SZÉCHENYI EGYETEM
UNIVERSITY OF GYŐR
MEZŐGAZDASÁG- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

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

Doktori Iskolavezető: Prof. Dr. Varga László DSc
MTA Doktora, egyetemi tanár

Doktori program: Haberlandt Gottlieb Növénytudományi Doktori Program

Doktori Programvezető: Prof. Dr. Pinke Gyula DSc, egyetemi tanár

Témavezetők:

Prof. Dr. Kovács Attila PhD, egyetemi tanár

Dr. Teschner Gergely PhD, egyetemi docens

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

Készítette:

Nyári Ladislav

Mosonmagyaróvár

2026

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

Írta: **Nyári Ladislav**

Készült a Széchenyi István Egyetem Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer- tudományi Multidiszciplináris Doktori Iskola Haberlandt Gottlieb Növénytudományi Doktori Programja keretében

Témavezető: Dr. Kovács Attila
Elfogadásra javaslom (igen/ nem) .....
(aláírás)

Témavezető: Dr. Teschner Gergely
Elfogadásra javaslom (igen/ nem) .....
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton..... %-ot ért el.
Mosonmagyaróvár, ...

.....
a Komplex Vizsga Bizottság Elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)
Első bíráló (Dr. .....) igen / nem .....
(aláírás)

Második bíráló (Dr. .....) igen / nem .....
(aláírás)

Esetleg harmadik bíráló (Dr. .....) igen / nem .....
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján .....%-ot ért el.
Mosonmagyaróvár, ...

.....
A Bírálóbizottság elnöke

Doktori (PhD) oklevél minősítése: .....

.....
Az EDT elnöke

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

Kivonat

Az élelmiszeriparban, különösen a gabonafeldolgozás területén, az élelmiszerek nyomon követhetősége kulcsfontosságú a minőség és biztonság szempontjából. A technológiai fejlődés és az automatizálás terjedése elősegíti az eljárások hatékonyságát és megbízhatóságát. Az egyik legkritikusabb probléma a gabonatételek hatékony elkülönítése és lokalizálása a tárolás során. Az optikai módszerek, például a színmérés, hatékony megoldást kínálnak a probléma vizsgálatára és a kezelésére.

Jelen tanulmányban a CIELab rendszer alkalmazásával vizsgáltuk a gabonák keveredését és színbeli változásait. Az általunk alkalmazott módszer lehetővé tette a színbeli változások objektív értékelését és a keveredések arányának pontos meghatározását. Kísérleteink során búza mintákat vizsgáltunk, melyek különböző arányú keverékeit állítottuk elő. A színmérések során D65 fényforrással ellátott reflexiós koloriméterrel dolgoztunk, és az összes mintát tíz ismétlésben mértük le. Az eredmények alapján lineáris regressziós modelleket állítottunk fel, amelyek alátámasztják a keverések arányának változásának egyenletes hatását a színárnyalatra.

Eredményeink hozzájárulnak a gabonák elkülönítéséhez és a keveredések arányának pontos beállításához a síkraktárakban. A kutatásunk jelentőségét az adja, hogy kvantitatív módon vizsgáltuk a gabonafajták keveredésének hatását, és pontosan meghatároztuk ennek mértékét a színmérés segítségével. A kísérletek eredményei alapján

hatékony és megbízható módszert dolgoztunk ki a raktározandó gabonák körül határolására.

A kutatás célja annak meghatározása volt, hogy a CIELAB paraméterekből származtatott a HUE × C* index alapján milyen pontossággal lehet számszerűsíteni az egyes keveredési arányokat, valamint milyen módon lehet a spektrofotometriás méréseket kalibrációs egyenesek segítségével a gyakorlati alkalmazásba integrálni.

Ebben a munkában bemutatjuk a tárolt gabonák szemcsés halmazként való keveredésének mértékét és az elkülönítésüket lehetővé tevő megoldásokat, hangsúlyozva az alkalmazott módszerek tudományos és gyakorlati jelentőségét.

Follow-up of harvests (grains) and examination of their quality parameters during post-harvest operations

Abstract

In the food industry, particularly in the field of grain processing, traceability is essential for ensuring product quality and safety. Technological advancement and the increasing implementation of automation contribute to improving the efficiency and reliability of technological processes. One of the most critical challenges is the effective separation and localization of grain batches during storage. Optical methods, such as color measurement, offer an effective solution for investigating and addressing this issue.

In the present study, the mixing behavior and color changes of grains were investigated using the CIELAB color system. The applied method enabled the objective evaluation of color differences and the accurate determination of mixing ratios. During the experiments, wheat samples were analyzed, and mixtures with different proportions were prepared. Color measurements were performed using a reflection colorimeter equipped with a D65 light source, and each sample was measured in ten replicates. Based on the results, linear regression models were established, confirming the uniform effect of changing mixing ratios on color hue.

Our findings contribute to the separation of grain batches and to the precise adjustment of mixing proportions in flat storage facilities. The significance of this research lies in the quantitative evaluation of the effect of grain mixing and in the precise determination of its extent through color

measurement. Based on the experimental results, an effective and reliable method was developed for the delineation of stored grain batches.

The aim of this research was to determine the accuracy with which individual mixing ratios can be quantified using the HUE × C* index derived from CIELAB parameters, and to explore how photospectrometric measurements can be integrated into practical applications through calibration curves.

This study presents the extent of mixing in stored granular grain masses and the solutions enabling their separation, emphasizing the scientific and practical relevance of the applied methods.

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS.....

1.1. Témafelvezetés.....12

1.2. Kutatási célkitűzés.....15

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....

2.1. Az őszi búza származása, hazai jelentősége, a felhasználás lehetőségei.....18

2.2. Az őszi búza élettani jellemzése post-harvest nyomon követés és minőségvizsgálat szempontjából.....24

2.2.1. Éghajlati igénye.....25

2.2.2. Vízigénye.....26

2.2.3. Talajigénye.....27

2.2.4. Tápanyagellátása.....28

2.3. Az őszi búza fejlődése és fenofázisai post-harvest szempontból..29

2.4. Az őszi búza szemtermésének növénytani jellemzése post-harvest alkalmazásokhoz.....30

2.5. Őszi búza fajtahasználat.....31

2.6. Malomipari tulajdonság.....36

2.7. Logisztika.....39

2.7.1. A logisztika célja, területei.....41

2.8. Szemesterminyek raktározása.....44

2.8.1. Raktározandó áru szállítása.....46

2.8.2. A szemes termények átvétele, termesztés és a minőség összefüggései.....50

2.8.3. A raktározás során fellépő gombabetegségek.....58

2.8.4. A gabona raktározása és anyagmozgatás gépei.....63

2.8.5. Raktártípusok.....66

2.8.6. Szemestermények átszellőztetése.....71

2.8.7. Gabonák beltartalmi értékeinek megóvása.....77

2.9. Élelmiszer nyomon követés.....85

2.10. Színmérés.....87

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK.....

3.1. A búzafajtáink termőhelye.....97

3.2. Búzaminták előkészítése.....99

3.3. A színméréshez szükséges minták előkészítésének menete.....103

3.4. Színmérés.....106

3.5. Statisztikai elemzések.....110

3.6. Innovatív Színképelemzési Módszerek Alkalmazása a Gabonafélék Minősítésében és Nyomon Követésében.....113

3.6.1. Nyilvántartás és adatrögzítés.....113

3.6.2. Mintavétel és homogenizálás.....114

3.6.3. Laboratóriumi vizsgálatok.....114

3.6.4. Adatrögzítés és raktározás.....117

3.6.5. Minőségellenőrzés a raktározás során.....118

3.6.6. Számlázás és adminisztratív folyamatok.....118

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....

4.1. Kalibrációs egyenesek meghatározása és a HUE × C Index alkalmazása a búzafajták keveredésének modellezésére.....120

4.2. A kalibrációs egyenesek és a raktári keverékek spektrofotométerrel meghatározott méréseinek grafikonjainak összevetései.....126

4.2.1. A keveredési modell alapozó kísérlete.....127

4.2.2. A módszer reprodukálhatóságának vizsgálata eltérő fajtahasználattal.....134

4.2.3. A kalibrációs és mintaelemzési módszer konzisztenciájának megerősítése.....139

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....

6. TÉZISEK.....

7. A GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....

8. ÖSSZEFOGLALÁS.....

9. IRODALOMJEGYZÉK.....

9.1. Nyomtatott irodalom jegyzéke.....155

9.2. Digitális irodalmak jegyzéke.....183

10. MELLÉKLETEK.....

10.1. számú melléklet: Táblázatok jegyzéke.....185

10.2. számú melléklet: Ábrajegyzék.....186

10.3. számú melléklet: Az értekezés témakörében eddig megjelent publikációk..... 188

11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....

1. BEVEZETÉS

1.1. Témafelvezetés

Az ellenőrzött élelmiszer előállítás, ezen belül gabonák feldolgozása az utóbbi évtizedekben egyre jelentősebb szerepet kap a minőségi élelmiszertermelésben. Azonban az élelmiszer alapanyagok (a termőföldtől az élelmiszer előállító üzemig) nyomon követése nem, vagy csak minimális szinten megoldott. Mindezt nehezíti, hogy a Föld lakossága rohamosan növekszik, a termőterület csökken és a megfelelő mennyiségű és minőségű élelmiszer előállítása a globális klímaváltozás hatása alatt az élelmiszertermelő fejlett országok számára egyre is nagyobb kihívást jelent. Ennek kritikus eleme lesz a teljes „szántóföldtől- az-asztalig" („from-field-to-fork") történő nyomon követhetőség.

Az élelmiszer-biztonsággal kapcsolatos uniós fellépés az emberek, az állatok és a növények egészségének a mezőgazdasági üzemtől az étkezőasztalig terjedő valamennyi szakasz során történő védelmére irányul, ugyanakkor elősegíti az európai élelmiszeripar növekedését (URL_1).

Az élelmiszer-biztonság és azon belül az élelmiszerek nyomon követhetősége sarkalatos pontját képezi az egyre szigorúbbá váló Európai Uniós élelmiszerszabályozásnak is. Az ellátási lánc minden szereplője számára napjainkban már több rendelet (178/2002/EK, 852/2004/EK) és számos független agrár- és élelmiszeripari szabvány/rendszer (EUREPGAP, HACCP, ISO 22000, ISO 22005 stb.) határozza meg az élelmiszer-biztonságra, higiéniára és nyomon követhetőségre vonatkozó minimális előírásokat. A nyomon követhetőség, mint elvárás megjelenése egyébként sem meglepő, hiszen egy élelmiszerekkel kapcsolatos krízis

esetén, jól működő nyomon követési rendszer nélkül elképzelhetetlen lenne a hatékony termékvisszavonás (Kétszeri, 2006).

Az Európai Parlament és a Tanács 178/2002 EK rendelete 2005. január 1-től rendelkezik az élelmiszerek teljes nyomon követésének bevezetéséről. A rendelet 18. cikke a következőket írja: „A termelés, feldolgozás és forgalmazás minden szakaszában biztosítani kell az élelmiszerek, a takarmányok, az élelmiszertermelésre szánt állatok valamilyen élelmiszerbe, vagy takarmányba bekerülő vagy vélhetően bekerülő egyéb anyag útjának nyomon követhetőségét." (Németh, 2004).

Az élelmiszerek nyomon követhetősége összetett funkciót tölt be az élelmiszerlánc működésében. Egyrészt preventív biztonsági szereppel bír, mivel a termékkel együtt „görgetett" információk – a származásra, a kezelési lépésekre és a minőségi jellemzőkre vonatkozóan – hozzájárulnak a forgalmazás és a fogyasztás bizalmának erősítéséhez. Másrészt válsághelyzetekben lehetőséget teremt az események visszakövetésére, a problémák forrásának megtalálására, valamint a kockázatok térbeli és időbeli elkülönítésére, ezáltal csökkentve a káros hatások mértékét. Harmadrészt a nyomon követhetőség a felelősségi viszonyok egyértelmű meghatározását is szolgálja, mivel a termék eredetének és útjának dokumentáltsága lehetővé teszi az ellátási lánc egyes szereplőinek visszamenőleges azonosítását és elszámoltathatóságát (Kun, 2004).

A disszertáció a gabonákhoz kapcsolódó ellátási, tárolási és feldolgozási folyamatok nyomon követhetőségének kérdéskörét vizsgálja, különös tekintettel a gabonák szemcsés halmazként értelmezett fizikai és minőségi sajátosságaira. A bemutatott kutatás a gabonatételek elkülöníthetőségének, azonosíthatóságának és minőségi jellemzőinek mérésalapú értelmezésére épül, a betakarítástól kezdődően a tárolási és

feldolgozási szakaszokon át. A dolgozat olyan objektív információhordozók és módszertani megközelítések alkalmazhatóságát tárgyalja, amelyek hozzájárulhatnak a nyomon követhetőség megbízhatóságának növeléséhez, valamint az élelmiszer-biztonsági és minőségbiztosítási elvárások teljesítéséhez a gabonaalapú élelmiszerláncban.

1.2. Kutatási célkitűzés

Doktori kutatásom célja egy komplex, gabonafélékre – mint szemcsés halmazokra – alkalmazható nyomon követési rendszer kidolgozása, amely az aratástól kezdődően a betakarítás utáni logisztikai folyamatokon keresztül (beleértve a tisztítást, szárítást és tárolást) biztosítja a tételazonosítást és a nyomon követhetőséget.

A gabonák nyomon követésének egyik fő nehézsége, hogy a termőföldtől a végső felhasználásig tartó folyamatban az egyes tételek keveredhetnek, amely csökkentheti az eredetazonosítás hatékonyságát. A kutatás során a színmérés (spektrofotometria) alapú nyomon követési technológia fejlesztésére fókuszálok, amely lehetővé teszi a különböző keveredési arányok pontos meghatározását és a tárolt gabonák elkülönítését.

Vizsgálataimat elsősorban az AGROSID a.s. – SANAGRO GROUP cégnél terveztem elvégezni. Ez a cég gabona felvásárlással, tárolással, minősítéssel, értékesítéssel foglalkozik.

A kutatás előzményei közé tartozik a "Sörárpa termesztésének nyomon követése" című, precíziós mezőgazdasági szakmérnök MSc diplomadolgozatomban végzett vizsgálat, amely során a termelés folyamatának részletes elemzésével értékeltem a nyomon követhetőségi rendszer gyakorlatban történő alkalmazhatóságát. Az e kutatásban szerzett tapasztalatok és eredmények szerves alapját képezik doktori munkámnak.

A gabonaraktározási rendszerekben az egyes tételek már az aratás során nagyszámú adathalmazzal rendelkeznek, amely a modern élelmiszerbiztonsági és logisztikai követelmények teljesítésében jelentős szerepet játszhat. Az élelmiszer-feldolgozó üzemek számára ez a proaktív nyomon követési megközelítés különösen fontos lehet, hiszen lehetőséget

biztosít az egyes tételek teljes életciklusának visszakövetésére még azelőtt, hogy azok a feldolgozási láncba kerülnének.

Kutatásom egyik legfontosabb újdonsága a színképelemzés alkalmazása a gabonafélék nyomon követésében. A spektrofotometriás módszerek lehetővé teszik a különböző keveredési arányok számszerűsítését, valamint a HUE × C* index alapján történő minősítést. A módszertan integrációja a NOC logisztikai rendszerbe jelentős előrelépést jelenthet az agrár-élelmiszeripari szektorban alkalmazott nyomon követési technológiák területén.

A rendszer egyik fő előnye, hogy az egyes gabonatételek azonosítása és visszakövetése objektív, kvantitatív adatokon alapul, amely jelentősen növeli az élelmiszer-biztonságot és csökkenti az ismeretlen eredetű alapanyagok kockázatát. A precíz nyomon követési rendszer lehetővé teszi:

- A raktárban tárolt tételek pontos körül határolását
- A minőségromlási folyamatok akár (pl. *Fusarium*-fertőzés) gyors azonosítását
- A termelőhöz való visszakövethetőséget az esetleges problémák fellépésekor
- A szántóföldtől a feldolgozóüzemig tartó teljes körű dokumentációs lefedettséget

A kutatás során alkalmazott adatfeldolgozási és modellezési eljárások elősegítik az ellátási láncban felmerülő minőségellenőrzési, logisztikai és gazdasági folyamatok optimalizálását. A fejlesztett módszertan nem csupán tudományos jelentőséggel bír, hanem közvetlen ipari alkalmazásokhoz is igazítható, hozzájárulva az élelmiszerbiztonsági

sztenderdek fejlődéséhez és az európai uniós előírások hatékonyabb teljesítéséhez.

A disszertáció célja ezen elméleti és gyakorlati aspektusok feltárása és bemutatása, a modern digitális adatfeldolgozás módszertanának felhasználásával.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Az őszi búza származása, hazai jelentősége, a felhasználás lehetőségei

A kalászosgabonák közül a búzát termeljük a legnagyobb felületen. Hazánkban is nagy hagyománya van. Táplálkozásunkban jelenleg is nagyon fontos. Jelentős mennyiséget használunk takarmányozásra és az utóbbi időszakban számottevő volt a búzaexportunk is (Ragasits, 1994).

A búzát mintegy 10-12 ezer évvel ezelőtt kezdték el termeszteni. Termesztésbe vételét minden bizonnyal elősegítette a búzafajok sokfélesége, produktivitása, igénytelensége, alkalmazkodó képessége. Kialakulásának területe az un. „termékeny félhold”, a mai Közel-Kelet területe lehetett. Még a történelmi időkben innen három irányú volt az elterjedése. Nyugat felé az európai kontinensen, kelet felé Ázsiában, dél felé pedig Észak-Afrikában és a mai Etiópia területén terjedt el és kezdték egyre szélesebb körben termeszteni a legegyszerűbb búzafajokat (*Tr. monococcum, Tr. dicoccum, Tr. spelta*) (Pepó és Sárvári, 2011).

A késő bronzkorral újabb klímaváltozás következett be. A kenyérgabonák közül leginkább az alakor búzát (*Triticum monococcum ssp. monococcum*), vagyis egyszemű búzát termesztették, de megmaradt az árpa jelentősége is (Gyulai, 2004).

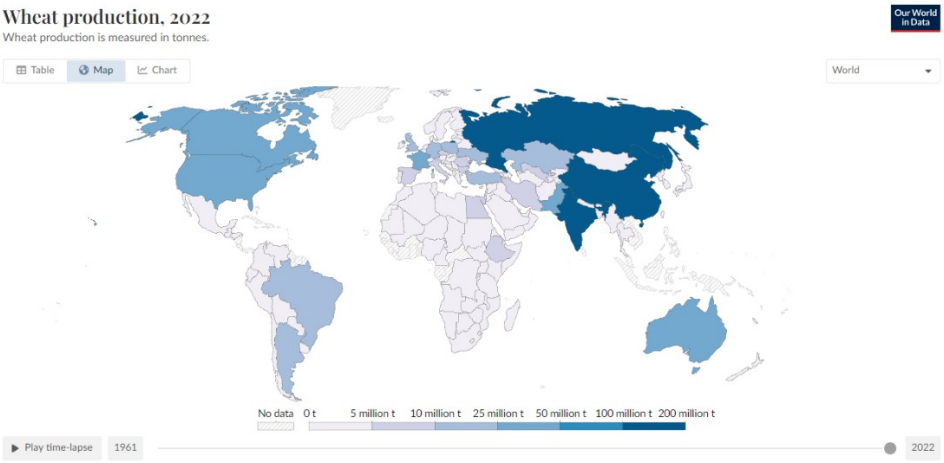
A középkor folyamán, az addig ismeretlen kontinensek felfedezésével párhuzamosan, a különböző gabonafélék fokozatosan elterjedtek a világ különböző régióiban, ahol korábban nem voltak őshonosak. A termesztett gabonafajok új környezeti feltételekhez alkalmazkodva meghonosodtak, és idővel meghatározó szerepet töltöttek be a helyi mezőgazdaságban. Ennek eredményeként olyan növények, mint a búza, Észak- és Dél-

Amerikában, valamint Ausztráliában váltak alapvető termesztett kultúrnövényekké, míg a kukorica Európában és Ázsiában terjedt el széles körben (Pepó és Sárvári, 2011).

A búzatermesztésben áttörést a XIX. század második fele jelentette, csakúgy, mint az a mezőgazdaság legtöbb területén is érzékelhető volt. Lényegében három tényező játszott döntő szerepet; elsőként a gépesítés, amely a talajművelés minőségi javulását eredményezte, a másik az agrokémia előretörése, amely a tápanyagellátás és a növényvédelem területén jelentett előrelépést, és végül, de nem utolsó sorban a genetika és a fajtanemesítés eredményeinek megjelenése (Hidvégi, 2007).

Óriási paradigma-váltáson ment keresztül az elmúlt három évtizedben a fejlett országok növénytermesztése. Míg az azt megelőző időszakban a maximális termésmennyiségek elérése volt a legfontosabb célkitűzés minimális minőségi paraméterek mellett, addig napjainkban optimális termésmennyiséget akarunk realizálni a lehető legjobb, maximális minőségi mutatókkal (Pepó, 2009).

A világon a búza (1. ábra), vetésterülete 245-250 millió hektár körül van. A világon a búza vetésterületének 90 %-án a közönséges búzát, 10 %-án pedig a keményszemű durumbúzát termesztik.

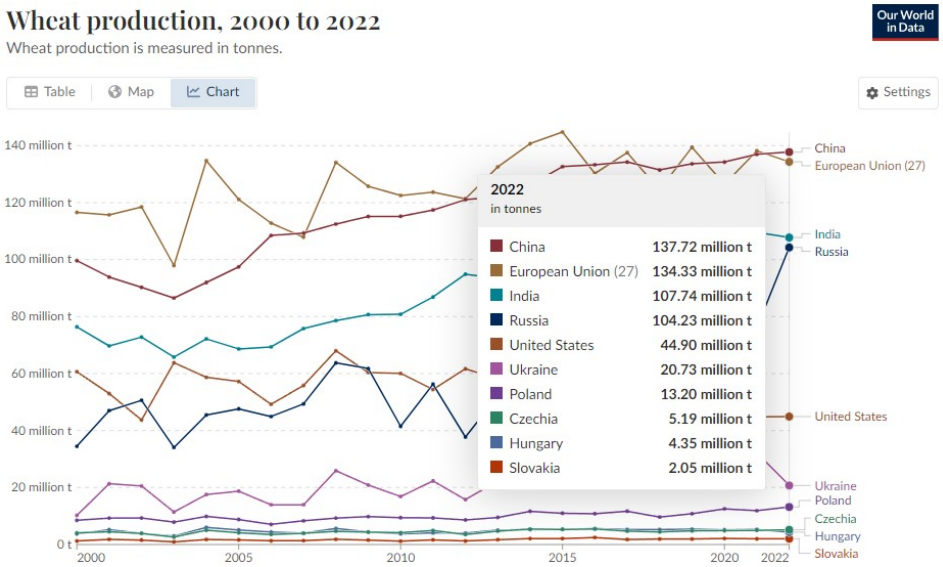


1. ábra: A világ búza termelése (forrás URL$_2$)

Az elmúlt hat évtized során a búzatermelés jelentős globális növekedésen ment keresztül, amely elsősorban két tényezőre vezethető vissza: egyrészt a vetésterületek expanziójára, másrészt a genetikai fejlesztések révén elért terméshozam-növekedésre. Az új, magas hozamú búzafajták kifejlesztése és elterjedése, valamint a modern agrártechnológiai megoldások – például precíziós gazdálkodás, öntözési rendszerek fejlesztése és műtrágyahasználat optimalizálása – jelentős mértékben hozzájárultak a termésátlagok növekedéséhez valamennyi kontinensen.

A világvezető búzatermelő régiói (2. ábra) közé tartozik az Európai Unió, amely 2022-ben mintegy 134,33 millió tonnás össztermelést ért el, ezzel a globális búzatermelés egyik meghatározó pólusává vált. Az EU-n kívüli országokat tekintve Kína a világ legnagyobb búzatermelője, amelynek mezőgazdasági fejlődése az elmúlt évtizedekben rendkívüli ütemben zajlott. Kína búzatermelése 1960-ban még nem érte el a 20 millió tonnát, azonban 2015-re meghaladta a 120 millió tonnát, míg 2022-ben már elérte a 137,72 millió tonnát. Ez a növekedés elsősorban a modern

agrártechnológia térnyerésének, az öntözési infrastruktúra fejlesztésének, valamint a mezőgazdasági szektorba történő jelentős állami beruházásoknak köszönhető.



2. ábra: A világ búza búzatermelő régiói (forrás: URL$_3$)

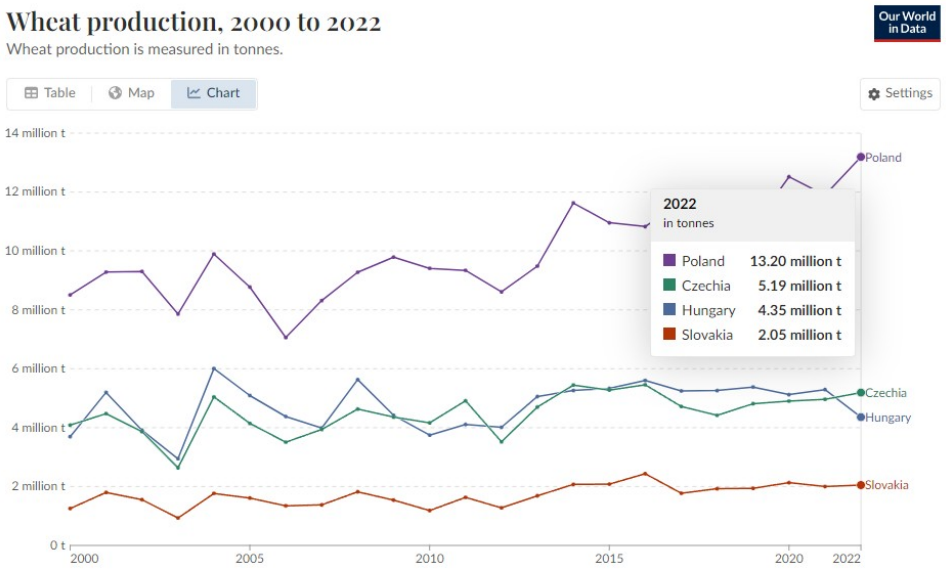
India és Oroszország szintén kiemelkedő szereplők a globális búzatermelésben. India 2022-ben 107,74 millió tonna búzát állított elő, míg Oroszország termelése 104,23 millió tonnára rúgott, amely a világ legnagyobb búzaexportőrei közé emelte az országot. Oroszország kedvező agroökológiai adottságai mellett a mezőgazdasági szektor növekvő modernizációja és a globális piacokra való fokozott exportorientációja is hozzájárult a termelés fokozásához.

Bár az Egyesült Államok továbbra is jelentős búzatermelő, a maga 44,90 millió tonnás termelésével relatív értelemben kisebb szerepet tölt be a globális piacon. Az USA agrárpolitikája az elmúlt évtizedekben a nagyobb jövedelmezőségű kultúrák, például a kukorica és a szója irányába mozdult el, így a búzatermelés aránya csökkent. Terület- és

lakosságarányosan vizsgálva az USA búzatermelése inkább közepes volumenűnek tekinthető.

Az európai régióban külön figyelmet érdemel Ukrajna, amely 2022-ig az egyik legjelentősebb búzatermelő ország volt. Az ukrán mezőgazdaság földrajzi és klimatikus adottságai – például a rendkívül termékeny csernozjom talajok és az optimális kontinentális éghajlat – hozzájárultak a kiváló terméshozamokhoz. 2022-ben az ukrán búzatermelés 20,73 millió tonnára csökkent, amely visszaesés elsősorban az orosz-ukrán háború következménye.

A Visegrádi országok (3. ábra) (Csehország, Magyarország, Lengyelország és Szlovákia) együttesen 24,79 millió tonna búzát állítanak elő évente. Lengyelország (13,20 millió tonna), Csehország (5,19 millió tonna), Magyarország (4,35 millió tonna) és Szlovákia (2,05 millió tonna), amelyek termelése elsősorban az Európai Unió belső piacainak ellátására koncentrálódik. E régiók termelési volumenei nagyban függenek az időjárási viszonyoktól, a mezőgazdasági támogatások mértékétől, valamint a fenntartható gazdálkodási stratégiák hatékonyságától.



3.ábra: A visegrádi országok búza termelése (forrás: URL$_4$)

A búza élelmiszerkénti felhasználása főleg őrleményei formájában történik. Felhasználási területe széles körű; nagyobbrészt kenyeret készítenek belőle, de a kenyéren kívül még számos sütő-, tészta- és cukrászipari felhasználási módja van. A sokrétű felhasználáshoz tartozik még az is, hogy a búza jó minőségű abraktakarmány, de melléktermékei is értékesek.

Az őrléskor keletkező búzakorpa fehérjében gazdag abraktakarmány. A búzaszalma értékes alomanyag - esetleg takarmánypótló-, de ipari felhasználása is előtérbe került (szalmacellulózgyártás, energetika stb.) A búza hazánkban is a legfontosabb és viszonylag nagy területen termesztett gabonaféle. Búzatermesztésünk nemzet gazdaságilag és üzem gazdaságilag egyaránt jelentős ágazata növénytermesztésünknek, amelynek mindenkori feladata az, hogy a lakosság kenyérgabona-szükségletét hazai termeléssel biztosítsa. (Radics, 1994).

Kedvező beltartalmi értékei és egyéb tulajdonságai folytán táplálkozásunk alapját képezi. Jelentőségét növeli, hogy alkalmazkodóképessége szinte az ország egész területén lehetővé teszi termesztését (Ragasits, 1994).

A búza népélelmezési jelentőségét a rizs közelíti meg. A búza a legfontosabb gabonafélénk. A búzaliszt azért olyan értékes táplálék, mert olyan arányban tartalmaz szénhidrátot és fehérjét, amilyen arányban az emberi szervezetnek e tápanyagokra szüksége van (Láng, 1976).

A búzafélék közül ennek a lisztje a legalkalmasabb a kenyérsütésre. A dietetikusok szerint a kenyérrel fedezzük fehérje- és energiaigényünk jelentős részét (15-20%). A kenyér csaknem minden létfontosságú kémiai elemet és a vitaminok nagy részét tartalmazza. Ezért volt lehetséges a középkorban a kenyéren és vízen élő rabok számára, hogy hosszú időn át élhessenek súlyosabb egészségkárosodás nélkül (Jolánkai és Szabó, 2005).

Növekvő szerepe van a búza közvetlen ipari felhasználásának is. Ez elsődlegesen a magvak endospermiumának két fő komponense, a fehérje-, illetve a szénhidráttartalmú anyagok kinyerésére és további feldolgozására irányul. (Keményítő, illetve ennek derivátumai) (Hidvégi, 2007).

2.2. Az őszi búza élettani jellemzése post-harvest nyomon követés és minőségvizsgálat szempontjából

Az őszi búza szemtermésének betakarítás utáni (post-harvest) kezelhetőségét és minőségi állapotát az éghajlati, vízellátási, talajtani és tápanyagellátási tényezők a tenyészidő során alapvetően meghatározzák. E tényezők nemcsak a hozamot és a klasszikus minőségi paramétereket befolyásolják, hanem közvetlenül hatnak a szemek optikai tulajdonságaira (pl. szín, fényvisszaverés), illetve a tételek homogenitására, ami a tárolás

során az elkülönítés, a keveredés értelmezése és a nyomon követhetőség szempontjából kiemelt jelentőségű.

2.2.1. Éghajlati igénye

A búza egynyári, egyszer termő növény, amelyet életciklusa alapján őszi, tavaszi és járó búzára különítünk el (Pál, 1983). A mérsékelt égöv tipikus növénye, ugyanakkor kiváló adaptációs képessége miatt szélsőségesebb viszonyok mellett is termeszthető (Nagy, 1981; Szabó et al., 1987; Pepó és Sárvári, 2011). A fajták ökotípusok alapján is csoportosíthatók (Bocz et al., 1992) ami jelzi, hogy a környezeti tényezőkhöz való alkalmazkodás a fajta- és termőhelyválasztásban meghatározó.

Az őszi búza tág hőmérsékleti tartományban életképes (–20 és +40 °C), ugyanakkor a fajták télállósága eltérő (Hidvégi, 2007). A hasznos hőösszegigény (2000–2200 °C) és annak tenyészidőn belüli megoszlása szintén befolyásolja a fejlődési ütemet és a szemtermés érettségi állapotát (Bocz, 1996). Mivel a betakarított szemek optikai tulajdonságai (például a színkoordináták) a szemfejlődés és érés során alakulnak ki, az évjárathatás és a klimatikus adottságok a post-harvest vizsgálatok értelmezéséhez alapvető háttérinformációt jelentenek (Koltay et al., 1982; Bedő et al., 1997).

A hazai termesztési feltételek összességében kedvezőek, ugyanakkor területi különbségek figyelhetők meg a termésstabilitás és a minőség alakulásában (Ragasits, 1994; Láng, 1976; Horváth, 1994). Ez a tételek közötti eltérésekben is megjelenhet, ami a tárolási logisztika során az elkülönítés és az eredetazonosítás szükségességét erősíti.

A kezdeti fejlődési szakaszok (kelés, bokrosodás) időjárási feltételei befolyásolják az állomány egyöntetűségét (Ragasits, 1994; Erdei et al., 1975). A tél kritikus időszak: kifagyás és felfagyás állományritkulást okozhat, ami később heterogén szemterményt és potenciálisan eltérő minőségi/optikai jellemzőket eredményezhet (Ragasits, 1994). A kedvezőtlen időjárási hatások agrotechnikával mérsékelhetők (Pepó, 2004), de a gyakorlatban a tételek közötti évjárat- és termőhely-eredetű különbségek megmaradnak, ami indokolja a tételszintű dokumentálást és a mérésalapú nyomon követést.

Kiegészítő tényezőként a sugárzás és megvilágítás a fejlődésre hat (Duchemin et al., 2006; Gifford et al., 1984), míg a minőségi paraméterek alakulását a csapadék és az agrotechnikai tényezők viszonya is befolyásolja (Hofmann et al., 2006). Ezek a hatások összességében a betakarított szemek mérhető tulajdonságaiban (köztük a színjellemzőkben) is megjelenhetnek, és a tárolási folyamatok során a tételek elkülöníthetőségét érintik.

2.2.2. Vízigénye

A búza termesztésének sikerességét gyakran a csapadék időbeli eloszlása korlátozza, különösen évjárati szélsőségek esetén (Lelley és Rajháthy, 1955). A kezdeti fejlődést a talaj vetéskori vízkészlete és a vetés utáni csapadék döntően befolyásolja; ebben az elővetemény és a talaj-előkészítés szerepe is jelentős (Ragasits, 1994). A tárolási minőség szempontjából ez azért lényeges, mert az állomány heterogenitása és stresszterhelése már a tenyészidőben olyan eltéréseket alapozhat meg, amelyek a betakarított szemek egységességében és később mérhető tulajdonságaiban is megjelennek.

A tenyészidő szakaszolása (vetéstől bokrosodásig; bokrosodás; bokrosodás végétől kalászolásig; kalászolástól betakarításig) jól értelmezi az eltérő vízigényeket (Erdei és Szániel, 1975). A vízhiány különösen a szárbaindulás körül kritikus: a biomassza-képzés és a terméskomponensek sérülhetnek, ami a szemek fejlettségében és minőségében is nyomot hagyhat (URL_5). Az optimális fejlődéshez nemcsak a csapadék mennyisége, hanem annak arányos eloszlása is meghatározó (Hidvégi, 2007), és a búza vízigényét jellemzően 400–450 mm körül adják meg (Bocz et al., 1992).

A túlzott csapadék megdőlést okozhat, amelyet több tényező (fajta, nitrogénellátás, agrotechnikai beavatkozás) befolyásol (Crokk és Ennos, 1995; Crokk és Ennos, 1994). A megdőlés és a vízellátási szélsőségek a betakarításkori szemállapotot (pl. érettség, egységesség) is módosíthatják, ami post-harvest környezetben a tételminősítést és a tárolási kockázatok értékelését érinti. Az öntözés hatása évjáratfüggő lehet, és a minőségi paramétereket is módosíthatja (Csajbók, 2004).

2.2.3. Talajigénye

A talaj termékenysége a növény víz- és tápanyagellátásának időbeni és mennyiségi biztosításában ragadható meg (Stefanovits, 1992). Az őszi búza széles talajtartományban termeszthető, de a termés mennyiségét és minőségét a talajtípus, az időjárás és a termesztéstechnológia együtt alakítja (Hidvégi, 2007). Általánosságban a jó vízellátottságú, tápanyagokban gazdag, semleges–gyengén lúgos kémhatású talajok kedvezőek (Bocz, 1996; Koltay és Balla, 1982; Ragasits, 1994), kedvezőtlenebb talajokon pedig a tápanyagellátás, öntözés és talajjavítás

javíthatja az eredményességet (Prettenhoffer és Gratzl, 1961; Koltay és Balla, 1982).

A talajtípus a művelhetőségen és vízgazdálkodáson keresztül a termés stabilitását befolyásolja; a nedvességmegőrzés és a megfelelő magágy állapot különösen kötött talajokon fontos (Ragasits, 1994). Post-harvest szempontból mindez azért releváns, mert a termőhelyből eredő különbségek tételek közötti eltérésekben jelenhetnek meg, amelyek a tárolási logisztikában szétválasztási/elkülönítési igényt generálnak.

A vetésváltás jelentősége ismert, monokultúrában terméscsökkenés tapasztalható, amelyben a patogén tényezők szerepe is meghatározó (Kükedi, 1985; Berzsenyi et al., 2000). A talaj szervesanyag-tartalma és a talaj levegő- és vízgazdálkodása komplexen hat a tápanyagok dinamikájára (Stefanovits, 1975), ami közvetve a szemek minőségét és tárolhatóságát is befolyásolhatja.

2.2.4. Tápanyagellátása

A trágyázás a búzatermesztés egyik legfontosabb technológiai tényezője; extenzív rendszerben a környezeti hatások erősebbek, intenzív rendszerben a termelési tényezők összehangolásával magasabb hozam- és minőségpotenciál érhető el (Pepó, 1997; Pepó, 2006; Holló, 1998). A fajta termőképessége akkor érvényesül, ha a tápanyagellátás és a termesztési tényezők összhangja biztosított (Koltay és Balla, 1982), a szükséges műtrágyaadag meghatározása pedig a terméscél, talajtápanyag-ellátottság, elővetemény és szervestrágya-utóhatás alapján indokolt (Ragasits, 1994).

A tápanyagellátás nemcsak a mennyiségi termést, hanem a minőségi paramétereket is alakítja; ezért a kijuttatás időzítése és a N–P–K arányok jelentősek (Debreczeni, 1991; Bedő et al., 1998; Sárvári, 2006). A nitrogén

szerepe kiemelt, ugyanakkor a túlzott N-ellátás növeli a megdőlés kockázatát, illetve kedvezőtlen hatásokat okozhat (Antal, 1999). A mezo- és mikroelemek (pl. kén, mikroelem-felvétel) szintén módosíthatják a növény állapotát és a termés minőségét (Salvagiotti és Miralles, 2008; Lásztity, 1988). Mindez post-harvest környezetben azért fontos, mert a szemek minőségi és esetenként optikai különbségei mérhető eltérések formájában jelentkezhetnek, amelyek a tételazonosítás és a keveredések számszerűsítése során felhasználhatók.

