

SZENT ISTVÁN EGYETEM

Távérzékelésre és spektroszkópiára
alapozott őszi búza fajtaazonosító eljárás

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Szalay D. Kornél

Gödöllő
2014

**A doktori iskola
megnevezése:**

Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága:

Agrárműszaki tudományok

vezetője:

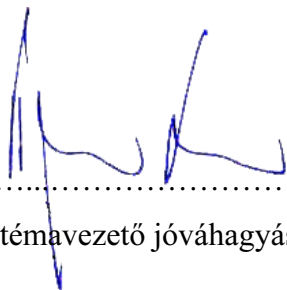
Prof. Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar

témavezető:

Prof. Dr. Fenyvesi László
egyetemi tanár, Ph.D.
NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet,
Tudományos tanácsadó

.....

az iskolavezető jóváhagyása



.....
a témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK	4
2. ANYAG ÉS MÓDSZER	6
2.1. Az általános mérési eljárás	6
2.2. Elő-kísérletek	6
2.3.. Új laboratóriumi vizsgálati eljárás	7
2.4. Növénytermesztési kísérlet	7
2.5. Búzaállomány terepi vizsgálata	8
2.6. Vetőmag laboratóriumi vizsgálata	8
2.7. Spektrumok feldolgozása	9
2.7.1. A spektrumok elő-feldolgozása	9
2.7.2 Osztályozás	9
3. EREDMÉNYEK	10
3.1. Új laboratóriumi vizsgálati eljárás	10
3.2. Búzaállomány terepi vizsgálata	11
3.2.1. Kalászhányás előtti mérés	11
3.2.2. Betakarítás előtti mérés	12
3.3. Vetőmag laboratóriumi vizsgálata	13
3.4. A fajták elkülöníthetőségének időbeli változása	14
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	15
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	17
6. ÖSSZEFOGLALÁS	18
7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK	19

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

Munkám során a távérzékelés és spektroszkópia egy speciális alkalmazási lehetőségét vizsgáltam a mezőgazdasági termelésben.

A többcsatornás optikai távérzékelésben alkalmazott eljárások, valamint a laboratóriumi spektroszkópia közötti kapcsolatot az ún. „kettős” felhasználású, hordozható spektrométerek csoportja képezi. Terepi és laboratóriumi mérésekre egyaránt alkalmasak.

A célkitűzésemet alapvetően két meghatározó probléma határozta meg. Egy műszaki és egy biológiai eredetű gazdasági probléma.

A hordozható spektrométerek laboratóriumi alkalmazása esetében nyílt rendszerű mérésről van szó. A minta mennyisége, a megvilágítás minősége és távolsága, a szenzor távolság és további paraméterek változhatnak. Referenciaként időről-időre megújítandó külső etalonmérésre van szükség. A mérési eljárás meghatározza a mérés megbízhatóságát, pontosságát. Ennek ellenére szigorú értelemben vett mérési eljárás nincs. A különböző laborokban végzett mérések eredményei jelentősen eltérhetnek egymástól (Jung, 2009). Az általánosan elterjedt és alkalmazott mérési eljárások jelentős mérési bizonytalansággal terheltek.

Magyarország sokáig Európa második legnagyobb vetőmagexportőre volt. Hazánk szerepe még ma is meghatározó, de a vetőmag előállítás és a vetőmag szaporítás csökkenő tendenciát mutat. Drasztikusan lecsökkent a fémzárolt vetőmag használata. A termelők egyre gyakrabban választanak más utat a szaporítóanyag beszerzésére. Ez a döntés a termés- és minőségstabilitás romlásához vezet, ami veszélyezteti a magyar minőségi növénytermesztést és a magyar termények nemzetközi keresletét is. A minőségi búzatermesztés és élelmiszer előállítás feltétele a minőségi fémzárolt vetőmag felhasználása (Bedő és Láng, 2010). A fajtafenntartás és a minőségi vetőmag előállítás egyik alapja a fajta tisztaságának biztosítása, az idegenelés. A fajtaidegen növények (idegen növényfajok, idegen fajták) eltávolítása gondos, nagy odafigyelést igénylő, drága szakmunka, melyet állománytól függően általában többször is ismételni szükséges (Izsáki és Lázár, 2004; Elitmag, 2010). A spektrális reflektancia elvét egyesítve a már elérhető nagyteljesítményű képfelismerési elven működő postharvest szemválogató rendszerek működésével nagyban javítható a vetőmag végső tisztasága, ellenőrizhető, részben kiváltható a kézi idegenelés. Ez a vetőmag minőségi javulásához és az előállítási költségek mérsékléséhez vezethet. A minőségi vetőmag előállítását a növénynemesítés és a vetőmag ipar biztosítja, melyek hatékony működésének feltétele a szellemi tulajdonjogok elismerése (Bedő és Láng, 2010). A növényi állományról terepi, vagy légi távérzékeléssel gyűjtött spektrális adatok azonosítási lehetőséget kínálnak a

1. Bevezetés, célkitűzések

búzafajták származásának és a fajtahasználati díj befizetésének ellenőrzésére. A fémzárolt vetőmag használatának nagy területre kiterjeszhető, költséghatékony ellenőrzése a nemesítési és fajtafenntartási munkák, illetve a minőségi vetőmag előállításának biztos alapja lehet. A hatékony és jövedelmező termesztési rendszer feltételei közül a nemesítési, vetőmag előállítási, fajtahasználati díjak, valamint vetőmagárak, termesztési költségek és búzafelvásárlási árak optimális egyensúlya meghatározó.

A spektrális információ alapú minőségbiztosítási rendszer szerepe komplex. A nemesítés anyagi háttere biztosított (fajtahasználati díj), a vetőmag előállító ipar oldaláról nézve alacsonyabb költséggel, tisztább vetőmag állítható elő. A vetőmag ára csökken. A termelő minőségi vetőmagot vet, minőségi árut termel, jövedelmezőbb a munkája. Az ipar minőségi élelmiszert állít elő.

A NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet Távérzékelési laboratóriumában egy hordozható spektroradiométer laboratóriumi felhasználási módját tanulmányozva vizsgáltam az általánosan elterjedt eljárás megbízhatóságát. Új vizsgálati eljárás kidolgozását tűztem ki célul, mely általános érvényűen csökkenti a hordozható spektroradiométerekkel végzett laboratóriumi mérésekre jellemző mérési bizonytalanságot. Az új vizsgálati eljárást alkalmazva a búzaszemek laboratóriumi vizsgálatával évjárattól független vetőmag szelektálásra alkalmas spektrumkönyvtár létrehozását tervezem. Vizsgálom az őszi búza vetőmag spektrális tulajdonság alapú fajtaszintű osztályozásának, azonosításának lehetőségét.

Ezzel párhuzamosan a gyakorlatban elterjedt terepi mérési eljárást alkalmazva minőségtől és évjárattól független őszi búza spektrumkönyvtár létrehozását tűztem ki célul és vizsgálom az őszi búza állományok spektrális tulajdonság alapú fajtaszintű osztályozásának, azonosításának lehetőségét.

Hipotézisem szerint:

- Megfelelően definiált, új vizsgálati eljárással a mérések megbízhatósága javítható.
- A búzafajták spektrális információ alapján azonosíthatóak.
- A spektrális különbség függ a búza fejlődési fázisától.

A fentiekben meghatározott célok pontokba szedve:

- Az általánosan alkalmazott laboratóriumi eljárás megbízhatóságának vizsgálata.
- Új laboratóriumi vizsgálati eljárás kidolgozása.
- Fajtaspecifikus spektrális reflektancia könyvtár létrehozása őszi búza állományokról és vetőmagmintákról.
- Spektrumkönyvtár alapú osztályozó eljárás kidolgozása őszi búza állományok és vetőmag fajtaszintű azonosítására.

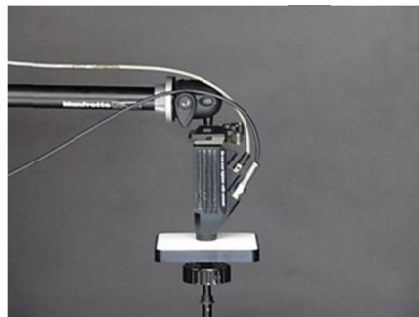
2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A meghatározott célok elérése érdekében növénytermesztési kísérlet beállítására, alapozó kutatásra, előzetes kísérletek elvégzésére, új vizsgálati eljárás és megfelelő adatfeldolgozási eljárás kidolgozására, valamint modellalkotásra volt szükség.

2.1 Az általános mérési eljárás

A laboratóriumi méréseket a NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézetben tervezett fényizolált laborszekrényben végeztem, külső fényhatások kizárásával, illetve a mérési térben fellépő nem-kívánt reflexiók minimalizálásával. Méréseim során egy ASD FieldSpec 3 Max hordozható spektroradiométert használtam.

Alapvetően két mérési eljárást használnak. Érintés nélkül végzett mérés, külső megvilágító fényforrás alkalmazásával, illetve belső fényforrással rendelkező szenzorfej segítségével végrehajtott kontakt mérés (1. ábra). Utóbbi előnye, hogy a légköri tényezőktől független, megbízhatóbb mérést tesz lehetővé.



1. ábra: Külső fényforrás (Pro Lamp) alkalmazása (balra), kontakt mérés Plant Probe szenzorfejjel (jobbra).

A terepi és laboratóriumi mérések alapját az ún. fehér referenciamérés képezi, melyet terepen legalább 15, laborban 45 percenként javasolt megismételni. Minden reflektancia mérés a kalibrált reflexiók tulajdonságú referenciapanelre vonatkoztatott.

2.2 Elő-kísérletek

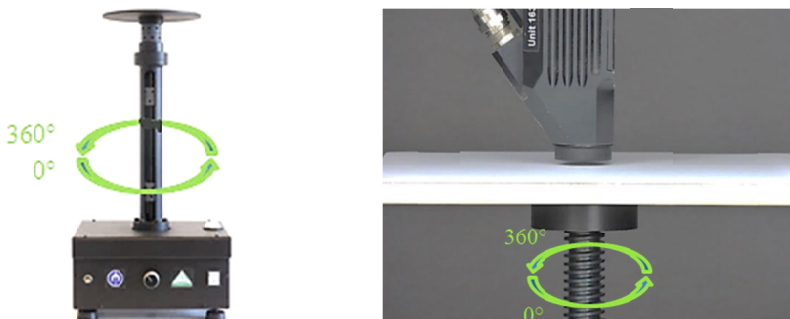
Az általánosan elterjedt mérési eljárás hiányosságainak feltárására elő-kísérleteket végeztem örölt talaj-, rögzös talaj-, búza- és kukoricamintákon. Bolygatatlan mintákon végeztem ismétlésekből álló mérési sorozatot. A „bizonytalanságot” a mérés eredményeinek bizonytalanságát szórásként kifejező standard bizonytalanság számításával és összehasonlításával vizsgáltam (OMH, 1995). A következő bizonytalansági tényezőket azonosítottam:

2. Anyag és módszer

- Egységes referencia- és mintaspektrum rögzítés közötti idő hiánya
- Állandó szenzor távolság (mérési magasság) hiánya
- Megvilágítási iránytól függés
- Egységes minta-rétegvastagság hiánya
- Kontakt eljárás bizonytalansága

2.3 Új laboratóriumi vizsgálati eljárás

Az elő-kísérletek során azonosított tényezők igazolására, minimalizálására, illetve kizárására saját tervezésű mintaforgató rendszert építettem. A minta folyamatos forgatását széles fordulatszám-tartományban képes biztosítani. A mérési magasság nagy pontossággal állítható. A mintaforgató rendszerre épülően új kontakt-közeli vizsgálati eljárást dolgoztam ki, mely ötvözi a külső megvilágító fényforrással végzett mérések és a kontakt mérések előnyeit, ugyanakkor mentes azok hibáitól. 1 [mm]-es mérési magasságot alkalmazva még nem jelentkeznek a légköri hatások és a mérés nem terhelt a kontakt mérési bizonytalansággal, a szenzorfej és a fehér referenciapanel nem szennyeződik. A lehető legnagyobb mérési pontosság elérése érdekében a fehér referencia- és a minta mérése közötti időt standardizáltam (36 [s]). A fehér referenciamérést minden mérés előtt elvégeztem. A mérés ideje alatt (12 [s]) a minta forgatása folyamatos. A mérési eljárás teljesítménye 1 [minta/perc] (2. ábra).



