

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

NYÁRI LADISLAV

MOSONMAGYARÓVÁR

2026

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

**WITTMANN ANTAL NÖVÉNY-, ÁLLAT- ÉS ÉLELMISZER-
TUDOMÁNYI MULTIDISZCIPLINÁRIS DOKTORI ISKOLA**

**HABERLANDT GOTTLIEB NÖVÉNYTUDOMÁNYI DOKTORI
PROGRAM**

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ:

Prof. Dr. Varga László DSc, MTA Doktora, egyetemi tanár

DOKTORI PROGRAM VEZETŐ:

Prof. Dr. Pinke Gyula DSc, egyetemi tanár

TÉMAVEZETŐK

Prof. Dr. Kovács Attila József egyetemi tanár, és

Dr. Teschner Gergely, egyetemi docens

**Szemestermények (gabonák) nyomon követése és minőségi paramétereinek
vizsgálata post-harvest műveletek során**

KÉSZÍTETTE:

NYÁRI LADISLAV

MOSONMAGYARÓVÁR

2026

1. Bevezetés és célkitűzés

Az élelmiszeriparban – különösen a gabonafeldolgozásban – a nyomon követhetőség alapvető követelmény a minőségbiztosítás és az élelmiszer-biztonság szempontjából. Az Európai Unió szigorodó szabályozásai, valamint a fogyasztói bizalom erősítése megkövetelik, hogy a gabonafélék útja a termőföldtől a feldolgozóüzemig dokumentáltan és ellenőrizhetően követhető legyen. A gyakorlati megvalósítás egyik legkritikusabb problémája a gabonatételek keveredése a tárolás és logisztikai műveletek során, amely jelentősen megnehezíti az eredet pontos visszakeresését.

Doktori kutatásom célja egy olyan komplex nyomon követési rendszer kidolgozása, amely a gabonafélékre – mint szemcsés halmazokra – alkalmazható, és amely az aratástól kezdődően a tisztításon, szárításon és tároláson át biztosítja a tételek egyértelmű azonosítását és visszakövethetőségét.

A vizsgálatok fő helyszíne az AGROSID a.s. – SANAGRO GROUP vállalat volt, amely gabonafelvásárlással, tárolással és értékesítéssel foglalkozik.

A kutatás előzménye a „Sörárpa termesztésének nyomon követése” című MSc-dolgozatom, amelyben először foglalkoztam részletesen a gyakorlati nyomon követhetőség kérdésével.

A vizsgálatok középpontjában az optikai módszerek, elsősorban a színmérés (CIELAB rendszer) és a spektrofotometriás mérési technikák álltak. A D65 fényforrással ellátott reflexiós koloriméterrel végzett mérések segítségével meghatározhatóvá vált a gabonafajták keveredésének aránya és a színbeli változások mértéke. Az így kapott adatok alapján lineáris trendvonalak és kalibrációs egyenesek állíthatók fel, amelyek jól jellemzik a keveredési arányok és a színárnyalat változásának összefüggését. A $HUE \times C^*$ index

alkalmazása lehetővé tette a változások számszerűsítését, és pontos, objektív alapot teremtett a tételek elkülönítéséhez.

A kutatás legfontosabb pontjai közé tartozik, hogy a keveredési arányok objektíven mérhetők, a színbeli változások pedig reprodukálható módon jellemzik a mintákat. Ez lehetővé teszi, hogy a síkraktárakban tárolt tételek pontosan körülhatárolhatók legyenek, a minőségromlási folyamatok – például a Fusarium-fertőzés – időben felismerhetők legyenek, valamint az esetleges problémák esetén biztosítható legyen a termelőhöz való visszakövethetőség.

Az optikai alapú nyomon követési módszerek integrálása a NOC logisztikai rendszerbe új szintet jelenthet a gabonatárolási és feldolgozási technológiákban. Az így kidolgozott rendszer jelentős tudományos és gyakorlati értékkel bír: hozzájárul az élelmiszerbiztonsági szttenderdek fejlődéséhez, támogatja az EU-szabályozások teljesítését, és közvetlen ipari alkalmazásokban is hasznosítható.