2.3. Az őszi búza fejlődése és fenofázisai post-harvest szempontból

Az őszi búza fejlődésmenete és fenológiai állapotai nemcsak agronómiai, hanem a betakarítást követő minőségvizsgálatok szempontjából is meghatározóak. A szemképződés és érés során kialakuló fizikai és kémiai tulajdonságok – különösen a szem színe, felületi struktúrája és beltartalmi összetétele – hatással vannak a tárolhatóságra, a keveredési viselkedésre, valamint az optikai alapú azonosítási és nyomon követési módszerek eredményességére (Ragasits, 1994; Jolánkai és Szabó, 2005).

A búza csírázása már alacsony (0-5 °C) hőmérsékleten megindul, azonban a kezdeti fejlődési szakaszok – kelés és bokrosodás – környezeti feltételei befolyásolják az állomány homogenitását, amely közvetetten hatással lehet a betakarított szemtermény egységességére (Ragasits, 1998). A vegetatív és generatív fejlődési szakaszok során alakul ki a kalász és a szemtermés végleges morfológiája, amely a későbbi szín- és spektrális tulajdonságok alapját képezi.

A szemképződés és érés időszakában zajló fiziológiai folyamatok – különösen a keményítő- és fehérjefelhalmozás, valamint a

pigmenttartalom változása – meghatározzák a szemek optikai viselkedését, ami a post-harvest vizsgálatok során kiemelt jelentőséggel bír (Ragasits, 1994; Erdei és Szániel, 1975). E tényezők figyelembevétele indokolt a színmérési és nyomon követési módszerek értelmezésekor.

2.4. Az őszi búza szemtermésének növénytani jellemzése post-harvest alkalmazásokhoz

A közönséges búza (Triticum aestivum L.) szemtermésének morfológiai és felületi jellemzői alapvető szerepet játszanak a betakarítást követő minőségvizsgálatokban. A különböző búzafajták között megfigyelhető eltérések – különösen a szem színe, alakja, felületi érdessége és barázdáltsága – befolyásolják a fényvisszaverési tulajdonságokat, amelyek a kolorimetriai és spektrofotometriás mérések alapját képezik (Kováts és Ragasits, 1981; Hidvégi, 2007).

A szemtermés háti és hasi oldala, valamint a hasi barázda kialakulása fajtánként eltérő lehet, ami a szem felszínének geometriai és optikai tulajdonságait módosítja. Ezek a morfológiai különbségek hatással vannak a beeső fény elnyelésére és visszaverésére, ezáltal a mért színkoordinátákra és spektrális értékekre is (Kováts és Ragasits, 1981).

A búzafajták közötti eltérések nemcsak genetikai adottságokból, hanem az érési idő különbségeiből és a termesztési körülményekből is adódhatnak, amelyek a betakarított szemek optikai tulajdonságaiban is megjelennek (Láng, 1976; Hidvégi, 2007). Ezek az eltérések lehetőséget biztosítanak arra, hogy a színmérésen alapuló módszerek alkalmasak legyenek a különböző tételek azonosítására, keveredési arányainak becslésére és nyomon követésére a tárolási és logisztikai folyamatok során.

Összességében megállapítható, hogy az őszi búza szemtermésének (4. ábra) post-harvest szempontból releváns növénytani jellemzői – különösen a szem színe és felületi morfológiája – szoros kapcsolatban állnak az alkalmazott optikai mérési módszerekkel. E tulajdonságok figyelembevétele elengedhetetlen a színképelemzésen alapuló nyomon követési rendszer megalapozásához.

4.ábra: A beraktározott őszi búza (saját felvétel)

2.5. Őszi búza fajtahasználat

A sikeres búzatermesztés alapvető feltétele a lehetőségeknek (termesztési cél és termesztési körülmény) megfelelő fajta megválasztása, mivel eltérő termesztési viszonyok között a fajták termése jelentősen eltérhet egymástól, ami befolyásolja termesztés jövedelmezőségét (Matuz, 1998).

A nagy és stabil termés egyik alapvető tényezője a fajta. A fajták között jelentős különbségek vannak a termesztés során (Szunics, 1973).

Minden fajta rendelkezik egy rá jellemző genetikai teljesítőképességgel, de ennek elérésére csak akkor képes, ha a termesztési feltételek megfelelőek számára (Szániel, 1982; Barabás, 1987).

A Kárpát-medence ökológiai feltételei a középkorai-, vagy a korai érésű fajták termesztésére a legkedvezőbbek. A legkorábbi és a legkésőbbi fajtáink tenyészideje között 7-8 nap a különbség. A vetésidő és a tábla kiválasztásával a különbség 10 napra növelhető (Koltay és Balla, 1982).

A különböző országokban, nemesítő intézetekben megvalósuló búza nemesítési programoknak egyre inkább meghatározó célkitűzésévé válik a fajták termőképességének és termésstabilitásának növelése (Brancourt et al., 1994).

A fajtamegválasztás során a fajták ökológiai adaptációs tulajdonságaiban meglévő különbségeket célszerű figyelembe venni. A hazánkban termesztett búzafajták egyik legfontosabb értékmérő tulajdonsága az eltérő ökológiai, elsősorban az időjárási feltételekhez történő alkalmazkodóképesség (Pepó, 2004).

A búzatermesztés alapját a biológiai alapok helyes megválasztása jelenti. Olyan fajtákat érdemes termeszteni adott területen, amely az ottani ökológiai feltételek mellett kedvező és stabil minőséggel és termésmennyiséggel rendelkeznek (Pepó, 1999; Ágoston et al., 2005).

A búzafajták minősége igen összetett, mivel sok tulajdonság határozza meg a „kiváló”, a „jó”, a „közepes”, vagy a „rossz” minősítést (URL_6).

A búza fajták vetőmagjainak legfontosabb minőségi tulajdonságai:

- Tisztaság

- Csírázóképesség
- Életrevalóság
- Ezerszemtömeg
- Osztályozottság.

A minőséget befolyásoló tényezők eltérő súllyal vesznek részt a minőség meghatározásában, a tényezők hatása szempontjából az agrotechnikai elemek mutatják a legnagyobb variabilitást. A tényezők közül meghatározó jelentőségőek a fajta minőségi és egyéb agronómiai tulajdonságai (betegségellenállóság, szárszilárdság stb.). A fajta minőségi tulajdonságai jelentik a termesztés során azt a felső (maximális) minőségi korlátot, melynek realizálását az agroökológiai és agrotechnikai tényezők elősegítik, ill. az esetek jelentős részében kisebb-nagyobb mértékben rontják (Csajbók, 2004).

Búzatermesztésünk egyik legfontosabb kérdése, hogy a jelenleg elismert fajtákból milyen arányban termesszünk ahhoz, hogy a legnagyobb termésátlagot a lehető legkisebb termesztési kockázattal elérhessük (Szániel, 1982).

A fajtaszerkezet kialakításakor figyelembe kell vennünk a fajok ökológiai, agrotechnikai igényét, a fenntartható termesztés szempontjait és a termesztés gazdaságosságát is (Ruzsányi, 1992).

A búzatermesztés potenciális és effektív termésszínvonalának, valamint a termésstabilitásának a növelése jelentős mértékben segíthető az agroökológiai feltételeknek megfelelő fajtaszerkezet kialakításával (Kutasy és Pepó, 1998).

A fajták termőképességének elbírálásakor nagy óvatosságra van szükség. Erre a célra a jól beállított és pontosan végrehajtott többismétléses, kisparcellás kísérletek elsődlegessége nem vitatható. A

fajta azonban csak megfelelő agrotechnikai viszonyok között képes potenciális termőképességének érvényesítésére. Búzafajtáink potenciális termőképessége 10 t ha körül van, de ennek a jobb gazdaságok is csak a 60-70 %-át tudják hasznosítani, országos átlagban pedig csak 40-50 %-os a kihasználás (Koltay és Balla, 1982).

Magyarországon olyan fajták állnak rendelkezésre, melyekkel megfelelő agrotechnika mellett teljesen reális elvárás lehet a hektáronkénti 6,0- 6,5 tonnás termésátlag és a versenyképes minőség, mely különösen fontos napjainkban (Balla, 2001).

Az elmúlt évtizedben a hazai búzatermesztés agronómiai, termesztéstechnológiai feltételei jelentős mértékben átalakultak: erőteljesen csökkent az agronómiai ráfordítások színvonala (kemikália, energia stb.). A csökkent inputfelhasználáshoz a nemesítés is igyekezett alkalmazkodni, egyre több kedvező adaptációs képességű, robosztusabb, erőteljesebb búzafajta jelent meg (Pepó, 2002).

A minőség szempontjából is jelentős változások történtek, az extenzív-low input típusú, mérsékelt befektetést igénylő fajták aránya lecsökkent (a korábbi 70%-ról 15%-ra), és megnőtt az átlagos intenzív technológiával termeszthető fajták aránya (a korábbi 30%-ról 85%-ra) (Pepó, 2014).

A nemesítők évről-évre jobb termőképességű fajtákat adnak a köztermesztésnek. A korszerű fajta genetikailag meghatározott képességét azonban csak megfelelő ökológiai feltételek között, valamint hatékony agrotechnikai eljárások alkalmazásakor fejti ki (Szániel, 1982).

A fajtaválasztás előtt fáradtságot nem kímélve mégis érdemes begyűjteni az információkat, és nem csupán a kereskedő vagy a fajtatulajdonos által közzétett adatokra hagyatkozni (Csajbók, 2017).

A doktori kutatás során alkalmazott őszi búzafajták kiválasztása során törekedtünk arra, hogy a fajták genetikailag és technológiailag is eltérő tulajdonságokat képviseljenek. A vizsgálatokban szereplő fajták:

- IS-18W1161 – Lila antociános őszi búza fajta, amelyet a Sósszigeti (SK) nemesítőintézet biztosított. E fajta különlegessége az antociántartalom, amely potenciálisan befolyásolhatja a szemek színképét és élettani jellemzőit.
- BONAVITA – Sárga színű őszi búza fajta (Sóssziget, SK). Jelentősége abban rejlik, hogy világosabb színe kontrasztot biztosít a pigmentált fajtákkal szemben, így különösen alkalmas színalapú keverékek összehasonlító vizsgálatához.
- KARKULKA – Lila antociános búzafajta, származási helye Banská Štiavnica (SK). A fajtát magas színanyag-tartalma miatt választottuk ki, amely lehetőséget biztosított a színkép-analízis széles spektrumú értékelésére.
- GENIUS – Kontrollként használt standard őszi búza fajta (RWA Slovakia, SK), amely a szokványos, nem pigmentált típusok egyik reprezentánsa. A GENIUS fajta stabil agronómiai tulajdonságai révén kiváló viszonyítási alapot nyújtott a többi fajta minőségi paramétereinek értékeléséhez.

2.6. Malomipari tulajdonság

Legnagyobb mennyiségben ma is a kenyérbúzát („közönséges” búza) (Triticum aestivum L.) termesztik, mert valamennyi gabonaféle között egyedülálló abban a tulajdonságában, hogy lisztjének fehérjéi sikérképzésre alkalmasak. Ennek következtében őrleményéből laza állományú, könnyen emészthető sütőipari termékek készíthetők (Gianibelli et al., 2001).

A termesztés során a terméshozam meghatározó tényező, de a termény értékesíthetőségét annak minőségi tulajdonságai határozzák meg (Kajdi, 2006).

A minőséget meghatározó fizikai és kémiai tulajdonságokat (Halverson és Zeleny, 1988) több pontban foglalta össze.

- Fizikai tulajdonság:
  - Hektolitertömeg
  - Ezerszemtömeg
  - Szem alakja
  - Szemkeménység
  - Szín
  - Sérült szemek
  - Idegen és nem kívánt frakciók aránya (pl. törött, sérült, gyommagvak, szennyeződések)
  - Őrlési minőség

- Kémiai tulajdonság:
  - Nedvesség tartalom
  - Fehérje tartalom

- Fehérje minőség
- Alfa-amiláz aktivitás
- Szabad zsírsavak mennyisége
- Nyersrost- és hamu tartalom

A minőség kialakulásában valamennyi sikérfehérje szerepet játszik. A funkcionális tulajdonságok az egyes sikerfehérje típusok szerkezetétől, valamint ezek egymással és az egyéb komponensekkel (lipidekkel, szénhidrátokkal) kialakított kölcsönhatásaitól függenek (Lásztity, 1996).

A sikér minőségét a belőle dagasztott tészta reológiai tulajdonságai (erőssége, stabilitása, nyújthatósága) és a sikér proteolites állapota (sikérterülés) határozza meg. A végtermék minőségének megállapításában a kenyértérfogat, a bélzet és héjtulajdonságok jelentősek. A kenyérsütésre való alkalmasságuk alapján a búzaliszteket alapvetően két csoportba sorolhatjuk: gyenge és erős lisztek. (Pomeranz, 1988).

Pomeranz szerint a liszteket lehetnek:

- Erős lisztek: nagy fehérje tartalom, nagy gáztartó képesség, jól nyújtható-dagasztható tészta.
- Gyenge lisztek: alacsony fehérje tartalom, lágy sikér, kevésbé elasztikus tészta, gyenge gáztartó képesség

A sütőipari értékszámot farinográffal vagy valorigráffal határozhatjuk meg.

A jó malom- és sütőipari minőségű búzák a keményszemű típushoz tartoznak.

A búza nagy népszerűségének az az oka, hogy jó egyensúlyban van szénhidrát és fehérje tartalma, teljes gépesítettséggel gazdaságosan termeszthető, hosszú időn keresztül jól tárolható, akár őröletlen szemek, akár liszt formájában (Barabás, 1987).

Az őszi búzafajtákat malom- és sütőipari minőségük alapján az alábbiak szerint különböztetjük meg (Hidvégi, 2007):

- javító minőségű A1 vagy A2 lisztet adó és 34%-nál több sikért tartalmazó
- étkezési minőségű B1 vagy B2 lisztet adó és 27-34% nedves sikért tartalmazó
- takarmány minőségű C lisztet adó búzák.

A búza összetételét tekintve mind táplálkozástani, mind technológiai szempontból a fehérjék a legfontosabbak. A fehérjék közül a legnagyobb mennyiségben a két sikérképző fehérje (gliadin és glutenin) fordul elő a búzában, kis hidratáltságú sikér formájában (Ewart, 1972).

A sikérfehérjék szerkezete és kölcsönhatásai befolyásolják a tészta minőségét, valamint a fehérjék egymás közötti és az egyéb komponensekkel (lipidekkel, szénhidrátokkal) kialakított kölcsönhatásai befolyásolják (Bushuk, 1998; Shewry et al., 1999).

A búza fehérjéinek kb. 80%-a sikérként fordul elő, amely a tészta minőségének fő meghatározója. A lipidek és a lipid-fehérje komplexek meghatározó szerepet játszanak a dagasztás, a kelesztés és a sütés során kialakuló gáz-víz és gáz-olaj határfelületek stabilitásában (Marion et al, 1998).

Technológiai szempontból a sikér mennyisége, vízfelvevőképessége és fizikai tulajdonságai (nyújthatóság, rugalmasság, terülékenység) a legfontosabbak (Gasztonyi et al., 1977).

2.7. Logisztika

A logisztikát az ellátás tudományaként szoktuk definiálni. Ennél sokkal többet mond az, amikor egy ésszerű gondolkodásmódként, filozófiaként említjük. Ezen filozófia központjában - mint hadszíntér - a piac, illetve a piaci verseny áll és ennek prominens főszereplője a vevő, korszerűbben a fogyasztó, a felhasználó (Körmendi, 2007).

A logisztika anyagok, személyek, energiák és információk rendszereken belüli áramlásának tervezésével, irányításával és ellenőrzésével foglalkozó tudomány (Jünemann, 1989).

A logisztika az ellátási láncnak az az része, amely alapanyagok, félkész-, és késztermékek, valamint a kapcsolódó információk származási helyről felhasználási helyre történő hatásos és költség hatékony áramlásának tervezési, megvalósítási és irányítási folyamata, a vevői elvárásoknak történő megfelelés szándékával. A logisztika javak és/vagy emberek mozgatásának és elhelyezésének, valamint a hozzájuk kapcsolódó támogató tevékenységeknek tervezése, végrehajtása és irányítása meghatározott célok elérésére megszervezett rendszerekben. (Kovács, 2004).

Mi a logisztikai rendszer alatt olyan zárt folyamatot értünk, amely magába foglalja a beszerzés-termelés-szolgáltatás-elosztás-értékesítés-felhasználás-újrahasznosítás értékteremtő és – megőrző láncolatában meghatározó szerepet játszó anyagáramlást és az ehhez kapcsolódó, integráltan kezelt információ- energia- munkaerő- érték- és pénzáramlást (Cselényi et al., 2009).

A logisztika feladata az alapanyag beszerzéstől a végső fogyasztásig terjedően az anyagáramlásban előforduló összes szállítási, rakodási, tárolási tevékenységek tervezése, szervezése, irányítása és ellenőrzése

azzal a céllal, hogy az áramlásban lévő anyag időben és a legkisebb ráfordítással a megfelelő helyre jusson (Halászné S. E, 2003).

A logisztikát másféleképpen az úgy nevezett M-ekkel is szokták jellemezni. Az 5M egy általános elfogadott alapfeltétel, amely révén a logisztikai szervezeteknek meg kell felelniük partnereik elvárásainak. Ezek az M-ek a kor előrehaladtával bővültek, így ma már beszélhetünk 6M-ről, 7M-ről 9M-ről is (URL_7).

Az „M" a (1. táblázat) megfelelőséget jelenti, amely utal arra, hogy ezek úgynevezett célkitűzések. Megfelelőségek fejlődését a következő táblázat foglalja össze:

1. táblázat: M a megfelelőséget jelöli (URL_7)

5M	6M	7M	9M
Megfelelő termék	Megfelelő áru (szolgáltatás)	Megfelelő anyag (áru)	Megfelelő anyag (áru)
Megfelelő mennyiségben	Megfelelő mennyiségben	Megfelelő mennyiségben	Megfelelő mennyiségben
Megfelelő állapotban	Megfelelő minőségben	Megfelelő minőségben	Megfelelő minőségben
Megfelelő helyen	Megfelelő helyen	Megfelelő helyen	Megfelelő helyen
Megfelelő időben	Megfelelő időben	Megfelelő időpontban	Megfelelő időpontban
	Megfelelő ár mellett	Megfelelő költséggel	Megfelelő költséggel
		Megfelelő ügyfélnek	Megfelelő ügyfélnek
			Megfelelő energia
			Megfelelő információ

A logisztika legfőbb feladatát általában a 7M- vagy a 9M-elv (vagy 9Mfunkció) mentén

szokás meghatározni. Ezek alapján nem csak a költség-, mennyiség-, és időtényezők kerülnek súlypontba. Mint a fentiekből is kitűnik, a mai modern logisztikában bár alapvető jelentőségű a raktár- és

készletgazdálkodás, ill. a kapacitásához igazított szállítás, de nem egyedüli meghatározó tényező. (Dankó, 2009).

A logisztika napjainkban már több mint szállítmányozás. Egy megállapítás azonban biztos, a logisztika komplexitása ma már képes önállóan irányítani cégeket, szervezeteket. Napjainkra interdiszciplináris területté nőtte ki magát, mert valahol a társadalomtudományok és a természettudományok között helyezkedik el (Knoll, 2006).

2.7.1. A logisztika célja, területei

A logisztika összefüggő gazdasági és társadalmi folyamatokat átfogó, egyben integrált kezelésének tudománya. Célja a mikro- makro-környezet hatásvizsgálataira folyamatosan támaszkodva, a lehetséges maximális gazdasági és társadalmi eredmény elérése (Knoll, 2001).

A logisztika célja, hogy a megfelelő információ, a megfelelő anyag, a megfelelő energia, a megfelelő személyek jussanak el, a megfelelő mennyiségben, a megfelelő minőségben, a megfelelő időpontban, a megfelelő helyre megfelelő költséggel.

A logisztika tartalmaz minden olyan tevékenységet, amellyel egy hálózatban mozgásokat és tárolásokat alakítanak ki, irányítanak és szabályoznak. Az együttes működés a hálózatban tárgyak és információk áramlását indítja meg úgy, hogy teret és az időt minél eredményesebben hidalják át (Pfohl, 1972).

A logisztikai célkitűzések már az elmúlt 30 évben is folyamatosan átalakultak a fejlett ipari országokban. Míg korábban a logisztika elsősorban a vállalati anyagáramlásra összepontosított napjainkban egyre inkább egységes folyamatirányító funkciót kap, nemcsak a vállalatokon belül, hanem a több vállalat együttműködéseként megvalósuló ellátási

láncokban is. Ezzel párhuzamosan folyamatosan kibővült a vállalati logisztika tevékenységi köre is. A klasszikusnak tekinthető logisztikai funkciók (anyagmozgatás, raktározás stb.) mellett ma már az olyan átfogó tevékenységeket is a logisztika feladatkörébe sorolják, mint pl. az ellátási lánc irányítása, az anyagigény tervezése, a hulladékkezelés, a területgazdálkodás stb. (Dömötörfi, 2013).

A logisztikai rendszereken belül megkülönböztetünk 2 rendszert:

- makro logisztikai rendszer
- mikro logisztikai rendszer.

A makrologisztika az elemek között lezajló áramlási folyamatokat optimalizálja, miközben az egyes elemek (önmagukban mikrologisztikai rendszerek) belső folyamatai figyelmen kívül maradnak (Halász S.E, 1998).

A mikrologisztikai folyamat a termelővállalatoknál a vevő megrendelésének fogadásától az alap- és segédanyagok és egyéb, a termeléshez szükséges anyagok, eszközök beszerzésén és termelésén keresztül a késztermékneк a vevőhöz történő eljutásáig tart (Cselényi et al., 2009).

A mikrologisztikában három fő területet különböztetünk meg, melyek a:

- beszerzési logisztika
- termelési logisztika
- értékesítési logisztika.

A beszerzési logisztika feladata, hogy a termeléshez szükséges alap-, segéd és üzemanyagok, alkatrészek és szerelvények a megfelelő mennyiségben és minőségben, a megfelelő időpontban, a megfelelő helyen, megfelelő költséggel rendelkezésre álljanak, vagyis a beszerzési

logisztika az anyagellátással kapcsolatos anyagáramlás és az ehhez kapcsolódó információáramlás megtervezését, megszervezését, irányítását és ellenőrzését végzi. A termelési logisztika funkciója az anyagok, kereskedelmi és kooperációs alkatrészeknek, részegységeknek stb. a termelési folyamatokba történő belépésével kezdődik (alapanyag raktár) és a termelő rendszer szempontjából értelmezhető késztermékek raktárban (készáru raktár) történő megérkezésével fejeződik be (Cselényi et al., 2009).

Az értékesítési logisztika az információs és a termékáramlási folyamatokat foglalja magában. Feladatkörei a raktározáson kívül a piacelemzés, az értékesítés megtervezése, illetve a szerződésekben található információk átadása a termelésbe.

A logisztikai elveknek megfelelően mindig az értékesítési piac felé közelebb álló elemnek van meghatározó szerepe a folyamat megelőző elemével szemben (Déri et al., 2009).

A gazdaság átalakulása, és ennek hatására logisztikai követelmények megváltozása következtében megváltozik a logisztikai szolgáltatások iránti kereslet:

- nő a szállítandó áruk mennyisége.
- csökken a küldemények nagysága
- nő a küldemények értéke
- nő a szállítások gyakorisága
- nő a nemzetközi szállítások részaránya
- nő az ´átlagos szállítási távolság
- nőnek a logisztikai szolgáltatások minőségével kapcsolatos követelmények, előtérbe kerül a gyorsaság, pontosság,

megbízhatóság, míg a szállítási költségek csökkentése kevésbé hangsúlyos

- nő a komplex (szerződéses logisztikai) és az értéknövelő szolgáltatások iránti igény (Dömötörfi, 2013).

2.8. Szemestermények raktározása

Keményné (2014) szerint a gabona-mennyiségek összegyűjtése és tárolása egyre fontosabbá válik a gabonakereskedelemben. A szemes termények akár takarmányozási, akár humán táplálkozási célra használjuk, azonos módon kell tárolni. A szemestakarmányok betakarítása évente egyszer történik, de egész éven át felhasználjuk őket, ezért legalább 3–12 hónapos tárolási időszakkal szükséges számolnunk. A tárolási költségeket az is növeli, hogy a raktárkapacitást mindig a termelési ciklust követő legnagyobb volumenre kell tervezni (Bokori et al., 2003).

A raktár (5. ábra) fogalmát hagyományosan úgy határozhatjuk meg, mint a vállalati logisztikai rendszernek, vagy az ellátási láncnak azon része, amely a termékeket, azaz alapanyagokat, részegységeket, félkész- illetve késztermékeket a gyártási, a felhasználási pontokon és/vagy azok között tárolja és azokkal kapcsolatban információkat szolgáltat (Stock és Lambert, 2001). A raktárak a disztribúcióban központi szerepet töltenek be, rendelkezniük kell azzal az árukészlettel, amely az ellátók és a vevők közötti zökkenőmentes áruáramlat fenntartásához elengedhetetlen (Hirkó, 2007). Verdes (2012) megfogalmazásában a raktárnak minden oldalról zárt, fedett térnek (épületnek, helyiségnek) kell lennie. Azt is hozzáfűzi, hogy a földbe süllyesztett medencék; talajszinten kialakított rakterületek; a fedett, de minden oldalról nyitott színek; részben zárt fészerek stb. – nem sorolhatók a raktárak közé.

5. ábra: Gabonaraktár JCB rakodógépekkel (saját felvétel)

A raktárakban történő beraktározás Pánczél (2013) szerint úgy fogható fel, mint az újratermelési folyamat szükséges láncszeme. Lakatos (2018) úgy írja le a raktározást, mint ami sajátos szerepet tölt be a kitermeléstől a felhasználásig (fogyasztásig) terjedő komplex anyagáramlási folyamatban. Lakatos (2018) azt is hozzáteszi, hogy a raktárak, mint alrendszerek a részfolyamatok összekötő elemeinek tekinthetők, amelyek a megelőző és a követő részfolyamatok kapacitáskülönbségeinek kiegyenlítése és a termelés folyamatosságának fenntartása érdekében árukat halmoznak fel, majd azokat továbbadják.

A szántóföldtől a raktárig, majd a felhasználási helyig biztosítani kell az anyagáramlást szállítással, amelyet össze kell hangolni a betakarítással, figyelembe véve a raktárak és a szárítók munkarendjét és kapacitását (De Lucia és Assennato, 1994). Az anyagmozgatási rendszerek elemei egymásra hatást fejtenek ki. Az anyagmozgatási rendszerek így dinamikus rendszerek, elemeik aktív elemek (Pánczél, 2013).

A logisztikai rendszer fejlődésével és az ellátási lánc menedzsment gyakorlatának megjelenésével kapcsolatban ugyanakkor a raktár helyzete és szerepe is sokat változott. Ma már egyre gyakoribb, hogy a raktártól nem csak a termékek tárolását és a termékkel kapcsolatos információszolgáltatást várják el, de számos esetben korábban nem jellemző, vagy kisebb hangsúlyt kapó árumanipulációs tevékenység elvégzését is (Dankó, 2009).

Gelei (2007) szerint a raktározás a fő logisztikai célkitűzések megvalósítását segíti elő. A raktározásnál megkülönböztet négy fontos pontot:

- beérkezés;
- tárolás;
- komissiózás;
- kitárolás.

2.8.1. Raktározandó áru szállítása

Az áruszállítás célját Pánczél (2012) úgy fogalmazta meg, hogy valamely árut a legkisebb költségráfordítással, a legrövidebb idő alatt, károsodás nélkül az egyik helyről a másikra eljuttatni. Az áruszállítással szemben támasztott három legfőbb követelmény:

- gazdaságosság;
- gyorsaság;
- biztonság.

A magyar gabonatermékek szállítmányozásával kapcsolatban elmondhatjuk, hogy az esetek döntő többségében ömlesztett áruk mozgatásáról beszélhetünk. Ez történhet közúti, vasúti, légi vagy folyami úton. Magyarországon, de a Közép-Európai országok döntő többségében a

gabonák fogadása az egyes felvásárló és raktározó telepekre közúton történik (Csima és Szerb, 2016). Vasúti, illetve folyami gabona befogadó hely korlátozottan érhető el. Szegedi (1999) leírja, hogy mivel Magyarországon a gabona termékeket közúton, vasúton és belvízi szállítmányozással is lehet mozgatni, ennek köszönhetően a szektor logisztikai szempontból jól kapcsolódik a nemzetközi infrastrukturális hálózatokba.

A közúti áruszállítás (Magyari, 2005) szerint elsősorban a viszonylag rövid távú helyi és körzeti (regionális) forgalomban gazdaságos, számos előnye miatt azonban a távolsági (belföldi és nemzetközi) forgalomban is gyakran alkalmazzák. A közúti áruszállítás járművei a tehergépkocsik, a pótkocsik, illetve a félpótkocsik és vontatóik (Kovács, 2011). A közúton történő szemes termények szállítása a legnehezebben szállítható termékek közé tartoznak a világon. A nehézségek magukban foglalják a gabonafélék szezonális mivoltát: mivel a gabona romlandó és kényes növény, ezért az időjárás és éghajlat függvényében változik az ideális vetési és betakarítási idő. Ennek köszönhetően a nemzetközi terménszállítmányozók nem tudnak rutinszerű, előre meghatározott és eltervezett időpontokban szállítani, mindig felkészültnek kell lenniük a változó idejű megbízásokra. A másik nehézség az ugyancsak időjárástól függően változó termési mennyiség. A szállítandó áru mennyisége és térfogata, ezzel együtt az igény a fuvarozáshoz használt gépekre évről-évre, évszakról-évszakra változik. További gondokat okoz a piac dinamikussága, a kereslet és kínálat nagymértékű ingadozása. A gyakran változó felvásárlóknak, tehát úticélnak köszönhetően a fuvarozóknak gyakran új, eddig általuk nem használt útvonalakat kell igénybe venniük a termények célba juttatása érdekében (URL_5). A szemes termények közúton történő szállítása során a

fuvarozók a fizetendő költségeket a vevő felé, az úgynevezett áruszállítás teljesítmény árutonna-kilométerben [átkm] fejezik ki:

elszállított tömeg [t] × szállítási távolság [km] > árutonna–kilométer [átkm] (Kovács, 2011).

Magyarországon a vasúti szállítások iránya Rieger (2019) kutatásai szerint Nyugat-Európa (Németország, Olaszország) irányába történik, de jelentős korlátokkal. Megállapítja, hogy a kiszolgálás tipikusan és kevés kivételtől eltekintve több évtizedes módszerrel történik: közúti rászállítás az állomásra, mobil berakógépek alkalmazása, jelentős élőmunka-igénnyel és környezeti károkozással.

A vasúti kiszállítások korábban a gabonapiaci intervenciónak köszönhetően kiegyenlítettebbek voltak annak ellenére, hogy az új terménytárolóknak nincs közvetlen vasúti kapcsolata. A régi betonsilók ma is rendelkeznek iparvágánnyal és bármilyen időjárásban alkalmasak vasúti rakodásra. A vasúti áruszállításban az egyik hátráltató tényező, hogy a legtöbb gabonaberakó pályaudvaron kicsi a berakó-kapacitás, többszöri beállással kell rakodni és hosszú a várakozási idő (URL_8). A vasútra és így a kötött pályás fuvarozási formára jellemző negatív tulajdonság, hogy a vonalhálózat sűrűsége és annak minősége elmarad a közútétól. Az áruk fuvarozási ideje viszonylag hosszú, illetve rugalmassága korlátozott a megrendelői oldal irányába (Földesi et al., 2006). A vasúti gabona szállítmányozás egyik fontos szempontja a megfelelő vagon típusok igénybevétele. Magyari (2005) szerint a gabona- és takarmányküldemények, az ömlesztett műtrágyák korszerű fuvarozásához különleges építésű alul vagy oldalt üríthető vasúti kocsik szükségesek.

Magyarországon a gabona termények belvízi szállítmányozása Csima (2016) szerint csak egy folyónkra a Dunára korlátozódik.

A dunai kikötők fejlesztése folyamatban van, multifunkcionális és multimodális logisztikai központok jöttek, jönnek létre a nagy dunai kikötőkben (Csepel, Baja és Gönyű). A Duna melletti tárolási lehetőségek kiszolgálják a hajózási igényeket, a tárolókapacitás megfelelő a gyors és hatékony rakodásokhoz. Ide tartoznak az Adonyban, Dunaföldváron, Pakson, Mohácson, Baján található tárolók, melyek közül az adonyi önmagában is 600 ezer tonnás kapacitású (Rieger, 2019). Szegedi (2003) a belvízi fuvarozás pozitív tulajdonságai között megemlíti, hogy a vasúthoz hasonlóan nagyobb távolságok esetében kisebb a fajlagos energiaigénye, illetve a környezet terhelő hatása.

Csima (2016) megemlíti, hogy annak ellenére, hogy a Duna hazánkban az egyetlen alternatíva a vízi szállításra, stratégiailag nagyon fontos szerepe van a szektorban, hiszen ez Európa egyetlen vízi útja, mely lehetővé teszi a kontinens áthajózását a Rajna-Majna-Duna-csatorna részeként. Hozzáfűzi továbbá, hogy a belvízi gabona szállítmányozás az időjárástól való nagymértékű függőség kockázatot jelent a gabonakereskedelem számára és nagymértékű volumeningadozással jár az export esetében.

A termények belvízi szállítása sem zökkenőmentes, tekintettel a fedett rakodóhelyek és hajókapacitások hiányára, a gázlókra és szűkületekre, de legfőképp a vízszint szélsőséges ingadozására. Nyáron és ősz elején ideális lenne a folyami áruszállítás, de a csúcs általában október végére tehető (URL_8).

2.8.2. A szemes termények átvétele, termesztés és a minőség összefüggései

Napjaink egyik legfontosabb problémája (Huszár, 2015) szerint az élelmiszerbiztonság kérdése. A biztonságos élelmiszertermelés alapkövetelménnyé teszi, hogy a termék útja pontosan nyomon követhető legyen: a termőföldtől az asztalig. Ez a folyamat tehát magában foglalja a már betárolt termények védelmét, mennyiségének és minőségének megőrzését is.

Az áru átvétele rendszerint az átvevő helyiségben történik. Az átvevő helyiségek a mennyiségi és minőségi átvételhez szükséges berendezésekkel (mérlegek, osztályozóasztalok, kisebb tároló állványok stb.) vannak ellátva (Pánczél, 2006). Az átvétel a mozgatási funkció első tevékenységcsoportja, mely a szállítóeszközök lerakodásának, a beérkező áru mennyiségi és minőségi ellenőrzésének, a szállítmányt kísérő dokumentumok ellenőrzésének tevékenységeit foglalja magában (Gelei, 2007). A mennyiségi áruátvétel leggyakrabban alkalmazott módszerei Solyóm (1991) szerint:

- az okmány szerinti;
- és a vakátvétel.

A raktár gyors, zavartalan és gazdaságos működése nagymértékben függ e folyamat – a raktáron belüli anyagáramlás – helyes kialakításától (Pánczél, 2013).

A termények minőségi átvételét kézi vagy gépi mintavevő eszközökkel járművenként kell elvégezni. Ehhez a legkorszerűbb berendezések olyan videokamerás rendszereket alkalmaznak, melyek felszín alatti akár 2 m-es mélységben is vételező szondái 3D irányban

pneumatikusan vagy hidraulikusan működtethetők és távirányítóval kezelhetők. A berendezések által vett minták csővezetéken keresztül jutnak a laboratóriummal kiegészített korszerű mérlegházakba. Ezek a létesítmények a tömegmérésen kívül már a termények legfontosabb fizikai (faj, szárazanyag-tartalom, térfogattömeg, hőmérséklet stb.), beltartalmi és reológiai (nyersrost, sikér, fehérje, olaj, keményítő, szedimentációs érték stb.) jellemzőinek megállapítására is alkalmasak (Bellus és Komka, 2017).

Győri és Győriné (1998) szerint átvételkor döntő fontosságú a gabonaminták érzékszervi vizsgálata. Megemlíti, hogy vizuálisan a szennyeződéseket, szaglással a dohosságot és a penészes szagot lehet felderíteni. A gabonák esetében fontosnak tartja a halmaztulajdonságot, a tisztaságot, a szemek kiegyenlítettségét, a hektolitertömeget, az egészségi állapotot, illetve a nedvességtartalmat, és az acélosságot.

A gabonák beltartalmi minőségi paramétereinek a megőrzését, minden esetben a betárolt áru nedvességtartalma határozza meg. Mesterházy (1997) szerint a búza szabvány szerinti nedvességtartalma 14,5% (MSZ 6383:1998), azonban a tapasztalatok szerint ettől lényegesen alacsonyabb nedvességtartalommal – 13% körüli értékkel – tárolható minőségromlás nélkül hosszabb ideig a gabona. Búza 16% feletti víztartalommal nem tárolható. Nedves 14,5% feletti nedvesség a beltartalmi értékekben minőségromlást (penészedés, csírázási erélyvesztés, sikér, illetve fehérje csökkenést) okoz. Viszont gyakorlatban a gabonafelvásárló telepek, bizonyos esetekben (csapadékos nyarak) a 14%-túllépő nagyobb nedvesség tartalmú gabonát is átveszik. Szárítás nélkül a maximálisan elfogadott tolerancia szint 0,5%. Abban az esetben, ha a gabonák betárolandó nedvessége a 15% túllépi mindenképpen szárítani, kell.

A búzaszem minőségét meghatározó paraméterek közül Diós (2017) megemlíti, hogy a malomipar számára az egyik legfontosabb paraméter, a hektolitertömeg [kg/hl], amely a szem lehetséges lisztkihozatalára enged következtetni. Gabonáknál a standard minimális elfogadott hektolitersúly árpáknál 62,0 kg/hl, búzáknál 72-82 kg/hl.

A gabona fehérje, illetve sikér tartalmát közeli infravörös reflexiós spektroszkópiával lehet meghatározni (URL_7). A közeli infravörös tartományban működő elemzők alkalmasak a búzát (gabonákat) alkotó számos vegyület jellegzetes elnyelési (abszorpciós) vagy visszaverődési (reflexiós) spektrumának vizsgálatára, ennek következtében a fehérje-, zsír-, nedvesség-, keményítő- és hamutartalom meghatározására. A fehérjetartalom alapján pedig a sikértartalom is megadható megfelelő kalibráció után.