2. ábra: Mintaforgató rendszer (balra), forgatással javított kontakt-közeli mérési eljárás (jobbra).

2.4 Növénytermesztési kísérlet

Az új vizsgálati eljárás kidolgozásával párhuzamosan öt különböző búzafajta spektrális tulajdonságainak vizsgálatát kezdtem a meg a Szent István Egyetem Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézetének fajtakísérletében, Hatvan-Nagygyompos térségben. A kísérletben öt búzafajtát (Alföld 90, Mv Csárdás, Mv Magdaléna, Mv Suba, Mv Toborzó) vizsgáltam, három meghatározó nitrogén-utánpótlási szinten (0, 80, 120 [kg/ha]), négy ismétlésben, három évjáraton keresztül (2010, 2011, 2012). A méréseket bokrosodáskor, kalászhányás előtt és betakarítás előtt végeztem. Az

2. Anyag és módszer

adatfeldolgozás során csak az utóbbi kettőt dolgoztam fel, mivel bokrosodáskor a talaj hatása még meghatározó volt.

2.5 Búzaállomány terepi vizsgálata

Figyelembe véve a környezeti tényezők folyamatos változását a terepen általánosan alkalmazott mérési eljárás pontossága elfogadható.

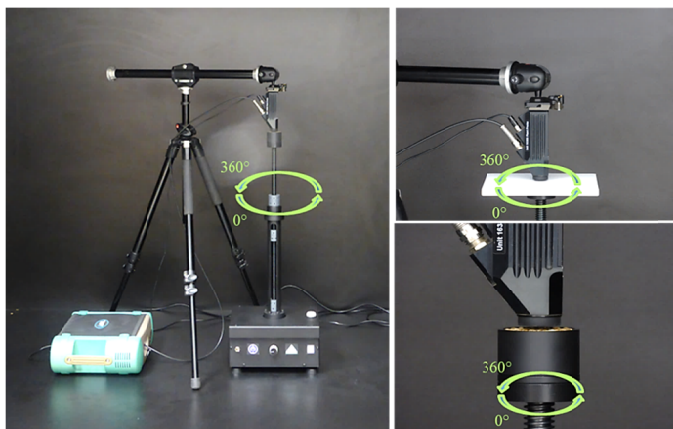
A mérési magasságot az átlagos növénymagasságtól minden esetben 80 [cm]-re állítottam be (3. ábra). 25°-os látószög esetében ez $\sim 0,5$ [m²]-es pixelméretet jelent (~ 300 [db] kalász). Parcellánként 5 mérést végeztem. Mérésenként 1, kezelésenként 20 [db] spektrumot rögzítettem.



3. ábra: Terepi mérés.

2.6 Vetőmag laboratóriumi vizsgálata

A vetőmag vizsgálata során az általam kidolgozott forgatással javított kontakt-közeli vizsgálati eljárást alkalmaztam (4. ábra). A tisztított búzát egyensúlyi nedvességtartalom (14 [%]) mellett, visszatevés nélküli mintavétellel vizsgáltam. Mintánként 5 mérés, mérésenként 1, kezelésenként 20 [db] spektrumot rögzítettem. A mintatartó térfogata ~ 50 [cm³] (1600-1700 [db] búzaszem).



4. ábra: Vetőmag laboratóriumi vizsgálata

2.7 Spektrumok feldolgozása

A spektrumadatok áttekintésére és ellenőrzésére ViewSpec Pro szoftvert használtam. Az adatok feldolgozását a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar Kihelyezett Agrár-Műszaki Tanszékén végeztem Matlab 2010a (Mathworks) programkörnyezetben futó PLS_Toolbox (Eigenvector research Incorporated) alkalmazással. A feldolgozás során kiválasztott, a kemometriában alkalmazott matematikai-statisztikai eljárások megfelelő kombinációját és felügyelt osztályozást (Supervised classification) alkalmaztam. A felügyelt osztályozás során PLS DA - Részleges Legkisebb Négyzetek módszerrel végzett Diszkriminancia-Elemzés eljárást alkalmaztam.

A nyers adatok önmagukban nem tartalmaznak jellegzetes elnyelési csúcsokat, vagy más karakterisztikus jellemzőt, mely lehetővé tenné a fajták elkülönítését, azonosítását. Az adatok statisztikai elemzésére van szükség. A spektrumanalízis során nem csupán a hullámhosszanként változó reflektancia értékei hordoznak információt a fizikai modellről, hanem az egyes értékek arányai és a görbe függvénytulajdonságai is.

2.7.1 A spektrumok elő-feldolgozása

Az elő-feldolgozás során alkalmazott transzformációk egy része a mérési eredmények statisztikai összehasonlíthatóságát segíti elő (pl.: normálás, skálázás, logaritmizálás). Ezek feltételei az egységes adatkezelésnek. Másik része az osztályozó modell számára emeli ki a görbe tulajdonságainak felhasználásával (pl.: derivált: görbület, inflexiók) a lényeges információt, a zaj csökkentése mellett.

2.7.2 Osztályozás

A spektrális információ kiterjedt. Egyetlen mérési eredmény 2151 [db] változót hordoz, melyek egy adott búzafajta, adott kezelésének csatornánként rögzített reflektancia értékei. A statisztikai elemzés során a változók számának csökkentésére van szükség. A cél: nem „számszerűsíthető” fajtatulajdonsággal leginkább kapcsolatba hozható változók keresése, illetve képzése.

