

SZENT ISTVÁN EGYETEM

Távérzékelésre és spektroszkópiára alapozott őszi búza
fajtaazonosító eljárás

Doktori (Ph.D.) értekezés

Szalay D. Kornél

Gödöllő

2014

A doktori iskola
megnevezése: Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága: Agrárműszaki tudományok

vezetője: Prof. Dr. Farkas István
egyetemi tanár, D.Sc.
SZIE, Gépészmérnöki Kar

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

.....
az iskolavezető jóváhagyása

.....
a témavezető jóváhagyása

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK	5
1.1 A választott témakör jelentősége.....	5
1.2 Célkitűzések	6
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	7
2.1 A távérzékelés	7
2.1.1 A fény és a távérzékelés.....	8
2.1.2 Az elektromágneses spektrum.....	9
2.1.3 A távérzékelésben használt elektromágneses tartományok	10
2.2 A fény érzékelése, sugárzástani alapok	11
2.2.1 A fény és a légkör kölcsönhatásai	12
2.2.2 A fény és a vizsgált felszín kölcsönhatásai	14
2.3 A növényzet optikai tulajdonságai	16
2.4 A spektroszkópia története, mezőgazdasági vonatkozása	21
2.5 A távérzékelés története.....	26
2.6 A hiperspektrális képalkotás elve.....	28
2.7 Spektrális és hiperspektrális technológiák mezőgazdasági alkalmazása.....	31
2.8 A búza	33
2.8.1 A búza rendszertani besorolása és morfológiája	33
2.8.2 A búzatermesztés rövid történeti áttekintése.....	33
2.8.3 Konvencionális gazdálkodás	34
2.8.4 A nitrogén szerepe a búzában	35
2.8.5 A legfontosabb minősítő paraméterek értelmezése	37
2.9 Szakirodalmi eredmények értékelése, összefoglalása	38
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	40
3.1 Laboratóriumi mérések során előforduló mérési bizonytalanságok.....	40
3.1.1 A fehér referenciamérés és a minta spektrumának rögzítése között eltelt idő.....	44
3.1.2 Megváltozó szenzortávolság jelentőségének vizsgálata	44
3.1.3 Megvilágítási irány jelentőségének vizsgálata „ProLamp eljárás”	45
3.1.4 Minta rétegvastagság jelentőségének vizsgálata	46
3.1.5 Kontakt eljárás bizonytalanságának vizsgálata	47
3.2 Mintaforgató rendszer.....	49
3.3 Mintaforgató rendszerrel javított eljárás	53
3.3.1 Mintaforgató rendszerrel javított „ProLamp eljárás”	53
3.3.2 Kontakt-közeli eljárás	54
3.3.3 Mintaforgató rendszerrel javított kontakt-közeli eljárás.....	56
3.4 Terepi és laboratóriumi mérések	58
3.4.1 Terepi mérések	58
3.4.2 Laboratóriumi mérés.....	59
3.4.3 Spektrumok elő-feldolgozása	59
3.4.4 Osztályozás	61
3.4.5 A fajták elkülöníthetőségének időbeli változása	64
4. EREDMÉNYEK.....	65
4.1 Laboratóriumi mérések során előforduló mérések standard szórása.....	65
4.2 Mintaforgató rendszerrel javított mérések	79
4.2.1 Mintaforgató rendszerrel javított „ProLamp eljárás” eredményei	79

4.2.2	Kontakt-közeli mérési eljárás eredményei.....	82
4.2.3	Mintaforgató rendszerrel javított kontakt-közeli mérési eljárás eredményei.....	85
4.3	Terepi mérések	87
4.3.1	Kalászhányás előtti mérés	87
4.3.2	Teljes érést követő mérés	96
4.4	Laboratóriumi mérés.....	97
4.5	A fajták elkülöníthetőségének időbeli változása	99
4.6	Új tudományos eredmények.....	99
5.	KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	101
6.	ÖSSZEFOGLALÁS	102
7.	SUMMARY	103
8.	MELLÉKLETEK	104
M1	: Irodalomjegyzék	104
M2	: Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk.....	118
M3	: Őszi búzatermesztési kísérlet.....	120
M4	: A spektrum-transzformációs lépések grafikus ismertetése	124
M5	: SIMPLS algoritmus.....	133
M6	: Teljes érést követő mérés	135
M7	: Szaporítóanyag vizsgálata laborban.....	161
M8	: A standardizált mérési időre alapozott mérési eljárás	187
M9	: A kalászhányás előtt álló őszi búzafajtákat azonosító eljárás	188
M10	:A betakarítás előtt álló őszi búzafajtákat azonosító eljárás	189
M11	: Vetőmag alapján végzett őszi búzafajta azonosító eljárás	190
M12	:Az eredmények gyakorlati hasznosíthatósági modellje	191
M13	: Köszönetnyilvánítás	192

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

A következő fejezetben ismertetem a dolgozat témájának jelentőségét és időszerűségét, továbbá megfogalmazom a kutatás során kitűzött célokat.

1.1 A választott témakör jelentősége

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.

Ezen eszközök nem érik el a laboratóriumi műszerek képességeit (csatornaszám, felbontás, megbízhatóság stb.), ugyanakkor messze felülmúlják a képkalkotó multi, vagy hiperspektrális eszközök által nyújtott spektrális paramétereket.

A szenzorok alapvető technikai specifikációin túl meghatározó jelentőségű a mérési környezet, melynek két végét a laboratóriumi műszerek zárt rendszere (belső gyári referencia, mintatartó, megvilágító fényforrás, szenzor adott geometriai elrendezése) és a légi, vagy műholdas távérzékelés során jelentkező végtelen tér, illetve féltér jelenti.

A végtelen féltér igaz a hordozható műszerrel végzett terepi mérésekre is, de a felszín és a szenzor közötti távolság - és így a légköri tényezők hatása - nagyságrendekkel csökken. 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, hogy megközelíthetőek-e a műszer határai. 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. Megfelelő vizsgálati eljárás kidolgozásával a mérési bizonytalanság jelentősen redukálható. Adott műszernek egy adott mintára, illetve fiziko-kémiai paraméterre jellemző érzékelési, azonosítási küszöbértéke így kisebb lesz. Adott minták között az érzékelhető eltérés, vagy különbség mértéke lecsökken.

Magyarország sokáig Európa második legnagyobb vetőmagexportőre volt. Annak ellenére, hogy hazánk szerepe még ma is meghatározó, a vetőmag előállítás és a vetőmag szaporítás csökkenő tendenciát mutat. A hanyatlás oka, hogy országszerte drasztikusan lecsökkent a fémzárolt vetőmag használata. A termelők elsősorban a termesztési költségek megtakarítása miatt (sok esetben kényszerből) 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 egy adott búzafajta 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.

1.2 Célkitűzések

A NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet Távérzékelési laboratóriumában egy ASD FieldSpec 3 Max típusú hordozható spektrométer laboratóriumi felhasználási módját tanulmányozva vizsgáltam az általánosan elterjedt eljárás megbízhatóságát. Munkám során olyan új vizsgálati eljárás kidolgozását tűztem ki célul, mely általános érvényűen csökkenti a nyílt mérési rendszerű, hordozható spektrométerekkel végzett laboratóriumi mérésekre jellemző mérési bizonytalanságot. Az új vizsgálati eljárást alkalmazva a búzaszemek laboratóriumi vizsgálatával évjáráttól független vetőmag szelektálásra alkalmas spektrumkönyvtár létrehozását tervezem. Vizsgálom az őszi búza vetőmag spektrális tulajdonság alapú fajtasztintú osztályozásának, azonosításának lehetőségét.

Ezzel párhuzamosan a gyakorlatban elterjedt terepi mérési eljárást alkalmazva minőségtől és évjáráttól független őszi búza spektrumkönyvtár létrehozását tűztem ki célul és vizsgálom az őszi búza állományok spektrális tulajdonság alapú fajtasztintú osztályozásának, azonosításának lehetőségét. A terepi mérések során létrehozott spektrumkönyvtár később kiindulási alapja lehet a NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet és a Debreceni Agrártudományi Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet által közösen üzemeltetett AISA Dual, vagy más típusú légi hiperspektrális képalkotó rendszer által készült felvételeken szereplő őszi búza állományok osztályozására is.

A fentiekben meghatározott célok pontokba szedve:

1. A laboratóriumi mérések során előforduló mérési bizonytalanság tanulmányozása. A mérés eredményeinek bizonytalanságát szórásaként kifejező standard bizonytalanság (OMH, 1995) vizsgálatával.
2. Új vizsgálati eljárás kidolgozása a laboratóriumi mérés standard bizonytalanságának minimalizálására.
3. Őszi búza állomány (egész növény) terepi mérésével fajtasztintú spektrális reflektancia könyvtár létrehozása.
4. Őszi búza vetőmag (tisztított búza) laboratóriumi mérésével fajtasztintú spektrális reflektancia könyvtár létrehozása.
5. Meglévő Matlab algoritmusok funkcióinak célszerű alkalmazásával működő terepi spektrumkönyvtár alapú osztályozó eljárás kidolgozása őszi búza állományok fajtasztintú elkülönítéséhez.
6. Meglévő Matlab algoritmusok funkcióinak célszerű alkalmazásával működő laboratóriumi spektrumkönyvtár alapú osztályozó eljárás kidolgozása őszi búza vetőmag fajtasztintú elkülönítéséhez.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az alábbi fejezetben a távérzékelés, valamint a spektroszkópia fizikai alapjait, tudománytörténeti fejlődését, valamint mezőgazdasági vonatkozásának tudományos és gyakorlati jelentőségét ismertetem.

2.1 A távérzékelés

A távérzékelés olyan tudományos tevékenység, melynek során különböző távolságból, kifinomult szenzorokat alkalmazva mérik a vizsgált tárgyról, vagy földrajzi területről érkező elektromágneses sugárzást. A mért adatokat különböző matematikai és statisztikai eljárások segítségével értékes információvá konvertálják. A modern civilizáció felgyorsult világában a távérzékelés nélkülözhetetlen eszközzé vált a különböző természetes és mesterséges rendszerek egyensúlyának és működésének vizsgálatában. Az emberiség történelmét és fejlődését szemlélve megállapítható, hogy a népesség növekedése, valamint a technológiai vívmányok rohamléptékű antropogén hatásokat eredményeznek. Nagyságrendileg a kőkorszak végéig – 10000 évvel ezelőtt – a civilizáció hatása része volt a természeti jelenségeknek, illetve a természetes ökoszisztémának. Az emberiség ma már drasztikus mértékben beleavatkozik a Föld ökológiai rendszerébe, gyors és nagyléptékű változásokat tesz szűk és tágabb értelemben vett környezetében. Ezek a folyamatok már nem követhetőek a hagyományos terepi mintavételezéssel. A távérzékelés lehetővé teszi a nagy területekről történő, felszíni folyamatokat jellemző, akár idősoros mintavételezést és a költséghatékony adatszolgáltatást (Kardeván, 2010). A távérzékelés különféle globális és lokális folyamatok elemzésére biztosít számos módszert és eljárást, mely lehetővé teszi -mindig az aktuális vizsgálati cél függvényében - a megfelelő észlelést és adatfeldolgozási módszer kiválasztását (Kristóf, 2005). A technológia hatalmas adatmennyiséget biztosít, mely nélkülözhetetlen a globális ökológiai rendszer és lokális mikro-rendszerek leírásához és tanulmányozásához. Alkalmazása kiterjed számos mezőgazdasági, erdészeti, bányászati, város- és tájtervezési, környezetvédelmi (Berke et al., 2013), ökológiai, geodéziai, geológiai és hidrológiai alkalmazásra, illetve kiemelt jelentőséggel bír meteorológiai és klímaváltozást tanulmányozó, továbbá katonai hasznosításban is (Kardeván, 2010). A távérzékelés a vizsgált anyag és a fény kölcsönhatásának tanulmányozására épül. A megállapítás, mely a módszer alapját fogalmazza meg Krinov (1947) orosz minerológus, meteorit-kutató nevéhez fűződik. Távérzékelés során egy adott felületet, illetve területet, tárgyat, vagy eseményt úgy elemzünk, hogy fizikai kontaktus nélkül, saját környezetében, roncsolódást, vagy egyéb beavatkozást elkerülve gyűjtünk róla információt (Lillesand et. al., 2004), különböző távolságból. A mérésekhez használt berendezések elhelyezkedésük szerint három kategóriát alkotnak. Megkülönböztetünk földi, űr és a légkör különböző magasságában alkalmazott rendszereket (Janssen és Huurneman, 2001). Podmaniczky, 2004 alapján a távérzékelés üzemeltetési magasságai a következők: Földi megfigyelő (1-5 [m]), Sárkányrepülő (100-300 [m]), Kis magasságon repülő gép (300 [m] – 3 [km]), Nagy magasságon repülő gép (3-10 [km]), Műhold - Sarkközeli pálya (600-1000 [km]), Műhold – Geostacionárius pálya (~35786 [km]).

Földközeli, illetve terepi alkalmazáskor hordozható műszerrel 5-8 méteres magasságig (emelőkosaras alkalmazás) folytatnak távérzékelést. Az adatgyűjtés eszközein és adatgyűjtés folyamatán túl az adatok feldolgozási módszere és folyamata is a távérzékelés része (Lóki, 1996). A távérzékelés a felvételkedés és az adatfeldolgozás, illetve az adatok közlésének a tudománya (Sabins, 1996), mely különböző fizikai folyamatok alapján történő olvasási képességről, vagy tájékozódási formáról szól (Jung, 2005). A „fény”-ről beszélve általában a „látható fény”-re asszociálunk. A jelenség érthető, hiszen visszatekintve a történelemben sokáig csak a fény szabad szemmel érzékelt tartományát ismerte az emberiség. Az evolúció során a fény érzékelésére kialakult látószerv a szem is távérzékelést végez a fény látható (380-780 [nm]) tartományában. Önmagában a látható tartomány is számos elemző és osztályozó eljárást tesz lehetővé (Láng et al., 1999; Kriston-Vizi, 2000; Farkas I., 2007; Szabó et al., 2011; Lágymányosi és Szabó, 2011; Gillay és Borsa, 2007; Felföldi et al., 2013). A multi és hiperspektrális távérzékelési eszközök azonban lehetővé teszik a

látható tartomány kiterjesztését, megjelenítve így a szem számára nem látható jelenségeket, vagy információt is. A technológia új távlatokat nyit a környezet tanulmányozásában (Kristóf, 2005).

2.1.1 A fény és a távérzékelés

A távérzékelés alapfeltétele egy energiaforrás, mely megvilágítja a vizsgált objektumot, kivéve azt az esetet, amikor az objektum maga is érzékelhető energiát sugároz. Hasonlóan a szem működéséhez a szenzoroknak is szüksége van egy energiaforrásra, mely megvilágítja a vizsgált tárgyat, vagy a földfelszínt. Függetlenül attól, hogy az energiaforrás természetes (a Nap fénye), vagy mesterséges (laboratóriumi megvilágítás), illetve az objektum maga bocsátja ki, elektromágneses sugárzásról beszélünk. A beeső sugárzás intenzitása merőleges beesési szög mellett a legnagyobb. Abban az esetben, ha pontszerű fényforrásról beszélünk – a Föld-Nap távolság miatt a Nap is pontszerű fényforrás – a megvilágítás erőssége egyenes arányban van a fényforrás erősségével és fordítottan arányos a fényforrás távolságának négyzetével. Függ továbbá a beesési szögtől is (Holics, 1998):

$$E = \frac{1}{r^2} \cos\alpha, \quad (2.1)$$

ahol:

E: a megvilágítás [lux],

r: a fényforrás és a megvilágított felület távolsága [m],

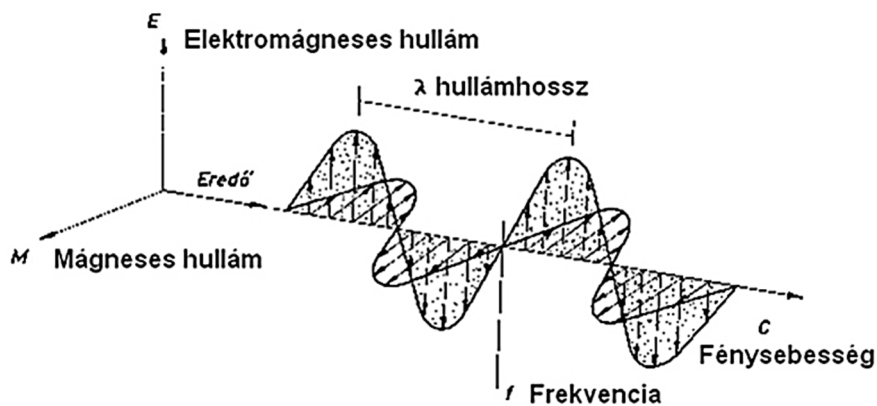
α : a fény beesési szöge [$^\circ$].

Az elektromágneses sugárzás hullám és részecske természetű. James Clerk Maxwell 1860-ban elektromágneses hullámként írta le a fényt, mely fénysebességgel $\sim 3 \cdot 10^8$ m/s (299 792.46 km/s) terjed a térben. Elektromos és mágneses hullámból áll, melyek 90° -os szöget zárnak be egymással és mindkettő merőleges a terjedés irányára. Az elektromos és a mágneses tér periodikus változása adja a hullámzást. Terjedéséhez nincsen szükség közvetítő közegre. Az elektromágneses sugárzás két legfontosabb jellemzője a hullámhossz (λ), [nm] és a frekvencia (f), [Hz]. A hullámhossz két azonos egymást követő csúcspont közötti távolság. A frekvencia 1 [s] időtartam alatt lefutó hullámcsiklusok száma (1. ábra). Átlépve egyik közegből a másikba a hullámhossz és a sebesség megváltozik, a frekvencia változatlan. A hullámhossz és frekvencia kapcsolata a következő:

$$c = \lambda * f, \quad (2.2)$$

ahol:

c: a fény sebessége.



1. ábra: Az elektromágneses hullám (Eastman, 2008).

Max Planck, német fizikus 1900-ban megalkotja a kvantumelméletet. Planck munkájára építve Albert Einstein 1905-ben leírja a fénykvantum, vagy foton elméletet. Az elmélet szerint az

elektromágneses sugárzás energiája diszkrét egységekben: kvantumokban, vagy fotonokban terjed. Ezt a tömeggel nem rendelkező részecskét bocsátja ki az anyag, amikor gerjesztett állapotba kerül (hő, vagy más sugárzás hatására). Visszavert, vagy elnyelt sugárzás esetében is fotonokról van szó. A fotonok szintén fénysebességgel haladnak. Az elektromágneses sugárzást hullám és részecske természetűnek definiálják.

Planck törvénye szerint egy foton energiája a következő egyenlettel írható le:

$$Q = hf, \quad (2.3)$$

ahol:

Q: a kvantum energiája joule [J] –ban,
h: a Planck állandó, $6,6260 \cdot 10^{-34}$ [J],
f: a sugárzás frekvenciája [1/s].

$c = \lambda * f$ -t átalakítva $\lambda = \frac{c}{f}$ alakra, majd beszorozva $\frac{h}{h}$ - val a következő összefüggést kapjuk:

$$\lambda = \frac{hc}{hf}. \quad (2.4)$$

A kvantum energiája így felírható az alábbi képlettel:

$$Q = \frac{hc}{\lambda}. \quad (2.5)$$

Fenti képletből következik, hogy a kvantum energiája fordítottan arányos a hullámhosszal.

2.1.2 Az elektromágneses spektrum

Az elektromágneses sugárzás széles spektrumát különböző energiájú/hullámhosszú/frekvenciájú tartományok alkotják. Ezek különböző pozitív és negatív élettani hatásokat gyakorolnak az élőlények és ezen belül az emberek szervezetére is (Szendrő és Szász, 2003; Vizi et al., 2013). A frekvencia és a hullámhossz elterjedt mértékegységeit a következő táblázatban mutatom be (1. táblázat). A frekvenciát minden esetben [Hz]-ben a hullámhosszat pedig [nm]-ben fejezem ki. Igen keskeny tartomány a látható fény (visible light, VIS), melyet az emberi szem érzékelni képes (Nagy, 2009).

1. táblázat: A frekvencia és a hullámhossz elterjedt SI és nem SI mértékegységei.

Hullámhossz (λ)	[m]	Frekvencia (f)	$\frac{1}{s}$
Kilométer [km]	10^3	Hertz [Hz]	10^0
Méter [m]	10^0	Kilohertz [kHz]	10^3
Centiméter [cm]	10^{-2}	Megahertz [MHz]	10^6
Milliméter [mm]	10^{-3}	Gigahertz [GHz]	10^9
Mikrométer [μm]	10^{-6}		
Nanométer [nm]	10^{-9}		
Angström [Å]	10^{-10}		

A fehér fény különböző hullámhossztartományok összessége. A meghatározó színek a látható fényben a vörös, a zöld és a kék, mivel ezek különböző arányú keverésével az összes többi szín előállítható, az additív színelmélet szerint. A távérzékelési céltól és technikától függően általában az

ibolyán túli (ultra violet, UV) tartománytól a mikrohullámú tartományig terjedő elektromágneses sugárzást vizsgálják. A különböző tartományokat (range) az alábbiakban mutatom be.

2.1.3 A távérzékelésben használt elektromágneses tartományok

Optikai tartomány: 300-3000 [nm]

Optikai eszközökkel, lencsékkel és tükrökkel manipulálható tartomány. Elméletileg 300-15000 [nm]-ig terjed. A visszavert sugárzás jelentős része azonban 300 és 3000 [nm] tartományban mérhető.

Ibolyán túli (UV) tartomány: 300-400 [nm]

Ezt a tartományt nagyon befolyásolják a légköri hatások. A teljes tartomány (30-400 [nm]) nem alkalmazható a távérzékelésben, inkább csak laboratóriumi körülmények között végzett mérések, zárt megvilágítási rendszerű műszerek esetében van jelentősége.

Látható (visible, VIS) tartomány: 400-700 [nm]

Az emberi szem számára érzékelhető tartomány. A látható fény tartományán belül található három alapszín vörös (red, R), zöld (green, G), kék (blue, B) csatornákat különböztetnek meg.

Közeli vörös alatti (near infrared, NIR) tartomány: 700-1300 [nm]

Ebben az infravörös tartományban jellemzően a tárgyról visszaverődő sugárzás mérhető.

Rövidhullámú vörös alatti (shortwave infrared, SWIR) tartomány: 1300-3000 [nm]

Ezt a tartományt középhullámú infravörös tartománynak nevezik (middle infrared, MIR). Egyes nagyon magas hőmérsékletű tárgyak sugárzására, valamint a visszavert sugárzásra jellemző.

Termális vörös alatti, vagy hőinfra tartomány (thermal infrared, TIR): 3000-10⁶ [nm]

Távoli infravörös (far infrared, FIR) tartománynak is nevezik. Ebben a tartományban már nem a visszaverődést (reflexiót) vizsgálják, hanem a tárgyak, vagy a felszín által kibocsátott sugárzást mérik. Minden test, melynek hőmérséklete abszolút nulla (0 [K], vagy -273 [C°]) feletti, folyamatosan sugároz, termális távérzékelésnél ezt a sugárzást mérik. A termális távérzékelésben általában a következő két tartományt használják: 3000-5000 [nm] és 8000-14000 [nm]. Itt történnek azok a vizsgálatok, melyekben elsősorban a vizsgált felületek hőmérsékletét tanulmányozzák (Kátai et al. 2013). Távoli infravörös érzékelésnél már elhanyagolható a Nap, mint sugárforrás, mivel sugárzásának energiája 3000 [nm] feletti tartományban már rendkívül alacsony (Péczely, 1979). A Nap legnagyobb sugárzási intenzitása 550 [nm]-en van, a Föld légkörének 1 [m²]-re merőlegesen beeső sugárzás energiamennyisége a napállandó, melynek értékét a szakirodalomban 1350 és 1370 [Wm²] közötti intervallumban definiálják (Heinrich és Hergt 1994). Alacsonyabb hullámhossztartományokban ugrásszerűen megnő a Nap által sugárzott és a környezet által visszavert sugárzás befolyása, mely akadályozza a felületi hőmérsékletre irányuló mérési eljárásokat. 22000 [nm] felett az atmoszférában található molekulák elnyelik a sugárzást, távérzékelés nem lehetséges a (Büttner, 1996).

Mikrohullámú (microwave) tartomány: 10⁶ [nm]-10⁹ [nm]

Passzív, vagy aktív rendszerű radar távérzékelésben használt tartományok. A mikrohullámú mérést általában geológiai elemzésre, illetve a légkör összetételének vizsgálatára, továbbá az óceánkutatóban alkalmazzák (Sabins, 1996).

A hagyományos fotoemulziós fényképezés 300-900 [nm]-ig terjedő tartományban lehetséges.

2.2 A fény érzékelése, sugárzástani alapok

Az alapján, hogy a sugárzás forrása mesterséges (radar, vagy lidar), vagy természetes (napfény), esetleg a tárgyak által kibocsátott sugárzás (hő), két csoportot különböztetnek meg: aktív és passzív távérzékelés (Janssen és Huurnemann, 2001). Mesterséges elektromágneses sugárzás esetén jól kontrollálható folyamatról van szó, azonban a természetes sugárzás jellemzőit nem tudjuk befolyásolni. Az aktív rendszerek alkalmazását nem korlátozzák a különféle időjárási tényezők (pl. a felhőzet), vagy a napszakok változása. A passzív rendszerek alkalmazása tiszta, napfényes időszakokra korlátozódik. Kivétel a passzív mikrohullámú mérés, mely felhőborítás esetén is jól alkalmazható technológia (Podmaniczky, 2004), illetve a termikus tartományok. A fotoemulziós fényképezés korlátai behatárolják azt a tartományt, ahol a fotografikus távérzékelés (érzékelés) alkalmazható. A tisztán elektronikus távérzékelés a passzív és aktív rendszerű, mikrohullámú tartományban működő rendszerekre jellemző. Az optikai tartományban végzett széles érzékelési tartományú rendszerek elektro-optikai elven működnek. Ezek a rendszerek a beérkező elektromágneses sugárzást optikai eszközökkel (lencse, spektrográf, optikai rács stb.) a szenzor fényérzékeny felületére, fotodiódákra vetítik. A fényérzékeny felület a vizsgált hullámhossztartománytól függően különböző anyagú, illetve szennyezésű félvezető. A távérzékelés során alkalmazott szenzorok működése alapvetően a foto effektusra épül. Adott energiájú foton akkor képes kilöknöni egy elektront egy fémből, ha energiája meghaladja az elektron kilökődéséhez szükséges energiát. Abban az esetben, ha egy fotonnak nincs elegendő energiája, hogy kilökjön egy elektront, ahhoz még elegendő lehet, hogy ionizáljon egy atomot a testen belül. Ilyenkor a kristályrácsból kiszakított elektron, megváltoztatja a test vezetési tulajdonságát. A foton által kilökött elektron, ill. az elektron után visszamaradt pozitív lyuk külső feszültség hatására elmozdul, ez az ún. fotoáram. A fotodiódákra beérkező sugárzás intenzitása arányos a fotoárammal (Csurgay, 2009). Az összefüggés képlettel:

$$h_f = hf_0 + \frac{1}{2}mv^2, \quad hf = W_{ki} + E_m, \quad (2.6)$$

ahol:

h : a Planck-állandó,

hf_0 : a határfrekvencia a fotoelektromos hatás bekövetkeztekor,

W_{ki} : a kilépési munka, minimális energia, amely szükséges az elektron eltávolításához a kötésből,

E_m : a legnagyobb mozgási energia.

Ha a foton hf kisebb, mint W_{ki} kilépési munka, nem lép ki elektron.

A pillanatnyi látómezőből - egységnyi térszögből (2. ábra) - a szenzor adott fotodiódájára - képpalkotás esetén 1 [db] fotodióda = 1 [db] képpontnak (pixel) felel meg – beérkező összes sugárzás a radiancia. Attól függően, hogy az érzékelő hány bites a felvételen egy pixel maximális értéke változhat. DN (digital number), amely az L_{\max} -nak felel meg:

$$L = \frac{\delta^2 \varphi}{\delta \Omega * \delta A * \cos \theta}, \quad (2.7)$$

ahol:

L : a radiancia [$Wm^{-2}sr^{-1}$]

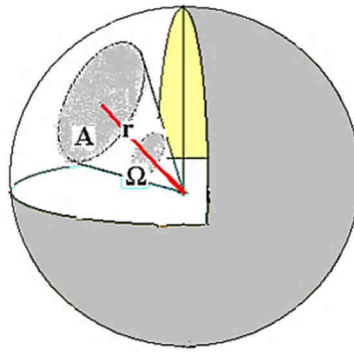
φ : a sugárzási fluxus nagysága [W], a sugárzási fluxus adott felületen – egységnyi térszögön - átáramló energia mennyisége: $\frac{\delta Q}{\delta t}$, ahol Q : sugárzási energia, t : idő

$\delta \Omega$: a kúp nyílásszöge [sr]

δA : a terület nagysága, ahonnan a sugárzás érkezik [m^2]

θ : a megfigyelés iránya és a felület normálisa által bezárt szög [sr]

$\delta A * \cos \theta$: a vizsgált felület szög által meghatározott irányra merőleges síkú ortogonális vetületének területe [m^2]



2. ábra: Az egységnyi térszög szemléltetése. r : a gömb sugara, A : a gömbfelületen a térszög által kimetszett terület, Ω : a térszög nagysága. (Jung, 2005 után módosítva).

A passzív távérzékelési eljárások esetében a szenzor érzékelőire beérkező összes sugárzás mennyisége a következő egyenlettel írható le:

$$L_\lambda = f(S, A, \theta_i, \theta_v, \alpha_i, \alpha_v, D) \quad (2.8)$$

ahol:

L_λ : az adott hullámhosszon mérhető radiancia, mely a további paraméterek függvénye:

S : a felszín optikai tulajdonságai

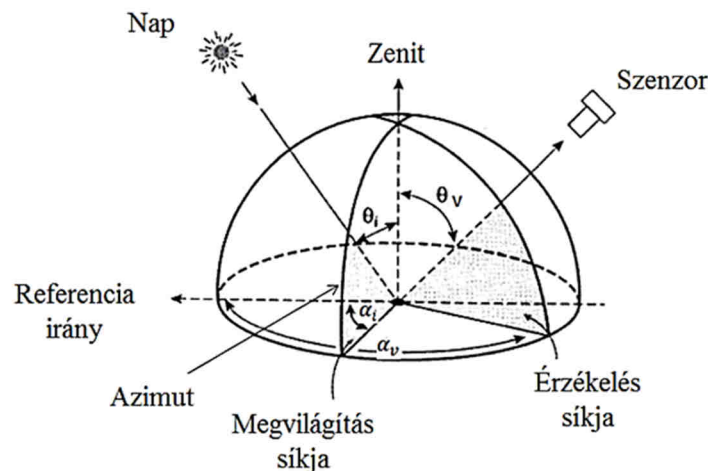
A : az atmoszféra optikai tulajdonságai

θ_i, θ_v : a Nap és a szenzor zenittal bezárt szöge

α_i, α_v : a Nap és a szenzor azimuttal bezárt szöge

D : a szenzor tulajdonságai

A zenit és az azimutot, valamint a Nappal bezárt szögeket a következő ábra mutatja be (3. ábra).



3. ábra: A zenit, az azimut és a napsugárzás jellemző szögeinek értelmezése (NCAVEO, 2008 után módosítva).

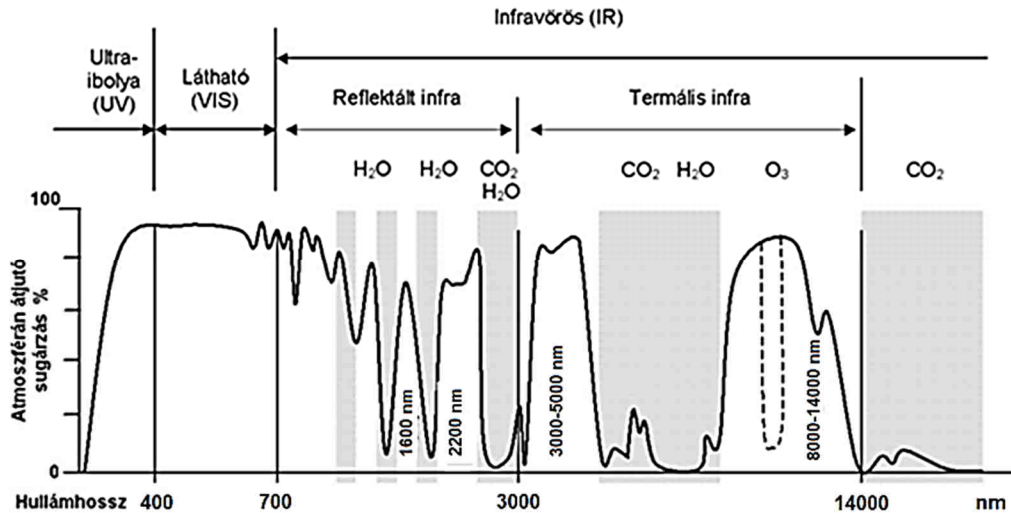
A mérések és az adatfeldolgozások során a fentiek figyelembevétele (korrekciója) minden esetben függ a mérés céljától, a kívánt pontosságtól és a rendelkezésre álló erőforrásoktól (Kristóf, 2005).

2.2.1 A fény és a légkör kölcsönhatásai

Elsősorban az abszorpció (absorption) és a szóródás (scattering) jelensége miatt, amikor az elektromágneses sugárzás belép a légkörbe, sebessége, hullámhossza és ebből adódóan intenzitása, valamint spektrális eloszlása is megváltozik. A fénytörés (refraction) következtében eredeti iránya is megváltozik.

Elnyelés (abszorpció)

A sugárzási energia elnyelődik és átalakul. A légkör legjelentősebb abszorbeáló alkotói az ózon, széndioxid és a vízpára. Az ózon az UV tartományban, a széndioxid a hőinfra tartományban, a vízgőz pedig a hőinfra tartomány hosszabb hullámhosszú tartományában, valamint a rövidhullámú mikrohullám tartományban nyeli el a sugárzást. Az elektromágneses sugárzás azon hullámhossztartományait, ahol nem jelentkeznek a légköri gázok nagyfokú elnyelése légköri ablakoknak (atmospheric window) nevezik. A következő ábrán (4. ábra) a légkörön átjutó sugárzás mértékét, valamint a légköri ablakokat mutatom be.



4. ábra: A légkörön átjutó sugárzás mértéke, valamint a légköri ablakok. Az elnyelési sávokat szürke szín jelzi. (Eastman, 2008 után módosítva).

A légkör összetétele – és így az elnyelés mértéke is - földrajzi helytől, éghajlattól, évszaktól és napszaktól függően változhat. Távérzékelés ezekben a tartományokban lehetséges. Természetesen, bizonyos fokú elnyelés ezekben a tartományokban is van. Bizonyos szenzorokat éppen a szürkével jelölt elnyelési sávokra hangolnak, mert az elnyelés mértékéből következtetni lehet az adott gázok (pl. széndioxid) légköri koncentrációjára.

Szórás

A légkör részecskéi, nagyobb molekulái által előidézett elektromágneses sugárzás véletlenszerű szétszóródása. A szórás mértéke függ a részecskék, vagy molekulák átmérőjétől a sugárzás hullámhosszától és rétegvastagságtól, illetve a sugárzás által megtett út hosszától. Megkülönböztetnek szelektív és nem szelektív szórást (Sabins, 1996). A szórások típusait az alábbiakban ismertetem:

- *Rayleigh szórás, (molekuláris szórás)*

Szelektív szórás. Akkor következik be, ha a szóró részecske jóval kisebb, mint a sugárzás hullámhossza. Általában kisebb, mint a hullámhossz tizede (Burai, 2007). A szórás mértéke a hullámhossz negyedik hatványával fordítottan arányos. A legnagyobb Rayleigh szórás a légkör felső 5 km-es rétegében történik. Ennek köszönhetően van kék színe az égnek. A látható színek közül az ibolya és kék színhez tartozó hullámhosszak szóródása sokkal nagyobb, mint a többi szín esetében (Bucholtz, 1995).

- *Mie szórás, (nem molekuláris szórás)*

Szelektív szórás. A légkör alsó 5 km-es rétegére jellemző. Ebben a rétegben jellemzően a sugárzás hullámhosszának tizedétől a tízszereséig terjedő átmérőjű részecskék vannak jelen. A

látható fény esetében a legjelentősebb szóró részecskék a por és más szennyező anyagok néhány száz, vagy akár néhány ezer nanométeres átmérővel.

- *Raman szórás*

Szelektív szórás. Ez a szórás a légkörben található gázmolekulákra, vízcseppekre, füstre és a porszemcsékre jellemző. A méretük lehet kisebb, közel azonos, vagy akár nagyobb is, mint a sugárzás hullámhossza. A rugalmas ütközés során a sugárzás energiája csökkenhet, de akár nőhet is, ebből adódóan pedig a hullámhossz is megváltozik, nő, vagy csökken.

- *Nem szelektív szórás*

A légkör azon alsó rétegeire jellemző, ahol a szóró részecskék átlagos átmérője a sugárzás hullámhosszának tízszeresét is meghaladják. Nem szelektív, mivel hullámhossztól függetlenül azonos mértékben szóródnak a fénysugarak. A köd, vagy a felhők azonos mértékben szórják a piros, zöld, kék fényt, ezért látszanak fehérnek.

Fénytörés (refrakció)

A fénytörés és a folytonosan mozgó, különböző sűrűségű légrétegek okozzák a csillagok, vagy a távoli városi lámpák pislákoló fényét esténként. Willebrord van Roijen Snellius és René Descartes fénytörés törvényének megfelelően a fény iránya megváltozik, ha optikailag különböző sűrűségű közegek határán halad át. A beeső fénysugár, a beesési merőleges és a megtört fénysugár egy síkban van. A beesési szög szinuszának és a törési szög szinuszának aránya megegyezik a két közeg relatív törésmutatójával. A merőlegesen beeső fénysugár nem tör meg. A fénysugár frekvenciája nem, csak a sebessége, hullámhossza és nem merőleges beesés esetén az iránya változik meg.

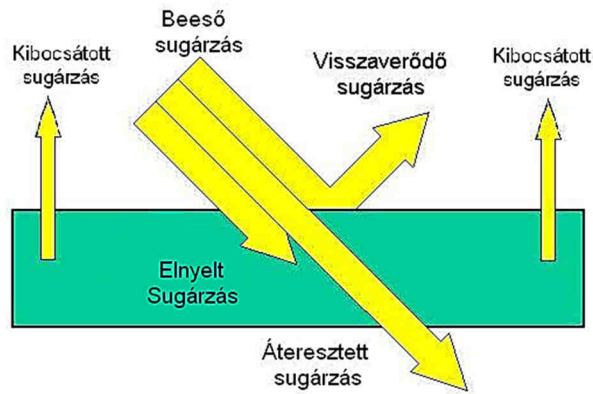
Visszaverődés (reflexió)

Amikor az elektromágneses sugárzás a légkörben visszaverődik egy részecske, vízcsepp, vagy felhő felületéről légköri reflexióról beszélünk. A szórással ellentétben, ebben az esetben a visszaverődés és a beesés szöge, valamint a beeső merőleges egy síkban van, és a beesés, valamint a visszaverődés szöge közel azonos. A légköri reflexióból adódóan a szenzorba több, nem a vizsgált felszínről, vagy tárgyról visszaverődő elektromágneses sugárzás érkezik be. A vizsgált felszínről visszaverődő, vagy emittált sugárzás a szenzor és a vizsgált objektum távolságától függő utat tesz meg a légkörben. Ennek során ismét fellépnek a fentiekben részletezett légköri hatások, melyek megváltoztatják a szenzor által érzékelt radiometriai tulajdonságot. A légköri inhomogenitás nagy magasságú távérzékelés esetén geometriai hibát eredményez, melyet korrigálni szükséges.

2.2.2 A fény és a vizsgált felszín kölcsönhatásai

Az az elektromágneses sugárzás, amely nem nyelődött el, vagy szóródott szét a légkörbe eléri a földfelszín, illetve a vizsgált anyag felületét. A vizsgált felszín pillanatnyi fizikai és kémiai tulajdonságaitól és a megvilágító fénysugár hullámhosszától függő arányban a következő kölcsönhatások jelentkeznek: abszorpció $\alpha(\lambda)$, transzmisszió $\tau(\lambda)$ (átbocsátás), reflexió $\rho(\lambda)$ (5. ábra). Egy adott hullámhossz esetében a fentiek összege egyenlő a teljes beeső sugárzás mennyiségével:

$$\rho(\lambda) + \alpha(\lambda) + \tau(\lambda) = L_\lambda. \quad (2.9)$$

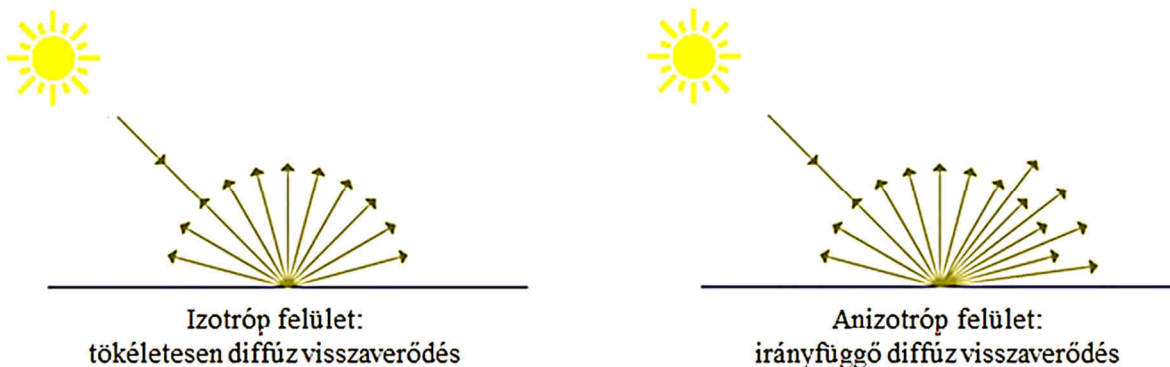


5. ábra: Az elektromágneses sugárzás kölcsönhatásai a vizsgált anyaggal, vagy felszínnel (NOAA Coastal Service Center (2007) után módosítva).

Az sugárzások mérésével az adott anyagra vonatkozóan objektív mennyiségi, és minőségi információ nyerhető. Az emittált sugárzásnak elsősorban termális távérzékelésben van jelentősége. A távérzékelés során a reflexiót $\rho(\lambda)$ mérik.

A reflektancia-faktor bevezetése

A radiometriai mérések abszolút pontosságát nehéz biztosítani. Egy izotróp felület megvilágítása esetén a visszavert sugárzás intenzitása a megvilágítás szögétől és a beeső sugárzás intenzitásától függ. A Föld felszíne és általában a vizsgált tárgyak, vagy minták felszíne anizotróp, a visszaverődő sugárzás irány szerinti intenzitása nem homogén (Janssen és Huurneman, 2001). A szenzor által mért visszavert sugárzás intenzitása függ a megfigyelés irányától (6. ábra).



6. ábra: Izotróp és anizotróp felületek fényvisszaverő tulajdonsága (Salzberg és Kupferman, 2010 után módosítva).

A reflektancia egy dimenzió nélküli szám. Értéke 0 és 1 közé esik. Százalékban kifejezve: 0 és 100 [%] között változó érték:

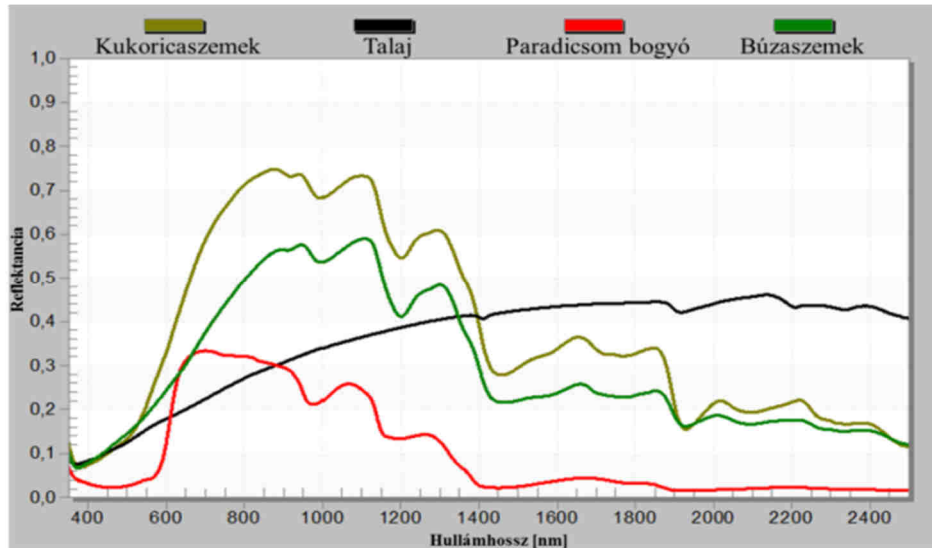
$$\rho(\lambda) = \frac{L_{beeső}}{L_{visszavert}}, \quad (2.10)$$

ahol:

- $\rho(\lambda)$: az adott hullámhosszra jellemző reflektancia,
- $L_{beeső}$: az adott hullámhosszon beérkező sugárzás intenzitása,
- $L_{visszavert}$: az adott hullámhosszon visszavert sugárzás intenzitása.

Megadja, hogy a vizsgált felszín a napsugárzás, vagy a mesterséges megvilágítás energiájának mekkora hányadát veri vissza egy adott hullámhosszon egy Lamberti-reflektorhoz képest. A szenzorba visszaverődött spektrális radianciát egy tökéletesen diffúz, irányfüggetlenül reflektáló,

fehér felület, az ún. referencia panel (white reference) radianciájához viszonyítják azonos körülmények között (Kardeván et. al., 2009). A reflektancia mérsékli a különböző megvilágítási és érzékelési irányoktól való függést. A referencia paneles módszer mellett a beeső sugárzás egyidejű direkt mérése, illetve légi felvételek esetén a beeső sugárzás modellalapú számítása is elterjedt (FLAASH, ATCOR). A hullámhossz függvényében ábrázolva a beeső és visszaverődő sugárzás intenzitásának hányadosát az ún. spektrális reflektancia görbét kapjuk (7. ábra).

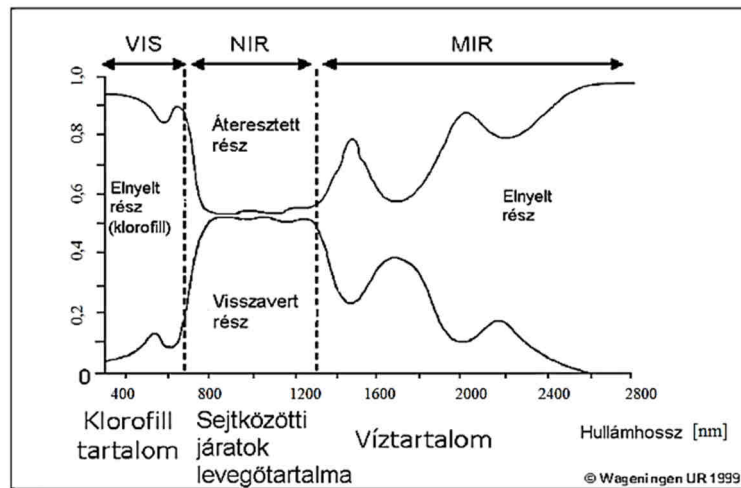


7. ábra: Különböző mezőgazdasági anyagok eltérő spektrális reflektancia görbéi (Függőleges tengely: reflektancia, vízszintes tengely: hullámhossz [nm]) (Szalay et al., 2013).

Minden anyag esetében az elnyelt, áteresztett és visszavert sugárzás aránya hullámhosszanként változik. Az anyagok hullámhossz szerint változó spektrális reflektanciája jellemző, egyedi tulajdonság. A különböző anyagokat spektrális reflektancia görbéjük alapján azonosítani lehet (annak ellenére, hogy nem tartalmaz külön információt az elnyelésre és áteresztésre vonatkozóan). Ez a spektrális újlényomat elve (ESA, 2013). Meghatározott körülmények között készült görbéket tárolva és gyűjteményekbe foglalva „spektrumkönyvtárak” jönnek létre, amelyek igen fontos szerepet játszanak a spektrális azonosításban (Herold et al., 2004). Az anyagok eltérő spektrális reflexiójuk alapján jellemezhetőek. Ez lehetővé teszi a távérzékeléssel történő azonosítást és elkülönítést. Szélesebb spektrális tartományban, nagyobb spektrális felbontással vizsgálva az anyagokat, nagyobb a különbség, eredményesebb, pontosabb az azonosítás, osztályozás. Ez indokolja a multi- és hiperspektrális rendszerek dinamikus fejlődését.

2.3 A növényzet optikai tulajdonságai

Az elnyelt, áteresztett és a mért visszaverődő sugárzás aránya nem csak az adott hullámhossztól, de a növényzet struktúrájától, összetételétől, fiziológiai állapotától is függ (Belényesi et al., 2008, Kumar et al., 2001). A növényzet távérzékeléses vizsgálatokor a beeső sugárzással bekövetkező kölcsönhatást számos tényező befolyásolja (8. ábra).



8. ábra: A növényzetre jellemző általános spektrális reflektancia görbe (Belényesi et al., 2008 után módosítva).

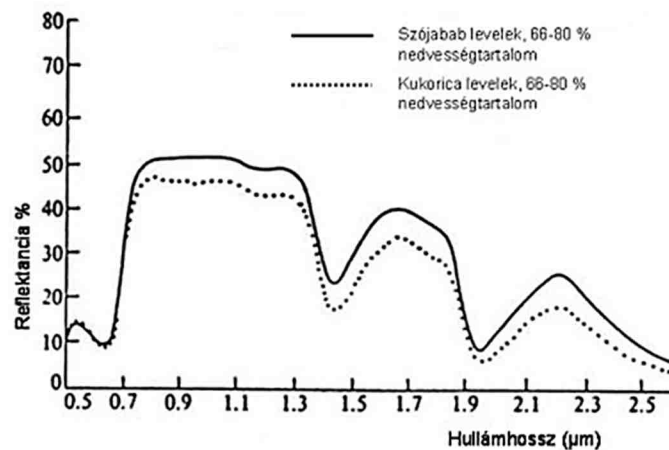
A növény fajtájától és fejlettségi állapotától függően a fény elsősorban a levélzettel lép kölcsönhatásba. A levelek alakja, állása, az epidermisz vastagsága, szövete, pigment- és nedvességtartalma (Gates, 1970), továbbá viaszossága és szőrözöttsége egyaránt befolyásoló tényezők. A 8. ábra megfigyelhető, hogy a látható tartományban a növényzet alacsony reflektanciát/nagy abszorpciót mutat, míg a közeli infravörös tartományban a reflektancia megnő. A látható tartományban az elnyelés azért nagy, mert a növények a fénynek ezt a tartományát használják energiaforrásként a növekedéshez, öfenntartáshoz, fotoszintézishez. Ez a fotoszintetikusán aktív radiáció (FAR) - vagy photosynthetically active radiation (PAR). Tartománya: 340-780 [nm]. Ebben a tartományban a levelek nagy átteresztőképességgel rendelkeznek, hogy a sugárzás elérje a kloroplasztiszokat és bennük található zöld színanyagot, a klorofillt (Woolley, 1971). A klorofill és más járulékos pigmentek (pl. karotin) fényelnyelése és reflexiója határozza meg, hogy milyen színűnek látjuk a növényeket. A magasabb rendű növények legaktívabb fotoszintetizáló szövete a levél mezofilluma (Ördög és Molnár, 2011). Az egészséges növények reflexiója körülbelül 540 [nm]-es hullámhossztartományban mérhető (Gausman, 1985). A kloroplasztisz abszorpciós maximuma 450, 680 és 700 [nm] (Heinrich és Hergt, 1994). A meghatározó pigmentek jellemző elnyelési maximumának hullámhosszait a következő táblázatban foglalom össze (2. táblázat). A növény fejlődésével, öregedésével a színanyagok aránya, mennyisége megváltozik.

2. táblázat: Meghatározó pigmentek elnyelési maximumai (Gausman, 1985. és Zwiggelaar, 1998 után módosítva).

Pigment	elnyelési maximum szerves oldatban [nm]
Klorofill a	420, 660
Klorofill b	435, 643
β -Karotin	425, 450, 480
α -Karotin	420, 440, 470
violaxantin	425, 450, 475

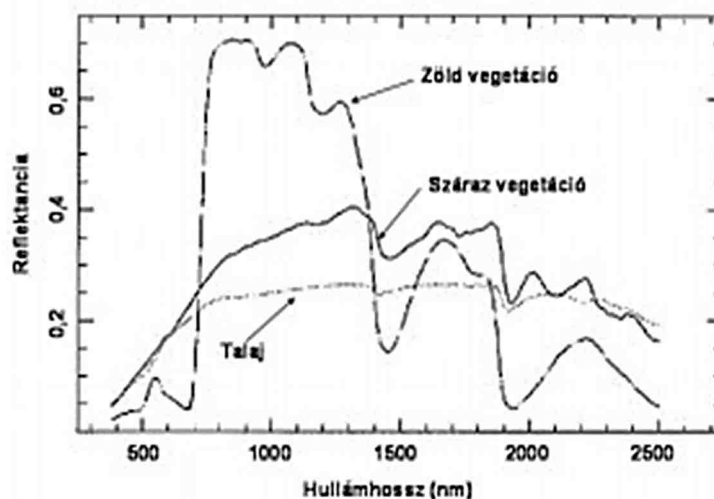
Zwiggelaar (1998) a fenti hullámhosszak mellett a klorofill tartalomra további jellemző elnyelési hullámhosszakot írt le: 480, 650, 670, 740 nm. Abszorpciós maximuma azonban 682 nm-en található (Szalai, 1994, Láng, 1998). Ezen hullámhosszak esetében minden foton energiája elegendő ahhoz, hogy végbemenjen az elektronátmenet a fotoszintézis során. Az infravörös tartományban az elnyelt fény aránya minimálisra csökken, mivel a fény energiája már nem elegendő az elektronátmenethez. A sejtfal magas lignin tartalma és a parenchima-szövet felépítése indokolja a magas reflektanciát. A beérkező fény több felét a növény levele visszaveri ebben a

tartományban, a maradékot pedig átérteszti. Az arány növényfajra jellemző sajátosság (Gates et al., 1965). A látható tartományhoz hasonlóan az infravörös tartományban is változást idéz elő a fejlettségi állapot változása. A sejteken belül változó víz/levegő kitöltési arány, hatással van a növény spektrális tulajdonságaira is a megváltozó törésmutatók miatt (Gausman, 1977). A középső infravörös tartományban a víztartalom a legmeghatározóbb tényező. A víztartalom arányos a vízre jellemző elnyelések mértékével, mely jellemzően eltérő nedvességtartalmú fajok esetében az elkülönítés/azonosítás alapja lehet. A növény víztartalmára jellemző elnyelési maximumok 1100, 1450, 1950 és 2500 nm hullámhosszakon van (Jacquemound and Baret, 1990). Azonos nedvességtartalmú és hasonló fejlődési stádiumban levő növényfajok kizárólag a látható tartományban nehezen, vagy egyáltalán nem különíthetők el. A közeli infravörös tartományban befolyásoló a levél szerkezete, mely különböző növényfajok esetében eltérő. Ebből adódóan a közeli infravörös tartományban a reflektancia értékek már eltérőek lesznek, a két növényfaj elkülöníthető (9. ábra).



9. ábra: Azonos fejlődési stádiumban levő szója és kukorica levelek spektrális reflektancia görbéi (Verőné 2010).

Az egészséges, beteg (kórokozó, vagy kártevő által károsított), esetleg hiánytünetes (pl. nitrogén, vagy vízhiány) növények reflektanciája jelentős mértékben elkülönül. Ezek hatására jelentős mértékben csökken a növény fotoszintetikus aktivitása, aminek a következtében a látható tartomány elnyelése lecsökken. A fotoszintetikus aktivitás változása mellett változik a sejtközötti járatok levegőtartalma és a növényi szövet nedvességtartalma is. Közeli infravörös tartományban megnő az elnyelés. A középső infravörös tartományt meghatározó vízelnyelés, illetve a két vízre jellemző elnyelési maximum csökken (10. ábra).



10. ábra: Élő és kiszáradt növényzet, valamint a talaj spektrális reflektanciája (Verőné 2010).

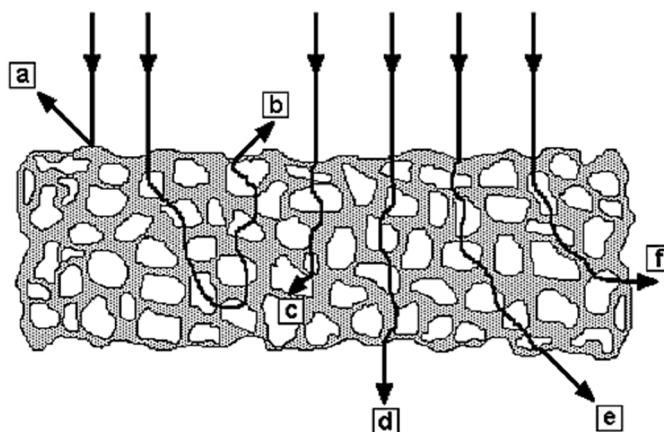
A megfelelő hullámhosszak, vagy hullámhossztartományok kiválasztásával (növényi indexek) az élettani változások követhetőek. Fontos hangsúlyozni, hogy az infravörös tartományban mérhető eltérések még az emberi szem számára látható tünetek megjelenése előtt nyújtanak értékes információt a növényzet állapotára vonatkozóan. A kórokozók, kártevők jelenléte, vagy víz-, esetleg tápanyaghiány következtében kialakuló növényi stressz korai detektálása és a betegség előrejelzése nagyban segíti a hatékony növényvédelmet (Verőné, 2010).

A fotoszintetikusan aktív vegetációk kvantitatív vizsgálata során kiemelt jelentőségű a vörös él pozíció (red edge position), melynek elhelyezkedése 690-720 [nm]-es tartomány körül mozog (Kozma-Bognár, 2012) fajtától függően. Jellemző a növény egészségi állapotára. Elhelyezkedése osztályozási alapot jelenthet különböző vegetáció típusok, fajok elkülönítése során (Herold et al., 2002). A levelek cellulóz, cukor, fehérje, olaj és lignin tartalma szintén meghatározza a mért spektrum eloszlását a szén (C), oxigén (O), hidrogén (H), nitrogén (N) atomok közötti kötések nyúlása, hajlása és csavarodása révén (3. táblázat). Az alábbi hullámhosszak egy része a légköri elnyelés sávjába esik, ezért azok műholdas, vagy légi távérzékelési eljárással nem használhatóak. Jelentőségük laboratóriumi, vagy terepi kontakt méréseknél van (Curran, 1989, Jacquemound and Baret, 1990).

3. táblázat: Növényi alkotóelemek jellegzetes elnyelése a látható és közeli infravörös tartományban (Curran, 1989. után módosítva).

Hullámhossz [nm]	Alkotóelem	Elektronátmenet, vagy kötésrezgés
430, 460, 640, 660	Klorofill	Elektronátmenetek
970, 1200, 1400, 1940	Víz	O-H kötés nyúlása
1510, 2180, (910, 1020, 1690, 1940, 1980, 2060, 2130, 2240, 2300, 2350)	Fehérje, nitrogén	N-H kötés nyúlása, hajlása, C-H kötés nyúlása
2310, (930, 1020)	Olaj	C-H kötés nyúlása és hajlása
1690, (1120, 1420, 1940)	Lignin	C-H kötés nyúlása
1780	Cellulóz és cukor	

Elsősorban laboratóriumi körülmények között a növényzet hőinfra tartományban végzett elemzése további informatív elnyelési tartományokat jeleníthet meg (Riberto da Luz, 2006). A levelekben és általában a növények szöveteiben a fény-anyag kölcsönhatás rendkívül összetett folyamat (11. ábra). Nem egy állandó sűrűségű közegről van szó, amibe az elektromágneses sugár belép, hanem egy inhomogén, több rétegből álló, változó átmérőjű alkotóelemeket tartalmazó rendszerről. Változó törésmutatók, szóró részecskék sora módosítja a fény irányát, és spektrális eloszlását (Gausman et al., 1974).



11. ábra: A növényi szövet fény-anyag kölcsönhatása. a: direkt reflexió, b: diffúz reflexió, c: abszorpció, d: transzmisszió, e: fénytörés, f: szétszóródás (Gergely, 2005).

A növényzet, illetve a felszín összetett optikai tulajdonságának szemléltetésére DE Boer (1993) modelljét alkalmazzák:

$$\rho_{\lambda} = f(C_w, C_{ab}, m, LAI, \theta_l, Z_l, N_l, \rho_s) \quad (2.11)$$

ahol:

- ρ_{λ} : az adott hullámhosszon mért reflektancia
- C_w : a levelek víztartalma
- C_{ab} : a levelek klorofill-a és klorofill-b tartalma
- m : a kisebb jelentőségű abszorbensek koncentrációja (cellulóz, keményítő)
- LAI: a levél felületi index (Leaf Area Index) – egy négyzetméteren található összes levélfelület (Szász, 1988)
- θ_l : a beesési szög eloszlása a levelekre
- Z_l : a levelek elhelyezkedése három dimenzióban
- N_l : a levél mezofillum-struktúrájának indexe
- ρ_s : a talaj reflektanciája

A fenti képlet nem tartalmazza a domborzati viszonyoktól való függést. Nagy magasságkülönbségű területeken nagymértékben megnő a domborzat geometriai torzító hatása, melyet mindenképpen korrigálni kell. A felvételezett terület magasságkülönbségeinek és a felvétel geometriai felbontásának nagyságától függően a domborzat geometriai torzító hatása változó mértékű. A növényzet és a talaj egyaránt meghatározó a növényzet vizsgálatokor. A talajhatás az ún. talaj vonallal írható le. A zöld-vörös, illetve a vörös-közeli infravörös hullámhossztartományban (Thenkabail et al., 2000). A növényzet fejlődésével azonban a talaj hatása mérséklődik (Zilinyi, 1995). A különböző hullámhossz-tartományokat különféle vizsgálati célok függvényében alkalmazzák a távérzékelés során. A következő táblázat (4. táblázat) a LANDSAT 7 műhold csatornáinak felosztását mutatja be, röviden összefoglalva az adott sávok felhasználásának lehetőségeit is.

4. táblázat: A LANDSAT 7 műhold spektrális csatornái (FÖMI (2010) után módosítva.)

Csatornaszám, hullámhossz [nm]	Alkalmazási terület
1.(450-520)	Tengerparti vizek térképezése, víztestek felszíni részeibe nyújt betekintést, a talaj és a vegetáció, illetve a lombhullató és tűlevelű flóra elkülönítése.
2. (520-600)	A vegetáció reflektancia görbéjén jelentkező két klorofill (klorofill-a és klorofill-b) elnyelési pont közötti csúcs megfigyelése.
3. (630-690)	Klorofill abszorpciós csatorna-vegetáció elkülönítésére.
4. (760-900)	Biomassza mennyiség meghatározása és víztestek elhatárolása (kihangsúlyozza a föld-víz kontrasztokat).
5. (550-1750)	A vegetáció és a talaj nedvességtartalmának meghatározása, a hó és a felhők elkülönítése.
6. (10400-12500)	Vegetáció stressz-analízis, talaj nedvességtartalom meghatározás, hőterképezés. (durvább felbontás, 120*120 m-es pixelméret)
7. (2008-2350)	Közzettípusok elkülönítése, hidrotermális térképezés.

2.4 A spektroszkópia története, mezőgazdasági vonatkozása

A tudomány és a technika fejlődésének köszönhetően egyre kifinomultabb (szélesebb tartomány, nagyobb spektrális felbontás) módszerek és megoldások születtek a látható fény, később pedig az optikai tartomány egyéb részeinek energia/hullámhossz/frekvencia alapján történő felbontására, tanulmányozására. Sir Isaac Newton a Nap fényét két prizma segítségével színekre, folytonos színsorra bontotta és arra a forradalmi következtetésre jutott, hogy a szín az adott fénysugár jellemző sajátossága, továbbá, hogy a fehér szín a többi szín keveréke. Korábban is ismert volt, hogy a prizma a szivárvány színeire bontja a fényt, de ezt a prizma sajátosságának, nem pedig a fénynek tulajdonították. A fénysugarakat a második prizma nem bontotta tovább, tehát nem a prizma sajátosságáról volt szó. Nevéhez fűződik a „spektrum” kifejezés. Newton, egy másik kísérlet során, ahol egy prizmat és egy gyűjtőlencsét, valamint egy fehér lapot (melynek távolságát változtatta) alkalmazott, megalkotta az első spektrográfot. A fényt parányi részecskéknak írta le, melyek nagy sebességgel haladnak (Newton, 1672). Johann Heinrich Lambert 1760-ban írta le a fényelnyelés törvényét, amely kimondja, hogy az anyagon áthaladó fénysugár intenzitása és az anyag rétegvastagsága között kapcsolat van. Frederick William Herschel a prizmaival színeire bontott látható fénysugarak hatását vizsgálta. Az ibolyától a vörös fényig vizsgálta a fénysugarak útjába helyezett hőmérővel az adott fénysugarakra jellemző hőmérsékletváltozást. Hőmérőt helyezett oda is, ahova láthatóan már nem vetült fénysugár, de a hőmérséklet ott is emelkedett, még hozzá nagyobb mértékben, mint a látható fényben. A hőmérsékletváltozás mértéke egy határig növekedett a látható vörös fénytől távolodva. Herschel hőmérőt helyezett a leghalványabban látható ibolya fénysugártól távolodva is, de nem tapasztalt változást. Minél nagyobb szögben tört meg a fénysugár, annál kisebb volt a hőmérsékletnövekedés. A kisebb fénytörés nagyobb hőmérsékletnövekedéssel járt. A kísérlet során feketített üvegű hőmérőket használt (Herschel, 1800). 1801-ben Johann Wilhelm Ritter felfedezte az ibolyán túli (UV) sugárzást (Zilinski, 2008). Joseph von Fraunhofer 1814-ben feltalálta az első transzmissziós diffrakciós rácsot és részletes tanulmányt ír a Nap spektrumában jelenlevő sötét vonalakról. August Beer 1825-ben leírja, hogy egy oldat fényelnyelése arányos a folyadékban oldott anyag mennyiségével, azaz az oldat koncentrációjával. Saját tervezésű fotométerét alkalmazva Lambert eredményeit felhasználva bevezeti az abszorpciós koefficiens fogalmát. A munka eredményét a következő megállapítás fogalmazza meg: Az anyag abszorpciós együtthatójának és a fény által az anyagban megtett távolságnak szorzata, valamint az anyag koncentrációja között összefüggés van (Gerward, 2011). Az összefüggéseket az alábbiakban mutatom be:

$$A = a(\lambda) * b * c. \quad (2.12)$$

ahol:

A : a mért abszorbancia,
 $a(\lambda)$: a hullámhossztól függő abszorpciós koefficiens,
 b : a fény által megtett út hossza,
 c : az anyag koncentrációja.

Transzmittancia mérése esetén:

$$T = \frac{I}{I_0}, \quad (2.13)$$

ahol:

T : a transzmittancia,
 I_0 : a fény kezdeti intenzitása,
 I : a fény intenzitása az anyagon történő áthaladás után.

A transzmittancia és az abszorbancia közti összefüggés:

$$A = -\log T = -\log T \left(\frac{I}{I_0} \right). \quad (2.14)$$

Gustav Robert Kirchhoff és Wilhelm Eberhard von Bunsen 1859-ben felfedezték, hogy minden egyes elemnek egyedi spektruma van. A felfedezésnek köszönhetően fedezték fel a céziumot (Cs) és a rubidiumot (Rb). Ők vezetik be az emissziós spektroszkópia elméletét (Kirchhoff és Bunsen, 1901). A következő években a spektroszkópia segítségével további elemeket fedezett fel az emberiség. 1868 és 1869 között Anders Jonas Ångström a Nap spektrum vonalait tanulmányozva bevezeti az Ångström mértékegységet. 1 Ångström = 10^{-10} méter. Megalkotja az első reflexiós optikai rácsot (Maier, 1970). 1881-ben Abney és Festing előállították az első közeli infravörös tartományban készült spektrumot, mely fényképlemezre készült (Osborne, 1986). 1882-ben Henry A. Rowland továbbfejlesztett diffrakciós optikai rácsot készít, mely az egész világon standardként terjed el. 1900-ban Frank Twyman megalkotja az első kereskedelmi forgalomban elérhető kvarcprizmás spektrográfort és ugyanebben az évben jelent meg William Webber Coblenz amerikai fizikus meghatározó tanulmánya, melyben különböző anyagok, szerves funkciós csoportok infravörös tartományban mért elnyelését írta le. Saját tervezésű infravörös spektroszkópjával több száz spektrumot készített és publikálta az anyagokra jellemző elnyelési hullámhosszakot. Számos mérési eredménye hozzásegítette a megfigyeléshez, hogy minden vegyületnek jellemző közeli infravörös spektruma van, akkor is, ha ugyanazon elemek is alkotják. A hasonló funkciós csoportokat tartalmazó vegyületek spektruma hasonlóságot mutatott (Coblenz, 1905).

Joseph W. Ellis és Jean Bath (1938) kötött formában vizsgálja a vízmolekulák és nehézvíz-molekulák, valamint a fehérje elnyelését 1000-2500 nm-es hullámhossztartományban. Igazolva Coblenz feltevését tárgyalták a különböző molekulákra, kötésekre, funkciós csoportokra jellemző rezgést és azok közeli infra-tartományban mért jellegzetes elnyelését. A látható és a közeli infravörös spektrum több, egymást átfedő elnyelési sávot alkot, melyek a vizsgált anyagban található kémiai kötéseknek megfelelő molekularezgésből és felhangokból, valamint azok kombinációiból ered. Annak ellenére, hogy az 1950-es évektől már elérhetőek voltak azok a műszerek, melyek az ibolyán túli, továbbá a látható és az infravörös tartományban is képesek voltak vizsgálni (Barton, 2004) a közeli infravörös tartomány komplexitása miatt (a relatíve könnyebben értelmezhető közepes hullámhosszú infravörös tartományhoz képest) létjogosultságát sokan megkérdőjelezték. Ebben a tartományban alacsony zajjal rendelkező spektrométerre, számítógépre és komplex matematikai rendszerre (kemometriára) volt szükség. A feltételeket Karl Norris mérnök teremtette meg (Hart et al., 1962). A megfelelő eszközt kifejlesztve bebizonyította, hogy a közeli infravörös tartomány kifejezetten hasznos különböző kvantitatív elemzésekre, különösképp mezőgazdasági minták esetében (elsősorban gabonák vizsgálatára). Az ok, amiért a technológia jól alkalmazható ezen a téren, az hogy lehetővé teszi a visszavert elektromágneses sugarak értelmezését. Ez azt jelenti, hogy a minták előkészítése minimális, vagy teljesen szükségtelen. A visszavert sugárzás két részre osztható: direkt tükröződés, diffúz szóródás. A mintáról direkt módon visszavert sugárzásnak nincsen információtartalma, míg a diffúz módon visszaverődött sugárzás a vizsgált minta fizikai és kémiai tulajdonságaira jellemző lesz. A vizsgált minták reflektanciáját a minták kémiai összetétele mellett, a szemcseösszetétel és az anyag felületi minősége is befolyásolja (Stoner és Baumgardner, 1981). Annak ellenére, hogy az eredmények kiértékeléséhez még nem állt rendelkezésre a megfelelő matematikai háttér a módszer elterjedt az analitikai kémiában és nagyban kiszélesítette a vizsgálható minták körét. Mivel az eljárás során a minta előkészítési ideje sok esetben a korábbi gyakorlatokhoz képest elhanyagolhatóvá vált és egyetlen mérés (spektrum) több jellemző tulajdonság kiértékelésére is alkalmazható volt (nem szükségesek újabb célvizsgálatok) a vizsgálatok átlagos időtartalma több órától percekre rövidült. Ugyanakkor a kalibráció elvégzéséhez nagyon sok mintára, az adatfeldolgozáshoz pedig nagyteljesítményű számítógépre van szükség. A technológia rendkívül gyorsan terjed és fejlődik (Williams et Norris, 2001). Az 1990-es évek második felében a technológia már analitikai eszköz

volt, melyet egyre kevésbé kutattak. A kutatás elismert eszközévé vált (McClure, 2003). Eszköz, mely alkalmas a mezőgazdasági termények és élelmiszeripari alapanyagok nedvesség-, szénhidrát- és fehérjetartalmát, összetételét vizsgálni.

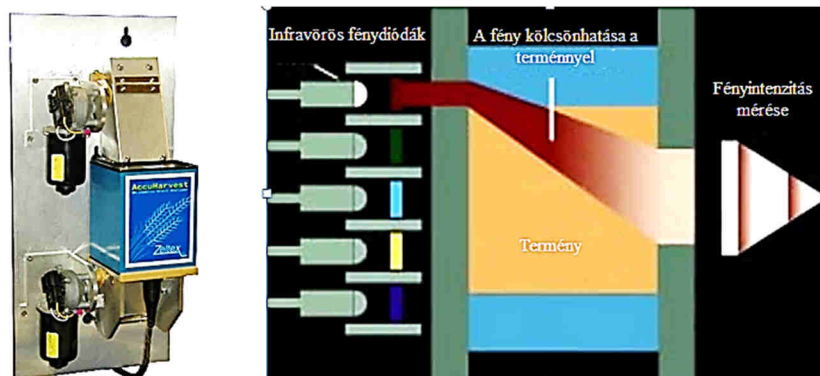
Napjainkban a mezőgazdasági termények gyors és megbízható minőségvizsgálatára számos gyártó kínál a spektroszkópia elvén működő laboratóriumi, telepített és hordozható berendezéseket. Az laboratóriumi, vagy asztali vizsgáló berendezések megfelelő működésének feltétele a stabil laboratóriumi körülmények biztosítása. A hőmérsékletingadozásra és a rezgésre kifejezetten érzékenyek. Spektrális felbontásuk, pontosságuk és megbízhatóságuk nagyobb, mint a telepített, vagy hordozható műszereké. A legújabb fejlesztésű műszerek már különböző szilárd és folyékony halmazállapotú minták vizsgálatát is lehetővé teszik (12. ábra).



12. ábra: Foss XDS™ Rapid Content Analyser, laboratóriumi spektroszkóp (Foss, 2013).

A fenti műszer 400-2500 [nm]-es spektrális tartományban 0,5 [nm]-es felbontással 0,05 [nm]-nél kisebb pontossággal képes adatot szolgáltatni (Foss, 2013). Zárt rendszerű megvilágítás és az operátor személyzettől szinte független mérési folyamat biztosítja a mérések megbízhatóságát.

A telepített műszerek a hőmérsékletingadozásra, rezgésre nem érzékenyek. Folyamatos anyagáram mentén alkalmazhatóak. Folyamatos (online) adatszolgáltatásra képesek akár tisztító, takarmánykeverő berendezéseken, vagy betakarító gépeken. A kombájnra telepített Zeltex 893-1045 [nm]-ig terjedő tartományban meghatározott hullámhosszokon méri a termény transzmittanciáját. Percenként átlagosan 4-5 mérést hajt végre és tárol el a GPS jel alapján rögzített földrajzi koordinátához tartozóan. Búza, árpa, kukorica és szója betakarítása esetén a termény helyspecifikus fehérje, nedvesség és olajtartalom mérésére alkalmas (Zeltex, 2009). A mérés megbízhatósága erősen függ a kombájntiszta termény homogenitásától.



13. ábra: A Zeltex rendszer és működésének elvi vázlatja (Zeltex, 2009 után módosítva).

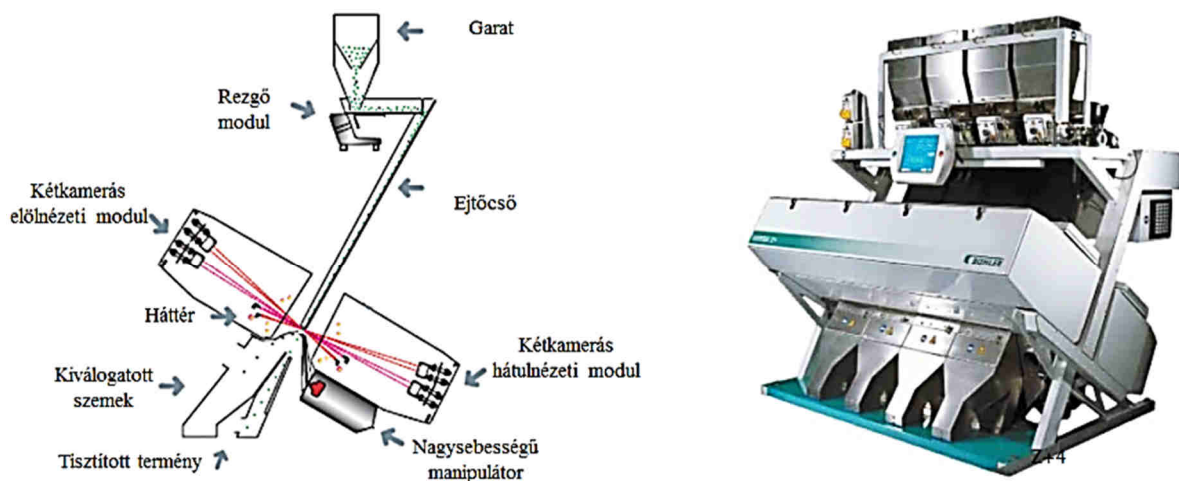
A tömegáramban történő mérés megjelenése nagymértékben szélesítette a technológia alkalmazási körét és még jelentősebbé tette a spektrális tulajdonságok alapkutatását. A legújabb rendszerek a gabonabetakarítás szállítási és anyagmozgatási műveleteibe (Bense és Szendrő, 2009) is illeszthetőek. A világ első online NIR berendezése képes a takarmányok tulajdonságát és homogenitását vizsgálni. Függetlenül az anyagáram sebességétől a rendszer online módon méri a

takarmány több fontos tulajdonságát, melyek közül a legmeghatározóbbak a fehérje, zsír, nedvesség, keményítő és növényi rost tartalom. A rendszer gyors adatszolgáltató képessége lehetővé teszi a minőségirányítási rendszerbe történő illesztést, segíti az azonnali kézi, vagy automatikus beavatkozást, szabályzást. A NIR-Online központi része (14. ábra) (fényforrás, spektroszkóp) kompakt, teljesen por- és nedvesség-álló 30 bar belső nyomásra van méretezve (Dunn, 2008).



14. ábra: A NIR-Online egység (balra) beszerelve a takarmánykeverő garat kilépési pontjába (jobbra) (Dunn, 2008).

A látható (színek) és közeli tartományban történő optikai tulajdonságok alapján történő osztályozás lehetősége már adott. Osztályozási, minőségellenőrzési feladatokra dolgozott ki képfeldolgozó eljárást termékek fizikai paramétereinek vizsgálatára Firtha, 1999. Napjainkban a kereskedelemben elérhető rendszerek különböző termékek szemeit (szántóföldi növények közül pl.: kukorica, szója, búza, napraforgó) képesek szemenkénti anyagáramból kiválogatni, osztályozni. Nem csak a különböző termékeket képes a rendszer szétválogatni, de adott terméken belül képes bizonyos betegségek tüneteit hordozó szemeket is kiválogatni. A moduláris rendszernek köszönhetően a válogatási teljesítmény elérheti akár a 20 [t/h]-át is. A rendszer a látható, közeli infravörös és rövidhullámhosszú infravörös tartományban dolgozik szilícium (Si), illetve indium-gallium-arszenid (InGAs) érzékelőkkel szerelt kamerákkal (15. ábra) (Bühler, 2011).



15. ábra: Sortex Z+ osztályozó és a szemenkénti optikai vizsgálat működési vázlatja (Bühler, 2011 után módosítva).

A fenti műszer nem tartalmaz spektrográfot, mely a visszavert fény hullámhossz szerinti elemzését lehetővé tenné, de a működési elv jól integrálható a spektroszkópia elvén működő osztályozás

online, szemenkénti megvalósításához. A spektrográf alkalmazása, nagyban megnövelné a műszer szelektivitását és szélesítené az alkalmazási lehetőségeket. A spektrális információkon alapuló nagysebességű szemenkénti osztályozó rendszerek fejlesztése folyamatos. A működésük alapját képező terményspecifikus spektrális jellemzők tanulmányozása perspektivikus (Perason és Wicklow, 2008, Szalay et al., 2013).

A hordozható eszközök felbontása, pontossága és megbízhatósága alacsonyabb a laboratóriumi berendezésekhez képest. Azonban, alkalmazhatóságuk köre rendkívül széles. Ez az egyik oka az ilyen műszerekkel végzett mérések relatíve magasabb bizonytalanságának. A mérés pontossága függ az operátortól és a mérési elrendezéstől. A mérési eljárás meghatározza a mérés ismételtetését. Széles hőmérséklettartományban, terepi és laboratóriumi körülmények között egyaránt képesek az adatszolgáltatásra. Az ASD Inc. cég által forgalmazott FieldSpec 4 Hi-Res hordozható spektrométer (16. ábra) 350-2500 [nm]-es tartományban érzékeli az elektromágneses sugárzást. Spektrális felbontása 1,4 és 2 [nm], tartománytól függően. Pontossága 0,5 [nm] (ASD Inc., 2013).



16. ábra: FieldSpec 4 Hi-Res hordozható spektrométer (ASD Inc., 2013).

A hordozható műszerek, a laboratóriumi használat mellett, önálló terepi kutatásokra, vagy légi, műholdas távérzékelési munkák részeként is alkalmazhatók. A mérés során a műszer által rögzített spektrum a felszínen egyetlen képpont spektrumának felel meg. A terepi spektrométerek általános felhasználását Bertels et al., (2006) nyomán ismertetem:

- Természetes és mesterséges referenciafelületek reflektancia spektrumának mérése a képpontos szenzorok kalibrálásához és a felvételek korrekciójához.
- Természetes és mesterséges referenciafelületek reflektancia spektrumának mérése az légkör torzító hatásainak korrigálásához (Atmoszférikus korrekció).
- A Nap beeső sugárzásintenzitásának mérése (Atmoszférikus korrekció), terepi radiancia mérése légi felvételek reflektancia számításához (Lamberti referencia felület alkalmazásával).
- Különböző élő, vagy élettelen anyagok spektrális reflektanciájának mérése, spektrális összefüggések tanulmányozása más módon gyűjtött referencia adatokkal, alap kutatás.
- Spektrumkönyvtárak létrehozása, osztályozó eljárások támogatása, validáció.

Az általános mérési eljárás a következő lépésekből áll (Bertels et al., 2006, Oldeland, 2010):

- A spektrométer bekapcsolása: A műszerben levő érzékelők működése hőmérséklet-függő. A hűtés által biztosított állandó üzemi hőmérséklet elérése érdekében az első mérés előtt legalább 20 perces működtetés javasolt.
- A fényforrás bekapcsolása (laboratóriumi, vagy terepi kontakt mérések esetében): A megvilágító fényforrásoknak minden esetben szükségük van, hogy bemelegedjenek és elérjék állandósult üzemi hőmérsékletüket. A bemelegedés ideje alatt a kibocsátott fény intenzitása időben változhat. Javasolt időtartam a bemelegedésre 15 perc.

- Laptop bekapcsolása: Az előre kiválasztott fehér referencia panel gyári kalibrációs görbéjének RS3 gyökérkönyvtárba történő betöltése, RS3 adatgyűjtő szoftver bekapcsolása, automatikus WiFi kapcsolat a spektroradiométerrel.
- Mérési beállítások: Sötét áram mérésekor végzett letapogatások száma, fehér referencia mérésekor végzett letapogatások száma (a letapogatások átlagolásával jön létre egyetlen mért spektrum), mintaterület mérésekor végzett letapogatások száma, előtétóptikák, mérés típusa (reflektancia, radiancia). A letapogatások számát illetően a stabil spektrumok érdekében legalább 25 a javasolt.
- Mentési beállítások: Fájl neve, mentés helye, mentett spektrumok száma (mérés alkalmával egymást követően, vagy beállított időközönként mentett file-ok, spektrumok száma).
- A műszer optimalizálása: A szenzor alá helyezett fehér referencia panelről visszaverődő fénysugárzás függvényében a készülék beállítja az adott környezeti feltételekre optimalizált értékeket (erősítés, integrációs idő). Terepi mérések során a megváltozó fényviszonyok következtében egy mérési napon több optimalizáció is szükséges lehet. Laboratóriumi körülmények között általában egyszeri optimalizálás is elegendő, ha nem változtatnak a mérési eljárás, mérési elrendezésen.
- Sötét áram (Dark Current – DC) mérése: Az optimalizáció és a fehér referencia felvételekor történik meg.
- Fehér referencia (White Reference – WR) felvétele: A mérések előtt fehér referenciamérésre van szükség. A műszer rögzíti a referencia felületről visszaverődő fény hullámhossz szerinti intenzitását, melyet teljes visszaverődésnek, 100 %-os reflektanciának értelmez. Terepi mérések során a fényviszonyok (felhő, pára) váltakozásának függvényében időről-időre új fehér referencia felvétele szükséges. Időjárástól függően általában 15 percenként javasolt megismételni. Laboratóriumi mérések során a relatíve stabilabb környezetre való tekintettel ritkábban végeznek fehér referenciaméréseket.
- Minta, vagy mintaterület spektrumának mérése: A mérési magasság és a látószög meghatározza a letapogatott mintaterület nagyságát.
- Minta, vagy mintaterület spektrumának mentése: A műszer folyamatosan, ciklusosan mér. A ciklusidő a beállított letapogatások számától és az integrációs időtől függ. A mentés parancs kiadásakor a műszer az adott ciklus átlagát tárolja. Ezért fontos, hogy a vizsgált mintaterület már a mentett ciklus kezdete előtt a szenzor látószögében legyen (az elvárt mérési körülmények között). Ennek hiányában a mentésre kerülő spektrum nem csak a mintára jellemző információt tartalmazza, hanem a minták cserélése, vagy a vizsgált felületek váltása között a szenzor látómezőjébe került felületek (mintatartó, operátor keze, egyéb felületek) hatását is.

A hordozható műszerek kettős alkalmazása a kapcsolódási pont a laboratóriumi és terepi mérések, valamint a légi távérzékelés és a képalkotó hiperspektrális technológia között.