Ezek az **NIR** (Near Infrared Reflectance – közeli infravörös reflektancia) vagy **NIT** (Near Infrared Transmittance – közeli infravörös áteresztés) elven működő analitikai berendezések (URL_7). A gabonaminták kémiai összetételét a 780–2500 nm közötti infravörös spektrum alapján, nem roncsolásos módon határozzák meg – napjainkban már darálást követően, illetve korszerűbb változataik esetén mintaelőkészítés nélkül is széles körben alkalmazhatók a búza átvételkori minősítésében. A **reflektancia-alapú NIR** módszerek elsősorban a minta felszínéről visszaverődő spektrális információkat hasznosítják, míg a **transzmittancia-alapú NIT** technikák a mintán áthaladó fény spektrumát elemzik, ami különösen előnyös lehet homogén vagy finomra őrölt minták esetén, biztosítva a beltartalmi paraméterek – például fehérjetartalom, nedvesség, keménység – gyors és pontos meghatározását.

A NIR spektroszkópia azon kevés módszerek egyike, melyek nem a haditechnika vagy az űrkutatás felől jutottak el a mezőgazdasági alkalmazásig. Ellenkezőképp, a módszer a mezőgazdasági kutatások eredményeként vált közismertté, és az ehhez kapcsolódó hardveres és szoftveres fejlesztések hatására alakulhatott ki egy olyan gyors, ám mégis nagyon megbízható módszer, mely ma már a mezőgazdaságon és élelmiszeriparon kívül számos egyéb iparág számára kínál analitikai megoldásokat akár laboratóriumi, akár gyártási folyamatba épített, automatizált környezetben: az űrkutatástól a gyógyszeriparig szinte bárhol találkozhatunk e költséghatékony, roncsolás mentes analitikai módszerrel (URL_9).

Az acélosságot Csajbók (2012) úgy határozta meg, hogy 100 db búzaszem kettévágásával megállapította a vágási felület segítségével az acélos és a lisztes szemek arányát. Az acélos szemek nagyobb fehérje-, sikértartalommal rendelkeznek.

További értékmérő tulajdonság a szedimentációs érték (Zeleny-féle szám meghatározása): Csajbók (2012) leírásában a Zeleny-féle szám alkalmas nemcsak a búza minőségének becslésére, hanem mint értékmérő tulajdonságot felhasználják a fajtanemesítési kísérletekben és az agrotechnikai kísérletek kiértékeléséhez is. A vizsgálatkor egy rázóhengerbe lisztet, vizet és vegyszereket (indikátor, tejsav, alkohol) helyeznek el, rázatás után megmérik a sikér tejsavas oldatban történő duzzadását, ülepedését. Az üledék térfogatát mm-ben fejezik ki, minél magasabb az értéke, annál jobb a liszt minősége.

Fontos gabona beltartalmi értékszám az esésszám. Csajbók (2017) megfogalmazásában az esésszám a búzaszem szemmel nem látható, de már megkezdődött csírázásáról és a csírázással együtt járó, magban

végbemenő biokémiai folyamatokról ad információt. A Hagberg-féle esésszám-meghatározó készülék egy speciális merülő viszkoziméter, amely meghatározott hőmérsékleten és időtartammal elcsirizesített liszt-víz keverékben méri az ejtőtest süllyedésének időtartamát másodpercben kifejezve. Sem a túl alacsony sem a túl magas esésszámú liszt nem alkalmas jó minőségű kenyér sütéséhez.

Az esésszám értéke a részidők összege. Az előírás az, hogy a búzaőrlemények esésszáma 200 és 300 között legyen (Radics, 2010).

Az átlagmintákból gabonasziták segítségével meghatározzák a gabona osztályozottságát is. Radics és társai (2010) leírják, hogy a gabonák tisztításánál különféle rostákat kell alkalmazni. Az őszi búza esetében 2,2 mm-rostát, míg durum búza esetében a 2,0 mm es rostát kell használni. Hatsoros árpánál minimum 2,0 mm-es, kétsoros fajtánál 2,2 mm-es hasítékolású rostát használják. Csupasz árpánál a kívánt rostaméret 1,8 mm. A tavaszi árpát (sörárpa) 2,5 mm-es résrostával osztályozzák.

Az első és másodosztályú söripari méret (a 2,8 mm feletti, illetve 2,5 - 2,8 mm közötti) összege jelenti az osztályozottságot a teljes tömeg százalékában kifejezve. Gyakorlatilag a 2,5 mm-nél nagyobb szemek aránya a teljes mintamennyiség százalékában kifejezve (URL_7).

Fontos értékmérő szám a gabonák életképessége. Izsáki és Lázár (2004) leírják, hogy az életképességnél a magban rejlő potenciális lehetőséget, a mag életlehetőségét, életképességét próbálják meghatározni. Az életképesség megállapítására többféle módszer lehetséges, leggyakrabban a vetőmagvizsgálatban a laboratóriumi biokémiai módszereket alkalmazzák. A módszerek lényege, hogy biokémiai festékek segítségével feltérképezik az élő és holt szövetek arányát, majd ebből következtetnek a mag életképességére. Az ISTA-módszertan a 2, 3, 5,

Tripheniltetrazoliumkloridot (TTC) vagy -bromidot (TTB) ajánlja erre a célra.

A csírázási erély az az értékszám darabszámra vonatkoztatott százalék, amely azon a napon adja meg az ép, fejlett csíranövények számát, amely a szabványban szerepel az első értékelési napként (Izsáki és Lázár, 2004). Aratáskor a betárolandó gabona általában 99-100% csíraképes. Viszont raktározás során a csírázási erély folyamatosan csökken. Egy év raktározás során az elvárt minimális csírázási erély gabonák esetében 95%.

Simič et al. (2003) szerint elengedhetetlen, hogy tökéletesen ismerjük a betárolandó búza beltartalmi tulajdonságait, így a beraktározáskor biztosíthatjuk a lehető legjobb raktározási feltételeket.

Magyarországon a búza minőségét a Magyar Szabványügyi Testület által kiadott MSZ 6383:2017 szabvány írja le. A beminősített őszi búzát minőségi értékszám alapján sorolják be hat minőségi értékcsoportba. Ezek a következők:

- A1 -A2 javító;
- B1 -B2 malmi;
- C1 -C2 takarmány búzák (URL_{10}).

Árpák esetében Radics (2010) kifejti, hogy évjárattól függően a nyers termés 60-90% felel meg a söripari szabványnak (1. táblázat), de vannak olyan esetek, mikor a felvásárlók még az alapkövetelménynél is szigorúbb kritériumokat írnak elő.

2. táblázat: A sörárpa minőségi paraméterei (Radics, 2010)

A sörárpa minőségi követelményei (MSZ-081326) / Quality parameters of barley based on Hungarian Standard (MSZ-081326)		
Minőségi jellemző / Quality parameter	Alapkövetelmény / Base value	Határkövetelmény / Limit value
Hektolitertömeg / Hectoliter weight (kg hl-1)	68	>65
Tisztaság / Cleaness (%)	98	96
Keverék / Mixture (%)	2	<4
Értékes keverék / Valuable mixture (%)	1,5	<3
Értéktelen keverék / Unvaluable mixture (%)	0,5	<1
Káros keverék / Harmfull mixture (%)	0,2	<0,5
Osztályozottság / Classification	Alapkövetelmény / Base value	Határkövetelmény / Limit value
2,5 mm-es lyukbőségű fennmaradó / Remaining on 2.5 mm mesh (%)	75	>70
2,2 mm-es lyukbőségű szitán áthulló / Passing through on 2.2 mm mesh (%)	4	<5
Csírázóképesség / Germination capacity (%)	96	>95
Fehérjetartalom (szárazanyag %) / Protein content (dry matter %)	11,5	12,5

Őszi búzánál tároláskor Pomeranz (1971) leírta, hogy a frissen őrölt búzaliszt sütőipari minősége általában egy ideig javul, majd hosszabb tárolás esetén fokozatosan csökken. Balla et al. (1993) szerint a tárolásra kerülő búza magtömegében számos, külön-külön jól meghatározható és számos, kölcsönhatásaiban jelentős folyamat mehet végbe. Az utóérés ezek közül kiemelkedik, melynél még folytatódnak a szintetizáló

folyamatok, pl. javul a sikér minősége. A nedves sikér mennyiségében lényeges változást nem tapasztaltak raktározás során, ellenben az utóérés időszakában a sikér minőségében a sikérváz kialakulása, stabilizálódása miatt előnyös változás volt tapasztalható. Kedvezőtlen tárolási körülmények hatására a kimosható sikér mennyisége csökken, a belőle sült próbacipó kisebb térfogatú és tömörebb bélzetű (Daftary et al., 1970).

A betárolt búzánál Győri (1999) a Hagberg-féle esésszámot vizsgálta 10 hónapon keresztül, megfigyelte, hogy a raktározás időtartalma alatt egyértelmű változás nem volt megállapítható. Lund et al. (1971) leírja, hogy búza esetében a lizintartalom csökkenése a tárolási időszak kezdetén jelentősebb, mint később. Gabonák kereskedelemi tárolása során Pixton és Hill (1967) nyolc évig tartó kutatásaik alapján megfigyelték, hogy a búza fehérjetartalom (Kjeldahl-módszerrel mérve) kis mennyiségben növekedett. A búza fehérjetartalom növekedést a szénhidrátok légzési veszteségével magyarázták.

Tavaszi árpák (sörárpa) esetében Radics (2010) kifejti, hogy az optimális tárolás feltételei:

- 13-14% víztartalom (maximum 15%);
- 10 °C hőmérséklet (maximum 15-18 °C);
- 65% relatív páratartalom (maximum 75%);
- 0,5% idegen anyag jelenléte (maximum 1%).

Móré és Diósi (2014) megállapítják, hogy a megfelelő minőséget minden esetben a végső fogyasztó határozza meg a feldolgozóiparon keresztül, így a minőség relatív, azaz termékenként más és más paraméterek a meghatározóak. A folyamatosan fennálló minőségi követelmények a Magyar Szabvány Testület által kiadott leírások tartalmazzák.

2.8.3. A raktározás során fellépő gombabetegségek

Az élelmiszer felhasználásra kerülő gabonatételeknek idegen anyagtól mentesnek, egészségesnek kell lenniük. A különböző gombafertőzések termékei kellemetlen íz anyagai miatt okoznak minőségromlást, a *Fusarium*-fertőzés sörvadulást okoz, az anyarozs méreganyagai miatt okoz problémát (Basa, 1998).

A gabona tárolása során a penész elszaporodása jelentős kockázatot jelent a mikotoxinokkal való szennyeződés szempontjából, amelyek a gombák által termelt káros biokémiai anyagok. Ezek a mikotoxinok nemcsak a növényeket károsítják, hanem az emberi és állati egészségre is veszélyt jelentenek (Yi et al., 2022). A nem megfelelő betakarítás utáni kezelés felgyorsítja a romlást, rontva a tárolt gabona minőségét, csírázóképességét és tápértékét (Manandhar et al., 2018). (Hui Li et al.,2025) leírják, hogy a kártevők és penészgombák jelenléte a gabona tárolása során jelentősen befolyásolja az élelmiszerbiztonságot. Ez nemcsak a gabona minőségét befolyásolja, hanem potenciális veszélyt jelent az emberi egészségre is.

A mikotoxinok keletkezésének lehetősége az élelmiszerlánc teljes folyamatában fennáll, a termőföldön, raktározás során, az élelmiszeripari feldolgozás, tárolás és forgalmazás körülményei mellett egyaránt (Sohár, 2007). Tančinová (2009) megállapítása alapján, az is igaz, hogy a megfelelő tárolás minimalizálja a mikroszkopikus gombák szaporodásának lehetőségét és megakadályozza a további szennyeződést is. A fogyasztó szempontjából az az alapszabály érvényesül, hogy semmi penészes áru nem szolgálhatja sem az emberek sem az állatok táplálkozását.

Hudec (2025) kifejti, hogy bár a fuzáriumos fertőzöttség és a mikotoxinok előfordulása más gabonaféléknél – például a rozsnál – is gyakori, ezen növények esetében a szennyeződés kisebb figyelmet kap, mint a búza vagy az árpa esetében. A probléma súlyosságát elsősorban az okozza, hogy az élelmiszer-alapanyagok fusariotoxinokkal való szennyeződését igen nehéz teljes mértékben megakadályozni vagy megszüntetni. Európa gabonatermő területein jellemzően kisebb-nagyobb mértékben jelen vannak ezek a toxinok, különösen a dezoxinivalenol (DON).

Jávor és Szigeti (2011) szerint a mikotoxin probléma Magyarországon azért is figyelmet érdemel, mert ezek a toxinok főként azokban a gabonafélékben találhatók (pl. kukorica, búza), amelyek az ország vetésterületének jelentős hányadát foglalják el, és a lakosság számára is fő táplálékul szolgálnak. D'Mello és Macdonald (1997) megemlítik, hogy az élelmiszerekben előforduló mikotoxinok egyes penészgombák által termelt másodlagos anyagcseretermékek, amelyek erős toxikus hatással bírnak, és ezért élelmiszerbiztonsági szempontból magas kockázatot jelentenek. A penészgombák kártétele már a betakarítás előtt álló termésen érzékelhető, mely a nem megfelelően történő tárolás, hosszú ideig tartó szállítás során még jelentősebbé válhat (Kovács, 2001).

A gabonafélék szemtermésének a minőségét – amely jelentősen befolyásolja élelmezési és takarmányozási célra, valamint vetőmagként való felhasználásukat – elsősorban a különböző nemzetségekbe (*Alternaria, Aspergillus, Fusarium*) tartozó penészgombák veszélyeztetik. Ezek a mikroszkopikus gombák többféle módon ronthatják a gabona minőségét: csökkentik a csírázóképességet, szemmel látható elszíneződést, penészesedést okoznak, hatásukra dohos vagy savanyú

szagú lesz a gabona, csökken a szemek szárazanyagtartalma, tápanyagtartalma, kémiai összetételük megváltozik, a tárolt gabona befülled, illetve mikotoxinnal szennyeződik (Sauer et al., 1992; Veres et al., 2002). A mikotoxinok erős mérgek, több közülük karcinogén, mutagén és befolyásolja az immunrendszert (Sohár, 2007). A mikotoxin probléma jelentősége Magyarországon azért is elsőrendű fontosságú, mivel ezek a természetes toxinok a gabonafélékben (pl. búza, kukorica) találhatók (Kovács et al., 1998; Veres et al., 2002). A mikotoxinnal szennyezett takarmány, illetve élelmiszer fogyasztása mind az állati, mind az emberi szervezet számára súlyosan ártalmas, gazdasági kárhoz (elhullás, fejlődésbeli visszamaradás, vetélés stb.) és humán megbetegedésekhez vezet (Kovács, 2004).

Könnyen veszteséghez vezethet az is, ha a termést leminősítik, és a termelő alacsonyabb áron tudja csak eladni. A legrosszabb eshetőség pedig az, ha a termés teljesen értékesíthetetlenné válik. A felvásárlóknak szintén jelentős ráfordítási többletet jelenthet, ha a fertőzésmentes gabonát távolabbi területekről kell beszerezni és szállíttatni, valamint a termés tárolása is fokozottabb figyelmet követel a csapadékos években. Levegőtlen, magas nedvességtartalmú és hőmérsékletű tárolóhelyen a gomba a termésben felszaporodhat és fokozza mikotoxin-szennyezettségét (Veres et al., 2001).

Az emberi és az állati szervezetben súlyos szövődményeket, rövidebb-hosszabb idő alatt kialakuló kórképeket, betegségeket, sok esetben maradandó károsodást okozhatnak (Galvano 2005; Kovács 2010). Berek et al. (2001) leírásában az emberi immunrendszert már 50 ppb *DON toxin*, *T-2 toxin*, *fusarenon-X*, illetve a *nivalenol*, gátolja az emberi immunrendszert, akár 80%-ban is. Abramson (1998) kutatásában

összefoglalta az egyes tárolt termékekben (2. táblázatban) előforduló toxinok hatását a szervezetre.

Magyarországon Mesterházy (2002, 2005) és Szabó-Hevér (2013) szerint a legnagyobb problémákat leggyakrabban a *Fusarium* fajok okozzák, melyek a gabonaféléken élősködhetnek. Jelentős gazdasági kárt okoznak nemcsak a növénytermesztésben, de az állattenyésztésben is, és ezek eredményeként a humán-egészségügyi következményük is számottevő. Rafai (1999) szintén a *Fusarium* toxinok, illetve az egyes raktári penészgombák által termelt mikotoxinok kedvezőtlen köz- és állategészségügyi hatásaira hívja fel a figyelmet.

3. táblázat: Különböző tárolt termékekben előforduló gombatoxinok és szájon át adagolva kifejtett toxicitásuk (Abramson, 1998)

Mikotoxin / Mycotoxin	Gombafaj / Fungi species	Termény / grain	LD50 mg/kg
Aflatoxin B1	A. flavus	kukorica / maize	7,2 – patkány / rat
	A. parasiticus	diófélék / nuts	
	A. nominus	gyapotmag / cotton seed	
Ciklopiazonsav /Cyclopiazonic acid	A. flavus		
	A. tamari	kukorica / maize	36,0 – nyúl / rabbit
	P. griseofulvum	földimogyoró / peanut	
	P. communae	sajt / cheese	
	P. camembertii		
Citrinin	P. verrucosum	búza / wheat	56,0 – pulyka / turkey
	P. citrinum		
	A. terreus		
Ochratoxin A	P. verrucosum	búza / wheat	22,0 – nyúl / rabbit
	A. ochreaceus	árpa / barley	
	A. ostianus	rizs / rice	
Patulin	P. expansum	alma / apple	35,0 – egér / mice
	P. griseofulvum		
Penicillinsav / Penicillinic acid	P.aurantiogriseum	kukorica / maize	90,0 – csirke / chicken
	P. aurantiovirens	bab / bean	600,0 – egér / mice

	P. cyclopium		
	P. freii		
	P. viridicatum		
Penitrem A	P. crustotum	búzakenyér / wheatbread	10,0 – egér / mice
	P. melanoconidium	dió / nut	
		sajt / cheese	
Szekalonsav / Secalonic acid	P. oxalicum	kukorica / maize	25,0 – nyúl / rabbit
Viomellein	P. freii	árpa / barley	
Xanthomegnin	P. freii		
	P. viridicatum		

Az Európai Bizottság megállapította gabonákban, illetve gabonakészítményekben a maximálisan megengedhető fuzáriumtoxin mennyiségeket, amelyet az élelmiszerekben előforduló egyes szennyező anyagok felső határértékeinek meghatározásáról szóló 1881/2006/EK rendelet, és az ezt módosító 1126/2007/EK rendelet szabályoz (URL_{11}).

Berek et al. (2001) leírja, hogy Magyarországon a feldolgozatlan élelmiszeripari célokra felhasználható búza szemtermésénél a DON toxin határértéke a magyar egészségügyi normában (1250 ppb, vagy 1,25 ppm) lehet. A durumbúza esetében a megengedett legmagasabb DON-toxin egészségügyi normája 1,75 ppm, míg árpánál 1,25 ppm.

Sokszor ajánlották a fertőzött tétel hígítását egészséges terménnyel. Ha a toxintartalom magas, akkor a keverés után még mindig határérték feletti adatot kapunk, azaz eredményt nem értünk el, de sikerült a fertőzött takarmány tömegének akár többszörösét is tönkre tenni, azaz csak a bajt növeltük. Néhány határeset kivételével (amikor a toxintartalom a határértéket éppen csak meghaladja) az eljárást ezért nem ajánlott. Ha mégis próbálkoznak vele, először kis tételben végezzék el a keverést és

toxikológiailag ellenőrizni kell az eredményt (Mesterházy, 2002). Sinha (1998) leírja, hogy a gomba toxinnal szennyezett gabonáknál számos detoxikálási eljárás van, amellyel csökkenthetők bizonyos esetekben a gabonák toxintartalma. A szennyezett gabonát állati takarmányozásra csak bizonyos feltételek mellett lehet felhasználni, de humán felhasználásra soha.

Mesterházy (2002) felveti a kérdést, hogy mi legyen azoknak a gabonatételeknek a sorsa, amelyek mikotoxin tartalmuk miatt nem felelnek meg a szabványértékeknek, és veszélyes hulladéknak minősülnek. Járványos évjáratokban ez akár több százezer tonna terméket is érinthet. A lehetséges megoldások közé tartozik az energetikai célú felhasználás (pl. biogáz vagy hőenergia termelése), ipari hasznosítás (pl. bioetanol-gyártás), illetve a szakszerű megsemmisítés. A megfelelő döntéshez elengedhetetlen a pontos tételazonosítás és a hatékony nyomon követési rendszer működtetése.

Az élelmiszerekre vonatkozó, jogszabályban megadott határértékek betartása kötelező, a határértéket meghaladó szennyezettségű tétel nem hozható forgalomba. Tekintettel arra, hogy ezeket a határértékeket az Unió rendelettel szabályozza, a rendelet hazánkban is közvetlenül, kötelezően érvényes (URL_{11}).

2.8.4. A gabona raktározása és anyagmozgatás gépei

Leggyakrabban azért történik a tárolás, mert a termék fogyasztási helye más, mint az előállítás helye, a termék szezonális, de a fogyasztás egész évben zajlik, és a további feldolgozást többek között más helyen végzik (Jayas, 2012).

Gridek (2019) leírásában a gabonaraktárnál nagyon fontos, hogy tiszta, beázásmentes és ép szerkezetű legyen. Éppen ezért az épületet először tüzetesen át kell vizsgálni, az esetleges hibákat pedig kijavítani. Ha ez elmarad, később komoly problémákat okozhat a raktárba bekerülő eső, hó. A beszivárgó nedvesség, a becsöpögő eső ugyanis bemelegíti az árut, ami tönkreteszi annak beltartalmát, és kiváló terepet biztosít a rovarkártevők szaporodásának. Ha a szükséges karbantartások megvoltak, következik a takarítás és a fertőtlenítés. Ilyenkor oda kell figyelni a kisebb repedésekre is, hiszen ezekben a résekben húzódnak meg a gombák, rovarok. A száraz, tiszta helyre történő betárolás az alapja mindennek.

A gabona bevételezése után megkezdődhet maga a tárolási folyamat, melynél Shepherd (1993) leírja, hogy a gabonaféléket a felhasználásig, általában több hónapon át kell tárolni mennyiség- és minőség-csökkenés nélkül, ezáltal a tárolási körülmények és azok ellenőrzései döntőek. Tovább taglalja, hogy míg a gazdálkodók és kereskedők a későbbi, magasabb piaci ár reményében, addig a feldolgozók folyamatos működésük biztosítása érdekében tárolják a gabonákat. Ugyanez vonatkozik arra is, amíg az importőrök az egyszerre behozott nagyobb mennyiséget az értékesítésig kénytelenek tárolni, addig a kormányok az élelmiszer-ellátás biztonsága, vagy a piaci folyamatokba való beavatkozás miatt tárolhatnak terményeket.

A raktár mozgatási funkciójának tevékenységei, részfolyamatai közül a hatékonyság és a gazdaságosság biztosítása szempontjából kiemelkedik a komissiózás (Gelei, 2007). A komissiózás az áruk konkrét megrendelések szerinti kigyűjtését és összeválogatását megvalósító folyamat (Prezenszki, 2002).

Az anyagmozgatás munkafázisai jelentős időt, energiát, illetve költséget kötnek le, ezért napjaink gépesítettségének fejlődése fellendült. A teleszkópos homlokrakodók mezőgazdasági alkalmazási területe széleskörűnek mondható, ugyan az alapgépek kialakítása azonos elven történik, a különféle csatlakoztatható adapterek számában és sokrétű funkciójában térhet el egymástól. A teleszkópos gémszerkezet előnye abban rejlik, hogy míg korábban a nagy magasságokba (~6,0–12,0 m) történő rakodást két vagy több lépcsőben lehetett megoldani, addig ezek a gépek a kitolható, teleszkópos kialakítású gémszerkezettel egy menetben végzik az anyagok rakodását. Ezen gépekkel a nagy magasságokba is egyszerűen, gyorsan elhelyezhetők a rakományok akár nagy tömegben is (~2,5–6,0 t) (Kassai, 2014). Szemes termények horizontál tárolóból történő kitárolás és szállítóeszközre történő rakodás esetén is a nagy raktérfogatú rakodókanalat kell használni. A teleszkópos rakodógépek emelési magassága és gémkinyúlása, és a munkaeszköz billentési szöge biztosítja a szóródásmentes rakodást (Kelemen, 2012). Gyakorlati hasznuk, mind betárolásnál, mind kitárolásnál megkérdőjelezhetetlen. A kitárolás pontos tervezést és odafigyelést igényel, melynek gyorsasága és eredményessége nagyban függ az emberi tényezőtől.

Hajdú (2017) a teleszkópos rakodógépekkel kapcsolatosan megjegyzi, hogy a mezőgazdaságban szinte valamennyi anyagmozgatási technológiában bevethetők, a szántóföldön (bálarakodás), a szérűkben és tárolókban, tárházakban (ömlesztett termények, egységrakományok, big-bag konténerek stb. rakodásában), ill. az állattartó telepeken a silótérben, az istállókban, vagy a trágyatárolók környékén egyaránt bevethetők.

2.8.5. Raktártípusok

A korszerű raktárak, elosztó/szolgáltató központok létesítése ma számos tényezőtől függ, nevezetesen: a várható forgalomtól, a nemzetközi érdekeltségtől, a kiszolgálás gyorsaságától, a beruházások megtérülési idejétől és így tovább (Lakatos, 2018).

A gabonatároló rendszerek elégtelensége jelentős betakarítás utáni veszteségekhez vezethet, ami kihat az ágazat általános termelékenységére és gazdasági életképességére (Nadimi et al., 2023).

Raktárakkal szembeni követelményeket Dankó (2009) négy pontba foglalta össze, melyek (Dankó 2009):

- védjék meg a tárolt áru mennyiségét és minőségét;
- korszerű árumozgatást és tárolást tegyenek lehetővé;
- megfelelő munkakörülményeket biztosítson;
- jól megközelíthetőek legyenek (pl.: nagy szállítójárművekkel).

A raktározás technikai elemei Pánczél (2006, 2013) szerint biztosítják a raktározással szemben támasztott technikai, technológiai, valamint a szabályozási feladatok egy részének maradéktalan kielégítését. A technikai elemek közé sorolhatók:

- a létesítmények (épület, bunker, rakodó stb.);
- a tárolóeszközök és berendezések (állványok stb.);
- az anyagmozgató gépek és eszközök;
- az ügyviteli és nyilvántartó eszközök;
- az ellenőrző eszközök (mérleg, ellenőrző műszerek stb.);
- a kiegészítő berendezések (légkondicionáló, hűtő, szárító, töltő stb. eszközök és gépek).

Pánczél (2006, 2013) továbbá hozzáfűzi, hogy a gabonaraktározó telepek létesítésénél figyelembe kell venni:

- Olyan raktárak kialakítását, melyeknél a be, illetve kitárolás gépesítése technikailag megoldott. A raktárak minden esetben átszellőztethetőek legyenek.
- A telep minden egyes raktára és az annak a kiszolgáló épülete gépjárművel megközelíthető legyen.

A tárolótér kialakításának kérdése Gelei (2007) szerint magába foglalja a raktár elrendezésének kialakítását (layout), a megfelelő raktár technológia (legyen szó akár tárolási, akár anyagmozgatási rendszerek technológiájáról) kiválasztását, de a kialakított tárolótérben az áruelhelyezési szabályok meghatározását is.

A raktárak elrendezésének (layout) alapvetően követnie és támogatnia szükséges a raktárban zajló folyamatokat. Ezért egy tipikus raktárban külön területet szükséges kijelölni az áruátvétel, a tárolás, a komissiózás, a kiszállítási egység kialakítása és a kiszállítást megelőző tárolás számára (Gelei, 2007).

A gabonák raktározása történhet horizontális tárolóban, illetve toronysilóban. (Rieger, 2007) adatai szerint 2007-ig közel 4 millió tonna raktárkapacitás épült, amelynek 70%-a csarnoktároló, 30%-a pedig vasbeton siló. Mindkét raktározási technológiánál az áru minőség megőrzése a cél.

A horizontális tárolók vagy magtárak kisebb fajlagos beruházási igénnyel építhetők, de üzemeltetésük költségesebb, mint a silóké. A gabona tárolása a silók megjelenése előtt kizárólag magtárakban történt (Bokori et al., 2003).

Bellus és Komka (2017) megfigyeléseik szerint mivel a tárolók alapterülete adott, a tárolási magasság nem csak a nedvességtartalom függvénye, nagyságára befolyással van még a gabona fajtája, hőmérséklete, térfogattömege, rézsűszöge, tisztasága és a tetőszerkezet teherbírása is. A csarnoktárolók, mint egyszintes épületek fesztávolsága és belmagassága az alkalmazott technológia függvénye. Befogadóképességük a hasznos alapterület és teherbíró oldalfalmagasság, valamint a konstrukciós kialakítás (ömlesztett vagy cellás tárolás, átforgatáshoz és kezeléshez szükséges 15-20% alapterület többlet stb.) alapján határozható meg.

Eőry és Köves (2017) összefoglalta az ömlesztett anyagok főbb jellemzőit anyagmozgatási, raktározási szempontból, melyek:

- szemnagyság, szemcsealak, szemösszetétel;
- fajlagos tömeg;
- belső súrlódás, kohézió, természetes rézsűszög (az ömleszthetőséget, rézsűképző tulajdonságot meghatározó jellemzők);
- időjárási hatásokra való érzékenység;
- nedvességtartalom;
- egyéb sajátosságok (pl.: súrlódási tényező különböző felületeken, gyúlékonyság, robbanékonyság, porképző hajlam).

Az ömlesztett anyagok jelentős része zárttéri tárolást kíván. A zárt csarnokraktárakban és a szabadtéri tárolókon az ömlesztett anyagok támfalas megtámasztással (esetenként az épület fala képezi a támaszfalat), vagy garmadákban tárolhatók (Pánczél, 2006).

Pánczél és Nagy (2013) leírja, hogy a garmadák alakja és mérete a tárolt áruk jellemzőitől és az anyagmozgatás rendszertől függően

különböző lehet. A garmadák alaptípusai között három típust különböztet meg melyek:

- csonka kúp;
- prizma alak;
- M alak.

A korszerű létesítmények mobil vagy stabil anyagmozgatással, igény szerint szellőztetéssel, valamint a termények fizikai és a környezeti levegő állapotjellemzőinek mérési lehetőségével is rendelkeznek. A szellőztető csatornarendszer biztosítja a levegő egyenletes elosztását, mely a tárolók fenéklapján, vagy abba beépítve kerülhet elhelyezésre. Vízszintes tárolóknál a kisebb halom magasság miatt a csatornarendszer térben nagyobb kiterjedésű és emiatt fajlagosan drágább, de ezeknél a tárolóknál a tároló egy részének szakaszolásával – nagyobb légcsereszám biztosításával – lehetőség van a szellőztetéses-szárításra is (Komka, 2001).

Bellus és Komka (2017) leírják, hogy a gabonák mobil be- és kitárolása tehergépkocsikkal, traktoros és tehergépkocsis szerelvényekkel vagy kamionokkal, mobil fogadógaratokkal, univerzális rakodógépekkel, felszedő-rakodókkal, mobil garatos és esetenként állítható ledobófejes szállítószalagokkal és szalagrendszerekkel, valamint csöves szállítócsigákkal oldható meg. A kaparókaros, a vederkerekes, a kaparószalagos vagy szállítócsigás rakodógépek rendszerint egy kitároló szállítószalagra továbbítják a felvett anyagot (Pánczél, 2006).

A horizontális tárolóban történő tárolásnál alapvető fontosságú a gabona megfelelő magasságban és egyenletesen legyen betárolva. Kelemen (2012) leírja, hogy a teleszkópos rakodógépek 7-10 méter gémkinyúlása és emelési magassága révén biztosítja a horizontális tárolókban a 4-5 méteres rakatmagasság megvalósítását. Ezzel szemben a

gyakorlat azt mutatja, hogy a 3 métert meghaladó raktározási magasság esetén már bemelegedhet az áru. Hosszan tartó raktározásra nem megfelelő.

A horizontális tárolók mellett elterjedtek a toronysilók. Dulácska és Bódi (2018) leírják, hogy a silók általában 5-10 méter átmérőjű, 10-40 méter magas, csőszerű létesítmények, melyeket különböző porszerű, vagy szemcsés anyagok tárolására szoktak használni. A leggyakoribb a különböző szemes termények, gabonák tárolására szolgáló siló.

A silók általában fémből vagy vasbetonból készülnek. Toronysilóban történő tárolásnál elsődleges szempont a tárolt magvak megóvása érdekében a szellőztetés, illetve a gabona háromhavonta történő átforgatása, illetve kártevőktől való mentesítése. Lakatos (2013) javasolja a megfelelő hőmérséklet szinten tartása végett hőmérők elhelyezését. Schmidt (1996) leírja, hogy a torony közepén húzódó légcsatorna segítségével, vagy ezek híján, a termény másik silóba való átürítésével lehet a termény szellőztetéséről gondoskodni. Lakatos (2013) szerint a szellőztetés, átforgatás művelete azért fontos, mert a búza utóérése során felszabadult hő és nedvesség elvezetése így lehetséges. A szellőztetés miatt a toronysilók aljába szintén korrózióvédelemmel ellátott rácspadozatot helyeznek el. A padozat sík felülete a kitároló bolygócsiga zavartalan működését is biztosítja. Az anyag kitárolása elektromos meghajtású bolygócsigákkal történik. A bolygócsigák az anyagot a padozat alá épített kitároló csigára juttatják (Kelemen, 2021). A silótornyok esetében a viszonylag kis alapterület és nagy halom magasság miatt a csatornarendszer beruházása olcsó, és az átszellőztetés a viszonylagos egyenletes rétegvastagságnak köszönhetően egyenletesnek

tekinthető, a gravitációs kitárolást a csatornarendszer nem akadályozza (Komka, 2001).

Szendrő (2000) szerint azokat a tárolótelepeket, amelyek magtisztító gépekkel, szárítóberendezésekkel és tárolólétesítményekkel is rendelkeznek, úgy kell megtervezni, hogy a lehetőségek közül azt a megoldást válasszák, amely leginkább megfelel az adott üzem sajátos adottságainak és működési igényeinek.

2.8.6. Szemestermények átszellőztetése

Szőcs (2007) szerint a betárolt gabona, – bármely tárolási módot is alkalmazzuk – két fő veszélyforrásnak van kitéve. Az egyik a gabonában megmaradt, technológiai előírások be nem tartásából származó túlzottan magas nedvességtartalom miatt meginduló erjedési, gombásodási, befülledési jelenség. Ezek az élettani folyamatok hőtermelők, és öngerjesztők. A másik melegedési folyamatot megindító hatás a gabonában található rovarok, lepkék, lárvák élettevékenységének következménye. A gabonaszemek köztes terében található levegő lehetővé teszi ezek szaporodását, amelynek a tűzvédelmi szempontokon kívül a terményben okozott veszteség a káros hatása.

Fontos, hogy olyan raktárakban történjen a raktározás, amelyek jól átszellőztethetőek. Ezzel kapcsolatosan Bokori (2003) leírja, hogy raktározás során egy minimális mértékű légzés ugyanis a szárítást követően egy ideig még a légszáraz magvakban is folyik. Az ennek során termelődő hő felmelegítheti a tárolt gabonát, a keletkező víz pedig nedvessé teheti a magvak felszínét. Mindez együtt a mikrobás tevékenység beindulásával járhat. Ezért a raktár szellőztetése létfontosságú.

Mivel a gabona élő anyag, ezért megfelelő időközönként legalább kéthavonta forgatni kell a terményt. A forgatási folyamat egyik fontos része az átszellőztetés, aminek hatására a betárolt gabona megszabadulhat az aratáskori sok esetben 40 °C-os maghőmérséklettől, illetve nedvességtől. Ez a raktározás során a magnyugalmi állapot fenntartását biztosítja. (Misusztyin et al., 1963) is megállapította, hogy magnyugalmi szempontból a légzést szabályozó alapvető tényezők: a nedvesség, a hőmérséklet, a szellőzés (oxigén tenzió) és a mag állapota, amelyek közül a nedvesség mértéke a legfontosabb.

Tomay (1971) a raktárak levegőztetésére hívja fel a figyelmet, miszerint a búza tárolása során különösen új gabonánál és nagyobb nedvességű, vagy magasabb hőmérsékletű gabonánál rendkívül nagy jelentősége van az intenzív szellőztetésnek. Ezen kívül megemlíti, hogy a szellőztetésen kívül gondoskodni kell a rovarfertőzöttség, valamint a rágcsálók elleni folyamatos védelemről is.

Radics (2010) a tavaszi árpánál leírja, hogy feltétlenül szellőztetni kell, ha a külső hőmérséklet 5 °C-al alacsonyabb, mint a tárolt árpáé vagy, ha a relatív páratartalom 75% feletti.

Komka (2005) szerint a termények átszellőztetése történhet az adott célnak megfelelően:

- környezeti levegővel;
- előmelegített levegővel;
- hűtött levegővel végezhető el.

Terménytárolás során a szellőztetés hatékonyságát és időtartamát több, egymással összefüggő fizikai tényező határozza meg. Az átszellőztetés időigényét elsősorban a hűtött zóna halomban való haladási sebessége, valamint a terményhalom magassága befolyásolja. A hűtött

zóna előrehaladása – amely alatt a levegő által lehűtött és stabilizált réteget értjük – jellemzően a befújt levegő sebességének ezredrésze, azaz rendkívül lassú. Például egy 5 méter magas terményhalom (mintegy 500 m^3 térfogat) esetében, ha a befúvott levegő térfogatárama 15 m^3/h, a levegő áramlási sebessége pedig 0,02 m/s, a hűtött zóna előrehaladási sebessége körülbelül 0,072 m/h, ami alapján az átszellőztetés folyamata körülbelül 70 órát vesz igénybe. Ugyanezen eredményre jutunk, ha légcsereszám alapján számolunk: azaz a ventilátor légszállítását elosztjuk a halom térfogatával, majd az 1.000 értéket elosztjuk ezzel a légcsereszámmal – ez szintén mintegy 70 órás ciklusidőt ad eredményül. A szellőztetés gyakoriságát elsődlegesen a termény kezdeti hőmérséklete és nedvességtartalma határozza meg. Átlagos feltételek mellett – például 14,0%-os nedvességtartalom és 25 °C hőmérséklet esetén – az átszellőztetést 35–40 naponta célszerű megismételni. Amennyiben azonban a tárolt termény hőmérséklete hirtelen, napi 2–3 °C-kal emelkedik, azonnali szellőztetési beavatkozás szükséges a terméminőség és biztonság megőrzése érdekében (Komka, 2001).

Komka (2005) hangsúlyozza, hogy az állagmegóvó célú szellőztetés technológiailag és gazdaságilag is kedvezőbb alternatívát jelenthet az átforgatásos eljárással szemben. Az átforgatás energiaigénye jelentősen magasabb, emellett növeli a porlási veszteséget, valamint a törtszemek arányát, ezáltal rontva a tárolt termény minőségét. További hátrányt jelent, hogy a tárolókapacitás kihasználtsága csökken, mivel a termény átmozgatásához a tárolótér egy részét üresen kell hagyni.

