



**Módszerfejlesztés a kávépörkölés nyomon követésére és a kávéban  
esetlegesen előforduló árpa detektálására**

Dénesné Várvölgyi Evelin

Budapest

2016

## A doktori iskola

**megnevezése:** Élelmiszertudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Élelmiszertudományok

**vezetője:** Dr. Vatai Gyula  
Egyetemi tanár  
Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar  
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

**Témavezetők:** **Dr. Fekete András †**  
Egyetemi tanár, az MTA doktora  
Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar Fizika-Automatika  
Tanszék

**Dr. Felföldi József**  
Egyetemi tanár, PhD  
Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar Fizika-Automatika  
Tanszék

**Dr. Kovács Zoltán**  
Egyetemi adjunktus, PhD  
Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar Fizika-Automatika  
Tanszék

A doktori iskola- és a témavezetők jóváhagyó aláírása:

A jelölt a Szent István Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, a műhelyvita során elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

## Tartalomjegyzék

<b>1. BEVEZETÉS .....</b>	<b>7</b>
<b>2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....</b>	<b>10</b>
2.1. A KÁVÉRÓL ÁLTALÁBAN .....	10
2.2. KÁVÉPÖRKÖLÉS.....	14
2.3. KÁVÉITAL KÉSZÍTÉSE .....	18
2.4. GABONAKÁVÉK.....	19
2.5. A KÁVÉBAN ESETLEGESEN ELŐFORDULÓ IDEGEN ANYAGOK ÉS AZOK DETEKTÁLÁSI MÓDSZEREI, VALAMINT A KÁVÉ OPTIMÁLIS PÖRKÖLTSGÉI FOKÁNAK MEGHATÁROZÁSÁRA IRÁNYULÓ MÓDSZEREK BEMUTATÁSA 20	
2.5.1. Kémiai módszerek .....	22
2.5.2. Optikai módszerek.....	25
2.5.3. Érzékszervi bírálat .....	29
2.5.4. Elektronikus nyelv.....	30
2.5.5. Szakirodalmi eredmények összefoglalása.....	34
<b>3. CÉLOK.....</b>	<b>36</b>
<b>4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK .....</b>	<b>37</b>
4.1. FELHASZNÁLT ANYAGOK.....	37
4.1.1. A pörkölési idő hatásának elemzése a kávé színére és ízére különböző pörköltségi fokú arabica kávé vizsgálatával.....	37
4.1.2. Robusta kávéhoz kevert örölt-pörkölt árpa mint idegen anyag jelenlétének felderítése .....	39
4.1.3. Kétféle robusta kávéhoz kevert örölt-pörkölt árpa kimutatása a kávéfajta hatásának elemzésére .....	40
4.2. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK.....	41
4.2.1. Színmérési módszer bemutatása.....	41
4.2.2. Látórendszeres mérési módszer bemutatása és a kapott adatok statisztikai feldolgozása .....	42
4.2.3. Saját fejlesztésű célműszer (látórendszer) leírása.....	49
4.2.4. Érzékszervi bírálat során alkalmazott módszer leírása.....	50
4.2.5. Elektronikus nyelv mérésnél alkalmazott módszer leírása .....	52
<b>5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....</b>	<b>54</b>
5.1. A PÖRKÖLÉSI IDŐ HATÁSÁNAK ELEMZÉSE A KÁVÉ SZÍNÉRE ÉS ÍZÉRE KÜLÖNBÖZŐ PÖRKÖLTSGÉI FOKÚ ARABICA KÁVÉ VIZSGÁLATÁVAL .....	54
5.1.1. A különböző pörköltségi fokú arabica kávék színmérésének eredményei.....	54
5.1.2. A különböző pörköltségi fokú arabica kávék látórendszeres mérésének eredményei.....	55
A következő alfejezetekben a szemes kávéminták és azok örleményének vizsgálati eredményeit részletezem. ...	55
5.1.3. A különböző pörköltségi fokú arabica kávék érzékszervi bírálatának eredményei .....	71
5.1.4. A különböző pörköltségi fokú arabica kávéitalok elektronikus nyelv műszerrel mért eredményei.....	72

5.2.	ROBUSTA KÁVÉHOZ KEVERT ŐRÖLT-PÖRKÖLT ÁRPA MINT IDEGEN ANYAG JELENLÉTÉNEK FELDERÍTÉSE	79
5.2.1.	<i>A robusta-árpa keverékekben az árpa detektálhatóságának látórendszerrel mért eredményei</i>	79
5.2.2.	<i>A robusta-árpa keverékekben az árpa detektálhatóságának vizsgálatára végzett, szemrevételezéses érzékszervi bírálat eredményei</i>	85
5.2.3.	<i>A robusta-árpa keverékekben az árpa detektálhatóságának az elektronikus nyelv műszerrel kapott eredményei</i>	87
5.3.	KÉTFÉLE ROBUSTA KÁVÉHOZ KEVERT ŐRÖLT-PÖRKÖLT ÁRPA KIMUTATÁSA A KÁVÉFAJTA HATÁSÁNAK ELEMZÉSÉRE	92
5.3.1.	<i>A kétféle robusta kávéhoz kevert őrölt-pörkölt árpa detektálhatóságának látórendszerrel mért eredményei összehasonlítva a halogén és LED megvilágítás hatását</i>	92
5.4.	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	100
<b>6.</b>	<b>JAVASLATOK</b>	<b>103</b>
<b>7.</b>	<b>ÖSSZEFOGLALÁS</b>	<b>104</b>
<b>8.</b>	<b>SUMMARY</b>	<b>106</b>
<b>9.</b>	<b>MELLÉKLETEK</b>	<b>108</b>
9.1.	IRODALOMJEGYZÉK	108
<b>10.</b>	<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS</b>	<b>120</b>

## Rövidítések jegyzéke

<u>Rövidítés</u>	<u>Angol megfelelő</u>	<u>Magyar megfelelő</u>
Ag/AgCl	Silver-Silverchloride	ezüst-ezüstklorid
AIC	Akaike information criterion	Akaike információs kritérium
ANOVA	Analysis of variance	variancia analízis
CCD	Charge Coupled Device	töltés-csatolt eszköz
CV	cross validation	kereszt-validáció
drift	drift	szenzorjeleltolódás
DW	Durbin-Watson statistics	Durbin-Watson statisztika
GC-MS	Gas Chromatography-Mass Spectroscopy	gázkromatográfia-tömegspektroszkópia
HPLC	High-performance liquid chromatography	nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia
HSI	Hue, Saturation, Intensity	színezeti szög, telítettség, intenzitás
ISFET	Ion Selective Field Effect Transistor	ion-szelektív térvezérlésű tranzisztor
LDA	Linear Discriminant Analysis	lineáris diszkriminancia-elemzés
LOO CV	Leave-one-out cross-validation	teljes keresztvalidáció
LV	Latent variable	látens változó
NIR	Near-Infrared	közeli infravörös
PCA	Principal Components Analysis	főkomponens-elemzés
PCs	Principal Components	főkomponensek
PLS	Partial Least Squares	parciális legkisebb négyzetek
PQS	Polar Qualification System	polár minősítő rendszer
QA	Quality assurance	minőségbiztosítás
QC	Quality control	minőségellenőrzés
R <sup>2</sup>	Coefficient of determination	determinációs koefficiens
RGB	Red, Green, Blue	piros, zöld, kék
RMSEC	Root Mean Square Error of Calibration	a kalibráció hibája
RMSECV	Root Mean Square Error of Cross Validation	a keresztvalidáció hibája

RMSEP	Root Mean Square Error of Prediction	az előrejelzés hibája
RPD	Robust Parameter Design (eredetileg: Ratio of (standard error of) Prediction to (standard) Deviation)	robusztussági paraméter
SMD LED	Surface-Mounted-Device Light-Emitting Diode	felületszerelt eszköz fénykibocsátó dióda
SNV	Standard Normal Variate	szabványos normál változó
SPME	Solid-Phase Microextraction	szilárd fázisú mikroextrakció
SVM	Support Vector Machines	tartóvektor-gép
UV-VIS	Ultraviolet–visible	ultraibolya és látható
ZZ, BA, BB, CA, GA, HA, JB, SWS, BRS, GPS, SRS, STS, UMS, SPS	Sensors of Astree ET	Astree elektronikus nyelv érzékelői

## 1. Bevezetés

A kávé egyike a világon legszélesebb körben fogyasztott italoknak, egyesek az ízéért, mások a kávéban lévő koffein okozta élénkítő hatás miatt fogyasztják. Magyarországon az egy főre jutó éves kávéfogyasztás 2007 óta csökkenő tendenciát mutat, a KSH adatai szerint 2000 és 2012 között 2,7 kg-ról 2,3-2,2 kg-ra csökkent.

A környezetemben élő, rendszeres örölt-pörkölt kávéfogyasztóktól egyre gyakrabban hallom, hogy „az eddig fogyasztott kávénak más íze van, ez a kávé nem a megszokott, biztosan tele van szeméttel, manapság már mindent belekevernek, az ára nő, a minősége romlik”. Ezek a panaszok inspiráltak, hogy megvizsgáljam, van-e alapja ezeknek a feltételezéseknek, mi befolyásolja leginkább a kávéban az ízbeli változásokat és milyen anyagok kerülhetnek a kávéba.

A kávé ízét az alapanyagon és annak feldolgozási módján túl leginkább a pörkölés, vagy az esetlegesen belekerülő hibás szemek és idegen anyagok befolyásolhatják (Banks et al. 1999). A világ kávétermelésének 70%-át az arabica kávé adja. Gazdagabb íz világának, intenzív aromájának és az alacsonyabb koffeintartalmából adódó kevésbé keserű ízének köszönhetően jobb minőségű kávénak tartják a robustánál, emiatt a piaci ára is magasabb (Lashermes and Anthony 2007; Belitz et al. 2009). Földrajzi eredetétől függően az arabica kávé ára kétszer vagy akár tízszer magasabb lehet a robustáénál (Alves et al. 2009).

A kávé pörkölési folyamatának meghatározó paraméterei a pörkölési hőmérséklet (200-230°C) és idő (12-20 perc) (Mendes et al. 2001). Ezeket a kísérleti feltételeket az alkalmazott pörköltől, a nyers kávé tulajdonságaitól (fajta, nedvességtartalom) és a kívánt organoleptikus profiltól függően határozzák meg. Kereskedelmi szempontból ez utóbbi a legfontosabb. A kávépörköltök számára a megfelelő összetételű kávékeverék kikísérletezése igen fontos, mivel a fogyasztó speciális íz élményben részesülhet, ami kiemelheti az adott márkát a többi közül. Mindazonáltal, ugyanazt az érzékszervi profilt eredményező összetételt nehéz fenntartani a jövőbeli pörkölési folyamatok során az alapanyag heterogén volta miatt, amely főként az éghajlati viszonyoktól és a kávécserezsnye feldolgozási módjától függ. Emiatt a legkönnyebb és leghatékonyabb megoldás az lenne egy adott kávémarca minőségének (érezszeri) kiegyenlítésére, ha az adott pörkölési tételnek megfelelő beállítást alkalmaznának (João Rodrigo Santos et al. 2016). Így elkerülhető lenne a kávé alul- vagy túlpörkölése, amely jelentősen befolyásolja a kávéital ízét.

Szemes formában jóllehet megkülönböztethető a két kávéfaj vagy esetlegesen a kávéba kerülő idegen anyagok, viszont őrölt formában nehezebbé válik ez a feladat. Ezt használhatják ki egyes kávétermesztők vagy feldolgozók is, akik őrölt-pörkölt formában hozzák forgalomba a kávéjukat és egy-egy gyengébb hozamú időszakban a kávéval valamilyen arra emlékeztető anyaggal próbálják pótolni, hogy a kiesett bevételt valamelyest kompenzálni tudják. A kávé „pótlása” többféleképpen valósulhat meg, pl.: olcsóbb vagy gyengébb minőségű kávé bekeverésével a jó minőségű kávéhoz; vagy őrölt-pörkölt szója, kukorica, árpa, cikória, esetenként barna cukor hozzáadásával, melyet a csomagoláson valószínűleg nem tüntetnek fel. Vannak olyan országok, mint hazánk is, ahol elterjedt a kávékeverékek fogyasztása, melyek a Magyar Élelmiszerkönyv (Vidékfejlesztési Minisztérium 2002) előírásai szerint az egy- vagy többfajta nyerskávé és egy vagy több különböző gabonanövény (általában rozst, cikóriát és árpát tartalmaznak) keverésével, pörkölésével és őrlésével jönnek létre.

Komoly problémát okozhat, ha a kávéhoz, a csomagoláson való jelölés nélkül, valamilyen gabonafélét kevernek és azt egy lisztérzékenységben (cöliákia) szenvedő fogyasztja el.

Ennek kiemelkedő példája 2015-ben a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal által tartott kiemelt kávé ellenőrzés, melynek során 37, a hazai boltokban kapható kávévizsgálták meg. A vásárlók körében legnépszerűbb negyedkilós kiszerelésű, őrölt-pörkölt kávé termékek minőségi és biztonsági paramétereit és a termékek jelölését ellenőrizték, valamint kedveltségi vizsgálatot is végeztek. A laboratóriumi vizsgálatok során kiderült, hogy a kedveltségi felmérés szerint utolsó helyen végzett őrölt-pörkölt kávé glutént, illetve a mikroszkópos vizsgálat alapján idegen növényi eredetű keményítő szemcséket is tartalmazott a kávé szövetek mellett. A kávé valószínűleg pörkölt gabonafélét tartalmazott és emiatt mutatható ki a termékben glutén. A toxinszennyezettség és a gluténtartalom mellett a termék alacsony koffeintartalma is gyanússá vált a hatóság számára, ezért korlátozást rendeltek el és a feldolgozó üzem működését felfüggesztették (Hvg.hu 2015).

Számos módszert alkalmaztak már a kávé pörkölési folyamatának nyomon követésére, vagy a kávéhamisítás felderítésére, melyek esetében a mintaelőkészítés, vagy maga a mérés igen körülményesnek bizonyult. Emiatt a minőség-ellenőrzés során, környezetünk tudatosabb védelme érdekében, igyekszünk kiszorítani a nagy vegyszerfogyasztással járó vizsgálati módszereket korrelatív, gyors módszerek segítségével, mint amilyen az elektronikus nyelv vagy a látórendszer.

Dolgozatom előzményének tekinthető az arabica-robusta kávékeverékekben az egyes kávék arányainak ízre gyakorolt hatásának elemzése elektronikus nyelv műszerrel, és ez által a fogyasztók megtévesztésének megakadályozása az arabica-robusta kávék %-os arányának



kimutathatóságával. 2012-ben végzett kutatásunk során öt ismert összetételű (arabica-robusta arányú) kávékeveréket, öt kereskedelmi és egy gyenge minőségű kávémintát vizsgáltunk meg elektronikus nyelv műszerrel. Érzékszervi bírálat keretében mértük fel, hogy a fogyasztók képesek-e különbséget tenni a főtömegében arabicát, vagy robustát tartalmazó és a gyengébb minőségű kávéital között. Az érzékszervi panel a vizsgált mintákat globális aroma, keserű íz és kávé aroma intenzitás alapján tudta elkülöníteni (ANOVA:  $p < 0,01$ ). Az elektronikus nyelv képes volt a kávémintákat a növekvő arabica tartalmuknak megfelelő sorrendben elkülöníteni. Az ismert összetételű kávékeverékek koncentrációjának (tömegszázalék, melynek jelölésére a továbbiakban az élelmiszeriparban elterjedt m/m%-ot használom) becslése szoros korrelációval ( $R^2 = 0,980$ ) és alacsony hibával (RMSEP = 6,44 m/m%) valósult meg. A gyenge minőségű kávé minta szignifikánsan elkülönült a többi mintától. Az elektronikus nyelv mérés eredményeiből, a vizsgált érzékszervi tulajdonságok közül, a kávé aroma intenzitás volt a legjobban megbecsülhető ( $R^2 = 0,785$ , RMSEP = 6,78%) (Várvölgyi et al. 2012). Arabica-robusta kávékeverékekkel folytatott további méréseink során szintén szoros korrelációval ( $R^2 = 0,980$ ) és alacsony hibával (RMSEP = 3,16 m/m%) tudtuk megbecsülni elektronikus nyelv segítségével, hat különböző összetételű kávékeverékben az arabica tartalmat (Soós et al. 2013). Jelen kutatás célja olyan minőségbiztosítási (QA) és minőségellenőrzési (QC) módszerek fejlesztése elektronikus nyelv műszerrel vagy képfeldolgozással, amelyek gyorsan és egyszerűen képesek felderíteni a kávéban levő idegen anyagok előfordulásának tényét, mértékét. Továbbá a pörkölési folyamat nyomon követésével segítséget nyújthatnak a fogyasztó által elvárt, állandó minőségű kávé előállításában, ezáltal az esetleges ízhibák kiszűrésében. Munkám hozzájárul az említett módszerek mélyrehatóbb megismeréséhez és ahhoz, hogy azok az ipar és az ellenőrző szervek számára is hasznosíthatóvá váljanak.

## 2. Irodalmi áttekintés

A következő alfejezetekben a kutatásom szempontjából lényeges, kávéval kapcsolatos irodalmi adatokat mutatom be.

### 2.1. A kávéról általában

Kereskedelmi szempontból a két legelterjedtebb és világszerte kedvelt kávéfaj a *Coffea arabica* L., vagy arabica kávé és a *Coffea canephora* L., avagy robusta kávé. A robusta kávé szem kisebb, kerekesebb, színe halványabb és egyenes bevágással rendelkezik az arabica szemhez hasonlóan, amely kissé nyújtott, sötétebb, görbe bevágású ([www.coffeeresearch.org](http://www.coffeeresearch.org)). Nyers állapotban tehát jól megkülönböztethető a két kávéfaj, ahogyan az az 1. ábrán látható.



1. ábra A kávétermelés alapját jelentő két kávéfaj: az arabica (balra) és a robusta (jobbra) pörkölt és nyers formában  
(forrás: <http://tsftpc.com/blog/2013/2/8/arabica-vs-robusta>)

A robusta kávé nagyobb arányban tartalmaz antioxidánsokat és koffeint, valamint nagyobb az oldható szárazanyag tartalma, emiatt az instant kávékban előszeretettel használják, mivel testesebb teszi azt és megnöveli a kihozatalt. Az arabica kávé jobb minőségű és aromásabb italt eredményez összehasonlítva a robustából készült itallal, amely általában agresszívebb ízzel jellemezhető, a világos pörkölésű kávé esetében pedig egy lapos, pattogatott kukoricához hasonló ízt kölcsönöz. A legtöbb fogyasztó számára néhány arabica kávé szemre is szükség van a jó kávé elkészítéséhez. Azonban érdemes megemlíteni, hogy a robusta szemekből, amelyeket nagy odafigyeléssel takarítottak be és dolgoztak fel, jobb kávéital készül, mint a fermentálódott, oxidálódott, vagy egyéb okok miatt csökkentett minőségű arabicából (Farah 2012).

A kávéital minősége a zöld kávé kémiai összetételétől függ (Ribeiro et al. 2011). Habár a legtöbb összetevő mindkét kávéfajban jelen van, azok relatív arányai jelentősen elérhetnek egymástól, ahogyan azt az 1. táblázat mutatja.

**1. táblázat** A zöld arabica és robusta kávék kémiai összetétele

Kémiai komponens	Arabica kávé (koncentráció: g/100g)	Robusta kávé (koncentráció: g/100g)
<b>Szénhidrátok és rostok</b>		
Szacharóz	6,0-9,0	0,9-4,0
Redukáló cukrok	0,1	0,4
Poliszacharidok	34-44	48-55
Lignin	3,0	3,0
Pektinek	2,0	2,0
<b>Nitrogéntartalmú összetevők</b>		
Fehéjék/peptidek	10,0-11,0	11,0-15,0
Szabad aminosavak	0,5	0,8-1,0
Koffein	0,9-1,3	1,5-2,5
Trigonellin	0,6-2,0	0,6-0,7
<b>Lipidek</b>		
Kávéolaj (trigliceridek, szterin/tokoferolok)	15-17,0	7,0-10,0
Diterpének (szabad és észterezett)	0,5-1,2	0,2-0,8
<b>Ásványi anyagok</b>	3,0-4,2	4,4-4,5
<b>Savak és észterek</b>		
Klorogén sav	4,1-7,9	6,1-11,3
Alifás sav	1,0	1,0
Kininsav	0,4	0,4

A megadott adatok a termesztőtől, mezőgazdasági gyakorlattól, klímától, talaj összetételtől és analitikai vizsgálati módszerektől függően változhatnak (Farah 2012).

Továbbá a robusta kávé néhány másodlagos metabolitot is tartalmaz (pl. kisebb klorogén sav izomereket és diterpéneket), melyek az arabica kávéban nincsenek jelen. Az évtizedeken át tartó hibridizációs erőfeszítések során a robusta cserje ellenálló képességét próbálták kombinálni az arabica kávészemek kiváló minőségi paramétereivel, de valószínű, hogy a robustában részben a kártevő rezisztenciáért felelős anyagok okozzák a rosszabb kávéital minőséget. Például a magasabb klorogén sav tartalom megvédi a robusta kávé a mikroorganizmusok káros hatásától, a kártevőktől és az UV sugárzástól.

Ennek ellenére az alacsony klorogén sav tartalom fontos szerepet játszik az íz kialakításban, a nagyobb savtartalom csökkenti az ital minőségét, valószínűleg a pörkölés előtt keletkező oxidációs termékek magas arányának köszönhetően. Mindemellett a sejtfal összetételének különbségei a pörkölés során különböző kémiai válaszokat váltanak ki (Farah 2012).

Míg az arabica kávé gazdagabb ízvilágú, savasabb ízű kávé, addig a robusta a keserű ízekben gazdag, nagyobb koffeintartalommal rendelkező fajt képviseli. A robusta, amint neve is mutatja, robusztus, tehát ellenáll az időjárási viszonyosságoknak és a növényt érő betegségeknek. A kereskedelemben mégis alacsonyabb árat képvisel az arabicához képest (Alves et al. 2009).

A két faj nem csak kémiai és organoleptikai tulajdonságaikban különbözik egymástól, hanem termesztési körülményeiben is, amint az a 2. táblázatban látható (Illy and Viani 2005).

**2. táblázat** Az arabica és robusta kávék termesztési körülményei

Termesztési körülmények	Arabica	Robusta
termesztési magasság	1000-2100m az Egyenlítőnél vagy az Egyenlítőtől távolabb 400-1200m	100-1000m
átlagos napi hőmérséklet	18-22°C	22- 26°C
évi csapadékszükséglet	1200- 1500 mm	2000 mm

A kávécserejét növekedése közben számos betegség érheti, melyek gyengébb hozamot eredményezhetnek a kávétermesztők számára.

A kávé növény legfőbb betegségei közé tartozik a levélrozsa, avagy a *Hemileia vastatrix*, amelyet először 1867-ben írt le Berkeley és Broom. Ez a gombás betegség leginkább az arabica kávé cserejét veszélyezteti. A *Hemileia* a spórákat jellemző közel egyenletes eloszlásra, a *vastatrix* a betegség pusztító természetére utal. Az első tünetei a levelek alsó részén jelentkező, sárgás, kör alakú foltok, melyek felszínét egy hét eltelte után narancssárga, porszerű anyag borítja be. Lassan ezek a foltok egyre nagyobb kiterjedésűek lesznek. Mindeközben a levelek felső részén sárgás, barnás foltok jelennek meg. Az idősebb levelek felületét teljes egészében beboríthatják ezek a foltok, de a levél általában lehullik, mielőtt ebbe a stádiumba érne. A fertőzés a rossz tápanyagellátással kombinálva súlyos levélvesztést okoz. Az ebben a betegségben szenvedő kávécsereje fotoszintézise lecsökken a megnövekedett levélvesztés miatt. A levélrozsa által fertőzött területeken más gombák is kifejlődhetnek, mint a *Verticillium lecanii*. Mint minden gombafajta, a levélrozsa is spórákon keresztül terjed tovább a szél vagy más mozgó organizmus segítségével. A spórák csírázása ideális körülmények között (80% relatív páratartalom, 20-25°C) kb. 12 óráig tart.

Általában a kávé hozamot 35-40%-kal csökkenti, de súlyos esetekben akár 60%-os veszteséget is okozhat a termesztőknek, akik így jelentős bevételtől eshetnek el (Jackson et al. 2012; Silva et al. 2012; Kuit et al. 2004).

Mindez oda vezet, hogy gyakrabban jelenik meg a kávé olcsóbb alapanyaggal történő pótlása.

A kávécseresznyék (amikor még a kávébabot gyümölcshús veszi körül) elsődleges feldolgozása háromféleképpen valósulhat meg: száraz, félszáraz és nedves eljárással, melyek eredménye a nyers kávébab ([www.coffeeresearch.org](http://www.coffeeresearch.org), Illy and Viani, 2005).

A kávécseresznyék feldolgozását a szüretelés után közvetlenül meg kell kezdeni, hogy a nem kívánatos fermentáció vagy penész kialakulását megakadályozzák. Mindhárom feldolgozási módszernél, ha lehetséges, vizes szeparációt kell alkalmazni, ez által a kövek és egyéb idegen anyagok leválaszthatóakká válnak, valamint a kávécseresznyék sűrűség szerinti szeparációjának köszönhetően a száraz és túlérett szemek a víz tetején lebegnek, az éretlen és érett szemek pedig lesüllyednek. Így a cseresznyék nedvességtartalom alapján válnak szét, megkönnyítve a szárítást az által, hogy a kávé tömeg homogénebb osztályokat alkot. A száraz eljárás során a kávécseresznyéket nagy területen terítik szét és a Nap segítségével szárítják, többször átmozgatva a nagy mennyiségű kávé. A nedves eljárás során először mechanikusan távolítják el a kávé szemeken levő pulp réteg nagy részét, majd a maradékot ún. tankokban fermentálják (a hőmérséklettől függően 12-36 órán keresztül) és végül ezt a fermentálódott réteget mosással távolítják el. A félszáraz eljárás a két módszer vegyítését jelenti, amikor a pulp réteg nagy részét mechanikusan eltávolítják, majd a kávé a napon szárítják, fermentáció nem történik (Illy and Viani 2005). A kávé másodlagos feldolgozása a pörkölési folyamatot jelenti, melyet a következő alfejezetben részletezek.

A kávé elsődleges és másodlagos feldolgozása igen nagymértékben, közel 60%-ban befolyásolja a kávéital minőségét, amelyet az organoleptikai jellemzőkkel, fizikai megjelenéssel és kémiai összetétellel (cukor, koffein, illékony és nem-illékony fenolos vegyületek aránya) határoznak meg (Sualeh et al. 2014).

## 2.2. Kávépörkölés

A nyers kávé a termesztés helyéről a feldolgozó üzembe általában 60 kg-os kiserelésű jutazsákokban szállítják. Porleválasztó ciklonok és rosták tisztítják meg a kávé a nem kívánatos anyagoktól a pörkölési folyamat előtt. Az ipari pörkölési folyamatokban a forgó dobos kávépörkölők elterjedtebbek a szakaszos vagy folyamatos műveleteknél. Ennél a berendezésnél a kávébabok forró gázokkal találkoznak a vízszintes forgódobban (amelynek fala perforált is lehet) vagy egy függőlegesen rögzített dobben, melyben terelőlapátok segítik a pörkölési folyamatot. A többfajta pörkölő berendezés közül érdemes még megemlíteni a fluidágyas és a meleg levegős konvektív pörkölőket, melyekben a pörkölés rövid idő alatt megy végbe és a felhasznált gázok hőmérséklete alacsony. A nagy gázsebességnek köszönhetően a hőátadási folyamatok sokkal jobbakké ezekben a berendezésekben. A meleg levegős konvektív pörkölőnél kisebb a gázfogyasztás, tehát energiatakarékosabb, de ez által kevésbé homogén pörkölést tesz lehetővé, mint a fluidágyas pörkölő (Eggers and Pietsch 2001). A folyamat hatékonyságát és a pörkölt kávé minőségét több tényező is befolyásolja: a gáz összetétele és hőmérséklete, nyomás, idő, a kávébabok relatív sebessége és a gáz áramlási sebessége. Minden egyes pörkölő berendezésnek szüksége van a műveleti paraméterek egyéni megválasztására ahhoz, hogy a kávébabnak történő hőátadás megfelelően történjen, és ezek által elősegítsék a hő okozta reakciók kialakulását a pörkölés során (Pittia and Romani 2010).

Yeretzian et al. (2002), Ciampa et al (2010), Jokanović et al. (2012), Wang (2012) és Sualeh et al. (2014) részletes leírást adnak a pörkölés folyamatáról és a pörkölés közben a kávészemekben bekövetkező fiziko-kémiai változásokról, mint például a pörkölés hatása a klorogén sav képződésére (Farah et al. 2005), amely a kávé alapvető komponense. A kávé pörkölése tipikusan 200-240°C-on történik különböző ideig, a végtermék elvárt tulajdonságaitól függően. A pörkölés során végbemenő folyamatok nagyon összetettek. A zöld kávéban jelenlévő komponensek nagy része lebomlik, miközben olyan illékony komponensek keletkeznek, melyek hozzájárulnak a végső kávé aroma kialakításához. A pörkölés folyamatában négy fázis különíthető el:

Az első fázisban (szárítás) a kávéban található nedvesség nagy része elpárolog és a fehérjék denaturálódnak. A hőmérséklet egyenletes emelése elengedhetetlen ahhoz, hogy megvédje a kávészemeket a széteséstől, amely az intenzív párologás hatására következhet be.

A második fázisban (150°C körül) kezdődik meg a pörkölés folyamata. A kávészemek térfogata megnő, a szénhidrátok karamellizálódnak és egy részük melanoidinekké alakul, az oldhatatlan szénhidrátok oldhatóakká válnak. A kávéban található rost anyagok, melyek cellulózból, hemicellulózból és ligninből tevődnek össze, továbbra is vízben oldhatatlanok maradnak. Először a cellulóz szerkezete zsugorodik, majd később nagyon megduzzad. A kávészemek ebben a fázisban világos barna színűek.

A harmadik fázisban (180-200°C) fokozódik a szerves összetevők (szénhidrátok, fehérjék) termikus bomlása, melynek eredményeként alakulnak ki a kávéra jellemző tipikus aroma anyagok. A nedvességvesztés alacsony, miközben a CO<sub>2</sub> felszabadulása növekszik. Az illékony komponenseket alkoholok, aldehidek, ketonok, észterek, heterociklikus vegyületek, szulfidok és nitritek alkotják. A szénhidrátok karamellizációja továbbfolytatódik, amely sötét barna színt eredményez. A pentozánok szulfurollá alakulnak.