2.5 A távérzékelés története

Tágabb értelemben a távérzékelés egyidős az emberiséggel. Azonban, ha leszűkítjük értelmezését, és közelítünk a napjainkban távérzékelésként elterjedt fogalomhoz, az első kikötözött hőlégballonról készítettek fekete-fehér, egytónusú légi-fényképeket tekinthetjük az első távérzékelésnek, melyet Gaspard-Félix Tournachon fényképész hajtott végre. 1858-ban elsőként készített légi-felvételt 80 m magasságból (Zimmer, 2013). Két évvel később már a hadsereg számára készített felvételt az ellenséges csapatokról. A fényképezés fejlődésével a fényképezők könnyebbé váltak és az 1880-as évektől már sárkányokat alkalmaztak, hogy a fényképezőt a magasba emeljék. 1908-ban, mindössze 5 évre rá, hogy a Wright testvérek először repültek,

elkészült az első mozgókép, melyet Bonvillain készített Olaszországban, a Wilbur Wright vezette repülőgépből. A katonai célú légi-felvételzés gyorsan terjedt, a technika fejlődése ennek köszönhetően felgyorsult. Az I. világháborút követő időszakban az angol George W. Goddard hadnagy felismerve a légi-felderítés harcászati jelentőségét a technológia fejlesztésébe kezdett. A közeli infravörös tartományban végzett fényképezés jelentősége a II. világháborúban beigazolódott, ahol harcászati célokból kifejlesztett színes infravörös fényképeket alkalmaztak a zöldszínű álcával borított, vagy zöldszínű katonai objektumok kiszűrésére a természetes zöld növényzetből. Itt már a látható tartományon túl, 900 nm-ig terjedt a film érzékenysége (Hargitai 2006). A műholdas távérzékelés felé a Szovjetunió nyitotta meg az utat, amikor 1957. október 4-én fellőtték az első műholdat, a Sputnik-1-et (Спутник-1) (Порошков, 2012), 1959-ben elkészült az első fénykép a Földről, melyet az Explorer-6 amerikai műhold készített (Büttner, 1996). Az amerikaiak 1960-ban lötték fel az első TIROS műholdat (Television and Infrared Observation Satellite), mely egy kísérleti meteorológiai műhold volt. A TIROS műholdakon már speciális kamerák voltak, melyek az infra tartományban is érzékelték. A Föld hőmérséklet eloszlását és a felhőzetet vizsgálták. A TIROS 8 már automatikus adatlesugárzásra volt képes, mely az elkészült képeken azonnal továbbította a földi központba (NOAA, 2010). Nem meglepő, hogy ebben az évben már üzemelt az amerikaiak első hírszerző műholdja is, mely a Szovjeteket és szövetségeseiket figyelte (CIA, 2013). A világ első multispektrális kameráját Zaitor és Tsuprun készítette 1962-ben. Rendszerük 9 különböző szűrő kombinációját tette lehetővé, mely kilenc különböző spektrális sáv egyidejű fényképezését valósította meg (Krenar, 2009). Az első űrből készült multispektrális felvétel 1968-ban készült az Apollo-9 küldetése során. Ez képezte az alapokat a LANDSAT program műholdjainak többszörös képalkotó rendszerének kifejlesztésében.

A mai, klasszikus értelemben vett „távérzékelés” kifejezés 1972-től kezdett elterjedni, miután fellőtték a LANDSAT 1 (ERTS – Earth Resource Technology Satellite) műholdat (Landgrebe, 2002). Ez volt az első erőforrás-kutató műhold, mely érzékelője már a multispektrális technológia (MSS – Multispectral Scanner System) képviselője volt. A LANDSAT program, illetve az, hogy a műhold adatai már polgári felhasználásra is elérhetőek voltak jelentősen hozzájárult a távérzékelés fejlődéséhez (Mucsi, 2004). 1980-as évektől kezdődően már a szovjet multispektrális műholdak is megjelentek a Föld körüli pályákon RESURS-01 sorozat névvel. Már ezek a műholdak is rendelkeztek a hőinfra tartományra érzékeny sávokkal (Планета, 2013).

1980-ban, Alexander Goetz vezetésével forradalmi fejlesztés vette kezdetét a távérzékelésben. Az új eszközök, melyet AIS (Airborne Imaging Spectrometer), majd AVIRIS (Airborne Visible-Infrared Imaging Spectroradiometer) néven ismertek meg, új technológiájú érzékelővel rendelkezett. A technológia lehetővé tette az addig földi spektrométerek repülőgépeken való alkalmazását. Ez lehetővé tette a felszín részletes spektrális tulajdonságainak mérését. A hiperspektrális rendszer négy spektrométerre 410-2450 [nm]-es spektrális tartományban, 224 spektrális csatornán érzékelt az elektromágneses sugárzást. Egy csatorna sáv szélessége 10 [nm] volt. Először 1987-ben repült (NASA, 2008). 1986-ban Franciaország is felbocsátott egy megfigyelő műholdat SPOT-1 (Système Probatoire d'Observation de la Terre), mely a SPOT sorozat első tagja volt (EOEdu, 2013). 1989-ben a kanadai ITRES Research Ltd. bemutatta a CASI-2 (Compact Airborne Spectrographic Imager-2) szenzort, mely 405-950 [nm]-ig terjedő tartományban üzemelt, 288 csatornán (NERC, 2010). Az ausztrál gyártmányú HyMap légi hiperspektrális rendszer 1998-tól kezdődően szolgáltatásként érhető el a világon. A HyMap sorozat első rendszere 96 csatornás volt és 550-2500 [nm]-es spektrális tartományt érzékelt (Cocks et al., 1998).

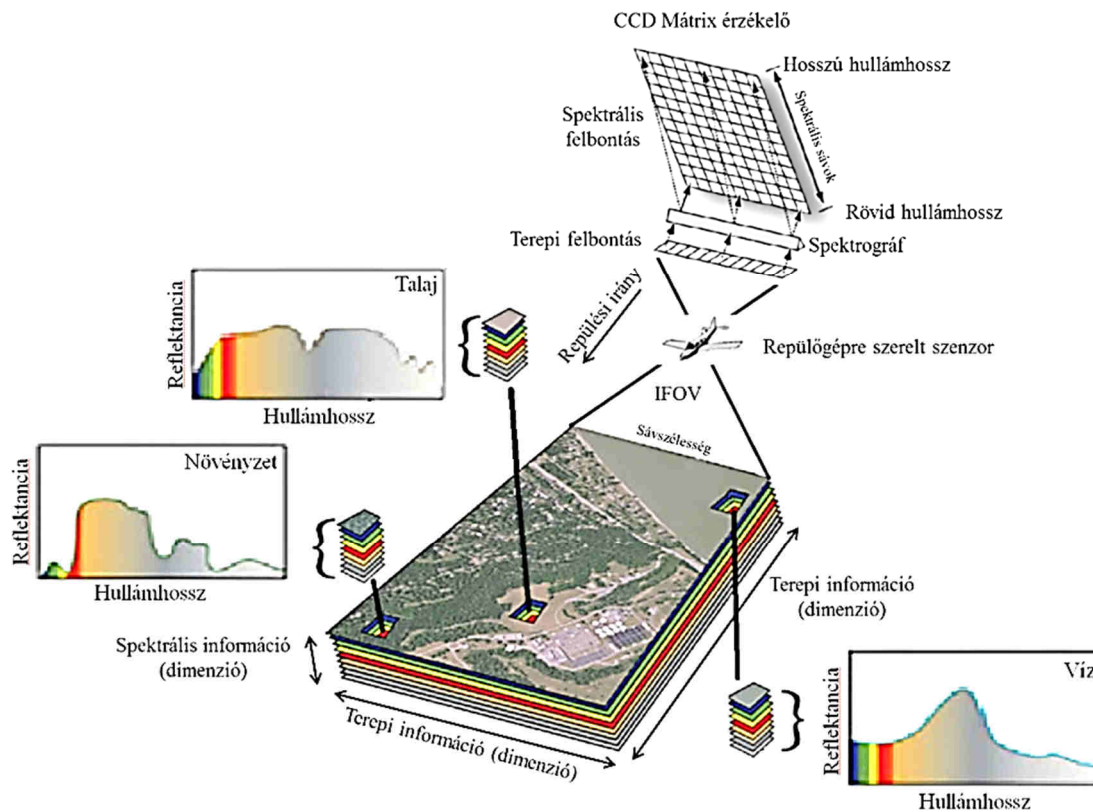
Az első magántulajdonban levő megfigyelő műhold (IKONOS) felbocsátása a Space Imaging Inc. nevéhez fűződik, melyet 1999-ben állítottak Föld körüli pályára, melyet napjainkig további magántulajdonban álló műholdak követtek. Ugyanebben az évben vált elérhetővé a DAIS-1 (Digital Airborne Imaging System) szenzor szolgáltatása, melynek elsődleges célja az IKONOS által nyújtott felvételek kiegészítése volt. 2000-ben a NASA felbocsátotta nagy felbontású hiperspektrális szenzorját (HYPERION), melyet az EO-1 (Earth Observing) műholdra szereltek fel.

400-2500 [nm] tartományban 220 [db] spektrális csatornával rendelkezik, és terepi felbontása eléri a 30 métert (CRISP, 2001). 2001-ben a HYPERION után a NASA felbocsátotta a második hiperspektrális rendszerű érzékelőt a CHRIS-t (Compact High Resolution Imaging Spectrometer), mely 415-1050 [nm]-es tartományban, a terepi felbontástól függően 18, illetve 61 csatornán érzékel (Surrey, 2008). 2013-ban a Landsat 8-at állították Föld körüli pályára, mely már 12 [db] spektrális csatornán érzékeli az elektromágneses sugárzás különböző tartományait (NASA, 2013). A nagy felbontású szenzorok korábban csak katonai felhasználásban működtek. Ma már a polgári célú felhasználásnak különböző, nagyobb pontosságot igénylő műszaki és precíziós mezőgazdasági alkalmazásai vannak. Ma már az állami műholdprogramokon túl több profitorientált, vállalkozás formájában működő szervezet műholdas szolgáltatása érhető el mindenki számára. A felhasználhatóság szempontjából fontos jellemzők a felvétel mérete, a hozzáférhetőség és a visszatérési idő. A fejlődés következtében csökkent a spektrális csatornák szélessége, a csatornák száma pedig megnőtt. Nagyobb hullámhossztartomány lefedésére lettek képesek a rendszerek, ami tovább szélesíti felhasználási lehetőségeket. A technológia fejlődése az eszközök méretének csökkenését eredményezte, ami a vezető nélküli repülőgépen (UAV, Unmanned Aerial Vehicle) történő alkalmazást is bevezette. Egyre több cég jelenik meg a piacon az erre alkalmas modellekkel (Specim, 2013), a legújabb fejlesztések pedig már online hiperspektrális videót képesek készíteni egyelőre még csak a látható és közeli infra tartományban (Cubert, 2014). A hagyományos repülőgépről történő légifotózást fokozatosan visszaszorítja a hiperspektrális technológia.

Az űr-távérzékelés fejlődésével számos módszert, technológiát dolgoztak ki a felszíni erőforrások érzékelésére és értékelésére. Ezek a módszerek azonban többnyire nem alkalmazhatók közvetlenül a földközeli, illetve a repülőgéppel végzett érzékelések esetén.

2.6 A hiperspektrális képalkotás elve

Pankromatikus (PAN) képről abban az esetben beszélünk, ha az egyetlen csatornából áll. Ennél sokkal több információt tartalmaz egy több csatornás multispektrális (MMS) kép. A legmodernebb technológia képviselője azonban a hiperspektrális felvétel, melynek akár több száz csatornája is lehet, melyek sáv szélessége kisebb, mint a multispektrális rendszerek esetében. A hiperspektrális távérzékelés fogalma Alexander F. H. Goetz nevéhez fűződik. A módszer az optikai hullámhossz tartományban végzett reflektancia spektroszkópiának a kiterjesztése a passzív, képalkotó távérzékelésre. A digitális kép rögzítése sok, szomszédos spektrális csatornán történik, egy időben (Kruse, 1995). Hiperspektrális rendszerek esetében állandó, vagy a hullámhossz-tartomány függvényében változó sáv szélesség a jellemző, mely akár 2, 5, 10 [nm] is lehet. Egy adott rendszerben széles hullámhossztartományban történik adatgyűjtés: VIS, NIR, SWIR, tartományokban ~ 400-2500 [nm]-es hullámhossztartományban. Általában több (2, 3, 4) szenzor egyidejű működésére van szükség. A szakirodalomban általában a nagy csatornaszámú 64-256, szűk sáv szélességű (kevesebb, mint 10 [nm]), valamint nagy terepi felbontással (légi távérzékelés esetén legalább 5 [m]) rendelkező felvételeket neveznek nagy felbontású hiperspektrális rendszereknek. A multispektrális rendszerek jellemzője: 2-20 spektrális sáv, sávonként 20-100 [nm] sáv szélességgel (Sabins, 1996, Jacquez et al., 2002, Burai, 2007). A hiperspektrális rendszerek tolópásztázó (pushbroom) rendszerrel tapogatják le a felszínt és a hagyományos felvételekhez viszonyítva jelentősen kisebb a pásztázott terület, vagy terepi látószög (IFOV, Instantaneously Field of View). A hiperspektrális szenzorokat már több újgenerációs műholdban alkalmazzák, de a repülőgépbe szerelt változatok terepi és spektrális felbontása egyaránt nagyobb. Fontos előny továbbá, hogy a műholdak esetében limitáló visszatérési idő nem akadály a légi távérzékelés esetén. A letapogatás során a rendszer a felszínről a szenzor fényérzékeny felületére egységnyi térszögből beérkező sugárzás fluxusát méri több száz szomszédos csatornán. Ezek a csatornákon szürkeárnyalatos képek készülnek a felszínről, egy időben. Ez a felvételezési módszer az ún. hiperspektrális adatkockát eredményezi. A hiperspektrális adatkocka minden képpontjához nagyfelbontású spektrális információ tartozik. A elvet a következő ábra szemlélteti (17. ábra).

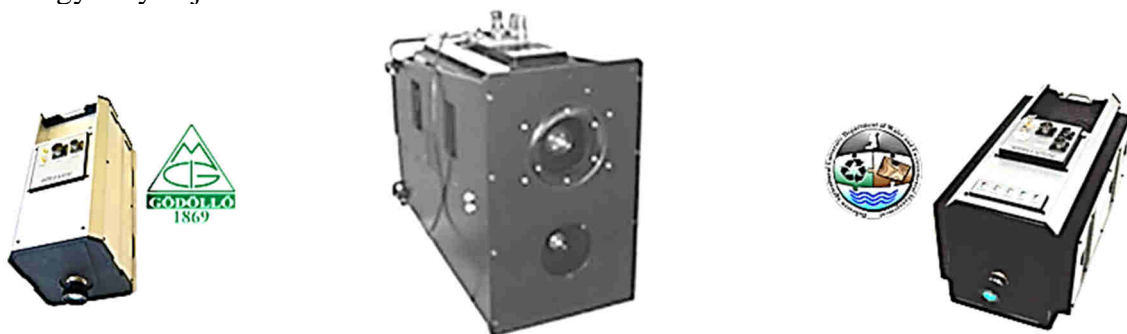


17. ábra: A hiperspektrális képalkotás elve (SPIE, 2009., valamint Tamás és Flórián, 2008. után módosítva).

AISA Dual légi hiperspektrális rendszer

Az NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet és a Debreceni Agrártudományi Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet 2006-ban a Gazdasági Versenyképesség Operatív Program pályázat keretében, EU-s támogatás segítségével vásárolt egy SPECIM gyártmányú AISA DUAL rendszert (18. ábra). A távérzékelési rendszert a két intézet közösen üzemelteti (Deákvári et al., 2008). A rendszer műszaki jellemzőit a 5. táblázat foglalja össze. Fő részei a következők:

- Egybeépített AISA Dual szenzor: AISA Eagle szenzor (400 -970 nm) + AISA Hawk szenzor (970-2450 nm)
- Oxford RT-3003 típusú GPS/INS egység
- 2 db FODIS szenzor (beeső sugárzás intenzitását mérő szenzor mindkét szenzorhoz)
- Ipari PC
- Nagy fényerejű monitor

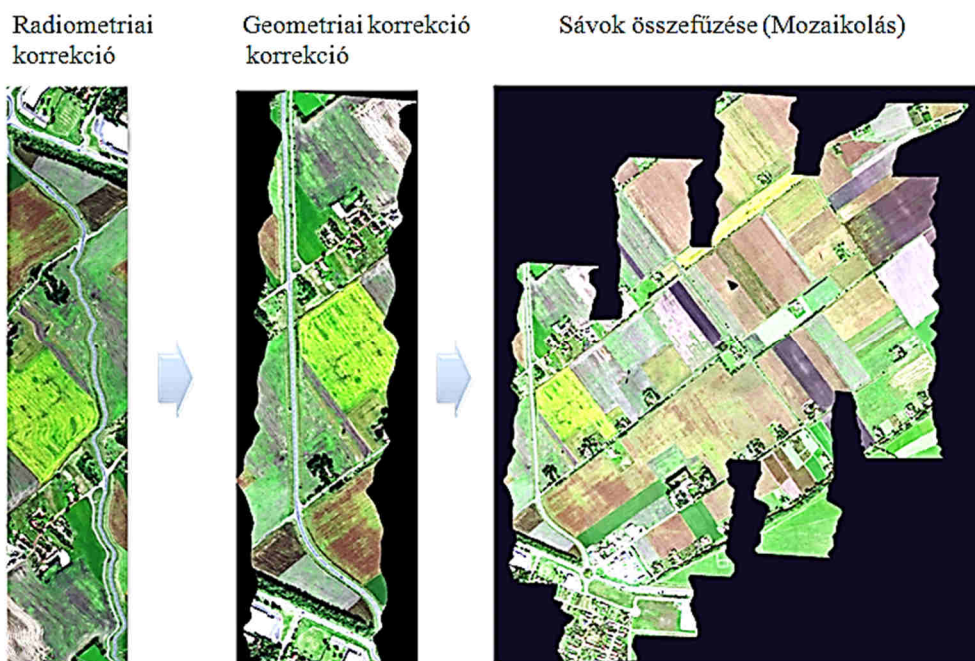


18. ábra: Az AISA Dual szenzor rendszer: (balról jobbra) Eagle szenzor, Dual kamera, Hawk szenzor (NAIK, 2014).

5. táblázat: Az AISA rendszer műszaki paraméterei (Deákvári et al., 2010).

	AISA Eagle	AISA Hawk	AISA Dual
Spektrális tartomány [nm]	400-970	970-2450	400-2450
Spektrális sáv szélesség [nm]	2,3	5,8	2,3/5,8
Spektrális felbontás (sávok száma)	244	254	498
Terepi felbontás (képpont)	1024	320	320
Spektrális mélység [bit]	12	14	12
Max. mintavételi frekvencia [kép/s]	100	100	100
FOV	37,7 fok	24 fok	24 fok
IFOV	0,037	0,075	0,075
Érzékelők típusa	CCD	MCT	CCD&MCT

A szenzorok legfontosabb eleme a spektrográf. Az elektromágneses sugárzást hullámhossz függvényében bontják fel. Az érzékelő Pushbroom rendszerű, tehát egy letapogatási ciklusban egy vonalat érzékel, és dolgoz fel. Az érzékelő a terepről leképezett képponthez Eagle esetében 400-970 [nm], Hawk esetében 970-2450 [nm] tartományban rögzít spektrális információt. A mátrixdetektoron egy pixel felel meg a térbeli felbontásnak horizontálisan, a spektrális felbontásnak vertikálisan. A terepi felbontás a repülés magasságától és az üzemeltetett szenzor látószögétől függ. Az Eagle szenzor önálló üzemeltetése esetén a letapogatott sáv szélesség 1024, a Hawk szenzor önálló üzemeltetése esetén 320 egységre osztódik fel. Dual üzemmódban, egyidejű működtetés esetén a kisebb felbontáshoz kell igazodni. A rendszer biztosítja, hogy a két érzékelő által rögzített nyers felvételek egy fájlba kerüljenek. Ezt a két szenzor közös optikai tengelye, továbbá az ún. binning funkció teszik lehetővé. A binning funkciónak köszönhetően hardveresen és szoftveresen is az egymás mellett levő pixelek értéke átlagolva is eltárolásra kerülhet. A maximális repülési sebességet a felbontás alapján kell megválasztani. Nagy felbontás esetén nagy mintavételezési frekvenciára van szükség, a maximális frekvencia pedig adott. A letapogatott vonalakat (sávokat) a nyers adatok feldolgozása közben a számítógép fűzi össze. A repülési nyomvonalon készített nyers felvételeket először radiometriailag majd geometriailag kell korrigálni. A vizsgált területről készült sávok összefűzésével készül el a hiperspektrális felvétel (19. ábra) (Deákvári, 2010).



19. ábra: A nyers hiperspektrális sávok feldolgozása és összefűzése (Deákvári et al., 2011).

2.7 Spektrális és hiperspektrális technológiák mezőgazdasági alkalmazása

A növények spektrális tulajdonságai függenek a növényfajtól (Clark et al., 1997), a növényzet egészségi és fenológiai állapotától. Ez a tény lehetőséget biztosít a mezőgazdasági természetbe vont növények távérzékeléssel történő elemzésére, érzékelésére. A távérzékelés mezőgazdasági alkalmazásai közül a vetésterület, a növényi állapotfelmérés és a termésbecslés a legjelentősebb. A hiperspektrális technika a növényzet minőségi és mennyiségi értékelésének gyors, pontos, térorientált lehetőségét nyújtja (Fenyvesi, 2008, Yang et al., 2009). Egyedülálló megoldást kínál az agro-ökoszisztémák komplex vizsgálatában (Csete és Láng, 2004, Milics et al., 2010). Több olyan hullámhossz tartomány reflektancia értékeit lehet mérni, kárpén megjelöni, amelyekből a talaj és a növényzet normális (egészséges) illetve stresszes állapotára lehet következtetni (Burai et al., 2007). A növényzet indikátorként viselkedik, így a különféle vegetációk jellemzik az adott területet, a talajt és annak állapotát is. Az agrár-ökoszisztéma vizsgálatának részeként kiemelt jelentőséggel bírnak a talaj állapotára és tápanyagszolgáltató képességére irányuló, távérzékelésen alapuló alkalmazások (Csorba et al., 2014). A távérzékelést sikeresen alkalmazták genetikai talajtérképezés, degradációs és meliorációs folyamatok követésére (Stefanovits et al., 1989, Baumgardner et al., 1990).

Gabonák, fűfélék, valamint babfajtákon sikerült azonosítani a természetes metánszivárgások okozta stresszt. A módszerrel a látható jelek megjelenése előtt kimutathatóvá vált a problémás terület, ahol a növények gyökere körül kiszorította a metán az oxigént. Smith et al. (2004) 702, valamint 720-730 [nm]-es tartományban határoztak meg összefüggéseket, mely lehetővé tette a megnövekedett metán koncentrációt. Különböző kártevők okozta sérülések detektálását és azonosítását végezték el üvegházi körülmények között termesztett búzánövényeken 800/450 [nm]-es, illetve 900/450 [nm]-es hullámhossz-tartományok arányát vizsgálták és sikeresen különítették el két atkafaj okozta sérüléseket (Yang et al. 2009).

Növénybetegségek terepi és légi hiperspektrális érzékelését végezték Laudien és Bareth (2006). 350-2500 [nm]-es tartományban, kontakt laboratóriumi reflektancia mérésekkel. A spektrális adatok főkomponens analízisével különítették el egészséges és fusariummal fertőzött kukoricaszemeket Szőke et al. (2012). Williams et al. (2010) fertőzött kukorica mintákon azonosított jellegzetes abszorpciós csúcsokat 2100 és 2350 [nm]-nél. A hiperspektrális képfeldolgozással Shahin és Symons (2011) búzaszemek fusarium fertőzöttség mértékének kimutathatóságát igazolta 450-950 [nm]-es hullámhossz tartományban.

Terepi mérésekre alapuló gyomkutatást és kórokozók vizsgálatát végezték multispektrális (Nagy és Kalmár, 2001, Aitkenhead et al., 2003; Tamás, 2005) és hiperspektrális technológiával (Kardeván et al., 2004, Laudien et al., 2003) egyaránt. Parlagfű terepi és légi távérzékelésének lehetőségeit vizsgálták (Kardeván et al., 2005, Deákvári et al. 2011). Légi hiperspektrális felvételt alkalmazva mutatták ki a kukoricánövények nitrogénhiányát és a táblán belüli gyomfertőzöttséget (Prasher et al., 2003).

Többcsatornás műholdfelvételekre (LANDSAT) és meteorológiai modellekre támaszkodva már az 1970-es évektől kezdődően jó közelítéssel becsülték a jelentős gabonanövények várható termését. Napjainkban ezek az információk meghatározóak a kereskedelmi politika alakulásában (Verőné, 2010). A Hyperion hiperspektrális műhold felvételeit alkalmazva szoros összefüggéseket írtak le különböző vegetációs indexek és a vizsgált búza klorofilltartalma között, mely meghatározó a fenológiai állapotok követésében és a termésbecslésben is (Bannari et al., 2008). Betakarítást megelőző légi hiperspektrális felvételek elemzésével az árpa nitrogéntartalmának becslésére alkalmas eljárást ismertetett Milics et al. (2008). A betakarítást követően spektrális tulajdonság alapján különítették el repce- és búzatarlót Bannari et al. (2006). Többcsatornás technológiára alapulóan „online” módon vizsgálták a betakarítógép beállításától függő szalma/pelyva/mag arányát öt különböző hullámhossztartományban 400 és 900 [nm] között (Wallays et al., 2009). A búza spektrális tápanyagreakcióit vizsgálták Silva és Beyl (2005) a búzánövény különböző

makroelemekkel történő trágyázása során. Búzakalászkok és búzaszemek laboratóriumi reflektancia vizsgálatával két különböző tápanyagutánpótlási szintet különített el az Alföld 90 búzafajánál Szalay et al. (2011). Traktorra szerelt valósídejű reflektancia mérés alapján végezhető nitrogén utánpótlási lehetőséget mutatott be (Yara, 2004). Búzaszemek életképességének vizsgálatára alkalmaztak hiperspektrális technológiát. 365 és 531 [nm]-en vizsgálták a szemek reflektanciáját és 95 [%]-os valószínűséggel tudták elkülöníteni az élettelen szemeket, a háti oldal letapogatásával (Yang et al., 2009).

A csírázást vizsgálva 400 és 1000 [nm]-es tartományban találtak különbséget a később csírázásnak indult magok és az életképtelen szemek között (Xing et al., 2010). Mesterséges neurális hálók alkalmazásával terepi és légi (HyMap) hiperspektrális adatok és a búza biofizikai jellemzői között (Levélfelület-index, klorofill-tartalom) szoros korrelációt írtak le (Atzberger et al., 2003). Növényi indexek és legkisebb négyzetek módszerével a búza biomassa tömegének és nitrogénellátottságának különböző szintjeit tanulmányozta Serrano et al. (2000), valamint Hansen és Schjoerring (2003). A zöldtömeg index és a klorofilltartalom, valamint a búzanövény spektrális tulajdonságai között talált összefüggést Broge és Mortensen (2001). Különböző fajtájú és fejlődési állapotú búzanövények nitrogénellátását vizsgálták hordozható spektrométerrel Li et al. (2007). A szerzők különböző vegetációs indexeket használtak a nitrogénellátottság vizsgálatához. A zöld, vörös és közeli infravörös hullámhossztartományokat felhasználva. Moges et al. (2004) a búzanövény biomassa tömegét és nitrogénellátottságát vizsgálta. Szoros összefüggést írt le a reflexiós tulajdonságok alapján becsült és a betakarított termésmennyiség között. A búza nitrogénellátottságának vizsgálata céljából földi mérésekre alapulóan levél nitrogéntartalom meghatározásokat végeztek (Yao et al., 2010).

A NIR tartományban végzett spektroszkópiai vizsgálatok során szoros összefüggést találtak a fehérjetartalom és a Zeleny-érték, valamint a búzaliszt reflexiós tulajdonságai között. A mérés során 400-2500 [nm]-es tartományban dolgoztak, 2 [nm]-es spektrális felbontással. A szerzők a reológiai tulajdonságokkal is találtak összefüggést (Jirsa et al., 2007). Baker et al. (1999) regressziós osztályozó eljárást alkotott az őszi búzaszemek minőségi osztályozására. Delwiche a búzaszemeket vizsgálva írta le a fehérjetartalom és a NIR tartomány korrelációját transzmittancia és reflektancia (1998) mérést alkalmazva. Közeli infravörös tartományban végzett transzmittancia méréseket elemezve készített predikciós modelleket a búza kémiai összetételére és Alveográfus értékszámra Miralbés (2003). Norris et al. (1989) a búzaszemek spektrális tulajdonsága és a szemkeménység között írt le kapcsolatot. Zárt rendszerű laboratóriumi spektrofotométerrel (Foss NIR System 6500) végzett méréseket Miralbés (2008), aki különböző fajba tartozó búzafajtákat – összesen 11 [db]-ot – vizsgált 400-2500 [nm]-es tartományban. A mintatartó térfogata ~ 70 [cm³] volt. A mintáról mérésenként 32 [db] letapogatást végzett. Az adatfeldolgozás során több módszert alkalmazott, a legjobb eredményt a W MSC (Weighted Multiplicative Scatter Correction) eljárással érte el, 12 [db] meghatározó változó mellett. Az elő-feldolgozás során másodrendű deriválást és simító algoritmust alkalmazott. Az osztályozás pontossága ugyan meghaladta a 90 [%]-os pontosságot, de a hasonló fehérje és nedves siker eloszlású - azonos fajba tartozó – fajták esetében a pontosság romlott. A kalibrációs és validációs sokaság ugyanazon két évjáratból származott, a független évjáratú azonosítás lehetőségét a szerző nem vizsgálta.

A spektrumalapú osztályozáshoz nem kapcsolódik, viszont meghatározó eredmény Zapotocny (2011) munkája, aki 7 őszi és 4 tavaszi búzafajta termését vizsgálta képfeldolgozó eljárással. Egy Epson Perfection 4490 Photo szkennerre 552 [db] búzaszemet helyezett el egy külön erre a célra fejlesztett mintatartó mátrixba és nagyfelbontású képet készített. A képet szegmentálással és maszkolással készítette elő a további feldolgozásra. A geometriai elemzés eredményeképpen 54 geometriai változót azonosított, melyből 20-at, mint meghatározó változót választott ki. A legfontosabb változók a méretek voltak, az alakú tényezők szerepe kisebb volt. Az eljárással 90-99 [%]-os teljes pontosságot ért el. Az osztályozást nem befolyásolta az eltérő nedvességtartalom. A kalibrációs és validációs sokaság ebben az esetben is a vizsgált minták három évjáratából származott, a független évjáratú azonosítás lehetőségét nem vizsgálta.

2.8 A búza

Legfontosabb gabonanövényünk. Lisztjének értéke kimagasló, biztosítja az emberi szervezet számára szükséges szénhidrátot és fehérjét. Kenyér formájában könnyen emészthető, nagy mennyiségben rendelkezésre álló táplálék (Radics et al., 2001). Energiabevitelünk hatodát kenyérral fedezzük. A létfontosságú kémiai elem mellett a kenyérben a szükséges vitaminok nagy része is megtalálható (Jolánkai és Szabó, 2005).

2.8.1 A búza rendszertani besorolása és morfológiája

A *Poaceae* (*Graminidae*) családba, a *Triticum* nemzetségbe tartozik. A nemzetségbe tartozó, a búza gyűjtő fogalmat használva, a következő fajokat és változatokat nevezzük (6. Táblázat).

6. Táblázat: A búza főbb termesztett fajai (Mac Key nyomán Jolánkai, 2004).

	Diploid (2n = 14) A genom	Tetraploid (2n = 28) AB genom	Hexaploid (2n = 42) ABD genom
Vad búzák	<i>T. boeoticum</i> (<i>aegilopoides</i>)	<i>T. dicoccoides</i> <i>T. timopheevi</i>	
Pelyvás búzák	<i>T. monococcum</i>	<i>T. dicoccum</i>	<i>T. aestivum</i> ssp. <i>spelta</i> <i>T. aestivum</i> ssp. <i>vavilovi</i>
Csupasz búzák		<i>T. durum</i> <i>T. turgidum</i> <i>T. turanicum</i> <i>T. polonicum</i> <i>T. carthlicum</i>	<i>T. aestivum</i> ssp. <i>vulgare</i> <i>T. sphaerococcum</i> <i>T. compactum</i>

Fentiek közül a magyarországi termesztésben a legjelentősebb az őszi búza (*Triticum aestivum*). Az őszi búza mellett elhanyagolható területen történik tavaszi búza (*Triticum aestivum*), tönkölybúza (*Triticum spelta*), őszi durumbúza (*Triticum durum*) és tavaszi durumbúza (*Triticum durum*) termesztése is. Az egyszikű növény, kelés után, bokrosodási csomót fejleszt, melyből több produktív hajtást képez. Magassága nem haladja meg a 0,8-1,5 [m]-t. Száracsomóiból eredő levélhüvelyeken alakítja ki levélzetét. A fajra jellemző fülecske és nyelvecske a levélhüvely és a levéllemez találkozásánál található. Virágzata botanikailag füzéres füzér. Virágzatának tengelyén, mely fajonként változó méretű, fajra jellemző, hullámos lefutású kalászorsó, rövid füzérkék találhatóak. A kalászorsón, a kalászpaddákon helyezkednek el a kalászkák, vagy füzérkék, melyeket két-két pelyvalevél véd. Öntermékenyülő, kalászkáin belül 3-5 hímnős virág van (Jolánkai, 2004). A búza szemtermése zárt, egyetlen termőlevélből, felső állású magházból fejlődik. Alakja lehet széles orsó, ellipszis tojás, megnyúlt tojás, vagy megnyúlt gömb. Hossza: 4-10 [mm], szélessége: 2,5-3,6 [mm], vastagsága: 1,7-4,4 [mm]. Hosszúság szerint 4 csoportba osztható: zömök (4-6 [mm]), középhosszú (6,1-8 [mm]), hosszú (8,1-10 [mm]) és igen hosszú szemek (10 [mm] felett) (Szabó, 2009). A Magyarországon termelt búzák a zömök és középhosszú kategóriákba sorolhatók, a szem mérete és alakja alapján történő fajtaszintű osztályozás szabad szemmel nem lehetséges. Szabó (2009) alapján egy búzaszem 70-75 [%]-ban szénhidrátot, 8-14 [%]-ban fehérjét, 1,5-2 [%]-ban zsírokat, 1,6-2,2 [%]-ban ásványi anyagokat, valamint 10-14 [%]-ban nedvességet tartalmaz. Ezen kívül tartalmaz még vitaminokat és enzimeket is.

2.8.2 A búzatermesztés rövid történeti áttekintése

Az emberiség történetében, hatezer évre visszatekintve, megtaláljuk a búzatermesztésre utaló írásos emlékeket. A Kárpát-medencében a búzatermesztés hagyománya a feudalizmus idejében vált szerves részévé kultúránknak. Termesztéstechnológiában az igazi nagy változást a XIX. század második felében, a második ipari forradalom eredményezte. Megjelentek a gépek a földeken, melyek jelentősen javították a föld megmunkálásának minőségét. Elérhetővé váltak az egyre jobb

minőségű cséplőgépek is. A vegyipar fejlődésével elkezdődött a műtrágya felhasználása, és ezzel egy időben a növényvédelem lehetőségei is bővültek. A nemesítői tevékenység mennyiségi és minőségi javulást eredményez. A XIX. században a búza átlagos termése mindösszesen 7 mázsa volt hektáronként (Ángyán és Menyhért, 2004). Ez gyakorlatilag a vetésen és az aratáson kívül minden más beavatkozás nélkül elért eredmény. A termesztéstechnológia fejlődésének és a szelekciós tevékenységeknek köszönhetően egyre magasabb termésátlagot értek el. Napjainkban, megfelelő technológia mellett optimális fajtaválasztással ez az érték már laza és homoktalajokon is meghaladja a 2,5-5,0 [t/ha]-os, míg középkötött mezőségi talajon a 4,0-8,6 [t/ha]-os termést is felülmúlhatja. Ez 2,6 [t/ha] és 5,2 [t/ha] között mozgó országos termésátlagot jelent (Jolánkai és Szabó, 2005).

A búza vetésterülete a világon eléri a 240 millió hektárt, ami éves szinten 600 millió tonna termést jelent (Curtis, 2013). Jelentőségét hazánkban mutatja, hogy a vetésterület 1,1-1,2 millió hektár évente. Ez az Európai Unió búzatermésének 4-6 [%]-át teszi ki. A differencia okát az évi termésmennyiségben, nem a vetésterület ingadozással, hanem az évjáráthatással magyarázható, mely megfelelő fajtaválasztással és szakértelemmel társult gépi és agrokémiai eszközökkel mérsékelhető (Kárpáti et al., 1996). Elsősorban kenyérbúza, de takarmányozás és ipari feldolgozása is jelentős. A vetőmag előállítás a termesztés alapját képezi, mint kiindulási alapanyag. A hazánkban termelt búzafajták 99 [%]-a őszi búza. Az országnak nemzetközi viszonylatban versenyképes nemesítési háttere van, mely kimagasló földrajzi adottságokkal párosítva, kiváló alapot teremt a minőségi búzatermesztésnek (Szabó et al., 1987; Barabás Z., 1987; Lukács, 2008). A 7. táblázat a megtermelt búza eloszlását foglalja össze.

7. táblázat: Magyarország búzamérlege (Pepó, 2008).

Megnevezés	Mennyiség (ezer tonna)
Megtermelt termés	3000-6000
Belső felhasználás	
Malomipar	1200-1300
Takarmány	700-900
Vetőmag	270-300
Ipari felhasználás	10-20
Veszteség	50-100
Belső felhasználás	
Összesen	2230-2620
Átlag	2425
Export (intervenció)	575-3575

A termesztést a búza számára legkedvezőbb körülményekkel bíró területekre kell koncentrálni. A legkedvezőbb mennyiségi, valamint minőségi eredményeket a termésbiztonság növekedése mellett csak így lehet elérni. A hatékonyság és versenyképesség érdekében hosszútávon érdemes a gyenge adottságú területeken fokozatosan csökkenteni a búza termesztését (Lukács, 2008).

2.8.3 Konvencionális gazdálkodás

A konvencionális gazdálkodási rendszerben megfigyelhető a törekvés a nemesítési irányokban az ellenállóbb fajták előállítására, melyek kevésbé vannak kitéve az éghajlati és környezeti hatásoknak, mégis a megoldást a nagy mennyiségű, szintetikus anyagfelhasználást megkövetelő intenzív termesztési körülményekre tenyésztett búzában látják. Az évjárat, időjárás (Birkás és Gyuricza, 2001) hatása meghatározó. A rendkívül magas hőmérséklet az egyik alapvető korlátozó tényező a búzanövény növekedésében és produktívitasában (Pethő, 1997). A magas hőmérséklet hatására nagymértékben romlik a liszt minőségi mutatója (Bencze et al., 2004), továbbá aszályos időszak hatására jelentős mértékben csökken a növényben megkötődő szén mennyisége is, mely a

teljes biomassa csökkenése mellett a termésátlagok csökkenésével jár (Balla et al., 2006). A szárazságtűrési kísérletek során nemesítési eljárásokkal minden fejlődési fázisban szárazságtűrő fajták előállítása a cél, csökkentve ezzel az időjárás kedvezőtlen hatásait (Cseuz et al., 2001, Cseuz, 2007). Az őszi búza termesztés során elért mennyiségét és minőségét számos tényező összhatása befolyásolja (Pepó et al. 1990; Berzsenyi és Györfly, 1997; Ragasits et al., 1999). Ennek a hatásnak a mértéke szoros összefüggésben van a termesztés intenzitásával, melyet a 8. táblázat foglal össze.

8. táblázat: A termesztési tényezők szerepe (Landonin, 1999 nyomán Pepó, 2008).

Extenzív technológia [%]		Intenzív technológia [%]
20	Évjárat	15
40	Talaj	10
5	Fajta	20
20	Talajművelés	10
10	Trágyázás	30
5	Növényvédelem	15
100	Összesen	100

Az extenzív körülmények között a termésmennyiségét a környezeti tényezők hatása befolyásolhatja negatív irányba. Termés szempontjából ez a hatás 60 [%]-ot is jelenthet. Intenzív körülmények között termelt búza estében sem lehet ezt a hatást kiküszöbölni, de mértékét jelentősen csökkenthetjük. "Mind a termésmennyiség és – biztonság, mind a termés minőség szempontjából az agrotechnikai elemek közül determinatív, kiemelkedő fontossággal a tápanyagellátás bír." (Pepó, 2008).

A műtrágya felhasználás a világon erőteljesen növekszik. Az NPK műtrágya felhasználása 2030-ra elérheti a 200 millió tonnát. Magyarországon 0,4-0,5 millió tonna NPK műtrágyát használnak fel. Az elismert fajták között arányaiban növekszik a trágyareakció alapján intenzív besorolásba tartozó fajták száma. A Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal által kiadott Nemzeti Fajtajegyzék 150 [db] őszi búzafajtát tart nyilván (Csapó, 2013). Az új fajták előállításakor, a szelekció során, a tápanyag-hasznosítás nélkülözhetetlen szempontjává vált a termőképesség, a minőség, a betegség-ellenállóság, továbbá az agronómiai és egyéb tulajdonságok mellett (Pepó, 2008). Az állami elismerés legfontosabb feltétele, hogy a fajta megfeleljen a nemzetközi fajtavédelmi szervezetek által leírt követelménynek (DUS):

- A korábban ismert búzafajtáktól morfológiai megkülönböztethetőség (**D**istinct).
- Morfológiai azonosság (**U**niform).
- Az egymást követő években a növény tulajdonságainak stabilitása (**S**table).
- (További feltétel a fajtajelölt gazdasági értéke és a bejegyezhető fajtanév)

Az őszi búza esetében a fentiek vizsgálata több termőhelyen, három éven át állami fajtakísérletekben történik. Az állami fajtakísérletek az ország jellemző régióiban helyezkednek el. A fajtajelöltek és fajták terméshozama, minősége, valamint fenológiai tulajdonságai (növénymagasság, levélméret, szín) bizonyos mértékben változhatnak a különböző termőhelyen a növényt érő biotikus (betegség, kártevő, gyom) és abiotikus (klíma, talaj) tényezők függvényében. A fajtára jellemző morfológiai jelleget megőrizve ezek a hatások növelik a fajtán belüli fenotipikus variabilitást. A spektrumalapú azonosítás lehetőségét ezek befolyásolhatják.

2.8.4 A nitrogén szerepe a búzánál

A búza hamuból kivont elemek száma meghaladja az ötvenet. Ezek makro- (N, P, K), mezo- (Ca, Mg, S), valamint mikroelemekből (Fe, Zn, Cu, Mn, B, Mo) tevődnek össze. Egyes elem élettani

szerepe még nem tisztázott, mégis ezek nélkül egészséges növény termesztése nem lehetséges (Loch és Nosticzius, 1983). A búzaszem ásványi alkotóit a 9. táblázat mutatja be.

9. táblázat: A búzaszem ásványi alkotóelemei (Győri, 1999).

[mg/100g] szárazanyagban							
Kálium	453	Szilícium	12	Bór	0,5	Ólom	0,04
Foszfor	380	Vas	5	Lítium	0,5	Molibdén	0,026
Kén	196	Cink	5	Alumínium	0,3	Kobalt	0,003
Magnézium	157	Mangán	4	Nikkel	0,14	Iridium	0,014
Klór	76	Réz	0,7	Ón	0,11	Arzén	0,01
Kalcium	51	Bárium	0,8	Titán	0,085		
Nátrium	24	Bróm	0,6	Fluor	0,07		

Egy tonna búzatermés, beleértve a szem és szalma mellékterméket egyaránt a 10. táblázat-ban feltüntetett mennyiségben veszi fel a tápanyagokat.

10. táblázat: Egy tonna szem és szalma melléktermék tápanyagfelvételének országos átlaga (Jolánkai, 2004).

[kg/1000kg]			
Nitrogén (N)	27	Mész (CaO)	6
Foszfor (P ₂ O ₅)	11	Magnézium (MgO)	2
Kálium (K ₂ O)	18		

„Alapelveként kell elfogadni, hogy egészséges és egyenletes növényállományt csak akkor kaphatunk, ha annak tápanyagigényét maradéktalanul kielégítjük.” (Jolánkai, 2004). Általánosan elmondható, hogy a búza minőségi és mennyiségi értékszámait genetikailag determináltak egy fajtánál, melyek kifejeződését elősegítik, vagy gátolják a környezeti tényezők és az alkalmazott termesztés technológia, de annak javítása nem lehetséges (Polhammerné, 1981; Szentpétery et al., 1995). A makroelemekkel történő tápanyag utánpótlás során felhasznált N, P és K közül a legjelentősebb és a leggyakoribb korlátozó tényező a nitrogén (Kismányoki, 1994; Németh et al., 2006), mely abiotikus stressz a növény számára (Szalay et al., 2009). Önmagában történő kijuttatása esetén is jelentős mennyiségi és minőségi (fehérje és sikértartalom) javulás realizálható. Nem megfelelő felhasználása azonban a felszíni és a felszín alatti vizek nitrátosodásához vezethet (Németh, 1996). A környezeti károk elkerülése, valamint a megfelelő minőség/mennyiség arány elérése érdekében, felhasználásának mértékét és megosztását körültekintően kell megállapítani (Nádasy és Nádasy, 2006). „A nitrogén a protoplazmának, a kromoszómáknak, géneknek és riboszómáknak, fehérjéknek, enzimeknek, vitaminoknak és klorofillnak egyik alapvető eleme.” (Árendás et al., 2001). A vegetatív növekedés mellett döntő hatással van generatív növényi részek kialakulásában. A kalászka differenciálódása a vegetatív fejlődési fázis alatt felvett nitrogén mennyiségtől függően alakul (Loch és Nosticzius, 1983). A megfelelő utánpótlásának legkritikusabb időszaka tél végére, illetve kora tavaszra tehető. Ilyenkor már megkezdődött az asszimiláció, de az alacsony hőmérséklet, valamint az anaerob körülmények miatt a talaj természetes nitrogénellátó képessége nem megfelelő. A kijuttatott nitrogén mennyisége mellett a növény ellátottsága a mineralizáció függvénye, így szükségletének megállapításakor figyelembe kell venni a talaj természetes nitrogénellátó képességét (Jagodín, 1984). Hiánya látványos fejlődési visszamaradást eredményez, melynek következtében a búza törpe növekedésű és gyengén bokrosodó lesz. Kezdetben az idősebb, majd a fiatalabb leveleken is világoszöld elszíneződést okoz. A gyökér megnyúlt, csekély mértékben lesz elágazó. Optimális mennyiségben fokozza a vegetatív növekedést, serkenti a bokrosodást. Túladagolása esetén a szövetek lazábbá válnak, mely nagymértékben csökkenti a növény kórokozókval szembeni ellenállóságát, valamint fokozza a

megdőlés veszélyét. A légkör CO₂ koncentrációja az ipari forradalom óta folyamatosan növekszik, ennek egyik következménye, hogy a növények szén lekötésének mértéke megnőtt (Webber et al., 1994). Megfelelő N ellátottság mellett ez növekedett biomasszát eredményez, ha nincsen rendelkezésre álló elegendő N a növény számára, visszafogja a növekedésben csökkentve ezzel az emelkedett CO₂ mennyiség hatását (Rogers et al., 1993). Ez a gyökér fokozott fejlődéséhez, megvastagodásához vezet, mivel a növény így próbálja a megnőtt tápanyag igényt pótolni. Ennek ellenére a növényi szövetekben elsősorban a nitrogén és további tápelemek, valamint a klorofill mennyiségének csökkenése figyelhető meg (Rogers et al., 1993).

A nitrogén-háztartás fontossága miatt a távérzékelés kiemelten foglalkozik ezzel a területtel.

2.8.5 A legfontosabb minősítő paraméterek értelmezése

Hazánkban a búza kereskedelemben történő értékesítése és felhasználása során a fizikai értékek mellett a minőségi, beltartalmi jellemzőket is figyelembe veszik (Szentpétery et al. 1995). Ezen tulajdonságok alapján határozzák meg a gabona értékét. Fentiekben említett tulajdonságokat jellemző értékeket két csoportra lehet bontani, ahol az egyik a halmazra vonatkozóak, úgymint a tisztaság, nedvességtartalom és hektolitertömeg. A sikértartalom, vízfelvevő képesség és a dagasztási próba eredményei pedig a liszt minőségére vonatkozó paraméterek csoportja (Györi, 1999). Magyarország búzaminősítő rendszere elsősorban siker orientált (Bedő et al., 1998). Az Európai Unió együttműködés szempontjából más minőségi vizsgálatok elvégzése is egyre fontosabbá vált. A 11. táblázat a részletes búzaminősítésnél elvégzett vizsgálatokat foglalja össze.

11. táblázat: Részletes búzaminősítési vizsgálatok (Füleky, 1999).

Vizsgálatok	
hektolitertömeg	alveográfus értékek
ezerszemrömeg	fehérjék HPLC- s frakcionálása
nedvességtartalom	esésszám mérése
acélosság	szedimentációs érték
hamutartalom (hamualkotók)	glutén index
nyersfehérje (aminosav összetétel)	mikotoxinok
nedves siker mennyisége és annak területe	növényvédőszer- maradványok
farinográfus érték és minőségi osztály	radioaktivitás
próbacipó	

A hektolitertömeg (Hlt) 100 liter búzaszem kilogrammban megadott tömege. Minél magasabb az értéke, annál kedvezőbb arányú a korpamentes lisztkihozatal. Az ezerszemrömeg főként a vetőmagra jellemző minőségi értékszám, ezer búzaszem tömege grammban kifejezve. A nedvességtartalom elsősorban a tárolás szempontjából fontos tényező. A 14,5 [%] -nál magasabb nedvességű gabonát tárolás előtt szárítani kell. Az acélosság százalékos érték, melyet a szemek törésfelülete alapján állapítanak meg. Tapasztalati tény, hogy az acélosabb búza magasabb sikértartalommal és jobb lisztkihozattal bír. A hamutartalom a liszt színe és elemtartalma alapján megállapított értékmérő tulajdonsága. A nyersfehérje-tartalom az összes nitrogéntartalomtól számított érték. Értékéből következtetni lehet az aminosav-összetételre és becsülhető a sikértartalom is. A liszt sikértartalma felelős a kenyérbél megfelelő kialakulásáért. A lisztből a keményítő kimosása után fennmaradó nedves siker százalékból megadott értéke, melynek területét [mm]-ben határozzák meg. A Hankóczy- féle farinográfus minősítés során a liszt vízfelvevő képességéről, a tészta kialakulásának idejéről, a stabilitásáról és rugalmasságáról, továbbá ellágyulásáról kapható komplex információ. Elsősorban Franciaországban elterjedt eljárás az alveográfus vizsgálat, ahol a pihentetett tésztából szakadásig gömböt fújva, ellenállóságot, nyújthatóságot és energiaszükségletet mérnek. A búza minőségének vizsgálatára alkalmas módszer a szedimentációs próba (Zeleny-szám), melynek során lisztoldat szuszpenzió rázatását követően öt

perc ülepítés elteltével mérik az üledék térfogatát, következtetve ebből elsősorban a siker minőségére. Értéke minél nagyobb, annál kedvezőbb. A liszt gáztermelő képessége az amilográffal, valamint esésszám-meghatározóval mérhető. Az esésszámot, vagy Hagberg-féle számot másodpercben adják meg. A kenyérfeldolgozási tulajdonságok megállapítására próbacipó sütést végeznek, melyet szabványban rögzített körülmények közt készítenek. Polhammerné (1988) által megalkotott komplex minőségi értékszám (KMÉ) segítségével együttesen tíz minőségi paraméter alapján lehetséges az értékelés (Győri, 1999). A legtöbb minőségi paraméter vizsgálatára ma már rutinszerűen alkalmazzák a reflektancia spektroszkópiát nedvesség-, fehérjetartalom, vagy más makrojellemzők meghatározására. Ezen felül egyes funkcionális tulajdonságok, vagy gyártásközi paraméterek (technikai szemkeménység, liszttermelés, vízfelvevőképesség) elemzése is elvégezhető (Szabó, 2009).

Mivel a fenti tulajdonságokkal ellentétben egy fajta közvetlenül nem számszerűsíthető optikai jellemzőkkel, különösen fontosak a fajta-elkülönítésre irányuló vizsgálatok.

2.9 Szakirodalmi eredmények értékelése, összefoglalása

A laboratóriumban végzett spektroszkópiai mérések, terepi spektrométeres mérések és légi, valamint műholdas hiperspektrális felvételek hasznosítása széleskörű. A kettős alkalmazhatóságú hordozható spektrométerek kapcsolódási pontot jelentenek a laboratóriumi és terepi mérések, valamint a légi távérzékelés és a képkalkoló hiperspektrális technológia között. A laboratóriumi alkalmazására elterjedt általános mérési eljárás azonban több ponton hiányos. Nincs definiálva pontos letapogatási szám, mérési magasság, megvilágítási távolság, mintatartó mélység és a referenciamérések, illetve mérések között eltelt idő. A reflektancia faktor bevezetése ugyan mérsékelte a különböző megvilágítási és érzékelési irányoktól való függést, tapasztalataim alapján, ez a hatás mégis jelentős, különösen mezőgazdasági termények vizsgálata esetében. Az általános mérési eljárás bizonytalansága esetenként igen magas lehet.

A távérzékelési technológia mezőgazdasági termesztésbe történő illesztése egyes alkalmazások esetében már évtizedes múltra tekint vissza, más esetekben gyorsan terjednek a gyakorlatban. Fontosak a kísérleti kutatások, melyek új alkalmazási lehetőséget tárnak fel.

A különböző növényfajok elkülönítése megoldott kérdés, azonban a faj alatti elkülöníthetőség lehetősége vitatott, annak ellenére, hogy ezt több tudományos publikáció támasztja alá. Egyes növényfajták spektrális tulajdonságai alapján történő elkülönítésének lehetőségét igazolja Yong et al. (2007) munkája, melyben reflektancia görbék alapján, főkomponens analízisen alapuló osztályozással, 100 [%]-os pontossággal különítették el teafajtákat. Eredményes kísérletek folytak kávé- (Esteban-Diez et al., 2004), alma- (He et al., 2005), dinnye- (Seregély et al. 2004) és szójafajták (Turza et al. 1998) spektrumalapú elkülönítésére. A cukornád elkülöníthetőségét műholdas távérzékeléssel eljárásal igazolták. A Hyperion műhold hiperspektrális felvételét elemezve öt brazil cukornádfajtát sikerült elkülöníteni leveleik jellemzően eltérő lignin-, klorofill- és nedvességtartalmából adódó reflexiós tulajdonságuk alapján (Galvao et al., 2005).

Szakirodalmi adatok szerint az őszi búza állomány spektrális tulajdonságok alapján végzett fajtaszintű azonosítása nem megoldott. Annak ellenére, hogy a különböző búzanövény állományok eltérő spektrális tulajdonságaira már régóta felfigyeltek (Hatfield, 1981, Jackson és Pinter, 1986) a mai napig sem dolgoztak ki erre alkalmas eljárást. A fajtaelismerés alapját képező más elismert fajtáktól eltérő morfológiai tulajdonság a spektrális elkülöníthetőséget segíti elő.

Az ismertetett tanulmányokban (2.7) olyan paraméterek spektrális változását vizsgálták, melyek a növényállomány tápanyag ellátottságának indikátorai lehetnek. A szemtermés esetében minőségi értékszámok és életképesség alapján végeztek osztályozást. Azonban, pusztán gazdasági szempontokból fontos paraméterekre alapozott osztályozás nem célravezető. Fajtaspecifikus jellemzőt nem egy, vagy két kiválasztott változó alapján, hanem az összes változó figyelembevételével kell keresni. Az osztályozás alapja gazdaságilag nem releváns ismert és

ismeretlen változók is lehetnek. A 2.8 fejezetben ismertetett összefüggések alapján, a növényi állomány és a szemtermés változóit, a nitrogénutánpótlás és az évjárat hatásai befolyásolják a legnagyobb mértékben. A fajták elkülönítése ezen hatások által módosított spektrális változók statisztikai elemzésével lehetséges. A változók fajtára jellemző tartományon belül módosulhatnak. Egyes fajtajellemzők pedig függetlenek lehetnek a külső tényezőktől.

A vetőmag alapján történő fajtaazonosítás lehetőségét magas osztályozási pontosságok elérésével támasztották alá, azonban, ha a modellalkotás évjáratán, vagy évjáratán kívül eső, más évjáratból származó mintákon tesztelték az eljárást az osztályozás pontossága leromlott (Delwiche és Norris, 1993). Érdekes irányt jelent a búzaszemek geometriai sajátosságainak vizsgálata, mely nagyfelbontású hiperspektrális képalkotás alkalmazása esetén kiegészítheti a spektrális információ alapú fajtaazonosítás lehetőségét.

A szakirodalom tanulmányozása alapján megállapítható, hogy indokolt:

- A nyílt rendszerű mérési eljárás által nem definiált tényezők hatásának vizsgálata.
- Új laboratóriumi vizsgálati eljárás kidolgozása.
- Őszi búza termesztési kísérlet beállítása (fajta, tápanyag, évjárat kereszthatással).
- Többéves terepi spektrumkönyvtár létrehozása.
- Többéves laboratóriumi spektrumkönyvtár létrehozása.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A 1.2 fejezetben meghatározott célok elérése érdekében növénytermesztési kísérlet beállítására, alapozó kutatásra, előzetes kísérletek elvégzésére, új vizsgálati eljárás és megfelelő adatfeldolgozási eljárás kidolgozására, valamint modellalkotásra volt szükség.

A kutatási tevékenységet az alábbi alfejezetekre bontottam:

- A laboratóriumi mérések során előforduló mérési bizonytalanságok tanulmányozása.
- Mintaforgató rendszer kifejlesztése.
- Mintaforgató rendszerrel javított mérési eljárás kidolgozása.
- Őszi búzatermesztési kísérletek.
- Terepi spektrométeres mérések.
- Laboratóriumi spektrométeres mérések.

3.1 Laboratóriumi mérések során előforduló mérési bizonytalanságok

A mérések során alkalmazott műszer

Méréseim során egy ASD FieldSpec 3 Max hordozható spektrométert használtam (20. ábra). Terepi és laboratóriumi mérésekre egyaránt alkalmas. A műszer érzékelési tartománya 350-2500 [nm]-ig terjed. Működését tekintve nyílt mérési rendszerű. A legfontosabb műszaki paramétereket táblázatban foglalom össze (12. Táblázat).



20. ábra: ASD FieldSpec 3 Max.

12. Táblázat: Az ASD FieldSpec3 Max hordozható spektroradiométer legfontosabb műszaki paraméterei (ASD Inc., 2013 után módosítva).

	ASD FieldSpec 3 Max
Spektrális tartomány [nm]	350-2500
Spektrális felbontás [nm]	3-10
Spektrális sávok száma	2151
Hullámhossz pontosság [nm]	±1
Terepi felbontás (képpont)	1
Spektrális mélység [bit]	16
Max. mintavételi frekvencia [ms]	100
FOV (látószög) [°]	1, 8, 25
Képpont mérete/Mintaterület mérete [cm ²]	$\pi * (\tan(\text{FOV}/2) * \text{mérés magassága} * 2)^2$
Érzékelők típusa	Si, InGaAs 1, InGaAs 2

Az általános mérési eljárás

A laboratóriumi méréseket a NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézetben tervezett fényizolált laborszekrényben végeztem, mely egyedülálló mérési környezetet biztosít a külső fényhatások kizárásával, illetve a mérési térben fellépő nem-kívánt reflexiók minimalizálásával (21. ábra). A mintatartó tárgyasztal és a szekrény belső felületének anyaga, illetve felületi kezelése úgy került megválasztásra, hogy a lehető legkisebb fényvisszaverő tulajdonsága legyen a műszer által érzékelt teljes tartományban.



21. ábra: Fényizolált laborszekrény (Deákvari et al., 2010).

Azért, hogy a mérési elrendezés és a mérések során beállított pozíciók ismételhetőek legyenek, háromlábú fényképállványokat használtam (22. ábra). A mérések során többek között a megvilágítás távolsága, a szenzortávolság, a megvilágítás szöge dokumentálva volt. Ez biztosítja, hogy a kísérlet a későbbiekben azonos feltételek mellett reprodukálható legyen.

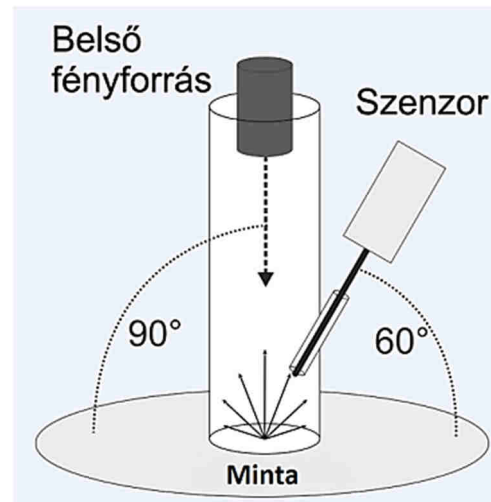


22. ábra: Háromlábú fényképállványok (ProLamp megvilágítás, fehér referencia mérés közben).

A laboratóriumi környezetben vizsgált objektumok megvilágítására mesterséges fényforrást alkalmaztam. A vizsgált anyagok, illetve a vizsgálati cél függvényében a mérési elrendezéseknek két formáját alkalmaztam. Nagyobb felületek egyidejű, érintésmentes vizsgálatokor a gyártó által szállított ASD ProLamp típusú laborlámpát (23. ábra) használtam a megvilágított objektumtól 700 [mm] távolságra, míg a kis mintafelületek vizsgálatánál Plant Probe szenzorfejet alkalmaztam (24. ábra), amely belső megvilágítással rendelkezik és kontakt módon mér.



23. ábra: ASD ProLamp fényforrás.



24. ábra: ASD Plant Probe szenzorfej és belső elrendezése (Csorba et al., 2012 után módosítva).

A mérések során fehér referenciamérésekhez 13 [cm] * 13 [cm] méretű SRT-90-050-AA-00821-000 jelzésű, valamint 20 [cm] * 20 [cm] méretű SG3151 jelzésű kalibrált etalonfelületeket használtam (25. ábra). A 13 [cm] * 13 [cm] méretű referencia panelt kontakt mérések során használtam.



25. ábra: 20 [cm] * 20 [cm] és 13 [cm] * 13 [cm]-es etanol felületek.

Előzetes kísérleteim alapján a mérési bizonytalanság minimalizálása érdekében a következő tényezők jelentőségének vizsgálatát tűztem ki célul:

- fehér referenciamérés és a minta spektrumának rögzítése között eltelt idő
- megváltozó szenzor távolság (mérési magasság)
- megvilágítás iránya
- minta rétegvastagsága
- kontakt eljárás bizonytalansága

Az optimalizálást megelőzően a spektroradiométert minden esetben 30 percen keresztül, a ProLamp fényforrást, illetve a kontakt probe belső fényforrását 15 percen át üzemeltettem, hogy elérjék az állandó üzemi hőmérsékletet. A megvilágítás távolsága 700 [mm], a szenzortávolság 150 [mm], a látószög 25 [°]-os volt. Sötét áram – DC, fehér referencia – WR és minta esetében is 115

letapogatást – scan-t állítottam be. Az adatok feldolgozását és a spektrumok ábrázolását ViewSpecPro szoftverrel végeztem.

A mérések során előforduló mérési bizonytalanságot okozó tényezőket az általánosan elterjedt mérési eljárást követve vizsgáltam. A „bizonytalanságot” a mérés eredményeinek bizonytalanságát szórásaként kifejező standard bizonytalanság számításával és összehasonlításával vizsgáltam (OMH, 1995 után módosítva):

$$s_{(x_k)_\lambda} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}, \quad (3.1)$$

ahol:

- s: a mérési eredmények szórása
- x: a mért reflektancia érték
- λ : a hullámhossz (350-2500 [nm])
- k: az ismétlés sorszáma
- n: az ismétlésszám
- \bar{x} : a mért reflektancia érték átlaga

A szórást a hullámhossz függvényében ábrázoltam.

3.1.1 A fehér referenciamérés és a minta spektrumának rögzítése között eltelt idő

Kísérletben vizsgáltam a referencia mérés spektrumának időbeli változását, ismételhetőségét. A kísérlet során a fehér referencia pannellel végzett referenciamérést követően rögzítettem a panel spektrumát a referenciamérés után 1 perc, 2 perc, 3 perc, 4 perc és 5 perc múlva. Az összehasonlítás céljából elvégeztem a méréssorozatot úgy is, hogy minden mérés előtt megismételtem a referenciamérést. Ebben az esetben is öt mérést végeztem. (Az időnek itt nem volt jelentősége).

3.1.2 Megváltozó szenzortávolság jelentőségének vizsgálata

Abban az esetben, ha a mérés során a mintatartó edény magassága nem egyezik meg az adott fehér referencia panel magasságával, akkor a vizsgált felület és a szenzor közti távolság megváltozik. Ezt a különbséget azonban jellemzően elhanyagolják. Különböző magasságkülönbségű beállítást alkalmazva vizsgáltam a referenciamérés és a minta mérése közötti magasságkülönbség szerepét. A fehér referencia felvételét követően búzaminta (búzaszemek) spektrumát rögzítettem. A mérést először úgy állítottam be, hogy a mintatartó, illetve a minta felszíne egy magasságban legyen a fehér referencia panel magasságával (A és B esetben a két felszín magassága egyezik). Ezt követően +1 [cm], +2 [cm], +3 [cm], +4 [cm], +5 [cm] magasságkülönbséget állítottam be a minta esetében a referenciamérés magasságához képest – mivel a mintatartók magasabbak, mint a referencia panelek (20. ábra).



26. ábra: A minta felszínének magassága a fehér referencia panel felszínéhez képest.

A mérési távolságot befolyásolja az egyenetlen mintafelszín változása, a minta-előkészítés során egyenletes mintafelszín kialakítása szükséges. A kúposan felhalmozott minta felszínét 2 [mm]-es acéllemez segítségével hoztam az edény peremével egy síkba (27. ábra).

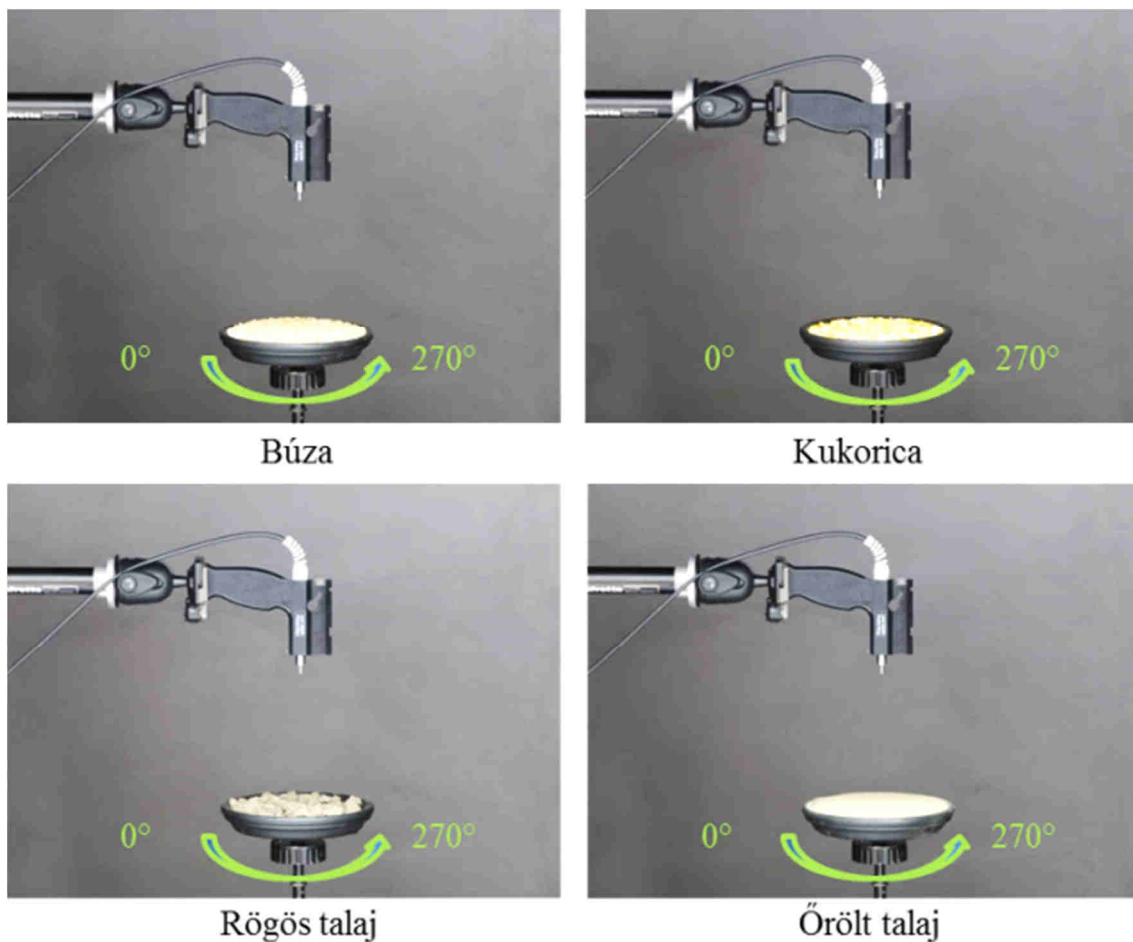


27. ábra: A minták egyenletes felszínének kialakítása.

Az eljárás biztosítja, hogy a minta felszínének magassága megegyezzen az edény magasságával. A dolgozatban bemutatott méréseknél a mintákat így készítettem elő. A változó magasság szerepét a reflektancia görbék tanulmányozásával vizsgáltam.

3.1.3 Megvilágítási irány jelentőségének vizsgálata „ProLamp eljárás”

A gyártó által kínált ProLamp halogén fényforrást alkalmazva vizsgáltam a mérési eredmények megvilágítási iránytól való függését. Búza-, kukorica-, őrölt talaj- és rögös talajminták spektrumát mértem meg (28. ábra).

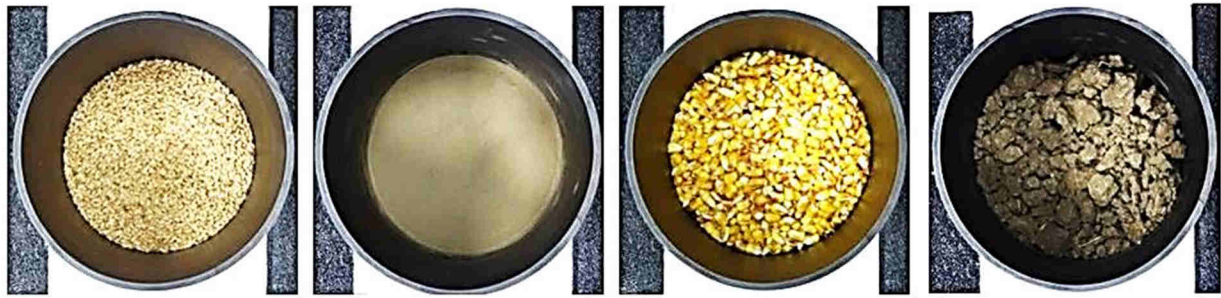


28. ábra: A minták forgatása: Mérésenként 90, 180 és 270 [°]-al elfordítva.

Az első mérést követően a mintát elforgattam 90, 180, 270 [°]-al. A mérést megismételtem minden egyes új pozícióban. Bolygatatlan mintákkal dolgoztam, a minták felülete nem változott. A megvilágítási iránytól való függést az adott mintán végzett forgatások után megismételt mérések eredményeinek standard szórásának számításával tanulmányoztam.

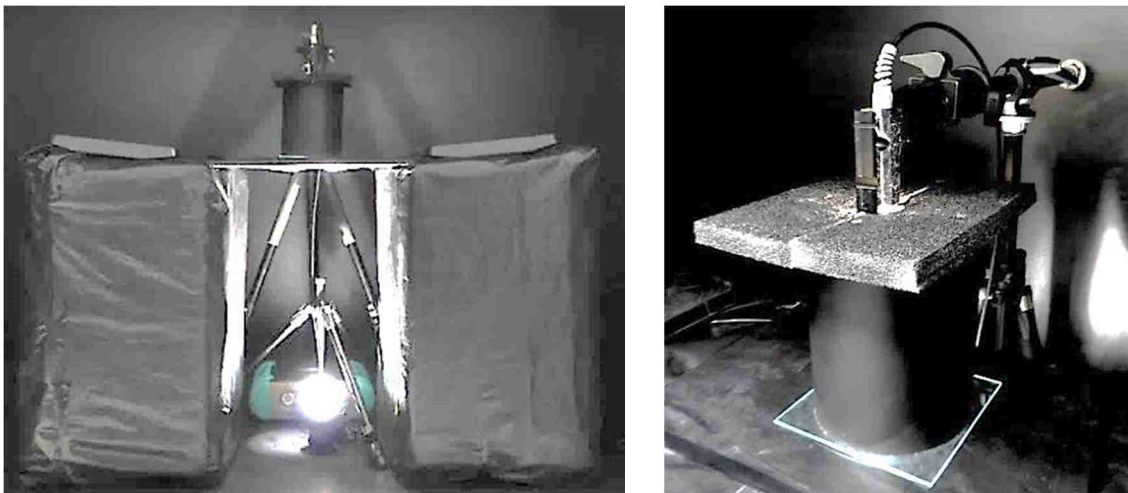
3.1.4 Minta rétegvastagság jelentőségének vizsgálata

A rétegvastagság szerepének tanulmányozásához kísérleti úton vizsgáltam különböző minták fényáteresztését. A mérések során búza, kukorica, őrölt talaj és rögös talaj (29. ábra) fényáteresztő tulajdonságát vizsgáltam, adott kísérleti körülmények között.



29. ábra: Őszi búza-, kukorica-, őrölt talaj-, rögös talajminták.

A fényáteresztő képesség vizsgálatához egy üveglapra helyezett 150 [mm] átmérőjű és 200 [mm] magasságú fekete PVC csőből alakítottam ki mintatartót. A mintatartót ASD ProLamp típusú fényforrással alulról, 90°-os beesési szög mellett világítottam meg, 700 [mm]-es távolságból. Az áteresztett fényt felülről, ASD FieldSpec 3 Max spektrométer segítségével mértem 350-2500 [nm]-es hullámhossztartományban. A mérési magasság 150 [mm], a látószög 25 [°]-os volt. Az érzékelőt felülről letakartam, hogy az alsó megvilágításból eredő szórt fény ne befolyásolhassa a mérést (30. ábra).



30. ábra: Mérési elrendezés ProLamp típusú megvilágítással (Üveglapra helyezett és felülről letakart fekete PVC cső).

A mérések során referencia értéként az üveglapon és az üres (minta nélküli) csőn áthaladó fényt vettem. A referencia mérésekor 50 DC (dark current, sötét áram), 50 WR (white reference, fehér referencia) letapogatási számot (scan number) állítottam be. Minden mintasorozat előtt megismételtem a referenciamérést. A minták mérésekor 25 letapogatást állítottam be. Az ismétlések száma 5 volt. A referencia felvételét követően 1 [cm] rétegvastagságú, egyenletesen elrendezet

mintát helyeztem a hengerbe, majd rögzítettem a minta által áteresztett fény spektrumát. A mérés után növeltem a minta rétegvastagságát, centiméteres lépcsőkben. A mérési sorozatot addig folytattam, amíg a mérőműszer már nem érzékelte az áteresztett fényt. A spektroradiométeres mérés mellett fényképeket készítettem a különböző rétegvastagságokon áthaladó fényről (látható tartományban).

3.1.5 Kontakt eljárás bizonytalanságának vizsgálata

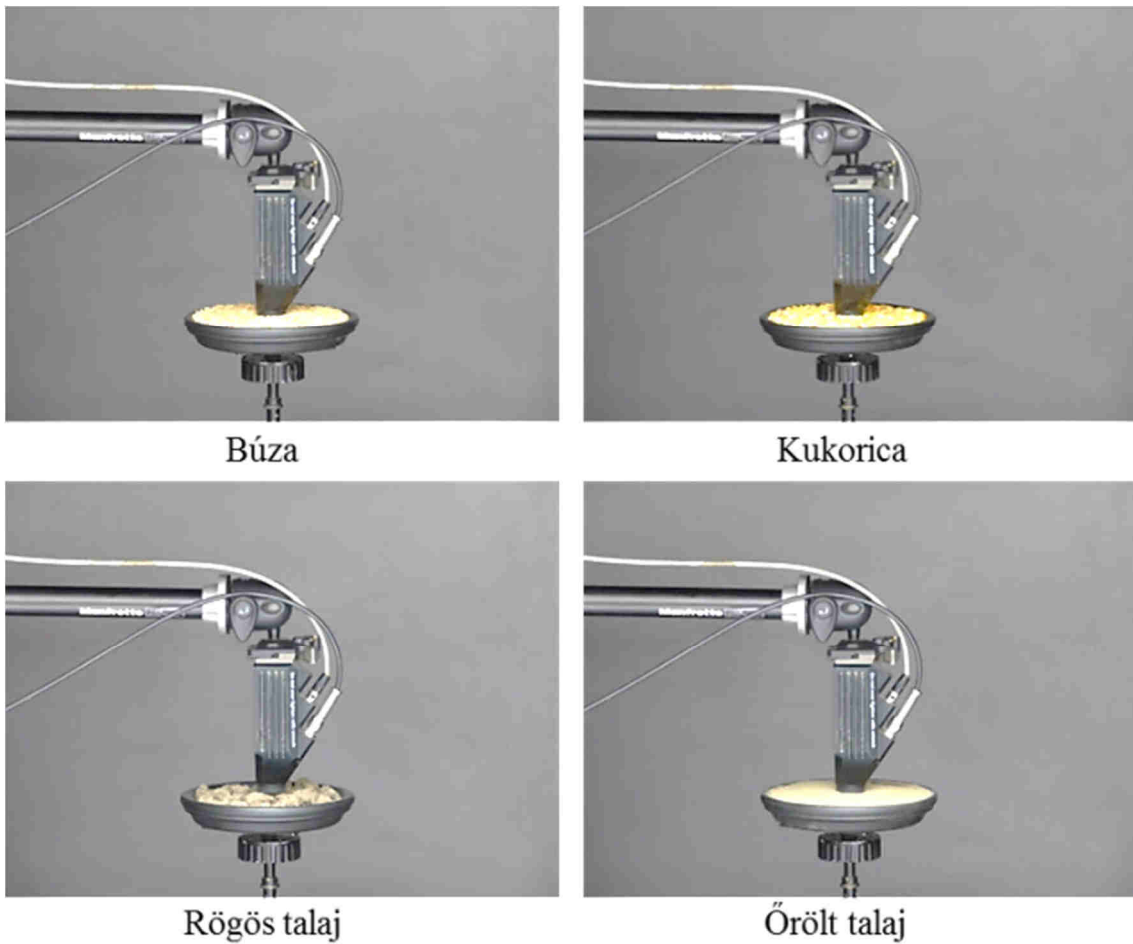
Kontakt eljárás során az elektromágneses sugárzáson kívül valós fizikai kapcsolat jön létre a minta és a szenzorfej között. Ezen fizikai kapcsolat hatásának vizsgálata céljából különböző mintákon végeztem méréseket.

Azért, hogy kizárjam a kézi eljárás bizonytalanságát a Plant Probe szenzorfejet állványra rögzítettem. A kontakt eljárás során a 130 [mm] * 130 [mm] méretű referencia panelt alkalmaztam (31. ábra).



31. ábra: Kontakt referenciamérés Plant Probe szenzorfejjel 130 [mm] *130 [mm]-es referenciapanelen.

Kontakt szenzorfejjel végzett mérések bizonytalanságát búza-, kukorica-, rögös talaj, és őrölt talajmintákon vizsgáltam (32. ábra). A mérési bizonytalanságot a mérési eredmények standard szórásának számításával és összehasonlításával végeztem.



32. ábra: Búza-, kukorica-, rögös talaj- és őrölt talajminta kontakt mérése.

A méréseket a minta ugyanazon pontján végeztem, a szenzorfejet minden alkalommal emeltem a felszínről, majd ismét visszahelyeztem. A mintát közben nem forgattam el. A Plant Probe szenzorfejet minden mérést követően ecsettel tisztítottam meg (33. ábra).



33. ábra: Szennyezett szenzorfej.

3.2 Mintaforgató rendszer

Az előzetes kísérletek új vizsgálati eljárás kidolgozásának szükségességére mutattak rá. Az új vizsgálati eljárás kidolgozásának feltétele egy eszközfajlesztés melynek lépéseit a következőkben ismertetem. Az elő-kísérletek során vizsgált bizonytalansági tényezők (változó szenzortávolság, megvilágítási irány, rétegvastagság) kizárása, illetve minimalizálása érdekében új mintaforgató rendszer tervezésére és gyártására van szükség. Különböző anyagú és méretű mintákhoz, esetleg különböző szenzorokhoz, megvilágítási rendszerekhez illeszthető, széles alkalmazhatósági kört biztosító, moduláris rendszer gyártását tűztem ki célul. A mintaforgató rendszerrel szemben támasztott követelmények a következők:

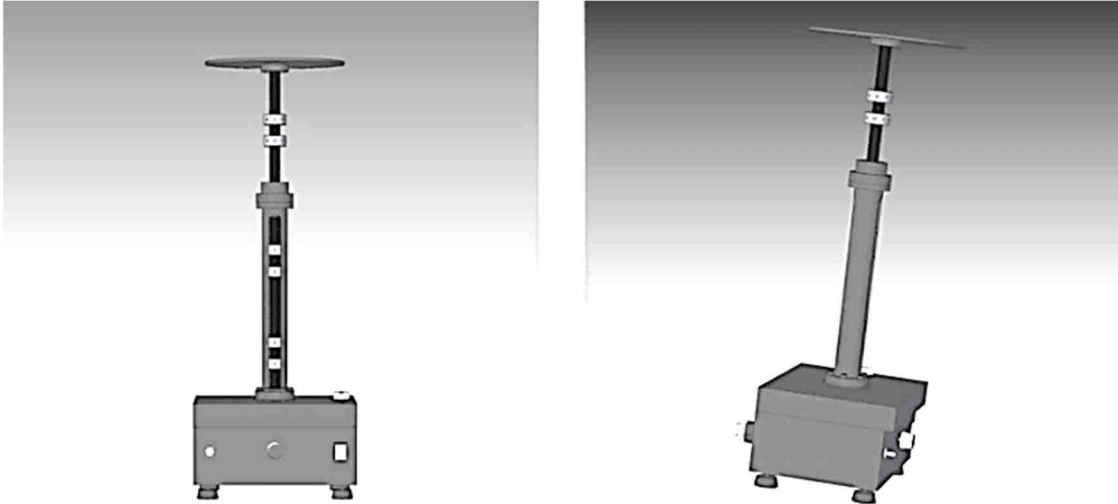
- Nagy teherbírás, nagyobb tömegű minták mérésére alkalmasság.
- Állványos szerkezet. A minta és a háttér közötti távolság, a „végtelen féltér” biztosítása.
- Széles tartományban, nagy pontossággal állítható magasság. Különböző magasságú minták, mintatartók, referenciapanelek mérési magasságának beállítása.
- Két előre beállítható, rögzíthető magasság. Mintatartók, referenciapanelek mérési magasságának összehangolása.
- Cserélhető tárgyasztal (választható átmérő). A minta, mintatartó méretének függvényében választható tárgyasztalok.
- Cserélhető mintatartó (választható átmérőjű és magasságú, valamint központosítható). A minta anyagának és mennyiségének függvényében választható mintatartók.
- Vízszintezhetőség. A mérési sík precíz beállítását szolgáló állítható talpak.
- Forgathatóság. Állandó sebességű, folyamatos mintaforgatás. A műszer mérési ciklusidejétől függően széles tartományban állítható forgatási sebesség.
- Távvezérlési lehetőség. Távszabályozóval indítható/leállítható forgatás.
- Minimális fényvisszaverő tulajdonság. Alacsony reflexiós tulajdonság a 350-2500 [nm]-es hullámhossztartományban.

A rendszer legfontosabb része az állványos szerkezet. A fent megfogalmazott követelmények teljesítéséhez egy trapézmenetes mozgóorsós emelő elvén működő megoldást dolgoztam ki. Az orsó tetejére különböző átmérőjű tárgyasztalok központos illesztésére alkalmas tárcsa kerül rögzítésre. A magasságállítás, rögzítés, valamint az orsó megvezetésének szerepét 6 db műanyag anya biztosítja (34. ábra).



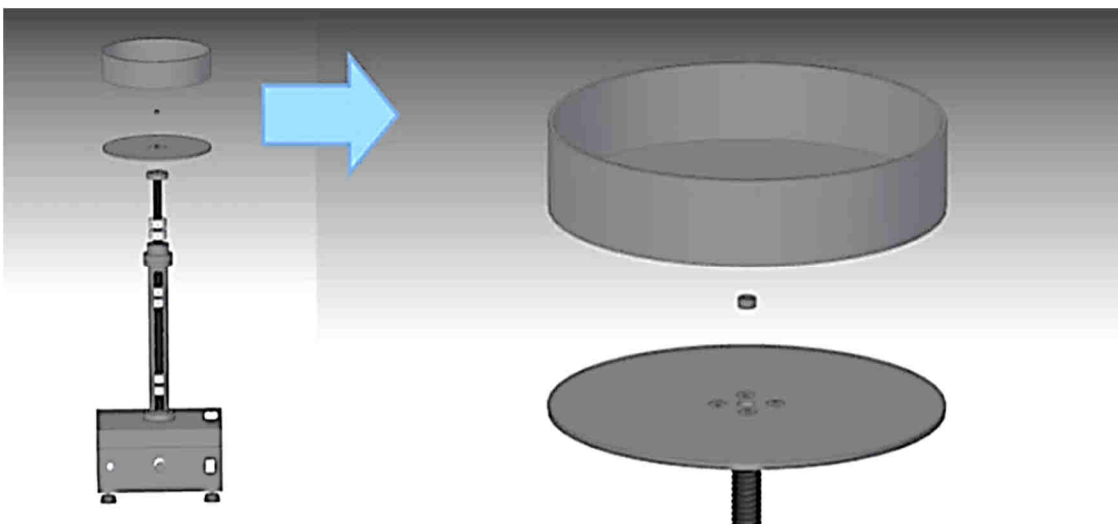
34. ábra: Trapézmenetes haladó orsós megoldás terve.

A távtartó hüvely alja két ponton csapágyazott csőtengelyre rögzített. A motor fordulatszáma potencióméterrel fokozatmentesen állítható 0-20 [1/perc] tartományban. A forgatás vezérlését, be- és kikapcsolását rádiófrekvenciás távvezérléssel oldottam meg. A mindenkori vízszintes síkú mintaforgatás állítható magasságú, rezgéscsillapító lábak és felület vízmérték (gömblibella) segítségével biztosíthatóak (35. ábra).



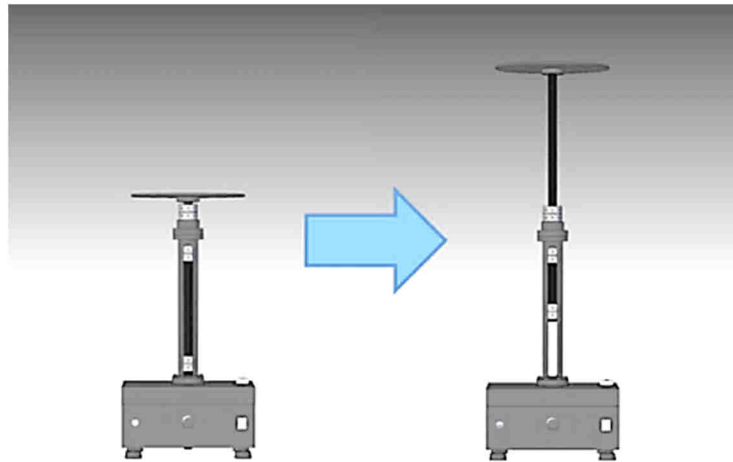
35. ábra: A mintaforgató rendszer terve.

