használt rész. A táblát P9610 hibrid kukoricával vetették be, 69.000 mag/ha vetőmagnormával. Ez a hibrid FAO 340 éréscsoportba tartozik, középkorai tenyészidejű, jól alkalmazkodó, magas terméspotenciájú fajta.

A tábla enyhén északkelet felé lejt, ahol egy erdősáv található, míg az északnyugati oldalon földesút határolja a területet. Ezek a környezeti elemek a talajnedvesség eloszlását, a tápanyag-kimosódást és a mikroklimatikus viszonyokat egyaránt befolyásolják, ami a későbbi vegetációs indexek értékeiben is jól látható lesz. A tábla tájolása az 1. képen is látható, ahol az északi irány a kép jobb felső részén helyezkedik el, így jól kivehető az erdősáv és a földesút elhelyezkedése.



1. kép A felmért szántóterület és a határvonalai; saját kép

Azért ezt a drónos felmérési módszert alkalmaztam, mert egy ekkora méretű kultúra már hagyományos terepi megfigyeléssel nem áttekinthető megfelelően. A drónos adatgyűjtés számos előnnyel jár. Gyorsan és hatékonyan lehet vele nagy területeket feltérképezni, miközben az emberi szem számára láthatatlan spektrumokat is rögzíti. A korszerű multispektrális szenzorok és LIDAR rendszerek segítségével növényegészségügyi, topográfiai és szerkezeti

vizsgálatok is végezhető. A drón centiméter-pontosságú GPS/RTK rendszerrel dolgozik, így a térképezés és modellezés nagy pontossággal történik.

A módszer kevesebb emberi erőforrást igényel, csökkenti a terepi munkavégzés költségeit, és gyorsabb adatfeldolgozást tesz lehetővé. Olyan helyeken is alkalmazható, ahol a hagyományos földi felmérés nehézkes, például lejtős területeken, mint jelen esetben is, vagy mocsaras, nehezen megközelíthető területeken. A gyűjtött adatok könnyen feldolgozhatók GIS (földrajzi információs rendszerek) segítségével, amelyek alkalmasak 3D modellezésre, digitális domborzatmodellek és térképezési alkalmazások készítésére is.

Ennek köszönhetően a drónos felmérés pontos és részletes elemzéseket tesz lehetővé, amelyek jól kiegészítik a hagyományos agronómiai megfigyeléseket, és segítenek a növényállomány fejlődésének, állapotának és heterogenitásának felismerésében.

### ***3.1.A légi jármű adatai és leírása***

A vizsgálatom egy DJI Mavic 3M drónnal végeztem. (2. kép) Ez a drón multispektrális kamerával rendelkezik, amely RTK modullal is fel van szerelve, vagyis repülés közben centiméter pontos helyadatok is a rendelkezésre állnak. Az RGB kamera 20 megapixel, 4/3 hüvelykes CMOS érzékelővel, mechanikus zársebességgel 1/2000 másodpercig. Négy darab 5 megapixeles multispektrális kamerája van. A zöld sávot (G) 560 nm ± 16 nm hullámhosszon, a vöröset (R) 650 nm ± 16 nm hullámhosszon, a Red Edge sávot (RE): 730 nm ± 16 nm és a közeli infravöröset (NIR): 860 nm ± 26 nm. Ezen a drónon sajnos nem található kék sáv, de az indexeknél a számítása az RGB képekből megoldható.



*2. kép DJI Mavic 3M típusú drón*

### ***3.2.Hogyan és mikor kell a vizsgálatot végezni?***

A napszak és időpont választása fontos. Az optimális idő reggel vagy késő délután van, mert az árnyékok kisebbek és a fény ilyenkor homogénebb. Ha délben kerülne sor a felmérésre, akkor az árnyékok nagyobbak, a fény pedig túl erős lenne, ami befolyásolhatja a multispektrális

kamerák precízségét. Természetesen a felhők is zavaró tényezőt játszanak az árnyékolásuk miatt.

### ***3.3.Repülési magasság és sebesség megválasztása.***

A Ground Sampling Distance (GSD) azt az elméleti távolságot jelenti, amely a drón által rögzített képek pixeljei között a földön található területet jelöli. Ez az egyik legfontosabb tényező a drónos térképezésben, mivel meghatározza a képek részletességét. Minél kisebb a GSD érték, annál nagyobb a felbontás és a részletesség a képen.

A GSD kiszámításának képlete a következő:

$$GSD=(H \cdot S) / (F \cdot R)$$

Ahol:

**H:** A repülési magasság a talajtól (m)

**S:** A szenzor (kamera) sávszélessége (azaz a pixel mérete a szenzoron, m/pixel)

**F:** A kamera fókusztávolsága (mm)

**R:** A kamera felbontása (a kép szélessége pixelekből)

A repülési sebesség ne legyen túl nagy (2-6 m/s között), hogy a kamera és érzékelők kellőképpen rögzítsék a képeket minden területen.

### ***3.4.Repülés iránya és átfedés***

A drónnak általában 70-80%-os átfedést kell biztosítania a képek között, hogy a képek tökéletesen illeszkedjenek egymáshoz a térképezés és elemzés során. A legjobb, ha párhuzamosan van repülve a kukorica sorokkal, hogy a képek a lehető legpontosabban tükrözzék a földrajzi jellemzőket.

### ***3.5.Repülés kivitelezése***

A drónos felmérést a fent bemutatott multispektrális kamerával felszerelt drónnal végeztem a már korábban bemutatott kukoricatáblán. A mérések minden alkalommal ugyanazon a területen, egymást követő hónapokban, egy nap alatt történtek. A repülés előkészítése a drón pontos összeszerelésével és a rendszer ellenőrzésével és beállításával kezdődött: a forgószárnyak rögzítése, majd az akkumulátor behelyezése, valamint a távirányító és a mobilalkalmazás (DJI Pilot 2) csatlakoztatása. A felszállás előtt beállítottam az Real-Time Kinematic (RTK=valós idejű kinematikus helymeghatározás) rendszert a pontos helymeghatározás érdekében, ami a repülések közötti térbeli pontosság biztosításához elengedhetetlen volt. A repülési tervet előre elkészítettük, megadva a repülési magasságot, sebességet, átfedéseket és a terepi felbontást. A repüléseket a környezeti feltételekhez, például szélirányhoz és napszakhoz igazítottam, hogy az árnyékhatásokat minimalizáljam. A teljes

felméréshez egy akkumulátor nem bizonyult elegendőnek, így a repülés közben cserére volt szükség. A munkát a drón automatikus útvonalrepülése, majd a biztonságos visszatérés és az adatok letöltése zárta.



3. kép Repülés előtt készült kép a drónról és a távirányítójáról, amelyen látható a DJI Pilot 2 alkalmazás és a drón előre meghatározott útvonala; saját kép

A saját beállításaimat is ezek alapján végeztem.

	2024.05.28.	2024.06.24.	2024.07.26.	2024.08.06.
Átfedés [Első %-Oldalsó %]	78%-72%	78%-72%	78%-72%	78%-72%
GSD [cm/pix]	2.00	2.05	3.05	3.05
Repülési sebesség[m/s]	4	4	4	4
Repülési magasság[m]	43.4	44.5	66.2	66.2
Vegetáció magasság[cm]	40-60	150-170	170-200	170-200

1. táblázat A drón beállítási

Mivel az állomány növekedett, így a magasságon is lehetett növelni, mivel már nem volt szükség akkora felbontásra, mint az alacsonyabb kultúrában.



4-5. kép A 2024.06.24.-ei repülés beállításai a drón távirányítóján a DJI Pilot 2 alkalmazásban; saját képek

### **3.6. Mérés feldolgozása és vegetációs indexek megválasztása**

A feldolgozását az adatoknak Péter kollegája, Németh Gergő segített feldolgozni. Amit használt erre a célra az a Pix4DFields nevezetű fotogrammetriai feldolgozó szoftver. Az adatokat időrendi sorrendben dolgozta fel, majd azt követően lett kiértékelve általam.

A drónfelvételek feldolgozását a Pix4DFields szoftverben végeztük, ami kifejezetten mezőgazdasági célra készült, gyors és pontos adatfeldolgozásra fejlesztett szoftver. Az első lépés a repülés során készített multispektrális képek importálásával kezdődött. A felvételeket a DJI Mavic 3M drón memóriakártyájáról másoltuk a számítógépre, majd betöltöttük a Pix4DFields egy új projektjébe. A program automatikusan felismerte a drón típusát és a hozzá tartozó multispektrális szenzor paramétereit, így a feldolgozás előkészítése gyors és hatékony volt.

A képek betöltése után a feldolgozást a szoftverben elérhető „Quick Processing” (gyors feldolgozás) móddal indítottuk el. (1,2.-es melléklet) Ez a funkció rövid idő alatt elkészítette az ortomozaiikat és a digitális felszínmodell (DSM), és megőrizte az adatok térbeli pontosságát. Az így létrejött ortomozaiik a teljes felmért területet lefedő, georeferált és nagyfelbontású térképet eredményezett, amely a további elemzéseknek az alapját képezte.

A feldolgozás befejeztével az ortomozaiikat egy előre meghatározott határvonal mentén vágtuk le, amelyhez a tábla gazda egy előre kész shape fájlt bocsájtott a rendelkezésemre, mivel neki az AKG programban való részvétele miatt szüksége volt rá. Ezért ez a határvonal nemcsak a tényleges szántóterületet, hanem az AKG-előírás szerinti 6 méteres füves szegélyt is tartalmazta. Minden feldolgozás egységes területi lefedettséggel készült. (3,4,5,6,7-es

melléklet) A határvonal minden méréshez azonos volt, ezzel biztosítva az összehasonlítás pontosságát és megbízhatóságát.

A levágott multispektrális ortomozaikon ezt követően létrehoztuk a vegetációs indexeket (NDVI, GNDVI, LCI, MCARI, NDRE, SIPI2), amelyek segítségével a növényzet állapotát, zöldtömegét és klorofilltartalmát képileg és számszerűen is értékelni tudtuk. (8,9,10,11-es melléklet) A megjelenítéshez a szoftver saját „Turbo” színezési módját alkalmaztuk, mivel ez a kontrasztos színátmenetével jól kiemelte a növényállomány fejlettségében és egészségügyi állapotában mutatkozó különbségeket, így a képek értelmezése sokkal egyértelműbbé vált. (12-es melléklet)

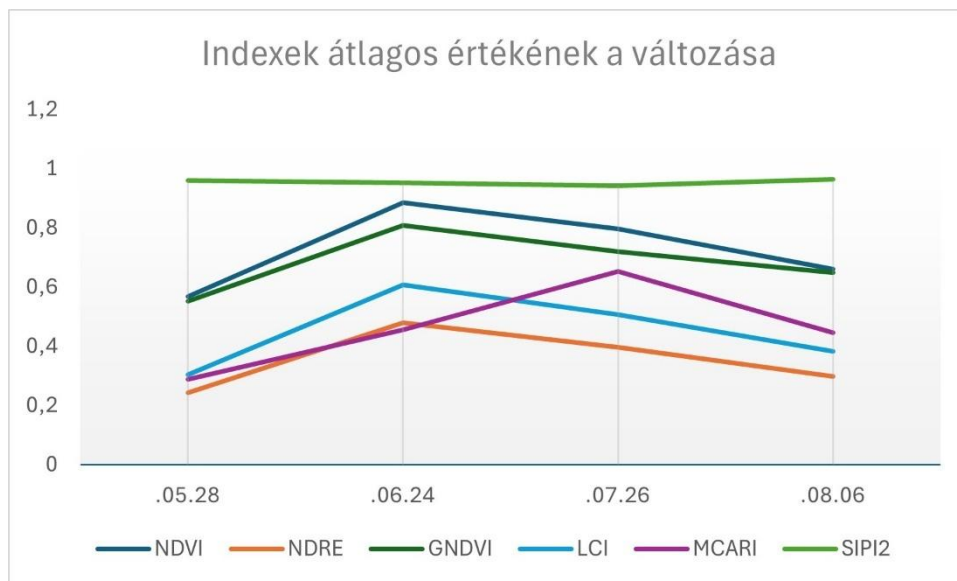
A feldolgozási folyamat végén az elkészült eredményeket képfájlként exportáltuk, hogy más szoftverekben is felhasználhatók legyenek, valamint PDF formátumban is mentettük, így a térképi megjelenítések könnyen beilleszthetők lettek a dolgozatba.

### ***3.7. Kiegészítő terméskiesés számítás***

A Pix4DFields-ben lehetőség nyílik a kiesett területek számolására is, amit én is ki szerettem volna próbálni. A 2024.06.24.-ei repülés során készült ortomozaik segítségével számoltuk, amelynek a határvonalait levágtuk az indexek feldolgozásánál használt shape fájl segítségével (37. melléklet). Majd ezt követően a négyzetrács hálót sorirányba állítottuk és 1,5m x1,5m-es cella nagyságot állítottunk, ami biztosította a részletes lefedést (38. melléklet). Ezt követően munkanevet állítottunk (39. melléklet), és ezt követte a szoftverben található mesterséges intelligencia feltanítása. Itt megmutattuk neki kijelöléssel, hogy melyek azok a cellák amelyek kellenek a számításhoz és melyek azok, amik nem kellenek és az egészséges állományt fedik le (40. melléklet). Próbáltuk egy séma és logika alapján kiválogatni a szükséges részeket, ahol a kiesés mutatkozott. Amikor a feltanítással kész lettünk és leellenőriztük, hogy nagyjából helyes a kijelölés (41. melléklet), utána a határvonal mentén a túleső részeket levágtuk, hogy mutasson valótlan eredményt (42. melléklet). Ezután kiválasztottuk a terület alapú számítást (43. melléklet), majd a szoftver automatikusan kiszámolta nekünk a kiesett terület nagyságát (44. melléklet), ezt követően mentettem a kiértékelést pdf fájlba (45.melléklet).