Az egyszeri átszellőztetés időtartama szoros összefüggésben áll a befújt levegő sebességével és a terményhalom magasságával. Gyakorlati tapasztalatok alapján, ha a levegő sebessége 0,05–0,1 m/s, akkor 3 méter

magas terményhalom esetén az átszellőztetés időtartama 20 és 120 óra között változhat – ez nagymértékben függ a halom belső szerkezetének homogenitásától és a környezeti feltételektől. 10 méteres halommagasság esetén – ugyanebben a légsebességi tartományban – az átszellőztetés időigénye 35–70 óra, mivel a hűtött zóna előrehaladása a megnövekedett rétegvastagság miatt lassabbá válik. A szellőztetés optimális időpontját három fő paraméter határozza meg: a külső levegő hőmérséklete, annak relatív páratartalma, valamint a tárolt termény aktuális hőmérséklete. A levegő és a termény közötti hőmérsékletkülönbség következtében a befújt levegő relatív páratartalma megváltozik a halom belsejében, ami közvetlenül befolyásolja a vízleadási folyamat hatékonyságát. E három tényező együttesen határozza meg a szellőztetésre alkalmas légállapotot, különös tekintettel a befújt levegő megengedhető maximális relatív páratartalmára.

A gabonatárolás során a szellőztetés akkor tekinthető hatékonynak és biztonságosnak, ha a szellőztetésre használt levegő relatív páratartalma nem haladja meg a megengedett határértékeket, és egyben hőmérséklete legalább 4–5 °C-kal alacsonyabb, mint a tárolt gabona (pl. búza vagy rozs) aktuális hőmérséklete. E hőmérséklet-különbség biztosítása elengedhetetlen a nedvességkivonás megindításához, valamint a mikrobiológiai aktivitás és a minőségromlás megelőzése érdekében.

Tehát a szellőztetés a gabona mag légzés szempontjából elsődlegesen fontos. Raktározás szempontból Vašák (2008), illetve Gridek (2019) is leírják, hogy magának a levegőnek a légcseréje a fontos tényező. A tél beköszöntével a raktározásra kifejezetten oda kell figyelni, amikor több pára képződik a tételekben, amely később lecsapódva a termény nedvesedéséhez és tömörödéséhez vezet, aminek elengedhetetlen

következménye a szemek beltartalmi romlása. Ha az áru állagromlása, egyszer elindul, beavatkozás nélkül már nem visszafordítható. A veszteségek minimalizálása a cél, melynek eszközei az árukezelés, árumozgatás, áttárolás.

Egy 14,5%-os szárazanyag-tartalmú gabona szárazanyag-vesztesége 23–25 °C-os tárolási hőmérséklet mellett, 5 hónap alatt, pl.: 2000 tonna tárolt mennyiség esetében meghaladhatja a 8-12 tonnát. (Muchová és Okrajová, 2005) megfogalmazásában a betakarítás utáni tárolásnál figyelembe kell venni azt a tényt, hogy a gabona bonyolult metabolikus légzési jellege és lefolyása miatt a szárazanyagnál veszteség fog fellépni.

(Tomay, 1984) levezette, hogy raktározott gabonánál az általános gabonaraktározási feltételek mellet, gondos szellőztetési technológiával a következő veszteségekre kell számítani:

- fertőzés során fellépő értékcsökkenés 0,33%
- gabona száradása során fellépő veszteség 0,48%
- szellőztetés kifolyólag tömegveszteség 0,50%
- veszteségek összesen: 1,31%

Ilyen nagyságrendű veszteséget okoz az is, ha a hőmérséklet emelkedése miatt áttárolásra van szükség, amely egyidejűleg a szemtöréssel minőségromlást is okoz.

Tomay (1970) kutatásai alapján leírja, hogy a gabonafélék hosszú idejű tárolását optimálisan 18 °C hőmérsékleten és 14-15% nedvességtartalom mellett célszerű végrehajtani. Ilyen feltételek mellett a keletkező szén-dioxid fajlagos mennyisége 1,4 mg (CO_2/kg gabonatömeg/óra) lesz.

A gabonaszemek légzésével kapcsolatban Bellus és Komka (2017) rámutatnak arra, hogy a tárolás során a szemek légzése mind aerob, mind

anaerob körülmények között végbe mehet, attól függően, hogy a terménytérben rendelkezésre áll-e elegendő oxigén. Aerob légzés esetén a glükóz teljes oxidációja történik meg, amelynek során 6 mol oxigén felhasználásával 6 mol szén-dioxid és 6 mol víz keletkezik, miközben a rendszer 2822 kJ/mol energiát szabadít fel hő formájában:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + (2822\,kJ)$$

A reakció során az oxigénfogyasztás és a szén-dioxid-termelés aránya 1:1, így a légzési hányados (RQ = respiratory quotient) értéke 1,0. Ez az egyensúly az optimális, oxigéndús tárolási körülmények között valósul meg, és a gabona minőségének hosszú távú megőrzését szolgálja.

Ha azonban a tárolási környezetben oxigénhiány lép fel – például tömörödött halmazban, nem megfelelő szellőzés esetén –, a sejtlégzés részben vagy teljesen anaerob módon zajlik le. Ilyenkor a glükóz alkoholos fermentación megy keresztül, melynek során 2 mol etanol és 2 mol szén-dioxid keletkezik, a reakció hőmérlege viszont lényegesen kisebb:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CO_2 + 2C_2H_5OH + (117\,kJ)$$

A –117 kJ/mol érték itt az alkoholos fermentáció bruttó reakcióentalpiája, azaz az az energiamennyiség, amely egy mol glükóz lebontása során szabadul fel anaerob úton. Ez az érték –117 kJ/mol és –122 kJ/mol között mozog, attól függően, hogy a reakció során milyen oldat- és környezeti feltételekkel számolunk. Az aerob légzéssel összevetve jól látszik, hogy az anaerob útvonal energiahasznosítása töredéke a teljes oxidációénak.

Az anaerob légzés során a szén-dioxid termelése kevesebb, mint az aerob esetben, ugyanakkor az oxigénfogyasztás hiányzik vagy minimális, így a légzési hányados (RQ) meghaladja az 1-et, nem pedig alacsonyabb annál, ahogyan a forrás tévesen állítja – ezt érdemes pontosítani: anaerob

folyamat esetén a légzési hányados nem értelmezhető a klasszikus formában, mivel nincs oxigénfogyasztás, tehát az RQ elméletileg ∞.

Tartós oxigénhiány esetén a tárolt terménytömegben bedohosodás lép fel, amely egyrészt a mikrobák anaerob metabolizmusának, másrészt a keletkező illékony vegyületek (pl. etanol, szerves savak) kondenzációjának következménye. A dohos szag, valamint a szöveti károsodások már visszafordíthatatlan minőségromlást okozhatnak, különösen vetőmag esetén. A kialakult anaerob góc megszüntetése célzott szellőztetéssel történhet, amely lehet a tárolócsatorna adott szakaszának aktiválása, vagy mobil szellőztetőcsövek helyi alkalmazása, a gázcsere felgyorsítása és az oxigéndús levegő bejuttatása érdekében.

2.8.7. Gabonák beltartalmi értékeinek megóvása

(Qiang et al., 2024) leírják, hogy a gabonák minősége és tárolási stabilitása kulcsfontosságú a globális élelmezésbiztonság szempontjából. Ezek a tulajdonságok azonban romolhatnak a belső légzési folyamatok és külső tényezők miatt, ami olyan hátrányokhoz vezethet, mint a színváltozás, a lipidromlás, a keményítő öregedése és a fehérjék denaturálódása.

A gabonafélék szezonális betakarítása, időszakos tárolása és folyamatos értékesítése konfliktust eredményez a betakarítás szezonális jellege, valamint a folyamatos fogyasztási és feldolgozási igények között. A tárolási stabilitás biztosításához olyan racionális és hatékony tárolási eljárások és eszközök kialakítása szükséges, amelyek megfelelnek ezeknek a kihívásoknak (Tong et al., 2019). Ugyanakkor a gabonák tárolási minőségét számos tényező befolyásolja, például a hőmérséklet, a páratartalom és a tárolási idő hossza, amelyek az idő előrehaladtával jelentős fizikai és kémiai változásokat okozhatnak. Például a

gabonaszemek elsötétedhetnek vagy besárgulhatnak, valamint kellemetlen szagokat bocsáthatnak ki a zsírsavak oxidációja és savasodása miatt. Emellett a nem megfelelő tárolási körülmények lényegesen befolyásolhatják a feldolgozási tulajdonságokat, például csökkenhet a viszkozitás, nőhet a keménység, és megváltozhat a zselatinizációs hőmérséklet (Hu et al., 2022).

A terményvédelem súlypontosan a prevencióra, a megelőzésre épül, ami a gyakorlatban azt jelenti, hogy a terménynek jó tárolási feltételeket biztosítva megszüntetünk, minden kedvező körülményt a károsítók számára, a hosszabb ideig tárolni kívánt búzát, kukoricát, napraforgót stb., pedig a betárolással egy időben megelőző védelemben részesítjük (Cziklin, 2014).

Surovčík et al. (2001) szerint a raktározás során megfelelő hőmérséklet és páratartalom kialakításával a károsító rovarok életfolyamatai és a károkozás foka lefékezhető. Hozzáfűzi továbbá, hogy a raktározott gabona kedvező állapotának a megőrzése érdekében a következő méréseket kell elvégezni:

- Hőmérséklet: a betakarítást követően az első három hónapban a száraz gabonát kétnaponta, nedves gabona esetében naponta kell mérni a hőmérsékletváltozásokat. A téli időszakban két hetente egyszer kell ellenőrizni a hőmérsékleteket, míg tavasszal elég hetente csak egyszer. Rendellenes hőmérséklet emelkedés esetén naponta egyszer kell mérést végezni.
- Páratartalom: havonta egyszer ellenőrizni.
- Kártevők monitorozása: a hőmérséklettől függően, a 10 °C hőfok felett esetén hetente egyszer, az 5-10 °C értéknél 14 naponta egyszer, míg az 5 °C alatt havonta egyszer vizsgáljuk a gabonát.

- Egészségi állapot: a gabona érzékszervi vizsgálata is fontos. Havonta egyszer figyelni kell a búzaszem fényességét, színét, illatát (szagát). A csírázási erélyt pedig havonta kétszer kell elvégezni.

Mosonyi (1989) a raktározás során a szemes terményekben lejátszódó folyamatok közül a hőmérsékletnek, a levegőforgalomnak, illetve a termény és a körülötte lévő környezet nedvességtartalmának tulajdonít szerepet.

Radics (2010) kifejti, hogy gabonák tárolási ideje alatt ügyelni kell az esetleges befülledés elkerülésére, illetve a raktári kártevők (zsizsik, moly stb.) elleni gondos védekezésre.

A gabonát olyan körülmények között kell tárolni, amelyek megőrzik vagy akár javítják a gabona minőségét, mint az aratáskor. A minőség biztosítása érdekében ellenőrizni kell a rovarokat és a nedvességet. Különböző gabonafélék különleges feltételeket igényelhetnek, amelyek fenntartják a következő szakaszban felhasználó számára szükséges minőséget, különösen az árpa, a rizs és a búza esetében. A szállítás során lehetővé kell tenni a szállítmányok nyomon követését, hogy a többi, potenciálisan összeférhetetlen minőségű tételtől elkülöníthető legyen (Ian Batey, 2017).

(Navnath et al., 2023) kutatásukban azt vizsgálták, hogyan változik a durum búza minősége, ha öt hétig nedves körülmények között tárolják. Három különböző búzafajtát (AAC Spitfire, CDC Defy és AAC Stronghold) elemeztek szinkrotronos röntgenképalkotási és spektroszkópiai technikákkal, hogy feltárják a tárolás során bekövetkező biokémiai és táplálkozási változásokat. Az eredmények szerint az AAC Stronghold fajta jobban ellenállt a károsodásnak, míg az AAC Spitfire és

CDC Defy fajták táplálkozási értéke és összetétele jelentősebb romlást mutatott.

(Nithya et al., 2011) a kutatásaik célja a durum búza tárolási körülményeinek optimalizálása volt, mivel ez a búzafajta érzékenyebb a romlásra, mint más gabonafajták. A vizsgálatok során különböző nedvességtartalmú (15–20%) és hőmérsékletű (10–40 °C) tárolási körülményeket teszteltek 12 hét alatt. A romlási paraméterek, mint a csírázóképesség, penészképződés, szabad zsírsav értékek és ochratoxin-termelés, szoros összefüggést mutattak a nedvességtartalommal, a tárolási idővel és a hőmérséklettel. Látható penész jelent meg minden magas nedvességtartalmú (17, 18, 19 és 20%) mintában, amelyeket magas hőmérsékleten tároltak. A minták szabad zsírsav értékei a nedvességtartalom és a tárolási idő növekedésével párhuzamosan emelkedtek.

A szemes termények minőségi és mennyiségi megőrzésének legfontosabb eleme a megelőző kezelés. A művelettel a kártevők egyrészt kizárhatók a létesítményekből, vagy olyan viszonyok állíthatók elő, melyekkel kifejlődésük és szaporodásuk akadályozható meg. A megelőzés eredménytelensége esetén a megtelepedett kártevők további elszaporodása és tevékenysége kárelhárítási műveletekkel szorítható vissza, vagy küszöbölhető ki (Bellus és Komka, 2017).

Sipos és Zsombik (2006) szerint a raktári kártevők elleni védekezésre megoldás lehet a sűrű szövésű, szellőző anyaggal történő takarás, vagy leggyakrabban a tárolótér és a termény gázosítása. A gabonakárosító raktári kártevők ellen a csapdázás egy lehetőség, de a fertőzést nem szünteti meg. A csapdák lehelyezése általában a raktárépületen kívül történik, melyben rágcsálóirtó anyag van elhelyezve. Abban az esetben, ha

a csapda a raktáron belül kerül elhelyezésre, akkor a raktározott gabona fertőződését megakadályozva a csapda belsejébe csak ragasztó szalagos csapdát alkalmazhatunk.

A károsítók elleni védekezés további eleme a betárolással egyidejű szerves savas konzerválás, mely hasonló hatást fejt ki, mint a fent említett módszerek (Bellus és Komka, 2017). Karnóth (2014) kifejti, hogy a biztonságos tárolás lehetséges módszere takarmányozási célú termények esetében a szerves savakkal történő tartósítás. Komka (2001) a szerves savas terménytartósításnál, az elsődleges célként a különböző gombaflóra élettevékenységének megakadályozását, azaz a penészgátlást jelölte meg. A termény beltartalmi értéke nem romlik és elkerülhető a káros mikotoxinok keletkezése. A szerző kiemeli, hogy a szántóföldről származó, már kialakult mikotoxin-szennyeződéseket e technológiai eljárással ugyan nem lehet eltávolítani, azonban a penészképződés megelőzésével a további mikotoxintermelés hatékonyan megakadályozható. A szerves savas takarmány-tartósítási technológia lényege abban áll, hogy a szemes termények betakarításkori nedvességtartalmuk mellett – aminek csak a további felhasználás szab határt – általában 14-20% nedvességtartalom mellett a tárolóba juttatásuk előtt folyékony tartósítószerrel kezelik. A folyékony tartósítószerek kifejezetten antimikrobiális hatásúak, ezért alkalmasak hosszabb idejű tartósításra. A tartósított gabonát nem kell a tárolás alatt mozgatni vagy szellőztetni, ezért egyszerű tárolóknál, hosszú idejű tárolás esetén is sikeresen alkalmazható a technológia.

Szemes termányeinek hosszú idejű és kockázatmentes tárolásához biztosítani kell a betakarítás, az elő- és utótisztítás, valamint a szárítás és a szükség szerinti kezelés műszaki és technológiai feltételeit. A szemes

termények lélegzésekor lejátszódó biokémiai folyamatok hatására a tárolt halmazok hőmérséklete és nedvességtartalma az adott körülményektől, így többek között a termények tisztaságától, a szárítás mértékétől és homogenitásától, a törtszem-tartalomtól, valamint a károsítók megjelenésétől függően különböző mértékben megnő. Hatásukra a tárolt halmazokban káros folyamatok indulhatnak be, ezzel és az elmaradó termény- és tároló fertőtlenítés hatására visszafordíthatatlan károk keletkezhetnek (Bellus és Komka, 2017).

Tároláskor különböző folyamatok játszódnak le a terményben, ezek szempontjából fontos szerepe van a tisztaságnak (Győri, 1999).

A learatott gabona tartalmaz idegen anyagokat is, amelyek a termény tisztaságát csökkentik, a kártevők pedig nedvességtartalmuk mellett anyagcseréjükkel bemelegedést okozhatnak, amely kedvez a mikrobiális fertőzéseknek. Ezért betárolás előtt halmaztisztítás javasolt kiválasztásukra, valamely tulajdonságuk halmaztól való eltérése alapján (Véha és Markovics, 2013; Tomay, 1987).

A tisztítás előrostálásból, toklászolásból, szelelőrostálásból áll. A tisztított gabona serleges felvonókkal jut az ellenőrzőmérlegekre, ahonnan elosztók segítségével a szárítóvonal előtartályaiba, illetve közvetlenül vagy elosztó rédlereken keresztül a tárolótartályokba kerül (Forgács, 2006).

A betakarított termények halmaztisztításának leggyakrabban alkalmazott berendezései közé tartoznak a különféle rosták (rög-, szem- és porrosta), a szelelőrosták (tarár), valamint a mágneses szeparátorok, kő- és rögleválasztók, triőrök és az entoléterek. E gépek célja a szennyezőanyagok, idegen anyagok és nem kívánatos frakciók eltávolítása

a további feldolgozás vagy tárolás minőségi biztonságának érdekében (Véha és Markovics, 2013; Tomay, 1987).

Német (2014) leírja, hogy aratáskor az ún. egyensúlyi nedvességtartalom a különböző termények esetében általában 13–14% körül van. A kalászos gabonák szárítása a nyári időszakban tapasztalható magas (30 °C) hőmérséklet miatt nem szükséges. Nedves csapadékos nyarakon viszont szükség van a gabonaszárítókra. A gabonák szárítását akkor végezzük mikor a termény nedvességtartalma 14% fölötti. A szárítás célja a szemben zajló enzimműködés lassítása, illetve a tárolás biztonságának fokozása.

Tomay (1987) a szárítás követelményének: az egyenletes nedvességtartalom elérését, a hőmérsékleti maximum betartását, a nagy és gyors hőmérséklet-változások kerülését tartotta.

A gabonaszárításnál nem mindegy milyen a szárító levegő hőmérséklete. Pepó és Sárvári (2011) szerint a szárító levegő hőmérséklete a felhasználástól függően változik:

- étkezési és takarmánybúza (max. 70 °C);
- vetőmag búza (max. 45-50 °C).

Radics (2010) leírja, hogy tavaszi árpa (sörárpa) esetében a szárító levegő hőmérséklete nem haladhatja meg a 40 °C-t, mert az a csírázóképesség elvesztésével jár.

Ezeket a hőmérsékleti értékeket a gabona szárítása alatt nem szabad túllépni. Bocz (1996) leírta, hogy a termény óránként csak 2-3% vízelvonást tűr el, ezért javasolt a kíméletes szárítása. Ginzburg (1979) a szárítóközeg paraméterei közül a levegő hőmérsékletét, illetve a levegő sebességét vette alapvető fontosságúnak. A levegő sebességének hatása a folyamat kezdetén nagyobb mértékben jelentkezik, ami az állandó

sebességű szárítási szakaszt jellemzi. Ha a levegő sebességét 0,1 m/s-ról 0,5 m/s-ra növelik, a szárítás időtartalma kb. 1,5 részére csökken.

A hőkezeléses szárítók közvetett vagy közvetlen fűtésűek lehetnek. A szárítás művelete előmelegítési, szárítási és hűtési szakaszokból áll. A szárítóvonal előtartályokból kombináltszárítógépből és utótartályból áll. A gabona hőkezelés nélküli szárítása, szellőztetése az aktív (mesterséges) légcserén alapul. Utántisztítási műveletre akkor kerül sor, ha különösen szennyezett vagy sérült a gabona. A tisztítóvonal szelelőrostálásból és triőrözésből áll. Az utántisztítás melléktermékeit (por, toklász, rög stb.) megsemmisítik, a töröttes apró szemeket a takarmánygyártásban hasznosítják (Forgács, 2006).

A gabonák raktározásánál (6. ábra) a tűzvédelemről is kell pár szót ejteni. Szőcs (2007) a raktározott szemes termények tűzvédelmének fontosságára hívja fel a figyelmet. Leírja, hogy a kémiai reakciók mechanizmusának vizsgálatából ismert, hogy a reakciósebesség a közeg hőmérsékletének 14 °C fokonkénti emelkedésével megduplázódik. Megállapította, hogy a nem megfelelően raktározott termény bemelegedése során fellép a reakciótér rossz hőcseréje, így a keletkező hő felhalmozódik, és lokális túlhevülést okoz. Az idő előrehaladtával a hőmérséklet eléri a gabona gyulladási hőmérsékletét, ami később az öngyulladás következtében a gabona megsemmisülését eredményezi.

Gabonaszárítók esetében a tűzvédelemre is fokozottan oda kell figyelni. Gyakran előfordul, hogy nyáron a gabonaszárítók csak időleges vannak használva, és általában időspórolás végett a szárító toronyban marad a leszárított áru. Ha áll a termény a toronyban, sőt az előrejelzések szerint még napokig nem is indulhat újra a betakarítás, le kell üríteni a

szárítót és felülről lefelé haladva át kell vizsgálni, és megszüntetni az esetleges boltozódásokat (URL_{12}).

6. ábra: Gabona síkraktár (saját felvétel)

2.9. Élelmiszer nyomon követés

A nyomon követés egyértelmű alapkövetelménnyé vált a szervezetek számára világszerte. Az ellátási lánc minőségének, hatékonyságának és átláthatóságának javítása mellett a nyomon követési adatok kötelezően elvégzendő megosztása és felhasználása lehetővé teszi olyan megoldások kifejlesztését, amelyek növelik az ellátási lánc biztonságát (Bart et.al, 2018).

A nyomonkövetéshez, illetve a nyomon követési rendszerek kiépítéséhez nélkülözhetetlen egy globálisan alkalmazható, egyedi azonosításra tökéletesen megfelelő, a felek által kölcsönösen ismert szabvány megléte. A nyomonkövetési rendszerek feladata a pontos és gyors termékazonosítás, a kérdéses termékek eredetének es jelenlegi tartózkodási helyének meghatározása. A rendszerek bevezetésével

lehetővé válik egy esetleges élelmiszerbiztonsági probléma kiindulási pontjának meghatározása, és az érintett termékek, tételek piacról történő visszahívása, illetve kivonása. Egy jól kialakított es működtetett élelmiszer-nyomonkövetési rendszerrel, az élelmiszeripari vállalkozók nagy lépést tehetnek a fogyasztók bizalmának elnyerésében (Dankó, 2009).

A nyomon követés lehetővé teszi az adott tárgyhoz (objektumhoz) tartozó releváns adatokhoz való hozzáférést, hogy az adatok elemezhetők legyenek, és döntéseket lehessen hozni. Az adatok hozzáférhetősége kulcsfontosságú a válaszadási sebesség és az elemzés pontosságának növeléséhez. A nyomonkövetési rendszereket nyomonkövetési adatok működtetik. A nyomonkövetési adatok az egyes szervezetek által végrehajtott különböző üzleti folyamatok végrehajtásával jönnek létre. Minden olyan esetben, amikor egy nyomon követéshez kapcsolódó folyamatot végrehajtanak bármely szervezetben, nyomonkövetési adatok keletkeznek. Ezek az adatok üzleti adatokat tartalmaznak az adatokat használó alkalmazások számára, és öt fontos dimenzióra kiterjedő információt tartalmaznak: Ki, mi, hol, mikor és miért (Bart et.al, 2018).

Ha a nyomonkövetési adatokat megosztjuk az ellátási lánc szereplőivel vagy külső érintettekkel, az adatáramlás és információmegosztás módjától függően az alábbi öt nyomonkövetési modell – más néven koreográfia – különböztethető meg:

- *Egy lépést fel, egy lépést le:* minden szereplő csak a közvetlen beszállítójától és vevőjétől kap és ad tovább információt.
- *Centralizált modell:* minden nyomonkövetési adat egy központi adatbázisban kerül rögzítésre és kezelésre.

- *Hálózati modell:* az információ megosztása több szereplő között valósul meg, egymással közvetlen kapcsolatban álló pontokon keresztül.
- *Halmozott modell:* az adatok egymásra épülve, lépésről lépésre kerülnek továbbításra és összesítésre a lánc mentén.
- *Decentralizált modell:* az adatok tárolása és kezelése az egyes szereplőknél történik, de szabványos protokollok segítségével biztosított az interoperabilitás.

A nyomon követhetőség koncepciójának egy legkritikusabb pontja, hogy a folyamat során elveszhet az azonosíthatóság. Például, ha egy malomban több gazdaságból érkezett búzát dolgoznak fel. A feldolgozás során a különböző beszállítóktól érkező alapanyagok összekeverednek, ezért a későbbiekben újra elkülönítésük nem lehetséges. Az előállított terméknek nyilván kell tartani az egyes alapanyagait, illetve származásukat (Füzesi et al., 2004).

2.10. Színmérés

Az élelmiszer-gabona minőségének és tulajdonságainak értékelése számos technológiai megközelítést foglal magában, amelyek közül egyik legelterjedtebb az optikai képalkotás. Az értékelési folyamat első lépése a képek rögzítése, és bár a legtöbb esetben látható spektrumú kamerákat használnak, néhány kutatás az infravörös spektrumot is bevonja. Emellett vannak olyan megközelítések, amelyek más típusú képeket alkalmaznak, például multispektrális vagy hiperspektrális képeket, amelyek nagyobb mennyiségű spektrális információt nyújtanak. Általánosságban elmondható, hogy a multispektrális képek egy adott jelenetről készült felvételeknek felelnek meg, amelyeket az elektromágneses spektrum

meghatározott hullámhossz-tartományában rögzítettek, beleértve a látható spektrumot, valamint az infravörös és ultraibolya tartományt. A multispektrális képek általában 3-20 spektrális sávból állnak (Henry O.et. al., 2021).

Ellentétben a multispektrális képalkotással, amely az elosztott spektrális sávokat méri, a hiperspektrális képalkotás folyamatos spektrális sávokat mér. Ez nagyszámú képet eredményez, több mint 20, általában 200 sávot, amelyek lefedik az elektromágneses spektrum nagy részét (Henry O.et. al., 2021).

Berman et al. (2007) infravörös hiperspektrális megközelítést mutatott be az egyedi és antociánost búzaszemek osztályozására, melyek 24 különböző ausztrál fajtához tartoztak. A kép adatokat az átlagok alapján normalizálták, a spektrális alakzat felhasználásával. A kísérleteket 420-2500 nm, 420-1000 nm és 420-700 nm hullámhossz-tartományba eső képminták segítségével végezték el. Chu et al. (2020), pedig a fertőzött kukorica vetőmagok osztályozására egy infravörös hiperspektrális kép alkotást használt fel a 900-1700 nm tartományban.

Philippe és társai (2018) a tanulmányukban részletesen tárgyalták a közeli infravörös (NIR) hiperspektrális képalkotás és kemometria kombinált alkalmazásának lehetőségeit a magok elkülönítésére a beraktározási folyamat szakaszában. Az elkülönítés szempontjából fontos kritériumok közé tartozik a morfológia, a NIR spektrumok, a fehérjetartalom és a mag üvegszerűsége. A tanulmányban a teljes mintahalmaz 257 mintából állt. Az eredmények szerint a minták 96,5%-a és 88,3%-a volt helyesen osztályozva a morfológiai és NIR spektrális profil alapján. A morfológiai jellemzők és a NIR spektrális profil

kombinált alkalmazása lehetővé teszi a durumbúza és a közönséges búza magjainak megbízható megkülönböztetését.

A látható és a közeli infravörös (Vis-NIR) spektroszkópiát a számítógépes látással kombinálták annak érdekében, hogy megkülönböztessék a DON (deoxinivalenol) szennyezett búzaszemeket a tiszta, nem szennyezett szemektől (He et al., 2021). Létrehoztak egy dinamikus érzékelőrendszert, amely lehetővé tette a búzaszemek spektrális és képi adatainak online rögzítését és elemzését. Ezek alapján meghatározták az „egészséges" búzaszemek optimális spektrális és képi jellemzőit. Ezt követően a spektrum- és textúrajellemzőkre épülő lineáris diszkriminancia analízis modellezés segítségével a kalibrációra és validációra 95,06%-os, illetve 91,36%-os pontosságot értek el a szennyezettségi szintek megkülönböztetésében.

Zayas et al. (1989) tanulmányukban a gépi látást alkalmaztak különböző búzafajták azonosítására és a búza és a nem búza összetevők megkülönböztetésére. A kamerafelvételek alapján morfológiailag elemezték az egyes magok geometriai méreteit. Kilenc geometriai paramétert definiáltak, amelyek alapján a búzamagok és egyéb összetevők jól elkülöníthetőek voltak.

Majumdar et al. (2000) egy olyan algoritmust fejlesztettek ki, amely morfológiai jellemzők alapján képes automatikusan osztályozni az egyes gabonaszemeket. A vizsgálat során öt gabonafélét (kanadai vörös tavaszi búzát, durum búzát, árpát, zabot és rozst) különböztettek meg 23 morfológiai tulajdonság segítségével. A kutatók a gabonaszemek pontos osztályozására diszkriminanciaanalízist alkalmaztak, amelynek eredményeképpen 81,6% és 99,9% közötti pontosságot értek el a gabonafajták felismerésében.

Vithu és Moses (2016) elemezték a gépi látórendszerek lehetséges alkalmazását (előnyeit, esetleges hiányosságait, korlátait) a különböző gabonaminőség-értékelési rendszerekben. Megállapították, hogy a képfeldolgozási és képelemzési technikák, a gépi látásrendszerek képesek felváltani a gabonaminőség értékelésének hagyományos módszerét. Nevezetesen a szemrevételezést (kézi módszer), amely még a képzett személyzet számára is kihívást jelent a gyorsaság, a megbízhatóság és a pontosság szempontjából.

Kar és munkatársai (2020) egy új és innovatív rendszert mutattak be, amely lehetővé teszi az élelmiszer gabonafélék minőségének gyors és pontos automatikus becslését. Ennek érdekében kifejlesztettek egy algoritmust, amely egy zöld A4-es méretű papírlapra szórt gabonaféléket azonosítja és elemzi RGB képek alapján. A zöld szín megkülönbözteti a gabonafélék részecskéit (teljes, töredezett, sérült stb.), a szennyeződéseket és más gabonaféléket a háttérszíntől. Az algoritmus először a képen lévő gabonát választja ki a háttérszíntől, majd ezeket a kiválasztott képrészleteket osztályozza különböző kategóriákba. A rendszer hatékonyságának és pontosságának hála jelentősen csökkentették a manuális minőségbecslési folyamatok időtartamát.

Van Haute és társai (2023) kísérleteik során a multi spektrális képalkotás segítségével mérték a fodormenta olajtartalmát. A színmérés segítségével gyorsabban és roncsolás mentesen meghatározták a szárított fodormenta illóolaj-tartalmát. Ez a technika gyorsabb és olcsóbb megoldást biztosít az illóolaj tartalom meghatározására.

Egy átfogó cikkben Chen és társai (2022) a fekete teának a hervadó leveleit a közeli infravörös spektroszkópiával (NIRS) illetve az E.eye technológiával vizsgálták. A tanulmányban a NIRS és az E-eye

technológia használatával meghatározták a hervadó levelek nedvességszintjét. Eme módszer javítsa a fekete tea beltartalmi és minőségi paramétereit feldolgozáskor.

Az elmúlt évtized során a CIELAB színmérési rendszeren alapuló képalkotó technológiák alkalmazási spektruma számottevően bővült: mára már nem csupán a mezőgazdaságban és az élelmiszeriparban, hanem az erdészeti kutatásokban is egyre meghatározóbb szerepet töltenek be.

T.H. de Almeida és munkatársai (2021) azt vizsgálták, hogyan befolyásolják a mesterséges és természetes időjárási hatások a fák és faalapú anyagok kémiai és fizikai tulajdonságait, például a nedvességtartalmat, sűrűséget, összetételt és színt. Kiemelten foglalkoztak az ultraibolya sugárzás (UV) színváltozásokra gyakorolt hatásával, és nyolc különböző fafajt (kemény- és puhafákat) vizsgáltak szilárdsági osztályuk alapján. A színméréseket a CIELAB* rendszerrel végezték, és megfigyelték, hogy az UV-sugárzás hatására a fáknál a sötét színű felületeken szürke tónus alakult ki. A természetes környezetben kitett minták reagáltak a hosszú távú UV-expozícióra, ami azt mutatja, hogy a faanyagok tulajdonságaiknak a meghatározása során figyelembe kell venni a levegőszennyezést és más öregedési tényezők hatását.

Cesa S. és társai (2017) a kék áfonya (Vaccinium spp.) kivonatok feldolgozási hatásait értékelték az anthocyanin tartalomra és a színváltozásokra vonatkozóan. Két homogenizációs módszert hasonlítottak össze a kék áfonya püré előállításához, majd különböző hőkezelési eljárásoknak vetették alá, majd a minták pH-értékét is ellenőrizték. A hidroalkoholos kivonatokat CIELAB és HPLC-DAD analízisekkel vizsgálták, hogy részletes információkat kapjanak a pigmentek teljes tartalmáról és a bioaktív színanyagok minőségi és

mennyiségi profiljáról. A gyártókat ezek az információk segítik abban, hogy a püré előállításához kiválasszák a hatékony és megfelelő feldolgozási technikákat.

Conesa és munkatársai (2019) három évig végeztek kísérleteket, hogy megvizsgálják a CIELAB színkoordináták és a citromgyümölcsben található pigmentek közötti kapcsolatot. A vizsgálat során 49 citromot figyeltek meg a fejlődésük során, az érési időszaktól a betakarításig. Céljuk az volt, hogy megértsék a citromhéj színváltozásait (színkoordináták) és a pigmenttartalom közötti összefüggéseket, valamint a lutein és a β-kriptoxantin karotinoidok relatív fontosságát a teljes karotinoid tartalomhoz képest. A kísérlet két különböző helyszínen zajlott, és rendszeresen megmérték a gyümölcsök színét és a klorofill, lutein és β-kriptoxantin koncentrációját. Az eredmények azt mutatták, hogy erős korreláció volt a színkoordináták és a citromhéj pigmentjei között. Az összes színpigment (klorofillok, karotinoidok és lutein) erősen korrelált az a* és b* színkoordinátákkal, valamint a színárnyalat-indexszel. Ezek az eredmények segítenek a citromgyümölcs minőségének és érettségének meghatározásában, illetve a CIELAB színkoordináták használata lehetővé teszi a gyümölcs pigmenttartalmának megbízható becslését is.

Irwin R. és társai (2013) a cikkükben részletesen leírnak egy statisztikai mintafelismerő technikát, amely színes képek alapján képes objektív és következetes minőségértékelésre, különösen frissen szeletelt gesztenyék esetében. Az eljárás alapja a számítógépes látórendszerek és a jellemzők kinyerése az ismert képek kategóriáiból. Ezt követően a módszer az osztályozásra alapuló statisztikai és klaszterezési algoritmusok segítségével értékeli a gesztenyék minőségét, és lehetővé teszi a betakarítás előtti és utáni kezelések hatásainak számszerűsítését. A

módszer további alkalmazása révén az ipar számára lehetőség nyílik a gesztenyék minőségének előrejelzésére és az általános minőségértékelésre, javítva a feldolgozott termékek minőségét.

Ezequiel et al. (2020) tizenhárom különböző kereskedelmi hibrid kukoricafajtában mérték meg a mag keménységét (beleértve a vizsgálati tömeget, az üvegszerűséget), a karotinoid koncentrációt és a színt a HunterLab színrendszer segítségével. A genotípusok között jelentős különbségeket figyeltek meg mind a magkeménység, mind a karotinoid koncentráció, valamint a HunterLab színdimenziók tekintetében. Megállapították, hogy a mag színértékei és a keménysége között összefüggés van, és a sárgaság (b*) genotípusbeli különbségei olyan szemeknél jelentkeztek, amelyek hasonló karotinoid koncentrációval rendelkeztek, de eltérő keménységgel bírtak. Az eredmények azt mutatták, hogy amikor az egész szemeket megőrölték és a kapott liszten színt mértek, a sárgaság genotípusbeli különbségek eltűntek, ami azt sugallja, hogy a mag üveges szerkezete befolyásolja a mag színét.

Ramirez et al. (2020) kutatásaiknak célja olyan gépi tanulási és számítógépes látáson alapuló algoritmusok kifejlesztése, amelyek lehetővé teszik a sörárpa gabona minőségének automatikus értékelését. A bemutatott megközelítés a helyi fáziskvantálási leíró, valamint szín- és formajellemzők kombinációját alkalmazza, amely a legjobb teljesítményt nyújtja, felülmúlva a fejlettebb helyi leírók eredményeit. Az SVM-RBF osztályozó nemcsak megfelelő a feladathoz, hanem gyors és pontos megoldást is biztosít. A kutatás hangsúlyozza a gondosan kiválasztott jellemzők, a magas teljesítményű osztályozók, valamint a kontrollált világítás és felvételi eszközök alkalmazásának jelentőségét, mivel ezek megbízható megoldást eredményeznek a sörárpa minták minőségi

értékelésére. Ezenkívül a szín- és textúrajellemzők szerepe is kiemelendő, amelyek segítik az árpafajták megkülönböztetését, és lehetővé teszik a sérült minták, valamint a szennyeződések azonosítását.

Lv et al. (2024) átfogó áttekintést nyújtanak az alacsony költségű, roncsolásmentes, online gépi látórendszerek alkalmazásairól, bemutatva a legfontosabb képfeldolgozási algoritmusokat – osztályozás, objektumdetektálás és szegmentálás – a termesztéstől a betakarítás utáni minőségértékelésig, valamint egy gyakorlati alkalmazást támogató, többrétegű keretrendszert javasolnak.

A mélytanulási módszerek előnyeit konkrét azonosítási feladatokon Chen et al. (2024) szemléltetik, akik infravörös mikrospektroszkópia és neurális hálózatok (DNN, CNN) kombinációjával több mint 90%-os pontosságot értek el egyedi rizsszemek fajtájának és származásának meghatározásában. Eredményeik rámutatnak arra, hogy a hagyományos statisztikai módszerekhez (PCA) képest a konvolúciós neurális hálózatok lényegesen nagyobb megkülönböztetőképességgel rendelkeznek.