2. Anyag és módszer

2.1. Kísérleti helyszín

- A kísérleteket 2021–2023 között Szlovákia délnyugati részén, a Kisalföldhöz tartozó síkvidéki területeken végeztük, amelyekre jellemző a szikes talaj és az évi ~500–650 mm csapadék.
- A kísérleti térség az Alföld (Pannon-medence) része, a Duna menti szikes talajkomplexum legészakibb peremén fekszik. Ezen a vidéken kiterjedt, intenzív szántóföldi művelés folyik; a mezőgazdasági területek nagy részén őszi búzát, kukoricát, repcét, napraforgót és más kultúrákat termesztnek.
- A vizsgált években a kísérleti parcellákon mért csapadékösszeg 2021-ben ~535 mm, 2022-ben ~472 mm, 2023-ban ~744 mm volt.
- A kísérleti parcellák mind szikes talajú területek voltak, ahol 2021-ben, 2022-ben és 2023-ban vetettük el a különböző színű búzafajtákat.

2.2. Kísérleti anyag (búzafajták)

A vizsgálatokhoz négy eltérő szemszínű őszi búzafajtát vontunk be: az IS-18W1161 és a Karkulka antociános, lila szemszínű fajták; a Bonavita sárga szemszínű fajta; valamint a Genius világosbarna szemű, hagyományos fajta, amely kontrollként szolgált.

A kísérleti búzafajták rövidítései és vizsgálati évei a következők:

- GENIUS (K): világosbarna szemszínű; 2021, 2022 és 2023.
- KARKULKA (MK): antociános szemszínű; 2021 és 2023.
- BONAVIDA I (MB): sárga szemszínű; 2022.
- IS-18W1161 (AG): antociános szemszínű; 2021, 2022 és 2023.
- BONAVIDA II (CS): sárga szemszínű; 2021, 2022 és 2023.

Megjegyzés: a BONAVITA fajta két különböző termőhelyen termesztve került vizsgálatba a 2022-es évben, ezért két eltérő rövidítést (MB és CS) kapott.

- Az antociános fajták maghéjában nagy koncentrációban találhatók antocianin pigmentek, ami intenzív kékes-lila szemszínt eredményez. Ezzel szemben a hagyományos fajtában csak minimális antocián halmozódik fel, így annak szemszíne szokványos barnás árnyalatú.
- A kísérleti fajtákat négy különböző gazdaságban, azonos régióban termesztették, mindegyik fajta másik mezőgazdasági parcellán került elvetésre. A betakarított, ~2,5 tonnás tételeket egymás mellett, de elkülönítve tároltuk; ez biztosította, hogy jól elhatárolható (színben kontrasztos) búzatételek álljanak rendelkezésre a keveredési vizsgálatokhoz.

2.3. Mintavétel és minta előkészítése

- A négy eltérő színű búzatételből ellenőrzött keverékmintákat készítettünk a színmérési kísérletekhez. Minden lehetséges fajtakombináció (két különböző fajta párosítása) esetében állítottunk elő keverékeket.
- 2021-ben és 2022-ben a 4 fajta összes lehetséges párkombinációját (6-6 párt), míg 2023-ban 5 fajtakombinációt vizsgáltunk (egy párosítás hiányzott).
- Az egyes fajtakombinációkhoz tartozó keverési arányokat 0% és 100% között 10%-os lépésenként határoztuk meg. Tipikusan 11-féle keverési arányt mértünk végig egy fajtapárra (beleértve a 100%-ban egyik, illetve másik fajta mintákat is). Összességében évente mintegy 60 különböző összetételű mintát vizsgáltunk meg ilyen módon.
- A keverékek összeállítása előtt a kiinduló tételekből vett mintákat laboratóriumi körülmények között megtisztítottuk. Fajtánként 100 gramm

szemtermést mértünk ki analitikai mérlegen, majd osztályozó szitarázóval megtisztítottuk a magokat a törmelékektől és idegen anyagoktól.