A mintaforgató rendszerhez különböző átmérőjű tárgyasztalokat és mintatartó edényeket terveztem. Az átmérők meghatározásakor a gyakorlatban elterjedt, illetve laborunkban használt referenciapanelek méretét vettem alapul (130, 160, 200, 280 [mm]). Kifejezetten kontakt szenzorfejjel végzett mérésekhez 50 [mm]-es átmérőjű változatokat terveztem. Az elő-kísérletek során vizsgált minták, illetve rétegvastagságok alapján két különböző mintatartó mélységet választottam (2.5 és 5 [cm]). A tárgyasztalok és a mintatartó edények központos illesztését tájoló furatok és kivehető tájoló csap alkalmazásával terveztem megoldani (36. ábra).



36. ábra: A tárgyasztal és a mintatartó központos illesztése tájoló csap segítségével.

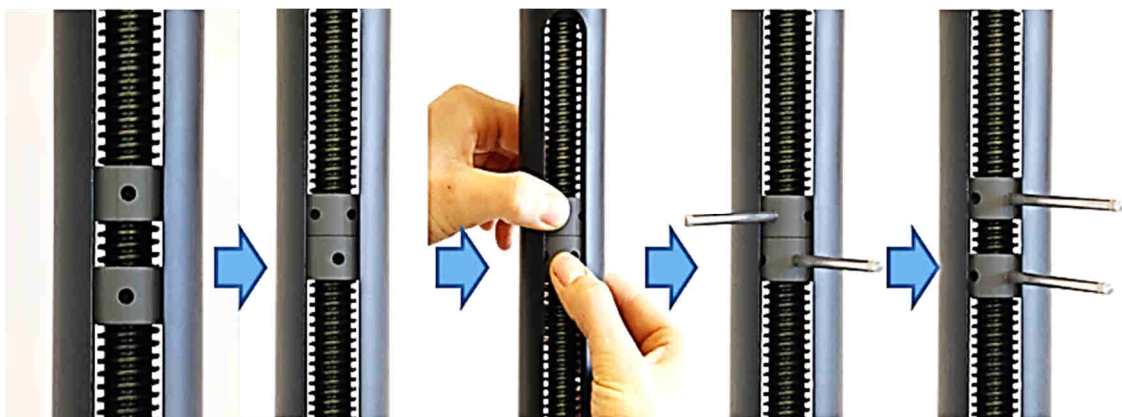
Az orsóval, valamint a műanyag anyákkal két mérési magasság között állítható be a kívánt mérési magasság 60 és 95 [cm] között. Az alsó végállás esetében a trapézmenetes orsó egy része a csapágyazott csőtengelyben helyezkedik el (37. ábra).



37. ábra: A mintaforgató rendszer 60 és 95 [cm]-es végállásai.

A mintaforgató rendszer kinetikai modellezését, véglegesítését „SolidEdge” program alkalmazásával valósítottam meg. A tervek alapján a rendszer részegységeit megvásároltam, legyártattam, illetve magam készítettem el. A reflexiók tulajdonságok javítása (csökkentése) érdekében a trapézmenetes orsó, barnító felületi kezelést kapott. A műanyag anyák anyagukban sötétszürkék.

Az alapanyagok megvásárlását, legyártását követően a fenti tervek alapján elvégeztem az alkatrészek festését és a mintaforgató rendszer összeszerelését. A két előre meghatározott mérési magasság a távtartó hüvely mérettartományán belül a műanyag anyák segítségével állítható. Az átmeneti illesztésnek köszönhetően az anyák önmagukban nem fordulnak el, ha az orsót elforgatják. Azonban, a két anyá összefeszítése esetén, az az orsóval együtt forogva elmozdul a távtartó hüvelyben. A távtartó hüvely alsó és felső végpontján felülközve a 2*2 összefeszített anyá meghatároz egy felső és egy alsó végpontot, amely az orsó megfelelő irányba történő forgatásával gyorsan és könnyedén változtatható. Közeledve a mintatartó maximális magasságához az alsó végpontot biztosító 2 db alsó műanyag anyá szerepét átveszi a távtartó hüvelyen kívül (felül) elhelyezhető anyapár. A fehér referenciamérés és a minta mérésekor az azonos szenzortávolság (mérési magasság) tartása így biztosított. Ez azt jelenti, hogy egy 2,5 [cm] mélységű és 7 [mm]-es aljvastagságú mintatartó esetében 32 [mm]-es magasságkülönbséget kell beállítani a két végállás között: 1. Mérési magasság fehér referenciamérés közben, 2. Mérési magasság a minta mérése közben. Az összefeszített anyák biztosítják, hogy egy mérési sorozaton belül az összes mérés egyazon magasságban történjen. A műanyag anyák állítása kézzel, összefeszítése/oldása a megfelelő osztású furatokba helyezhető acélpálcákkal lehetséges (38. ábra).



38. ábra: Műanyag anyák állítása kézzel, összefeszítése és oldása acélpálcákkal.

A tervezett tárgyasztalok és mintatartók alapján négy különböző átmérőjű tárgyasztal készült. Az egyes tárgyasztalokhoz két mélységben készítettem mintatartókat. A mintatartók központos illesztéséről tájolócsap gondoskodik (39. ábra). Kifejezetten a kis mennyiségű minták kontakt mérésekhez 5 [cm] átmérőjű mintatartók készültek. (40. ábra).



39. ábra: Tárgyasztalok, mintatartók különböző méretben.



40. ábra: Kis mennyiségű minták kontakt mérésekhez készített tárgyasztal és mintatartók (átmérő: 50 [mm]).

Az elkészült moduláris mintaforgató rendszert és tartozékait a következő ábra mutatja be (41. ábra). A mintatartók anyaga és felületi kezelése szárítószekrényes minta előkészítésre is alkalmas.



41. ábra: Moduláris mintaforgató rendszer.

Teherbírása miatt virágserepek, palántanevelő tálcák, ültetőedények, lágyszárú vegetációszelvények forgatásos vizsgálatára is alkalmas.

3.3 Mintaforgató rendszerrel javított eljárás

A mintaforgató rendszernek köszönhetően új vizsgálati eljárás kidolgozása vált lehetővé. Az optimalizálást megelőzően a spektroradiométert 30 percen keresztül, a PrpLamp fényforrását és a Plant Probe belső fényforrását 15 percen át üzemeltettem, hogy elérjék az állandó üzemi hőmérsékletet. A mérés ciklusideje 12 másodperc, folyamatos forgatás közben. 4 db spektrum rögzítést állítottam be. A mérési sorozatot rögtön a fehér referenciapanelen végzett fehér referenciamérést követő ciklusban indítottam el. A mérési eredmények kiértékelésekor minden 4. spektrum kerül feldolgozásra. Sötét áram – DC, fehér referencia – WR és minta esetében is 115 letapogatást – scan-t állítottam be. A mérések során búza és őrölt talajmintákhoz 2,5 [cm] mélységű mintatartót, kukorica és rögös talajmintákhoz 5 [cm] mélységű mintatartót használtam. Az adatok feldolgozását és a spektrumok ábrázolását ViewSpecPro szoftverrel végeztem.

3.3.1 Mintaforgató rendszerrel javított „ProLamp eljárás”

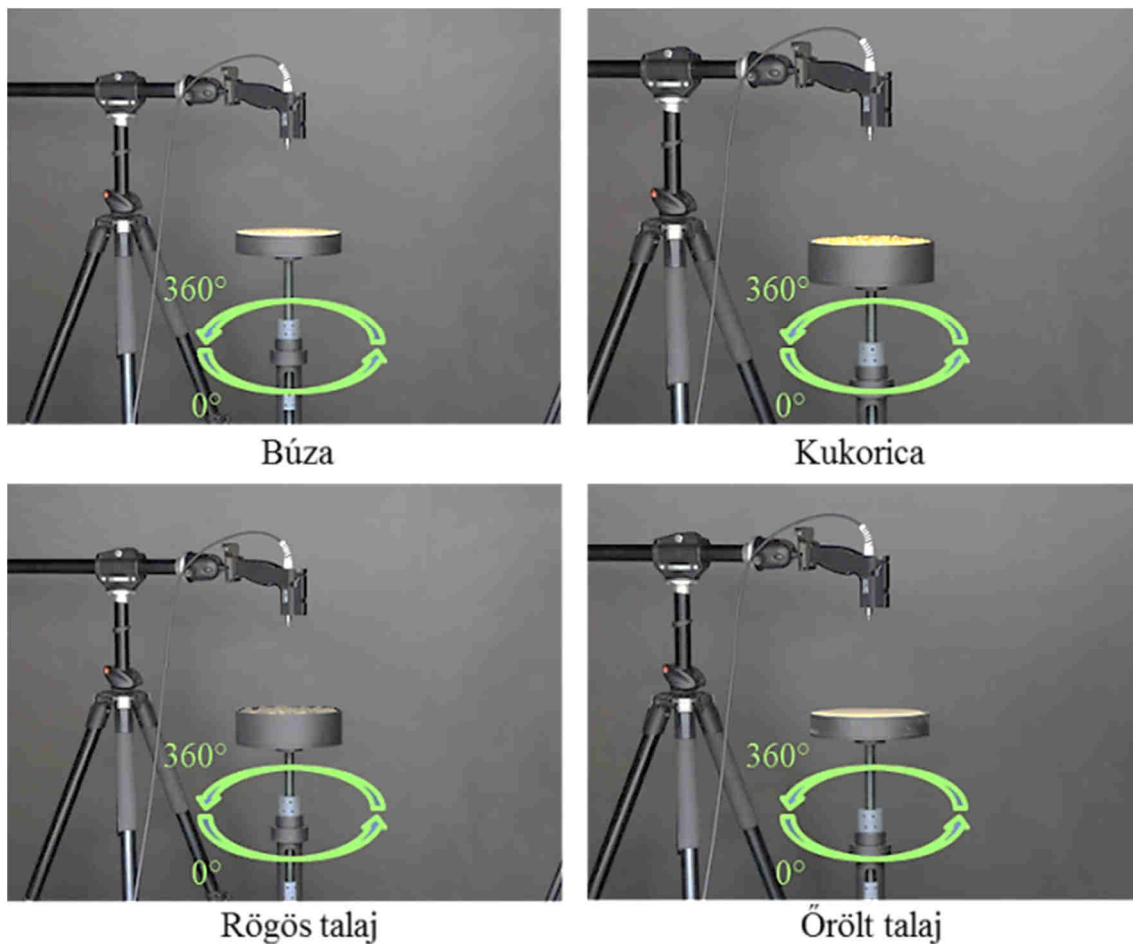
A „ProLamp eljárás” alkalmazásával végzett elő-kísérletek során vizsgált szórások egyértelműen igazolták az eredmények megvilágítási iránytól való függését. A változó megvilágítási irány hatására jelentős különbségek mutatkoztak ugyanazon minta esetében. A hagyományos „ProLamp eljárás”-t mintaforgató rendszer alkalmazásával teszteltem az eredeti kísérleti elrendezésben (42. ábra). A megvilágítás távolsága 700 [mm], a szenzortávolság 150 [mm], a látószög 25°-os volt. A mérést a mintákon egyetlen körbeforgatás alatt végzem. A mérési ciklushoz igazítva a mintaforgató rendszer fordulatszámát 5 [1/perc]-re állítottam be. A minta egy 12 másodperces mérési ciklus alatt 360 [°]-ot fordul körbe. A 115 letapogatás átlagából képezett mérési eredmény így megvilágítási iránytól való függése csökken. A forgás mind a fehér referenciamérés (43. ábra), mind pedig a minták (44. ábra) mérése alatt folyamatos.



42. ábra: Mintaforgató rendszerrel javított „ProLamp eljárás”: Egyirányú megvilágítás ProLamp fényforrással és mintaforgató rendszerrel.



43. ábra: Mintaforgató rendszerrel javított „ProLamp eljárás”-al egy teljes körbeforgatás alatt végzett fehér referenciamérés.

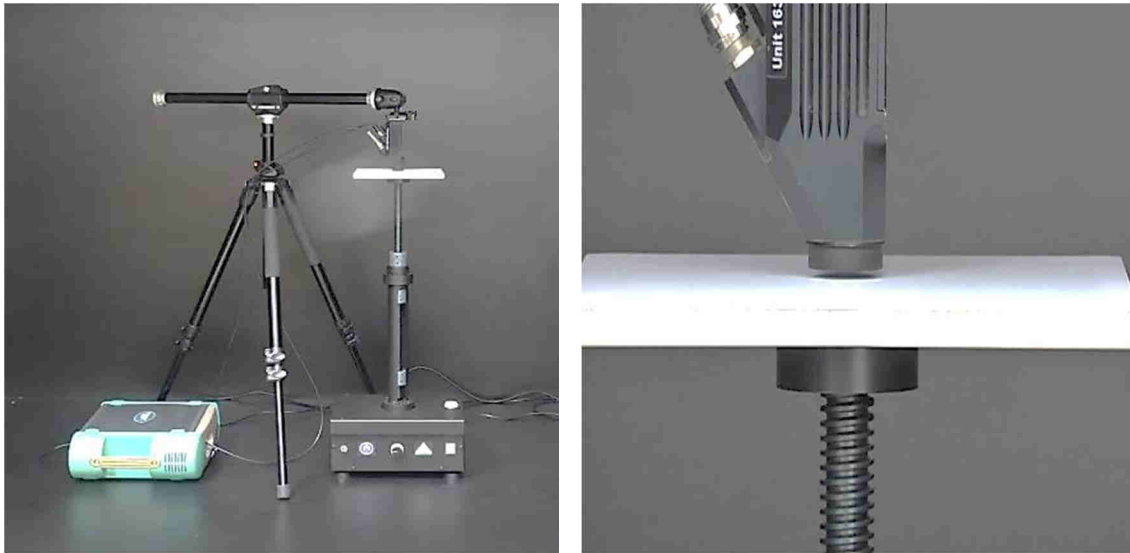


44. ábra: Mintaforgató rendszerrel javított „ProLamp eljárás” alkalmazása egy teljes körbeforgatás alatt végzett búza-, kukorica-, rögös talaj- és örölt talajmintamérések.

3.3.2 Kontakt-közeli eljárás

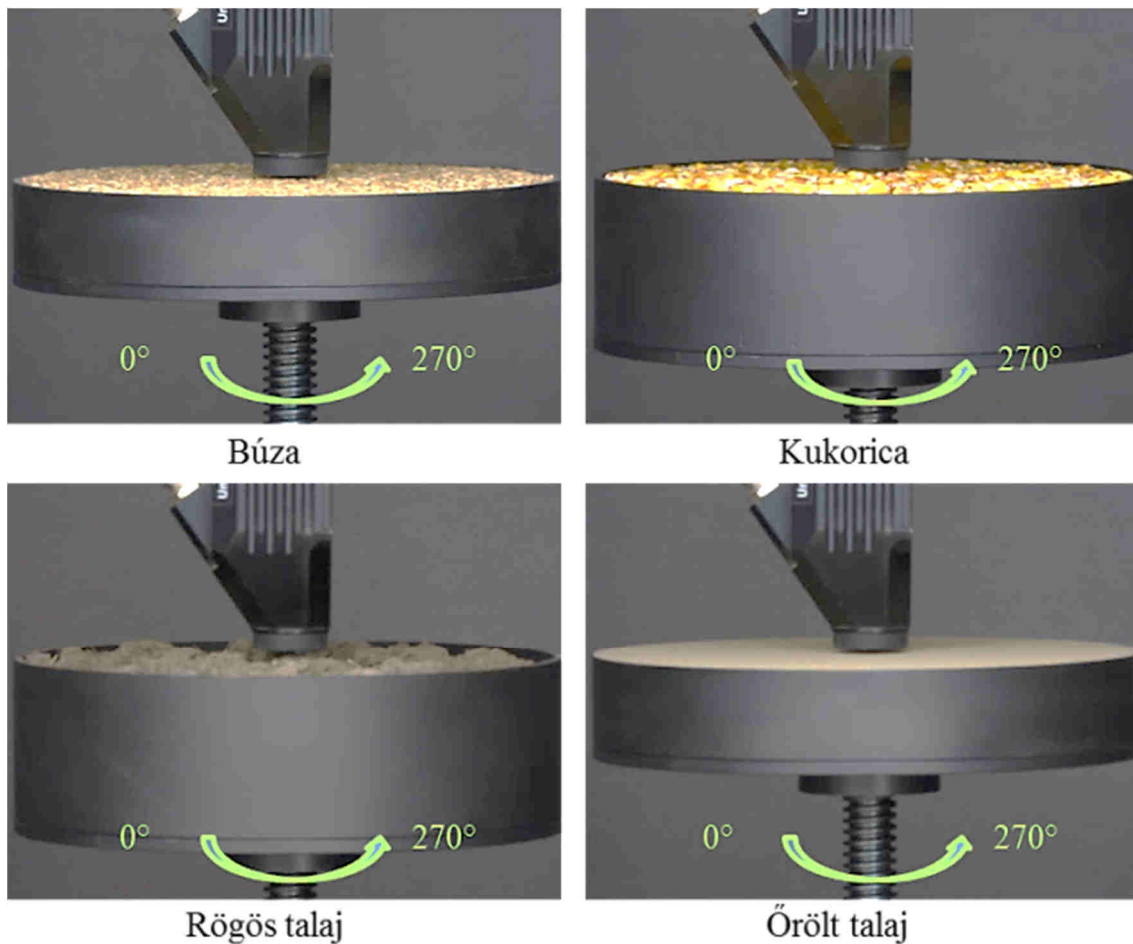
A mérések eredménye a random módon változó kitöltési tényezőtől adódó mérési bizonytalansággal terhelt. Kontakt mérések során valós fizikai kapcsolat jön létre a minta és a szenzorfej között. A bizonytalanság kizárására megoldást egy kontakt-közeli mérés jelenthet, amely

során a Plant Probe szenzorfej nem érinti a vizsgált minta felszínét, de olyan közel van hozzá, hogy a légköri hatások elhanyagolhatók. A kontak-közeli mérés során - mivel nagyon kis távolságról van szó – rendkívül fontos szerepe van a mérési magasság beállításának, tartásának. Az új vizsgálati eljárásához kifejlesztett mintaforgató rendszer rendkívül pontos magasságállítást tesz lehetővé, mely előfeltétele volt a kontakt-közeli vizsgálati eljárás megvalósításának. Az új vizsgálati eljárás lehetővé teszi a minta elforgatását és a Plant Probe esetében jelentkező megvilágítási iránytól való függés vizsgálatát. Az érintésmentes vizsgálattal tanulmányoztam a megvilágítási iránytól való függést és a mintaforgatásos mérés lehetőségét. A Plant Probe szenzorfejet állványra rögzítettem, a mérési magasságot 1 [mm]-re állítottam be (45. ábra). A szenzorfej nem érinti a minta felszínét.



45. ábra: A mérési magasságot a mintaforgató rendszer segítségével állítottam be. A fehér referenciamérés kontak-közeli vizsgálati eljárással (mérési távolság 1 [mm]).

Az első mérést követően a búza-, kukorica-, örlött talaj- és rögös talajmintákat elforgattam 90, 180, 270 [°]-al. A mérést megismételtem minden egyes új pozícióban (46. ábra). A minták felülete a mérés alatt nem változott. A kontak-közeli mérés esetében jelentkező megvilágítási iránytól való függést a minták forgatása után megismételt mérések eredményeinek standard szórásának számításával tanulmányoztam.



46. ábra: A minták forgatása kontakt-közeli mérés során: Méréseként 90, 180 és 270[°]-al elfordítva (Mérési távolság 1 [mm]).

3.3.3 Mintaforogató rendszerrel javított kontakt-közeli eljárás

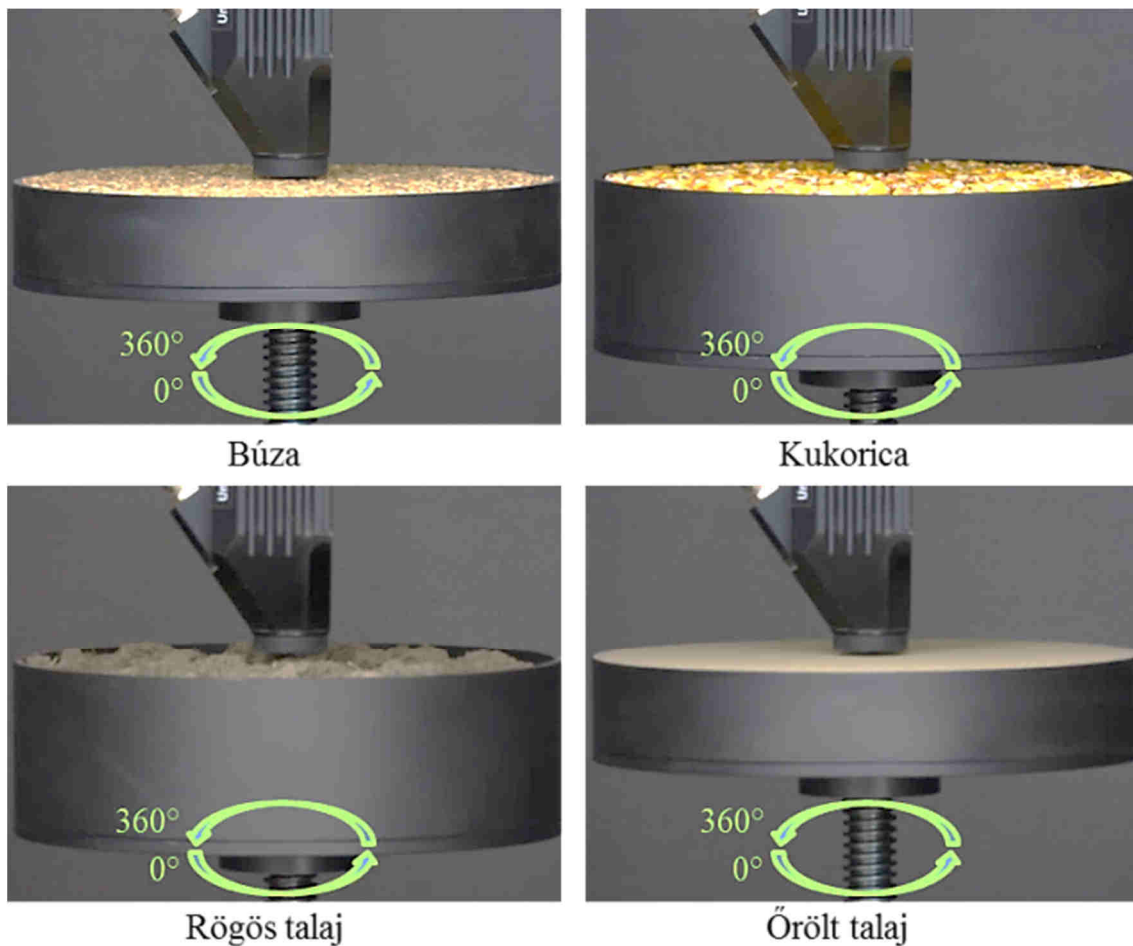
A „ProLamp eljárás”-al végzett mérések során a minták elforgatásakor jelentős szórás tapasztaltam. Feltételeztem, hogy a kontakt méréseknél is jelentős ez a hatás. A minta elforgatás hatását nem tudtam vizsgálni a kontakt eljárásnál, mert a méréskor a felszín megváltozott. A kontakt-közeli eljárással ez lehetséges.

A Plant Probe szenzorfejet állványra rögzítettem, a mérési magasságot 1 [mm]-re állítottam be. A mérést a 3.3.1 fejezetben leírt forgatásos eljárással végeztem.

A forgás mind a fehér referenciamérés (47. ábra), mind pedig a minták (48. ábra) mérése alatt folyamatos.



47. ábra: Egy teljes körbeforgatás alatt végzett fehér referenciamérés.



48. ábra: Egy teljes körbeforgatás alatt végzett búza-, kukorica, rögös talaj- és őrölt talajmintamérések.

A mintaforgató rendszerrel javított kontakt-közeli mérés esetében jelentkező megvilágítási iránytól való függést, a minták forgatása után megismételt mérések eredményeinek standard szórásának számításával tanulmányoztam.

3.4 Terepi és laboratóriumi mérések

A Szent István Egyetem Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézet Hatvan-Nagygombosi Kísérleti Telepén az M3 mellékletben ismertetett módon kialakított termesztési kísérlet növényállományában terepi spektrométeres vizsgálatokat végeztem 2010, 2011, 2012 években, különböző fenológiai állapotokban. A betakarított búzatermésen laboratóriumi vizsgálatokat végeztem, tisztított, egyensúlyi nedvességtartalmú mintákon. A mérések során rögzített adatokat évjárat, fajta és kezelési szint szerint spektrumkönyvtárakba rendeztem. A file-neveket a fajtanév kezdőbetűje, a kijuttatott nitrogén mennyisége és az évjárat alapján alakítottam ki: *A_12_2010_1.asd* (Alföld 90 fajta, 120 [kg/ha] nitrogéndózis, 2010-es évjárat). Mivel két fenofázisban történtek mérések a zöld állományban végzett mérések esetében a következő jelölést alkalmaztam: *A_12_2010_V_1.asd*, ahol a „V” a vegetációs időszakra vonatkozik. A laboratóriumi mérési eredmények esetében a következő jelölést alkalmaztam: *A_12_2010_Sz_1.asd* (Alföld 90 fajta, 120 [kg/ha] nitrogéndózis, 2010-es évjárat, Szaporítóanyag).

3.4.1 Terepi mérések

Terepi mérések során a megvilágító fényforrás a Nap. A méréseket a Nap principális síkjából merőlegesen kilépve hajtottam végre, magas napállás mellett, tiszta időben. A mérési magasságot fényképállvánnyal biztosítottam (49. ábra).



49. ábra: Mérési elrendezés a terepi mérés során (sárga nyíl: a Nap principális síkja, zöld nyíl: a principális síkra merőleges mérési sík).

A helyes térbeli elrendezéssel a mérést végző személyről direkt módon visszaverődő fénysugárzás minimalizálható. Az optimalizálást megelőzően a spektrométert 30 percen keresztül üzemeltettem, hogy elérje az állandó üzemi hőmérsékletet. A szenzortávolság 80 cm, a látószög 25 [°]-os volt. Sötét áram – DC, fehér referencia – WR és minta esetében is 30 letapogatást – scan-t állítottam be. A fehér referencia felvételét követően rögzítettem a búzaállomány (búzanövények) spektrumát. A mérés során 80 [cm]-es szenzortávolságot a búza magasságától mértem. Az állandó mérési magasság mellett ez ~ 35 [cm] átmérőjű pixelméretnek felel meg, ami közel 0,5 [m²]-es mintavételi felületet jelent. 6 millió produktív hajtás/hektár esetén ez ~300 [db] kalászt (produktív hajtást) jelent. A fehér referenciamérést az időjárási körülményektől függően, legalább 15 percenként megismétltem. A fehér referencia panel mérésekor szintén állványt használtam. A fehér referencia mérésekor 13 cm * 13 cm-es etanol felületet használtam, a mérési távolság 15 [cm] volt. Öt búzafajta, három kezelésének mind a négy ismétlését vizsgáltam. A 10 [m²]-es parcellákon öt mérést végeztem, mérési pontonként egy spektromot rögzítve. Ez kezelésként húsz mintavételt

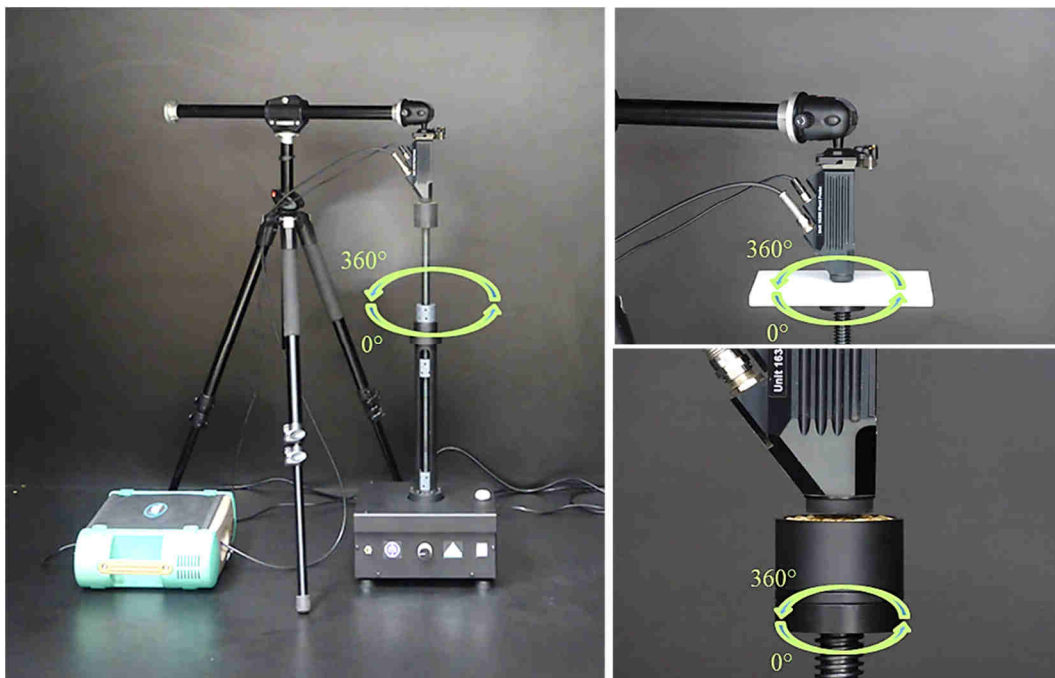
jelent. A mérés során a szenzor látószöge, parcellán kívül eső területet nem érintett. A méréseket a búza fejlettségi állapotának megfelelően szárbaszökést követően, de még kalászhányás előtt, illetve teljes éréskor, betakarítás előtt érdemes elvégezni. Ilyenkor a talajról visszaverődő elektromágneses sugárzás hatása már elhanyagolható. Az első évben (2010) a teljes érést követően betakarítás előtt végeztem méréseket. A következő években (2011, 2012) a vizsgálatot kiterjesztettem a kalászhányást megelőző állapotra is.

3.4.2 Laboratóriumi mérés

A kezelésként és ismétlésként betakarított búzát laboratóriumi körülmények között az általam kidolgozott forgatással javított kontakt közeli vizsgálati eljárással vizsgáltam (3.3.3). A gyakorlatban elterjedt eljárással végzett mérések feldolgozása nem vezetett eredményre, mivel a spektrumok standard szórása túl nagy volt. A mérések során 5 [cm] átmérőjű, 2,5 [cm] mélységű mintatartót használtam. Térfogata ~ 50 [cm³], mely a búza ezerszemtömegétől függően 1600-1700 [db] búzaszemet jelent (50. ábra). A mérés menetét és a mérési elrendezést a következő ábra mutatja be (51. ábra).



50. ábra: Mintatartó (átmérő 5 [cm]).



51. ábra: Mérési elrendezés, mérés menete.

Az öt búzafajta, három kezelésének mind a négy ismétlését vizsgáltam. A méréshez előkészített minták nedvességtartalma azonos volt (14 %). Visszatevés nélküli mintavételt végeztem ötszörös ismétlésben, ami egy adott kezelésre számolva húsz spektrumot jelent.

3.4.3 Spektrumok elő-feldolgozása

A spektrumok sokasága egy adatmatrix, melyben a kezelésekhez tartozó spektrumok egymás alatt, a spektrum csatornáit pedig (2151 [db]) soronként helyezkednek el. Oszloponként helyezkednek el az

adott csatornaszámhoz tartozó spektrális reflektancia értékek. A nyers adatok elő-feldolgozásának célja a spektrumokban található műszerből, illetve kedvezőtlen mérési körülményekből eredő zaj és eltérések mérséklése, szűrése, a lényeges információ kiemelése. Az elő-feldolgozás segíti a spektrumok összehasonlíthatóságát és statisztikai elemzését. A megfelelő elő-feldolgozás alapfeltétele a spektrumok kiértékelésének. 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 (pl.: meredekség, görbület, görbe alatti terület). A 2151 [db] változóból a fizikai modell tulajdonságaival (esetünkben a nem „számszerűsíthető” fajtákkal) leginkább kapcsolatba hozható változók keresése a cél. A legjobb összefüggés leírásához esetenként nem valóságos, látens változók képzése szükséges. A transzformációk egy része a mérési eredmények összehasonlíthatóságára irányul (pl.: normálás, skálázás, logaritmizálás). Ezek feltételei az egységes adatkezelésnek. A transzformációk másik része a matematikai modell számára emeli ki a görbe tulajdonságainak felhasználásával (pl.: derivált: görbület, inflexiók) a lényeges információt.

A megfelelő transzformációkat és transzformációs sorrendet a modellillesztés elvégzésével és a korreláció elemzésével jelöltem ki. A modellillesztés és osztályozás optimumát az alábbi lépésekből összeállított eljárások alkalmazásával értem el. A spektum-transzformációs lépéseket 9 [db] búza vetőmag (Alföld 90, Mv Csárdás, Mv Magdaléna) laboratóriumi spektrumán, a hivatkozott ábraszámoknak megfelelően, az M4 mellékletben mutatom be.

Normálás (Normalization)

A spektrumok skálázási különbségei adódhatnak a fény útjának változásából, szóródásból, a megvilágítási fényforrás, vagy a detektor változásaiból. A spektrumok normálásának lényege a spektrumok átskálázása meghatározott szempontok szerint. A módszer a spektrális reflektancia értékeket egy értéktartományon belülré transzformálja, hogy a spektrumok összehasonlíthatóak legyenek. Ez a transzformáció kiegyenlíti egy adott spektrum hatását az adott modellre. Elsősorban kvalitatív elemzésnél használatos, ahol a változók közötti kapcsolat a fontos, nem pedig a változók abszolút értékének számszerűsítése. A normálásnak több lehetséges változata van. Az általam alkalmazott normálás során a minta minden egyes reflektancia értékét elosztottam az összes csatorna reflektancia értékének abszolút érték összegével. A görbe alatti terület így 1 lesz (112. ábra).

Osztályközépre skálázás (Class center)

Az adott osztályba tartozó minden spektrumból kivonom az osztályba tartozó összes spektrum átlagértékét, hogy adott osztályba tartozó spektrumok hullámhosszanként mért reflektancia értékeinek számtani közepe 0 legyen (113. ábra).

Deriváltak

Deriválás során a spektrumokat függvényként kezelik. Az adatokban rejlő alapvonal-eltolódás és változó meredekség eltávolítására deriválást (Savitzky-Golay Derivative) alkalmazok. A deriválás olyan lineáris operátor, mely nem változtatja meg az adatban rejlő lineáris összefüggéseket és alkalmas az adatokban rejlő rejtett változások, információk kiemelésére. A deriválás gyakorlatilag felül áteresztő szűrőként viselkedik, frekvenciafüggő standardizálást hajt végre. Általában akkor alkalmazzák, amikor az adatokban rejlő magasabb frekvenciájú információ a releváns (az alacsony frekvenciájú jelben interferencia figyelhető meg). Alapesetben az algoritmus numerikus deriválást végez a hullámhossz szerint. Két szomszédos csatorna értékét kivonva egymásból az egyező információ szűrhető és a különbség kiemelhető. Mivel a deriválás szűri az alacsony frekvenciás jeleket és kihangsúlyozza a magas frekvenciákat túlzottan felerősítheti a magas frekvenciás zajt. A nagyfrekvenciás zajnak a szűrésére, „simítás” (Smoothing) alkalmazható. Ez információvesztést is jelent, használata csökkentheti az osztályozás hatékonyságát. Az első derivált lokális maximumai az eredeti spektrum növekvő meredekség maximumainál vannak, míg a lokális minimumok a

csökkenő meredekség maximumoknál helyezkednek el (Gergely, 2005). Az eredeti spektrum lokális szélső értékeinél az első derivált spektrum nulla értéket vesz fel. A derivált spektrum (114. ábra) ismételt deriválásával másod- (115. ábra), harmad- (116. ábra), negyed- (117. ábra), illetve magasabb rendű derivált spektrumok képezhetőek. A deriváláskor másod-, harmad- és negyedrendű deriválást (Derivative order), öt csatornánként végzett szűrést (Filter width) és harmadfokú polinom illesztést alkalmaztam (Polynomial).

Abszolút érték (Absolute value)

A deriválás következtében keletkező negatív értékek gondot jelentenek a további spektrum-transzformációk, műveletek során. Ezért a függvény abszolút értékét kell képezni. Az előjel információ így eltávolítható (118. ábra).

Log10

A transzformáció az adatok tízes alapú logaritmusát képezi. Logaritmikus összefüggések esetén javasolt alkalmazni (119. ábra). Logaritmus skálán a nagyságrendi különbségek szemléletesebben ábrázolhatóak. A transzformáció nem képes értelmezni a negatív számokat. A negatív számokat tartalmazó spektrumok esetében először azok abszolút értékét kell venni.

Középértékre skálázás (Mean center)

A teljes adatmátrixon belül elvégzett skálázás. Minden egyes spektrális csatorna középértékét kivonja az adott csatornán mért reflektancia értékekből. A középértékre skálázást követően a spektrumok az adatmátrix csatornánkénti reflektancia átlagtól való különbségből tevődnek össze. Minden spektrum az adatmátrix átlagspektrumhoz viszonyított eltérését mutatja (120. ábra). A középértékre skálázás a spektrumtér-koordinátatengelyeit az adatmátrix középpontjába helyezi.

A szárbaszökést követően, kalászhányás előtt, vegetációs időszakban rögzített terepi spektrumok elő-feldolgozása során a fenti spektrum-transzformációk következő sorrendjét alkalmaztam: 1. Normálás, 2. Osztályközépre skálázás, 3. Negyedrendű derivált, 4. Abszolút érték, 5. Log10, 6. Középértékre skálázás.

A teljes érést követően, betakarítás előtt rögzített terepi spektrumok elő-feldolgozása során a fenti spektrum-transzformációk következő sorrendjét alkalmaztam: 1. Normálás, 2. Osztályközépre skálázás, 3. Harmadrendű derivált, 4. Abszolút érték, 5. Log10, 6. Középértékre skálázás.

A laboratóriumi mérési eredmények feldolgozása során az osztályközépre skálázás spektrum transzformációt, továbbá a harmadfokú deriválást nem használtam. A spektrum elő-feldolgozás során a következő adatfeldolgozási eljárásokat alkalmaztam, a megadott sorrendben: 1. Normálás, 2. Másodrendű derivált, 3. Abszolút érték, 4. Log10, 5. Középértékre skálázás.

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 (Partial-Least-Square-Discriminant-Analysis - Részleges Legkisebb Négyzetek módszerrel végzett Diszkriminancia-Elemzés) osztályozást alkalmaztam. A modellalkotás során 95 [%]-os megbízhatósági szintet alkalmaztam.

3.4.4 Osztályozás

A nyers adatok alapján a mérési eredmények nem teszik lehetővé azok osztályba sorolását, ezért olyan változók, vagy változó kombinációk azonosítására van szükség, melyek segítségével az

osztályok elkülöníthetőek. A mérések során rögzített 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, dimenziócsökkentésre van szükség.

A főkomponens analízishez hasonlóan a PLS regresszió (Legkisebb négyzetek módszere, Partial Least Square method) is adattömörítő módszer. A főkomponens analízissel szemben nem csak a spektrumokat veszi figyelembe, de a becsülni kívánt referencia adatokat is. A PLS célja alapvető statisztikai összefüggések feltárása X és Y adatmátrix között. Látens változók (Latent variable) bevezetésével a modell olyan többdimenziós irányt keres az X adattérben, amely magyarázza a varianciát az Y adattérben. A modell a látens változók számának növelésével az adatok varianciáját egyre nagyobb mértékben írja le. A variancia összegének modellezésére a látens változók a spektrumok esetében „Loading”-okra (faktorsúly), referencia adatoknál „Score”-okra (faktorérték) alkalmaz részleges kalibrációkat. Az új változók képzésekor nem csak a spektrummátrix (X) varianciájának minél alaposabb leírása/magyarázata a cél, hanem a spektrumok és az Y értékek szorzatának kovarianciájának maximálása. A komponensek meghatározásakor a PLS regresszió figyelembe veszi a regressziós egyenlettel közelítendő függő változó tulajdonságait is (Bazár, 2011). A regresszió során a látens változók és a referencia adatok közti kovariancia maximalizálása a cél (Næs et al., 2002). A Részleges Legkisebb Négyzetek módszerrel végzett Diszkriminancia-Elemzés (PLS DA) során a mérési eredményeket előre meghatározott csoportokba rendezik, az Y értéke kategorikus. Esetemben ez az adott évjáraton belüli, illetve évjáratonkénti kezeléseket fajta szerint történő csoportosítását jelenti. Az eljárás során a PLS algoritmus létrehozott csoportokhoz (kategóriákhoz, vagy osztályokhoz) hozzárendel egy Y változót, melynek értéke 0 és 1 értékek között változhat. A kalibráció során a csatornánként mért reflektancia értékek és az Y változók között állít fel regressziót. Amennyiben a minta egy adott osztályhoz tartozik, értéke Y=1-hez, ha nem akkor Y=0-hoz van közelebb. A becslés legtöbbször nem 0-t, vagy 1-t eredményez. 0,5-ös határérték esetén a 0,5-nél nagyobb értékek az adott osztályba tartozó minták, míg a 0,5-nél kisebb Y értékkel rendelkező minták osztályidegenek. A határérték megállapítása a Bayes-tétel és az adatok alapján úgy történik, hogy az összes osztályozási hiba a lehető legkisebb legyen. A Bayes-i határérték számítás feltételezi, hogy a kalibrációs adatsor becsült Y értékeinek eloszlása hasonló a validáció során vizsgált adatsoréhoz. A két becsült eloszlás metszete meghatározza azt a Bayes-i határértéket, amely esetén a hamis pozitív (false positive) és a hamis negatív (false negative) becslések száma minimalizálható (Wise et al. 2006).

Belső-ellenőrzés (Self-test, Calibration)

A kalibrációt követő elsődleges ellenőrzési fázis. A becslés a kalibráló mintaállomány alapján felállított függvényt lefuttatva történik, ugyan azon az állományon. Ezen érték optimalizálásával kerül meghatározásra az ideális becsülő függvény.

Kereszt-ellenőrzés (Cross validation)

A kereszt-ellenőrzés során a modell kalibrálásában résztvevő minták csoportokra bontódnak. A csoportokból visszatartva egyet a kalibráció újra megtörténik. Ebben a formában a visszatartott csoport független, ismeretlen mintának tekinthető. Az osztályozás elején meghatározott csoportokon (búzafajtákon) belül a fenti folyamat külön-külön zajlik le, a csoportonként kapott részeredmények összegződnek. A PLS regresszió során a legjobb illesztéshez szükséges látens változók számának meghatározása a kereszt-ellenőrzési hiba minimalizálásával történik. Nem elegendő látens változó esetén a rendszer alulillesztett. Sok látens változó bevonása esetén a modell belső hibája lecsökken, de a túlillesztettség miatt a kereszt-validáció hibája megnő (Næs et al., 2002). A kereszt-ellenőrzés során Venetian blind típusú keresztellenőrzést alkalmaztam. A látens változókat 20 [db]-ig számítottam ki. A kalibrálásban résztvevő adatok közül minden ötödik spektrumot tartottam vissza. Ez minden egyes kezelés, minden ismétlésben végzett öt mérés egyikéből jelent egy mintaspektrumot.

Független validáció (Validation)

Független validáció során a modell alkotására, illetve kalibrálására felhasznált adatoknak és a modell ellenőrzésére használt tesztadatoknak két különböző mintaállományon kell lennie. Az eljárás során ellenőrizhető a megalkotott modell érvényessége a kalibrációs állományon kívül. A búzafajták osztályozhatóságának független ellenőrzésére egy adott évjáratban mért spektrumok alapján alkotott modellt egy másik évjáratban felvett spektrumállományt használtam fel. Az adatok feldolgozásakor a kezeléseket fajtánként csoportosítva vizsgáltam a fajtaszintű elkülöníthetőség lehetőségét. Egy évjáraton belül egy fajtacsoport a három különböző nitrogén-utánpótlási szint négy ismétléséről gyűjtött hatvan spektrumból áll.

Első lépésként a 2010-es évjáratban gyűjtött spektrumokat felhasználva végzek kalibrációt és kereszt-ellenőrzést. A modellt a 2012-es évjáratban gyűjtött spektrumokkal validálom.

Második lépésként a 2011-es évjáratban gyűjtött spektrumokat felhasználva végzek kalibrációt és kereszt-ellenőrzést. A modellt szintén a 2012-es évjáratban gyűjtött spektrumokkal validálom.

Harmadik lépésként a 2010-es és 2011-es évjáratból egyesített mintasokaságot képezek. Minden egyes fajta így 120 [db] spektrumból áll. Kalibrációt és kereszt-ellenőrzést végzek az adatállományon. A modellt ismét a 2012-es évjáratban gyűjtött spektrumokkal validálom.

A PLS DA részeként a látens változók képzésekor SIMPLS algoritmust használtam. A SIMPLS algoritmus működését (De Jong, 1993, Alin és Ali, 2012) nyomán az M5 mellékletben ismertetem:

A látens változók számát az osztályozás során a következő statisztikai értékszámokat figyelembe véve határoztam meg és alkottam modellt:

- Magyarózott variancia (Variance captured)
X, vagy Y adatmátrixon belüli variancia leírása. Kumulált magyarózott variancia (Cum variance captured).
- Faktorsúly (Loadings)
A látens változók teljes hullámhossztartományban vizsgált faktorsúlya.
- Determinációs együttható (R^2)
A spektrális információ és a változók varianciája közötti összefüggés szorosságát írja le. A modell megbízhatóságát jellemzi. A kalibráció (R^2 Calibration) a kereszt-ellenőrzés (R^2 Cross-validation) és a validáció (R^2 Validation) determinációs együtthatója megkülönböztetett.
- A kalibráció osztályozási hibája (Calibration Classification Error – Class. Err. (Cal))
Kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája: (CV Classification Error – Class. Err. (CV))
Validáció esetében: (Prediction Classification Error – Class. Err. (Pred)). A tévesen osztályozott mintaelemek száma osztva az összes mintaelem számmal.
- Eltolódás, vagy szisztematikus hiba (Bias)
A modell pontosságát jellemzi. Kalibráció esetében: Cal. Bias. Kereszt-ellenőrzés esetében: CV Bias. Validáció esetében: Pred. Bias.
- Négyzetes középhiba négyzetgyöke (Root mean square error - RMSE)
A modell pontosságát jellemzi. A szisztematikus hiba és a kalibráció standard hibájából számítható. Kalibráció, vagy belső-ellenőrzéskor RMSEC (Root mean square error calibration), Kereszt-ellenőrzéskor RMSECV (Root mean square error cross-validation), validáció esetében RMSEP (Root mean square error prediction).

Az osztályozás minőségét a következő fogalmak segítségével jellemeztem:

- Igaz pozitív (True positive)
Helyesen osztályba sorolt minták aránya

- Hamis pozitív (False positive)
Tévesen osztályba sorolt minták aránya
- Igaz negatív (True negatív)
Helyesen osztályidegenként azonosított minták aránya
- Hamis negatív (False negative)
Hibásan osztályidegenként azonosított minták aránya
- Szelektivitás (Selectivity)
A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa.
- Specificitás (Specificity)
A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa.

Az osztályozás eredményét Konfúziós mátrixok (Confusion Matrix) és Konfúziós táblázatok (Confusion Table) segítségével mutatom be. A fajták eloszlását három kiválasztott látens változó által meghatározott háromdimenziós térben ábrázolom. Minden esetben 3-nál több látens változóval dolgoztam. A háromdimenziós ábrázolás során egymáshoz közel elhelyezkedő pontfelhők magasabb dimenzióban jobban elkülönülhetnek. Az osztályozás sikeressége a statisztikai mutatók alapján jellemezhető.

Az osztályozás minősége a vizsgálati cél szempontjából

A terepi mérések során rögzített spektrumok osztályozásakor a modell által végrehajtott téves osztályozások (Igaz pozitív, Hamis pozitív, Igaz negatív, Hamis negatív) megengedhetőek. A gyakorlatban nem okoznak problémát, mivel búzatáblánként általában egy búzafajtát termesztnek. Ebből adódóan a táblánként begyűjtött spektrumokat egy fajtaként lehet, kell kezelni (ez igaz a légi távérzékelésre is). Amennyiben az adott búzatábla spektrumainak többségét a spektrumkönyvtár alapján egy adott fajtaosztályba sorolja a modell, akkor az elegendő információ az azonosításhoz. Azonos, vagy közel azonos arányú megoszlás esetén a szóba jöhető fajták származása is ellenőrizendő. Vetőmagtípusok laboratóriumi azonosítása esetén ez az elv szintén alkalmazható.

Az osztályozás minősége nem hasonlítható össze a vetőmag szemlézés szabályaival, illetve toleranciájával, mivel azok faj- és fajtaidegen egyedszámokra ([növény, kalász/ha]) vonatkoznak. Az osztályozó eljárás nem egyed, vagy búzaszem szintű azonosítást végez, hanem tábla, illetve vetőmagtétel azonosítást tesz lehetővé.

Az eljárás feltétele, hogy minden köztermesztésben elterjedt őszi búzafajta szerepeljen a spektrumkönyvtárban. Az eljárás feltételezi, hogy minden minta őszi búza. Az elkülönítéshez a „nem őszi búza”-ként szóba jövő mintákat is tartalmazó spektrumkönyvtárra van szükség. A fajtáidegen növények, szennyeződések már egy alacsonyabb rendű osztályozó/azonosító eljárással is leválogathatóak.

3.4.5 A fajták elkülöníthetőségének időbeli változása

A fajták elkülöníthetősége feltételezésem szerint változik a növény fejlődése során. Ugyanakkor jelentős különbség állhat fenn a kifejeződő különbségek között egész növény, illetve búzaszemek esetében is. Az osztályozó eljárás során a látens változók alkotják a kapcsolatot a mintasokaság és a létrehozott osztályok között. Minél nagyobb százalékban képes az eljárás adott számú látens változó segítségével leírni, illetve magyarázni a spektrumokban rejlő varianciát, annál sikeresebb, megbízhatóbb lesz az osztályozás. Az adatfeldolgozás részeként képzett látens változók által magyarázott varianciát és kumulált varianciát adott évjáratban kalászhányás előtt, betakarítás előtt és vetőmag esetében összehasonlítva vizsgálom.

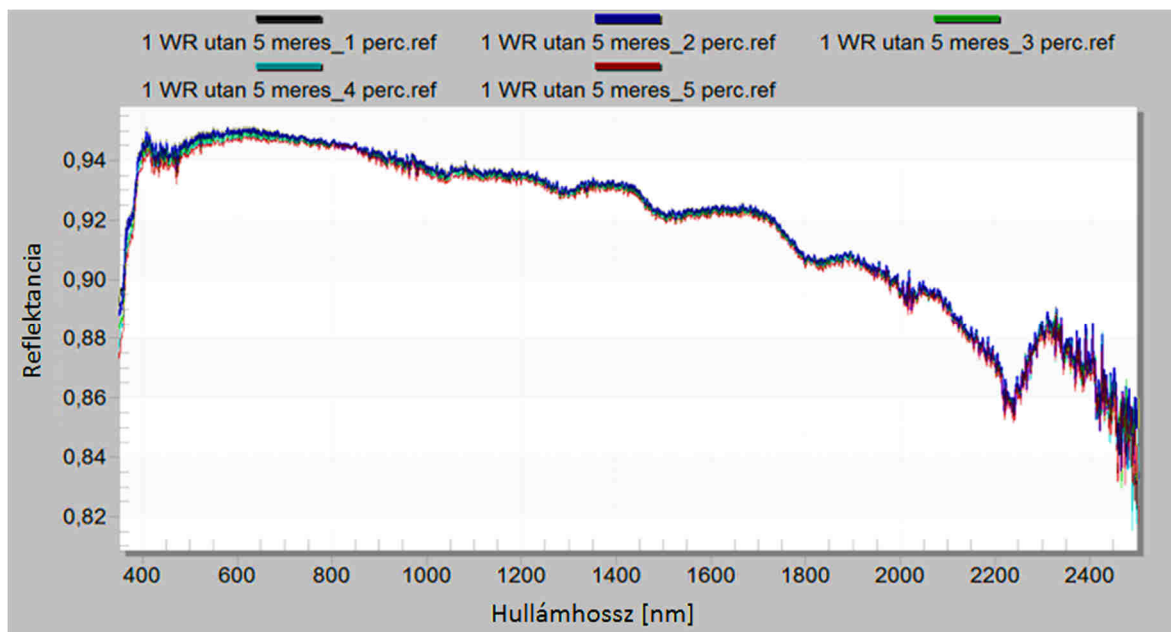
4. EREDMÉNYEK

Az anyag és módszer fejezetben ismertetett elő-kísérletek tapasztalatait, az egyedi laboratóriumi vizsgálati eljárást, valamint a búza különböző fejlődési stádiumaiban terepen és laborban mért spektrumok adatfeldolgozási eljárásának eredményit a következő fejezetekben ismertetem.

4.1 Laboratóriumi mérések során előforduló mérések standard szórása

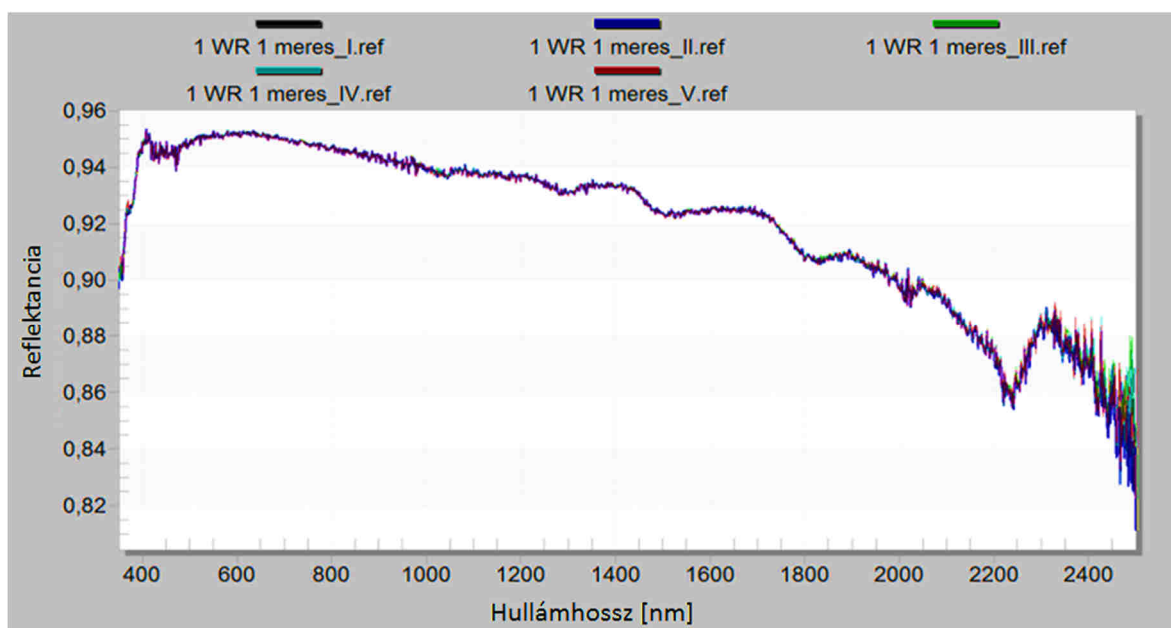
4.1.1 A fehér referenciamérés és a minta spektrumának rögzítése között eltelt idő

A mérési eredményeket összehasonlítva eltérést tapasztaltam a különböző időpontban rögzített spektrumok között. Az első mért spektrumtól való kismértékű eltérés az idő múlásával növekedett (52. ábra).



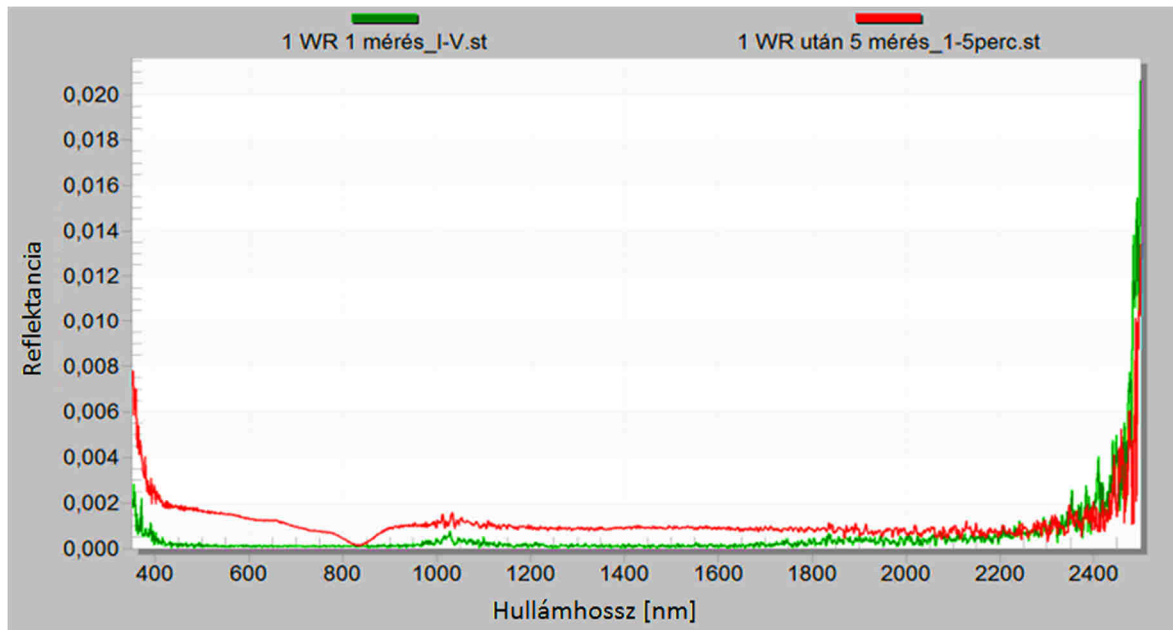
52. ábra: A referenciamérést követően percenként rögzített spektrumok.

Minden mérés előtt megismételve a referenciamérést kisebb eltérést tapasztaltam (53. ábra).

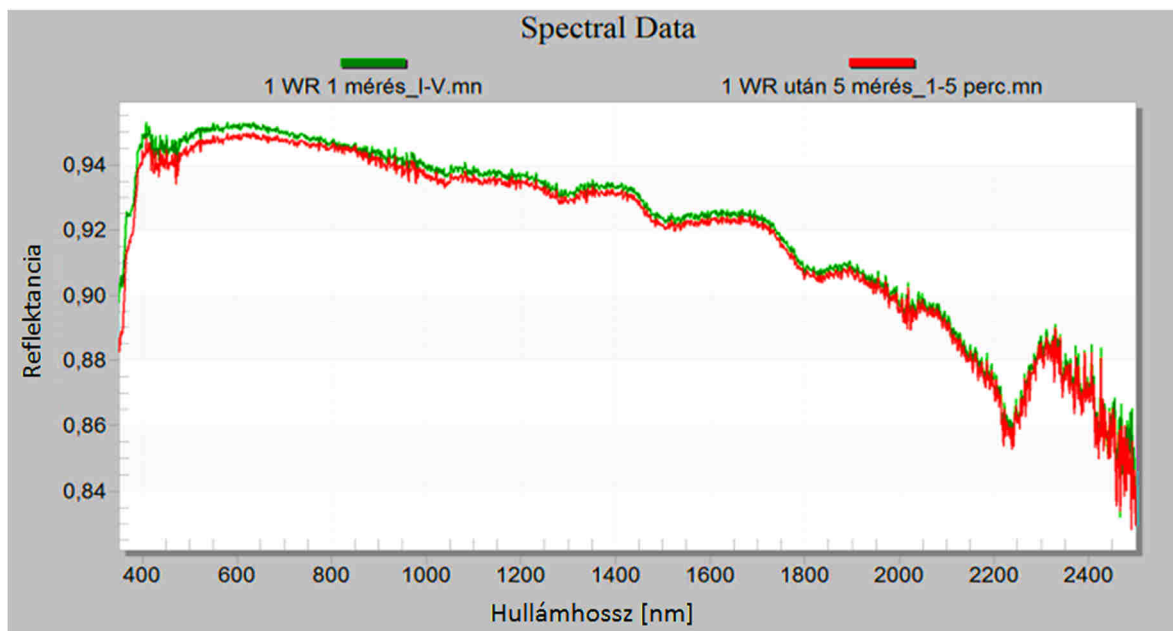


53. ábra: Minden mérés előtt elvégzett referenciaméréssel rögzített spektrumok.

A két mérési eljárás közötti különbséget jól szemlélteti a számított szórás (54. ábra) és az átlag értékek összehasonlítása (55. ábra).



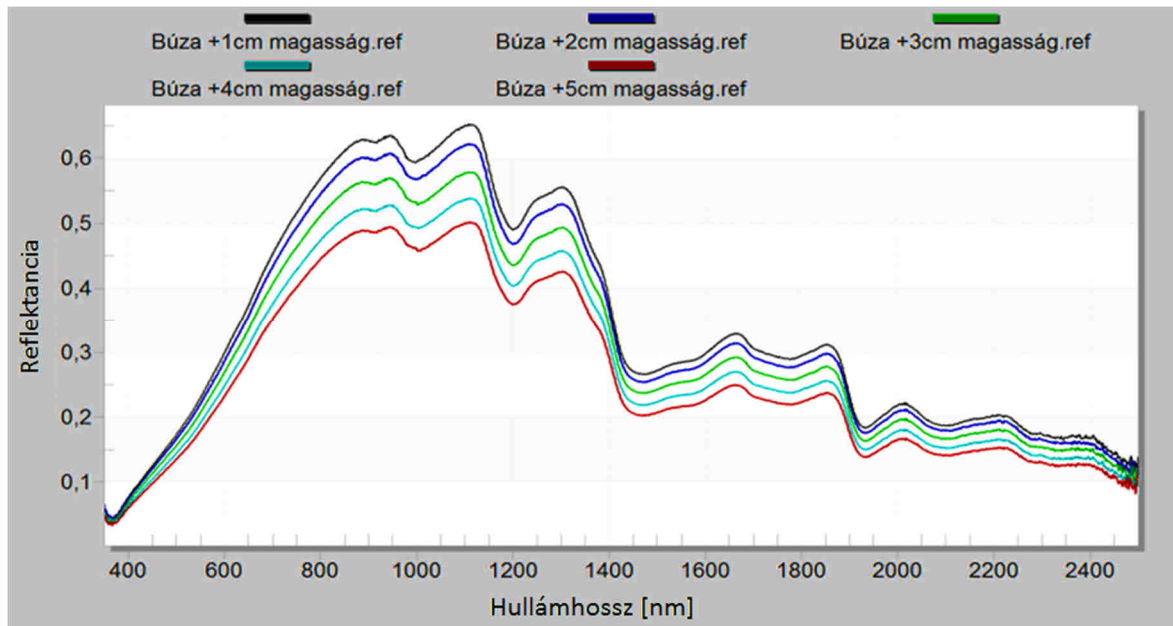
54. ábra: A két mérési eljárás számított szórásának összehasonlítása.



55. ábra: A két mérési eljárás számított átlagspektrumának összehasonlítása.

4.1.2 Megváltozó szenzortávolság jelentősége

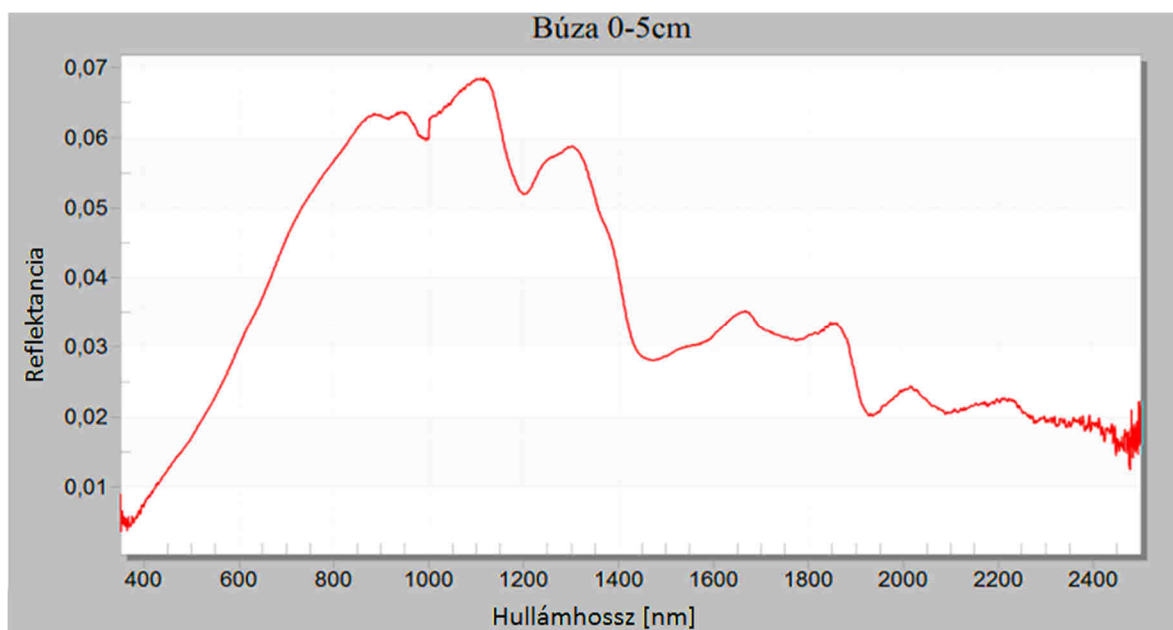
A referenciamérés, illetve a referencia panel felszínéhez képest megnövelt mérési magasságok, illetve lecsökkent szenzortávolság jelentős különbségeket eredményezett a vizsgált búzaminta spektrumában. Az eredményeket a 56. ábra mutatja be.



56. ábra: A fehér referenciaméréshez képest megváltozó szenzortávolságból adódó szórás.

A magasság meghatározza a szenzor látószögét. Kisebb területről érkezett a szenzorba elektromágneses sugárzás, ezért a magasság növekedésével arányos mértékű csökkenést tapasztaltam a műszer által érzékelt jel, spektrum intenzitásában.

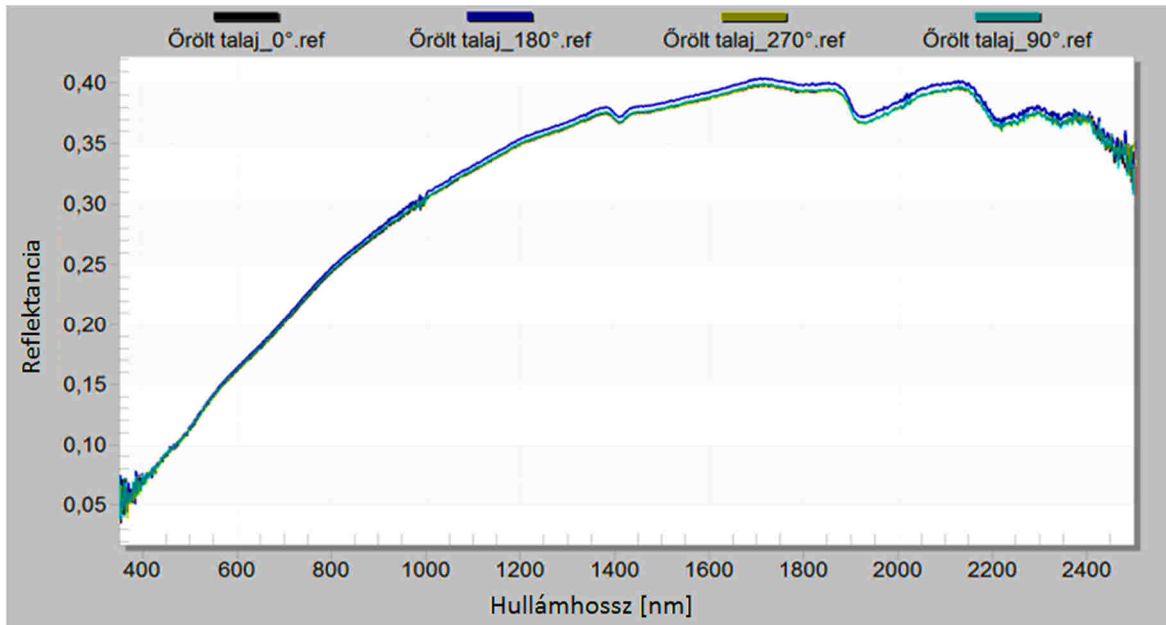
A magasságkülönbségből adódó mérési eredmények szórásban kifejezett mérési bizonytalanságot a következő ábra mutatja be (57. ábra).



57. ábra: A mérési magasságkülönbségből adódó szórás 0 [cm]-től 5 [cm]-es magasságkülönbségig terjedő mérések között.

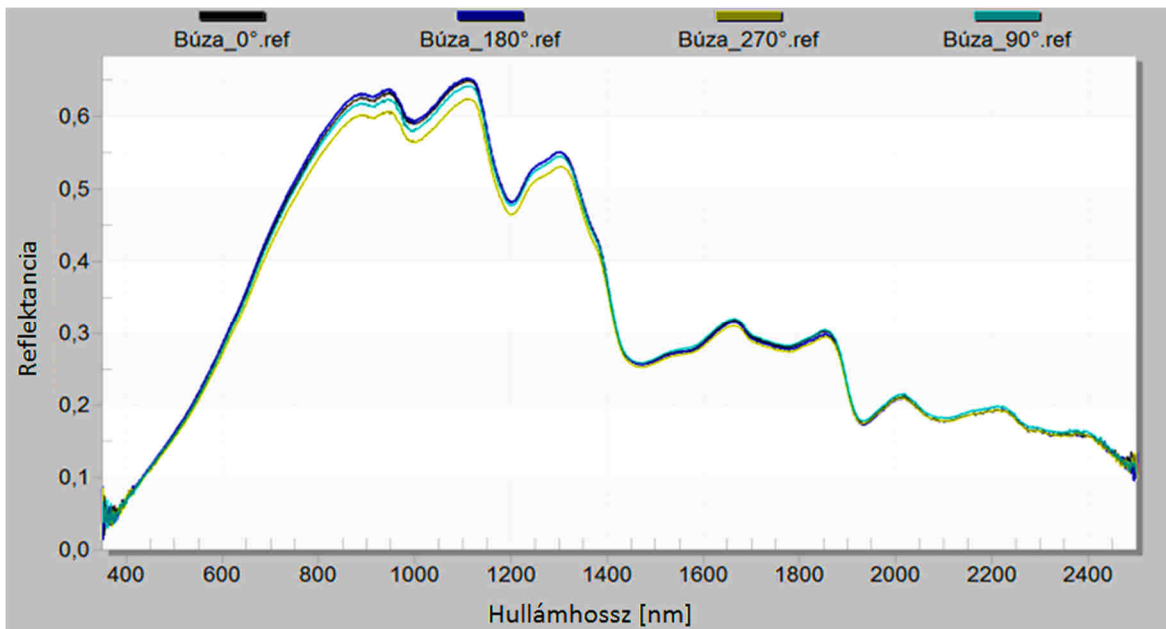
4.1.3 Megvilágítási irány jelentőségének vizsgálati eredményei (Pro Lamp eljárás)

A vizsgált minták elforgatásával minden esetben jelentős eltérést tapasztaltam a mért spektrumok összehasonlítása során. A legkisebb eltérés az őrölt talaj esetében volt (58. ábra).



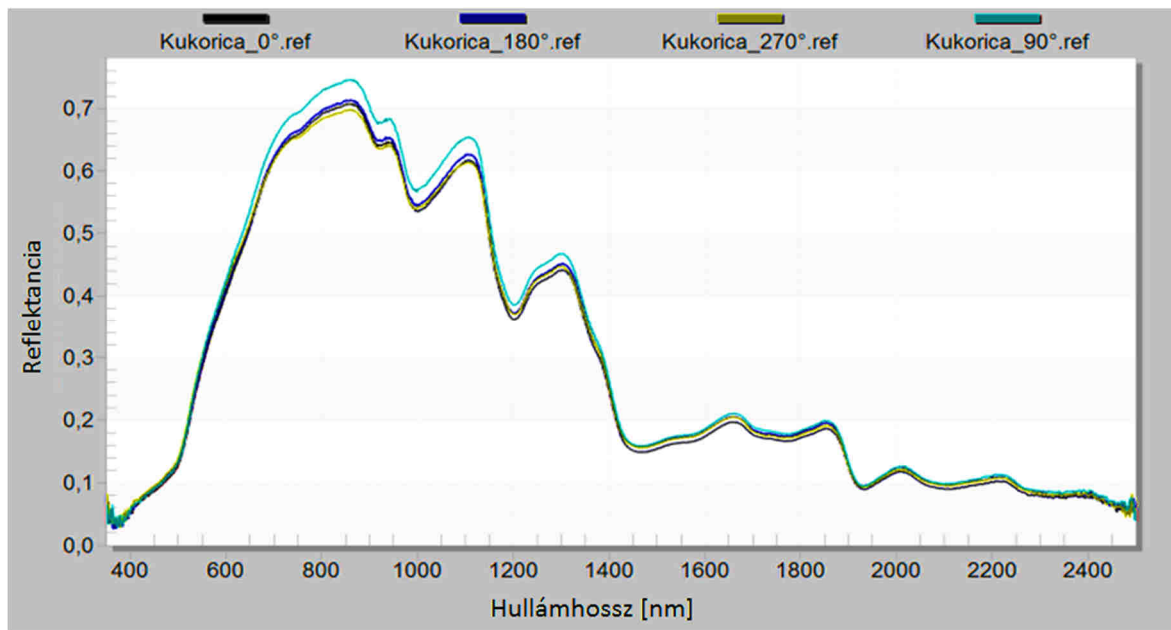
58. ábra: Elforgatás hatására változó őrölt talajminta spektruma (Függőleges tengely: reflektancia, vízszintes tengely: hullámhossz).

Búza esetében az elforgatás hatására már nagyobb eltérés volt. Elsősorban a látható és közeli infravörös tartományban (59. ábra).



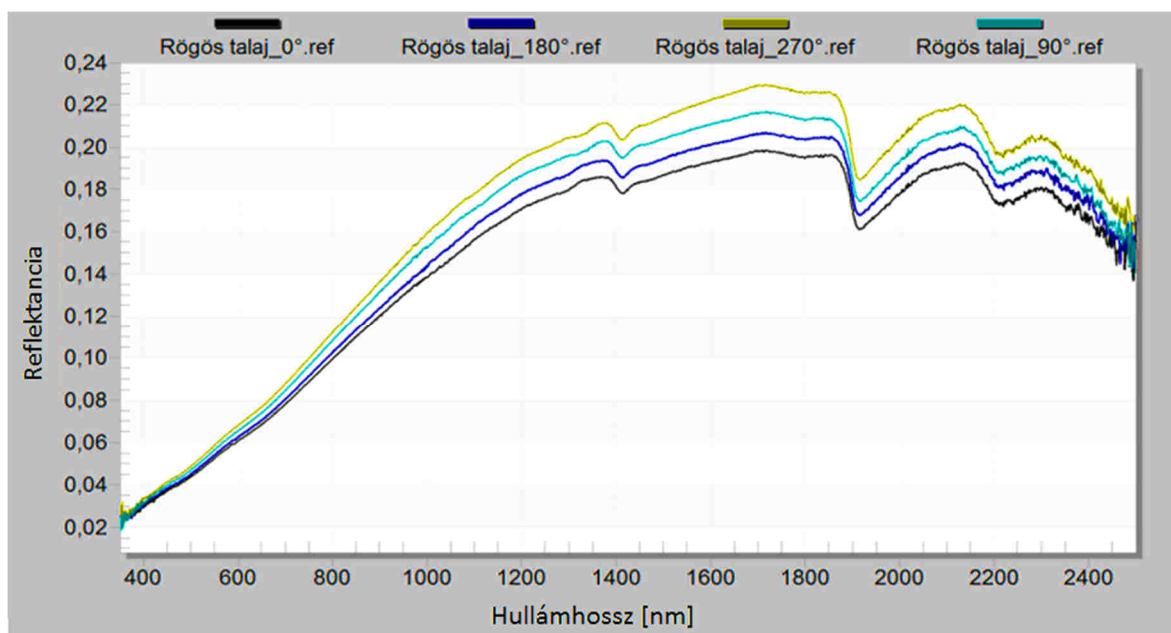
59. ábra: Elforgatás hatására változó búzaminta spektruma.

A kukoricaminta elforgatása a búzamintához képest nagyobb eltéréseket eredményezett a látható és közeli infravörös tartományban (60. ábra).



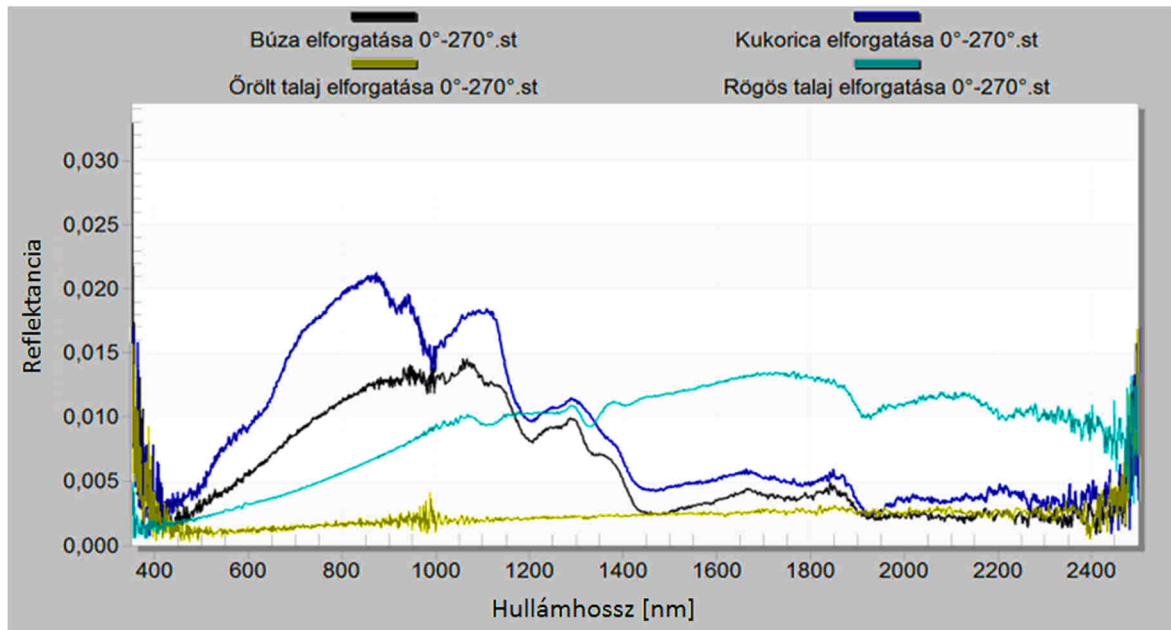
60. ábra: Elforgatás hatására változó kukoricaminta spektruma.

A minta elforgatásának hatására a négy vizsgált anyag közül a rövid hullámhosszú infravörös tartományban a rögös talaj esetében mért spektrumok között volt a legnagyobb az eltérés. Látható tartományban kisebb különbségek mutatkoztak (61. ábra).



61. ábra: Elforgatás hatására változó rögös talajminta spektruma.

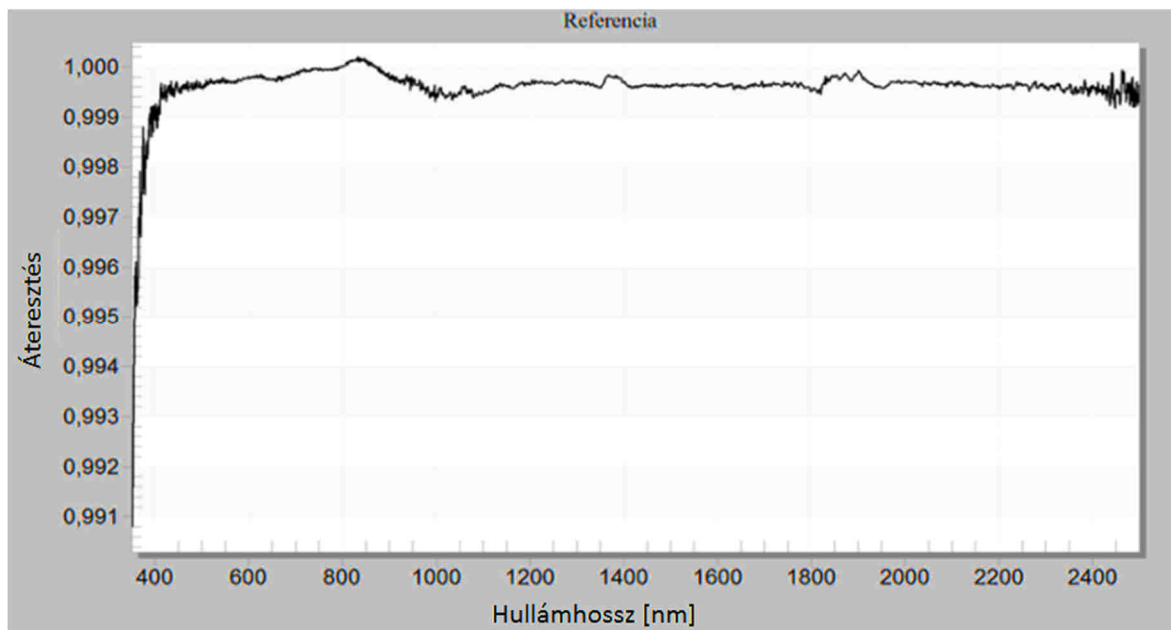
A minták megvilágítási iránytól való függésének vizsgálata céljából a négy mintára jellemző, elforgatások következtében jelentkező spektrumok szórását a 62. ábra mutatja be.



62. ábra: Búza-, kukorica, őrölt talaj- és rögös talajminta elforgatás hatására változó spektrumok szórása.

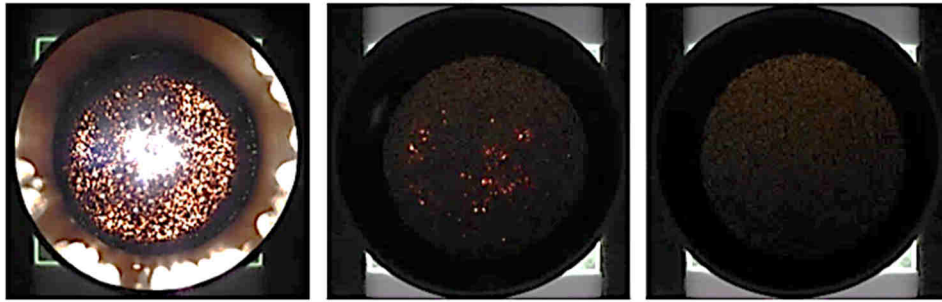
4.1.4 Minta rétegvastagság jelentőségének vizsgálati eredményei

A mérés során referenciaként a különböző rétegvastagságú minta halmozására alkalmas üres PVC csövön és a cső alját képező üveglapon áteresztett fény spektrumát vettem (63. ábra).

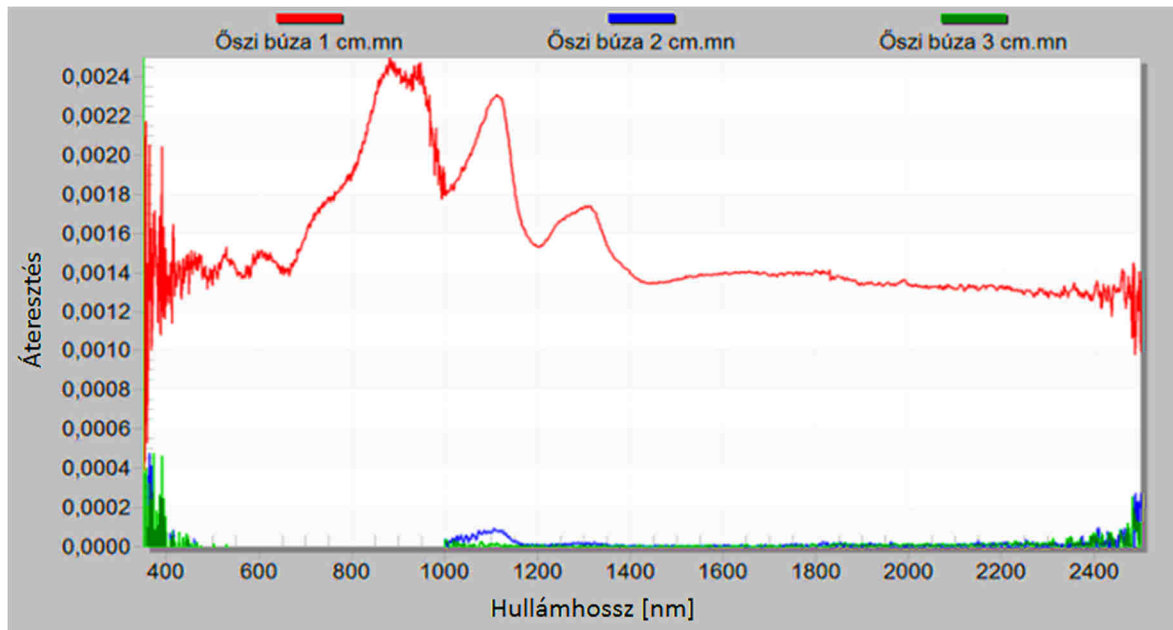


63. ábra: Referencia mérés spektuma.

Búza esetében az 1 [cm] és 2 [cm]-es rétegvastagságú minta esetén még mérhető fényáteresztést tapasztaltam. 3 [cm]-es rétegnél áteresztett fény már nem volt látható (64. ábra). Ezt a spektrométerrel végzett mérések is megerősítették (65. ábra).

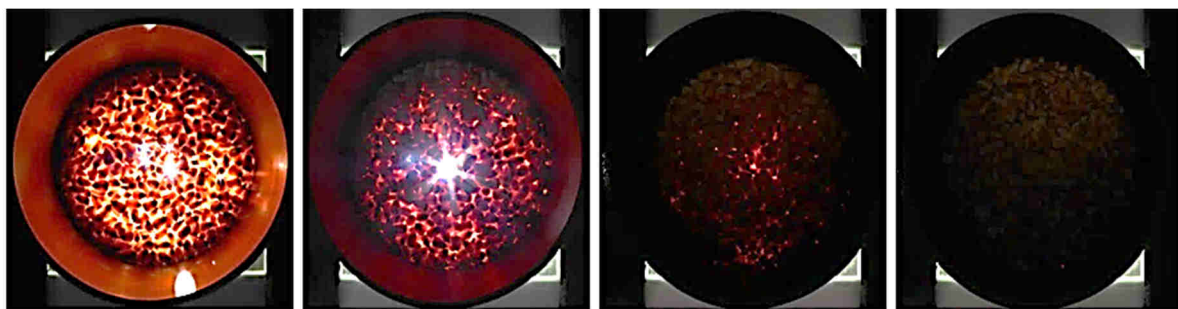


64. ábra: 1 , 2 és 3 [cm]-es rétegvastagságú őszi búza fényáteresztése a látható tartományban.