## 4. Eredmények

### 4.1. Adatok rövid áttekintése



2. diagram Az indexek átlagos értékének változása, saját szerkesztés

Szórásokból számolt relatív heterogenitás ( $CV = SD/\text{átlag}$ ): mind az NDVI, NDRE, GNDVI, LCI és MCARI esetében júniusban a legkisebb (0,10–0,38 körül), azaz a záródás idején a leghomogénebb az állomány. A CV júliusban–augusztusban ismét nő, ami az érés kori állománybéli különbségek megjelenését tükrözi. A SIPI2 végig nagyon alacsony CV-t mutat (0,02–0,06), vagyis a pigmentarány (karotinoid/klorofill) az egész táblán viszonylag egységes.

### 4.2. Időpontenkénti, fenológiával összekapcsolt értékelés

#### 4.2.1. 2024. május 28. – 6–10 leveles állapot (V6–V10)

A 2024. május 28-án végzett drónos repülés idején kukorica állománya a 6–10 leveles (V6–V10) fejlődési fázisban volt. A növények magassága ekkor átlagosan 30–50 cm között mozgott, és a sorok között még jól látszott a talajfelszín. Ez a szakasz a gyors vegetatív növekedés kezdete volt, amikor a zöldtömeg és a levélfelület rohamosan növekedni kezdett.



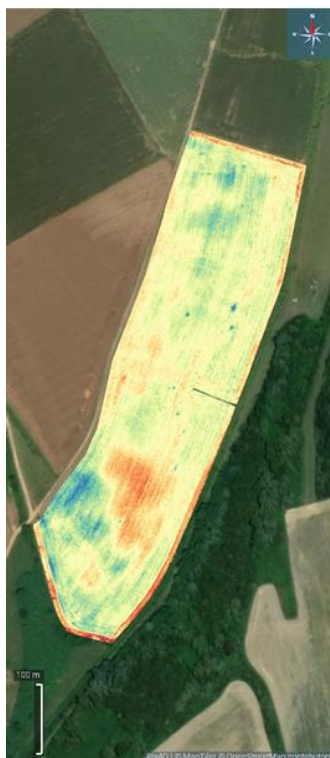
6. kép A kukorica állapota 2024.05.28-as repülés alatt; saját kép

Az NDVI (0,567) és GNDVI (0,552) értékek közepes vegetációs aktivitást jeleztek, ami ebben az állapotban teljesen reális. A klorofilltartalomhoz kötődő indexek (LCI = 0,304; MCARI = 0,288) még viszonylag alacsonyabbak voltak, tehát a levéltömeg és a pigmentek mennyisége ekkor még emelkedő félben volt. A SIPI2 (0,959) magas értéke viszont egyértelműen egészséges, stresszmentes állományt mutatott.

A hatodik index, az NDRE (0,240) hasznosnak bizonyult a korai időszakban. Mivel ez a Red Edge tartományban működik, így kifejezetten érzékeny a levél klorofilltartalmára. A május végi értékek a 0,2–0,25 közötti tartományban mozogtak, ami a korai vegetatív fázisra jellemző mérsékelt klorofill-felhalmozódásnak felelt meg. A térképen szépen kirajzolódott a klorofilleloszlás mintázata, főként a lejtő alsó és felső részei között.

A terület enyhén északkelet felé lejt, az alsó oldalt egy erdősáv határolja, amerre a csapadékvíz is természetes módon lefolyik. Már ebben a korai szakaszban is látszott, hogy a lejtés hatással van a vegetációra. Az erdősáv felőli alsó zónákban a víz megült, ezért az NDVI (0,58–0,60) és NDRE (~0,25) értékek kissé magasabbak voltak, a növények zöldebbek, sűrűbbek lettek. Ezzel szemben a felső, délnyugati–nyugati térszíneken a gyorsabb vízlefolyás miatt alacsonyabb indexértékek (NDVI <0,55; NDRE ≈ 0,22) jelentek meg, ami korai víz- és tápanyaghiányra utalhatott.

Az északnyugati földút mentén a növényzet fejlődése kissé visszafogott volt. A taposás, tömörödés és itt rontotta a talaj vízbefogadó képességét, ezen felül a növény légcseré nyílásainak eltömődése miatt az NDVI (0,50–0,54) és NDRE (<0,23) alacsonyabb értékeket mutattak.



1. index kép 2025.05.28.-ai NDRE index; saját feldolgozásból

Vetéstől a repülésig összesen 84 mm csapadék hullott, ami önmagában elegendő vízellátást biztosított, de a lejtés miatt a víz nem oszlott el egyenletesen. A felső részek gyorsabban kiszáradtak, míg az alsó sávban átmenetileg vízfelhalmozódás is előfordulhatott. Ez a mintázat a heterogenitási mutatókban is megjelent: NDVI CV  $\approx$  0,33; NDRE CV  $\approx$  0,30, tehát a tábla ekkor még kifejezetten változatos képet mutatott. (13,14,15,16,17,18-as mellékletek)

#### 4.2.2. 2024. június 24. – Címerhányás (VT)

A június 24-i felmérés idejére a kukoricaállomány teljesen összezárult, és elérte a címerhányás (VT) fenológiai állapotát. A növények már 150–170 cm magasak voltak, és ekkor mutatták a legszebb, legintenzívebb zöld színüket. A sorok között már nem lehetett látni a talajt, ami jól jelzi, hogy a növények a maximális levélfelületet ekkorra érték el.



7. kép A kukorica állapota a 2024.06.24.-ei repülés alkalmával; saját kép

Az NDVI (0,885) és GNDVI (0,807) itt érte el a legmagasabb értéket, ami teljesen jól tükrözi a zárt állományt és a legintenzívebben fotoszintetizáló időszakot. A levél klorofill-index (LCI = 0,606) is itt tetőzött, ami azt mutatja, hogy a levelekben ekkor volt a legtöbb klorofill és a legintenzívebb pigmenttermelés. Az MCARI (0,456) közepesen magas értéket mutatott, ami arra utal, hogy a fotoszintetikus aktivitás stabilizálódni kezdett. A SIPI2 (0,951) továbbra is magas maradt, ami egészséges pigmentarányt jelzett, így a növények is egészségesek voltak.

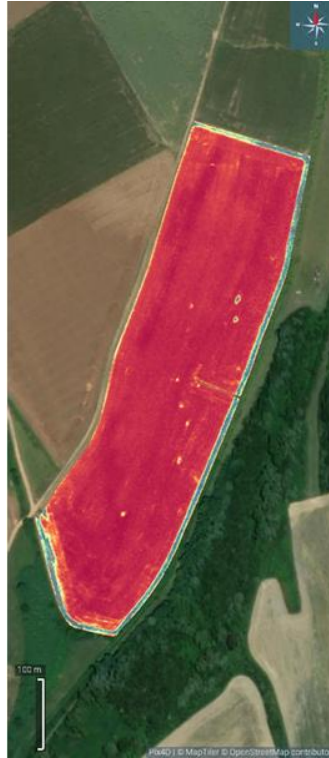
Az NDRE (0,477) értéke is kimagasló volt. Ez a mutató különösen jól jelzi a klorofill-koncentrációt és a nitrogén ellátottságot, így egyfajta „finomabb” visszajelzést adott arról, hogy a növények valóban optimális állapotban voltak. A térképen látható volt néhány kisebb eltérés főleg a lejtés miatt, de ezek jóval kevésbé voltak feltűnőek, mint május végén.

Az alsó (az erdősáv irányába eső) részeken még ekkor is kicsit magasabb indexek jelentek meg (NDVI 0,90 felett, NDRE 0,49–0,50), ami a jobb vízmegtartásból és a kedvezőbb tápanyag-felvételből eredt. A felső, délnyugati-nyugati, szárazabb területrészeken kissé gyengébb vegetációt mértünk (NDVI  $\approx$  0,86; NDRE  $\approx$  0,46). Az északnyugati földút mentén továbbra is alacsonyabb értékek rajzolódtak ki, ami azt mutatta, hogy a talajtömörödés hatása nem múlik el egyik napról a másikra, még egy kedvező csapadékos időszak után sem.

A májusi repüléstől a júniusig lehullott 44 mm csapadék egyenletes vízellátást biztosított a növényeknek. Ez hozzájárult ahhoz, hogy a vegetációs és generatív átmenet (VT) zökkenőmentesen zajlott le. Az erdősáv alatti területen a növények picit sötétebb árnyalatúak lettek, ami arra utalhat, hogy ott a talaj nedvessége és a nitrogén-felvétel is kedvezőbb volt. A

felső részek viszont egy kicsivel gyorsabban száradtak, bár ekkor még stresszre utaló éles jelek nem jelentek meg.

A heterogenitás a júniusi felvételen volt a legalacsonyabb: az NDVI CV  $\approx 0,10$ , a GNDVI CV  $\approx 0,097$ , az NDRE pedig  $\sim 0,09$  volt. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a tábla ekkor mutatta a legkiegyenlítettebb képet, a növények olyan tempóban fejlődtek. (19,20,21,22,23,24-es mellékletek)



2. index kép A 2024.06.24.-ei NDVI index; saját feldolgozásból

#### **4.2.3. 2024. július 26. – Virágzás vége, szemképződés (R1–R2)**

A július 26-i felmérés idejére a kukorica a virágzás végén járt, és megkezdődött a szemképződés (R1–R2). A növények felső levelei továbbra is élénkzöldek maradtak, de az alsó szinteken már megjelent a természetes öregedés első jele az enyhe sárgulás és levélszáradás. A tábla összképe ekkor már kevésbé volt homogén, mint júniusban.



8. kép A kukorica állapota a 2024.07.26.-ai repülés alkalmával; saját kép

Az NDVI (0,796) és GNDVI (0,720) értékek a júniusi csúcshoz képest csökkentek, ami a fotoszintetikus aktivitás mérséklődésével magyarázható. A levél klorofill-index (LCI = 0,507) is visszaesést mutatott (kb. -16%), főként az alsó lombszintek sárgulása miatt. Az MCARI (0,653) viszont ekkor érte el a szezonbeli maximumát, ami arra utal, hogy a felső levelek még nagyon aktív fotoszintézist végeztek a virágzás után is. A SIPI2 (0,942) enyhe csökkenése a karotinoid–klorofill arány eltolódását jelezte, ami természetes folyamat az érés közeledtével. Az NDRE (0,395) szintén csökkent a júniusi értékhez képest. Ez azt jelezte, hogy a klorofill- és nitrogénszint lassan mérséklődni kezdett a növényekben. A térképen továbbra is a lejtés mentén rajzolódottak ki a különbségek: az erdősávhoz közeli, alsó zónában az értékek kissé magasabbak voltak (0,40–0,42), míg a felső, szárazabb részeken kb. 0,37 körül alakultak. Ez a különbség jól mutatta, hogy a vízellátottság ebben az időszakban már jobban meghatározta a növény állapotát.

A tábla lejtése miatt júliusban ez a mintázat sokkal élesebben jelent meg, mint júniusban. Az alsó területeken a vízmegtartás miatt a növények továbbra is zöldebbek maradtak (NDVI 0,82–0,83), míg a felső, nyugati oldalon az NDVI 0,75 körülire esett vissza. Az északnyugati földút mentén még mindig gyengébb volt a vegetáció (NDVI 0,70–0,73; NDRE <0,38).

Az eltelt egy hónap alatt hullott 18 mm csapadék már kevésnek bizonyult. A hirtelen jött vízhiány miatt különösen a lejtős, középső zónában jelentkeztek a stresszre utaló jelek, többek között a gyorsabb levélöregedés, kisebb levélfelület. A heterogenitás a júniusi minimális

értékről ismét nőtt (NDVI CV  $\approx$  0,13; MCARI CV  $\approx$  0,31; NDRE CV  $\approx$  0,11), ami az eltérő éréstempót és a vízellátottság különbségeit tükrözte.



3. index kép A 2024.07.26.-ai MCARI index; saját feldolgozásból

#### 4.2.4. 2024. augusztus 6. – Tejes–viaszérés (R4–R5),érés előtti állapot

Az augusztus 6-i felmérés idején a kukoricaállomány már a tejes-viaszérés (R4–R5) fázisába lépett. A terepi megfigyelések alapján a növények felső levelei ekkorra már részben leszáradtak, a száruk sárgás-barnás árnyalatúvá váltak, és a zöld levél részek nagyrészt eltűntek. A növények fiziológiai öregedése jól láthatóvá vált a táblán.



9. kép A kukorica állapota a 2024.08.06.-os felmérés alatt; saját kép

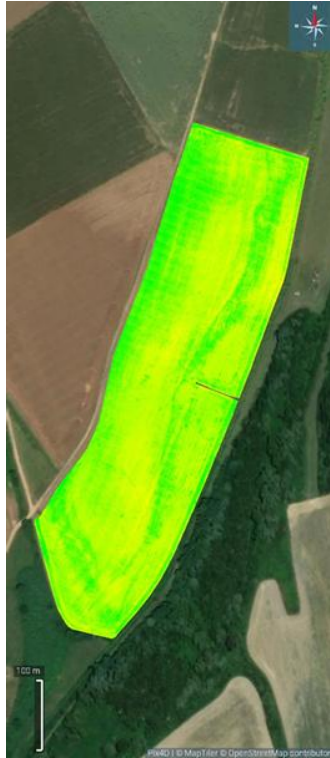
Az NDVI (0,660) és GNDVI (0,648) értékek további 15–17%-ot csökkentek a júliusi állapothoz képest, ami a zöldtömeg jelentős visszaesését és a fotoszintetikus aktivitás leépülését jelezte. A LCI (0,383) alacsony szintje a klorofill-tartalom erőteljes csökkenésére utalt, míg az MCARI (0,445) már csak mérsékelt abszorpciós kapacitást mutatott a megmaradt zöld levelekben. A SIPI2 (0,963) viszont emelkedett, ami a karotinoidek relatív túlsúlyát jelzi a klorofill bomlásával párhuzamosan - ez a természetes érés része.