A képalapú elemzés szenzoros kiterjesztését Jia et al. (2023) vizsgálják, akik a gépi látáson alapuló kolorimetriás szenzorok alkalmazását tekintik át az élelmiszer-biztonság és -minőség monitorozásában. A tanulmány hangsúlyozza, hogy a színérzékeny szenzoranyagok és a mélytanulási algoritmusok integrációja jelentősen javítja a frissesség, hamisítás és toxikus szennyezők kimutatásának megbízhatóságát.

A spektrális információ bevonásának jelentőségét Aviara et al. (2022) munkája erősíti meg, amely a hiperspektrális képalkotás gabonaminőség-vizsgálati alkalmazásait tárgyalja. A módszer egyidejűleg biztosít térbeli és spektrális információt, lehetővé téve a károsodott szemek azonosítását,

a kémiai összetétel becslését, valamint a romlási folyamatok és szennyeződések gyors, roncsolásmentes detektálását tárolási körülmények között.

A CIELAB rendszerhez hasonlón a közeli infravörös spektroszkópia (NIR) is az utóbbi évtizedben vált népszerűvé a gabona beltartalmi értékeinek a meghatározásában. A NIR spektroszkópia alkalmazásával az infravörös spektrumot a gabona mintából mérik, amely az anyagok molekuláris összetételét mutatja. A spektrumot összehasonlítják egy előre meghatározott referenciával, amely megadja a gabona minőségét, például a fehérjetartalmat, a nedvességet, a keménységet stb.

A NIR-technológia megbízható alkalmazása azonban évenkénti kalibrációt igényel, mivel a gabonafélék optikai és kémiai tulajdonságai jelentős változékonyságot mutatnak a fajta, a termőhely, az évjárati sajátosságok, valamint a termesztéstechnológiai tényezők függvényében. A kalibrációs folyamat során akkreditált laboratóriumban referenciaméréseket végeznek, amelyek során pontosan meghatározzák az adott kontrollminta fehérje- és sikértartalmát. A kapott értékek szolgálnak alapul a NIR berendezés szoftverének hangolásához, lehetővé téve az adott búza- vagy árpatételhez igazított, nagy pontosságú beltartalmi méréseket.

Az aratási időszak kezdetén minden évben elvégzik a NIR berendezés szoftverénél a kalibrációs eljárást, amely során az első betakarított tételekből vett minták referenciamérései alapján történik meg az eszköz újra kalibrálása. Ez a gyakorlat biztosítja, hogy a műszer az adott évjáratra jellemző eltérésekhez igazodva is megbízható és reprodukálható eredményeket szolgáltasson a teljes betakarítási és tárolási időszak alatt.

A NIR technológia mellett a CIELAB rendszernél is évenkénti kalibrációt kell végezni, mert az újonnan learatott gabonák színe a

környezeti hatások miatt évenként változik. A kalibrációnál minden egyes beraktározott tételnek meghatározzuk a színképét, majd az adott gabona fajtára jellemző kalibrált sorokkal, az egyes gabona halmazok keveredésének a mértéke körbe határolható. A CIELAB spektrofotométer jól kiegészítheti a NIR technológiát.

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

3.1. A búzafajtáink termőhelye

Szlovákia Közép-Európa középső részén található (16 ° - 23 ° keleti hosszúság, 47 ° - 50 ° é), melynek területe 49 035 km^2 (Fendeková et al., 2018). A délnyugati régióban, ahol a Kis-Kárpátok hátulsó oldala található, az alföldön az éves csapadékmennyiség 500-650 mm között mozog (Pokorna et al., 2013; Rastislav et al., 2024).

A kísérletbe vont parcellákon az éves csapadékmennyiség 2021-ben 535 mm, 2022-ben 472 mm es, és a 2023-as évben 744 mm volt.

Az alföldek a Pannon-medence részét képezik (Kozak et al., 2013). A dél-szlovákiai Duna menti szikes mocsarak és sztyeppék a közép-európai szikes talajok komplexumának legészakibb határán fekszenek (František, 1976). A mezőgazdasági földterületek több mint kétharmadát nagy ráfordítást igénylő őszi búza, kukorica, repce, árpa, napraforgó, cukorrépa és egyéb növények termesztésére használják (Rastislav et al., 2024). A délnyugati síkvidékein hatalmas intenzíven művelt termőföldek találhatók (Hološková et al., 2023).

A 2021, 2022, 2023-as években búza fajták is ilyen egyforma szikes talaj adottságú területen lettek elvetve. A különböző színű gabonatételek termeltetése négy különböző mezőgazdasági parcellán történt. A nagy pontosságú kalibrációs vizsgálatok elvégzéséhez jól elkülönülő színű búzafajtákat használtunk.

7.ábra: Színben eltérő különböző búza fajták (saját felvétel)

Az 7. ábra négy különböző búzafajtát mutat be. Ezek között volt „hagyományos” köztermesztésben szokványos színű búza fajta, egy sárga színű búza fajta, illetve két antociános búzafajták, amelyekben magas koncentrációban fordulnak elő az antocianinok. Az antociános búzafajták magas antocianin-tartalmuknak köszönhetően intenzívebb pigmentációval rendelkeznek, amely spektrálisan is jól megkülönböztethetővé teszi őket a hagyományos és a sárga színű búzafajtáktól.

A hagyományos búzafajtákban csak nagyon kevés antocianinvegyület található (Abdel et al., 1999; Abdel et al., 2003). Az antocianinok felhalmozódnak a búza aleuronjában vagy maghéjában, és biztosítják a szem kék, lila és vörös színét (Ficco et al., 2014). Az antociános búzában a delfinidin-3-glükozid található (El-Sayed et al., 2006).

3.2. Búzaminták előkészítése

A 2021, 2022 és 2023-es évek vizsgálataihoz szükséges gabonaminták előkészítése a bősi (Gabčíkovo, Szlovákia) AGROSID a.s. (AGROSID Rt.) telephelyén történt, ahol az egyes gabonatételek kalibrálása, valamint a búzaszemek keveredési arányának kiértékelése is megtörtént.

A búza minták négy különböző gazdálkodótól származtak, nevezetesen a Corn s.r.o.-tól, a MESZ-AGRO s.r.o.-tól, az Agrosil s.r.o.-tól és a Csiba Farm Family-től. Mindegyik gazdálkodó eltérő mezőgazdasági parcellán eltérő búzafajtát vetett el.

A kísérlet során felhasznált őszi búza fajták a következők:

- IS-18W1161 lila antociános őszi búza fajta (Sóssziget, SK)
- BONAVITA sárga színű őszi búza fajta (Sóssziget, SK)
- KARKULKA lila antociános búza fajta (Banská Štiavnica, SK)
- GENIUS kontroll őszi búza (RWA Slovakia, SK)

Az előbb említett különféle őszi búza fajtákat egymás mellé leöntve beraktároztuk. Minden egyes beraktározott őszi búza súlya 2,5 tonna volt.

Az 4. táblázatban szerepelnek a búza fajták, annak rövidítései, továbbá a búzák színe, illetve az, hogy mely években használtuk fel a kísérleteinkhez. Ezeket a rövidítéseket, alkalmaztuk az egyedi azonosításra és nyomon követésre a tárolt búza különböző származási forrásainak kezelése során.

4. táblázat: A kísérleti búzák rövidítései (2021-2023)

Búza fajtája	**Rövidítések**	**Búza színe**	**Kísérlet éve**		
			2021	**2022**	**2023**
GENIUS	K	világosbarna	X	X	X
KARKULKA	MK	antociános	X		X
BONAVITA I*	MB	sárga		X	
IS-18W1161	AG	antociános	X	X	X
BONAVITA II*	CS	sárga	X	X	X

*A BONAVITA fajtát két különböző területen termesztettük

A minták beltartalmi értékei is meghatározásra kerültek. Az eltérő színű búzafajták (2.táblázat) eltérő beltartalmi tulajdonságokkal rendelkeztek.

A beltartalmi értékek (5. táblázat) NIR általi vizsgálata során kapott adatok a következők.

5. táblázat: A kísérletbe vont búzák beltartalmi értékei

Búza fajtája	**Beltartalmi mutatószámok:**	**2021**	**2022**	**2023**
GENIUS	Sikér (%)	26,51	26,34	27,07
	Fehérje (%)	12,14	12,18	12,41
	Fajsúly (g/l)	775	782	772
	Esésszám (s)	269	287	274

KARKULKA	Sikér (%)	23,44		23,99
	Fehérje (%)	10,91		11,33
	Fajsúly (g/l)	754		766
	Esésszám (s)	237		241
BONAVITA I	Sikér (%)		23,05	
	Fehérje (%)		10,76	
	Fajsúly (g/l)		758	
	Esésszám (s)		224	
IS-18W1161	Sikér (%)	28,46	29,94	29,41
	Fehérje (%)	13,01	13,34	13,12
	Fajsúly (g/l)	793	807	795
	Esésszám (s)	288	292	304
BONAVITA II	Sikér (%)	21,30	20,22	19,15
	Fehérje (%)	10,20	10,90	8,72
	Fajsúly (g/l)	748	752	748
	Esésszám (s)	234	221	215

A 2021-es vizsgálatok során a beraktározott tételekből (6. táblázat) vett minták beltartalmi paramétereit (sikértartalom, fehérjetartalom, fajsúly és esésszám) elemeztük a 0 ponthoz viszonyított különböző távolságokban (±30, ±60 és ±90 cm). Az eredmények alapján a beltartalmi mutatók 22–28% közötti sikér-, 10–13% közötti fehérje-, 749–792 g/l közötti fajsúly- és 227–287 közötti esésszám-értékeket mutattak. Az adatok szórása mérsékelt volt (például a fehérjetartalom szórása ≈0,93%, a fajsúly szórása ≈13 g/l), ami arra utal, hogy a vizsgált gabonatételek beltartalmi tulajdonságai összességében közel homogénnek tekinthetők.

A kapott eredményekből következően a beltartalmi paraméterek önmagukban nem szolgáltattak egyértelmű bizonyítékot a tételek keveredésének mértékére vagy a keveredési határvonal pontos elkülönítésére. Bár a NIR (Near-Infrared Spectroscopy) technológia gyors

és hatékony eszköznek bizonyult a beltartalmi jellemzők meghatározásában, érzékenysége nem volt elegendő a tételek közötti keveredés objektív kimutatásához. Ez különösen akkor jelent nehézséget, amikor a két tétel beltartalmi értékei nagymértékben hasonlóak, hiszen a spektrális átfedések miatt a NIR-eredmények nem mutattak szignifikáns különbséget a különböző mintavételi pontok között.

A beltartalmi paraméterek értelmezésekor figyelembe kell venni, hogy egy adott tételből történő mintavétel esetén a paraméterek természetes biológiai és technológiai variabilitása miatt bizonyos határokon belül mindig tapasztalható mérési differencia. Ez önmagában azonban nem elegendő a keveredési zóna pontos meghatározására. A kolorimetriai színképelemzés ezzel szemben – különösen a HUE × C* index alkalmazásával – érzékenyebben reagál a tételek közötti finom eltérésekre, így alkalmasabb a gabonatételek közötti határok körül határolására.

Eredményeink tehát arra világítanak rá, hogy a beltartalmi vizsgálatok – bár alkalmasak a gabonák általános minőségének jellemzésére és a potenciális különbségek feltárására – önálló módszerként nem biztosítanak elegendő pontosságot a keveredési határok azonosításához. A pontosabb nyomon követhetőség érdekében elengedhetetlen a színmérési technikák integrálása a beltartalmi vizsgálatok mellé.

6. táblázat: A kísérletbe vont búzák egyes keverékeinek beltartalmi értékei

Az őszi búza beltartalmi értékei Gabčíkovo-Bős 2021					
Megnevezés	A 0 ponttól mért távolság (cm)	Sikér (%)	Fehérje (%)	Fajsúly (g/l)	Esésszám

MKAG	-90	24,23	11,84	766	239
MKAG	-60	23,98	11,58	771	245
MKAG	-30	26,42	12,45	775	255
MKAG	0	23,84	11,44	759	227
MKAG	30	25,8	12,22	765	259
MKAG	60	27,53	13,01	784	245
MKAG	90	28,47	13,03	792	269
MKCS	-90	23,56	11,56	754	241
MKCS	-60	23,46	11,6	761	233
MKCS	-30	22,7	10,79	755	239
MKCS	0	22,95	11,3	758	236
MKCS	30	23,61	11,47	762	235
MKCS	60	20,97	10,06	751	241
MKCS	90	21,41	10,26	749	236
CSAG	-90	21,27	10,68	751	240
CSAG	-60	21,87	11,08	755	245
CSAG	-30	25,37	12,26	752	234
CSAG	0	22,17	11,17	759	244
CSAG	30	23,01	11,44	771	254
CSAG	60	28,58	13,03	779	269
CSAG	90	28,51	13,07	788	273
AGK	-90	28,49	13,25	792	264
AGK	-60	27,42	13,06	778	287
AGK	-30	26,33	12,4	780	249
AGK	0	27,42	12,92	774	257
AGK	30	26,49	12,74	774	250
AGK	60	26,44	12,59	778	256
AGK	90	26,85	12,9	772	264

3.3. A színméréshez szükséges minták előkészítésének menete

Az négy termelőtől származó fajta azonos gabona mintákból (AG, K, CS és MK és MB) készítettük el az adott aranyú keverékeket.

Az évente a vizsgált négy búza fajtából, hat különböző keverék készült. Egy keverés a négy búzából tetszőlegesen választott kétfajta keveredését jelentette.

A 2023-as évben egy keverés hiányzott. Ennek oka az volt, hogy a raktárban tárolt gabonák esetében is csupán öt különböző keverési lehetőség állt rendelkezésre.

A fenti mintákat először laboratóriumi körülmények között megtisztítottuk. A minták tisztításához szükséges laboratóriumi eszközök a következők voltak:

- digitális analitikai mérleg (RADWAG WPX4500)
- kalibrált gabona sziták (1,0 mm, 2,5mm, 3,5 mm hosszúkás beosztással)
- gabona osztályozását végző szitarázó gép (SWING 160).

Minden egyes búza fajtából kimértünk 100 gramm-ot az analitikai mérlegen. A kimért mintákat méret szerint (1,0 mm, 2,0 mm, 3,5 mm) osztályoztuk, illetve megtisztítottuk az idegen magoktól, szennyeződésektől.

A gabonaminták előkészítése során a szemek osztályozottságát és tisztítását a SWING 160 típusú laboratóriumi szitarázó berendezéssel végeztük el. A tisztítási eljárás minden esetben 5 perces időtartamban, 140 rezgés/perc frekvenciával zajlott. Az alkalmazott szitasorban az 1,0 mm-es és a 3,5 mm-es hosszúkás nyílású szitákon fennmaradt frakciókat idegen magvak, törött szemek és szemét kategóriák szerint szétválogattuk és

kvantifikáltuk. A további mérésekhez kizárólag a 2,0 mm feletti szitán fennmaradó, tiszta és idegen anyagoktól mentes búzaszemeket használtuk fel, biztosítva ezzel az elemzésekhez szükséges egységes és homogén mintaminőséget.

8.ábra: Egyenként lezacskózott két búza keverék minta (saját felvétel)

A színképelemzési vizsgálatok során minden egyes keverési arányhoz (0–100% között 10%-os lépésekben, lásd 8. ábra) egységesen 200 darab tisztított búzaszemet választottunk ki, amelyeket egy speciálisan kialakított mérőedényben helyeztünk el. Ez a mintaméret megfelelő statisztikai reprezentativitást biztosított a színparaméterek (CIELAB: L*, a*, b*) jellemzéséhez, figyelembe véve az egyes keverékek belső heterogenitását. A vizsgálatok évente 60 különböző mintára terjedtek ki, mindegyik esetben eltérő fajtaarány mellett.

A mérési eljárás ismételhetőségének és megbízhatóságának értékelése céljából minden mintát tízszer mértünk meg, ugyanazon 200 szem felhasználásával. Azaz minden ismétlés során ugyanaz a minta került újra a mérőberendezésbe, nem történt újabb szemek kiválasztása. Az így kapott tíz mérési eredményből átlagértéket számoltunk, amely hozzájárult a véletlenszerű mérési hibák csökkentéséhez és a színparaméterek becslésének pontosságához.

Az átlagos színértékeket az adott keverési arányhoz rendeltük, és a kapott eredményeket grafikus formában is megjelenítettük, lehetővé téve a színparaméterek és a keveredési arány közötti összefüggések szemléletes értelmezését.

3.4. Színmérés

Wyszecki et al. (2004) a "Colorimetry" című CIE Technikai Jelentés részletesen ismerteti a színmérés és színtérképek alapvető elveit, köztük a színérzékelés és a színreprodukció folyamatát. A jelentésben külön is kitérnek a CIELAB színtérre, amelyet a Nemzetközi Fénytechnikai Bizottság (CIE) fejlesztett ki a színek objektív mérésére és összehasonlítására. A CIELAB színtér az L* (világosság), a* (zöld-piros tengely) és b* (kék-sárga tengely) koordinátákból áll, és lehetővé teszi a színek egymás közötti összehasonlítását és reprodukálását különböző környezetekben. A CIELAB színtér előnyei közé tartozik az egyszerű használhatóság, a széleskörű elfogadottság és a színek pontos megjelenítése különböző környezetekben.

A gabonák keveredését biztosító színképelemzést a Széchenyi Egyetem Gépészmérnöki, Informatikai és Villamosmérnöki Kar Fizika és Kémia Tanszék laboratóriumában végeztük el.

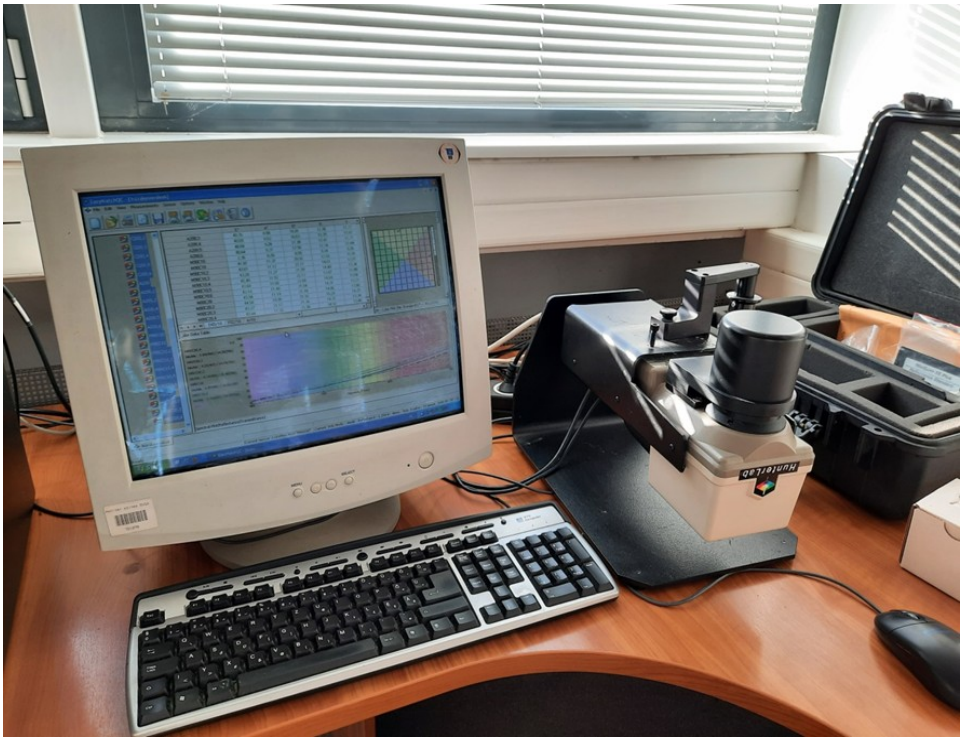
Az 9. illetve a 10 ábra a Hunterlab XE reflexiós színmérő készüléket mutatja be, amelyet a gabonahalmazok heterogenitásának változásának meghatározására és az eltérő búzafajták keveredésének vizsgálatára alkalmaztunk. Az eszköz lehetővé teszi a gabonatételek optikai tulajdonságainak kvantitatív elemzését, biztosítva a különböző fajták precíz azonosítását spektrális jellemzőik alapján.

9. ábra: CIELab Color Space színkép spektrofotométer (saját felvétel)

A színmérési eljárás során a CIELab színkép spektrofotométer (9. illetve a 10. ábra) és a hozzá kapcsolódó szoftver segítségével rögzítettük és elemeztük a gabonafajták spektrális jellemzőit. A rendszer lehetővé teszi:

- a különböző színű búzafajták precíz differenciálását,
- a keveredési arányok pontos meghatározását,

- a tárolási körülmények hatásainak objektív értékelését.



10.ábra: CIELab Color Space színkép spektrofotométer, illetve a hozzá tartozó szoftver program (saját felvétel)

Minden évben négy egymástól eltérő búza fajtát vizsgáltunk a keveredési arányok hatásainak feltárása érdekében. A spektrumok méréséhez különböző arányú keverékeket alkalmaztunk, amelyek az alacsonytól (10%) a magas (90%) db szám keveredési arányokig terjedtek. Tehát a keveredési minta sorozatból kilenc mintával rendelkeztünk. plusz a 100%-os azonos fajtatiszta mintákkal.

Az összes mintát minden esetben tíz ismétlésben mértük le. A tíz mérésből átlagot számoltunk, majd adatokat grafikonokkal ábrázoltuk.

Az antociános, sárga és hagyományos őszi búzafajták spektrális eltéréseinek meghatározása kulcsfontosságú volt a raktári keveredési

folyamatok tudományos alapú feltérképezéséhez és modellezéséhez. Az optikai mérések eredményei lehetőséget biztosítottak a keveredési zónák pontos körül határolására, ami hozzájárulhat a gabonatételek szeparálásának hatékonyabb megvalósításához.

Kísérleteink során a fényforrásunkként a D65-ös típusú fényforrást használtuk. A CIELAB spektrofotométerünk a 45/0° geometriát alkalmazta, amelynek segítségével rögzítettük az L*, a* és b* színtér adatait, valamint meghatároztuk a teljes színkülönbség (ΔE) értékét.

A minták színét a D65 fényforrással felszerelt MiniScan XE Plus reflexiós koloriméterrel mértük (HunterLab, Inc., USA). A CIELAB színtérben az "L*" érték a fényerőt méri feketétől (0) fehérig (100), az "a*" érték a színárnyalati paramétert jelöli, a pirostól a zöldig, ahol a pozitív értékek pirosat, míg a negatív értékek zöldet jelölnek. A "b*" érték pedig a színezési paramétert méri, a kéktől a sárgáig, ahol a pozitív értékek sárgát, míg a negatív értékek kéket jelölnek.

A műszer geometriája 45°/0° volt, amelyben a forrás (xenon villanólámpa) által kibocsátott beeső fény 45°-os szöget zár be a normáltól a mintafelületig. Az ugyanarról a felületről visszaverődő fény 0◦-nál érkezik a normálhoz képest. A szín meghatározásához a CIELAB L* (világosság) a* és b* (zöld-piros, illetve kék-sárga színindex) színteret használtuk. A dE* és a C* színkülönbséget a, dE* = [(ΔL*)2 + (Δa*)2) + (Δb*)2] ½ és C* = (a*2 +b*2) szerint számítottuk ki.) Az automatizált mérésekhez a kolorimétert az EasyMatch QC szoftver segítségével számítógéphez csatlakoztatták. Minden mérési sorozat előtt fehér és fekete standard lapkákat használtunk a kalibráláshoz.

A vizsgálatok során kiemelt figyelmet fordítottunk a HUE érték meghatározására, amely az *a** (piros–zöld) és *b** (sárga–kék) koordináták

arányából számított szög, és a minta színárnyalatát fejezi ki.

$$\mathrm{HUE} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Emellett számítottuk a C* értéket is, amely az a^* és b^* koordináták alapján meghatározott színtelítettségi mutató, és a szín intenzitását jellemzi.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

A két paraméter kombinációjaként definiált HUE × C* index egy összetett mutató, amely a színárnyalat és a színtelítettség együttes figyelembevételével érzékenyebben képes jelezni a gabonatételek közötti finom eltéréseket, mint bármelyik komponens önállóan. Ennek alkalmazásával lehetőség nyílik a tételek közötti határok pontosabb körül határolására, ami a beltartalmi paraméterek alapján gyakran nem lehetséges.

3.5. Statisztikai elemzések

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.

7. táblázat: A 17 darab őszi búza keverék korrelációs táblázata

17 gabona keverék	kilenc színváltozó								
	DL^2	Da^2	Db^2	DE*	C*	ΔC*	ΔH*	HUE	HUE×C*
A1-K1	0,9342	0,5298	0,9152	0,9300	0,8789	0,8789	0,7408	0,9387	0,9263
A1-CS1	0,9694	0,4430	0,9623	0,9576	0,9601	0,9601	0,9337	0,9550	0,9732
A1-M1	0,5274	0,8581	0,8931	0,5359	0,8912	0,8912	0,8839	0,0833	0,8965
K1-CS1	0,9338	0,7002	0,8770	0,8311	0,8608	0,8608	0,8220	0,1008	0,8905
K1-M1	0,9356	0,9082	0,2697	0,9484	0,4492	0,4492	0,8130	0,9188	0,6808
CS1-M1	0,9599	0,8749	0,8277	0,9622	0,6035	0,6035	0,2651	0,9608	0,8998
A2-K2	0,9516	0,1046	0,9603	0,9492	0,9486	0,9486	0,9243	0,9234	0,9551
A2-CS2	0,9647	0,8461	0,9680	0,9618	0,9642	0,9642	0,9560	0,9165	0,9664
A2-M2	0,9602	0,9131	0,9687	0,9498	0,9695	0,9695	0,9663	0,9267	0,9698
K2-CS2	0,9446	0,8345	0,9073	0,8679	0,9028	0,9028	0,8902	0,2050	0,9080
K2-M2	0,9307	0,9120	0,9471	0,6144	0,9497	0,9497	0,9487	0,4690	0,9466
CS2-M2	0,6768	0,6950	0,9205	0,2975	0,9222	0,9222	0,9106	0,6533	0,9163
A3-K3	0,9424	0,5007	0,9586	0,9314	0,9576	0,9576	0,9529	0,8957	0,9540
A3-CS3	0,9684	0,912	0,9731	0,943	0,973	0,973	0,967	0,914	0,9760

		6		2	8	8	5	3	
K3-CS3	0,0303	0,0414	0,1270	0,0905	0,1236	0,1236	0,1074	0,0478	0,1585
K3-M3	0,9436	0,7899	0,9213	0,9410	0,8806	0,8806	0,4600	0,9125	0,9306
CS3-M3	0,9363	0,4804	0,9384	0,9219	0,9267	0,9267	0,8961	0,8943	0,9372
átlag	**0,8535**	**0,6673**	**0,8432**	**0,8020**	**0,8331**	**0,8331**	**0,7905**	**0,6892**	**0,8756**
szórás	**0,2428**	**0,2778**	**0,2470**	**0,2621**	**0,2302**	**0,2302**	**0,2598**	**0,3550**	**0,1968**
maximum	**0,9694**	**0,9131**	**0,9731**	**0,9622**	**0,9738**	**0,9738**	**0,9675**	**0,9608**	**0,9760**

Az első lépésben korrelációanalízist hajtottunk végre. Meghatároztuk a Pearson-féle korrelációs együtthatók (Pearson 1895) abszolút értékét a kilenc jelölt színváltozó (lásd 7. táblázat) 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 determininációs 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 (URL_{13}) és annak 'caret' (Kuhn 2008) valamint 'ggplot2' (Wickham 2016) csomagjai segítségével végeztük el.

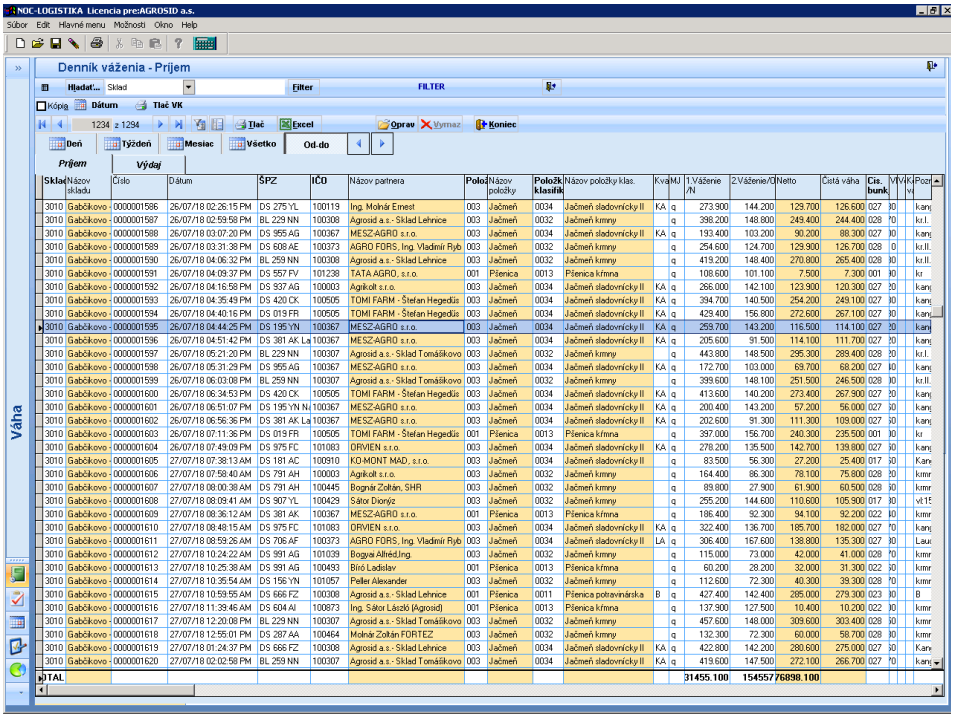
3.6. Innovatív Színképelemzési Módszerek Alkalmazása a Gabonafélék Minősítésében és Nyomon Követésében

A gabonák nyomon követése és minősítése több lépésből áll, melynek során a NOC logisztikai program segítségével rögzítik az adatokat, és különböző laborvizsgálatokkal határozzák meg a minőségi paramétereket. Kutatásaink során ezt a nyilvántartási rendszert bővítettük a gabonák színképelemzésével.

3.6.1. Nyilvántartás és adatrögzítés

A folyamat a gabona beérkezésével kezdődik, amikor a digitális mázsa leméri a kocsi súlyát. Az így kapott nettó súlyérték automatikusan rögzítésre kerül a NOC szoftverben (11. ábra), amely az alábbi adatokat tárolja:

- Telephely neve
- Dátum és időpont
- Rendszám
- Szállító neve
- Nettó súly
- Raktár sorszáma
- Laboratóriumi vizsgálati adatok



11.ábra: A NOC szoftver logisztikai programja (saját felvétel)

Mindezek az információk biztosítják a teljes nyomon követhetőséget, és kizárják a manuális hibalehetőségeket.

3.6.2. Mintavétel és homogenizálás

A mintavétel automatizált robottal történik, amely minimum három helyről vesz mintát a szállítmányból. A minták egy homogenizáló tartályba kerülnek, majd laboratóriumi vizsgálatokra továbbítják őket. Ez biztosítja, hogy az eredmények az egész szállítmányra érvényesek legyenek.

3.6.3. Laboratóriumi vizsgálatok

A laborban több paramétert vizsgálnak:

1. **Nedvességtartalom:**

Az első vizsgálat a gabona nedvességtartalmának mérése. Az élelmiszeripari és takarmány célú gabonák esetében egyaránt 14% a maximálisan megengedett érték.

2. **Fajsúly meghatározása:**

A gabonák minőségi besorolása a fajsúly alapján történik. Malmi búzánál és árpánál a szlovák előírások szerint az elfogadott minimumértékek:

- Malmi búza: 75–82 kg/hl
- Sörárpa: 72 kg/hl felett

3. **Fehérjetartalom vizsgálata infraspektrométerrel:**

Az infravörös spektrométer a mi esetünkben Perten P9500 Inframatic (12. ábra) segítségével meghatározzák a gabona fehérjetartalmát. Ez kulcsfontosságú paraméter a malomipar és a sörgyárak számára. Sörárpa esetén a fehérjetartalomnak 9,5–12,5% között kell lennie. A kenyér búzánál pedig a fehérje tartalomnak a 10,5-13,5% között kell lennie.

12. ábra: Perten Inframatic 9500 típusú, közeli infravörös spektrométer (saját felvétel)

4. **Esésszám mérés:**

   Az esésszám vizsgálat a gabona enzimaktivitására és csírázási potenciáljára utal.

   - 220 feletti érték esetén malmi búzáról vagy sörárpáról beszélünk.
   - 220 alatti érték esetén a gabona takarmánynak minősül.

5. **Csírázási erély mérése:**

   A csírázóképességet trifenil-tetrazolium-klorid oldattal vizsgálják. Az élő gabonaszemek piros színűre változnak a kémiai reakció során. Ha a minta 80%-a nem csírázik ki, a gabonát takarmánynak minősítik.

6. **Osztályozottság meghatározása szitálással:**

   A gabona osztályozására előírt szitákat használnak. Árpa esetében: 2,5 mm, 2,2 mm, 1,0 mm, míg malmi búzánál: 3,5 mm, 2,0 mm, 1,0 mm. A szitálás után digitális mérlegen mérik a fennmaradó mennyiségeket, és az eredmények alapján történik a besorolás.

7. **DON toxin vizsgálat:**

   Gyorsméréssel (pl. RIDA QUICK SCAN) ellenőrzik, hogy a gabona DON toxintartalma nem haladja-e meg az 1,25 ppm határértéket. Ha a szennyezettség magasabb, a gabonát fuzáriumosnak minősítik, és külön raktárban tárolják.

8. **A kutatási eredmények hatására**:

   A színképelemzésel bővített gabona adatok.

3.6.4. Adatrögzítés és raktározás

A laboreredmények alapján a gabonát minőség szerint osztályozva raktározzák el. A raktározási folyamatban minden egyes tétel saját

sorszámot kap a NOC logisztikai rendszerben, így az áruk pontosan visszakövethetők. A sörgyárak és malmok elvárása a legalább 85%-os fajtatisztaság, amelyet a rendszer garantál.

3.6.5. Minőségellenőrzés a raktározás során

A raktározási idő alatt is ellenőrzik a gabona állapotát, mivel bizonyos minőségromlási tényezők csak hónapokkal az aratás után jelentkeznek:

- A gabona mikrobiológiai romlása (különösen a felső harmadban)
- A csírázási erély csökkenése
- Nedvesség-eltérések, amelyek az aratáskor nem voltak kimutathatók

A színképelemzés révén lehetőség nyílik a raktározott gabonatételek pontos körül határolására, amely kulcsfontosságú a nyomon követhetőség és a minőségbiztosítás szempontjából. Az egyes azonosított tételek adatai a NOC rendszerben kerülnek rögzítésre, amely integrálja az összes, a termelési folyamat során keletkező információt, a szántóföldi termesztéstől kezdve egészen a raktározásig.

Ez a komplex adatkezelési megközelítés lehetővé teszi, hogy amennyiben minőségromlás (például *Fusarium*-fertőzés) tapasztalható, a színképelemzéssel bővített NOC rendszer adatai alapján az érintett tétel pontos eredete visszakövethető legyen. Ezáltal biztosítható a hosszú távú minőségbiztosítás, és lehetőség nyílik a potenciális problémák forrásának gyors azonosítására, valamint a megelőző intézkedések hatékony bevezetésére.

3.6.6. Számlázás és adminisztratív folyamatok

A minősítési eredmények meghatározó szerepet játszanak a gazdasági és logisztikai folyamatokban, különösen a számlázás és adminisztráció

terén. Az alábbi tényezők alapján történik a költségek kalkulációja és elszámolása:

- Raktározási költségek a bevételezett mennyiség függvényében
- Tisztítási és szárítási költségek, amennyiben az adott tétel kezelést igényel
- Fajtatisztaság biztosítása, amely elengedhetetlen a szerződéses partnerek számára

Az AGROSID a.s. által működtetett, színképelemzéssel kiegészített NOC rendszer átfogó megoldást kínál a gabonafélék teljes életciklusának nyomon követésére. A rendszer lehetővé teszi az információáramlás optimalizálását a szántóföldtől a raktározásig, a raktártól a feldolgozóüzemekig, majd onnan vissza a termelési lánc kiindulópontjáig.

A digitális dokumentáció archiválása biztosítja, hogy minden egyes szállítmány adatai visszakereshetők maradjanak, elősegítve a múltbeli trendek elemzését és a jövőbeni aratások minőségi előrejelzését. Ezen információk nem csupán az agráripari döntéshozatalt támogatják, hanem hozzájárulnak a beszállítók megbízhatóságának objektív értékeléséhez is, ezáltal növelve a teljes ellátási lánc hatékonyságát és fenntarthatóságát.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. Kalibrációs egyenesek meghatározása és a HUE × C Index alkalmazása a búzafajták keveredésének modellezésére

A 13. ábra a 2021-es kísérletek során végzett színképelemzési mérések eredményeit mutatja be, ahol két-két eltérő búzafajtát kevertünk össze különböző arányokban (10-90%). A keverékeket spektrofotometriás vizsgálatnak vetettük alá, majd az így nyert spektrális adatokat statisztikai módszerekkel elemeztük.

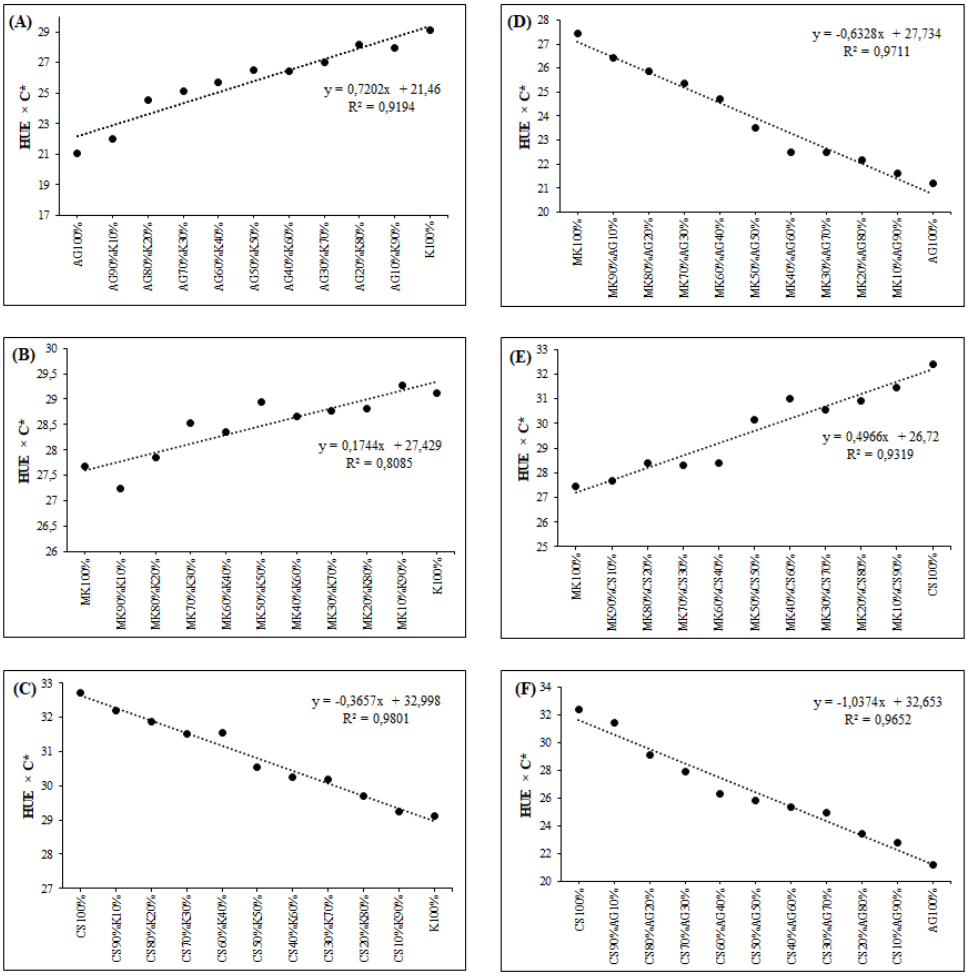
Az előzetes vizsgálatok alapján a HUE × C* index bizonyult a legjobban korreláló mérőszámnak a búzafajták keveredési arányának pontos meghatározásához. Ennek megfelelően összehasonlító és kalibrációs vizsgálataink során ezt az indexet használtuk referenciaértékként.

