

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

AMBRUS BÁLINT

MOSONMAGYARÓVÁR

2023

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
ALBERT KÁZMÉR MOSONMAGYARÓVÁRI KAR
BIOLÓGIAI RENDSZEREK ÉS PRECÍZIÓS TECHNOLÓGIAI
TANSZÉK**

**Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer- tudományi
Multidiszciplináris Doktori Iskola**

Doktori Iskola vezetője: Prof. Dr. Varga László DSc
egyetemi tanár

Program: Haberlandt Gottlieb Növénytudományi Doktori Program
Programvezető: Prof. Dr. Pinke Gyula
egyetemi tanár

Témavezetők:
Dr. Nyéki Anikó PhD
egyetemi docens,

Dr. Teschner Gergely PhD
egyetemi adjunktus

**ADATGYŰJTÉSI TECHNOLÓGIÁK FEJLESZTÉSE A
PRECÍZIÓS NÖVÉNYTERMESZTÉS NÉL, KÜLÖNÖS
TEKINTETTEL A MAGAJÁRÓ BERENDEZÉSEKRE**

Készítette:
AMBRUS BÁLINT

MOSONMAGYARÓVÁR
2023

1. BEVEZETÉS

A dolgozat egyrészt egy autonóm kisméretű intelligens adatgyűjtő és elemző robotot mutat be, amely képes környezeti paraméterek érzékelésére és RGB képek feldolgozására gépi tanulási módszerekkel. A robot érzékelési, adatfeldolgozási és adatátviteli rendszere az eredeti kereskedelmi forgalomban kapható rendszerhez képest nagyfokú fejlesztésen esett át. Célja egy alacsony költségű és többfunkciós mobil szántóföldi robot megalkotása, amelyet alkalmazni lehet a precíziós mezőgazdaságban.

A dolgozat másik célja növényházas és szabadföldi termesztéstechnológia mellett a paradicsom természámanak és terméshozamának becslése a saját fejlesztésű robottal és emellett egy digitális tükörreflexes (DSLR) kamerával. A dolgozat egy új megközelítést javasol a paradicsom hozamának előrejelzésére, amely szabadföldi és növényházas termesztéstechnológia mellett készült képeken, valamint 3D szkennelésen és modellezésen alapul. A paradicsombogyó szegmentálására egy konvolúciós neurális hálózat (CNN) modell lett kidolgozva.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Alap robotrendszer

A kiindulási robotrendszer a XiaoR Geek TH Robot Car Kit típusú szabad forráskódú robot platform. A robot járószerkezet gumihevederes kialakítású. A központi egység egy Raspberry Pi 4 mikroszámítógép. A robot négy szabadságfokkal rendelkező robotkarral van felszerelve, amely szervomotorokkal mozgatható két egymásra merőleges irányban. Fel van szerelve egy RGB kamerával is, amely két tengely mentén szervomotorokkal pozícionálható. A robot vezérlőszoftvere Python programozási nyelven készült. Lehetőség van vezetékes és vezeték nélküli kapcsolaton keresztül is működtetni a készüléket.

2.2. Robotfejlesztés

A robot vázszerkezeti elemei kibővítésre kerültek a terepi munkavégzés végett, az eredeti meghajtórendszer motorjait nagyobb teljesítményű motorokra cseréltük.

Az áramellátást Li-Ion akkumulátorcsomag biztosítja. A többi alacsonyabb feszültséget igénylő rendszert a megfelelő tápfeszültséggel konverterek látják el.

A robot központi egységére telepítésre került egy mesterséges intelligencia modul, amely az RGB kamera képeit képes osztályozni. Ez a módszer az Edges Impulse platformon keresztül létrehozott neurális hálózati modellt használja a TensorFlow szoftverkönyvtár felhasználásával.

A robotot egy saját fejlesztésű alkalmazás irányítja, amely alkalmazással a robot minden funkciója irányítható.

A robot számos szenzorral van felszerelve, amik a következő adatokat gyűjtik: globálsugárzás, környezeti hőmérséklet és páratartalom. A talaj tulajdonságai közül: talajfelszíni infravörös-hőmérő, talajhőmérséklet, talajnedvességtartalom, EC, pH, NPK tartalom detektálására képes.

A berendezés autonóm mozgása céljából LiDAR érzékelővel rendelkezik. A beépített GPS vevő nem vesz részt a robot irányításában, hanem eltárolja a robot pozícióját.

2.3. Kísérleti helyszínek bemutatása

A szabadföldi kísérleti parcella a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem kertészeti kísérleti telepén volt, Gödöllőn. Minden kezeléshez két mintahely tartozik. Az adatgyűjtés összesen 20 mintahelyet jelentett, ami kezelésenként négy ismétlés.

A növényházas kísérleti parcella a Dunakiliti község belterületen volt, a Ranyák kertészet tulajdonában lévő üzemben. A növényeket futtatásos technológiával termesztették. Az adatgyűjtést összesen 27 mintahelyről végeztük, ami összesen 27 tövet jelentett.

2.4. Adatgyűjtés és a feldolgozás módszerei

A képek egy 12,2 Megapixeles $22,2 \times 14,8$ mm szenzorméretű Canon EOS 1100D fényképezőgéppel készültek, RGB színtartományban.