Az NDRE (0,300) is csökkenő trendet mutatott a júliusi értékhez képest, ami jól követi a klorofill- és nitrogéntartalom leépülését a növényben. A térképen a különbségek most már még élesebben kirajzolódtak: míg júniusban a tábla szinte „egyszínű” volt, augusztusra a zónák között markáns eltérések alakultak ki.

Az érési időszak végére ez a különbség vált a leglátványosabbá. Az erdősáv felé eső részeken a növények hamarabb száradtak el, az NDVI sok helyen 0,60 alá csökkent. A felső, nyugati részeken valamivel tovább maradt meg a zöld szín, az NDVI 0,68–0,70 körül alakult, az NDRE pedig kicsit magasabb (~0,32) maradt. Az északnyugati földút mentén továbbra is a legalacsonyabb indexek jelentek meg (NDVI 0,70 alatt; NDRE ~0,28), aminek a hatása végig kísérte az egész fejlődését a kukoricának.

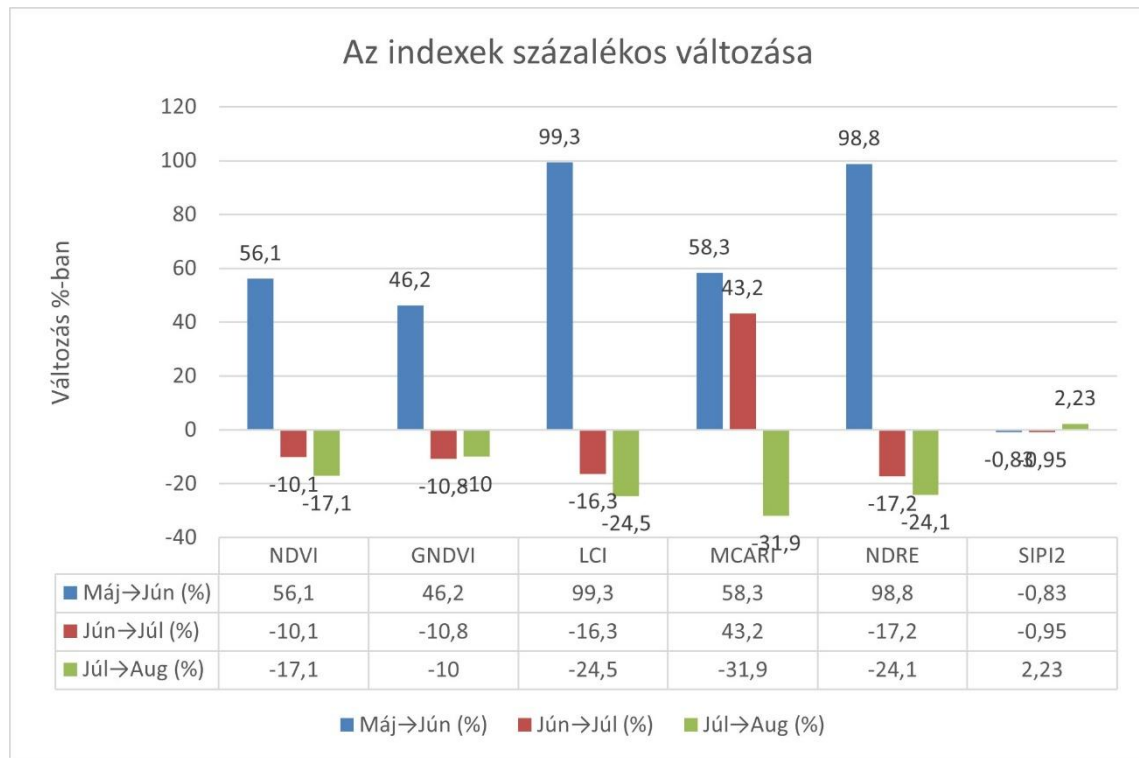
Az előző repüléstől az augusztus 6.-ai felmérésünkig mindössze 6 mm csapadék hullott. A lejtő miatt a víz a hónap elején vélhetően az alsóbb zónákban gyűlt össze, így a növények nagy része a felső zónáktól lefelé kezdett stresszt mutatni - de az alsó, „vízgyűjtő” részeken az erősebb

kimosódás miatt korábbi volt az öregedés. A heterogenitás tovább nőtt ( $NDVI CV \approx 0,20$ ;  $NDRE CV \approx 0,17$ ), vagyis a növényállomány érettsége és kondíciója már jelentősen eltért a tábla különböző pontjain. Ezek a különbségek várhatóan a hozamtérképen is visszaköszönnek majd.



4. index kép A 2024.08.06.-ai SIPI2 index; saját feldolgozásból

### 4.3. Indexek dinamikája, százalékos változások és csúcspontok



3. diagram Az indexek százalékos változása

#### Értelmezés:

NDVI/GNDVI/LCI a zöldtömeg-klorofill indexek vannak a csúcson VT idején (június 24.); az MCARI viszont még R1–R2-ben tetőzik (július 26.), ami azt sugallja, hogy a felső lomb szint klorofill-abszorpciója a virágzást követően is nagyon erős, miközben a teljes állomány zöldtömege már csökken.

Az NDRE viselkedése hasonló trendet mutat, a vegetatív szakasz végére (június 24.) éri el maximumát, majd a generatív időszakban fokozatos csökken. Ez azt jelzi, hogy a klorofill- és nitrogénellátottság a zöldtömeggel párhuzamosan emelkedik, de a virágzás után, a természetes érés előrehaladtával egyenletesen leépül. Az NDRE ezért jól kiegészíti az NDVI és LCI információt, különösen a késői fejlődési szakaszokban, amikor a „zöld” indexek már telítődnek.

A SIPI2 enyhe negatív együtt járást mutat a „zöld” indexekkel (pigmentarány eltolódás): júliusban alacsonyabb, majd az éréshez közel újra magasabb, ami a karotinoidok relatív növekedésével és a klorofill bomlásával magyarázható.

#### 4.4. Az állomány homogenitása és heterogenitása (szórás, CV)

- Minimum heterogenitás júniusban: a CV-k általános mélypontja a záródott, csúcskondíciójú állományt jelzi.
- Korai és késői heterogenitás: májusban és augusztusban a CV magasabb, a kezdeti fejlődési különbségek, majd az érés heterogenitása miatt.

- MCARI mindig a legszélesebb eloszlású (CV 0,31–0,70): ez az index, éppen a nagy klorofill-érzékenysége miatt, finoman „rámutat” a táblán belüli eltérésekre (talajfoltok, vízellátottság, N-státusz), ezért az állomány egészségügyi felmérésére különösen hasznos.
- SIPI2 a legstabilabb (CV 0,02–0,06): a pigmentarány térben meglepően homogén marad, ezért ez az index kiváló képet ad vissza a szezon pigmentdinamikájának megfigyelésére.

#### ***4.5. Együttjárás az indexek között (egymás kiegészítése)***

A négy időpont alapján az indexek jól követik egymás tendenciáit: NDVI - GNDVI - LCI nagyon szorosan korrelálnak, mivel mindhárom a zöldtömeg és a klorofill mennyiségi komponenseire érzékenyek. A MCARI ezekkel közepesen együtt jár, de saját maximuma (július 26., R1–R2 fázis) időben eltolódik, ami a felső lomb szint fotoszintetikus aktivitásának késleltetett csúcsát jelzi.

Az NDRE viselkedése a „zöld” indexekéhez hasonló, ugyanakkor inkább a klorofill- és nitrogéntartalomhoz köthető finomabb különbségeket érzékeli. A vegetatív szakasz végén (június 24.) tetőzik, majd a generatív időszakban fokozatosan csökken, ezzel jelezve a levélszövetek pigment- és tápanyagtartalmának leépülését. Mivel az NDRE nem telítődik olyan korán, mint az NDVI, jól kiegészíti azt, különösen a sűrű állományú, késői fejlődési fázisokban.

A SIPI2 ezzel szemben a „zöld” indexekkel ellentétes irányú kapcsolatot mutat, ami biológiailag is jól értelmezhető, azaz amikor a klorofill-tartalom tetőzik, a karotinoid/klorofill arány relatíve kisebb, az öregedés és vízstressz közeledtével viszont növekszik. Ennek megfelelően a SIPI2 értéke júliusban alacsonyabb, majd az érés idején (augusztus) ismét magasabb, a pigmentarányok eltolódását jelezve.

#### **Gyakorlati üzenet:**

Az NDVI és GNDVI adják az állomány általános kondícióját és biomasszáját mutató adatokat, az LCI és MCARI a klorofilltartalom és fotoszintetikus aktivitás finomabb szerkezeti változásait mutatják, míg az NDRE a nitrogénellátottság és klorofill-telítettség pontosabb indikátora. A SIPI2 pedig a pigmentarányok változásán keresztül egészíti ki a vegetációs értékelést. Ezen indexek kombinációja így sokkal robusztusabb és megbízhatóbb diagnózist ad az állomány állapotáról, mint bármelyik külön-külön.

#### ***4.6. Agronómiai jelentőség, döntéstámogatási pontok***

- Korai szezon (V6–V10, május): a közepes NDVI/GNDVI, alacsony LCI/MCARI/NDRE értékek alapján a hangsúly a gyomnyomás csökkentésén és a tápanyag-/vízellátás stabilizálásán van. A nagy CV (NDVI  $\approx$  0,33; NDRE  $\approx$  0,30) azt jelzi, hogy helyspecifikus beavatkozások (sorköz, táblaszegély) már ekkor indokoltak lehetnek.

- Címerhányás (június): az indexcsúcsok (NDVI, GNDVI, LCI, NDRE) és a minimális CV a jó kondíció jelei. A kultúra ekkor a legérzékenyebb a víz- és hőstresszre; a térképek alapján célzott öntözési prioritások és kártevő-megfigyelések szervezhetőek. Az NDRE magas értéke a klorofill- és nitrogénellátottság optimális szintjét jelzi.

- Virágzás vége / szemképződés (július): a MCARI-csúcs azt jelzi, hogy a felső lomb még nagyon aktív, miközben az NDVI/LCI/NDRE már csökken. A lokálisan visszaeső MCARI–LCI–NDRE értékek korai stresszre (víz-, tápanyaghiány) figyelmeztetnek, ezek időbeni felismerése hozamvédelmet adhat.

- Érés (augusztus): a csökkenő NDVI/GNDVI/LCI/NDRE és az emelkedő SIPI2 a száradás–érés természetes folyamatát jelzik. A növekvő térbeli különbségek (NDVI CV  $\approx$  0,20; NDRE CV  $\approx$  0,17) alapján a betakarítási sorrend, logisztika és – ha lenne – a szárítási stratégia is zónánként optimalizálható.

#### 4.7. Kiegészítő terméskiesést becslő felmérés

Mivel a Pix4Dfields-ben van arra lehetőség, hogy terméskiesést számoljunk, így én is kaptam az alkalmon, hogy kipróbáljam és a 2024.06.24.-ei repülés során készült ortomozaik képből sikerült is ezt kiszámolni. Az alábbi képen azok a területek látszódnak, ahol nem kelt ki a kukorica, vagy vadkár, illetve rovarkár sújtotta azt a részt. Ennek a területnek a nagysága 0,231 ha volt, ami 8,568 t/ha-os terméssel számolva 1,97 t terméskiesést jelentett, ami 0,02%-os terméskiesést eredményezett a táblára vetítve. Ez összességében nem minősül jelentős kiesésnek, de ha esetleges nagyobb kár érné a táblát vadkár miatt, az elszámolható lehetne.



Minden terület annotációi 0,231 ha

10. kép Terméskiesés becslése Pix4DFields-ben, a kiesett területek helyei kék színnel jelölve, saját felmérés

## 5. Következtetések és Javaslatok

A négy időpontban (2024.05.28–08.06.) rögzített, hat indexen (NDVI, GNDVI, LCI, MCARI, NDRE, SIPI2) alapuló felmérések konzisztensen visszaadták a kukorica fejlődés dinamikáját és a térbeli heterogenitás fő okait.

A vegetációs csúcs június 24-én következett be (NDVI, GNDVI, LCI, NDRE maximumok), míg a virágzás utáni időszakban (július 26.) a MCARI tetőzése a felső lomb szint kitaró fotoszintézisét jelezte.

Az éréskor (aug. 6.) a „zöld” indexek csökkenése és a SIPI2 emelkedése a pigmentdinamika átrendeződésével összhangban természetes öregedést tükrözött.

A térbeli különbségeket elsődlegesen a lejtés (ÉK felé), a földút menti tömörödött sáv és a csapadék hirtelen visszaesése (84–44–18–4 mm) magyarázta: a felső, gyorsabban száradó zónák és az ÉNY-i út sávja következetesen gyengébb értékeket adott, míg az ÉK-i, vízgyűjtő jellegű részek tartósan egészségesebb növényállapotot mutattak. A homogenitás a záródáskor volt a legnagyobb, az idény elején és végén pedig nőtt a heterogenitás.