Az egyes grafikonok a keverési arányok növekedésével vagy csökkenésével jól látható lineáris trendeket mutatnak, amelyeket az adott keverék kalibrációs egyenesei írnak le.

A trendvonalak magas determinációs együtthatói ($R^2 > 0.90$) igazolják, hogy a HUE × C* index alapján a különböző keverékek arányai statisztikailag jól modellezhetők.

A párosított búzafajták spektrális eltérése befolyásolja a trendvonal meredekségét és az eltolási állandót, ami azt jelzi, hogy az eltérő genotípusok spektrális jellemzői különböző mértékben befolyásolják a keveredési folyamatok érzékelhetőségét.

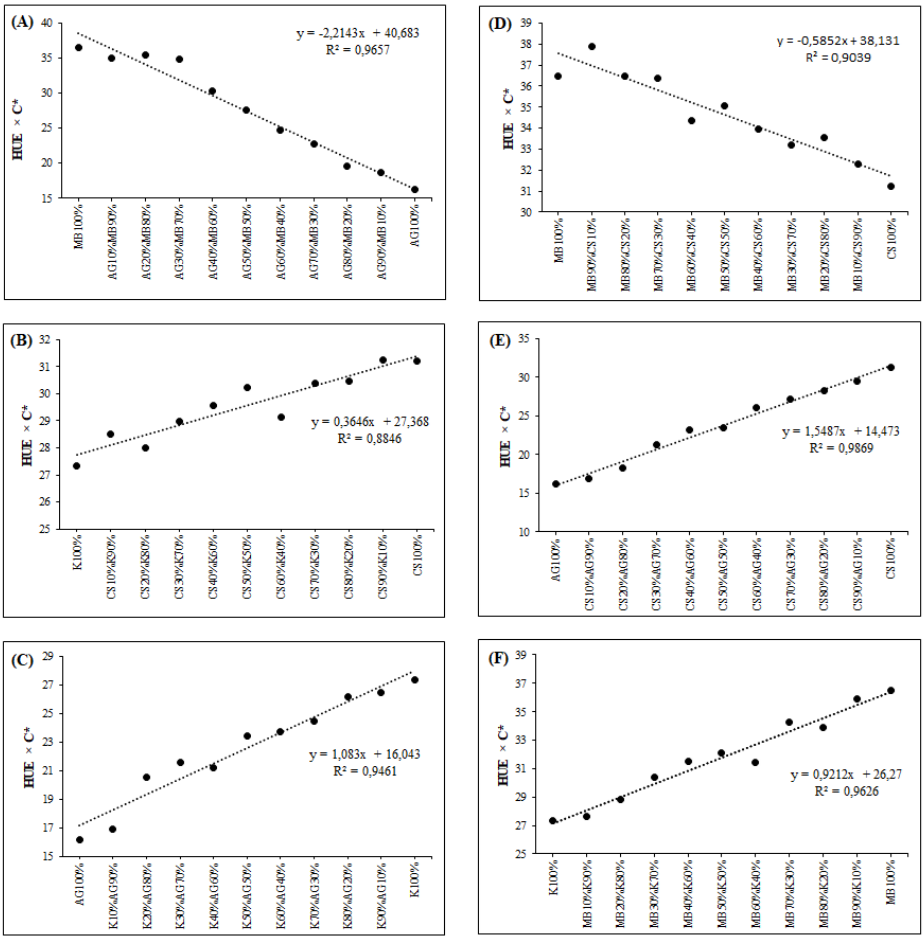
Ezek az eredmények megerősítik, hogy a spektrofotometriás módszer alkalmas a különböző búzafajták keveredésének objektív, kvantitatív meghatározására.



13. ábra: A 2021-es évben a hat különböző búza keverék HUE × C trendvonalait ábrázolja*

Az előbb szemléltetett labor mintákból színképelemzéssel megszerzett keveredési adatok segítségével, meg tudtuk becsülni, hogy az egyes raktári keverékek milyen %-os arányban keveredtek vagy sem egymással.

A kalibrációs sorokat, amelyeket az előző évben határoztunk meg, a 2022-es évben learatott gabonákkal szintén megismételtük. Ez a kalibrációs eljárás lehetővé teszi, hogy a mérési hibákat minimalizáljuk, és biztosítsuk, hogy az eredmények megbízhatóak és reprodukálhatóak legyenek. Az ismétlésekkel azt tudjuk igazolni, hogy az egyes években kapott eredmények, a kidolgozott módszer mennyire reprodukálható és mennyire működik jól.



14. ábra: A 2022-es évben lemért egyes búza keverékek grafikonjai

Az előző 2021-es kísérlethez képest változás egy fajta vetőmag esetében lépett fel.

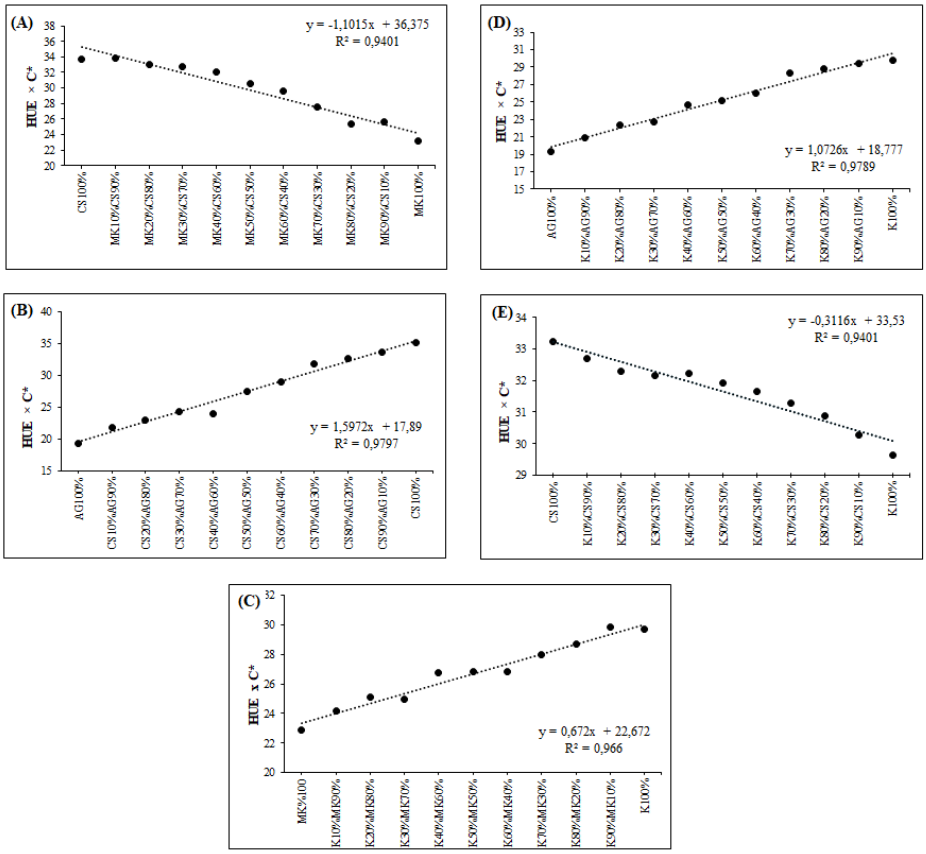
A 2022-es évben a MESZ-AGRO részére a KARKULKA fajta vetőmag nem állt rendelkezésre, helyette a BONAVITA került elvetésre.

A 2022-es eredmények (14. ábra) szignifikánsan alátámasztják a különböző keverékek közötti színbeli különbségeket és az egyes keverésekben mérhető különbségeket.

A trendvonalak lineáris jellege azt mutatja, hogy a keverések arányának növelése vagy csökkentése egyenletesen változtatja a színárnyalatot. Ez fontos információ lehet az élelmiszeriparon belül a síkraktárakba beraktározott gabonák elkülönítésére, illetve a keveredések arányának pontosabb beállításához.

A korábbi 2021-es és 2022-es évek során meghatározott kalibrációs sorokat a 2023-as évben az akkor learatott gabonafélékkel ismételtük meg. Ennek célja az volt, hogy ellenőrizzük és optimalizáljuk mérési eszközeink pontosságát és megbízhatóságát. Ez a kalibrációs folyamat kiemelkedő fontossággal bír a mérési hibák minimalizálásában, és biztosítja, hogy az eredmények konzisztensek és reprodukálhatóak legyenek.

Az 2023-as év során, a kettes keverékek esetében, amelyekből összesen hat különböző kombináció volt, csupán (15. ábra) öt kombinációt



vizsgáltunk meg. Ennek oka az volt, hogy a raktárban tárolt gabonák esetében is csupán öt különböző keverési lehetőség állt rendelkezésre.

15. ábra: A 2023-es évben lemért egyes búza keverékek grafikonjai

Az 15. ábrán látható kalibrációs görbék a különböző búzafajta-párok keveredési sorozataiból származó színképi (HUE × C*) értékeket mutatják be. Minden grafikon (A–E) egy-egy fajtapárt ábrázol, 10–90%-os keverési lépésekben.

- <u>Trendvonalak linearitása</u>

Mindegyik diagramon jól illeszkedő lineáris regressziós trendvonal látható, amely arra utal, hogy a HUE × C* index egyenletesen változik a keverési arány függvényében. Ez a lineáris viselkedés azt jelenti, hogy a különböző keverékek spektrális jellemzői kiszámíthatóan változnak, tehát kvantitatívan modellezhetők. A trendvonalak lineáris jellege azt mutatja, hogy a keverések arányának növelése vagy csökkentése egyenletesen változtatja a színárnyalatot.

- <u>R^2 értékek (determinációs együtthatók)</u>
- Az R^2 értékek mindegyik esetben 0,94–0,98 közötti tartományban vannak, ami nagyon erős korrelációt jelez. Ez megerősíti, hogy a HUE × C* index magas megbízhatósággal reprezentálja a keverési arányokat.
    - Például:
        - (A): $R^2 = 0{,}9401$ → MKCS/CS keverék
        - (B): $R^2 = 0{,}9797$ → AG/CS keverék
        - (C): $R^2 = 0{,}9660$ → MKCS/K keverék
        - (D): $R^2 = 0{,}9789$ → AG/K keverék
        - (E): $R^2 = 0{,}9401$ → CS/K keverék
- <u>Meredekségek értelmezése (koefficiens x)</u>

A trendvonalak meredeksége a keveredési érzékenységet tükrözi:

- A nagyobb abszolút értékű meredekség (pl. 1,5972 a (B) grafikonon) azt mutatja, hogy a kétfajta jelentősen eltérő spektrális karakterisztikával rendelkezik, így kis keverési arányváltozás is erőteljesen tükröződik a HUE × C* indexben.
- A kisebb meredekségű trendek (pl. 0,3116 az (E) grafikonon) kevésbé különböző fajtapárokra utalnak, ahol a detektálhatóság mérsékeltebb.

- 4. Spektrális eltérések és detektálhatóság
- Az ábrák jól szemléltetik, hogy a különböző fajtapárok színbeli eltérései – azaz a spektrális kontraszt – meghatározzák a detektálhatóság pontosságát.
- A nagyobb eltérésű párok esetében (pl. AG vs. CS) a módszer különösen hatékony a keveredési arány meghatározására

A R^2 értékek magas szintje jelzi a trendvonalak megbízhatóságát és azt, hogy a fotó spektrofotométer által mért adatok megbízhatóan reprezentálják a keverések színbeli összetételét. Ez az információ szintén hasznos lehet az előbbiekben említett élelmiszergyártás és azon belül a minőségellenőrzés és a gabona nyomon követhetősége terén.

4.2. A kalibrációs egyenesek és a raktári keverékek spektrofotométerrel meghatározott méréseinek grafikonjainak összevetései

Az 2021,2022 és a 2023-as kísérletek során kapott kalibrációs egyenesekkel, meg tudtuk határozni, hogy az egyes raktári keverékek milyen %-os arányban keveredtek vagy sem egymással.

16. ábra: A raktárban leöntött egyes búza fajták (saját felvétel)

A raktárban leöntött négy búza fajtát úgy öntöttük le, hogy mind a négy gabona érintkezzen a mellette lévővel. Az 16.ábra vizuálisan is megerősíti azokat a spektrális különbségeket, amelyeket a spektrofotometriás elemzéssel detektáltunk. Az eltérő árnyalatú búzahalmazok jól elkülönülnek egymástól.

4.2.1. A keveredési modell alapozó kísérlete

Az előbbiekben ismertetett búza fajták (K, MK, AG, CS) a 2021-es beraktározás során fizikailag keveredtek egymással. Minden az általunk beraktározott gabonák összefolyásánál, ahol az egyes tételek érintkeztek, gabona mintavevő stekkerrel levettük az egyes mintákat.

17. ábra: Gabona szondával végzett mintavétel (saját felvétel)

A 17. ábra egy gabona mintavevő szondát (stekkert) ábrázol, amelyet a raktárban található gabonahalmazok érintkezési zónáiban alkalmaztunk a mintavételezéshez.

18. ábra: A raktárból levett egyes őszi búza gabona minták (saját felvétel)

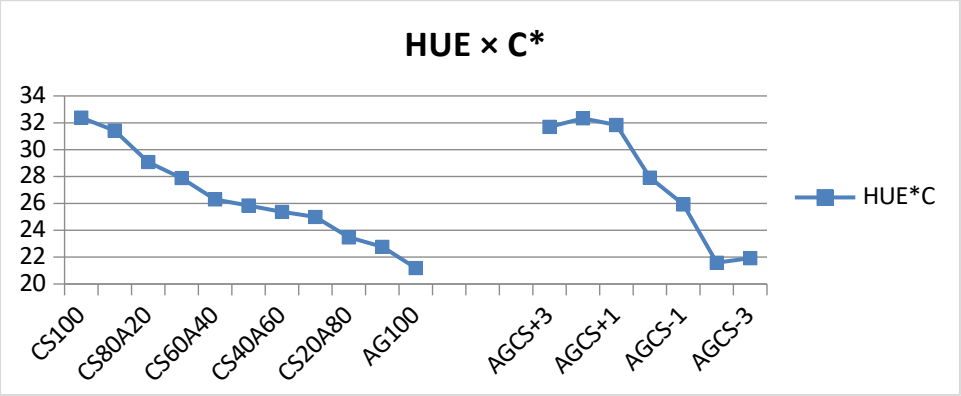
A mintavevő szondát a gabonahalmazba szúrva különböző mélységekből és rétegekből vettünk mintát, ami biztosítja a keveredési zónák vertikális és horizontális vizsgálatát.

A két gabona összefolyási pontját a 0-s számmal jelöltük meg. Majd bal, illetve jobb irányban haladva a 0-s ponttól egyenlő 30 cm távolságra (18.ábra) gabona mintavevő stekkerrel (17. ábra) levettük a további mintákat, és lemértük azoknak beltartalmi értékeiket.

A mintavételezés célja, hogy a spektrofotometriás elemzések alapján meghatározzuk a különböző gabonafajták térbeli eloszlását és az egyes pontokon fennálló keveredési arányokat. Az így gyűjtött minták spektroszkópiai vizsgálata segítségével objektív módon igazolható, hogy a különböző gabonafajták milyen mértékben keveredtek a raktári tárolás során.

Minden egyes levett mintának 10x elvégeztük a színképelemzését. A 10 mérésből átlagot számoltunk. Az adatokat grafikonok segítségével ábrázoltuk.

A standard keverési minták színképelemzése során kapott grafikonokat összehasonlítottuk a raktárban levett minták színképelemzett grafikonjaival. Meg tudtuk állapítani, hogy a raktárban levett minták milyen százalékban tartalmazták az egyik, illetve a másik fajtát.

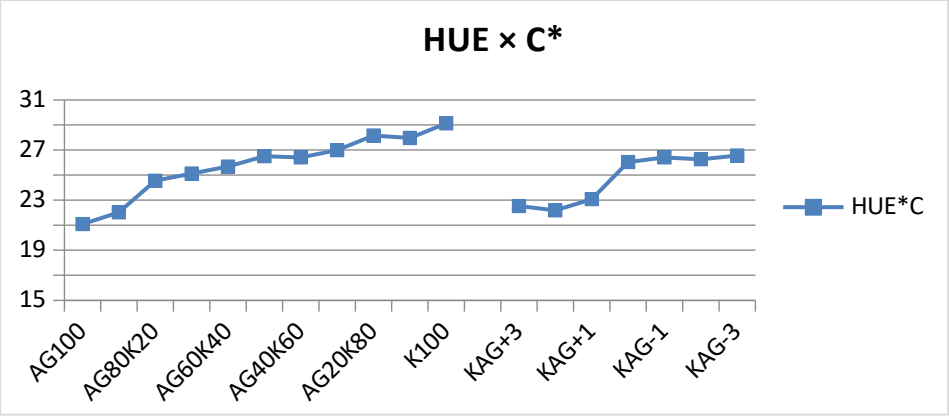


19. ábra: A CS és az AG búza minták keverékei

Az első szakasz CS100 és AG100 különböző arányú keverékeinek spektrális jellemzőit mutatja (*19. ábra*). A keverési arány 10%-os lépésekben változik (pl. CS90AG10, CS80AG20 stb.), és a HUE × C* értékek csökkenő trendet mutatnak a CS100-tól az AG100 felé haladva. Ez a tendencia azt jelzi, hogy a két búzafajta spektrális jellemzői eltérnek, és a változás egyértelműen nyomon követhető a keveredési arány függvényében. Az így kialakított kalibrációs egyenesek lehetőséget biztosítanak arra, hogy egy ismeretlen minta keveredési aránya pontosan meghatározható legyen.

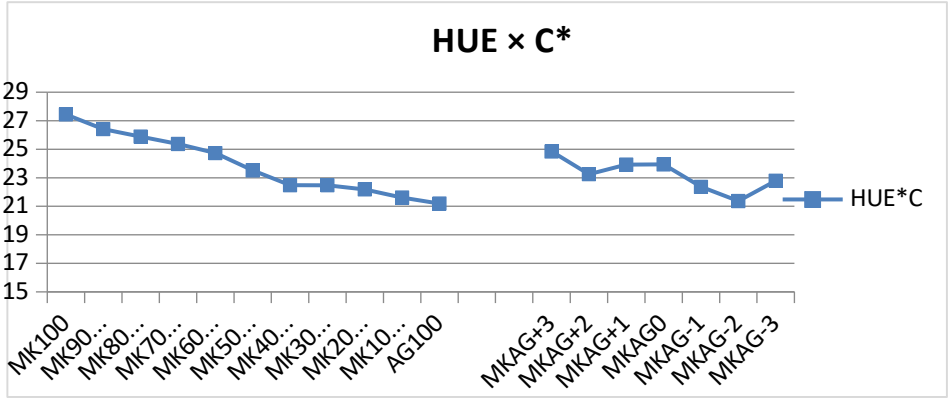
Az *19. ábránál* a Jobb oldali szakasz (Raktári keveredés vizsgálata – AGCS jelölés). A jobb oldali adatok a raktárban lévő búzahalmazok keveredésének spektrális változásait szemléltetik. A AGCS0 a keveredési zónát jelöli, míg AGCS-1, AGCS-2, AGCS-3 az egyik gabonahalmaz felé, AGCS+1, AGCS+2, AGCS+3 pedig a másik irányba történő távolodást mutatja. A grafikon ezen szakasza azt mutatja, hogy a HUE × C* értékek a keveredési zóna közepén jelentősen változnak, majd a halmazok szélein stabilizálódnak. Az adatokból megállapítható, hogy a keveredés hatása egy bizonyos távolságon (kb. 120 cm) belül még kimutatható, azon túl pedig a

gabonahalmazok spektrálisan elkülöníthetők. A trendvonal éles csökkenést mutat a keveredési zónán belül, majd az egyes búzahalmazoknál stabilizálódik, ami azt igazolja, hogy a két búzafajta között egy jól körülhatárolható átmeneti zóna található a raktárban.



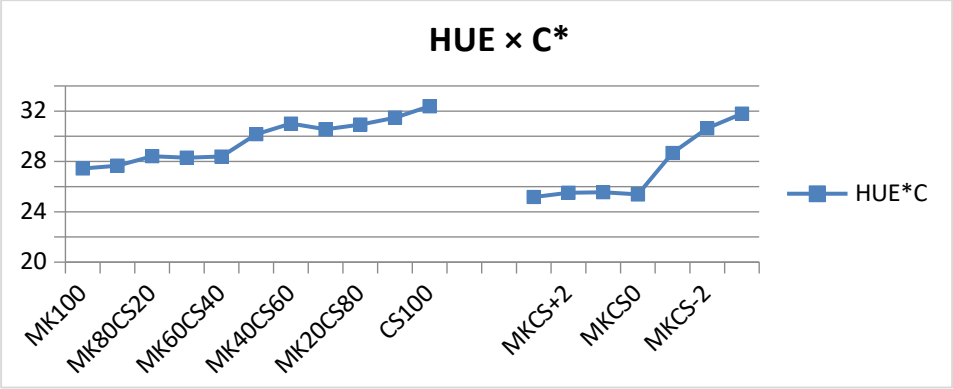
20. ábra: Az AG és a K búza minták keverékei

Az AG és K búzafajták keveredését bemutató *20. ábra* két részből áll. A bal oldali szakaszban a kalibrációs keverékek eredményei láthatók, ahol a HUE × C* értékek egyenletes növekedést mutattak az AG100-tól a K100 felé haladva. Ez a trend jól érzékelteti a két fajta közötti spektrális eltérést, és megerősíti, hogy a kalibrációs görbe segítségével a keverési arányok pontosan meghatározhatók. A jobb oldali szakasz a raktári minták vizsgálatát ábrázolja: a keveredési zónában a görbe érezhető változásokat mutatott, majd a zóna szélein stabilizálódott. Ez arra utal, hogy a keveredés hatása a raktárban jól körülhatárolható, és kb. 120 cm távolság után a gabonahalmazok már homogénnek tekinthetők.



21. ábra: Az MK és az AG búza minták keverékei

A *21. ábra* az MK és AG antociános búzafajták keveredését mutatja. A kalibrációs sorban a HUE × C* értékek enyhe, de következetes csökkenést jeleztek, ami arra utal, hogy a két fajta között csak kismértékű színbeli eltérés áll fenn. Ennek ellenére a keverési arányok laboratóriumi körülmények között még modellezhetők. A raktári adatokban a görbe már sokkal laposabb lefutást mutatott, a változások kevésbé voltak markánsak, így a keveredési zóna határai nehezebben voltak azonosíthatók. Ez arra világít rá, hogy a hasonló színprofilú fajták esetében a színképelemzés korlátozottabb érzékenységgel rendelkezik, és a gyakorlati elkülönítés bonyolultabb.

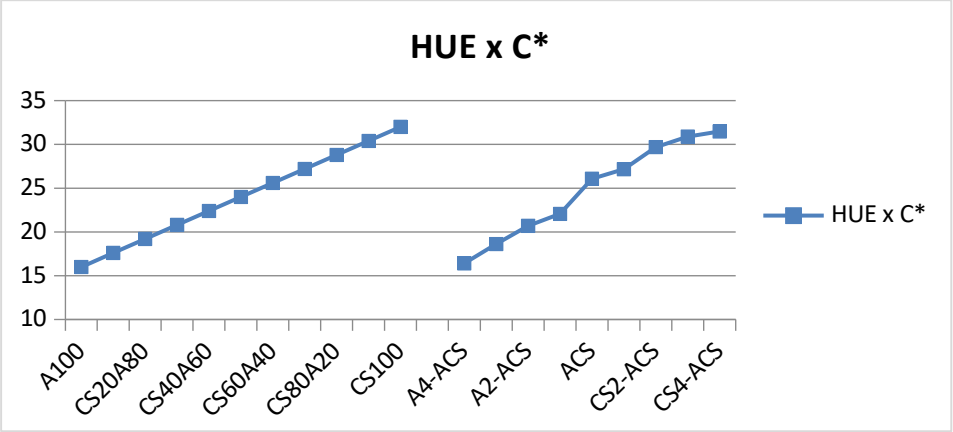


22. ábra: A MK és CS búza minták keverékei

A *22. ábra* a sárga (CS) és az antociános (MK) búzafajta keveredését szemlélteti. A kalibrációs görbe (bal oldali szakasz) egyértelmű növekvő trendet mutatott, ami a két fajta jelentős spektrális különbségét bizonyítja, és lehetővé teszi a keveredési arány pontos visszaszámítását. A raktári adatok (jobb oldali szakasz) egy élesen kirajzolódó keveredési zónát jeleztek: a HUE × C* értékek gyors változása egy jól körülhatárolt átmeneti sáv jelenlétére utal. A görbe stabilizálódása igazolja, hogy kb. 120 cm távolság után a gabonahalmazok spektrálisan homogének és elkülöníthetők. Ez a fajtakombináció jól mutatja, hogy a markáns színbeli eltérések révén a színképelemzés kiválóan alkalmazható a keveredés nyomon követésére és a raktári tételek határainak meghatározására.

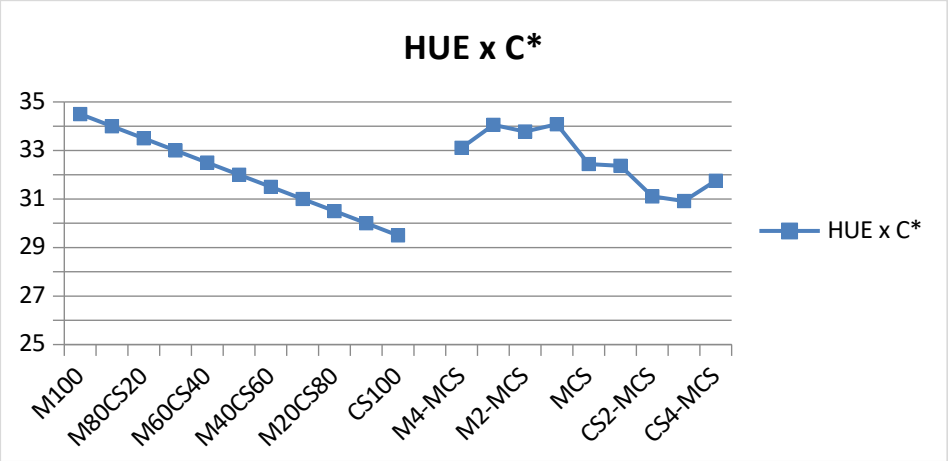
4.2.2. A módszer reprodukálhatóságának vizsgálata eltérő fajtahasználattal

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 színképi szempontból homogénnek tekinthetők.



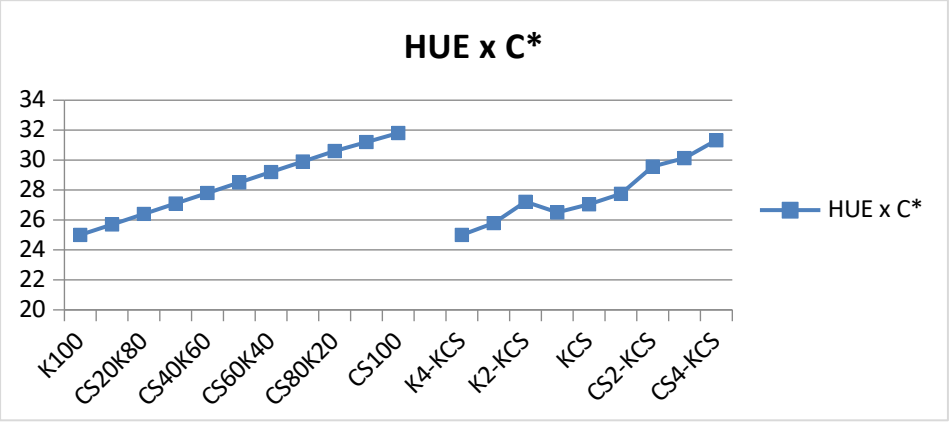
23. ábra: Az A és a CS búza minták keverékei

Az *23. ábra* a sárga (CS) és az antociános (A) búzafajta keveredését mutatja. A kalibrációs sor (bal oldali szakasz) jól követhető, folyamatosan emelkedő trendet ábrázol, amely egyértelműen tükrözi a két fajta jelentős spektrális különbségét. Ez a különbség lehetővé teszi, hogy a keveredési arányok nagy pontossággal meghatározhatók legyenek színképelemzéssel, ami a gyakorlatban a tárolt tételek pontos azonosítását és minőségellenőrzését segíti. A raktári adatok (jobb oldali szakasz) egyértelműen kirajzolódó átmeneti zónát mutatnak: az A dominanciáját jelző mintáktól (A4-ACS, A3-ACS) a CS dominanciáját képviselő mintákig (CS3-ACS, CS4-ACS) fokozatos változás figyelhető meg. A keveredési zóna közelében a HUE × C* értékek gyors változása egy élesen meghatározható határ jelenlétére utal, amely a gyakorlatban kb. 120 cm-en belül érzékelhető. A grafikon tehát igazolja, hogy a két fajta erőteljes színbeli eltérése miatt a keveredés és annak határai jól azonosíthatók.



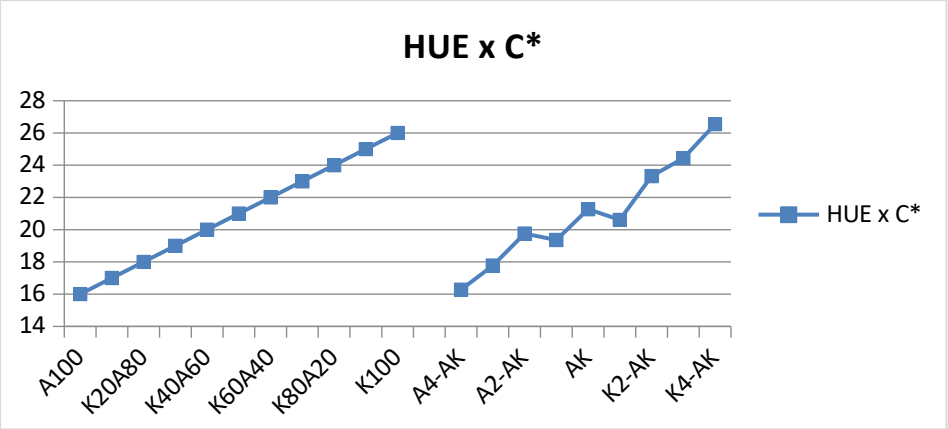
24. ábra: M és a CS búza minták keverékei

A *24. ábra* a két sárga színű búzafajta (M és CS) keveredésének vizsgálatát szemlélteti. A kalibrációs sor eredményei alapján a HUE × C* értékek mérsékelt, de folyamatos csökkenő tendenciát mutattak az M100-tól a CS100 felé haladva. Az eltérések nagyságrendje viszonylag csekély, ami a két fajta közeli spektrális tulajdonságaira utal. Ez azt jelzi, hogy bár a keveredési arányok színképelemzéssel elviekben meghatározhatók, az elkülönítés pontossága korlátozottabb, mint markánsabb színbeli különbségekkel rendelkező fajták esetében. A raktári mérések során kapott görbe lapos lefutása és a keveredési zóna határainak elmosódott jellege szintén a spektrális különbségek csekély voltát támasztja alá. Mindez arra utal, hogy a két búzahalmaz elkülönítése gyakorlati környezetben nehezített, és a keveredés térbeli kiterjedése csak jelentősebb bizonytalanság mellett határozható meg.



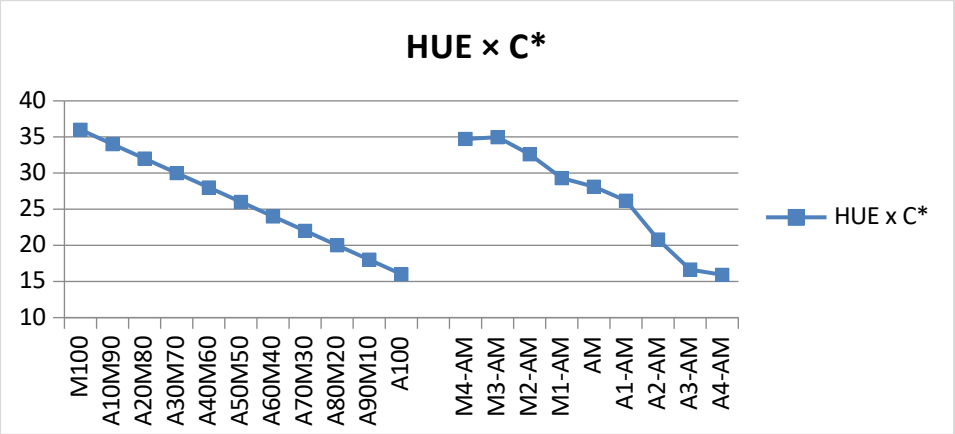
25. ábra: A K és a CS búza minták keverékei

A *25. ábra* a hagyományos színű őszi búza (K) és a sárga színű búza (CS) keveredését szemlélteti. A kalibrációs sorban a HUE × C* értékek egyértelműen növekvő tendenciát mutattak a K100-tól a CS100 felé haladva, ami a kétfajta markáns spektrális különbségét igazolja. Ez a folyamatos és jól követhető változás lehetővé teszi a keveredési arányok pontos meghatározását, illetve az ismeretlen minták összetételének visszakövetkeztetését, ami raktározási és minőségellenőrzési szempontból kiemelt jelentőséggel bír. A raktári vizsgálatok során kapott adatok szintén jól körül határolható átmeneti zónát jeleztek. A HUE × C* értékek gyors változása a keveredési határ térbeli lokalizálhatóságát támasztja alá. A görbe stabilizálódása azt mutatja, hogy kb. 120 cm távolság után a gabonahalmazok spektrálisan homogének és egyértelműen elkülöníthetők.



26. ábra: Az A és a K búza minták keverékei

A *26. ábra* a hagyományos színű őszi búza (K) és az antociános búza (A) keveredésének vizsgálatát szemlélteti. A kalibrációs sorban a HUE × C* értékek egyértelmű, lineárisan emelkedő tendenciát mutattak az A100-tól a K100 felé haladva, amely a kétfajta markáns spektrális különbségét támasztja alá. Ez a tendencia megerősíti, hogy a színképelemzés pontosan alkalmazható a keveredési arányok meghatározására, így az ismeretlen minták összetétele megbízhatóan visszakövetkeztethető. A raktári adatok szintén jól kirajzolódó átmeneti zónát jeleztek: az A dominanciájától (A4–A1) a K dominanciája felé (K1–K4) fokozatos változás figyelhető meg. A HUE × C* értékek gyors változása a keveredési zónában egy élesen meghatározható határ meglétére utal, amely a gyakorlatban kb. 120 cm-en belül érzékelhető. A görbe végső stabilizálódása igazolja, hogy ezen a távolságon túl a gabonahalmazok spektrálisan homogének és egyértelműen elkülöníthetők.



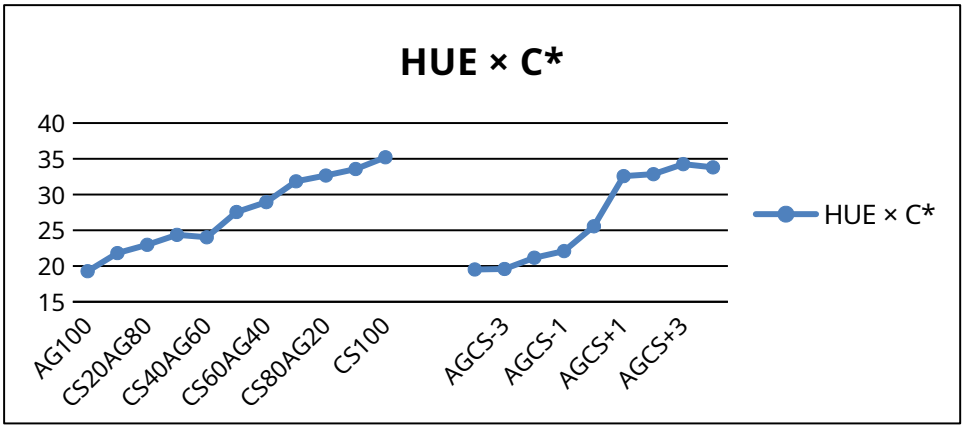
27. ábra Az M és az A búza minták keverékei

A *27. ábra* a sárga búza (M) és az antociános búza (A) keveredésének vizsgálatát mutatja. A kalibrációs sorban a HUE × C* értékek folyamatos, jól követhető csökkenést jeleztek az M100-tól az A100 felé, ami a kétfajta markáns spektrális eltérését igazolja. Ez lehetővé teszi a keveredési arány pontos meghatározását, valamint ismeretlen minták összetételének visszakövetkeztetését. A raktári adatokban egyértelműen kirajzolódó átmeneti zóna volt azonosítható: az M dominanciájától (M4–M1) az A dominanciája felé (A1–A4) a HUE × C* értékek éles változást mutattak. A keveredési határ így jól lokalizálható, míg a görbe stabilizálódása jelzi, hogy kb. 90–120 cm távolságon túl a két gabonahalmaz spektrálisan homogénnek tekinthető.

