

DIPLOMADOLGOZAT

TÖRŐCSIK ÁDÁM
Osztatlan Agrármérnök

Gödöllő
2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Osztatlan agrármérnök, MSc

**Levélfelületi index (LAI) becslése ceptométerrel és a
becslések összevetése a multispektrális műhold-felvételekből
származtatott LAI értékekkel**

Belső konzulens: Nagy Zoltán
Egyetemi tanár
Dr. Pintér Krisztina
Tudományos főmunkatárs

Készítette: **Törőcsik Ádám**
WI7E8A
Nappali tagozat

Intézet, Tanszék: Növénytermesztési-
tudományok intézet
Növényélettani és
Növényökológiai tanszék

Gödöllő

2023

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzés	2
2. Irodalmi áttekintés	4
2.1 <i>Általános tápanyagellátottság</i>	4
2.1.1 Tápanyagellátottság és LAI kapcsolata	5
2.1.2 LAI és biomassa közötti összefüggések	6
2.1.3 LAI és a stresszállapotok kapcsolata	7
2.1.4 A levélfelületi index	8
2.2 <i>LAI meghatározás és mérés módszertana</i>	9
2.2.1 Mérések általános jellemzése	9
2.2.2 Egy levél felületének mérése	10
2.2.3 Kiterítéssel mérés	11
2.2.4 Tömegmérésen alapuló módszer	11
2.2.5 Halszemoptikás módszer	11
2.2.6 Sugárzásmérővel történő mérés	12
2.2.7 Műholdas mérés	12
2.3 <i>AccuPAR</i>	13
2.3.1 Az elnyelési együttható és a lombkorona szerkezete	14
2.3.2 LAI mérések és nem véletlenszerű eloszlás	15
2.3.3 LAI mintavétel sornövényeken	16
2.4 <i>Műholdas adatok</i>	18
2.4.1 A visszavert sugárzás észlelése	18
2.4.2 Radiancia, irradiancia, reflektancia	20
2.4.3 Vegetációs indexek	21
3.0 Vizsgálati módszerek	23
3.1 <i>Sentinel LAI product.....</i>	23
3.2 <i>Mintavételi módszer</i>	24
3.2.1 Mintatér	24
3.2.2 Mintavételi állomány	27

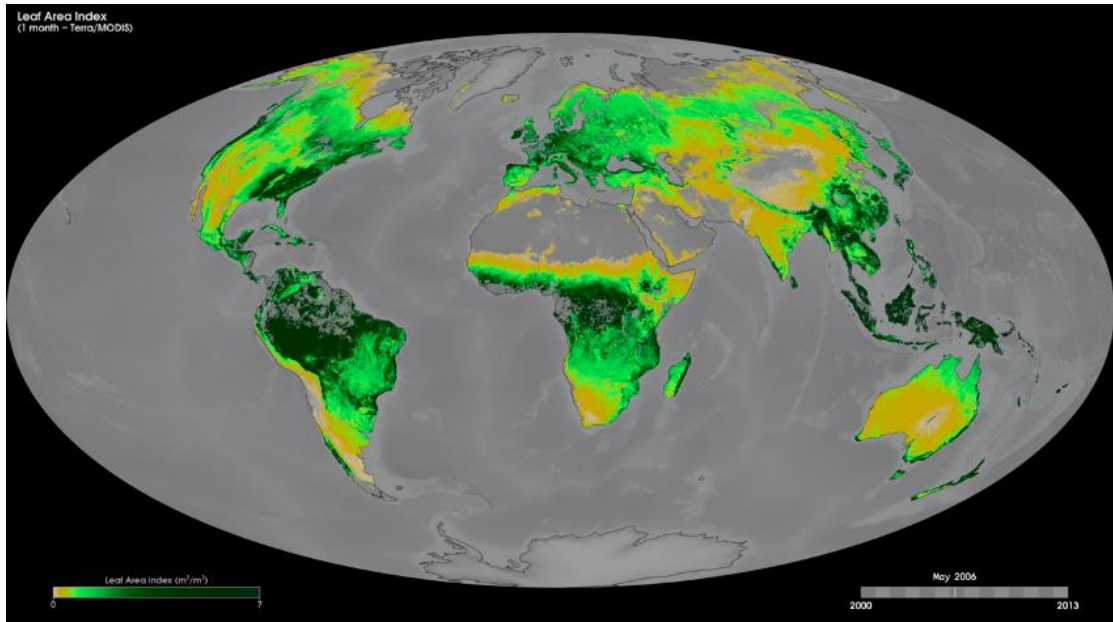
4.0 Vizsgálati eredmények.....	33
4.1 <i>Mintavételi időpontok</i>	33
4.2 <i>Meteorológiai jellemzés</i>	36
4.3 <i>Mérési eredmények a Ceptométerrel és a műholdas adatokból.....</i>	38
4.3.1 Ceptométerrel történő mérések	38
4.3.2 Műholdból származtatott LAI értékek	39
5.0 Következtetések és javaslatok	43
6.0 Összefoglalás.....	44
7.0 Köszönetnyilvánítás.....	45
8.0 Források.....	46
9.0 Mellékletek.....	48

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A Föld népessége pár éven belül el fogja érni a 8 milliárd főt, aminek következtében hatalmas kereslet lesz a mezőgazdasági termékek iránt, viszont a termőföld területek nem fognak növekedni, így a technológián kell változtatni, hogy ugyan akkora területen nagyobb termés hozamot tudjunk elérni, aminek elengedhetetlen eszköze a tápanyagok precíz visszajuttatása. A precíziós kijuttatással megelőzhetjük a túlzott tápanyagkijuttatást is, ami negatívan hathat a talajra. Több módszer is van, hogy megállapíthassuk a növényekről milyen biomassza különbségeket mutatnak térben. Ehhez többek között a LAI (Leaf area index, egyoldali levélterület-index) szolgálhat becsléssel. Kísérletem során is ezt a módszert alkalmaztam. Maga a levélterület a sugárzásfelfogó terület. Ezt az értéket pedig a talajfelszínhez viszonyítva tudjuk megadni. $LAI = T/t$ (T = levélterület nagysága, t = növényállomány alatti tenyész terület) Maga a LAI értéke sok mindentől függ, például fajonként, fejlettségi állapottól, tápanyag és vízellátottságtól, állománysűrűségtől, termesztési módtól. A LAI méréséhez több módszert is lehet alkalmazni, mint például a lenyomatos módszer (milliméter papíron kell körbe rajzolnunk a leszakított levél kontúrvonalát, majd ezt követően elvégezni a méréseket, megszámlálni mekkora területet fed le a levél), ami a legrégebbi módszer, számításos, összehasonlító módszer, közvetlen vagy közvetett mérés, tömegmérési eljárás és transzmittancián alapuló automatizált (a műszer szoftverével végzett) becslési eljárás alkalmazásával. Az utóbbit választottam és egy Accupar LP-80-as mérőeszközt alkalmaztam. A fotoszintetikusan aktív sugárzás mérésének optimális eszköze az LP-80-as ceptométer, a lombkorona fénylenyelését, így a lombkorona mennyiségét becsülhetjük vele. Ez az eszköz kedvelt kutatók körében, mivel precíz napszög-számításokat is végez a LAI pontos és automatikus kiszámításához időben. Ehhez az eszközhöz tartozik egy további PAR szenzor is, amely a lombkorona feletti és PAR méréseklombkorona-alattiakkal párhuzamos mérését biztosítja.

Az elmúlt években tapasztalt igen változékony időjárás következtében és a rendkívüli módon megemelkedett alapanyag árak miatt nagyon fontosnak tartom, hogy a lehető legkomplexebb képet kapjunk kultúránk állapotáról és így a lehető legpontosabban tudjuk meghatározni az elvégzendő feladatokat a maximális termés hozam elérése érdekében.

Kísérletemben a műholdas LAI értékeket (Sentinel 2) hasonlítottam össze az Accupar-ral mért adatokkal azért, hogy képet kapjunk a műholdas értékek megbízhatóságáról (Levélterületi index, NASA 1. ábra, Levélterületi index, Magyarország 2. ábra)



1. ábra Levélfelületi Index, NASA (<https://svs.gsfc.nasa.gov/30379>)



2. ábra Levélfelületi Index, Magyarország (Tóth és Szintai 2021)

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 ÁLTALÁNOS TÁPANYAGELLÁTOTTSÁG

A mikroelemeket bizonyos esetekben nem lehet megtalálni a talajokban megfelelő mennyiségben vagy pedig a növények csak nehezen, vagy pedig egyáltalán nem tudnak hozzáférni. A ma alkalmazott intenzív növénytermesztési technológia egyik legfontosabb feladata, hogy a növények által a talajból kivont tápanyagot pótoljuk, hogy a következő vegetáció számára is megfelelő tápanyag-ellátottságú talajt tudjunk biztosítani. A talajban megtalálható és a növénytermesztés szempontjából három legfontosabb makro tápelem a Nitrogén, Foszfor és Kálium mellett nem szabad elhanyagolni a megfelelő mikroelem-ellátottságát sem. A harmonikus növényápolás elengedhetetlen eszköze a jó minőségű termény előállításához. (Sowiński J., Głąb L. 2018)

Esszenciális mikroelemként van jelen a réz és a cink, amelyek nélkülözhetetlen alkotói azoknak az enzimeknek, amelyek növényi anyagcsere-folyamatokért felelnek. Talajban a jelenlétük egyes makroelemek felvehetőségét is befolyásolja (Kovács 2009).

	N (kg/t)	P ₂ O ₅ (kg/t)	K ₂ O (kg/t)	MgO (kg/t)
búza	29	10	17	4
szem	25	8	6	2
szár	4	2	9	2
repce	46	25	53	7,8
becő	33,5	18	10	5
szár	12,5	7	43	2,8
napraforgó	49	34	97	13
kaszat	29	16	24	6,6
szár	20	18	73	6,4
kukorica	24	10	26	6,8
szem	15	8	5,5	3,5
szár	9	2	20,5	3,3
silókukorica	3,8	1,6	2,8	1

3.ábra: Főbb szántóföldi növények átlagos tápelem-felvétele fő és melléktermék szerint megoszlásban (<https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2014/02/szantofold/a-szantofoldi-novenyek-tapanyagigenyenek-meghatarozasa>)

Nitrogén a tápanyag utánpótlás egyik legfontosabb eleme, mivel megfelelő utánpótlása elengedhetetlen a megfelelő és hatékony növénytermesztéshez, valamint az optimális termésmennyiség eléréséhez. Túlzott nitrogénellátottság viszont negatív hatással lehet a növényzetre, amely általában aszályos években gyakori. Ilyenkor a lombozata haragoszöld, viszont érése lelassul. Kevesebb és rosszabb minőségű termést idézhet elő, valamint a kifagyás veszélye is megnövekedhet ilyen esetekben. Hiányakor a növényekben nem képződik megfelelő mennyiségű fehérje, így fejletlenek maradnak a növények és ez is a termés mennyiségének és minőségének csökkenéséhez vezethet, továbbá egyéb tápelemek felvételét is megnehezíti (Eva és mkts 2002).

Foszfor elsősorban a gyökérfejlődésben és a lombképződésben játszik szerepet, amelynek hiányában ezek a folyamatok lelassulnak és a gabonafélék nem bokrosodnak eléggé és ritkulni fog az állomány. Kevésbé lesz ellenálló a betegségekkel szemben és a termésmennyiség és minőség is csökkenhet. A foszfor a nitrogénnel ellentétben az érést a virág és a magvak kialakulását, fejlődését segíti elő. A vízhasznosulásra jótékony hatással van és egy adott mértékig képes ellensúlyozni a szárazság és az aszály kedvezőtlen hatásait. A túlzott foszforellátottságnak köszönhetően közvetetten vezethet negatív hatásokhoz, jelenségekhez, amelyek a tőszám csökkenése és más mikroelemek felvételének gátlása (Kádár 2011).

Kálium hiányában gátlódik a növények növekedése, valamint a nitrogén és foszfor beépülését is lassítja. Elengedhetetlen ahhoz, hogy nyersrost, cukor- és szénhidrát képződhessen. Következmenyei közé tartozik, hogy kevésbé lesz ellenálló a téli hidegekkel szemben, betegségekkel szemben is csökkenni fog az ellenállóképessége nem utolsó sorban pedig a minőségét is rontja a termésnek. Túlsúlya ritkán fordul elő és akkor is a kalcium, magnézium és bór felvételét akadályozza (Duzs és mkts 2020)..

2.1.1 Tápanyagellátottság és LAI kapcsolata

A levélfelületi index szoros kapcsolatban áll a talaj és a növény nitrogén ellátottságával. A magasabb levélfelületi index nagyobb fotoszintetikus kapacitást és ezáltal nagyobb nitrogénfelvételt eredményez a növények számára. Ez a számításokra is hatással lehet, mivel szárazabb időszakokban a talajban túl sok nitrogén található, mivel nem tudja felvenni a növény a víz hiányában. Ez a szokásosnál sűrűbb és sötétebb lombozatot eredményezhet, viszont ezek nincsenek összefüggésben a termés mennyiségével és minőségével (Evans 1983).

2.1.2 LAI és biomassa közötti összefüggések

A vegetációs indexet a biomassa közvetett, nem destruktív becslésére alkalmasak. Mérésével nem közvetlenül a növényi anyag tömegét kapjuk meg, de értéke jól jellemzi a biomassa relatív mennyiségét. (Hafenscher, Koncz 2017.) A biomassa értékének nagyságát befolyásolja a vegetációs indexek értéke. A vegetációs indexek a VIGreen, LAI, NDVI. A különböző módszerekkel becsült vegetációs indexek és a mért (levágott) biomassa között pozitív korrelációt, összefüggést állapítottak meg (Fan és mkts 2009) (Frank és Karn 2003). VIGreen másnéven zöld vegetációs index (Green Vegetation Index), amely egy dimenzió nélküli szám és digitális kamerákkal készített fotókról tudjuk kinyerni az értékeket. Ezek a kamerák három színekkomponensre választják szét a színeket, R (vörös), G(zöld), B(kék). A VIGreen index a növényzetről visszavert zöld (Green) és vörös (Red) színekkomponensek normalizált aránya (%) (Gittelsohn et al. 2002) (1. egyenlet)

$$(1. \text{ egyenlet}) \text{ VIGreen} = \frac{\text{Green} - \text{Red}}{\text{Green} + \text{Red}}$$

Az NDVI a normalizált vegetációs index rövidítése (Normalized Difference Vegetation index) amely egy dimenzió nélküli szám és különböző digitális kameráknak a segítségével készíthetjük el a megfelelő felvételeket. A VIGreen kamerától eltérően nem az RGB csatornákon rögzít, hanem az infravörös tartományban így maga a vegetációs index a NIR és a látható (VIS) csatornák normalizált aránya. (2. egyenlet)

$$(2. \text{ egyenlet}) \text{ NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{VIS}}{\text{NIR} + \text{VIS}}$$

A 700 nm feletti elektromágneses sugárzást a növények képesek visszaverni, míg a 400-700 nm-es látható tartományban elnyelik. Ha a növény élő és fotoszintetikusán aktív klorofill tartalommal rendelkezik akkor az NDVI értéke magas lesz.

A LAI másnéven levélfelületi index (Leaf Area Index). Szintén egy dimenzió nélküli számról van szó, melynek értéke 0 és 18 között is lehet. Egy négyzetméterre nézve a növényzet egy oldali összes levélfelülete. (3. egyenlet)

$$(3. \text{ egyenlet}) \text{ LAI} = \frac{T}{t}$$

T= levélfelület nagysága (m²)

t= A növényállomány alatti terület nagysága (m²)

A LAI-t kiszámíthatjuk a növényzetre eső és a lombozat alatt mért fényintenzitásból. (4. egyenlet)

$$(4. \text{ egyenlet}) \text{ LAI} = \frac{-1}{k} * \left(LN \frac{I}{I_0} \right)$$

k= A levelek Naphoz viszonyított szögállásának jellemzője, extinkciós koefficiens. (gyepek esetén k=0.8)

I= A lombozat alatt mért fényintenzitás átlaga

I₀= Növényállomány felett mért fényintenzitás

Azok az állományok, amik magasabb biomassza értékkel rendelkeznek általában a LAI értékük is magasabb.

A biomassza, LAI és NDVI értékek között erős kapcsolat figyelhető meg, amelyeket alátámaszt az NDVI spektrális indexként történő felhasználása is.

Az NDVI és a biomassza, valamint az NDVI és a LAI közötti erős exponenciális összefüggések arra engednek következtetni, hogy az NDVI magasabb biomassza és LAI értékek esetén telítődik.

A LAI és a biomassza között erős lineáris kapcsolat figyelhető meg, ami annak köszönhető, hogy a LAI-ból származó biomassza mérésében nincs telítettség (Swatantran et al. 2011).

2.1.3 LAI és a stresszállapotok kapcsolata

Hőstressz hatására az asszimilációs felület nagy mértékben képes befolyásolni a növények vegetatív és generatív produkcióját. Ennek a felületnek a nagyságának a mérésére elsősorban a Levélfelületi-indexet alkalmazzuk.

A LAI értéket befolyásolhatja a talajban megtalálható víz mennyisége és felvehetősége, megvilágítás, hőmérséklet, talaj tápanyagellátottsága.

A levélfelület nagysága nagy mértékben függ a termőhelytől, fenofázistól és a genotípustól. Továbbá nagy mértékben meghatározza a levélfelület a növény szárazanyag-beépülését és növekedését. Ha a hőmérséklet az optimális érték körül mozog az pozitív hatással van a LAI növekedésére. Ellenben, ha a felső határ környékén mozog a hőmérséklet az negatív hatással

van a LAI értékére. A melegebb környezet felgyorsítja a termés fiziológiai folyamatait, mivel nagyobb termikus időt biztosít, és ezáltal rövidebb lesz a növekedési idő.