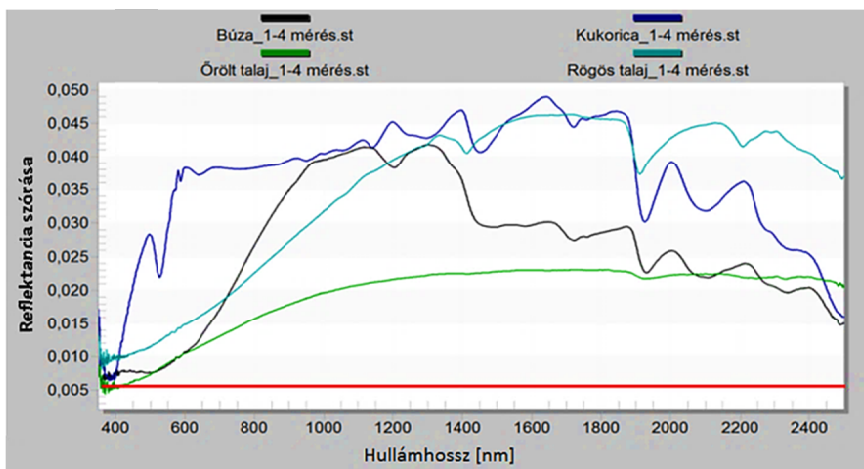
A főkomponens-analízishez hasonlóan a PLS regresszió is adattömörítő módszer. Azonban, nem csak a független változót (spektrumokat) veszi figyelembe, de a becsülni kívánt referencia adatokat is, azaz a regressziós egyenlettel közelítendő függő változó (fajtaosztály) tulajdonságait is. Új látens változó képzésével képez statisztikai kapcsolatot a két változó között. A kezeléseket fajtánként és évjáratonként csoportosítva vizsgáltam. A modell számára ismert osztályokat adtam meg. Validáció során a modellt minden esetben független évjárat, ismeretlen osztályokkal validáltam. A látens változók számát az elérhető legnagyobb magyarázott variancia és legkisebb osztályozási hiba alapján választottam meg.

3. EREDMÉNYEK

Az elő-kísérletek tapasztalatait, az egyedi laboratóriumi vizsgálati eljárást, valamint a búza különböző fejlődési stádiumaiban mért spektrumok adatfeldolgozási eljárásának eredményit a következő fejezetekben ismertetem.

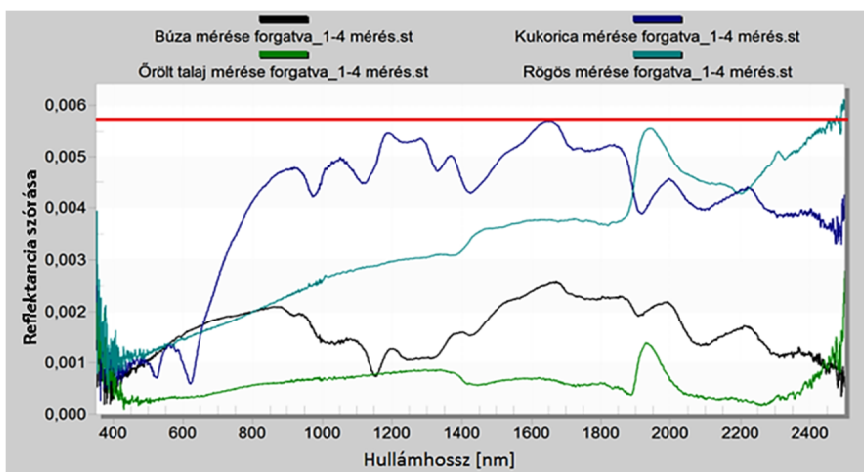
3.1 Új laboratóriumi vizsgálati eljárás

A hagyományos vizsgálati eljárással végzett mérések szórását csatornánként kiszámítva a reflektancia spektrumok szórásgörbéjét kapjuk. Ez diszkrét értékek sokasága (2151 [db] szórás érték). Őrölt talaj-, rögs talaj-, búza- és kukoricaminta vizsgálata esetében a következő szórásgörbéket kaptam (5. ábra).



5. ábra: A hagyományos vizsgálati eljárással elérhető szórás

Az új vizsgálati eljárással a szórást a piros vonallal jelzett szint alá, egy nagyságrenddel sikerült csökkentenem (6. ábra).



6. ábra: Az új vizsgálati eljárással elérhető szórás

3. Eredmények

3.2 Búzaállomány terepi vizsgálata

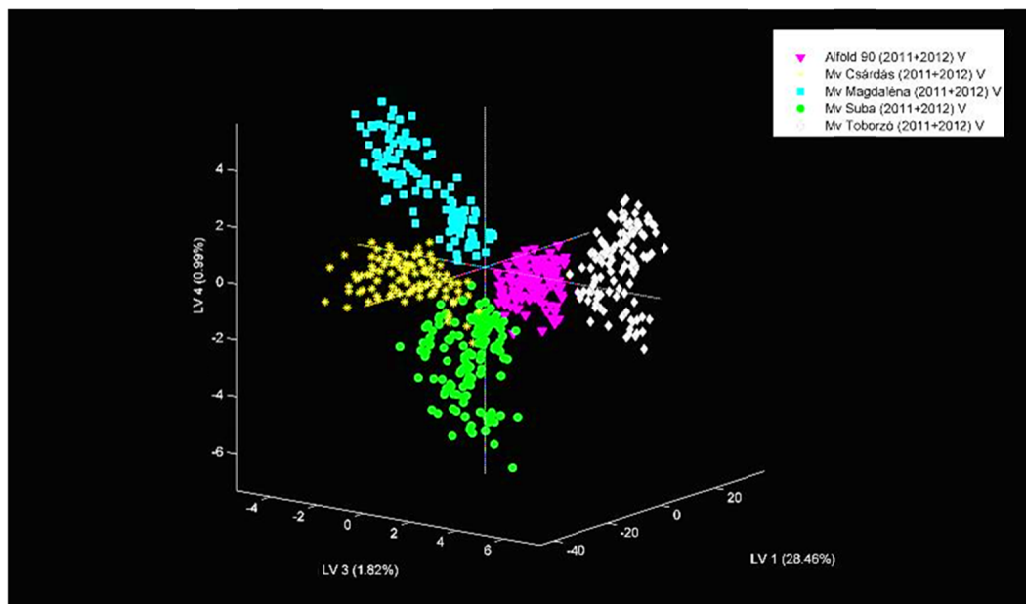
A különböző fenofázisokban mért spektrumok osztályozását a különböző évjáratok eredményeinek felhasználásával több lépésben végeztem el, melyeket a dolgozat részletesen tartalmaz. A validáció során elért legjobb eredményeket a következőkben ismertetem.