A negyedik szakaszban (200-220°C) a pörkölés befejeződik. A koffein nagy része (33-40%-a) elpárolog, a trigonellin 10-15%-a elbomlik. A szénhidrátok karamellizációjának és a karbonsavak bomlásának eredményeképp kb. 2% CO<sub>2</sub> keletkezik, melynek nagy része a kávészemek felületén adszorbeálódik. Az adszorbeált CO<sub>2</sub> a kávé eltarthatóságában alapvető szerepet játszik, mivel megakadályozza a sok telítetlen zsírsavat tartalmazó kávéolaj autooxidációját.

A pörköltési fok határozza meg az aromákat és a kávé barnaságát, tehát a végső hőmérséklet meghatározása elengedhetetlen. Néhány szerves komponens bizonyos mértékű termikus bomlása igen fontos, habár a túlpörkölődés rontja a kávé organoleptikai tulajdonságait. Következésképpen a pörkölés befejezését követően gyors hűtésre van szükség, amelyet hűtőberendezésekkel vagy a pörkölő dobozban a kávé felületére permetezett vízzel érnek el. A végtermék nedvességtartalma nem haladhatja meg a 4%-ot a kávé felületére permetezett hűtővízzel együtt sem, mert a sok víz állott ízt és a CO<sub>2</sub> deszorpcióját eredményezi, és ez által csökkenti az eltarthatóságot. A kávé nedvességtartalma a folyamat végére 1-1,5%-ra csökken.

A pörkölési folyamat a kávészemek színváltozásával és tipikus hangjelenségekkel (reccsenés) jellemezhető, az utóbbit akusztikus módszerrel is tanulmányozták (Wilson 2014).

A kávészemek összetétele drasztikusan megváltozik a pörkölés során a pirolízis, a karamellizáció és a Maillard reakció következtében, ahogyan az a 3. táblázat adatai alapján is látható. A pörkölt kávé nedvességtartalma jóval alacsonyabb (1,5-5%) a zöld kávék nedvességtartalmánál és a pörköltési foktól függően változik.

### 3. táblázat Pörkölt arabica és robusta kávék kémiai összetétele

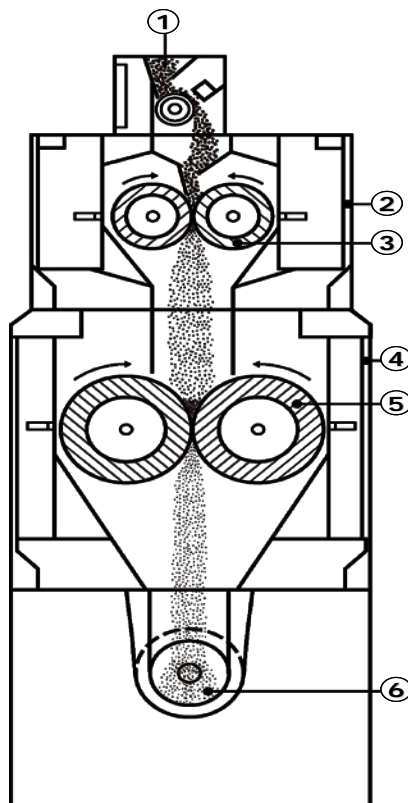
Kémiai komponens	Arabica kávé (koncentráció: g/100g)	Robusta kávé (koncentráció: g/100g)
<b>Szénhidrátok és rostok</b>		
Szacharóz	4,2-	1,6-
Redukáló cukrok	0,3	0,3
Poliszacharidok (arabinogalaktán, mannán, glükán)	31-33	37
Lignin	3,0	3,0
Pektinek	2,0	2,0
<b>Nitrogéntartalmú összetevők</b>		
Fehérjék	7,5-10	7,5-10
Szabad aminosavak	nem detektálható	nem detektálható
Koffein	1,1-1,3	2,4-2,5
Trigonellin	0,2-1,2	0,3-0,7
Nikotinsav	0,016-0,026	0,014-0,025
<b>Lipidek</b>		
Kávéolaj (trigliceridek)	17,0	11,0
Diterpén észterek	0,9	0,2
<b>Ásványi anyagok</b>	4,5	4,7
<b>Savak és észterek</b>		
Klorogén sav	1,9-2,5	3,3-3,8
Alifás sav	1,6	1,6
Kininsav	0,8	1,0
<b>Melanoidinek</b>	25	25

A megadott adatok a termesztőtől, mezőgazdasági gyakorlattól, klímától, talaj összetételtől és analitikai vizsgálati módszerektől függően változhatnak (Farah 2012).

Habár a CO<sub>2</sub> nagy része a pörkölés során távozik, jelentős mennyiségű gáz marad bezárva a kávészemek belsejében, amely lassan kidiffundál a pörkölést követő tárolás során. Ezért a csomagolás előtt a pörkölt kávé temperálni kell, hogy a bennrekedt CO<sub>2</sub> távozhasson és ez által elkerülhető legyen a csomagolás után esetlegesen fellépő puffadás, amely nem kívánt szivárgáshoz vagy kipukkadáshoz vezethet. Általában a kávé részlegesen gázmentesítik, hogy minimalizálják az aromaveszteséget, és egy légtelenítő szeleppel ellátott csomagolóanyagba helyezik, hogy a maradék gáz eltávozhasson a tárolás során (Wang and Lim 2014). Ugyanígy járnak el az őrölt kávé csomagolása során is.



A pörkölt kávészemek őrlésének célja, hogy a kávéital készítés során jobban felszabaduljon a kávé aromája (Akiyama et al. 2003). A legintenzívebb aroma a pörkölt kávé őrlésekor érezhető (Bhumiratana et al. 2011). Az extrakciót, és ez által az elkészített kávéital minőségét az őrlés mértéke és a szemcseméret befolyásolják. A túl finomra őrlött kávé miatt a kinyerhető kávéital mennyisége kevesebb, és az íze is keserűbb a nagy mennyiségben kioldódó, már kellemetlen íz anyagoknak köszönhetően. A túl durva szemcséjűre őrlött kávéból készült ital íztelenné válik, mivel az íz anyagok extrakciója csökken (Andueza et al. 2003). A 2. ábrán egy iparban használt hengeres kávéőrő berendezés részei láthatóak, amelynél a szemcseméretet a hengerek közötti távolság növelésével vagy csökkentésével tudják változtatni.



**2. ábra** Kávéőrő berendezés (részei: 1. Pörkölt kávé adagolás 2. Előtörő rész 3. Előtörő hengerek 4. Őrlő rész 5. Őrlő hengerek beállítása a kívánt őrlési finomságra 6. Tömörítő rész, a térfogat beállítása. Az őrlött kávé elszállítása.

Vasné Hüvös Éva nyomán)

### 2.3. Kávéital készítése

Annak érdekében, hogy egy aromás kávéitalt kapjunk, amely nagy mennyiségben tartalmaz ízesítő és serkentő összetevőket, számos feltételnek kell eleget tennünk. Az alkalmazott forrázási, áztatási és szűrési folyamatok különböző kombinációkhoz vezetnek.

Miközben a mi társadalmunkban a kávéfőzetet sötét, sűrű italként, addig a keleti kultúrákban porított kávébabból (pörkölt kávészemek porrá őrölve) forrásban levő vizet ráöntve egy üledékes, zavaros italként (török mokka) fogyasztják.

Az áztatásos módszerrel készült kávénál forró vizet öntenek egy őrölt kávéval töltött filterre, majd ezt néhányszor megforgatják a csészében 10 percen keresztül.

A szűrési - perkolációs módszer során az őrölt kávé egy tartórácsra helyezik (amely lehet szűrőpapír, muszlin, perforált műanyag szűrő, üveg szűrőtégely, stb.) és erre forró vizet csepegtetve vagy permetezve végzik az extrahálást (pl.: lassú gravitációs perkoláció). Alapvetően ez az eljárás használatos a legtöbb kávégép esetében.

Egy espresso kávégépben, amelyet Olaszországban fejlesztettek ki, a kávé extrakciója rövid idő alatt történik, miközben a szűrést gőz gyorsítja meg 9-10 bar nyomáson. A kivételesen erős ital általában zavaros és frissen őrölt, sötét színűre pörkölt kávéból készül. A víz hőmérséklete nem haladhatja meg a 85-95°C-ot ahhoz, hogy az aromás ital a legtöbb illékony anyagot megőrizze. A víz minősége is igen fontos szerepet játszik, főleg a szokatlan összetételű víz (néhány ásványi forrásvíz, túlságosan kemény víz és klórozott víz) csökkentheti a kávéital minőségét. A lefőzött kávéital, amely hosszabb ideig nem kerül elfogyasztásra, jelentős ízbeli változáson megy keresztül (Belitz et al. 2009).

## 2.4. Gabonakávék

A kávé pótszerek vagy helyettesítők pörkölt növényi részek vagy egyéb források, amelyekből forró víz segítségével egy kávéhoz hasonló ital nyerhető, amely kávépótlóként vagy kávé keverékként fogyasztható. A kávé segédanyagok vagy fűszerek pörkölt növényi részek vagy növényi anyagok, melyeket cukorral kevernek össze vagy mindhárom forrásból alkotnak egy keveréket és más összetevők hozzáadásával adalékanyagként vagy pótkávéként kerülnek felhasználásra. Az ilyen termékek előállításához szükséges kiindulási anyagok a következők lehetnek: árpa, rozs, cirok (*Sorghum*-típusú gabona) és hasonló keményítőben gazdag magvak. Az árpa és rozs maláták és egyéb malátás cereáliák, cikória, cukorcékla, sárgarépa és más gyökerek, füge, datolya, akác gyümölcs (szentjánoskenyér) és hasonló cukorban gazdag gyümölcs, mogyoró, szójabab és egyéb olajos magvak, teljes körűen vagy részlegesen zsírtalanított makk és egyéb tanninmentes növényi részek, és végül, különféle cukrok is szolgálhatnak alapanyagul.

A kávéhelyettesítők már régóta ismertek, amelyet jól példáznak a cikória gyökérből (*Cichorium intybus* var. *sativum*) készített kávéitalok, vagy a pörkölt gabonákból előállított világos italok (Belitz et al. 2009).

Az árpa (*Hordeum vulgare* L.) egy ősi gabonamag, amely a háziasítás során az élelmiszerként való széleskörű alkalmazása mellett a takarmányiparban terjedt el, előszeretettel használják malátagyártásra is. Az árpa, a bioaktív összetevőinek köszönhetően, a funkcionális élelmiszergyártás középpontjába került. Egyes területeken olyan alkoholmentes italokat fogyasztanak, amelyek alapját az árpa és a maláta képezik. Mind az árpát, mind a malátát megpörkölik, majd vagy az egész szemek, vagy az őrlemény meleg vízzel készült extraktumát fogyasztják. Ilyen italok a malátakávé, árpa tea vagy az árpakávé. A gabonaszemekben található legfőbb antioxidáns komponensek a fenolok csoportjába tartoznak (Omwamba and Hu 2009).

Az árpa- (rozs-, kukorica- vagy búza-) kávé a megtisztított gabona magvak áztatása vagy gőzölése utáni pörköléssel nyerik. A termékek 12% nedvesség- és kb. 4% hamutartalommal rendelkeznek.

A búza, a rozs és az árpa a genetikailag hajlamos egyéneknél cöliákiát (lisztérzékenységet) okozhat, a zab szerepe ebben a betegségben bizonytalan. Egyaránt jelentkezhet csecsemőknél és serdülőknél, felnőttek esetében nem trópusi sprue-nak is nevezik. A betegség együtt jár a bélnyálkahártya bolyhos szerkezetének elvesztésével, a hámsejtek degeneratív elváltozásokon mehetnek keresztül és a tápanyag-abszorpciós funkciók súlyosan károsodhatnak.

A lisztérzékenység előfordulási aránya változó: 0,1% a betegségben szenvedő gyerekek aránya Közép-Európában és 0,3% Írországban. A búzában és más gabonafélékben (árpa, rozs) megtalálható raktározó fehérje, a glutén, felelős az autoimmun betegségért. Pontosabban annak egyik komponense, a gliadin, rongálja a bélfalat, amelyet megfelelő diétával ki lehet zárni az étrendből, például rizs, köles vagy kukorica fogyasztására történő áttéréssel (Gilissen et al. 2014; Belitz et al. 2009).

## 2.5. A kávéban esetlegesen előforduló idegen anyagok és azok detektálási módszerei, valamint a kávé optimális pörköltégi fokának meghatározására irányuló módszerek bemutatása

Az élelmiszerek és az élelmiszeripari termékek hamisításának detektálása nem új keletű dolog, már a 18. században is keletkeztek feljegyzések. Az egyre növekvő számú tanulmányok, melyek a hamisítás tényének megállapítására, annak mennyiségi becslésére vonatkozó analitikai eszközök kifejlesztésével foglalkoznak, arra engednek következtetni, hogy a hamisítás egy általános gyakorlattá vált az élelmiszeripar szinte minden területén (Cordella et al. 2002; Fugel et al. 2005). A hamisítás komoly probléma, mivel a minőség rontása a kötelező előírások be nem tartásával a fogyasztók szándékos megtévesztését eredményezi. Továbbá tisztességtelen versenyhez vezet, rombolja az egyébként stabil helyi és globális gazdaságot az egyre nagyobb teret nyerő csalók által. A hamisítást drágább termékhez hozzákevert olcsóbb termékekkel, alapanyagokkal érik el a csalók, amely nehezen felismerhető a fogyasztók és gyakran a rutinszerű analitikai technikák számára.

A pörkölt kávé minőségének biztosítása a kávéhamisítás ellenőrzésének és megelőzésének eszközeként kiemelten fontos, illetve nagy különbségeket eredményezhet a végleges vételárat figyelembe véve, amely számos tényezőtől függ, mint például a kávéfaj vagy a földrajzi eredet. Brazília a világ egyik legnagyobb kávétermelő országa és egyike a legnagyobb fogyasztóknak. A kávé Brazília fő árucikke és a hamisítás legfőbb célpontja (Singhal et al. 1997). A kávécserjét érő esetleges fertőzések, vagy az időjárási viszonyok miatt előfordul, hogy az adott évi termés nem éri el a várt hozamot, így a kávétermelők igyekeznek pótolni a hiányt. A szemes zöld kávék megkülönböztetése mind egymástól, mind más idegen anyagoktól jóllehet egyszerű feladat, de őrölt-pörkölt formában már komoly nehézségeket okozhat a laikusok és esetenként a szakértők számára is (Downey and Spengler 1996). A két, kereskedelmi szempontból jelentős kávéfaj nem csak botanikai tulajdonságokban és fizikokémiai összetételben különbözik egymástól, hanem a kereskedelmi értékben is.

A legtöbb kereskedelmi forgalomban kapható kávé a két faj keverékéből áll, még nehezebbé téve a kávéhamisítási kérdések kezelését (Pizarro et al. 2007). A hamisítás egyrészt megvalósulhat az olcsóbb robusta vagy rosszabb minőségű kávé bekeverésével a kereskedelmi forgalomban magasabb árkatóriát képviselő arabica kávéhoz. Másrészt olcsóbb anyagokat, mint például ágakat és héjrészeket, ezüsthéjat, kávézaccot, vagy akár gabonaféléket (pörkölt árpa, kukorica, szója) keverhetnek a kávéhoz (Singhal et al. 1997). Fogyasztási termékként az őrölt-pörkölt kávé a legsebezhetőbb, mivel a fizikai jellemzői, mint a szín, textúra, szemese méret, könnyen reprodukálhatóak a különféle biológiai anyagok, mint gabonafélék, magok, gyökerek, pörköléssel és őrléssel, de használhatnak glükóz szirupot, vagy maltodextrint is (Prodolliet et al. 1995; Delgado Assad et al. 2002; Sano et al. 2003; Domingues et al. 2014).

Megfelelő módszerek szükségesek annak érdekében, hogy különbséget tegyenek a két kávéfaj között, és kiszűrjék a potenciálisan olcsóbb, vagy gyengébb minőségű hamisító anyagokat a kiváló minőségű kávé mellett. Ezzel biztosítják a kereskedelmi forgalomba kerülő végtermék hitelességét, minőségét és biztonságát. A kutatók számtalan technikát fejlesztettek ki, hogy megfelelő paraméterekkel, markerekkel a hamisítás kimutatható legyen az őrölt-pörkölt vagy instant kávéban.

Az elmúlt évtizedekben jó néhány kutatás foglalkozott a kávé pörköltégi állapotának elemzésével. A pörköltégi fok meghatározására számos paramétert használtak, amelyek két nagyobb csoportra oszthatóak: fizikai tulajdonságok és kémiai összetétel.

A következőkben mind a kávéhamisítás detektálására, mind a pörkölés nyomon követésére irányuló módszereket részletesen ismertetem.

### 2.5.1. Kémiai módszerek

Gyakori problémát okoz a jó minőségű arabica kávéhoz kevert rosszabb minőségű arabica vagy robusta kávé arányának kimutatása örölt-pörkölt formában, melyet kémiai markerek segítségével igyekeztek a kutatók meghatározni.

Toledo et al. (2014) a tiszta, jó minőségű arabica kávéhoz kevert rosszabb minőségű arabica kávé arányának kimutathatóságát vizsgálták SPME módszerrel polimer ionos folyadék nedvszívó bevonattal. PLS regresszióval sikerült korreláltatniuk az aromákhoz köthető kémiai ujjlenyomatot és a kávéhamisítás mértékét. A módszer már 1 m/m%-os idegen anyag tartalom kimutatására is alkalmas (RMSE- kalibráció: 0,54 m/m%, predikció: 0,83 m/m%), valamint fontos aromához köthető vegyületek, mint furán, metoxifenol, pirazin és keton azonosítását tette lehetővé.

Egyes kutatók az arabicát a robustától kémiai összetétel (Martín et al. 1998) és fémtartalom (Martin et al. 1999) alapján különítették el. Gonzalez et al. (2001) HPLC-vel vizsgálták az arabica és robusta pörkölt és zöld kávék megkülönböztethetőségét a tokoferol- és trigliceridtartalmuk alapján. Mintázatfelismerő eszközként PCA-t és LDA-t alkalmaztak az eredmények feldolgozásához. Az arabica és robusta kávék mindkét vegyület alapján elkülöníthetőek voltak, de csak a tokoferoltartalom alapján volt megkülönböztethető a zöld kávé a pörkölt kávétól. Martín et al. (2001) hasonló megközelítést alkalmaztak, a zsírsav profilok alapján különítették el a két kávéfajt zöld és pörkölt formában is kapilláris gáz kromatográfia segítségével.

Más kutatók a két kávéfajt aminosav enantiomerek (Casal et al. 2003) alapján különböztették meg nyers és pörkölt állapotban. El-Abassy et al. (2011) a mikro Raman spektroszkópiát kemometriai módszerekkel kombinálta, hogy a zöld arabica és robusta kávék között a klorogén sav és lipid tartalmuk alapján tegyen különbséget.

Hecimovic et al. (2011) négy különböző fajtájú kávé polifenolos komponenseit és koffein tartalmát határozták meg UV-VIS spektroszkópia és HPLC alkalmazásával.

Garrett et al. (2012) kávéitalt vizsgáltak elektroporlasztásos ionizáció-Fourier-transzformációs ion ciklotron rezonancia tömeg spektrométerrel és PLS regresszióval. Speciális ionok kiválasztása tette lehetővé a jó minőségű arabica kávé robusta kávéval való hamisításának kimutatását 20-80 m/m%-ban, illetve a hamisításhoz köthető markerek kimutatását.

A módszer hátránya, hogy jelentős minta előkészítési procedúrát igényel és igen költséges eljárás, amely nem mindig elérhető az iparban vagy a hatósági szerveknél.

A kávékeverékek kávétól eltérő idegen anyag tartalmát is egyre többen vizsgálták kémiai módszerek segítségével. A kávé leggyakrabban használt hamisító anyagai közül az árpát különösen nehéz kimutatni főleg alacsony koncentrációban, gyakran még a kémiai profilon alapuló módszerek is hatástalanok a speciális hamisító anyaggal szemben.

Godinho et al. (2003) kutatásuk során egy oldószeres extrakción alapuló módszerrel dolgoztak, melyet HPLC analízis követett, hogy kimutassák a kávéban hamisító anyagként jelen levő árpát és pelyvát. A kapott eredmények kielégítőek voltak a pelyva kimutatása esetén, azonban a kávé és az árpa extraktumának kromatográfiás profilja nagyon hasonlóan bizonyult, kivéve, hogy az árpa profiljából hiányzott a koffein. Arra a következtetésre jutottak, hogy a javasolt módszer nem volt hatékony a kávé árpával történő hamisításának kimutatására.

A kávé kukoricával történő hamisításának detektálására Jham et al. (2007) HPLC analízissel meghatározott tokoferolok mint markerek jelenlétét vizsgálták.

A feldolgozott kávé gabonákkal és kávé héjjal való szennyezettségének azonosítására Nogueira és Lago (2009) xilán és keményítő savas hidrolízisét alkalmazták, melyet elektroforetikus elválasztás követett.

Oliveira et al. (2009) az őrölt-pörkölt kávé pörkölt árpával történő hamisításának detektálhatóságát vizsgálták SPME-GC-MS és kemometriai módszerekkel. Összehasonlító elemzést végeztek mind a tiszta kávé és árpa, mind azok keverékének illóanyag profilján, különböző pörköltégi fokon. Megállapították, hogy minél nagyobb a pörköltégi fok, annál könnyebb kimutatni a hamisított mintát, lehetővé téve a közel 1 m/m %-os pörkölt árpa kimutatását a sötét pörkölésű kávémintában.

A kávé pörkölési folyamatának nyomon követésére és az optimális pörköltégi fok meghatározására a kutatók kémiai módszereket is kidolgoztak. Dutra et al. (2001) a kávé pörkölése közben kifejlődő gázok kémiai összetétel profiljának variációit vizsgálták kvalitatív módszerrel abból a célból, hogy egy kémiai kritériummal tudják jellemezni a kávé pörköltégi fokát. Ezzel egy időben a kávé fizikai tulajdonságait is monitorozták (térfogat, tömegvesztés, nedvességtartalom). Egy laboratóriumi pörköltőben 300g kávé pörkölt az optimális pörköltégi állapotig, melyet 9 perc alatt értek el (szín mérés alapján határozták meg). A pörkölés közben felszabaduló gázokat gázkromatográf segítségével analizálták.

Az optimális pörköltégi fok elérésekor kinyert kromatogramokon a csúcsok száma jelentősen megnövekedett, egy vegyületcsoportról beszélhetünk, melynek megjelenését az ipari folyamatokban is lehetne hasznosítani a megfelelő pörköltégi fok indikátoraként. Alternatív módszerként a kondenzált, pörköléskor felszabadult gázok pH-jának mérését javasolták, amely az optimális pörköltégi állapot környékén éri el a minimumát. Dorfner et al. (2004) a pörkölési folyamat nyomon követésére online, valós idejű eszköz fejlesztését tűzték ki célul, amely segíti az egyenletes és kiváló minőségű kávé aroma felszabadítását. A pörkölőből felszabaduló gázokat egy lézer tömeg spektrométerbe injektálták és ionizáló technikát alkalmaztak, hogy az illékony szerves komponensek keverékeit monitorozni tudják. A módszer alapján tíz fontos, a pörkölés során felszabaduló vegyületet elemeztek. Franca et al. (2005) munkájukban minőség alapján csoportosított arabica kávék kémiai vizsgálatával foglalkoztak zöld és pörkölt állapotban. HPLC-vel elemezték a kávéminták koffein, trigonellin és 5-kaffeiol-kínasav (klorogénsav) koncentrációját. Magas koffeintartalom volt jellemző a jó minőségű kávé esetében. A klorogénsavat illetően nem találtak összefüggést a kávé minőségével kapcsolatban. A savasság szignifikánsan csökkent a pörkölés hatására, a jó minőségű kávé esetében adódott a legalacsonyabbnak. A rossz minőségű kávé a pH érték és a kémiai összetétel alapján tudták detektálni a zöld és pörkölt kávéban, melyek fontos szerepet játszanak a kávé minőségét illetően mind a pörkölés előtt, mind utána. Más kutatók is folytattak hasonló kávémintákon kémiai elemzéseket az előzővel megegyező módszerekkel (Farah et al. 2006). A vizsgált minták között robusta kávé is szerepelt. Megállapították, hogy a trigonellin szintje alacsonyabb volt a zöld robusta kávéban, ami megegyezett a rossz minőségű arabicában mért szinttel. A rosszabb minőségű zöld kávé több klorogénsavat tartalmazott. Franca et al. (2009) gázkromatográf segítségével vizsgálták meg zöld és pörkölt kávék illékony anyag profilját. A zöld kávé két különböző módszerrel pörkölték: magas hőmérsékleten rövid idő alatt és alacsony hőmérsékleten hosszú idő alatt. Különböző illékony anyag profilokat figyeltek meg a kétfajta pörkölési beállításnak megfelelően. A tömegvesztés és a pörkölt kávé színe hasonlóan adódott mindkét módszer esetén, önmagukban ezek mérése nem alkalmas a pörköltégi fok megállapítására, a pörkölési hőmérsékletet is figyelembe kell venni.



### 2.5.2. Optikai módszerek

Az optikai módszerek nem speciális kémiai markerek keresésén alapulnak, hanem szigorúan fizikai mérésekkel állapítják meg az idegen anyagok jelenlétét a kávéban. Ilyen a fotoakusztikus spektroszkópia (Cesar et al. 1984), az infravörös spektroszkópia (Briandet et al. 1996), a pásztázó elektronmikroszkópia (Amboni et al. 1999) és a termikus lencse spektroszkópia (Fontes et al. 2001). Reis et al. (2013) diffúz reflexiós infravörös Fourier-transzformációs spektroszkópia alkalmazását mutatták be tanulmányukban, melyet az őrölt-pörkölt kávéba kevert, leggyakrabban használt hamisító anyagok (kávészacc, kávéhéj, pörkölt kukorica és pörkölt árpa) detektálására és mennyiségi becslésére használtak. A pörkölt kávémintákhoz szándékosan keverték hozzá (tisztán és keverékként) idegen anyagokat 1-66 m/m% arányban. PLS regressziót alkalmaztak az idegen anyag tömeghányadának feldolgozott spektruma és a kapott modell közötti kapcsolat feltárására, amely megbízható becslést tett lehetővé már 1 m/m%-os idegen anyag tartalom esetén. Ezáltal egy robusztus módszer került bevezetésre, amely magában foglalta a kiugróérték kezelést is. A modell korrelációs koefficienseinek szorossága (kalibráció:  $R=0,99$ , validáció:  $R=0,98$ ), és az alacsony hiba (kalibráció: 1,23%, validáció: 2,67%) arra engednek következtetni, hogy ez a módszer alkalmas lehet az őrölt-pörkölt kávé idegen anyag tartalmának detektálására és mennyiségi becslésére.

Az optikai módszerek közé tartozik a közeli infravörös technológia, amely széles körű elfogadottságra tett szert az élelmiszerek minőségének vizsgálatában. Mindamellet, hogy gyors, megbízható, egyszerű és olcsó, nem igényli vegyszerek felhasználását, a minta előkészítés minimális, valamint a műszer karbantartási igénye is alacsony (Santos et al. 2012).

Számos tanulmány kimutatta a NIR spektroszkópia mint alternatív technika potenciális alkalmazhatóságát a kávé minőségének elemzésében. Használták már az arabica kávé robustától való megkülönböztetésére (Esteban-Díez et al. 2007; Bertone et al. 2016), az érett és éretlen szemek, valamint a hibás és nem hibás szemek elkülönítésére (Craig et al. 2012; Craig et al. 2015).

Pizarro et al. (2007) tanulmányukban kávéminták különböző fajtájú robusta tartalmát vizsgálták többváltozós kalibrációs módszerrel kombinálva a NIR technikát a kávéhamisítás detektálására és mennyiségi meghatározására. Arra jutottak, hogy ennek a módszernek a sikere nagyban függ a jelek előfeldolgozási módszerétől, amely minimalizálja a spektrális variációt. Ez utóbbi nem a vizsgált paramétertől, hanem a kísérleti vagy minta feltételek változásától függ.

A NIR technikát az őrölt-pörkölt kávéhoz hamisítási célból hozzáadott árpa azonosítására és mennyiségi becslésére is alkalmazták (Ebrahimi-Najafabadi et al. 2012). Ehhez kilenc különböző típusú kávéat használtak, melyek között volt tiszta arabica és robusta, illetve azok különböző pörköltési fokú keverékei négyféle árpa hozzáadásával. Az árpa aránya a keverékekben 2-20 m/m% volt. A kutatók PLS regressziót alkalmaztak a modellépítéshez, hogy megbecsülhessék a kávékeverékek árpataartalmát, valamint a modellek egyszerűsítése érdekében (a spektrális profilok informatív régióit kiválasztva) genetikus algoritmust használtak. A modell teszteléséhez egy teljesen független külső adatsort is felhasználtak. Az árpataartalom becslésének jósága az RMSE érték alapján a teszt adatsorra 1,4m/m%, a független külső adatsorra 0,8m/m% volt.

A NIR technika sikeresen alkalmazható a kávék pörköltési fokának meghatározására is. Alessandrini et al. (2008) 830-2500nm-es hullámhossz tartományt használtak, figyelembe véve a sűrűséget, a tömegvesztést és a nedvességet. PLS regresszióval becsülték a különböző pörköltési fokokat, amely eredményeképp a korrelációs koefficiens értéke szorosnak adódott a mért és a becsült pörköltési változók között. Arra a következtetésre jutottak, hogy ez a módszer on-line minőségellenőrzésre is alkalmas lehet, amely lehetővé teheti az ismeretlen kávébab minták pörköltési tulajdonságainak egyszerű, reprodukálható és objektív meghatározását.

2013-as munkánkban (Várvölgyi et al. 2013) különböző pörköltési fokú arabica kávékat vizsgáltunk látórendszerrel, NIR és elektronikus nyelv műszerek segítségével. A pörköltési fok becslésénél, melyet előzetesen Dr. Lange színmérő segítségével meghatározott, dimenziómentes színértékekkel írtunk le, a NIR adatoknál értük el a legjobb eredményt ( $R^2=0,98$ , RMSEP=1,94), amelyhez a látórendszerrel kapott eredmények igen közel álltak ( $R^2=0,97$ , RMSEP=2,16), az elektronikus nyelvvel kapott becslést elfogadhatónak ítéltük ( $R^2=0,88$ , RMSEP=4,49).