4.2.3. A kalibrációs és mintaelemzési módszer konzisztenciájának megerősítése

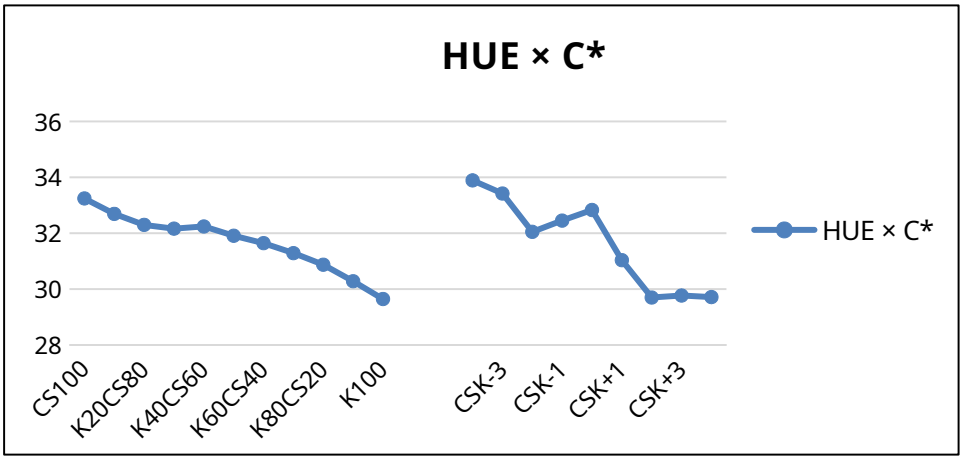
A 2023-as évben a 2021 évhez hasonlóan szintén négy eltérő színárnyalatú búzafajta (K, MK, AG, CS) került ismételt vizsgálatra, azonos elrendezésben. A mintavételi és mérési eljárás nem változott: minden minta esetében tíz spektrális mérést végeztünk, majd

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.



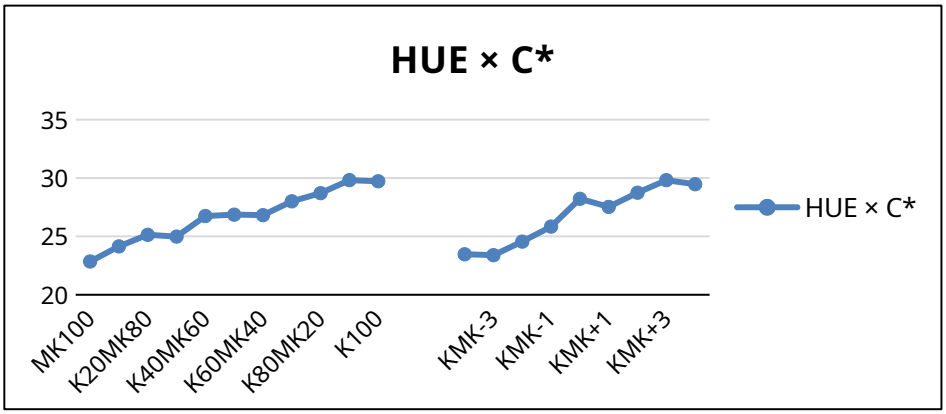
28. ábra: Az AG és a CS búza minták keverékei

A 2023-as évben a *28. ábra* AG–CS keverék vizsgálat során a kalibrációs sorban a HUE × C értékek folyamatosan növekedtek az AG100-tól a CS100 irányába, ami a két fajta jelentős spektrális eltérését és a keveredési arányok pontos visszakövetkeztethetőségét igazolja. A raktári mérésekben a keveredési zóna közvetlen környezetében kezdetben csak mérsékelt változás volt tapasztalható, majd egy hirtelen értéknövekedés jelezte a keveredési határ éles kirajzolódását. A görbe ezt követő stabilizálódása alapján megállapítható, hogy a két búzahalmaz kb. 120 cm távolságon túl spektrálisan jól elkülöníthető.



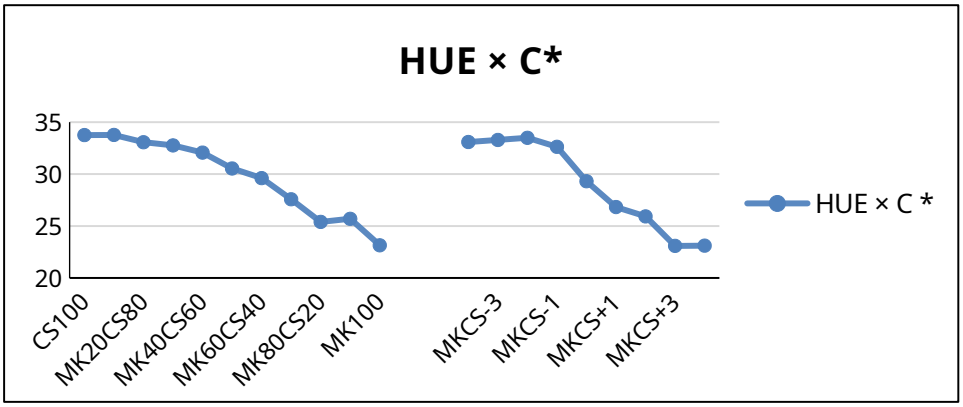
29. ábra: A CS és a K búza minták keverékei

A *29. ábra* a bal oldali kalibrációs sorban a HUE × C* értékek fokozatos csökkenést mutattak a CS100-tól a K100 irányába, ami a két fajta közötti spektrális eltérésre utal. Ez a tendencia megerősíti, hogy a színképelemzés alkalmas az ismeretlen keverékek arányainak visszakövetkeztetésére. A raktári minták (CSK sorozat) esetében a keveredési zónában a görbe meredek csökkenést jelzett, majd stabilizálódott, ami a határvonal egyértelmű kirajzolódását mutatja. A vizsgálatok szerint a keveredés kb. 120 cm távolságig volt kimutatható, azon túl a két gabonahalmaz spektrálisan elkülönült.



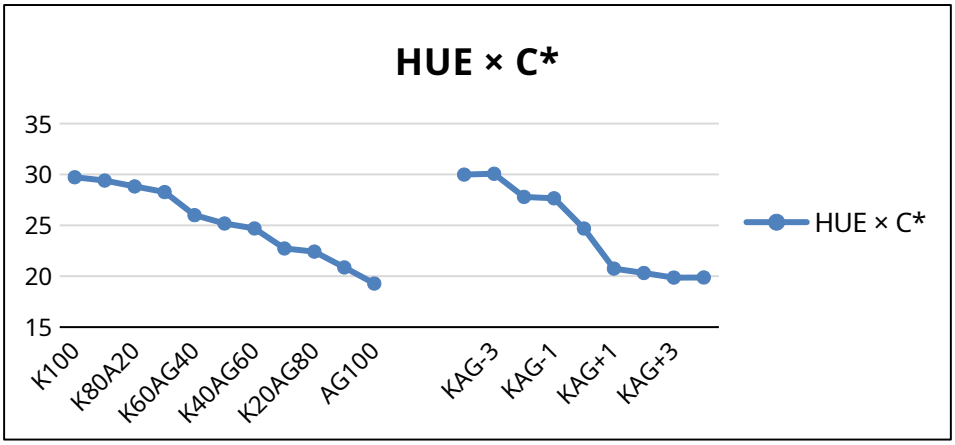
30. ábra: A CS és az MK búza minták keverékei

A *30. ábra* a bal oldali kalibrációs sornál a HUE × C* értékek folyamatosan csökkentek a CS100-tól az MK100 felé, ami a kétfajta markáns spektrális eltérését jelzi. Ez lehetővé teszi a keverési arányok pontos visszakövetkeztetését. A raktári mintákban (MKCS sorozat) a keveredési zónában éles értékcsökkenés volt megfigyelhető, majd a görbe stabilizálódott. Ez arra utal, hogy a két gabonahalmaz kb. 120 cm távolság után spektrálisan egyértelműen elkülönül.



31. ábra: Az MK és a K búza minták keverékei

A 31. *ábránál* a kalibrációs sor (bal oldali szakasz) egyértelműen növekvő trendet mutatott a HUE × C* értékekben az MK100-tól a K100 irányába, ami azt jelzi, hogy a kétfajta spektrális jellemzői jól elkülönülnek. Ez lehetővé teszi a keverési arányok pontos meghatározását színképelemzés alapján. A raktári adatok (KMK sorozat) vizsgálata során szintén jól kirajzolódott a keveredési zóna: a HUE × C* értékek a központi tartományban alacsonyabbak voltak, majd fokozatosan közelítettek a tiszta fajták spektrális értékeihez. Ez arra utal, hogy a keveredés térben jól követhető, és kb. 120 cm távolságon túl a két gabonahalmaz spektrálisan homogénként, élesen elkülönülve jelent meg. A hagyományos (K) és az antociános (MK) búzafajták spektrális tulajdonságai markánsan eltérnek, így a standard és raktári mérések alapján a keveredési határok pontosan kijelölhet



32. ábra: A K és az AG búza minták keverékei

A *32. ábránál* a HUE × C* értékek vizsgálata egyértelműen csökkenő tendenciát mutatott a K100-tól az AG100 irányába, ami a két búzafajta optikai tulajdonságainak markáns eltérését igazolja. A raktári mérések (jobb oldali szakasz, KAG sorozat) ezzel összhangban azt

mutatták, hogy a keveredés térben korlátozott: a keveredési zónában a HUE × C* értékek meredek esése egy jól körül határolt átmeneti tartomány jelenlétére utal, míg a görbe ellaposodása és stabilizálódása jelzi a két gabonahalmaz egyértelmű elkülönülését. A kb. 120 cm-en túl már nem észlelhető keveredés arra utal, hogy a tárolási folyamatok során a fajták szeparáltsága tartósan fenntartható.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Kutatásunk célja annak vizsgálata volt, hogy különböző búzafajták keveredési arányát milyen pontossággal lehet meghatározni spektrofotometriás módszerekkel. Az elmúlt három év kutatási eredményei megbízható és statisztikailag megalapozott adatokkal szolgáltak az egyes őszi búzafajták keveredési arányairól, lehetővé téve a keveredések kvantitatív elemzését és térbeli eloszlásuk pontos leírását.

Eredményeink igazolták, hogy a különböző színű búzafajták keveredése nem véletlenszerű folyamat, hanem szignifikáns tér el attól függően, hogy milyen típusú gabonatételek kerültek összeöntésre. A négy eltérő színű búza keveredési mintázata egyértelmű spektrális különbségeket mutatott, amelyeket spektrofotometriás mérésekkel pontosan nyomon lehetett követni. Az egyes keverékek spektrofotometriás analízise során meghatároztuk a kalibrációs egyenesek paramétereit, amelyek lehetővé teszik a különböző keveredési arányok meghatározását egy adott mintában.

A kutatás során kapott spektrális adatok alapján grafikonokon ábrázoltuk az egyes keverékek színképi tulajdonságait, amelyek segítséget nyújtanak a raktári tárolás során végbemenő keveredések modellezésében és lokalizációjában. Ezek az eredmények alapot teremtenek az üzemi méretű gabonatételek spektrofotometriás úton történő azonosításához és elkülönítéséhez, ami hozzájárul a tárolási és kitárolási folyamatok optimalizálásához, valamint csökkenti a minőségi veszteségeket.

A kutatás eredményei közvetlenül hozzájárulhatnak az élelmiszer-biztonság javításához, különösen az Európai Unió által meghatározott nyomon követhetőségi követelmények betartása szempontjából. Az

élelmiszerlánc biztonságának egyik alapvető feltétele, hogy a teljes ellátási folyamat során pontosan nyomon követhető legyen az élelmiszer útja, a termőföldtől egészen a fogyasztó asztaláig.

A spektrofotometriás módszer alkalmazásával lehetővé válik az egyes betárolt gabonatételek spektrális jellemzők alapján történő azonosítása, amely révén a raktárban végbemenő keveredési folyamatok visszakövethetők és térben lokalizálhatók. Ezáltal nemcsak az egyes búzafajták elkülöníthetősége válik pontosabbá, hanem a termelőtől a fogyasztóig terjedő nyomon követhetőségi lánc is megbízhatóbbá válik.

Az Európai Unió szigorú szabályozásai és jogszabályi előírásai egyértelműen rögzítik az élelmiszerbiztonsági, higiéniai és nyomon követhetőségi követelményeket, amelyeket minden élelmiszeripari szereplőnek maradéktalanul be kell tartania. A spektrofotometriás módszer alkalmazása innovatív és tudományosan megalapozott lehetőséget kínál a gabonatételek eredetének és minőségének ellenőrzésére, ami hosszú távon hozzájárulhat a fogyasztók bizalmának növeléséhez és az élelmiszerellátási lánc átláthatóbbá tételéhez.

Az élelmiszeripari nyomon követhetőség kulcsfontosságú eleme a fenntartható és biztonságos élelmiszer-ellátásnak. Ennek megfelelően elengedhetetlen, hogy a spektrofotometriás analízis eredményeit a gyakorlatban is alkalmazzuk, ezzel biztosítva a gabonatételek hatékony elkülönítését és az élelmiszerek eredetének ellenőrizhetőségét. Az előírások szigorú betartása nemcsak a jogszabályi megfelelést garantálja, hanem hozzájárul a fogyasztók egészségének védelméhez és az élelmiszerlánc biztonságának növeléséhez is. Ez az elemzés megerősíti, hogy a színképelemzés alkalmazható a gabonahalmazok spektrális jellemzőinek és keveredési határainak precíz meghatározására, amely

gyakorlati jelentőséggel bír a raktározási és minőségbiztosítási folyamatok során.

Az antociános és sárga búzafajták keveredésének vizsgálata során megállapítást nyert, hogy a spektrális eltérések nagymértékben befolyásolják a keveredési arányok detektálhatóságát. Az antociános és sárga búzafajták esetében a színképelemzés kiváló elkülöníthetőséget biztosít, mivel a kétfajta spektrális különbségei jelentősek. Ennek köszönhetően a raktári keveredési zónák jól meghatározhatók, és a keveredési határok élesen kirajzolódnak. Ez lehetővé teszi a célzott szeparáció alkalmazását, amely jelentősen csökkenti a kitárolási veszteségeket és javítja a minőségbiztosítási folyamatokat.

Ezzel szemben, amikor két antociános vagy két sárga búzafajta keveredik, a spektrális eltérések minimálisak, ami nagymértékben megnehezíti a keveredési zónák pontos detektálását. A raktári keveredési határok bizonytalanabbá válnak, mivel a hasonló spektrális jellemzőkkel rendelkező búzafajták közötti különbségek a színképelemzés módszertani érzékenységén belül maradhatnak. Ebben az esetben további analitikai finomhangolásra van szükség, például a specifikus hullámhosszok kiválasztására vagy kiegészítő analitikai technikák alkalmazására a pontosabb elkülönítés érdekében.

A vizsgálatok eredményei igazolják, hogy a színképelemzés hatékony eszköz a különböző búzafajták keveredésének vizsgálatára, különösen eltérő színű gabonafajták esetén. A módszer alkalmazása lehetővé teszi a keveredési határok precíz meghatározását és a raktári keveredési folyamatok nyomon követését. Az eredmények alátámasztják, hogy a színképelemzés kulcsszerepet tölthet be a gabonatételek minőségi

osztályozásában és szelekciójában, amely hozzájárul a tárolási és logisztikai folyamatok hatékonyságának növeléséhez.

A keveredési határok pontos meghatározása különösen fontos a homogén gabonatételek kialakítása és az eredetellenőrzés szempontjából. Az olyan esetekben, amikor a spektrális különbségek minimálisak, szükséges lehet egyedi mérési stratégiák kidolgozása, például célzott hullámhosszintervallumok alkalmazása vagy más optikai és kémiai analitikai módszerek kombinációja a pontosabb azonosítás érdekében.

A kutatás eredményei azt mutatják, hogy a színképelemzés megbízhatóan alkalmazható a gabonatételek eredetének és keveredési mintázatának meghatározására, amely kulcsfontosságú lehet a minőségbiztosítás és az agrárlogisztikai döntéshozatal szempontjából. A módszer elősegítheti a fenntartható és hatékony tárolási stratégiák kidolgozását, csökkentve a keveredési veszteségeket és javítva az élelmiszerlánc nyomon követhetőségét.

Összegzésként elmondható, hogy a színképelemzés különösen jól alkalmazható a heterogén spektrális tulajdonságokkal rendelkező búzafajták esetén, míg az egymáshoz közel álló spektrális profilú fajták esetében a módszer érzékenységi határai kihívást jelenthetnek. Ennek megfelelően az analitikai stratégiák finomhangolása és a kiegészítő vizsgálati módszerek integrálása elengedhetetlen lehet a pontos eredmények elérése érdekében.

6. TÉZISEK

1. Bizonyítottam, hogy az általam vizsgált búzaminták kétkomponensű keverékeinek HUE x C* színjellemzője a keverési arány függvényében lineáris regressziós modellel írható le. A modell illeszkedése a vizsgált keverékpárok esetében R^2 = 0,81–0,98, míg a hasonló színjellemzőjű fajták kivételével R^2 = 0,90–0,98 tartományban alakult.
2. Igazoltam, hogy a HUEx C* 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 HUE x C*-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 robosztussága tovább növelhető, ami a gyakorlati alkalmazhatóságot jelentősen javítja.

7. A GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Kutatásaim során megállapítottam, hogy az elsődlegesen meghatározott kalibrációs egyenesek alkalmazásával pontosan meghatározható a raktárban leöntött őszi búza tételek közötti határvonal, ahol a gabonafajták keveredése már nem figyelhető meg.
2. Vizsgálataim eredményei alapján igazolható, hogy a raktárban elhelyezett búzatételek esetében a keveredés legnagyobb mértékben a leöntési pontok közelében figyelhető meg, azonban 120 cm távolságban a gabonafajták már elkülönülten helyezkednek el, és a keveredés megszűnik.
3. A kísérletek során kimutattam, hogy a két eltérő búzatétel összefolyási pontjától egyforma távolságra, mindkét irányban 30 cm-es léptékben vett minták segítségével számszerűsíthető a gabonahalmazok közötti keveredés mértéke.
4. Az elmúlt három év során végzett kutatásaim statisztikailag megalapozott és megbízható adatokat szolgáltattak az egyes őszi búzatételek keveredésének pontos arányairól. Az eredmények egyértelműen igazolták, hogy a négy eltérő színű búza keveredése nem véletlenszerű folyamat, hanem meghatározott fizikai és áramlástani törvényszerűségek mentén zajlik. A vizsgálatok során szignifikáns különbségeket mutattam ki az egyes keverékek között, ami alapot adhat a jövőbeli gabonatárolási és szeparációs technológiák optimalizálására.

5. A kutatás során nyert eredmények gyakorlati alkalmazhatósága kiterjed a *Fusarium*-fertőzött gabonatételek térbeli elkülönítésére is. Ennek különös jelentősége van a költséghatékonyság szempontjából, mivel a fertőzött tételek pontos lokalizálásával elkerülhető a teljes raktárkészlet *Fusarium*-fertőzöttként való minősítése. Ezáltal a célzott kitárolás révén minimalizálhatóak a veszteségek, hozzájárulva a raktározási és logisztikai folyamatok hatékonyabb menedzseléséhez.
6. A kutatás során sikerült integrálni a színképelemzési adatokat a NOC logisztikai rendszerbe, amely lehetővé teszi a gabonafélék pontos nyomon követését. A módszertan további finomítása és a kalibrációs egyenesek optimalizálása hozzájárulhat a még pontosabb minőségellenőrzéshez és az agrár-élelmiszeripari ellátási lánc hatékonyságának növeléséhez.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A gabonaalapú élelmiszerlánc sajátosságai – különösen az ömlesztett anyagkezelés, a nagy tömegek mozgatása és a tételek fizikai keveredése – hosszú időn keresztül korlátozták a nyomon követhetőség gyakorlati megvalósítását. Miközben az európai uniós szabályozási környezet egyre pontosabb és szigorúbb elvárásokat fogalmaz meg az élelmiszer-biztonság és az átláthatóság terén, a gabonafélék esetében továbbra is hiányoznak azok az objektív, mérésalapú módszerek, amelyek a post-harvest műveletek során is alkalmazhatók lennének.

A disszertáció ezen a problémakörön belül a gabonák szemcsés halmazként való értelmezéséből indul ki, és azt vizsgálja, hogy a fizikai és optikai tulajdonságok miként használhatók fel paraméterként a tárolási és feldolgozási folyamatok során. A dolgozat nem csupán egy-egy mérési módszer bemutatására törekszik, hanem arra, hogy a gabonatárolás és -kezelés gyakorlati környezetében értelmezhető összefüggéseket tárjon fel a tételek elkülöníthetősége, keveredése és azonosíthatósága között.

A bemutatott vizsgálatok alapját több őszi búzafajta képezte, amelyek eltérő színjellemzőik révén alkalmasak voltak az optikai különbségek elemzésére. A színparaméterek CIELAB rendszerben történő meghatározása lehetőséget adott arra, hogy a gabonaszemek vizuálisan nem érzékelhető eltérései számszerű formában is értelmezhetők legyenek. A mérések során kirajzolódott, hogy a színjellemzők nem csupán fajták között mutatnak különbségeket, hanem a keveredési folyamat előrehaladtával is jól leírható módon változnak.

A síkraktári környezetben végzett vizsgálatok rámutattak arra, hogy az összeöntött gabonahalmazok szerkezete nem homogén: az összefolyási zónák jól körül határolható térbeli tartományt alkotnak, amelyeken kívül a halmazok hosszabb távon is megőrzik eredeti jellegüket. Ez a megfigyelés nemcsak fizikai értelemben jelentős, hanem a tételszintű nyomon követhetőség szempontjából is új értelmezési keretet ad az ömlesztett tárolás gyakorlatához.

A laboratóriumi körülmények között kialakított keverési sorozatok elemzése során a színparaméterek és a keverési arányok közötti kapcsolat számszerűsíthetővé vált. Az alkalmazott kalibrációs megközelítések alapján a keveredés mértéke nem csupán kvalitatív módon, hanem kvantitatív formában is értelmezhetővé vált. Ez a megközelítés lehetőséget teremt arra, hogy a gabonahalmazok állapotát ne kizárólag vizuális benyomások, hanem objektív mérési adatok alapján ítéljük meg.

A dolgozat egyik lényeges következtetése, hogy a gabonák nyomon követhetősége nem kizárólag informatikai vagy adminisztratív kérdésként kezelhető, hanem szoros összefüggésben áll az anyag fizikai viselkedésével és mérhető tulajdonságaival. A kitárolási folyamat során megfigyelt áramlási viszonyok azt mutatják, hogy megfelelő mérési és értelmezési keret mellett a tételek eredete visszakövethető, és a tárolási pozíciókhoz rendelhető.

Összességében a disszertáció olyan szemléletmódot képvisel, amely a gabonák post-harvest nyomon követését nem elszigetelt technikai megoldásként, hanem komplex rendszerként értelmezi. A színképelemzésen alapuló módszertan alkalmazható eszközt kínál a keveredési folyamatok értelmezésére, miközben hozzájárul a gabonatárolás és -feldolgozás gyakorlatának fejlesztéséhez. Az

eredmények egyaránt relevánsak a tudományos kutatás és az ipari alkalmazás szempontjából, és alapot szolgáltathatnak a jövőbeni, digitális nyomon követési rendszerek integrált megközelítéseihez.

9. IRODALOMJEGYZÉK

9.1. Nyomtatott irodalom jegyzéke

1. **Abdel-Aal, E. - S.M., - Hucl, P. (1999):** A Rapid Method for Quantifying Total Anthocyanins in Blue Aleurone and Purple Pericarp Wheats. Cereal Chemistry, 76: 350-354. https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.3.350
2. **Abdel-Aal, E. - S.M., - Hucl, P. (2003):** Composition and stability of anthocyanins in blue-grained wheat. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Volume 51, Issue 8, 9 April 2003, Pages 2174-2180.
3. **Abramson, D. (1998):** Mycotoxin formation and environmental factors. 255-278. In: Sinha K. K. and Bhatnagar, D. (Eds.) Mycotoxins in agriculture and food safety. Marcel Dekker Inc. New York. 511.
4. **Ágoston, T – Pepó, P. (2005):** Őszibúza-fajták termőképességének és termésstabilitásának vizsgálata a Hajdúságban. Növénytermelés. Tom 54., No. 4. p 307-316.
5. **Antal, J (1999):** Tápanyag-gazdálkodás. szerk. Füleky György. Mezőgazda Kiadó Budapest. p.308.
6. **Antal, J (2000):** Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
7. **Balla, L. – Bedő, Z. – Láng, L. (1993):** A búza minősége. Gabonaipar, XL, (4) 1-2.
8. **Balla, L (2001):** Wheat production in Hungary (Past, present and future). Hungarian Agricultural Research. Vol. 10., No. 1., March 2001, p.11-15.
9. **Barabás, Z. (Szerk.) (1987):** A búzatermesztés kézikönyve, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. p. 7-537.

10. **Bart, Á – et.al (2018):** Magyarországi útmutató az élelmiszerek nyomon követésére vonatkozó előírások betartásához. Termék- és információáramlás. Földművelésügyi Minisztérium, a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal és a GS1 Magyarország Nonprofit Zrt. Budapest.
11. **Basa, Gy. (1998):** A malátagyártás minőségi követelményei. Gyakorlati Agrofórum, 9 (3): 48-51 pp.
12. **Bedő, Z. – Láng, Gy. – Vida, Gy. – Juhász, A. – Kassai, I. (1998):** Újabb törekvések a búza minőségének javítására. Molnárok Lapja, 104 (2) p. 3-7.
13. **Bedő, Z. – Láng, L. – Vida, Gy. – Juhász, A. – Karsai, I. (1997):** A minőségi tulajdonságok felértékelődése a búzanemesítésben. Agro-21 Füzetek, 23: 19-30. p.
14. **Bellus, Z. – Komka, Gy. (2017):** Szemes termények minőségmegóvásának lehetőségei. Mezőgazdasági Technika, 2017, (2).
15. **Berek, L. – Perti, I. B. – Mesterházy, Á. – Téren, J. – Molnár, J. (2001):** Effect of mycotoxins on human immune functions in vitro. Toxicology in vitro (15) 25-30.
16. **Berman, M. – Connor, P. – Whitbourn, L. – Coward, D. – Osborne, B. – Southan, M. (2007):** Classification of sound and stained wheat grains using visible and near infrared hyperspectral image analysis. J. Near Infrared Spectrosc., 15 (6) pp. 351-358
17. **Berzsenyi, Z. – Győrffy, B. – Dang, Q. L. (2000):** Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. European Journal of Agronomy, 13 (2-3) p. 225-244.

18. **Bocz, E – Késmárki, I – Ruzsányi, L. – Kováts, A. – Szabó, M. (1992):** Szántóföldi növénytermesztés. Budapest. Mezőgazda Kiadó. p.887
19. **Bocz, E. (1996):** Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda kiadó. 212-282, 362-422.
20. **Bokori, J. – Gundel, J. – Herold, I. – Kakuk, T.- Kovács, G. - Mózes M. – Schmidt, J. – Szigeti, G. – Vincze, L. (2003):** A takarmányozás alapjai, Mezőgazda Kiadó, Budapest.
21. **Borsos, J. – Pusztai, P. – Radics, L. – Szemán, N L. – Tomposné, L. V. (1994):** Búza. 40-55. p. In: Radics L. (Szerk.): Szántóföldi növénytermesztés. Egyetemi jegyzet. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Kertészeti Kar, Budapest. p. 220.
22. **Brancourt –Hulmel, M. – Lecomte, C. (1994):** Breeding and yield stability of winter wheat. Agronomie. 14:9, p. 611-625.
23. **Bushuk, W. (1998):** Wheat breeding for end-product use. Euphytica. 100, p.137-145. Bushuk. W. Interactions: The Keys to Cereal Quality, 1st ed. Hamer, R.J. and Honesey, R.C. Eds. American Association of Cereal Chemistry: St. Paul. Mn. 1998. Chapter 2.
24. **Cesa, S. - Carradori, S. - Bellagamba, G. - Locatelli, M. - Casadei, M. A. - Masci, A. - Paolicelli, P. (2017):** Evaluation of processing effects on anthocyanin content and colour modifications of blueberry (Vaccinium spp.) extracts: Comparison between HPLC-DAD and CIELAB analyses. Food Chemistry, 232, 114-123. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.153
25. **Chen, J. - Yang, C. - Yuan, C. et al. (2022):** Moisture content monitoring in withering leaves during black tea processing based on

electronic eye and near infrared spectroscopy. Sci Rep 12, 20721 (2022). https://doi.org/10.1038/s41598-022-25112-6.

26. **Conesa, A. - Manera, F.C. - Brotons, J.M. - Fernandez-Zapata J.C. - Simón, I., Simón-Grao, S. - Alfosea-Simón, M. - Martínez Nicolás, J.J. - Valverde, J.M. - García-Sanchez, F. (2019):** Changes in the content of chlorophylls and carotenoids in the rind of Fino 49 lemons during maturation and their relationship with parameters from the CIELAB color space. Scientia Horticulturae. Volume 243. Pages 252-260. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.030
27. **Crokk, M.J. – Ennos, A.R. (1994):** Stem and root characteristics associated with lodging resistance in four winter wheat cultivars. The Journal of Agricultural Science 123. 2. p.67-174.
28. **Crokk, M.J. – Ennos, A.R. (1995):** The effect of nitrogen and growth regulators on stem and root characteristics associated with lodging in two cultivars of winter wheat. Journal of Experimental Botany. 46. 8. p.931-938.
29. **Csajbók, J. (2017):** Őstermelő Gazdálkodók Lapja. A hazai búzatermesztés fontosabb gazdálkodási jellemzői. Őstermelő, Gazdálkodók lapja, Búzatermesztés XXI. Évfolyam, (5) 51.
30. **Csajbók, J. (2012):** Szántóföldi növények termesztése és növényvédelme. Jegyzet, a növénytermesztő és növényvédő technológus FSZ szak számára. Egyetemi jegyzet, Debreceni Egyetem. Debrecen.
31. **Csajbók, J (2004):** A Növénytermesztési tér vízgazdálkodása. Debreceni Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar. Mezőgazdasági vízgazdálkodási szakirányú továbbképzés jegyzet Gödöllő

32. **Cselényi, J. – Illés, B. –Bányai, T. Á. –Bányai, T. –Kovács, L. – Mang, B. –Németh, J. (2009):** Logisztikai rendszerek I. Miskolci Egyetemi Kiadó.
33. **Csima, F. – Szerb, A. B. (2016):** A magyar gabonaexport szállítmányozás trendjei. Kaposvári Egyetem Gazdaságtudományi Kar. Kaposvár.
34. **Cziklin, M. (2014):** Szemes termények védelme raktári kártevők ellen. Agronapló Szakfolyóirat. https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2005/6-7/novenyvedelem/szemes-termenyek-vedelme-raktari-kartevok-ellen
35. **D'Mello, J.P.F. – Macdonald, A.M.C. (1997):** Mycotoxins. Animal Feed Science Technology, (69) 155-166.
36. **Daftary. R. D, - Pomeranz, Y. - Sauer, D. B. (1970):** Changes in wheat flour damaged by mold during storage. Effects on lipids, lipoprotein, and protein. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 18(4), 613–616. https://doi.org/10.1021/jf60170a022
37. **Dankó L. (2009):** Marketing Logisztika. Pro Marketing Miskolc Egyesület. Miskolc. 34-35, 211-340.
38. **De Lucia, M. – Assennato, D. (1994):** Agricultural engineering in development, post-harvest operations and management of foodgrains. FAO Agricultural Services Bulletin No. 93, http://www.fao.org/docrep/t0522e/T0522E00.htm#Contents (2021.04.15).
39. **Debreczeni, B. (1971):** A bezosztaja 1 őszi búza víz- és tápanyagfelvétele. Búzatermesztési kísérletek. 1960-1970. Akadémiai Kiadó. Budapest. p. 49-56.

40. **Debreczeni, B. (1991):** Agrokémiai gyakorlatok. Pannon Agrártudományi Egyetem. Jegyzet. p.195.
41. **Déri, A. –Némon, Z. – Essösy, Zs – Karmazin, Gy – Kőhegyi, A. (2009):** Logisztika az Európai Unióban és Magyarországon. A Magyar Kereskedelmi és Iparkamara kiadvány, Kamara Print Kft. p 16.
42. **Dömötörfi, Á. (2013):** Paradigmaváltás a logisztikában. Innovációs és fenntartható felszíni közlekedés. IFFK 2013. augusztus 28-30. Budapest.
43. **Duchemin, B. – Hadria, R. – Er-Raki, S. – Boulet, G. – Maisongrande, P. – Chehbouni, A. – Escadafal, R. – Ezzahar, J.– Hoedjes, J.C.B. – Kharrou, M.H. – Khabba, S. – Mougenot, B. – Olioso, A. – Rodriguez, J.C. – Simonneaux, V. (2006):** Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: on the use of relationship between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices. Agric. Water Managment 79. 1-6.
44. **Dulácska, E – Bódi, I. (2018):** A vasbeton silók repedései és egyéb problémái. Vasbetonépítés. 2018, (2).
45. **Ebrahim, E. – Kaveh, M. – Sirwan, B. (2014):** Toward an automatic wheat purity measuring device: A machine vision-based neural networks-assisted imperialist competitive algorithm approach. Measurement,Volume 55. Pages 196-205. ISSN 0263-2241.
46. **El-Sayed, M. - Abdel-Aal, J. – Christopher, Y., - Iwona, R. (2006):** Anthocyanin Composition in Black, Blue, Pink, Purple, and Red Cereal Grains. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2006 54 (13), 4696-4704, DOI: 10.1021/jf0606609

47. **Eőry, T. – Köves, G. (2017):** A szállítmányozási, raktározási, anyagmozgatási munkafolyamatok főbb veszélyforrásai. A munkahelyi egészség és biztonság fejlesztése a nagykereskedelmi ágazatban. Kereskedelmi Alkalmazottak Szakszervezete. Budapest.
48. **Erdei, P. – Szániel, I. (1975):** A minőségi búza termesztése. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest. p 36-60.
49. **Ewart, J. A. D. (1972):** ICC 7. Arbeits- und Diskussionstagung Berichte. p.108—112.
50. **Ezequiel, S. – Lucas, J. A. – Lucas, B. – José, A. Gerde. (2020):** Maize kernel color depends on the interaction between hardness and carotenoid concentration, Journal of Cereal Science, Volume 91, 102901, ISSN 0733-5210, https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102901.
51. **Fendeková, M. – Gauster, T. – Labudová, L. – Vrablíková, D. – Danáčová, Z. – Fendek, M. – Pekárová, P. (2018):** Analysing 21st century meteorological and hydrological drought events in Slovakia. Journal of Hydrology and Hydromechanics, Vol.66 (Issue 4), pp. 393-403. https://doi.org/10.2478/johh-2018-0026
52. **Ficco Donatella, B. M. – Mastrangelo, A. M. – Trono, D. - Borrelli Grazia, M. - De Vita, P. – Fares, C. – Beleggia, R. – Platani, C. – Papa, R. (2014):** The colours of durum wheat: a review. Crop and Pasture Science 65, 1-15. https://doi.org/10.1071/CP13293
53. **Földesi, P. - Hartványi, T. - Hegyi, C. - Hirkó, B. - Kovács, J. -Kovács, Z. - Tóth, L. (2006):** Logisztika I-II. Győr: Széchenyi István Egyetem. HEFOP 3.3.1-P.-2004-09-0102/1.0 pályázat.
54. **Forgács, J. (2006):** Élelmiszeripari technológiák. Szeged. pp. 198. https://docplayer.hu/2294155-Elelmiszeripari-technologiak.html#show_full_text (2021.09.30).

55. **František, J. Turček. (1976):** Birds and mammals of salt marshes and salt steppes in Southern Slovakia (CSSR), Biological Conservation, Volume 9, Issue 1, Pages 29-36, ISSN 0006-3207, https://doi.org/10.1016/0006-3207(76)90071-9.
56. **Füzesi, I. – Herdon, M. (2004):** Az élelmiszeripari termékek minőségbiztosításának technológiái napjainkban. In: E-agrárium & E-vidék: Agrárinformatikai Nyári Egyetem és Agrárinformatikai Fórum. Magyar Agrárinformatikai Szövetség, Debrecen, pp. 1-8. ISBN 963-472-767-0.
57. **Galvano, F. – Galofaro, V. – Galvano, G. (2005):** Mycotoxins in the human food chain. In: Diaz D. (eds.): The Mycotoxin Blue Book. Nottingham Press. 187-224.
58. **Gasztony, K. — Bogdán, J.né (1977):** Sütőipari technológia I. Élelmiszeripari Főiskolai Jegyzet Szeged.
59. **Gelei, A. (2007):** A vállati logisztikai rendszer kitüntetett eleme a raktár – folyamat alapú megközelítés. 81.sz. Műhelytanulmány. Budapest Corvinus Egyetem. Vállalatgazdaságtan Intézet. Budapest.
60. **Gianibelli, M.C. – Larroque, O.R. – MacRitchie, F – Wrigley, C.W. (2001):** Biochemical, genetic and molecular characterization of wheat endosperm proteins. Cereal Chem, 78(6), 635-646.
61. **Gifford R.M. – Thorne J.H. – Witz W.D. – Giaquinta R.T. (1984):** Crop produktivity and photoassimilate partitioning Science. 225. p 801-808.
62. **Ginzburg, A. Sz. (1979):** Az élelmiszerek szárítástechnológiája. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 38.
63. **Gridek, D. (2019):** Raktározzunk hosszú távon… de hogyan? – Raktározási tippek az aratási szezon előtt. Agrofórum.

https://agroforum.hu/szakcikkek/novenytermesztes-szakcikkek/raktarozzunk-hosszu-tavon-de-hogyan-raktarozasi-tippek-az-aratasi-szezon-elott/ (2021.10.5).

64. **Győri, Z. - Győriné Mile, I. (1998):** A búza minősége és minősítése, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. 16-38, 58-75.
65. **Győr,i Z. (1999):** Mezőgazdasági termékek tárolása és feldolgozása. Egyetemi jegyzet, DATE, Debrecen. 7-73.
66. **Gyulai, F. (2004):** Az árpa virágzásbiológiája. In: Tomcsányi A.-Turcsányi G.: Az árpa. Akadémiai Kiadó, Budapest.
67. **Hajdú, J. (2017):** Terítéken a teleszkópos rakodók. Agronapló szakfolyóirat. 2017, (4) 94-100. https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2017/04/gepesites/teriteken-a-teleszkopos-rakodok. (2021.5.28).
68. **Halászné Sipos, E. (2003):** Logisztika (Szolgáltatások, versenyképesség), Magyar Világ Kiadó, Budapest, p 34-37.
69. **Halverson, J – Zeleny, L. (1988):** Criteria of wheat quality. In: Wheat: Chemistry and Technology (Y. Pomeranz ed.), Vol. II., AACC, St.Paul, Minnesota, USA, p.15-46.
70. **Harmati, I. – Szemes, D. (1979):** Műtrágyahatás-vizsgálat néhány búzafajtával műtrágyázási tartamkísérletben, meszes réti talajon. Növénytermelés. 28.6. p. 535-542.
71. **Harmati, I. – Szemes, D. (1985):** N-fejtrágyázási kísérletek 50 és GK tisztatáj búzafajtákkal. ((In: Búzatermesztési Kísérletek 1970-1980. Bajai J – Koltay Á (szerk.)). Akadémiai Kiadó. Budapest. p. 335-340.
72. **He, X. – Tianxia, Z. – Fei, S. – Qin, L. – Yong, F. – Qiuhui, H. (2021):** Online detection of naturally DON contaminated wheat grains from China using Vis-NIR spectroscopy and computer vision,

Biosystems Engineering,Volume 201, Pages 1-10, ISSN 1537-5110, https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.11.001.