Szabadföldi kísérletben a fényképek a fényképezőgép teljes manuális módjában történt 100 cm-es távolságra a paradicsomnövények felett fényképezőgép állvány felhasználásával. Az adatelemzéshez minden egyes mintavételi helyen 5 RGB-képből álló adatkészletet használtunk fel panorámaképpé összefűzve, így képet adva a teljes mintavételi helyszínről. Növényházas kísérletben a képeket oldalnézetben a növénytörzstől 100 cm

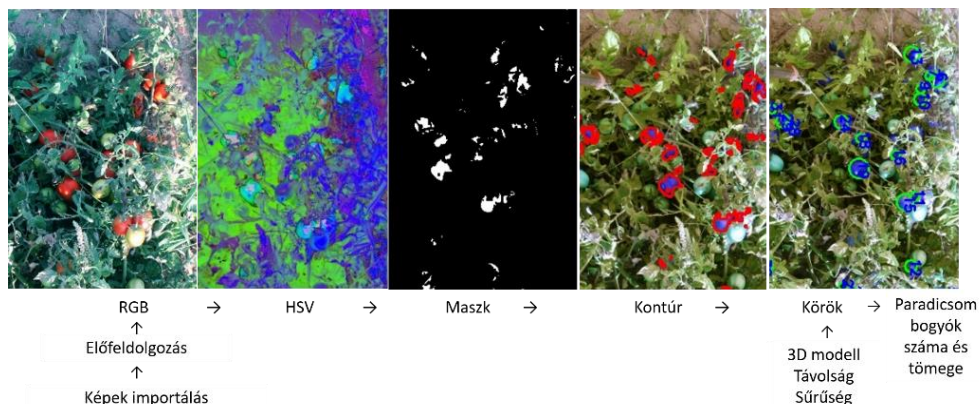
távolságban fényképezőgép állvány segítségével készítettünk, a szabadföldi kísérletnél alkalmazott fényképezőgép beállítások mellett.

A képi adatgyűjtés a robotba integrált 1,3 Megapixeles $3,00 \times 4,32$ mm szenzorméretű kamera segítségével is megtörtént. A szabadföldi és növényházas kísérlet esetében is a robot egy irányból készítette a felvételeket a növényi soroktól 40 cm-es távolságban. Szabadföldi kísérletben egy menetben történt a felvételezés, az elkészült képeket úgyszintén panorámaképekké egyesítettük. Növényházas kísérlet esetében, mivel a növények magassága és a kamera látómezője nem tette lehetővé a teljes növény egy képen való megjelenését ezért a felvételezése két menetben történt meg 0° és 45° kamera állásban.

2.4.1. Képfeldolgozási módszerek

A képi információk feldolgozását két módszert alkalmaztunk. Elsőként összesen 924 kép felhasználásával kialakítottunk egy reprezentatív adatkészletet és két osztályt; érett és éretlen csoportokat. Az Edge Impulse rendszer nem működött közvetlenül online a robottal, hanem egy önálló alkalmazást futtatott. A számítási kapacitás miatt a képkockasebesség maximum 5 FPS volt, ami a robot alacsony sebessége mellett elegendőnek bizonyult.

A képfeldolgozás másik módszeréül egy gépi látást megvalósító OpenCV függvénykönyvtárat alkalmazó utófeldolgozási módszert használtunk, amely a színek szerinti szétválasztással, LiDAR távolságadatokat és a paradicsom termés előzetes paramétereinek felhasználásával állapítja meg a termésszámot és a hozammennyiségét. Az 1. ábra a gépi látás alapú képfeldolgozási módszer lépéseit szemlélteti a DSLR kamera felvételei alapján.



1. ábra – A képi adatértékelési módszer lépései mindkét platform esetében

2.5. Képfeldolgozáshoz szükséges korrekciós módszerek

A **Lenckorrekció**s eljárásnál DSLR fényképezőgép esetében az objektív torzítása ismert volt, ezért ebben az esetben nem készült kalibráció. A robot esetében a kalibráció során egy sakktábla mintájú kalibrációs panelt alkalmaztunk, amely 91 db 10 mm oldalhosszúságú fehér és fekete négyzetekből áll. A kalibrációs panelről a robot kamerája különböző tetszőlegesen megválasztott távolságokból és szögekből készített fényképeket.

A **távolságkalibrációs** mérés során mindkét adatgyűjtő platform felhasználásával készítettünk felvételeket egy referencia objektumról, amely egy ismert felületű piros kör volt. Célunk a referencia objektum valós felületének (cm^2) és a felvételeken meghatározott felület (pix) közötti kapcsolat meghatározása. A felvételeket a kamerák azonos beállítása mellett készítettük el 20 és 200 cm-es távolságok között 10 cm-es lépésekben.

A **szín és fénykorrekció**s vizsgálat során 15 azonos beállítású képet készítettünk a növényházas kísérletről begyűjtött 4 db érett paradicsom mintáról. A színszegmentációs értékek meghatározásához a paradicsom termésről 15 féle megvilágítási érték mellett készült képeket használtuk fel a képek külön csatornáit ábrázoló hisztogramok felhasználásával. A

hisztogramokból kinyertük a kép jellemző színeit és ezen színek HSV értékeit használtuk fel a szegmentációs intervallumok meghatározásához.