Manapság a digitális képfeldolgozás egyre fontosabb szerepet tölt be az élelmiszeriparban, mivel gyors, roncsolás-mentes és olcsó megoldást jelent az élelmiszerek vizsgálata során. Ezáltal képes helyettesíteni az emberi látást, melyet gyakran alkalmaznak az élelmiszerek minőségvizsgálata során.

Az élelmiszerek külső tulajdonságainak vizsgálatára, mint a színvizsgálat, alkalmasak a különböző színmérő berendezések (Minolta chroma meter, Hunter Lab színmérő, Dr. Lange színmérő). Annak ellenére, hogy ezeknek a műszereknek a használata terjedt el leginkább, hátrányos tulajdonságuknak tekinthető, hogy a mérendő felületnek homogénnek kell lennie és igen kisméretűnek (2 cm<sup>2</sup> körüli). Ez által az eredmény nem reprezentatív és megnehezíti az élelmiszer felületének globális vizsgálatát (Segnini et al. 1999; Papadakis et al. 2000; Mendoza and Aguilera 2004). A kávéiparban a pörkölt kávé színe a kávéital ízének indikátora. Emiatt fontos, hogy minden tétel ugyanolyan színű legyen. A kávé pörköltégi fokát egy olyan műszerrel határozzák meg, amely a fény intenzitását méri. A fény visszaverődik az őrlött-pörkölt kávéról, minél világosabb a pörkölés, annál több fény verődik vissza, ezért a világosabb színűre pörkölt kávé esetében a kapott mérőszám magasabb. A szín nagyban függ a mérőeszköztől, az őrléstől és a mérés időpontjától, de még attól is, ahogyan az őrlött kávé eloszlik a mintatartóban. Ez utóbbi miatt különbözik egyazon minta színe többszöri mérés esetén. Ezért fontos, hogy mindig ugyanazzal az eszközzel és őrlési szemcsemérettel dolgozzunk (Wit 2005).

Az élelmiszerek színének mérésére egyre gyakrabban CCD kamerákat alkalmaznak, melyek nagy felbontású és alacsony zajszintű képek készítésére képesek. A képfeldolgozás egyik legfontosabb lépése a képek előfeldolgozása (Du and Sun 2004).

Tao et al. (1995) kutatásában az RGB színrendszer HSI színrendszerbe történő transzformációja rendkívül hatékonynak bizonyult a burgonyákról és almákról készült képek feldolgozásában. A burgonyák és almák színjellemzőinek vizsgálatkor 90%-os pontossággal voltak képesek elkülöníteni a jó és zöld (éretlen) burgonyákat, valamint a sárga és zöld 'Golden Delicious' almákat a hue hisztogramok segítségével.

Abdullah et al. (2001) HSI színrendszert alkalmaztak, hogy megvizsgálják a kapcsolatot az olajpálma gyümölcsének színe és olajtartalma között, amelyből az érettségi állapotra következtettek. A látórendszer több mint 90%-ban sorolta be helyesen az olajpálmákat, amely még mindig nagyobb, mint az emberi ellenőrzés során elért ráta.

Általában a kamerával készült színes képek a standard, három-dimenziós RGB színtérben vannak elmentve, ennek ellenére a HSI színrendszer sokkal praktikusabb a színes képek elkülönítéséhez (Du and Sun 2004).

Egy kísérletben Du és Sun (2005) HSI modellt használt, különböző tartományokban kijelölve a HSI értékeket azért, hogy szegmentálja a pizza szószát a pizza alaptól, valamint a világosabb pizza szósz zónákat a sötétebb zónáktól.

Más kutatók sertés- és marhahús mintákról RGB színtérben elmentett képek többváltozós statisztikai feldolgozását követően a húsminták megfelelő osztályozását érték el a zsír-hús arány és zsíreloszlás alapján (Felfoldi et al. 2013).

Milanez és Pontes (2014) digitális képfeldolgozási és mintafelismerő technikákat használtak munkájukban ehető növényi olajok osztályozására, az RGB, HSI és szürkeskálás rendszereket alkalmazva. A lejárt és nem lejárt szavatosságú minták azonosítására a HSI csatornák, míg a napraforgó és szója olajok osztályozására a HSI és szürke csatornák alkalmazása bizonyult megfelelőbbnek.

Assad et al. (2002) kutatási munkájában alkalmazott képfeldolgozási módszernek megfelelően az őrölt kávéban található hamisító anyagok különböző spektrális jeleket mutatnak. A multispektrális felvételeket CCD kamerával készítették, az adatok kiértékelését képfeldolgozó szoftverrel készítették a hisztogramok alapján. A kávéhamisítás mértékének számszerűsítésekor kapott legkisebb pontosság 95%-nak adódott ezzel a módszerrel.

Sano et al. (2003) digitális képfeldolgozással állapították meg a pörkölt kávé hamisításának mértékét. Az arabica kávé kávéhéjjal és szalmával, kukoricával, barna cukorral és szójababbal keverték és a keverékekről készült képek feldolgozását szürkeárnyalatos intenzitás skálán valósították meg. Ezzel a módszerrel szoros korrelációt értek el ( $R=0,90-0,99$ ) a különböző kávépótszerekkel történő hamisítás arányának számszerűsítésében.

Hernández et al. (2008) látórendszerrel valósították meg a különböző hőmérsékleten pörkölt kolumbiai arabica kávék felületi fényességének és a pörkölés kinetikájának online mérését. Az online képelemzés lehetővé tette a mért szürkeségi szint és a cél szürkeségi szint összehasonlíthatóságát minden időpillanatban. A kísérlet után kapott őrölt kávé nagyon hasonlított a tervezett kávéra és az abból készült kávéital is elfogadhatónak bizonyult a laboratóriumi csapat számára.

A fent említett módszerek nem teszik lehetővé a több szennyezőanyagot tartalmazó keverékekben az egyedi összetevők vagy alkotórészek azonosítását.

### 2.5.3. Érzékszervi bírálat

Az érzékszervi vizsgálat az emberi válaszok használata a fogyasztható termékek, mint élelmiszerek értékelésére. Eltekintve a preferencia vizsgálatoktól, melyek konkrét fogyasztói rétegeket, csoportokat vizsgálnak, a képzett bírálók vagy panelek megjelenést, szagot, ízt, színt és textúrát, valamint egyéb tulajdonságokat elemeznek.

A kávé érzékszervi tulajdonságait évek óta tanulmányozzák, a növekvő fogyasztás világszerte egyre nagyobb érdeklődést váltott ki a kávé ízét és aromáját illetően az ipar és a kutatók részéről egyaránt. Korábbi tanulmányok arra a következtetésre jutottak, hogy a kávéital készítés során az arabica kávé édes-karamell aromája, míg a robusta kávé esetében annak fűszeres, nyers, földes aromája érvényesül (Blank et al. 1991). A legújabb példa az érzékszervi nyelvzet, amit a kávé ízének leírására használnak, mint édes-karamell, földes, pörkölt, kénes és füstös tulajdonságok (Czerny et al. 1999; Mayer et al. 2000). Az érzékszervi tulajdonságok mérése érzékszervi bírálat keretében történik emberekkel, mint bírálókkal. A kávé érzékszervi minőségének egyik iparban alkalmazott mérési módszere a kávékóstolás (cupping). A kóstolást képzett ipari bírálók végzik, akik az őrölt kávé és a frissen lefőzött kávé ízét és aromáját vizsgálják, miután vizuálisan értékelték a zöld és pörkölt kávékat (Bee et al. 2005).

Az aroma lexikon tartalmazza a kávé jellemzőit, mint kávé, pörkölt, égett, fanyar, barna, mogyorós, kakaós, dohos, földes, virágos, gyümölcsös, zöld, hamus/kormos, édes aromájú, savanyú és szúrós (Bhumiratana et al. 2011), fanyar, testes, keserű ízű, égett aromájú, tipikus és égett ízű (Bicho et al. 2013). További kutatások az arabica és robusta kávé pörkölt ízét három különböző szinten vizsgálták, jellegzetes szag, fanyarság, testesség, keserű íz, égett aroma és maradék, tipikus égett ízek, citromsav íz és aroma jelentették a két faj közötti különbséget (Bicho et al. 2013).

A kávéban esetlegesen előforduló idegen anyagok detektálásának lehetőségét a felkutatott irodalmak alapján (Science Direct, Scopus, Google) még nem vizsgálták a kutatók érzékszervi vizsgálat keretében. Pörkölt kávé esetén a hamisítást az illékony anyagok profiljának elemzésével detektálják, amely várhatóan egyedi minden fő hamisító anyag esetén, és egy megbízható módszert képes nyújtani, amivel az őrölt-pörkölt kávé esetleges hamis volta ellenőrizhető.

Az iparban a kávészemek pörköltégi fokát gyakran szemrevételezéssel állapítják meg a pörkölő mesterek, vagy az őrölt kávé fényvisszaverését mérik. Mivel a fényvisszaverődés átlagos értékeinek leolvasása ugyanaz is lehet különböző pörköltégű kávék esetén, ezért ezt a színmeghatározáson alapuló módszert eredménytelennek tartották (Purdon and McCamey 1987). Az egzakt módszer hiánya miatt alul- vagy túlpörköltég alakulhat ki, amely íz hibát okozhat a kávéitalban.

Az érzékszervi vizsgálat magával von egy bizonyos fokú szubjektivitást, a válaszok időbeni eltérését és az egy napon vizsgálható minták korlátozott számát, valamint igen időigényes folyamatok és kedvezőtlenek a valós idejű mérések esetén. A vizsgálatokat befolyásolja az emberek fáradtsága, a stressz, az inkonzisztencia. Ezek miatt a nehézségek miatt próbálkoznak a kutatók az objektív műszeres technikák alkalmazásával (Ouyang et al. 2014).

#### 2.5.4. Elektronikus nyelv

Az elektronikus nyelv multiszenzoros rendszert igen ígéretesnek tartják az élelmiszerek ízének értékelésében, mivel általa kiküszöbölhető az érzékszervi vizsgálatok szubjektivitása. Az elektronikus nyelv az emberi ízérvékelést hivatott modellezni, innen ered a neve is, ám annál egyes ízek esetén akár több ezerszer is érzékenyebb. A készüléket a folyadékban oldott szerves és szervetlen komponensek analízisére, felismerésére és azonosítására tervezték. Ez ún. „ujjlenyomat” elemző technológia. A berendezés speciális szenzorokból álló szenzorsort és egy referencia elektródot tartalmaz, melyek képesek globálisan érzékelni az emberi érzékszervek által jól ismert öt alap ízt: keserű, savanyú, édes, sós és umami, valamint, ezeket elektromos jellé alakítva reprodukálható eredményt adnak. Az elektródokon használt bevonatok részleges szelektivitással és kereszt érzékenységgel rendelkeznek, ami azt jelenti, hogy az egyes szenzorok érzékenyek az oldatban oldott összes komponensre, de az egyes kémiai összetevőkre eltérő érzékenységgel, az emberi nyelv íz receptoraihoz hasonlóan. A keresztérzékeny szenzor sor globális folyadék és íz észlelést nyújt, képes kölcsönhatások különböző fajtáinak detektálására, ez által összekapcsolhatók a különböző oldott íz komponensek csoportjai.

Az elmúlt évtizedekben a különböző mérési elveken alapuló (potenciometriás, voltammetriás, stb.) elektronikus nyelveket és íz szenzorokat számos analitikai feladat megoldására alkalmazták, mint például mennyiségi elemzés, felismerés és osztályozás, folyamatirányítási feladatok (Winguist et al. 2002; Legin et al. 2003; Ciosek and Wróblewski 2007).

Kovács et al. (2009) kereskedelmi forgalomból származó szója italok ízét hasonlították össze, melyek különböző összetételűek voltak és eltérő technológiával készültek. Bebizonyították, hogy

az elektronikus nyelv képes az alkalmazott gyártási technológia által, valamint az érzékszervi preferenciák által a szójaminták elkülönítésére. Kanonikus diszkriminancia elemzés eredményeként ugyanazon mintacsoport két ismétlése átfedést mutatott, tehát a módszer ismételhősége elfogadható volt. A hántolt szójababból készült szójaital íz tulajdonságai kedvezőbbek voltak, mint a hántolatlan szójaból készült szójaitalok esetén. Három fő csoportra különült el a hat kereskedelmi szójaital minta a kanonikus diszkriminancia analízis alapján: piacvezető márkájú termékek csoportja ízfokozó adalékanyag tartalommal, szójaból és rizsből készült italok csoportja és az alacsony adalékanyag tartalommal rendelkező szójaitalok csoportja. Kaszab et al. (2011) nem ideális körülmények között tárolt répa minták íz jellemzőit vizsgálták elektronikus nyelv műszerrel. Ennek eredményeként a répa édes ízét tudták szoros korrelációval becsülni a műszerrel kapott adatokból.

Kereskedelmi forgalomból származó almaleveket és ízükben módosított almaleveket is vizsgáltak már a kutatók elektronikus nyelvvel, hogy meghatározzák többek között az édes és savanyú ízek intenzitását (Kovács et al. 2011). A műszeres mérést érzékszervi bírálat egészítette ki, melynek során a bírálók az alma, az édes és a savanyú íz alapján tudták a legjobban elkülöníteni a mintákat. Az elektronikus nyelv műszerrel kapott eredmények az érzékszervi bírálatéhoz hasonlóak voltak. A PCA alapján az érzékszervi bírálatnál tapasztalt tendenciát követték a minták, az első főkomponens mentén az alma íz, a harmadik főkomponens mentén az édes és savanyú íz szerint különültek el a vizsgált italok csoportjai. A műszeres mérés eredményeiből legjobban az alma íz volt becsülhető.

Szöllősi et al. (2011) az elektronikus nyelv alkalmazhatóságát vizsgálták különböző édesítőszeret tartalmazó Cola italok elkülönítésére. A vizsgált minták egyértelműen elkülönültek az elektronikus nyelv mérés alapján. A legfőbb különbség a természetes és mesterséges édesítőszeret tartalmazó minták között adódott, de ezeken a csoportokon belül is képes volt további, az édesítőszer fajtainak megfelelő csoportok szerint elkülöníteni a mintákat.

Az elektronikus nyelv a kávé ízének elemzésében is jelentős szerepet játszott. Legin et al. (1997) többek között különböző gyártók örölt-pörkölt és instant kávéit vizsgálták elektronikus nyelv műszerrel. A PCA eredményei azt mutatták, hogy jól elkülöníthetőek mind gyártók, mind feldolgozási technológia által a különböző kávéminták, a kis mérésszám ellenére is.

Kántor et al. (2006) elektronikus nyelvvel vizsgáltak különböző koncentrációjú (kávétartalmú) és különböző gyártástechnológiájú (hagyományos, instant, koffeinmentes) mintákat, melyeket a műszer segítségével egymástól ízük alapján megbízhatóan képesek voltak megkülönböztetni.

Soós et al. (2013) bor és répalé minták mellett különböző arabica-robusta arányú kávékeverékeket vizsgált. Az elektronikus nyelv mérés PCA eredményei alapján a kávékeverékek a növekvő arabica koncentrációnak megfelelően különültek el. PLS regresszió segítségével, szoros korreláció és alacsony becslési hiba mellett sikerült megbecsülniük az egyes minták arabica tartalmát. Az így felállított modell a kereskedelmi minták arabica tartalmának becslésére is megfelelőnek bizonyult.

Számos kutatót foglalkoztatott az elektronikus nyelv és az érzékszervi vizsgálat összevetése, azaz műszeres, objektív adatokkal megbecsülni a szubjektív véleményt: kávé és bor minták (Ferreira et al. 2007), gombáknál az umami íz (Phat et al. 2016) vagy olíva olaj (Veloso et al. 2016) minták esetén.

Kutatótársaimmal különböző származási helyű és fajtájú kávékat tartalmazó kapszulás kávékat vizsgáltunk, hogy megállapítsuk a műszeres módszerek kiválthatják-e az érzékszervi bírálatot a kávé ízének becslése céljából (Várvölgyi et al. 2014). Az elektronikus nyelv mérés alapján az egy adott országból származó (pure origin) kávék elkülönültek a kávékeverékektől. A műszeres mérések eredményeiből igen szoros korrelációval sikerült megbecsülni az egyes kávéminták globális illat ( $R=0,99$ ) és savas íz ( $R=0,96$ ) intenzitását. Arra a következtetésre jutottunk, hogy ezek a műszeres mérések egyelőre csak ki tudják egészíteni az érzékszervi vizsgálatot, teljes kiváltására nem képesek.

Az élelmiszerek eredetiségének (származási hely) vagy esetleges hamisításának elektronikus nyelvvel való detektálhatóságát több kutatócsoport is vizsgálta, például borok (Parra et al. 2006), kecsketej (Dias et al. 2009), teák (Kovács et al. 2010), paradicsomlevek (Hong et al. 2014), mézek (Wei and Wang 2014) vagy szűz olíva olaj (Apetrei and Apetrei 2014) esetén.

A kávéban esetlegesen előforduló (más kávéfajon kívüli) idegen anyagok detektálásának lehetőségét a felkutatott irodalmak alapján (Science Direct, Scopus, Google) még nem vizsgálták a kutatók elektronikus nyelv segítségével.

Costa et al. (2014) a potenciometrikus elektronikus nyelv alkalmazhatóságát nem csak kávéminták megkülönböztetésére demonstrálták, hanem a kémiai paramétereinek és íz jellemzőinek mennyiségi becslésére is nagyszámú minta esetén. Kutatómunkájuk során Brazíliából származó arabica kávékat pörkölték különböző pörköltégi fokúra (világos, közepes és sötét), valamint 17 kereskedelmi kávémintát is megvizsgáltak, melyeket kapszulás kávékban használnak. Az utóbbiakat intenzitás értékük alapján jellemezték. Az elektronikus nyelv képes



volt elkülöníteni a különböző pörköltégi fokú kávékat, valamint a 17 kereskedelmi mintát. A műszer segítségével a savasság, a fenolos komponensek és a melanoidinek voltak mennyiségileg a legjobban becsülhetők.

A kávé pörköltégi fok alapján történő elkülönítésének vizsgálatáról egy poszter is készült, melyet a 2015-ös Siam Fizikai Kongresszuson mutattak be (Phatthara-Aneksin et al. 2015). Az eredmények azt mutatták, hogy az elektronikus nyelv képes elkülöníteni az arabica kávé mintákat a kávéital készítési módszere, a pörköltégi fok és a származási hely alapján.

### 2.5.5. Szakirodalmi eredmények összefoglalása

A szakirodalmi áttekintésben bemutattam, hogy milyen tényezők befolyásolhatják a kávé ízét/minőségét. Ezek közül a pörkölést és az idegen/rosszabb minőségű alapanyag esetleges előfordulását emeltem ki. A kutatók számos különböző módszert (kémiai, optikai, érzékszervi bírálat, elektronikus nyelv) alkalmaztak, hogy különbséget tegyenek a két, kereskedelmi szempontból jelentős, kávéfaj között örölt-pörkölt formában egy kávékeverékben, detektálják a kávéban esetlegesen előforduló idegen anyagokat, illetve meghatározzák az optimális pörköltési fokot.

Az analitikai technikák nagy része a szénhidrátok kromatográfiás profiljának meghatározásán alapszik, a kromatográfiás adatok többváltozós statisztikai elemzésével párosítva (Prodollet et al. 1995; Bernal et al. 1996). Az általános következtetés az volt, hogy lehetséges megállapítani a speciális szénhidrátok jelenlétének azt a számszerűsíthető határértékét a termékekben (pl.: xilóz, glükóz, fruktóz), amely felett a termék nagy valószínűséggel hamisítottnak minősíthető.

Fontos figyelembe venni, hogy az analitikai referencia módszerek, melyek a kémiai komponenseket a későbbiekben felhasználható diszkriminatív paraméterekként vizsgálják, igen drágák, munka- és időigényesek. Emiatt egyszerűbb és gyorsabb módszerekre van szükség, melyek a minőség-ellenőrzés során a rutinvizsgálatok részét képezhetik.

Az optikai módszerek közül elsősorban a NIR technika bizonyult megfelelőnek a kávéban található rosszabb minőségű alapanyag vagy idegen anyag mennyiségi becslésére. Egyes kutatók a kávé pörkölésének online monitorozására is alkalmasnak találták (Alessandrini et al. 2008). A műszer azonban igen drága.

A másik ígéretes optikai módszer a digitális képfeldolgozás, amely jóval olcsóbb vizsgálati módszer többek között a kávé minőségi elemzésére. Főként a HSI és szürkeskálás színrendszerekben feldolgozott képek alapján tudták a kutatók kimutatni a kávéban található idegen anyagokat (Sano et al. 2003).

Az érzékszervi bírálat igen fontos szerepet játszik a fogyasztók által elvárt, megszokott minőségű/ízű kávé előállításában, de szubjektivitása miatt a kutatók igyekeznek objektív műszeres technikával kiváltani azt, mint az elektronikus nyelv (Ouyang et al. 2014). A feltárt irodalmak alapján sem az érzékszervi bírálat területén, sem az elektronikus nyelv műszert alkalmazó kutatásokban nem foglalkoztak a kávéban esetlegesen előforduló idegen anyagok (gabonafélék, ág vagy héj részek) kimutatásával. Ezért fontosnak tartottam ezen módszerek képességének vizsgálatát a kávé idegen anyag tartalmának kvalitatív és kvantitatív elemzésére.

Számos próbálkozás történt a pörkölt kávé minőségének kísérleti meghatározására különböző paraméterek vizsgálatával, mint aroma, íz, szín (J. R. Santos et al. 2016), pH, kémiai összetétel (Kučera et al. 2016), tömegveszteség, a felszabaduló gázok kémiai összetétele és térfogata (Dorfner et al. 2004). Ipari körülmények között az említett paraméterek online mérése/ nyomon követése igen nehezen kivitelezhető, habár ezek segítségével az optimális pörköltégi állapot meghatározható lenne, így a pörkölési folyamatot a megfelelő pillanatban tudnák leállítani az alul- vagy túlpörkölődés veszélye nélkül.

Az iparban használt analitikai módszerek gyakran bonyolultak, költségesek és időigényesek, mivel minta előkészítésre, illetve kémiai beavatkozásokra van szükség, hogy a laboratóriumban „offline” megbecsüljék a termék minőségét. Továbbá ezek a módszerek nem hatékonyak, mivel a nyersanyag minősége változik a laboratóriumi mérések között. Ennél fogva, az esetek többségénél a pörköltő mesterek lényeges szerepet játszanak az elvárt minőség elérésében.

A szakirodalmi elemzés alapján hiányosságokat fedeztem fel a kávé pörköltégi fokának meghatározási módszerében és a kávé idegen anyag tartalmának gyors meghatározását illetően. Az előbbieket alapján tehát olyan módszerek kidolgozására van szükség, amelyek képesek indikálni a pörkölés végét a fogyasztó által elvárt minőség elérése érdekében, lehetővé téve a pörkölés folyamatának on-line nyomon követését.

A másik kidolgozásra váró, gyors módszer feladata kimutatni a kávéban esetlegesen előforduló vagy szándékosan bekevert idegen anyagokat, amely a minőség-ellenőrzés során rutinszerűen alkalmazható.

### 3. Célok

Doktori dolgozatom céljai a következők voltak: olyan elektronikus nyelv mérésen vagy látórendszeres mérésen alapuló gyors **módszer fejlesztése**, amely lehetővé teszi a pörkölés során bekövetkező íz- és színbeli változások nyomon követését, valamint alkalmas a kávéban esetlegesen előforduló, ízhibát okozó anyagok detektálására, ez által a kávéhamisítás tényének és mértékének meghatározására.

A módszerfejlesztés során két műszerre fókuszáltam, a látórendszerre és az elektronikus nyelvre.

#### Látórendszer esetében:

- feladatomban tartottam a szemes kávé pörköltiségi állapotának nyomon követését a pörkölés közben bekövetkező színváltozás elemzése alapján, az alul- vagy túlpörkölés elkerülése érdekében,
- valamint, hogy már őrlemény formájában detektáljam az ízbeli eltérést előidéző idegen anyag jelenlétét az őrlött-pörkölt kávéban, lehetővé téve az élelmiszerláncba történő mihamarabbi beavatkozást.

#### Elektronikus nyelv esetében:

- célom volt annak megállapítása, hogy alkalmas-e a műszer a különböző pörköltiségi fokú kávék pörkölés során bekövetkező ízbeli változásának nyomon követésére,
- további célom volt annak megállapítása, hogy idegen anyagokat tartalmazó kávéitalok esetén a műszer alkalmas-e az idegen anyagok kimutatására. Az emberi érzékszervi vizsgálat igen szubjektív és számos tényező befolyásolja, ezért egy objektív mérőeszközzel, az elektronikus nyelvvel végeztem a méréseimet. Ezáltal meghatározásra kerül az elektronikus nyelv kimutathatósági küszöbértéke és ennek következtében az ízben történő változás nyomon követése az őrlött-pörkölt árpa hozzáadása esetén.

Célom volt továbbá a kávéban esetlegesen előforduló idegen anyagok (őrlött-pörkölt árpa) detektálására és a pörköltiségi állapot nyomon követésére alkalmas hordozható **célműszer kifejlesztése**. A műszer optikai módszeren alapszik, ezáltal segítséget nyújthat az ellenőrző hatóságoknak, illetve az ipar számára a helytelen jelölés (nem megfelelő keverési arány) kiküszöbölésére, elkerülve ez által a fogyasztók megtévesztését. Valamint a pörköltiségi állapotot nyomon követve a berendezés alkalmas lehet a fogyasztók által elvárt/megszokott minőségű kávé előállítására.

## 4. Anyagok és módszerek

Az alábbi alfejezetekben a kávéval kapcsolatos kísérleteimben felhasznált anyagokat és módszereket mutatom be.

### 4.1. Felhasznált anyagok

A méréseimhez felhasznált alapanyagokat a Sara Lee Hungary Kft. és a Café Frei biztosította a számomra, valamint kereskedelmi forgalomból származó mintákat is beszereztem. Kutatásom során a kávék pörköltégi állapota és az idegen anyag tartalma szerinti elkülönülését vizsgáltam különböző módszerekkel.

A hamisítás esetén a potenciális hamisításra alkalmas anyagok meghatározása megtörtént. A szakirodalomban ágak, héjrészek, árpa, kukorica, szója, kávézacc és barna cukor voltak (főként Brazíliában) a kísérletek alapanyagai. Kutatási munkámhoz a hamisító anyagok közül az őrölt-pörkölt árpa került kiválasztásra, mivel hazánkban jelentős mennyiségű gabonakávé is forgalomban van, melynek legfőbb összetevője az árpa. Így az árpán keresztül szeretném bemutatni egy módszer kidolgozását, melyhez hasonlóan tesztelhető a rendszer más, potenciális hamisító anyagokra a kávéban.

#### 4.1.1. A pörkölési idő hatásának elemzése a kávé színére és ízére különböző pörköltégi fokú arabica kávé vizsgálatával

A pörkölési folyamat közben bekövetkező változások vizsgálatához és nyomon követéséhez 100%-os arabica kávékat használtam alapanyagként. A Café Frei által biztosított 1,2kg adott országból származó, zöld arabica kávékat hat részre osztottam és ezeket különféleképpen pörkölttem meg az iRoast2 (Hearthware, Inc., U.S.A., szintén a Café Frei által biztosított) pörkölővel. A pörkölés három fázisa a pörkölőben beprogramozásra került az időt és hőmérsékletet illetően: 1. fázis- 1,5 perc, 180°C, 2. fázis- 2 perc, 200°C és a 3. fázisban 200°C-on pörkölttem a kávémintákat 3,2; 3,8; 4; 5; 6 és 7 percig. Ezáltal létrejött egy világos pörkölésű (L1, L2, L3) és egy sötét pörkölésű (D1, D2, D3) csoport. A minták világos és sötét pörköltégi fokának megállapítása önkényesen, az ipari gyakorlatnak megfelelően történt.

A kísérlethez kereskedelmi forgalomból származó, különböző gyártók által feldolgozott, 100%-os arabica kávék is beszerzésre kerültek, melyeket B1, B2, T1, FK és FE jelölőkkel láttam el (4. táblázat). Ezek a minták három különböző gyártó termékei, az azonos betűvel kezdődőek azonos gyártóhoz tartoznak, de ezek pörköltségükben és az alapanyag származási helyét illetően eltérőek. A szemes kávé vizsgálatát követően a mintákat ugyanolyan szemcse nagyságúra őröltem az iparban is használt késes őrlő segítségével. A megfelelő szemcseméret 0,3–0,6 mm közötti. Az iparban is az egységes szemcseméret a jellemző.

**4. táblázat** A különböző pörköltégi fokú, 100% arabica kávék elnevezése, a saját pörkölésű minták pörkölési ideje a pörkölés 3. fázisában, és a mintákon alkalmazott mérési módszerek.

	<b>Az arabica minták elnevezése</b>	<b>Saját pörkölésű vagy kereskedelmi</b>	<b>Pörkölési idő a 3. fázisban, perc</b>	<b>Dr. Lange színmérés</b>	<b>Látórendszeres mérés</b>	<b>Elektronikus nyelv mérés</b>	<b>Érzékszervi bírálat</b>
1.	L1	saját	3,2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	L2	saját	3,8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	L3	saját	4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	D1	saját	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	D2	saját	6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	D3	saját	7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
7.	B1	kereskedelmi	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
8.	B2	kereskedelmi	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
9.	T1	kereskedelmi	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10.	FK	kereskedelmi	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11.	FE	kereskedelmi	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-

Az arabica mintákat mind látórendszerrel, mind elektronikus nyelv műszerrel megvizsgáltam, illetve Dr. Lange LK-100 színmérő (Dr. Lange GmbH, Dusseldorf, Germany) segítségével állapítottam meg a minták színét.

A minták közül hetet, melyek közül az egyik a referencia volt, érzékszervi bírálatnak is alávettem. A bírálat előtt a kávéitalokat frissen készítettem el. Minden őrölt-pörkölt kávéból 6g-ot mértem ki és 100ml forró vízzel forráztam le azokat, majd szűrőpapíron szűrtem le az italokat a kóstoláshoz.