### Az eredményekből származó következtetések

1. Vízgazdálkodás és talajszerkezet: A felső, kiszáradásra hajlamos zónákban a vízmegtartás növelése (sekély sávós mikrobarázdák, mulcshatás, szervesanyag-visszapótlás) és a tavaszi–őszli lazítás indokolt. Az ÉNY-i földút mentén célzott mélylazítás. A lejtő alján a lefolyás-szabályozás (füvesített vízvezető sáv, sávós művelés) mérsékelheti a kimosódást és a víztöbblet-ingadozást.

2. Precíziós zónázás és inputok: A térképek alapján legalább három kezelési zóna különíthető el (felső száraz; középső átmeneti; alsó nedvesebb). A változó dózisos N-kijuttatás NDRE/LCI alapon állítható: a felső zónákban pótlólagos N (V6–VT), az alsó, bővebb ellátottságú részekben mérséklés javasolt. Virágzás környékén a levélanalízissel és SPAD-méréssel támogatott, célzott lombtrágyázás hozamvédelmet adhat a gyengébb foltokon.

3. Időzítési stratégiák: A vegetációs csúcs (június vége) tekinthető referencia-időpontnak; ekkor érdemes a zónahatárokat és a kezelési térképeket rögzíteni. Aszályos években a július eleji–középi kontrollrepülés (VT  $\pm$  10 nap) különösen fontos a korai stressz észleléséhez. Éréskor a betakarítási sorrend zónánként optimalizálható: a lejtő alja előbb, a felső sáv később érik.

4. Monitoring és validáció: A drónos indexek pontossága helyszíni validációval (SPAD, levél N, talajnedvesség, LAI) és hozamtérképpel erősíthető. A szezonon belüli összehasonlíthatóságot az egységes protokoll (napszak, GSD, átfedés, panel-kalibráció, RTK)

fenntartása biztosítja. Javasolt kiterjesztés: MCARI/LCI és NDRE/NDVI arányok használata a klorofill–nitrogén–pigment viszony érzékenyebb nyomon követésére.

5. Kockázatkezelés: A július–augusztusi csapadékhiányra felkészülve érdemes szárazságtűrőbb hibrid kiválasztása vagy némileg ritkább tőszám kipróbálása a felső zónákban, illetve a takarónövény-alapú szervesanyag-pótlás a vízmegtartás és a talajszerkezet javítására.

Összegzésül: A drónos, multispektrális felmérés alkalmas a helyspecifikus víz- és tápanyag-utánpótlás megalapozására, a beavatkozások időzítésének finomítására és a betakarítás zónánként ütemezésére. A javasolt zónázás, szerkezetjavítás és célzott N-stratégia várhatóan növeli a hozamkiegyenlítettséget, csökkenti az inputköltséget, és mérsékli a lejtésből és tömörödésből fakadó termőhelyi kockázatokat.

## 6. Összefoglalás

A vizsgálat „Árokpart” nevű Kocsola határában fekvő 10,577 hektáros kukoricatábláján történt. A 4–5 minőségi osztályú szántót 6 méteres füves szegély övezi (AKG), enyhén északkelet felé lejt, ÉK-i oldalát erdősáv, ÉNY-i határát földes út szegélyezi. A területet P9610 (FAO 340) hibrid kukoricával vetették 69 000 mag/ha vetőmag normával. A középkorai, jó alkalmazkodóképességű hibrid alkalmas volt a vegetációs dinamika és a térbeli különbségek elemzésére.

A felmérések UAV-alapú távérzékeléssel, DJI Mavic 3M drónnal történtek, RTK korrekcióval, 20 MP RGB és 4×5 MP multispektrális (G, R, RE, NIR) szenzorral. A repülések derült, szélcsendes időben zajlottak, 78%/72% átfedéssel és 2–3 cm/pixel GSD felbontással. A mérések egységes határvonalon, azonos paraméterekkel készültek, ami lehetővé tette az idősoros összehasonlítást. Az adatfeldolgozás Pix4Dfields szoftverben történt, Quick Processing módban. Ortomozaik, DSM és hat vegetációs index (NDVI, GNDVI, NDRE, LCI, MCARI, SIPI2) készült, a megjelenítéshez Turbo színskála alkalmazásával. Az eredményeket képfájl- és PDF-formátumban is exportáltuk.

A felmérések négy fenológiai állapotot fedtek le:

- V6–V10 (2024.05.28.) - kezdeti vegetatív növekedés
- VT (2024.06.24.) - címerhányás
- R1–R2 (2024.07.26.) - virágzás vége
- R4–R5 (2024.08.06.) - tejes–viaszérés

A csapadék május–augusztus között a vetés és repülések között 84–44–18–4 mm volt, vagyis a szezon második felében hirtelen aszály lépett fel.

### **Május 28. (V6–V10):**

A sorok még nyitottak, a növények 30–50 cm magasak. NDVI és GNDVI közepes, LCI és NDRE alacsony (kezdeti klorofill-felhalmozás), MCARI szintén alacsony, SIPI2 magas. A lejtés miatt az ÉK-i zónák magasabb indexeket mutattak (jobb vízmegtartás), míg a felső részek gyengébb értékeket adtak. Az ÉNY-i földút mentén tömörödés csökkentette a vegetációs aktivitást. Vetéstől a repülésig 84mm csapadék megalapozta a kezdeti intenzív fejlődést.

### **Június 24. (VT):**

Teljes lombzáródás, 150–170 cm-es állomány. NDVI, GNDVI, LCI és NDRE elérte a szezonmaximumot, MCARI közepesen magas, SIPI2 stabilan magas. A májusi és a júniusi repülés között esett 44mm csapadék kiegyenlítette a vízellátást, a heterogenitás ekkor volt a

legalacsonyabb. Az ÉK-i vízgyűjtő sáv kissé zöldebb, az ÉNY-i út melletti sáv gyengébb maradt.

#### **Július 26. (R1–R2):**

A virágzás végén az alsó levelek sárgulnak. NDVI és GNDVI kb. 10%-kal csökken, LCI és NDRE is mérséklődik, míg MCARI eléri maximumát. SIPI2 enyhén csökken, jelezve a pigmentarány változását. A 18 mm csapadék a két repülés között kevés volt a növényállománynak, az aszályos körülmények miatt a lejtő középső és felső zónái erősebben visszaestek. A heterogenitás nőtt, különösen MCARI és NDRE esetében.

#### **Augusztus 6. (R4–R5):**

A növények érési fázisban vannak, a zöldfelület visszahúzódott. NDVI, GNDVI és LCI tovább csökken, NDRE 0,3 körülire esik, MCARI középszintű, SIPI2 emelkedik (karotinoid-felhalmozódás). A júliusi repülés óta leesett 4 mm csapadék súlyos vízhiányt okozott, az alsó zónák korábban öregedtek, a felsők tovább tartották a zöldet. A heterogenitás ismét magas volt.

#### **Indexdinamika:**

NDVI, GNDVI, NDRE és LCI egyaránt VT idején tetőzött, MCARI maximuma a virágzás után következett be, SIPI2 pedig az érés során nőtt meg. A heterogenitás júniusban minimális, májusban és augusztusban a legnagyobb volt. MCARI és NDRE bizonyultak a legérzékenyebb diagnosztikai mutatóknak, SIPI2 stabil referenciaértéket adott.

#### **Következtetések:**

A drónos, multispektrális felmérés pontos és költséghatékony módszer a nem öntözött kukoricatáblák megfigyelésére.

- Korai szezonban: javítani kell a vízmegtartást és a talajszerkezetet a felső zónákban, a tömörödött sávokban lazítás és zöldtrágya ajánlott.
- Vegetációs csúcson: a homogén állapot referenciaként rögzíthető, a stressz-zónák megfigyelhetők.
- Virágzás után: MCARI és NDRE alapján célzott beavatkozás (pl. lombtrágya, input-átcsoportosítás) javasolt.
- Éréskor: az indexek alapján betakarítási sorrend és logisztika zónánként optimalizálható.

Összességében a négy időpont és hat vegetációs index elemzése jól írta le a kukorica teljes vegetációs ciklusát, feltárva a lejtés, az erdősáv és a földút által okozott térbeli különbségeket. A módszer alkalmas precíziós zónázásra és döntéstámogatásra, amely a jövőben sűrűbb repülésekkel és terepi validációval tovább finomítható.

## 7. Irodalomjegyzék

1. Jombach Sándor (2015): A passzív képképző távérzékelés szerepe a tájkarakterelemzésben. Doktori értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Tájépítészeti Kar, Budapest. pp. 25–34, 27–30, 34–39.
2. Radics L. (szerk.) (1994): Szántóföldi növénytermesztés. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Kertészeti Kar, Budapest. pp. 78–80.
3. Központi Statisztikai Hivatal (KSH). (2024). A mezőgazdasági termelés alakulása. [KSH, Magyarország]
4. FAO. (2023). The State of Food and Agriculture. [Food and Agriculture Organization of the United Nations]
5. Magyar Agrárkamara. (2023). Kukoricatermesztés Magyarországon: kihívások és lehetőségek. [Magyar Agrárkamara]
6. Blackmore, S., Godwin, R. J., & Fountas, S. (2003). The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. *Biosystems Engineering*, 84(4), 455–466.
7. Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision Agriculture and Food Security. *Science*, 327(5967), 828–831.
8. Tóth, Z., Kismányoky, T., & Vágó, I. (2019). A precíziós növénytermesztés hazai lehetőségei és gazdasági értékelése. *Agrokémia és Talajtan*, 68(1), 123–134.
9. Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>
10. Bendig, J., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Eichfuss, S., & Bareth, G. (2015). Estimating biomass of barley using crop surface models (CSMs) derived from UAV-based RGB imaging. *Remote Sensing*, 6(11), 10395–10412.
11. Hunt, E. R., et al. (2010). Acquisition of NIR-green-blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring. *Remote Sensing*, 2(1), 290–305. <https://doi.org/10.3390/rs2010290>
12. Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
13. Zhang, J., Wang, J., Wei, J., & Wang, Y. (2018). Development and application of plant protection UAV in China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(3), 1–9

14. Madec, S., et al. (2017). High-throughput phenotyping of plant height: Comparing unmanned aerial vehicles and ground LiDAR estimates. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2002
15. Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90.
16. . Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote Sensing*, 12(19), 3136.
17. Rouse, J. W., Haas, R. H., & Schell, J. A. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*.
18. Zhang, Y., & Jia, Y. (2018). Vegetation indices in precision agriculture: A review. *Geocarto International*, 33(2), 225-239.
19. Rouse, J. W., Haas, R. H., & Schell, J. A. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*.
20. Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358–371.
21. Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., & Merzlyak, M. N. (1996). *Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS*. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289–298.
22. Serrano, L., Filella, I., & Penuelas, J. (2000). Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. *Crop Science*, 40(3), 723–731.
23. Candiago, S., Remondino, F., de Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote Sensing*, 7(4), 4026–4047.
24. Datt, B. (1999). A new reflectance index for remote sensing of chlorophyll content in higher plants: Tests using Eucalyptus leaves. *Journal of Plant Physiology*, 154(1), 30–36.
25. Li, F., Mistele, B., Hu, Y., Yue, X., Yue, S., Miao, Y., & Schmidhalter, U. (2014). Investigation of blue, green, red and red edge spectral bands for improving the estimation of wheat nitrogen uptake and nitrogen use efficiency. *Remote Sensing*, 6(7), 6826–6843.
26. Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J., & Strachan, I. B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 90(3), 337–352.

27. Barnes, E. M., Moran, M. S., Pinter, P. J., Clarke, T. R., Montoya, J. C., & Choi, J. (2000). Reflectance and transmittance measurements for estimating nitrogen status in corn. *Agronomy Journal*, 92(5), 875–883.
28. Eitel, J. U., Long, D. S., Gessler, P. E., & Hunt, E. R. (2007). Combined spectral index to improve ground-based estimates of nitrogen status in dryland wheat. *Agronomy Journal*, 99(5), 1296–1302.
29. Hunt, E. R., Doraiswamy, P. C., McMurtrey, J. E., Daughtry, C. S., Perry, E. M., & Akhmedov, B. (2013). A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 103–112.
30. Penuelas, J., Baret, F., & Filella, I. (1995). Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica*, 31(2), 221–230.
31. Blackburn, G. A. (1998). Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 19(4), 657–675.
32. Liebisch, F., Kirchgessner, N., Schneider, D., Walter, A., & Hund, A. (2015). Remote, aerial phenotyping of maize traits with a mobile multi-sensor approach. *Plant Methods*, 11(1), 9.
33. Pix4DField: letöltés dátuma: 2025.10.28.: <https://www.pix4d.com/>
34. letöltés dátuma: 2025.10.28. <https://www.opendronemap.org/>

### **Ábra és fényképjegyzék**

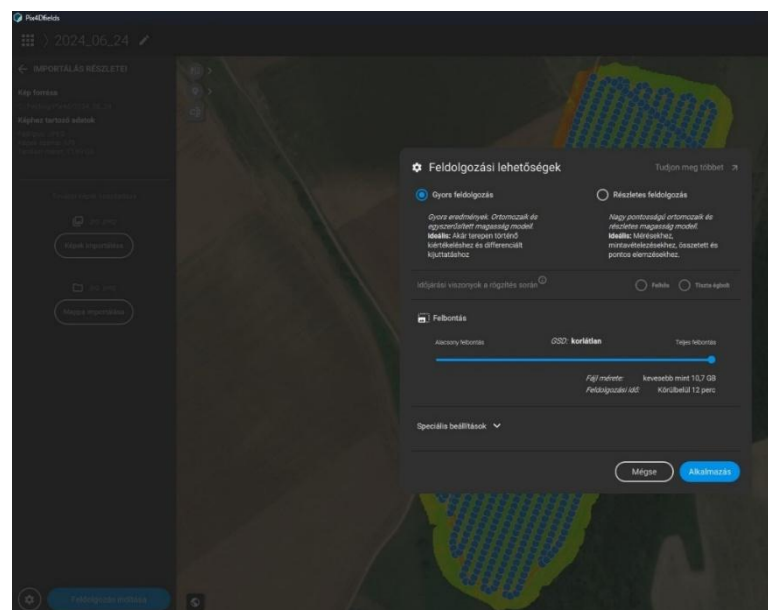
1. ábra: online. letöltés dátuma 2025-10.01. <https://www.nachurs.com/start2finish-corn>
1. diagram: Saját szerkesztés;online, letöltés dátuma: 2024.12.13. [https://www.ksh.hu/stadat\\_files/mez/hu/mez0072.html](https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0072.html)
2. kép: online: <https://dron.hrp.hu/dron/dji-mavic-3m/>