2.6. Paradicsom termés 3D modellezésének módszere

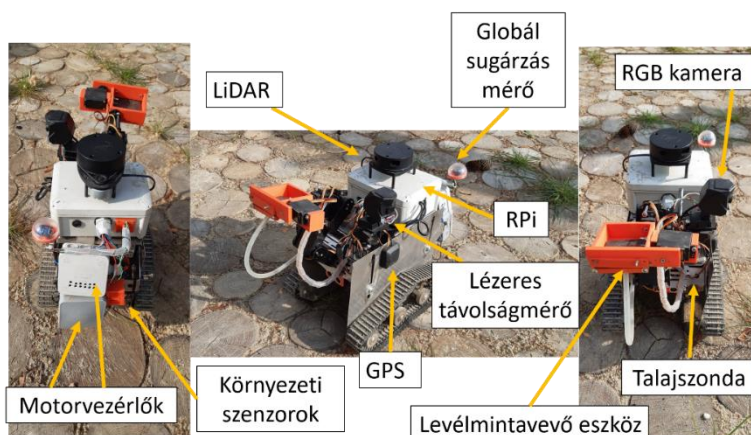
A paradicsom termés 3D-s modelljének megalkotásához egy utánépített szabad forráskódú Ciclop 3D lézer scannert használtunk fel. Az eszköz kalibrálása után történik a tényleges szkennelés. A kívánt tárgyat a letapogatási platform közepére helyezzük úgy, hogy mindkét lézer felé mutasson.

Mindkét mérési területen a termésmintákat véletlenszerűen választottuk ki, ügyelve arra, hogy minden minta azonos érési állapotban legyen. A szkennelési folyamat után egy 3D pontfelhő keletkezett, amely reprezentálja mind a két paradicsom fajta morfológiai tulajdonságait. A pontfelhő alapján előállítottuk a termések zárt felületű 3D modelljét Horus szoftverre.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Robotfejlesztés eredményei

A robot (2. ábra) autonóm módon képes irányítani magát a sorok között. Ehhez a művelethez az RPLIDAR A1 típusú lézeres távérzékelő modult használja fel. A LiDAR szenzor előre meghatározott irányokban végez méréseket és kiszámítani a távolságadatokat, ha a mért távolság kisebb, mint egy előre beállított érték, akkor az ellenkező irányba mozgatja a robotot. A terepi alkalmazás során az eltérés átlagosan $\pm 2\text{ cm}$ volt.



2. ábra — A robot fő komponenseivel

A berendezés az összegyűjtött adatokat táblázatos formában tudja rögzíteni az értékeket a saját memóriájában, másrészt egy GSM alapú felhő alapú tárolást is megvalósít. Az adatok tárolásához a ThingSpeak nevű online IoT-elemző platform szolgáltatást alkalmaztuk.

3.2. Paradicsom termés 3D modellezésének eredményei

A paradicsom termésbecslése érdekében megalkottuk a paradicsom termés 3D szkennelvel készült modelljét. A paradicsom modell térfogatának meghatározása után a legkisebb négyzetek módszerével hozzáillesztettük a

legjobban illeszkedő gömböket, amelyek a bogyók közelítését szolgálják a termésbecsléshez. Figyelembe véve a gömb térfogatának a paradicsombogyók térfogatához viszonyított arányát, mint korrekciós tényezőt, valamint a paradicsombogyó termésének átlagos sűrűségét, a képek feldolgozásával végeztük el a termésbecslést.

3.3. Optikai korrekciós eredmények

A lencsekorrekció vizsgálat során az Adobe Lens Profile Creator 1.0.4 szoftvert alkalmaztuk, amely egy kalibrációs mátrixot hozott létre a kalibrációs minta különböző irányából és távolságaiból a robot által készített képei alapján. A torzítási együtthatókat felhasználva a képeket perspektivikus nézetre korrigálja a program.

A fénykorrekció és színi vizsgálatok során a képek feldolgozásához OpenCV alapú technikát alkalmaztunk. A HSV minimum és maximum értékének felhasználásával megállapítható a szegmentáció intervallumának értékei, ami az érett paradicsom HSV értékeit jelenti. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a kijelölt terület nagysága 3000 lx megvilágításnál kisebb értékek mellett meredeken kezd csökkenni.

A távolságkalibráció során az elkészült képeknél a lencsetorzítás kiküszöbölése után szín szerinti szegmentálást alkalmaztunk, amely során elválasztottuk és kijelöltük a referencia objektumot a képeken, valamint meghatároztuk a pixelben mért felületét. Ezt a számot ezután elosztottuk a referenciaobjektum cm^2 -ben megadott felületével, így eredményként egy pix / cm^2 arányt kaptunk, amely segítségével a LiDAR távolságadatait felhasználva megadható az érett paradicsombogyók valós felülete.

3.3. Képfeldolgozás eredményei

3.3.1. Paradicsom termés detektáló módszerének eredményei

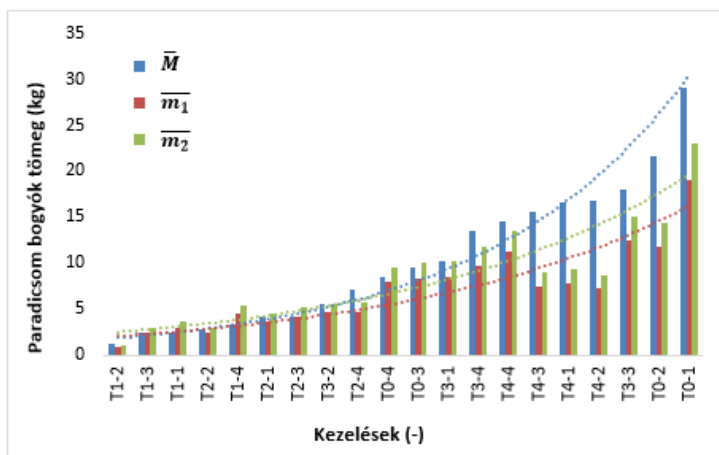
A robot mozgása során elemzi a rögzített képeket, amit egy gépi tanulás alapú CNN tesz lehetővé, amit paradicsom növény termésének osztályozására készítettünk el (3. ábra). A modell F1 teljesítménymutató értéke több mint 90%-nak adódott, jelezve, hogy a modell minden megfigyelést helyesen jelez előre.