#### 4.1.2. Robusta kávéhoz kevert őrölt-pörkölt árpa mint idegen anyag jelenlétének felderítése

A gabonakávéban használt kávéfaj a robusta, amely az arabica kávéval összevetve olcsó alapanyag. A kísérleteimben a robusta kávé vizsgáltam mint a gabonakávék egyik gyakori alkotóeleme. Az őrölt-pörkölt kávéban esetlegesen előforduló idegen anyagok detektálhatóságát az árpa robusta kávéhoz való keverésével vizsgáltam. Egyfajta, a kereskedelmi forgalomban is kapható őrölt-pörkölt robusta kávé (vietnámi, ugandai és tanzániai robusta keveréke, ezt a további méréseimnél K-val jelöltem) és egyfajta őrölt-pörkölt árpa (Dr. Lange készülékkel kb 100- as szín +/- 5 és 50-60 perc pörkölési idő) képezte a mérés alapját. Az árpát 0-80 m/m%-ban kevertem a robusta kávéhoz, a kapott mintákat a százalékos robusta tartalom szerint neveztem el (5. táblázat). A két, beszerzett kereskedelmi gabonakávéban a csomagoláson található információk alapján (OT) 49%, illetve (AF) 53% volt az árpátartalom.

**5. táblázat** Az őrölt-pörkölt robusta (K-típusú)-árpa keverékek és a kereskedelmi forgalomból származó gabonakávék elnevezése és árpátartalma, valamint a mintákon alkalmazott mérési módszerek.

	<b>A minták elnevezése</b>	<b>Árpátartalom, m/m%</b>	<b>Saját készítésű keverék vagy kereskedelmi minta</b>	<b>Látó-rendszeres mérés</b>	<b>Elektronikus nyelv mérés</b>	<b>Érzékszervi bírálat</b>
1.	100RK	0	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	99RK	1	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	95RK	5	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	90RK	10	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
5.	80RK	20	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	50RK	50	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7.	20RK	80	saját	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
8.	AF	53	kereskedelmi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9.	OT	49	kereskedelmi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

A mintákat látórendszerrel és elektronikus nyelv műszerrel vizsgáltam. Az őrölt-pörkölt kávéminták egy részét szemrevételezéses érzékszervi bírálatnak vettem alá, annak érdekében, hogy megvizsgáljam a laikus bírálók érzékenységét a kávéban esetlegesen előforduló idegen anyag jelenlétére.

4.1.3. Kétféle robusta kávéhoz kevert őrölt-pörkölt árpa kimutatása a kávéfajta hatásának elemzésére

Méréseimhez kétféle (különböző pörköltégi fokú és származási helyű) 100% őrölt-pörkölt robusta kávé (K-az előző kísérletben is alkalmazott kávéfajta, és P (csak vietnámi robusta, erőteljesebb pörköltésű) jelölőkkel ellátva) kevertem össze a 6. táblázatban látható arányoknak megfelelően (összesen 24 keverék) a már korábban is alkalmazott 100% őrölt-pörkölt árpával. Ismét lemérésre kerültek a kereskedelmi forgalomban kapható gabonakávék (AF és OT kódokkal ellátva).

**6. táblázat** A különböző, őrölt-pörkölt robusta kávékból (K, P) készült robusta-árpa keverékek és a kereskedelmi minták elnevezése, árpataartalma és a mintákon alkalmazott mérési módszer.

	<b>Az őrölt-pörkölt robusta-árpa keverékek elnevezése</b>	<b>Saját készítésű keverék vagy kereskedelmi minta</b>	<b>Árpata tartalom, m/m%</b>	<b>Látórendszeres mérés (LED és halogén megvilágítás)</b>
1.	100RK	saját	0	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	99RK	saját	1	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	95RK	saját	5	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	90RK	saját	10	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	85RK	saját	15	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	80RK	saját	20	<input checked="" type="checkbox"/>
7.	75RK	saját	25	<input checked="" type="checkbox"/>
8.	70RK	saját	30	<input checked="" type="checkbox"/>
9.	65RK	saját	35	<input checked="" type="checkbox"/>
10.	60RK	saját	40	<input checked="" type="checkbox"/>
11.	55RK	saját	45	<input checked="" type="checkbox"/>
12.	50RK	saját	50	<input checked="" type="checkbox"/>
13.	100RP	saját	0	<input checked="" type="checkbox"/>
14.	99RP	saját	1	<input checked="" type="checkbox"/>
15.	95RP	saját	5	<input checked="" type="checkbox"/>
16.	90RP	saját	10	<input checked="" type="checkbox"/>
17.	85RP	saját	15	<input checked="" type="checkbox"/>
18.	80RP	saját	20	<input checked="" type="checkbox"/>
19.	75RP	saját	25	<input checked="" type="checkbox"/>
20.	70RP	saját	30	<input checked="" type="checkbox"/>
21.	65RP	saját	35	<input checked="" type="checkbox"/>
22.	60RP	saját	40	<input checked="" type="checkbox"/>
23.	55RP	saját	45	<input checked="" type="checkbox"/>
24.	50RP	saját	50	<input checked="" type="checkbox"/>
25.	AF	kereskedelmi	53	<input checked="" type="checkbox"/>
26.	OT	kereskedelmi	49	<input checked="" type="checkbox"/>



A kétféle robusta kávéra azért volt szükség, hogy megvizsgáljam, megkülönböztethető-e a két fajta robusta kávé látórendszerrel. A látórendszer esetében kétféle (LED és halogén) megvilágítást alkalmaztam.

## 4.2. Alkalmazott módszerek

A következő alfejezetekben a különböző kávéminták mérésére alkalmazott módszerek és az általuk kapott adatok statisztikai elemzése kerül részletes bemutatásra.

### 4.2.1. Színmérési módszer bemutatása

A kávéiparban használt Dr. Lange Color Reflectance Meter LK-100 színmérő (Dr. Lange GmbH, Dusseldorf, Germany) segítségével állapítottam meg a saját pörkölésű és kereskedelmi forgalomból származó arabica kávéminták színét. A műszert, amely egy 640nm-es beépített szűrővel rendelkezik és a minta reflexiós tényezőjét méri, az iparban referenciamódszerként alkalmazzák a félkész és kész kávé színének mérésére (Wasserman et al. 2001).

A színmérés az őrlt-pörkölt kávémintákon történt. A mérés minta-előkészítést nem igényelt. A mintákon három párhuzamos mérést végeztem. Minél világosabbra volt pörköltve a minta, a műszer által kijelzett, dimenziómentes szám (a műszer kézikönyve szerint) annál nagyobbak adódtak.

Az eredmények feldolgozásához egyutas variancia analízist (ANOVA) alkalmaztam, amely megmutatja, hogy van-e szignifikáns különbség a vizsgált minták között a Dr. Lange értékeket illetően. A módszer lényege, hogy kettőnél több sokaság középértékeit hasonlítja össze minta alapján, emiatt a kétmintás t-próba általánosításának is tekinthető. Alkalmazásának feltételei a minták függetlensége, hogy azok normális eloszlású sokaságból származzanak és a sokaságok varianciája közel azonos legyen. Az ANOVA táblázatban található p-érték alapján dönthető el, hogy van-e szignifikáns különbség a csoportok között. Ha  $p < 0,05$ , akkor van legalább két olyan csoport, amelyek között az adott tulajdonságban a különbség szignifikáns, 5 %-os első fajú hiba mellett. Ahhoz, hogy megtudjuk, mely csoportok között van szignifikáns különbség, post-hoc tesztet kell alkalmazni. Ilyen az általam alkalmazott Tukey-teszt, amely a csoportokat páronként veti össze (a csoportok szórása megegyezik) (Næs et al. 2010).

#### 4.2.2. Látórendszeres mérési módszer bemutatása és a kapott adatok statisztikai feldolgozása

A digitális képfeldolgozás kávéhamisítás témakörében mindössze két publikációban (Scopus, Web of Knowledge alapján) jelent meg, ahol a kutatók barna cukor, héjreszek, kukorica és szójabab mennyiségét határozták meg arabica kávéban, az általam alkalmazott módszer viszont ettől eltérő. A méréshez használt látórendszer egy Hitachi HV-C20 3CCD kamerából (Canon TV Zoom lencsével) és 12 halogén lámpából (20W teljesítményű és 3200 K színhőmérsékletű) állt, melyek a speciális geometriai beállításnak köszönhetően a diffúz fényt biztosították (3. ábra). A diffúz megvilágítás nagy előnye, hogy elkerülhető az árnyékok okozta probléma. A készített képek mérete 768x576 pixelnek és optikai felbontása 0,0833 mm/pixelnek adódott. A mérés megkezdése előtt színetalonokat is lefotóztam (MOMCOLOR 88-06-00 (fehér), 88-06-02 (piros), 88-06-10 (zöld) és 88-06-13 (kék)), az esetleges korrekciók elvégzése érdekében.

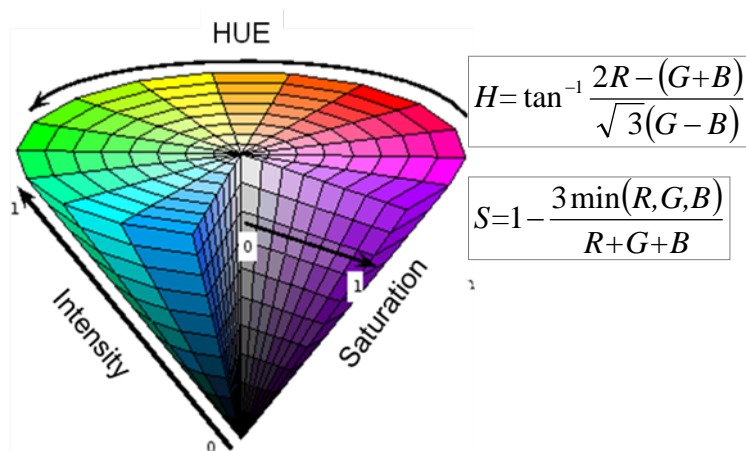
A céljaim közt szereplő, hordozható kézi műszer megvalósításához a halogén megvilágítás nem bizonyult a legmegfelelőbbnek, mivel a megvilágító fény színhőmérsékletét torzította a halogén lámpa külső burkolatának tükröződő felülete, ami ez által pirosas fénnel világította meg a mintát, így később a LED-es megvilágítást mint alternatívát is vizsgáltam.



**3. ábra** A látórendszer összeállításához felhasznált kamera (Hitachi HV-C20 3CCD, forrás: <http://www.turnkey-solutions.com.au/>) és a diffúz megvilágítást biztosító, halogén fényforrások geometriai elrendezése (a halogén lámpa külső burkolatának pirosas elszíneződése látható) (saját fotó)

Az adott mintát egy nyitott tetejű, kör alapterületű, fém mintatartóba helyeztem. Az egyenletes eloszlású és azonos mintamennyiség biztosítása érdekében egy műanyag lap segítségével távolítottam el a felesleges mintamennyiséget. A képkészítés után a mintát visszahelyeztem a tárolójába és összekevertem ugyanazon minta maradékával. A mérés minta előkészítést nem igényelt, 20 párhuzamos mérést végeztem minden mintával. Majd a további kísérleteknél a mérésszámot lecsökkentettem a minták homogenitásának köszönhetően.

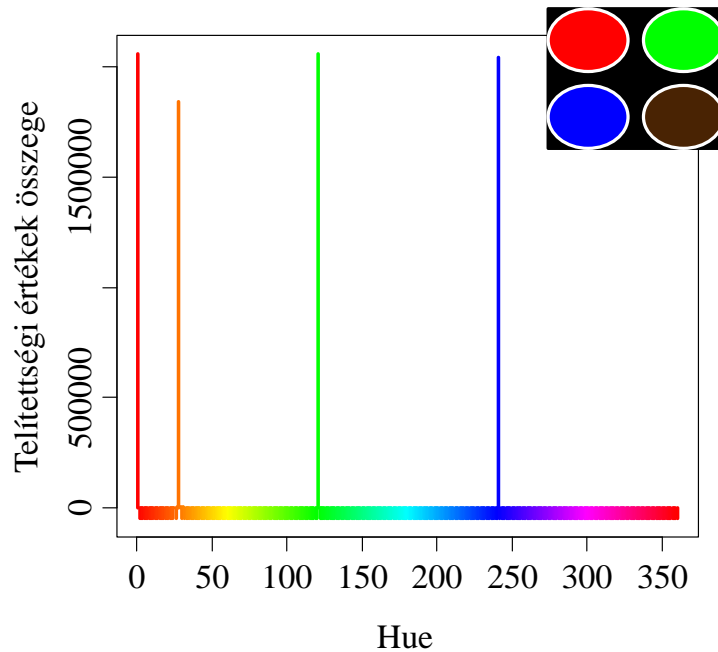
A képeket bitmap formátumban mentettem el (24 bit/pixel). Feldolgozásuk nem az RGB színrendszer alapján történt, hanem az elkészült képek egyes pixeleit a HSI színrendszerbe számoltam át Gonzalez és Woods (1992) egyenleteit használva.



**4. ábra** A HSI színrendszer ábrázolása, és az RGB színrendszerből való átszámításhoz használt képletek (forrás: <https://www.pantechsolutions.net/matlab-code-for-image-retrieval>)

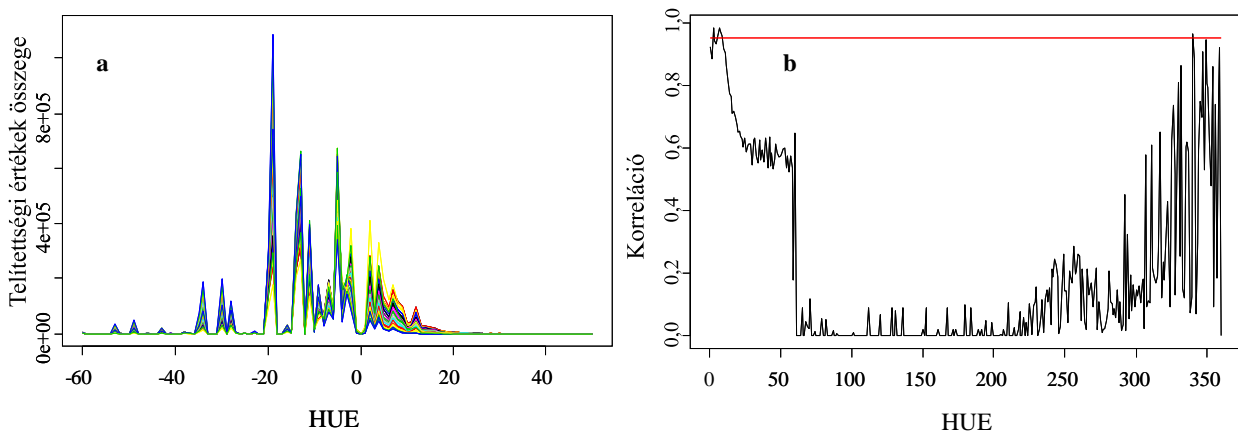
Az eredmények feldolgozásához a színezeti szöget (hue: 0-360°-ig) és a telítettségi értékeket (S) használtam fel (4. ábra).

A feldolgozási módszer lényege, melyet minden kísérletemnél alkalmaztam, hogy a telítettségi értékek összegét egy hisztogramba gyűjtöttem a hozzájuk tartozó színezeti szögnek megfelelően Baranyai et al. (2012) által alkalmazott módszer alapján, amellyel egy spektrum jellegű adatsort kaptam (5. ábra).



**5. ábra** Fekete alapon, fehér körvonallal ellátott piros, zöld, kék és barna színminták szaturációs hisztogramja a hue értékek függvényében

A fekete és fehér komponensek nem kerültek feldolgozásra, mivel ebben az esetben a három színkomponens (R, G, B) azonos értéket vesz fel, ez által a szürkeskálán helyezkedik el és a telítettségi értéke nulla lesz. Így nincs szükség szegmentálásra, ellentétben a többi képfeldolgozó technikával.



**6. ábra** Halogén megvilágítás esetén a több, különböző vizsgált mintára kapott hue-telítettségi érték összege diagram (a) és a tipikus hue értékek kiválasztásának példa ábrája (b): a hue értékek adott tulajdonsággal való korrelációjának abszolút értéke.

Az 6. ábra/a részén egy általam mért mintasor tipikus hue tartományai láthatók halogén megvilágítás esetén. A 360 hue-ból tipikus hue értékeket választottam ki, melyek abszolút értékei az adott tulajdonsággal (Dr. Lange dimenziómentes érték a pörköltség jellemzésére, az árpátartalom az árpa-robusta keverékben) leginkább korrelálnak (6. ábra/b), így az elemzések során hat tipikus hue értékhez tartozó adatokat dolgoztam fel (Spearman-féle korreláció).

Az adatok feldolgozásához egy nyílt forráskódú, ingyenesen elérhető programot, az R projectet használtam (R- studio 3.0, Boston, USA). Az adatelemzéshez PCA, LDA, PQS, PLSR és SVM radiális kernel módszereket használtam.

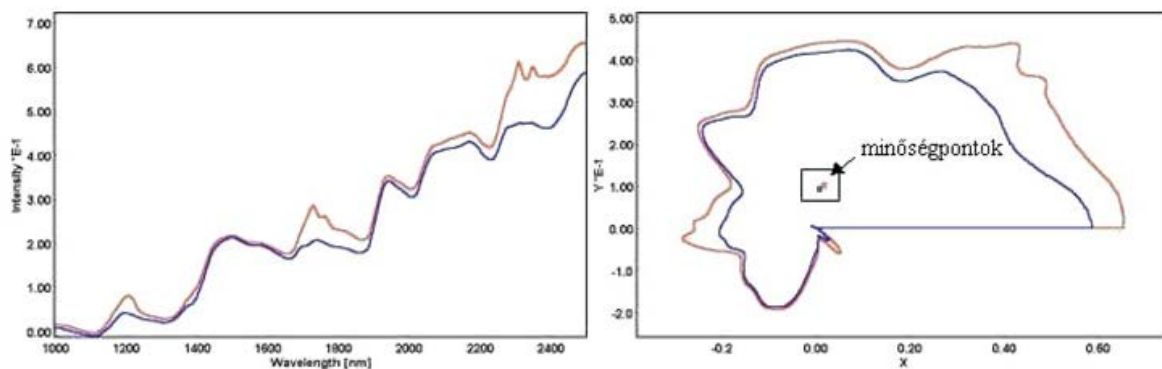
A kapott adatok kiértékelése során különbségeket tapasztaltam a spektrumok között (az amplitúdók (telítettségi értékek összege) nagymértékben szórtak, amely pedig csak spektrumonként értelmezhető). Az egyes minták adatainak normálása céljából SNV-t (Standard Normal Variate) alkalmaztam, amely gyakran használt a NIR adatok feldolgozásában is (Balázs et al. 2011). Az SNV-nek (képletét az 1. egyenlet tartalmazza, amely a képfeldolgozás során nyert adatok normálására alkalmazható Balázs et al. 2011 nyomán) meg van az a képessége, hogy a spektrumban mind az additív, mind a multiplikatív hatást csökkenti. Így minden egyes spektrum centralizált lesz és aztán a megfelelő szórás alapján skálázódik az adatok jelentős mértékű transzformációja nélkül (Barnes et al. 1989).

$$1 \quad s_i^{SNV} = \frac{s_i - \bar{s}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2}{n - 1}}}$$

Az adatok normálását követően az eredmények feldolgozásához többváltozós statisztikai módszereket alkalmaztam. A PCA egy nem felügyelt módszer, amely az adatokon belüli fontos információk elvesztése nélkül redukálja a széles, többváltozós adatmátrixot egy sokkal kevesebb változót tartalmazó mátrixba. A módszer elve, hogy a többváltozós adat lebontható lineáris vetítéssel egy új koordináta-rendszerbe. Az új tengelyeket főkomponenseknek nevezzük (PCs), melyek úgy orientálódnak, hogy az első főkomponens tartalmazza az adatok varianciájának legnagyobb részét. A következő főkomponens az elsőre merőlegesen helyezkedik el, az adatok varianciájának második legnagyobb részét magában foglalva. A főkomponensek száma limitált, az eredeti többváltozós adatmátrix változóinak számával. Az új, többdimenziós térbe való átvetítésnek köszönhetően az adatok varianciája igen kis számú főkomponenssel leírható az eredeti adatok korrelációja és redundanciája miatt. A módszer hátránya, hogy gyakran nehéz feltárni a főkomponensek fizikai, kémiai, gazdasági jelentését, tartalmát (Richards et al. 2002).

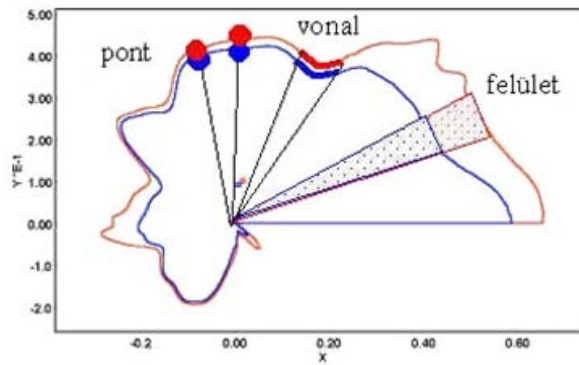
Az LDA ezzel szemben egy felügyelt adatredukciós módszer, amelynél a modellépítéshez a csoportokat előre definiálni kell. A módszer úgy diszkriminál a csoportok között modellépítés során, hogy a csoportokon belüli szórást csökkenti. A csoportok az első diszkrimináns változó mentén diszkriminálhatóak a legjobban. A módszer hátrányának tekinthető, hogy a mintákat mindig az előre meghatározott kategóriák szerint osztályozza, holott előfordulhat, hogy egyik kategóriába sem tartoznak igazán bele (Berrueta et al. 2007). Az alapadatok modelljének validálása háromszoros kereszt-validációval (CV) történt: az adatok 2/3-át a kalibrációhoz, azaz a modellépítéshez használtam fel, míg a maradék 1/3-ot a validáláshoz, azaz a teszteléshez. Ezt a folyamatot még kétszer megismételtem, biztosítva, hogy minden megfigyelés szerepelhessen a modellépítésben és a validálásban is. A kereszt-validációs táblázatok a háromszoros kereszt-validáció átlagértékeit foglalják magukban. Ezt követően független validációt is végeztem, melyhez az alapadatokkal felállított modellbe belevetítettem az ismeretlen mintákat. Ebben az esetben a modellépítés az alapadatokkal történt és a modell validációja az ismeretlen mintákkal valósult meg.

A PQS (polár minősítő rendszer) egy általános és hatékony adatredukciós módszer, amelynek gyökerei a NIR spektrumok elemzéséig nyúlnak vissza. A spektrum jellegű adatok minősége a polár spektrum (polár koordináta rendszer, amelyben a sugár a spektrális érték, a szög a hullámhossz függvénye) középpontjaként definiálható. Ezt nevezzük a minták „minőségpontjainak” a kétdimenziós „minőségsíkon”. Ez az ábrázolásmód látható az 7. ábrán.



**7. ábra** Egy alacsony (kék) és egy magas (piros) zsírtartalmú tejporminta  $\log(1/R)$  spektrumának ábrázolása a derékszögű (balra) és a polár (jobbra) koordináta rendszerben (Balázs et al. 2011)

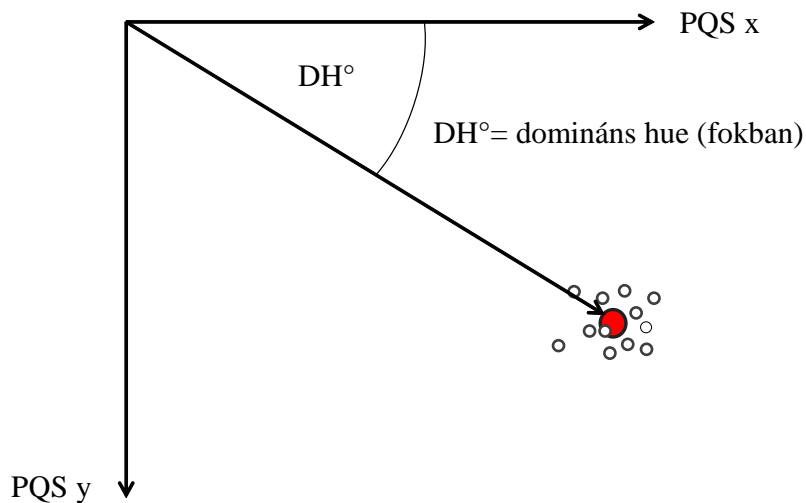
A minőségpont koordinátáinak kiszámítása háromféleképpen lehetséges: a pont, a vonal és a felület módszerekkel (Kaffka and Seregély 2002), ahogyan az a 8. ábrán is látható.



**8. ábra** A PQS módszerrel háromféle módon kiszámítható minőségpont ábrázolása (Balázs et al. 2011)

Az adatok feldolgozása során a teljes hue spektrumot figyelembe vettem és mindhárom megközelítést alkalmaztam.

A PQS-sel kapott legjobb megközelítések szerinti pontok (a polár síkon kapott súlypontok) jellemzésére egy új változót, a „domináns hue” értéket vezettem be, amely nem más, mint a PQS módszerrel meghatározott minőségpontba vezető vektor és az alapvonal között bezárt szög (9. ábra). A „domináns hue” értékeket arra használtam, hogy a vizsgált tulajdonságok (pörköltiségi fok, árpataartalom) között a kapcsolat szorosságát és jellegét megállapítsam.



**9. ábra** A „domináns hue” az origóból a minőségponthoz mutató vektor és az alapvonal között bezárt szög.

A domináns hue értékek kiszámítási módját a 2. egyenlet írja le a PQS módszerrel kapott adatokból, az eredmény fokban számolandó.

$$2 \quad DH^\circ = \arctan\left(\frac{PQSy}{PQSx}\right)$$

PLS regressziós módszert használtam a pörköltégi fokot jellemző Dr. Lange színérték becslésére, valamint az árpa arányának becslésére az árpa-robusta keverékekben a látórendszeres mérés eredményei alapján. A PLS módszert Herman Wold fejlesztette ki az 1960-as években. Ez egy lineáris regressziós módszer, amely a komponenseket (faktorok, látens változók) új független változókként (prediktorok) jeleníti meg a regressziós modellben. Minden lépésben az adathalmazból kivonja a tényleges és becsült adatok egy részét, ez által maradék képződik. Ha növeljük a látens változók számát, a modell egyre pontosabban írja le a becsült és tényleges adatok közötti összefüggést. A variancia összegének modellezése érdekében a módszer részleges kalibrációt alkalmaz ezekre a változókra, így egy átfogó kalibrációs egyenletet kapunk (Helland 1990; Wold et al. 2001). Az így kapott regressziós modell értékelése az  $R^2_{CV}$  és RMSECV értékek alapján történt (Hill and Lewicki 2007). A PLS regresszió esetében LOO keresztvalidációt alkalmaztam (Berrueta et al. 2007) az alapadatokból felállított modell elkészítésére. Majd ebbe a modellbe vetítettem bele a vizsgálni kívánt ismeretlen (kereskedelmi) mintákat.

Az SVM módszert Vapnik fejlesztette ki 1995-ben osztályozási problémák megoldására, de hamarosan a regresszióval kapcsolatos problémákra is kiterjesztették az alkalmazását (Gunn 1998). Szemben a hagyományos módszerekkel, melyek az empirikus tanulási hibát minimalizálják, az SVM célja a hiba révén keletkező felső korlát minimalizálása, maximalizálva az eltérést az elválasztó hiper sík és az adatok között. A módszert az a tulajdonsága teszi érdekessé, hogy a döntési határt a tanulóesetek egy részhalmazának segítségével reprezentálja igen kisszámú adatponttal, melyeket tartó vektoroknak nevezünk (Amari and Wu 1999; Ivanciuc 2007). Vannak olyan esetek, amikor a tanulóesetek osztályoknak megfelelő szétválasztása nem lineáris, ilyenkor célszerű átranzformálni az adatokat az eredeti koordinátáiból egy új térbe úgy, hogy a transzformált térben a minták egy lineáris döntési határral legyenek szétválaszthatók (kernel technika) (Cristianini and Shawe-Taylor 2000).

Az SVM módszernél a regressziós modell minden büntető paramétere (gamma, epsilon és cost values) alapértelmezett értékekre volt beállítva, illetve "radial" kernel és "eps-regression" modelleket alkalmaztam (Meyer 2015). A kapott modellek értékelése az  $R^2$ , az RMSECV (Hill and Lewicki 2007); a DW érték, az AIC és az RPD (Robinson et al. 2004) értéke alapján történt. Az AIC érték egy indikátor, amely a modell paramétereiből származó büntető és maradék értékekből áll. Nem lineáris regresszió esetén a modell illeszkedésének jóságát jelzi. Az alacsonyabb AIC érték jobb illeszkedést feltételez, a túlillesztettség veszélye nélkül.

Az SVM radiális kernel esetében a validáció az LDA-nál megismert háromszoros keresztvalidáció alkalmazásával valósult meg.



#### 4.2.3. Saját fejlesztésű célműszer (látórendszer) leírása

A későbbiekben kutatótársammal, Dénes Lajos Dénessel kialakítottunk egy zárt, mintatartóval rendelkező, IP kamerával (Samsung SNB-5001 CMOS érzékelővel) ellátott hordozható látórendszert.

A kiválasztásnál fontos szempont volt, hogy a kamera minden automatikája (fehéregyensúly, élesség) manuális legyen, mivel ez elengedhetetlen a reprodukálható mérések elvégzéséhez. A piacon jelenlévő analóg és digitális kamerák kínálatából a digitálist választottam, mivel ehhez nem kell digitalizáló kártyát beszerezni, így bármilyen személyi számítógéppel képes a kommunikációra. A kamera maximális térbeli felbontása 1280x1024. Ahhoz, hogy minél kisebb méretben legyen összeszerelhető a kívánt rendszer, kis fókusz távolságú optika (Fujian China TV Lens GDS-35 f=35mm 1:1.7) került beszerzésre.

A halogén megvilágítást LED-re cseréltem, mivel ugyanazt a fényerőt tudja biztosítani alacsonyabb teljesítmény mellett, mint a halogén izzó, így a melegedéssel nem kell számolni. A vizsgálandó minta megvilágítási módja kritikus pont a mérés szempontjából, mivel közvetlen megvilágítással mérési hibát vihetünk a rendszerbe. Emiatt diffúz, azaz falról visszaverődő fényt alkalmaztam. Már az első vizsgálatoknál megfigyeltem, hogy a halogén izzó nem a legmegfelelőbb a méréseimhez, mivel az izzó külső foncsor rétege vöröses színnel világítaná meg az objektumot, ami miatt a külső részét burkolattal kellene ellátni, így melegedést eredményez. A hordozható látórendszer esetében alkalmazott LED izzók körben, azonos beesési szögben lettek felszerelve (6db SMD LED, teljesítmény: 5,4W, színhőmérséklet: 5600K) egy csonka kúp kialakítású műanyag doboz peremén a közvetett megvilágítás elősegítésére, mivel a fénysugarak először a doboz belső fehér falára esnek, majd innen verődnek vissza a mintatartóba helyezett mintára. A képek feldolgozása a korábbiakban alkalmazottak szerint történt.