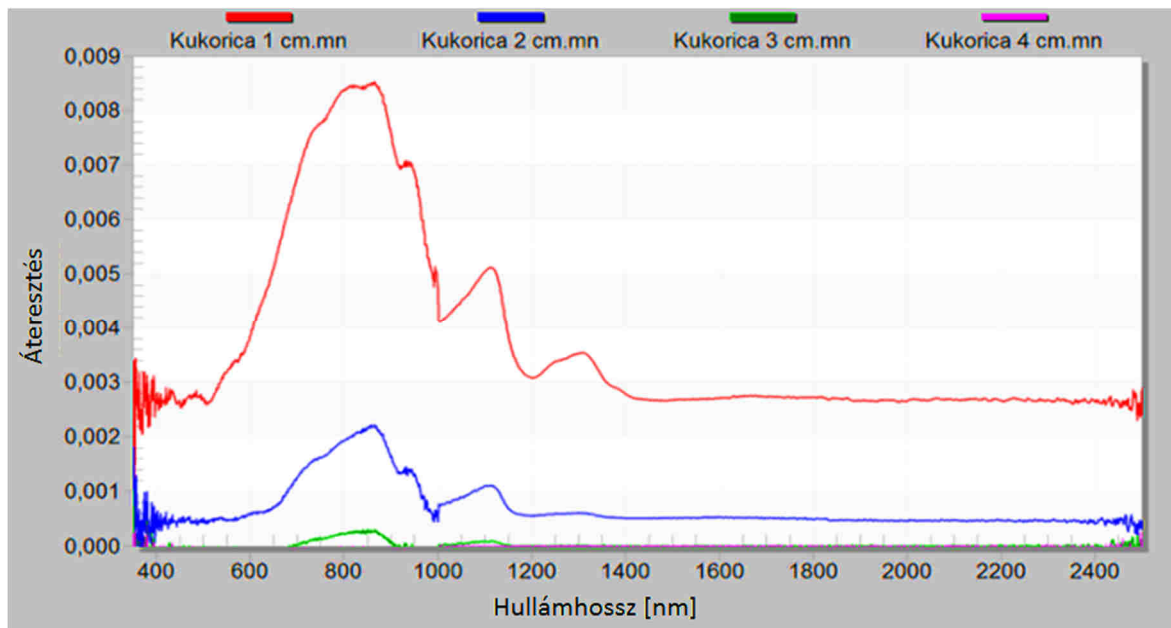


65. ábra: 1, 2 és 3 [cm]-es rétegvastagságú őszi búza fényáteresztő tulajdonsága 350-2500 [nm]-es tartományban.

Kukorica esetében 3 [cm]-ig volt látható a fényáteresztés. 4 [cm]-es rétegnél már nem (64. ábra). Ezt a spektrométerrel végzett mérések is igazolták (67. ábra).

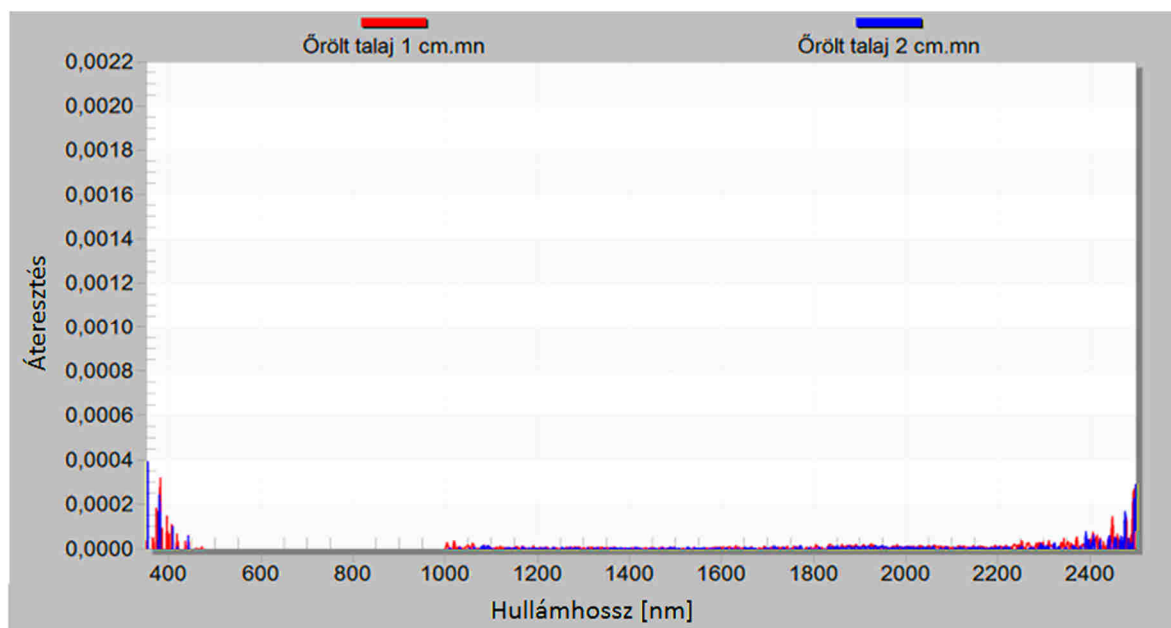


66. ábra: 1, 2, 3, 4 [cm]-es rétegvastagságú őszi búza fényáteresztése a látható tartományban.



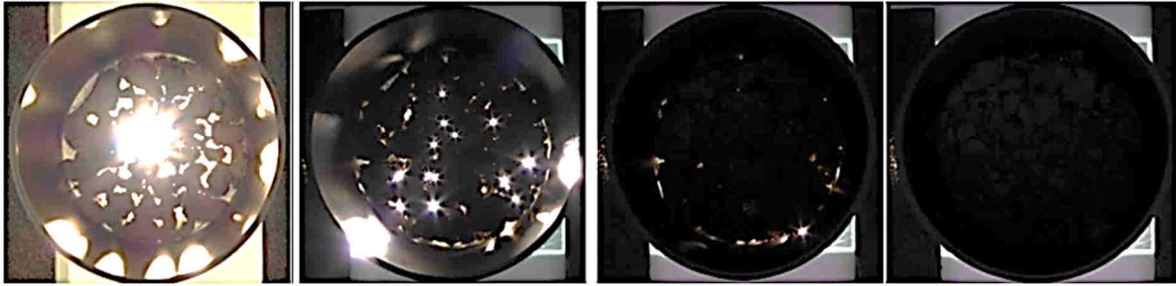
67. ábra: 1, 2, 3 és 4 [cm]-es rétegvastagságú kukorica fényáteresztő tulajdonsága 350-2500 [nm]-es tartományban.

Őrölt talajnál már az 1 [cm]-es rétegvastagságú minta is elzárta a fény útját.

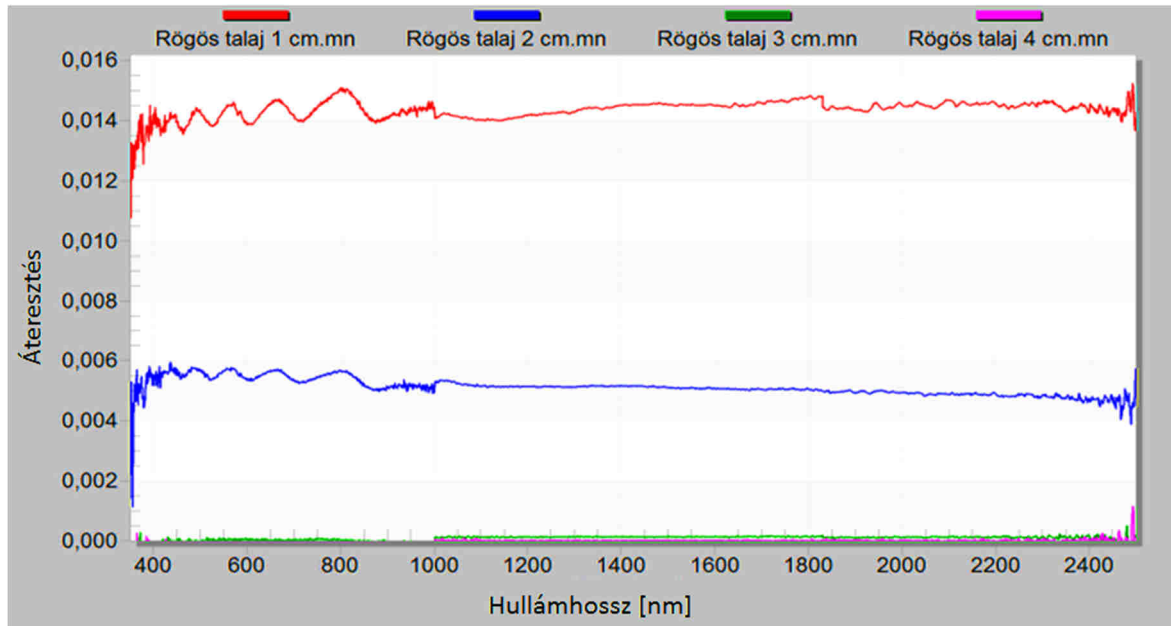


68. ábra: 1 és 2 [cm]-es rétegvastagságú talaj minta fényáteresztő tulajdonsága 350-2500 [nm]-es tartományban.

Rögös talajnál az 1 és 2 [cm]-es rétegvastagságú minták esetében jelentős fényáteresztést mértem. Nagyobbat, mint kukorica esetében. Az eredményeket fényképek (69. ábra) és spektrométerrel végzett mérések mutatják be (70. ábra).



69. ábra: Rögös talaj esetében 1 és 2 [cm] rétegvastagságnál jelentős az áteresztés.



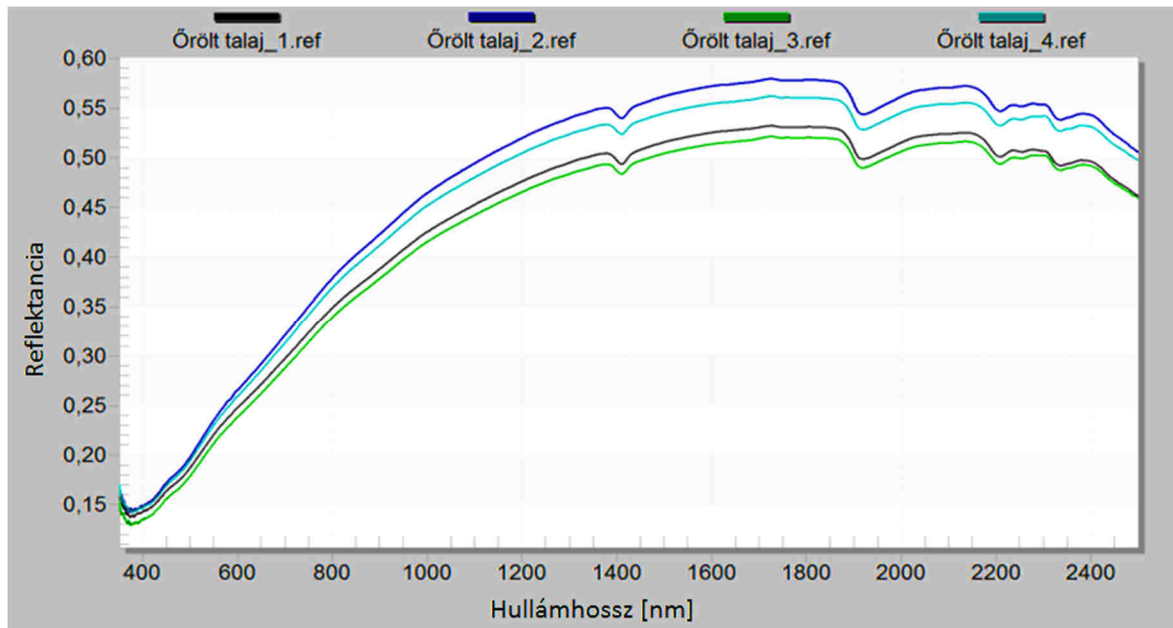
70. ábra: 1, 2, 3 és 4 [cm]-es rétegvastagságú rögös talajminta fényáteresztő tulajdonsága 350-2500 [nm]-es tartományban.

Talajörlemények vizsgálatához az 1 [cm]-es rétegvastagság is elegendő. Őszi búza vizsgálatához már a 2 [cm]-es rétegvastagság esetében is minimális áteresztést mértem.

Kukorica és rögös talaj esetében a 4 [cm]-es rétegvastagság esetében már nem volt fényáteresztés.

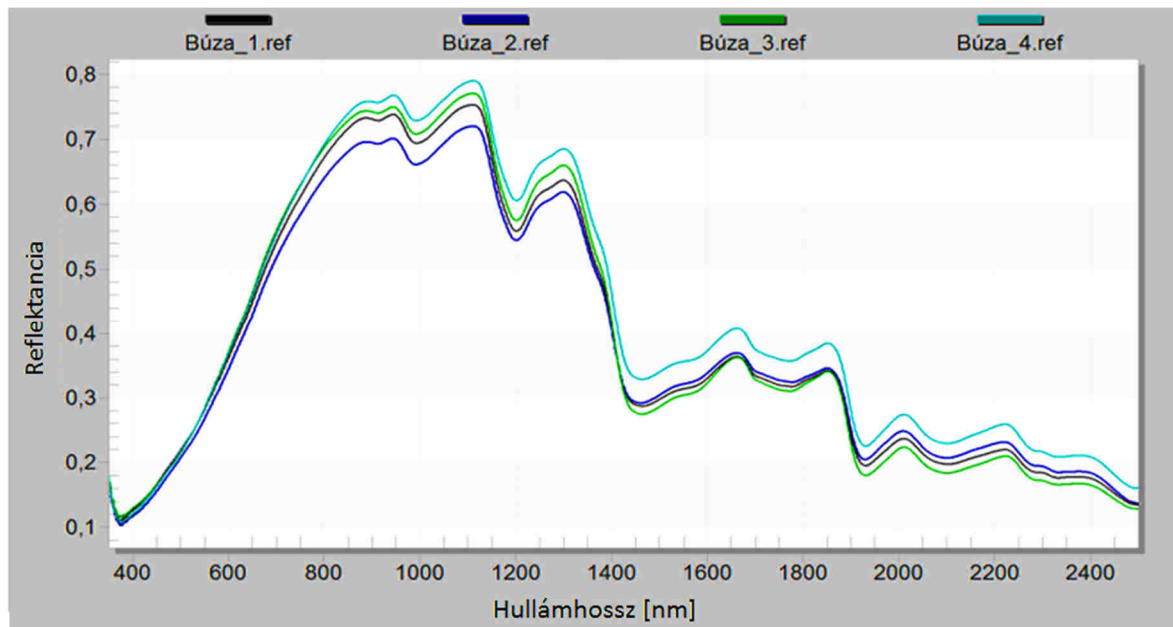
4.1.5 Kontakt eljárás bizonytalanságának vizsgálati eredményei

A mérési eredmények feldolgozásakor jelentős különbségek voltak az ismétlések között. Az eltérések nagyobbak, mint a minták elforgatásánál tapasztalt különbségek a „Pro Lamp-eljárás”-t alkalmazott mérés esetében. A legkisebb különbségeket az őrlött talaj esetében mértem (71. ábra).



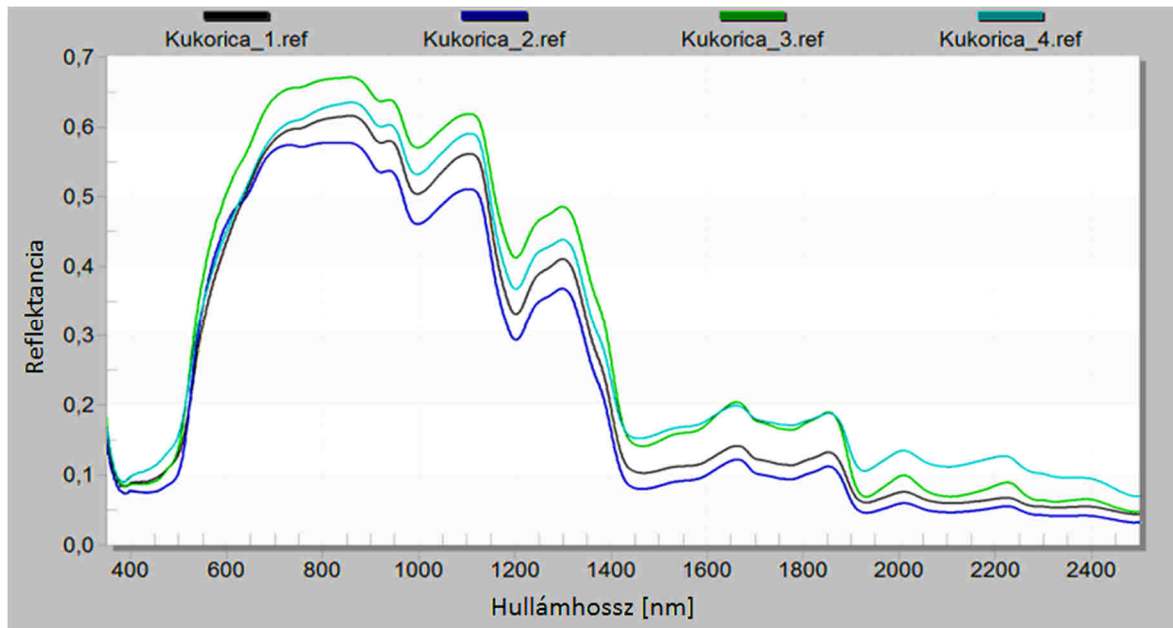
71. ábra: Őrlött talajmintán végzett mérések közötti eltérés.

A búzaminták vizsgálata nagyobb eltéréseket eredményezett. Elsősorban a közeli infravörös és rövidhullámú infravörös tartományokban (72. ábra).



72. ábra: Búzamintán végzett mérések közötti eltérés.

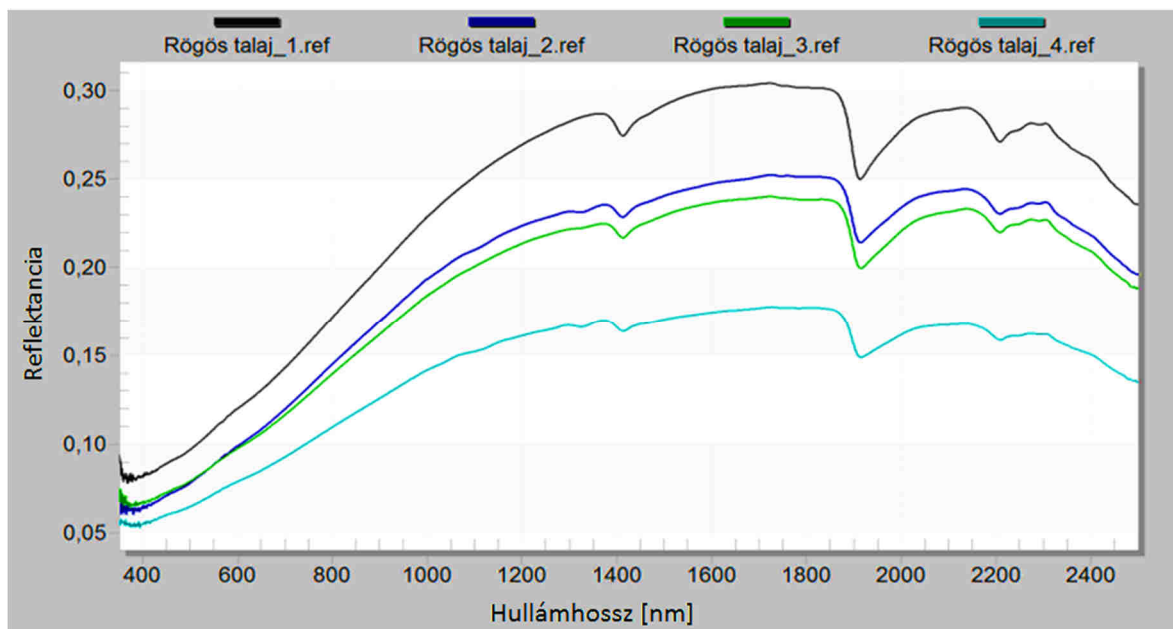
A kukoricaminta esetében a mért spektrumok közötti eltérés már a látható tartományban is jelentős (73. ábra).



73. ábra: Kukoricamintán végzett mérések közötti eltérés.

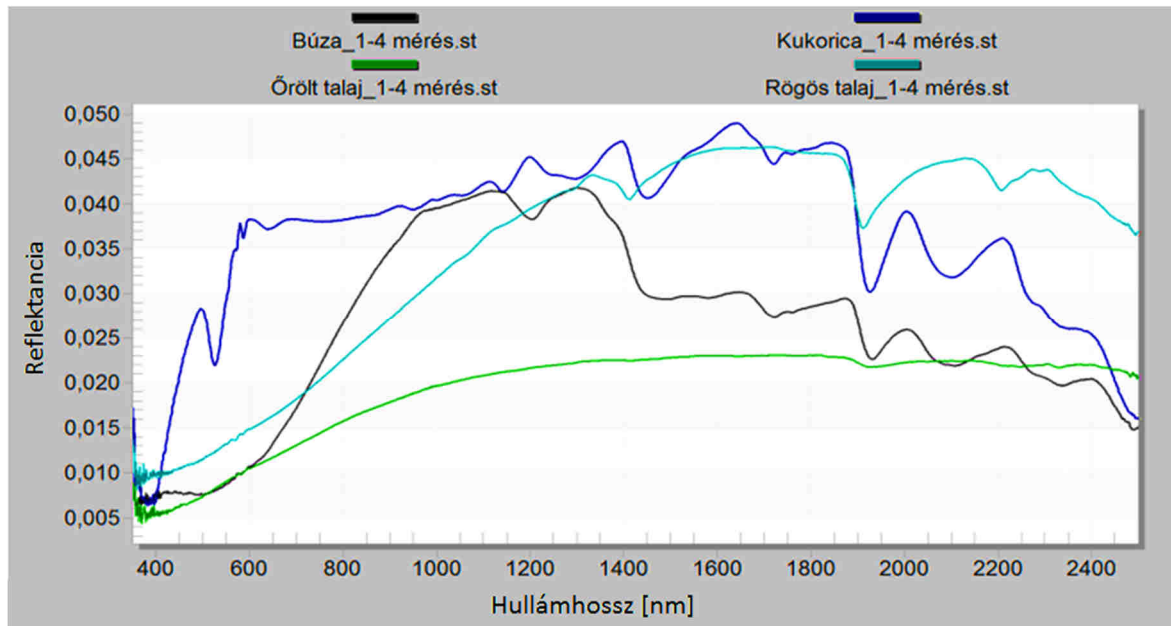
A közeli infravörös és rövidhullámú infravörös tartományokat is beleértve nagyobb eltérés mutatkozott, mint a búza esetében

Rögös talajminta esetében a műszer által érzékelt teljes hullámhossztartományban jelentős különbségek mutatkoztak (74. ábra).



74. ábra: Rögös talajmintákon végzett mérések közötti eltérés.

A minták kontakt eljárással történő mérésének bizonytalanságát a következő ábrán mutatom be (75. ábra). A számított szórás az örölt talaj esetében volt a legkisebb.



75. ábra: Búza-, kukorica, őrölt talaj- és rögös talajminta kontakt eljárás során változó spektrumok szórása.

4.1.6 Az elő-kísérletekből levont következtetések

A fehér referenciamérés és a minta spektrumának rögzítése között eltelt idő

A műszer kúszásából adódó csekély eltérés szerepe meghatározó lehet laboratóriumi körülmények között végzett mérések során. A mérések megbízhatósága növelhető a referenciamérések és a minta spektrumának rögzítése között eltelt idő standardizálásával. A legnagyobb pontosság elérése érdekében olyan eljárás kidolgozása szükséges, ahol minden mérés előtt referenciamérés történik és a két mérés között eltelt idő állandó. A műszer kúszásából adódó mérési bizonytalanság így minimalizálható. Egy olyan időzítésre van szükség, mely biztosítja, hogy minden egyes fehér referenciamérést követő konstans időn belül történjen meg a minta spektrumának rögzítése. Az időzítésnek figyelembe kell venni a minimálisan szükséges „scan” számot és a fehér referenciapanel eltávolításához, valamint a minta behelyezéséhez szükséges időt. Ezen kívül azt, hogy az elfogadott spektrumot eredményező mérési ciklus kezdete előtt már a kívánt mérési környezet álljon fenn (megvilágítás, távolság, zárt laborszekrény). A műszer ciklusokban, folyamatosan mér, így az időzítés a „scan” szám és a rögzítendő spektrumok darabszámának állításával végezhető el. Mérési tapasztalataim alapján a fenti feltételek garantált teljesüléséhez a fehér referenciamérés és a mérés között 20-30 másodpercre van szükség. Tekintve, hogy minél nagyobb a „scan” szám, annál stabilabb és pontosabb spektrum rögzíthető, valamint hogy a fehér referenciamérés és a minta mérése között eleve szükséges holtidő (a cseréhez) szempontjából az elő-kísérletek során alkalmazott 115 „scan” beállítás jó választás volt. A 115 letapogatásból álló mérés ciklusideje 12 másodperc. 4 [db] spektrum rögzítését beállítva a fehér referenciapanelen végzett fehér referenciamérést követően azonnal elindított mérési sorozat első három spektruma még a panel- és mintacsere ideje alatt, illetve nem stabil körülmények között kerül rögzítésre. A 4. spektrum azonban már garantáltan „tisztá” spektrum. A mérési eredmények kiértékelésekor minden 4. spektrum került feldolgozásra, ezeket tekintettem hasznos információknak. A fehér referenciaméréssel együtt az eljárás ~1 [perc/minta] mérési időt biztosít. A fehér referenciamérés és a minta spektrumának rögzítése között eltelt idő standardizálása garantálja, hogy minden mért spektrum egy új fehér referenciamérést követő konstans időn belül kerüljön rögzítésre, ami minimalizálja a műszer kúszásából adódó mérési bizonytalanságot. Az elő-kísérletek során alkalmazott eljárást ennek megfelelően módosítottam. A standardizált mérési időre alapozott mérési eljárás folyamatát külön mellékletben (M8) a 175. ábra mutatja be.

Megváltozó szenzortávolság jelentősége

A referenciaméréshez képest megváltozó szenzortávolság megváltoztatja a szenzor látószögét, befolyásolja a mérési eredményt. A mérések összehasonlítása érdekében nagyon fontos tehát, hogy a vizsgált minták felülete azonos magasságban legyen a használt referenciapanel felületével. A mérés során a mintatartók és a referenciapanelek méretétől függő magasságállítás a minta mérése előtt minden esetben szükséges. Olyan mintatartó állványra van szükség, ahol a mérések előtt szükséges magasságállítás gyorsan és nagy pontossággal elvégezhető.

Megvilágítási irány jelentősége

Az eredmények alapján a megvilágítás iránya befolyásolja a mért spektrumot. A hatás a szemcseméret növekedésével erősödött. A homogén örölt talaj esetében a forgatás hatása minimális. A mért spektrumok minta-textúrától és megvilágítási iránytól való függése csökkenthető a minta kézi elforgatásával és a spektrumok átlagolásával. Ez azonban időigényes, közelítő megoldás. A minta gépi forgatásának bevezetése és a minta teljes körülfordulása alatt végzett mérés a mindenkor megvilágítási iránytól független eredményt adhat. A minták forgatására alkalmas rendszerre van szükség.

Minta rétegvastagság jelentősége

A megfelelő rétegvastagság megválasztása fontos szempont a mérés során használt mintatartó kiválasztásában. A reflektancia spektroszkópiában a méréskor a minta felszínéről visszaverődő szórt fényt vizsgálják. Azonban a vizsgált mintahalmaz fizikai, kémiai jellemzőitől függően a fény behatol a mélyebb rétegekbe is. Abban az esetben, ha a minta rétegvastagsága (adott anyagjellemzők és mérési beállítás, valamint műszerérzékenység mellett) azt lehetővé teszi, a fény egy része áthalad. Ebben az esetben a mintatartó anyagától függő kölcsönhatás következik be, a fény egy része elnyelődik, fennmaradó része pedig visszaverődik a mintatartó aljáról és a mintán ismét áthaladva a szenzorba jut. A mintatartó aljáról visszaverődő fény különbözik a mintáról visszaverődő fénytől. A nem megfelelően megválasztott rétegvastagság a mérési eredményeket befolyásolja. A kísérlet során gyűjtött tapasztalatok és a feldolgozott mérési eredmények alapján a búza vizsgálatához legalább 2,5 [cm] kukorica vizsgálatához és rögös talaj vizsgálatához legalább 4 [cm] mélységű mintatartó használata szükséges. Örölt talaj esetében 1 [cm] mélységű mintatartó elegendő.

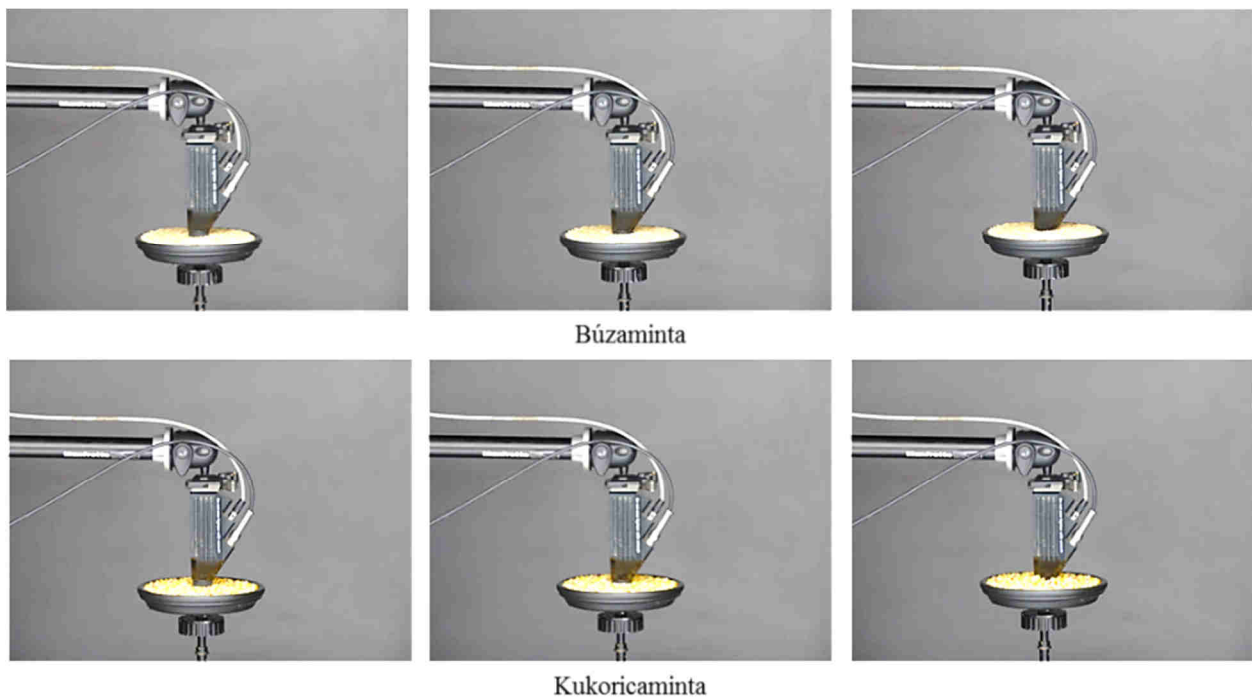
Kontakt eljárás bizonytalanságának jelentősége

Annak ellenére, hogy a mintákat nem forgattam, a kontakt eljárás során tapasztalt eltérések nagyobbak voltak, mint a „ProLamp-eljárás” esetében tapasztalt különbségek. A szórás itt is erősödött a szemcseméret növekedésével. Mivel a mintát nem forgattam, állványt használtam (nem kézzel tartottam a szenzorfejet) és mégis relatíve nagy szórás jellemezte a mérési eredményeket, a szenzorfej kialakításában kerestem a magyarázatot. A szenzorfej belső megvilágítását és a bevezetett optikai kábelt egy kvarc üveglap védi. A szenzorfejen a vizsgált minta-felszínen egy peremen fekszik fel, óvva ezzel az üveget a karcosodástól (76. ábra).



76. ábra: Plant Probe szenzorfej pereme és az üveglap által meghatározott tér (mélység 2 [mm], átmérő 18 [mm]).

Szemcsés anyaghalmozok (búzaszemek, kukoricaszemek, talajminták stb.) vizsgálata esetén a perem és a szenzorfej nem szabályozható módon süpped bele a mintába. A besüppedés mértéke és ebből adódóan az üveglap és a perem által meghatározott tér kitöltési tényezője minden mérés alkalmával véletlenszerűen változik (77. ábra) és ez hatással van a mért spektrumra.



77. ábra: Búza és kukoricaminták esetében változó szenzorfej mélységek.

Egy anyaghalmoz szemcsemérete, alakja és a halmoz belső súrlódása meghatározza az adott anyagra jellemző kontakt mérési bizonytalanságot.

A kontakt eljárás során a szenzorfej üvege karcolódik, a fehér referencia panel pedig szennyeződik, deformálódik (78. ábra), mely hatással van a reflexiók tulajdonságra.



78. ábra: Karcolódott Plant Probe szenzorfej (balra), szennyezett fehér referencia panel felszíne a szenzorfej látható lenyomataival (jobbra).

Ezen tényezők szintén növelik a mérési bizonytalanságot. Az állandó tisztítás időigényes, az üveglap és a referenciapanel időről-időre szükséges cseréje pedig rendkívül költséges. Mindazonáltal a kontakt szenzorfej alkalmazása perspektivikus, mivel ebben az esetben a szenzor és a minta közötti távolság elméletileg zérus. Ebből adódóan a légköri tényezők hatása nem befolyásolja a mérési eredményeket. A kontakt eljárás során tisztább, stabilabb spektrum rögzíthető. A ProLamp megvilágítás mellett végzett mérések és a Plant Probe szenzorfejjel végzett kontakt eljárás spektrumain a különbség jól látható. A jelenséget a 62. ábra és a 75. ábra által bemutatott szórásgörbék lefutása szemlélteti a leglátványosabban. A ProLamp megvilágítás mellett végzett mérések megvilágítási iránytól való függése kisebb, mint a Plant Probe szenzorfejjel végzett mérések kitöltési tényezőtől való függése, de a szóráspektrumok utóbbi esetében nem zajosak. A kontakt eljárás tehát megbízhatóbb mérési eredmények lehetőségét kínálja, de a bemutatott hátrányokat és bizonytalansági tényezőket minimalizálni kell. Olyan mérési eljárásra van szükség, ahol a mért spektrum független a változó kitöltési tényezőtől. Egy állandó, mintafelzín-től kis magasságban végrehajtott méréssel ez megoldható lehet. Ezt követően a megvilágítási iránytól való függés a kontakt szenzorfejjel történő mérés esetén is vizsgálendő tényező.

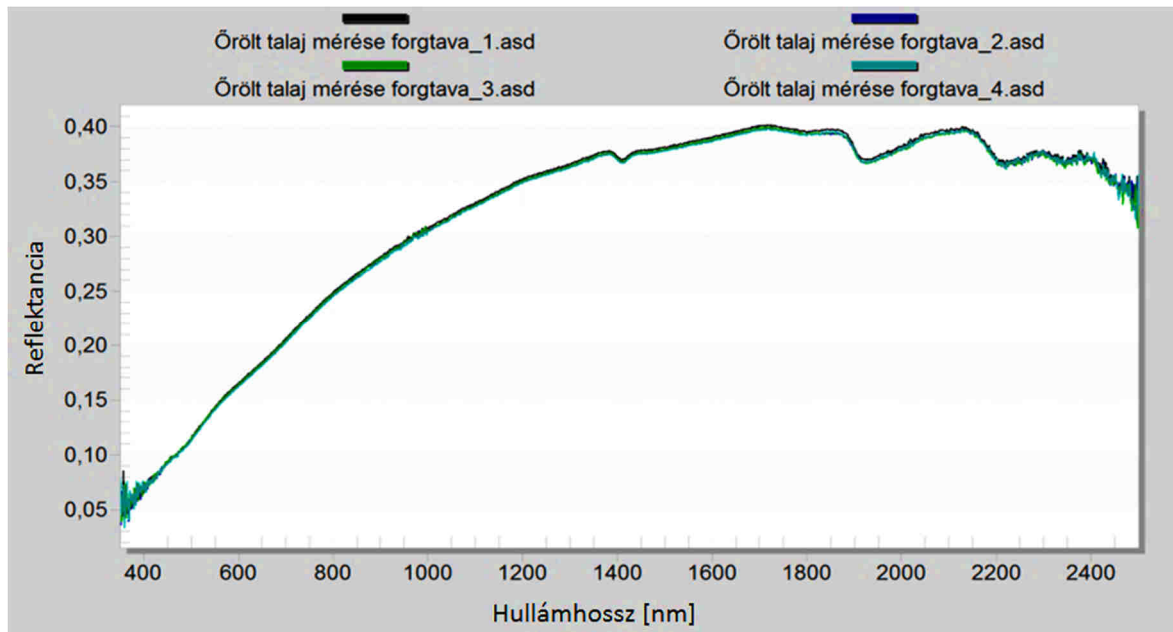
4.2 Mintaforgató rendszerrel javított mérések

Az általam kidolgozott mintaforgató rendszerrel javított vizsgálati eljárásnak köszönhető eredményeket a következő alfejezetekben ismertetem.

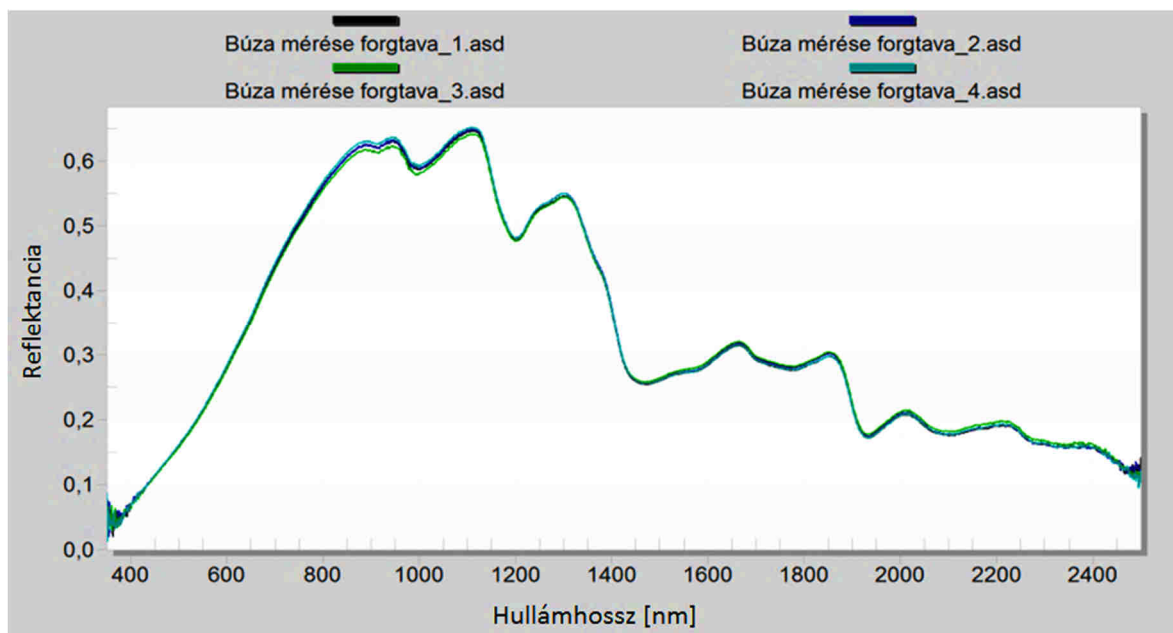
4.2.1 Mintaforgató rendszerrel javított „ProLamp eljárás” eredményei

A mintaforgató rendszerrel kiegészített „ProLamp eljárás” alkalmazásakor jelentős csökkenést tapasztaltam a mérési bizonytalanságban. Mindegyik minta esetében egyértelműen kisebb volt az eltérés az ismételt mérések között, mint a kézzel történő elforgatások után mért eredmények esetében.

A legkisebb különbség az őrölt talaj esetében jelentkezett (79. ábra). A búzaminta mérése során a látható tartományban volt kisebb a különbség (80. ábra).

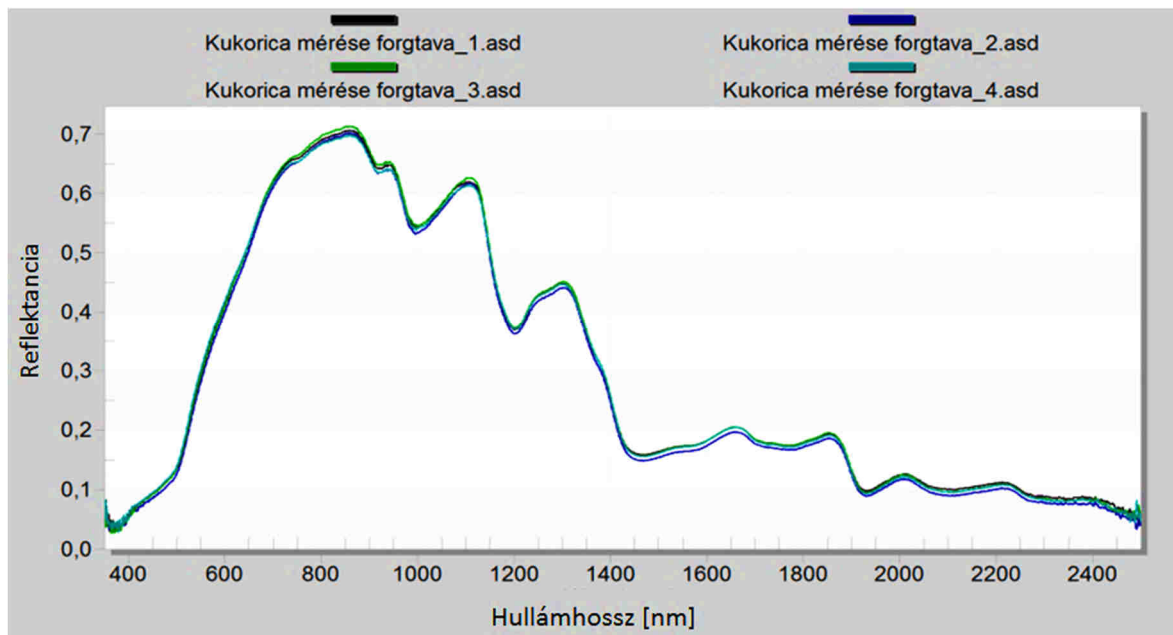


79. ábra: Mintaforgató rendszerrel javított „ProLamp eljárás” esetében az ismételt mérések között változó őrölt talajminta spektruma.

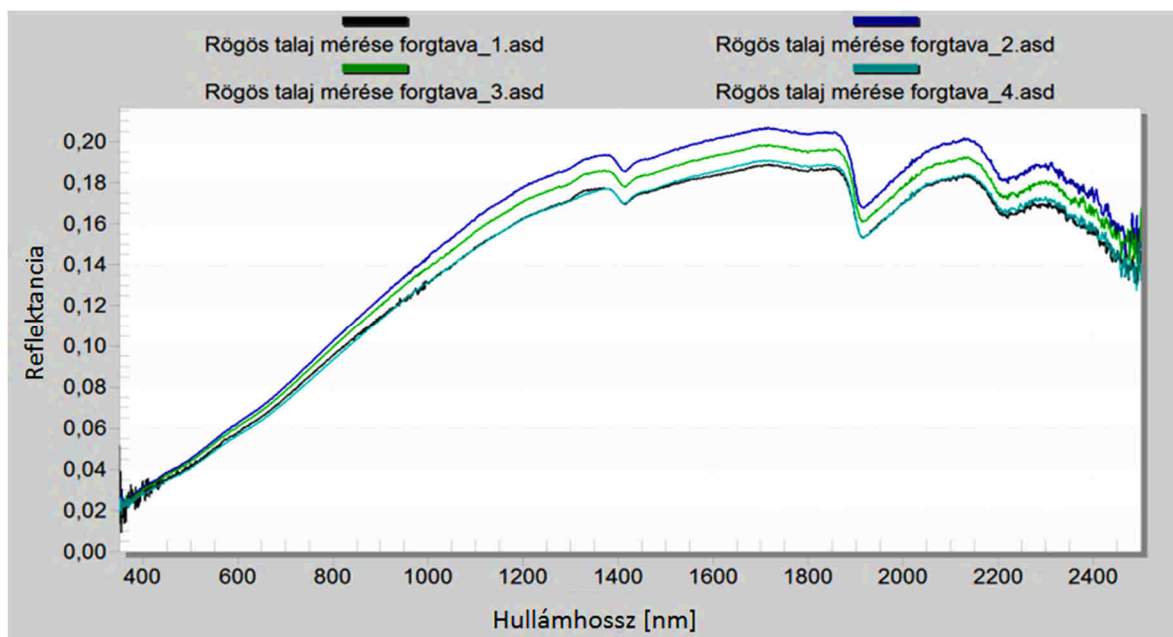


80. ábra: Mintaforgató rendszerrel javított „ProLamp eljárás” esetében a mérés során az ismételt mérések között változó búza spektruma.

Kukoricaminták ismételt mérésekor a látható és közeli infravörös tartományban jelentkeztek kisebb eltérések (81. ábra). A legnagyobb eltérést a rögös talajminta spektrumai között mértem. A legnagyobb különbség a rövidhullámú infravörös tartományban látható (82. ábra).

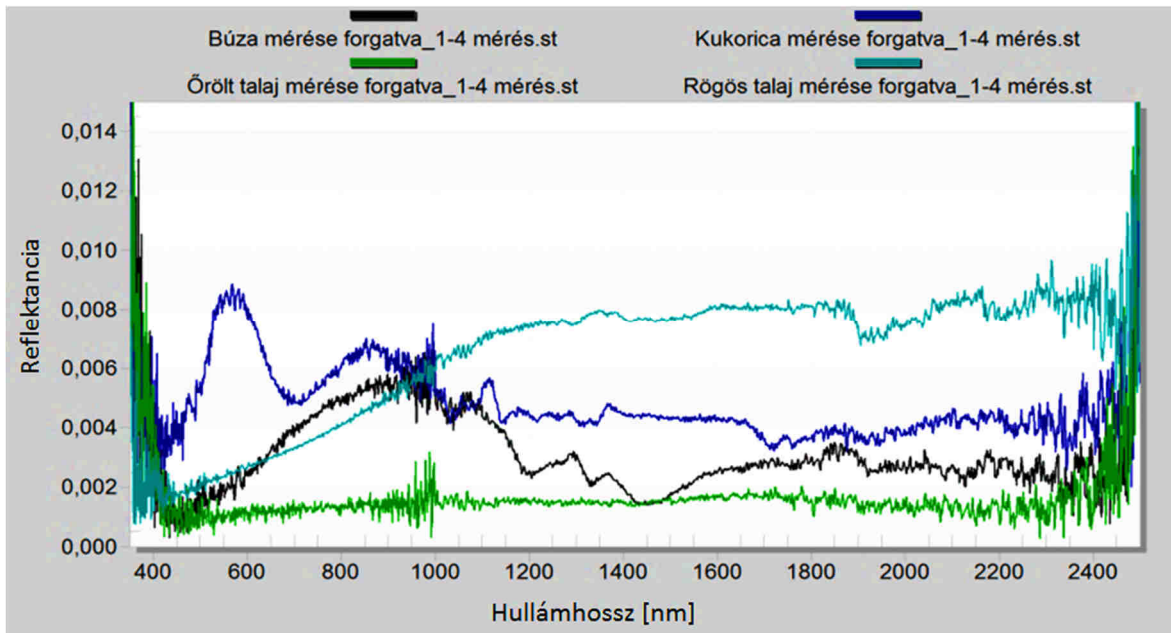


81. ábra: Mintaforgató rendszerrel javított „ProLamp eljárás” esetén a mérés során az ismételt mérések között változó kukorica spektruma.



82. ábra: Mintaforgató rendszerrel javított „ProLamp eljárás” esetében a mérés során az ismételt mérések között változó rögös talajminta spektruma.

A mért spektrumok közötti eltérés mértékét a görbék szórásának ábrázolásával szemléltetem (83. ábra). A szórás mind a négy minta esetében alacsonyabb, mint a mintaforgató rendszer alkalmazása nélkül, kézi forgatások között elvégzett méréseknél (62. ábra).



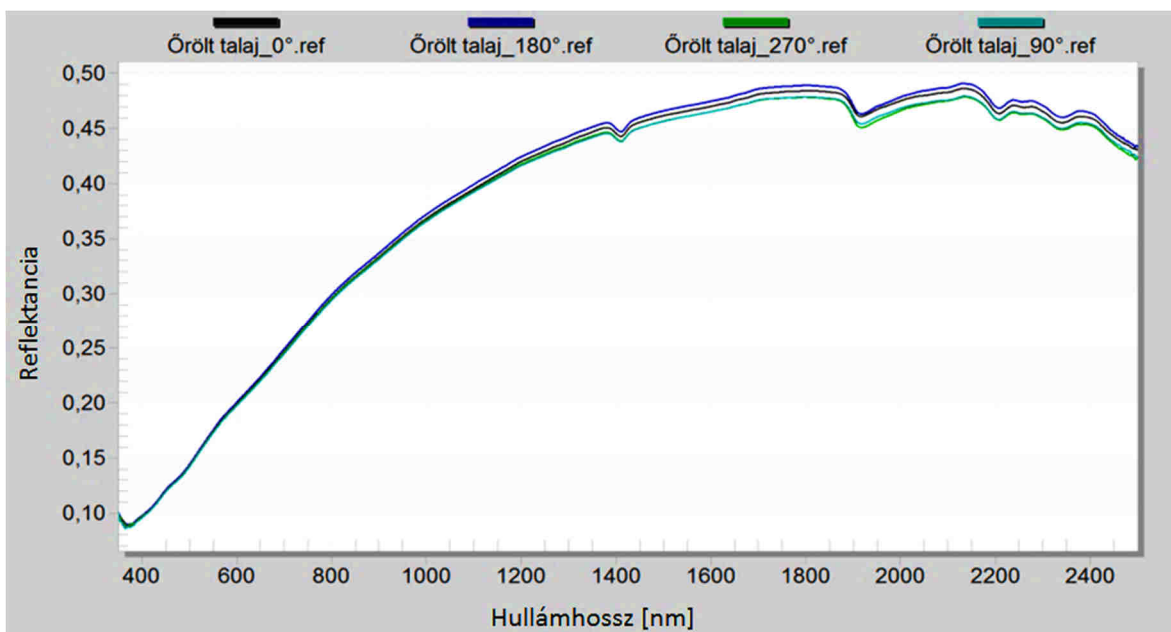
83. ábra: Mintaforgató rendszerrel javított „ProLamp eljárás” esetében a vizsgált búza-, kukorica-, Őrölt talaj- és rögös talajminta elforgatás hatására változó spektrumok szórása.

Az ismételt mérésekből számított szórásgörbék a szemcseméret szerint növekvő szórást mutatnak, a rövidhullámú infravörös tartományban egyértelműen. A mért spektrumok, illetve a szórásgörbék zajosak.

4.2.2 Kontakt-közeli mérési eljárás eredményei

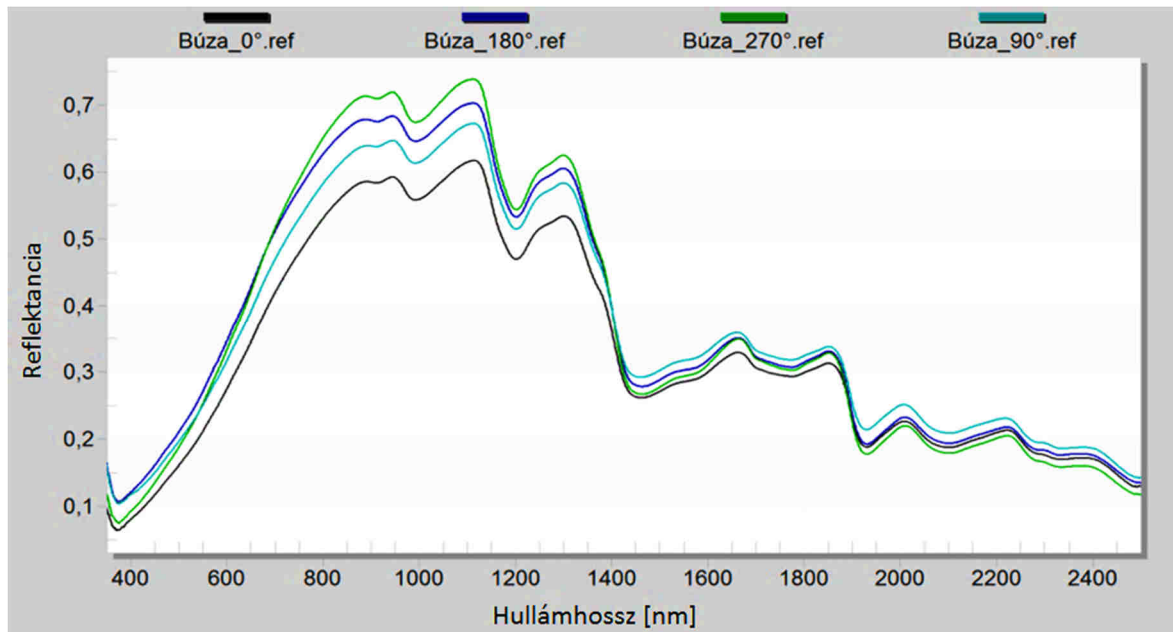
A ProLamp megvilágítással végzett 700 [mm]-es megvilágítási távolság és 150 [mm]-es szenzortávolság estében tapasztalt megvilágítási irányfüggés a kontak-közeli mérés esetében is jelentkezett. Azonban az 1 [mm]-es mérési magasság mellett a légkör befolyásoló hatása nem jelentkezett.

Őrölt talaj esetében volt a legkisebb eltérés az elforgatott minták eredményie között (84. ábra).



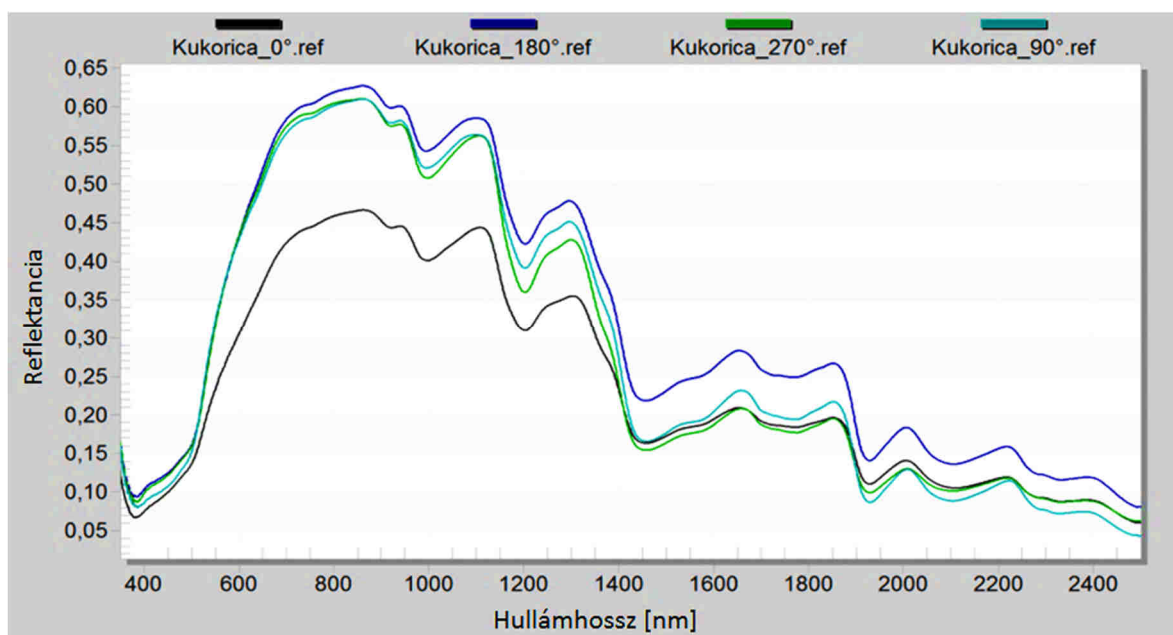
84. ábra: Kontakt-közeli mérés során az elforgatás hatására változó Őrölt talajminta spektruma.

A búza esetében a talajnál tapasztalt eltérésekhez képest nagyobb különbségeket tapasztaltam (85. ábra). A különbség a látható és a közeli infravörös tartományban volt a nagyobb.



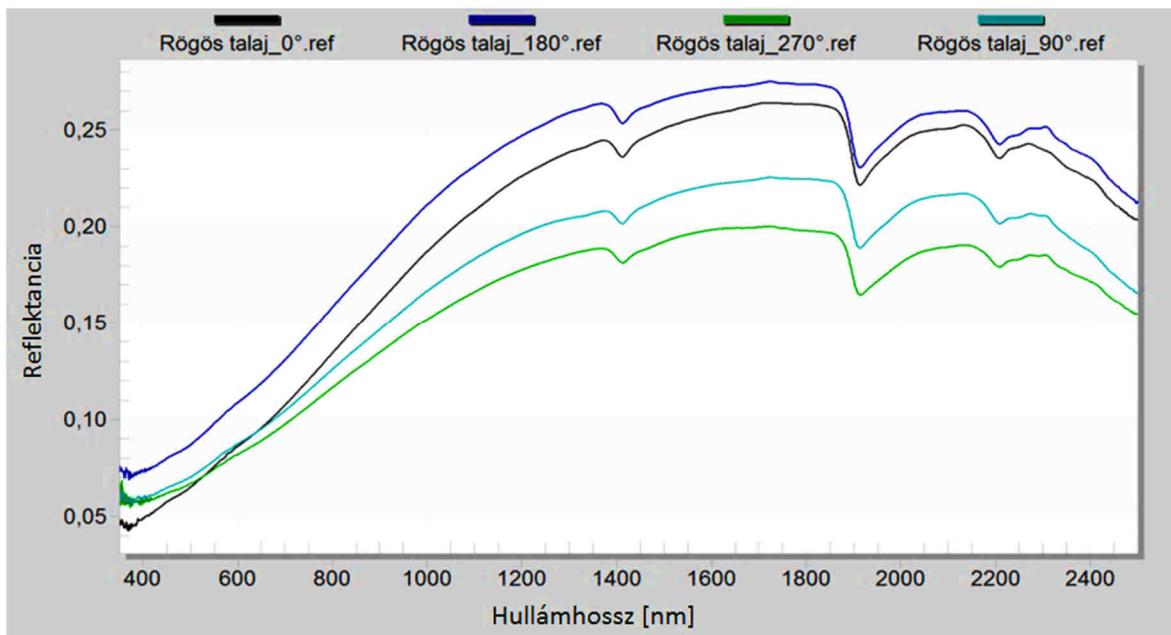
85. ábra: Kontakt-közeli mérés során az elforgatás hatására változó búzaminta spektruma.

A kukoricamintákon végzett mérések spektrumi nagyobb eltérést mutatnak, mint a búzánál. Jelentős különbségek láthatóak a rövidhullámú infravörös tartományban is (86. ábra).



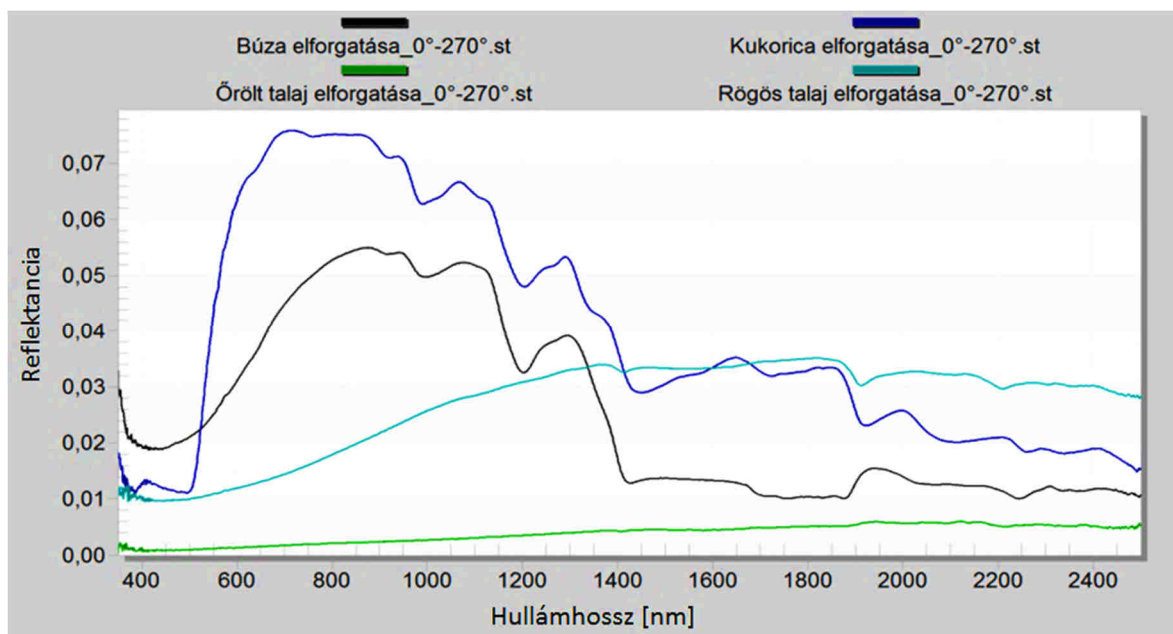
86. ábra: Kontakt-közeli mérés során az elforgatás hatására változó kukoricaminta spektruma.

A legnagyobb különbségeket a „ProLamp eljárás”-hoz hasonlóan a rögzös talajminta eredményezte (87. ábra). Elsősorban a rövidhullámú infravörös tartományban jelentkeztek az eltérések.



87. ábra: Kontakt-közeli mérés során az elforgatás hatására változó rögös talajminta spektruma.

A négy minta esetében a megvilágítási iránytól való függést az elforgatások következtében mért spektrumok szórása mutatja be (88. ábra).

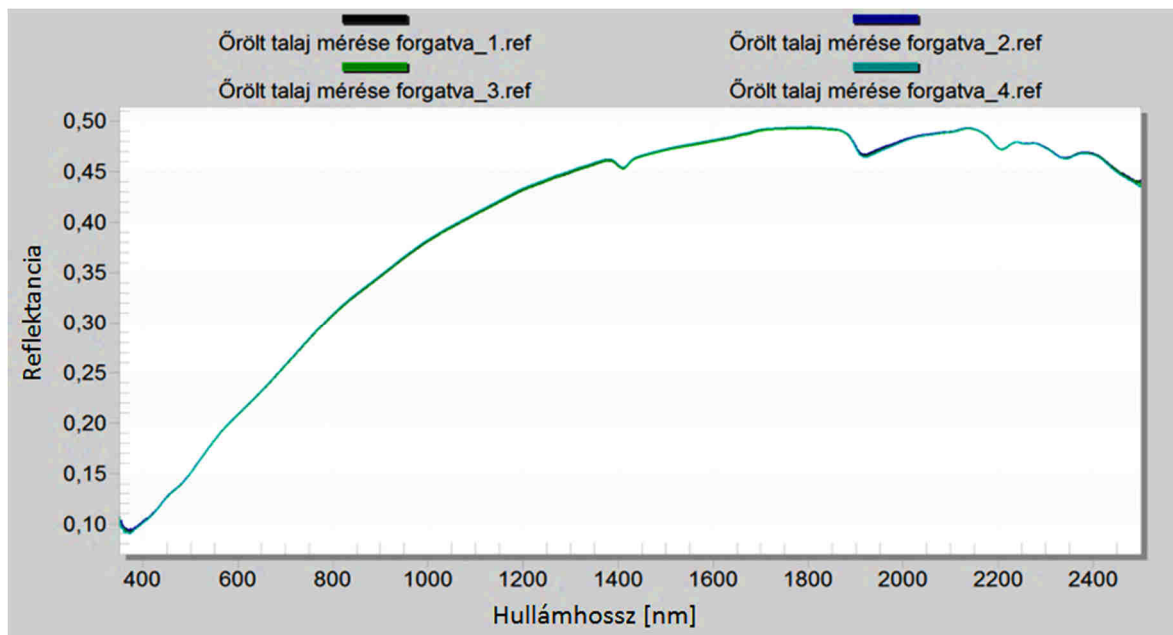


88. ábra: Kontakt-közeli eljárással vizsgált búza-, kukorica-, őrölt talaj- és rögös talajminta elforgatás hatására változó spektrumok szórása.

A homogén őrölt talajnál kismértékű a szórás, azonban a rögös talajminta esetében jelentősen megnő. A rövidhullámú infravörös tartományban a rögös talaj, látható és közeli infravörös tartományban a kukoricaminta spektrumok szórása a legmagasabb. Az elforgatásra bekövetkező szórás minden esetben kisebb, mint a kontakt mérési eljárással rögzített spektrumoknál (75. ábra).

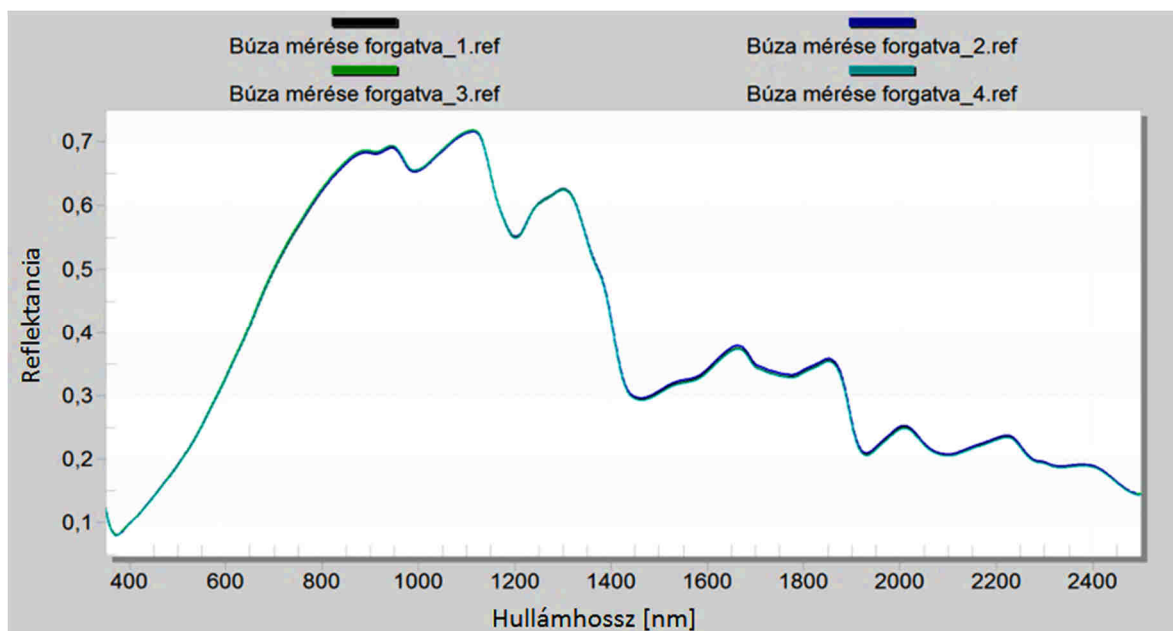
4.2.3 Mintaforgató rendszerrel javított kontakt-közeli mérési eljárás eredményei

A mérési eredmények alapján a mintaforgató rendszerrel javított kontakt-közeli vizsgálati eljárás nagymértékben csökkentette a mérések közötti szórást, minden minta esetében. A legkisebb szórás az ismételt elvégzett mérések között ismét az őrlött talaj esetében tapasztaltam (89. ábra).



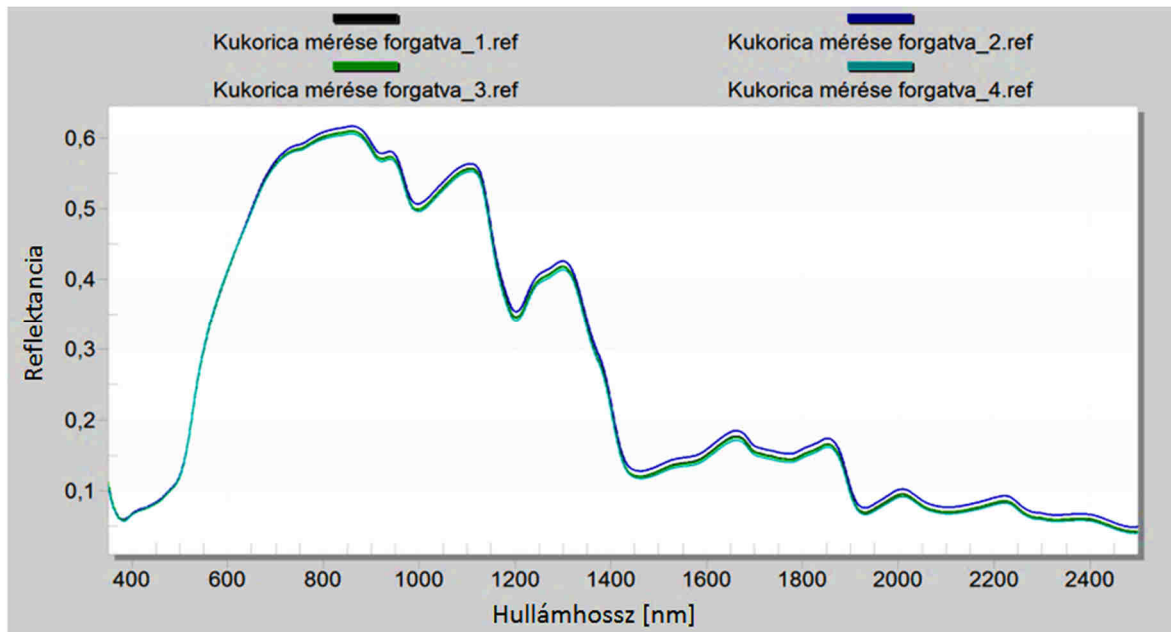
89. ábra: Mintaforgató rendszerrel javított kontakt-közeli mérés során az ismételt mérések között változó őrlött talajminta spektruma.

Minimális szórás növekedés látható a búzaminták ismételt mérésekor rögzített spektrumok között (90. ábra).

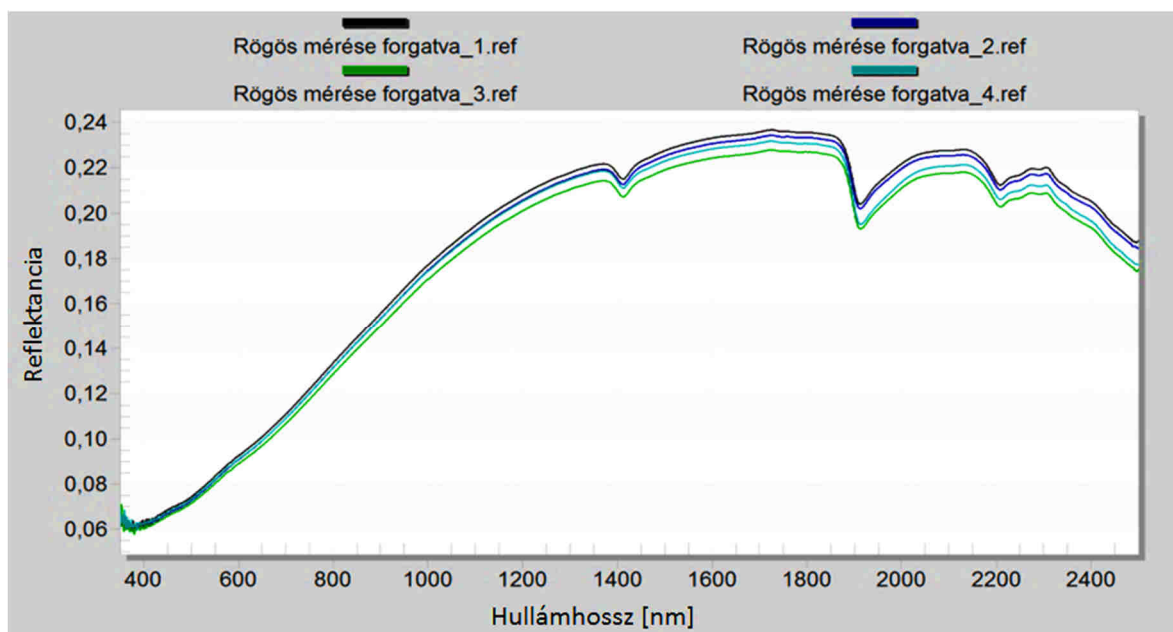


90. ábra: Mintaforgató rendszerrel javított kontakt-közeli mérés során az ismételt mérések között változó búzaminta spektruma.

Kukorica esetében az eltérés tovább növekedett, látható, közeli infravörös és rövid hullámhosszú infravörös tartományban (91. ábra). Rögös talajminta esetében a spektrumok közötti eltérés a hosszabb hullámhosszakon meghaladta a kukoricaszpektrumok közötti különbséget (92. ábra).

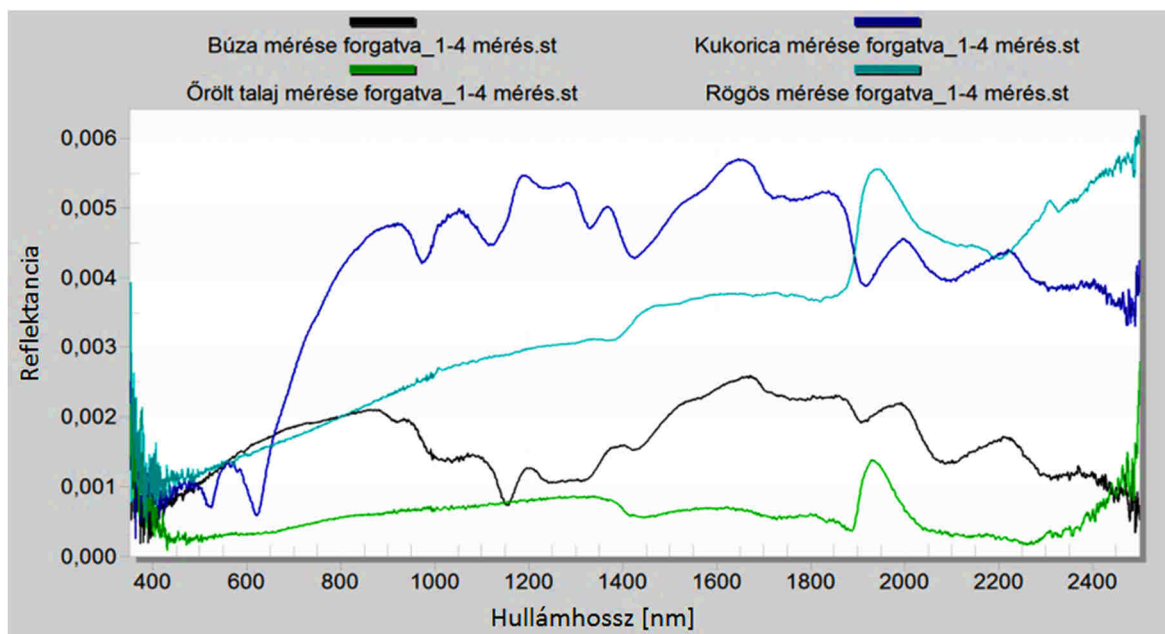


91. ábra: Mintaforgató rendszerrel javított kontakt-közleli mérés során az ismételt mérések között változó kukoricaminta spektruma.



92. ábra: Mintaforgató rendszerrel javított kontakt-közleli mérés során az ismételt mérések között változó rögös talajminta spektruma.

Az ismételt mérésekből számított szórásgörbék a szemcseméret szempontjából hasonló tendenciát mutatnak, mint a „ProLamp eljárás”, illetve a kontakt közeli mérés esetében. A kézzel történő elforgatás után ismételt mérések szórásához képest a mintaforgató rendszerrel javított kontakt közeli mérések ismétléseinek számított szórása egy nagyságrenddel kisebb (93. ábra).



93. ábra: Mintaforgató rendszerrel javított kontakt-közeli vizsgálati eljárással vizsgált búza-, kukorica-, őrölt talaj- és rögös talajminta elforgatás hatására változó spektrumok szórása.

4.3 Terepi mérések

Ebben a fejezetben a terepi mérések során felvett spektrumok feldolgozását mutatom be. Terepi mérések során az 1350-1450, 1800-1950 és 2350-2500 [nm]-es tartományokban jól látható a légköri hatás. Ezekben a tartományokban megnő az atmoszféra elnyelése és szórása, elsősorban a levegő páratartalma miatt. A fenti tartományok szűrésének lehetőségét vizsgálva azt tapasztaltam, hogy az adatok folytonosságának hiánya problémát jelentett a modellalkotás során. A három sáv által meghatározott tartományok (350-1349, 1451-1799 és 1951-2349 [nm]) önálló osztályozása esetén a hatékonyság jelentősen romlott.

4.3.1 Kalászhányás előtti mérés

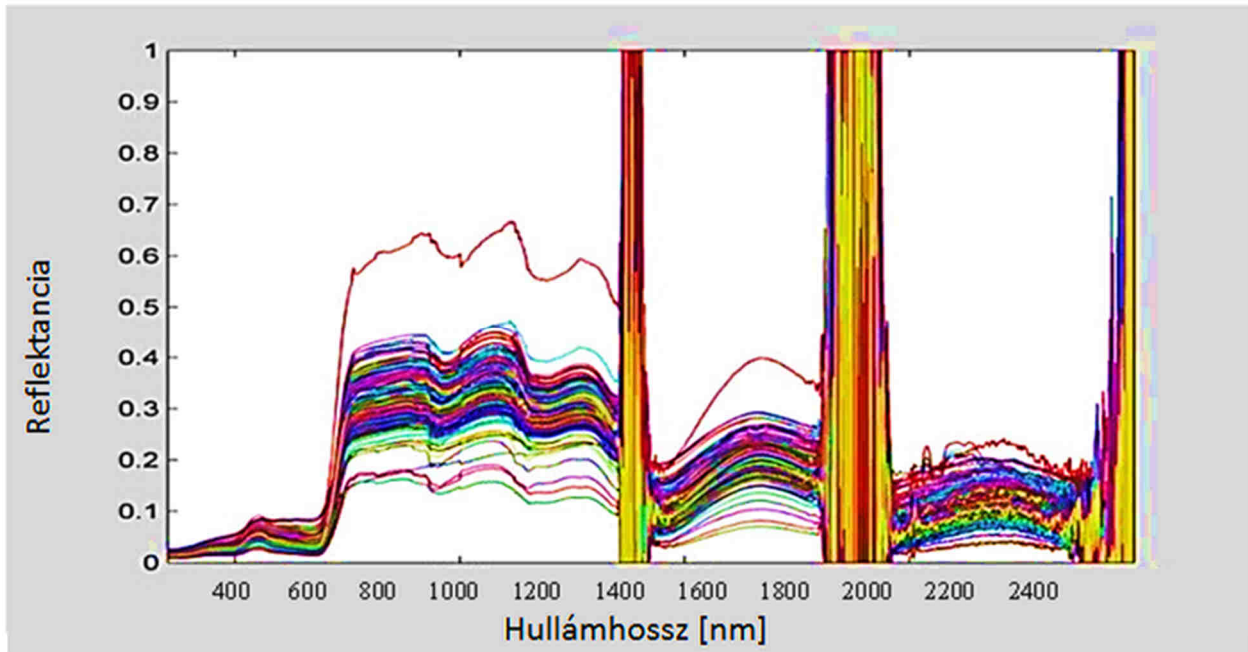
Kalászhányás előtti mintavétel egymást követő évben történt. Ennek megfelelően a 2011-es évben felvett adatokat a belső-ellenőrzést és kereszt-ellenőrzést követően a 2012-es évben felvett adatokkal validáltam. A kalászhányás előtt, zöld állományban végzett mérések feldolgozását az alábbiakban ismertetem.

A kalibrációt, a kereszt ellenőrzést és validációt, illetve a modellt jellemző részletes eredményeket táblázatokban foglaltam össze, illetve grafikonokkal szemléltettem. Az eljárás folyamatábráját az M9 mellékletben mutatom be (178. ábra).

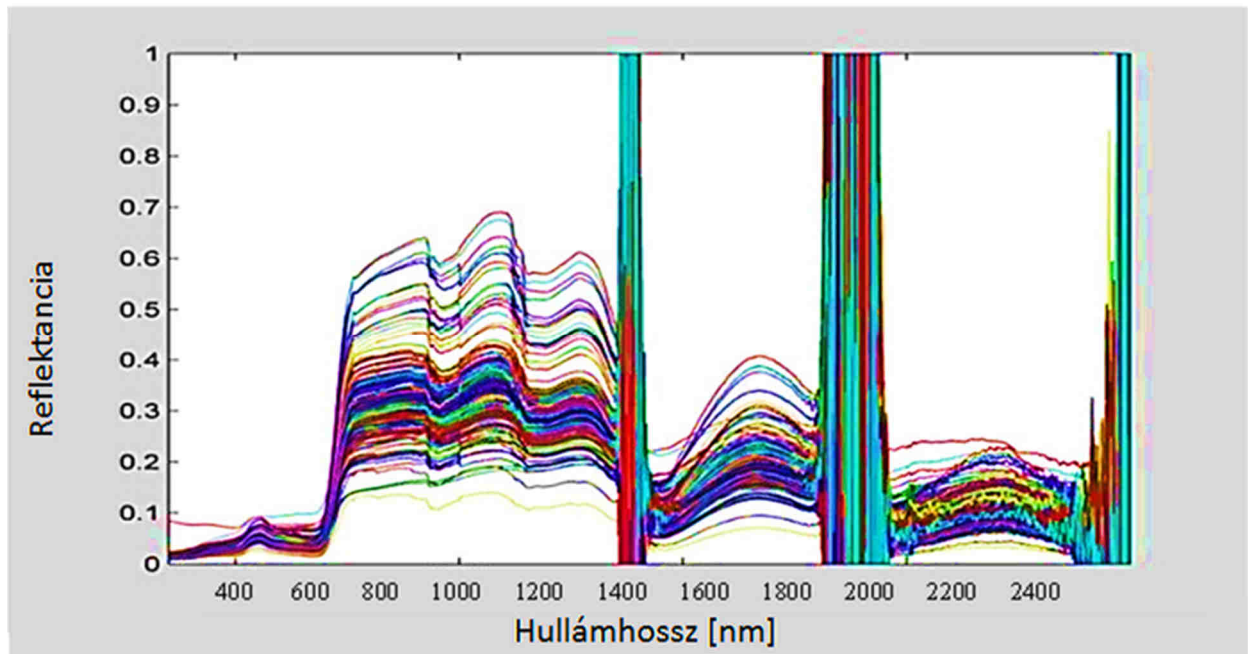
A nyers adatok

A kalászhányás előtt végzett terepi mérések során felvett reflektancia spektrumokat csoportosítva ábrázolom, évfáronként (300 [db] spektrum) (94. ábra, 95. ábra).

Fajtára jellemző reflexiós csúcsot, vagy csúcsokat egyik fajta esetében sem találtam. A spektrumokat a 3.4.3 fejezetben bemutatott lépéseknek megfelelően készítettem elő.



94. ábra: A 2011 évben felvett terepi spektrumok.



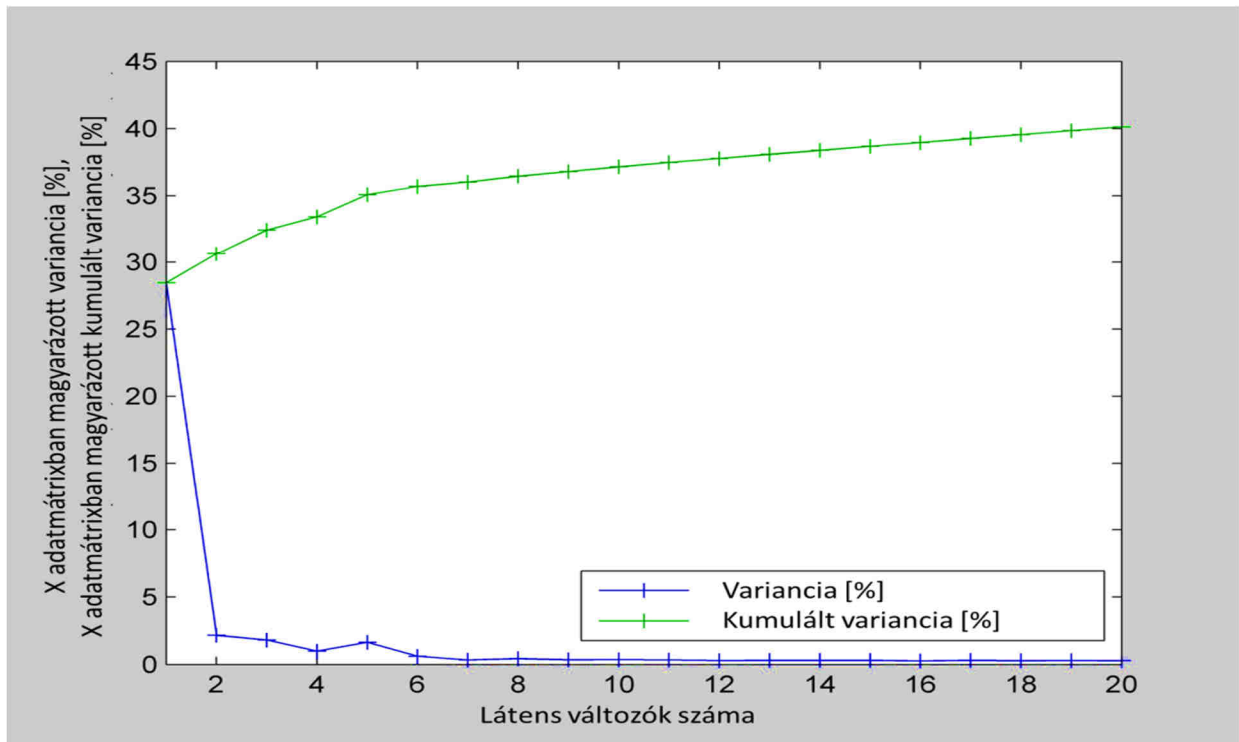
95. ábra: A 2012 évben felvett terepi spektrumok.