3. ábra – Észlelt paradicsombogyók

3.3.2. A hozambecslési módszer eredményei

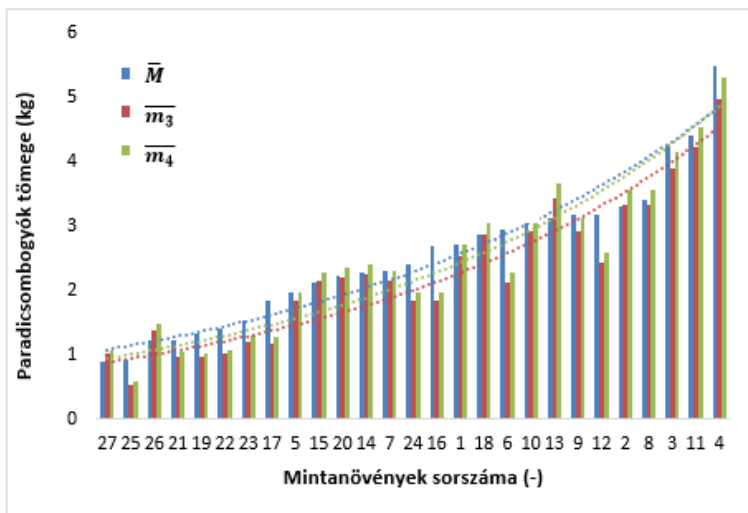
A DSLR fényképezőgép képeinek eredményei a szabadföldi paradicsomkísérlet esetében: A kísérlet során meghatároztuk a paradicsombogyók össztömegét a gömbbel (\overline{m}_1), és a 3D modellel (\overline{m}_2) való közelítéssel (4. ábra), 0,73 és 0,98 R^2 értékek mellett.



4. ábra – A paradicsombogyó tömegének összehasonlítása az egyes kezelések növekvő hozama alapján.

A számított tömegek átlaga a valósánál kisebb értékeket mutatott. A 3D modell alkalmazásakor a módszer átlagos relatív hibája 21,90%-kal kisebbnek mutatkozott, mint a gömbbel való közelítés hibája, ami 25,52%.

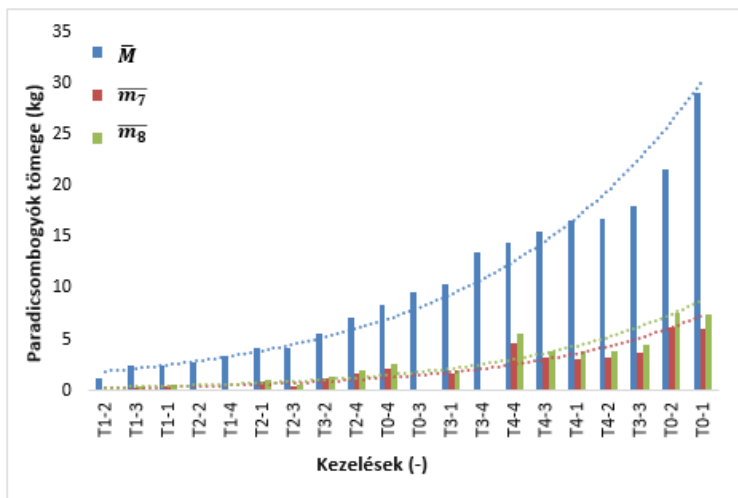
A DSLR fényképezőgép képeinek eredményei a növényházas paradicsomkísérlet esetében: Ezen mérés során megkaptuk a paradicsombogyók össztömegét az egyes mintanövényekre nézve, a gömbbel első mérésnél \bar{m}_3 , második mérésnél \bar{m}_5 és a 3D modellel első mérésnél \bar{m}_4 , második mérésnél \bar{m}_6 való közelítéssel (5. ábra).



5. ábra – A paradiocsombogyó tömegének összehasonlítása az egyes kezelések növekvő hozama alapján az első méréskor

Mindkét mérés esetében az egyes mintanövényekre nézve a 3D modell alkalmazásakor a módszer átlagos relatív hibája kisebbnek mutatkozott, mint a gömb modellel való közelítés hibája viszont a valós össztömegértékekhez képest, néhány esetben túlbecslés figyelhető meg, ami a paradiocsombogyók egymás közötti átfedéséből fakadó felületkijelölési hibákra vezethető vissza. A mérések legkisebb relatív hibája 9,95% ami a legjobb számított eredményt hozta.

A robot képeinek eredményei a szabadföldi paradiocsomkísérlet esetében: A robot a betakarításkor összesen 453 db felvételt készített. Az elemzés végtermékeként megkaptuk a gömbbel ($\overline{m_7}$), és a 3D modellel ($\overline{m_8}$), való közelítés tömegadatait (6. ábra). Mindkét modellel való közelítés esetében a korreláció az egyes kezelésekre nézve 0,77 – 0,95 közötti R^2 értékeket eredményezett.