#### 4.2.4. Érzékszervi bírálat során alkalmazott módszer leírása

A különböző pörkölésű kávéból készült kávéitalok ízbeli eltérését érzékszervi bírálat keretében is megvizsgáltam. A bírálatban 20 képzetlen (laikus) bíráló vett részt. A vizsgálat során frissen elkészített kávéitalokat (ISO 6668:2008 (ISO/FIDS 6668:2008 2008) alapján: 7g kávé 100 ml forrásban levő vízzel 5 percig elkeverve, majd 55°C-ra hűtve) értékelték egy referencia mintához hasonlítva, rangsorolós módszerrel az ISO 8587:2006 (ISO/FIDS 8587:2006 2006) szabványnak megfelelően (Deutsches Institut für Normung Normenausschuss Lebensmittel und Landwirtschaftliche Produkte 2009). A résztvevőknek egy strukturálatlan skálán (14 cm hosszú) kellett bejelölniük, hogy a referencia mintához képest, melyet előzetesen egy kávészakértő is megkóstolt, milyennek érzékelték a vizsgált hat kávémintát. A kávészakértő által bírált referenciaminta eredményeit használtam fel referenciaértékként (7. táblázat). A bírálat célja, a kávéitalok értékelése volt globális aroma, savas íz, keserű íz, pörkölt íz és kávé íz intenzitás, valamint preferencia (előre nem értékelt) szempontjából.

**7. táblázat** A kávéitalok érzékszervi bírálatánál alkalmazott referencia minta előre bejelölt értékei az egyes vizsgált tulajdonságok esetén

	<b>Vizsgált tulajdonságok</b>	<b>A referencia mintára (T1) jellemző tulajdonságok %-ban</b>
1.	globális aroma intenzitás	75
2.	savas íz intenzitás	75
3.	keserű íz intenzitás	75
4.	pörkölt íz intenzitás	50
5.	kávé íz intenzitás	65

Az őrölt-pörkölt kávéban esetlegesen előforduló idegen anyagok detektálhatóságát érzékszervi bírálat keretében vizsgáltam, felmérve a laikus fogyasztók érzékenységét. A bírálatban 62 egyetemi hallgató vett részt, akik nagy része rendszeres kávéfogyasztó.

Az érzékszervi vizsgálat szemrevételezéssel, a korábban is alkalmazott rangsoroláson alapuló módszerrel valósult meg. A bírálók egy fehér tálcán fehér tégelyekben hat különböző, háromjegyű kódszámmal ellátott mintát, valamint egy referencia mintát kaptak. A bírálat során a megvilágítás állandó színhőmérsékletű volt. Az érzékszervi bírálati lap négy tulajdonságra fókuszált: sötét barna színintenzitás, egységes barna szín, egységes szemcseméret, valamint az idegen anyag jelenléte.

A bírálóknak egy strukturálatlan skálán (14 cm hosszú) kellett bejelölniük, hogy a referencia mintához képest (melyet én már jelöltem - 8. táblázat), milyennek látják a többi mintát (a skálán balról jobbra haladva a kevésbé jellemzőtől a leginkább jellemző felé), így az eredményeket %-ban kaptam meg. A bírálati lapon rákérdeztem még az esetleges látásproblémákra és a kávéfogyasztási szokásokra is.

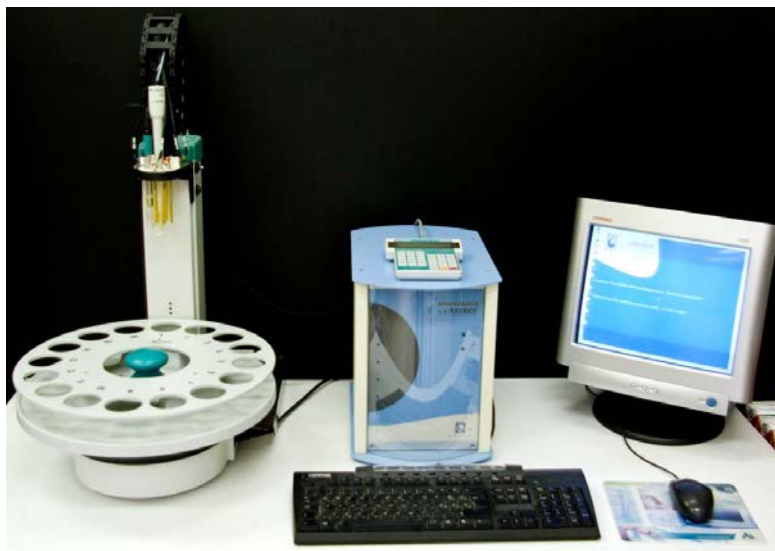
**8. táblázat** Az örölt-pörkölt árpa-robusta kávéminták szemrevételezéses érzékszervi bírálatánál alkalmazott referencia minta előre bejelölt értékei az egyes vizsgált tulajdonságok esetén

	<b>Vizsgált tulajdonságok</b>	<b>A referencia mintára (100RK) jellemző tulajdonságok %-ban</b>
1.	sötét barna színintenzitás	100
2.	egységes barna szín	100
3.	egységes szemcseméret	100
4.	idegen anyag jelenléte	0

Az adatok megjelenítéséhez minden vizsgált tulajdonságra külön boxplot ábrát készítettem az összes bírálóval az R project programban. A boxplot ábra a leíró statisztika öt legfontosabb értékén alapszik: minimum, maximum, alsó kvartilis (negyedelő pont), felső kvartilis, medián. Maga a box egy számegyenes mentén megjelenő, a két negyedelő érték által határolt doboz, a medián értéknél egy törésvonal található (Hoaglin 2015). A bíráló kiválasztás során minden tulajdonság esetében visszakerestem, hogy melyik bírálóknak voltak kiugró adatai. Azon bírálók eredményeit, akik nem voltak konszenzusban a csoport többi tagjával, a további feldolgozás során nem vettem figyelembe. Az eredményeket egyutas variancia analízissel (ANOVA) dolgoztam fel annak megállapítására, hogy az adott tulajdonságban van-e szignifikáns különbség a minták között. Annak vizsgálatára, hogy mely minták között tapasztalható szignifikáns különbség, Tukey-tesztet alkalmaztam a 4.2.1-es fejezetben leírtak alapján.

#### 4.2.5. Elektronikus nyelv mérésnél alkalmazott módszer leírása

A kávéitalokat az Alpha Astree II (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország) potenciometrikus elektronikus nyelv készülékkel vizsgáltam, amely a 10. ábrán látható.



**10. ábra** Az Alpha Astree elektronikus nyelv

Az elektronikus nyelv alkalmas a folyadékban oldott szerves és szervetlen komponensek mérésére, ezáltal minőségi elemzést tesz lehetővé. Ez az úgynevezett „ujjlenyomat” elemező technológia. Egy automata mintatartó egységből (LS16) áll, amely 16 mérőhelyet tartalmaz. A potenciometrikus érzékelők ChemFET, vagy még pontosabban ISFET kémiai szenzorok, amelyek szerves membrán burkolattal vannak ellátva. Közös jellemzőjük, hogy keresztérzékenységgel és részleges szelektivitással rendelkeznek, amely minden, a folyadékban oldott szerves és szervetlen komponensre érzékennyé teszi azokat, de eltérő érzékenységi szinten. Minden minta esetében hét szenzorral történt a mérés, amelyeket a gyártó SWS, BRS, GPS, SRS, STS, UMS és SPS vagy ZZ, BA, BB, CA, GA, HA és JB névvel látott el. Az elektronikus nyelv szenzorsora egy Ag/AgCl referencia elektródot is tartalmaz, mely a hét szenzorral együtt merül a mérendő folyadék mintába és regisztrálja a köztük fellépő potenciálkülönbséget.

Az Illy és Viani (2005) által javasolt mennyiségre és a korábbi, kávéval kapcsolatos méréseimre alapozva meghatároztam a mérendő koncentrációt, amely 6g/100ml volt minden esetben. Az árpa-kávé keverékből is ekkora mennyiség került kimérésre.

A kávéitalok elkészítése során tehát 6 g őrölt-pörkölt kávé került kimérésre egy főzőpohárba, amelybe 100 ml forrásban levő desztillált vizet öntöttem és 7 percig hagytam, hogy extrahálódjon a kávé, majd leszűrtem a kávézaccot szűrőpapír segítségével. Ez az úgynevezett forrázási technika, amelyet a kávéiparban is alkalmaznak az italok érzékszervi bírálatra történő előkészítésekor. Majd az így nyert kávéitalokból 10-10 ml-t kipipettázva desztillált vízzel tízszeresére hígítottam a mintákat. Az elektronikus nyelv kondicionálása HCl oldattal, míg kalibrációja a két, összetételét tekintve a skála két végén található, mérendő mintákból készült keverékkel, vagy az összes mért minta keverékével valósult meg. A mérések szobahőmérsékleten történtek, minden minta mérési ideje 120s, amiből csak az utolsó 10s került feldolgozásra, ahol az egyensúlyi állapot beállt. Az elektronikus nyelv mérés során az egyes minták kilenc párhuzamos mérésnek lettek alávetve. A szenzorok tisztítása desztillált vízben történt 15s-ig, minden mintának saját tisztítása volt. Az adatok feldolgozásához a látórendszeres adatok értékeléséhez is használt R project szoftvert alkalmaztam. A többváltozós szenzor adatok redukciója érdekében az adatfeldolgozás PCA és LDA, valamint PLS regresszió (LOO keresztvalidáció) felhasználásával történt, a kiugró adatok elemzése és szenzorkiválasztás után. A szenzorok kiválasztása a boxplottal történő ábrázolásuk alapján történt, mivel ekkor látszott, mely szenzorok képesek különbséget tenni a mért minták között. A kiugró adatok elemzése a PCA alapján valósult meg.

## 5. Eredmények és értékelésük

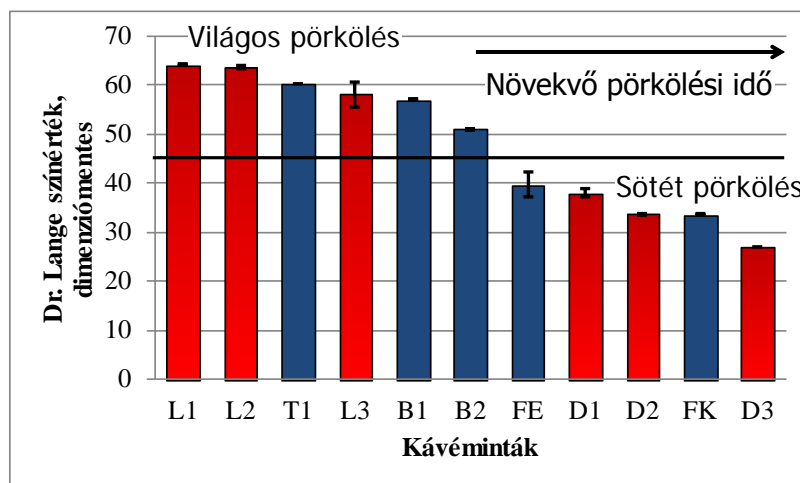
Disszertációm következő alfejezeteiben a különböző módszerekkel kapott mérési adatok feldolgozásának eredményeit és azok értékelését részletezem.

### 5.1. A pörkölési idő hatásának elemzése a kávé színére és ízére különböző pörköltégi fokú arabica kávé vizsgálatával

A következőkben a pörkölési idő a kávé színére és ízére gyakorolt hatásának elemzését mutatom be a színméréssel, látórendszeres méréssel, érzékszervi bírálattal és elektronikus nyelv méréssel kapott eredményeim alapján.

#### 5.1.1. A különböző pörköltégi fokú arabica kávék színmérésének eredményei

A különböző pörköltégi fokú, saját pörkölésű és kereskedelmi, őrölt arabica kávéminták pörköltégi fokának jellemzésére szolgáló, Dr. Lange színmérővel kapott, dimenziómentes értékek (objektív, az iparban is használt jelzőszám) átlagát és szórását a 11. ábra mutatja. Jól látható a saját pörkölésű minták pörkölési időnek megfelelő színváltozása. Minél tovább pörkölttem az adott mintát, az érték annál kisebb lett.



**11. ábra** Dr. Lange színmérővel mért, dimenziómentes színértékek a különböző pörköltégi fokú, saját pörkölésű (piros) és kereskedelmi forgalomból származó (kék), őrölt, 100% arabica kávéminták esetén (minden mintánál három mérés átlaga és  $\pm 2\sigma$ )

A mérés alapján a kereskedelmi forgalomból származó kávék is besorolhatóak egy pörkölési sorba, mivel erre utaló mérőszám nem található a csomagoláson, csak azt tüntetik fel, hogy világos vagy sötét pörkölésű-e az adott kávé. A világos és sötét pörkölésű minták elválasztása a 45-ös Dr. Lange színértéknél történt az ipari gyakorlatnak és a kereskedelmi minták esetében a csomagoláson feltüntetett információknak megfelelően. Az ANOVA eredményei szignifikáns különbségeket mutattak a minták között a Dr. Lange színérték ( $p < 0,01$ ) alapján. A Tukey-teszt eredményei szerint az L1-L2 minták és a D2-FK minták nem különböztek szignifikánsan egymástól a Dr. Lange műszerrel mért adatok alapján.

#### 5.1.2. A különböző pörköléségi fokú arabica kávék látórendszeres mérésének eredményei

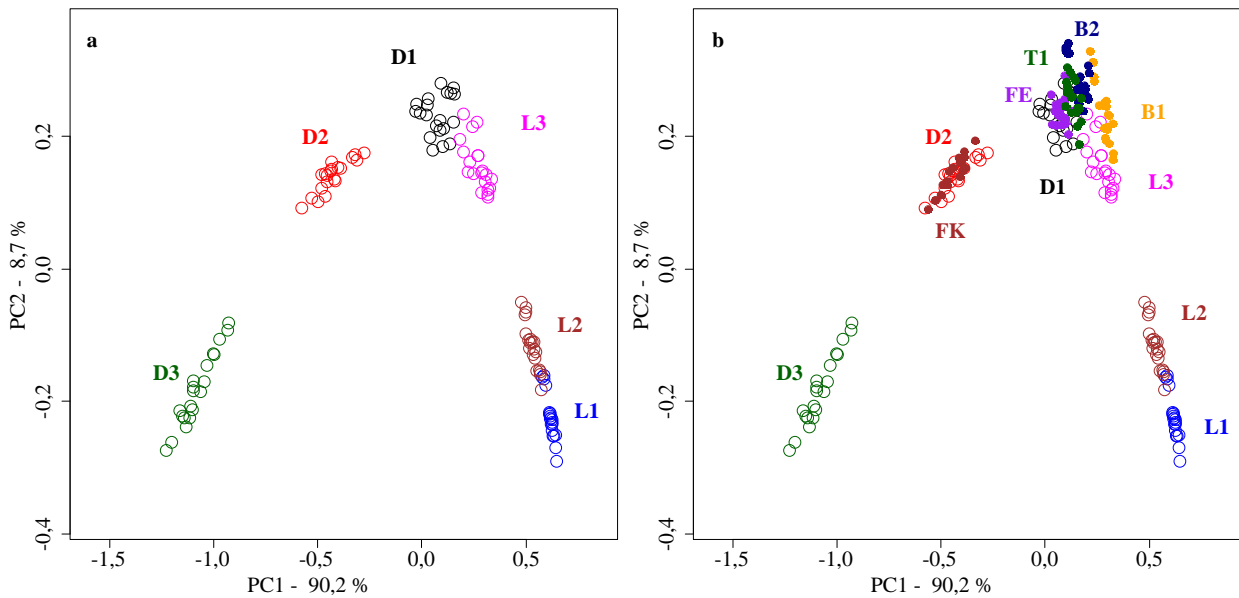
A következő alfejezetekben a szemes kávéminták és azok őrlményének vizsgálati eredményeit részletezem.

##### 5.1.2.1. A szemes arabica kávéminták látórendszerrel kapott adatainak feldolgozása

A látórendszeres mérés során elsőként a szemes kávé eredményeit dolgoztam fel, a kávé pörkölés során bekövetkező színváltozásának nyomon követése érdekében.

A hue értékek közül hatot választottam ki a pörkölési idővel való korrelációjuk ( $|r| > 0,97$ ) alapján.

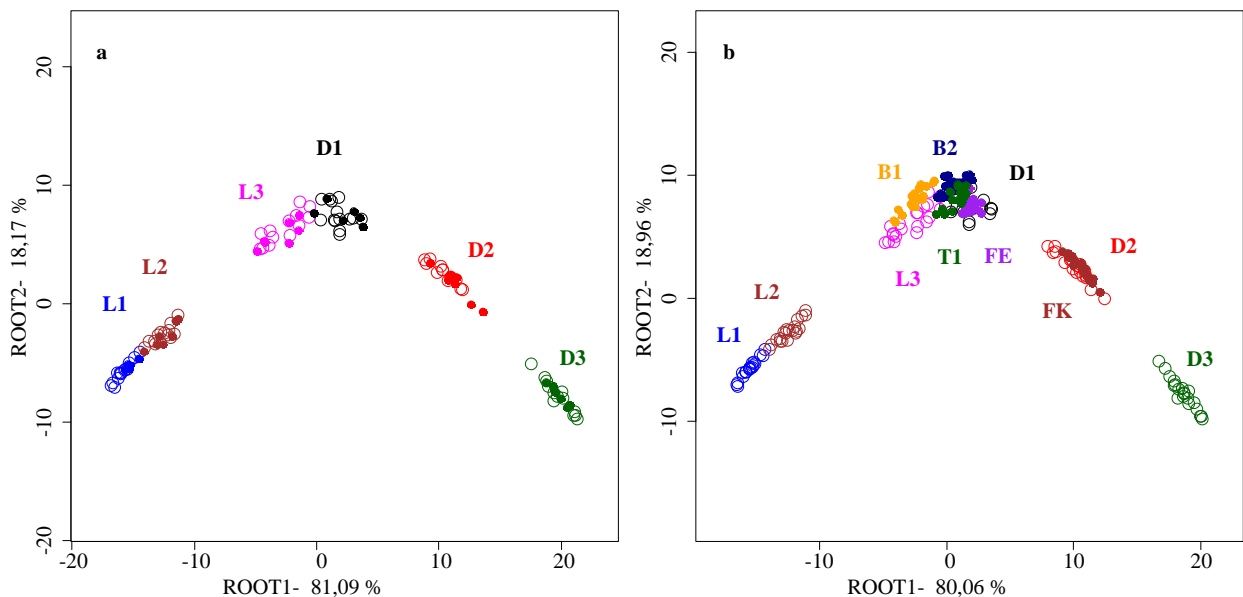
A saját pörkölésű, szemes, 100% arabica minták esetén a látórendszeres mérés PCA eredményei (12. ábra/a) azt mutatták, hogy az egyes minták csoportjai elkülönültek egymástól, az első és a második főkomponens mentén. Az első két főkomponens az adatok varianciájának több mint 98%-át írta le. A különböző pörköléségi fokú, szemes kávéminták pontjai az első főkomponens mentén a növekvő pörköléségi fok szerinti sorrendet követték. Az L1 és L2 világos pörkölésű minták pontjai, valamint az L3 és D1 minták csoportjai közel estek egymáshoz. A kereskedelmi forgalomból származó, szemes, 100% arabica kávémintákat belevetítve ebbe a modellbe (12. ábra/b) az látható, hogy a B1-B2 minták csoportjai az L3 világos, saját pörkölésű mintával fednek át, az FE kereskedelmi minta pontjai a D1 saját, sötét pörkölésű minta csoportjával, míg az FK a D2 mintával fed át. Ezek a hasonlóságok megfelelnek a Dr. Lange színmérő által mért eredmények alapján elvárt pörköléségi sorrendnek, kivéve a T1 esetében, amely a B2-vel volt átfedésben.



**12. ábra (a)** A különböző, saját pörkölésű, szemes, 100% arabica minták (üres karika) látórendszerrel kapott adatainak PCA ábrája (PC1-PC2, n=120), és **(b)** a különböző pörköltségű, szemes, kereskedelmi forgalomból származó, 100% arabica minták (tömött karika) belevetítése a felállított PCA modellbe (PC1-PC2, n=220)

A látórendszeres mérés LDA eredményei a 13. ábrán láthatóak. Az ábra „a” része a saját pörkölésű, szemes, arabica kávéminták csoportjai alapján felállított modellt mutatja. A csoportok közötti variancia közel 81%-át az első diszkrimináns változó írja le, amely mentén a különböző pörköltségű kávéminták csoportjai a növekvő pörkölési foknak megfelelően helyezkednek el. Az osztályozás során a legvilágosabbra pörkölt minták (L1, L2) pontjai igen közeli osztályokba estek. Ahogyan haladunk a sötét pörkölés felé, az osztályok egyre élesebben különíthetők el.





**13. ábra (a)** A különböző, saját pörkölésű szemes arabica minták (Root1-Root2, n=120, üres karika-kalibráció (2/3), tömött karika- validáció (1/3)) és **(b)** a felállított modellbe belevetített, kereskedelmi forgalomból származó, szemes arabica minták (Root1-Root2, n=220, üres karika-kalibráció (összes saját pörkölésű minta), tömött karika- validáció (összes kereskedelmi minta)) látórendszerrel kapott adatainak LDA ábrája

A 13. ábra „b” részén a kereskedelmi forgalomból származó kávéminták a saját pörkölésű kávéminták csoportjai alapján felállított modellbe vetítve láthatóak, a felállított pörkölési sorba való illeszkedésük megállapítása érdekében. A kereskedelmi minták csoportjai az első diszkrimináns változó alapján a sötét pörkölésű minták esetén követik a Dr. Lange dimenziómentes érték alapján meghatározott pörkölési sort. A T1 minta az osztályozás alapján a sötét pörkölésű minták csoportjához sorolódott, a Dr. Lange színérték szerint, amely az őrlemény színét méri, azonban világos pörkölésű (11. ábra). Ez a jelenség valószínűleg a gyártó által alkalmazott eltérő pörkölési technológiának köszönhető, melynek során a kávészem felszíne sötétebb, miközben a belső része világosabb. A kávészemek pörkölődése nem egyenletes, amely feltehetően egy rövid ideig tartó magas hőmérsékleti behatásnak köszönhető.

A modellépítés szakaszában a 9. táblázatban bemutatott háromszoros kereszt-validációs mátrix átlagos modellje alapján az L3 saját, világos pörkölésű minta pontjainak egy része a D1 minta csoportjába sorolódott. Így a kalibrációs modell pontossága 98,34%-nak adódott. A modell validációja során az osztályozás 97,5%-os volt, mivel az L1 minta csoportjának egy részét az L2 minta csoportjához, az L3 minta egy részét a D1-hez sorolta.

**9. táblázat** A különböző, saját pörkölésű, szemes, 100% arabica minták látórendszeres méréssel kapott adatainak LDA kereszt-validációs táblázata (a háromszoros keresztvalidáció átlagos modellje)

eredeti csoport	modellépítés, %						Összesen:
	D1	D2	D3	L1	L2	L3	
D1	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D2	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D3	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	100,00
L1	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	100,00
L2	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	100,00
L3	9,98	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>90,02</b>	90,02
Total:	109,98	100,00	100,00	100,00	100,00	90,02	<b>98,34</b>

eredeti csoport	kereszt-validáció, %						Összesen:
	D1	D2	D3	L1	L2	L3	
D1	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D2	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D3	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	100,00
L1	0,00	0,00	0,00	<b>95,05</b>	4,95	0,00	95,05
L2	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	100,00
L3	10,04	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>89,96</b>	89,96
Total:	110,04	100,00	100,00	95,05	104,95	89,96	<b>97,50</b>

Az összes saját pörkölésű mintával felállított modell alapján a kalibráció 98,33%-nak adódott (10. táblázat). Ebbe a modellbe belevetítve a kereskedelmi mintákat a becslés eredményeképp a B1 kereskedelmi minta a D1 és L3 minták csoportjaival volt átfedésben, az FE, T1 és B2 minták a D1 minta csoportjával, az FK a D2 minta pontjaival fed át.

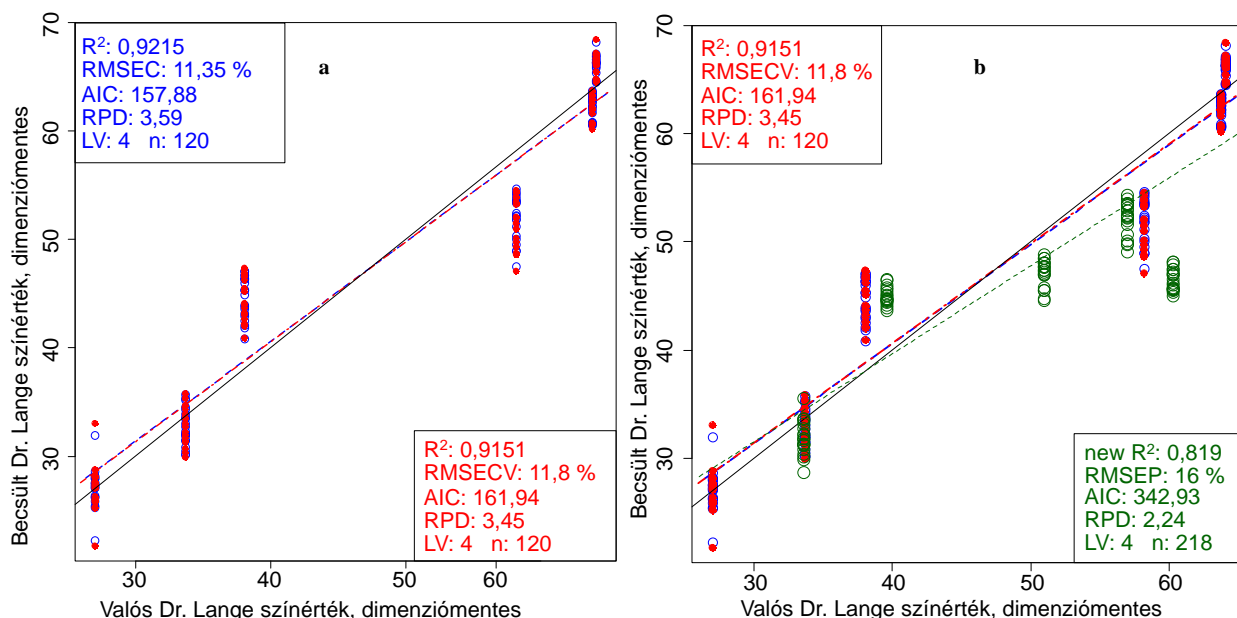
**10. táblázat** A különböző, saját pörkölésű, szemes, 100% arabica mintákra épített modell által a különböző kereskedelmi minták látórendszeres méréssel kapott adatainak LDA predikciós táblázata

eredeti csoport	modellépítés, %						
	D1	D2	D3	L1	L2	L3	Összesen
D1	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D2	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D3	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	100,00
L1	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	100,00
L2	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	100,00
L3	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>90,00</b>	90,00
Total:	110,00	100,00	100,00	100,00	100,00	90,00	<b>98,33</b>

eredeti csoport	független minták becslése, %						
	D1	D2	D3	L1	L2	L3	Összesen
B1	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	90,00	0,00
B2	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FE	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FK	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T1	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total:	310,00	100,00	0,00	0,00	0,00	90,00	<b>0,00</b>

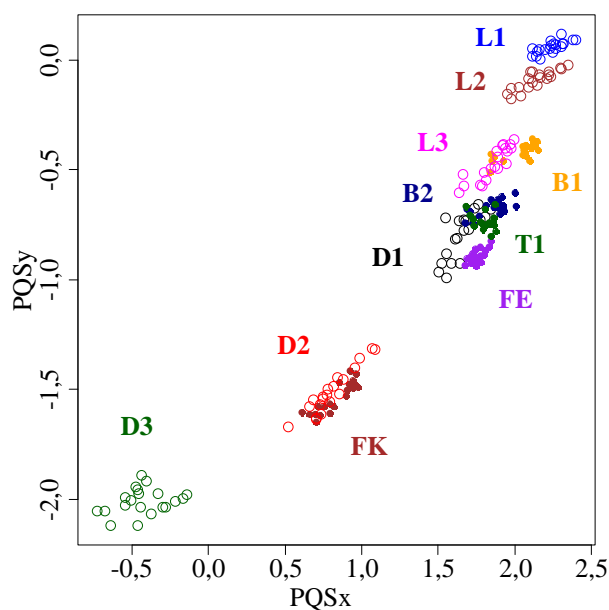
A hat kiválasztott tipikus hue érték alapján PLS regresszióval a látórendszeres mérés adataiból, a pörköltégi fokot jellemző, Dr. Lange színérték becslésének eredménye látható a 14. ábrán.



**14. ábra** (a) A különböző, saját pörkölésű, szemes 100% arabica minták (n=120, LOOCV) látórendszerrel kapott adataiból a pörköltégi állapot leírására szolgáló, Dr. Lange dimenziómentes érték becslése, és (b) a modellbe belevetített kereskedelmi minták (n=218, LOOCV) pörköltégi fokának becslése PLS regresszió segítségével

PLS regresszióval a saját pörkölésű, szemes kávémintákra felállított modell alapján a Dr. Lange színérték becslése szoros determinációs együtthatót ( $R^2=0,9151$ ) és 11,8%-os RMSECV értéket eredményezett. A kalibrációs és validációs modell AIC értékeit összevetve a kalibrációs modell jobbnak adódott, mivel az AIC értéke alacsonyabb volt. Az RPD érték szintén a kalibrációs modellnél volt jobb. A modellbe vetített, ismeretlen kereskedelmi minták becslése során kevésbé szoros korreláció és magasabb hiba jellemezte a modellt, az AIC érték magasabbnak, az RPD alacsonyabbnak adódott. A Dr. Lange színmérő őrölt formában méri a kávé színét, ezért nem meglepő, hogy a kávészemek színértékének becslésére kapott modellek hibája nem elhanyagolható. Ugyanakkor jelenleg nem létezik más módszer, amivel pörkölt szemes kávé végzett méréssel becsülhető lenne a belőle készült őrölt kávé színe (Dr. Lange érték).