3.2.1 Kalászhányás előtti mérés

A kalászhányás előtt mért spektrumok feldolgozása során egyéves kalibrációs sokaság esetén hatékony osztályozást végeztem. A modell teljes pontossága 97,66 [%] volt. A kalibrációs sokaság, illetve évjáratok bővítése javíthat a modell hatékonyságán. Az eredményt konfúziós táblázat (1. táblázat) és a minták statisztikai eloszlásának bemutatásával szemléltetem (7. ábra).

1. táblázat: A validáció eredménye: vízszintesen a 2012-es minták, függőlegesen a független minták modell által végzett osztályba sorolása látható.

Konfúziós táblázat (Val)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	60	0	7	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	60	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	53	0	0
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	60	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	0	60



7. ábra: 2011 és 2012 években vizsgált különböző búzafajták eloszlása a 1-es 3-as és 4-es számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

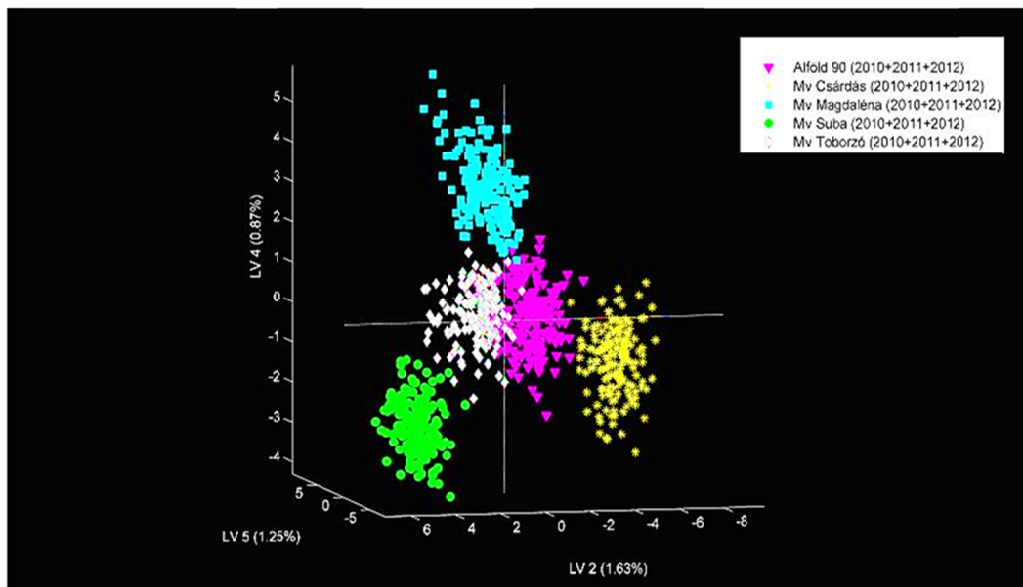
3. Eredmények

3.2.2 Betakarítás előtti mérés

A teljes érést követően, betakarítás előtt mért spektrumok feldolgozása során egyéves kalibrációs sokaság esetén is hatékony osztályozást végeztem. A 2010-es kalibrációs sokaság alapján 100 [%]-os pontossággal azonosítottam a 2012-es évjárat spektrumait. 2011-es kalibrációs állomány alapján végzett azonosítás esetén a modell által végzett azonosítás teljes pontossága 96,33 [%] volt. A legjobb eredményeket azonban a 2010-es és 2011-es évjáratot egységes kalibrációs sokaságként kezelve értem el. A 2012-es évjáratral végzett validáció során a modell teljes osztályozási pontossága 100 [%] volt. A kalibrációs sokaság, illetve évjáratok bővítése javította a modell hatékonyságát. A modell által végzett osztályozást konfúziós táblázat (2. táblázat) és a minták statisztikai eloszlásának bemutatásával szemléltetem (8. ábra8. ábra).

2. táblázat: A validáció eredménye: vízszintesen a 2012-es minták, függőlegesen a független minták modell által végzett osztályba sorolása látható.

Konfúziós táblázat (Val)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	60	0	0	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	60	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	60	0	0
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	60	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	0	60



8. ábra: 2010, 2011 és 2012 években vizsgált különböző búzafajták eloszlása a 2-es 4-es és 5-ös számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