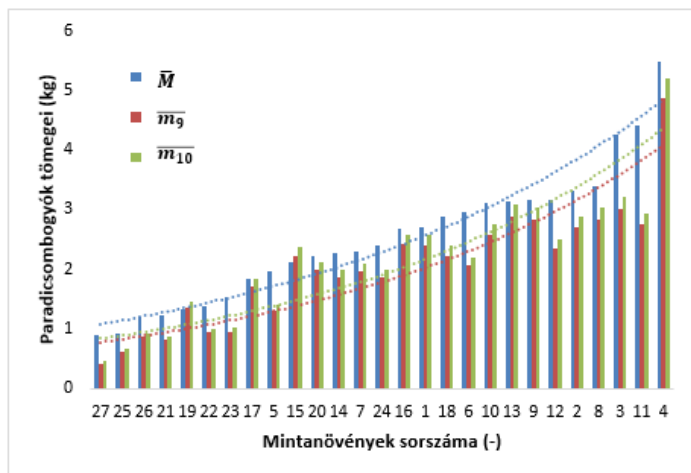


6. ábra – Paradicsombogyó tömegének összehasonlítása különböző módszerek alapján az egyes kezelések növekvő hozama alapján

A relatív hiba magas, 76,07% és 80,22%-os értékét a képrögzítési módszer okozta, amely szerint a növényállomány csak az egyik oldalról került rögzítésre, így a többi részletről nem áll rendelkezésre információ.

A robot képeinek eredményei a növényházas paradicsomkísérlet esetében:

A kiértékelése folyamán, a gömbbel első mérésnél \bar{m}_9 , második mérésnél \bar{m}_{11} és a 3D modellel első mérésnél \bar{m}_{10} , második mérésnél \bar{m}_{12} való közelítéssel kinyertük a paradicsom tömegeket (7. ábra). A két különböző modellel való közelítés minden kezelésnél az első mérésnél 0,9029; a második mérésnél 0,8473 R^2 értékű korrelációt eredményezett, ami arányaiban megegyezik a DSLR kamerával való mérés korrelációs eredményeivel.



7. ábra – A paradicsombogyó tömegének összehasonlítása az egyes kezelések növekvő hozama alapján az első méréskor

Mind a két mérés folyamán a 3D modell alkalmazásakor kaptuk a kedvezőbb eredményeket. A mérések legkisebb relatív hibája 17,07% ami a legjobb számított eredményt hozta.

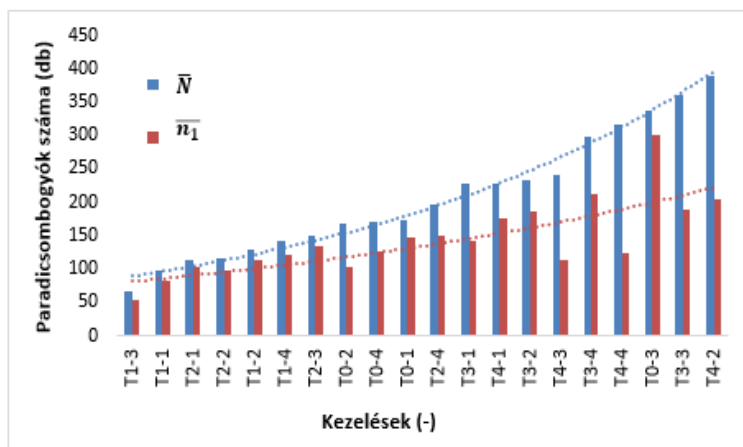
Az 1. táblázat a szabadföldi és a növényházas tömeg meghatározás összefoglaló eredményeit szemlélteti.

1. táblázat – A kísérletek összesítő tömegadatai

	Platform (-)	Közelítés (-)	\bar{M} (kg)	\bar{m}_x (kg)	\bar{x} (kg)	H_x (kg)	h_x (%)
Szabadföldi mérés	DSLR	Gömb	10,35	\bar{m}_1	7,10	3,42	25,52
		3D		\bar{m}_2	8,59	2,45	21,90
	Robot	Gömb		\bar{m}_7	2,42	8,69	80,22
		3D		\bar{m}_8	2,93	8,18	76,07
1. növényházas mérés	DSLR	Gömb	2,52	\bar{m}_3	2,27	0,30	14,03
		3D		\bar{m}_4	2,43	0,25	12,62
	Robot	Gömb		\bar{m}_9	2,02	0,51	21,48
		3D		\bar{m}_{10}	2,16	0,39	17,07
2. növényházas mérés	DSLR	Gömb	1,23	\bar{m}_5	1,07	0,17	13,72
		3D		\bar{m}_6	1,15	0,13	9,95
	Robot	Gömb		\bar{m}_{11}	0,88	0,35	27,92
		3D		\bar{m}_{12}	0,95	0,29	22,88

3.3.3. Paradicsom bogyószám meghatározásának eredményei

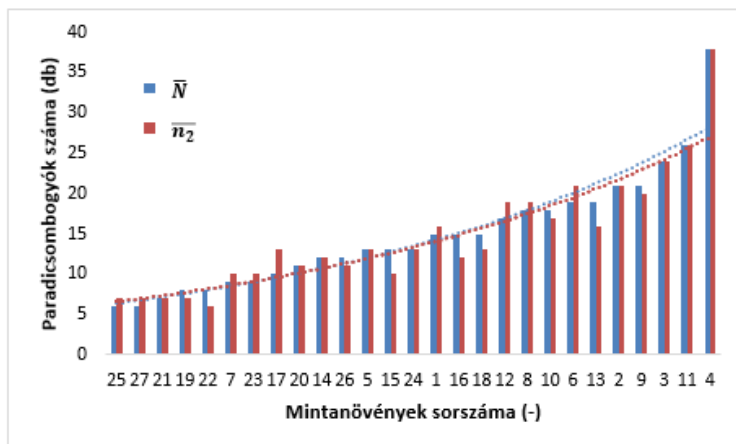
DSLR fényképezőgép képeinek eredményei a szabadföldi paradicsomkísérlet esetében: Eredményeként megkapuk a számított paradicsom termésszámot (\bar{n}_1) az adott kezelésekre vetítve (8. ábra). Az egyes kezelésekre nézve a lineáris kapcsolat mértékéte 0,8831 és 0,9965 R^2 között volt.