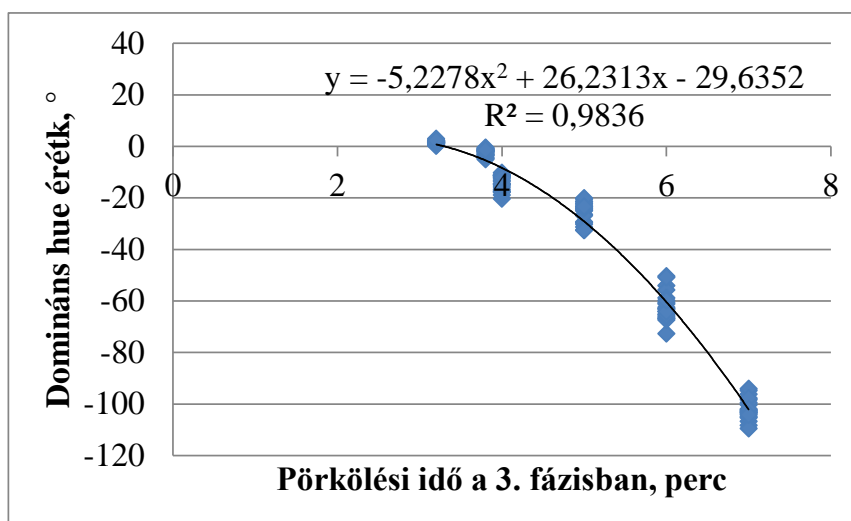
A látórendszeres méréssel kapott összes adat (tipikus hue értékek kiválasztása nélkül) PQS módszerrel történő feldolgozása esetében a koordináta és vonal alapú megközelítéssel (15. ábra) kaptam a legjobb eredményeket, ahol monoton változást követve, a pörkölési foknak megfelelő sorrendben különültek el a minták.



**15. ábra** A különböző, saját pörkölésű, szemes 100% arabica minták (üres karika) látórendszerrel kapott adatainak és az ebbe vetített szemes, kereskedelmi minták (tömött karika) vonal alapú PQS ábrája (n=220)

A PQS vonal alapú megközelítésével nyert koordinátákból kiszámított „domináns hue” értékkel bevezettem egy, a gyakorlat számára jól használható, könnyen alkalmazható új mérőszámot.

A kiszámított „domináns hue” értékeket a pörkölési idővel (pörkölés utolsó szakaszában beállított idő) vettem össze. Az összefüggés jellege a 16. ábrán látható. A domináns hue értékek változása monoton követi a pörkölés folyamatát.



**16. ábra** A domináns hue és a pörkölési folyamat utolsó szakaszában ( $T=200^{\circ}\text{C}$ ) beállított idő közötti összefüggés a saját pörkölésű, szemes, 100% arabica kávék esetén (érvényességi tartomány:  $3,2 \text{ perc} < t_{\text{pörkölési idő a 3. fázisban}} < 7 \text{ perc}$ )

A pörkölés kezdeti szakaszában egy lassabb változás figyelhető meg, nincs szignifikáns hatása a pörkölésnek. Majd ezt követően az idő előre haladtával a kávé színe jelentős változáson megy keresztül. Ez a változás jól követhető másodfokú modellel, mellyel az eltelt időből szoros korrelációval ( $R^2=0,9836$ ) tudunk következtetni a szemes kávé színére. A méréseim alapján az összefüggés a  $3,2 \text{ perc} \leq t_{\text{pörkölési idő a 3. fázisban}} \leq 7 \text{ perc}$  tartományban érvényes.

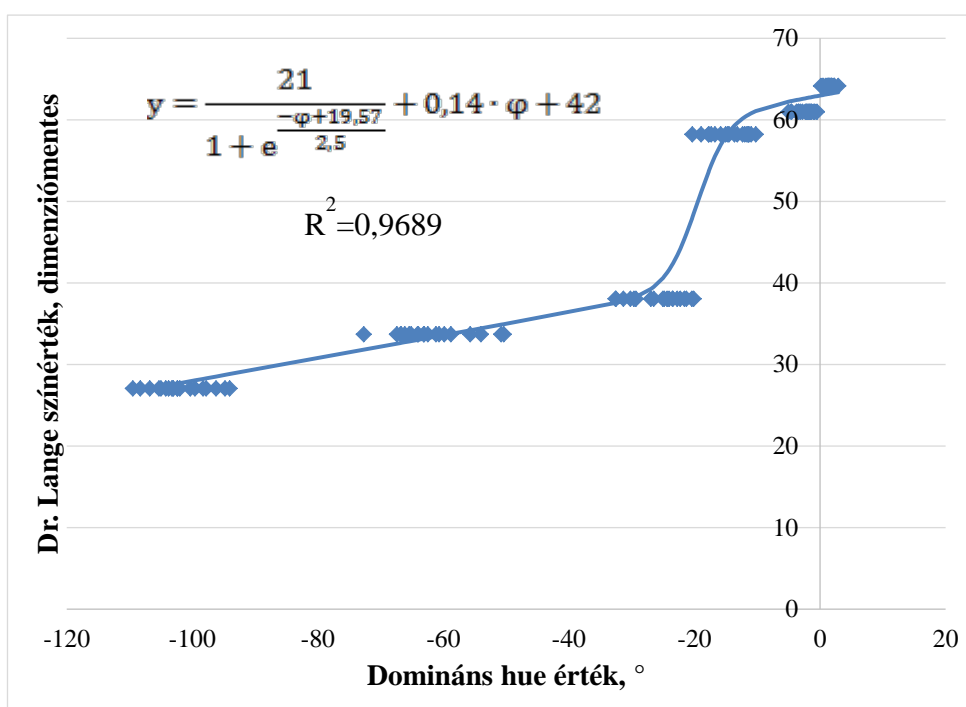
A „domináns hue” értékeket a Dr. Lange dimenziómentes színértékekkel vettem össze a saját pörkölésű, szemes kávéminták esetén.

Az összefüggést elemezve a modell három szakaszra bontható. Általában a pörkölés folyamata nehezen modellezhető, mivel többféle, eltérő lefutású szakasza is van (hirtelen változás, lelassuló folyamat), ezért a kapcsolatot egy lineáris modell és egy s-modell kombinációjával tudtam a legjobban jellemezni. Ezért egy komplex, szigmoid jellegű modellt hoztam létre, melynek elvi jelentősége mellett a gyakorlati haszna is kiemelendő. A pörkölés során az első percekben csak felületi elszíneződés figyelhető meg, azután indul be a kávé teljes átpörkölődése, amely kémiai reakciókkal is jár, ezért látható egyfajta átcsapás a modellben a világos és sötét pörkölésű mintacsoportok között.

Tehát a szemes kávé pörköltégi foka szigmoid jellegű görbével közelíthető a gyakorlat számára fontos intervallumon, melynek egyenletét a 3. egyenlet írja le, ahol  $\varphi$  a domináns hue,  $\varphi_{\text{átcsapás}}$  a világos pörkölésből a sötét pörkölésbe való átcsapás inflexiós pontjával azonosítható, a, b, c és d a modell paraméterei, melyek Excel Solverrel illeszthetők.

$$3 \quad \text{Dr. Lange színérték} = \frac{a}{1 + e^{\frac{-\varphi + \varphi_{\text{átcsapás}}}{b}}} + c \cdot \varphi + d$$

A különböző pörkölésű mintákra illesztett szigmoid jellegű modell a 17. ábrán látható. Az illesztett modell determinációs együtthatója 0,9689-nek adódott, az érvényességi tartománya:  $27,03 \leq \text{Dr. Lange színérték} \leq 64,15$ .



**17. ábra** A PQS vonal alapú megközelítése alapján jellemzett domináns hue és a Dr. Lange színérték közötti összefüggés saját pörkölésű, szemes kávé esetén (érvényességi tartomány:  $27,03 \leq \text{Dr. Lange színérték} \leq 64,15$ )

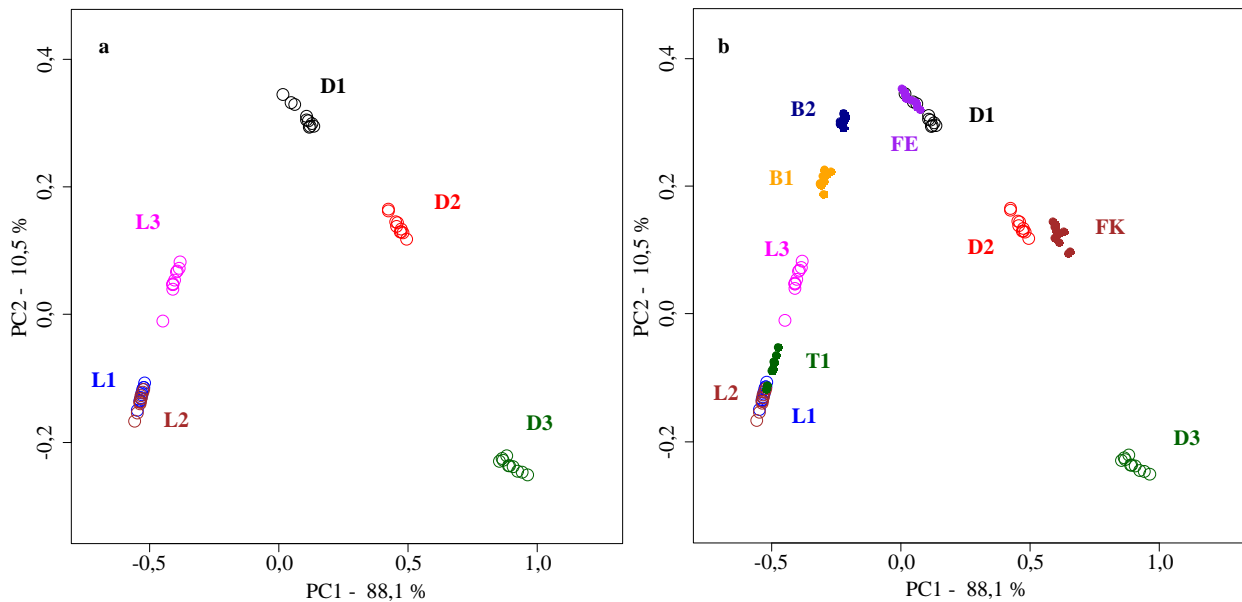
Adott fajtájú és pörköltégi fokú, szemes kávé mért domináns hue értékeire illeszthető a szigmoid jellegű modell, amely képes az őrölt kávéminták pörköltégi fokát jellemező Dr. Lange színértéket jól modellezni, anélkül, hogy a kávé megőrölnék.

#### 5.1.2.2. Az őrölt arabica kávéminták látórendszerrel kapott adatainak feldolgozása

A különböző, saját pörkölésű és a kereskedelmi forgalomból származó, szemes, 100% arabica mintákat azonos szemcsenagyságra őröltem egy, az iparban is használatos, késes daráló segítségével. A további kísérleteimben a kávémintákat őrölt állapotban is megvizsgáltam a szemes kávénál már megismert módszerekkel, mivel a Dr. Lange színmérővel szintén őrölt formában határozható meg a minták színe, ez által a módszerek összevethetővé válnak. A hue értékek közül kiválasztott hat tipikus hue érték esetén a pörkölési idővel való korrelációjuk  $|r| > 0,86$ .

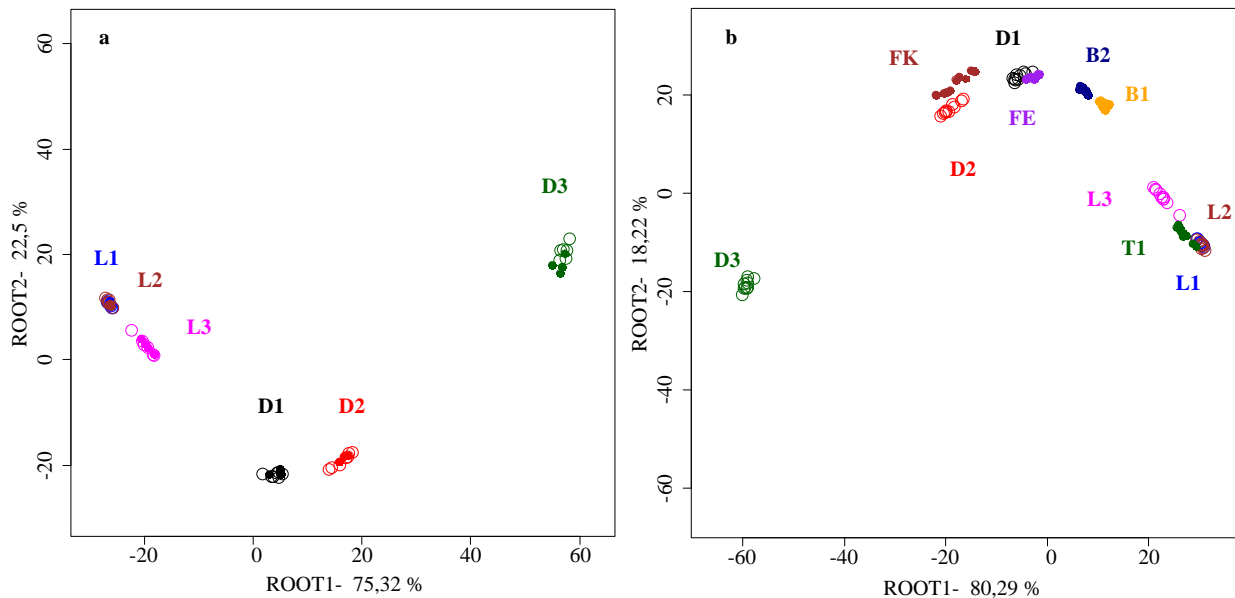
A különböző, saját pörkölésű, őrölt arabica minták látórendszerrel kapott adatainak PCA eredményei a 18. ábra „a” részén láthatóak. Az első két főkomponens az adatok varianciájának több mint 98%-át írta le, a világos és sötét pörkölés szerint az első főkomponens mentén különülnek el a minták. Igen nagy csoportok közötti távolság figyelhető meg a sötét pörkölésű minták között, míg a világosra pörkölt minták esetében csak az L3 minta csoportja válik külön a többitől. A 18. ábra „b” része a saját pörkölésű, őrölt minták által felállított PCA modellbe vetített kereskedelmi minták csoportjait mutatja. A világos, saját pörkölésű kávék csoportjai a T1 kereskedelmi minta pontjaival vannak átfedésben.

A B1 és B2 minták csoportjai igen közel állnak egymáshoz. Az FE sötét pörkölésű minta a D1 szintén sötét, saját pörkölésű mintával fed át, az FK ennél sötétebbnek mondható, mivel a D2 saját pörkölésű mintához közel helyezkedik el.



**18. ábra** (a) A saját pörkölésű, őrölt, 100% arabica minták (üres karika) (PC1-PC2, n= 60) és (b) az ebbe a modellbe belevetített kereskedelmi, őrölt, 100% arabica minták (tömött karika) (PC1-PC2, n=110) látórendszeres méréssel kapott adatainak PCA ábrája

A látórendszerrel mért, saját pörkölésű, őrölt kávéminták LDA ábrája (19. ábra/a) is jól mutatja az egyes csoportok elkülönülését az L1 és L2 minták kivételével. Az első diszkrimináns változó a csoportok közti variancia mintegy 75%-át írja le. Ennek mentén a különböző pörköltségű, őrölt kávéminták csoportjai a növekvő pörkölési foknak megfelelően helyezkednek el.



**19. ábra** (a) A saját pörkölésű, őrölt, 100% arabica minták (Root1-Root2, n=60, üres karika-kalibráció (2/3), tömött karika- validáció (1/3)) és (b) az ebbe a modellbe belevetített kereskedelmi, őrölt, 100% arabica minták (Root1-Root2, n=110, üres karika-kalibráció (összes saját pörkölésű minta), tömött karika- validáció (összes kereskedelmi minta)) látórendszeres méréssel kapott adatainak LDA ábrája



A saját pörkölésű, őrölt mintákkal felállított LDA modellbe vetítve a kereskedelmi forgalomból származó, őrölt mintákat, azok követik a Dr. Lange által megállapított színértékek növekvő sorrendjét (19. ábra/b). A T1 minta pontjai az L2-vel, a D1 csoportja az FE-vel és a D2 pontjai az FK minta csoportjával fednek át.

A modellépítés szakaszában a 11. táblázatban bemutatott kereszt-validációs mátrix alapján az L1 és L2 saját, világos pörkölésű minták egymás osztályaiba sorolódtak. Így a kalibrációs modell pontossága 93,33% volt. A validáció pontossága 81,68%-nak adódott, a két minta tévesztése miatt.

**11. táblázat** A különböző, saját pörkölésű, őrölt, 100% arabica minták látórendszeres méréssel kapott adatainak LDA kereszt-validációs táblázata (a háromszoros keresztvalidáció átlagos modellje)

eredeti csoport	modellépítés, %						Összesen:
	D1	D2	D3	L1	L2	L3	
D1	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D2	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D3	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	100,00
L1	0,00	0,00	0,00	<b>85,01</b>	14,99	0,00	85,01
L2	0,00	0,00	0,00	25,04	<b>74,96</b>	0,00	74,96
L3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00
Total:	100,00	100,00	100,00	110,04	89,96	100,00	<b>93,33</b>

eredeti csoport	kereszt-validáció, %						Összesen:
	D1	D2	D3	L1	L2	L3	
D1	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D2	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D3	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	100,00
L1	0,00	0,00	0,00	<b>60,06</b>	39,94	0,00	60,06
L2	0,00	0,00	0,00	69,97	<b>30,03</b>	0,00	30,03
L3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00
Total:	100,00	100,00	100,00	130,03	69,97	100,00	<b>81,68</b>

A saját pörkölésű minták által felállított modellbe (modellépítés: 86,67%) belevetítve a kereskedelmi mintákat a predikció eredményeképp a B1, B2 és FE kereskedelmi minták a D1 osztályába sorolódtak, az FK a D2 csoporthoz, a T1 az L1 minta csoportjába osztályozódott (12. táblázat).

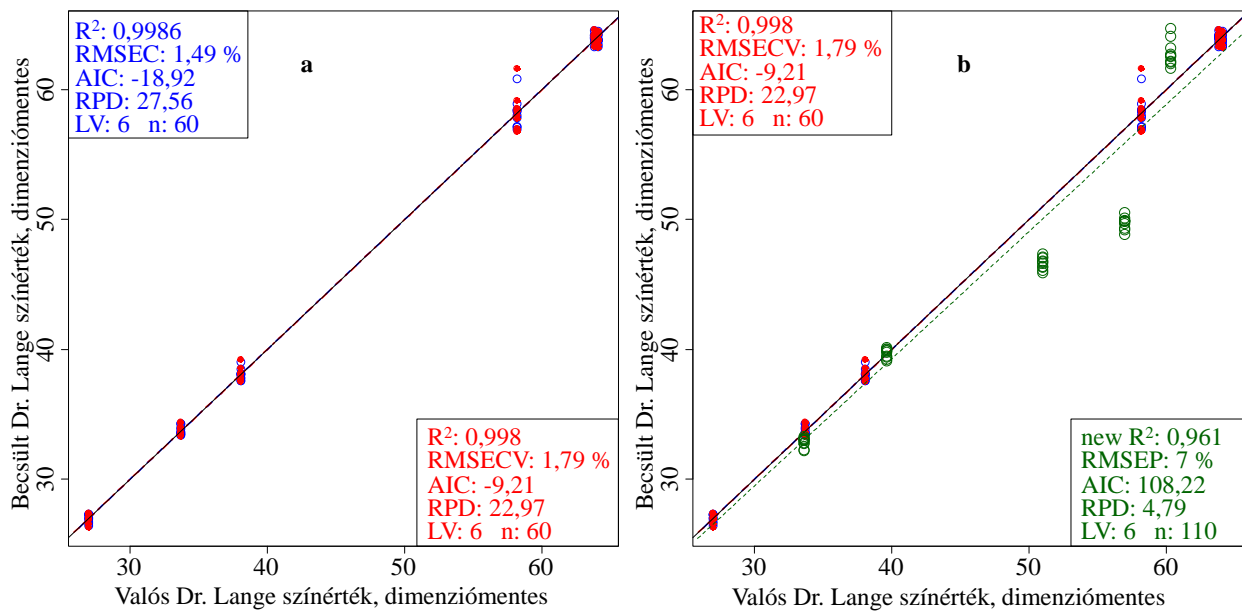
**12. táblázat** A különböző, saját pörkölésű, őrölt, 100% arabica mintákra épített modell által a különböző kereskedelmi minták látórendszeres mérésével kapott adatainak LDA predikciós táblázata

eredeti csoport	modellépítés, %						Összesen
	D1	D2	D3	L1	L2	L3	
D1	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D2	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D3	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	100,00
L1	0,00	0,00	0,00	<b>70,00</b>	30,00	0,00	70,00
L2	0,00	0,00	0,00	50,00	<b>50,00</b>	0,00	50,00
L3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00
Total:	100,00	100,00	100,00	120,00	80,00	100,00	<b>86,67</b>

eredeti csoport	független minták becslése, %						Összesen
	D1	D2	D3	L1	L2	L3	
B1	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B2	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FE	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FK	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T1	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Total:	300,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>

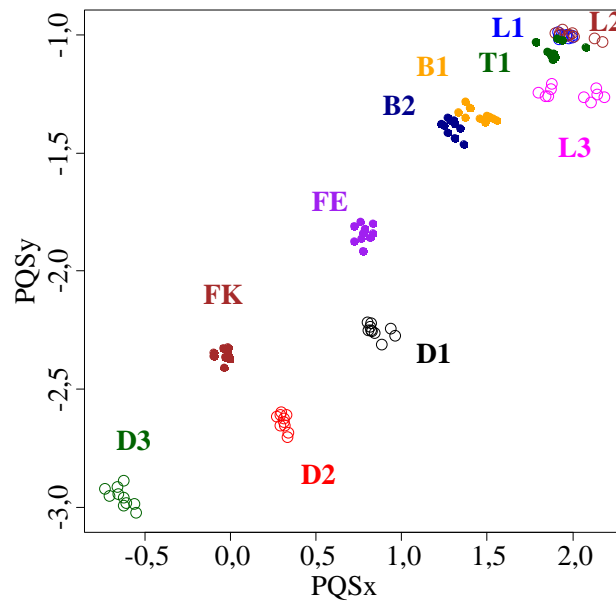
A saját pörkölésű minták látórendszerrel kapott adataiból becsültem meg a Dr. Lange színmérő által mért, dimenziómentes értékeket PLS regresszió segítségével (20. ábra/a). Megállapítottam, hogy a látórendszerrel kapott képek feldolgozásának eredményeiből igen szoros determinációs együttható értékkel ( $R^2=0,998$ ) és alacsony hibával ( $RMSECV=1,79\%$ ) becsülhető a saját pörkölésű, őrölt kávé pörköltégi foka. A modell építéséhez hat látens változót használtam.



**20. ábra (a)** A saját pörkölésű, örölt, 100%-os arabica minták (n=60, LOOCV) és **(b)** az ebbe a modellbe belevetített kereskedelmi minták pörköltiségi fokának (Dr. Lange színérték) (n=110, LOOCV) becslése a látórendszeres mérésrel kapott adatokból PLS regresszióval

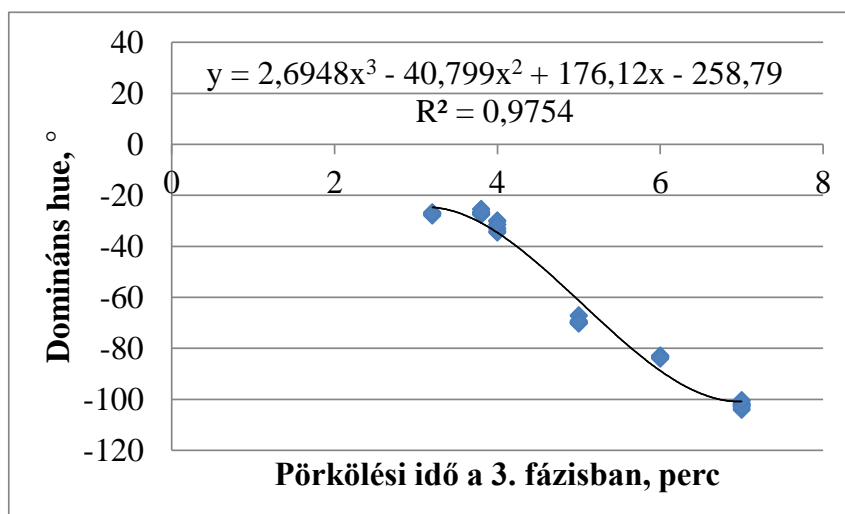
A kalibrációs és validációs modell AIC értékeit összevetve a kalibrációs modell jobbnak adódott, mivel az AIC értéke alacsonyabb volt. Az RPD érték szintén a kalibrációs modellnél volt jobb. A modellbe projektált, ismeretlen kereskedelmi minták becslése során (20. ábra/b) kevésbé szoros korreláció és magasabb hiba jellemezte a modellt, az AIC érték magasabbnak, az RPD alacsonyabbnak adódott.

A saját pörkölésű örölt minták látórendszeres mérésének PQS eredményei (21. ábra) a vonal alapú megközelítéssel azt mutatták, hogy az egyes minták csoportjai monoton változást követnek a pörköltiségi foknak megfelelően. A világos pörköltésű minták (L1 és L2) átfedést mutattak, azonban a pörköltés előre haladtával egyre inkább elkülönültek egymástól az egyes minták csoportjai. A PQS diagramba vetített kereskedelmi forgalomból származó, örölt minták szintén monoton változást követtek és a saját pörköltésű minták csoportjaitól eltérő ívet írtak le.



**21. ábra** A különböző, saját pörkölésű, őrölt, 100%-os arabica minták (üres karika) látorendszeres mérésel kapott adatainak és az ebbe projektált szemes, kereskedelmi minták (tömött karika) vonal alapú PQS ábrája (n=110)

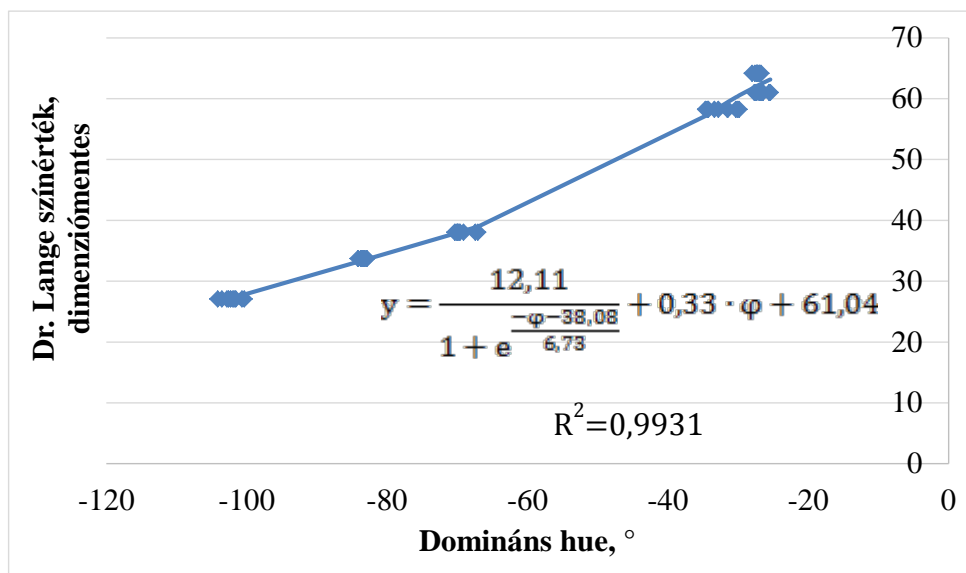
A kiszámított domináns hue értékeket a pörkölési idővel (pörkölés utolsó szakaszában beállított idő) összevetve az összefüggés jellege a 22. ábrán látható.



**22. ábra** A domináns hue és a pörkölési folyamat utolsó szakaszában (T=200°C) beállított idő közötti összefüggés a saját pörkölésű, őrölt, 100% arabica kávék esetén (érvényességi tartomány: 3,2 perc < t<sub>pörkölési idő a 3. fázisban</sub> < 7perc)

A pörkölés kezdeti szakaszában egy lassabb változás figyelhető meg, nincs szignifikáns hatása a pörkölésnek. Majd ezt követően az idő előre haladtával a kávé színe jelentős változáson megy keresztül, ezért erre a szakaszra egy harmadfokú függvény illeszthető, ezáltal az eltelt időből szoros korrelációval (R<sup>2</sup>=0,9754) tudunk következtetni az őrölt kávé színére.

A PQS vonal alapú megközelítésével nyert koordinátákból kiszámított, a szemes kávénál már bevezetett „domináns hue” értékek és a Dr. Lange dimenziómentes színértékek közötti összefüggés a saját pörkölésű, őrölt kávéminták esetén (23. ábra) szintén szigmoid jellegű görbével írható le.



**23. ábra** A PQS vonal alapú megközelítése alapján jellemzett domináns hue és a Dr. Lange színérték közötti korreláció saját, világos és sötét pörkölésű őrölt kávé esetén (érvényességi tartomány:  $27,03 \leq \text{Dr. Lange színérték} \leq 64,15$ )

A modell determinációs együtthatója szorosabbnak adódott ( $R^2=0,9931$ ), mint a szemes kávé esetén, ami várható volt, mivel a látórendszeres mérés és a Dr. Lange színérték meghatározás is az őrölt kávé történt.

Összefoglalva a különböző pörköltégi fokú szemes és őrölt arabica kávéminták vizsgálatának eddigi eredményeit arra a következtetésre jutottam, hogy a látórendszerrel megvizsgált kávéminták eredményei az esetek többségében igazolták a felállított pörköltési sort, az iparban is használt Dr. Lange színmérővel az őrölt kávémintákból meghatározott dimenziómentes színértéket alapul véve. A különböző, saját pörköltésű, szemes arabica minták csoportjai jól elkülönültek egymástól az eredmények többváltozós statisztikai feldolgozásával. A világos pörköltés esetén a pörköltési idő különbség nem eredményezett olyan mértékű eltérést a mérési eredményekben, mint a sötét pörköltésű minták esetén. A pörköltés végéhez közeledve a kis időkülönbség szignifikáns eltérést mutatott a látórendszerrel mért minták csoportjai között.

A saját pörkölésű, szemes minták látórendszeres mérés alapján kapott pörkölési sorába belevetítve a kereskedelmi forgalomból származó, szemes kávéminták eredményeit, a Dr. Lange színmérő által kapott tendencia tapasztalható a T1 minta kivételével, amely világos pörkölésű, szemes kávéként a sötétebb pörkölésű minták csoportjaihoz (B2, D1) került közelebb.