- A tisztításhoz kalibrált gabonaszitákat (1,0 mm nyílású körrosta és 3,5 mm hosszúkás nyílású rosta) valamint egy laboratóriumi szitarázógépet (SWING 160) alkalmaztunk. A szitálás 5 percig tartott 140 rázás/perc frekvenciával. A folyamat során az 1,0 mm alatti frakciót (finom por és törmelék), valamint a 3,5 mm-es rosta felett fennmaradó idegen magvakat és törtszemeket eltávolítottuk.
- A szitálás után csak az ép és tiszta búzaszemeket használtuk fel a keverési mintákhoz (a 2,0 mm-nél nagyobb szemű frakcióból), biztosítva a homogén mintaminőséget. A megtisztított mintákból pontos tömegméréssel kevertük ki a kívánt arányú kétkomponensű keverékeket.

2.4. Színmérés (módszer)

- Minden előkészített keverékmintából 200 darab búzaszemet vettünk ki a színméréshez, és egy rétegben, speciális mérőedényben helyeztük a műszer mintakamrájába. Ez a mintaméret biztosította, hogy a minta kellően reprezentálja a keverék színjellemzőit.
- A méréseket egy HunterLab ColorFlex (45° megvilágítási és 0° megfigyelési geometria) reflexiós koloriméterrel végeztük laboratóriumi körülmények között. Minden mérési sorozat előtt a készüléket fehér és fekete etalonfelületekkel kalibráltuk.
- A színjellemzők rögzítéséhez a szabványos CIELAB színrendszert alkalmaztuk: a műszer minden mintánál mérte az L^* (világosság), a^* (vörös–zöld) és b^* (kék–sárga) értékeket. Ezekből kiszámítottuk az összes színkülönbség értékét (ΔE^*), valamint a színárnyalatot (HUE) és a színtelítettséget (C^*) is, mely paramétereket az elemzéshez felhasználtunk.

- Az egyes keverékminták színmérését tízszer megismételtük: ugyanazon 200 szem búzát visszatöltve a mérőedénybe, összesen 10 mérési eredményt rögzítettünk minden mintához. A tízszeri mérés átlageredményét vettük alapul, ami csökkentette a véletlenszerű mérési hibák hatását és növelte a színadatok megbízhatóságát.

2.5. Statisztikai elemzés

- Kétszakaszos elemzést végeztünk annak érdekében, hogy (1) kiválasszuk a legmegfelelőbb színváltozót a kilenc jelölt színváltozó közül, valamint, hogy (2) megvizsgáljuk, hogy az első lépésben kiválasztott színváltozó alapján megkülönböztethetők-e a két különböző búzafajta homogén és heterogén keverékrészei.
- Az első lépésben korrelációanalízist hajtottunk végre. Meghatároztuk a Pearson-féle korrelációs együtthatók (Pearson 1895) abszolút értékét a kilenc jelölt színváltozó és a két búzafajta aránya között a 17 gabonakeverékben. Az egyes színváltozók esetében kiszámítottuk a 17 korrelációs együttható átlagát, maximumát és szórását. Az eredmények alapján (részletes kifejtés a következő szakaszban) a $HUE \times C^*$ színváltozó egyértelműen kiemelkedett a jelöltek közül, mivel ennek volt a legmagasabb átlagos és maximális korrelációs együtthatója, valamint a legkisebb szórása. Ennek megfelelően a második lépésben a $HUE \times C^*$ színváltozót használtuk.
- A második lépésben a 17 gabonakeverék mindegyikére lineáris modellt kalibráltunk, ahol a $HUE \times C^*$ háttérváltozóként, míg a két búzafajta aránya válaszváltozóként szerepelt. A kalibrációs adathalmazt a modell betanítására használtuk, majd a kalibrált modell segítségével előrejeleztük a kétfajta arányát az értékelési adathalmazon mért $HUE \times C^*$ színváltozó alapján. A modell teljesítményét több mérőszám (determinációs együttható – R^2 , korrigált determinációs együttható és gyökátlagos

négyzetes hiba – RMSE) alapján értékeltük mind a kalibrációs, mind az értékelési adathalmazon. Ezen túlmenően a megfigyelt és a becsült fajtaarányokat binarizáltuk (azaz homogén vagy heterogén keverékként osztályoztuk), majd a modell által generált zavaró mátrix alapján további teljesítménymutatókat számítottunk ki: a valódi pozitív arányt (TPR) és a precizitást.