3. Eredmények

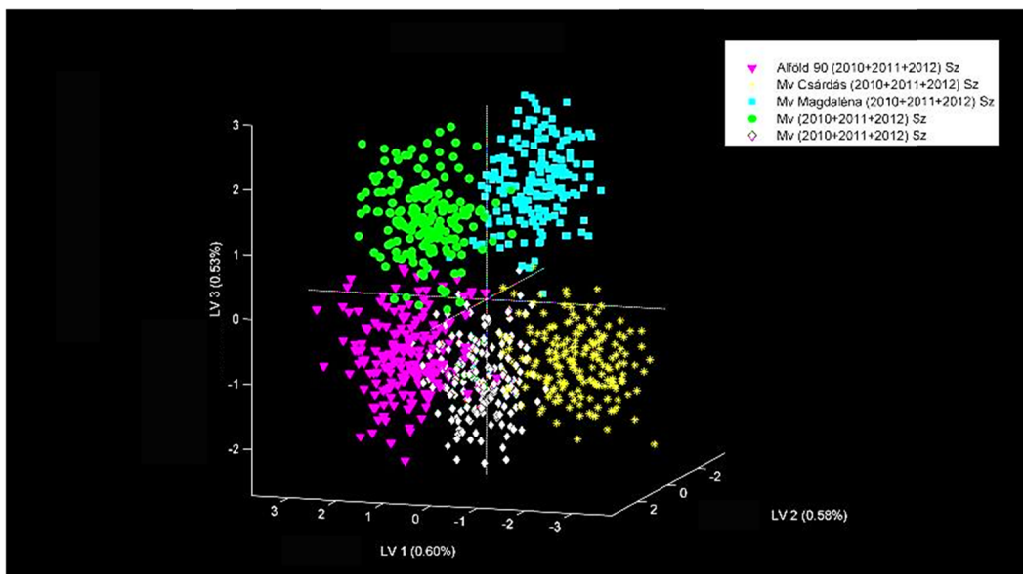
3.3 Vetőmag laboratóriumi vizsgálata

A terepi mérésekhez hasonlóan a fejezet csak a validáció során elért legjobb eredményeket, illetve azok grafikus bemutatását tartalmazza.

Már egyéves kalibrációs sokaság esetén is hatékony osztályozást végeztem. A 2010-es évjárat alapján kalibrált modell 95,66 [%]-os teljes pontossággal azonosította a 2012-es spektrumokat. A 2011-es évjárat alapján kalibrált modell 93 [%]-os teljes pontossággal dolgozott. A legjobb eredményeket a 2010-es és 2011-es évjáratot egységes kalibrációs sokaságként kezelve értem el. A 2012-es évjáratnál végzett validáció során a modell teljes osztályozási pontossága 96,66 [%] volt. A kalibrációs sokaság, illetve évjáratok bővítése javította az eredményen. Az eredményeket konfúziós táblázat (3. táblázat) és a minták statisztikai eloszlásának bemutatásával szemléltetem (9. ábra).

3. táblázat: A validáció eredménye: vízszintesen a 2012-es minták, függőlegesen a független minták modell által végzett osztályba sorolása látható.

Konfúziós táblázat (Val)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	58	0	1	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	55	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	1	0	59	0	1
Azonosított, mint Mv Suba	0	2	0	59	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	1	3	0	1	59



9. ábra: 2010-es, 2011-es és 2012-es évjáratokban gyűjtött különböző búzafajta minták eloszlása az 1-es 2-es és 3-as számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

3. Eredmények

3.4 A fajták elkülöníthetőségének időbeli változása

Az osztályozás során alkalmazott eljárás részeként az öt darab látens változó jellemzően különböző mértékű varianciát és kumulált varianciát magyarázott a három fejlődési állapot, illetve minta esetében. A legnagyobb százalékban a zöld, kalászhányást megelőző növényi állomány esetében magyarázták a látens változók a mérési eredmények varianciáját. A vetőmag esetében a kalászhányás előtt álló állománynál tapasztalt 20,46 [%] 0,82 [%]-ra csökkent, két nagyságrenddel kisebb, mint egész növény esetében. A összehasonlítást a három eset 2010-es évjárat adatfeldolgozási eredményeinek táblázatba foglalásával végeztem (4. táblázat).

4. táblázat: A modellalkotás során kapott látens változók (LV) által magyarázott variancia összehasonlítása két fejlődési állapotban vizsgált növény és a betakarított szaporítóanyag vizsgálata esetén.

	Kalászhányás előtti terepi mérések (X-adatmátrixban magyarázott variancia [%])	Betakarítás előtti terepi mérések (X-adatmátrixban magyarázott variancia [%])	Vetőmag laboratóriumi mérése (X-adatmátrixban magyarázott variancia [%])
LV 1	20,46	8,52	0,82
LV 2	2,17	3,23	0,76
LV 3	1,82	1,90	0,73
LV 4	0,99	1,50	0,71
LV 5	1,64	1,86	0,63

A nagyobb százalékban magyarázott variancia hatékonyabb osztályozást eredményezett. A százalékban kifejezett variancia mértéke a mintasokaságban rejlő spektrális fajtabélyeg kifejeződése. Adott mintasokaságban a kifejeződés mértéke a fajták között fennálló spektrális különbség.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Kutatómunkám során a távérzékelés és a laboratóriumi spektroszkópia, valamint a spektrumalapú őszi búza fajtasztíjú osztályozás területén elért új tudományos eredmények a következők:

1. Forgatásra alapozott kontakt-közeli eljárás

Új vizsgálati eljárást dolgoztam ki a mérési bizonytalanságot okozó tényezők minimalizálására (megvilágítási irányfüggés), egyes esetekben (kontakt mérési bizonytalanság, változó mérési magasság, minta rétegvastagsága) kizárására.

Kísérletben igazoltam a nyílt rendszerű laboratóriumi mérések során fellépő bizonytalanságot okozó tényezőket. Igazoltam, hogy a fehér referenciamérés és a minta spektrumának rögzítése között eltelt idő standardizálásával a mérések bizonytalansága csökkenthető. A megváltozó szenzor távolságból, megvilágítási irányból és a minta rétegvastagságból adódó bizonytalansági tényezők szerepét, minimalizálhatóságát, illetve kizárhatóságát saját tervezésű moduláris rendszerű berendezéssel igazoltam. Az új berendezés segítségével kontakt közeli vizsgálati eljárást dolgoztam ki, mely érintésmentes vizsgálatot tesz lehetővé, mégis kizárja a légköri tényezőket. Az érintésmentes vizsgálat megszünteti a minta felszínének bolygatását, a szenzorfej és a referenciafelület szennyeződését, rongálódását. Az eljárást forgatással alkalmazva minimalizáltam a mérés során a megvilágítási iránytól való függést. Az új, általam kidolgozott vizsgálati eljárást a hagyományos eljárásra jellemző standard szórásnál egy nagyságrenddel kisebb szórás jellemzi, ezáltal a búza vetőmagminták egy nagyságrenddel pontosabban vizsgálhatóak. Az eljárás nyílt rendszerű laboratóriumi méréseknél általánosan alkalmazható.