8. ábra – A paradicsom termésszám összehasonlítása az egyes kezelésekre növekvő hozama alapján.

A valós darabszámtól való átlagos eltérés 71 db, míg a relatív hiba átlaga 28,57%-nak adódott, így a módszer nagymértékben alábecsülte a valós értéket.

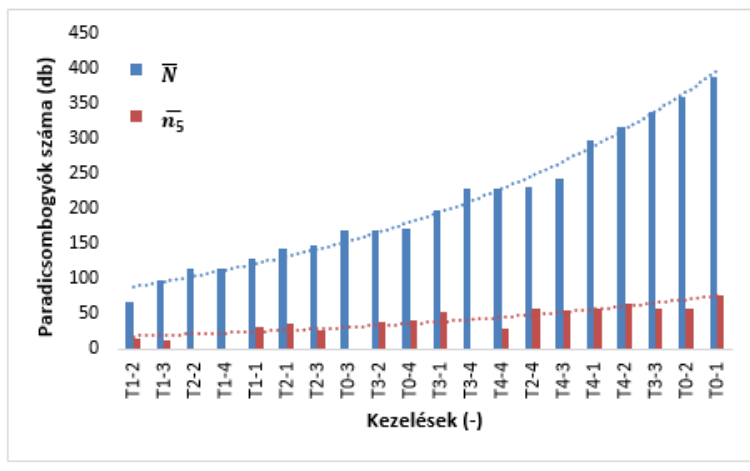
DSLR fényképezőgép képeinek eredményei a növényház paradicsomkísérlet esetében: Meghatároztuk a számított paradicsom termésszámot első mérésnél \bar{n}_2 második mérésnél \bar{n}_3 (9. ábra). A két mérés kiértékelése során meghatározott R^2 értéke 0,9545 és 0,8667 arányaiban megegyezik a mérések tömegének meghatározásakor kapott együtthatókkal.



9. ábra – A paradicsom termésszám összehasonlítása az egyes mintanövények növekvő hozama alapján az első méréskor

A tömegek meghatározásával összehangban a bogyószámok meghatározásának a valós értéktől való eltérései is hasonló arányban jelennek meg. Az első mérés esetében az abszolút hiba (a valós darabszámtól való eltérés) átlaga 1 db volt, ami 9,20% átlagos relatív hibának felel meg. A pontosabb eredményeket a kordonra futtatott termesztési technológia okozta, a pontosabb detektációnak köszönhetően.

Robot képeinek eredményei a szabadföldi paradicsomkísérlet képi adatkészletére alapozva: A kiértékelés végén megállapítottuk a számított paradicsom termésszámot a szegmentációs eljárással (\bar{n}_4) és a CNN-re alapozva (\bar{n}_5) is, az adott kezelésekre vetítve (10. ábra).



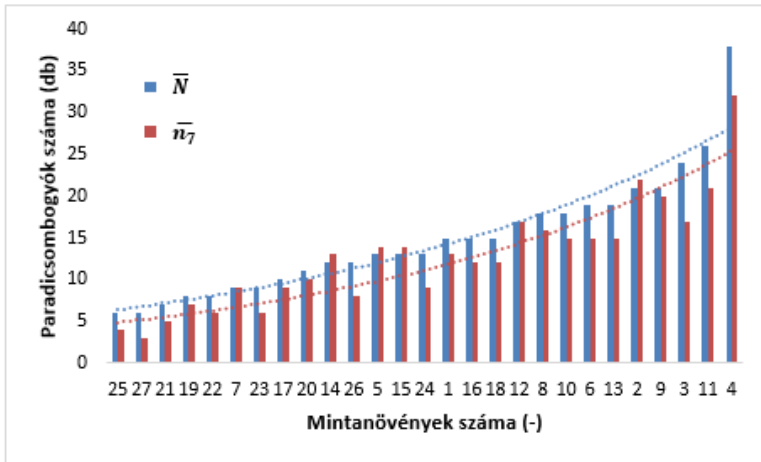
10. ábra – A paradicsom termésszám összehasonlítása szegmentáció alapján a kis robotkamerás képekből

A CNN-re alapozott termésszám meghatározás értékei 0,4945 és 0,9422 R^2 között változtak az egyes kezelésekre nézve. A szegmentációs eljárás során az értékei 0,618 és 0,870 R^2 között voltak az egyes kezelésekre esetében. A teljes mérésre megvizsgálva az együtthatók 0,7849 R^2 értéket mutatott a szegmentációs eljárás esetében és kedvezőbb 0,8069 R^2 értéket pedig a CNN elemzési mód alkalmazásakor. Mindkét eljárást nagyfokú, több mint 80%-os alulbecslés jellemezte. Az eredmények eltérésének oka úgyszintén a felvételezés módjában keresendő.