A 2011-es és 2012-es évjárat kapcsolata

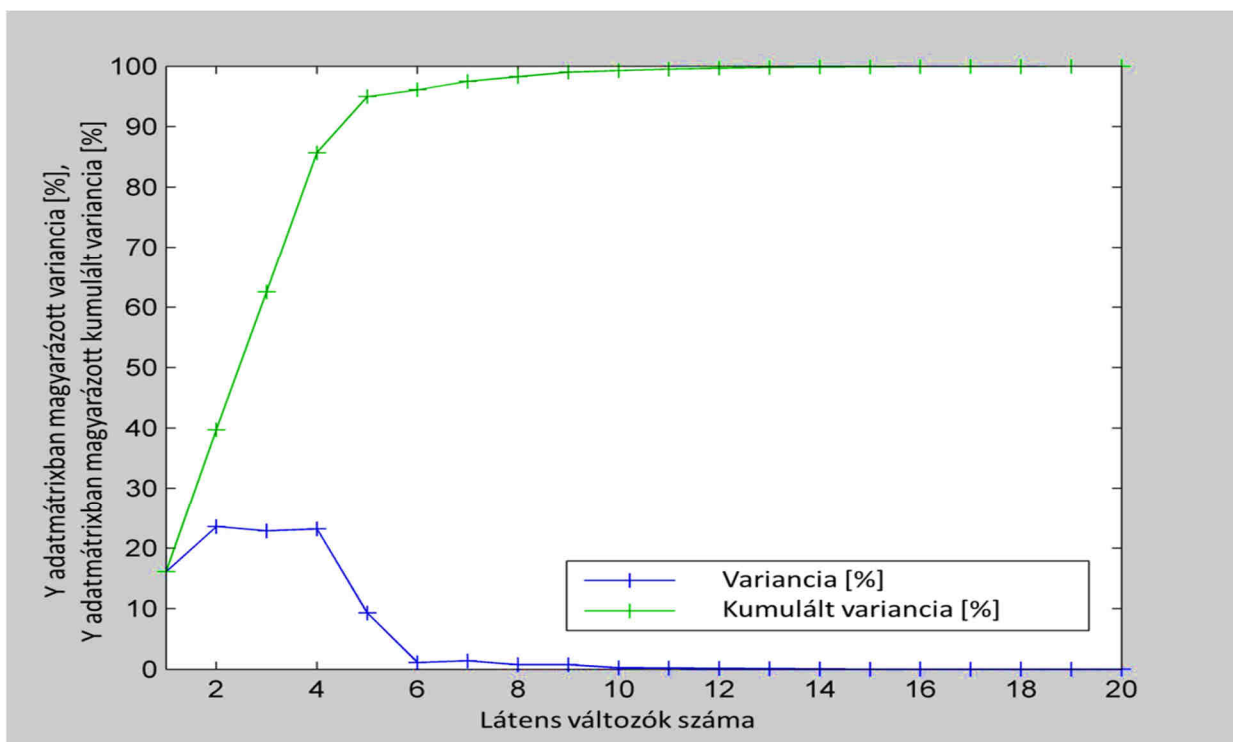
Látens változók bevezetése

A modell a látens változók számának növelésével egyre nagyobb százalékban magyarázza az adatok varianciáját. A feldolgozott spektrumokon végzett dimenziócsökkentés részeként bevezetett optimális számú látens változó megállapítását az alábbi eredmények segítették.

A feldolgozott spektrumokon végzett dimenziócsökkentés részeként számított látens változók jelentőségét grafikonok szemléltetik (96. ábra, 97. ábra).



96. ábra: Látens változók egyedi, illetve kumulált százalékos értéke az X változóra vonatkozóan.



97. ábra: Látens változók egyedi, illetve kumulált százalékos értéke az Y változóra vonatkozóan.

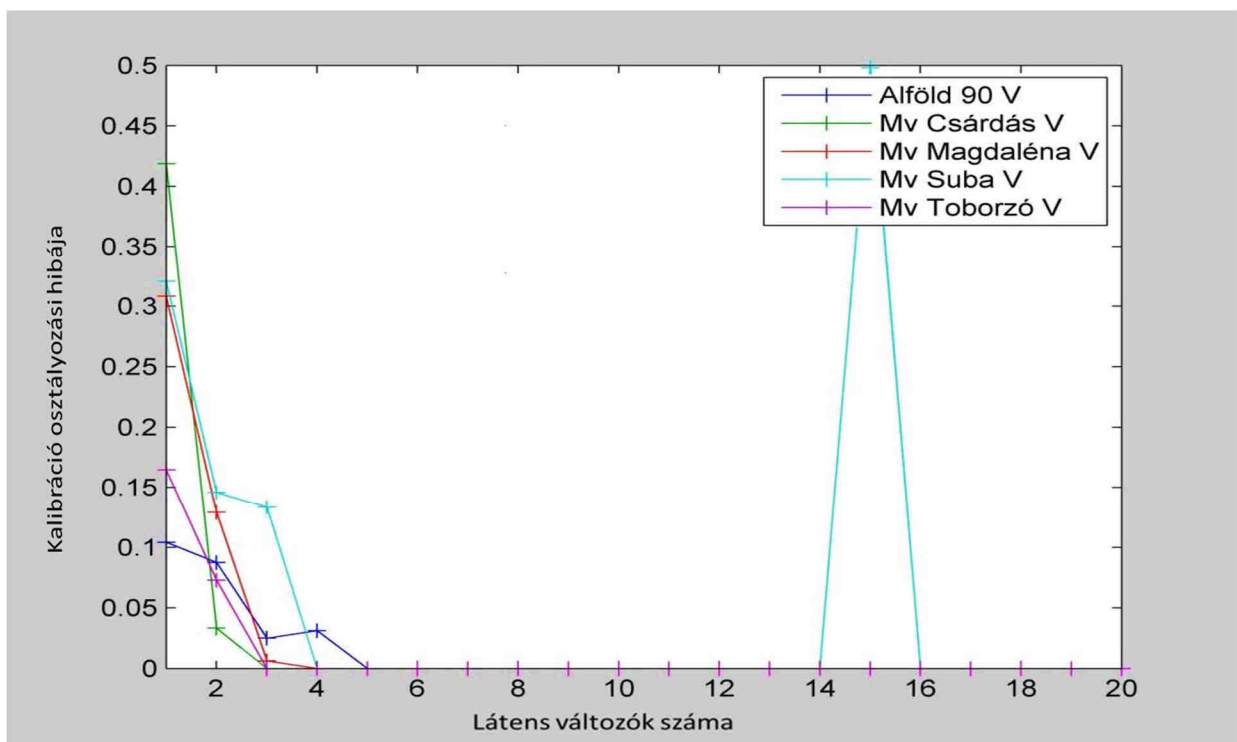
Karakterisztikus hullámhossztartományt a zöld vegetációs állomány statisztikai vizsgálatokor nem találtam. Az optimális számú látens változók meghatározásakor a magyarázott variancia mellett a búzafajtákon belül kiszámított kereszt-ellenőrzési osztályozási hibákat vettem figyelembe (13. táblázat). Az eredmények alapján öt látens változóval dolgoztam tovább.

13. táblázat: Az első öt látens változó esetében kiszámolt értékek

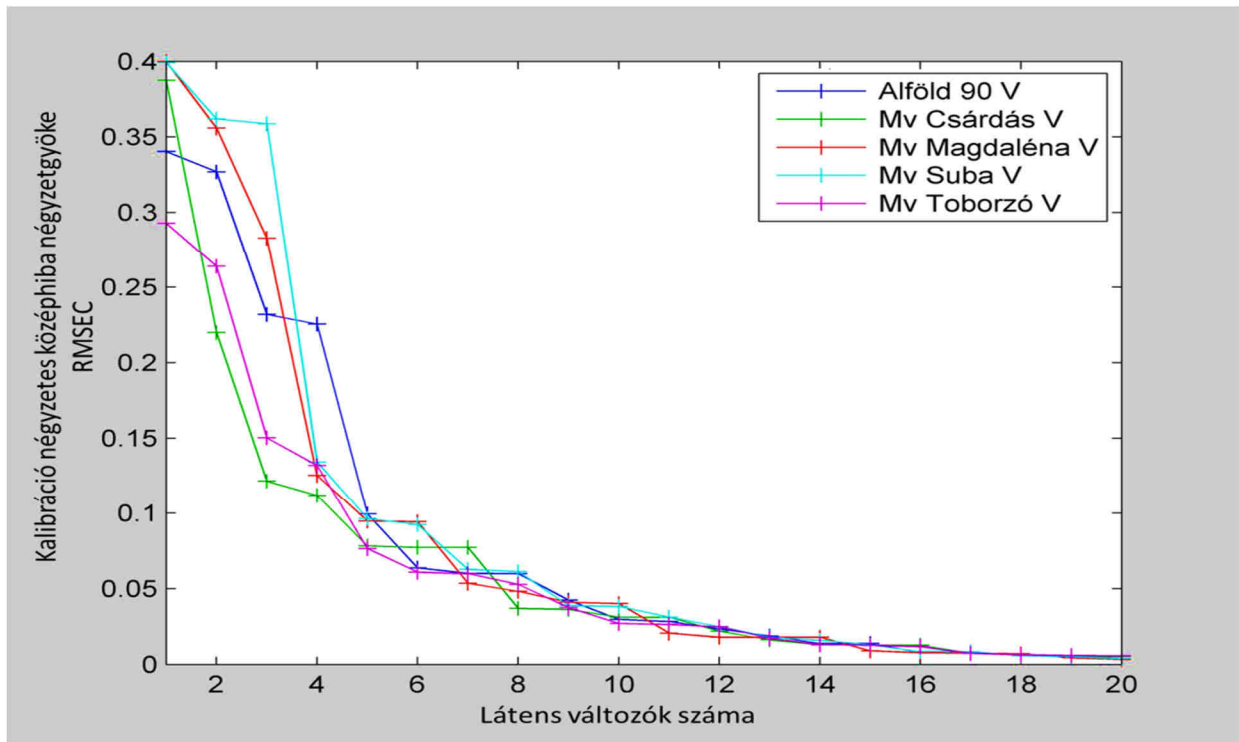
	X és Y adatmátrixokbanban magyarázott variancia és kumulált variancia [%]				KV Oszt. Hiba Alföld 90	KV Oszt. hiba Mv Csárdás	KV Oszt. hiba Mv Magdaléna	KV Oszt. hiba Mv Suba	KV Oszt. hiba Mv Toborzó
	X	X kum.	Y	Y kum.					
LV 1	20,46	28,46	16,13	16,13	0,129	0,042	0,310	0,327	0,158
LV 2	2,17	30,62	23,55	39,68	0,067	0,029	0,163	0,196	0,081
LV 3	1,82	32,44	22,85	62,53	0,010	0,000	0,079	0,192	0,000
LV 4	0,99	33,44	23,16	85,69	0,013	0,000	0,008	0,017	0,000
LV 5	1,64	35,08	9,29	94,98	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Belső-ellenőrzés (kalibráció)

A belső-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kalibráció osztályozási hibája (98. ábra) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értékének (99. ábra) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



98. ábra: A kalibráció osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



99. ábra: A kalibráció négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (14. táblázat).

14. táblázat: A kalibráció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (Kal.)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
RMSEC (Kal.)	0,099526	0,078254	0,094820	0,096454	0,076563
Eltolódás (Kal.)	1.66533e-016	-1.66533e-016	-2.77556e-016	2.22045e-016	-2.77556e-017
R^2 (Kal.)	0,938091	0,961727	0,943807	0,941854	0,963363

A belső kalibráció magas R^2 értékeket mutatott. A modell eredményeit konfúziós mátrix (15. táblázat) és konfúziós táblázat (16. táblázat) segítségével mutatom be.

15. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Toborzó	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000

16. táblázat: A belső-ellenőrzés eredménye: vízszintesen a 2011-es évjárat mintái, függőlegesen a minták modell által végzett besorolása látható.

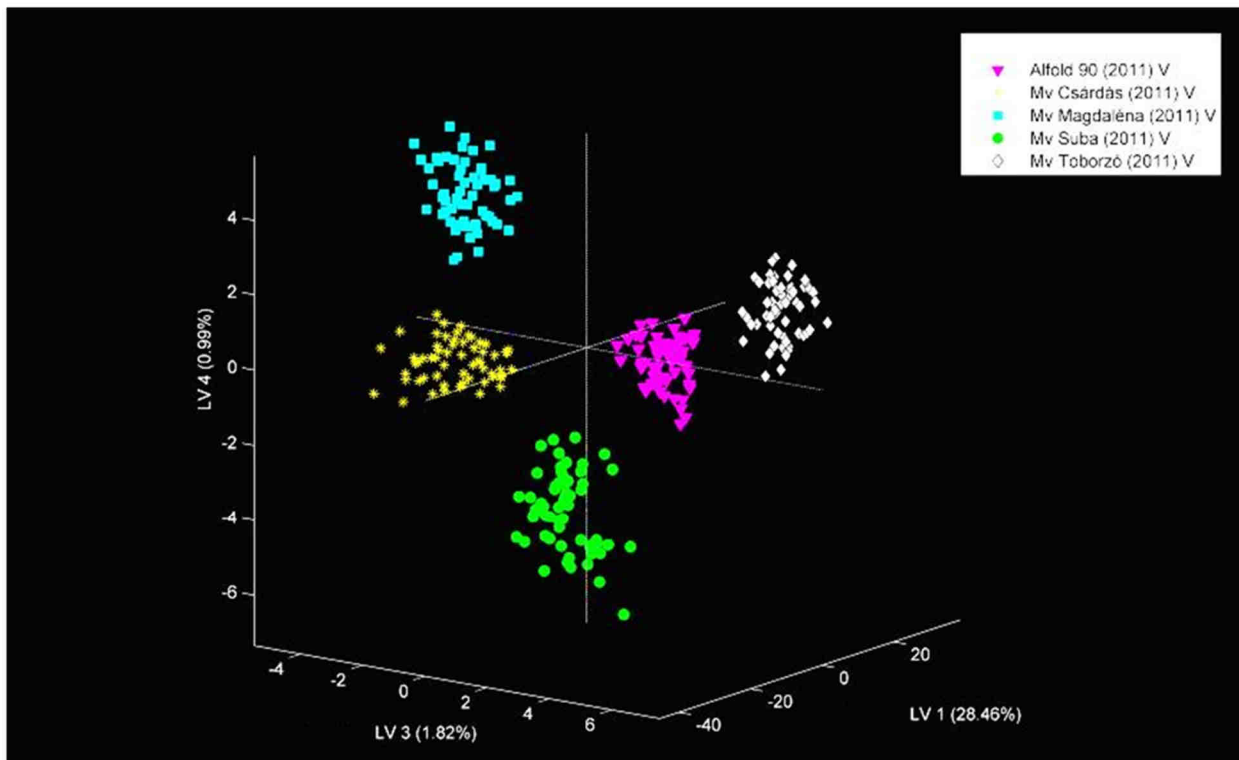
Konfúziós táblázat (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	60	0	0	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	60	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	60	0	0
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	60	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	0	60

A modell a belső-ellenőrzés során hiba nélkül sorolta a 2011-es évjárat mintáit az általam létrehozott fajtaosztályokba. A modell érzékenységét és specificitását a következő táblázatban mutatom be (17. táblázat).

17. táblázat: A modell érzékenysége/specificitása a belső-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specificitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Kal.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Specificitás (Kal.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

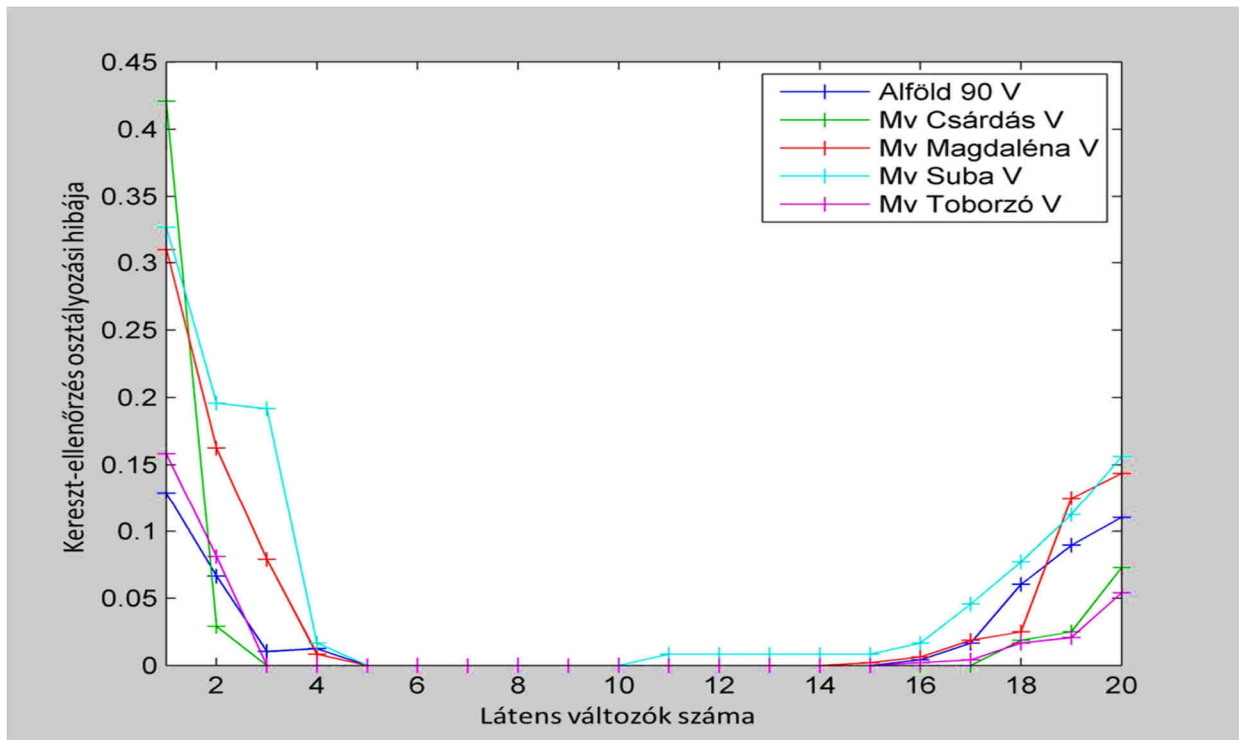
Ábrázolás során az 1-es 3-as és 4-es számú látens változókkal értem el a szemléletes eredményt. Az osztályozás eredményét a következő ábrán mutatom be (100. ábra). Az ábra jól szemlélteti a búzafajták közötti különbséget a három látens változó függvényében.



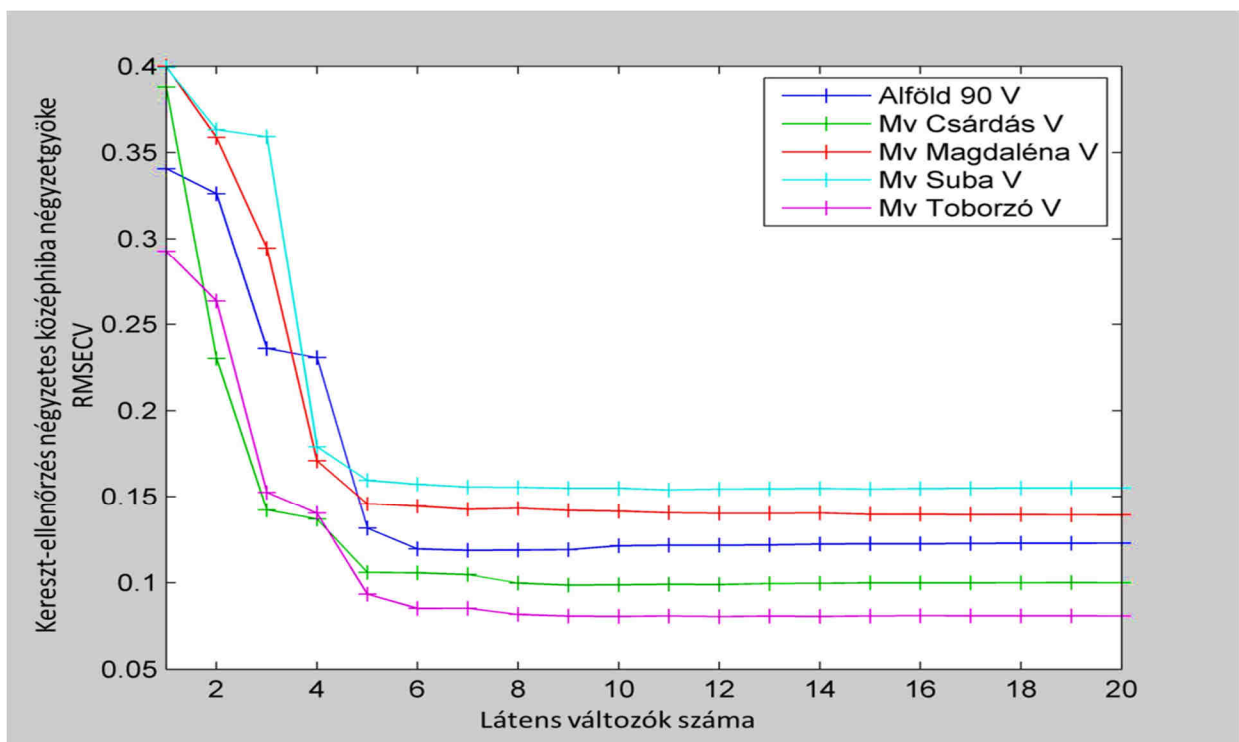
100. ábra: 2011 évben vizsgált különböző búzafajták eloszlása a 1-es 3-as és 4-es számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

Kereszt-ellenőrzés

A kereszt-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája (101. ábra) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értékének (102. ábra) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



101. ábra: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



102. ábra: A kereszt-ellenőrzés négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (18. táblázat).

18. táblázat: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (KV.)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
RMSEC (KV.)	0,131592	0,105950	0,145777	0,159592	0,093394
Eltolódás (KV.)	-0,003181	-0,001930	0,000820	0,000689	0,003601
R^2 (KV.)	0,901412	0,942371	0,897130	0,881361	0,949035

A keresztellenőrzés során az Mv Magdaléna és az Mv Suba esetében 0,90 alá csökkent az R^2 értéke, amit a többi értékszám tendenciája is jelez, de az osztályozás hatékonyságán ez nem rontott. A modell kereszt-ellenőrzés során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (19. ábra) és konfúziós táblázat (20. ábra) segítségével mutatom be.

19. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (KV)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Toborzó	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000

20. táblázat: A kereszt-ellenőrzés eredménye: vízszintesen a 2011-es évjárat újra-mintavételezett mintái, függőlegesen a statisztikailag független minták modell által végzett besorolása látható.

Konfúziós táblázat (KV)					
	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

A kereszt-ellenőrzés során a modell hibátlanul sorolta a statisztikailag független mintákat a fajtaosztályokba. A modell érzékenységét és specificitását a következő táblázatban mutatom be (21. táblázat).

21. táblázat: A modell érzékenysége/specificitása a kereszt-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specificitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (KV)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Specificitás (KV)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Validáció

A validáció eredményeit a látens változók számának függvényében a validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalásával ismertetem, osztályonként. Az értékeket táblázatban foglaltam össze (22. táblázat).

22. táblázat: A validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (Val.)	0,004167	0,000000	0,141667	0,000000	0,000000
RMSEP (Val.)	0,213254	0,175715	0,276176	0,239552	0,158060
Eltolódás (Val.)	-0,023840	0,028559	-0,103044	0,042482	0,055842
R^2 (Val.)	0,743822	0,876285	0,627466	0,759381	0,938213

A validációs determinációs együttható értéke jelentősen csökkent. A legalacsonyabb R^2 -et az Mv Magdaléna esetében kaptam, amit a többi mutató tendenciája is jelez. Ennek ellenére az osztályozás sikeresnek mondható. A modell validáció során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (23. táblázat) és konfúziós táblázat (24. táblázat) segítségével mutatom be.

23. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Val)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,02917	0,97083	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,11667
Mv Suba	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Toborzó	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000

24. táblázat: A validáció eredménye: vízszintesen a 2012-es évjárat mintái, függőlegesen a független minták modell által végzett besorolása látható.

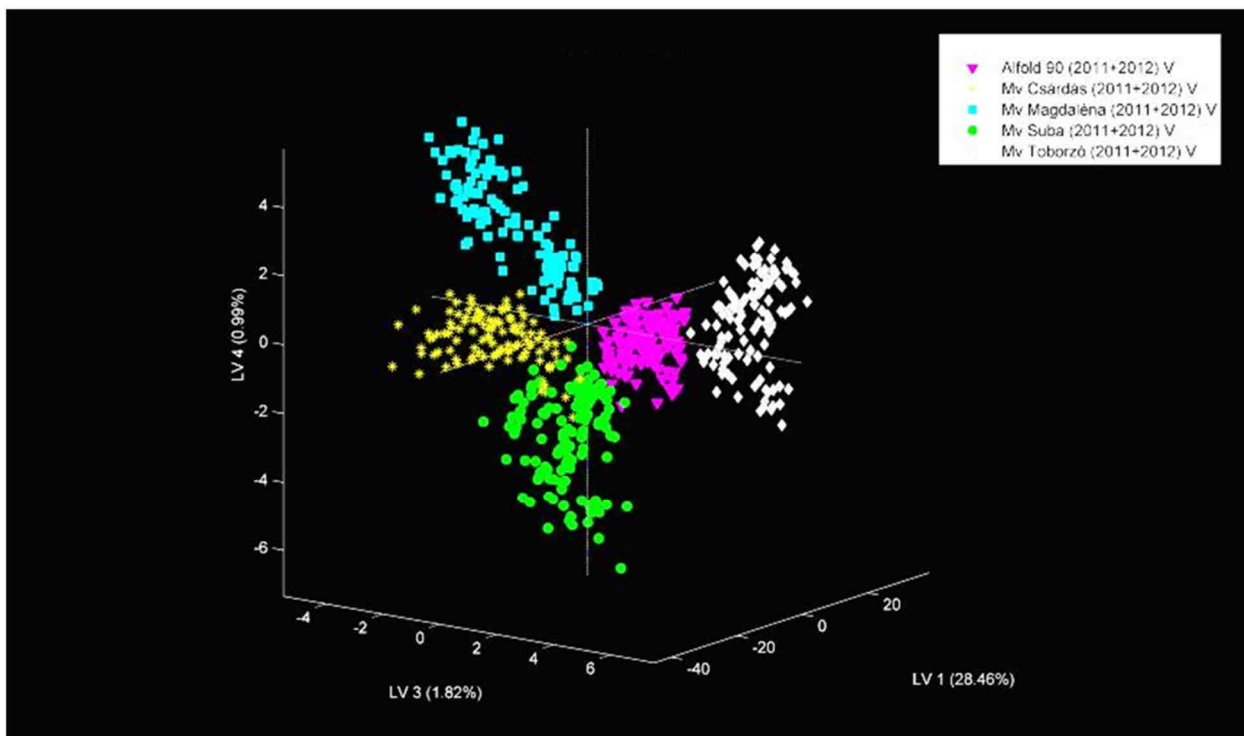
Konfúziós táblázat (Val)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	60	0	7	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	60	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	53	0	0
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	60	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	0	60

Mv Magdaléna esetében a modell a hatvanból hetet Alföld 90-ként azonosított. Ez osztályon belül 86,79 [%]-os pontosságot jelent. A modell teljes pontossága 97,66 [%]. A modell érzékenységét és specifitását a következő táblázatban mutatom be (25. táblázat).

25. táblázat: A modell érzékenysége/specifitása a validáció esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specifitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Val.)	1,000	1,000	0,717	1,000	1,000
Specifitás (Val.)	0,992	1,000	1,000	1,000	1,000

Háromdimenziós adattérben való ábrázolás szempontjából a 1-es 3-as és 4-es számú látens változó kiválasztásával értem el a legszemléletesebb eredményt (103. ábra).



103. 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).

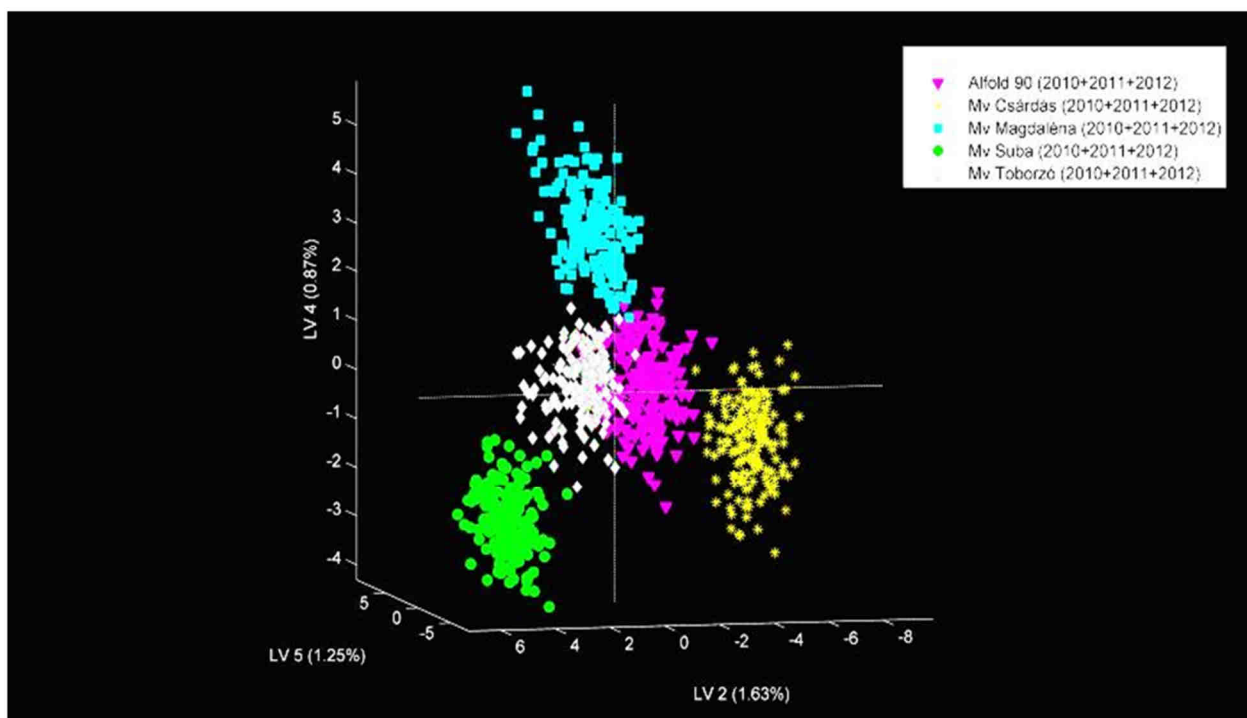
A kalibráció során végzett osztályozás eredményét a statisztikai eredmények mellett az ábra jól szemlélteti a 2011-es és 2012-es évben végzett mérések hasonló eloszlását a látens változók függvényében.

4.3.2 Teljes érést követő mérés

A teljes érést követően, betakarítás előtt mért spektrumok feldolgozása során már 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 (26. táblázat) és a minták statisztikai eloszlásának bemutatásával szemléltetem (104. ábra).

26. 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



104. 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).

A 2010, 2011 és 2012-es évjáratok kapcsolatát, valamint a kalibráció, a kereszt ellenőrzés és a validáció lépéseit, illetve a modellt jellemző eredményeket részletesen a M6 melléklet tartalmazza. Az eljárás folyamatábráját az M11 mellékletben mutatom be (177. ábra).

4.4 Laboratóriumi mérés

Ebben a fejezetben a megfelelően előkészített szaporítóanyagról laboratóriumi körülmények között végzett mérések során kapott spektrumok feldolgozásának eredményeit mutatom be. A terepi mérésekkel ellentétben az atmoszféra elnyelése és szórása nem jelentkezett. A spektrumok tisztábbak, kevésbé zajosak, mint a terepi mérések során. Légköri tényezők ebben az esetben nem játszanak szerepet.

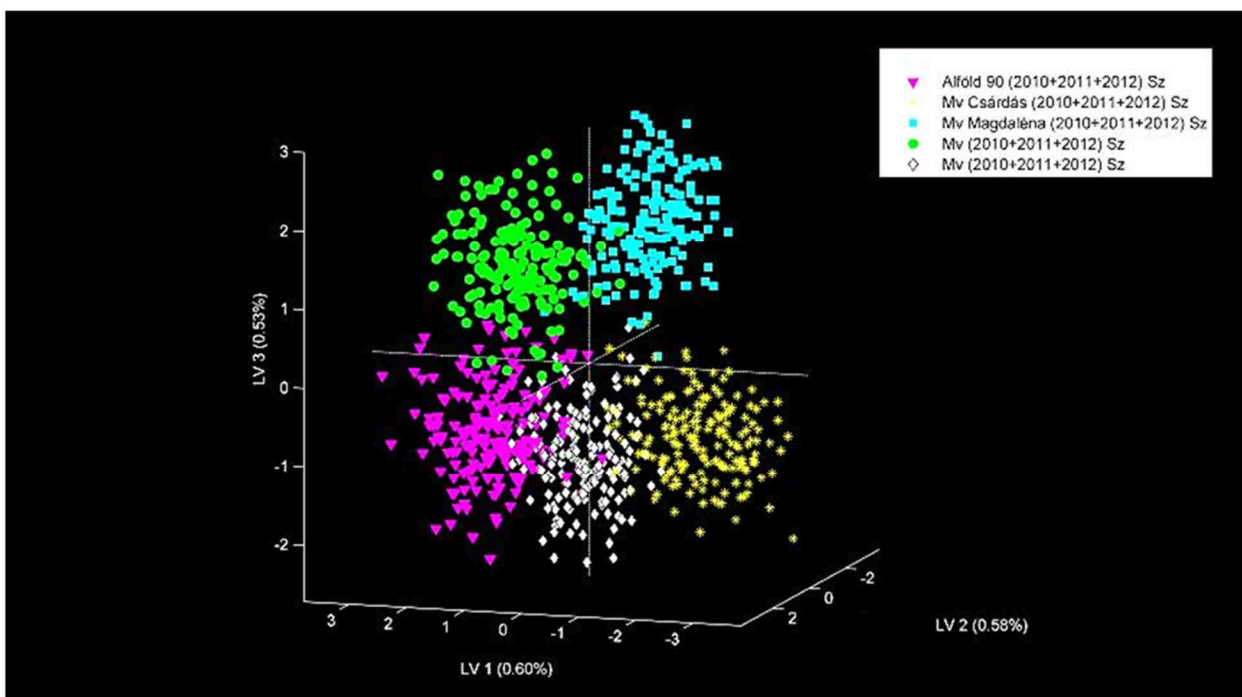
A mérés során alkalmazott új vizsgálati eljárás megközelítette az ASD FieldSpec 3 Max spektrométer határait. Egy zárt rendszerű laboratóriumi spektroszkóp alkalmazása esetén az osztályozás hatékonysága jelentősen növekedhet. Egy kifejezetten erre a célra kifejlesztett rendszer, mely alkalmas a szemenként történő válogatásra, így a fenti eredményeknél is hatékonyabb osztályozásra lehet képes.

Szaporítóanyag vizsgálata

A laborban mért vetőmag spektrumok feldolgozása során már egyéves kalibrációs sokaság esetén is hatékony osztályozást végeztem. A 2010-es évjárat alapján kalibrált modell segítségével 95,66 [%]-os teljes pontossággal azonosítottam a 2012-es spektrumokat. A 2011-es évjárat alapján kalibrált modell 93 [%]-os teljes pontossággal dolgozott. A legjobb eredményeket szintén a 2010-es és 2011-es évjáratot egységes kalibrációs sokaságként kezelve értem el. A 2012-es évjáratot végzett validáció során a modell teljes osztályozási pontossága 96,66 [%] volt. A legrosszabb osztályozási pontosság az Mv Csárdás esetében, 91,66 [%] volt. A kalibrációs sokaság, illetve évjáratok bővítése javította a modell hatékonyságát. A modell által végzett osztályozást konfúziós táblázat (27. táblázat) és a minták statisztikai eloszlásának bemutatásával szemléltetem (105. ábra).

27. 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



105. 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).

A 2010, 2011 és 2012-es évjáratok kapcsolatát, valamint a kalibráció, a kereszt ellenőrzés és a validáció lépéseit, illetve a modellt jellemző eredményeket részletesen az M7 melléklet tartalmazza. Az eljárás folyamatábráját az M11 mellékletben mutatom be (178. ábra).

4.5 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 (28. táblázat).

28. 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.

4.6 Új tudományos eredmények

Kutatómunkám során a távérzékelés és a laboratóriumi spektroszkópia, valamint a spektrumalapú őszi búza fajtaszintű 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 fajtaszintű 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 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 kiterjeszthetőségét. 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 vetőmagtégeken, 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 fotoszintetikusan 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, 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 kutatómunkám során kidolgozott standard mérési időre alapozott forgatással javított kontakt-közeli vizsgálati eljárás alkalmazásával nagyságrendi csökkenés érhető el a mérések szórásában, a széles körben alkalmazott kontakt eljáráshoz képest. Az eljárás minimalizálja a légköri hatásokat és a megvilágítás irányától való függést, illetve kizárja a kontaktusból adódó bizonytalanságot is. Az új mérési eljárást abban az esetben is javasolt alkalmazni, ha nincs lehetőség a kontakt-közeli eljárás alkalmazására (minta mérete, alakja). Más megvilágító fényforrás, illetve nagyobb szenzortávolság esetén is jelentősen javít a mérés megbízhatóságán. Pontos és megbízható szenzortávolság (mérési magasság) beállítást tesz lehetővé. Különböző méretű referenciapanel- és mintatartó-magasság esetén is lehetővé teszi az állandó szenzortávolság tartását. Kialakításának köszönhetően kis mennyiségű mintától a nagyobb tömegű mintáig alkalmazható. Fényáteresztés szempontjából, az eltérő anyagú minták esetében az optimális minta-rétegvastagságot mindig javasolt megvizsgálni. A mintatartó mélységét ennek függvényében kell megválasztani.

Eredmények gyakorlati jelentősége a búzatermesztésben

A terepen alkalmazott általános, és az általam kidolgozott laboratóriumi vizsgálati eljárás megbízhatósága alkalmasnak bizonyult a megfelelő spektrumkönyvtár létrehozására. Az általam kidolgozott spektrum-transzformációs eljárás segítségével alkotott PLS DA modellek eredményesen képesek azonosítani 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 köztermesztésben lévő őszi búzafajtára történő kiterjesztése, terepi és/vagy légi távérzékeléssel, valamint a búzaszemekről 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 (Szalánta Eszterágpusztá, Székkutas, Tordas, Debrecen, Szombathely), meghatározó tápanyag-utánpótlási szinteken (0, 80, 120 [kgN/ha]) szükséges elvégezni. A fajtakísérleti állomások az Ország jellemző termőterületein helyezkednek el. A fajták termőhelyspecifikus jellemzői így beépülnek a spektrumkönyvtárakba. Az eredmények gyakorlatban történő hasznosíthatóságának elvi vázlatát, illetve az eredmények fajtaoltalmi rendszerben történő hasznosításának modelljét az M12 melléklet mutatja be (179. ábra).

A légi távérzékelés fajtaoltalmi rendszerbe történő illesztése fontos alapját képezheti egy országos szintű szakértői rendszer kiépítésének. Az ország termőterületeinek rendszeres felvételezése során gyűjtött adatokat felhasználva 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 egy integrált szaktanácsadási rendszernek.

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

6. ÖSSZEFOGLALÁS

TÁVÉRZÉKELÉSRE ÉS SPEKTROSKÓPIÁRA ALAPOZOTT ŐSZI BÚZA FAJTAAZONOSÍTÓ ELJÁRÁS

A dolgozat keretein belül a nyílt rendszerű spektroradiométeres vizsgálati eljárást tanulmányoztam egy ASD FieldSpec 3 MAX típusú berendezés alkalmazására épülően. A hordozható, távérzékelés elvén működő eszközök kapcsolatot teremtenek a terepi és laboratóriumi mérések között, és utat nyithatnak a légi, vagy műholdas távérzékelés felé.

Az általánosan elterjedt laboratóriumi eljárás tesztelése során fontos bizonytalansági tényezőket azonosítottam, melyek egy új vizsgálati eljárással jelentős mértékben csökkenthetőek. Az új vizsgálati eljárás mintánként megismételt fehér referenciamérésen, állandó mérési magasságon, megfelelő mélységű mintatartó alkalmazásán és mintaforgatáson alapszik. A légréteg vastagsága meghatározó. Kontakt mérések során stabilabb spektrumok rögzíthetőek, azonban, a kontakt eljárás további bizonytalansággal és a fehér referenciapanel amortizációjával jár. Kontakt-közeli eljárásra van szükség. A bizonytalansági tényezők mérséklésére és a kontakt közeli mérési eljárás kidolgozásához új laboratóriumi eszközre volt szükség.

Nagy teherbírású, moduláris rendszerű mintaforgató rendszert fejlesztettem. Az eszköz más spektroradiométer típus, vagy vizsgálati eljárás esetén is alkalmazható. Különböző anyagú és mennyiségű minták vizsgálatára alkalmas. Új vizsgálati eljárások kidolgozására biztosít lehetőséget.

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 posztharvest szemválogató rendszerek elvén működő vetőmag-előállítás jövőjét jelentheti.

A Szent István Egyetem Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézet Hatvan-Nagygyombosi Kísérleti Telepén homogén, fajtatiszta búzaállományok fejlődését nyomon követve kerestem a terepi mérésekhez az optimális fejlettségi állapotot. Három különböző tápanyag-ellátottsági szintet vizsgáltam. 2010, 2011, 2012 évjáratok jellemzően eltérő időjárási körülménye és a tápanyag-utánpótlási különbségek a vizsgált fajtákra jellemző időjárás- és tápanyagreakciók széles vertikumát idézte elő. A terepi mérések kalászhányást és betakarítást megelőző fenofázisokban történtek. A termésből gyűjtött mintákon laboratóriumi méréseket végeztem.

Az új vizsgálati eljárást alkalmazva az osztályozás sikeres volt. Spektrumkönyvtárat hoztam létre és PLS DA osztályozást alkalmaztam. Az osztályozás eredményét független mintasokaságon, más évjárat mérési eredményeivel validáltam. Az eredmények bizonyították a fajtaszintű osztályozás/azonosítás lehetőségét. A leghatékonyabb osztályozás terepi körülmények között volt. A kalibrációs állomány bővítésével az osztályozás hatékonysága javult. A spektrumkönyvtár alapú modellek kidolgozásával - évjáratától 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. SUMMARY

REMOTE SENSING- AND SPECTROSCOPY-BASED WINTER WHEAT IDENTIFICATION PROCEDURE

Within the frame of dissertation I studied the procedure of open-system-type spectral measurement by using an ASD FieldSpec3 MAX spectroradiometer. The potential of portable devices that work on principles of remote sensing is connecting laboratory and in-field measurements and making the way for airborne or satellite remote sensing.

As a result of testing the generally used laboratory procedure I have defined several uncertainty factors. Upon the experimental results overall uncertainty can be significantly reduced with an advanced procedure. The new examination procedure is based on white reference measurement prior to each sample, constant measuring height, and appropriate sample holder depth, furthermore sample rotation. The thickness of air layer is also decisive. Contact measurements provide more stable spectra, however, it has its own uncertainty factor and an unfavourable effect on the reference panels. The solution, instead of contact measurements, is the near-contact measuring procedure. In order to reduce the uncertainty factors and to develop a near-contact procedure a new laboratory equipment was introduced.

I have designed a modular sample rotating system with high load capacity. The system is capable of supporting various measuring devices and procedures. It provides opportunity to measure wide range of sample materials and volumes and also to develop new examination procedures.

I have performed a unique methodological development. By applying an improved near-contact examination procedure and using a rotating system I have minimized the atmospheric effect and the direction-dependent illumination factor and excluded the uncertainty originating in taction. The new examination procedure has significantly increased the repeatability of measurements.

In the meantime, I was working at adapting remote sensing in winter wheat production system. Upon my hypothesis, in-field and airborne remote sensing provides opportunity to identify wheat varieties. This would provide a solution to control the certified sowing-seed usage on large areas, in economic way. Spectral seed identification can become the future of postharvest separation system based sowing-seed production. Better tracking and control could be the fundament of plant selection, maintaining variety pedigree and quality seed production.

On the experimental production sight of Szent István University, Faculty of Agriculture and Environmental Sciences homogeneous wheat plots were sowed by using genetically uniform and certified seeds. I searched for the optimal phenophase for in-field measurements. I examined the plants at three different level of nutrient supply. The significantly differing weather conditions of studied crop years (2010, 2011, 2012) and the differentiated nutrient broadcast resulted in wide range of variety-specific weather- and nutrient-reactions of wheat. In-field measurements were carried out prior to heading and before harvesting. Harvested yield was sampled and measured under laboratory circumstances.

The standard deviation of data masked the difference amongst the various varieties. By using my own advanced procedure the classification has been successful. Spectral libraries were built and PLS DA classification procedures were used. Results were validated on independent datasets of different crop years. The possibility of variety classification has been proven in all three cases. The best classification results have been received in case of in-field measurements. Augmentation of calibration datasets has increased the efficiency of classification. By building spectral library based models I have performed a successful classification/identification – independent from crop year and nutrient supply - based on variety-specific spectral signatures.

In the future it is recommended to expand the procedure onto airborne hyperspectral images and test the procedure on other wheat varieties and field lands.

8. MELLÉKLETEK

M1: Irodalomjegyzék

1. Aitkenhead M. J., Dalgetty I. A., Mullins C.E., Mc Donald A. J. S., Stachan N. J. C. (2003): Weed and crop discrimination using image analysis and artificial intelligence methods. *Computers and electronics in Agriculture*, 39, pp. 157-171.
2. Alin A., Ali M. M. (2012): Improved straightforward implementation of a statistically inspired modification of the partial least squares algorithm. *Pakistan Journal of Statistics* 2012 Vol. 28(2), pp. 217-229.
3. Ángyán J., Menyhért Z. (Szerk.) (2004): *Alkalmazkodó növénytermesztés, környezet- és tájgazdálkodás*. Szaktudás Kiadó Ház Budapest, 2004. 27. o.
4. ASD Inc. (2013): *FieldSpec 4 Hi-Res Spectroradiometer*. Technical Specifications, utolsó elérés időpontja: 2013.11.10., Forrás: <http://www.asdi.com/products/fieldspec-spectroradiometers/fieldspec-4-hi-res>
5. Asner G., Elmore A., Hughes R., Warner A., Vitousek P. M. (2005): Ecosystem structure along bioclimatic gradients in Hawaii from imaging spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*, 96 (3–4) pp. 497–508.
6. Atzberger C., Jarmer T., Schlerf M., Kötz B, Werner W. (2003): Retrieval of wheat biophysical attributes from hyperspectral data and SAILH+ PROSPECT radiative transfer model. *Proceedings of the 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, pp. 473-482.
7. Atzberger C., Jarmer T., Schlerf M., Kötz B., Werner W. (2003): Retrieval of wheat biophysical attributes from hyperspectral data and SAILH+PROSPECT radiative transfer model. *3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, Herrsching, 13-16 May 2003. pp. 473-485.
8. B. M. Wise, N. B. Gallagher, R. Bro, J. M. Shaver, W. Windig, R. S. Koch (2006): *Chemometrics Tutorial*. Eigenvector Research, Inc., 3905 West Eaglerock Drive, Wenatchee, WA 98801 USA, pp. 205-211.
9. Baker S., Herrman T. J., Loughin T. (1999): Use of regression and discriminant analyses to develop a quality classification system for hard red winter wheat. *Cereal Chemistry*, 76, pp. 890–893.
10. Balla I., Jolánkai M., Szentpétery Zs., Szalay K. (2011): Nitrogénfejtárgyázás és a jó minőségű kenyér. *Őstermelő Gazdálkodók Lapja* 2011/2.szám: 2011.április-május 29-31. o.
11. Balla K., Bedő Z., Veisz O. (2006): Effect of heat and drought stress on the photosynthetic processes of wheat. *Cereal Research Communication* 34. (2): pp. 381- 384.
12. Bandfield J. L., Hamilton V. E., Christensen P. R. (2000): A global view of Martian surface compositions from MGS-TES. *Science* 287(5458): pp. 1626–1630.
13. Bannari A., Pacheco A., Staenz K., McNairn H., Omari K. (2006): Estimating and mapping crop residues cover on agricultural lands using hyperspectral and IKONOS data. *Remote Sensing of Environment* 104, 4, pp. 447-459.
14. Bannari K., Khurshid S., Staenz K., Schwarz J. (2008): Potential of Hyperion EO-1 hyperspectral data for wheat crop chlorophyll content estimation. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2008, 34(S1): pp. 139-157.
15. Barabás Z. (1987): *A búzatermesztés kézikönyve*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest 23-39 o.
16. Barton F. E. (2004): Progress in near infrared spectroscopy the people, the instrumentation, the applications. In *Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 11th International Conference*, NIR Publications, Chichester, pp. 13-18.

17. Baumgardner M., Fenyvesi L., Stefanovits P., Micheli E. (1990): Optical reflectance of artificially prepared organo-mineral complexes. ISES Japan, pp. 106-112.
18. Bazár Gy. (2011): Közeli infravörös spektroszkópia alkalmazási lehetőségei sertéshús és húskészítmények, valamint sertézsír minőségében. Doktori értekezés, 50-64 o.
19. Bedő Z., Láng L. (2010): Fémzárolt búza vetőmag használat Magyarországon – leszakadunk Európától. Martonvásár XXII/2. 4. o.
20. Bedő Z., Láng L., Vida Gy., Juhász A., Karsai I. (1998): A minőségi tulajdonságok felértékelődése a búza nemesítésében. Agro- 21 füzetek, 23: 19-30. o.
21. Belényesi M., Kristóf D., Skutai J. (2008): Térinformatikai elméleti jegyzet. Szent István egyetem MKK Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet, 35. o.
22. Bencze S., Veisz O., Bedő Z. (2004): The effects of high atmospheric CO₂ and heat stress on phytomass, yield and grain quality of winter wheat. Cereal Research Communication 32 (2): pp. 75-82.
23. Bense L., Szendrő P. (2009): A gabonabetakarítás szállítási és anyagmozgatási feladatai. Értékálló aranykorona (6-7): 27-31. o.
24. Bergmann W., Neubert P. (1976): Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse In: Árendás T., Csathó P., Németh T., (2001): Tápanyagellátás a minőségorientált búzatermesztésben In: A jó minőségű, keményszemű búza nemesítése és termesztése Ed: Bedő Z. Felelős kiadó: Bedő Z., Búvár G., Matuz J. (2001) Martonvásár – Nádudvar – Szeged p.73- 74 o.
25. Berke J., Bíró T., Burai P., Kováts L. D., Kozma-Bognár V., Nagy T., Tomor T., Németh T., (2013): Application of Remote Sensing in the Red Mud Environmental Disaster in Hungary, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 8, No. 2., pp. 49-54.
26. Berzsenyi Z., Györffy B. (1997): A vetésforgó és a trágyázás hatása a búza termésére és termésstabilitására tartamkísérletben. Növénytermelés, 46: (2) 145-161. o.
27. Birkás M., Gyuricza Cs. (2001): A szélsőséges csapadélellátottság hatása az őszi búza néhány termesztési tényezőjére barna erdőtalajon. Növényteremlés 50: (2-3) 333-344. o.
28. Bouguer P. (1729): Essai d'Optique, sur la gradation de la lumiere. Paris, France: Claude Jombert, M. DCCXXIX pp. 16–22. utolsó elérés időpontja: 2013.12.20. Forrás: <http://books.google.co.uk/books?id=JNkTAAAAQAAJ&pg=PA1#v=onepage&q&f=false>
29. Broge N. H., Mortensen J. V. (2002): Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data. Remote Sensing of Environment 81 (2002) pp. 45– 57.
30. Bucholtz A. (1995): Rayleigh-scattering calculations for the terrestrial atmosphere. Applied optics, vol. 34, No. 15. pp. 2765-2773.
31. Burai P. (2007): Távérzékelési módszerek összehasonlító elemzése mezőgazdasági mintaterületeken. Doktori értekezés, 7-8, 16. o.
32. Burai P., Lehoczky É., Tamás J., Kismányoki A. (2006): Comparative study of fertilization effect on weed biodiversity of long term experiments with near field remote sensing methods. Journal of Plant Diseases and Protection. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Special Issue XX, pp. 801-807.
33. Bühler (2011): Optical Sorting. Brochure, utolsó elérés időpontja: 2013.01.16, Forrás: <http://www.buhlergroup.com/global/en/products/sortex-z-optical-sorter.htm>
34. Büttner Gy. (1996): Távérzékelés a világűrben. In: Almár-Both-Horváth (Eds.) Űrtan SH atlasz. Budapest, Springer Hungarica, 328. o.

35. CIA (2013): A Look Back ... CORONA: The Nation's First Photoreconnaissance Satellite. Utolsó elérés időpontja: 2013.12.22. <https://www.cia.gov/news-information/featured-story-archive/2010-featured-story-archive/corona-the-nation2019s-first-photoreconnaissance-satellite.html>
36. Clark C. D., Ripley H. T., Green E. P., Green A. J., Mumby P. J. (1997): Cover mapping and measurement of tropical coastal environments with hyperspectral and high resolution data. *International Journal of Remote Sensing*, 18, pp. 237-242.
37. Coblenz, William W. (1905). *Investigations of Infra-Red Spectra*. Washington, DC: Carnegie Institution of Washington. Digitalizálva: 31 március 2006., utolsó elérés időpontja: 2012.03.04. Forrás: <http://books.google.hu/books?id=qVUoHbyKbDsC&pg=PP7&dq=coblenz,+william+weber&hl=ru#PPR1,M1>
38. Cocks T., Janssen R., Stewart A., Wilson L., Shields T. (1998): *The HyMap Airborne Hyperspectral Sensor: The System Calibration and Performance*. pp. 1-6, utolsó elérés időpontja: 2013.10.02. Forrás: http://www.hyvista.com/wp_11/wp-content/uploads/2011/02/EARSEL98_HyMap.pdf
39. Crisp (2001): EO-1 (Earth Observing - 1), USA. Center for Remote Imaging, Sensing & Processing, utolsó elérés időpontja: 2014.01.05. Forrás: <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/eo1.htm>
40. Cubert (2014): UHD 185 – Firefly Easy and reliable imaging spectrometer for UAV. Utolsó elérés időpontja: 2014.03.12. Forrás: <http://cubert-gmbh.de/uhd-185-firefly/>
41. Curran P. J. (1989): Remote sensing of foliar chemistry. *Remote Sensing of Environment*, 30, pp. 271-278.
42. Curtis C. (2013): *Wheat in the world*. FAO Corporate Document Repository, utolsó elérés időpontja: 2014.01.25., Forrás: <http://www.fao.org/docrep/006/y4011e/y4011e04.htm#TopOfPage>
43. Csapó J. (Eds:) (2013): *Nemzeti Fajtajegyzék*. 27-30 o. ISSN 1585-8308
44. Csató É. (2000): *Műholdadatok térképészeti alkalmazása*. Doktori értekezés 6-9. o.
45. Csete L. és Láng I. (2004): *Agroökosztémák, reginalitás, biodiverzitás*. AGRO-21 füzetek 37. 186-204. o.
46. Cseuz L. (2007): *Időjárás anomáliák- és a búza*. *Agro Napló* 5- 6 o.
47. Cseuz L., Kertész Z., Pauk J., Fónad P., Beke B., Matuz J. (2001): Szárazságtoleráns kenyérbúza (*Triticum aestivum* L.) és durum búza (*Triticum turgidum* var. *durum*) vonalak előállítása pedigre nemesítési rendszerbe illeszthető szelekciós módszerek alkalmazásával. VII. Növénynevelési Tud. Napok, Budapest, Összefoglalók, 37. o.
48. Csorba Á, Láng V., Fenyvesi L., Michéli E. (2012): Reflektancia spektroszkópia alkalmazása talajok szervesszén- és CaCO₃-tartalmának becslésében. *Agrokémia és Talajtan*. 6/2, 277-290. o.
49. Csorba A., Vince L., Szalay K., Micheli E., Fenyvesi L. (2014): Identification of soil classification units from VIS-NIR spectral signatures. *International Conference of Agricultural Engineering EurAgEng 2014*, utolsó elérés időpontja: 2014.07.28. Forrás: <http://www.geysecos.es/geystiona/adjs/comunicaciones/304/C06650001.pdf>
50. Csurgay Á. (2009): *Mikrofizika alapjai*. Doktori kurzus. Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológiai és Bionikai Kar, Budapest

51. De Boer, Th. A. (1993): Botanical Characteristics and Their Influence on Remote Sensing. 89-106. pp. In: Buiten H. J., Clevers J. G. P. W. (eds): Land Observation by Remote Sensing: Theory and Applications. Amsterdam: Overseas Publishers Association (OPA), 664. p. In: Kristóf D. (2005): Távérzékelési módszerek a mezőgazdaságban. 26. o.
52. De Jong S. (1993): SIMPLS: an alternative approach squares regression to partial least squares regressions. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 18 (1993) pp. 251-263
53. Deákvári J. (2010): Légi hiperspektrális távérzékelési technológia fejlesztése parlagfűvel fertőzött területek meghatározásához. 12-20. o. FVM kutatási témajelentés
54. Deákvári J., Kovács L., Papp Z., Fenyvesi L., Tamás J., Burai P., Lénárt Cs. (2008): Az AISA hiperspektrális távérzékelő rendszer használatának első eredményei. MTA AMB XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2008. I. kötet 46-50. o.
55. 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.
56. Delwiche S. R (1998): Protein content of single kernels of wheat by nearinfrared reflectance spectroscopy. *Journal of Cereal Science*, 27, 241–254. pp.
57. Delwiche S. R., Norris K. H., (1993): Classification of hard red wheat by near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *Cereal Chemistry*, 70, pp. 29-35.
58. Dunn N. (2008): A revolution in food quality controll. Processing, Utolsó elérés időpontja: 2009.11.20. Forrás: http://downloads.germanpavilion.com/downloads/pdf/exhibitor_16132.pdf
59. Eastman J. R. (2008): Guide to GIS and Image Processing – IDRISI-TAJGA, Clark Labs Clark University 950 Main Street, Worcester, MA, USA – UNIGIS Educational Center – Hungary. Utolsó elérés időpontja: 2013.12.03. Forrás: http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0032_idrisi/ch07s02.html
60. Elitmag (2010): Ajánlások kalászos vetőmag-előállításához. Vetőmag-előállító 2010 ősz, Utolsó elérés időpontja: 2013.12.02., Forrás: http://vetomag.elitmag.hu/download/ajanlasok_kalaszos_vetomag-eloallitashoz.pdf
61. Ellis J. W., Bath J. (1938): Modifications in the Near InfraRed Absorption Spectra of Protein and of Light and Heavy Water Molecules When Water is Bound to Gelatin. : *The Journal of Chemical Physics* 6, pp. 723-729. (1938); doi: 10.1063/1.1750157
62. EOedu (2013): SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre). Utolsó elérés időpontja: 2013.12.12. Forrás: <http://eoedu.belspo.be/fr/satellites/>
63. Esteban-Diez J., Gonzalez-Saiz M., Pizarro C. (2004): An evaluation of orthogonal signal correction methods for the characterisation of arabica and robusta coffee varieties by NIRS. *Analytica Chimica Acta*, 514(1), 57–67 pp.
64. European Space Agency (ESA) (2013): Remote sensing in depth. Uolsó elérésidőpontja: 2013.12.01. Forrás: http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_EN/SEMPNQ3Z2OF_0.html
65. Farkas I. (Eds.) (2007): Identification possibilities of plant wellness using image processing. Proceedings of the International Symposium on Monitoring Plant Physiological Information and its application to Plant Growth Control. Osaka, Japan, pp. 27-36.
66. Fei L., Gnyp M. L., Liangliang J., Yuxin M., Zihui Y., Wolfgang K., Bareth B. G., Xiping C., Fusuo Z. (2007): Estimating N status of winter wheat using a handheld spectrometer in the North China Plain. *Field Crops Research*, 106, pp. 77–85.

67. Felfoldi J., Baranyai L., Firtha F., Friedrich L., Balla C. (2013): Image processing based method for characterization of the fat/meat ratio and fat distribution of pork and beef samples. *Progress in Agricultural Engineering Sciences Volume 9, Issue 1, 1 December* pp. 27-53.
68. Fenyvesi L. (2008): Characterization of the soil - plant condition with hyperspectral analysis of the leaf and land surface, *Cereal Res. Com., (Supp 5)* 659-663 pp.
69. Firtha F. (1999): Számítógépes képfeldolgozás alkalmazása termények jellemzésére. MTA AMB XXIII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Témáinak Összefoglalói, Gödöllő 12. o.
70. Foss Electric (2013): XDSTM Multipurpose NIR-analyser for Laboratories. XDS Analyser Brochure. Utolsó elérés időpontja: 2013.12.20. Forrás: <http://www.foss.dk/industry-solution/products/xds-rapid-content-analyzer>
71. FÖMI (2010): LANDSAT Műholdak. Nemzeti Űrfelvétel Archívum. Utolsó elérés időpontja: 2010.08.17 Forrás: <http://fish.fomi.hu/termekek/honlap/adathaz/termekek/Urfelvetelek/landsat.htm>
72. Füleky Gy. (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest 576- 594 pp. 307-309. o.
73. Galvao L. S., Formaggio A. R., Tisot D. A. (2005): Discrimination of sugarcane varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. *Remote Sensing of Environment* 94 pp. 523–534.
74. Gates D. M. (1970): Physical and physiological properties of plants, in *Remote Sensing with special reference to agriculture and forestry*. Washington D.D. : National Academy of Sciences pp. 224-252.
75. Gates D. M., Keegan H. J., Schleter J. C., Weidner V. R. (1965): Spectral properties of plants. *Applied Optics* 4, pp. 11-20.
76. Gausman H. W. (1977): Reflectance of leaf components. *Remote Sensing Environment* 6, pp. 1-9.
77. Gergely Sz. (2005): Közeli infravörös spektroszkópia alkalmazása a búza érésdinamikai folyamatinakkövetésében. Doktori értekezés, 21. o.
78. Gerward L. (2011): The Bouguer-Lambert-Beer Absorption Law. International Radiation Physics Society. Department of Physics, Technical University of Denmark DK-2800 Lyngby/Denmark, utolsó elérés időpontja: 2013.12.10. Forrás: http://radiationphysics.org/index.php?option=com_content&view=article&id=161&ridb=172
79. Gillay Z., Borsa B. (2007) Paprika felszínének becslése digitális képek használatával. MTA AMB, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 70-74. o.
80. Goel P. K., Prasher S. O., Landry J. A., Patel R. M., Bonnell R. B., Viau A. A, Miller J. A. (2003). Potential of airborne hyperspectral remote sensing to detect nitrogen deficiency and weed infestation in corn. *Computer and Electronics in Agriculture*, 38, pp. 99–124.
81. Google Imagery 2014 Digital Globe (2014): MapData 2014 Google. Forrás: <https://www.google.com/maps/place/Hatvan/@47.6833499,19.6686171,533m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x47404d26f89137e5:0x71bef67a452e548a>, utolsó elérés időpontja: 2014.06.14.
82. Gover S. T., Kucharik C. J., Normann J. M. (1999): Direct and indirect estimation of leaf area index, fapar, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote sensing of Environmental* 70, pp. 29-51.
83. Győri Z. (1999): A tápanyagellátás hatása a növényi termékek minőségére. Ed: Füleky Gy. (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest 578-584 o.

84. Hansen P. M., Schjoerring J. K. (2003): Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. *Remote Sensing of Environment*, 86, pp. 542–553.
85. Harboudane D., Miller J. R., Pattey E., Zarco-Tejada P. J., Strachan I. B. (2004): Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment* 90, 3, pp. 337-352.
86. Hargitai H. (2006): A hiperspektrális képfeldolgozás módszerei és az első magyarországi képkalkotó spektrométeres repülés adatainak elemzése. Doktori értekezés 11. o.
87. Hart J. R., Norris K.H., Golumbic C. (1962): Determination of moisture content of seeds by near-infrared spectrophotometry of their methanol extracts. *Cereal Chem.* 39: 94-99 pp.
88. Hatfield J. L. (1981). Spectral behavior of wheat yield variety trials. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47, pp. 1487–1491.
89. He Y., Li X. L., Shao Y. N. (2005): Quantitative analysis of the varieties of apple using near infrared spectroscopy by principal component analysis and BP model. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 3809, pp. 1053–1056.
90. Heinrich D., Hergt M. (1994): *Ökológia Atlasz*. Budapest, Springer Hungarica 284. o.
91. Herold M., Gardner M., Hadley B., Roberts D. (2002): The spectral dimension in urban land cover mapping from optical remote sensing data. *Proc. of the 3rd Symposium on Remote Sensing of Urban Areas*, June 2002, Istanbul, Turkey. In: Jung A. (2005): *Spektrális információk alkalmazása a városklíma-kutatásban*. Doktori értekezés 26. o.
92. Herold M., Roberts D. A., Gardner M. E., Dennison P. E. (2004): Spectrometry for urban area remote sensing – Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm. *Remote Sensing of Environment* 91, pp. 304–319.
93. Holics L. (1998): *Fizikai összefoglaló*. Typotex, Budapest, 486. o.
94. Izsáki Z., Lázár L. (Szerk.) (2004): *Szántóföldi növények vetőmagtermesztése és kereskedelme*. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 59. o.
95. Jacquez G., Marcus W.A. Aspinnal R.J., Greiling D. A. (2002): Exposure assessment using high resolution hyperspectral (HSRH) imagery. *Journal of Geographical Systems*, 4, pp. 15-29.
96. Jackson R. D. P. J. Pinter (1986). Spectral response of architecturally different wheat canopies. *Remote Sensing of Environment*, 20, pp. 43–56.
97. Jacquemound S., Baret F. (1990): PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra. *Remote Sensing of Environment*, 34, pp. 65-91.
98. Jagodin B. A. (1984): Sulphur, magnesium and micronutrients and their role in plant nutrition. In: Harmati I. 1987: *A tápanyagok szerepe*. Ed: Barabás Z. (1987): *A búzatermesztés kézikönyve*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 356 p.
99. Janssen L.L.F., Huurneman G.C. (Eds.) (2001): *Principles of Remote Sensing*. 47. p. ITC Educational Textbook Series; 2th edition. Enschede: ITC. p. 180.
100. Jirsa O., Hruskova M., vec I. S (2007): Near-infrared prediction of milling and baking parameters of wheat varieties. *Journal of Food Engineering*, 87 (2008) pp. 21-25.
101. Jolánkai M. (2004): *Szántóföldi növények vetőmag-termesztési technológiája* Eds: Izsáki Z, Lázár L. (2004): *Szántóföldi növények vetőmagtermesztése és kereskedelme*. Mezőgazda Kiadó, Budapest 183. o.

102. Jolánkai M., Szabó M. (2005): Búza. In: Eds: Antal J., Jolánkai M., (2005): Növénytermesztés I., A növénytermesztés alapjai, Gabonafélék. Mezőgazda Kiadó, Budapest 180-204. o.
103. Jung A. (2005): Spektrális információk alkalmazása a városklíma-kutatásban. Doktori értekezés 9., 124. o.
104. Jung A., Götze Ch., Gläßer C. (2009): White Reference Tour. First Results a round-robin test of more than 15 spectrometers. EUFAR Expert Working Group Workshop "Quantitative applications of soil spectroscopy 15-16 April 2010, Potsdam
105. Kardeván P. (2010): A távérzékelési technológia jellemzése. Távérzékelési előadás FVM MGI 2010
106. Kardeván P., Jung A., Deákvári J., Szalay D. K., Tolner I. T., Kovács L., Fenyvesi L. (2009): A hiperspektrális távérzékelési technológia sajátosságai, és miniségbiztosítottalkalmazásának hazai lehetőségei. ESRI Magyarország Felhasználói Konferencia 2009. 1-11. o, utolsó elérés időpontja: 2012.12.03. Forrás: http://www.academia.edu/3813760/Kardevan_etal_ESRI_conf_2009_ok7
107. Kardeván P., Jung A., Reisinger P. Nagy S. (2004): A parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia* L.) reflektancia spektrumainak meghatározása terepi mérésekkel. Magyar Gyomkutatás és Technológia, 5 (1), 15-31. o.
108. Kardeván P., Reisinger P., Tamás J., Jung A. (2005) A parlagfű detektálás távérzékelésmódszereinek vizsgálata. I. rész – A távérzékelési képek osztályozási hatékonyságának növelése a parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia* L) reprezentatív spektrumainak terepi DGPSmérésekkel történi kiválasztásával. Magyar Gyomkutatás és Technológia, 6 (2), 53–67. o.
109. Kárpáti M., Szentpétery Zs., Jolánkai M., Varga J., Fehér Gy. –né (1996): Az őszi búza tartalékfehérjéinek és aminosav-összetételének tanulmányozása a szemkialakulás során. Növénytermelés, 45, 3: 255-263. o.
110. Kátai L., Szabó I., Gárdonyi P. (2013): Ékszíjak melegedési viszonyainak vizsgálata. (Examination of V-belt temperature conditions.) GÉP. LXIV. évfolyam 2013. 6. szám. 58-61 pp.
111. Ketugen N., Chen K., Lenz F. (1997): Responses of srtawberry leaf photosynthesis chlorophyll fluorescence and macronutrient content to elevated CO₂. In: Bencze Sz., Bedő Z., Veisz O. (2006): Variation in leaf composition of winter wheat varieties due to the soil nitrogen content and avaluated atmospheric CO₂ level, Cereal Research Communication 34. (2): p. 401.
112. Kirchhoff G., Bunsen R. (1901): Chemical Analysis By Spectral Observations. In Brace, D. B. The Laws of Radiation and Absorption: Memoirs by Prévost, Stewart, Kirchhoff and Bunsen. New York: American Book Company. pp. 99–125., utolsó elérés időpontja: 2013.11.22. Forrás: http://books.google.com/books?id=3KwRAAAAYAAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
113. Kismányoky T. (1994): A nitrogén műtrágyázás. In: Földművelés. Szerk.: Nyíri László. Mezőgazda Kiadó Budapest. 236-246. o.
114. Kozma-Bognár V. (2012): Hiperspektrális felvételek feldolgozásának és mezőgazdasági alkalmazásának vizsgálata. Doktori értekezés Tézisfüzet. 10-21. o., utolsó elérés időpontja: 2013.10.10 Forrás: http://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2012/Kozma-Bognar_Veronika_theses_hu.pdf

115. Krenar T. (2009): Spectral-lifetime unmixing algorithms for biological fluorescence imaging. Thesis, Faculty of Rensselaer Polytechnic Institute, 3. p.
116. Krinov E. L. (1947): Spectral reflectance properties of natural formations. *Laboratoriia aerometodov*, Akad. Nauk SSSR. Moscow 1947. p. 271. In: National Research of Canada Technical Translation TT-439 Utolsó elérés időpontja: 2010.08.04. Forrás: [http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/npsi/ctrl?action=dsere&index=au&req="Krinov,+E.+L."](http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/npsi/ctrl?action=dsere&index=au&req=)
117. Kristóf D. (2005): Távérzékelési módszerek a környezetgazdálkodásban. Doktori értekezés 9. o., 32-33. o.
118. Kriston-Vizi J. (2000): Számítógépes képelemzésen alapuló vigorvizsgálati módszer kidolgozása vetőmag minősítéséhez. VI. Ifjúsági Tudományos Fórum, Keszthely, közlemények, 36-43. o.
119. Kruse F., A. (1994): Imaging Spectrometer Data Analysis - A Tutorial. in Proceedings of the International Symposium on Spectral Sensing Research (ISSSR), 10-15 June 1994, San Diego, CA, v. I, pp. 44–54.
120. Kumar L., Schmidt K., Dury S., Skidmore A. (2001): Imaging Spectrometry and Vegetation Science. 125–127 p. In: Van der Meer F. D., De Jong S. M. (Eds): *Imaging Spectrometry*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 403.
121. Lágymányosi A., Szabó I. (2011): Piled up wood chips investigation with 3D imaging. *Mechanical engineering letters: Research and development* 6: pp. 208-214.
122. Láng F. (1998): A fotoszintetikus pigmentek. 185 p. In: Láng F. (Eds): *Növényélettan*. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó, 998. o.
123. Landgrebe D. (2002): Hyperspectral Image Data Analysis as a High Dimensional Signal Processing Problem. *IEEE Signal Processing Magazine* Vol. 19, No. 1 January 2002 pp. 17-28.
124. Láng Z. (1998): Automatic steering control of plantation tractor based on image analysis. *Hungarian Agricultural Engineering* 11, pp. 66-68.
125. Láng Z., Molnár S., Horváth P.-né (1999): Számítógépes képelemzésen alapuló vetőmagvigor vizsgálati módszer. MTA-MÉM AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Témáinak Összefoglalói, Gödöllő, 27. o.
126. Lanyi G., Boboltz D., Charlot P., Fey A., Fomalont E., Gordon D., Jacobs C., Ma C., Naudet C., Sovers O., Zhang L. (2005):, *Baltic Astronomy* 14, p. 458.
127. Laudien R., Bareth G., Doluschitz R. (2003): Analysis of hyperspectral field data for detection of sugar beet diseases. *EFITA 2003 Conference*, Debrecen pp. 375-381.
128. Li F., Gny M. L., Jia L., Miao Y., Yu Z., Koppe W., Bareth G., Chen X., Zhang F. (2007): Estimating N status of winter wheat using a handheld spectrometer in the North China Plain. *Field Crops Research* 106 (2008) pp. 77–85.
129. Lillesand T. M., Kiefer R. M., Chipman J. W. (2004): *Remote sensing and image interpretation*. 1.p. New York: Wiley, p. 763.
130. Loch J., Nosticzius Á., (1983): *Alkalmazott kémia* In: Árendás T., Csathó P., Németh T. (2001): Tápanyagellátás a minőségorientált búzatermesztésben In: *A jó minőségű, keményszemű búza nemesítése és termesztése* Ed: Bedő Z. Felelős kiadó: Bedő Z., Búvár G., Matuz J. (2001) Martonvásár – Nádudvar – Szeged 73-74. o.
131. Lóki J. (1996): *Távérzékelés*. Kossuth Egyetemi Kiadó. Debrecen 113. o.

132. Lukács J. (2008): Kalászos gabonatermesztés az uniós Magyarországon. FVM Melléklet, utolsó elérés időpontja: 2014.03.11., Forrás: <http://www.pointernet.pds.hu/ujsagok/agraragazat/2004/02/20090117132506888000000359.html>
133. Maier C. L. (1970): Ångström, Anders Jonas. Dictionary of Scientific Biography 1. New York: Charles Scribner's Sons. pp. 166–167. ISBN 0-684-10114-9.
134. McClure W. F. (2003): 204 years of near infrared technology: 1800-2003 J. Near Infrared Spectrosc. 11. (6) pp. 487-518.
135. Milics G., Burai P., Lénárt CS. (2008): Pre-Harvest Prediction of spring barley nitrogen content using hyperspectral imaging. Cereal Research Communications Volume 36, pp. 1863-1866. Proceedings of the VII. Alps-Adria Scientific Workshop. Szlovákia, Stara Lesna
136. Milics G., Virág I., Farouk M. A., Burai P., Lénárt Cs. (2010): Airborne hyperspectral imaging for data collection for resilient agro-ecosystems. 9 th Alps-Adria Scientific Workshop. Növénytermelés. Špičák, Czech Republic, 2010. 04. 12-17., (Eds.: M. Harcsa) Akadémiai Kiadó, Vol. 59., pp. 593-596.
137. Miralbés C. (2003): Prediction chemical composition and Alveograph parameters on wheat by near-infrared transmittance spectroscopy. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51, pp. 6335–6339.
138. Miralbés C. (2008): Discrimination of European wheat varieties using near infrared reflectance spectroscopy. Food Chemistry 106 (2008) pp. 386-389.
139. Moges S. M., Raun W. R., Mullen R.W., Freeman K.W., Johnson G.V., Solie G.B (2004): Estimating of green, red, and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. J. Plant Nutritio, 27, pp. 1431–1441.
140. Mucsi L. (2004): Műholdas távérzékelés. Libellus kiadó, Szeged 221. o.
141. Nádasy E., Nádasy M. (2006): Some harmful or useful environmental effects of nitrogen fertilizers. Cereal Research Communication 34. (1): pp. 49-52.
142. Næs T., Isaksson T., Fearn T., Davies T. (2002): Multivariate Calibration and Classification. NIR Publications, Chichester, UK, pp. 344.
143. Nagy J. (2009): Éjjellátó Eszközök Fedélzeti Alkalmazásának kérdései. Repüléstudományi közlemények, XXI. évfolyam 2009. 4. szám, 1. o., utolsó elérés időpontja: 2010.08.17. Forrás: http://www.szrfk.hu/rtk/folyoirat/2009_4/2009_4_Nagy_Janos.html
144. Nagy S., Kalmár S. (2001): A távérzékelés lehetőségei a gyomtérképen alapuló precíziós gyomszabályozásban. Magyar gyomkutató és Technológia, 2 (1) 15-27. o.
145. NAIK (2014): NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet. AISA hiperspektrális távérzékelő rendszer ismertetése. Utolsó elérés időpontja: 2014.03.17 Forrás: http://www.gmgi.hu/file/document/muszer/814_aisa.pdf
146. NASA (2008): Airborne Visible and Infrared Imaging Spectrometer. NASA, utolsó elérés időpontja: 2013.10.10. Forrás: <http://www.nasa.gov/centers/dryden/research/AirSci/ER-2/aviris.html>
147. NASA (2013): Landsat 8 Mission Updates. Utolsó elérés időpontja: 2013.11.21. Forrás: http://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/main/mission-updates.html
148. NCAVEO (2008): The Natural Radiation Environment. Utolsó elérés időpontja: 2013.12.11. Forrás: http://www.ncaveo.ac.uk/special_topics/field_spectroscopy/natural_environment/?link=&template=print.inc

149. Németh T. (1996): Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest 1-11. o.
150. Németh T., Pálmai O., Horváth J. (2006): Evaluation of the N- fertilization of winter wheat based on the Nmin- method in farm practice. *Cereal Research Communication* 34. (2): pp. 589-592.
151. NERC (2010): The Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI-2). NERC - Airborne Research & Survey Facility. Utolsó elérés időpontja: 2014.01.10. Forrás: <http://arsf.nerc.ac.uk/instruments/casi.asp>
152. Newton I. (1672): A letter of Mr. Isaac Newton, Professor of the Mathematicks int he University of Cambridge; Containing HIS New Theory about Light and Colors: Sent by Author to the Publisher from Camridge, Feb 6. 1671/72; In Order to be Communicated to the R. Society. *Phil. Trans.* 167 6, Doi: 10.1098/rstl.1671.0072. published 1 January 1671 pp. 3075-3087., utolsó elérés időpontja: 2013.12.20. Forrás: <http://rstl.royalsocietypublishing.org/content/6/69-80/3075>
153. NOAA Coastal Service Center (2007): South Carolina's Coast: A Rremote SensingPerspective. Utolsó elérés időpontja: 2010.08.08 Forrás: <http://www.csc.noaa.gov/products/sccoasts/html/rsdetail.htm>
154. NOAA Coastal Service Center (2010): TIROS 1-50th Anniversary of the First Weather Satellite. Resources on TIROS and Satellite Meteorology, NOAA Central Library Network. Utolsó elérés időpontja: 2013.12.27. Forrás: <http://www.lib.noaa.gov/collections/TIROS/tiros.html>
155. Norris K. H., Hruschka W. R., Bean M. M., Slaughter D. C. (1989): A definition of wheat hardness using near infrared re⁻ectance spectroscopy. *Cereal Foods World*, 34, pp. 696-705.
156. Obukov A. I., Orlov D. S. (1964): Spectral reflectivity of major soil groups and the possibility of using diffuse reflection in soil investigation. *Soivet Soil Science*, 2. pp. 174-184.
157. Oldeland J. (2010): Methodology: Ground truthing and application of ground truth data for hyperspectral image analysis. ADDRESSS training course, 19-28 August 2010, Balaton Limnological Research Institute , Hungary pp. 52-55.
158. OMH (1995): Útmutató a mérési bizonytalanság kifejezéséhez. Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest. 4, p. 14.
159. Osborne B. G., Fearn T. (1986): Introduction In Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis. Longman Scientific & Technical Harlow. pp. 1-19.
160. Ördög V. és Molnár Z. (2011): Növényélettan. Növényi biokémia, szerves anyagtermelés a növényben. Utolsó elérés időpontja: 2013.11.10 Forrás: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_01_Novenyelettan/ch03.html
161. Pearson T. C., Wicklow D. T. (2008): Detection of Corn Kernels Infected by Fungi. *Transaction of the ASABE* 2006 Vol. 49 (4) pp. 1235-1245.
162. Péczely Gy. (1979): Éghajlattan. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó, 73., 336 o.
163. Pepó P. (2008): Fókuszban a búza: Az őszi búza tápanyagellátása. *Agrofórum*. (19. Évf. 9. szám) 12-19. o.
164. Pepó, P., Bocz, E., Pepó, P. (1990): Trágyázás és öntözés interakciójának vizsgálata őszi búzánál (*Triticum aestivum* L.) 10th World Fertilizer Congress of CIEC, Cyprus 44. o.
165. Pethő M. (1997): A mezőgazdasági növények élettana. Akadémia Kiadó, Budapest 374- 382. o.

166. Podmaniczky L. (2004): Térinformatika jegyzet. 4. fejezet. Utolsó elérés időpontja: 2010.08.08 Forrás: http://www.ktg.gau.hu/~podma/terinfo/4_fejezet.htm
167. Polhammer E.- né (1981): A búza és a liszt minősége. In: Ágoston T. (2006): Evaluation of quantity and quality parameters in winter wheat varieties. *Cereal Research Communication* 34. (2): p. 369.
168. Pollhammer E.- né (1988): A búza. Akadémiai Kiadó, Budapest, 28-38. o.
169. Radics L. Ed., (2001): Ökológiai gazdálkodás I. Dinasztia Kiadó, Budapest 210-214. o.
170. Ragasits I., Kismányoky T., Debreczeni K., Berecz K. (1999): Effect of fertilization on grain yield and yield components of wheat. *Zeszyty Problemowe Posterów Nauk Rolniczych. Długoletnie Stacyjne Doswiadczenia Nawozowe. Polska Akademia Nauk. Warszawa.* 45, pp. 147-157.
171. Riberto da Luz B. (2006): Attenuated total reflectance spectroscopy of plant leaves: a tool for ecological and botanical studies. *New Phytologist*, 172, pp. 305-318.
172. Rogers G. S., Payne L., Milham P., Conroy J. (1993): Nitrogen and phosphorus requirements of cotton and wheat under changing atmospheric CO₂ concentrations. In: Bencze Sz., Bedő Z., Veisz O. (2006): Variation in leaf composition of winter wheat varieties due to the soil nitrogen content and elevated atmospheric CO₂ level, *Cereal Research Communication* 34. (2): p. 401.
173. Zilinski S. (2008): Electrification, tele-writing, seeing close-up: Johann Wilhelm Ritter, Joseph Chudy, and Jan Evangelista Purkyne. In: *Deep Time of the Media. Toward an Archaeology of Hearing and Seeing by Technical Means* (Cambridge, MA: MIT Press, 2008), pp. 200-350. ISBN 978-0-262-74032-6.
174. Sabins F., F. (1996): Remote sensing. Principles and interpretation. W. H. Freeman and Co. Los Angeles, p. 494. In: Burai P. (2007): Távérzékelési módszerek összehasonlító elemzése mezőgazdasági mintaterületeken. Doktori értekezés 5. o.
175. Salzberg J. E., Kupferman J. (2010): Reflectors. Utolsó elérés időpontja: 2013.10.22. Forrás: <http://www.stagelightingprimer.com/index.html?slfs-reflectors.html&2>
176. Seregély Zs., Deak T., Bisztray Gy. D. (2004): Distinguishing melon genotypes using NIR spectroscopy. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 72 (2), pp. 195–203.
177. Serrano L., Filella I., Pen˜uelas J. (2000): Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. *Crop Science*, 40, pp. 723–731.
178. Shahin M. A., Symons S. J. (2011): Detection of Fusarium damaged kernels in Canada Western Red Spring wheat using visible/near-infrared hyperspectral imaging and principal component analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75, pp 107–112.
179. Silva T. A., Beyl C. A. (2005): Changes in spectral reflectance of wheat leaves in response to specific macronutrient deficiency. *Advances in Space Research* 3, pp. 305–317.
180. Smith K. L., Steven M. D., Colls J. J. (2004): Use of hyperspectral derivative ratios in the red-edge region to identify plant stress responses to gas leaks. *Remote Sensing of environment* 92, 2, pp. 207-217.
181. Specim (2013): AISA Eaglet Compact hyperspectral sensor. Specim catalog pp. 1-2., utolsó elérés időpontja 2013.10.10. Forrás: http://www.specim.fi/files/pdf/aisa/datasheets/AisaEAGLET_datasheet-ver1-2013.pdf
182. SPIE (2009): Remote Sensing. SPIE Professional April 2009. DOI: 10.1117/2.4200904.07, utolsó elérés időpontja: 2014.01.09. Forrás: <http://spie.org/x34452.xml>

183. Stefanovits P., Micheli E., Fenyvesi L. (1989): Infrared reflectance of artificially prepared organo-mineral complexes. *International Agrophysics*, 5 (1-2), pp. 99-105.
184. Stoner E. R., Baumgardner M. F. (1981): Characteristic variations in reflectance of surface soils. *Soil Science American Journal*. 45. pp. 1161-1165.
185. Surrey (2008): SSTL CHRIS. Surrey Satellite Technology Ltd., Datasheet. Utolsó elérési időpontja: 2013.12.10. Forrás: <http://www.sstl.co.uk/Downloads/Datasheets/CHRIS-datasheet>
186. Szabó I., Kátai L., Csomai R. (2011): 3D Scanning and Computer Analysis of Morphological Aspects for Agricultural Applications. *Hungarian agricultural engineering* 23: pp. 105-108.
187. Szabó M., Ángyán J., Forgács M., Tirczka I. (1987): Magyarország klimatikus adottságainak biomeriai elemzése az őszi búza termésátlaga és minősége szempontjából. *Növénytermelés* 36, 1: 17-30 o.
188. Szabó P. B. (2009): Módszerek búza szemkeménységének meghatározására. *Doktori értekezése* 63-65. o.
189. Szalai I. (1994): A növények élete II. 208–212. o. Szeged: JATEPress, 579 o.
190. Szalay D. K., Farkas I., Szalay D. (2009): Evaluation of nutrient supply as abiotic stressor on winter wheat *Triticum aestivum* L. performance. *Cereal Research Communication* 37. (2): pp. 21-24.
191. Szalay K. D., Deákvári J., Bércesi G., Csorba Á., Bellus Z., Fenyvesi L. (2013): Methodological improvement of laboratory spectroscopy for postharvest separation of fusarium infected grain samples. *Proceedings of First International Symposium on Agricultural Engineering, Belgrade–Zemun, Serbia, ISBN 978-86-7834-179-3*, pp. 7-11.
192. Szalay K. D., Deákvári J., Firtha F., Tolner I. T., Csorba Á., Fenyvesi L. (2011): Identifying nutrition sensitive spectral changes in various winter wheat samples. *Progress in Agricultural Engineering Sciences, Volume 7, Number 1/January 2011*, pp. 47-63.
193. Szász G. (1988): *Agrometeorológia*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 662. o.
194. Szendrő P., Szász A. (2003): A new challenge in environmental pollution: electrosmog. *Hungarian Agricultural Engineering* 16/2003 16: pp. 89-92.
195. Szentpétery Zs., Jolánkai M., Kleinheincs Cs., Szöllősi G. (2005): Effects of nitrogen topdressing on wheat. *Cereal Research Communications* 2- 3 pp. 619- 627.
196. Szentpétery Zs., Jolánkai M., Varga J., Fehér Gy.- né (1995): Az őszi búza hektoliter-tömegének, fehérje és nedves siker mennyiségének változása az elhúzódo betakarítás hatására. *Növénytermelés*. 44, 5 -6: 475-482. o.
197. 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.
198. Tamás J. (2005): Széles spektrumú kézi kamera alkalmazhatósága a terepi gyomfelvételezésekre. *Növényvédelem*, 41 (2) 53-59. o.
199. Tamás J., Flórián T. (2008): Agricultural application of remote sensing data. *Geoinformatics*. Utolsó elérési időpontja: 2014.01.09. Forrás: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_terinformatika/ch05.html
200. Thenkabail P. S., Ronald B., Smith R. B., Pauw E. D. (2000): Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics. *Remote Sensing of Environment* 71, pp. 158-182.