A LAI értékek és a hőmérsékleti indexek közötti regressziós értékek azt mutatják, hogy a hőmérséklet emelkedése gyorsítja a levelek öregedését, valamint a hőstressz negatív okozhat jelentős mértékű negatív hatásokat (Y. Chen és mks 2018).

A víz és nitrogénstressz következtében növények növekedési ütemét közvetlenül befolyásolhatja a LAI értékének emelkedése.

A nitrogényhiány következtében csökkenni fog a LAI értéke, mivel olyankor csökken a levélfelület mértéke és képződésnek időtartama is.

Kukoricánál a legnagyobb LAI értéket akkor lehet elérni, ha 250 kg nitrogént juttatunk ki hektáronként (Takács, Gergely, Ördög 2021).

A növényzet nitrogénkoncentrációja lineárisan összefüggést mutat a klorofill maximális abszorpciós zöld és távoli vörös sávjával.

Az NDVI korreál a területi nitrogéntartalommal, mivel a LAI és a látható sáv reflexiói közötti szignifikáns lineáris korreláció, valamint a LAI és a területi nitrogéntartalom között szoros kapcsolat figyelhető meg.

2.1.4 A levélfelületi index

A fenometriai mérőszámokat gyakran használják egy mezőgazdasági kultúra, haszonnövény fiziológiájának, morfológiájának vagy viselkedésének a méréséhez. Ezek a mérőszámok felhasználhatók egy szervezet környezetre adott válaszána nyomon követésére. A fenotípus egy szervezet bármely mérhető aspektusa, amelyet környezeti tényezők vagy gének befolyásolhatnak. Ide tartoznak a fizikai tulajdonságok, mint például magasság, szín, fejlettségi állapot. Erre példa a levélfelületi index, amely azt mutatja meg, hogy mekkora a levélborítottság egy adott területen. A levélfelületi index egy dimenzió nélküli szám, amely azt fejezi ki, hogy hány négyzetméter levélfelület jut egy négyzetméternyi földterületre. Kulcsfontosságú tényező a lombkoronaszerkezet és a fotoszintetikus aktivitás meghatározásában. Megkülönböztetünk egy- és kétoldalas levélfelületi indexet. Az előbbi a levél egyik oldalára vonatkozik, míg az utóbbi mindkét oldalra. Ennek az indexnek a célja, hogy a levélfelületet számszerűsíteni lehessen. A levélfelületi index annak mérése, hogy egy adott területen mennyi levélfelület található. Gyakran úgy számítják ki, hogy megfelelnek a kétoldalas indexet, amely minden egyes

oldalnak azonos súlyt ad. Alapesetben amikor a levélfelületi indexről beszélünk az egyoldalas indexre gondolunk. (Huzsvai et al., 2004)

A Levélfelületi index előnye, hogy gyorsan és egyszerűen lehet vele megállapítani a levelek fényelnyelő és fényfelfogó képességét. Ez hasznos eszközzé teszi a lombkorona fényelnyelésének becslésére és a különböző növényfajok vagy kezelések közötti összehasonlítására. Továbbá jól jellemzi egy adott növénypopuláció sűrűségét, és számos területen használják a felszín-légkör kölcsönhatások modellezésében is paraméterként. Az értéke nem lehet negatív, a reflektancia-alapú vegetációs indexekkel szemben a lombzat által elnyelt – távérzékeléssel közvetlenül meg nem határozható - fényhányadon alapul. Ennek a módszernek azonban az a hátránya, hogy az értékét a térben sok ponton munkaigényes meghatározni. Ez a módszer továbbá nagyon érzékeny a légköri viszonyok változásaira. (Mészáros et al., 2009)

2.2 LAI MEGHATÁROZÁS ÉS MÉRÉS MÓDSZERTANA

2.2.1 Mérések általános jellemzése

A levélfelületi-index (LAI) a levelek mennyiségét méri meg egy adott területen. Többféleképpen is becsülhető, például sugárzásmérővel, műholddal, mennyiségi alapon. Fontos, hogy minden esetben pontosan meg tudjuk határozni a lombzat felületét, valamint a levelek alatti földfelszín területét (Huzsvai et al., 2004).

A levélfelületi-index pontos mérésének érdekében rendszeres levélfelület-mérésekre van szükség. Az éghajlat, földrajzi elhelyezkedés és a területen található növényfajok is befolyásolják a LAI értékét. Ezen tényezők legkisebb változása is jelentős hatással lehet a levélfelületi index értékre (Scurlock et al., 2001; Breuer et al, 2003).

A levélfelületi index számos ökológiai vizsgálatban kulcsfontosságú paraméter. Azt méri, hogy a talaj mekkora részét borítják levelek, és általában egy ökoszisztéma fotoszintetikus kapacitásának becslésére használják. A mérés nagy távolságokon szinte pontszerűnek érzékelhető, mivel csak egy kis területet fed le. A növényzet és a növénytakaró mértéke változó és nehéz különbséget tenni a növényfajok a növényzettel borított és nem borított területek, valamint a növénytakaró mértéke között. Mikrometeorológiai módszerekkel nagy pontosságú mérést végezhetünk. (Breuer et al, 2003).

A mikrometeorológiai méréseknek számos előnye van más módszerekkel szemben, leginkább pontosságukban. Hátránya, hogy egyszerre csak viszonylag kis területeken lehet méréseket

végezni, ha pedig nagyobb területen szeretnénk ilyen méréseket végezni az jóval időigényesebb lehet. Ahhoz, hogy a légkörről átfedő képet kapjunk, sok mérőállomásra lenne szükség, ami rendkívül költséges lenne.

Napjainkban a távérzékelés (pl. műholdak segítségével) már egyre pontosabb képet ad a növényzetről. A legújabb műholdak már néhány méteres pontossággal is megkülönböztethetjük a Földfelszínt. Manapság viszont már 10 méteres pontossággal tudjuk megmérni a levélfelületi indexet, és ezáltal pontosabb képet kaphatunk arról, hogy a Föld növényzete hogyan befolyásolja a globális éghajlatot. (Borak és mks., 2008).

Az ideális egy olyan mérési hálózat létrehozása lenne, amely magába foglalja a terepi, távérzékelési, valamint a regionális és a globális léptékű méréseket is. Így a paraméterek becslése nagy sűrűségű mérőhálózat nélkül is elvégezhető. A műholdas mérések kisebb valószínűséggel eredményeznek nagy területi hibákat, míg a közeli mérések lehetővé teszik a pontosabb mérések elvégzését és a becslések nagyobb területre való kiterjesztését.

Ezt a fajta rendszert gyakrabban használják a modern meteorológiában a növényi paraméterek, többek között a levélfelületi index terén elért fejlődés eredményeképpen. A rendszer még nem került teljeskörűen bevezetésre, de a meteorológiában való felhasználása nagy lehetőségeket rejt magában. (Bakó K. I., Huzsvai L., 2014).

2.2.2 Egy levél felületének mérése

Egy levél felületének pontos mérésének a legpontosabb módszere, ha a levél körvonalát körbe rajzoljuk egy milliméterpapírra és megszámloljuk a négyzeteket. Ezt a módszer manapság már a digitális technológia segítségével is elvégezhető. Például egy milliméteres pontosságú érzékelő ráccsal ellátott érzékelő felületre helyezük és a felületet a számítógép, vagy a mérőműszer automatikusan meghatározza.

Másik digitális módszer is alkalmazható. Ilyenkor a levelet egy digitális fényképező segítségével felülről és merőlegesen lefotózzuk, majd egy grafikai program alkalmazásával a rendszer képes meghatározni a körbe rajzolt levél területének mértékét. Ebben az esetben viszont fontos, hogy ügyeljünk a méretarányokra és ami a valóságban is 1 mc az a programban is annyi legyen.

További lehetőség lehet, ha egy fehér papírra helyezve lefényképezzük a levelet és kontrasztossá tesszük, így a papír fehér marad a levél pedig fekete színű lesz és ezután csak meg kell határoznunk a színek aránytát.

A növény fajtáját vagy a levél formáját ismerve a levélfelületet a lenti képlettel határozhatjuk meg (Huzsvai et al., 2004)

$$LA = (s - h) / K = k (s h)$$

s = levél maximális szélessége

h = levél maximális hosszúsága

K és k fajra és fajtára vagy levélformára jellemző állandó.

2.2.3 Kiterítéssel módszer

Erdészek alkalmazzák ezt a módszert, mivel egyszerű, de mégis hatékony. Ősszel a lehullott avar begyűjtésével kezdik meg, ilyenkor gondosan ügyelve arra, hogy mekkora területről szedték össze a leveleket. Egymás mellé kiterítik a leveleket és megméri a levelek együttes felületét. Majd egy egyszerű osztásnak a segítségével határozhatjuk meg a levélfelületi indexet az adott területen (Richter 2009).

2.2.4 Tömegmérésen alapuló módszer

Az eljárás csak teljesen lehullott levelek esetén alkalmazható, hiszen csak így tudjuk meghatározni a teljes lombzat felületét. Az eljárás az empirikus állandó hibája, valamint az összes levél összegyűjtésének és lemérésének lehetetlensége miatt viszonylag pontatlan, és amúgy sem esik le egyszerre. A száraz leveleket azért számolják, mert a nedves levél és a száraz levél súlya nem azonos. Azt is tudni kell, hogy a lehullott levél már nem ugyanaz, mint ami a növényen van. Lehullás után a levél már nem része az élő szervezetnek, bomlásnak indul és elveszti tömegét (Újvári et al., 2001).

2.2.5 Halszemoptikás módszer

A halszem optika eredetileg meteorológiai és csillagászati célokra, Robin Hill angol tudós által 1924-ben kifejlesztett objektív. Manapság egyre népszerűbb a mindennapi életben. Jellemzően ívelt optikai lencsével rendelkezik. Különlegessége, hogy a tér minden irányában 180 fokot meghaladó látószöggel valós képet kapunk. A kapott kép kör alakú. Ha a zenit irányába fotózunk, 180 fokos vagy annál nagyobb látószögű objektívvel, akkor az egész égboltot félgömbnek látjuk.

A digitális fényképezés ideális alkalmazás, mivel az adatok közvetlenül a számítógépre vihetők át. A gépet úgy kell elhelyezni, hogy lencséje függőlegesen felfelé nézzen.

A kép elkészülte után a program elemzi a képen látható növények területét, megkülönböztetve azt az égbolttól. A programnak ki kell számolnia mind a dőlésszöget, mind a levelek közötti távolságot, hogy meg tudja határozni, hogy mely területeken mekkora levélfelület van. Hogy a levelek milyen távolságra vannak egymástól, azt a levelek méretéből és dőlésszögük változásából lehet megállapítani (Richter 2009).

2.2.6 Sugárzásmérővel történő mérés

A hordozható, kézi LAI RL-radiométerek optikai lencsét és szűrőt tartalmaznak, és a fotoszintetikusan aktív sugárzási tartományban (PAR) mérnek. A levelek fényelnyelése és elfogása alapján kiszámítják a műszerbe jutó direkt és diffúz sugárzás arányát, valamint a több magassági szinten mért fénycsillapítás arányát.

A manuális módszer nehezen hozzáférhető, és csak nagyon körülményesen, vagy egyáltalán nem használható sűrű erdős területeken. Az lombkorona magasságát meghaladóan a mérés gyakran csak helikopterrel, repülőgéppel vagy műholddal történhet. Ezért a digitális képalkotó technológia és a távérzékelés szerepe folyamatosan növekszik.

A távmérés esetén mérésekkel meghatározható egyes növénytársulások, növényfajok, egyes talajtípusok albedója. Ha ismerjük a terület talaj- és növény típusait, a mérőműszerünkön visszaverődő sugárzás százalékától függően következtethetünk a levélborítás mértékére, ebből pedig a levélfelületi indexre.

A sugárzásméréseknél a levélfelületi index és a reflexiós tényező közötti összefüggés 0,6 és 0,9 között változik, ami azzal magyarázható, hogy a növény lombzatának helyzete és dőlésszöge is befolyásolja az elektromágneses sugárzást. A vízigényes növényfajok esetében közel vízszintes, a szárazságtűrőknél közel függőleges levélállást figyelhetünk meg. Ennek figyelembevételével pontosítható a növényfajok távérzékeléssel történő meghatározása (Unger és Sümegehy 2002) (Bognár 2003).

2.2.7 Műholdas mérés

A műholddal történő mérések radiancián alapulnak. a légköri viszonyok nagy mértékben befolyásolhatják a mérés pontosságát és hatékonyságát.

Az említett okok miatt a LAI műholddal nehezen mérhető, ezért a pontszerű méréseknél távérzékelte adatokat használnak fel, illetve a LAI meghatározásában más, a LAI-hoz szorosan kapcsolódó változók (vegetációs index - NDVI) is szerepet játszanak (Borak és m.ks. 2008).

2.3 ACCUPAR

Az AccuPAR modell LP-80 egy menüvezérelt, elemmel működő lineáris PAR ceptométer, amelyet a növények lombkoronain belüli fényelfogás mérésére és a levélterületi index (LAI) kiszámítására használnak. Integrált mikroprocesszor-vezérelt adatgyűjtőből és szondából áll. A szonda 80 független érzékelőt tartalmaz, egymástól 1 cm távolságra. A fotoszenzorok a PAR-t (Photosynthetically Active Radiation) mérik a 400-700 nm-es hullámsávban. Az AccuPAR a PAR-t mikromol/m²/s egységben jeleníti meg ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). A műszer alkalmas kézi vagy felügyelet nélküli mérésre.

Az LP-80 kalibrált külső PAR érzékelővel rendelkezik, amellyel egyidejűleg a tető feletti és alatti PAR méréseket végez. Az LP-80 is ezt az érzékelőt használja az AccuPAR szonda kalibrálására, biztosítva, hogy a külső érzékelő és a szonda közötti PAR válasz azonos legyen (satimagingcorp 2023).

Az optimális eredmények elérése érdekében a külső par érzékelőt a kalibrálás során az LP-80-as készülékhez kell csavarozni, úgy, hogy a vízszintjelző mellett található lyukba helyezzük. Ennek a segítségével tudjuk mindkét eszközt vízszintesen tartani.

A PAR szintnek 600 $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ felett kell lennie. Minden alkalommal, mikor új területen végzünk méréseket kalibrálni kell az eszközt, viszont a 600 mikromol alatti értékeknél nem frissül a kalibráció. Tiszta napsütéses napokon ez az érték mindig magasabb lesz, mint 600 mikromol, viszont borongósabb, felhősebb időben vagy az átlagosnál alacsonyabb napsütéskor ez az érték nem minden esetben éri el a minimum kalibrációs értéket (metergroup 2023).

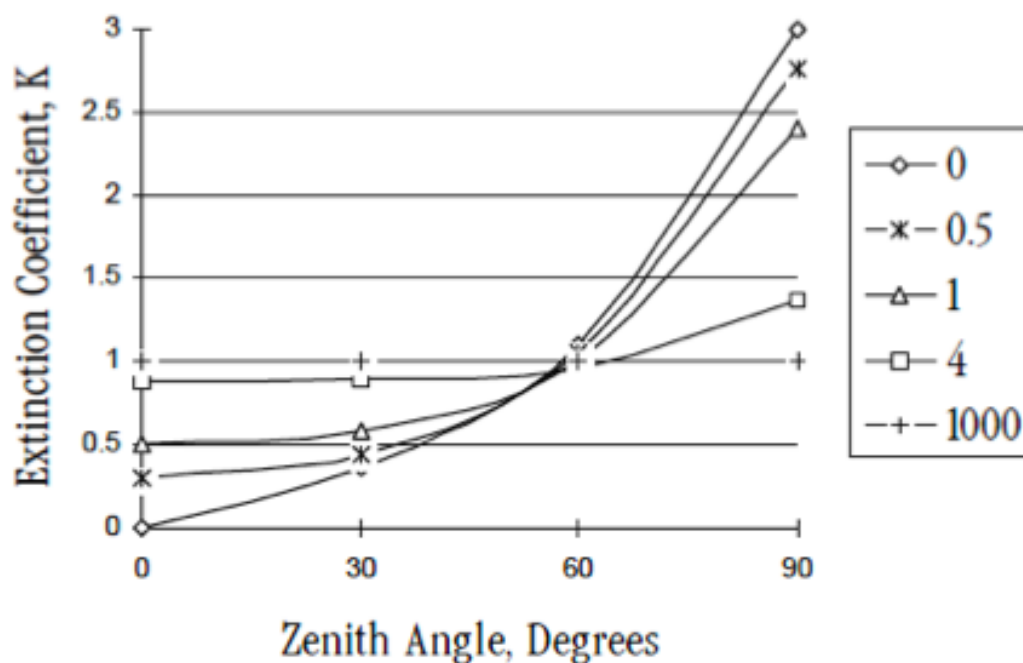
Ügyelni kell mind a kalibrációnál, mind pedig a méréseknél is, hogy a mérni szánt területre eső árnyéknál ne érje nagyobb felületen árnyék az érzékelőt, hogy pontos adatokat kapjunk. Ügyelnünk kell, hogy a testünkkel vagy a kezünkkel ne árnyékoljuk a mérőeszközt.

A PAR vagy fotoszintetikusan aktív sugárzás a nap elektromágneses sugárzásának az a tartománya, amely a növényekben a fotoszintézist végrehajtja. Ez a sugárzás a 400-700 nanométeres hullámsávban van. A növényi lombkoronán áthatoló és az alatta lévő talajfelszínre elérő sugárzás mennyisége a lombkorona sűrűségétől függően nulla és 100% között változhat. Ez azt jelenti, hogy a pontos PAR mérés érdekében több mintát kell venni a lombkorona alatti különböző területekről.

