

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

NYÁRI LADISLAV

MOSONMAGYARÓVÁR

2025

**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, egyetemi tanár

DOKTORI PROGRAM VEZETŐ:

Prof. Dr. Pinke Gyula DSc, egyetemi tanár

TÉMAVEZETŐK

Prof. Dr. Kovács Attila József egyetemi tanár, és

Dr. Teschner Gergely PhD docens

Kutatási téma címe:

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

KÉSZÍTETTE:

NYÁRI LADISLAV

MOSONMAGYARÓVÁR

2025

1. Bevezetés és célkitűzés

Az élelmiszeriparban – különösen a gabonafeldolgozásban – a nyomon követhetőség alapvető követelmény a minőségbiztosítás és az élelmiszerbiztonság 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 színképelemzés (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 gabonátárolási és feldolgozási technológiákban. Az így kidolgozott rendszer jelentős tudományos és gyakorlati értékkel bír: hozzájárul az élelmiszerbiztonsági sztemderdek 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 találhatóak 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 hosszúságú 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 keverékrszei.
- 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×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×C* színváltozót használtuk.
- A második lépésben a 17 gabonakeverék mindegyikére lineáris modellt kalibráltunk, ahol a HUE×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×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 $HUE \times C^*$ 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 $HUE \times C^*$ index állt, amely alkalmasnak bizonyult a keverési arányok modellezésére.

A vizsgálat középpontjában a fotospektrometriás mérésekből származó $HUE \times C^*$ 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 $HUE \times C^*$ 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 színapu 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 $HUE \times C^*$ 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 tízszeres színeképelemzést végeztünk, 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 $C \times HUE$ 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 megfigyelhető volt.

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 fajtankénti 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 fajtánkénti 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 színeképelemzési módszerek alkalmazása a gabonafélék nyomon követésében

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

- A mérések alapját a CIELab színrendszer adta, amely lehetővé tette a keveredési arányok és színbeli változások pontos, kvantitatív meghatározását.
- A színeképelemzést 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 színeképelemzés 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 keverendő 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 színeképelemzés 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 termőföldtől a fogyasztó asztaláig, ami erősíti a fogyasztói bizalmat és támogatja az élelmiszerbiztonsági előírások maradéktalan teljesítését.

Összegzésként megállapítható, hogy a színeképlelemzés 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. Kutatásaim igazolták, hogy a színeképelemzési technika alkalmazásával a síkraktárban összeöntött búzaállományok térben elkülöníthetők, és az eltérő tételek határvonalai egyértelműen meghatározhatók. A keveredés legnagyobb mértékben a leöntési pontok közelében figyelhető meg, azonban az összefolyási zónán túl (kb. ± 120 cm távolságban) a gabonahalmazok homogén, idegen szennyeződéstől mentes tételekként különíthetők el.

2. A két-két búzafajta 0–100% közötti keverési arányával előállított minták CIELAB színparamétereinek (L^* , a^* , b^*) elemzésével olyan kalibrációs modellek készültek, amelyek szoros lineáris kapcsolatot mutattak a színjellelmezők és a tényleges keverési arány között ($R^2 = 0,955\text{--}0,987$). Ennek alapján a beöntött búzák keveredési mértéke statisztikai pontossággal számszerűsíthetővé vált, lehetővé téve a keveredés kvantitatív nyomon követését.

3. A vizsgálatok során kimutattam, hogy a keveredés folyamata nem véletlenszerű, hanem meghatározott fizikai és áramlástan törvényszerűségek szerint zajlik. A mintavételi kísérletek (30 cm-es léptékben végzett mérések) és a többéves statisztikai adatok alapján szignifikáns különbségek azonosíthatók az egyes keverékek között, amelyek alapot adhatnak a jövőbeli gabonátárolási és szeparációs technológiák fejlesztésére.

4. Kutatásaim eredményei igazolták, hogy a kitárolás során a gabona áramlási útvonala nyomon követhető, ezáltal pontosan meghatározható a kitárolt tétel eredete. Ez lehetővé teszi a gabona teljes körű visszakövetését a raktározástól egészen a termőterületig, összhangban az Európai Unió élelmiszerbiztonsági és nyomon követhetőségi követelményeivel.

6. A kutatás során sikerült a színeképelemzési adatokat integrálni a NOC logisztikai rendszerbe. Ez a megoldás hozzájárul a gabonafélék teljes

életciklusának nyomon követéséhez, a minőségellenőrzési folyamatok pontosabbá tételéhez és az agrár-élelmiszeripari ellátási lánc hatékonyságának növeléséhez.

6. Megjelent publikációk listája:

Az értekezés témakörében megjelent tudományos cikkek hazai folyóiratokban

- **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.

Konferenciaközlemény folyóiratban vagy konferenciakötetben:

- **Nyári, L.** - Kovács, A. J. - Teschner, G. (2023): Szemestermények (Gabonák) Nyomonkövetése 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.