Ez a kereskedelmi minta feltételezhetően a többi mintától eltérő származási helyű alapanyagának és feldolgozási technológiájának köszönhető.

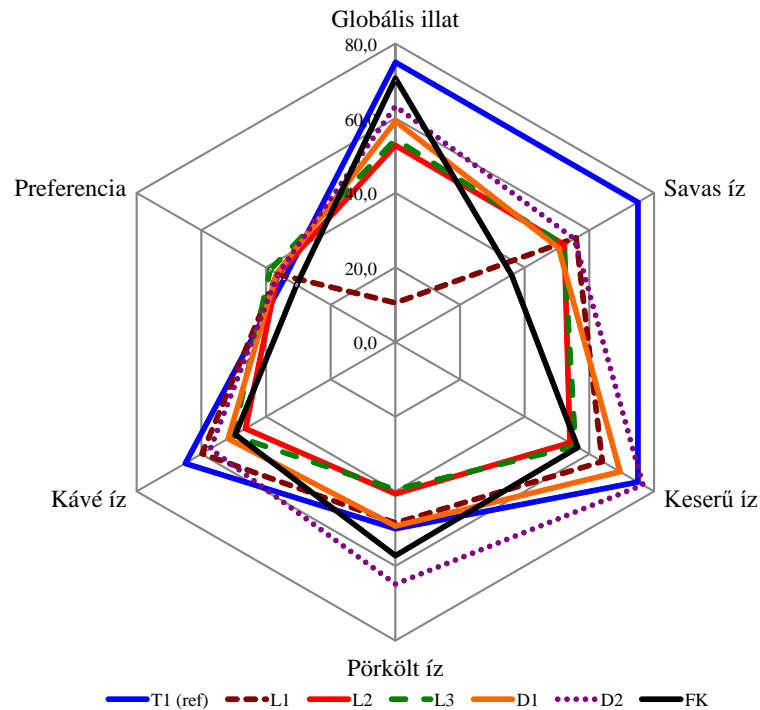
Őrölt minták esetében a látórendszeres mérés már ténylegesen összevethető a színmérés eredményeivel, mivel a vizsgált minta mindkét módszer esetében örlemény volt. A két, legvilágosabbra pörkölt kávé minta csoportjai nem különböztethetők meg szignifikánsan egymástól, a pörkölés előre haladtával azonban a minták pontjai közötti különbség egyre élesebb. Ebből az derül ki, hogy a túlpörkölődés nagyon hirtelen következik be.

Új tudományos eredmény a Dr. Lange színérték és a látórendszeres méréssel kapott, vonal alapú PQS adatokból számolt „domináns hue” értékek között talált, a saját pörkölésű mintákra vonatkozó szigmoid jellegű összefüggés, amellyel egyrészt már szemes állapotban becsülhető a belőle készült őrölt kávé Dr. Lange dimenziómentes értéke, másrészt a látórendszer egy alacsonyabb költségű alternatívát jelentene a mindennapi ipari mérési gyakorlat számára. Mind a szemes, mind az őrölt kávé pörköltégi fokának becslésére alkalmas szigmoid jellegű modellel leírható összefüggést találtam.

Az ipari gyakorlatban a pörkölő mester tapasztalatai, illetve a gyakori mintavétel során történő színmérés határozzák meg a pörkölési folyamat végét. A túl- vagy alulpörkölt tételek már nem felelnek meg a fogyasztó által elvárt és a gyártó által nyújtani kívánt minőségnek, így komoly anyagi veszteség érheti a gyártókat. Kutatásommal a folyamat nyomon követésének automatizálásához és standardizálásához járulok hozzá.

### 5.1.3. A különböző pörköltégi fokú arabica kávék érzékszervi bírálatának eredményei

A különböző pörköltégi fokú kávék érzékszervi paramétereit szerinti megkülönböztethetőségének megállapítására végzett érzékszervi bírálatok eredményeit a 24. ábra mutatja.



**24. ábra** A különböző pörköltégi fokú, saját pörkölésű és kereskedelmi forgalomból származó, 100%-os arabica kávéitalok kóstolásos érzékszervi bírálatának eredményei profilpoligonon ábrázolva (20 bíráló)

A bírálók által adott átlagos értékek alapján globális illatintenzitás szempontjából a bírálók az L1 mintát találták a legkevésbé intenzívnek a többi mintához hasonlítva, majd a növekvő pörköltégi foknak megfelelően értékelték egyre intenzívebbnek a mintákat. A bírálók a T1, referencia mintát találták a legintenzívebb illatúnak. A savasság legkevésbé a kereskedelmi FK mintára volt jellemző és leginkább a világos pörkölésű referencia mintára (T1), a többi minta esetében nem állítható fel egyértelmű sorrend, mert a bírálók hasonlóan savasnak érezték azokat. A keserűséget tekintve az L2, L3 és FK minták hasonlóan kevésbé keserűnek bizonyultak. A D2 legsötétebb pörkölésű minta volt a legkeserűbb a bírálók értékelése alapján, így a pörkölt íz esetén helyes volt a megállapítás, hogy ez a legpörköltebb ízű minta, azonban a sorrend nem követi a csökkenő pörköltégi fokot a többi minta esetén. A referencia minta bizonyult a leginkább kávé ízűnek, majd a sötét, saját pörkölésű minták a pontszámok alapján.

A kereskedelmi, szintén sötét pörkölésű minta (FK) kávé íze a világos, saját pörkölésű minták (L3, L2) ízéhez közelített. A bírálók nem kedvelték kiemelkedően egyik kávé sem.

Az ANOVA eredményei szignifikáns különbséget mutattak a minták között globális illat ( $p < 0,05$ ), savas íz ( $p < 0,01$ ), keserű íz ( $p < 0,01$ ) és pörkölt íz intenzitás ( $p < 0,01$ ) esetén.

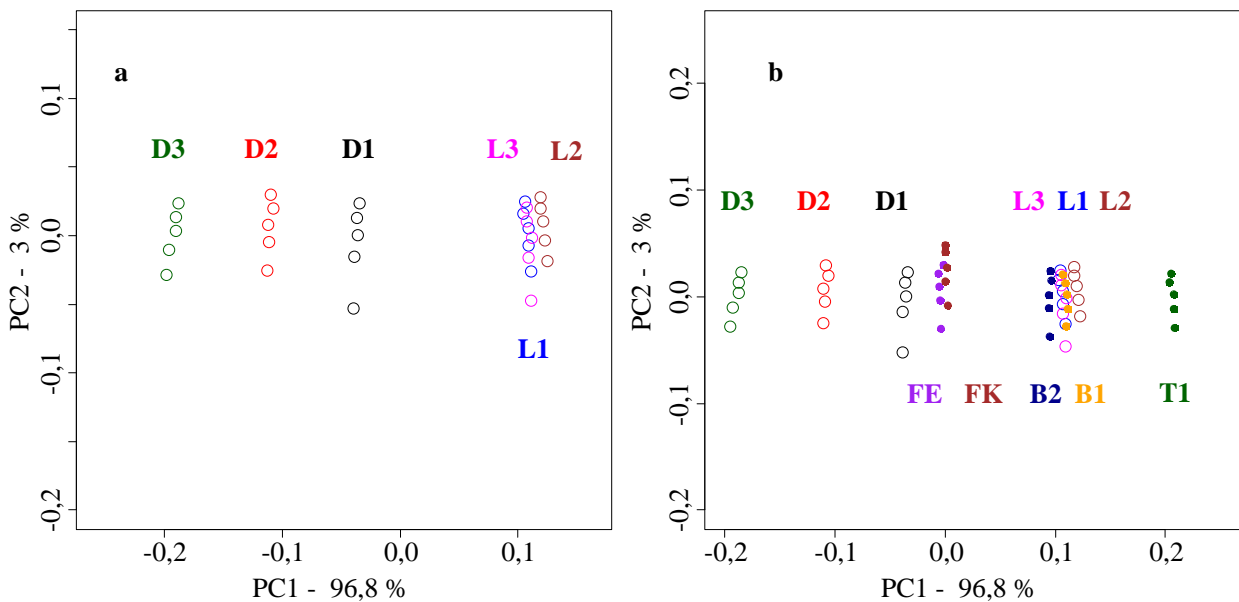
Tukey-teszttel kapott eredmények alapján a globális illatintenzitásban az L1 és L2 minták különböztek a referenciamintától, kevésbé intenzívnek ítélték azokat a bírálók. Savasságban az L2, L3, D1 és FK mintákat találták eltérőnek (kevesbé savasnak) a bírálók a referenciamintától. Keserűségben az D2 (intenzíven keserűnek találták) minta különbözött L2-től, míg a pörkölt íz tekintetében az L2, L3 minták (legkevésbé pörkölt ízűek) különböztek a D2 mintától. A világos és sötét pörkölésű mintákat egy-egy csoportként kezelve a csoportok átlaga alapján 95%-os szinten különbséget találtam pörkölt íz intenzitásban a világos és sötét pörkölésű mintacsoportok között.

#### 5.1.4. A különböző pörköltégi fokú arabica kávéitalok elektronikus nyelv műszerrel mért eredményei

A különböző pörköltégi fokú arabica kávék pörkölés során bekövetkező íz változásának nyomon követésére alkalmazott elektronikus nyelv műszer adatainak feldolgozását megelőző szenzorkiválasztás és kiugró adatok elemzése során a hét szenzorból öt került kiválasztásra az egyes szenzorok minták közötti diszkrimináló képessége alapján. A kiugró adatok a szenzorjel eltolódás (drift) miatt keletkeztek, mert ekkor még nem teljesen érték el a szenzorok az egyensúlyi állapotot, általában az első négy mérési ismétlés került eltávolításra a PCA eredményei alapján.

Az eredmények értékelése során elsőként a saját pörkölésű kávékból készült kávéitalokat vizsgáltam meg. A PCA eredményei azt mutatták, hogy az első két főkomponens az adatok varianciájának több mint 99%-át írja le (25. ábra/a). Az első főkomponens alapján látható a különböző pörköltégi fokú minták elkülönülése, a második főkomponens az adatok ismétlések közötti szórásáért felelős. A világos pörkölésű minták egymáshoz közel álló csoportot alkotnak, míg a sötét pörkölésű minták követik a növekvő pörköltégi foknak megfelelő tendenciát a PC1 mentén jobbról balra haladva. Az is megfigyelhető, hogy a pörköltési folyamat végéhez közeledve már 1 perces pörköltési időkülönbség is jelentős eltérést okoz a kávéital ízében.

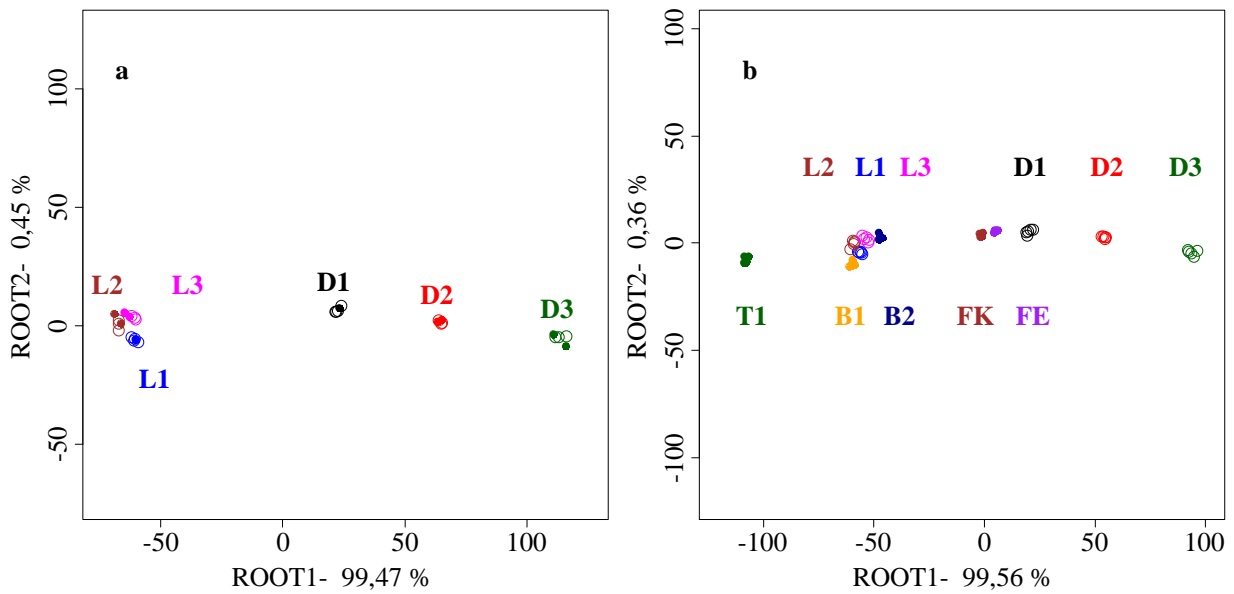




**25. ábra (a)** A saját pörkölésű, 100% arabica minták (üres karika) (PC1-PC2, n= 30) és **(b)** az ebbe a modellbe projektált kereskedelmi, 100% arabica minták (tömött karika) (PC1-PC2, n=55) elektronikus nyelv mérésel kapott adatainak PCA ábrája

A 25. ábra b részén a saját pörkölésű minták által felállított modellbe projektált kereskedelmi minták pontjait ábrázoltam. A világos pörkölésű minták pontjai közül a kereskedelmi forgalomból származó T1 minta csoportja teljesen különvállik, és a PC1 mentén tapasztalt növekvő pörkölési sorral ellentétes irányban található. A minta eltérő volta a látórendszeres mérés esetében is tapasztalható volt. A B1 és B2 kereskedelmi minták csoportjai az L3 saját pörkölésű minta csoportjával mutatnak átfedést. Az FK és FK kereskedelmi minták csoportjai a sötét pörkölésű (saját) D1 minta pontjaihoz állnak közelebb, ízükben a két minta hasonlít egymáshoz, mivel átfednek.

Az elektronikus nyelv mérésel kapott adatok LDA eredményei a PCA eredményeihez hasonlóak, ahogyan az a 26. ábra/a részén is látható. A csoportváltozó a pörkölés utolsó szakaszában beállított pörkölési idő volt. Két csoportra, történő eloszlás (világos és sötét pörkölés) figyelhető meg, amelyen belül a sötét pörkölésű minták egyértelműen elkülönülnek egymástól. Mind a PCA, mind az LDA eredményei alapján elmondható, hogy a kereskedelmi minták csoportjai a gyártók szerint is külön csoportokat alkotnak (T1, B1-B2, FE-FK), alátámasztva Legin et al. (1997) eredményét, miszerint az elektronikus nyelv alkalmas a kávéminták gyártó szerinti elkülönítésére.



**26. ábra (a)** A saját pörkölésű, 100% arabica kávéitalok (Root1-Root2, n=30, üres karika-kalibráció (2/3), tömött karika- validáció (1/3)) és **(b)** az ebbe a modellbe belevetített kereskedelmi, 100% arabica kávéitalok (Root1-Root2, n=110, üres karika-kalibráció (összes saját pörkölésű minta), tömött karika- validáció (kereskedelmi minták)) elektronikus nyelv méréssel kapott adatainak LDA ábrája

A háromszoros kereszt-validáció eredménye szerint a kalibrációs modell 100%-os pontossággal képes a csoportok elkülönítésére, a validáció során az osztályozás hasonlóan 100%-os eredményt adott.

**13. táblázat** A különböző, saját pörkölésű, 100% arabica kávéitalok elektronikus nyelv mérésével kapott adatainak LDA kereszt-validációs táblázata (a háromszoros keresztvalidáció átlagos modellje)

eredeti csoport	modellépítés, %						Összesen:
	D1	D2	D3	L1	L2	L3	
D1	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D2	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D3	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	100,00
L1	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	100,00
L2	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	100,00
L3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00
Total:	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	<b>100,00</b>

eredeti csoport	kereszt-validáció, %						Összesen:
	D1	D2	D3	L1	L2	L3	
D1	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D2	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D3	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	100,00
L1	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	100,00
L2	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	100,00
L3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00
Total:	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	<b>100,00</b>

A saját pörkölésű minták által felállított modellbe (modellépítés: 100%) belevetítve a kereskedelmi mintákat a predikció eredményeképp a B1 kereskedelmi mintát az L1, a B2 minta csoportját az L3, FE és FK kereskedelmi mintákat a D1 osztályába, a T1 mintát az L2 minta csoportjába sorolta (14. táblázat).

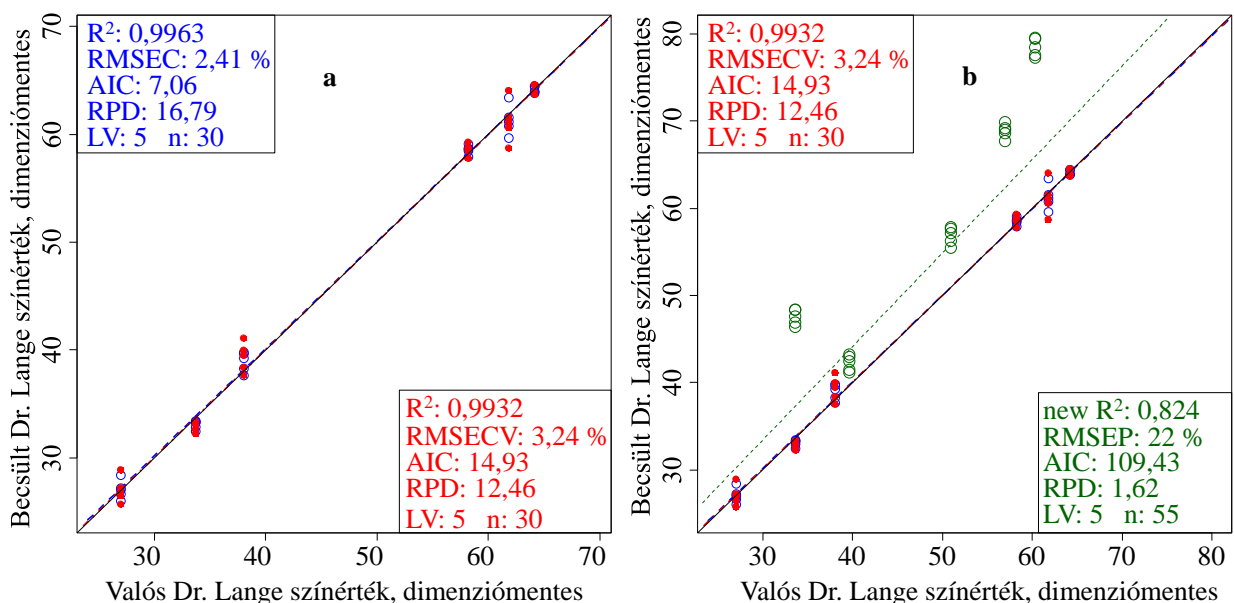
**14. táblázat** A különböző, saját pörkölésű, 100% arabica kávéitalokra épített modell által a különböző kereskedelmi minták látórendszeres mérésével kapott adatainak LDA predikciós táblázata

eredeti csoport	modellépítés, %						Összesen
	D1	D2	D3	L1	L2	L3	
D1	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D2	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
D3	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	100,00
L1	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	100,00
L2	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	100,00
L3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00
Total:	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	<b>100,00</b>

eredeti csoport	független minták becslése, %						Összesen
	D1	D2	D3	L1	L2	L3	
B1	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
B2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
FE	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FK	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T1	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
Total:	200,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00	<b>0,00</b>

A Dr. Lange értékek elektronikus nyelv eredményei alapján történő PLS regresszió általi becslésének eredményei a 27. ábrán láthatóak.



**27. ábra (a)** A saját pörkölésű, 100%-os arabica minták (n=30, LOOCV) és **(b)** az ebbe a modellbe belevetített kereskedelmi minták pörköltégi fokának (Dr. Lange színérték) (n=55, LOOCV) becslése az elektronikus nyelv mérésével kapott adatokból PLS regresszióval

Az elektronikus nyelvvel mért eredményekből következtetni tudunk a pörköltégi állapotra, melyet a Dr. Lange dimenziómentes színértékkal jellemeztem, hogy az eredmények összevethetőek legyenek a látórendszerrel kapott eredményekkel. A PLS regresszió paraméterei alapján a pörköltégi fok becslése szoros korrelációval és alacsony hibával valósult meg ( $R^2=0,99$ ,  $RMSECV=3,24\%$ ). A kereskedelmi minták Dr. Lange színértékének becslése alacsonyabb determinációs együttható értéket és jóval magasabb hibát eredményezett.

Valószínűleg azért kaptam rosszabb eredményeket, mert a minták különböző pörkölési technológiával készültek, mivel más-más gyártóktól származtak.

Az érzékszervi bírálatnak alávetett kávéital minták különböző vizsgált tulajdonságait az elektronikus nyelv műszerrel kapott adatokból PLS regresszióval becsültem meg, melynek eredményeit a 15. táblázat foglalja össze. A különböző pörköltégi fokú, 100% arabica minták pörkölt íz intenzitása volt a legjobban megbecsülhető tulajdonság ( $R^2=0,90$ ), majd ezt követte a savas ( $R^2=0,82$ ) és kávé ( $R^2=0,81$ ) íz intenzitás. A savas íz szoros korrelációval való becsülhetősége az arabica kávé savas íz karakterére vezethető vissza. Hasonló következtetésre jutottunk egy korábbi munkánkban is (Várvolgyi et al. 2014), amelyben a kávék érzékszervi bírálókkal előzetesen megvizsgált savas ízét szoros korrelációval tudtuk megbecsülni elektronikus nyelv műszer segítségével.

**15. táblázat** Az egyes érzékszervi tulajdonságok PLS regresszióval történő becslésének jósága és hibája az elektronikus nyelv eredményei alapján 100% arabica kávék esetén

	<b>Globális illatintenzitás</b>	<b>Savas íz intenzitás</b>	<b>Keserű íz intenzitás</b>	<b>Pörkölt íz intenzitás</b>	<b>Kávé íz intenzitás</b>	<b>Prefe- rencia</b>
$R^2$	0,02	0,82	0,69	<b>0,90</b>	0,81	0,73
RMSECV, %	19,48	4,57	4,84	2,56	2,68	1,25

Összefoglalva, az érzékszervi bírálatnak alávetett különböző pörköltégi fokú, saját pörkölésű és kereskedelmi forgalomból származó kávék esetében a bírálók globális illat, savas, keserű és pörkölt íz intenzitásban találtak különbséget a minták között. Az elektronikus nyelv mérés eredményei alapján a világos, saját pörkölésű minták csoportja egyértelműen elkülönült a sötét, saját pörkölésű minták pontjaitól. A sötét pörkölésű minták csoportjain belül is egyértelmű elkülönülést tapasztaltam, a pörkölési fok növekedésével a minták csoportjai egyre élesebben különültek el.

Az elektronikus nyelvvel végzett íz vizsgálat során a saját pörkölésű mintákat a kereskedelmi mintákkal összevetve az eredmények azt mutatták, hogy ebben az esetben is különválnak a világos és sötét pörkölésű minták csoportjai, tehát a Dr. Lange színértékkal jellemzett pörköltégi fokot ízben követik a minták. Azonban a világos pörkölésű csoporton belül a minták ízének változásában egyértelmű tendencia nem figyelhető meg. A kereskedelmi kávéminták esetén az elektronikus nyelvvel mért eredményeim alátámasztották annak az irodalmi áttekintés során ismerttetett kutatás eredményeit, miszerint az elektronikus nyelv alkalmas a kávéminták gyártó szerinti elkülönítésére.

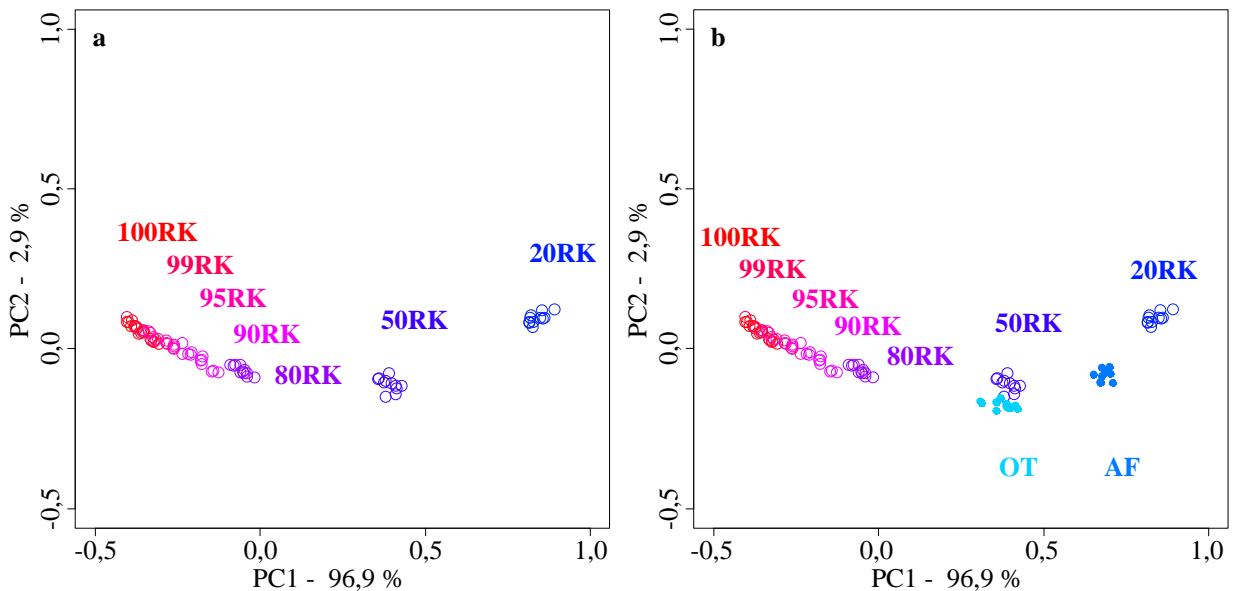
Az érzékszervi bírálat során vizsgált tulajdonságok közül a pörkölt íz volt a legjobban becsülhető az elektronikus nyelvvel kapott eredményekből. Ezt követte a savas íz intenzitásának szoros korrelációval való becsülhetősége, melyet egy korábbi kutatásunkban is tapasztaltam.

## 5.2. Robusta kávéhoz kevert őrölt-pörkölt árpa mint idegen anyag jelenlétének felderítése

Az alábbi alfejezetekben a robusta kávéhoz különböző arányban kevert árpa látórendszerrel, érzékszervi bírálattal és elektronikus nyelv méréssel való detektálhatóságának eredményei kerülnek bemutatásra.

### 5.2.1. A robusta-árpa keverékekben az árpa detektálhatóságának látórendszerrel mért eredményei

Az őrölt-pörkölt robusta-árpa keverékek (halogén megvilágítású) látórendszeres mérési adatainak főkomponens analízissel kapott eredményét a 28. ábra/a része mutatja be.

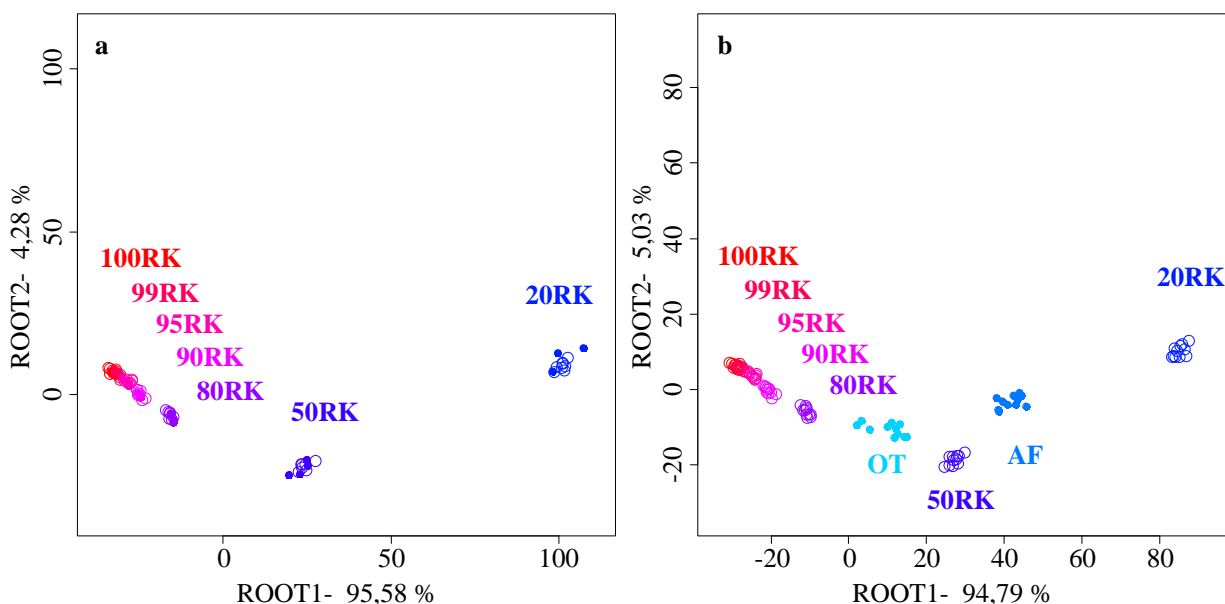


**28. ábra (a)** A robusta (K típusú) kávéhoz különböző arányokban kevert árpa minták (üres karika) (PC1-PC2, n=70) és **(b)** az ebbe a modellbe belevetített kereskedelmi minták (tömött karika: AF, OT) (PC1-PC2, n=90) látórendszeres méréssel kapott adatainak PCA ábrája

Az első két főkomponens az adatok varianciájának több mint 99%-át írja le. Az alacsony árpa tartalom esetén a csoportok átfedést mutatnak (100RK-99RK), habár a PC1 mentén balról jobbra haladva a csoportok a növekvő árpakoncentrációnak megfelelően helyezkednek el. A 28. ábra/b részén az általam összeállított kávékeverékek PCA modelljébe belevetített kereskedelmi minták láthatóak.

Az 50RK és OT minták pontjai, melyek összetétele 1%-ban különbözik, a várakozásoknak megfelelően szinte átfednek a PC1 szerint, a PC2 alapján viszont eltérőek egymástól. Az AF kereskedelmi minta pontjai az 50RK és 20RK minták csoportjai között helyezkedtek el, amely konszenzusban van a csomagoláson található információval, miszerint 53% árpát tartalmaz.

Az LDA eredményei alapján elmondható (29. ábra/a), hogy a csoportok közti variancia közel 81%-át az első diszkrimináns változó írja le. Ennek mentén a nagyobb %-ban árpát tartalmazó minták osztályai teljesen elkülönülnek egymástól, a 0-5%-ban árpát tartalmazó minták osztályai átfednek. A csoportváltozó a minták árpatartalma volt.