2. Búzaállomány fajtasztíjú azonosítása

Bizonyítottam az őszi búzafajták spektrális elkülöníthetőségét, kalászhányást megelőző fenológiai fázisban. Igazoltam, hogy az általam kidolgozott spektrum-transzformációs eljárás segítségével kalibrált modellel a búzafajták azonosíthatóak a kalászhányás előtt végzett terepi mérések alapján. A kidolgozott eljárást módosítva a modellt kiterjesztettem a betakarítás előtt mért terepi spektrumok azonosítására. A modell kiterjeszthetőségét igazoltam. A teljes érést követő fenológiai fázisban bizonyítottam az őszi búzafajták spektrális elkülönítésének lehetőségét.

Új spektrum-transzformációs eljárást dolgoztam ki. Segítségével az általam létrehozott spektrumkönyvtár spektrumait kalibrációs állományként használva Részleges Legkisebb Négyzetek módszerrel végzett Diszkriminancia-Elemzés (PLS DA) segítségével modellt alkotva igazoltam a búzafajták spektrumalapú azonosíthatóságát. A kidolgozott eljárás már a kalászhányást megelőző

4. Új tudományos eredmények

fenológiai állapotban képes a búzafajták azonosítására. Az eljárást módosítva az azonosítás a betakarítás előtt is lehetséges.

Igazoltam, hogy az osztályozó és/vagy azonosító eljárás a nitrogén-utánpótlásra és az évjáráthatásra nem érzékeny. A fajtajellegek esetleges termőhely-specifikusságát a jövőben több termőhelyen szükséges vizsgálni.

3. Vetőmag alapú spektrális fajtaazonosító eljárás

Az eljárást kiterjesztettem a vetőmag spektrumok feldolgozására. Igazoltam az eljárás kiterjeszhetőségét. Az új vizsgálati és adatfeldolgozási eljárást együttesen alkalmazva igazoltam, hogy az őszi búzafajták vetőmagjuk alapján évjárattól függetlenül azonosíthatóak.

Új, vetőmagspektrumokhoz kidolgozott transzformációs eljárás segítségével modellt alkottam, mely eredményesen azonosította a búzafajtákat vetőmagjuk alapján. Az eljárás tisztított vetőmagtételeken, egységes nedvességtartalom mellett, laboratóriumi körülmények között alkalmazható. A fajtaazonosítás többéves vetőmag vizsgálata esetén is eredményes.

Igazoltam, hogy az osztályozó és/vagy azonosító eljárás a nitrogén-utánpótlásra és az évjáráthatásra nem érzékeny. A fajtajellegek esetleges termőhely-specifikusságát a jövőben több termőhelyről származó vetőmag esetében szükséges vizsgálni.

4. A fajták elkülöníthetőségének időbeli változása

Bizonyítottam, hogy a búzafajták között fennálló spektrális különbség függ a búza fejlődési fázisától. Igazoltam, hogy a fajták közti spektrális különbség a fotoszintetikusán aktív fázisban a legnagyobb, szaporítóanyag fázisban pedig a legkisebb.

Kimutattam, hogy a fajták elkülöníthetősége mögött rejlő spektrális fajtabélyegek kifejeződése egész növény (kalászhányás előtt és teljes érést követően) esetében határozottabb, mint a vetőmag (búzaszemek) esetében. Vetőmag laboratóriumi vizsgálata esetében a fajtajelleg kifejeződése, illetve érzékelhetősége – a stabil laboratóriumi körülmények ellenére is – nagyságrenddel kisebb, mint a növényi állományban, terepi körülmények között mért spektrumok esetében.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Eredmények gyakorlati jelentősége a spektroszkópiában

A nyílt rendszerű spektrométerek általános laboratóriumi vizsgálati eljárása jelentős mérési bizonytalanságokkal terhelt. A bizonytalansági tényezők minimalizálásával, illetve kizárásával ez nagymértékben javítható. A standard mérési időre alapozott forgatással javított kontakt-közeli vizsgálati eljárás egy nagyságrenddel csökkenti a szórást. Minimalizálja a légköri hatásokat és a megvilágítás irányától való függést, kizárja a kontaktusból adódó bizonytalanságot. Más megvilágító fényforrás, nagyobb szenzortávolság esetén is javít a megbízhatóságon. Pontos és megbízható szenzortávolság beállítást és tartást tesz lehetővé, különböző méretű referenciapanel- és mintatartó-magasság esetén is. Fényáteresztés szempontjából, az eltérő anyagú minták optimális rétegvastagságot mindig javasolt megvizsgálni. A mintatartó mélységét ennek függvényében kell megválasztani.

Eredmények gyakorlati jelentősége a búzatermesztésben

A terepen alkalmazott, és az általam kidolgozott laboratóriumi vizsgálati eljárás megbízhatósága alkalmas a megfelelő spektrumkönyvtár létrehozására. Az általam kidolgozott spektrum-transzformációs eljárással alkotott PLS DA modellek eredményesen azonosítják a búzafajtákat.

Egy megbízható növényállomány azonosító rendszer és szemenként történő osztályozási/azonosító eljárás új alapokra helyezheti a vetőmag-előállítási és fajtaoltalmi rendszert. A modell más búzafajtára történő kiterjesztése, terepi és/vagy légi távérzékeléssel, valamint laboratóriumban végzett spektrális vizsgálatokkal a spektrumkönyvtárak létrehozása a hároméves DUS vizsgálat alatt megkezdhető. Ebben az esetben egy fajta az elismerést követő első évben már három évjáratból álló spektrumkönyvtárral kerülhet a köztermesztésbe. A méréseket a Magyarországon működő fajtakísérleti állomásokon, meghatározó tápanyag-utánpótlási szinteken (0, 80, 120 [kgN/ha]) szükséges elvégezni. A fajták termőhelyspecifikus jellemzői így beépülnek a spektrumkönyvtárakba.