Az AccuPAR által a növény lombkoronáján belül mért PAR (fotoszintetikusan aktív sugárzás) a levelek közötti réseken és a leveleken keresztül áteresztett sugárzás és a levelek által a lombkoronán belül szórt sugárzás kombinációja (ictinternational.com 2023).

2.3.1 Az elnyelési együttható és a lombkorona szerkezete

Ha a lombkorona elemei véletlenszerűen oszlanak el a térben, akkor elméletileg kiszámítható annak a valószínűsége, hogy egy fénysugár képes-e áthaladni a lombkoronán anélkül, hogy megszakadna. Ezt a valószínűséget transzmittancia valószínűségnek nevezzük. Az el nem fogott behatolás valószínűsége megegyezik a napfolt-frakcióval, amely a lombkorona sugárzás átviteli együtthatója. Más szóval, a lombkoronán áthaladó és az növényzettel fedett talajt érő sugárzás mennyisége eltérő.



4. ábra

Amint az 4. ábrán látható, az extinkciós együttható erősen függ a zenitszögtől (a vízszintes felületre érkező sugárzás beesési szöge), és az együttható nő, ahogy a zenitszög közelít a 90 fokhoz. Az X 0 és 1 közötti értékek esetén csökkenhet, mivel ilyenkor a nap a fejünk felett

helyezkedhet el közvetlenül és ilyenkor az összes levelet éri napfény. A leveleken átvezető út hossza minimális és kevés az árnyék. Ezért a napfény nagy része szétszóródik vagy elnyelődik. A kitolási együttható körülbelül 57 fokos zenitszögnél közel egységnyi minden lombkorona esetében. Ha a levelek vízszintesen állnak a K kioltási együttható minden magassági szögére egységnyi, de ahogy az X csökken a K kisebb lesz nagy zenitszögeknél és nagyobb lesz kis zenitszögeknél.

Az egy zenitszögben mért lombkorona-transzmisszió felhasználható más zenitszögek átvitelének vagy sugárzásfelfogásának előrejelzésére.

2.3.2 LAI mérések és nem véletlenszerű eloszlás

Sok vita folyik a LAI meghatározásának inverziós módszereiről. Mivel minden inverziós módszer azon a feltételezésen alapul, hogy a lombkorona elemei véletlenszerűen oszlanak el a térben. A LAI mérésének hibái származhatnak a lombkoronaelemek nem véletlenszerű elrendezéséből. Ez különösen igaz a túlevelű erdőkre, a lombkoronazárás előtti sornövényekre, vagy a nem záródó lombkoronákra, mint például a sivatagi növényzetben. A mérési hiba mértéke a lombkorona e véletlen diszperziós feltételezésétől való eltérés eredménye (Fang és mkts 2019).

A korábbi tanulmányok a LAI-t használták mind a tényleges biomassa-terület, mind a PAR elfogásának egy növényi lombkorona általi összefüggésére. Egy másik javasolt nézet a LAI-val kapcsolatban, amelyben az L a tényleges levél felület egy új kifejezésre, az L_e -re vonatkozik, amely a lombkoronaelemek valódi orientációját jelenti a PAR adott szögben történő elfogásakor. A LAI félgömb alakú fényképezéssel végzett in situ méréseit ezzel az új „effektív növényterületi-index” (L_e) kifejezéssel azonosították, amelyet a következőképpen határoztak meg:

$$(5. \text{ egyenlet}) L_e = \Omega L$$

Ahol az L_e a tényleges levélfelületi-indexet jelenti, amely megegyezik a betakarított levélfelület mérésével és a Ω a lombkoronaelemek nem véletlenszerű eloszlásból származó csomósodási indexre utal.

Amikor egy lombkorona véletlenszerű diszperziót mutat, akkor a Ω értéke egységes, azonban, ha egy lombkorona össze van csomózva, akkor a Ω értéke nem egységes. Egy véletlenszerűen szétszórt lombkoronában L egyenlő L_e -vel (5a. ábra). Egy alulról szórt lombkoronában L

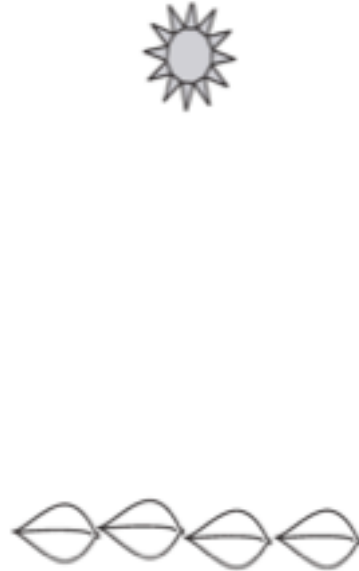
nagyobb, mint L_e (5b. ábra). Egy túlzottan szétszórt lombkoronában L kisebb lenne, mint L_e (5c. ábra).



5a. ábra



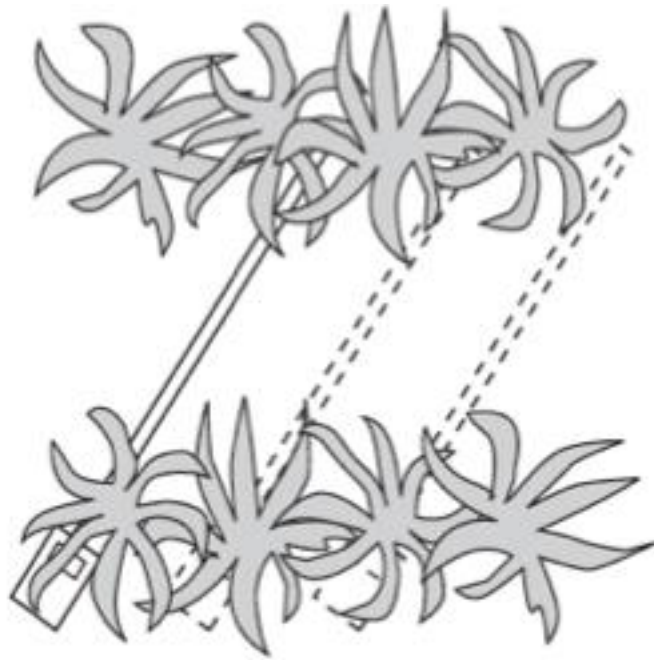
5b. ábra



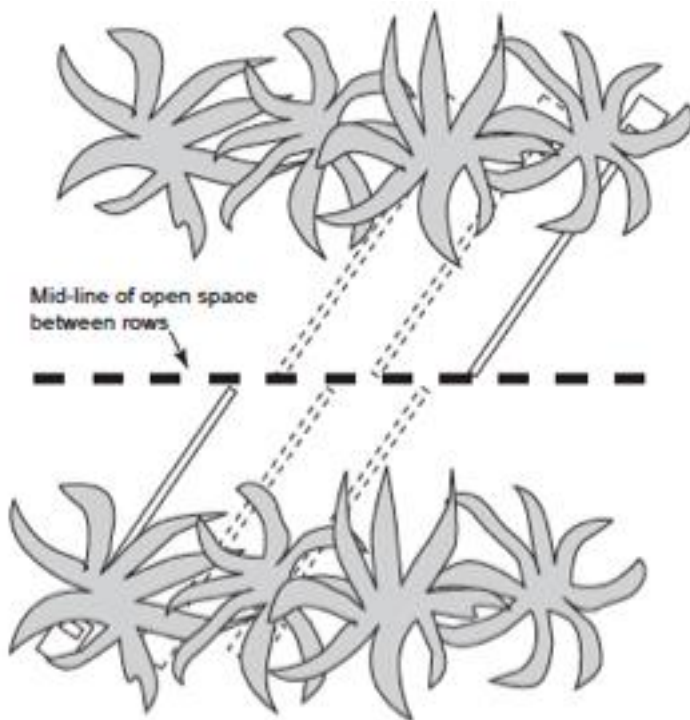
5c. ábra

2.3.3 LAI mintavétel sornövényeken

Az AccuPAR gyakori felhasználási területe a gabona és kapás kultúrák levélfelületi indexének mérése a hatékonyság növelése és a növekedés optimalizálása érdekében. A levélfelületi index mérésevel a gazdálkodók javíthatják a terményük fotoszintetikus potenciálját. A lombkorona alatti PAR környezet pontos méréséhez fontos, hogy a méréseket úgy végezzük, hogy soronként a teljes területet átfogjuk. Ez azt jelenti, hogy a növények alatt és a sorok között is méréseket kell végezni annak érdekében, hogy jól reprezentálható legyen. Ajánlott, hogy a szonda vagy a sor közepétől a sor közepéig, vagy a sor közepétől a sorok közötti szabad tér közepéig terjed, a sorszélességtől és a lombkorona méretétől függően.



6a. ábra: A szonda két vége mindkét sor közepén van, így jó reprezentatív mintát kap a sorok alatti és közötti teljes területről.



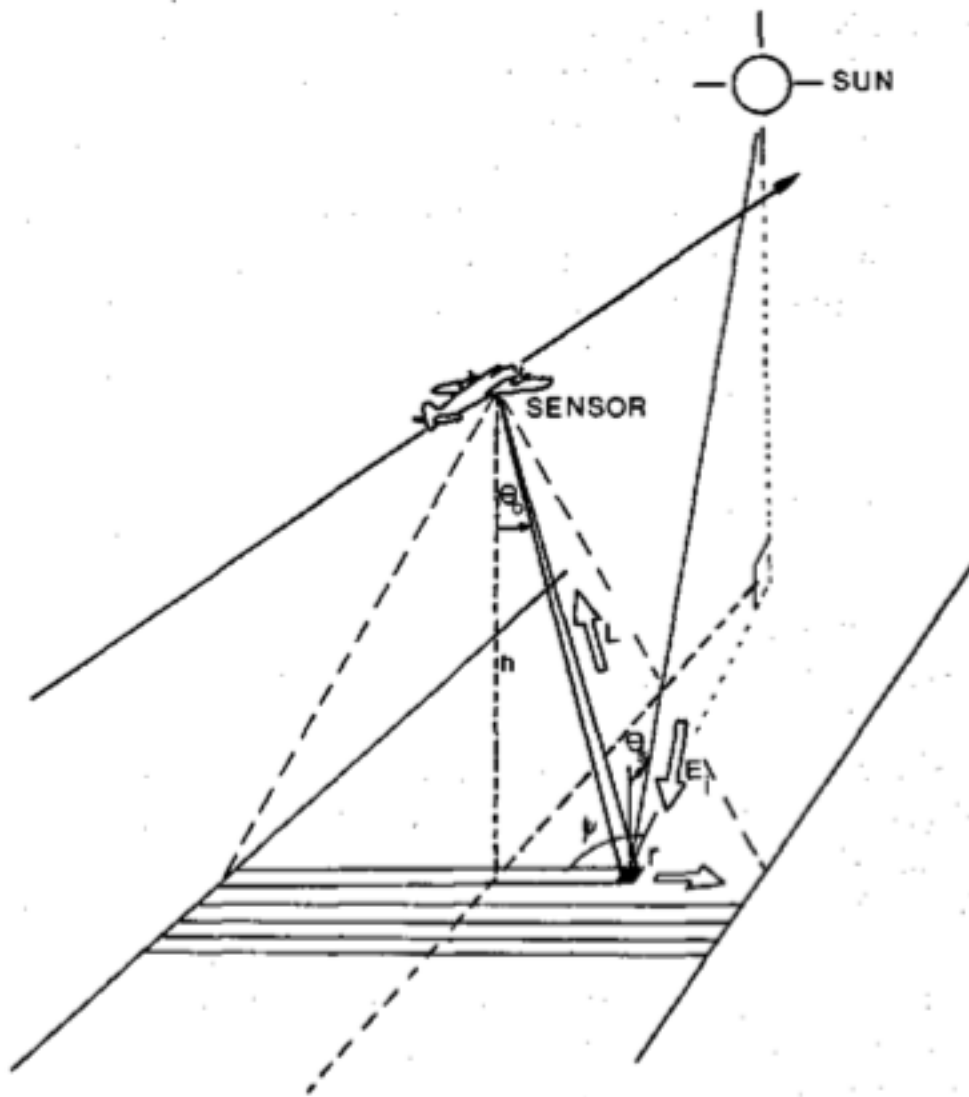
6b. ábra: A szonda eleje a sorok közepén van, míg a vége a sorok közötti szabad terület közepén található. A következő sor mintavételekor ugyanaz a tájolás marad meg, ami a teljes terület pontos ábrázolását adja.

2.4 MŰHOLDAS ADATOK

2.4.1 A visszavert sugárzás észlelése

A távérzékelési technológia lehetővé teszi számunkra, hogy adatokat és információkat gyűjtsünk a földfelszínről anélkül, hogy fizikailag ott kellene lennünk. Ehhez műholdakon vagy repülőgépeken elhelyezett érzékelőket használnak, amelyek a földfelszínről visszavert elektromágneses sugárzást mérik. Ily módon a tárgy által kibocsátott vagy visszavert fény spektrális összetételének jellegzetes különbségeiből gyűjtenek információt. Ez felhasználható a tárgy tulajdonságainak, például kémiai összetételének vagy hőmérsékletének meghatározására.

Ahhoz, hogy a távérzékelési technikát a leghatékonyabban használhassuk alaposan meg kell értenünk, hogy hogyan érhető el a kívánt eredmény. Ez a folyamat nagymértékben függ mind a visszaverő objektum fizikai tulajdonságaitól, mind a beeső sugárzástól. Mivel a detektálás általában egy bizonyos térszögben történik, változó megfigyelési szöggel, a spektrális sugárzás nem mindig felel meg a fizikai mennyiségnek. Az egységnyi területre jutó teljesítmény, amelyet egy test egységnyi területéről és egységnyi hullámhossz-intervallumra vonatkoztatva a megfigyelés irányába sugároznak, spektrális sugárzásnak nevezzük. Egy adott terménytípus megjelenése a képeken nagymértékben függ a benne lévő pigmentek típusától. A megfigyelés geometriájának, valamint a földi légkör szórási és abszorpciós tulajdonságainak függvényében, amely transzmisszióként viselkedik.



7. ábra: A földfelszínről történő kétirányú visszaverődés geometriájának szemléltetése, ha levegőben szkennelő rendszert használnak a távérzékeléshez

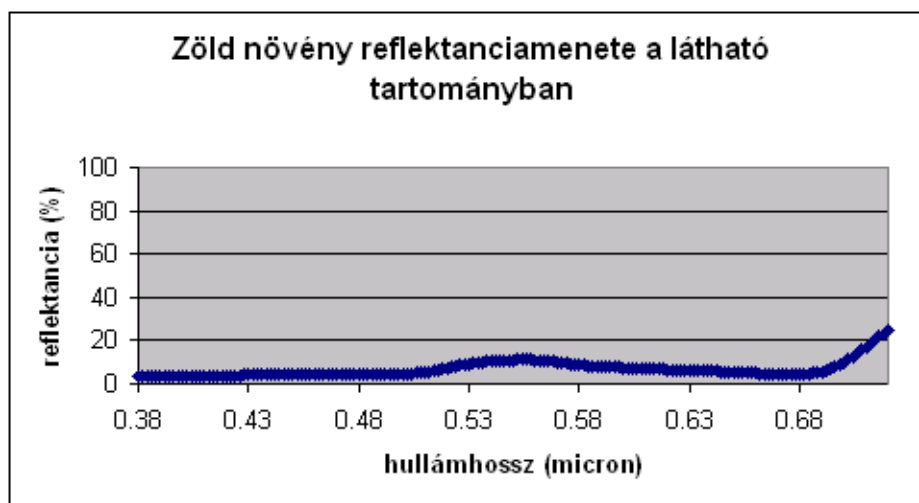
A légkör áteresztőképességét és szórási tulajdonságait elsősorban a légkör összetétele és az aeroszol eloszlása határozza meg. Ezeket a tulajdonságokat befolyásolhatja a repülési magasság és a pillanatnyi észlelési irány. Rengeteg adat áll rendelkezésre arról, hogy a légkör hogyan befolyásolja a mért spektrális besugárzást. Az áteresztőképességet és a szórási tulajdonságokat leginkább a légkör összetétele és az aeroszol eloszlása határozza meg. Ugyanakkor a magasság és az észlelési irány is szerepet játszik. E mennyiségek értékei a meteorológiai viszonyoktól és a földi helyzettől függően változnak, és változhatnak az érzékelőrendszer repülési útvonala mentén is. A visszavert légköri sugárzás távérzékelésre gyakorolt hatásának számszerűsítésére különböző empirikus és matematikai módszerek és modellek használhatók. Az előbbi modellek

az elektromágneses sugárzás légkörön keresztül történő sugárzási átvitelének egyenletein alapulnak.

2.4.2 Radiancia, irradiancia, reflektancia

A reflektancia egy felszín visszaverő képessége, a felszín által visszavert sugárzás és a felszínre eső sugárzás hányadosa. A fényvisszaverő képesség a fény hullámhosszától függően változik. Egy adott felület különböző hullámhosszúságú sugárzást ver vissza. A fényvisszaverő képesség hullámhosszfüggése azaz a tárgyak látható tartományban mért fényvisszaverő képességére a mindennapi életben a tárgy színéből következtethetünk (Molnár, 2014.).

Az alábbi ábra a zöld növények fényvisszaverő képességének hullámhosszfüggését mutatja. A rövid hullámhosszú (kék) és a hosszú hullámhosszú (piros) tartományokban alacsony volt a fényvisszaverő képesség, míg a hullámhossztartomány közepén (zöld) magasabb fényvisszaverő képességet mértek. Mivel a növények többnyire zöld hullámhosszú fényt verik vissza a napból, ezért jellemzően zöld színűek.