## 8. Mellékletek

### 8.1.A repülés feldolgozásának menete



1. melléklet Az adatok importálása a szoftverbe



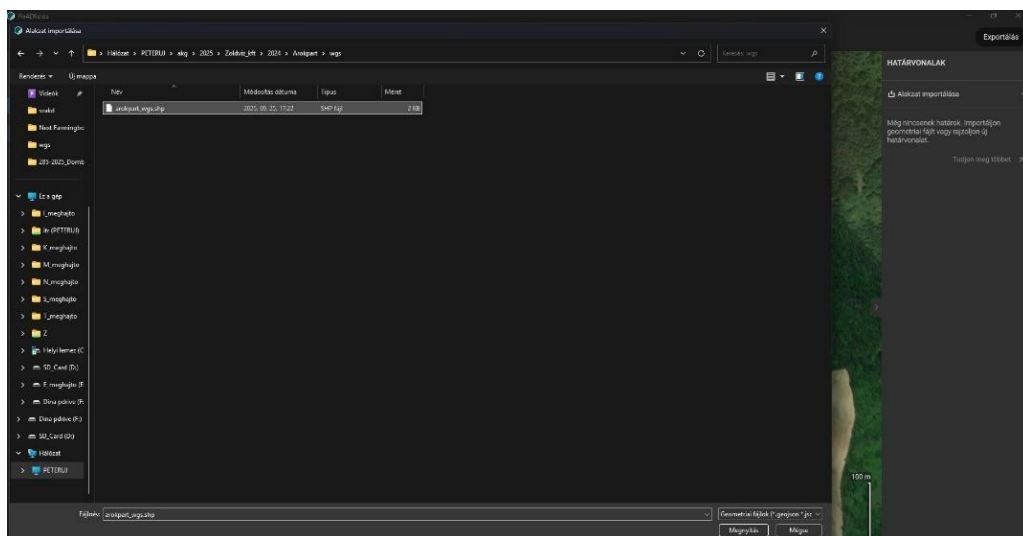
2. melléklet A feldolgozás indítása



3. melléklet A határvonal levágásának első lépése



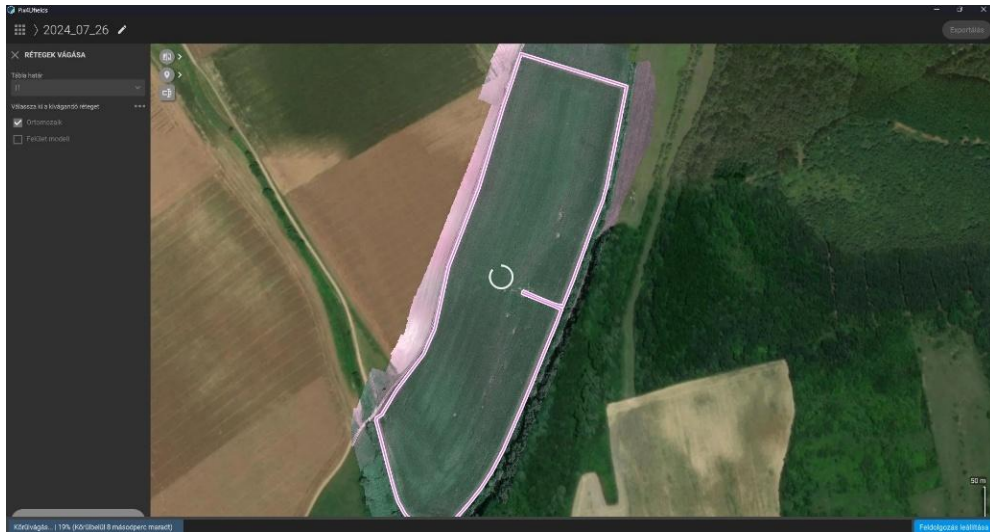
4. melléklet A határvonal levágásának második lépése



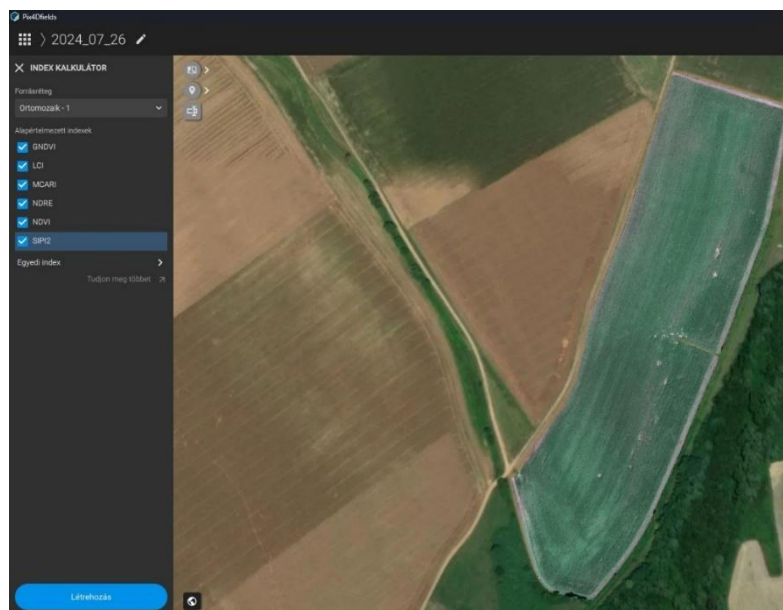
5. melléklet A határvonal levágásának harmadik lépése



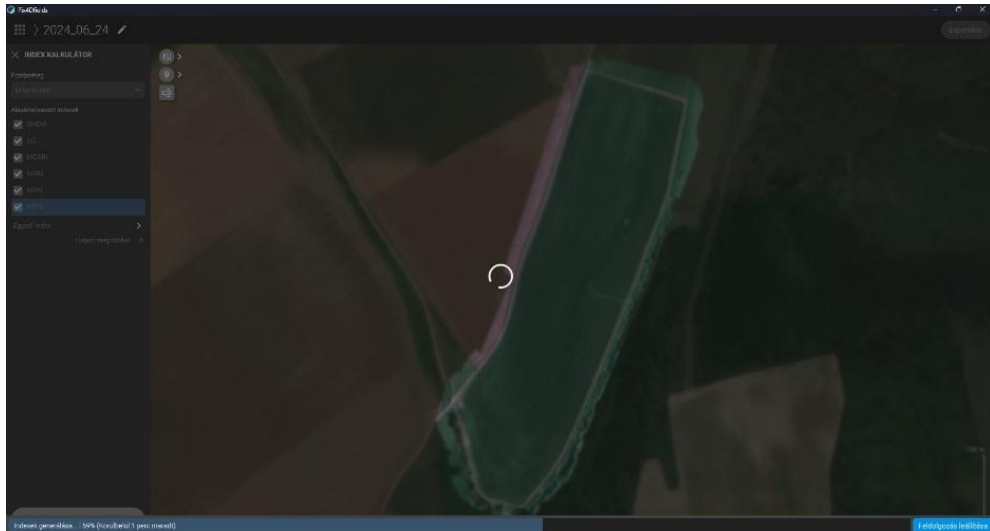
6. melléklet A határvonal levágásának negyedik lépése



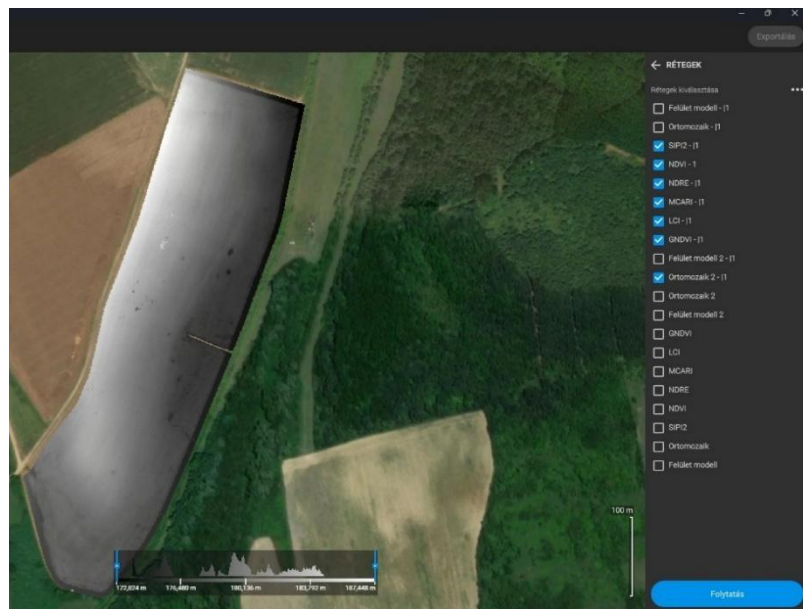
7. melléklet A határvonal levágásának ötödik lépése



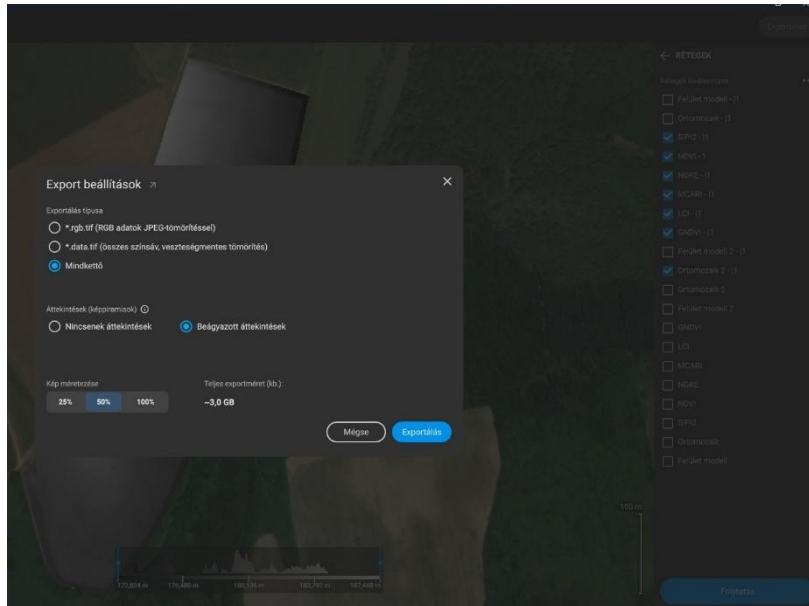
8. melléklet Az indexek kiválasztása a feldolgozáshoz



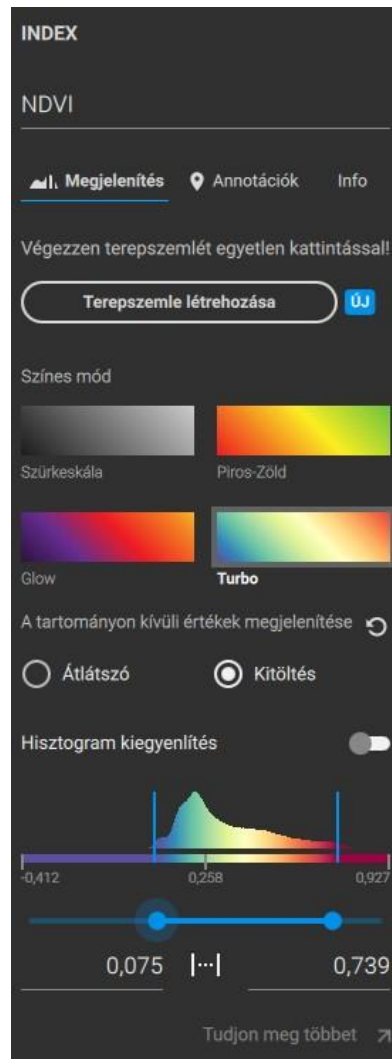
9. melléklet Az indexek feldogozása



10. melléklet Az indexek kiválasztása a exportálásához



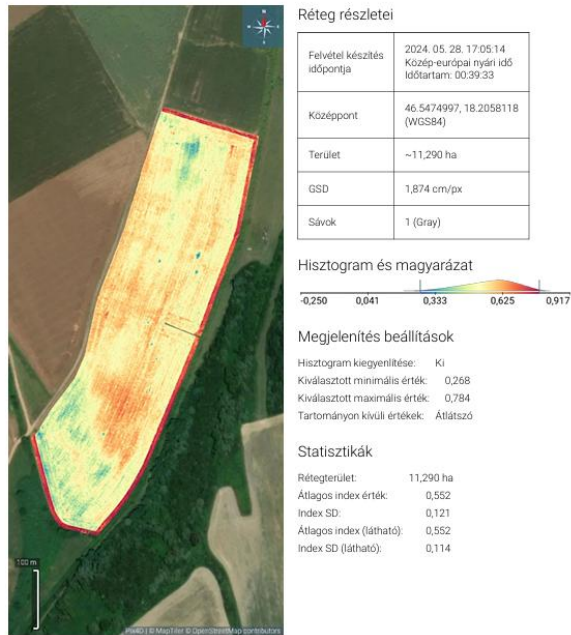
11. melléklet Indexek exportálása



12. melléklet A „turbó” színskála a szoftverben

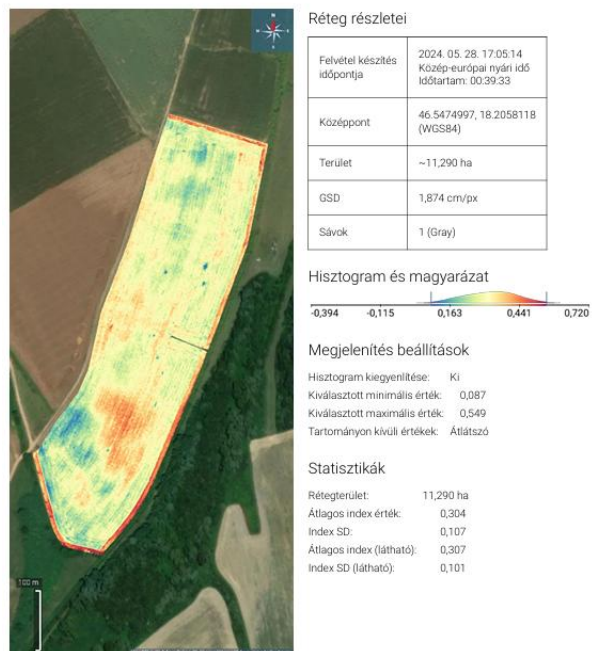
## 8.2. A 2024.05.28-as repülés indexeinek feldolgozásának adatai