- A statisztikai elemzéseket és az ábrázolást az R statisztikai szoftver (R Core Team 2024) és annak ‘caret’ (Kuhn 2008) valamint ‘ggplot2’ (Wickham 2016) csomagjai segítségével végeztük el.

3. Eredmények

3.1. Kalibrációs egyenesek és a $\text{HUE} \times \text{C}^*$ index alkalmazása búzafajták keveredési arányainak modellezésére

A doktori kutatás célkitűzése egy olyan spektrális alapú módszertan kidolgozása és validálása volt, amely alkalmas a különböző búzafajták keveredési arányának objektív és kvantitatív meghatározására tárolási körülmények között. A vizsgálatok középpontjában a fotospektrometriás mérésekből származtatott $\text{HUE} \times \text{C}^*$ index állt, amely alkalmasnak bizonyult a keverési arányok modellezésére.

A vizsgálat középpontjában a fotospektrometriás mérésekből származó $\text{HUE} \times \text{C}^*$ index áll, amely alapján a keverési arányok modellezhetők. A 2021-es kísérletek során két-két búzafajtát kevertünk különböző arányban (10–90%), és az így nyert spektrális adatokat statisztikai módszerekkel elemeztük. A $\text{HUE} \times \text{C}^*$ index szoros lineáris összefüggést mutatott a keveredési arányokkal ($R^2 > 0,90$), így megbízható kalibrációs függvények meghatározására volt alkalmas.

Ezen kalibrációs sorokat a következő években – 2022-ben és 2023-ban – újra lefuttattuk, különböző évjáratú gabonamintákkal. A 2022-es évben a Karkulka fajtát Bonavita váltotta fel a kísérletek során, azonban az eredmények így is megerősítették a módszer reprodukálhatóságát és alkalmazhatóságát. A trendvonalak lineáris jellege azt mutatta, hogy a keverési arányok növelésével vagy csökkentésével a színárnyalat egyenletesen változik.

A 2023-as mérések öt keverék kombinációra terjedtek ki, amelyeket a raktári készlet korlátozott lehetőségei miatt választottunk. Az így nyert spektrális adatok, valamint a trendvonalak paraméterei (meredekség, tengelymetszet, R^2) alátámasztották a keverékek közötti színbeli különbségeket és a mérési rendszer megbízhatóságát. A magas R^2 értékek igazolják, hogy a

fotó spektrométerrel mért adatok jól reprezentálják a keverékek színbeli összetételét. A módszer lehetővé teszi a raktárban tárolt gabonafajták keveredési arányainak pontos azonosítását, a színalapú elkülönítést, és elősegíti a nyomon követhetőséget. A kidolgozott módszertan tudományos jelentősége mellett gyakorlati hasznosításra is alkalmas, különösen az élelmiszer-logisztika és minőségellenőrzés területén.

Fontos kiemelni, hogy a vizsgálatok során kapott eredmények nem tekinthetők évről évre átvihetőnek. Az egyes fajták színparaméterei jelentős mértékben változtak a különböző évjáratokban. A modell-egyenletek érvényessége szigorúan az adott évjáratra korlátozódik, és minden vizsgálati évben, minden keverékpárra önálló kalibrációt kell végezni. Bár ez a körülmény a gyakorlati alkalmazást nehezíti, tudományos szempontból lényeges tény, amely rávilágít a környezeti és technológiai tényezők évjáratonként eltérő hatására a színparaméterek alakulásában.

3.2. A raktári keveredési zónák vizsgálata fotospektrometriás módszerrel a 2021–2023 közötti kísérleti évek alapján

A kutatás célja annak vizsgálata volt, hogy a fotospektrometriás úton meghatározott $\text{HUE} \times \text{C}^*$ index segítségével mennyire pontosan lehet számszerűsíteni a különböző búzafajták keveredési arányát raktári körülmények között. A vizsgálatok alapját a korábban meghatározott kalibrációs egyenesek képezték, amelyeket standard keverési minták alapján hoztunk létre.