8. ábra: Zöld növények reflektancia-spektruma

Egy másik esetben a felület fényvisszaverő képességének irányfüggését kétirányú fényvisszaverő képesség-eloszlási függvénynek (BRDF) nevezik. A BRDF azt írja le, hogy egy adott szögben hogyan szóródik a fény egy felületről. Ez a függvény határozza meg, hogy egy felület különböző irányokban, különböző megvilágítási irányok esetén mekkora sugárzásmennyiséget ver vissza. A felületi visszaverődést befolyásolja a beesési szög, a visszaverődési szög és a felület érdessége (Justus és Paris 1985).

A radiancia egy egységnyi felületen áthaladó, egységnyi térszög irányából érkező spektrális teljesítménysűrűség. A távérzékelő műszer detektorára beeső sugárzás teljesítménye a műszer optikájának apertúraszögével és a színszűrővel jellemezhető a mérendő hullámhossztartományban. A műszerek kalibrálása meghatározza a műszerbe belépő sugárzások és a műszer által kimenő digitális jelszint közötti kapcsolatot. A gyártók igyekeznek lineárisan alakítani a műszer bemenete és kimenete közötti kapcsolatot. A kapcsolatot leíró egyenletben az α és β együtthatók a műszerállandókat jelentik, ahol CN a műszer által kijelzett digitális jelszint (Molnár 2014).

(5. egyenlet) $L = \alpha * CN + \beta$

Az irradiancia a beeső (Nap) sugárzás, a radiancia valamely tárgy/objektum felszínét elhagyó sugárzás a kettő hányadosa pedig a reflektancia.

2.4.3 Vegetációs indexek

Az NDVI másnéven Normalizált vegetációs index, amely a leggyakrabban használt index, amelyet műholddal figyelnek meg. A felszín zöldességét, fotoszintetikus aktivitását lehet megfigyelni. Az NDVI értékek a biomasza mennyiségét (a levelek klorofill- és víztartalmát) fejezik ki egy adott helyszínen. Ezek az értékek 0 és 1 között mozoghatnak, de nincs konkrét mértékegységük. A csupasz talaj NDVI értéke általában 0,0-0,05 körül van, míg a sűrű növényzeté általában 0,9 vagy annál magasabb. Minél sötétebb zöld egy terület, annál magasabb a vegetációs index értéke. Ez egészséges, vízzel és tápanyagokkal jól ellátott, erősen növekvő növényállományt jelez. A legzöldebb területek a sűrű erdőkben találhatóak, ahol a fák sűrűn állnak egymás mellett, és kevés az aljnövényzet (0,8-0,9). A sűrű erdők olyan helyeken találhatóak, ahol egész évben nagy mennyiségű csapadék esik. Ha egy növény kicsi, és körülötte sok a csupasz talaj, vagy ha víz- vagy tápanyaghiányban szenved, indexértéke alacsonyabb. Ez a helyzet akkor is, ha a növényt betegség vagy kártevő támadja meg. A repceolaj értéke bizonyos fenológiai fázisokban is csökken, például a növény virágzásakor vagy a vegetációs időszak vége felé, az érés során. Ez azért van, mert a növény zöld részeinek mennyisége csökken. Az NDVI-indexet a fotoszintetikus aktivitás mutatójaként használják. Az index az elektromágneses spektrum látható és közeli infravörös tartományait használja a növényzet mérésére. A levelekben lévő klorofill mennyisége erősen elnyeli a kék tartományban lévő fotonokat (Kovács, Molnár 2019).

A levélfelületi index a növényen lévő levelek mennyiségét mutatja meg a talaj felületéhez viszonyítva. Ez az index használható annak meghatározásához, hogy mennyire egészséges a növény, valamint, hogy mennyi napfényt kapnak a levelek. A növény és a légkör közötti energia- és tömegáramlás felületének meghatározásához figyelembe kell vennünk a talajtípust, a növényzet típusát és az éghajlatot. Ez a három tényező befolyásolja a növény közötti víz- és hőcsere mennyiségét. A növények levélfelületi indexe a termelékenység egyik legfontosabb meghatározója a növénytermesztésben, és különböző növények esetén más más maximális értéket mutat. Az őszi búza esetén ez az érték 2,1-2,4 között volt a saját méréseim alapján, a kukorica esetében pedig 1,7 -1,8 között helyezkedik el. A műholdas mérésekből becsült LAI érték az összes zöld növény szint összege, beleértve a legalacsonyabb szinteken is. Ez azt jelenti, hogy a LAI érték hasznos információt nyújt egy terület növényzetének mennyiségéről és a növényzet sűrűségéről. Az erdők esetében ez magába foglalja az aljnövényzetet is, amely jelentősen hozzájárul az index értékéhez. Az erdő aljnövényzete fontos élőhelyet biztosít számos kisállat számára, és segít szabályozni az erdők hőmérsékletét és nedvességtartalmát. A levélfelületi index műholdas adatait a növénytakaró vastagságának becslésére használják. A LAI csak az aktív zöld levélfelületet, azaz a fotoszintetikusan aktív leveleket veszi fel. Általában az éghajlati és hidrológiai modellekben használják, hogy segítsen a víz-, a hő- és a talajvízcseré szimulálásában (Kovács, Molnár 2019).

A FAPAR másnéven fotoszintetikusan aktív sugárzás elnyelési aránya, amely a szárazföldi növényzet állapotát és fejlődését számos fizikai és biokémiai és fiziológia változóval jellemzi. Ezen változók közé tartozik például a növényzetet érő napfény mennyisége, a környezet hőmérséklete, a talaj típusa. Ezeknek a változók némelyike megfigyelhető az űrből műholdak segítségével és ezek kombinálásával a növények által elnyelt fotoszintetikusan aktív sugárzást lehet meghatározni. A FAPAR a növény zöld leveleiben zajló fotoszintetikus aktivitás mutatója. Így a növényi zöld tömeg állapotának és egészségének komplex mutatója. Az elsődleges módszer a FAPAR és az effektív növényi fotoszintetikus fotonok és a megfelelő fekete test sugárzás aránya közötti kapcsolaton alapul (Baret & Guyot, 1991).

Az élő zöld növényzet a fotoszintézishez elnyeli a napsugárzás egy bizonyos mennyiségét és a FAPAR-index ennek a mennyiségnek az arányát számszerűsíti. A LAI egy olyan szám, amely a növény leveleiből származik, és amely segít megmutatni, hogy a levelek mennyi fényt képesek felfogni. Ez a szám 0 és 1 között mozog, és nincs mértékegysége. A levelekről visszaverődő fény erőssége a fa lombkoronájának szerkezetétől vagy a növényzet sűrűségétől, a lombkorona szerkezetétől és egyes levelek fényvisszaverő képességétől, valamint a fényviszonyoktól függ. A napi

összeget azért alkalmazzák, mivel a nap folyamán mért értékek folyamatosan változnak. A FAPAR kulcsfontosságú tényező a globális szénkörforgásban a bioszférához és a szántóföldi növénytermesztéshez való hozzájárulásban. Ez az index a növényzet által elnyelt fotoszintetikusán aktív sugárzás (PAR) mennyiségének becslését adja meg. Ezért a szárazföldi bioszférával kapcsolatos vizsgálatokban, például a szárazság és a fenológia tanulmányozásában használják, valamint a termés előrejelzését szolgáló számításokban (Kovács, Molnár 2019).

A DMP-index, másnéven szárazanyag produktivitás egy olyan index, amelyet a tudósok a növényzet növekedési ütemének mérésére használnak. Az index a biomassza szárazanyag-tartalmának mennyiségét vizsgálja, annak meghatározására, hogy a növények mennyire jól növekednek. Ez az információ azért fontos, mert segíthet a FAPAR-index mellett a potenciális párolgás kiszámításához műholdas mérések és időjárási adatok felhasználásával. Mértékegysége kg/ha/nap, amely annyit takar, hogy naponta hektáronként hány kg szárazanyag termelődik (Kovács, Molnár 2019).

Az FCOVER-index a zöld növényzettel való borítottság arányát mutatja meg. Ezt az értéket nem befolyásolja a megvilágítás iránya, és az, hogy mennyi növényzet van jelen a területen. Ideális mérőszám a globális ökoszisztéma értékeléséhez (Kovács, Molnár 2019).

3.0 VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

3.1 SENTINEL LAI PRODUCT

A műholdas adatokat a <https://scihub.copernicus.eu> oldalról lehet ingyenesen letölteni. Ahhoz, hogy ezekhez az adatokhoz hozzáférjünk regisztrálni kell, majd ezt követően válnak elérhetővé a Sentinel műholdak mérési eredményei. A portálra történő bejelentkezés után a térképen jelöltem ki, hogy mely területekről szeretnék adatokat begyűjteni és letölteni. Kiválasztottam, hogy a Sentinel 2-es L2A feldolgozottági szintű adatokat szeretnék letölteni, majd a keresési eredményekből kézzel választottam ki a megfelelő dátumhoz tartozó, lehetőleg teljesen felhőmentes képeket. Miután kicsomagoltam az adatokat (.zip) a Sentinel Application Platform, SNAP szoftver használatával dolgoztam fel.

Alapvetően 3 féle térbeli felbontású raszter található a letöltött állományokban, ezek 60, 20 és 10 méteresek. Ahhoz, hogy a különböző felbontású rasztereket egyszerre felhasználó számításokat lehessen végezni, szükséges a raszterek újra mintázása (resampling). A SNAP Raster/Geometric/Resampling eszközét használtam, és 10 méteres felbontásra hoztam a

sávokat. A számítási igény csökkentése érdekében a letöltött képekből kivágtam a számomra fontos területet a SNAP/Raster/Subset eszközzel. A terület lehatárolását előre meghatározott földrajzi koordináták alapján végeztem. A LAI értékek kiszámításához a SNAP beépített biofizikai modulját használtam (Optical/Thematic Land Processing/Biophysical Processor/Biophysical Processor S2).

Koordináta geometria felhasználásával kiszámoltuk a műszeres LAI méréseknél használt lineák közepének koordinátáit. Ehhez először UTM vetületi rendszerbe vetítettük át a lineák végpontjainak koordinátáit, majd egyszerűen kiszámoltuk az UTM_x és UTM_y koordináták átlagait, az összes lineára. A kapott értékeket pedig vissza váltottuk WGS84 koordináta rendszerbe.

A SNAP Raster/Export/Pixel Extraction eszközében ezeket a koordinátákat használtuk, és minden linea közepe körül 5x5 db LAI pixelt exportáltunk ki. Az exportált állományban szerepeltek a LAI pixelek középpont koordinátái is. A 25 pixel középponti koordinátáinak felhasználásával koordináta geometria alkalmazásával válogattuk ki azokat a pixeleket, amelyeket az adott linea elmetsett, és ezekből számítottunk átlagos LAI értékeket. Ezt az átlagot hasonlítottuk a műszerrel mért LAI értékek átlagához.

3.2 MINTAVÉTELI MÓDSZER

3.2.1 Mintatér

A méréseket 5 kultúrában (őszi búza, őszi árpa, napraforgó, kukorica, lucerna) végeztem, ahol minden táblában 3 mintavételi lineát állítottam fel. Ezek a tábla különböző pontjain helyezkedtek el ügyelve arra, hogy ha lehet a talajadottságok is eltérőek legyenek. Volt olyan, hogy egy dombon lett kijelölve, valamint egy mélyebb területen és szikfolt környékén is lett kialakítva mérési terület. Minden linea 40 méter hosszú volt és a kezdő és végpontjait egy fa karóval jelöltem meg, amelyek közül a kezdőpontokat piros festéssel lefűjtam, hogy mindig ugyan abból az irányból végezzem a méréseket. Ahhoz, hogy pontos két méterenként tudjam végezni a méréseket egy 40 méter hosszú mérőszalagot húztam ki a kezdőponttól a végpontig, így centiméter pontossággal végezhettem a méréseket. Minden mérési ponton három mérés átlagával számoltam ki az adott pont LAI átlagát. 11 héten keresztül végeztem a méréseket minden héten általában hétvégenként.

A mérési pontok kezdő és végpontjainak GPS koordinátáit a Google Maps és a telefon helymeghatározója segítségével adtam meg.



9. ábra: Napraforgó levélfelületi indexének mérése 2022-es szezonban



10. ábra: Kukorica levélfelületi indexének mérése 2022-es szezonban

3.2.2 Mintavételi állomány

5 kultúrában végeztem levélfelületi index méréseket, amelyeknél minden fajnál 3-3 mintavételi lineát jelöltem ki, amelyek 40 méter hosszúak voltak és minden mintatéren 2 méterenként végeztem méréseket, amelyeket 3 mérés átlagából számolt ki az eszköz. Ez az öt kultúra az Őszi búza, őszi árpa, napraforgó, kukorica, lucerna volt. Ezek közül a lucernán végeztem el a legtöbb mérést pontosabban 7 héten keresztül. Ennél a kultúránál nagyon változatos adatokat kaptam, mivel egy alkalommal le lett kaszálva a mérések közben.

A 1. táblázatban láthatjuk majd, hogy milyen munkálatok lettek végezve a 2022-es szezonban az őszi árpán. Napraforgó elővetemény után került árpa a területre. 2021. szeptemberében kezdődött a talajelőkészítés nehéz- valamint könnyű tárcsával, majd ezt követte októberben a vetés, amikor a KWS Meridian típusú vetőmagot használtuk fel 210 kg/ha-os dózissal. Március végén granulátum formában kapott MAS27 27%-os nitrogéntartalmú műtrágyát, amelyet 150kg/ha dózisban juttattunk ki, így 40,5 kgN/ha tiszta nitrogén hatóanyag jutott ki. Ezt követően áprilisban egy menetben lett lekezelve az állomány gyomrítóval, gombaölővel, valamint rovarölővel. Gyomírtónak a Trimmer Trio-t használtuk, melynek összetétele a Trimmer Maxból és Tomigan 250 EC-ből áll. Előbbit 35g/ha-os az utóbbit pedig 0,3l/ha-os dózisban juttattuk ki. A betakarítást június közepén végeztük és 2,3 t/ha-os hozamot adott.

A 2. táblázatban a 2022-es szezonban végzett műveleteket tekinthetjük meg az őszi búza talajelőkészítésétől egészen a betakarításig. Őszi káposztarepce elővetemény után került a területre. 2021 augusztusában lett középmély lazítóval kezelve a talaj, amelyet szeptemberben egy könnyűtárcsa követett. Októberben kezdődött a vetés, amikor MV Ménrót típusú vetőmagot alkalmaztunk 270 kg/ha-os dózisban. 2022 márciusában MAS 27 típusú 27%-os nitrogéntartalmú fejtrágyával lett kezelve 200 kg/ha-os dózisban, amivel 54 kg/ha Nitrogén hatóanyagot juttattunk ki a területre. Ezt követte május elején ugyan úgy, mint az árpánál egy menetben történő gyomírtó, gombaölő, valamint rovarölő kijuttatása. Gyomírtásra a Granstar Super 50 SX típusú szert alkalmaztunk 50 g/ha-os dózisban, valamint a Starane Forte szert 0,25 l/ha-os dózisban. Gombaölőnek a Riza 250 EW szert használtuk fel 1 l/ha-os dózisban. Rovarölőnek pedig a Rapid CS-t alkalmaztunk 0,08 l/ ha-os mennyiségben.

1.Táblázat: Az őszi árpa termesztése

Őszi árpa						
Dátum	Művelet	Vetőmag	Műtrágya	Gyomirtó	Gombaölő	Rovarölő
2021.09.23.	Nehéztárcsa					
2021.09.30.	Könnyűtárcsa					
2021.10.09.	Vetés	KWS Meridian 210kg/ha				
2022.03.29.	Műtrágyázás		MAS27 1,5q/ha 40,5 kgN/ha			
2022.04.30.	Permetezés			Trimmer Trio Trimmer MAX 35g/ha Tomigan 250 EC 0,3l/ha	Leander 750 EC 0,75l/ha	Sumi Alpha 0,2l/ha
2022.06.21.	Betakarítás 2,3 t/ha 12,3% víz					

2.táblázat: Őszi búza termesztése

Őszi búza						
Dátum	Művelet	Vetőmag	Műtrágya	Gyomirtó	Gombaölő	Rovarölő
2021.08.10.	Középmély lazító					
2021.09.08.	Könnyűtárcsa					
2021.10.13.	Vetés	MV Ménrót 270 kg/ha				
2022.03.29.	Fejtrágyázás		MAS 27 200 kg/ha 54 kgN/ha			
2022.05.04.	Permetezés			Granstar Super 50 SX 50 g/ha Strane Forte 0,25 l/ha	Riza 250 EW 1 l/ha	Rapid CS 0,08 l/ha
2022.06.30.	Betakartás 2,75 t/ha					

A 3. táblázatban a napraforgón végzett munkálatokat szemléltetem a 2022-es szezonban. Kukorica volt természetve előző évben a táblán, majd annak a betakarítása után 2021. novemberének végén került sor szántásra, amelyet 2022. februárjában simítózás majd áprilisban könnyűtárca követte. Áprilisban történt meg a vetés is, amikor egy KWS ACHILLES CLP típusú vetőmagot használtunk 61.000 szem/ha-os dózissal. Ezt követte a vetés másnapján WING P típusú preemergens gyomirtó szer, amely 3,5 l/ha-os dózissal lett kijuttatva. Májusban post gyomirtást végeztünk állománykezelés céljából a PULSAR PLUS szerrel 2 l/ha-os dózisban. Ezt követően kultivátorozással egy menetben UAN30 30%-os nitrogént juttattunk ki 150 l/ha-os dózisban, aminek köszönhetően 58,5 kgN/ha nitrogén hatóanyag jutott a talajba. Ezt követően szeptember közepén került sor a betakarításra, ahol 1,2 t/ha-os hozamot produkált 7,2%-os nedvességtartalom mellett.