201. Turza, S., Toth, A., Varadi, M. (1998). Multivariate classification of different soybean varieties. In Davies (Ed.), Proceedings of the 8th international conference AMC. Chichester, UK: NIR Publications pp. 183-187.
202. Veróné W., M. (2010): A távérzékelés alkalmazási területeinek áttekintése. Fotointerpretáció és távérzékelés. 14-17. o. Utolsó elérés időpontja: 2013.12.16. Forrás: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_FOI6/ch01s02.html
203. Vizi G. N., Szendrő P., Szász A. (2013): Elektromágnesestér-kibocsátás különböző környezetben. Mezőgazdasági Technika, LIV, 9. 5-7. o.
204. Wallays C., Misotten B., Baerdemaker J. D, Saeys W. (2009): Hyperspectral waveband selection for on-line measurement of grain cleanness. Biosystems Engineering 104, no. 1, pp. 1-7.
205. Webber A. N., Nie G. Y., Long S. P., (1994): A decimal code for the growth stages of cereales. In: Bencze Sz., Bedő Z., Veisz O. (2006): Variation in leaf composition of winter wheat varieties due to the soil nitrogen content and elevated atmospheric CO2 level. Cereal Research Communication 34. (2): p. 401.
206. William H. (1800): Experiment on Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun. By William Herschel, LL. D. F. R. S. Philosophical Transactions. R. Soc. London. 1800, 90, pp. 284-292. Doi: 10. 1098/rstl. 1800.0015, utolsó elérés időpontja: 2013.12.22. Forrás:http://web.calstatela.edu/faculty/kaniol/a360/Herschel_infrared.Phil.Trans.%20R.Soc.Lond.90.p284-1800.pdf
207. Williams P.C., Manley M., Fox, G. és Geladi, P. (2010): Indirect detection of Fusarium verticillioides in maize (Zea maize L.) kernels by NIR hyperspectral imaging. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 18, pp. 49-58.
208. Williams, P.; Norris, K. eds. (2001): American Association of Cereal Chemistry, Inc.: St. Paul, Minnesota, USA, 2001, p. 19. (2nd ed.)
209. Woolley J. T. (1971): Reflectance and transmittance of light by leaves. Plant physiology, 47. pp. 656-662.
210. Xing J., Symons S., Shahin M., Hatcher D. (2010): Detection of sprout damage in Canada Western Red Spring wheat with multiple wavebands using visible/near-infrared hyperspectral imaging. Biosystems Engineering 106, 2, pp. 188-194.
211. Yang C., Everitt J. H., Bradford J. M., Murden D. (2009): Comparison of airborne multispectral and hyperspectral imagery for estimating grain sorghum yield, Transaction of the ASABE, pp. 641-651.
212. Yang I., Delwiche S. R., Kim M. S., Tsai C., Lo Y. (2009): Determination of wheat kernel black point damage using hyper-spectral imaging. Journal of Agricultural Machinery. 18, pp. 29-44.
213. Yang Z., Rao M. N., Elliott N. C., Kindler S. D., Popham T. W. (2009): Differentiating stress induced by greenbugs and Russian wheat aphids in wheat using remote sensing. Computers and Electronics in Agriculture 67, 1-2, 64-70 pp.
214. Yao X., Zhu Y., Tian Y., Feng W., Cao W. (2010): Exploring hyperspectral bands and estimation indices for leaf nitrogen accumulation in wheat. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 12, 2, pp. 89-100.
215. Yara (2004): Crop Area 'Sensed'. Yara UK Limited. In: Kriston-Vizi (2004): Új távérzékelés-képelemzés alapú vizsgálati módszer őszibarack és mandarin gyümölcsminőség optimalizálására. Doktori értekezés, 8. o.

216. Yong H., Xiaoli L., Xunfei D. (2007): Discrimination of varieties of Tea Using Near Infrared Spectroscopy by Principal Component Analysis and BP Model. *Journal of Food Engineering*, 79 (4): pp. 1238-1242.
217. Zapotoczny P. (2011): Discrimination of wheat grain varieties using image analysis: morphological features. *Eur Food Res Technology* 2011, 233: pp. 769-779.
218. Zeltex Inc. (2009): AccuHarvest On-Combine Grain Analyzer. Utolsó elérés időpontja 2009.03.23. Forrás: <http://www.zeltex.com/accuharvest.pdf>
219. Zhao T., Komatsuzaki M., Okamoto H., Sakaim K. (2010): Cover Crop Nutrient and Biomass Assessment System Using Portable Hyperspectral Camera and Laser Distance Sensor. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, Research paper pp. 105-112.
220. Zilinyi V. (1995): Természetes felületek spektrális reflexiós tulajdonságai és hasznosításuk az optikai távérzékelés interpretációjában. *Doktori Értekezés, DATE, MTK, Debrecen*
221. Zimmer J. (2013): Historique des montgolfières. Utolsó elérés időpontja: 2013.01.20. Forrás: <http://www.hotairballoons.fr/historique>
222. Zwiggelaar R. (1998): A review of spectral properties of plants and their potential use for crop/weed discrimination in row-crops. *Crop Protection*, Volume 17, Issue 3, May 1998, pp. 189–206.
223. Планета (2013): Космический аппарат «Ресурс-П». Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение "Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии "Планета". Utolsó elérés időpontja: 2013.12.01. Forrás: <http://planet.iitp.ru/index1.html>
224. Порошков В. (2002): Создание и запуск Первого спутника Земли. *Новости Космонавтики*. Utolsó elérés időpontja: 2011.11.04. Forrás: <http://www.novosti-kosmonavtiki.ru/content/numbers/237/36.shtml>

M2: Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk*Lektorált cikk idegen nyelven:*

1. Szalay D., **Szalay D. K.**, Hárs T., Klupács H. (2006): Copper – An important element influencing wheat quality. *Cereal Research Communication* 34. (1): pp. 77-80. IF: (1,037)
2. **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.
3. **Szalay K. D.**, Deákvári J., Csorba Á., Firtha F., Milics G. (2013): Spectroscopic approach of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) nutrition and pest control. *Agricultural Engineering, Scientific Journal*, XXXVIII, No. 2, 2013, pp. 1-11.
4. **Szalay K. D.**, Deákvári J., Csorba Á., Milics G. (2013): Adaptation of spectroscopic analysis in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) examination and pest control. *Reports of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 2013 (2), pp. 81-87.
5. **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.
6. **Szalay K. D.**, Deákvári J., Firtha F., Tolner I. T., Csorba Á., Fenyvesi L. (2011): Identifying nutrition sensitive spectral changes in various winter wheat samples. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, Volume 7, Number 1/January 2011, pp. 47-63.
7. **Szalay K. D.**, Fenyvesi L. (2011): Spectroradiometric and hyperspectral sampling and data processing methodologies in modern agricultural production. *Hungarian Agricultural Engineering* No. 23/2011, pp. 97-100.
8. Szöke 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.
9. 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.
10. **Салай 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:

11. Balla I., Jolánkai M., Szentpétery Zs., **Szalay K.** (2011): Nitrogénfejtrágyázás és a jó minőségű kenyér. *Őstermelő Gazdálkodók Lapja* 2011/2. szám: 2011. április-május, 29-31. o.
12. 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.
13. 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.
14. **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.

Nemzetközi konferencia kiadvány:

1. **Szalay D. K.** (2011): A terepi és laboratóriumi spektrometria és szerepe a légi hiperspektrális technológiában. XVI Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, Románia 2011.03.24-25. 305-308. o.
2. **Szalay K. D.**, Deákvári J., Bércesi G., Csorba Á., Polyák D., Bellus Z., Fenyvesi L. (2013): Possible reduction of measuring uncertainties in laboratory spectroscopy. Synergy and Technical Development Conference, Gödöllő, Hungary, 13-19. October 2013, (N07-4-172)
3. **Szalay K. D.**, Deákvári J., Tolner I. T., Csorba Á., Fenyvesi L. (2011): Hyperspectral data acquisition and information management in agricultural production. Proceeding of 7th International Research and Development Conference of Central and Eastern European Institute of Agricultural Engineering (CEEAgEng) (Minsk, 2011) pp. 35-44.
4. **Салаи К.Д.**, Феньвеши Л.К. (2011): Влияние азотных удобрений на спектральные характеристики озимой пшеницы сорта «Alföld 90» Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве, Международной научно-практической конференции (Минск, 19–20 октября 2011 г.) pp. 191-196.

Magyar nyelvű konferencia kiadvány:

5. **Szalay D. K.**, Tolner I. T., Csorba Á., Deákvári J., Kovács L., Kardeván P., Fenyvesi L. (2010): A hiperspektrális mérés technológia - A terepi és laboratóriumi mérések alkalmazása és jelentősége. A Gépipari Tudományos Egyesület Mezőgépipari Szakosztály Tanácskozásának Kiadványa, pp. 38-44.

Nemzetközi konferencia abstract:

6. **Szalay K. D.**, Tarnawa Á., Balla I., Tolner I. T., Fenyvesi L. (2010): Improvement in evaluation methodology of small plot trial nutrient supply. 3rd IFSDAA International Seminar on Crop Science For Food security, Bio-energy and Sustainability, Szeged Book of abstract, p. 58. (2010.06.01-03)

Magyar nyelvű abstract:

7. Deákvári J., Kovács L., **Szalay D. K.**, Tolner I. T., Csorba Á., Milics G., Virág I., Balla I., Kardeván P., Fenyvesi L. (2011): A parlegfüvel fertőzött területek meghatározási hiperspektrális távérzékelési eszközökkel. XXI. Keszthelyi Növényvédelmi Fórum 41. o. (2011.01.26-28.)

Egyéb:

8. Nagy V., Milics G., Smuk N., Kovács A. K., Balla I., Jolánkai M., Deákvári J., **Szalay K. D.**, Fenyvesi L., Stekauerová V., Wilhelm Z., Rajkai K., Németh T., Neményi M. (2013): Continuous field soil moisture content mapping by means of apparent electrical conductivity (EC) measurement. Journal of Hydrology, Hydromech., 61, 2013, 4, pp. 305–312., (IF: 1,2)

M3: Őszi búzatermesztési kísérlet

A búzafajták elkülöníthetőségének vizsgálatához olyan egyöntetű, gyommentes növényi állományra volt szükség, mely garantáltan fajtaazonos. Ez megfelelő terület előkészítéssel és fémzárolt vetőmag vetésével biztosítható. Mivel az egyes búzafajták egyedi időjárás- és tápanyagspecifikus reakciói a körülményektől függően befolyásolják a növényi produktum mennyiségét és minőségét változó tápanyag-ellátottság mellett több évjárat vizsgálatára van szükség. Az őszi búzafajták elkülönítésének vizsgálatát a Szent István Egyetem Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézet Hatvan-Nagygombosi Kísérleti Telepén kialakított termesztési kísérlet tette lehetővé. A kísérleti növényi anyag előállításának lépéseit a következőekben ismertetem.

Termesztési kísérlet

A terület Hatvan-Nagygombos térségében helyezkedik el (106. ábra). A csernozjom- barna erdőtalaj (calciustoll) adottságaival bíró területen minden évben fenntartó jellegű, őszi elején végzett alaptrágyázás során 15:15:15 arányú komplex NPK műtrágyát juttatnak ki, 0,3 [t/ha] mennyiségben. Mindhárom tápelem esetében 45 kg/ha hatóanyaggal. Az őszi búza kísérlet helyszíne a területen belül minden évben vetésforgó alapján kerül kitűzésre.



106. ábra: Hatvan-Nagygyombosi Kísérleti Telep (Google, 2014 – után módosítva).

A kísérletben termesztett és általam vizsgált őszi búzafajták a következők voltak: Alföld 90, Mv Csárdás, Mv Magdaléna, Mv Suba, Mv Toborzó.

Az őszi búzafajták 5 millió [csira/ha]-ral és 12 [cm]-es sortávval, 10 [m²] –es parcellákban kerültek elvetésre 2009, 2010, 2011 években. Minden fajta esetében Elit (Bázis) szaporulati fokú vetőmag

volt elvetve. A parcellák eltérő műtrágyakezelésben részesültek, véletlen blokk elrendezésben, több ismétlésben. A nitrogén ammonium-nitrát (36-0-0) formájában került kijuttatásra bokrosodáskor. A vetést, valamint a bokrosodás fenofázisában végzett műtrágyázást a következő ábrák mutatják be (107. ábra, 108. ábra).



107. ábra: Vetés.



108. ábra: Hege parcella műtrágya-szóró.

A kísérlet során különböző tápanyag-utánpótlással kialakított kezelésszinteket és ismétléseket a következő táblázat ismerteti (29. táblázat).

29. táblázat: Kezelésszintek és ismétlések.

Búzafajta	Tápanyag-utánpótlási szint	Ismétlés	Évjáratok (betakarítás éve)
Alföld 90	0 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
	80 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
	120 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
Mv Csárdás	0 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
	80 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
	120 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
Mv Magdaléna	0 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
	80 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
	120 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
Mv Suba	0 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
	80 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
	120 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
Mv Toborzó	0 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
	80 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012
	120 [kg/ha] N	4	2010, 2011, 2012

A kísérlet a kijuttatott ammónium-nitrát kivételével további tápanyag-kijuttatási, vagy növényvédelmi kezelésben nem részesült. A betakarítás parcellánként történt, kezelésenként 4 ismétlés termését begyűjtve. Az aratás Wintersteiger gyártmányú parcellakombájnnal történt. A kombájntiszta anyagot ellenáramú gabonatisztítóval tisztítottam. A vetőmagmintákat egy raktárhelységben, azonos körülmények között (páratartalm, hőmérséklet), szabványos papírzacskókban tároltam. A raktárhelység relatív páratartalma 60 [%]-os. A tárolás során a minták 14 [%]-os egyensúlyi nedvességtartalomra száradtak. A nedvességet mérések előtt gravimetrikus nedvességtartalom meghatározással ellenőriztem. A nedvességtartalom meghatározást MSZ 6367/3-1983. számú szabvány alapján végeztem el.

A növényi állomány

A kísérleti területen elvetett parcellákon mindhárom évben gyommentes, egyenletesen fejlődő, egészséges, egyöntetű állomány volt, mind az öt búzafajta esetében. A különböző tápanyag-utánpótlási szintek szabad szemmel is látható különbségeket eredményeztek már a kijuttatást követő hetekben és látható volt egészen a betakarítást megelőző időszakig. A nitrogén műtrágya hatását a termés mennyisége és a minőségi paraméterek is jól tükrözték (Szalay et al., 2010, Balla et al., 2011).

A beállított hároméves termesztési, illetve tápanyag-utánpótlási kísérlet kiváló lehetőséget biztosított a kísérletben elvetett búzafajták fajtajellegének tanulmányozására. A búza fejlődési fázisait, valamint a terepi mérési eljárást figyelembe véve a legalkalmasabb fenológia fázisok a kalászhányást megelőző (109. ábra) és a betakarítást megelőző (110. ábra) időszak. A bokrosodás fázisában (111. ábra) a búzanövényekről mért spektrális információ nagymértékben keveredik a talajfelszínről visszaverődő elektromágneses sugárzással. A három egymást követő évben elvetett, és minden évben három különböző nitrogéndózissal kezelt búzafajta növényi állománya és termése jól közelítette a köztermesztésben előforduló termesztési körülményeket.



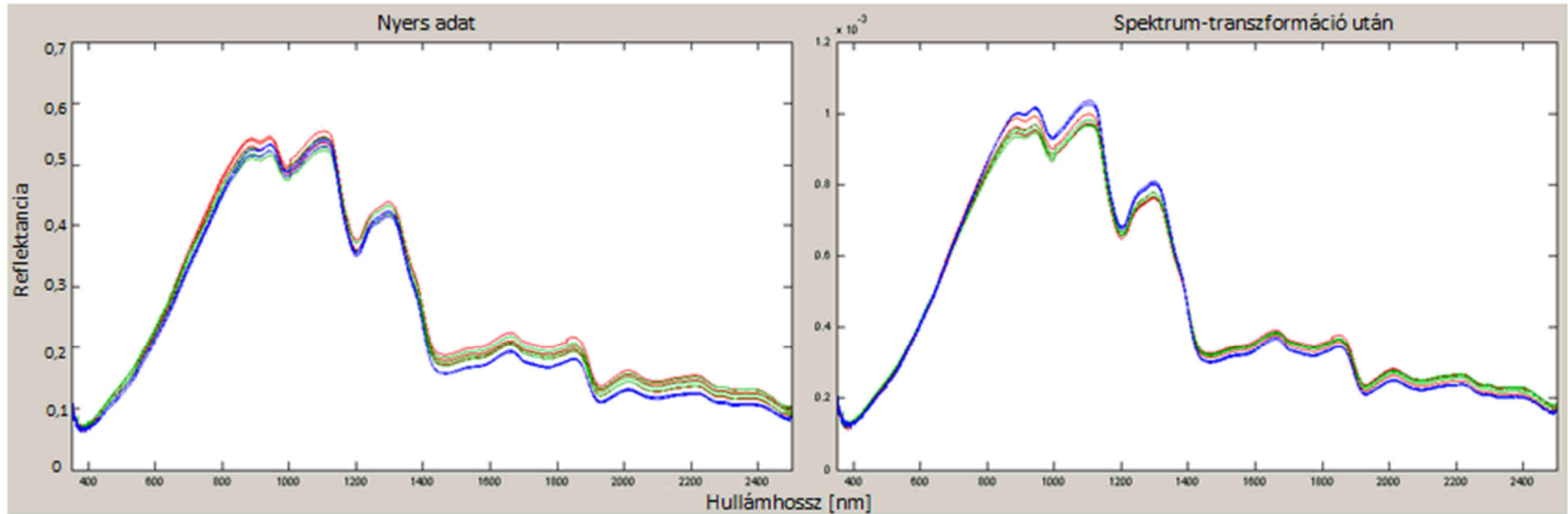
109. ábra: Bokrosodás után.



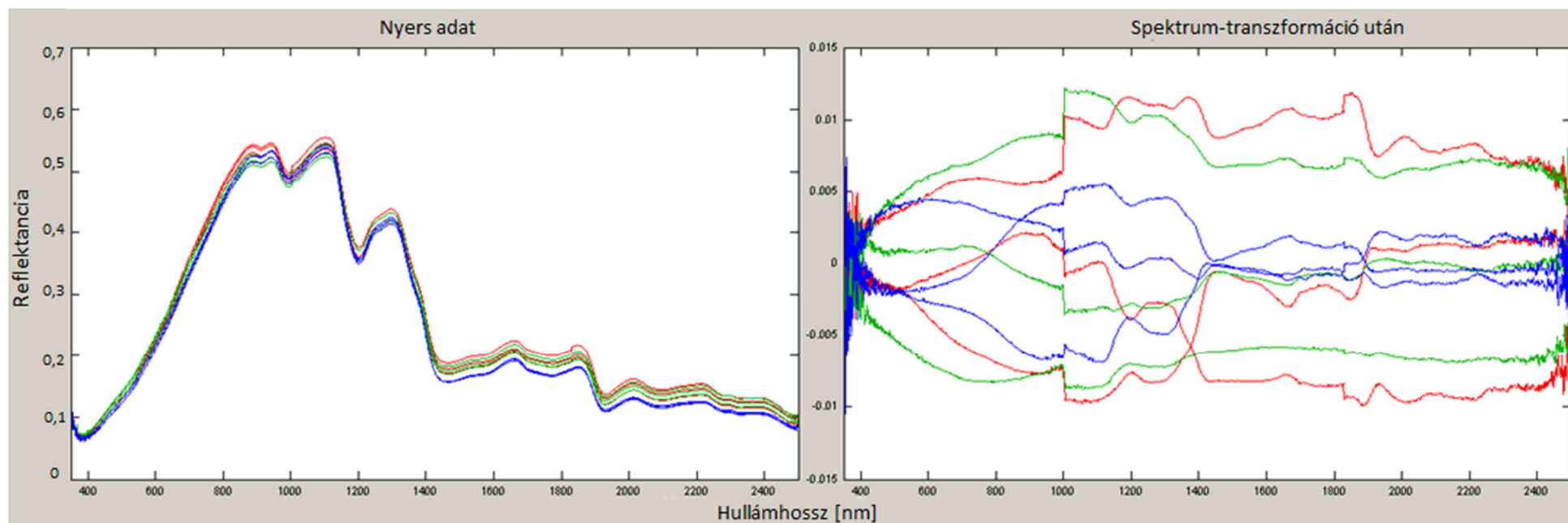
110. ábra: Kalászhányás előtt.



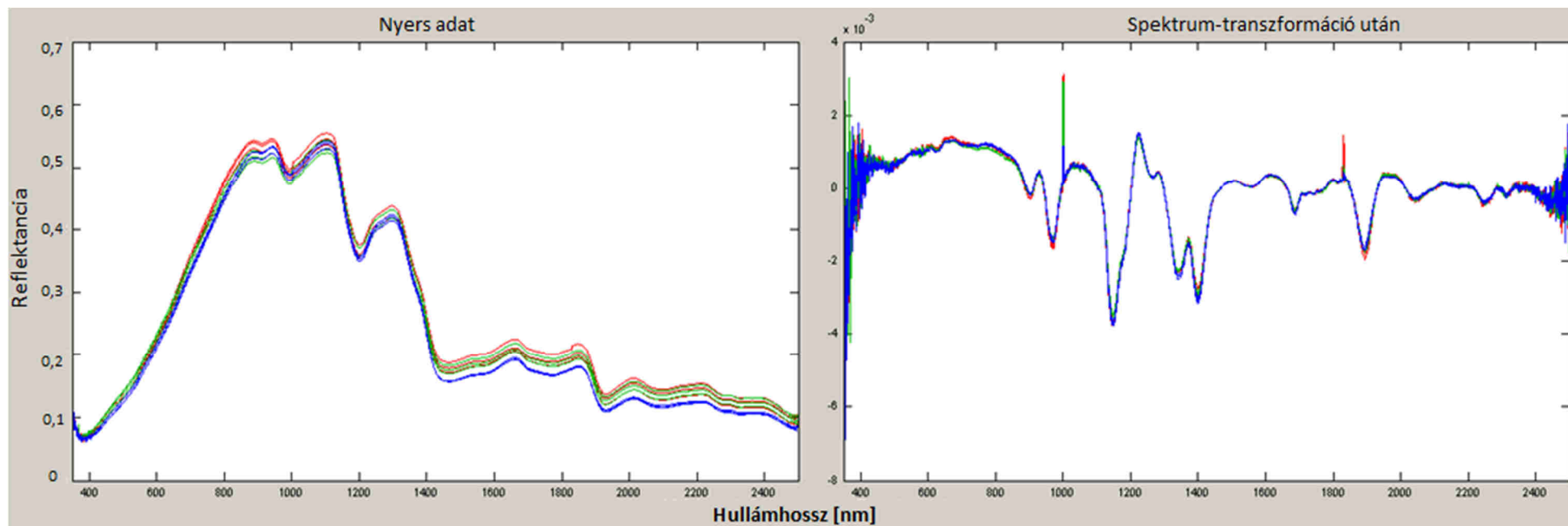
111. ábra: Betakarítás előtt.

M4: A spektrum-transzformációs lépések grafikus ismertetése

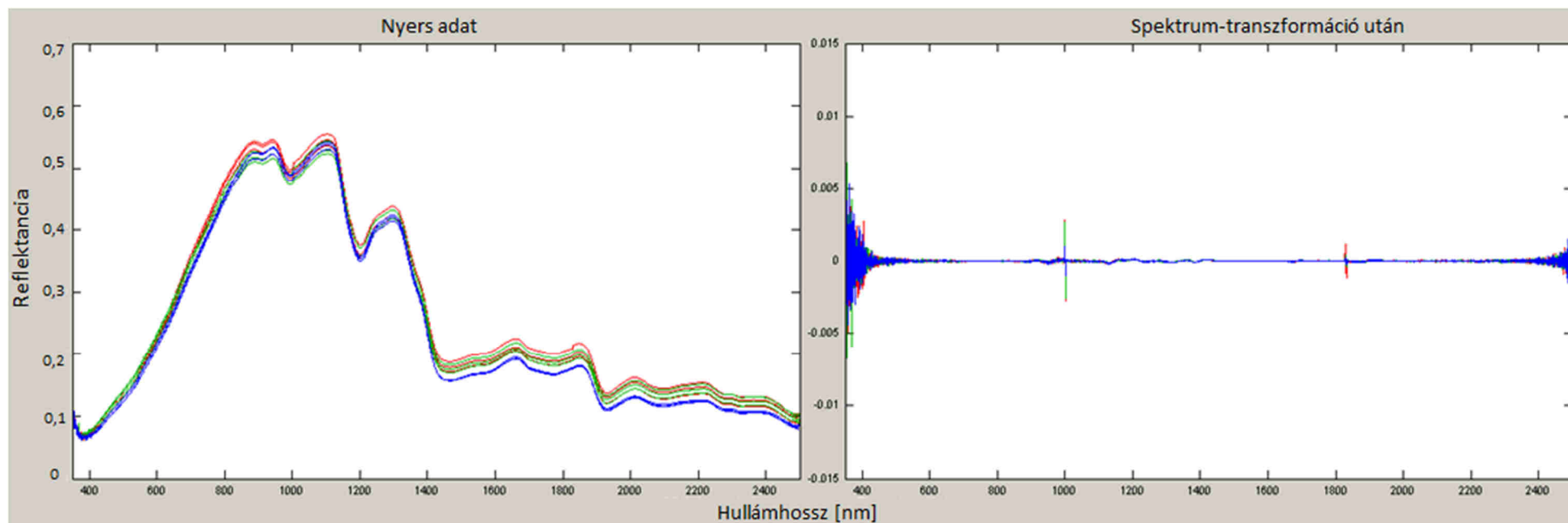
112. ábra: Normálás teljes görbe alatti területre (Alföld 90-piros, Mv Csárdás-zöld, Mv Magdaléna-kék).



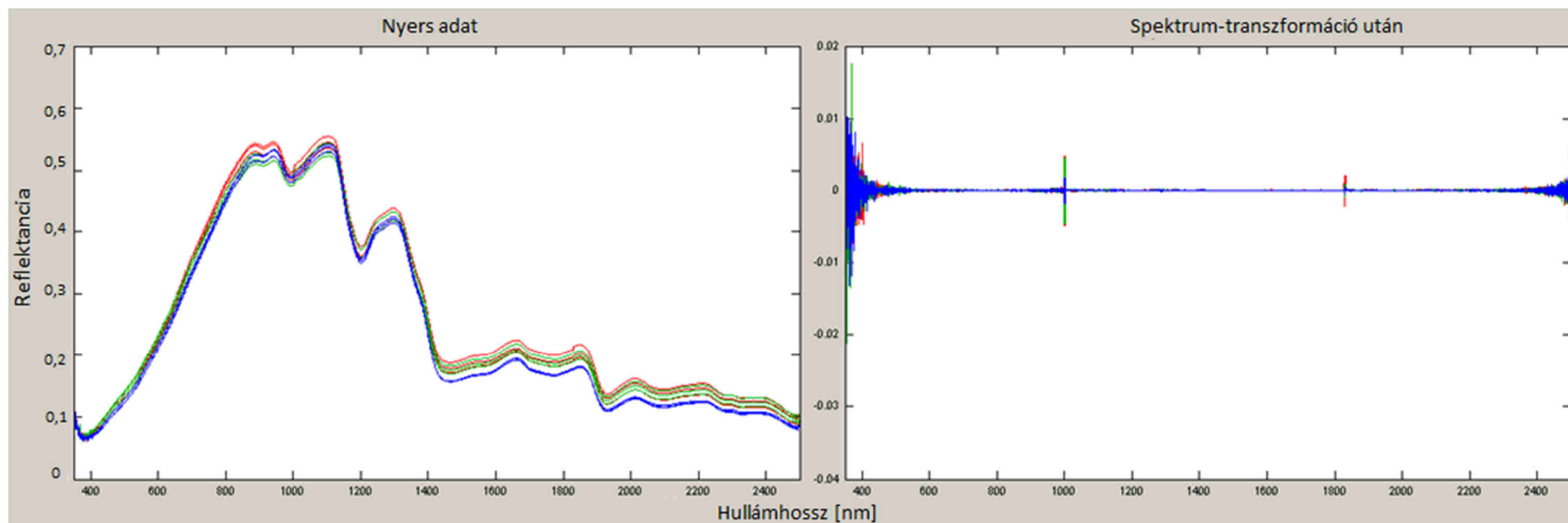
113. ábra: Osztályközépre skálázás (Alföld 90-piros, Mv Csárdás-zöld, Mv Magdaléna-kék).



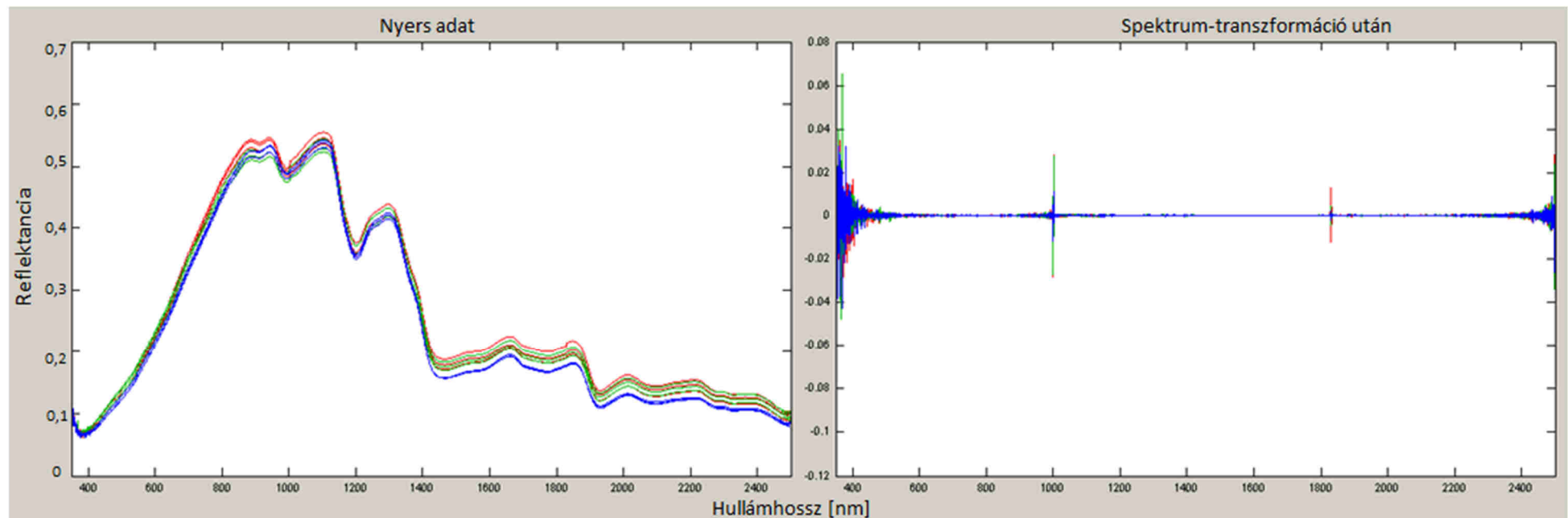
114. ábra: A spektrumok első deriváltja (Alföld 90-piros, Mv Csárdás-zöld, Mv Magdaléna-kék).



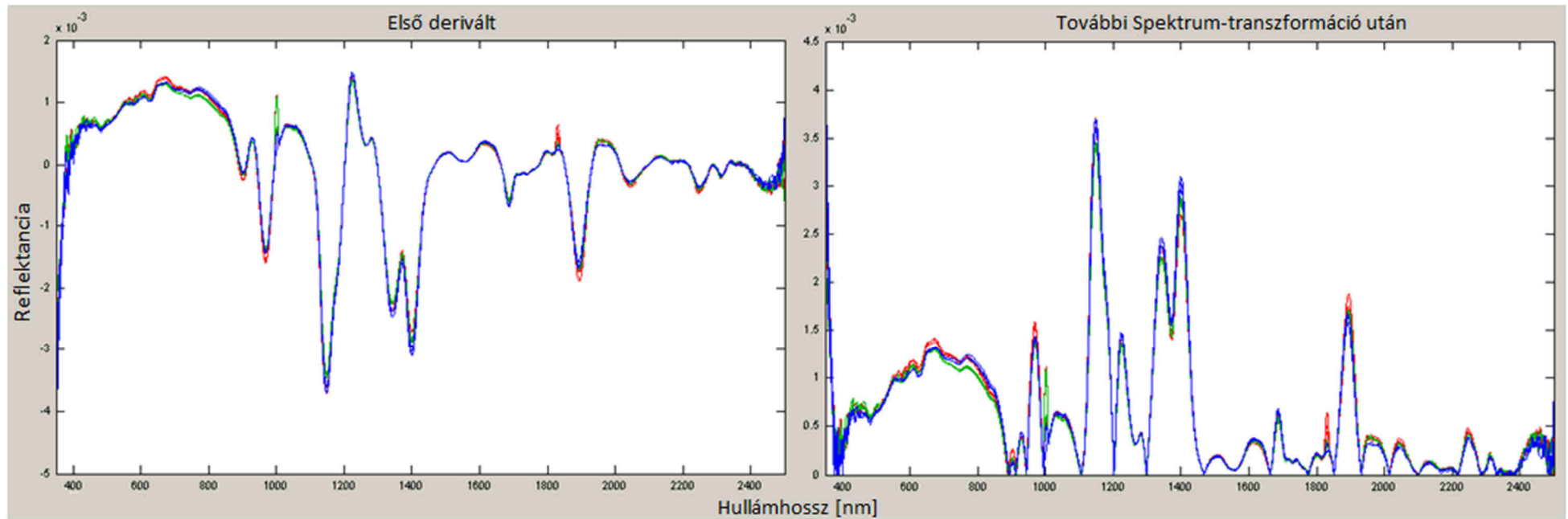
115. ábra: A spektrumok második deriváltja (Alföld 90-piros, Mv Csárdás-zöld, Mv Magdaléna-kék).



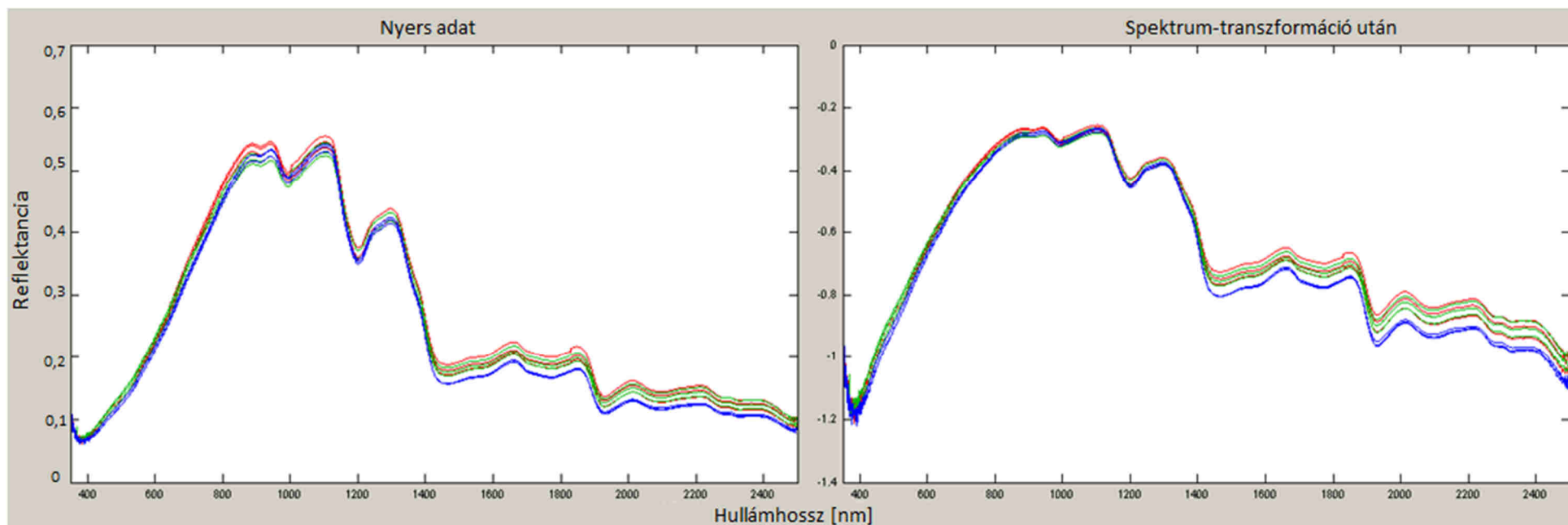
116. ábra: A spektrumok harmadik deriváltja (Alföld 90-piros, Mv Csárdás-zöld, Mv Magdaléna-kék).



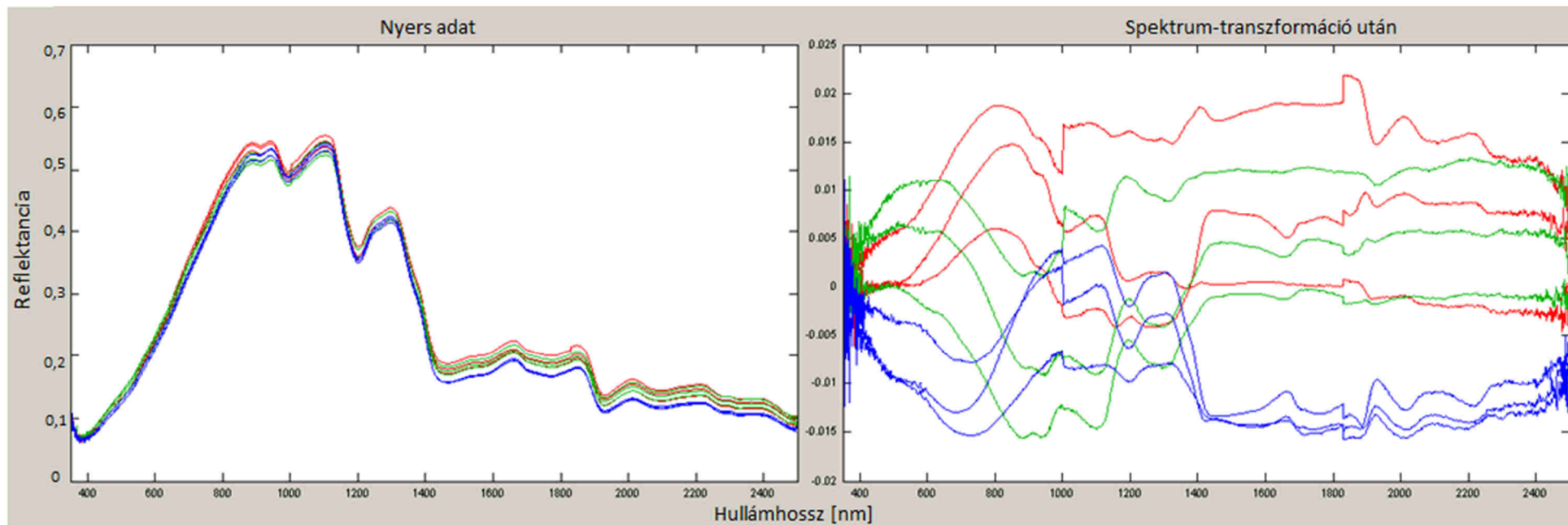
117. ábra: A spektrumok negyedik deriváltja (Alföld 90-piros, Mv Csárdás-zöld, Mv Magdaléna-kék).



118. ábra: Az első rendű derivált spektrumok abszolút értéke (Alföld 90-piros, Mv Csárdás-zöld, Mv Magdaléna-kék).



119. ábra: Log10 spektrum-transzformáció (Alföld 90-piros, Mv Csárdás-zöld, Mv Magdaléna-kék).



120. ábra: Középvértékre skálázás (Alföld 90-piros, Mv Csárdás-zöld, Mv Magdaléna-kék).

M5: SIMPLS algoritmus

X	$N \times K$ magyarázó változók mátrixa
Y	$N \times M$ válasz változók mátrixa
\hat{B}_{PLS}	$K \times M$ PLS koefficiens a becslő mátrixa
T	$N \times A$ a PLS látens változóinak mátrixa X-re
U	$N \times A$ a PLS látens változóinak mátrixa Y-ra
R	$K \times A$ eredeti X mátrix faktorsúlya a látens változókara T
C	$M \times A$ faktorsúlyok mátrixa Y-ra
P	$K \times A$ faktorsúly mátrixa X-re
V	$K \times A$ P-re merőleges síkú mátrix
x_k	X oszlopvektora
y_m	Y oszlopvektora
t_a	T oszlopvektora
u_a	U oszlopvektora
r_a	R oszlopvektora
c_a	C oszlopvektora
p_a	P oszlopvektora

A SIMPLS (Statistically Inspired Modification of the Partial Least Square algorithm) egy iteratív algoritmus, melynek célja a becslést végző PLS regressziós modell $\hat{Y} = X\hat{B}_{PLS}$ megtalálása. A modell megalkotásához látens változókra van szükség, melyet a spektrumok esetében 2151 [db] változóból álló információhalmazból kell kinyerni.

Legyen T és U két látens változó:

$$T = XR, U = YC. \quad (M5.1)$$

A fenti képletből látható, hogy T és U lineáris kombinációja X -nek és Y -nak, ahol R és C az X -re és Y -ra vonatkozó látens változó faktorsúlya. A látens változó mátrix $T = (t_1, t_2, \dots, t_{1A})$ egymásra merőleges látens változókat tartalmaz:

$$t_a = Xr_a. \quad (M5.2)$$

azaz $t_i \perp t_j$, melyre igaz, hogy $i \neq j$

A látens változók megállapítása a deflált kovariancia mátrixból $S = X'Y$ szukszesszíven történik a kovariancia maximálásával:

$$u_a = Yc_a, a = 1, 2, \dots, A, \quad (M5.3)$$

ami merőleges az előző t változóra, azaz $u_j \perp u_i$, ahol $i < j \leq a$.

Az algoritmus az eredeti X és Y mátrixokkal kezd az első iterációban és a következő alapvető lépésekből áll (2.-8. lépéseknél $a = 1, 2, \dots, A$):

1. Az algoritmus elején kiszámításra kerül:

$$S_1 = X'Y \quad (M5.4)$$

2. Levezetésre kerül az r_a , mint $S_a S_a'$ domináns saját vektora (vagy S_a első egyedi vektora)

3. X és r_a szorzatából kiszámításra kerül t_a

4. Az euklideszi távolság kiszámításához a t_a normálása a következő lépés:

$$t_{a_norm} = \frac{t_a}{\sqrt{t_a' t_a}}. \quad (M5.5)$$

A X változóra vonatkozó faktorsúlyok adaptálása után a számítás a következő képlettel történik:

$$r_{a_adaptált} = \frac{r_a}{\sqrt{t'_a t_a}}. \quad (\text{M5.6})$$

5. Kiszámolásra kerül:

$$p_a = X' t_{a_norm} \quad (\text{M5.7})$$

$$c_a = Y' t_{a_norm} \quad (\text{M5.8})$$

$$u_a = Y c_a. \quad (\text{M5.9})$$

6. A deflált kovariancia mátrix S a következő képlettel kerül kiszámításra:

$$S_{a+1} = S_a - v_a(v'_a S_a) \quad (\text{M5.10})$$

ahol:

$$v_a = p_a - V_{a-1}(V'_{a-1} p_a), \quad a = 2, 3, \dots, A$$

kezdődve: $v_1 = p_1 V_a \equiv (v_1, v_2, \dots, v_a) - \text{al}$.

7. u_a -t merőlegessé teszi az algoritmus t_b -re, ahol $b = 1, 2, \dots, a - 1$ és

$$u_a = u_a - T_{a-1}(T'_{a-1} u_a). \quad (\text{M5.11})$$

ahol:

$$T_{a-1} \equiv (t_1, t_2, \dots, t_{a-1})$$

A lépés csak abban az esetben szükséges, ha $a > 1$.

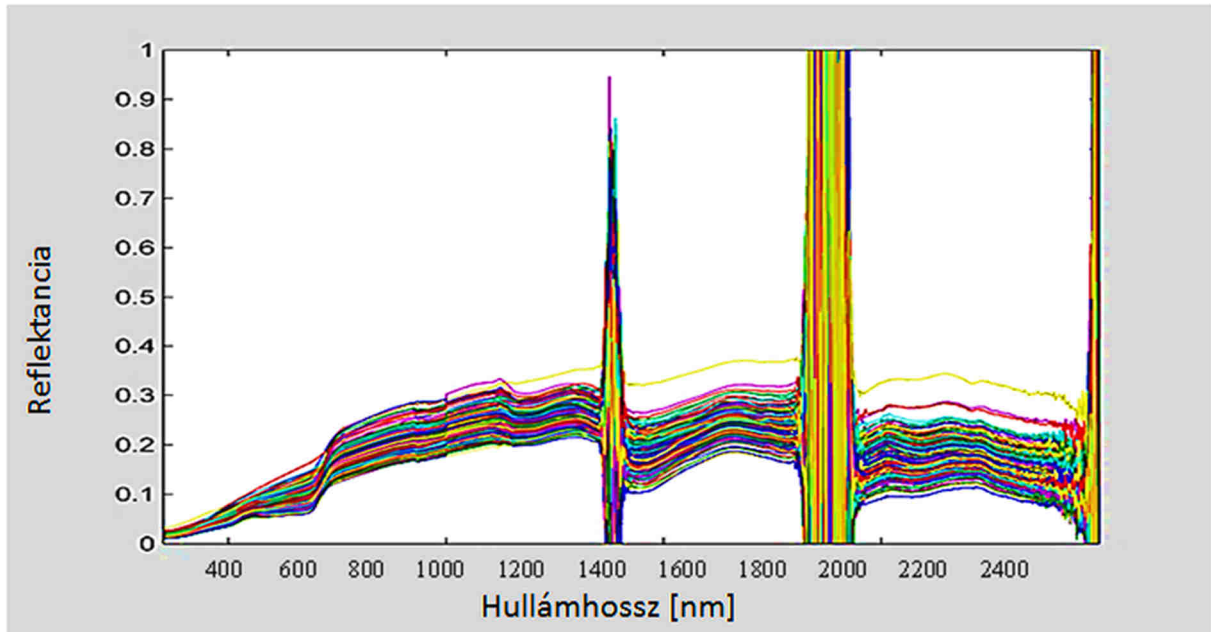
8. A következő látens változó t_{a+1} kiszámítása a 2. lépéstől kezdődik S_{a+1} deflált kovariancia mátrixot használva. Az iterációk száma egyenlő a látens változók számával: A .

Minél nagyobb a magyarázó változók száma annál nagyobb az X mátrix és az algoritmus futási ideje, hogy kiszámolja S_a -t és $S_a S'_a$ -t.

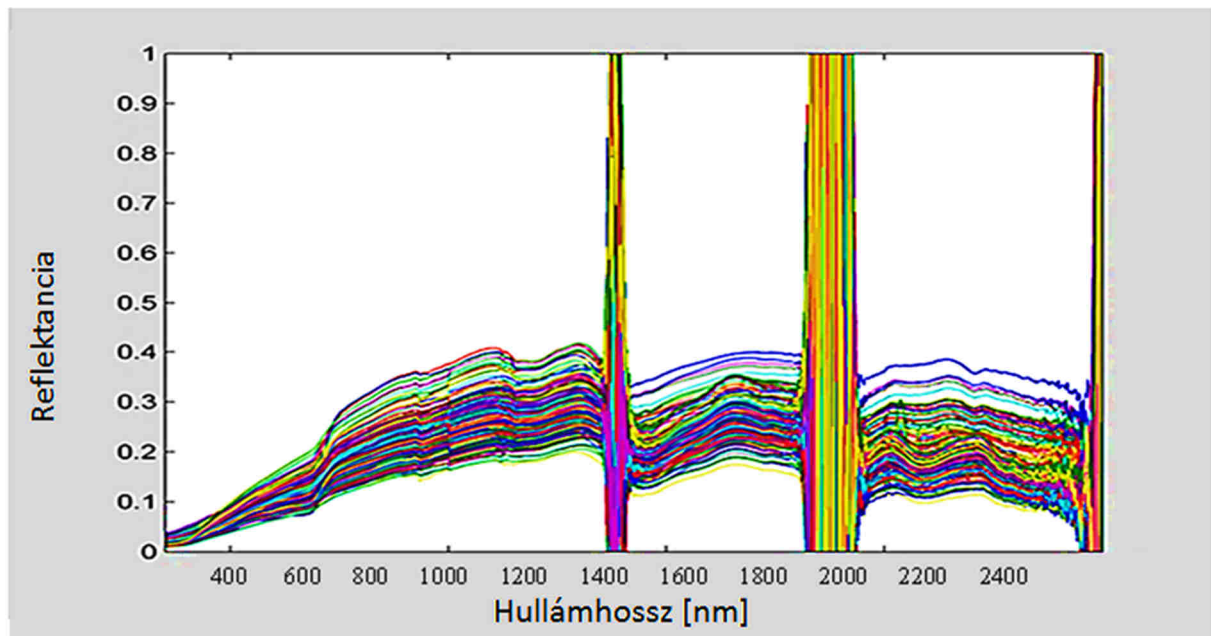
M6: Teljes érést követő mérés

A nyers adatok

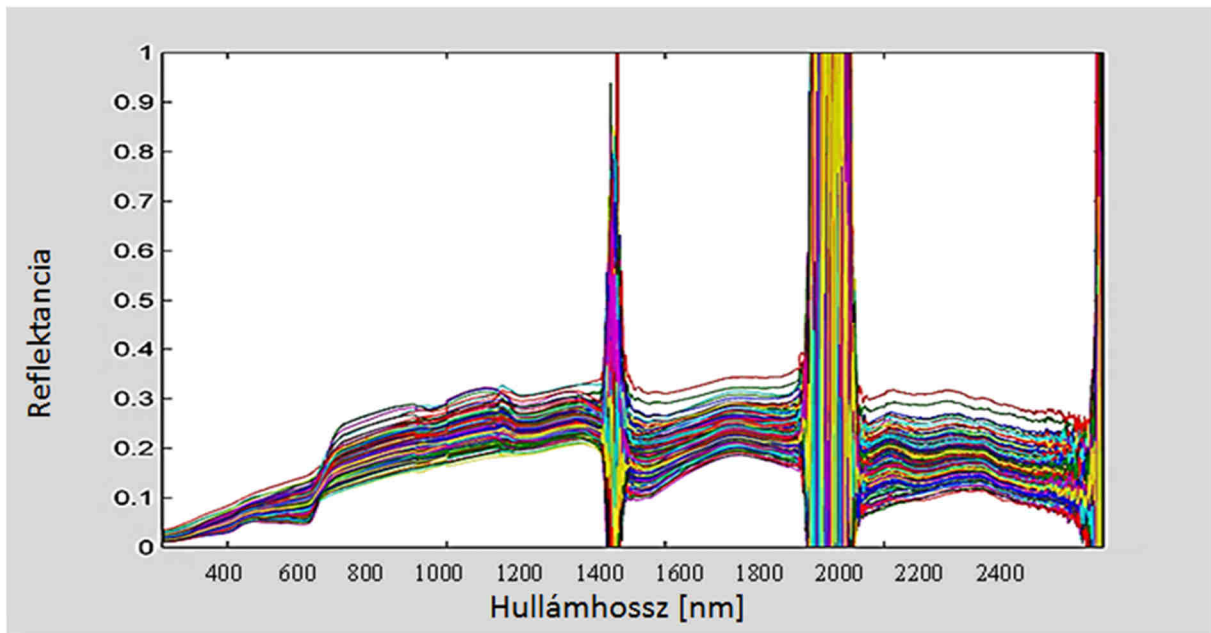
A teljes érést követően terepi körülmények között felvett reflektancia spektrumokat évjáratonként csoportosítva ábrázoltam (121. ábra, 122. ábra, 123. ábra). Fajtára jellemző reflexiós csúcsot, vagy csúcsokat egyik fajta esetében sem találtam. A spektrumokat a 3.4.3 fejezetben bemutatott lépéseknek megfelelően készítettem elő.



121. ábra: A 2010-es évben felvett terepi spektrumok.



122. ábra: A 2011-es évben felvett terepi spektrumok.

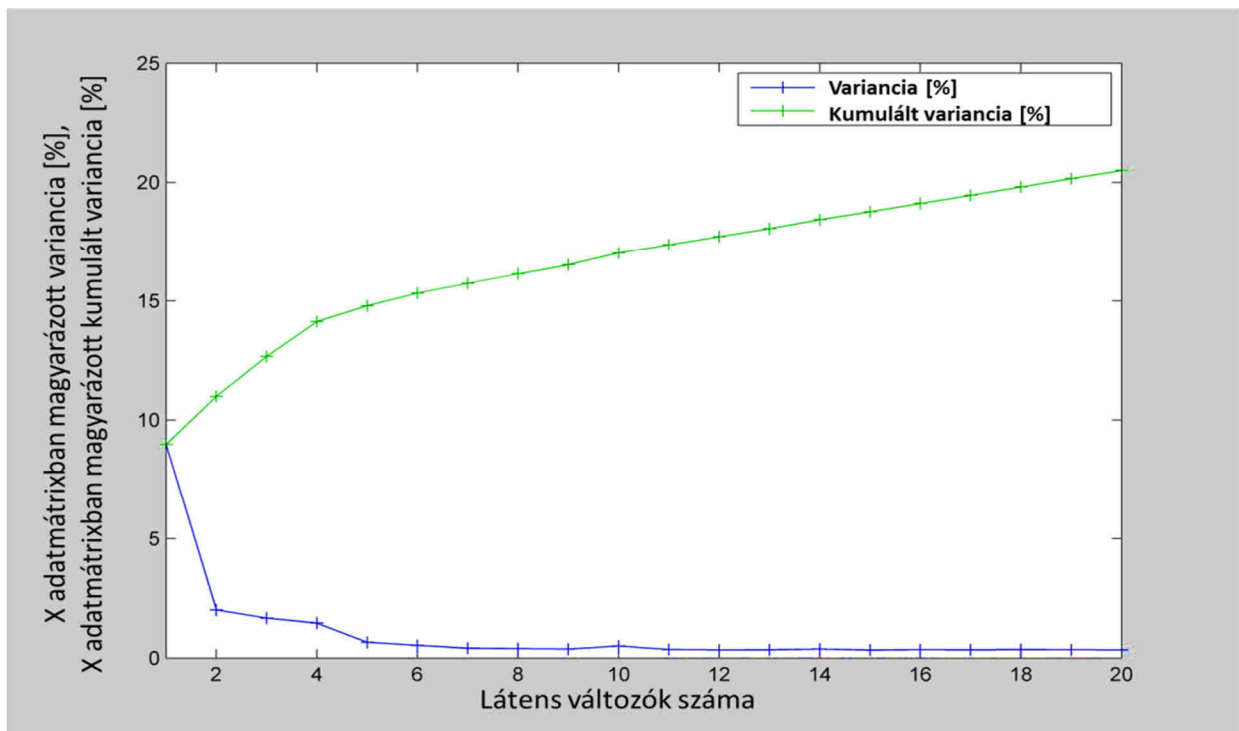


123. ábra: A 2012-es évben felvett terepi spektrumok.

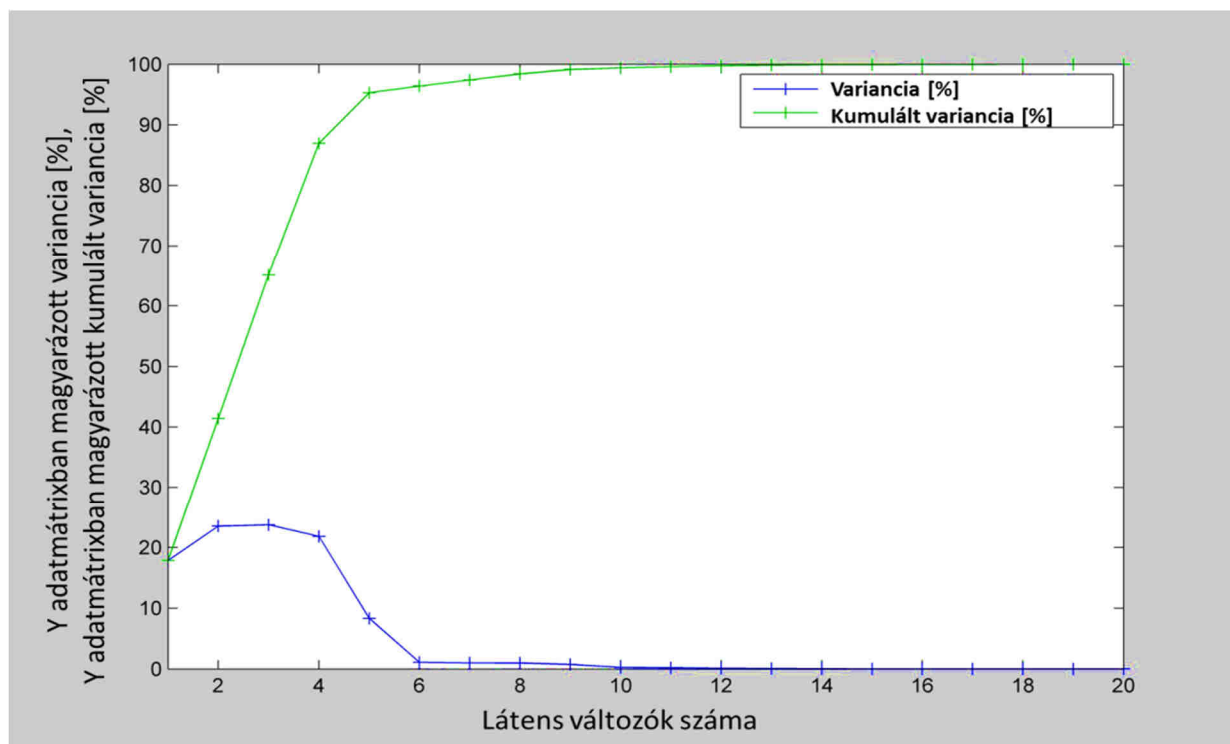
A 2010-es és 2012-es évjárat kapcsolata

Látens változók bevezetése

A következő ábrákon (124. ábra, 125. ábra) a látens változók számának növekedésével kifejezett adott látens változó, illetve addigi összes látens változó által leírt variancia százalékos értéke látható.



124. ábra: Látens változók egyedi, illetve kumulált százalékos értéke az X változóra vonatkozóan.



125. ábra: Látens változók egyedi, illetve kumulált százalékos értéke az Y változóra vonatkozóan.

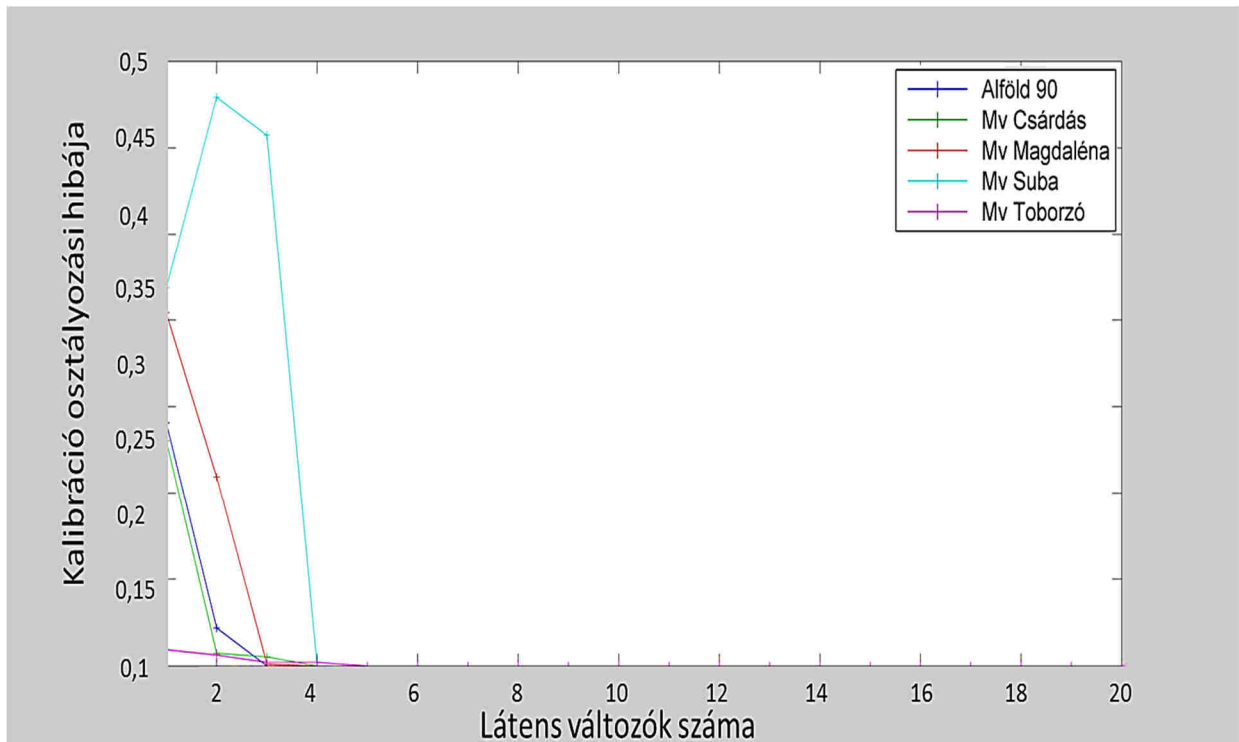
A látens változók faktorsúlya nem mutatott ki karakterisztikus hullámhossztartományt egyik látens változó esetében sem. Az optimális számú látens változók meghatározásakor a magyarázott variancia mellett a búzafajtákon belül kiszámított kereszt-ellenőrzési osztályozási hibákat vettem figyelembe (30. táblázat). Az eredmények alapján öt látens változót fogadtam el.

30. táblázat: Az első öt látens változó esetében kiszámolt értékek

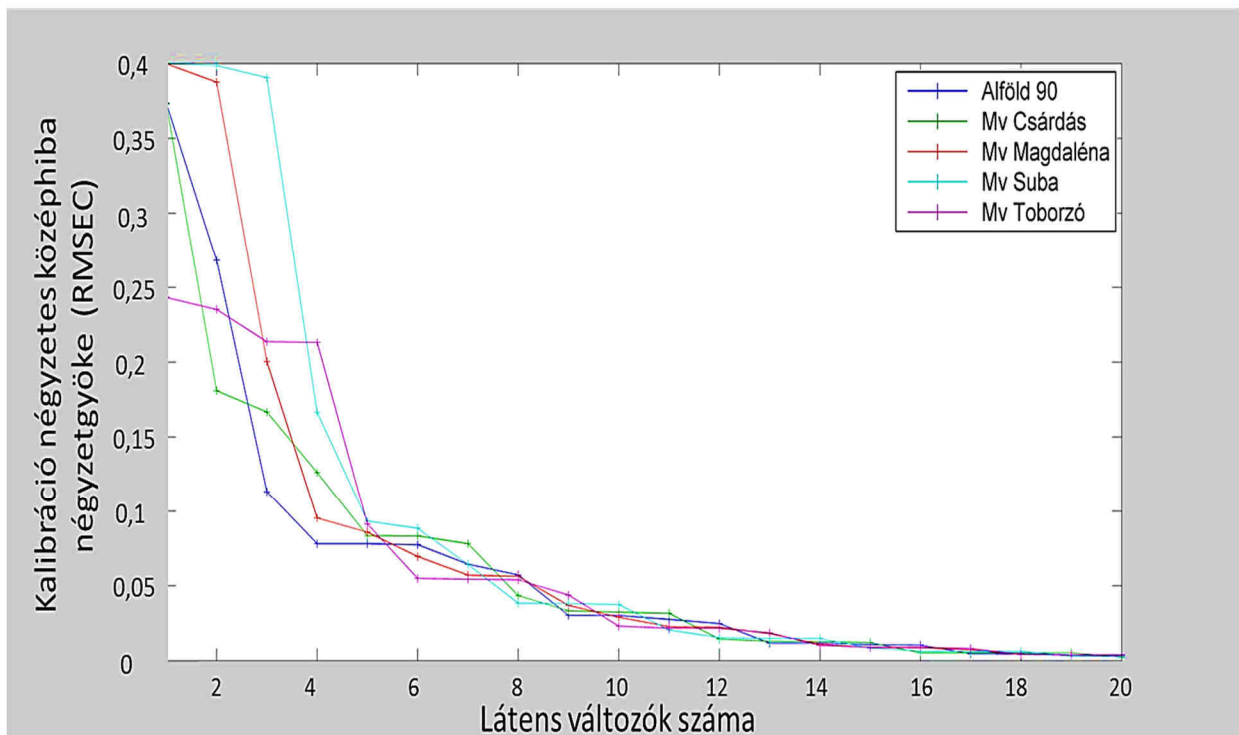
	X és Y adatmátrixokban magyarázott variancia és kumulált variancia [%]				KV Oszt. Hiba Alföld 90	KV Oszt. hiba Mv Csárdás	KV Oszt. hiba Mv Magdaléna	KV Oszt. hiba Mv Suba	KV Oszt. hiba Mv Toborzó
	X	X kum.	Y	Y kum.					
LV 1	20,46	28,46	17,85	17,85	0,129	0,042	0,310	0,327	0,158
LV 2	2,17	30,62	23,53	41,38	0,067	0,029	0,163	0,196	0,081
LV 3	1,82	32,44	23,75	65,13	0,010	0,000	0,079	0,192	0,000
LV 4	0,99	33,44	21,82	86,96	0,013	0,000	0,008	0,017	0,000
LV 5	1,64	35,08	8,35	95,30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Belső-ellenőrzés (kalibráció)

A belső-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kalibráció osztályozási hibája (126. ábra) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke (127. ábra) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



126. ábra: A kalibráció osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



127. ábra: A kalibráció négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (31. táblázat).

31. táblázat: A kalibráció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (Kal.)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
RMSEC (Kal.)	0.0782365	0.0835833	0,0859306	0,0934484	0,0914896
Eltolódás (Kal.)	-3.05311e-016	-3.88578e-016	-2.77556e-017	4.996e-016	1.66533e-016
R ² (Kal.)	0.961744	0,956336	0,95385	0,945421	0,947685

A kalibrációs determinációs együtthatók értékei minden osztály esetében megközelítik a 0,95-öt. A modell kalibráció során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (32. táblázat) és konfúziós táblázat (33. táblázat) segítségével mutatom be.

32. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Toborzó	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000

33. táblázat: A belső-ellenőrzés eredménye: vízszintesen a 2010-es évjárat mintái, függőlegesen a minták modell által végzett besorolása látható.

Konfúziós táblázat (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)					
	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

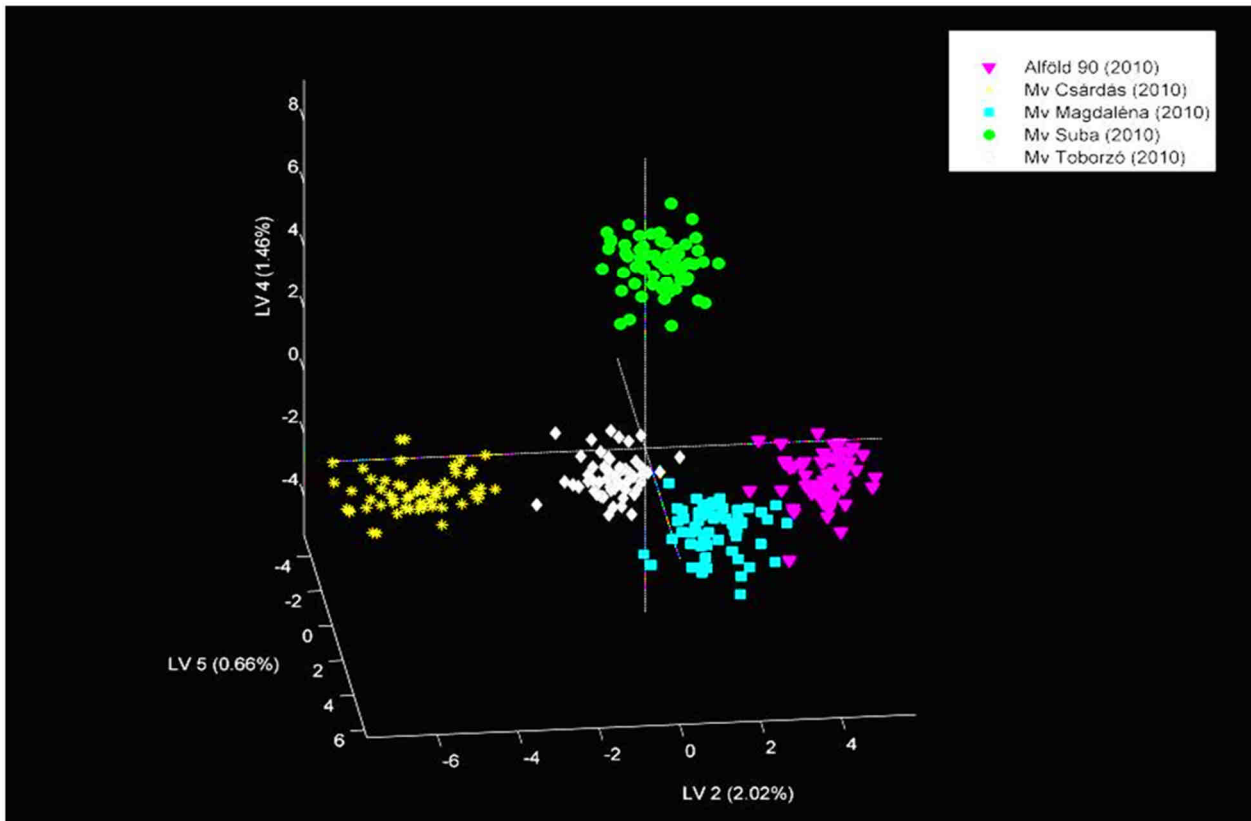
A belső-ellenőrzés során a modell mindegyik 2010-es mintát a megfelelő általam létrehozott fajtaosztályba sorolta. A modell érzékenységét és specificitását a következő táblázatban mutatom be (34. táblázat).

34. táblázat: A modell érzékenysége/specificitása a belső-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specificitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Kal.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Specificitás (Kal.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

A belső-ellenőrzés során a modell osztályozása nem mutatott hibát. Ábrázolás szempontjából a 2-es 4-es és 5-ös számú látens változó kiválasztásával értem el a legszemléletesebb eredményt. A

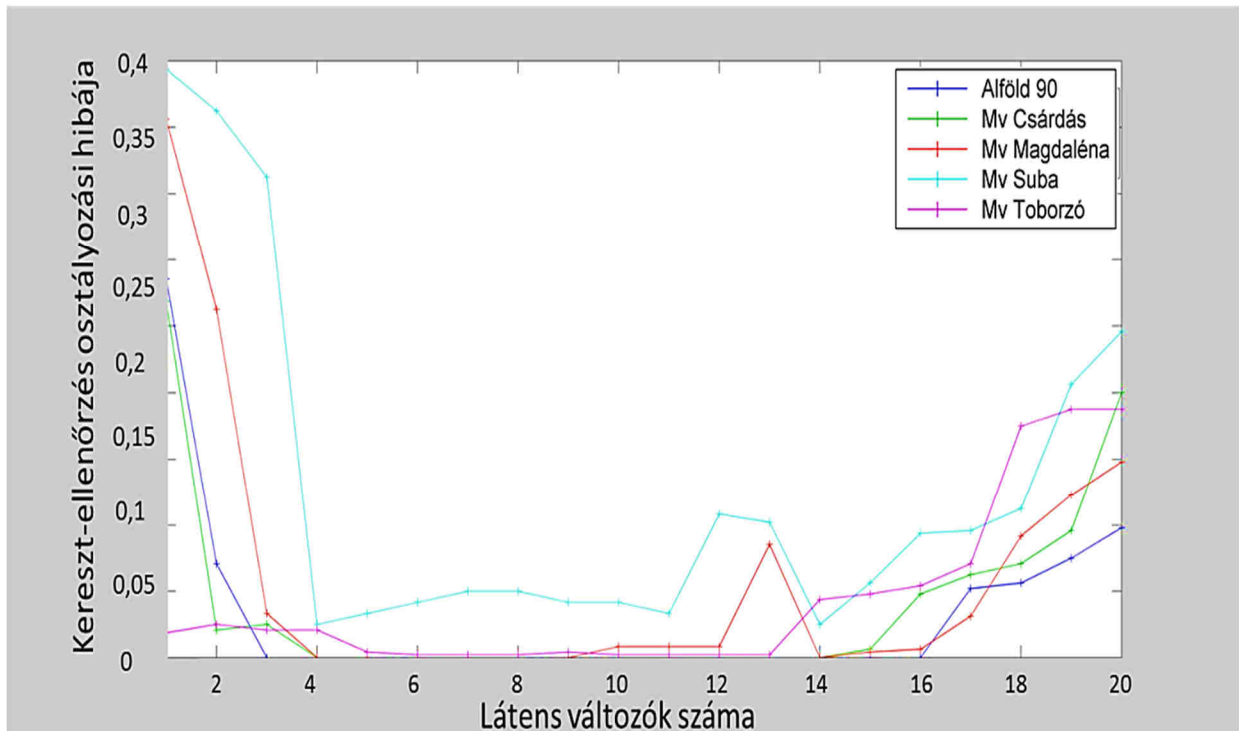
kalibráció során végzett osztályozás eredményét a következő ábrán mutatom be (128. ábra). A fajták egyértelműen elkülönülnek a háromdimenziós térben.



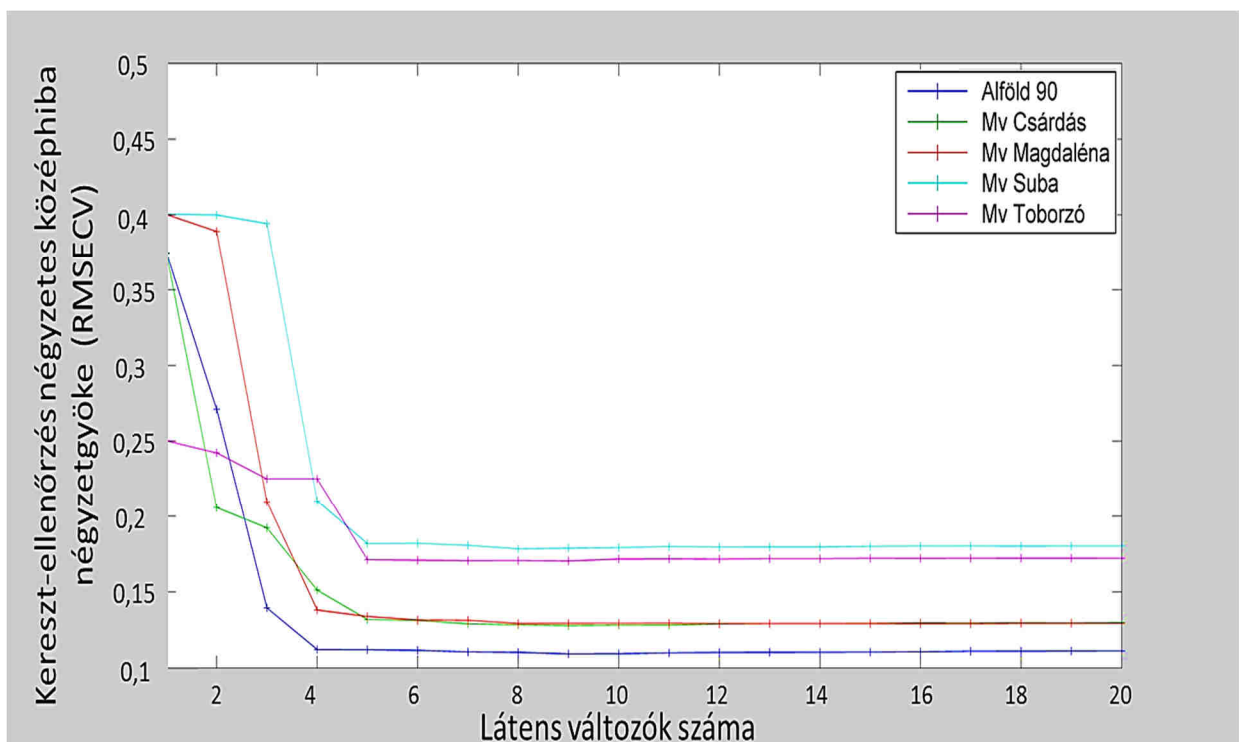
128. ábra: 2010 évben vizsgált különböző búzafajták eloszlása a 2-es 4-es és 5-ös számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

Kereszt-ellenőrzés

A kereszt-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája (129. ábra) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke (130. ábra) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



129. ábra: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



130. ábra: A kereszt-ellenőrzés négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (35. táblázat).

35. táblázat: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (KV.)	0,000000	0,000000	0,000000	0,033333	0,004167
RMSEC (KV.)	0,112048	0,131951	0,133935	0,181933	0,171339
Eltolódás (KV.)	0.00204009	-0.0077842	0.00137336	-0.00736565	0.0117364
R^2 (KV.)	0,941248	0,900749	0,919763	0,820191	0,810157

A kereszt-ellenőrzés során az első három esetben még 0,90-et meghaladó determinációs együtthatót kaptam, de az Mv Suba és Mv Toborzó esetében ez lecsökkent, de még mindig meghaladja a 0,80-as értéket. A különbségeket a többi értékszám tendenciája is jelzi. A modell kereszt-ellenőrzés során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (36. táblázat) és konfúziós táblázat (37. táblázat) segítségével mutatom be.

36. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (KV)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	0,96667	0,00000	1,00000	0,03333
Mv Toborzó	1,00000	0,00833	0,99167	0,00000

37. táblázat: A kereszt-ellenőrzés eredménye: vízszintesen az újra-mintavételezett 2010-es évjárat mintái, függőlegesen a a statisztikailag független minták modell által végzett besorolása.

Konfúziós táblázat (KV)					
	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	58	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	2	60

A kereszt-ellenőrzés során a modell az Mv Suba fajtánál a statisztikailag független 2010-es minták közül kettőt Mv Toborzó-ként osztályozott, ami a modell érzékenységén/specifitásán is megmutatkozik. A modell érzékenységet és specifitását a következő táblázatban mutatom be (38. táblázat).

38. táblázat: A modell érzékenysége/specifitása a kereszt-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specifitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (KV)	1,000	1,000	1,000	0,933	1,000
Specifitás (KV)	1,000	1,000	1,000	1,000	0,992

Validáció

A validáció eredményeit a látens változók számának függvényében a validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együtttható értékeinek összefoglalásával ismertetem, osztályonként. Az értékeket táblázatban foglalom össze (39. táblázat).

39. táblázat: A validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együtttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (Val.)	0,000000	0,000000	0,000000	0,008333	0,000000
RMSEP (Val.)	0.103938	0,131375	0,107398	0.149697	0,170705
Eltolódás (Val.)	-0.0208382	0.00976842	0.0101496	-0.00983811	0.0107583
R^2 (Val.)	0,947777	0,905458	0,945475	0,890376	0,830602

A modell független validációja során a validációs determinációs együtttható az Alföld 90 és az Mv Magdaléna esetében megközelíti a 0,95-öt és az Mv Toborzó esetében sem csökkent 0,83 alá, mely hibátlan osztályozást eredményezett. A különbségeket a többi értékszám tendenciája is jelzi. A modell validáció során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (40. táblázat) és konfúziós táblázat (41. táblázat) segítségével mutatom be.

40. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Val)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Toborzó	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000

41. táblázat: A validáció eredménye: vízszintesen a 2012-es évjárat mintái, függőlegesen a független minták modell által végzett besorolása látható.

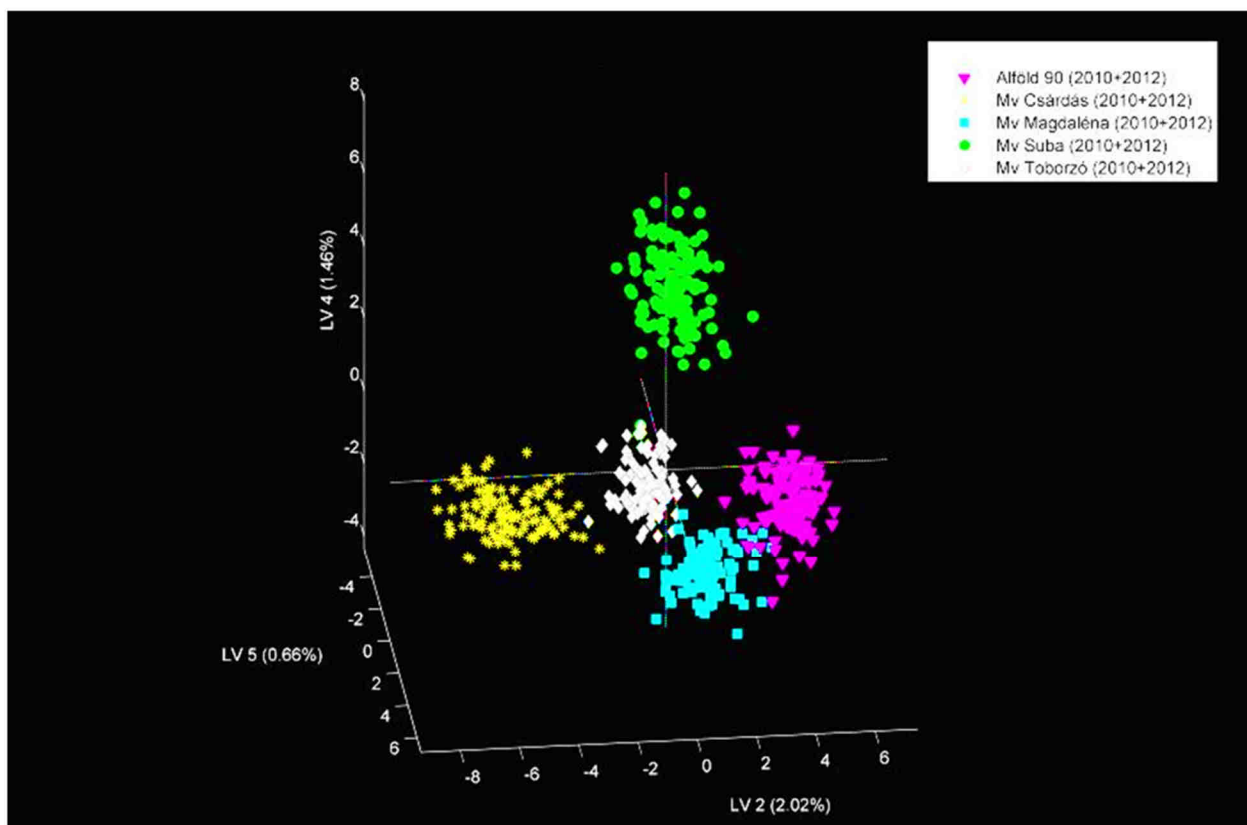
Konfúziós táblázat (Val)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	60	0	0	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	60	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	60	0	0
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	60	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	0	60

A független validáció során a modell minden 2012-es évjáratú mintát a megfelelő (2010-es évjárat alapján létrehozott) fajtaosztályába sorolta. A modell érzékenységét és specificitását a következő táblázatban mutatom be (42. táblázat).

42. táblázat: A modell érzékenysége/specificitása a validáció esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specificitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Val.)	1,000	1,000	1,000	0,983	1,000
Specificitás (Val.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

A kalibráció során végzett osztályozás eredményét a 2-es 4-es és 5-ös számú látens változó kiválasztásával a következő ábrán mutatom be (131. ábra). A két évjárat együttes eloszlása jól szemlélteti a fajták közötti statisztikai különbséget.

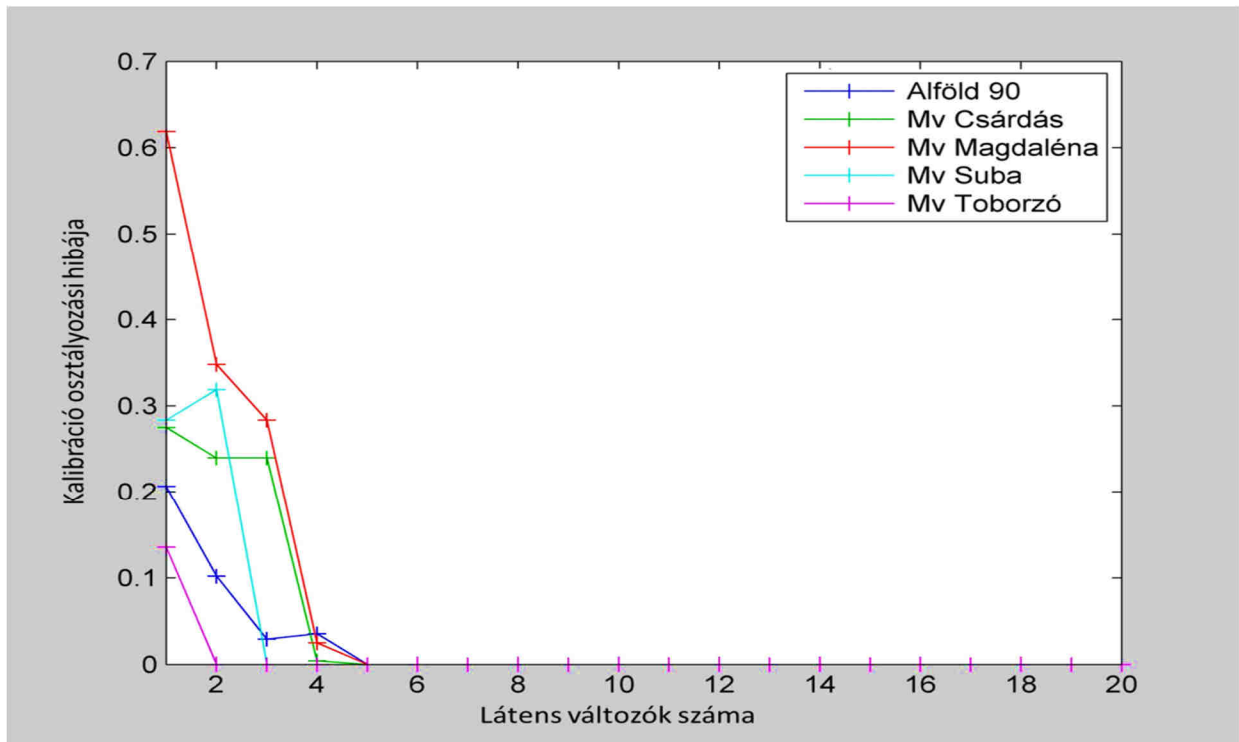


131. ábra: 2010 és 2012 években vizsgált különböző búzafajták eloszlása a 2-es 4-es és 5-ös számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

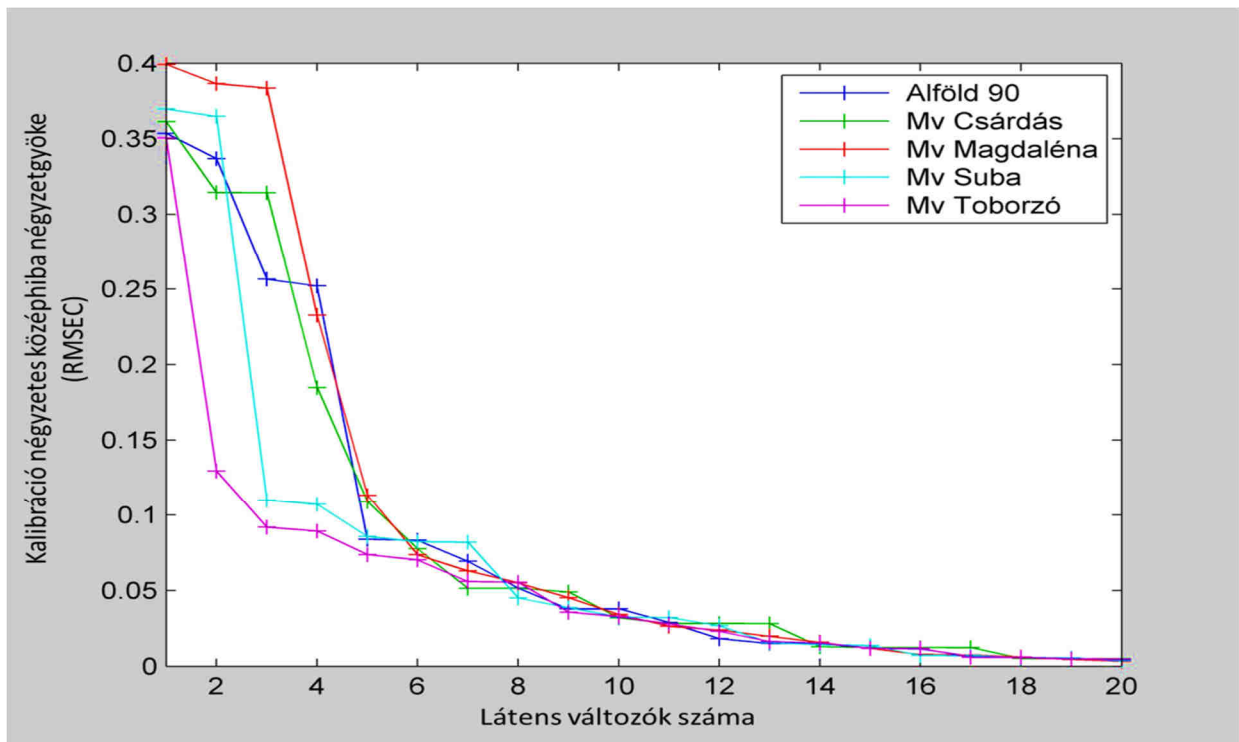
A 2011-es és 2012-es évjárat kapcsolata

Látens változók bevezetése

A látens változók számának növekedésével kifejezett adott látens változó, illetve addigi összes látens változó által leírt variancia százalékos értékét a következő ábrák mutatják be (132. ábra, 133. ábra).