3.2.1. 2021 – A keveredési modell alapozó kísérlete

A 2021-es kísérleti évben négy eltérő színárnyalatú búzafajtát (K, MK, AG, CS) öntöttünk le egymás mellé úgy, hogy azok fizikai kontaktusba kerültek, ezáltal természetes keveredési zónák jöttek létre. A mintavételezést gabona mintavevő szondával (stekkerrel) végeztük az érintkezési zónák középpontjától

(0-s pont) kiindulva 30 cm-es lépésekben, mindkét irányban és több rétegben. Minden mintaponton tízszer elvégeztük a színmérést, és az adatok átlagértékeit használtuk az elemzésekhez.

A spektrális adatok alapján az egyes pontokon fennálló keveredési arányok pontosan visszaszámíthatók voltak a kalibrációs egyenesek segítségével. A $C \times \text{HUE}$ index egyértelmű és jól követhető kapcsolatot mutatott a búzafajták keveredési arányával. A módszer megbízhatóságát az is alátámasztotta, hogy nemcsak a keveredés mértéke, hanem annak térbeli kiterjedése is pontosan meghatározhatóvá vált.

3.2.2. 2022 – A módszer reprodukálhatóságának vizsgálata eltérő fajtahasználattal

A 2022-es kísérletek során a Karkulka fajta helyett Bonavita került bevetésre, mivel az előbbi nem állt rendelkezésre. A tárolás során az AG, MB, CS és K fajták ismételten érintkeztek egymással, így a gabonák keveredése újra megfigyelhetők voltak.

A mintavételezés az előző évhez hasonló protokoll szerint történt, a spektrális mérések szintén tízszeres ismétléssel készültek. A kapott eredményeket a korábbi standard keverési minták grafikonjaival vetettük össze, és az összehasonlítás megerősítette, hogy a raktárban tárolt minták fajtánkénti összetétele spektrálisan pontosan meghatározható. A mérések alapján megállapítható volt, hogy a keveredés hatása nagyjából 120 cm-es távolságig mutatható ki, ezen túl a gabonahalmazok színeképi szempontból homogénnek tekinthetők.

3.2.3. 2023 – A kalibrációs és mintaelemzési módszer konzisztenciájának megerősítése

A 2023-as évben a 2021 évhez hasonlóan szintén négy eltérő színárnyalatú búzafajta (K, MK, AG, CS) került ismételt beöntésre, azonos elrendezésben. A mintavételi és mérési eljárás nem változott: minden minta esetében tíz spektrális mérést végeztünk, majd átlagértékeket számítottunk.

A standard keverési minták grafikonjait összevetettük a raktári minták mérési eredményeivel. Az összehasonlítás lehetővé tette az egyes raktári tételek fajtankénti arányainak meghatározását. A keverékek (AGCS, MKCS, KCS, MKM, KAG) spektrumai mentén, a 0-s tengelytől való eltérés jól dokumentálható volt: a spektrális görbék bal és jobb oldali szakaszai jól tükrözték a fajtaösszetételben bekövetkezett változásokat. A mérések itt is igazolták, hogy 120 cm távolságon túl a keveredés már nem érzékelhető, vagyis a különböző búzahalmazok spektrálisan élesen elkülönülnek.

3.3. Innovatív színmérési módszerek alkalmazása a gabonafélék nyomon követésében

A doktori kutatás során a hagyományos gabonaminősítési eljárásokat (nedvességtartalom, fajsúly, fehérjetartalom, esésszám, csírázóképeség, osztályozottság, DON toxin-tartalom) szímméréssel egészítettem ki.

- A mérések alapját a CIELab színrendszer adta, amely lehetővé tette a keveredési arányok és színbeli változások pontos, kvantitatív meghatározását.
- A színmérést a NOC logisztikai rendszerhez kapcsoltam, így a gabonatételek objektíven azonosíthatók és visszakövethetők.
- A módszer alkalmazása biztosítja:
 - a tárolt tételek pontos körül határolását,
 - a minőségromlási folyamatok (pl. Fusarium-fertőzés) korai felismerését,
 - a termelőhöz való gyors visszakövethetőséget probléma esetén,

- a szántóföldtől a feldolgozóüzemig tartó teljes körű dokumentációt.