A 4. táblázatban a kukoricán végzett munkálatokat szemléltetem. Kukorica előveteményt követően ismét kukoricát vetettünk. 2021. novemberében szántással kezdtük meg a talajmunkákat, amelyet 2022. márciusában simítózással folytattuk. Áprilisban könnyűtárcsával végeztünk talajmunkát, amelyet a vetés követett néhány napra rá. SAATEN fajtájú REPLIK vetőmagot használtunk, amelyet 70.000 szem/ha-os dózissal juttattuk ki. Májusban MESOTRIO nevezetű postemergens gyomirtóval lett kezelve, amelyet utána kultivátorozással egybekötött nitrogénkijuttatás követett. A 27%-os nitrogént 150 l/ha-os dózissal juttattuk ki, aminek köszönhetően 52,6 kgN/ha nitrogén hatóanyagot juttattunk a talajba. Az aszálynak köszönhetően nem fejlődött cső a száron, így júliusban kénytelenek voltunk lesilózni.

3. táblázat: Napraforgó termesztése

Napraforgó						
Dátum	Művelet	Vetőmag	Műtrágya	Gyomirtó	Gombaölő	Rovarölő
2021.11.26.	Szántás					
2022.02.25.	Simítózás					
2022.04.04.	Könnyűtrácsa					
2022.04.13.	Vetés	KWS Achilles CLP 61.000 szem/ha				
2022.04.14.	Permetezés			WING P 3,5 l/ha		
2022.05.12.	Állománykezelés			Pulsar Plus 2 l/ha		
2022.05.27.	Kultivátor/ műtrágya		UAN30 150 l/ha			
2022.09.21.	Betakarítás 1,2 t/ha					

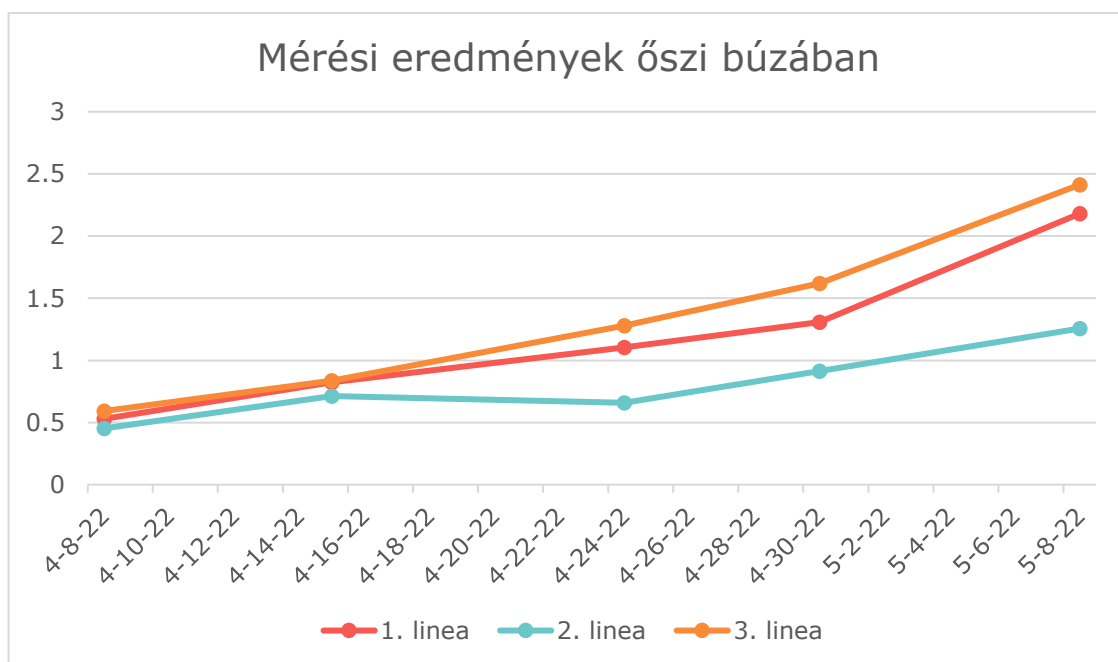
4. táblázat: Kukorica termesztése

Kukorica							
Dátum	Művelet	Vetőmag	Műtrágya	Gyomirtó	Gombaölő	Rovarölő	
2021.11.10.	Szántás						
2022.03.09.	Simítózás						
2022.04.12.	Könnyűtárcsa						
2022.04.20.	Vetés	REPLIK 70.000 szem/ha					
2022.05.13.	Gyomirtás			Mesotrio 0,6 kg/ha			
2022.05.30.	Kultivátor/ műtrágya		27%-os folyékony nitrogén				
2022.07.26.	Szilózás						

4.0 VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

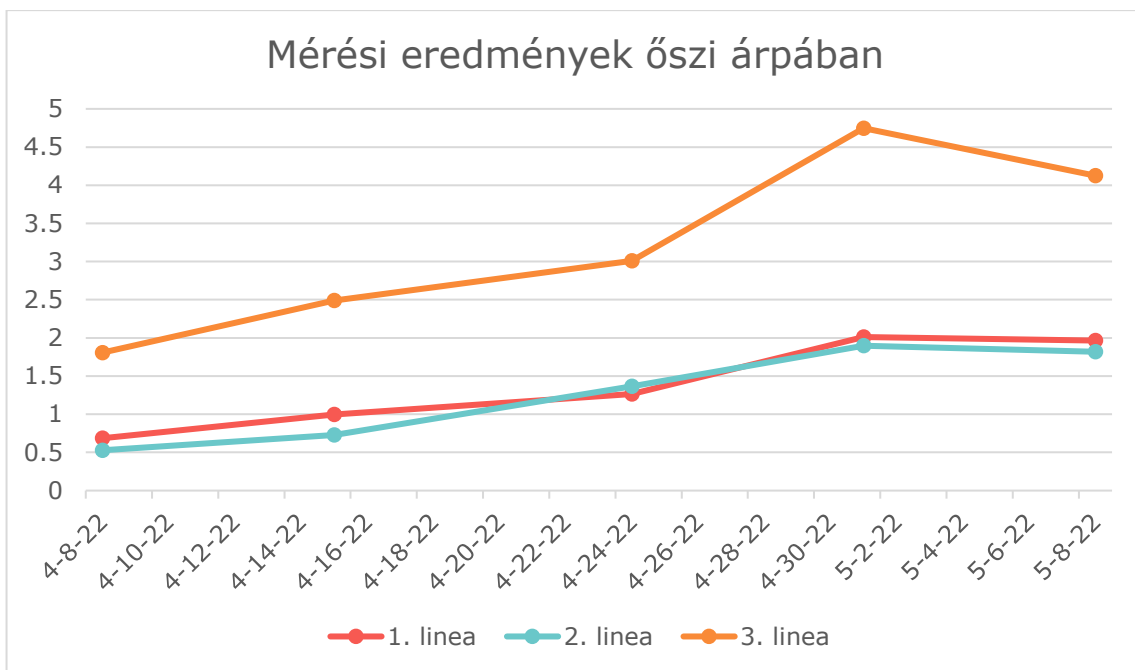
4.1 MINTAVÉTELI IDŐPONTOK

A levélfelületi indexek ceptométerrel (AccuPar LP-80) történő mérését a 2022.04.08-án kezdtem el Jászkarajenőn. Minden kultúrában (őszi búza, őszi árpa, lucerna, napraforgó, kukorica) és minden táblán három mérési lineát állítottam fel. Minden hétvégén végeztem méréseket ügyelve, hogy a lehető legoptimálisabb időjárásban végezzem őket. A méréseket egészen 2022. 07.11-ig folytattam. Exceltáblázatban rendszereztem a mérési eredményeket dátum és linea szerint elkülönítve. A lentebb található ábrákon mutatom be, a ceptométerrel történt Levélfelületi index mérések eredményeit. A 11. ábra mutatja meg az őszi búzában mért LAI adatokat, amelyek folyamatos emelkedést mutatnak és április végétől figyelhető meg nagyobb ugrás az értékek növekedésében.

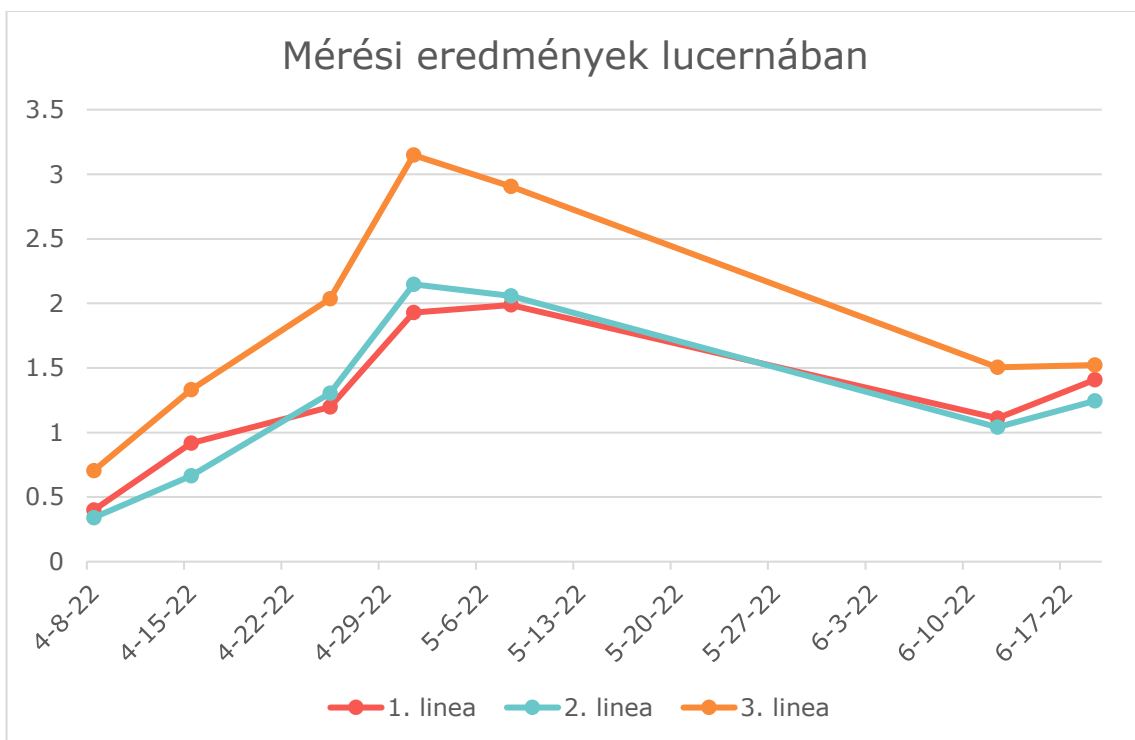


11. ábra: Őszi búza LAI eredmények

A 12. ábrán az őszi árpa eredményei láthatók. Amint az ábra is mutatja a harmadik lineán folyamatosan legalább 1,5-el magasabb LAI értéket mértem egészen Április végéig, ahol kimagasló különbségeket figyelhetünk meg és közel 5-ös LAI értékeket mértem.



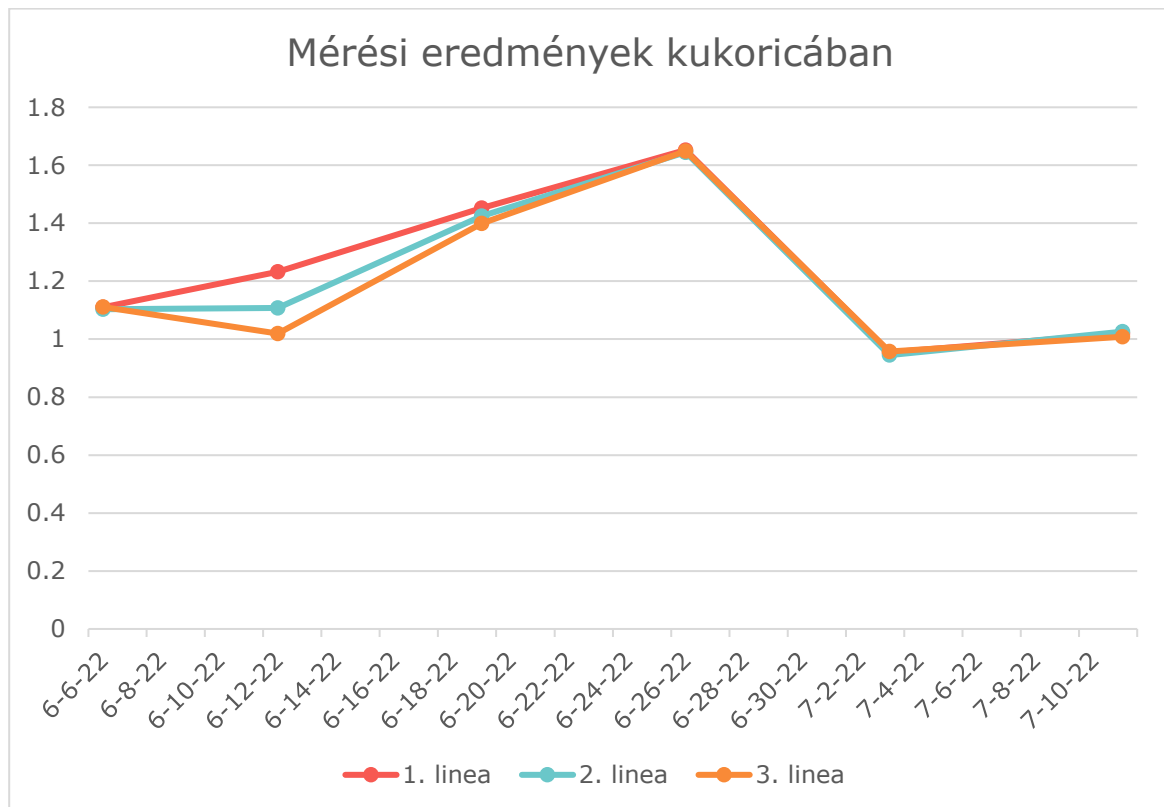
12. ábra: Őszi árpa LAI eredmények



13. ábra: Lucerna LAI eredmények

A 13. ábrán a lucernán mért eredményeket lehet látni. Ennél a kultúránál azért látható egyik nappól a másikra drasztikus csökkenés, mivel a mérési időpontok közben kétszer is kaszálva volt. 2022.05.04-én történt meg az első kaszálás, amikor 73 db 260 kg-os bála jött le a tábláról, ami 1,8 bála/hektáros átlagnak felel meg. Ezt követően a vízhiánynak köszönhetően

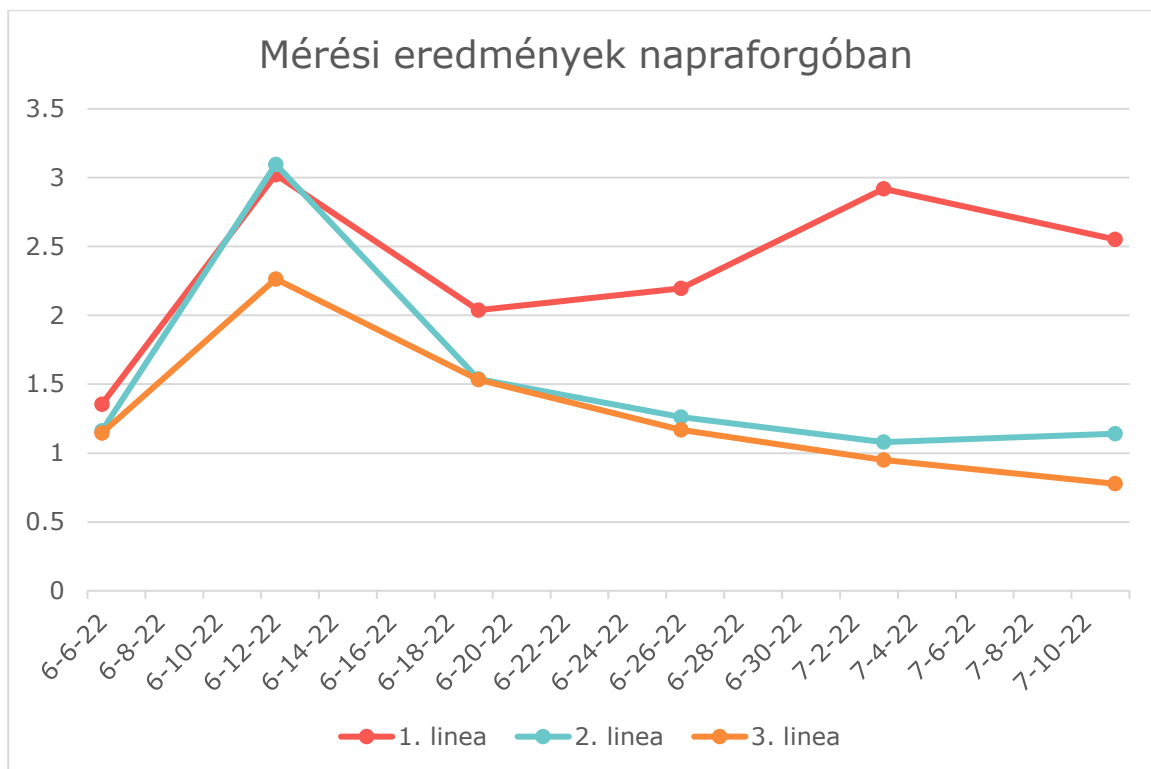
folyamatos csökkenést figyelhetünk meg, amely a második kaszálás eredményén is látszódik, mivel ekkor már csak 60 db 240 kg-os bálát eredményezett a terület.