Mindkét eljárás vizsgálata során közel azonos átlagos hibát tapasztaltunk 175 db és 172 db értékekkel, így a relatív hiba átlaga is magas 84 db és 83 db volt. Így a két módszer eredményei megközelítőleg azonosak, kismértékben a CNN-re alapozott módszer mutatott kedvezőbb eredményeket.

Robot képeinek eredményei a növényházas paradicsomkísérlet képi adatkészletére alapozva: Ez esetében is meghatároztuk a számított paradicsom termésszámot két különböző módszerrel. Az első mérésnél CNN-re alapozva \bar{n}_6 , második mérésnél \bar{n}_8 , értékeket; majd első mérésnél szegmentációra

alapozva \bar{n}_7 , második mérésnél \bar{n}_9 , értékeket az adott mintavételi helyekre vetítve (11. ábra). Mindkét mérés esetében a szegmentációs eljárás hozott kedvezőbb eredményeket. Az első mérés esetében 0,9145 míg a második mérésnél 0,8394 R^2 értéket adva az összes mintanövényre nézve.



11. ábra – A paradicsom termésszám összehasonlítása az egyes mintanövények növekvő hozama alapján az első méréskor szegmentáció alapján

A DSLR kamerás méréssel megközelítőleg egyező nagyságú eredményeket kaptunk mindkét módszer esetében. A szabadföldi kísérlettel ellentétben nem mutattak olyan nagyfokú alulbecslést. Az átlagos relatív hiba pedig 18,02% és 32,35% között mozgott.

A 2. táblázat a szabadföldi és a a növényházas termésszám meghatározás eredményeit szemlélteti.

2. táblázat – A növényházás kísérlet összesítő termésszám adatai

	Elemzési módszer (-)	Platform (-)	\bar{N} (db)	\bar{n}_y (db)	\bar{x} (db)	H_y (db)	h_y (%)
Szabadföldi mérés	Szegmentáció	DSLR	207,5	\bar{n}_1	136,6	70,9	28,5
	Szegmentáció	Robot		\bar{n}_4	41	175	84,2
1. növényházás mérés	CNN	Robot	14,9	\bar{n}_5	44,8	171,7	83,3
	Szegmentáció	DSLR		\bar{n}_2	14,7	1,1	9,2
2. növényházás mérés	CNN	Robot	20,8	\bar{n}_6	11,4	3,5	23,1
	Szegmentáció	Robot		\bar{n}_7	12,7	2,4	18,0
2. növényházás mérés	Szegmentáció	DSLR	20,8	\bar{n}_3	18,7	2,7	12,6
	CNN	Robot		\bar{n}_8	14,1	6,7	32,3
	Szegmentáció	Robot		\bar{n}_9	14,7	6,0	28,2

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK (TÉZISEK)

- 1. Igazoltam, hogy a hibákkal terhelt képi információk esetében alkalmazott kalibrációs módszerek során meghatározott színszegmetációs intervallum az érett paradicsombogyók esetében pontos kijelölést eredményez, 3000 lx-nál nagyobb értékű megvilágítás esetében.**
- 2. Bizonyítottam, hogy a kialakított pixel/metrika felhasználásával és az objektum távolságának LiDAR alapú mérésével az objektum távolságába állított párhuzamos síkra vetített objektum felületének nagyságának meghatározásával, valamint előzetes 3D szkennelésre alapozott 360° -ban letapogatott paradicsom fajták modellalkotásával szabadföldi és zárt termesztéstechnológia mellett is termésbecslés végezhető el.**
- 3. Igazoltam, hogy a vizsgált körülmények között az alkalmazott 3D szkennelési technológiával készült paradicsom fajta korrekciós modellek átlagosan 3,73%-kal pontosabb termésbecslést tesznek lehetővé, mint a paradicsom termések gömbbel való alaktani közelítése.**
- 4. Igazoltam, hogy a robot által gyűjtött képi információk esetében a paradicsom növényi részeinek klaszterezésére és számlálására kialakított 8 bites kvantálással rendelkező konvolúciós neurális 5 FPS adatfeldolgozási kapacitása mellett 23,18%-os relatív hibával on-the-go működtethető, valamint ugyanezen képi adatok gépi látás alapú természám meghatározása a neurális hálózathoz képest kis, átlagosan 7,25 %-os eltéréssel működött.**

5. Igazoltam, hogy azonos beállítások és gépi látás alapú feldolgozás mellett, a 12,2 Megapixeles 22,2×14,8 mm szenzorméretű digitális tükörreflexes fényképezőgép által készült képek a robot 1,3 Megapixeles 3,00×4,32 mm szenzorméretű kamerája által készült képekhez képest minden mérés esetében átlagosan 28,08%-kal jobb eredményt hoztak. Ezzel bizonyítottam, hogy a képfelvételezési eljárás nagymértékben befolyásolja a paradicsom termésszám és termésmennyiség becslő eljárásokat.