A rendszer előnye, hogy az adatok digitálisan rögzülnek, kizárva a manuális hibalehetőségeket, és lehetővé téve a hosszú távú trendek elemzését. A színmérés révén a gabonafélék minősítése és nyomon követése nemcsak pontosabb, hanem gazdaságilag és logisztikailag is hatékonyabbá vált.

Ez az innovatív megközelítés hozzájárul az élelmiszerbiztonsági sztenderdek fejlődéséhez, és közvetlenül alkalmazható az ipari gyakorlatban, különösen a malom- és söripar számára, ahol a fajtatisztaság és minőségmegőrzés kritikus elvárás.

4. Következtetések és javaslatok

Kutatásunk célja annak meghatározása volt, hogy a különböző őszi búzafajták keveredési arányai milyen pontossággal határozhatók meg fotospektrometriás módszerekkel. Az elmúlt három év során végzett vizsgálataink statisztikailag megalapozott adatokat szolgáltatottak, amelyek lehetővé tették a keveredések kvantitatív értékelését és térbeli eloszlásuk részletes leírását. A fotospektrometriás analízis során kalibrációs egyenesek paramétereit határoztuk meg, amelyek alapot teremtenek az egyes keveredési arányok pontos becsléséhez.

Eredményeink egyértelműen igazolták, hogy a búzafajták keveredése nem véletlenszerű folyamat, hanem jelentős mértékben függ a keveredő gabonafajták típusától. Az eltérő színű fajták – különösen az antociános és a sárga búzák – esetében a spektrális különbségek markánsak, ami lehetővé teszi a keveredési zónák jól körül határolt azonosítását és modellezését. Ez a pontos elkülöníthetőség lehetőséget nyújt célzott szeparációs stratégiák alkalmazására, amellyel jelentősen mérsékelhetők a kitarolási veszteségek, és javítható a minőségbiztosítás.

Ezzel szemben, amikor két, egymáshoz közel álló spektrális tulajdonságú fajta (például két antociános vagy két sárga búza) keveredik, a különbségek minimálisak, így a keveredési határok bizonytalanabbá válnak. Ebben az esetben a színmérés módszertani érzékenysége eléri a határait, ezért további analitikai finomhangolásra van szükség. Az optimális megoldás célzott hullámhossztartományok kiválasztásában és kiegészítő optikai vagy kémiai módszerek integrált alkalmazásában rejlik, amelyek növelik a homogénnek tűnő gabonafajták elkülönítésének megbízhatóságát.

A fotospektrometriás vizsgálatok gyakorlati jelentősége túlmutat a tudományos eredményeken. A raktári keveredési folyamatok modellezése és térbeli lokalizálása elősegíti az üzemi méretű gabonafajták hatékony

azonosítását, ezáltal a tárolási és kitárolási folyamatok optimalizálását. Mindez közvetlenül hozzájárul a minőségi veszteségek csökkentéséhez és a logisztikai hatékonyság növeléséhez. Emellett a módszer fontos szerepet játszik az élelmiszerlánc nyomon követhetőségének biztosításában, amely az Európai Unió szigorú szabályozási környezetében alapvető követelmény. A fotospektrometriás elemzés alkalmazása lehetővé teszi a gabonatételek eredetének pontos visszakövetését a termőföldről a fogyasztó asztaláig, ami erősíti a fogyasztói bizalmat és támogatja az élelmiszerbiztonsági előírások maradéktalan teljesítését.

Összegzésként megállapítható, hogy a színmérés hatékony eszköz a búzafajták keveredésének vizsgálatában, különösen eltérő spektrális tulajdonságokkal rendelkező fajták esetében. A homogén spektrális profilú tételeknél ugyanakkor a módszer érzékenységi korlátai kihívást jelentenek, amelyeket analitikai stratégiák finomhangolásával és kiegészítő módszerek integrálásával szükséges áthidalni. A kutatás eredményei hozzájárulnak a fenntartható és hatékony tárolási stratégiák kidolgozásához, a keveredési veszteségek mérsékléséhez, valamint az élelmiszerlánc biztonságának és átláthatóságának növeléséhez.