14. ábra: Kukorica LAI eredmények

A 14. ábrán a kukoricában mért eredményeket mutatom meg. Ennél a kultúránál június 26-ig folyamatos növekedést figyelhetünk meg, viszont a nagy vízhiány miatt idő előtt kezdett beérni a növény és száradtak el a levelei, ennek köszönhető a drasztikus csökkenés, amelynek csövek hiányában silózás lett a vége.

A 15. ábra mutatja meg a napraforgó értékeit, amelynél a hármas számú línea nagy eltérése annak tudható be, hogy egy nagyobb szikfolt mellett volt elhelyezve, így ott nem tudott olyan mértékben fejlődni a talaj miatt a növény, mint a tábla többi részén.



15. ábra: Napraforgó LAI eredmények

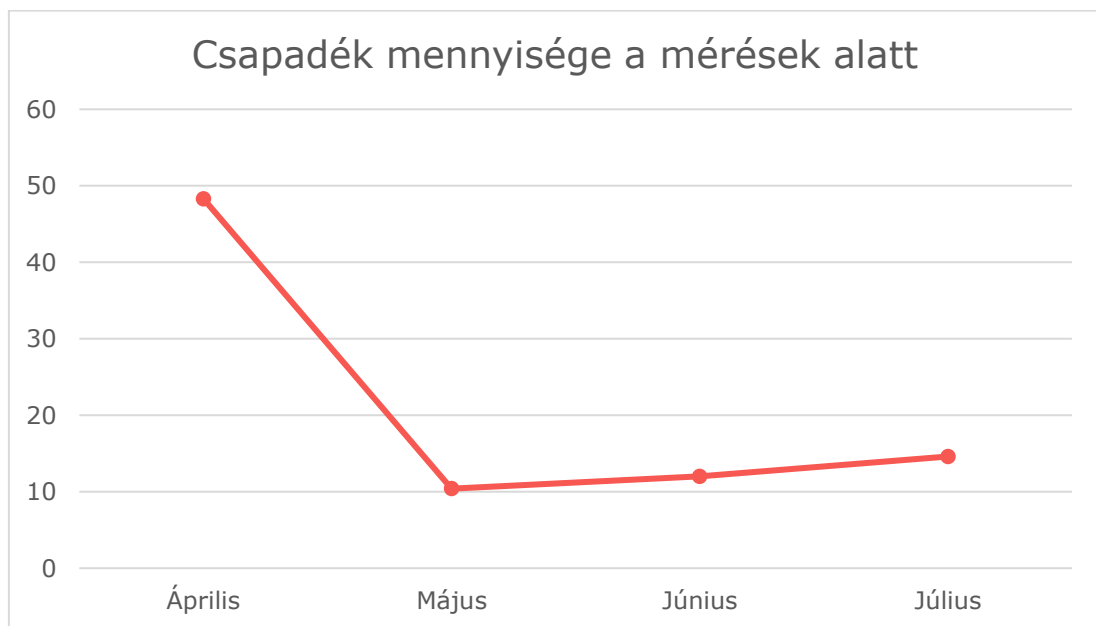
4.2 METEOROLÓGIAI JELLEMZÉS

A tavalyi év rendkívül száraz és aszályos volt. Ez nagy mértékben megmutatkozott a kultúrák hozamán és LAI értékein is. A saját csapadéknapló alapján az alatt az idő alatt, amíg a méréseket folytattam összesen 85 mm csapadék esett a szolnoki mérőállomás mérései alapján pedig a 2022-es évben összesen 308,7 mm csapadék esett.

Amint a lentebbi ábrákon is megfigyelhető az áprilisi nagyobb közel 50 mm-es csapadék után egy drasztikus csökkenés következett be, amelynek hatására egyik kultúra sem úgy fejlődött, ahogyan azt megszokhattuk, valamint az érésük is hamarabb bekövetkezett.



16. ábra: A szolnoki mérőállomás csapadékadatai a 2022-es évben



17. ábra: A saját csapadéknaplóban mért csapadék mennyisége a mérési időtartam alatt

4.2.1 A vízhiány hatása a növények fejlődésére

A növények növekedését és a mag- valamint zöldtömeg képzését jelentősen csökkentette a 2022-es szezon csapadékhiánya. Leginkább a kukoricát érintette ez a jelenség, mivel a vízhiány miatt nem tudott elegendő tápanyagot felvenni a talajból, így csöveket és szemeket sem fejlesztett. Az őszi búza és őszi árpa esetében, valamint a napraforgónál is korai megérést

lehetett megfigyelni, így a megszokotthoz képest majdnem egy hónappal korábban lehetett kezdeni a betakarítást. A lucerna esetében a zöldtömeg mennyisége volt rendkívül alacsony, valamint hiába volt második éves a kultúra a vízhiánynak köszönhetően elkezdett kikopni.

4.3 Mérési eredmények a Ceptométerrel és a műholdas adatokból

4.3.1 Ceptométerrel történő mérések

2022.04.08-án kezdtem meg a kézi méréseket először őszi búzában, őszi árpában és lucernán, majd 2022.06.06-án kezdtem meg napraforgóban és kukoricában is a méréseket.

Az alábbi táblázatokban láthatóak a részletes mérési eredmények, amelyeket feljegyeztem, minden léneán két méterenként, ahogy a méréseket végeztem.

Minden kultúrában az összes mérést három különböző pozícióban elvégzett mérés átlagából adtam meg, hogy a lehető legpontosabb eredményeket kapjam meg. Ezeket a részletes eredményeket a mellékletekben lehet megtekinteni.

A mérésekhez egy AccuPar LP-80-as LAI mérőt használtam, amelyet a Növényélettani és Növényökológiai tanszéktől kaptam kölcsön. A kézi mérések részletes eredményeit a mellékletben feltüntetett táblázatokban (5-től a 9. táblázatig) láthatjuk dátum, kultúra és léneák szerint csoportosítva.



18. ábra: Léneák elhelyezkedése műholdas felvételen

4.3.2 Műholdból származtatott LAI értékek

A műholdas adatokat úgy nyertük ki, hogy az internetről ingyenesen le lehet tölteni Sentinel műholdak által készített felvételeket, amelyek tartalmazzák a levélfelületi indexek értékét is. Ahhoz, hogy pontosan meg tudjuk határozni, hogy melyik pixelek értékeire van szükségünk a mérések elején kijelölt líneák kezdő és végpontjainak a koordinátáit használtuk fel. A programozásban Dr. Pintér Krisztina segített és Ő írt egy programot, amely a líneák közepétől számítva 5x5 pixelből álló képekből csak azokat választottuk ki, amelyeket elmetszett a línea és így kaptuk meg a legpontosabb értékeket.

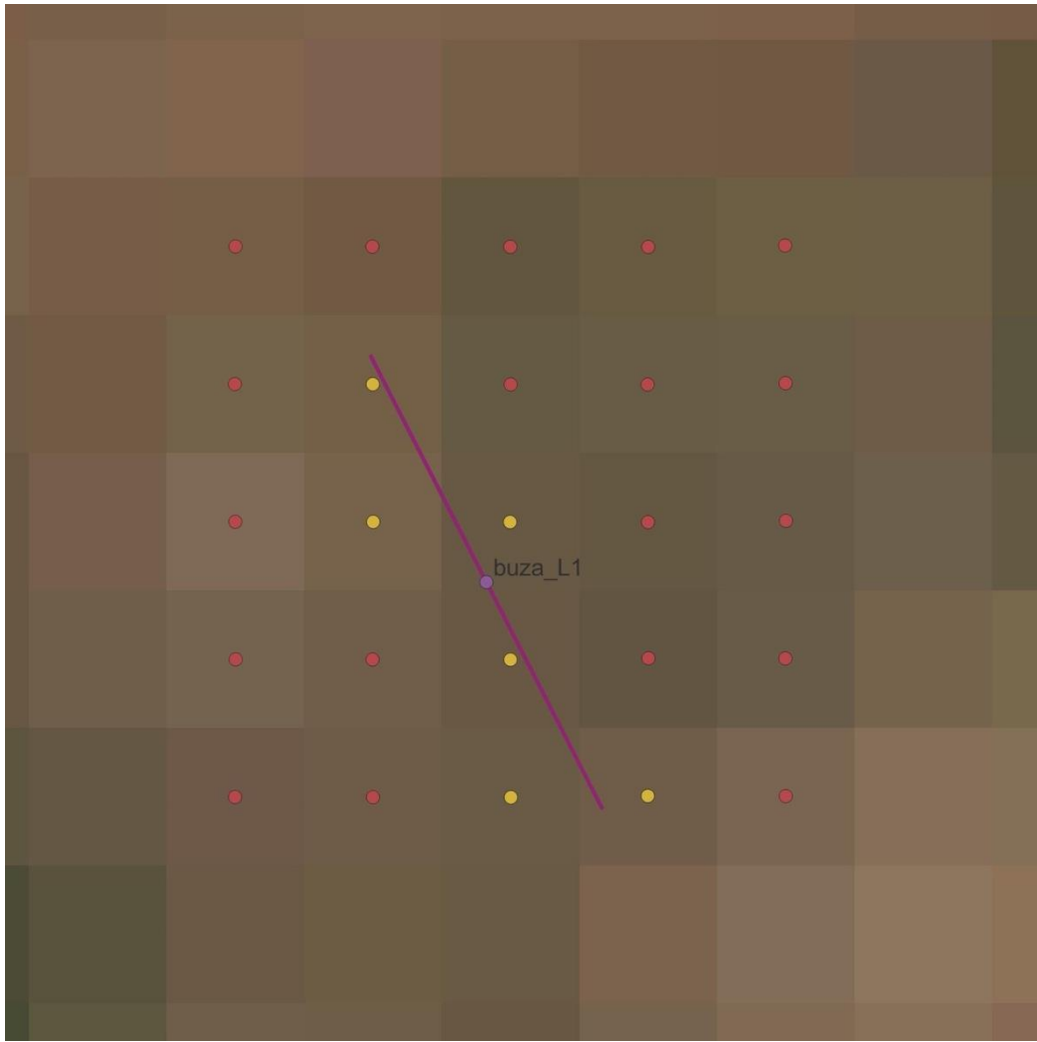
A méréseknek köszönhetően kiderült, hogy nagyon szoros kapcsolat van a földi AccuPar-LP 80-al végzett mérések és a Sentinel LAI adatok között mindkét alkalmazott módszertan esetében. Az egyik módszertan az 5x5-ös pixelek összevetése volt a kézi mérésekkel, a másik pedig a líneákhoz legközelebb eső pixelek értékeinek összevetésekor is. Ez leginkább a mezőgazdasági táblák nagyfokú homogenitásának tudható be. A Sentinel műhold lényegesen alul becsülte a LAI adatokat a földi mérésekhez képest, ebből egy kivétel volt az őszi búza. A többi kultúrában nem vehető észre különbség az alábecsléskor az egyszikű erektofil lombosított és a kétszikű planofil (nagyobb energiaelnyelő lombosított) lombosított fajok között.

A 19. ábrán látható a Sentinel műholdakból származtatott levélfelületi indexek és az 5x5 pixel, amelyeket a línea középpontjától mértünk és a sárgával jelölt pixelek pedig a líneák által elmetszett pixeleket jelöli.

A 20. ábrán azokból a Sentinel műholdakból származó pixelek és azok LAI értékeit figyelhetjük meg, amelyek a líneák középpontjától számított 5x5-ös négyzetben a 25 pixelből származnak és azok lettek összevetve a kézi mérésekből származó értékekkel.

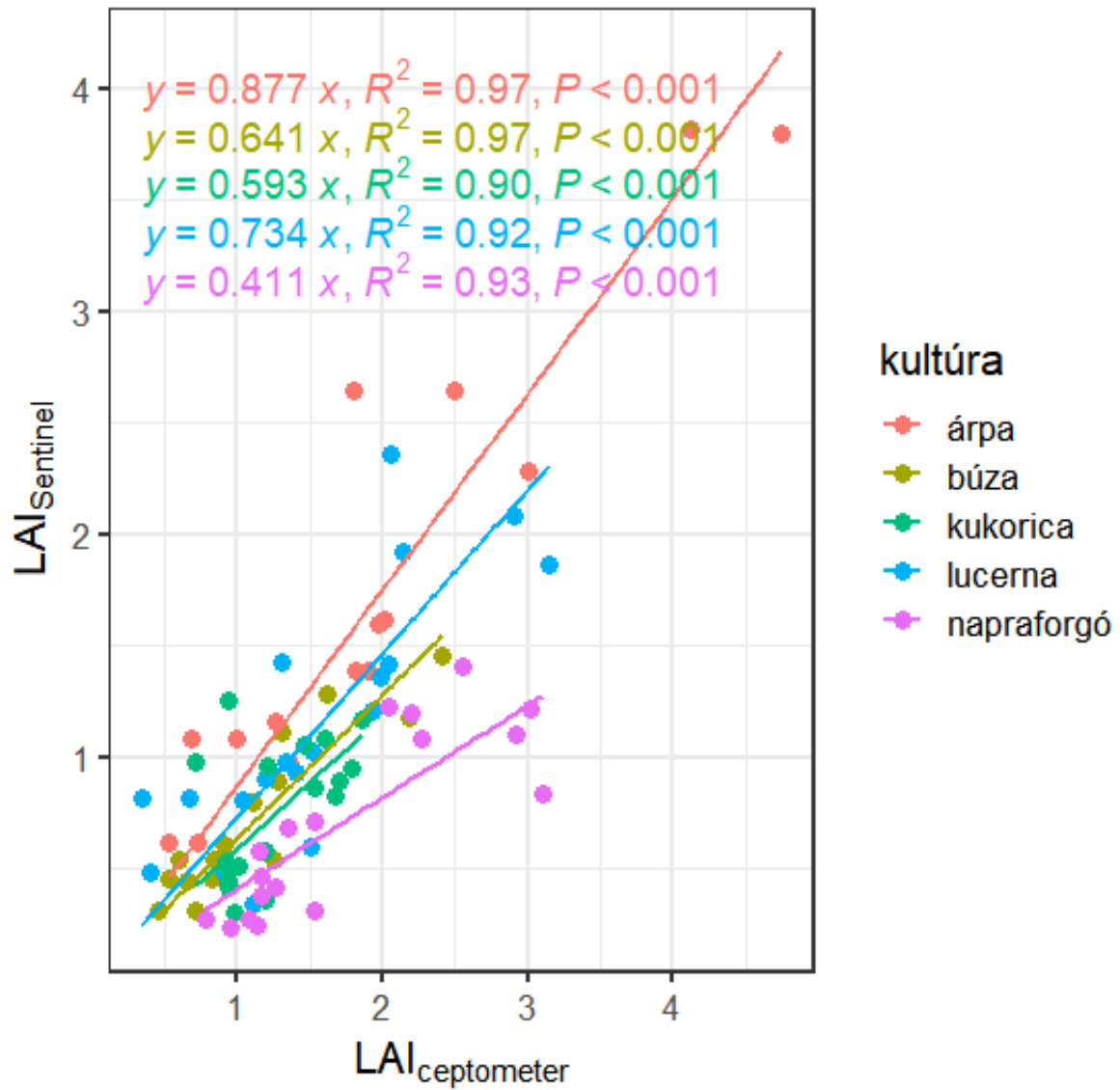
A 21. ábrán azokat a LAI érték összevetéseket figyelhetjük meg, amelyek azokból a pixelekből lettek kiszűrve, amelyeket elmetszett a línea és azokat hasonlítom össze a kézi mérésekből származó eredményekkel.

Mindkét ábrán az figyelhető meg, hogy elég közeli adatokat adott meg a műhold a kézi mérésekhez képest, viszont az őszi búza kivételével minden esetben alacsonyabb értéket kaptunk a Sentinel műhold által mért levélfelületi indexekre.