A GYAKORLATNAK ÁTADHATÓ EREDMÉNYEK

1. Hardveresen és szoftveresen továbbfejlesztettem, valamint szenzorokkal és aktuátorral kiegészítettem, egy a precíziós mezőgazdaságban alkalmazható kereskedelmi forgalomban is kapható nyílt forráskódú robotot.
2. A továbbfejlesztett robottal begyűjtött eredmények azt mutatják, hogy a rendszer alkalmazható szabadföldi és zárt termesztési technológia mellett is. A moduláris felépítés adta lehetőségek miatt, adatgyűjtésre és beavatkozásra is egyaránt alkalmazható és bővíthető. Az adatok felhőalapú tárolásának köszönhetően beilleszthető a modern precíziós technológiákba.
3. A nagy adatalapú növekedési és előrejelzési modellek mesterséges intelligencián alapulnak, ehhez nyújt támogatást a kifejlesztett robot.
4. A 3D szkennelési eljárás a terméselőjelzés pontosításához alkalmas, akár más növények esetében is.
5. Kutatásaim során a precíziós növénytermesztésben alkalmazható távérzékelési, adatgyűjtési, szenzorálási és robotika témakörben olyan fejlesztést hajtottam végre, mely kertészeti kultúrákban bizonyítottan alkalmazható és további K+F innovációk alapja lehet.

5. PUBLIKÁCIÓS LISTA

I. IDEGEN NYELVEN MEGJELENT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

Ambrus, B. – Teschner, G. – Kovács, A.J. – Neményi, M. – Helyes, L. – Pék, Z. – Takács, S. – Alahmad, T., Nyéki, A. 2023. Field-grown tomato yield estimation using point cloud segmentation with 3D shaping and RGB pictures from a field robot and digital single lens reflex cameras. *Heliyon (Under Print)*. IF: 3.776, Q1.

Kulmány, I. M. – Bede-Fazekas, Á. – Beslin, A. – Giczi, Zs. – Milics, G. – Kovács, B. – Kovács, M. – **Ambrus, B.** – Bede, L. – Vona, V. 2022. Calibration of an arduino-based low-cost capacitive soil moisture sensor for smart agriculture. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 70(3). IF: 2.329, Q1.

Neményi, M. – Kovács, A.J. – Oláh, J. – Popp, J. – Erdei, E. – Harsányi, E. – **Ambrus, B.** – Teschner, G. – Nyéki, A. 2022. Challenges of sustainable agricultural development with special regard to internet of things: survey. *Progress in Agricultural Engineering Sciences* 18(1). IF: 0.43, Q4.

Nyéki, A. – Teschner, G. – **Ambrus, B.** – Neményi, M. – Kovács, A.J. 2020. Architecting farmer - centric internet of things for precision crop production. *Hungarian agricultural engineering*. 38.

II. MAGYAR NYELVEN MEGJELENT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

Ambrus, B. 2021. A robottechnika alkalmazási lehetőségei a szántóföldi növényvédelemben. *Acta agronomica óváriensis* 62(1).

Molnár, J. – **Ambrus, B.** – Zsédely, E. 2014. Minőségi élelmiszerek fogyasztásának szerepe az egészség megőrzésében. *Élelmiszer tudomány technológia* 68.

III. TUDOMÁNYOS KONFERENCIÁK TELJES TERJEDELEMBEN MEGJELENT ANYAGAI

Ambrus, B. – Teschner, G. – Neményi, M. – Nyéki, A. 2022. Self-developed small robot for tomato plants detection In: 2nd African Conference on Precision Agriculture.

Ambrus, B. – Teschner, G. – Kovács, A. J. – Neményi, M. 2022. Development of small smart data logger robots embedded in IoT system for crop production. In: International Scientific Conference „Agricultural mechanization and technology in Europe and perspectives“ proceeding : Tbilisi.

Teschner, G. – **Ambrus, B.** – Nyéki, A. – Neményi, M. – Kovács, A. J. 2018. Lézeres detektáláson alapuló kukorica tőközművelő eszközfejlesztés In: XXXVII. Óvári Tudományos Napok, 2018. november 9-10.: Fenntartható agrárium és környezet, az Óvári Akadémia 200 éve - múlt, jelen, jövő.

Tolner, I. T. – **Ambrus, B.** – Szalay, K.D. 2017. Software base system model, ANSYS Fluent of developed bubble column (Air lift) Tubular photobioreactor. In: Nyéki, Anikó; Kovács, Attila József; Milics, Gábor (szerk.) Towards sustainable agricultural and biosystems engineering.

Neményi, M. – Milics, G. – Tolner, I. – **Ambrus, B.** – Rétfalvi, T. – Kovács, A.J. 2015. Contribution to the technological development of microalgae production in Hungary. In: Ördög, V; Molnár, Z (szerk.) 7th Symposium on Microalgae and Seaweed Products in Plant/Soil-Systems "Contribution to Sustainable Agriculture.

IV. TUDOMÁNYOS KONFERENCIA KIADVÁNYOKBAN MEGJELENT ÖSSZEFOGLALÓK

Ambrus, B. – Nyéki, A. 2023. Small autonomous robot development for data logging and analyzing.

Ambrus, B. – Nyéki, A. – Teschner, G. – Neményi, M. – Milics, G. – Kovács, A.J. 2021. Agro iot platforms and sensors in crop production. In: Stafford, J. V.; Milics, G (szerk.) Book of abstracts of all the posters.

Neményi, M. – Nyéki, A. – Nagy, J. – Harsányi, E. – Teschner, G. – **Ambrus, B.** – Milics, G. – Kovács, A.J. 2018. Internet of Thing (IoT) for ecological sustainability in precision crop production.

V. MAGYAR NYELVEN MEGJELENT KÖZLEMÉNYEK

Ambrus, B. – Neményi, M. – Kovács, A.J. – Nyéki, A. 2022. Small-smart robot fejlesztése mosonmagyaróváron, Mezőgazdasági technika.