GNDVI  
Index

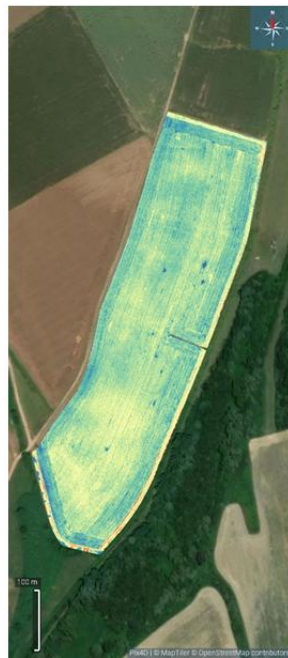


13. melléklet A 2024.05.28.-as repülés GNDVI indexe

LCI  
Index



14. melléklet A 2024.05.28.-as repülés LCI indexe



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 05. 28. 17:05:14 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:39:33
Középpont	46.5474997, 18.2058118 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	1,874 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Histogram és magyarázat



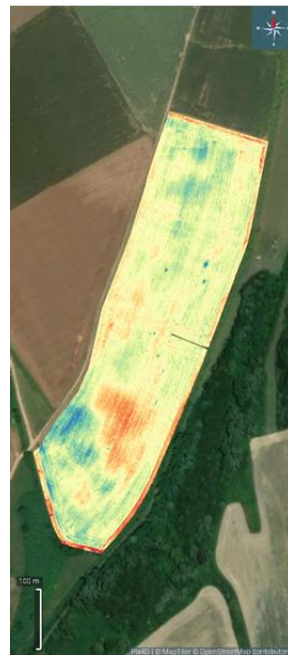
Megjelenítés beállítások

Histogram kiegyenlítése: Ki  
 Kiválasztott minimális érték: 0,030  
 Kiválasztott maximális érték: 0,892  
 Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

Statisztikák

Rétegtérület: 11,290 ha  
 Átlagos index érték: 0,288  
 Index SD: 0,201  
 Átlagos index (látható): 0,286  
 Index SD (látható): 0,192

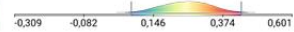
15. melléklet A 2024.05.28.-as repülés MCARI indexe



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 05. 28. 17:05:14 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:39:33
Középpont	46.5474997, 18.2058118 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	1,874 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Histogram és magyarázat



Megjelenítés beállítások

Histogram kiegyenlítése: Ki  
 Kiválasztott minimális érték: 0,074  
 Kiválasztott maximális érték: 0,434  
 Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

Statisztikák

Rétegtérület: 11,290 ha  
 Átlagos index érték: 0,240  
 Index SD: 0,080  
 Átlagos index (látható): 0,242  
 Index SD (látható): 0,075

16. melléklet A 2024.05.28.-as repülés NDRE indexe

NDVI  
Index



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 05. 28. 17:05:14 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:39:33
Középpont	46.5474997, 18.2058118 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	1,874 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Hisztogram és magyarázat



Megjelenítés beállítások

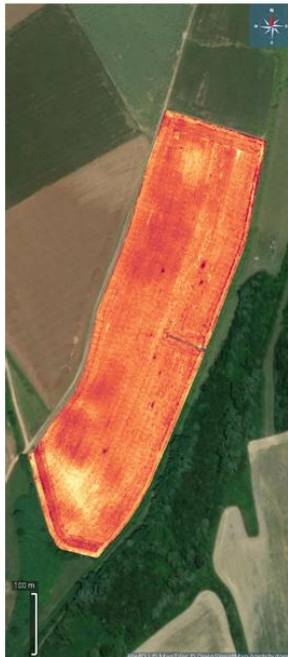
Hisztogram kiegyenlítése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,176  
Kiválasztott maximális érték: 0,889  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

Statisztikák

Rétegeterület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,567  
Index SD: 0,186  
Átlagos index (látható): 0,569  
Index SD (látható): 0,179

17. melléklet A 2024.05.28.-as repülés NDVI indexe

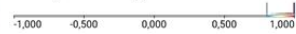
SIPI2  
Index



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 05. 28. 17:05:14 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:39:33
Középpont	46.5474997, 18.2058118 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	1,874 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Hisztogram és magyarázat



Megjelenítés beállítások

Hisztogram kiegyenlítése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,803  
Kiválasztott maximális érték: 1,000  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

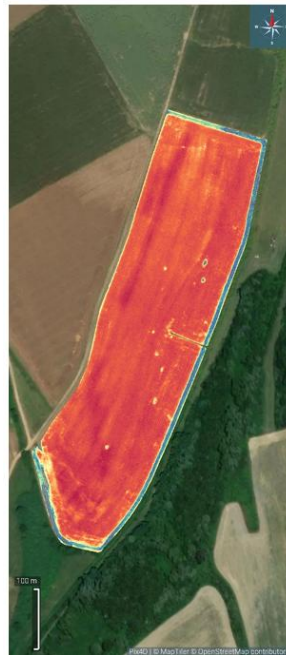
Statisztikák

Rétegeterület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,959  
Index SD: 0,055  
Átlagos index (látható): 0,961  
Index SD (látható): 0,048

18. melléklet A 2024.05.28.-as repülés SIPI2 indexe

### 8.3.A 2024.06.24-es repülés indexeinek feldolgozásának adatai

GNDVI - 1  
Index



#### Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 06. 24. 17:30:02 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:46:00
Középpont	46.5474997, 18.2058119 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	2,038 cm/px
Sávok	1 (Gray)

#### Histogramm és magyarázat



#### Megjelenítés beállítások

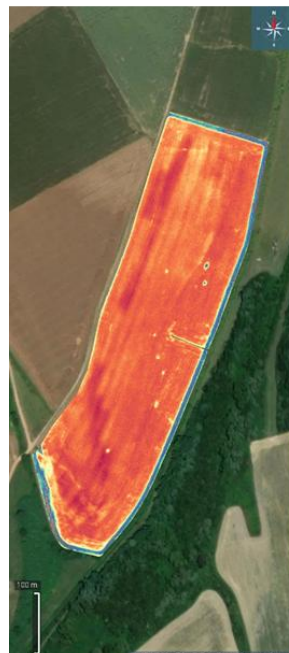
Histogramm kiegyenlítése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,529  
Kiválasztott maximális érték: 0,896  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

#### Statisztikák

Rétegterület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,807  
Index SD: 0,078  
Átlagos index (látható): 0,811  
Index SD (látható): 0,069

19. melléklet A 2024.06.24.-es repülés GNDVI indexe

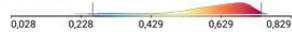
LCI - 1  
Index



#### Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 06. 24. 17:30:02 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:46:00
Középpont	46.5474997, 18.2058119 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	2,038 cm/px
Sávok	1 (Gray)

#### Histogramm és magyarázat



#### Megjelenítés beállítások

Histogramm kiegyenlítése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,262  
Kiválasztott maximális érték: 0,743  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

#### Statisztikák

Rétegterület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,606  
Index SD: 0,105  
Átlagos index (látható): 0,611  
Index SD (látható): 0,095

20. melléklet A 2024.06.24.-es repülés LCI indexe

MCARI - 1  
Index



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 06. 24. 17:30:02 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:46:00
Középpont	46.5474997, 18.2058119 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	2,038 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Hisztogram és magyarázat



Megjelenítés beállítások

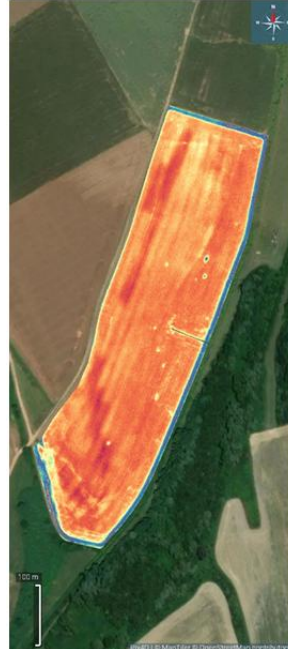
Hisztogram kiegyenltése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,115  
Kiválasztott maximális érték: 0,874  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

Statisztikák

Rétegtérület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,456  
Index SD: 0,171  
Átlagos index (látható): 0,453  
Index SD (látható): 0,159

21. melléklet A 2024.06.24.-es repülés MCARI indexe

NDRE - 1  
Index



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 06. 24. 17:30:02 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:46:00
Középpont	46.5474997, 18.2058119 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	2,038 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Hisztogram és magyarázat



Megjelenítés beállítások

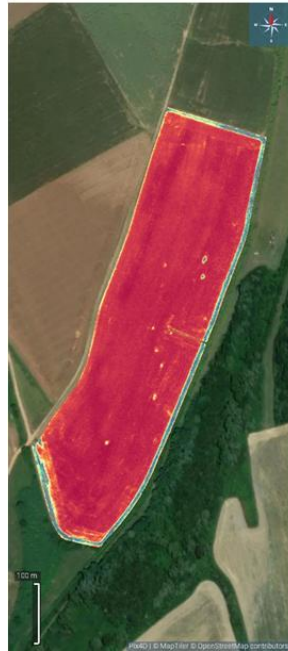
Hisztogram kiegyenltése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,202  
Kiválasztott maximális érték: 0,619  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

Statisztikák

Rétegtérület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,477  
Index SD: 0,093  
Átlagos index (látható): 0,479  
Index SD (látható): 0,086

22. melléklet A 2024.06.24.-es repülés NDRE indexe

NDVI - 1  
Index



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 06. 24. 17:30:02 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:46:00
Középpont	46.5474997, 18.2058119 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	2,038 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Histogram és magyarázat



Megjelenítés beállítások

Histogram kiegyenlítése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,519  
Kiválasztott maximális érték: 0,951  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

Statisztikák

Rétegeterület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,885  
Index SD: 0,089  
Átlagos index (látható): 0,891  
Index SD (látható): 0,069

23. melléklet A 2024.06.24.-es repülés NDVI indexe

SIPI2 - 1  
Index



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 06. 24. 17:30:02 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:46:00
Középpont	46.5474997, 18.2058119 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	2,038 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Histogram és magyarázat



Megjelenítés beállítások

Histogram kiegyenlítése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,901  
Kiválasztott maximális érték: 1,000  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

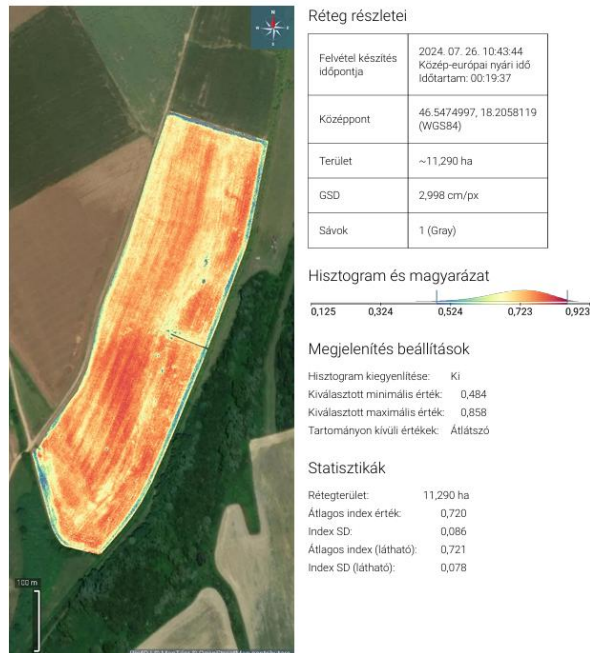
Statisztikák

Rétegeterület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,951  
Index SD: 0,018  
Átlagos index (látható): 0,952  
Index SD (látható): 0,017