5. Tézisek

1. Bizonyítottam, hogy az általam vizsgált búzaminták kétkomponensű keverékeinek C^* x HUE színjellemzője a keverési arány függvényében lineáris regressziós modellel írható le. A modell illeszkedése a vizsgált keverékpárok esetében $R^2 = 0,81\text{--}0,98$, míg a hasonló szín jellemzőjű fajták kivételével $R^2 = 0,90\text{--}0,98$ tartományban alakult.
2. Igazoltam, hogy a C^* x HUE színjellemző és a keverési arány közötti lineáris kapcsolat a vizsgált keverékpárok esetében évjárattól és keverékösszetételtől függetlenül fennáll, ezáltal a gyakorlati alkalmazásban elegendő a tiszta komponensek színjellemzőiből felállított lineáris modell alkalmazása, újrakalibrálás nélkül.
3. Bizonyítottam, hogy síkraktári környezetben kialakuló keveredési zónák esetén a C^* x HUE-alapú lineáris modell alkalmas a keveredés mértékének kvantitatív becslésére, valamint a homogén és kevert búzatételek objektív, mérésen alapuló elkülönítésére.
4. Megállapítottam, hogy az alkalmazott módszer kizárólag ismert összetételű, kétkomponensű búzakeverékek esetén alkalmazható, és nem alkalmas ismeretlen eredetű minták teljes körű azonosítására vagy a termőterületig visszavezethető nyomon követésre.
5. Kimutattam, hogy a bemutatott módszertani megközelítés kiterjeszthető érintésmentes optikai mérési rendszerekre (pl. látórendszerek), és többváltozós színjellemzők bevonásával a keveredés kimutatásának érzékenysége és robusztussága tovább növelhető, ami a gyakorlati alkalmazhatóságot jelentősen javítja.

6. Megjelent publikációk listája:

Tudományos közlemény, idegen nyelvű, lektorált folyóiratban:

- Nyári, L. – Dóka, O. – Bede-Fazekas, Á. – Teschner, G. – Baráth, N. – Kovács, A. J. (2026): Cereal storage monitoring using colorimetry: an applied study on grain mixing and zone delimitation in flat storage. Journal of Food and Nutrition Research.

Tudományos közlemény, magyar nyelvű, lektorált folyóiratban:

- Nyári, L. - Kovács, A. J. - Teschner, G. (2023): Szemestermények Szállítása, Raktározása És Osztályozása A Minőségmegőrzési Szempontok Figyelembevételével. Acta Agronomica Óváriensis 64: 1 Pp. 159-193., 35 P.
- Nyári, L. - Dóka, Ottó. – Bede Fazekas, Á. – Teschner, G. Kovács, A. J. (2026): Színképelemzésen alapuló módszertan a búzafajták raktári elkülönítésére és keveredésének meghatározására. Acta Agronomica Óváriensis 67. 1.

Konferenciaközlemény folyóiratban vagy konferenciakötetben:

- Nyári, L. - Kovács, A. J. - Teschner, G. (2023): Szemestermények (Gabonák) Nyomon követése Post-Harvest Műveletek Során. In: Molnár, Zoltán; Némethné, Wurm Katalin (szerk.) 39. Óvári Tudományos Nap Konferencia Mosonmagyaróvár, Magyarország, Széchenyi István Egyetem Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar, VEAB Agrártudományi Szakbizottság. pp. 29-30., 2 p.

Konferencia-poszter előadás:

- Nyári, L, Kovács, A. J. Teschner, G. (2025): Gabonák nyomon követésének gyakorlati alkalmazása és hasznosítása postharvest műveletek során. 40. Óvári Tudományos Nap Konferencia Mosonmagyaróvár, Magyarország, Széchenyi István Egyetem Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar. p. 169

Magyar nyelvű szakfolyóiratban megjelent közlemény:

- Nyári, L, Kovács, A. J. (2026): A szemesztermények (gabonák) betakarítás utáni nyomon követése, kezelése és minőségmegőrzése. Értékálló Aranykorona mezőgazdasági szaklap.