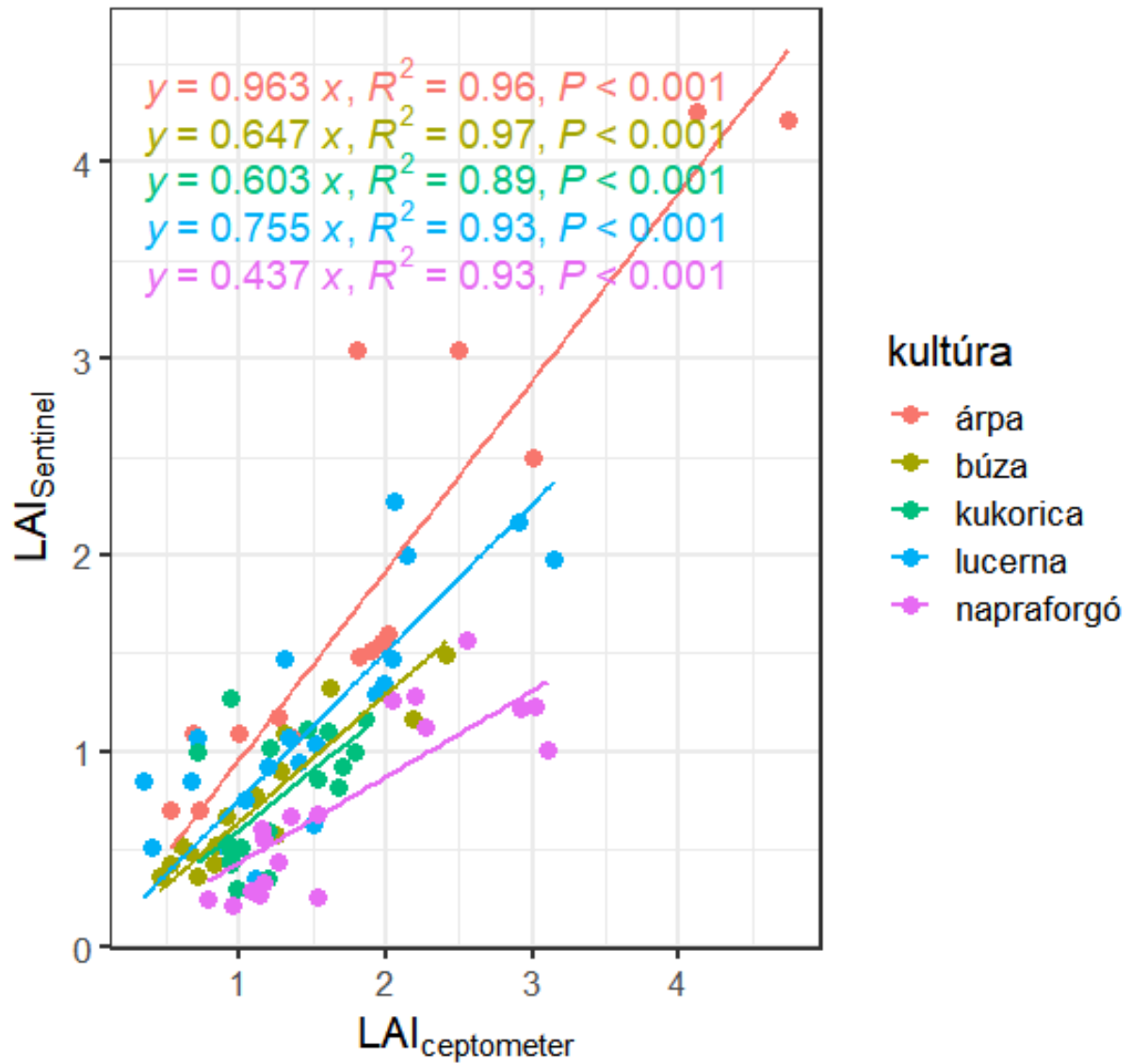
19. ábra: Sentinel felvételekből származó pixelek

25 pixel átlaga



20. ábra: 25 pixelből álló lineák környéki pixelek LAI értékei Sentinel műholdból

Közeli pixelek átlaga



21. ábra: A lineák által elmetszett pixelekből származó LAI értékek Sentinel műhold alapján

5.0 Következtetések és javaslatok

A téma kidolgozása során összehasonlítottam a felszínen mért és a Sentinel 2 által becsült LAI értékeket a 2022-es év vegetációs periódusában. Ehhez a LAI méréseket magam végeztem, informatikai/programozói segítséget a befogadó tanszék munkatársától kaptam.

Nagyon szoros kapcsolat van a földi Accupar-os LAI mérések és a Sentinel LAI adatok között mindkét alkalmazott módszertan (5*5 pixel, vs a lineához legközelebbi vizsgált pixelek) esetében (0.9et meghaladó R2 értékek). A műholdas algoritmus lényegesen alulbecsli a földi Accupar LAI méréseket, az egyetlen kivétel az őszi árpa volt (nagyon hasonló műholdas és földi mérési értékek). A további vizsgált termesztett növényfajok esetében az alábecslés mértéke nem különbözött az egyszikű erektofil lombosított és a kétszikű planofil lombosított fajok között.

A mérési eredményeim alapján arra tudok következtetni, hogy a műholdas adatok még sok esetben nem tudják olyan pontosan megbecsülni a levélfelületi index értékét, mint a földi mérések, amelyek közvetlenül a növények által felfogott fény arányán alapulnak. A legmagasabb – közel 5-ös - LAI értékeket az őszi árpa táblában mértem. A lucerna normál esetben akár 10 vagy az feletti levélfelületi-index értékeket szokott elérni, viszont az én méréseimnél ennek töredékét érte el a szárazság, illetve a másodéves állomány kiritkulása miatt. A Sentinel felvételeket - a dolgozat készítése során szerzett tapasztalatok segítségével – a későbbiekben a LAI és így a növekedési dinamika szezonon belüli nyomonkövetésére, illetve egyes táblák összevetésére (pl., hogy melyiken nagyobb mértékű a tápanyaghiány és az hol jelentkezik) tervezem használni.

6.0 ÖSSZEFOGLALÁS

A műholdképek és a belőlük nyert adatok már most is hatalmas szerepet játszanak a mezőgazdaságban. A műholdfelvételek segítségével például képesek leszünk felmérni a növények növekedését, valamint megállapítható lesz a földek és kultúrák tápanyagigénye, vagy akár a gyomok, gombabetegségek és kártevők kártétele is. A precíziós mezőgazdaságban a műholdas információkban rejlő hatalmas lehetőségeket nem lehet alábecsülni, és már most is széles körben alkalmazzák őket.

A mai globalizált világban, ahol az a mentalitás uralkodik, hogy a mehető legtöbbet kell kihozni a földekből a legnagyobb termelékenység elérése érdekében, fontos a fenntartható gazdálkodási módszerek megfontolása és a hosszútávú eredményes termelékenységet előtérbe helyezni, amelynek a lényege az lenne, hogy a talajból csak a legszükségesebb tápanyagokat vonjuk ki és csak annyit juttassunk vissza, amelyek nem okoznak kárt a talajaink szerkezetében és biológiájában.

A levélfelületi-index olyan kritikus tényező, amely a növényzet és egyéb növekedési folyamatok értékelésére használható, és a modern technológia lehetővé teszi, hogy műholdak, drónok és akár kézi műszerek segítségével mérjük. Az ilyen műszerek a táblák biomassza összetételébe is betekintés engednek, így rengeteg értékes információhoz juthatunk.

Kísérletem célja az volt, hogy a Sentinel műholdak pontosságát értékeljem a közvetlen kézi mérések és az általuk mért levélfelületi-index értékek összehasonlításával. Ezzel az összehasonlítással igyekeztem megfigyelni a kézi mérésekkel kapott eredményeket és felmérni, hogy a Sentinel műholdak mennyire pontosak a levélfelületi index kimutatásában.

A kísérleteim során olyan ismeretekre tettem szert, amelyeket a jövőbeni munkáim során hasznosítani tudok, és most már mélyebb megfigyeléseket tudok tenni a növények növekedése és tápanyagszükséglete, valamint a levélfelületi-index értékei közötti összefüggésekről.

A kísérlet során öt kultúrában (őszi búza, őszi árpa, lucerna, napraforgó, kukorica) végeztem méréseket és kultúránkként három mérési lineát állítottam fel, ahol a kézi méréseket végeztem, majd a kezdő és végpontok GSP koordinátáinak felhasználásával vetettük össze a műholdakból származtatott értékekkel. Megfigyeltük, hogy jelenleg a műholdak alábecsülik a levélfelületi index értékét a kézi mérésekhez képest, viszont nagyon szoros korrelációt mutatnak azokkal.

7.0 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Elsősorban szeretném megköszönni a családomnak, hogy végig támogattak a tanulmányaim során és minden lehetőséget biztosítottak ahhoz, hogy idáig eljussak.

Ezúton szeretném megköszönni Dr. Pintér Krisztina Tanárnőnek és Dr. Nagy Zoltán Tanár Úrnak a rengeteg segítséget, amit kaptam tőlük a diplomadolgozatom megírása során.

Szeretném megköszönni a Jászkarajenői Mezőgazdasági Zrt. segítségét is, hogy engedték, hogy az általuk művelt táblákon végezhessem el a kísérletemet.

8.0 FORRÁSOK

1. A. Gittelsohn, R. Stark, Y. J. Kaufman, D. Rondquist 2002: *Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction*, Volume 80, Issue 1, April 2002, Pages 76-87
2. Bakó K. I., Huzsvai L., 2014: *Kukorica levéletterületének modellezése számítógépes szimulációval*, Agrártudományi közlemények, 2014/55.
3. Bognár, K. R. (2003). *A sugárzási egyenleg faállományokon belüli változásai*. Szakdolgozat. NYME Erdőmérnöki Kar. Keszthely.
4. Borak, J. S., Jasinski, M. F., 2008: *Effective interpolation of incomplete satellite-derived leaf-area index time series for the continental United States*. *Agricultural and Forest Meteorology*, in press. doi:10.1016/j.agrformet.2008.08.017
5. G. Justus, M. V. Paris, 1985: *A Model for Solar Spectral Irradiance and Radiance at the Bottom and Top of a Cloudless Atmosphere*, Volume 24: Issue 3, 193–205
6. Duzs L., Ragán P., Nagy J., Kith K., A. Széles, Simkó A., Rátonyi T., 2020: *Tápanyag-gazdálkodás a növények relatív klorofilltartalmának figyelembe*, *Prega Science* 2020
7. Eva Boegh, H. Soegaard, N. Broge, C.B. Hasager, N.O. Jensen, K. Schelde, A. Thomsen, 2002: *Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture*, *Remote Sensing of Environment*, 81(2-3), 179-193. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00342-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00342-X)
8. Evans, J. R.: 1983: *Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (Triticum aestivum L.)*. *Plant Physiology*. 72. 2: 297–302.
9. Fan, L. et al., 2009: *Investigating the relationship between NDVI and LAI in semi-arid grassland in Inner Mongolia using in-situ measurements*. *Theoretical and Applied Climatology*, 95(1-2), pp.151–156.
10. Frank A. B., J. F. Karn 2003: *Vegetation Indices, CO₂ Flux, and Biomass for Northern Plains Grasslands*, *Journal of Range Management*, Vol. 56, No. 4, pp. 382-387
11. Hafenschner V. P., Koncz P. 2017: *Vegetációs indexek alkalmazhatósága a fitomassza feltérképezésére*, *INTERDISZCIPLINÁRIS TÁJKUTATÁS A XXI.SZÁZADBANA VII. Magyar Tájökológiai Konferencia Tanulmányai Szeged, 2017. 05. 25-27.*
12. H. Fang, F. Baret, S.n Plummer, and Gabriela Schaepman-Strub, 2019: *An overview of Global Leaf Area Index (LAI): Methods, Products, Validation, and Application*, *Reviews of Geophysics*, Volume 57, Issue 3, Pages 739-799
13. Kádár I., 2011: *A műtrágyázási szaktanácsadás alapelve és módszere*, *NÖVÉNYTERMELÉS* 60 137–155
14. Kovács K. É., 2009: *A növények számára hozzáférhető réz- és cinktartalom meghatározása extrakciós módszerekkel*, *Debreceni Egyetem hallgatói dolgozat*
15. Richter P., 2009: *A levélfelületi index mérése és modellezése*, *ELTE Meteorológiai Tanszék, Szakdolgozat*, pages:37

16. Sowiński J., Gląb L.(2018): *The effect of nitrogen fertilization management on yield and nitrate contents in sorghum biomass and bagasse*, *Field Crops Research*
17. *Volume 227, 1 October 2018, Pages 132-143*
18. Swatantran, A. et al., 2011: *Mapping biomass and stress in the Sierra Nevada using lidar and hyperspectral data fusion. Remote Sensing of Environment, 115(11), pp.2917–2930.*
19. Takács G., Gergely I., Ördög V., 2021: *A búza (triticum aestivum L.) vízigénye és a vízhiány hatása a növényekre*, *Acta Agronomica Óváriensis, Vol. 62, No. 2., pp116-129*
20. Unger, J., Sümegehy, Z., 2002: *Környezeti klimatológia (Szeged, JATEPress) 56–78. oldal.*
21. Vig R., Dobos A., Nagy J., 2011: *A normalizált vegetációs index (ndvi) mérésének módszertani vizsgálata lucernában (medicago sativa l.)*, *Növénytermelés 60, pp: 111–126*
22. Y. Chen, Z. Zhang, F. Tao, T. Palosuo, R. P. Rötter, 2018: *Impacts of heat stress on leaf area index and growth duration of winter wheat in the North China Plain*, *Field Crops Research*
23. *Volume 222, 1 June 2018, Pages 230-237*
24. Tóth H., Szintai B. 2021: *Assimilation of Leaf Area Index and Soil Water Index from Satellite Observations in a Land Surface Model in Hungary*, *Atmosphere 12(8) 944*

Internetes források:

- http 1 AccuPAR-LP-80-Manual. <https://www.ictinternational.com/content/uploads/2014/03/AccuPAR-LP-80-Manual.pdf> (Megtekintve 2023.02.18.)
- http 2 AccuPAR LP 80 Canopy interception par leaf area index <https://www.metergroup.com/en/meter-environment/products/accupar-lp-80-canopy-interception-par-leaf-area-index> (Megtekintve: 2023.03.17.)
- http 3 Sentinel-2A Satellite Sensor (10m) <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/sentinel-2a/> (Megtekintve: 2023. 03.18.)
- http 4 NASA LAI product <https://svs.gsfc.nasa.gov/30379> (Megtekintve: 2023.01.11.)
- http 5 Kovács Attila, Erdődiné Molnár Zsófia Műholdas vegetációs indexek és szántóföldi kultúrák termésátlagainak vizsgálata
https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=2447&hir=Muholdas_vegetacios_indexek_es_szantofoldi_kulturak_termesatlagainak_vizsgalata
- http 6 Molnár G. Földkutatás a világürből, http://sas2.elte.hu/mg/foldkutatas_v3/index.htm
- http 7 Főbb szántóföldi növények átlagos tápelem-felvétele fő és melléktermék szerint megoszlásban (<https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2014/02/szantofold/a-szantofoldi-novenyek-tapanyagigenyenek-meghatarozasa>)

9.0 MELLÉKLETEK

Kézi mérések																						
B1 LAL eredmények																						
Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag
2022.04.08	0,6	0,64	0,75	0,67	0,6	0,64	0,57	0,6	0,5	0,53	0,49	0,43	0,48	0,45	0,43	0,48	0,45	0,42	0,42	0,45	0,52	0,52952381
2022.04.15	0,89	0,9	0,96	0,87	0,82	1,1	0,98	0,88	0,78	0,87	0,81	0,9	0,85	0,76	0,73	0,88	0,73	0,63	0,66	0,72	0,59	0,82428571
2022.04.24	0,94	1,15	1,11	0,93	1	1,47	1,47	1,36	1,17	1,12	0,99	1,2	1,18	1,12	1,13	1	0,94	0,96	0,98	1,01	0,98	1,1052381
2022.04.30	1,15	1,19	1,2	1,11	1,37	1,52	1,6	1,88	1,44	1,23	1,16	1,32	1,33	1,39	1,38	1,24	1,19	1,14	1,23	1,14	1,23	1,30666667
2022.05.08	1,8	2,03	2,07	1,84	2,05	2,76	2,77	2,79	2,14	2,14	2,13	2,51	2,41	2,38	2,23	2,09	1,98	1,83	1,93	2,01	1,9	2,18047619
B2 LAL eredmények																						
Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag
2022.04.08	0,4	0,34	0,43	0,4	0,4	0,45	0,44	0,51	0,49	0,52	0,54	0,54	0,59	0,48	0,38	0,44	0,44	0,48	0,42	0,39	0,43	0,45285714
2022.04.15	0,9	0,74	0,6	0,66	0,77	0,72	0,68	0,79	0,86	0,73	0,84	0,81	0,83	0,8	0,57	0,72	0,79	0,56	0,64	0,53	0,42	0,71238095
2022.04.24	0,65	0,78	0,58	0,64	0,68	0,65	0,62	0,75	0,74	0,71	0,84	1,04	0,84	0,48	0,47	0,63	0,6	0,49	0,67	0,51	0,47	0,65904762
2022.05.01	0,95	1,03	0,87	0,89	0,91	1,02	0,92	0,93	1,1	1,11	1,06	1,29	1,35	0,83	0,7	0,8	0,79	0,72	0,71	0,56	0,64	0,91333333
2022.05.08	1,59	1,62	1,35	1,39	1,15	1,22	1,5	1,33	1,58	1,73	1,39	1,69	1,37	1,01	0,88	1,1	1,09	0,88	0,88	0,76	0,87	1,25619048
B3 LAL eredmények																						
Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag
2022.04.08	0,38	0,37	0,37	0,33	0,49	0,5	0,67	0,65	0,79	0,83	0,6	0,55	0,48	0,68	0,69	0,81	0,71	0,66	0,72	0,58	0,58	0,59238095
2022.04.15	0,43	0,42	0,45	0,67	0,75	1,11	1,13	1,11	0,87	1,37	0,83	0,74	0,81	0,93	0,82	0,91	0,89	1,04	0,83	0,91	0,56	0,83714286
2022.04.24	0,87	0,71	0,86	0,88	1,34	1,37	1,65	1,81	1,67	1,65	1,3	0,96	1,16	1,32	1,32	1,29	1,46	1,46	1,4	1,26	1,11	1,27857143
2022.05.01	1,17	1,04	1,09	1,22	1,64	1,96	2,15	2,24	1,94	1,91	1,74	1,21	1,37	1,45	1,55	1,63	1,66	1,71	1,91	1,82	1,62	1,62047619
2022.05.08	1,9	1,5	1,88	1,85	2,42	2,22	2,86	2,84	2,92	2,97	2,35	2,46	2,22	2,91	2,59	2,68	2,33	2,71	2,59	2,2	2,28	2,41333333

5. táblázat: Kézi mérések eredményei őszi búzában

Kézi mérések

A1 LAI eredmények																						
Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag
2022.04.08	0,61	0,71	0,95	0,94	1,25	1,08	1,15	1,12	0,67	0,41	0,42	0,47	0,43	0,42	0,48	0,43	0,5	0,58	0,61	0,58	0,59	0,68571429
2022.04.15	0,7	0,9	0,86	1,41	2,05	2,13	2,75	2,06	1,25	1,03	0,6	0,47	0,54	0,51	0,43	0,55	0,48	0,56	0,58	0,44	0,64	0,99714286
2022.04.24	1,23	1,02	1,46	1,67	2,08	2,37	2,49	2,09	1,44	1,22	0,85	0,85	0,83	0,86	0,84	1,02	0,82	0,81	0,91	0,84	0,83	1,26333333
2022.05.01	1,51	1,35	1,98	2,17	3,2	4,34	3,8	3,55	2,68	2,1	1,73	1,33	1,33	1,36	1,3	1,59	1,37	1,32	1,4	1,47	1,36	2,01142857
2022.05.08	1,75	1,81	2,29	2,53	2,92	3,23	3,18	2,87	2,38	2,13	1,53	1,44	1,43	1,52	1,39	1,6	1,43	1,46	1,53	1,34	1,53	1,96619048