24. melléklet A 2024.06.24.-es repülés SIPI2 indexe

## 8.4.A 2024.07.26-os repülés indexeinek feldolgozásának adatai

GNDVI  
Index

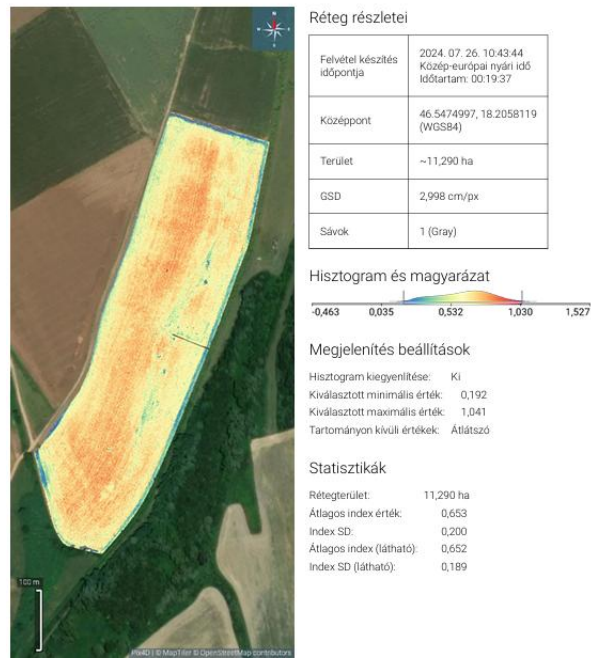


25. melléklet A 2024.07.26.-os repülés GNDVI indexe

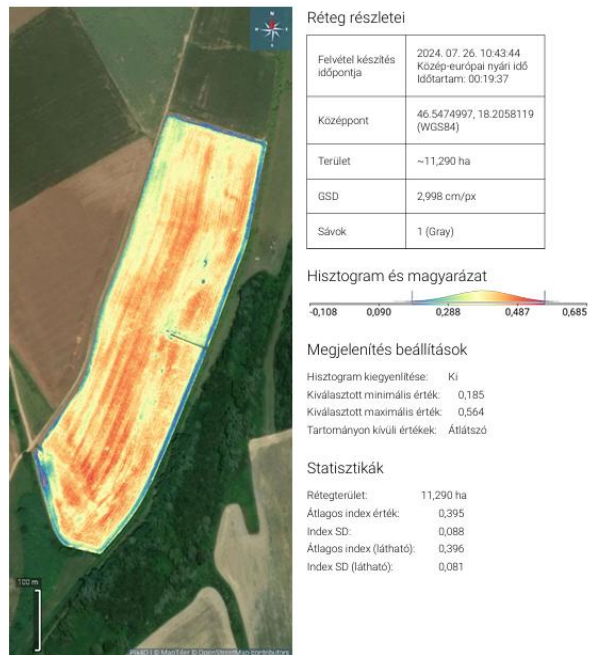
LCI  
Index



26. melléklet A 2024.07.26.-os repülés LCI indexe

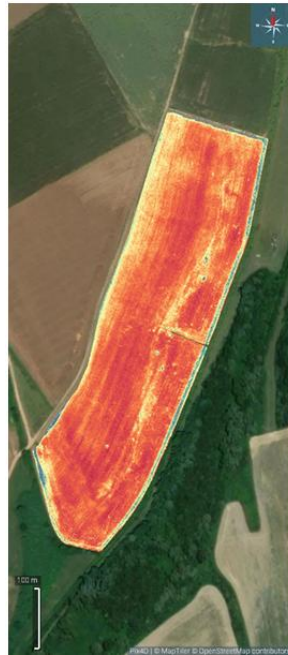


27. melléklet A 2024.07.26.-os repülés MCARI indexe



28. melléklet A 2024.07.26.-os repülés NDRE indexe

NDVI  
Index



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 07. 26. 10:43:44 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:19:37
Középpont	46.5474997, 18.2058119 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	2,998 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Histogram és magyarázat



Megjelenítés beállítások

Histogram kiegyenltése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,445  
Kiválasztott maximális érték: 0,923  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

Statisztikák

Rétegterület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,796  
Index SD: 0,103  
Átlagos index (látható): 0,801  
Index SD (látható): 0,087

29. melléklet A 2024.07.26.-os repülés NDVI indexe

SIPI2  
Index



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 07. 26. 10:43:44 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:19:37
Középpont	46.5474997, 18.2058119 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	2,998 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Histogram és magyarázat



Megjelenítés beállítások

Histogram kiegyenltése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,843  
Kiválasztott maximális érték: 1,000  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

Statisztikák

Rétegterület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,942  
Index SD: 0,034  
Átlagos index (látható): 0,943  
Index SD (látható): 0,032

30. melléklet A 2024.07.26.-os repülés SIPI2 indexe

## 8.5.A 2024.08.06-os repülés indexeinek feldolgozásának adatai

GNDVI  
Index



31. melléklet A 2024.08.06.-os repülés GNDVI indexe

LCI  
Index



32. melléklet A 2024.08.06.-os repülés LCI indexe



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 08. 06. 15:12:09 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:27:32
Középpont	46.5474997, 18.2058118 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	3,009 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Histogram és magyarázat



Megjelenítés beállítások

Histogram kiegyenltése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,077  
Kiválasztott maximális érték: 0,898  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

Statisztikák

Rétegtérület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,445  
Index SD: 0,199  
Átlagos index (látható): 0,438  
Index SD (látható): 0,188

33. melléklet A 2024.08.06.-os repülés MCARI indexe



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 08. 06. 15:12:09 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:27:32
Középpont	46.5474997, 18.2058118 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	3,009 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Histogram és magyarázat



Megjelenítés beállítások

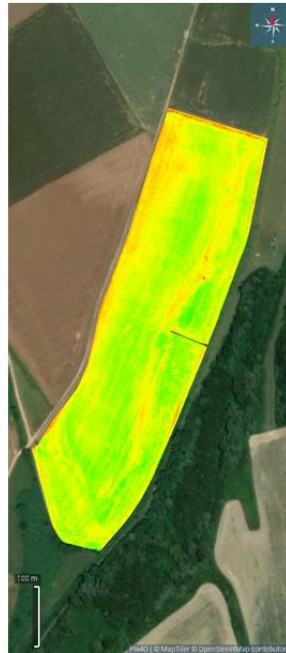
Histogram kiegyenltése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,070  
Kiválasztott maximális érték: 0,479  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

Statisztikák

Rétegtérület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,300  
Index SD: 0,087  
Átlagos index (látható): 0,298  
Index SD (látható): 0,083

34. melléklet A 2024.08.06.-os repülés NDRE indexe

NDVI  
Index



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 08. 06. 15:12:09 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:27:32
Középpont	46.5474997, 18.2058118 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	3,009 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Histogram és magyarázat



Megjelenítés beállítások

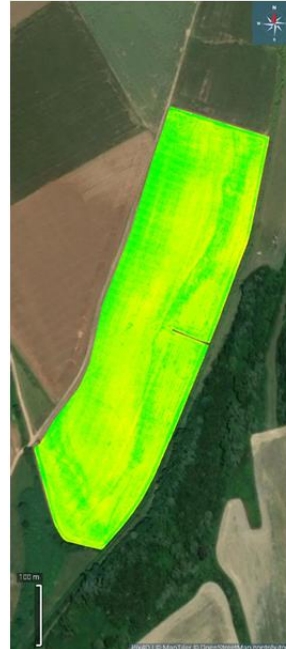
Histogram kiegyenltése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,249  
Kiválasztott maximális érték: 0,874  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

Statisztikák

Rétegterület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,660  
index SD: 0,132  
Átlagos index (látható): 0,659  
Index SD (látható): 0,128

35. melléklet A 2024.08.06.-os repülés NDVI indexe

SIPI2  
Index



Réteg részletei

Felvétel készítés időpontja	2024. 08. 06. 15:12:09 Közép-európai nyári idő Időtartam: 00:27:32
Középpont	46.5474997, 18.2058118 (WGS84)
Terület	~11,290 ha
GSD	3,009 cm/px
Sávok	1 (Gray)

Histogram és magyarázat



Megjelenítés beállítások

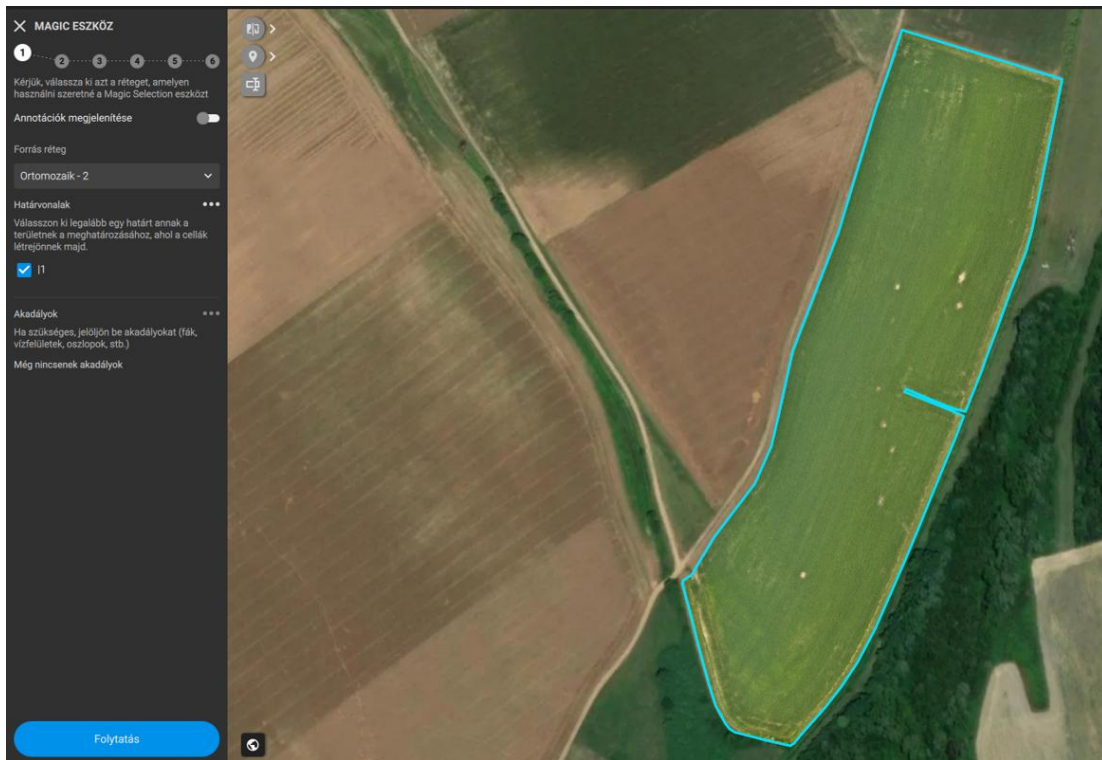
Histogram kiegyenltése: Ki  
Kiválasztott minimális érték: 0,793  
Kiválasztott maximális érték: 1,000  
Tartományon kívüli értékek: Átlátszó

Statisztikák

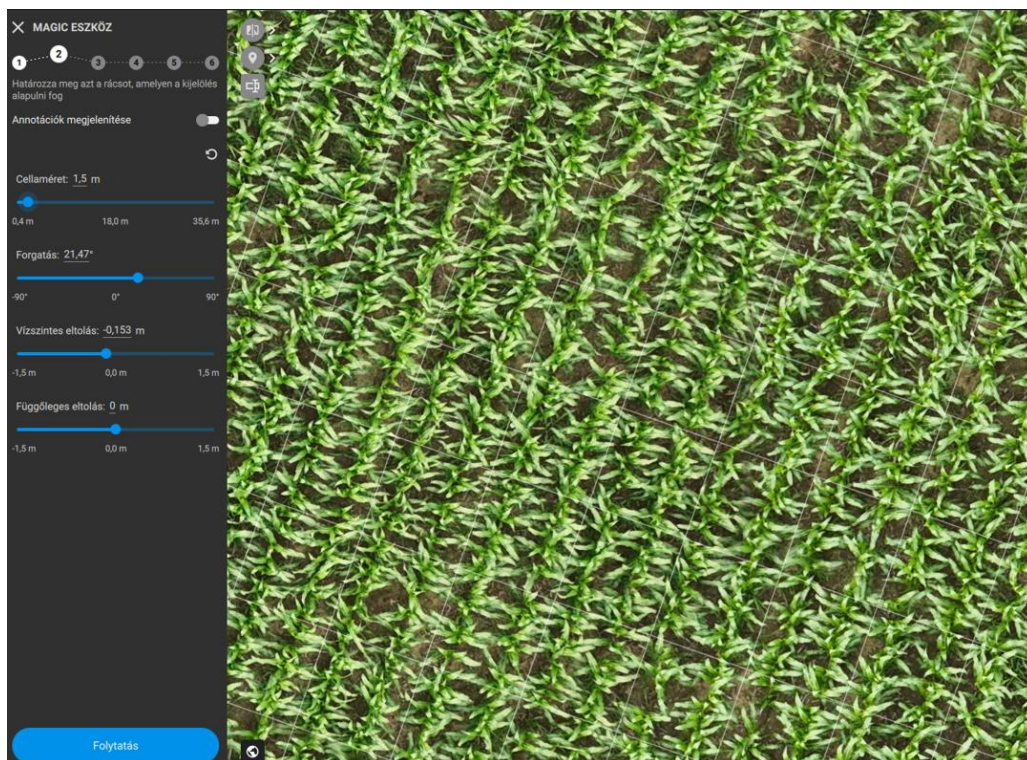
Rétegterület: 11,290 ha  
Átlagos index érték: 0,963  
index SD: 0,050  
Átlagos index (látható): 0,966  
Index SD (látható): 0,043