73. **Henry, O. V. – Patricia, L. S. – Raúl, M. – Angel, D. S. (2021):** Computer vision based food grain classification: A comprehensive survey,Computers and Electronics in Agriculture,Volume 187,2021, 106287, ISSN 0168-1699, https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106287.
74. **Hidvégi, Sz. (2007):** Növénytermesztés. Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma Agrárgazdasági és Vidékfejlesztési Kar. p.40-50.
75. **Hirkó, B. (2007):** Elosztási Logisztika. Széchenyi Egyetem Győr, Universitas-Győr Nonprofit Kft.
76. **Hofmann, S. – Debreczeni, K. – Hoffman, B. – Nagy, E. (2006):** Grain yield and baking quality of wheat as affected by cropyear and plant nutrition. Cereal Research Communications, 34 (1) 473-476. p.
77. **Hofmann, S. (2009):** Keszthely ((In: Az országos műtrágyázási tartamkísérletek (OMTK) kutatási eredményei (1967-2001). Debreczeni B.-né – Németh t (szerk.)). Akadémiai Kiadó. Budapest. p.177-182.
78. **Hološková, A. - Tomáš K. - Jiří R. (2023):** "Vegetation Structure and Invertebrate Food Availability for Birds in Intensively Used Arable Fields: Evaluation of Three Widespread Crops" Diversity 15, no. 4: 524. https://doi.org/10.3390/d15040524
79. **Hortobágyi, T. (1979):** Növényrendszertan. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest.p.641.

80. **Horváth, F. (1994):** A főbb ágazatok terméstechnológiai összefüggései. In: Szántóföldi növénytermesztés, rét- és legelőgazdálkodás, erdészet. HUSTI I. Bp. Info-Prod Kiadó.
81. **Hudec, K. (2025):** Výskyt mykotoxínov fuzárií v obilninách. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Katedra ochrany rastlín. https://www.agroporadenstvo.sk/ochrana-rastlin-odborne-clanky?article=3533&utm_source
82. **Hu, H. - Li, S. - Pan, D. - Wang, K. - Qiu, M. - Qiu, Z. - Zhang, J. (2022):** The variation of rice quality and relevant starch structure during long-term storage. Agriculture, 12(8), 1211.
83. **Hui, L. – Sheng, Q. – Shuaibing, Z. (2025):** Essential oils in grain storage: A comprehensive review of insecticidal and antimicrobial constituents, mechanisms, and applications for grain security, Journal of Stored Products Research,Volume 111 ,102537, ISSN 0022-474X, https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102537
84. **Huszár, E. T. (2015):** Betakarítás és raktár védelem. Agró Napló Szakfolyóirat. 2015, (11) 42. https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2015/11/szantofold/betakaritas-es-raktari-vedelem
85. **Ian, Batey. (2017):** Chapter 20 - Maintaining Grain Quality During Storage and Transport, Editor(s): Colin Wrigley, Ian Batey, Diane Miskelly,In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition,Cereal Grains (Second Edition), Woodhead Publishing,2017, Pages 571-590, ISBN 9780081007198, https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100719-8.00020-6.
86. **Irwin, R. – Donis, G. – Daniel, E. G. – Gabriel, A. L. V. – James, B. (2013):** Assessment of chestnut (Castanea spp.) slice quality using

color images, Journal of Food Engineering, Volume 115, Issue 3, 2013, Pages 407-414, ISSN 0260-8774, https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.09.017.

87. **Izsáki, Z. – Lázár, L. (2004):** Szántóföldi növények vetőmagtermesztése és kereskedelme. Mezőgazda Kiadó.
88. **Jávor, A. - Szigeti, J. (2011):** Termékminősítés és termékhigiénia. Az Agrármérnöki MSc szak tananyagfejlesztése. 18-22.
89. **Jayas, D. S. (2012):** Storing grains for food security and sustainability. Agricultural Research, 1, 21-24.
90. **Jolánkai, M. – Szabó, I. (2005):** A növénytermesztéstan alapjai. Szerk. Antal József Mezőgazda Kiadó, p 183-205.
91. **Juan-Pablo, R.P - Uriel-Haile, H.-B. (2020):** Visual quality assessment of malting barley using color, shape and texture descriptors. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 168. 105110. ISSN 0168-1699. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105110
92. **Jünemann, R. (1989):** Material fluss und logistik. Springer verlag, Berlin.
93. **Kádár, I. – Márton, L. (2007):** Búza utáni kukorica trágyareakciója a mezőföldi OMTK mezőföldi kísérletben 1969-2005 között. Növénytermelés 56. 3. p.147-159.
94. **Kádár, I. – Márton, L. (2009):** Nagyhörcsök: ((In: Az országos műtrágyázási tartamkísérletek) (OMTK) kutatási eredményei (1967-2001) Debreczeni B.-né – Németh T. (szerk.)). Akadémiai Kiadó. Budapest. p.124-142.
95. **Kajdi, F. (2006):** A minőségi búzatermesztés fajta, termőhelyi és termesztéstechnológiai összefüggései. Agronapló. 2006/09.

96. **Kar, Akankshya & Kulshreshtha. - Prakhar & Agrawal. - Ayush & Palakkal - Sandeep & Boregowda. - Lokesh. (2020):** Annotation-free Quality Estimation of Food Grains using Deep Neural Network. Kar, Kulshreshtha, Agrawal: Quality Estimation of Food Grains.
97. **Karnóth, J. (2014):** Szemes termények tartósítása szerves savakkal. Agro Napló Szakfolyóirat. https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2004/8/szantofold/szemes-termenyek-tartositasa-szerves-savakkal
98. **Kassai, Zs. (2014):** Teleszkópos rakodógépek előnyei a mezőgazdaságban. Agronapló szakfolyóira, (103). https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2006/08/gepesites/teleszkopos-rakodogepek-elonyei-a-mezogazdasagban (2021.5.27).
99. **Kelemen, Zs. (2012):** Szállítási és rakodási technológiák az agrárgazdaságban. Business sorozat. Magyar Agrárkamara Budapest.
100. **Kelemen, Zs. (2021):** A terménytárolás műszaki háttere. Mezőhír. (2). https://mezohir.hu/2021/02/25/takarmanyok-biztonsagos-teli-tarolasa-mezogazdasag/. (2021.05.24.)
101. **Keményné Horváth, Zs. (2014):** A gabona termékpálya keresleti oldalának szerkezeti változása az EU csatlakozás után. Doktori értekezés. Szent István Egyetem, Gödöllő.
102. **Kétszeri, D. (2006):** GS1 (EAN.UCC) szabványok az élelmiszer-nyomon követés szolgálatában. XV. Élelmiszer Minőségellenőrzési Tudományos Konferencia, Debrecen, 2006. március 29-31, p 212-221.
103. **Kismányoky, T. – Kiss, L. (1998):** A különböző szerves trágyák és műtrágyázás hatása gabonák termésére tartamkísérletben. Növénytermelés 47.3. p.313-326.

104. **Knoll, I. (2001):** Logisztika a 21. században, KIT Képzőművészeti Kiadó Kft.

105. **Knoll, L. (2006):** Interdiszciplináris logisztika a gazdaságpolitikában. Kovásznai Kiadó. Budapest.

106. **Koltay, Á. – Balla, L. (1982):** Búzatermesztés és nemesítés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p .20-349.

107. **Komka, Gy. (2001):** Gabonafélék tárolás alatti állagmegóvása (II). FVM Műszaki Intézet Gödöllő. https://www.agraroldal.hu/gabona.html

108. **Komka, Gy. (2005):** Szemesterménytárolók, tárolási technológiák (I). FVM Műszaki Intézet Gödöllő. https://www.agraroldal.hu/gabona-9.html

109. **Körmendi, L. (2007):** Divat, avagy szükségszerűség a logisztika, Polvax, 2.szám,

110. **Kovács, F. – Banczerowski, J. – Zomborszkyné, K. M. – Fazekas, B. (1998):** Életminőség és a mikotoxinok egészségügyi vonatkozásai (1.). Állattenyésztés és Takarmányozás, 47, (5) 385-402.

111. **Kovács, F. (2001):** Penészgombák – mikotoxinok. In: Penészgombák, mikotoxinok a táplálkozásban. Szerk: Kovács F. MTA Agrártudományok Osztálya, Budapest. 13-20.

112. **Kovács, M. (2004):** Mikotoxinok táplálkozás-egészségügyi vonatkozásai. Orvosi Hetilap, 145, (34). 1739 – 1746.

113. **Kovács, M. (2010):** A mikotoxinok humán-egészségügyi vontakozásai. In: Kovács M. (szerk.): Aktualitások a mikotoxin kutatásban. Agroinform Kiadó. Budapest. 86-102.

114. **Kovács, Z. (2011):** Logisztika és üzleti modellezés. Egyetemi tananyag. Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Számítógépes Optimalizálás Tanszék. 28.

115. **Kovács, Z. (2004):** Logisztika. Veszprémi Egyetemi kiadó 2004. p 2-13.

116. **Kováts, A. – Ragasits, I. (1981**): Búza In.: Kováts A. (szerk.): Növénytermesztési praktikum. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. p.386.

117. **Kozak, J. - Ostapowicz, K. - Bytnerowicz, A. - Wyżga, B. (Eds.). (2013):** The Carpathians: Integrating nature and society towards sustainability (p. 653). Berlin, Germany: Springer.

118. **Kuhn, M. (2008):** Building Predictive Models in R Using the caret Package. Journal of Statistical Software, 28(5), 1–26. https://doi.org/10.18637/jss.v028.i05

119. **Kükedy, E. (1985):** Vetésidő és műtrágyázási kísérletek eredményei 1972-ben és 1973- ban. 460-464. p. In: Bajai J. – Koltay Á. (Szerk.): Búzatermesztési kísérletek 1970- 1980. Akadémiai Kiadó, Budapest. p. 816.

120. **Kun, L. (2004):** Élelmiszer-biztonság, termék nyomon követésére teljes körű szoftveres és eszközmegoldás. A HÚS 14(4) 240-242.

121. **Kutasy, E. – Pepó, P. (1998):** Őszi búzafajták termőképessége és stabilitása. A versenyképes magyar agrárgazdaság az évezred küszöbén. 1998. Szept. 24-25. Keszthely, Nővénytermesztés. Agrokémia-Növényvédelem-Környezetvédelem. Keszthely: GATE. p 70-73.

122. **Lakatos, E. (2013):** Élelmiszeripari technológiák I. Malom-, Sütő- és Édesipar. Mosonmagyaróvár. 17.

123. **Lakatos, P. (2018):** A logisztika alapjai és közszolgálati kapcsolódásai, aspektusai. Studia Universitatis Communia. Dialóg Campus Kiadó. Budapest. 51.

124. **Láng, G. (1970):** Növénytermesztési kézikönyv. Mezőgazdaság Kiadó. Budapest. p. 52-53.

125. **Láng, G. (1976):** Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági kiadó, Budapest.

126. **Lásztity, B. (1988):** A műtrágyázás hatása az őszi búza mikroelem felvételére és eloszlására a tenyészidő folyamán. Növénytermelés 37. 4. p. 345-356.

127. **Lásztity, R (1996):** The chemistry of cereal proteins. CRC Press, Boca Raton. p. 19-138.

128. **Lelley, J. – Mándy, Gy. (1963):** A búza (Triticum aestivum L.). Akadémiai Kiadó Budapest.

129. **Lelley, J. – Rajháthy, T. (1955):** A búza és nemesítése. Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya Monográfiai sorozata. Akadémiai Kiadó Budapest.

130. **Lund, A. – Pedersen, H. – Sigsgaard, P. (1971):** I. Sei. Food Agr, (22) 458.

131. **Magyari, I. (2005):** Szállítmányozási ismeretek. Károly Róbert Főiskola. Gyöngyös.

132. **Majumdar, S. – Jayas, D.S. - Digvir. (2000):** Classification of cereal grains using machine vision: I. Morphology models. Transactions of the ASAE. 43. 1669-1675. DOI:10.13031/2013.3107

133. **Manandhar, A. - Milindi, P. - Shah, A. (2018):** An overview of the post-harvest grain storage practices of smallholder farmers in

developing countries. Agriculture, 8(4), 57. https://doi.org/10.3390/agriculture8040057

134. **Marion, D – Dubreil, L. (1998):** Lipids, lipid-protein interactions and the quality of baked cereal products. In: Interactions: The Keys to Cereal Quality (R.J. Hamer and R.C. Hoseney eds.) AACC. St. Paul Minnesota. USA. P. 131-167.

135. **Matuz, J. (1998):** A szegedi őszi búza fajták eredményei az utóbbi években. XL. Georgikon napok. Keszthely. p.28-32.

136. **Mesterházy, Á. (1997):** A szántóföldi növények mikrobiális patogén szennyeződésének csökkentése, humán egészségügyi minőségének javítása. „Agro 21" Füzetek, (14) 90-130.

137. **Mesterházy, Á. (2002):** A mikotoxinok és az élelmiszerbiztonság, a megoldás lehetőségei. Gabonatermesztési Kutató Kht., Szeged

138. **Mesterházy, Á. (2007):** Mikotoxinok a gabonatermesztésben: az élelmiszerbiztonsági kihívás. Élelmiszervizsgálati közlemények. LIII. Kötet, (53) 38-48.

139. **Misusztyin, E. N. – Triszvjatszkij, L. A. (1963):** Mikrobü i zerno, (Mikrobiológia és gabona). Moszkva.

140. **Móré, M. – Diósi, G. (2014):** A gabona minőség vizsgálata, mintavétel eszközei. Értékálló Aranykorona Országos Mezőgazdasági Szaklap, 2014. május XIV. évfolyam, (4) 26-28.

141. **Mosonyi, Á. (1989):** A gabona eltarthatóságát befolyásoló minőségi tényezők. Gabonaipar, (4) 129-133.

142. **Muchóvá, Z. – Okrajková, A. (2005):** Podmienky a opatrenia pri skladovaní potravinárskej pšenice. In Naše pole, roč. 9. (Az élelmiszer-búza tárolásának feltételei és intézkedései. A mi mezőnk) 2005, (8) 14.

143. **Nadimi, M. - Hawley, E. - Liu, J. - Hildebrand, K. - Sopiwnyk, E. - Paliwal, J. (2023):** Enhancing traceability of wheat quality through the supply chain. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 22(4), 2495-2522.

144. **Nagy, J. (1993):** Földművelés tan. szerk. Nyíri László. Mezőgazda Kiadó Budapest. p.247.

145. **Nagy, L. (1981):** A búzatermesztés területi elhelyezése Magyarországon természeti tényezők alapján. Akadémiai Kiadó, Budapest. 29-103 p.

146. **Navnath, S. I. – Chithra, K. – Digvir, S. J. – Viorica, F. B. – Miranda, V. – Kaiyang, T. – David, M.** (**2023):** Mapping biochemical and nutritional changes in durum wheat due to spoilage during storage, Heliyon, Volume 9, Issue 11, e22139, ISSN 2405-8440, https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22139.

147. **Német, B. (2014):** Terményszárítás, szemestermény-szárítók. Agrárium7 integrált agrárszakmai információs platform. 2014/04/10. https://agrarium7.hu/cikkek/98-termenyszaritas-szemestermeny-szaritok. (2021.05.20.)

148. **Németh, A. (2004):** Nyomon követés az élelmiszer-előállítás folyamatában. A HÚS 14(1) 37-38.

149. **Németh, I. (1994):** Szerves és műtrágyázás 30 éves tartamhatása Ramann féle barna erdőtalajon. ((In: Trágyázási Kutatások 1960-1990 Debreczeni B – Debreczeni B.-né (szerk.)) Akadémiai Kiadó Budapest. p-322-323.

150. **Ndubisi, A. Aviara – Jacob, Tizhe Liberty – Ojo, S. Olatunbosun – Habib, A. Shoyombo – Samuel, K. Oyeniyi. (2022):** Potential application of hyperspectral imaging in food grain quality

inspection, evaluation and control during bulk storage,Journal of Agriculture and Food Research,Volume 8,2022,100288, ISSN 2666-1543, https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100288.

151. **Vithu, P. – Moses, J. A. (2016):** Machine vision system for food grain quality evaluation: A review. Trends in Food Science & Technology.Volume 56. Pages 13-20. ISSN 0924-2244. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.011.

152. **Pál, I. (1983):** Főbb mezőgazdasági növényeink élettana. Kézirat. Gödöllő.

153. **Pánczél, Z. – Böröc, P. J. (2013):** Anyagmozgatás, raktározás. Széchenyi Egyetem Győr, Universitas-Győr Nonprofit Kft. 244-245.

154. **Pánczél, Z. – Nagy, Z. (2012):** Rakodástechnika I. Széchenyi Egyetem Győr, Universitas-Győr Nonprofit Kft. 63.

155. **Pánczél, Z. (2006):** Anyagmozgatás, csomagolás, raktározás. Értékünk az ember. Humánerőforrás-fejlesztési Operatív Program Széchenyi Egyetem Győr. 259-260.

156. **Pearson, K. (1895):** Notes on regression and inheritance in the case of two parents. Proceedings of the Royal Society of London. 58: 240–242.

157. **Pepó, P. (1997):** A gabonatermesztési technológiák és a minőség. Agro-21 Füzetek. 23. p.40-68.

158. **Pepó, P. (1999):** Termesztéstechnológiai fejlesztések a minőségi búza-termesztésben. Gyakorlati Agrofórum, X. évf., 11. Szám, p 7-13.

159. **Pepó, P. (2006):** Fejlesztési lehetőségek, új piaci trendek a magyar búzatermesztésben. Agrárunió, 7.5. p.12-13.

160. **Pepó, P. – Sárvári, M. (2011):** Gabonanövények termesztése. Elektronikus jegyzet. 14- 39. p.

http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_09_Gabonanovenyek_t ermesztese/ch02s05.html Lekérdezés időpontja: 2018.04.03.

161. **Pepó, P. (2002):** Őszibúza-fajták trágyareakciója eltérő évjáratokban. Növénytermelés. p.189-197.

162. **Pepó, P. (2004):** Az évjárat hatása az őszi búza termésmennyiségére. Növénytermelés. p.339-350.

163. **Pepó, P. (2009):** A búzaágazat helyzete és fejlesztési lehetőségei In: Nagy, J – Jávor, A (szerk) (2009): Debreceni álláspont az agrárium jelenéről, jövőjéről, Debrecen. p. 147-168.

164. **Pethő, M. (1984):** Mezőgazdasági növények élettana. Mezőgazdasági Kiadó Budapest.

165. **Pfohl, H. – Christian. (1972):** Marketing-Logistik. Distributions Verlag, Mainz, Magyarul megjelent: Közlekedéstudományi Szemle XVIII. évfolyam 2. számmellékletében.

166. **Philippe, V. – Michele, S. – Juan, A. F. P. – Vincent, B. (2018):** Discrimination between durum and common wheat kernels using near infrared hyperspectral imaging, Journal of Cereal Science, Volume 84, Pages 74-82, ISSN 0733-5210, https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.10.001.

167. **Pixton, S. W. – Hill, S. T. (1967):** Longterm storage of wheat. II. J. Sci. Food. Agric, (18) 94-98.

168. **Pokorná, L. - Pecho, J. - Faško, P. (2013):** Precipitation characteristics for the Slovak repülik and their link to the atmospheric circulation. In Conference Paper: EG U (Vol. 15).

169. **Pomeranz, Y. (1988):** Composition and functionality of wheat flour components. In: Wheat: Chemistry and Technology (Y. Pomeranz ed.), Vol.II. AACC, St.Paul, Minnesota, USA. p.219-370.

170. **Pomeranz, Y. (1971):** Wheat Chemistry and technology, St. Paul Minn.

171. **Prettenhoffer, I. – Gratzl, D. (1961):** A szikjavítás hatása a búza termésére a tiszántúli mésztelen szikeseken. In: Bajai J. (Szerk.): Búzatermesztési kísérletek 1952- 1959. Akadémiai Kiadó, Budapest. p. 296-320.

172. **Prezenszki, J. (2002):** Logisztika I., II., Logisztikai Fejlesztési Központ.

173. **Qiang, L. – Shuai, H. – Yijia, Z. – Dandan, Z. – Siqi, Z. – Liping, G. – Xingbo, Z. – Chao, D. (2024):** Applications of novel non-thermal physical field technologies in enhancing the quality and storage stability of grains,Journal of Stored Products Research,Volume 108,102398, ISSN 0022-474X, https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102398.

174. **Radics, L. (2010):** Fenntartható szemléletű szántóföldi növénytermesztéstan I. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft. Budapest.

175. **Radics, L. (1994):** Szántóföldi növénytermesztéstan. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Kertészeti Kar.

176. **Rafai, P. (1999):** A fuzariotoxinok hatása a sertés termelésére és egészségére. Állattenyésztés és Takarmányozás. 48, (2) 253-264.

177. **Ragasits, I. (1994):** Árpa In: Ragasits I.(szerk.): Növénytermesztés, Mezőgazda Kiadó, Budapest.pp. 105-109.

178. **Ragasits, I. (1998):** Búzatermesztés. Budapest: Mezőgazda Kiadó. p.152.

179. **Rieger, L. (2007):** Az intervenciós szabályozás jelene és jövője, Agrárágazat, 2007. szeptember, VIII. évfolyam, (8).

180. **Rieger, L. (2019):** Magyarország gabonaraktár-ellátottságának értékelése. Gazdálkodás. 63, (4) 307-323.

181. **Ruzsányi, L. (1992):** Vízigény, vízellátás, vízhasznosítás. Szerk. Bocz E. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó. Budapest. p 145-160.

182. **Salvagiotti, F. – Miralles, D.J. (2008):** Radiation interception, biomass produktion and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. European Journal of Agronomy. 28. 3. p. 282-290.

183. **Sárdi, K. – Csathó, P. (2002):** Studies on the phosphorus dynamics in pot experiments with different soil types. In Communications in Soil Science and Plant Analysis. Vol.33 Issue: 15-18. p.3045-3058.

184. **Sárvári, M. (2006):** A vetésforgó és a tápanyagellátás szerepe az őszi búza termesztésében. In: Pepó P. (Szerk.): Búzavertikum aktuális kérdései. Szaktanácsadási Füzetek 2. Debrecen. p. 64-72.

185. **Sauer, D. B. – Meronuck, R. A. – Christensen, C. M. (1992):** Microflora. Storage of Cereal Grains and Their Products (ed. Sauer). American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 313-340.

186. **Schmidt, J. (1996):** Takarmányozástan, Mezőgazda kiadó. 151-153, 172-174, 208-211, 258- 260, 271-276.

187. **Shepherd, A. W. (1993):** Economic and marketing aspects of post-harvest handling of grains. Food and Agriculture Organization of the United Nations,

http://www.fao.org/docrep/x5015e/x5015E00.htm#Contents (2021.04.18.)

188. **Shewry, P.R. – Tatham A.S. – Halford N.G. (1999):** The prolamins of the Triticeae. p.35-78. In: Seed Proteins. P. R. Shewry and R. Casey (Eds.), Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands.

189. **Simič, S. – Mladenovič, G. – Lančarivič, V. - Pataki I. – Delvesi, K. (2003):** Kvalitetna proizvodnja, dozada i promet semenastrnih žita. In Stručni rad. (Magas színvonalú vetőmagtermelés, szállítás és értékesítés. Szakmai munka), vol. 7, 2003, (3-4) 88-91.

190. **Sinha, K. K. – Bhatnagar, D. (Eds.). (1998):** Mycotoxins in agriculture and food safety. Marcel Dekker Inc. New York. 511.

191. **Sipos, P. – Zsombik, L. (2006):** A minőségmegőrző gabonatárolás és a raktári kártevők elleni védekezés. Agrárágazat. 2006 (11).

192. **Sohár, Pálné. (2007):** Mikotoxinok az élelmiszerláncban. Élelmiszervizsgálati Közlemények Élelmiszerminőség – Élelmiszerbiztonság. Különszám Journal of Food Investigations Food Quality – Food Safety. LIII. Kötet. 60.

193. **Sólyom, M. (1991):** Raktározók-raktárüzem szervezők kézikönyve, Budai Sólyom Szervező-Kiadó-Kereskedő Bt.

194. **Stefanovits, P. (1975):** Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

195. **Stefanovits, P. (1992):** Talajvédelem, környezetvédelem. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest 5.

196. **Stock, J. R. – Lambert, D.M. (2001):** Strategic Logistics Management: McGraw – Hill Irwin, Singapure.

197. **Surovčík, J. – Fencík, R. – Zubal, P. – Kubinec, S. – Jamriška, P. – Hašana, R. – Sekerová, M. – Muchová, Z. (2001):** Technológia

pestovania potravinárskej pšenice. Piešťany: VÚRV. (Élelmiszerbúza termesztési technológia. Pöstyén: VÚRV), 2008. ISBN 80-968553-2-8. 52.

198. **Szabó, Hevér. Á. (2013):** A kalászfuzárium rezisztencia molekuláris hátterének vizsgálata frontana eredetű térképező búzapopulációkban. SZIE. Doktori értekezés. (2013.). 141.

199. **Szabó, M. – Ángyán, J. – Forgács, M. – Tirczka, I. (1987):** Magyarország klimatikus adottságainak biometriai elemzése az őszi búza termésátlaga és minősége szempontjából. Növénytermelés, 36 (1) 17-30. p.

200. **Szániel, I. (1982):** A gabonatermesztés távlatai. Magyar Mezőgazdaság.37. 51-52. p.24-25.

201. **Szegedi, Z. – Prezenszki, J. (2003):** Logisztika-menedzsment. Kossuth Kiadó. Budapest. 117–198.

202. **Szegedi, Z. (1999):** Logisztika menedzsereknek. Kossuth Kiadó. Budapest. 145–155.

203. **Szendrő, P. (2000):** Mezőgazdasági gépszerkezettan, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.

204. **Szirtes, V. (1976):** Paraméterek az őszi búza termesztéséhez csernozjom talajon IV. Táplálóréteg mélység igény. Növénytermelés. 2. p.163-170.

205. **Szőcs, I. (2007):** Gabonatárolók tűz- és vagyonvédelme, Budapest http://www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/125-gabonatarolok-tuz-es-vagyonvedelme.pdf

206. **Szunics, I. (1973):** Krasznodári búzafajták Magyarországon. I. A búza világ- és népgazdasági jelentősége. Növénytermelés. 22.4. p. 373-379.

207. **Tančinová, D. (2009):** Žatva a skladovanie obilnín z hľadiska výskytu mykotoxínov. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Katedra mikrobiológie, Fakulta biotechnológie a potravinárstva. Pôdohospodársky poradenský systém. (Gabonafélék betakarítása és tárolása a mikotoxinok jelenléte szempontjából. Nyitrai Szlovák Mezőgazdasági Egyetem, Biotechnológiai és Élelmiszertudományi Kar Mikrobiológiai Tanszék. Mezőgazdasági szaktanácsadó rendszer).

208. **Tiago, H. de Almeida. – Diego, H. de Almeida. – Débora, Gonçalves. – Francisco, A.R. Lahr. (2021):** Color variations in CIELAB coordinates for softwoods and hardwoods under the influence of artificial and natural weathering, Journal of Building Engineering,Volume 35, 101965, ISSN 2352-7102, https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101965.

209. **Tomay, T. (1970):** Gabonaipari Kézikönyv. Áruismeret és technológiai folyamatok, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1970. 763.

210. **Tomay, T. (1971):** Gabonaipari kézikönyv I. Budapest.

211. **Tomay, T. (1984):** Gabonatárolás, Gabona Tröszt, Budapest. 470-471.

212. **Tomay, T. (1987):** Gabonatárolás. Gabona Tröszt, Budapest. 27-78.

213. **Tong, C. - Gao, H. - Luo, S. - Liu, L. - Bao, J. (2019):** Impact of postharvest operations on rice grain quality: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18(3), 626-640.

214. **Nithya, U. – Chelladurai, V. – Jayas, D.S. – White, N.D.G. (2011):** Safe storage guidelines for durum wheat, Journal of Stored

Products Research,Volume 47, Issue 4, Pages 328-333, ISSN 0022-474X, https://doi.org/10.1016/j.jspr.2011.05.005.

215. **Van Haute, S. - Nikkhah, A. - Malavi, D. et al. (2023):** Prediction of essential oil content in spearmint (Mentha spicata) via near-infrared hyperspectral imaging and chemometrics. Sci Rep 13, 4261. https://doi.org/10.1038/s41598-023-31517-8

216. **Vašák, J. (2008):** Rostlinná výroba a její perspektívy. In Úroda, roč. (A növénytermesztés és perspektívái. Aratási évben), 36, 2008, (1) 57-60.

217. **Véha, A. – Markovics, E. (2013):** Búzakenyér. In: Biacs P. - Szabó G. - Szendrő P. - Véha A. (szerk.) Élelmiszer-technológia mérnököknek. Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar. 16-51.

218. **Verdes, S. (2012):** Anyagmozgatás és gépei, Anyagmozgatás, anyagkezelés. Pannon Egyetem. 100.

219. **Veres, E. – Borbély, M. – Győri, Z. – Kátai, J. (2002):** A tárolási feltételek hatása a kukorica *Fusarium* fertőzöttségére és toxin szennyezettségére. Agrártudományi Közlemények (Acta Agraria Debreceniensis), Debrecen, (1) 28-32.

220. **Veres, E. – Kátai, J. – Győri, Z. (2001):** A betárolt gabona fuzárium fertőzöttségének és toxinszennyezettségének kérdése. Növénytermelés, 50 (4) 479–485.

221. **Wickham, H. (2016):** ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag, New York, NY, USA.

222. **Chu, X. – Wang, W. – Ni, X. – Li, C. – Li, Y. (2020):** Classifying maize kernels naturally infected by fungi using near-infrared hyperspectral imaging. Infrared Phys. Technol., 105, pp. 1-11.

223. **Xiao, Chen. – Xiande, Zhao. – Leizi, Jiao. – Zhen, Xing. – Daming, Dong. (2024):** Infrared microspectroscopy and machine learning: A novel approach to determine the origin and variety of individual rice grains, Agriculture Communications,Volume 2, Issue 2,2024, 100038, ISSN 2949-7981, https://doi.org/10.1016/j.agrcom.2024.100038

224. **Xiaoxue, Jia. – Peihua, Ma. – Kevin, Tarwa. – Qin, Wang. (2023):** Machine vision-based colorimetric sensor systems for food applications,Journal of Agriculture and Food Research,Volume 11,2023, 100503, ISSN 2666-1543, https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100503.

225. **Xinyue, Lv. – Xiaolong, Zhang. – Hairong, Gao. – Tingting, He. – Zhiyuan, Lv. – Lili, Zhangzhong. (2024):** When crops meet machine vision: A review and development framework for a low-cost nondestructive online monitoring technology in agricultural production,Agriculture Communications,Volume 2, Issue 1,2024, 100029, ISSN 2949-7981, https://doi.org/10.1016/j.agrcom.2024.100029.

226. **Xueming, He. – Tianxia, Zhao. – Fei, Shen. – Qin, Liu. – Yong, Fang. – Qiuhui, Hu. (2021):** Online detection of naturally DON contaminated wheat grains from China using Vis-NIR spectroscopy and computer vision, Biosystems Engineering,Volume 201, Pages 1-10, ISSN 1537-5110, https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.11.001.

227. **Zayas, Y. - I. Pomeranz, L. - Lai, F. S. (1989):** Discrimination of wheat and nonwheat components in grain samples by image analysis. Cereal Chemistry, 66(3), 233-237.

228. **Yi, Y. - Fan, K. - Shan, Y. - Fu, Q. - Zhou, X. - Zhang, Y. - Zhang, H. (2022):** Study on sampling scheme for detecting mycotoxin during wheat storage. Journal of the Science of Food and Agriculture, 102 (11), 4752-4758. https://doi.org/10.1002/jsfa.11840

9.2. Digitális irodalmak jegyzéke

URL$_1$:
https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/eeedffd5-d8f6-11e9-9c4e-01aa75ed71a1/language-hu/format-PDF (2023.9.27).

URL$_2$:
https://ourworldindata.org/grapher/wheat-production (2025.2.19).

URL$_3$:
https://ourworldindata.org/grapher/wheat-production?tab=chart&time=2000..latest&country=HUN~SVK~CZE~POL~OWID_EU27~CHN~RUS~UKR~USA~IND (2025.2.18).

URL$_4$:
https://ourworldindata.org/grapher/wheat-production?tab=chart&time=2000..latest&country=HUN~SVK~CZE~POL (2025.2.25).

URL$_5$:
https://www.agraroldal.hu/gabona-3.html (2020.10.16).

URL$_6$:
https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2011/05/szantofold/a-buza-minosege-es-annakvizsgalata 27-28. p (2020.10.22)

URL$_7$:
http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/2013/pages/program/papers/17.pdf (2020.10.22)

URL$_8$
:https://hu.wikipedia.org/wiki/B%C3%BAza#/media/F%C3%A1jl:Triticum_aestivum_-_K%C3%B6hler%E2%80%93s_Medizinal-Pflanzen-274.jpg (2020.10.22).

URL$_{9}$:
https://ourworldindata.org/agricultural-production#cereals (2021.4.11).
URL$_{10}$:
https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/mgszlak/2020_2/index.html (2021.05.22).
URL$_{11}$:
https://www.agrotrend.hu/piac/agrarpiac/a-nemzetkozi-gabonaszallitas-nehezsegei (2021.05.25).
URL$_{12}$:
https://agrarium7.hu/cikkek/158-gabona-kulcsszerepben-a-szallitas. (2021.05.24).
URL$_{13}$:
https://www.R-project.org/
R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (2024.8.24).

10. MELLÉKLETEK

10.1. számú melléklet: Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: M a megfelelőséget jelöli (URL_7).....40
2. táblázat: A sörárpa minőségi paraméterei (Radics, 2010).....56
3. táblázat: Különböző tárolt termékekben előforduló gombatoxinok és szájon át adagolva kifejtett toxicitásuk (Abramson, 1998).....61
4. táblázat: A kísérleti búzák rövidítései (2021-2023).....100
5. táblázat: A kísérletbe vont búzák beltartalmi értékei.....100
6. táblázat: A kísérletbe vont búzák egyes keverékeinek beltartalmi értékei 102
7. táblázat: A 17 darab őszi búza keverék korrelációs táblázata.....111

10.2. számú melléklet: Ábrajegyzék

1. ábra: A világ búza termelése (forrás URL_2).....20
2. ábra: A világ búza búzatermelő régiói (forrás: URL_3).....21
3.ábra: A visegrádi országok búza termelése (forrás: URL_4).....23
4.ábra: A beraktározott őszi búza (saját felvétel).....31
5. ábra: Gabonaraktár JCB rakodógépekkel (saját felvétel).....45
6. ábra: Gabona síkraktár (saját felvétel).....85
7.ábra: Színben eltérő különböző búza fajták (saját felvétel).....98
8.ábra: Egyenként lezacskózott két búza keverék minta (saját felvétel)105
9. ábra: CIELab Color Space színkép spektrofotométer (saját felvétel)107
10.ábra: CIELab Color Space színkép spektrofotométer, illetve a hozzá tartozó szoftver program (saját felvétel).....108
11.ábra: A NOC szoftver logisztikai programja (saját felvétel).....114
12. ábra: Perten Inframatic 9500 típusú, közeli infravörös spektrométer (saját felvétel).....116
13. ábra: A 2021-es évben a hat különböző búza keverék HUE × C* trendvonalait ábrázolja.....121
14. ábra: A 2022-es évben lemért egyes búza keverékek grafikonjai....122
15. ábra: A 2023-es évben lemért egyes búza keverékek grafikonjai....124
16. ábra: A raktárban leöntött egyes búza fajták (saját felvétel).....127
17. ábra: Gabona szondával végzett mintavétel (saját felvétel).....128
18. ábra: A raktárból levett egyes őszi búza gabona minták (saját felvétel) 129
19. ábra: A CS és az AG búza minták keverékei.....131
20. ábra: Az AG és a K búza minták keverékei.....132
21. ábra: Az MK és az AG búza minták keverékei.....133

22. ábra: A MK és CS búza minták keverékei.....133
23. ábra: Az A és a CS búza minták keverékei.....135
24. ábra: M és a CS búza minták keverékei.....136
25. ábra: A K és a CS búza minták keverékei.....137
26. ábra: Az A és a K búza minták keverékei.....138
27. ábra Az M és az A búza minták keverékei.....139
28. ábra: Az AG és a CS búza minták keverékei.....140
29. ábra: A CS és a K búza minták keverékei.....141
30. ábra: A CS és az MK búza minták keverékei.....142
31. ábra: Az MK és a K búza minták keverékei.....142
32. ábra: A K és az AG búza minták keverékei.....143

10.3. számú melléklet: Az értekezés témakörében eddig megjelent publikációk

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 szemestermények (gabonák) betakarítás utáni nyomon követése, kezelése és minőségmegőrzése. Értékálló Aranykorona mezőgazdasági szaklap.
-

11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném kifejezni hálámat és köszönetemet mindazoknak, akik szakmai útmutatásukkal, támogatásukkal és segítségükkel 2020 szeptembere és 2026 februára között hozzájárultak e dolgozat elkészítéséhez.

Mindenekelőtt szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőimnek, Prof. Dr. Kovács Attilának és Dr. Teschner Gergelynek, akik emberi és szakmai támogatásukkal végig kísérték munkámat. Külön köszönöm a segítséget Dr. Dóka Ottónak, aki a kísérleteimhez szükséges feltételeket biztosította.

Köszönettel tartozom továbbá Prof. Dr. Varga László Úrnak, a Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer-tudományi Multidiszciplináris Doktori Iskola vezetőjének, aki támogatta kutatásomat.

Külön köszönet az AGROSID a.s. –SANAGRO GROUP részvénytársaságnak, amely nemcsak a kísérletekhez szükséges helyszínt biztosította számomra, hanem segítőkész és támogató hozzáállásával is nagyban hozzájárult munkám sikeréhez.

Külön köszönet illeti a Sósszigeti nemesítő állomást, amely az antociános és sárga színű őszi búza fajtákat rendelkezésemre bocsátotta.

Szívből köszönöm mindazoknak, akik tevőlegesen hozzájárultak kísérleteim sikeréhez, különösen Ing. Sóki Gyurinak, Mészáros Lászlónak, Dr. Csiba Mátyásnak és Ing. Kmotrík Ferencnek, akik a szántóföldi antociános búza vetésében és betakarításában közreműködtek

Végül, de nem utolsósorban, hálás szívvel mondok köszönetet Családomnak a türelmükért, megértésükért és mindennemű támogatásukért. Külön köszönöm feleségemnek, aki kitartóan mellettem állt, és elviselte a kutatómunkámmal járó kihívásokat.