132. ábra: A kalibráció osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



133. ábra: A kalibráció négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

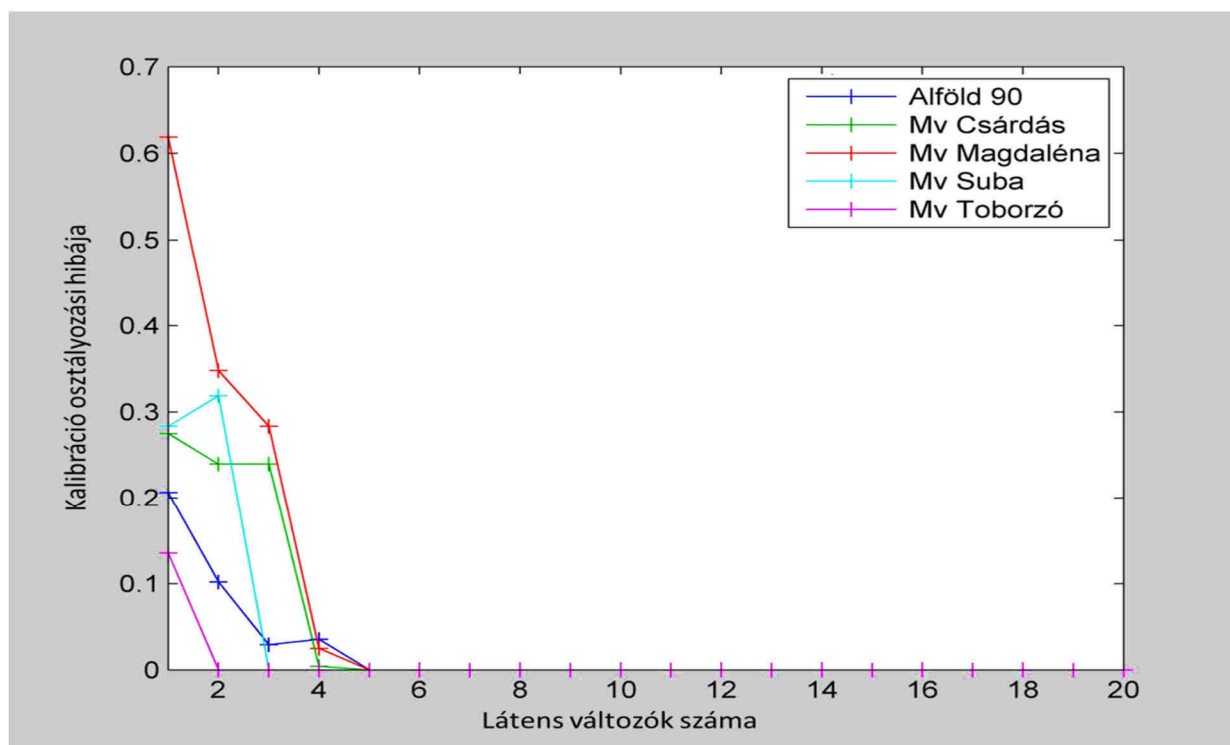
A látens változók faktorsúlya ebben az esetben sem mutatott ki karakterisztikus hullámhossztartományt egyik látens változó esetében sem. Az optimális számú látens változók meghatározásakor a magyarázott variancia mellett a búzafajtákon belül kiszámított kereszt-ellenőrzési osztályozási hibákat vettem figyelembe (43. táblázat). Az eredmények alapján ebben az esetben is öt látens változóval dolgoztam tovább.

43. táblázat: Az első öt látens változó esetében kiszámolt értékek

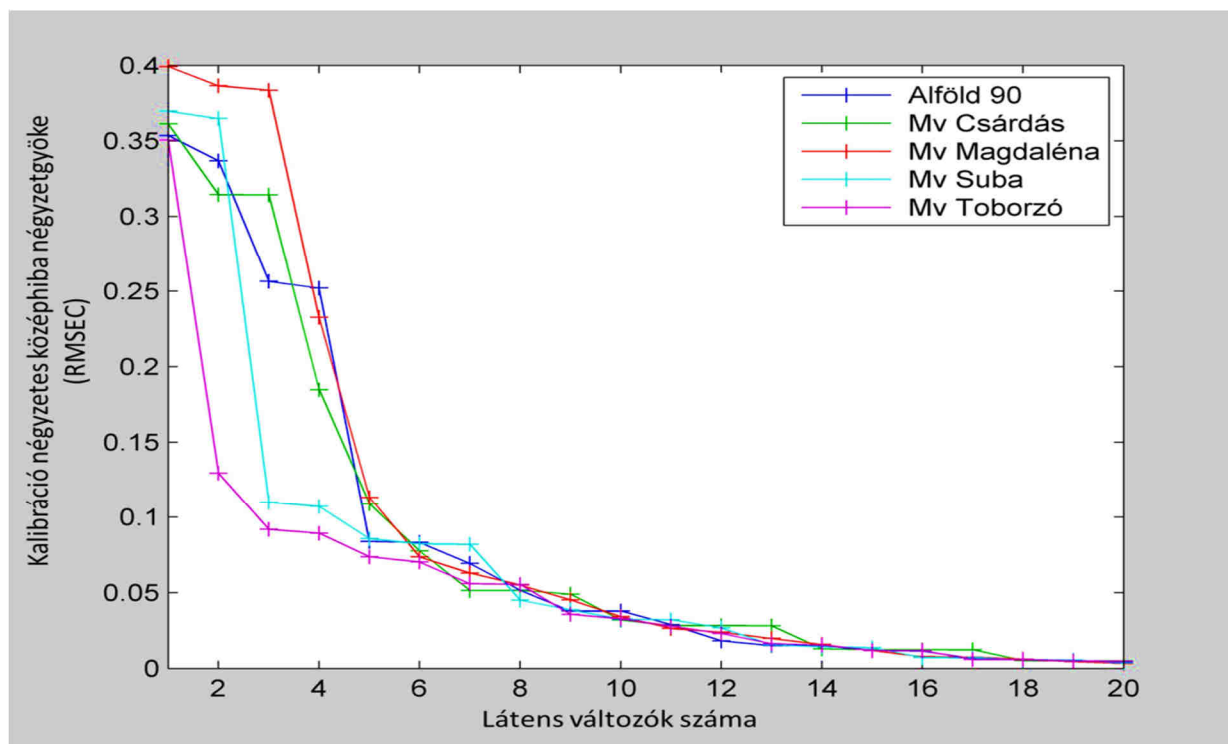
	X és Y adatmátrixokbanban magyarázott variancia és kumulált variancia [%]				KV Oszt. Hiba Alföld 90	KV Oszt. hiba Mv Csárdás	KV Oszt. hiba Mv Magdaléna	KV Oszt. hiba Mv Suba	KV Oszt. hiba Mv Toborzó
	X	X kum.	Y	Y kum.					
LV 1	20,46	28,46	15,68	15,68	0,129	0,042	0,310	0,327	0,158
LV 2	2,17	30,62	20,38	36,06	0,067	0,029	0,163	0,196	0,081
LV 3	1,82	32,44	22,40	58,46	0,010	0,000	0,079	0,192	0,000
LV 4	0,99	33,44	20,12	78,58	0,013	0,000	0,008	0,017	0,000
LV 5	1,64	35,08	15,85	94,43	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Belső-ellenőrzés (kalibráció)

A belső-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kalibráció osztályozási hibája (134. ábra) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke (135. ábra) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



134. ábra: A kalibráció osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



135. ábra: A kalibráció négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (44. táblázat).

44. táblázat: A kalibráció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (Kal.)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
RMSEC (Kal.)	0,0839257	0,108973	0,11329	0,0856657	0,0737876
Eltolódás (Kal.)	2.77556e-016	-3.05311e-016	-2.77556e-016	-1.94289e-016	3.60822e-016
R^2 (Kal.)	0,955978	0,92578	0,919783	0,954134	0,965971

A belső-ellenőrzés determinációs együtthatója minden fajta esetében meghaladja a 0,90-et, ami az alábbiakban bemutatott hibátlan osztályozást eredményezett. A modell kalibráció során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (45. táblázat) és konfúziós táblázat (46. táblázat) segítségével mutatom be.

45. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Toborzó	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000

46. táblázat: A belső-ellenőrzés eredménye: vízszintesen a 2011-es évjárat mintái, függőlegesen a minták modell által végzett osztályba sorolása látható.

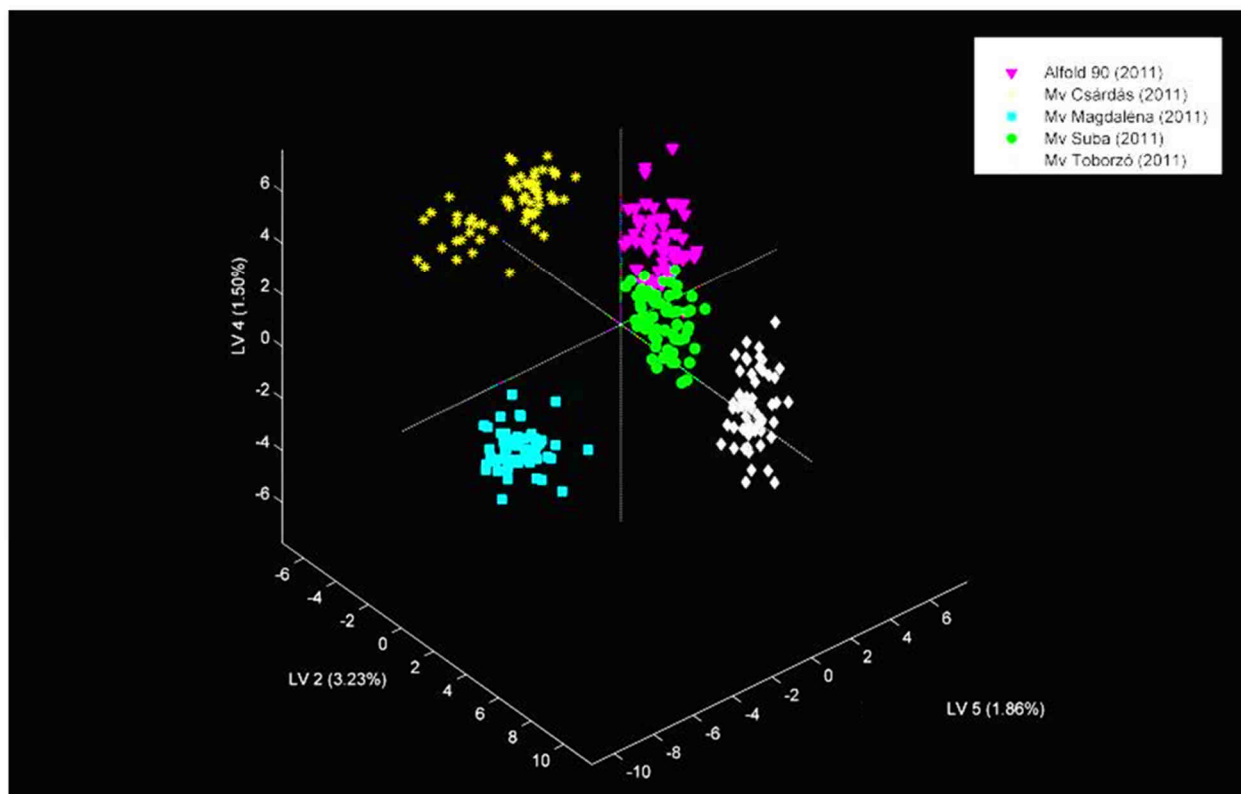
Konfúziós táblázat (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	60	0	0	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	60	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	60	0	0
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	60	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	0	60

Az osztályozás során a modell minden 2011-es mintát a megfelelő fajtaosztályhoz sorolt. A modell érzékenységét és specifitását a következő táblázatban mutatom be (47. táblázat).

47. táblázat: A modell érzékenysége/specifitása a belső-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specifitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Kal.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Specifitás (Kal.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

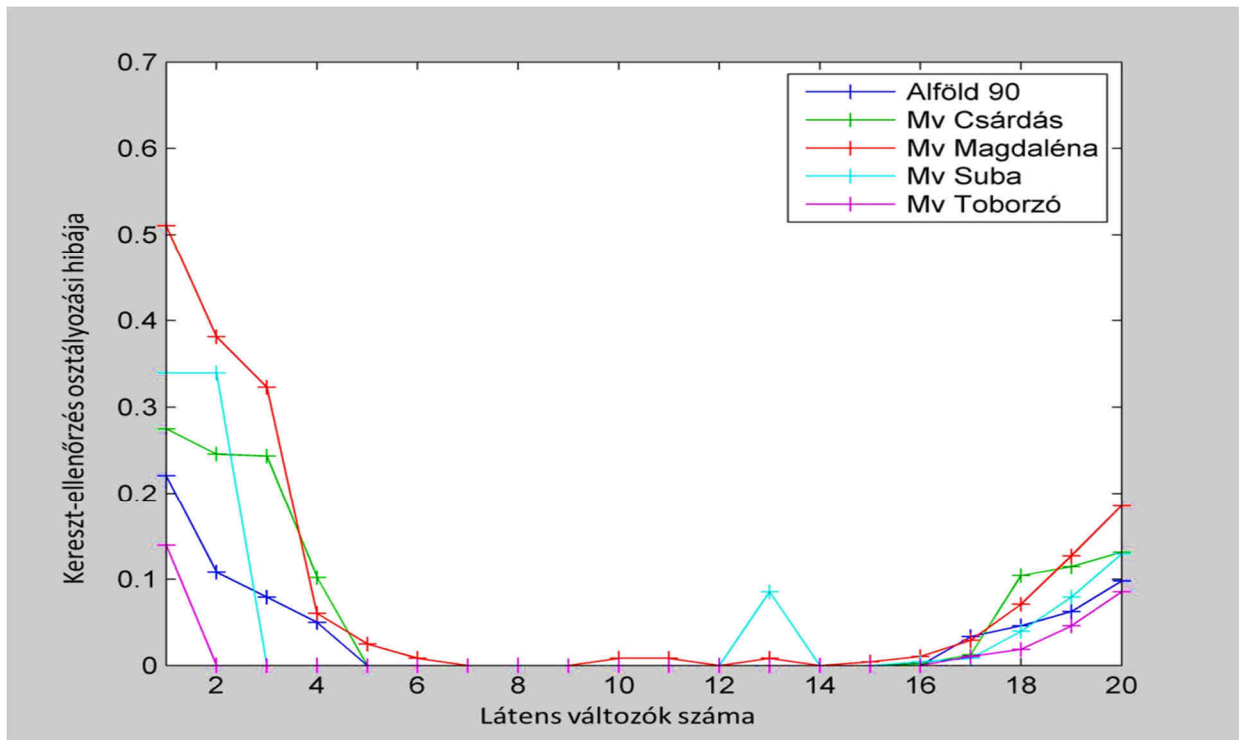
Háromdimenziós adattérben való ábrázolás szempontjából a 2-es 4-es és 5-ös számú látens változó kiválasztásával értem el a legszemléletesebb eredményt. A kalibráció során végzett osztályozás eredményét a következő ábrán mutatom be (136. ábra). Az eloszlása jól szemlélteti a fajták közötti statisztikai különbséget.



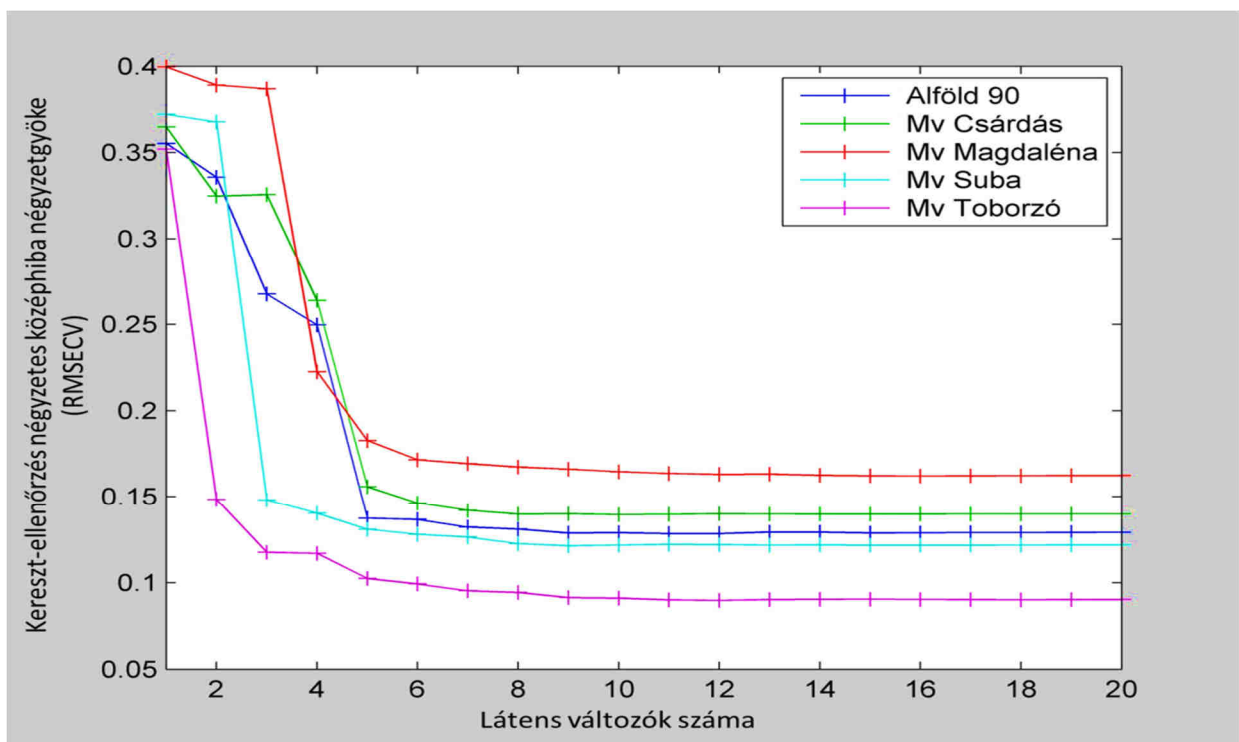
136. ábra: 2011 évben vizsgált különböző búzafajták eloszlása a 2-es 4-es és 5-ös számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

Kereszt-ellenőrzés

A kereszt-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája (137. ábra) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke (138. ábra) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



137. ábra: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



138. ábra: A kereszt-ellenőrzés négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (48. táblázat).

48. táblázat: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (KV.)	0,000000	0,025000	0,000000	0,033333	0,004167
RMSEC (KV.)	0,137396	0,155797	0,182698	0,130996	0,102427
Eltolódás (KV.)	-0,00606812	0,00780833	-0,00404443	0,000597644	0,00170658
R^2 (KV.)	0,910092	0,875488	0,854579	0,919294	0,950255

A kereszt-ellenőrzés determinációs együtthatója az Mv Magdaléna és az Mv Csárdás esetében volt a legalacsonyabb. A többi fajta esetében értéke meghaladta a 0,90-et. A különbségeket a többi értékszám tendenciája is jelzi. A modell kereszt-ellenőrzés során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (49. táblázat) és konfúziós táblázat (50. táblázat) segítségével mutatom be.

49. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (KV)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	0,96667	0,00000	1,00000	0,03333
Mv Toborzó	1,00000	0,00833	0,99167	0,00000

50. táblázat: A kereszt-ellenőrzés eredménye: vízszintesen a 2011-es évjárat újra-mintavételezett mintái, függőlegesen a statisztikailag független minták modell által végzett osztályba sorolása látható.

Konfúziós táblázat (KV)					
	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	58	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	2	60

A modell az Mv Suba esetében a statisztikailag független minták közül kettőt Mv Toborzó fajtaosztályba sorolt, tévesen. A többi esetben hibás osztályba sorolás nem történt. A modell érzékenységét és specifitását a következő táblázatban mutatom be (51. táblázat).

51. táblázat: A modell érzékenysége/specifitása a kereszt-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specifitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (KV)	1,000	1,000	0,950	1,000	1,000
Specifitás (KV)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Validáció

A validáció eredményeit a látens változók számának függvényében a validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együtttható értékeinek összefoglalásával ismertetem, osztályonként. Az értékeket táblázatban foglalom össze (52. táblázat).

52. táblázat: A validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együtttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Class. Err. (Pred)	0,325000	0,333333	0,000000	0,006250	0,016667
RMSEP	0,297816	0,247904	0,170793	0,212022	0,184381
Pred. Bias	-0,0181114	-0,0264166	0,0353999	0,076834	-0,0677058
R ² Validation	0,665146	0,787322	0,880164	0,856972	0,881381

A validáció során a determinációs együtttható értékei az Alföld 90 és a Mv Csárdás esetében jelentősen csökkentek és a többi fajta esetében is 0,90 alatt maradtak. A különbségeket a többi értékszám tendenciája is jelzi. Az osztályozás hatékonysága csak az Alföld 90 esetében romlott. A modell validáció során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (53. táblázat) és konfúziós táblázat (54. táblázat) segítségével mutatom be.

53. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Val)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	0,81667	0,00000	1,00000	0,18333
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	1,00000	0,04583	0,95417	0,00000
Mv Toborzó	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000

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

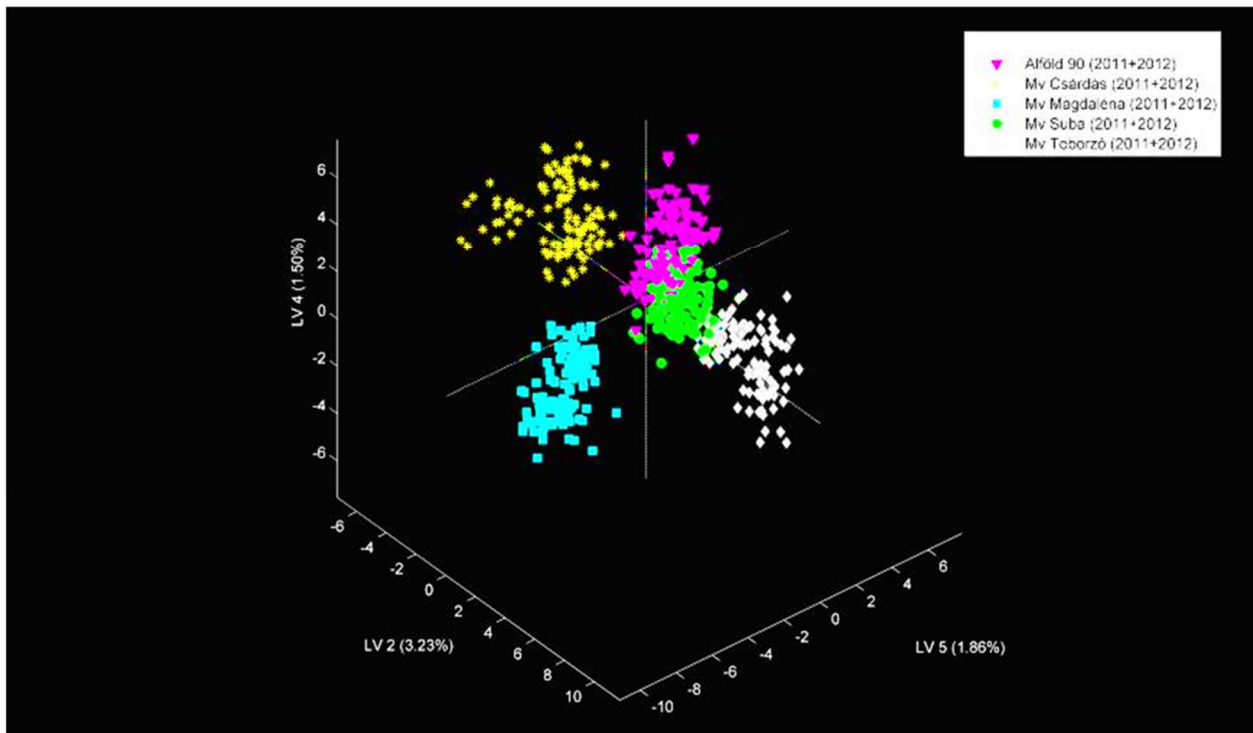
Konfúziós táblázat (Val)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	49	0	0	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	60	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	60	0	0
Azonosított, mint Mv Suba	11	0	0	60	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	0	60

A független validáció során a modell a 2012-es mintákból 11 [db] Alföld 90 állományban mért spektrumot sorolt a 2011-es évjárat alapján létrehozott Mv Suba osztályába. A többi fajta esetében az osztályozás hibátlan volt. A modell érzékenységét és specifikitását a következő táblázatban mutatom be (55. táblázat).

55. táblázat: A modell érzékenysége/specifikitása a validáció esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specifititás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Val.)	0,350	0,333	1,000	1,000	0,967
Specifititás (Val.)	1,000	1,000	1,000	0,988	1,000

Háromdimenziós adattérben való ábrázolás szempontjából a 2-es 4-es és 5-ös számú látens változó kiválasztásával értem el a legszemléletesebb eredményt. A kalibráció során végzett osztályozás eredményét a következő ábrán mutatom be (139. ábra).

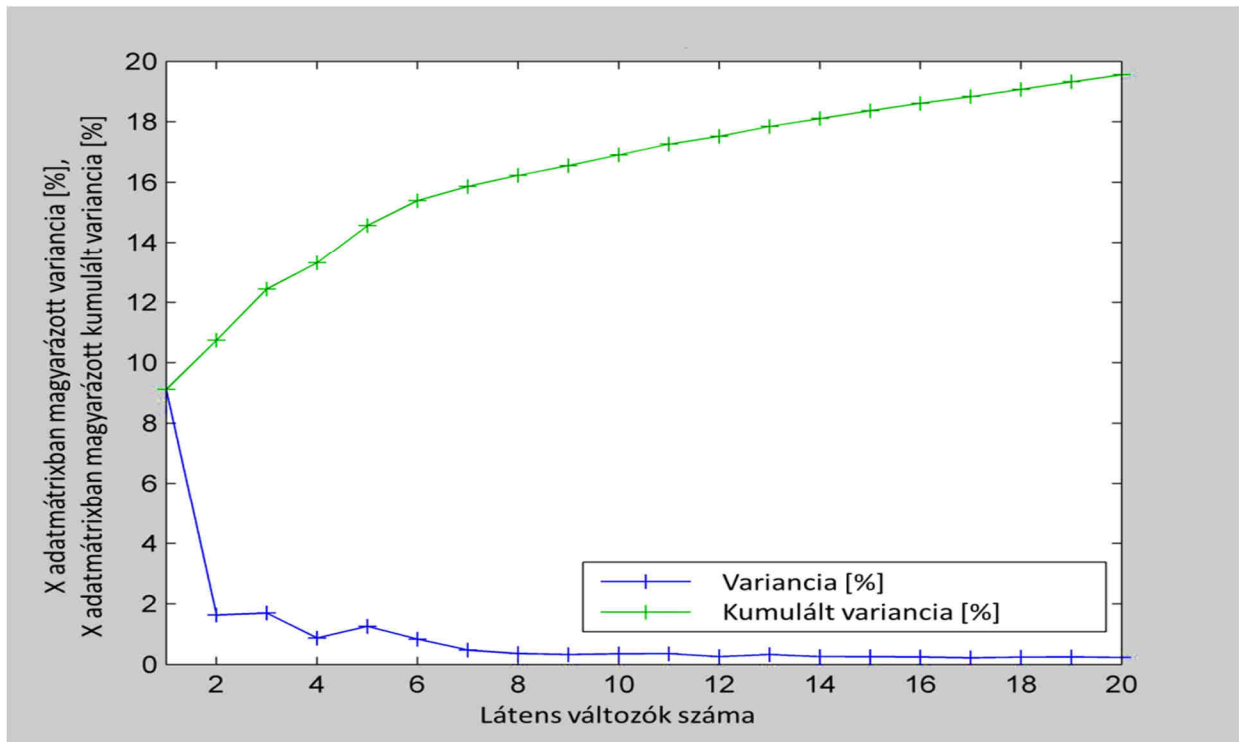


139. ábra: 2011 és 2012 években vizsgált különböző búzafajták eloszlása a 2-es 4-es és 5-ös számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

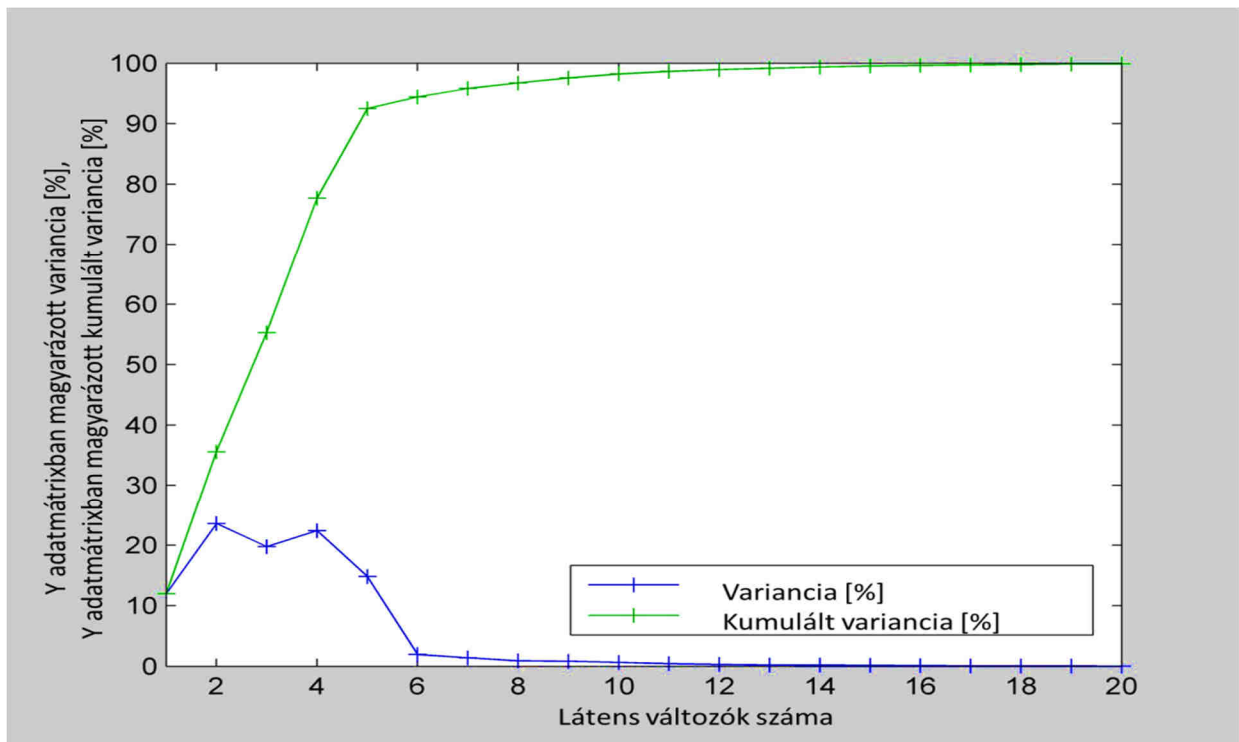
A 2010-es és 2011-es, valamint a 2012-es évjárat kapcsolata

Látens változók bevezetése

A dimenziócsökkentés részeként bevezetett látens változók által leírt százalékos variancia értékek a következő ábrákon láthatóak (140. ábra, 141. ábra).



140. ábra: Látens változók egyedi, illetve kumulált százalékos értéke az X változóra vonatkozóan.



141. ábra: Látens változók egyedi, illetve kumulált százalékos értéke az Y változóra vonatkozóan.

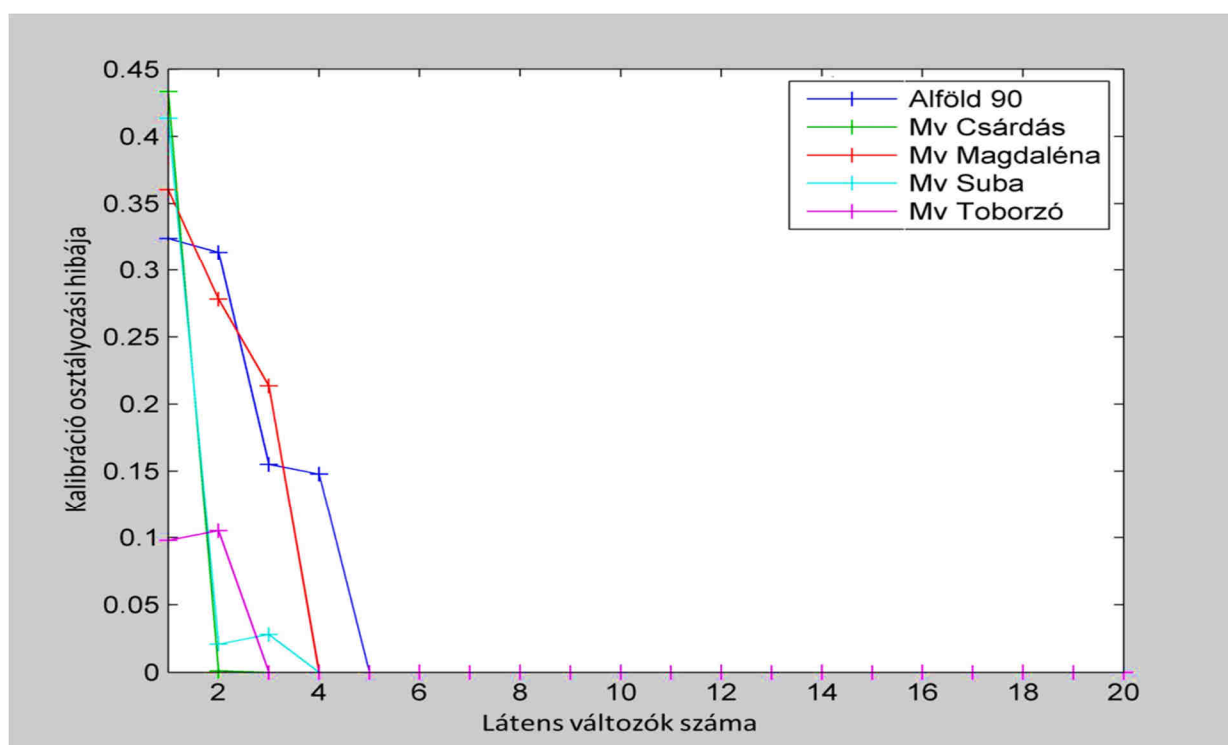
A látens változók esetében karakterisztikus hullámhossztartományt nem találtam. Az optimális számú látens változók meghatározásakor a magyarázott variancia mellett a búzafajtákon belül kiszámított kereszt-ellenőrzési osztályozási hibákat vettem figyelembe (56. táblázat). Az adatok alapján öt látens változóval dolgoztam tovább.

56. táblázat: Az első öt látens változó esetében kiszámolt értékek.

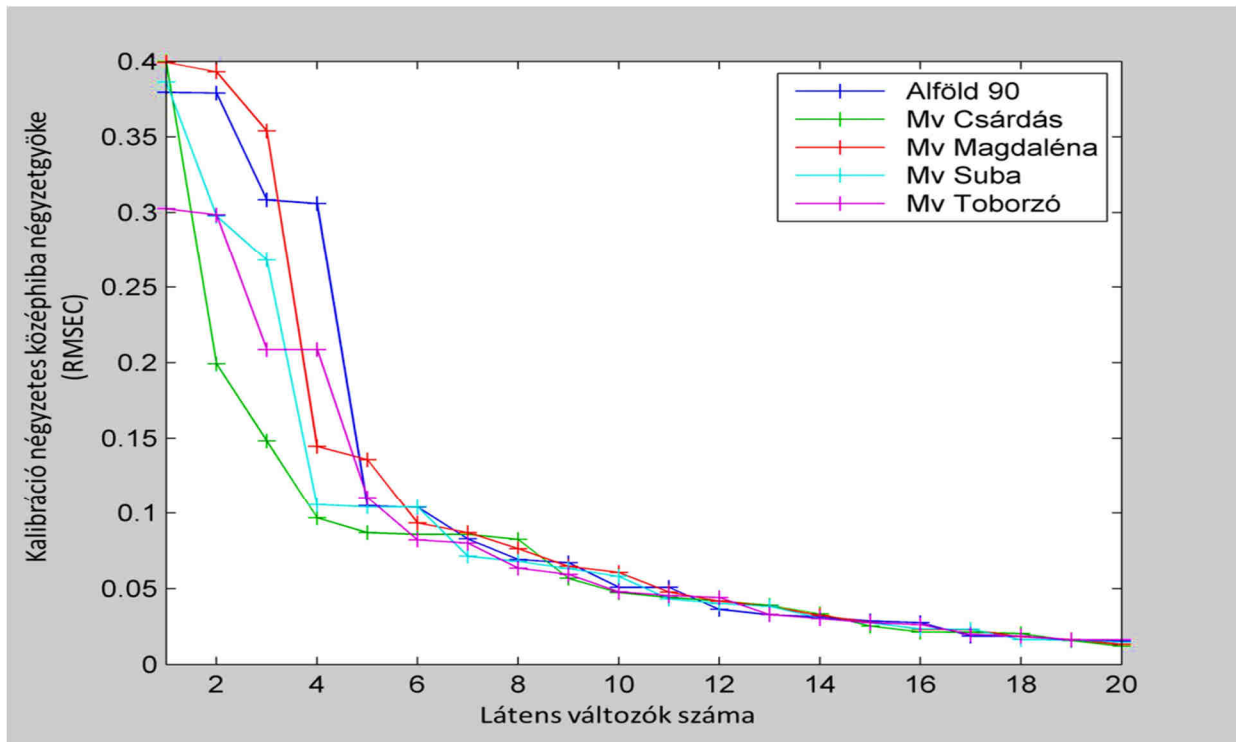
	X és Y adatmátrixokbanban magyarázott variancia és kumulált variancia [%]				KV Oszt. Hiba Alföld 90	KV Oszt. hiba Mv Csárdás	KV Oszt. hiba Mv Magdaléna	KV Oszt. hiba Mv Suba	KV Oszt. hiba Mv Toborzó
	X	X kum.	Y	Y kum.					
LV 1	20,46	28,46	11,98	11,98	0,129	0,042	0,310	0,327	0,158
LV 2	2,17	30,62	23,53	35,54	0,067	0,029	0,163	0,196	0,081
LV 3	1,82	32,44	23,75	55,27	0,010	0,000	0,079	0,192	0,000
LV 4	0,99	33,44	21,82	77,67	0,013	0,000	0,008	0,017	0,000
LV 5	1,64	35,08	8,35	92,49	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Belső-ellenőrzés (kalibráció)

A belső-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kalibráció osztályozási hibája (142. ábra) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke (143. ábra) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



142. ábra: A kalibráció osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



143. ábra: A kalibráció négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (57. táblázat).

57. táblázat: A kalibráció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (Kal.)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
RMSEC (Kal.)	0,104870	0,087040	0,135884	0,104169	0,110371
Eltolódás (Kal.)	8.32667e-017	0,000000	0 2.22045e-016	-5.27356e-016	2.77556e-017
R ² (Kal.)	0,931264	0,952650	0,884597	0,932180	0,923864

A modell belső-ellenőrzése során egyedül az Mv Magdaléna esetében kaptam 0,90-nél alacsonyabb kalibrációs determinációs együtthatót. A különbséget a többi értékszám tendenciája is jelzi. A többi esetben 0,90-nél nagyobb R² értékeket kaptam. A modell kalibráció során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (58. táblázat) és konfúziós táblázat (59. táblázat) segítségével mutatom be.

58. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Toborzó	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000

59. táblázat: A belső-ellenőrzés eredménye: vízszintesen a 2010-es és 2011-es évjárat mintái, függőlegesen a mintái modell által végzett osztályba sorolása látható.

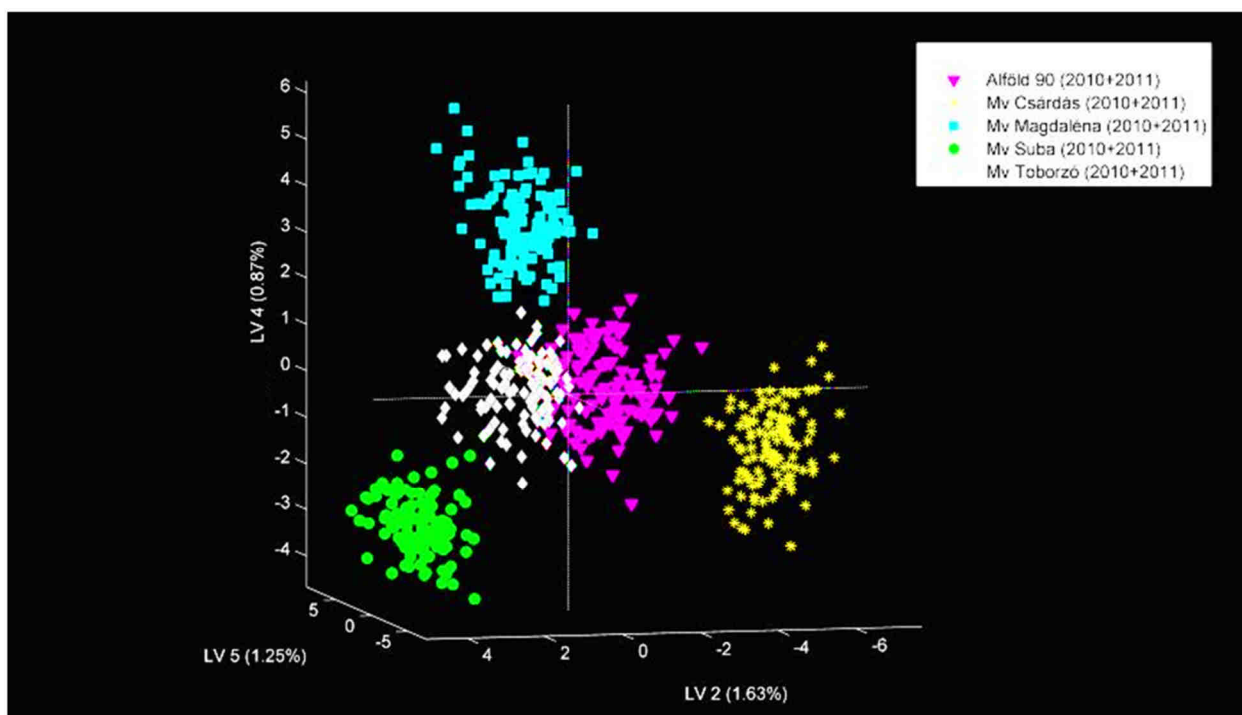
Konfúziós táblázat (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	120	0	0	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	120	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	120	0	0
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	120	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	0	120

A modell hibátlanul, minden mintát a megfelelő osztályba sorolt. A modell érzékenységét és specificitását a következő táblázatban mutatom be (60. táblázat).

60. táblázat: A modell érzékenysége/specificitása a belső-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specificitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Kal.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Specificitás (Kal.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Háromdimenziós adattérben való ábrázolás szempontjából a 2-es 4-es és 5-ös számú látens változó kiválasztásával értem el a legszemléletesebb eredményt. A kalibráció során végzett osztályozás eredményét a következő ábrán mutatom be (144. ábra).

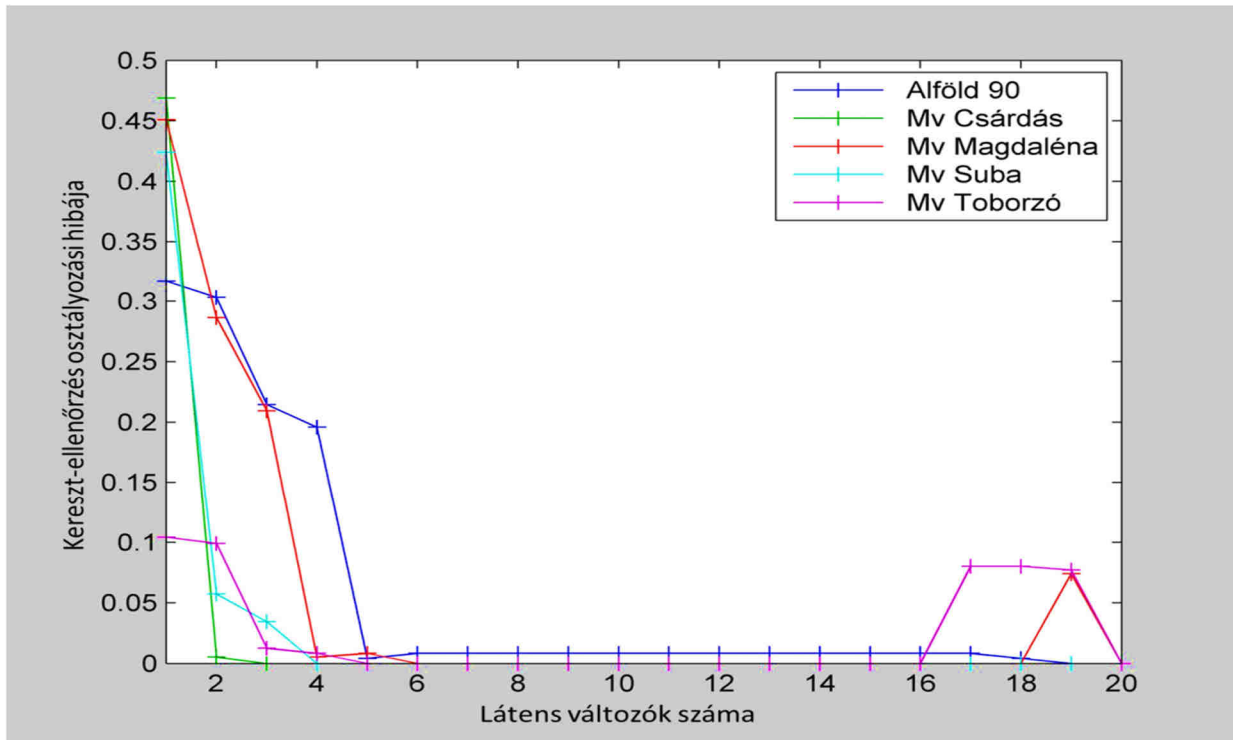


144. ábra: 2010 és 2011 években vizsgált különböző búzafajták eloszlása a 2-es 4-es és 5-ös számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

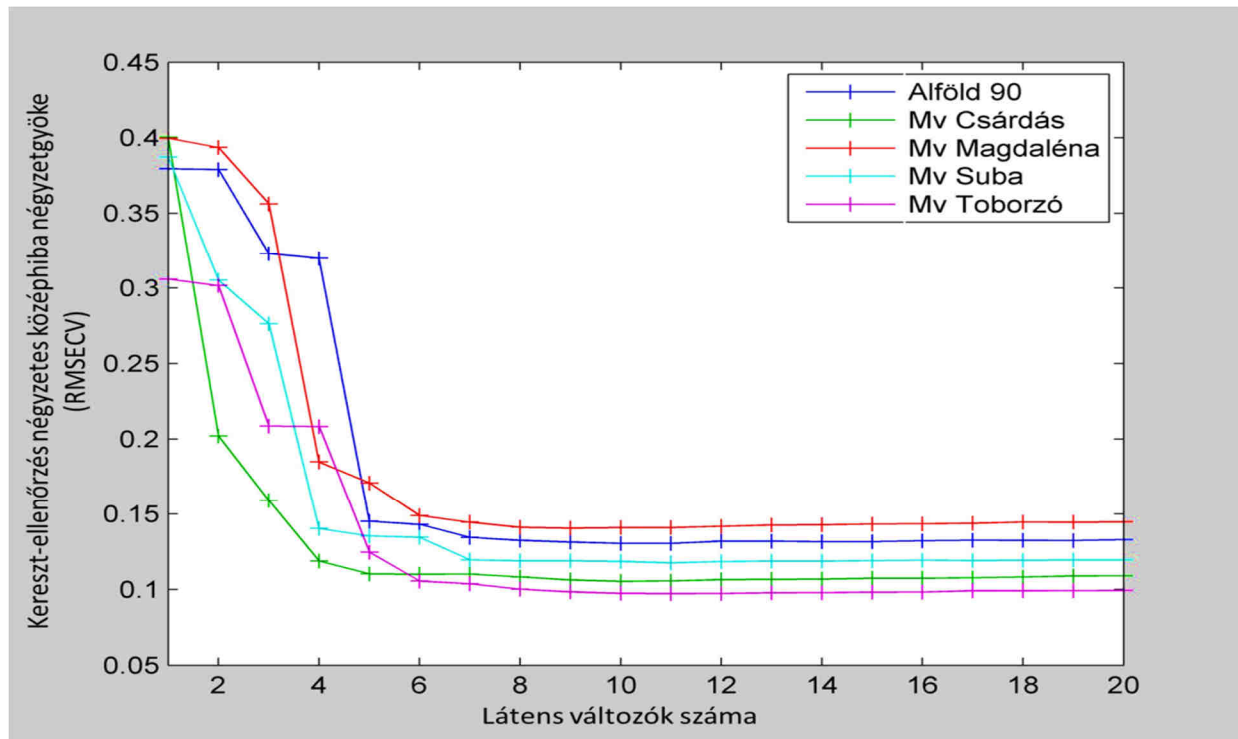
A 2010-ben és 2011-ben végzett mérések a látens változók alapján azonos eloszlást mutatnak a háromdimenziós térben.

Kereszt-ellenőrzés

A kereszt-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája (145. ábra) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke (146. ábra) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



145. ábra: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



146. ábra: A kereszt-ellenőrzés négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (61. táblázat).

61. táblázat: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Osz. Hib. (KV.)	0,004167	0,000000	0,008333	0,000000	0,000000
RMSEC (KV.)	0,145225	0,110268	0,170805	0,135405	0,124615
Eltolódás (KV.)	-0,000893	-0,000489	-0,001259	-0,000571	0,003212
R ² (KV.)	0,887324	0,936075	0,838141	0,899914	0,908681

A kereszt-ellenőrzés során az Mv Magdaléna esetében kaptam a legalacsonyabb R² értéket. A különbségeket a többi értékszám tendenciája is jelzi. A modell kereszt-ellenőrzés során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (62. táblázat) és konfúziós táblázat (63. táblázat) segítségével mutatom be.

62. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (KV)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Toborzó	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000

63. táblázat: A kereszt-ellenőrzés eredménye: vízszintesen az újra-mintavételezett 2010-es és 2011-es minták, függőlegesen a statisztikailag független minták modell által végzett osztályba sorolása látható.

Konfúziós táblázat (KV)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	120	0	0	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	120	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	120	0	0
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	120	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	0	120

A kereszt-ellenőrzés során a modell az összes statisztikailag független mintát helyesen osztályozta. A modell érzékenységét és specifitását a következő táblázatban mutatom be (64. táblázat).

64. táblázat: A modell érzékenysége/specifitása a kereszt-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specifitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (KV)	0,992	1,000	0,983	1,000	1,000
Specifitás (KV)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Validáció

A validáció eredményeit a látens változók számának függvényében a validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együtttható értékeinek összefoglalásával ismertetem, osztályonként. Az értékeket táblázatban foglalom össze (65. táblázat).

65. táblázat: A validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együtttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (Val.)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
RMSEP (Val.)	0,114469	0,124083	0,163051	0,105968	0,142316
Eltolódás (Val.)	0,028470	0,016844	0,019754	0,005647	-0,070715
R ² (Val.)	0,933348	0,910117	0,861913	0,937971	0,933804

A validáció során ismét az Mv Magdaléna esetében kaptam a legalacsonyabb R² értéket. A különbségeket a többi mutató tendenciája is jelzi. A többi esetben az R² értéke 0,90 feletti volt. A modell validáció során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (66. táblázat) és konfúziós táblázat (67. táblázat) segítségével mutatom be.

66. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Val)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Toborzó	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000

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

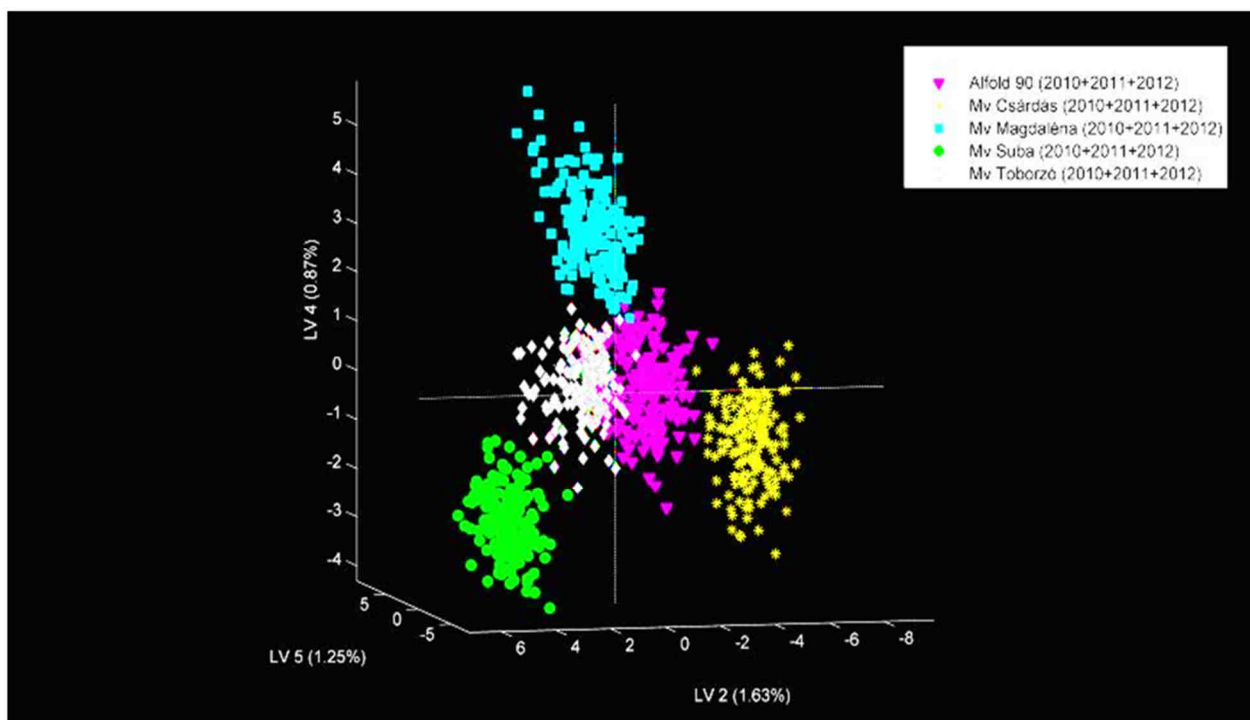
Konfúziós táblázat (Val)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	60	0	0	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	60	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	60	0	0
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	60	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	0	60

A kereszt-ellenőrzéshez hasonlóan a validáció során a modell hiba nélkül sorolta osztályba a 2012-es év független mintáit, fajták szerint. A modell érzékenységét és specificitását a következő táblázatban mutatom be (68. táblázat).

68. táblázat: A modell érzékenysége/specifitása a validáció esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specifitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Val.)	1,000	1,000	1,000	0,983	1,000
Specifitás (Val.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Háromdimenziós adattérben való ábrázolás szempontjából a 2-es 4-es és 5-ös számú látens változó kiválasztásával értem el a legszemléletesebb eredményt. A kalibráció során végzett osztályozás eredményét a következő ábrán mutatom be (147. ábra).



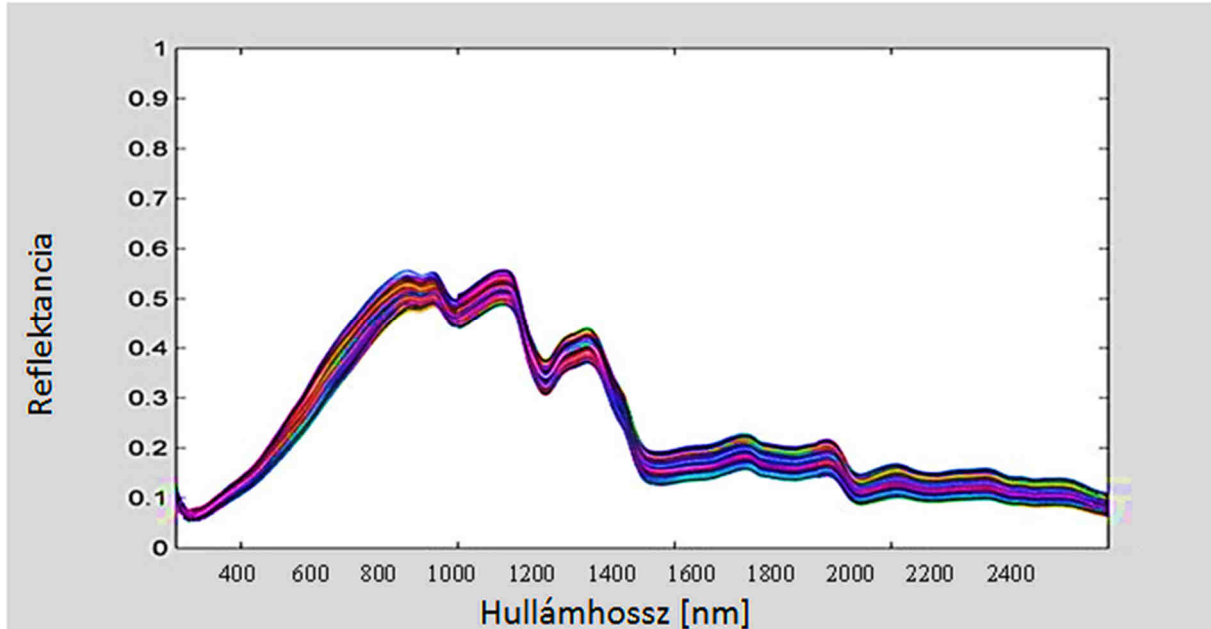
147. ábra: 2010, 2011 és 2012 években vizsgált különböző búzafajták eloszlása a 2-es 4-es és 5-ös számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

A ábra jól szemlélteti a 2010-es és 2011-es évből képzett mintasokaság és a 2012-es évben rögzített validációs sokaság (összesen 900 [db] spektrum) hasonló statisztikai eloszlását a látens változók függvényében.

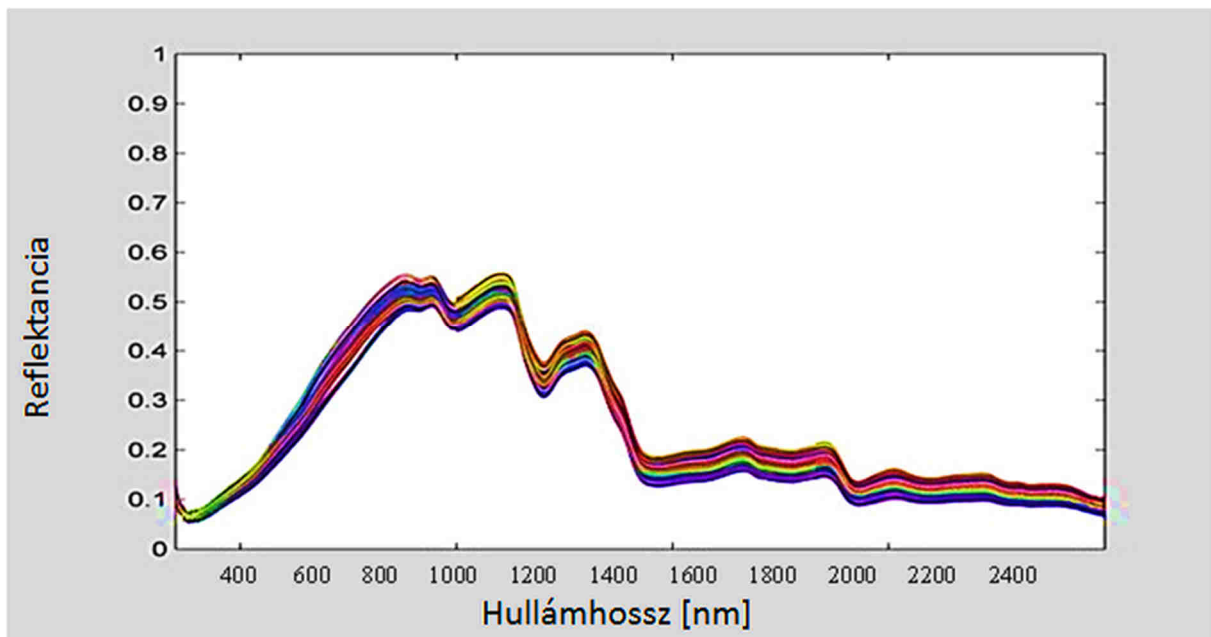
M7: Szaporítóanyag vizsgálata laborban

A nyers adatok

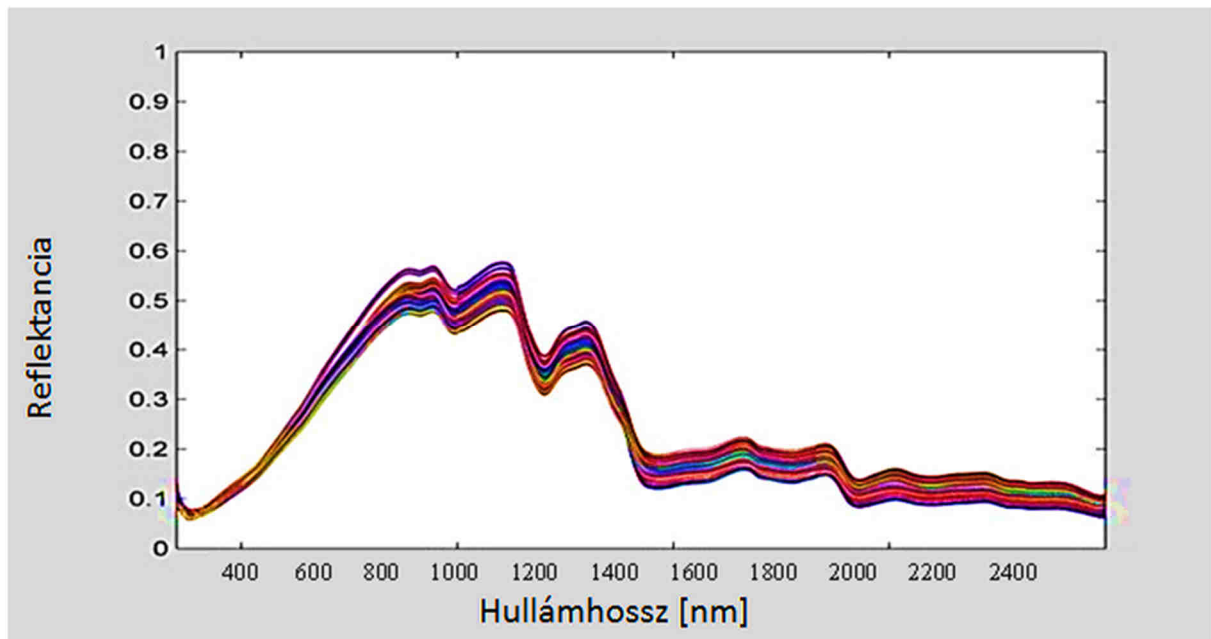
A teljes érést követően betakarított és labormérésre előkészített mintákról készített reflektancia spektrumokat évjáratonként (300 [db] spektrum) csoportosítva ábrázolom (148. ábra, 149. ábra, 150. ábra).



148. ábra: A 2010 évjáratban gyűjtött termésmintákról rögzített spektrumok.



149. ábra: A 2011 évjáratban gyűjtött termésmintákról rögzített spektrumok.



150. ábra: A 2012 évjáratban gyűjtött termésmintákról rögzített spektrumok.

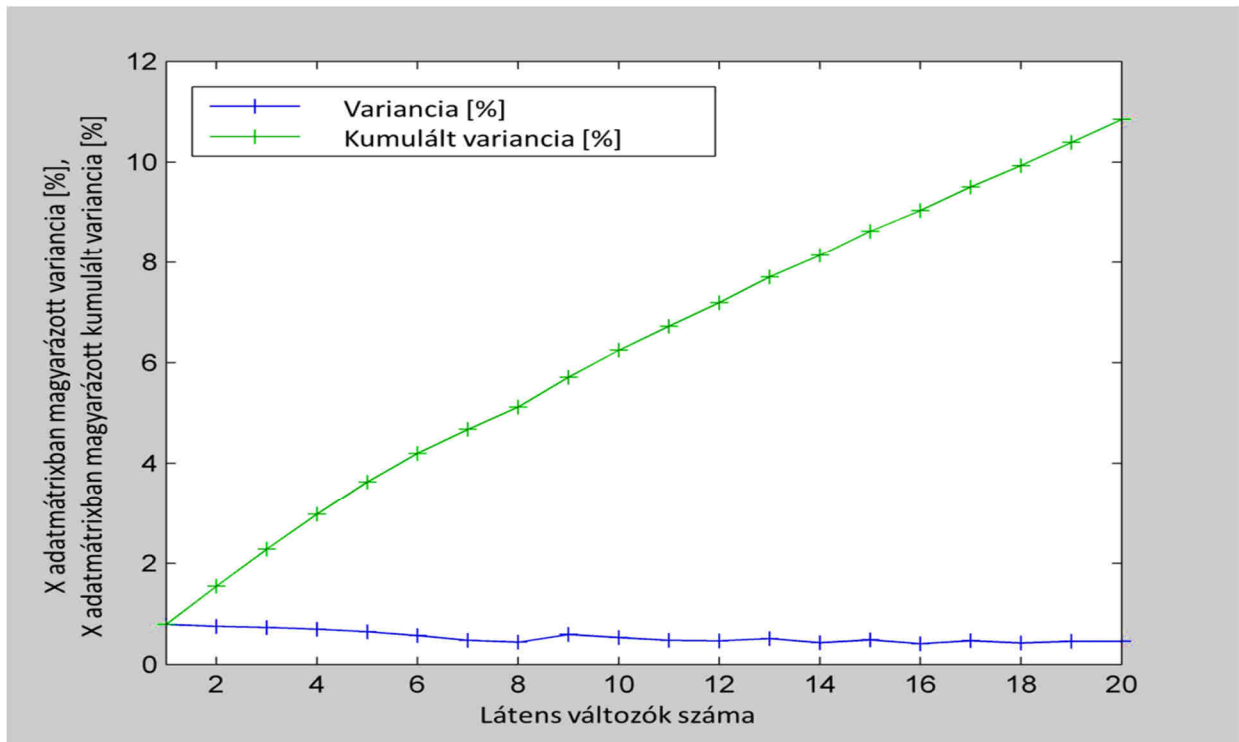
Fajtára jellemző reflexiós csúcsot, vagy csúcsokat egyik fajta esetében sem találtam. A spektrumokat a 3.4.3 fejezetben bemutatott lépéseknek megfelelően készítettem elő.

A 2010-es és 2012-es évjárat kapcsolata

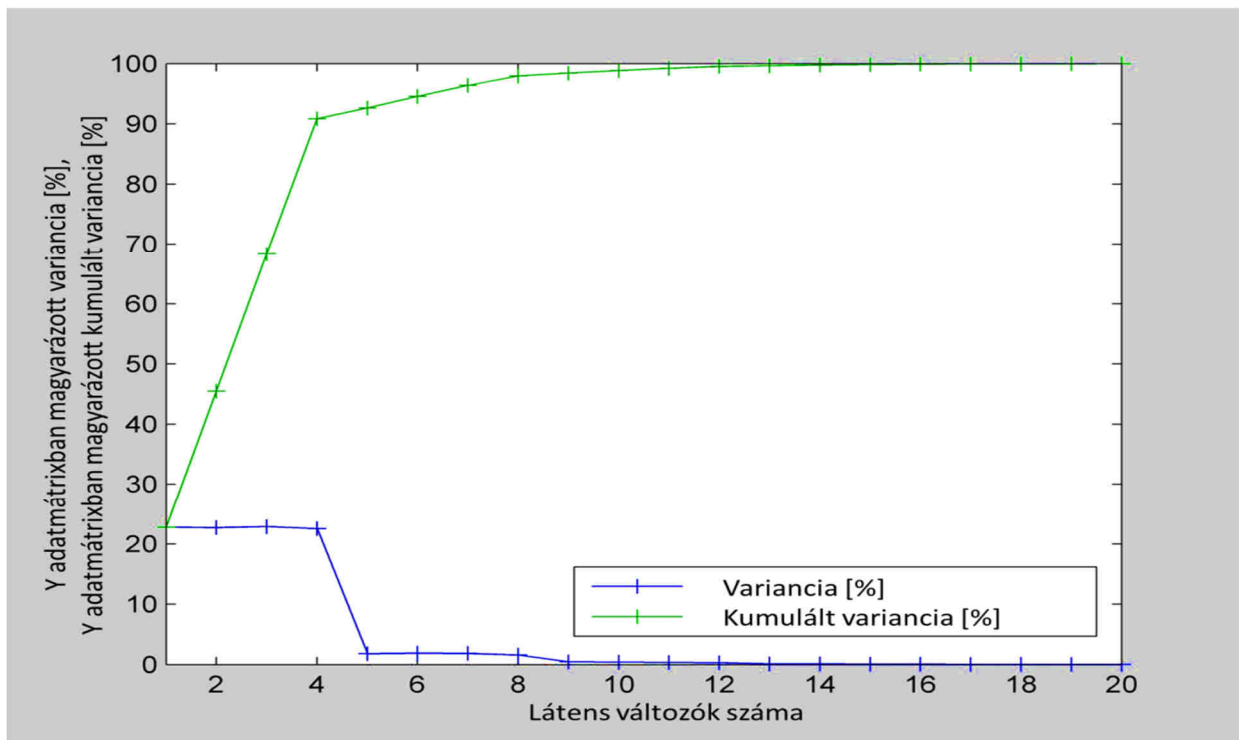
A modellalkotás eredményeinek bemutatása során a terepi mérési eredmények feldolgozásának ismertetése során alkalmazott tematikát követtem.

Látens változók bevezetése

A látens változók számának növekedésével kifejezett adott látens változó (151. ábra), illetve addigi összes látens változó által leírt variancia százalékos értéke a következő ábrán látható (152. ábra).



151. ábra: Látens változók egyedi, illetve kumulált százalékos értéke az X változóra vonatkozóan.



152. ábra: Látens változók egyedi, illetve kumulált százalékos értéke az Y változóra vonatkozóan.

A terepi mérésekhez hasonlóan karakterisztikus hullámhossztartomány nem volt. Az optimális számú látens változók meghatározásakor a magyarázott variancia mellett a búzafajtákon belül kiszámított kereszt-ellenőrzési osztályozási hibákat vettem figyelembe (69. táblázat).

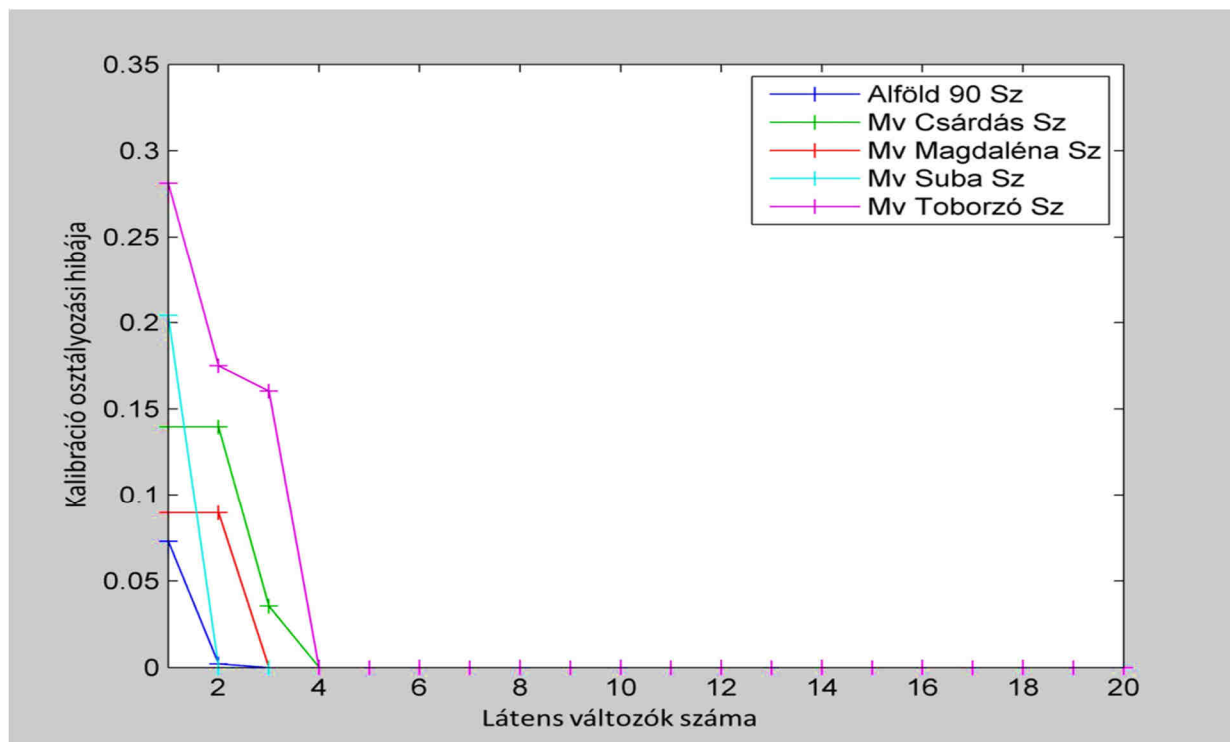
Az osztályozási hibák alapján a 4 látens változó elfogadása indokolt, azonban a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke és a validáció eredményei alapján 5 látens változót tartottam meg.

69. táblázat: Az első öt látens változó esetében kiszámolt értékek.

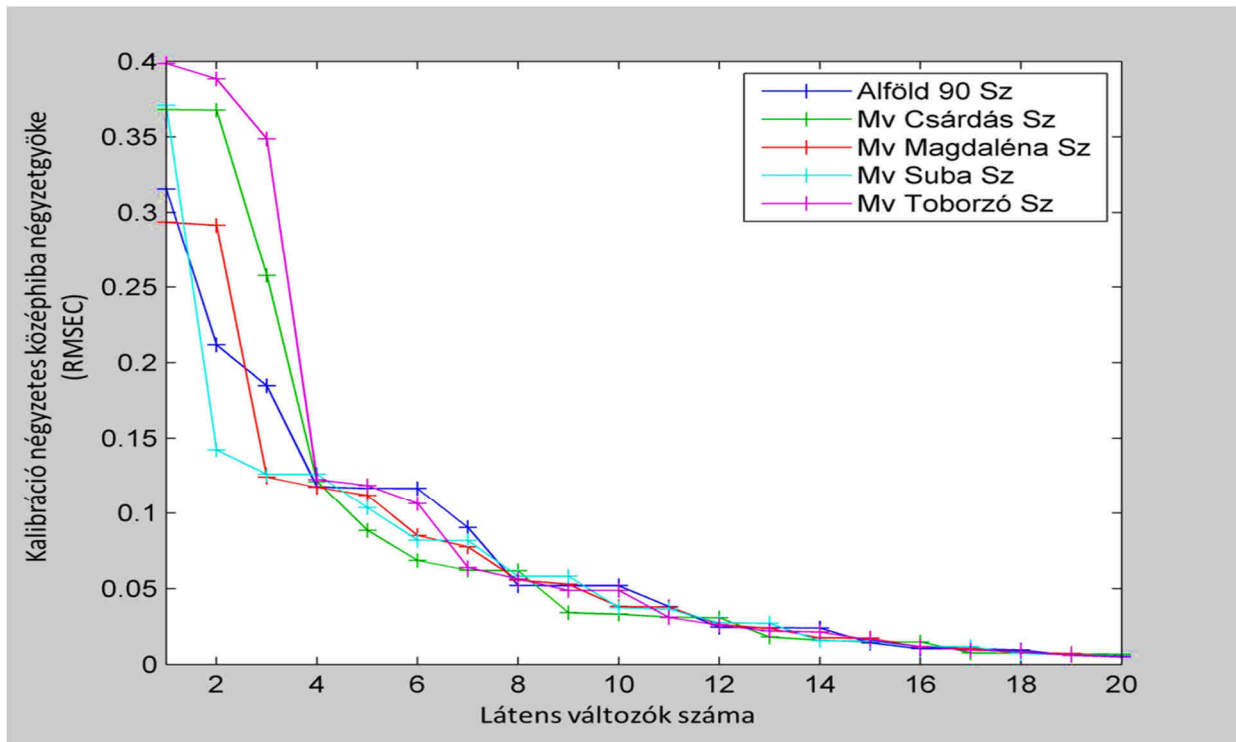
	X és Y adatmátrixokbanban magyarázott variancia és kumulált variancia [%]				KV Oszt. Hiba Alföld 90	KV Oszt. hiba Mv Csárdás	KV Oszt. hiba Mv Magdaléna	KV Oszt. hiba Mv Suba	KV Oszt. hiba Mv Toborzó
	X	X kum.	Y	Y kum.					
LV 1	20,46	28,46	22,77	22,77	0,129	0,042	0,310	0,327	0,158
LV 2	2,17	30,62	22,69	45,46	0,067	0,029	0,163	0,196	0,081
LV 3	1,82	32,44	22,85	68,32	0,010	0,000	0,079	0,192	0,000
LV 4	0,99	33,44	22,54	90,85	0,013	0,000	0,008	0,017	0,000
LV 5	1,64	35,08	1,80	92,65	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Belső-ellenőrzés (kalibráció)

A belső-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kalibráció osztályozási hibája (153. ábra) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke (154. ábra) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



153. ábra: A kalibráció osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



154. ábra: A kalibráció négyzetes középhiba négyzetgyöke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (70. táblázat).

70. táblázat: A kalibráció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyöke értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (Kal.)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
RMSEC (Kal.)	0,116692	0,088625	0,111980	0,103546	0,118509
Eltolódás (Kal.)	-1.19349e-015	1.4988e-015	1.94289e-016	-5.27356e-016	1.38778e-016
R^2 (Kal.)	0,914893	0,950910	0,921628	0,932989	0,912223

A belső-ellenőrzés során minden fajta esetében 0,90 feletti R^2 értékeket kaptam. A modell kalibráció során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (71. táblázat) és konfúziós táblázat (72. táblázat) segítségével mutatom be.

71. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Toborzó	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000

72. táblázat: A belső-ellenőrzés eredménye: vízszintesen a 2010-es minták, függőlegesen a minták modell által végzett osztályba sorolása látható.

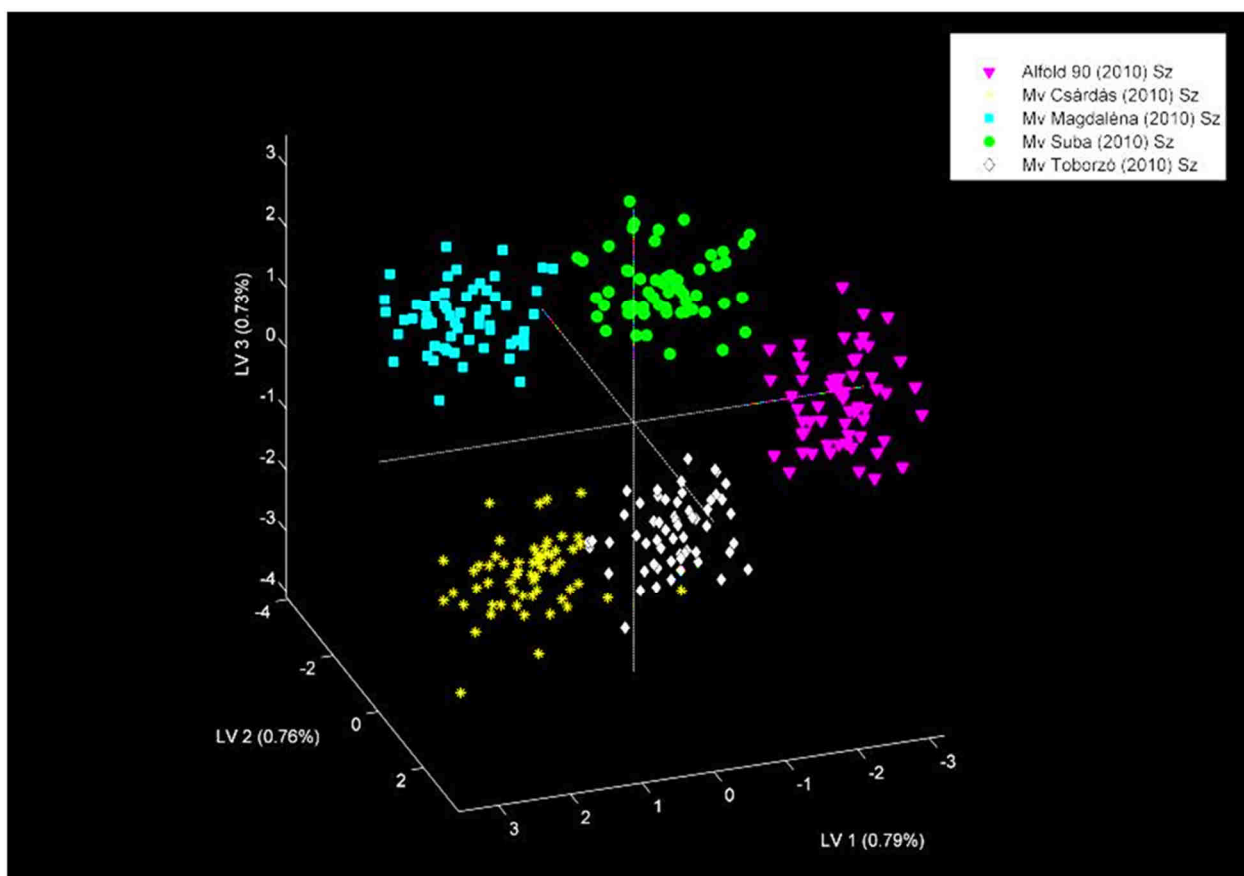
Konfúziós táblázat (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	60	0	0	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	60	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	60	0	0
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	60	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	0	60

A belső-ellenőrzés során az osztályozás hibátlan volt. A modell érzékenységét és specificitását a következő táblázatban mutatom be (72. táblázat).

73. táblázat: A modell érzékenysége/specificitása a belső-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specificitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Kal.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Specificitás (Kal.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

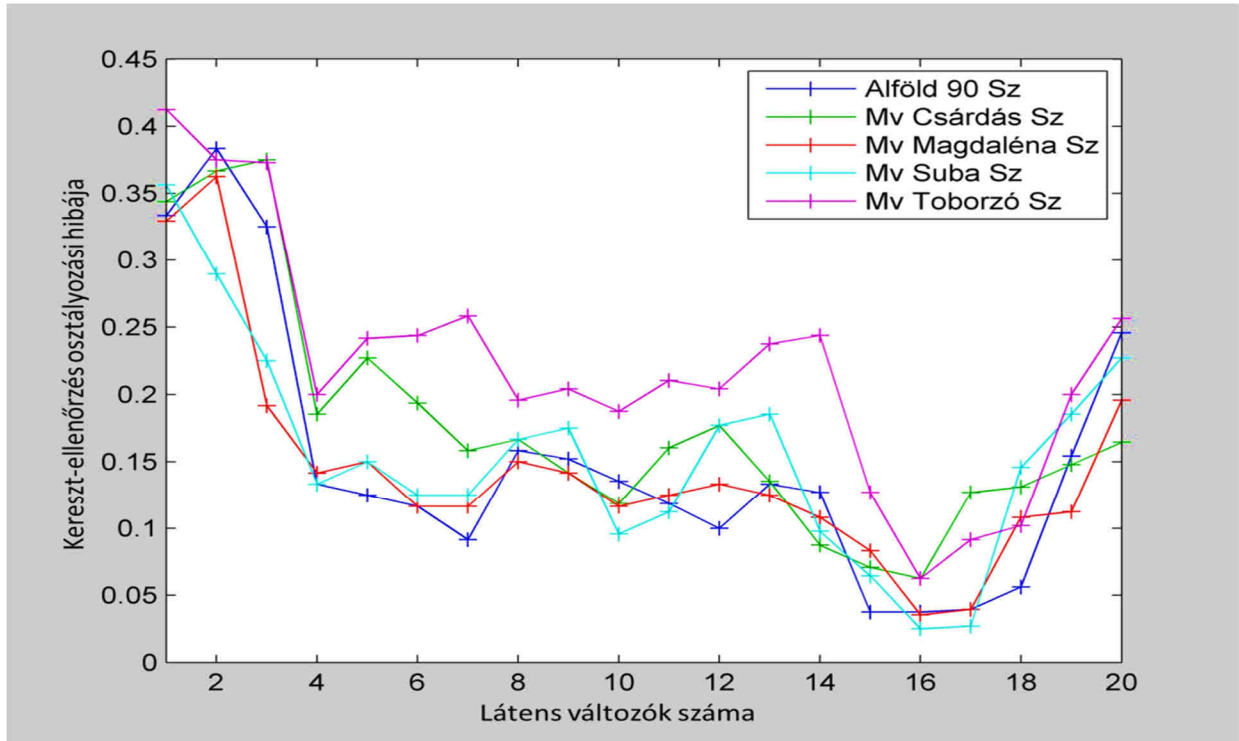
Háromdimenziós adattérben való ábrázolás szempontjából az 1-es, 2-es és 3-as számú látens változó kiválasztásával értem el a legszemléletesebb eredményt (155. ábra).