36. melléklet A 2024.08.06.-os repülés SIPI2 indexe

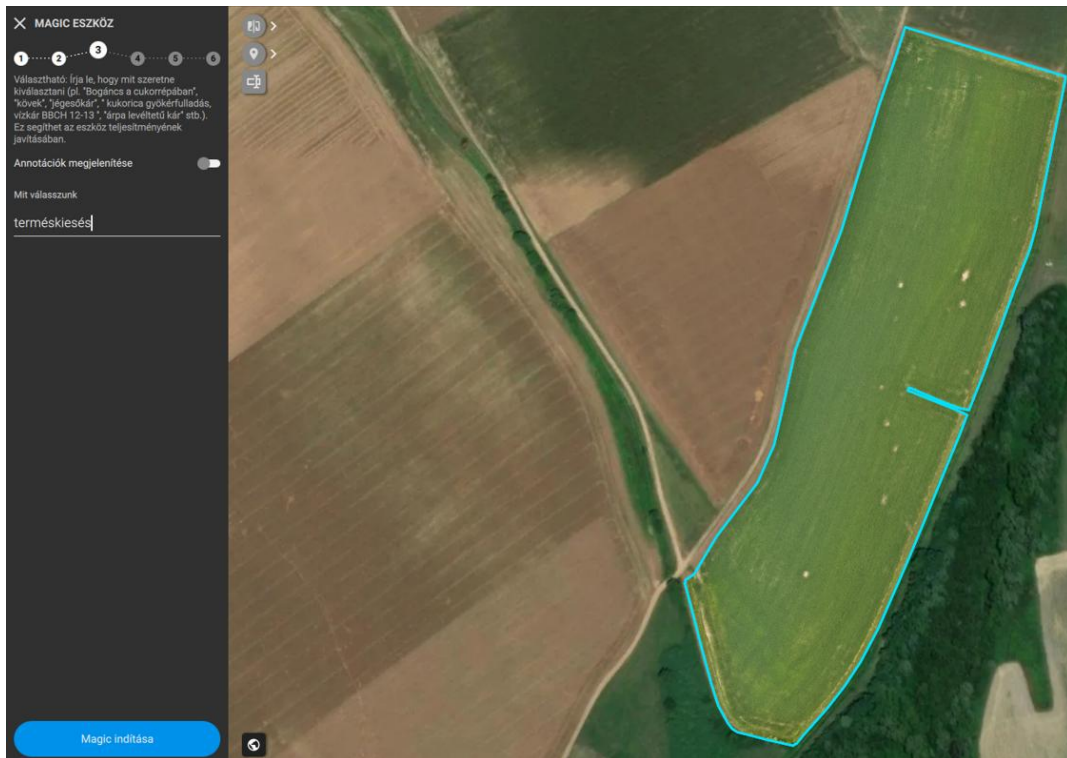
## 8.6. Kiegészítő terméskiesés számítása



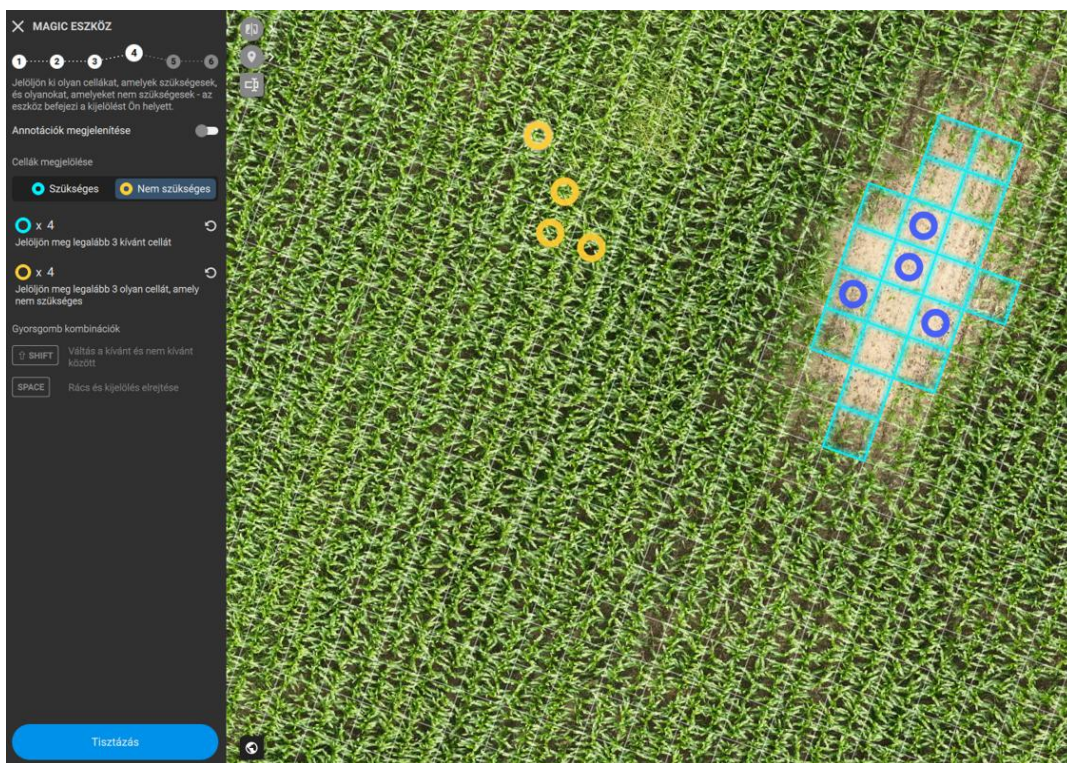
37. melléklet Az ortomozaik betöltése és a határvonal levágása; saját feldolgozásból



38. melléklet A négyzetrács háló irányba állítása és cella nagyság állítása



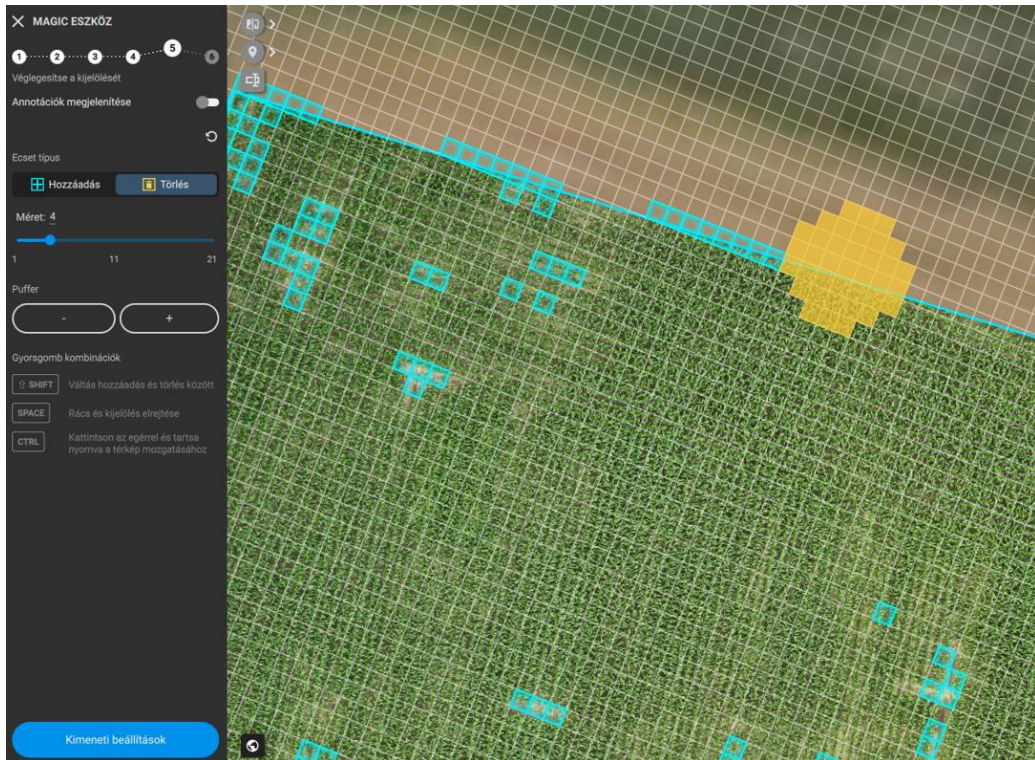
39. melléklet A munka nevének megadása



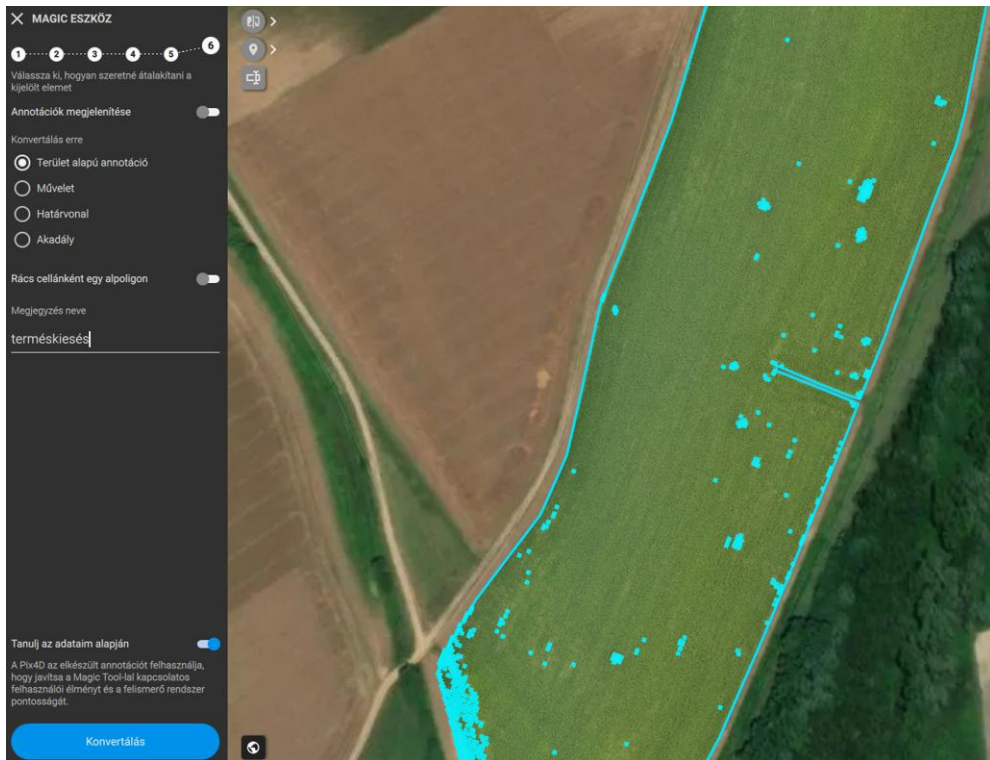
40. melléklet A szoftver feltanítása



41. melléklet A program leellenőrzése



42. melléklet A határvonalon túllógó részek eltávolítása



43. melléklet Terület alapján számítás kijelölése



44. melléklet Kiesett terület kiszámítva



45. melléklet Munka mentése

## 9. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni őszinte köszönetemet Szabotin Péternek, aki lehetővé tette, hogy a dolgozat alapjául szolgáló vizsgálatokat saját kukoricatábláján végezhessem el, valamint, hogy a kutatás során az ő multispektrális drónját használhattuk. Segítőkész hozzáállása, nyitottsága és együttműködése nélkül ez a munka nem valósulhatott volna meg.

Külön köszönettel tartozom Németh Gergőnek, aki a repülések kivitelezésében és az adatok feldolgozásában nyújtott szakmai támogatásával jelentősen hozzájárult a vizsgálatok sikeréhez. Pontos munkája, technikai tudása és türelmes segítsége nélkül a feldolgozási folyamat nem valósulhatott volna meg ilyen eredményesen.

Végül hálával tartozom mindazoknak, akik a dolgozat elkészítése során szakmai tanácsokkal, bátorítással vagy gyakorlati segítséggel támogatták munkámat.

## 10.Egyéb, kötelező melléletek

### NYILATKOZAT

László Diana (név) (hallgató Neptun azonosítója: PCGH31)  
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a  
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót<sup>1</sup> áttekintettem, a hallgatót az  
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól  
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő  
védésre javaslom / nem javaslom<sup>2</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem<sup>3</sup>

Kelt: Kaposvár 2015 év 10 hó 30 nap



belső konzulens

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

<sup>2</sup> A megfelelő aláhúzendő.

<sup>3</sup> A megfelelő aláhúzendő.

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat / diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió<sup>1</sup> nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: László Diana  
A Hallgató Neptun kódja: PC6441  
A dolgozat címe: Szántóterület távírtelmezés felvétele Babonica erdőben  
A megjelenés éve: 2025  
A konzulens intézetének neve: Művelődési Intézet  
A konzulens tanszékének a neve: Mezőgazdasági és Élelmiszeripari gépészet tanterv

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió<sup>2</sup> egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitóri rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitóri rendszerében.

Kelt: 2025 év 10 hó 30 nap

  
Hallgató aláírása

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

<sup>2</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

**Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról**

**1. Általános adatok**

Hallgató neve:	László Diana
Neptun-kódja:	PC6 H 31
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA <input checked="" type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb: .....
Tantárgy neve/kódja*:	Szabadfoglalat beírása
A munka címe:	Színháztörténet témaválasztás filmrészlet kiválasztása és filmrészlet kiválasztása

\* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

**2. Nyilatkozat az MI használatáról**

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

- A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.  
(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)
- B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.  
(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

**3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése**

**I. TÁBLÁZAT: Asszisztens vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrekció, ötletelés stb.)**

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
fordítás, ötletelés, más szöveg	ChatGPT 5.0	Színháztörténet rész

**II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)**

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve, verziója, elérhetősége	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma
----------------------	--	---	---

--	--	--	--

**3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)**

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

*Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.*

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

**4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:**

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Kaposvár, 2025. 10 hó 30 nap



Hallgató aláírása



Konzulens/Témavezető aláírása