A2 LAI eredmények																						
Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag
2022.04.08	0,67	0,44	0,57	0,64	0,83	0,57	0,59	0,55	0,58	0,59	0,51	0,5	0,45	0,41	0,43	0,54	0,46	0,4	0,42	0,5	0,44	0,52809524
2022.04.15	1,02	0,68	0,8	1,45	1,23	0,77	0,84	0,78	0,97	0,86	0,83	0,6	0,45	0,61	0,69	0,69	0,43	0,61	0,28	0,32	0,39	0,72857143
2022.04.24	1,85	1,29	1,47	2,03	2,17	1,42	2,01	1,33	1,41	1,43	1,27	1,11	0,98	1,12	1,12	1,25	1,25	1,31	0,99	0,96	0,9	1,3652381
2022.05.01	3,22	1,75	1,8	2,64	2,74	2,34	2,75	1,86	2,06	2,11	1,92	1,71	1,65	1,37	1,65	1,78	1,66	1,66	1,39	0,89	0,9	1,89761905
2022.05.08	2,5	2,09	2,24	2,71	2,66	1,97	2,27	1,93	1,74	1,81	1,59	1,63	1,47	1,53	1,57	1,66	1,66	1,61	1,3	1,06	1,18	1,81809524

A3 LAI eredmények																						
Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag
2022.04.08	1,68	1,35	1,57	1,26	1,68	1,97	1,84	1,32	1,7	1,59	1,86	2,04	2,11	1,96	1,99	1,79	2,37	1,89	2,04	2,09	1,85	1,80714286
2022.04.15	2,42	1,91	2,71	3,5	3,34	3,12	3,04	1,73	2,45	2,55	3,53	2,38	2,57	2,12	1,82	2,22	2,31	2,06	2,23	2,02	2,27	2,49047619
2022.04.24	2,9	2,44	3,08	2,6	3	3,03	2,97	2,4	2,54	2,85	3,29	3,15	3,09	3,19	2,99	2,99	3,43	3,14	3,29	3,67	3,15	3,00904762
2022.05.01	4,46	4,23	5,34	4,71	5,09	4,51	3,94	3,32	3,6	4,27	4,89	4,9	4,13	4,14	4,23	3,83	6,08	6,06	6,88	5,66	5,42	4,74714286
2022.05.08	3,84	3,64	3,98	4,13	4,32	4,2	3,89	3,55	3,5	3,79	4,03	4	4,15	4,1	4,18	4,25	4,55	4,7	4,83	4,47	4,55	4,12619048

6. táblázat: Kézi mérések eredményei őszi árpában

Kézi mérések

L1 Lal eredmények																						
Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag
2022.04.08	0,29	0,27	0,58	0,59	0,37	0,5	0,62	0,87	0,57	0,6	0,62	0,48	0,2	0,23	0,13	0,03	0,11	0,15	0,39	0,41	0,38	0,39952381
2022.04.15	0,64	0,59	1,49	1,18	0,99	1	1,71	1,73	1,28	1,36	0,98	0,7	0,9	0,93	0,24	0,19	0,3	0,65	0,92	0,75	0,72	0,916666667
2022.04.25	1,88	1,79	1,71	2,07	0,86	1,1	1,11	1,55	1,83	1,77	1,24	0,73	0,49	0,62	0,79	0,41	0,67	0,7	0,99	1,75	1,1	1,198095238
2022.05.01	1,35	1,48	1,68	1,89	1,77	1,47	2,61	2,61	2,72	4,1	3,5	3,47	1,54	1,27	0,89	0,76	1,15	1,04	1,65	1,95	1,58	1,927619048
2022.05.08	1,25	1,93	1,8	2,56	2,4	1,84	2,71	2,89	3,61	3,28	3,37	2,14	1,52	1,37	0,85	0,83	0,93	1,36	1,79	1,75	1,55	1,987142857
2022.06.12	1,27	0,51	0,75	1,34	1,17	0,89	0,79	1,05	1,04	0,98	1,02	1,26	1,05	1,02	1,91	1,07	1,64	1,06	0,78	1,33	1,4	1,110952381
2022.06.19	0,8	0,76	0,68	1,94	2,1	1,61	1,32	1,91	2,58	2,14	2,15	3,16	2,66	1,77	1,35	0,37	0,74	0,35	0,44	0,36	0,36	1,407142857

L2 Lal eredmények

Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag
2022.04.08	0,25	0,42	0,26	0,11	0,07	0,08	0,21	0,4	0,18	0,59	0,56	0,43	0,37	0,38	0,56	0,29	0,17	0,29	0,58	0,54	0,42	0,340952381
2022.04.15	0,64	0,92	0,61	0,26	0,38	0,13	0,28	0,41	0,2	1,3	1,09	0,76	0,73	0,58	1	0,78	0,51	0,67	0,77	1,07	0,86	0,664285714
2022.04.25	1,52	1,93	1,52	1,58	0,79	0,96	1,64	1,45	1,14	1,32	1,76	2,23	0,71	1,03	0,51	0,43	0,56	1,14	1,47	1,65	2,04	1,303809524
2022.05.01	2,6	2,97	3,63	2,41	2,14	2,68	3,25	2,45	1,87	2,64	2,5	2,08	1,09	1,31	1,68	1,45	1,44	1,18	2,12	2,06	1,55	2,147619048
2022.05.08	1,7	1,99	2,66	2,06	1,75	1,98	2,61	2,09	1,9	2,11	2,56	3,47	1,44	1,59	2,62	2,46	0,94	0,99	2,16	2,46	1,66	2,057142857
2022.06.12	0,81	1,14	0,45	0,73	1,27	1,74	0,48	0,74	1,04	1,26	0,54	1,12	1,21	1,25	1,45	1,05	1,44	0,9	1,36	1,17	0,72	1,041428571
2022.06.19	0,98	0,94	1,14	1,06	1,18	1,71	1,12	1,28	1	1,01	0,94	1,04	1,36	1,6	1,37	1,15	0,87	1,69	1,69	1,45	1,54	1,243809524

L3 Lal eredmények

Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag
2022.04.08	0,46	0,51	0,5	0,54	0,45	0,68	1,16	1,35	1,4	1,09	1,23	1,04	0,75	0,41	0,45	0,53	0,21	0,69	0,6	0,33	0,43	0,705238095
2022.04.08	0,95	1,17	0,84	0,85	1,64	1,75	1,84	2,3	2,2	1,99	1,82	1,54	1,3	0,83	1,02	1,19	0,7	1,38	1,33	0,69	0,65	1,332380952
2022.04.25	1,54	1,62	1,84	0,8	2,26	1,59	0,9	1,87	2,11	2,55	1,93	2,9	3,07	2,99	4,09	4,21	1,58	2,05	1,86	2,5	2,13	2,036190476
2022.05.01	2,36	2,21	3,27	2,73	2,73	1,83	2,43	2,78	3,04	2,77	3,87	4,95	4,94	4,09	4,11	4,24	2,94	2,65	2,75	3,4	2,8	3,147619048
2022.05.08	1,73	2,24	2,78	2,7	1,86	2,43	2,8	2,37	2,79	3,21	3,4	3,87	3,77	3,67	3,58	3,62	3,3	2,49	2,75	2,91	2,74	2,905238095
2022.06.12	2,21	1,68	2,01	1,27	1,57	1,28	1,74	1,4	1,21	1,02	1,87	1,19	1,26	2,32	1,26	0,29	1,53	1,5	1,92	0,96	2,12	1,505238095
2022.06.19	0,88	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,45	1,45	1,45	1,44	1,521428571

7. ábra: Kézi mérések eredményei lucernában

Kézi mérések																							
K1 LAI eredmények																							
Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag	
2022.06.06	1,04	0,96	0,54	1,24	0,64	0,91	0,64	0,68	1,2	0,99	0,7	1,41	1,25	0,98	0,98	1,41	1,49	1,4	1,25	0,87	0,6	1,00857143	
2022.06.12	0,93	0,47	1,3	2,16	1,58	1,63	0,75	0,53	2,97	2,35	2,75	2,32	1,72	1,23	1,06	0,68	0,12	0,33	0,22	0,12	0,17	1,20904762	
2022.06.19	1,02	1,63	0,85	1,65	1,62	1,78	2,11	1,26	1,84	1,78	1,59	1,74	1,38	1,03	1,54	1,37	1,34	1,27	1,15	1,27	1,57	1,46619048	
2022.06.26	1,5	1,71	1,91	2,13	1,95	1,95	1,74	2,13	1,37	1,76	1,59	1,3	1,88	1,89	2,17	1,52	1,58	1,39	1,28	1,82	1,72	1,53	1,70809524
2022.07.03	0,73	0,87	0,65	0,91	0,69	1,16	0,68	1,07	1,09	0,77	0,92	1,16	0,71	0,74	1,43	1,05	0,94	0,73	1,1	0,85	0,96	0,9147619	
2022.07.11	0,83	0,82	0,64	0,93	0,74	0,83	0,93	0,81	0,92	1,27	1,09	0,85	0,93	0,93	0,96	1,02	1	1,41	0,97	0,96	1,01	0,9452381	
K2 LAI eredmények																							
Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag	
2022.06.06	1,2	0,82	0,39	0,81	1,08	1,12	1,55	1,68	1,54	1,16	1,51	1,15	1,44	1,52	0,98	1	1,7	1	1,5	0,85	1,17	1,19857143	
2022.06.12	0,67	0,39	0,46	0,6	0,52	0,89	0,82	1,01	0,63	0,54	0,63	0,14	1,41	1,17	0,11	0,26	0,63	0,85	1,23	0,2	1,9	0,71714286	
2022.06.19	1,47	1,38	1,84	1,89	1,45	1,74	1,45	1,74	1,43	1,42	1,82	1,45	2,22	2,01	0,56	1,55	1,48	1,2	2,15	1,82	1,72	1,60904762	
2022.06.26	1,46	1,43	1,19	1,27	1,24	1,72	1,6	1,41	1,58	1,2	1,32	1,38	1,82	1,73	0,8	1,32	1,58	1,97	2,09	2,1	2,03	1,5352381	
2022.07.03	0,8	0,57	0,96	0,95	1,24	1,18	0,86	1,01	0,92	1,01	1,15	1,18	1,06	1,12	0,16	0,61	0,51	1,08	0,95	1,19	1,25	0,94095238	
2022.07.11	0,79	0,82	0,75	0,83	0,94	1,08	0,84	0,9	0,91	0,92	0,9	0,97	0,94	1,05	0,91	1,04	1,06	1,01	1	0,99	1,11	0,94095238	
K3 LAI eredmények																							
Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag	
2022.06.06	1,77	1,28	1,64	1,17	1,5	0,9	1,63	1,46	1,42	1,19	2,02	2	2,1	2,46	2,21	2,12	2,22	1,85	2,42	2,34	1,88	1,78952381	
2022.06.12	0,69	0,64	0,52	0,95	0,49	0,72	0,47	0,83	0,69	1,23	0,53	0,6	0,79	1,18	0,62	1,33	1,21	1,76	1,83	1,52	1,24	0,9447619	
2022.06.19	2,22	1,84	1,71	1,3	1,9	1,56	2,27	2,23	2,18	1,42	2,69	1,59	1,21	2,19	2,11	1,34	1,96	1,8	1,69	2,25	1,49	1,8547619	
2022.06.26	2,25	1,99	1,79	1,56	1,75	1,43	1,72	1,45	1,87	1,64	1,55	1,63	1,73	1,31	1,49	1,79	1,81	1,51	1,67	1,77	1,5	1,67666667	
2022.07.03	1,34	0,97	1,63	1,01	0,92	1,08	1,15	1,5	1,32	1,03	1,31	1,12	1,01	1,48	1,19	0,98	1,19	1,14	1,26	1,21	1,25	1,1947619	
2022.07.11	1,38	0,88	1,06	0,89	0,83	0,81	0,95	1	1,08	0,9	0,92	1,03	0,89	1,08	0,88	0,96	0,92	1,16	1,15	1,02	0,86	0,98333333	

8. táblázat: Kézi mérések eredményei kukoricában

Kézi mérések

N1 LAI eredmények

Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag
2022.06.06	0,32	1,27	1,07	1,28	1,12	1,11	1,6	1,76	1,39	1,63	1,55	1,57	1,93	1,8	0,87	1,03	2,03	1,38	0,74	1,57	1,44	1,3552381
2022.06.12	2,2	1,89	2,26	2,85	2,78	2,86	2,93	2,65	3,91	3,95	3,55	2,79	3,3	2,92	2,08	2,93	3,75	2,71	3,34	4,19	3,63	3,02238095
2022.06.19	0,57	1,97	1,58	1,79	2,32	1,62	2,88	2,35	2,82	2,29	1,7	2,13	1,63	2,05	2,32	2,57	2,19	2,91	1,82	1,25	2,02	2,03714286
2022.06.26	1,37	1,35	1,38	1,8	1,5	1,91	2,48	2,95	2,86	2,71	2,42	2,54	2,54	2,67	2,13	2,22	2,47	2,44	1,91	2,36	2,11	2,19619048
2022.07.03	1,65	2,05	1,85	1,86	2,16	2,42	3,05	3,61	3,94	3,52	2,89	2,64	3,1	4,04	3,63	3,02	3,74	3,15	3,19	2,85	2,96	2,92
2022.07.11	1,37	1,67	1,66	2,11	2,58	2,29	2,41	3,16	3,36	3,13	2,63	2,51	3,01	3,25	2,39	2,63	2,74	2,48	2,83	3,03	2,37	2,55285714

N2 LAI eredmények

Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag
2022.06.06	1,54	1,29	1,28	1,39	1,16	1,31	1,02	1,26	1,23	0,56	1,23	1,25	1,04	1,38	0,86	1,07	1,44	1,38	0,53	1,11	1,05	1,16095238
2022.06.12	4,17	3,19	2,99	2,5	4,21	2,28	2,9	3	3,44	3,58	2,83	3,29	3,1	3,4	2,16	3,29	2,82	2,42	2,82	3,06	3,59	3,09714286
2022.06.19	2,08	1,82	2,18	2,17	1,27	1,04	1,5	1,3	1,47	1,25	2,15	1,85	1,42	1,68	1,37	1,38	2,14	1,7	0,35	0,47	1,72	1,53857143
2022.06.26	1,63	1,39	1,54	1,22	1,59	1,42	1,29	1,54	1,49	1,14	1,44	1,31	1,33	1,47	1	0,91	1,54	1,01	0,68	0,95	0,61	1,26190476
2022.07.03	1,12	1,14	1,1	1,15	1,04	1,15	1,07	1,22	1,39	0,94	1,36	1,19	1,24	1,21	1,09	0,97	0,98	0,94	0,84	0,74	0,79	1,07952381
2022.07.11	0,95	0,93	1,03	1,04	1,07	1,17	1,08	1,46	1,78	1,27	1,45	1,29	1,38	1,32	1,3	0,99	1,08	1,05	0,93	0,68	0,68	1,13952381

N3 LAI eredmények

Dátum	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m	40m	Átlag
2022.06.06	0,74	0,75	0,95	0,99	1	1,14	1,14	1,29	1,34	1,36	1,12	1,22	1,18	1,16	1,32	1,3	1,27	1,14	1,18	1,24	1,2	1,14428571
2022.06.12	0,83	1,32	1,18	1,38	1,95	2,02	2,11	2,17	2,8	2,31	2,48	1,25	2,7	2,5	2,98	2,84	3,67	3,02	3,09	2,38	2,58	2,2647619
2022.06.19	1,09	1,37	0,92	0,88	1,04	1,62	1,6	1,23	1,49	1,22	1	2,21	1,72	1,8	1,99	1,72	1,31	2,07	1,95	2,04	1,96	1,5347619
2022.06.26	0,85	0,97	0,77	0,92	1,03	1,15	0,98	1,15	1,09	1,22	1,06	0,86	1,2	1,31	1,3	1,42	1,41	1,38	1,41	1,58	1,49	1,16904762
2022.07.03	0,73	0,63	0,32	0,37	0,62	0,66	1,24	0,84	0,5	1,09	1,14	1,25	0,95	1,02	0,73	0,92	0,98	1,37	1,64	1,42	1,55	0,95095238
2022.07.11	0,57	0,52	0,48	0,51	0,52	0,54	0,58	0,57	0,61	0,68	0,67	0,75	0,77	0,74	0,81	0,96	0,98	1,33	1,18	1,24	1,31	0,77714286

9. táblázat: Kézi mérések eredményei napraforgóban

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Törőcsik Ádám
A Hallgató Neptun kódja: WI7E8A
A dolgozat címe: Levélfelületi index (LAI) becslése ceptométerrel és a becslések összevetése a multispektrális műholdfelvételekből származtatott LAI-értékekkel
A megjelenés éve: 2023
A konzulens tanszék neve: Növényélettan és Növényökológia Tanszék, NTTI

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.


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 mindenkori szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

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

Kelt: 2023 év május hó 9. nap



Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A Töröcsik Ádám (hallgató Neptun azonosítója: WI7E8A) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfólió¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védelemre javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: nem^{*2}

Kelt: Gödöllő 2023 év május hó 9 nap


Belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.