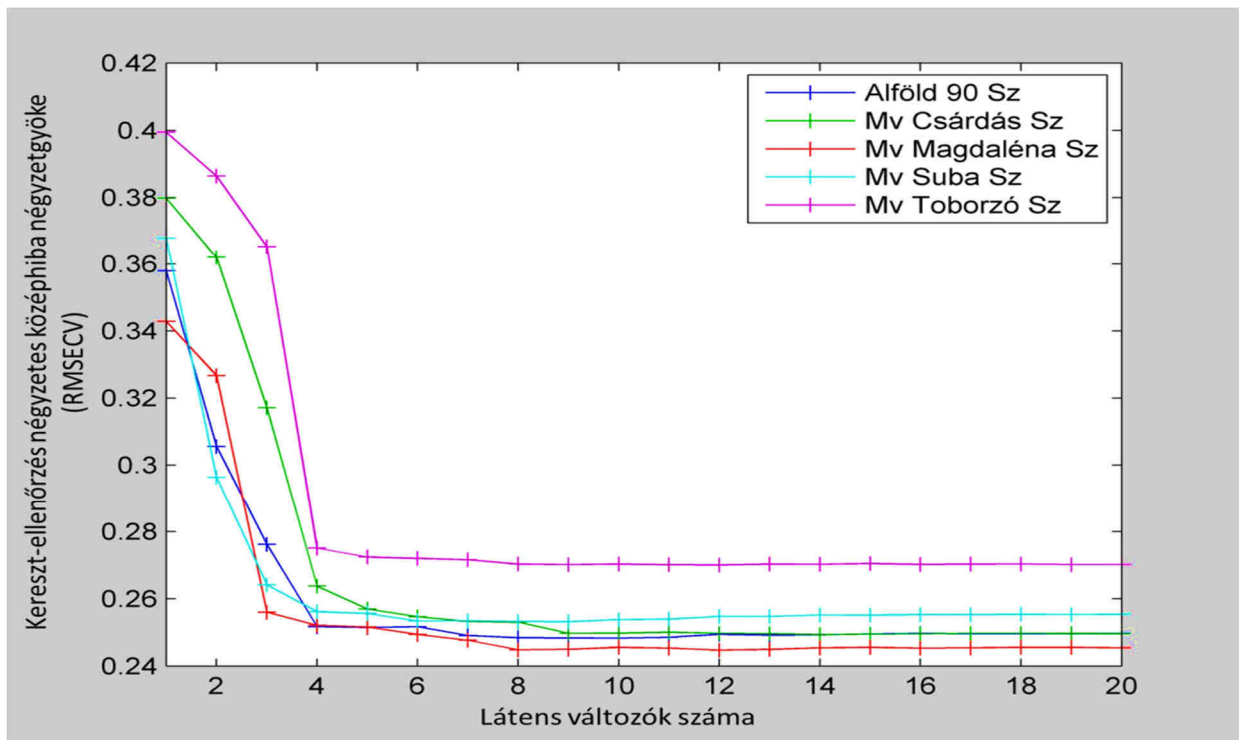
155. ábra: 2010-es évjáratban gyűjtött különböző búzafajta minták eloszlása az 1-es, 2-es és 3-as számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

Kereszt-ellenőrzés

A kereszt-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája (156. ábra) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke (157. ábra) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



156. ábra: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



157. ábra: A kereszt-ellenőrzés négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (74. táblázat).

74. táblázat: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (KV.)	0,125000	0,227083	0,150000	0,150000	0,241667
RMSEC (KV.)	0,251514	0,257015	0,251678	0,255677	0,272452
Eltolódás (KV.)	-0,000889	0,003135	-0,001105	0,002342	-0,003483
R^2 (KV.)	0,718948	0,711775	0,706706	0,681614	0,635524

A kereszt-ellenőrzés determinációs együtthatóinak értékei nagymértékben lecsökkentek minden fajta esetében. A legalacsonyabb R^2 értéket az Mv Suba esetében kaptam. A determinációs együttható csökkenése mellett a kereszt-ellenőrzés hibája, négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke és szisztematikus hibája jelentősen megnőtt. A modell kereszt-ellenőrzés során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (75. táblázat) és konfúziós táblázat (76. táblázat) mutatja be.

75. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (KV)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	0,96667	0,01250	0,98750	0,03333
Mv Csárdás	0,83330	0,00417	0,99583	0,16667
Mv Magdaléna	0,98333	0,01667	0,98333	0,01667
Mv Suba	0,95000	0,02083	0,97917	0,05000
Mv Toborzó	0,95000	0,02500	0,97500	0,05000

76. táblázat: A kereszt-ellenőrzés eredménye: vízszintesen az újra-mintavételezett 2010-es minták, függőlegesen a statisztikailag független minták modell által végzett osztályba sorolása látható.

Konfúziós táblázat (KV)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	58	2	0	0	1
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	50	0	0	1
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	3	59	1	0
Azonosított, mint Mv Suba	1	3	0	57	1
Azonosított, mint Mv Toborzó	1	2	1	2	57

A kereszt-ellenőrzés során a modell mindegyik fajta esetében tévesztett, azonban a hiba mértéken minden esetben 5 [%]-on belül maradt. Egyedül az Mv Csárdás esetében volt magasabb. A modell érzékenységét és specifitását a következő táblázatban mutatom be (77. táblázat).

77. táblázat: A modell érzékenysége/specifitása a kereszt-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specifitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (KV)	0,750	0,550	0,700	0,700	0,517
Specifitás (KV)	1,000	0,996	1,000	1,000	1,000

Validáció:

A validáció eredményeit a látens változók számának függvényében a validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együtttható értékeinek összefoglalásával ismertetem, osztályonként. Az értékeket táblázatban foglalom össze (78. táblázat).

78. táblázat: A validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együtttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (Val.)	0,175000	0,225000	0,141667	0,158333	0,141667
RMSEP (Val.)	0,252761	0,256962	0,261304	0,253093	0,261101
Eltolódás (Val.)	-0,006186	0,007388	0,005039	-0,006167	-7.45593e-005
R ² (Val.)	0,716592	0,667360	0,669597	0,695689	0,667923

A validáció során szintén gyenge értékeket kaptunk, azonban az osztályozás eredménye némiképp jobb lett, mint a kereszt-ellenőrzés esetében. A modell validáció során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (79. táblázat) és konfúziós táblázat (80. táblázat) segítségével mutatom be.

79. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Val)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	0,98333	0,00417	0,99583	0,01667
Mv Csárdás	0,86667	0,00000	1,00000	0,13333
Mv Magdaléna	0,98333	0,00833	0,99167	0,01667
Mv Suba	0,95000	0,00833	0,99167	0,05000
Mv Toborzó	1,00000	0,03330	0,96667	0,00000

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

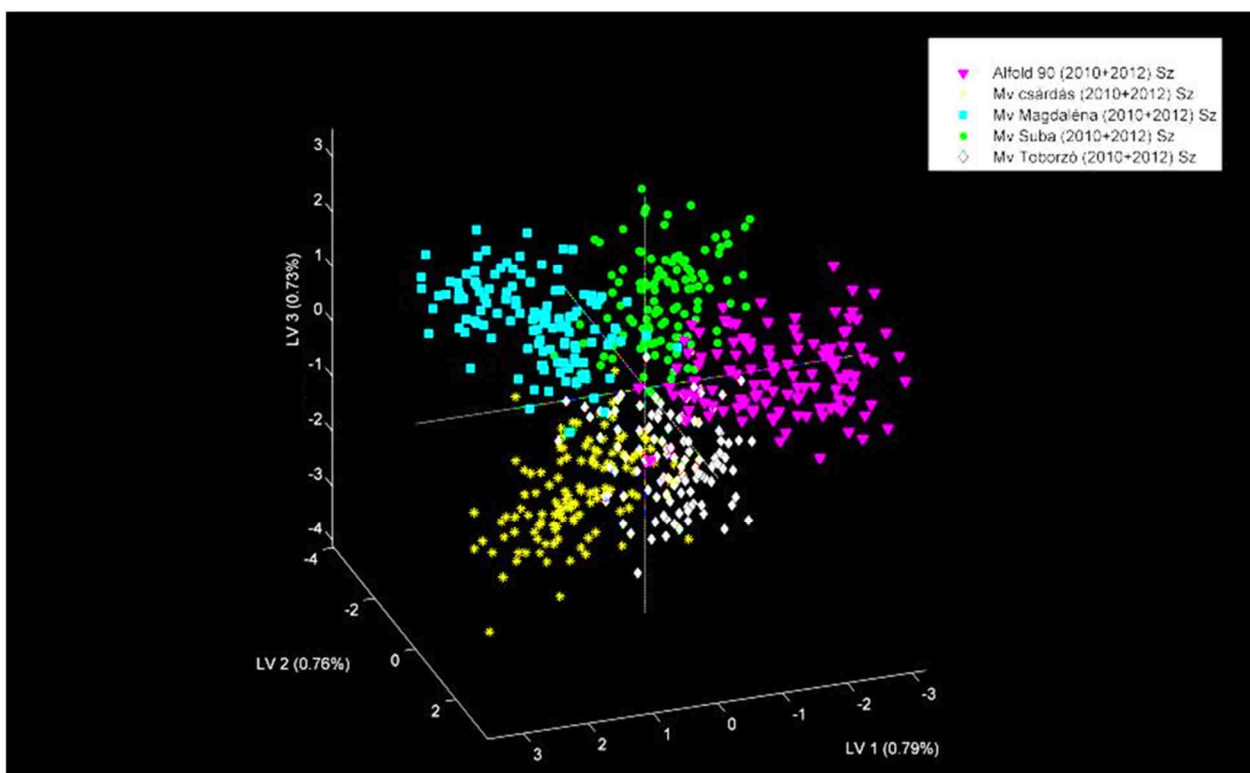
Konfúziós táblázat (Val)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	59	0	1	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	52	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	1	59	1	0
Azonosított, mint Mv Suba	0	2	0	57	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	1	5	0	2	60

A legtöbb hiba az Mv Csárdás esetében volt, a hibásan osztályozott minták száma itt elérte a 13 [%]-ot. A többi esetben 5 [%]-on alatt maradt. Az Mv Toborzó esetében az osztályozás hibátlan volt. Az érzékenységet és specifitást táblázatban mutatom be (81. táblázat).

81. táblázat: A modell érzékenysége/specifitása a validáció esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specifitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Val.)	0,650	0,550	0,717	0,683	0,717
Specifitás (Val.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Háromdimenziós adattérben való ábrázolás szempontjából a 1-es 2-es és 3-as számú látens változó kiválasztásával értem el a legszemléletesebb eredményt (158. ábra).

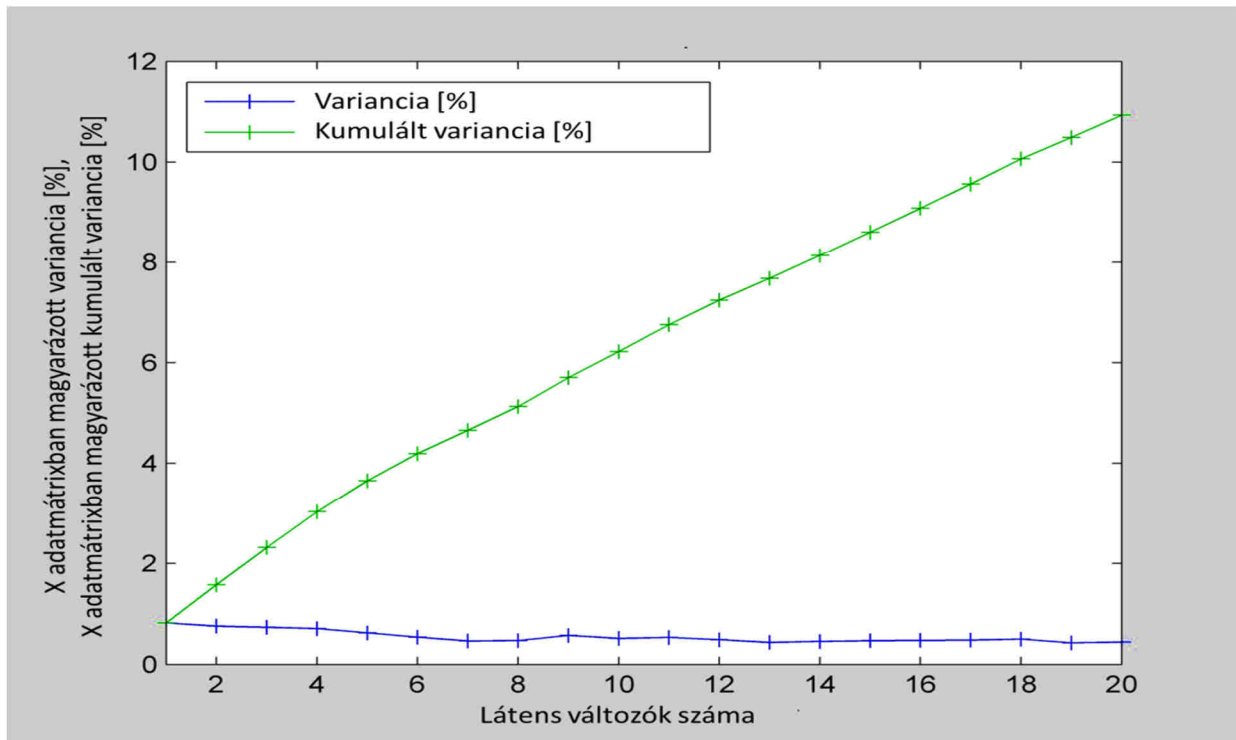


158. ábra: 2010-es és 2012-es évjáratokban gyűjtött különböző búzafajta minták eloszlása az 1-es, 2-es és 3-as számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

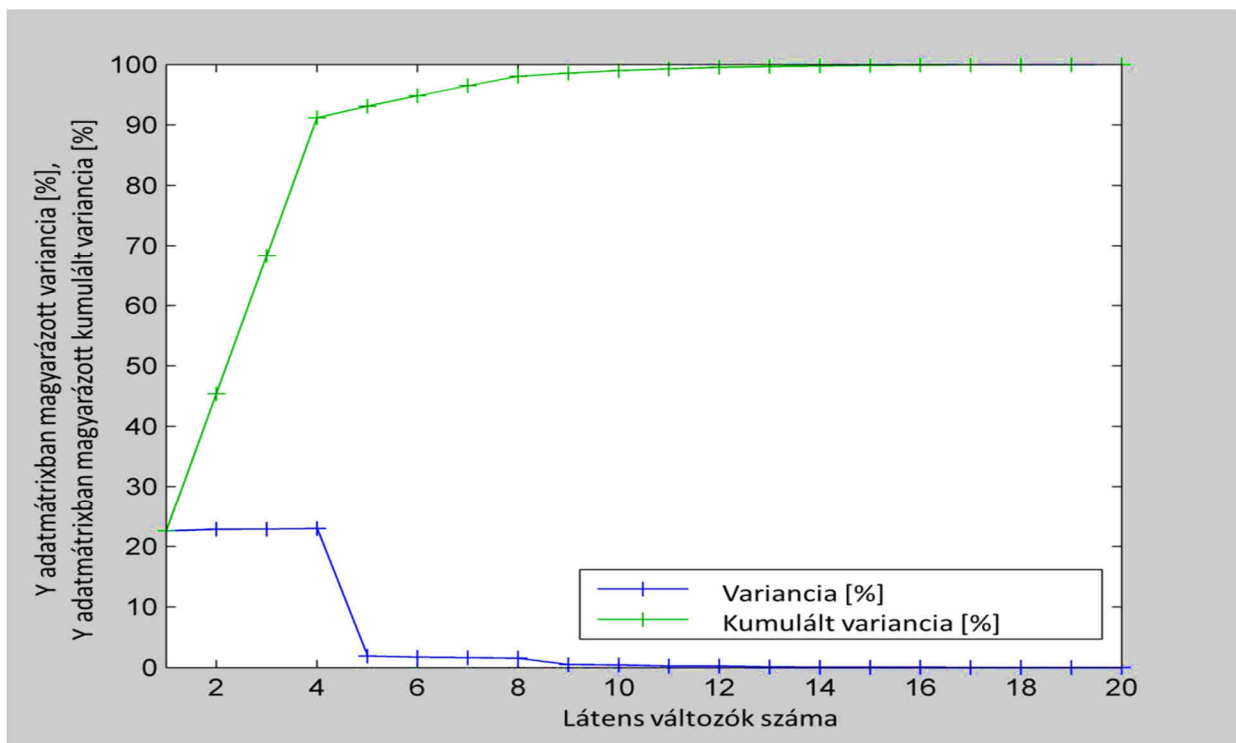
A 2011-es és 2012-es évjárat kapcsolata

Látens változók bevezetése

Az adott látens változó, illetve addigi összes látens változó által leírt variancia százalékos értékét a következő ábra mutatja be (159. ábra, 160. ábra).



159. ábra: Látens változók egyedi, illetve kumulált százalékos értéke az X változóra vonatkozóan.



160. ábra: Látens változók egyedi, illetve kumulált százalékos értéke az Y változóra vonatkozóan.

A látens változó esetében továbbra sem találtam karakterisztikus tartományt. Az optimális számú látens változók meghatározásakor a magyarázott variancia mellett a búzafajtákon belül kiszámított kereszt-ellenőrzési osztályozási hibákat vettem figyelembe (82. táblázat).

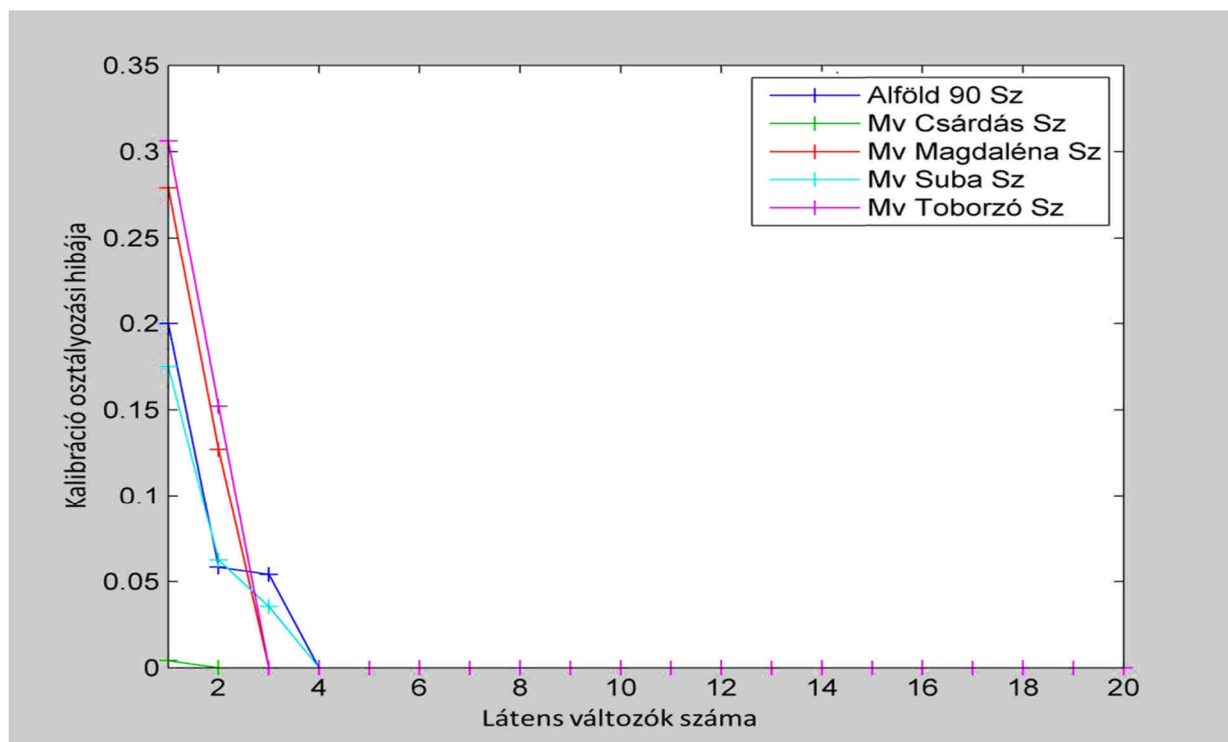
82. táblázat: Az első öt látens változó esetében kiszámolt értékek.

	X és Y adatmátrixokban magyarázott variancia és kumulált variancia [%]				KV Oszt. Hiba Alföld 90	KV Oszt. hiba Mv Csárdás	KV Oszt. hiba Mv Magdaléna	KV Oszt. hiba Mv Suba	KV Oszt. hiba Mv Toborzó
	X	X kum.	Y	Y kum.					
LV 1	20,46	28,46	22,55	22,55	0,129	0,042	0,310	0,327	0,158
LV 2	2,17	30,62	22,83	45,38	0,067	0,029	0,163	0,196	0,081
LV 3	1,82	32,44	22,86	68,24	0,010	0,000	0,079	0,192	0,000
LV 4	0,99	33,44	22,94	91,19	0,013	0,000	0,008	0,017	0,000
LV 5	1,64	35,08	1,93	93,11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

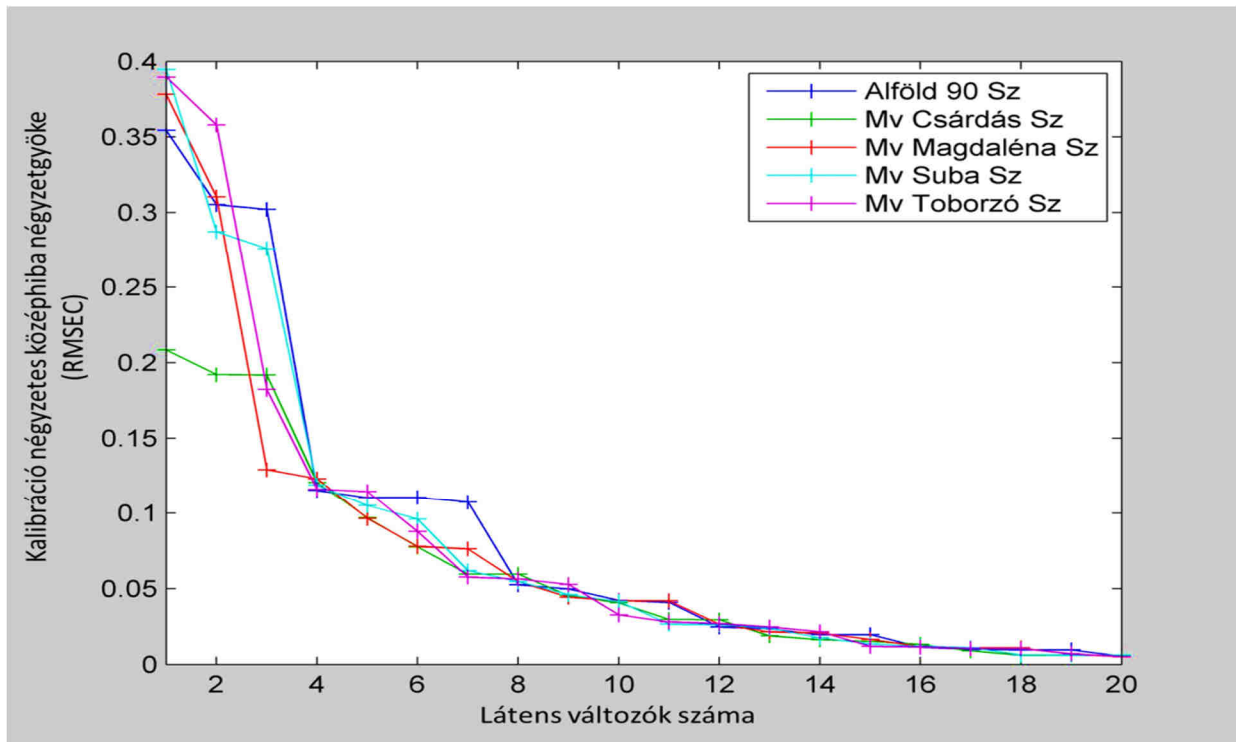
Az eredmények alapján öt látens változóval dolgoztam tovább.

Belső-ellenőrzés (kalibráció)

A belső-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kalibráció osztályozási hibája (161. ábra) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke (162. ábra) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



161. ábra: A kalibráció osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



162. ábra: A kalibráció négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (83. ábra).

83. táblázat: A kalibráció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (Kal.)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
RMSEC (Kal.)	0,110544	0,096998	0,096390	0,105044	0,114634
Eltolódás (Kal.)	5.55112e-017	-1.16573e-015	.66533e-016	.44089e-016	1.94289e-016
R^2 (Kal.)	0,923625	0,941196	0,941931	0,931036	0,917869

A belső-ellenőrzés esetében magas determinációs együttható értékeket kaptam. A legalacsonyabb R^2 értéket az Mv Toborzó esetében kaptam. A modell kalibráció során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (84. táblázat) és konfúziós táblázat (85. táblázat) segítségével mutatom be.

84. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Toborzó	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000

85. táblázat: A belső-ellenőrzés eredménye: vízszintesen a 2011-es minták, függőlegesen a minták modell által végzett osztályba sorolása látható.

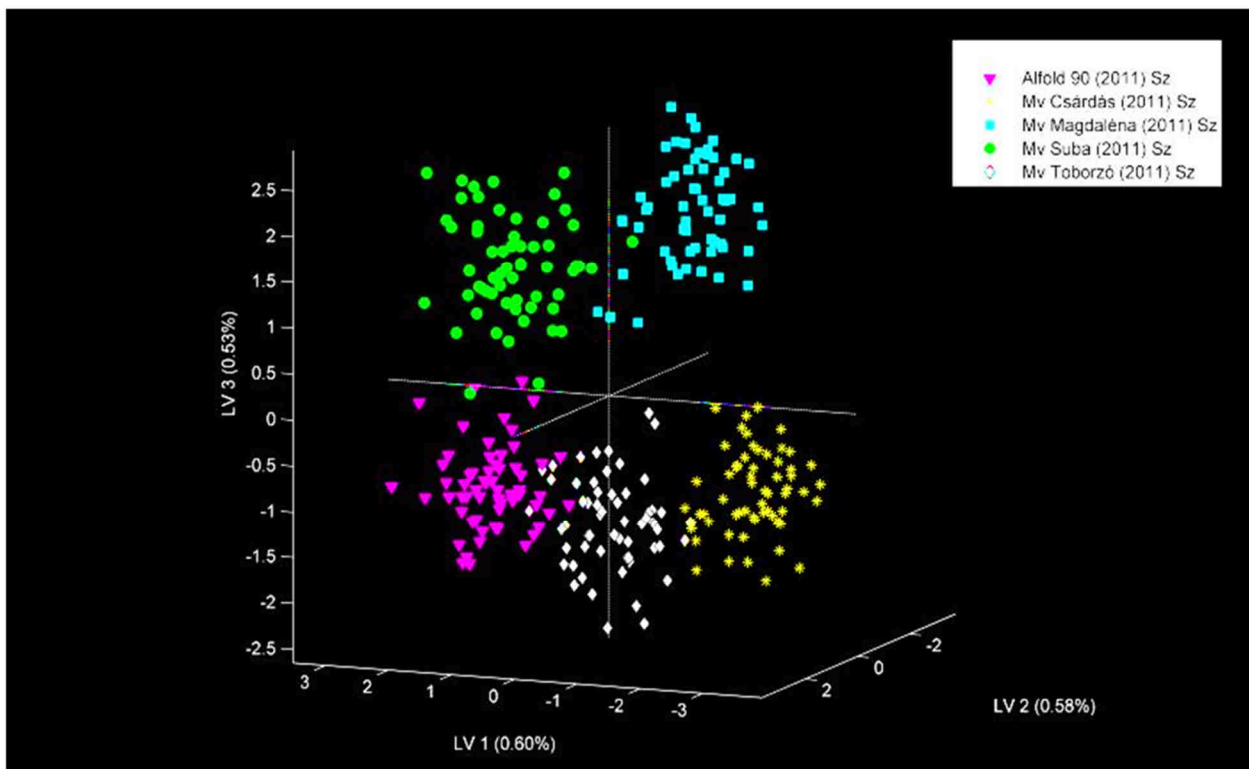
Konfúziós táblázat (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	60	0	0	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	60	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	60	0	0
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	60	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	0	60

A belső-ellenőrzés során a modell nem ejtett hibát. A modell érzékenységét és specificitását a következő táblázatban mutatom be (86. táblázat).

86. táblázat: A modell érzékenysége/specificitása a belső-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specificitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Kal.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Specificitás (Kal.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

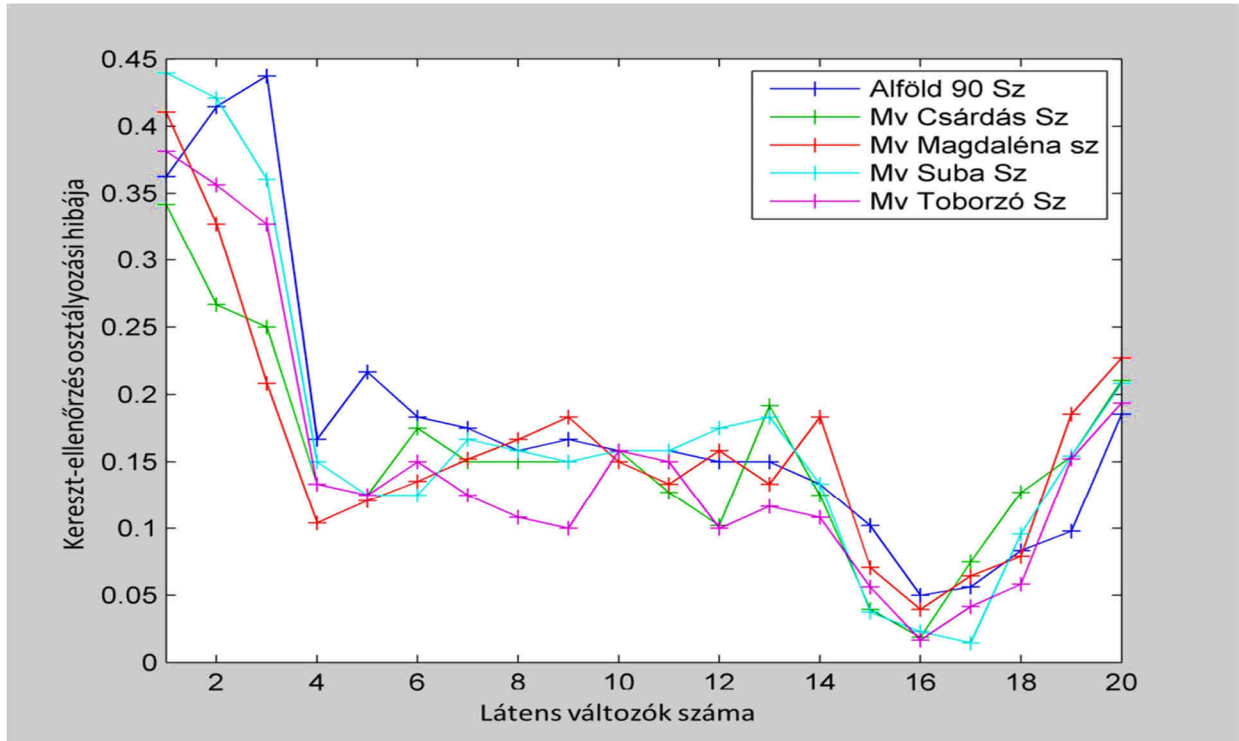
Háromdimenziós adattérben való ábrázolás szempontjából az 1-es 2-es és 3-as számú látens változó kiválasztásával értem el a legszemléletesebb eredményt. A kalibráció során végzett osztályozás eredményét a következő ábrán mutatom be (163. ábra). A különböző fajták eloszlása, elkülönülése jól látható.



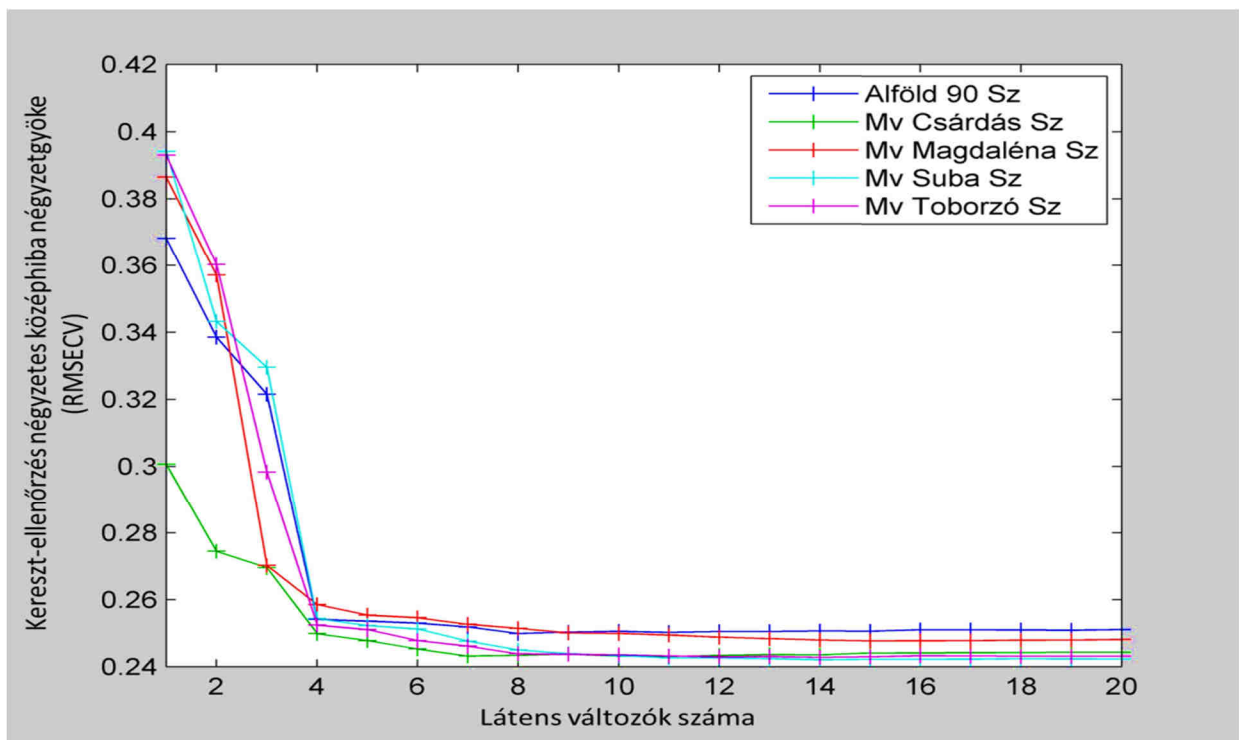
163. ábra: 2011-es évjáratban gyűjtött különböző búzafajta minták eloszlása az 1-es 2-es és 3-as számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

Kereszt-ellenőrzés

A kereszt-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája (164. ábra) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke (165. ábra) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



164. ábra: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



165. ábra: A kereszt-ellenőrzés négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (87. táblázat).

87. táblázat: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (KV.)	0,216667	0,125000	0,120833	0,125000	0,125000
RMSEC (KV.)	0,253669	0,247861	0,255439	0,252352	0,251130
Eltolódás (KV.)	-0,007006	0,006217	0,001536	0,000533	-0,001281
R^2 (KV.)	0,714644	0,714882	0,687821	0,707902	0,726265

A kereszt-ellenőrzés esetében az R^2 értékek csökkentek. Az Mv Magdaléna esetében 0,68-as determinációs együtthatót kaptam. Az eltérést a többi mutató változása is jelzi. A modell kereszt-ellenőrzés során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (88. táblázat) és konfúziós táblázat (89. táblázat) segítségével mutatom be.

88. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (KV)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	0,98333	0,00833	0,99167	0,01667
Mv Csárdás	0,95000	0,00833	0,99167	0,05000
Mv Magdaléna	0,93333	0,00833	0,99167	0,06667
Mv Suba	0,96667	0,00000	1,00000	0,03333
Mv Toborzó	0,98333	0,02083	0,97917	0,01667

89. táblázat: A kereszt-ellenőrzés eredménye: vízszintesen az újra-mintavételezett 2011-es minták, függőlegesen a statisztikailag független minták modell által végzett osztályba sorolása látható.

Konfúziós táblázat (KV)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	59	1	1	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	57	1	1	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	1	56	0	1
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	58	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	1	1	2	1	59

A kereszt-ellenőrzés során a modell kevés osztályozás hibát ejtett. Mv Magdaléna esetében a tévesen osztályozott minták száma 4 volt. A modell érzékenységét és specificitását a következő táblázatban mutatom be (90. táblázat).

90. táblázat: A modell érzékenysége/specificitása a kereszt-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specificitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (KV)	0,567	0,750	0,767	0,750	0,750
Specificitás (KV)	1,000	1,000	0,992	1,000	1,000

Validáció

A validáció eredményeit a látens változók számának függvényében a validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, és a determinációs együttható értékeinek összefoglalásával ismertetem, osztályonként (91. táblázat).

91. táblázat: A validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (Val.)	0,225000	0,200000	0,093750	0,075000	0,091667
RMSEP (Val.)	0,270437	0,267325	0,252195	0,250112	0,248423
Eltolódás (Val.)	0,020099	-0,013739	-0,000242	0,012405	-0,018522
R ² (Val.)	0,669577	0,659856	0,676004	0,698392	0,722442

A validáció esetében tovább romlottak a determinációs együtthatók. Az Mv Csárdás esetében az R² elérte a 0,65-öt. Az osztályozási hiba, a négyzetes középhiba és a szisztematikus hiba megnőtt. A modell validáció során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (92. táblázat) és konfúziós táblázat (93. táblázat) segítségével mutatom be.

92. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Val)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	0,93333	0,00000	1,00000	0,06667
Mv Csárdás	0,90000	0,00833	0,99167	0,10000
Mv Magdaléna	0,96667	0,01250	0,98750	0,03333
Mv Suba	0,98333	0,01667	0,98333	0,01667
Mv Toborzó	0,96667	0,02500	0,97500	0,03333

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

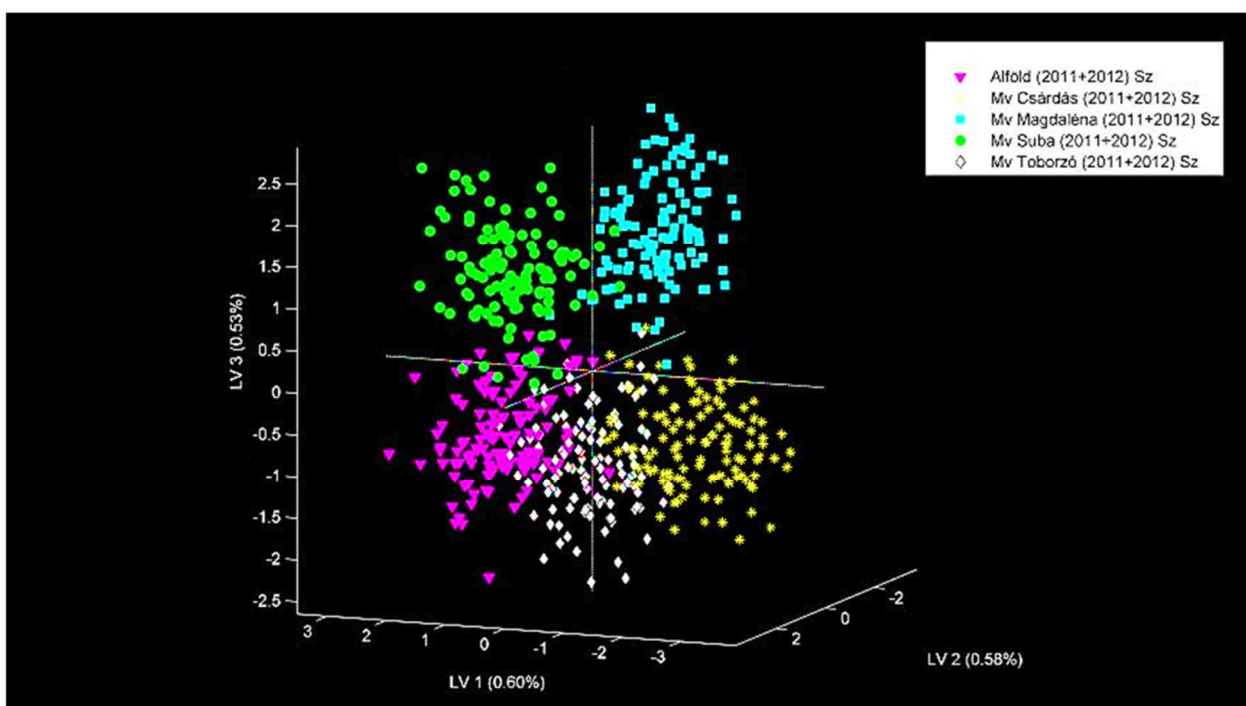
Konfúziós táblázat (Val)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	56	0	0	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	54	2	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	1	4	58	0	1
Azonosított, mint Mv Suba	2	4	0	59	1
Azonosított, mint Mv Toborzó	1	4	0	1	58

A modell a validáció során az Mv Csárdás esetében 20 [%]-os hibát vétett. A többi fajta esetében a hibás osztályzás 10 [%]-on belül maradt. A modell érzékenységét és specificitását a következő táblázatban mutatom be (94. táblázat).

94. táblázat: A modell érzékenysége/specifitása a validáció esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specifitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Val.)	0,550	0,600	0,817	0,850	0,817
Specifitás (Val.)	1,000	1,000	0,996	1,000	1,000

Háromdimenziós adattérben való ábrázolás szempontjából az 1-es 2-es és 3-as számú látens változó kiválasztásával értem el a legszemléletesebb eredményt A kalibráció során végzett osztályozás eredményét a következő ábrán mutatom be (166. ábra).



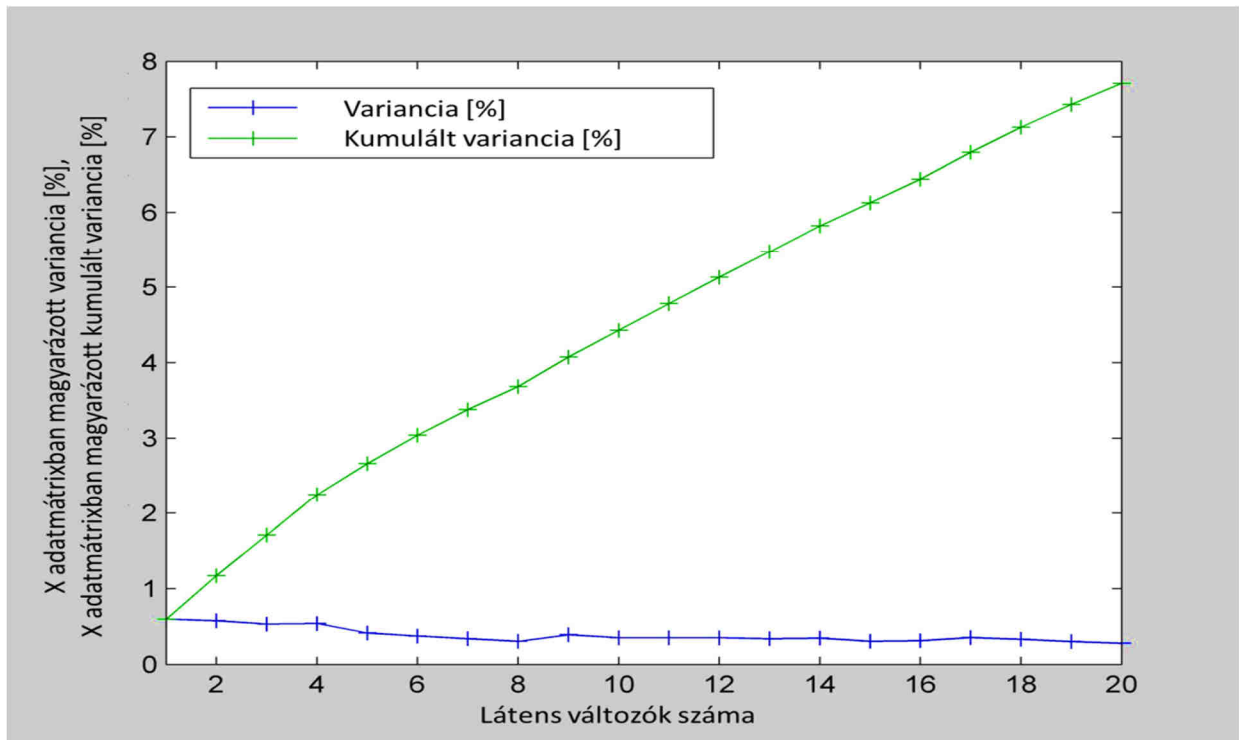
166. ábra: 2011-es és 2012-es évjáratban vizsgált különböző búzafajta minták eloszlása az 1-es, 2-es és 3-as számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

A búzafajták eloszlása jól kivehető. A pontfelhők közelsége indokolja a tévesztések számát.

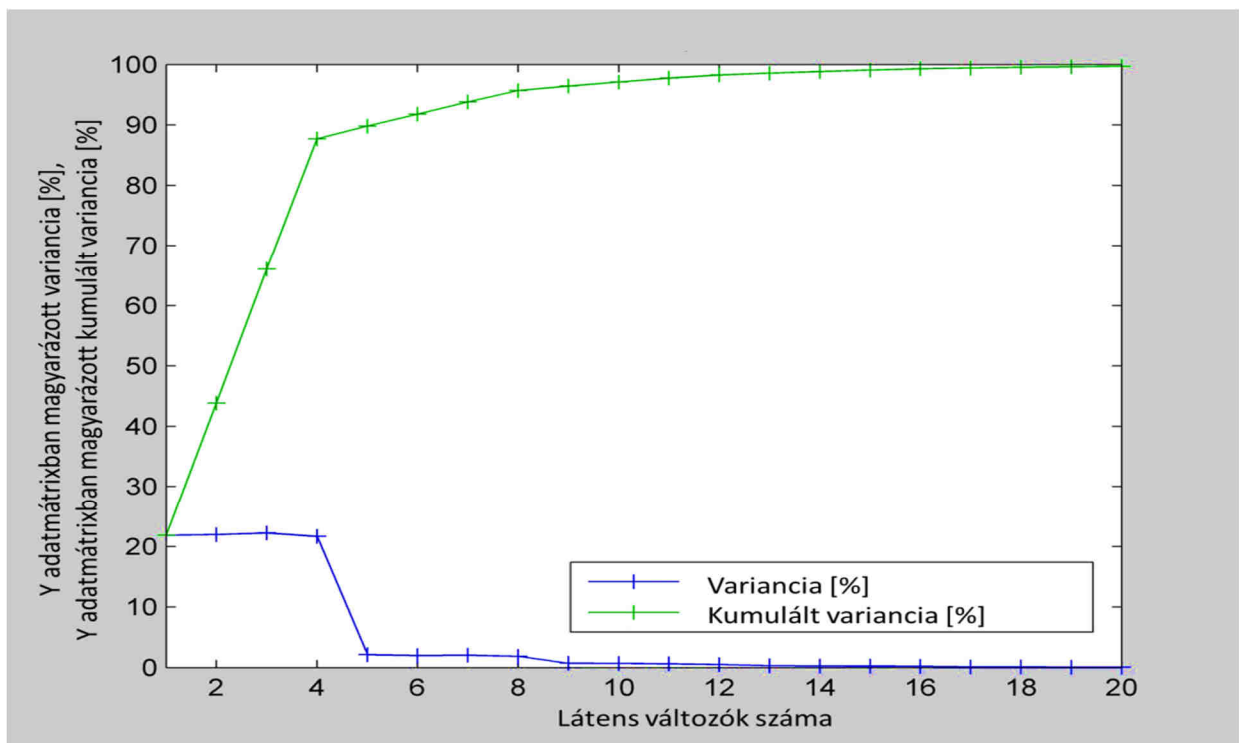
A 2010, 2011-es és a 2012-es évjárat kapcsolata

Látens változók bevezetése

A következő ábrán a látens változók, illetve az általuk leírt összes variancia százalékos értéke látható (167. ábra, 168. ábra).



167. ábra: Látens változók egyedi, illetve kumulált százalékos értéke az X változóra vonatkozóan.



168. ábra: Látens változók egyedi, illetve kumulált százalékos értéke az Y változóra vonatkozóan.

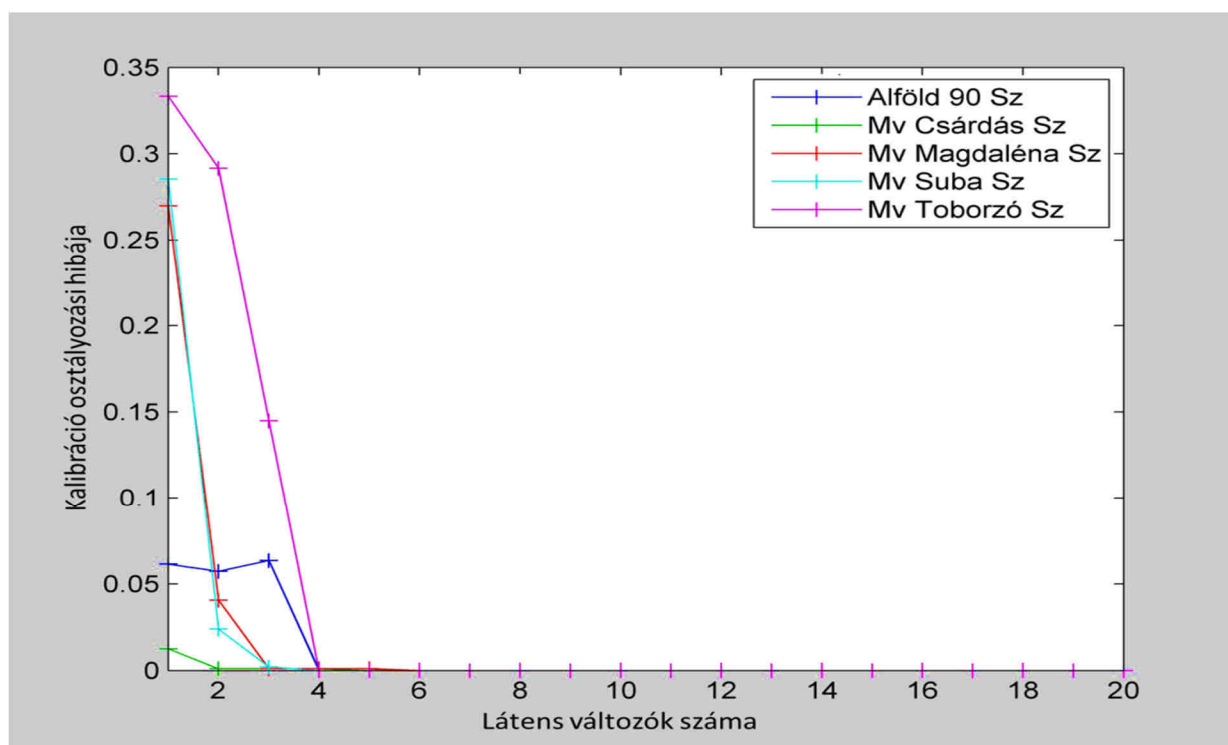
Karakterisztikus tartományt nem találtam a faktorsúlyok vizsgálata során. Az optimális számú látens változók meghatározásakor a magyarázott variancia mellett a búzafajtákon belül kiszámított kereszt-ellenőrzési osztályozási hibákat vettem figyelembe (95. táblázat). Az eredmények alapján öt látens változóval dolgoztam tovább.

95. táblázat: Az első öt látens változó esetében kiszámolt értékek.

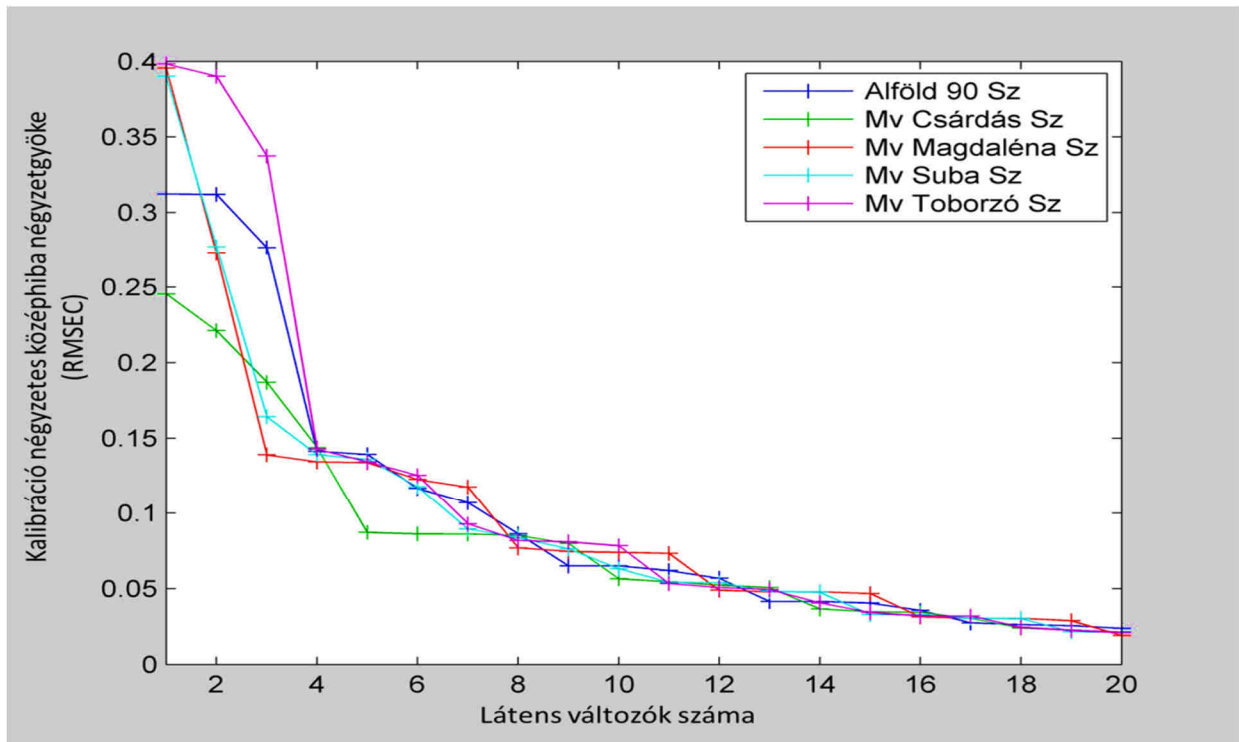
	X és Y adatmátrixokbanban magyarázott variancia és kumulált variancia [%]				KV Oszt. Hiba Alföld 90	KV Oszt. hiba Mv Csárdás	KV Oszt. hiba Mv Magdaléna	KV Oszt. hiba Mv Suba	KV Oszt. hiba Mv Toborzó
	X	X kum.	Y	Y kum.					
LV 1	20,46	28,46	21,86	21,86	0,129	0,042	0,310	0,327	0,158
LV 2	2,17	30,62	21,95	43,81	0,067	0,029	0,163	0,196	0,081
LV 3	1,82	32,44	22,22	66,04	0,010	0,000	0,079	0,192	0,000
LV 4	0,99	33,44	21,66	87,70	0,013	0,000	0,008	0,017	0,000
LV 5	1,64	35,08	2,13	89,82	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Belső-ellenőrzés (kalibráció)

A belső-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kalibráció osztályozási hibája (169. táblázat) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke (170. táblázat) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



169. ábra: A kalibráció osztályozási hibája a látens változók számának függvényében.



170. ábra: A kalibráció négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (96. táblázat).

96. táblázat: A kalibráció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (Kal.)	0,000000	0,000000	0,001042	0,000000	0,000000
RMSEC (Kal.)	0,139236	0,087224	0,133750	0,136047	0,134327
Eltolódás (Kal.)	1.22125e-015	2.41474e-015	4.44089e-016	2.66454e-015	-1.33227e-015
R^2 (Kal.)	0,878833	0,952450	0,888193	0,884319	0,887227

A belső-ellenőrzés során a legjobb R^2 értéket az Mv Csárdás esetében kaptam. A legrosszabb determinációs együttható érték is meghaladta a 0,87-et.

A modell kalibráció során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (97. táblázat) és konfúziós táblázat (98. táblázat) segítségével mutatom be.

97. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Csárdás	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Magdaléna	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Suba	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
Mv Toborzó	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000

98. táblázat: A belső-ellenőrzés eredménye: vízszintesen a 2010-es és 2011-es minták, függőlegesen a minták modell által végzett osztályba sorolása látható.

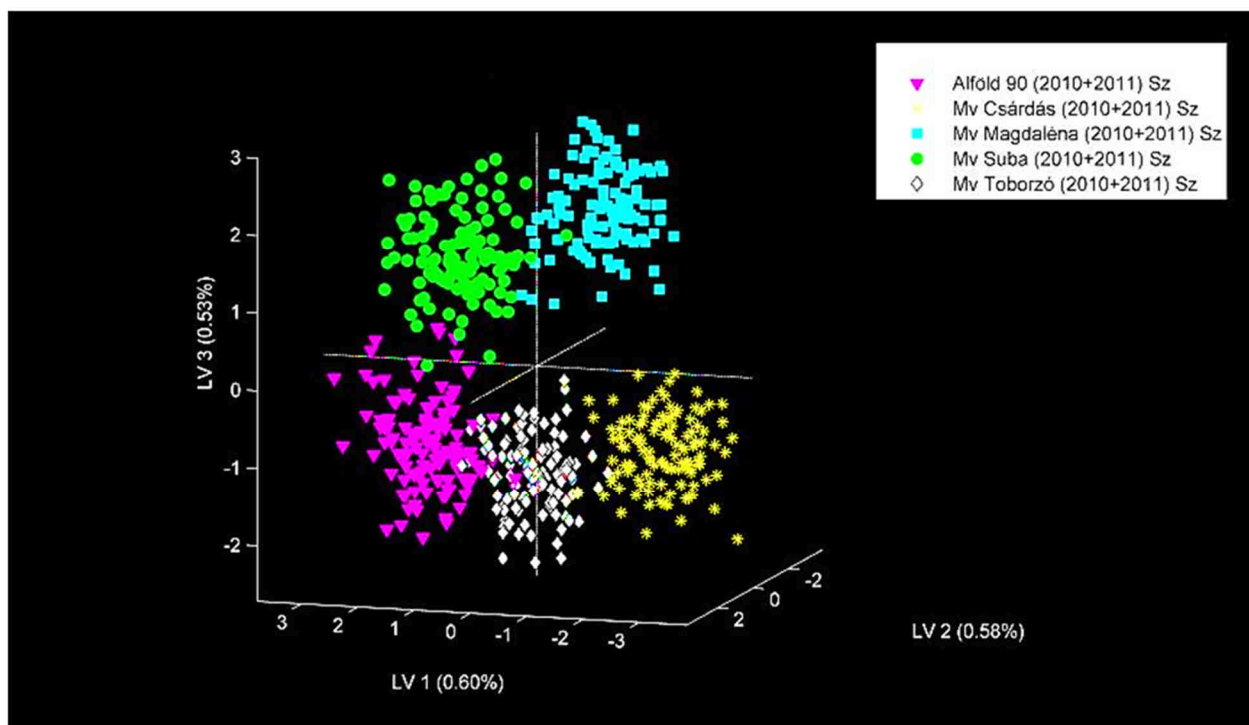
Konfúziós táblázat (Kalibráció/Belső-ellenőrzés)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	120	0	0	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	120	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	120	0	0
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	120	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	0	0	0	0	120

A belső-ellenőrzés során végrehajtott osztályozás hibátlan volt. A modell érzékenységét és specificitását a következő táblázatban mutatom be (99. táblázat).

99. táblázat: A modell érzékenysége/specificitása a belső-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specificitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Kal.)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Specificitás (Kal.)	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000

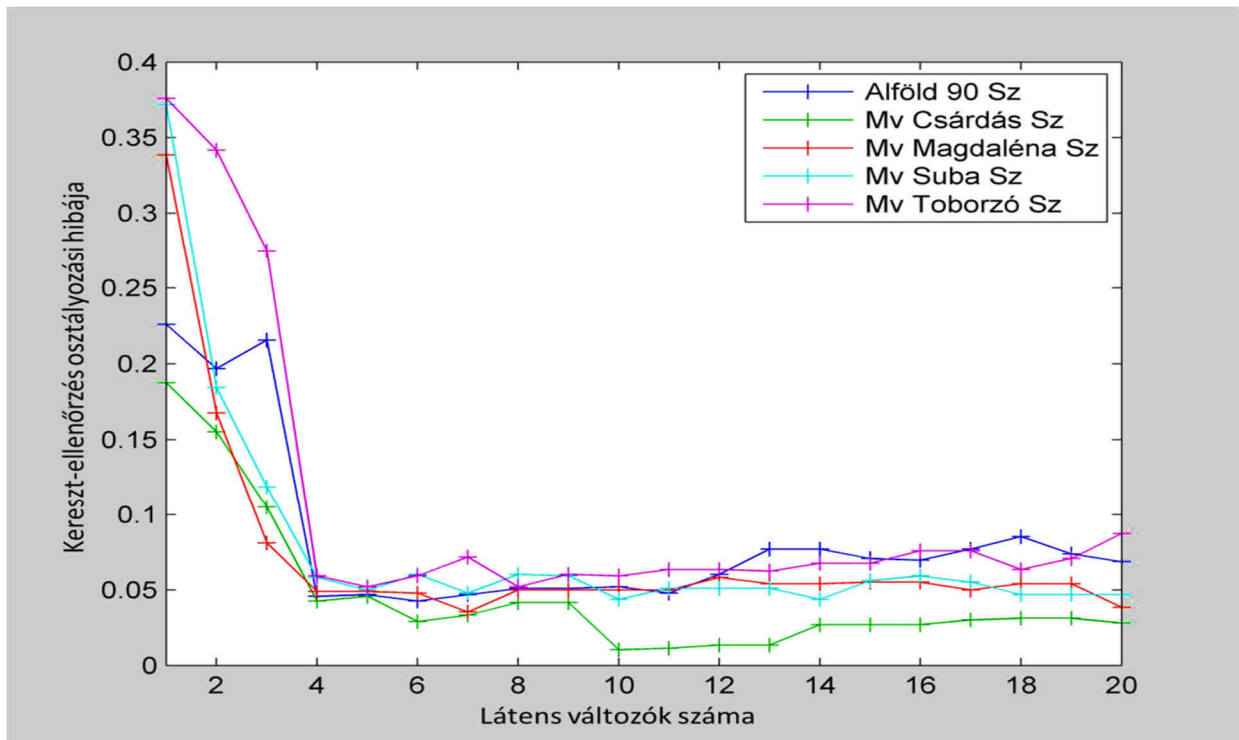
Háromdimenziós adattérben való ábrázolás szempontjából az 1-es 2-es és 3-as számú látens változó kiválasztásával értem el a legszemléletesebb eredményt. A kalibráció során végzett osztályozás eredményét a következő ábrán mutatom be (171. ábra).



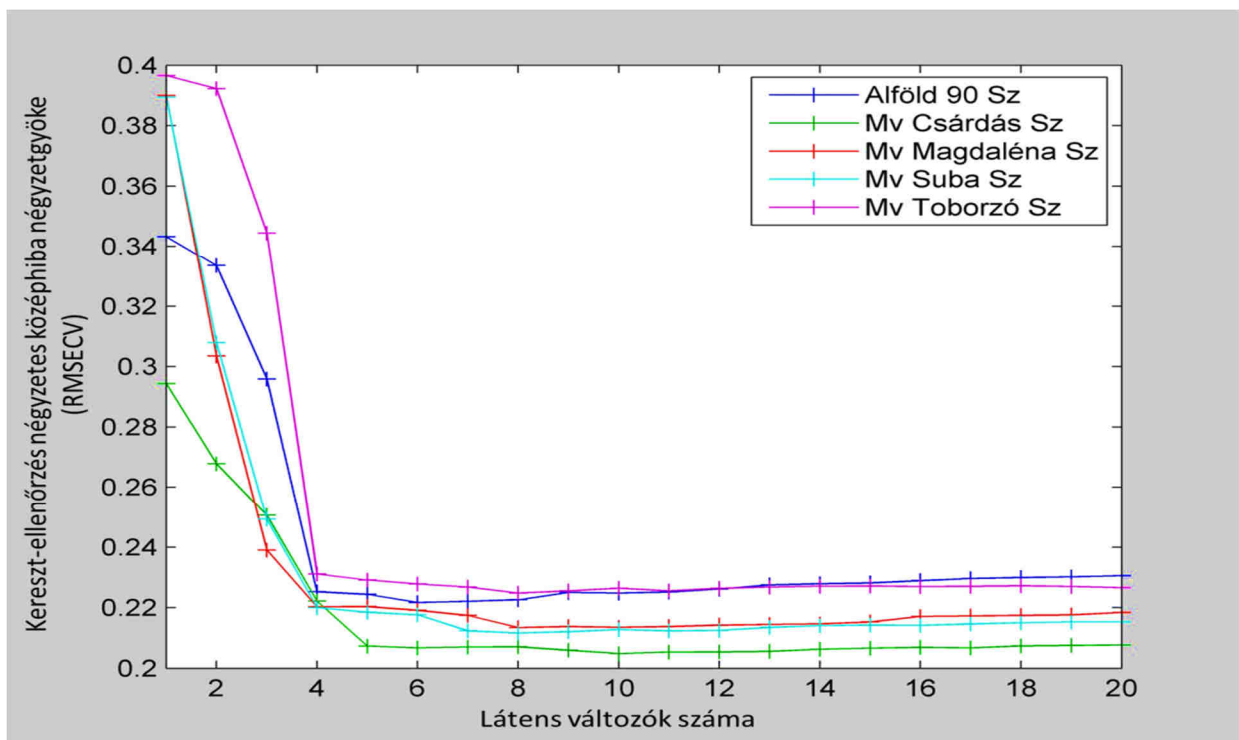
171. ábra: 2010-es és 2011-es évjáratban vizsgált különböző búzafajta minták eloszlása az 1-es 2-es és 3-as számú látens változó (LV) által meghatározott háromdimenziós térben (Alföld 90-magenta, Mv Csárdás-sárga, Mv Magdaléna-türkiz, Mv Suba-zöld, Mv Toborzó-fehér).

Kereszt-ellenőrzés

A kereszt-ellenőrzés eredményeit a látens változók számának függvényében a kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája (172. ábra) és a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke (173. ábra) grafikus ábrázolásával mutatom be, osztályonként.



172. ábra: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája a látens változók számának függvényében



173. ábra: A kereszt-ellenőrzés négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke a látens változók számának függvényében.

A fenti értékeket, valamint a determinációs együtthatót és az eltolódást, vagy szisztematikus hibát táblázatban foglalom össze (100. táblázat).

100. táblázat: A kereszt-ellenőrzés osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Osz. Hib. (KV.)	0,046875	0,045833	0,048958	0,050000	0,052083
RMSEC (KV.)	0,224412	0,207309	0,220337	0,218481	0,229129
Eltolódás (KV.)	-0,003211	0,002140	0,000746	0,000122	0,000203
R^2 (KV.)	0,736815	0,773664	0,752610	0,754981	0,723084

A kereszt-ellenőrzés során az Mv Toborzó esetében kaptam a legalacsonyabb R^2 értéket, ami 0,72 volt. A modell kereszt-ellenőrzés során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (101. táblázat) és konfúziós táblázat (102. táblázat) segítségével mutatom be.

101. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (KV)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	0,99167	0,00833	0,99167	0,00833
Mv Csárdás	0,98333	0,00000	1,00000	0,01667
Mv Magdaléna	0,98333	0,00208	0,99792	0,01667
Mv Suba	0,99167	0,00000	1,00000	0,00833
Mv Toborzó	0,98333	0,00625	0,99375	0,01667

102. táblázat: A kereszt-ellenőrzés eredménye: vízszintesen az újra-mintavételezett 2010-es és 2011-es minták, függőlegesen a statisztikailag független minták modell által végzett osztályba sorolása látható.

Konfúziós táblázat (KV)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	119	1	2	0	1
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	118	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	0	0	118	0	1
Azonosított, mint Mv Suba	0	0	0	119	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	1	1	0	1	118

A kereszt-ellenőrzés során csak egy-két minta esetében végzett téves besorolást. A modell érzékenységét és specifitását a következő táblázatban mutatom be (103. táblázat).

103. táblázat: A modell érzékenysége/specifitása a kereszt-ellenőrzés esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specifitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (KV)	0,908	0,908	0,908	0,900	0,900
Specifitás (KV)	0,998	1,000	0,994	1,000	0,996

Validáció

A validáció eredményeit a látens változók számának függvényében a validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együtttható értékeinek összefoglalásával ismertetem, osztályonként. Az értékeket táblázatban foglalom össze (104. táblázat).

104. táblázat: A validáció osztályozási hibája, a négyzetes középhiba négyzetgyökének értéke, az eltolódás, vagy szisztematikus hiba, valamint a determinációs együtttható értékeinek összefoglalása.

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Oszt. Hib. (Val.)	0,050000	0,091667	0,035417	0,041667	0,041667
RMSEP (Val.)	0,221256	0,218184	0,214643	0,212749	0,211936
Eltolódás (Val.)	0,007273	-0,013528	-0,000548	0,012136	-0,005334
R ² (Val.)	0,756172	0,738295	0,754286	0,761407	0,767881

A validáció estében az R² értékek kis mértékben javultak, megnöttek. A modell validáció során végzett osztályozásának eredményeit konfúziós mátrix (105. táblázat) és konfúziós táblázat (106. táblázat) segítségével mutatom be.

105. táblázat: Helyes és téves osztályozási eredmények összefoglalása (IP-igaz pozitív, HP-hamis pozitív, IN- igaz negatív, HN-hamis negatív minták aránya).

Konfúziós mátrix (Val)				
	IP	HP	IN	HN
Alföld 90	0,96667	0,00417	0,99583	0,03333
Mv Csárdás	0,91667	0,00000	1,00000	0,08333
Mv Magdaléna	0,98333	0,00833	0,99167	0,01667
Mv Suba	0,98333	0,00833	0,99167	0,01667
Mv Toborzó	0,98333	0,02083	0,97917	0,01667

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

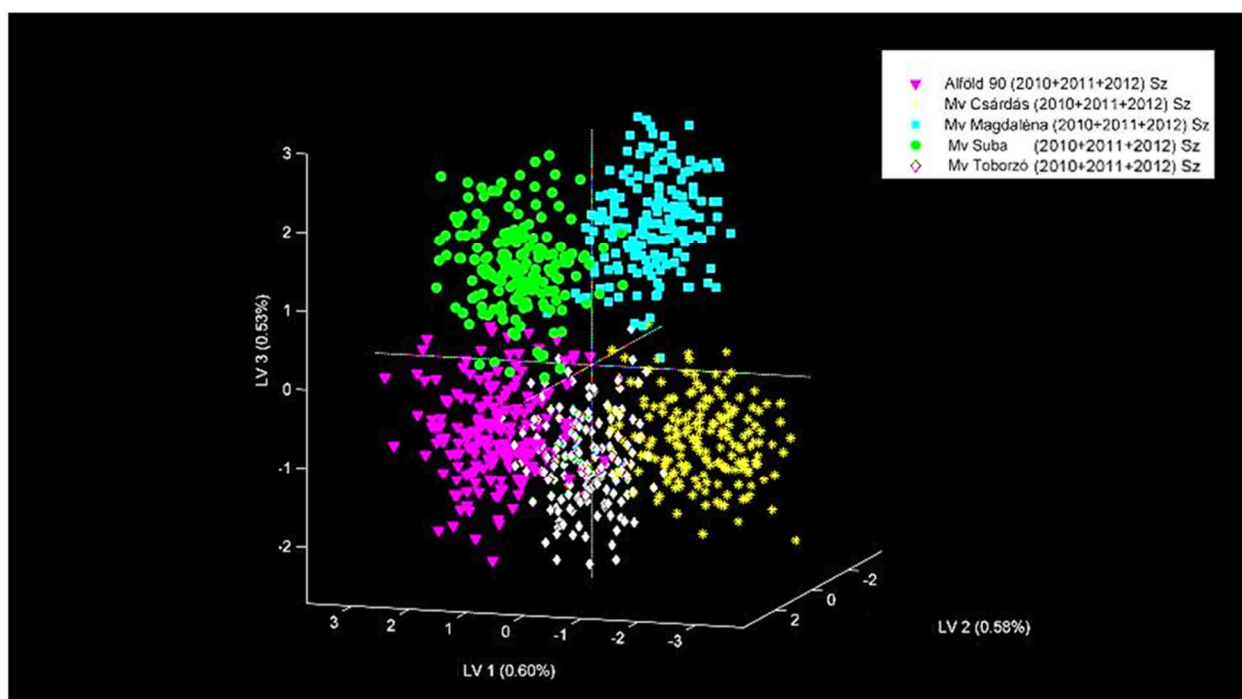
Konfúziós táblázat (Val)					
	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Azonosított, mint Alföld 90	58	0	1	0	0
Azonosított, mint Mv Csárdás	0	55	0	0	0
Azonosított, mint Mv Magdaléna	1	0	59	0	1
Azonosított, mint Mv Suba	0	2	0	59	0
Azonosított, mint Mv Toborzó	1	3	0	1	59

A validáció során végzett osztályozás eredménye az Mv Csárdás esetében volt a legrosszabb, de ebben az esetben is 10 [%]-on belül maradt az osztályozási hiba. A modell érzékenységet és specifitását a következő táblázatban mutatom be (107. táblázat).

107. táblázat: A modell érzékenysége/specifitása a validáció esetében (Szelektivitás: A tévesen osztályba sorolt minták száma és valóban az osztályba tartozó minták számának hányadosa. Specifitás: A tévesen osztályon kívül sorolt minták száma és a valóban osztályidegen minták számának hányadosa).

	Alföld 90	Mv Csárdás	Mv Magdaléna	Mv Suba	Mv Toborzó
Érzékenység (Val.)	0,900	0,817	0,933	0,917	0,917
Specifitás (Val.)	1,000	1,000	0,996	1,000	1,000

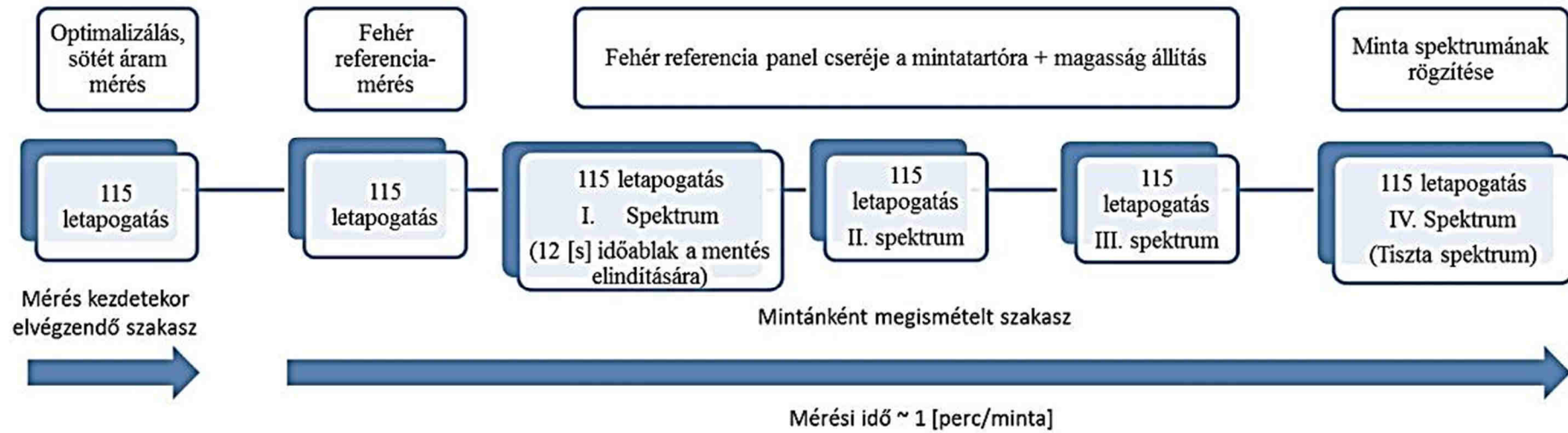
Háromdimenziós adattérben való ábrázolás szempontjából az 1-es 2-es és 3-as számú látens változó kiválasztásával értem el a legszemléletesebb eredményt. A kalibráció során végzett osztályozás eredményét a következő ábrán mutatom be (174. ábra).



174. 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).

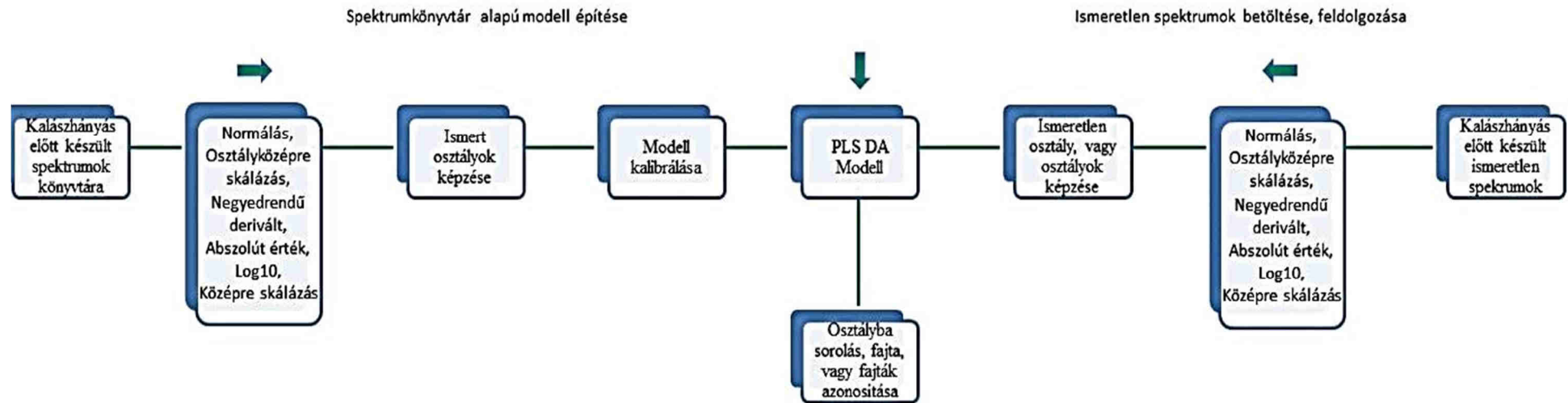
Az ábra jól szemlélteti a 2010-es és 2011-es évből képzett mintasokaság és a 2012-es évben rögzített validációs sokaság (összesen 900 [db] spektrum) hasonló statisztikai eloszlását a látens változók függvényében.

M8: A standardizált mérési időre alapozott mérési eljárás



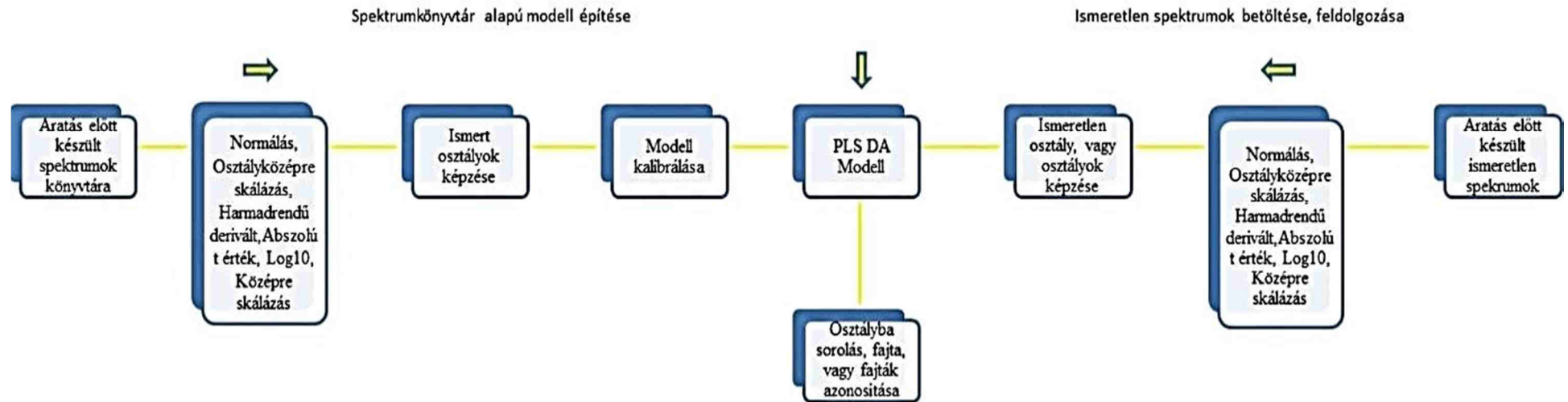
175. ábra: Standardizált mérési időre alapozott eljárás.

M9: A kalászhányás előtt álló őszi búzafajtákat azonosító eljárás



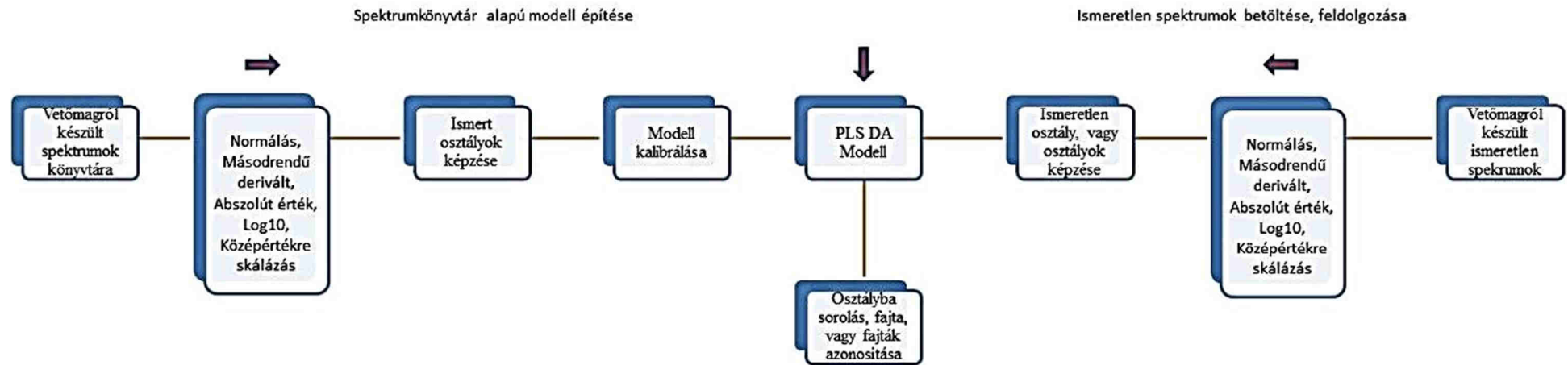
176. ábra: A kalászhányás előtt álló őszi búzafajtákat azonosító eljárás.

M10:A betakarítás előtt álló őszi búzafajtákat azonosító eljárás



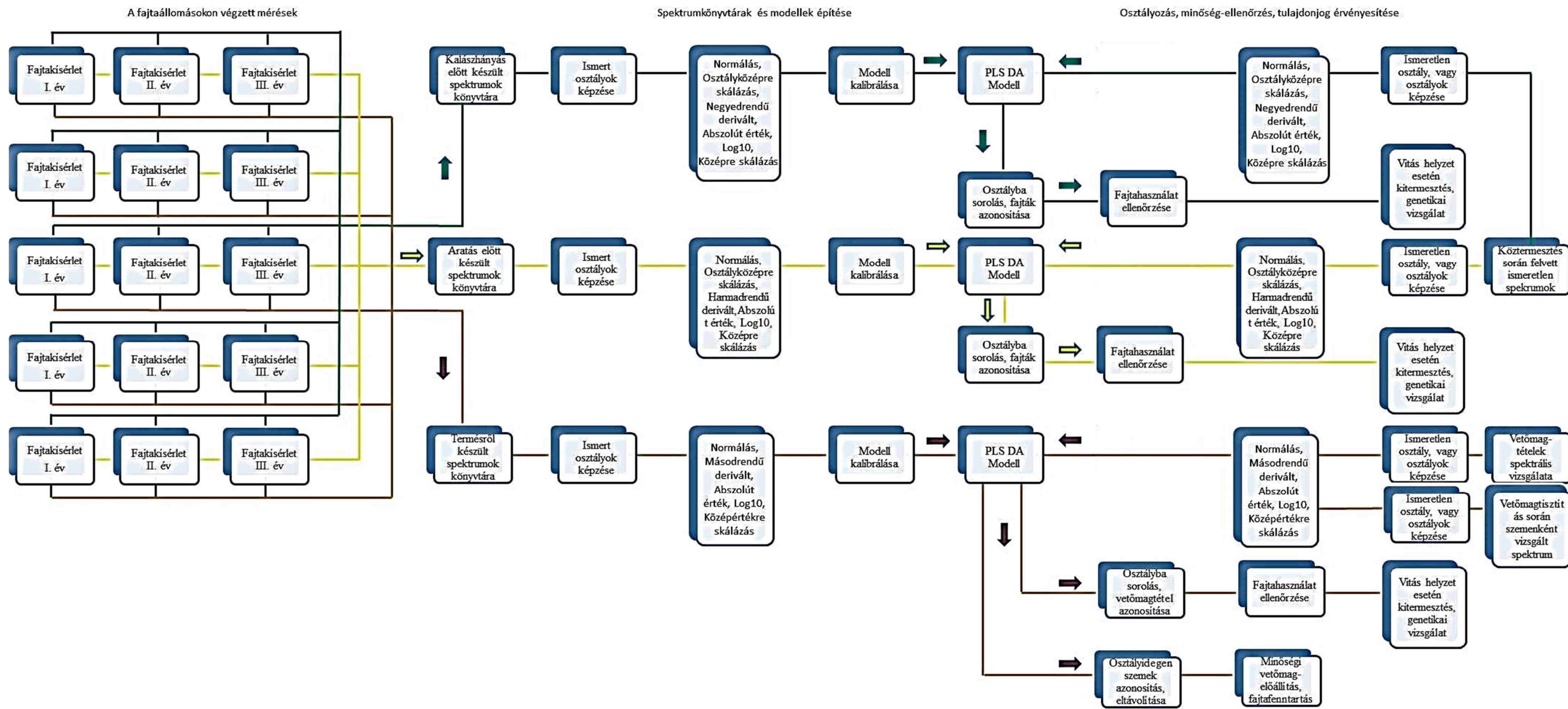
177. ábra: A betakarítás előtt álló őszi búzafajtákat azonosító eljárás.

M11: Vetőmag alapján végzett őszi búzafajta azonosító eljárás



178. ábra: Vetőmag alapján végzett őszi búzafajta azonosító eljárás.

M12:Az eredmények gyakorlati hasznosíthatósági modellje



179. ábra: Az eredmények gyakorlati hasznosíthatósági modellje.

M13: Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondok témavezetőmnek útmutatásáért és támogatásáért. Köszönetet mondok tanárainknak, intézeti és egyetemi kollégáimnak, barátainknak tanításukért, tanácsaikért. Külön köszönöm azoknak a munkáját, akik a terepi mérések és mintavételek, valamint minta-előkészítések során segítségemre voltak. Kutatásom megvalósítása során nyújtott segítségük nélkülözhetetlen volt.

A kutatás a Szent István Egyetem Műszaki Tudományi Doktori Iskola, a NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar Mechanika és Géptan Intézet, valamint a Szent István Egyetem Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézetének támogatásával valósult meg.