A légi távérzékelés fajtaoltalmi rendszerbe történő illesztése fontos alapját képezheti egy országos szakértői rendszernek. A termőterületek felvételezésével hatékony termésbecslés és növényvédelmi előrejelzés, valamint a búzafajták pontos termőhelyspecifikus (és tápanyag specifikus) teljesítőképességnek tanulmányozása lehetséges.

A nagy területen végzett rendszeres légi távérzékelés költséghatékony adatszolgáltatás eszköze lehet integrált szaktanácsadási rendszernek.

A kutatás folytatásával az osztályozó/azonosító eljárás fokozatosan kiterjeszthető lehet további szántóföldi kultúrákra is.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat keretein belül a nyílt rendszerű spektroradiométeres vizsgálati eljárást tanulmányoztam egy ASD FieldSpec 3 MAX típusú berendezés alkalmazására épülően. Az általánosan elterjedt laboratóriumi eljárás tesztelése során fontos bizonytalansági tényezőket azonosítottam, melyek egy új vizsgálati eljárással jelentős mértékben csökkenthetőek.

Nagy teherbírású, moduláris rendszerű mintaforgató rendszert fejlesztettem. A változtatható forgási sebességnek köszönhetően más spektroradiométer típus, vagy vizsgálati eljárás esetén is alkalmazható. Különböző anyagú és mennyiségű minták vizsgálatára alkalmas. Új vizsgálati eljárások kidolgozására biztosít lehetőséget. Az eszközre épülően egyedi vizsgálati eljárást dolgoztam ki. A mintaforgató rendszerrel javított kontakt-közeli eljárással 1 [mm]-es mérési magasságot alkalmazva minimalizáltam a légköri hatásokat és a megvilágítási iránytól való függést, valamint kizártam a fizikai kontaktusból eredő bizonytalanságot is. Az új vizsgálati eljárásnak köszönhetően jelentősen megnőtt a mérések megbízhatósága.

Ezzel párhuzamosan tanulmányoztam a távérzékelés alkalmazhatóságát az őszi búza termesztési rendszerében. Hipotézisem szerint a növényi állományról terepi, vagy légi távérzékeléssel gyűjtött spektrális adatok alapján a fajta azonosítható. Ez a fémzárolt vetőmag használatának nagy területre kiterjeszhető, költséghatékony ellenőrzését és a nemesítési, fajtafenntartási munkák, illetve a minőségi vetőmag előállításának biztos alapja lehet. A vetőmag spektrumalapú azonosítása a postharvest szemválogató rendszerek elvén működő vetőmag-előállítás jövőjét jelentheti.

A Szent István Egyetem Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézet Kísérleti Telepén kisparcellás körülmények között öt búzafajta három különböző tápanyag-ellátottsági szintjét vizsgáltam 2010, 2011, 2012 évjáratokban. A mérések kalászhányást és betakarítást megelőző fenofázisokban történtek. A termésből gyűjtött mintákon laboratóriumi méréseket végeztem.

Az új vizsgálati eljárást alkalmazva spektrumkönyvtárat hoztam létre, melyet kalibrációs sokaságként alkalmazva modell alkottam. A modellt független mintasokaságon, más évjárat mérési eredményeivel validáltam. Az eredmények bizonyították a fajtaszintű osztályozás/azonosítás lehetőségét. A kalibrációs állomány bővítésével az osztályozás hatékonysága javult. A spektrumkönyvtár alapú modellek kidolgozásával - évjáratról és tápanyag-utánpótlási szinttől független - spektrális fajtabélyeg alapú osztályozást végeztem, eredményesen.

A modellek légi hiperspektrális felvételekre történő kiterjesztése és további búzafajtákon, termőterületeken történő tesztelése javasolt.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk idegen nyelven:

1. **Szalay K. D.**, Deákvári J., Csorba Á., Fenyvesi D. (2013): Integrated ground and airborne sampling methods for measuring and modeling the change of moisture content value in agricultural lands. The experiment – International journal of science and technology, Vol 9 (2), pp. 532-540.
2. **Szalay K. D.**, Deákvári J., Csorba Á., Milics G. (2013): Time- and cost-effective sampling methods as indispensable tools in calibration of airborne remote sensing data. Agricultural Engineering. Research papers, 2013, vol 45, No. 2, Lithuania, pp. 132-145.
3. Szőke CS., Virág I., **Szalay D. K.**, Bónis P., Fenyvesi L., Marton L. C., Neményi M. (2012): Investigation of Fusarium ear rot symptoms on maize (*Zea mays* L.) using a spectroradiometer. Journal of Agricultural Sciences, Debrecen 50: pp. 50-53.
4. Virág I.; **Szalay K.**; Szoke C.; Milics G.; Marton L.; Neményi M. (2011): Analysing symptoms of Fusarium ear rot on maize (*Zea mays* L.) using an ex situ hyperspectral examination method. ACTA Agronomica Hungarica 59: (3), pp. 231-240.
5. **Салаи К. Д.** (2013): Использование прогрессивных научных методов измерений и сбора информации в современном сельском хозяйстве (Advanced evaluation methods and information management in modern agriculture). Series of Agricultural Sciences 2013, 2 (14), Almaty, NAS RK, pp. 44-51.

Lektorált cikk magyar nyelven:

6. Deákvári J., Kovács L., **Szalay D. K.**, Tolner I. T., Csorba Á., Milics G., Virág I., Balla I., Kardeván P., Fenyvesi L. (2011): Parlagfű-detektálás hiperspektrális távérzékelési eszközökkel. Mezőgazdasági Technika LII. évfoly. 2011. március, 2-5. o.
7. Dimitrievits Gy., Gulyás Z., **Szalay D. K.** (2013): Csak ott permetezünk, ahol kell: a helyspecifikus permetezés lehetőségei. Agrárágazat XIV/11/2013. november, 90-92. o.
8. **Szalay K. D.**, Bellus Z., Deákvári J., Csorba Á., Polyák D., Tarnawa Á., Jolánkai M., Fenyvesi L. (2013): Gabonafélék fertőzöttségének vizsgálata spektroszkópiával. Mezőgazdasági Technika, LIV évf. 9. szám, 2-5. o.