**29. ábra (a)** A robusta (K típusú) kávéhoz különböző arányokban kevert árpa minták (Root1-Root2, n=70, üres karika-kalibráció (2/3), tömött karika- validáció (1/3)) és **(b)** az ebbe a modellbe projektált kereskedelmi minták (Root1-Root2, n=90, üres karika-kalibráció (összes árpa-robusta keverék), tömött karika- validáció (kereskedelmi minták: AF, OT)) látórendszeres méréssel kapott adatainak LDA ábrája

A saját összeállítású kávékeverékek által felállított modellbe vetítve a kereskedelmi mintákat (29. ábra/b), megfigyelhető, hogy az OT az 50RK mintától az alacsonyabb árpakonzentrációjú minták irányában helyezkedik el, míg az AF az ellentétes irányban az összetételüknek megfelelően.

A saját kávékeverékek kereszt-validációs mátrixa alapján, melyet a 16. táblázatban mutatok be, a modellépítés szakaszában a 100RK és 99RK minták csoportjainak egy részét egymással tévesztette. Így a kalibrációs modell pontossága 93,50%-nak adódott.



Összességében a felállított klasszifikációs modell 81,82%-os pontosságú besorolásra volt képes, mivel a 100RK és a 99RK minták pontjainak egy részét egymással és a 95RK mintával tévesztette, a 95RK minta csoportjának egy részét a 99RK mintához sorolta be.

**16. táblázat** A robusta kávéhoz különböző arányokban kevert árpa minták látórendszeres méréssel kapott adatainak LDA kereszt-validációs táblázata (a háromszoros keresztvalidáció átlagos modellje)

eredeti csoport	modellépítés, %							Összesen:
	100RK	99RK	95RK	90RK	80RK	50RK	20RK	
100RK	<b>77,25</b>	22,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,25
99RK	22,75	<b>77,25</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,25
95RK	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
90RK	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	100,00
80RK	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	100,00
50RK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	100,00
20RK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00
Total:	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	<b>93,50</b>

eredeti csoport	kereszt-validáció, %							Összesen:
	100RK	99RK	95RK	90RK	80RK	50RK	20RK	
100RK	<b>45,50</b>	45,50	8,99	0,00	0,00	0,00	0,00	45,50
99RK	45,50	<b>45,50</b>	8,99	0,00	0,00	0,00	0,00	45,50
95RK	0,00	18,26	<b>81,74</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	81,74
90RK	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	100,00
80RK	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	100,00
50RK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	100,00
20RK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00
Total:	91,01	109,26	99,73	100,00	100,00	100,00	100,00	<b>81,82</b>

A 17. táblázatban látható, saját kávékeverékek által felállított modellbe (modellépítés: 89,61%) vetítve a két, kereskedelmi gabonakávét az AF (53m/m% árpataartalom) minta teljes egészében az 50RK csoportba sorolódott, az OT (49m/m% árpataartalom) egy részét a 80RK mintával másik részét az 50RK mintával tévesztette. Ez az eredmény megfelel a csomagoláson feltüntetett információk alapján elvártaknak, mivel a kereskedelmi minták az árpataartalmuknak megfelelően sorolódtak be az előzetesen meghatározott csoportokba.

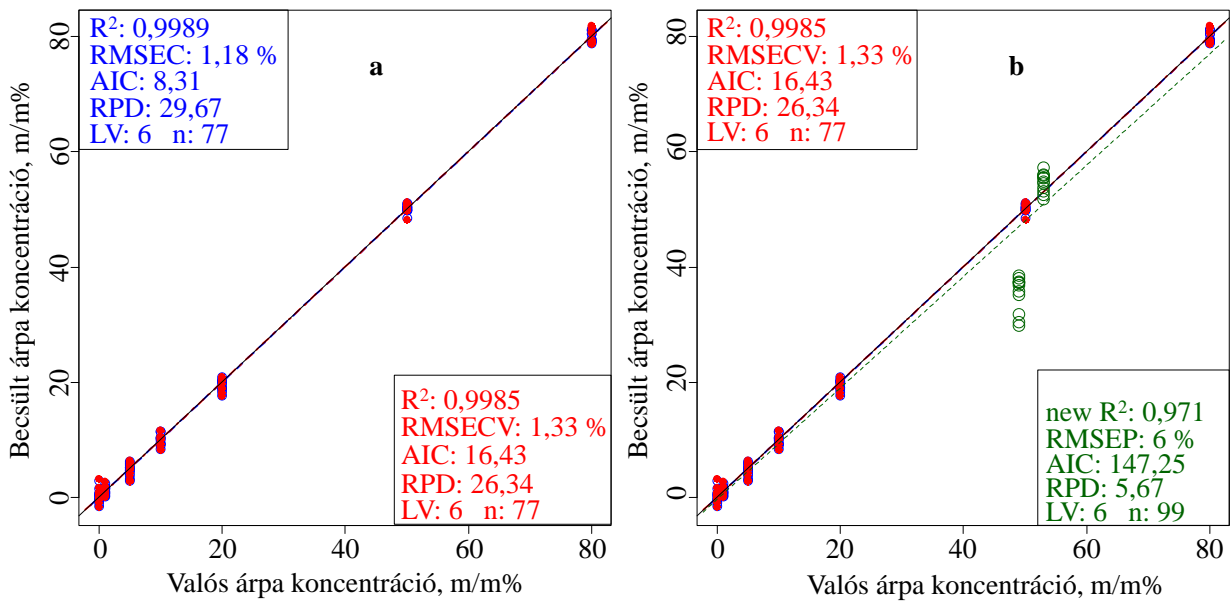
**17. táblázat** A robusta kávéhoz különböző arányokban kevert árpa mintákra épített modell által a különböző kereskedelmi minták látórendszeres méréssel kapott adatainak LDA predikciós táblázata

eredeti csoport	modellépítés, %							Összesen:
	100RK	99RK	95RK	90RK	80RK	50RK	20RK	
100RK	<b>72,73</b>	18,18	9,09	0,00	0,00	0,00	0,00	72,73
99RK	27,27	<b>63,64</b>	9,09	0,00	0,00	0,00	0,00	63,64
95RK	0,00	9,09	<b>90,91</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	90,91
90RK	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	100,00
80RK	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	100,00
50RK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	100,00
20RK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00
Total:	100,00	90,91	109,09	100,00	100,00	100,00	100,00	<b>89,61</b>

eredeti csoport	független minták becslése, %							Összesen:
	100RK	99RK	95RK	90RK	80RK	50RK	20RK	
AF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
OT	0,00	0,00	0,00	0,00	27,27	72,73	0,00	0,00
Total:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>

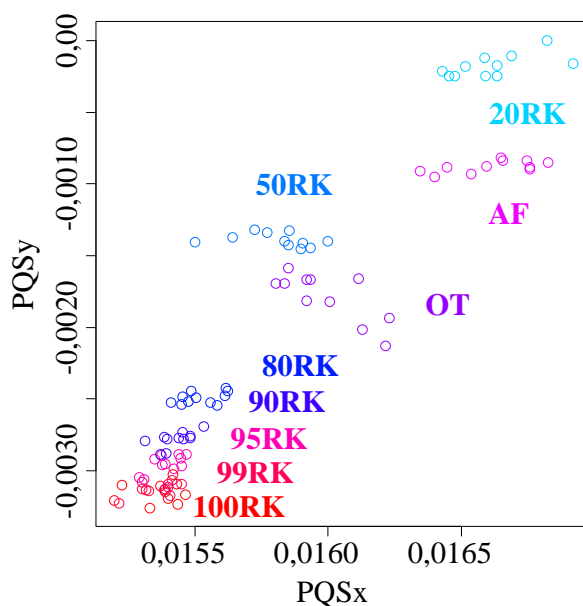
PLS regressziós modellt használtam a hat kiválasztott hue érték alapján az árpátartalom becslésére a robusta-árpa keverékekben. A saját összeállítású árpa-robusta keverékek csoportjaira illesztett regressziós modell a 30. ábrán látható, az  $R^2$  értéke 0,9985 volt, ami igen szoros korrelációt mutat, az RMSECV érték alacsonynak adódott: 1,33%. A kalibrációs és validációs modellek AIC értékei alacsonyak voltak, az RPD értékek magas értéket mutattak, amely alapján a modellek kellően szorosnak mondhatóak.



**30. ábra (a)** A robusta-árpa keverékek (n=77, LOOCV) és **(b)** az ebbe a modellbe belevetített kereskedelmi minták (n=99, LOOCV) árpataktartalmának becslése a látórendszeres méréssel kapott adatokból PLS regresszióval

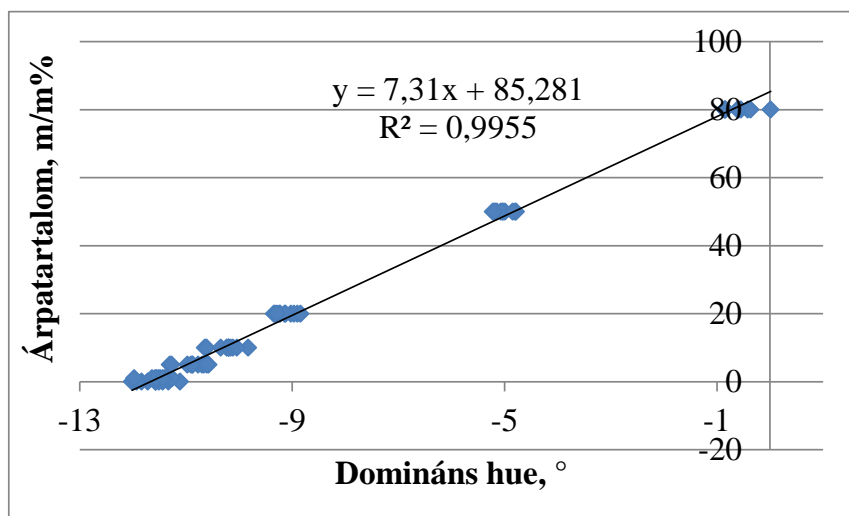
A saját összeállítású árpa-robusta keverékek által felállított modellbe belevetített kereskedelmi minták esetén (30. ábra/b) a becslés hibája 6%-ra nőtt, a modell determinációs együtthatója szorosnak adódott. Az AIC érték megnőtt, míg az RPD lecsökkent, amely a modell gyengébb voltára utal az ismeretlen minták becslése esetén.

A 31. ábra a különböző árpataktartalmú kávéminták látórendszerrel kapott összes adatának (tipikus hue értékek kiválasztása nélkül) PQS ábráját mutatja. A különböző összetételű kávéminták mérési pontjai monoton változást mutatnak a növekvő árpataktalomnak megfelelően. Az általam összekevert minták egyazon ív mentén helyezkednek el, míg a kereskedelmi forgalomból származó két minta mérési pontjai látszólag egy másik ívet írnak le. Nagyobb különbség figyelhető meg a nagyobb árpataktalmú minták mérési pontjai között. Az alacsony árpataktalmú minták pontjai esetén a látható különbségek kisebbek, habár a mintacsoportok követik a növekvő árpataktalom szerinti sorrendet.



**31. ábra** A robusta kávéhoz különböző arányokban kevert árpa minták pont alapú PQS ábrája a látórendszerrel kapott adatok feldolgozásával (n=90)

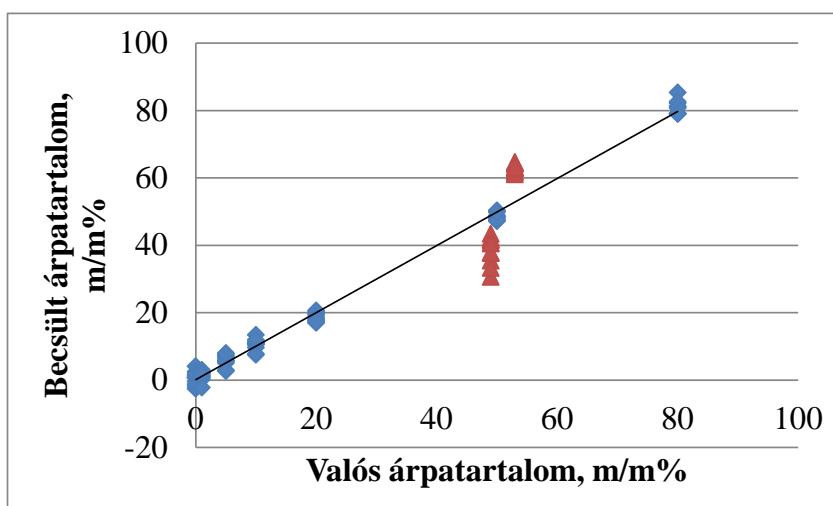
Az árpátartalom és a korábbiakban bevezetett „domináns hue” értékek között szoros, lineáris összefüggést találtam a determinációs együttható értéke  $R^2=0,9955$  alapján (32. ábra).



**32. ábra** A domináns hue és az árpátartalom közötti összefüggés a saját összeállítású árpa-robusta keverékek esetén (halogén megvilágítás)

A talált lineáris összefüggés alapján megbecsülve az árpátartalmat a két kereskedelmi gabonakávé árpátartalma eltért a csomagoláson szereplő információktól (33. ábra).

Az OT 49m/m%-os árpátartalom helyett 40m/m% körülnek, az AF 53m/m% helyett 60m/m% körülnek adódott.

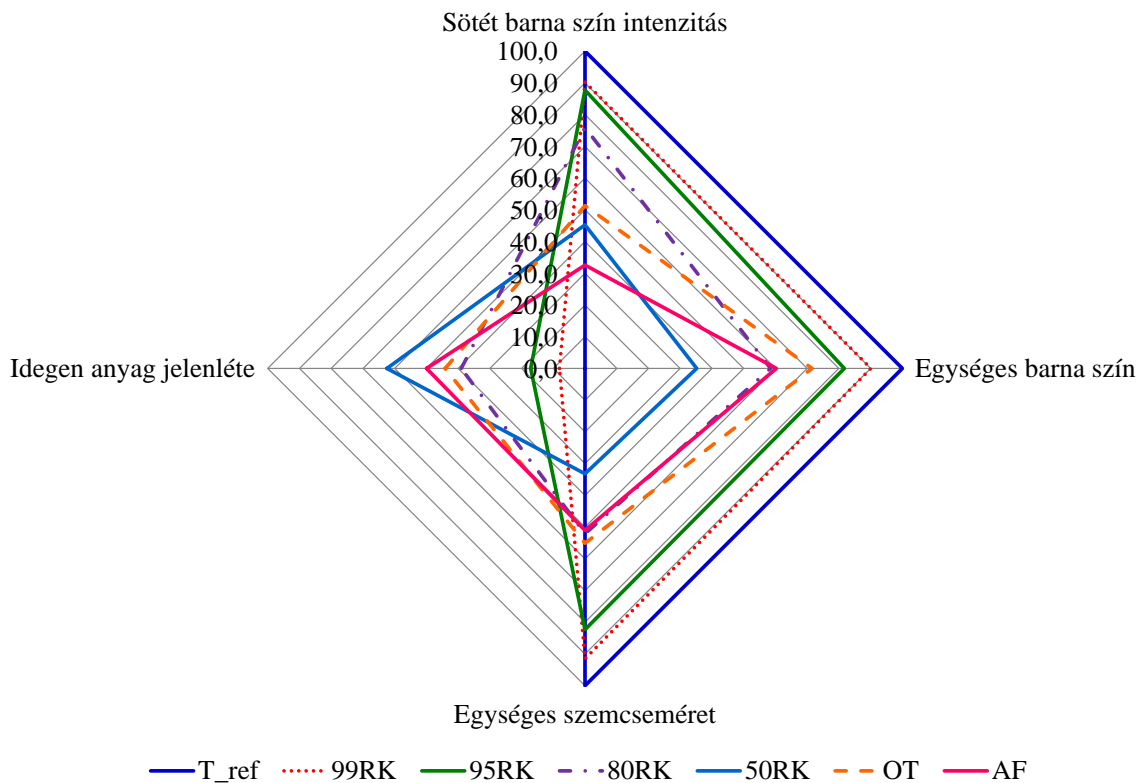


**33. ábra** A domináns hue alapján becsült árpátartalom a kereskedelmi gabonakávék (AF, OT: piros háromszög) esetén

A látórendszeres mérés eredményeiről összefoglalva az mondható el, hogy az alacsony koncentrációban (0-10m/m%) árpát tartalmazó robusta-árpa keverékek csoportjai átfedést mutatnak. Ahogy nő a keverék árpa tartalma, úgy egyre inkább megkülönböztethetőek egymástól a kávéminták. A PQS adatredukciós módszer alapján kinyert „domináns hue” értékek és az árpátartalom között szoros, lineáris kapcsolatot találtam. A hat kiválasztott hue érték alapján a többváltozós PLS regresszióval az árpa koncentráció becslése szoros korrelációval és alacsony hibával valósult meg. Az irodalmi áttekintésben a képfeldolgozással kapott eredmények azt mutatták, hogy az idegen anyag koncentrációja alacsonyabb, kb. 5m/m%-os pontossággal becsülhető, illetve a korreláció szorossága ( $R=0,9-0,99$ ) hasonlóan adódott (Delgado Assad et al. 2002; Sano et al. 2003). Méréssel igazoltam, hogy a látórendszerrel kapott képek feldolgozásával a robusta-árpa keverékekben az árpa aránya jól becsülhető.

5.2.2. A robusta-árpa keverékekben az árpa detektálhatóságának vizsgálatára végzett, szemrevételezéses érzékszervi bírálat eredményei

Az érzékszervi bírálat eredményeinek feldolgozása során a 62 laikus bíráló adataiból a bíráló kiválasztást követően 57 résztvevő adataival dolgoztam tovább. A bírálók által adott átlagos értékek egy profilpoligonon bemutatva a 34. ábrán láthatóak.



**34. ábra** A robusta-árpa keverékek szemrevételezéses érzékszervi bírálatának eredményei profilpoligonon ábrázolva 57 bíráló véleménye alapján  $T_{ref}=100RK$ )

A bírálók által bejelölt értékek alapján a sötét barna szín intenzitása csökkent az árpa növekvő arányának megfelelően a kávéban. Az ANOVA eredményei erősen szignifikáns különbséget mutattak a minták között ( $p < 0,001$ ). A Tukey-teszt alapján a 99RK-95RK és 50RK-OT hasonlónak bizonyultak, míg a többi minta különbözött egymástól.

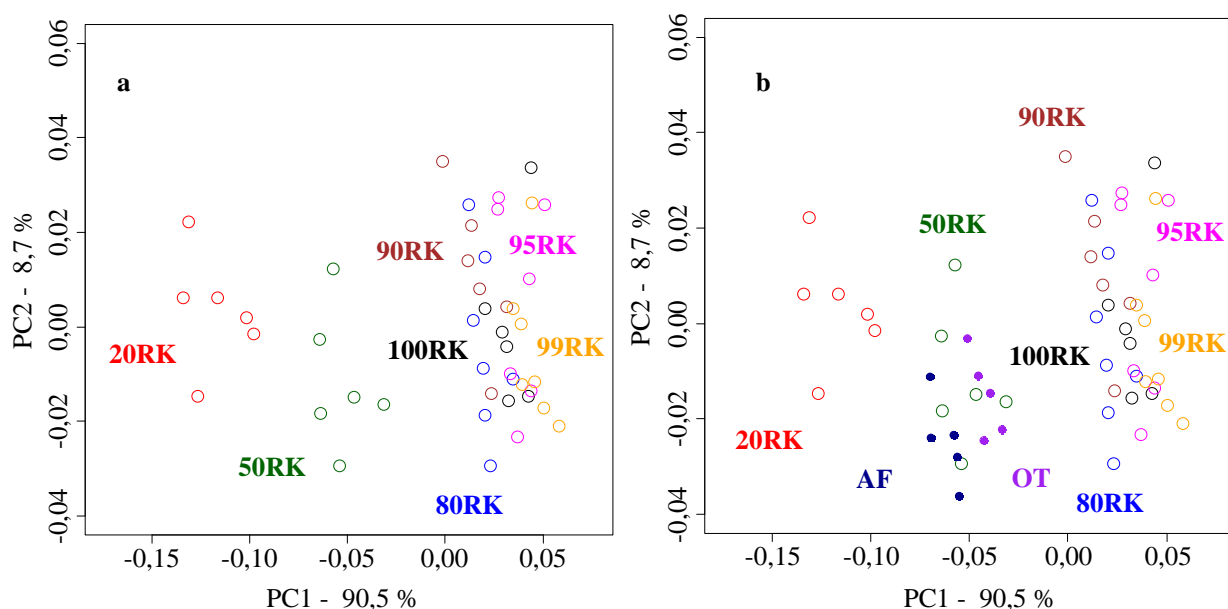
A sötét barna szín uniformitásának tekintetében hasonló eredményt kaptam az előző tulajdonságnál tapasztaltakhoz. Tehát ez a két vizsgált tulajdonság jellemzi legkevésbé a vizsgált mintákat, ha növeljük az árpa koncentrációt a kávéban. Az ANOVA eredményeit tekintve szignifikáns különbség tapasztalható ( $p < 0,001$ ). A Tukey-teszt alapján minden minta elkülönült egymástól, kivéve a 80RK-OT mintákat. A szemcseméret egységessége esetén a 80RK-OT, OT-AF és 80RK-AF hasonlónak bizonyultak a bírálók értékelése szerint.

Az idegen anyag tartalom szempontjából az 50RK (50 m/m% árpa) mintát találták a legnagyobb mértékben „szennyezettnek”, habár az AF minta rendelkezett a legnagyobb (53m/m%) árpataralommal. A Tukey-teszt alapján a minták különbözőek voltak, kivéve a 80RK-OT és OT-AF mintákat. A bírálók a 99RK, 95RK és 80RK mintákat megfelelő sorrendbe rakták, ám idegen anyag tartalmukat jóval nagyobbra becsülték.

A többi mintát viszont nem tudták megfelelően sorrendbe rakni. Többek elmondása szerint, ha nincs mihez hasonlítaniuk a vizsgált mintákat, akkor lehetetlen szemre megállapítani az idegen anyag jelenlétét, mértékét.

### 5.2.3. A robusta-árpa keverékekben az árpa detektálhatóságának az elektronikus nyelv műszerrel kapott eredményei

Az elektronikus nyelv mérés előzetes adatfeldolgozása során alkalmazott kiugró adatok elemzése és szenzorkiválasztás során a hét szenzor közül három került kiválasztásra (STS, SPS, UMS), a minták közötti diszkrimináló képességük alapján.

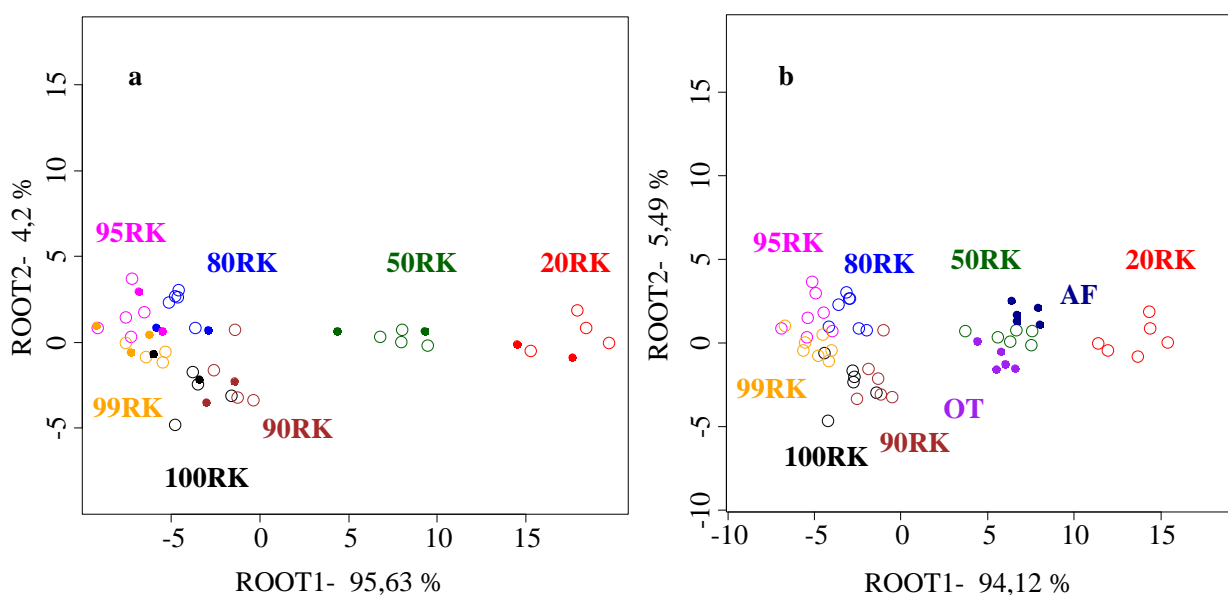


**35. ábra** (a) A robusta kávéhoz különböző arányokban kevert árpa minták (üres karika) (PC1-PC2, n= 42) és (b) az ebbe a modellbe belevetített kereskedelmi minták (tömött karika) (PC1-PC2, n=52) elektronikus nyelv méréssel kapott adatainak PCA ábrája

A 35. ábra/a része alapján látható, hogy a saját összeállítású árpa-robusta keverékek esetén a két főkomponens az adatok varianciájának több mint 99%-át írja le. Az első főkomponens mentén balról jobbra haladva a minták csoportjai, az esetek többségében, a növekvő idegen anyag tartalom alapján növekvő sorrendben különülnek el. A második főkomponens az adatok ismétlések közötti szórásáért felel. Az alacsony árpakoncentrációjú minták (99RK, 95RK) és a 100RK minták átfedést mutattak, a 80RK minta csoportja a 90RK minta pontjaival fedett át.

Az eredmények azt mutatták, hogy a hamisított minták elkülönítése a nagyobb hamisítási koncentrációban (50m/m% és 80m/m% árpátartalom) sikeres volt az elektronikus nyelv mért adatai alapján, alacsonyabb koncentrációban (1%-10% árpa) viszont az egyes adatpontok átfedést mutattak.

Az árpa-robusta keverékek által felállított modellbe vetítve a kereskedelmi gabonakávékát (35. ábra/b) mindkettő az 50RK minta csoportjával volt átfedésben. Az AF, nagyobb árpátartalmú minta a 20RK irányába, az OT, alacsonyabb árpátartalmú minta a 80RK irányába különült el, a várt tendenciának megfelelően.



**36. ábra (a)** A robusta kávéhoz különböző arányokban kevert árpa minták (Root1-Root2, n=42, üres karika-kalibráció (2/3), tömött karika- validáció (1/3)) és **(b)** az ebbe a modellbe projektált kereskedelmi minták (Root1-Root2, n=52, üres karika-kalibráció (összes árpa-robusta keverék), tömött karika- validáció (kereskedelmi minták)) elektronikus nyelv méréssel kapott adatainak LDA ábrája

Az LDA alkalmazása során a modellépítéshez használt osztályokat az árpa kávéhoz kevert aránya alapján határoztam meg (üres karika a kalibrációt, telt karika a validációt mutatja be) (36. ábra/a). A csoportok közti variancia közel 95%-át az első diszkrimináns változó írja le, amely mentén a különböző árpátartalmú kávéminták csoportjai a csökkenő kávétartalomnak megfelelően helyezkednek el a nagyobb árpátartalom esetén. A minták csoportjai itt is átfedést mutatnak, főként az alacsony 1-10% árpátartalom esetén.

A 36. ábra/b részén a felállított modellbe vetített kereskedelmi minták láthatóak, amely alapján az 50RK minta csoportjához közel helyezkednek el az OT és AF minta pontjai, követve a növekvő árpátartalom szerinti tendenciát.



Az LDA klasszifikációs mátrixában a modellépítés során a 100RK minta egy része a 99RK és 90RK csoportokba sorolódott, a 95RK mintát a 99RK és 80RK mintákkal tévesztette össze a modell. A modellalkotás során 86,71%, míg a modell validálása esetén 71,49% volt a minták besorolásának pontossága. Az utóbbi esetben a modellépítés szakaszában tapasztalt tévesztéseken felül a 99RK minta egy részét a 95RK csoportjába sorolta a modell, a 90RK-t a 100RK és a 80RK mintához.

**18. táblázat** A robusta kávéhoz különböző arányokban kevert árpa minták elektronikus nyelv méréssel kapott adatainak LDA kereszt-validációs táblázata (a háromszoros keresztvalidáció átlagos modellje)

eredeti csoport	modellépítés, %							Összesen:
	100RK	99RK	95RK	90RK	80RK	50RK	20RK	
100RK	<b>66,58</b>	16,71	0,00	16,71	0,00	0,00	0,00	66,58
99RK	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
95RK	0,00	14,35	<b>71,31</b>	0,00	14,35	0,00	0,00	71,31
90RK	16,75	0,00	0,00	<b>83,25</b>	0,00	0,00	0,00	83,25
80RK	0,00	7,08	7,08	0,00	<b>85,84</b>	0,00	0,00	85,84
50RK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	100,00
20RK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00
Total:	83,33	138,14	78,39	99,96	100,18	100,00	100,00	<b>86,71</b>

eredeti csoport	kereszt-validáció, %							Összesen:
	100RK	99RK	95RK	90RK	80RK	50RK	20RK	
100RK	<b>50,00</b>	16,50	0,00	33,50	0,00	0,00	0,00	50,00
99RK	0,00	<b>85,84</b>	14,16	0,00	0,00	0,00	0,00	85,84
95RK	0,00	42,92	<b>42,92</b>	0,00	14,16	0,00	0,00	42,92
90RK	33,50	0,00	0,00	<b>50,00</b>	16,50	0,00	0,00	50,00
80RK	0,00	14,16	14,16	0,00	<b>71,67</b>	0,00	0,00	71,67
50RK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	100,00
20RK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00
Total:	83,50	159,42	71,24	83,50	102,34	100,00	100,00	<b>71,49</b>

A 19. táblázatban látható, saját kávékeverékek által felállított modellbe (modellépítés: 79,93%) vetítve a két, kereskedelmi gabonakávét az AF (53m/m% árpataartalom) minta teljes egészében az 50RK csoportba sorolódott, az OT (49m/m% árpataartalom) egy részét a 80RK mintával másik részét az 50RK mintával tévesztette. Az eredmény megfelel a csomagoláson feltüntetett információknak, mivel a kereskedelmi minták az árpataartalmuknak megfelelően sorolódtak be az előzetesen meghatározott csoportokba.

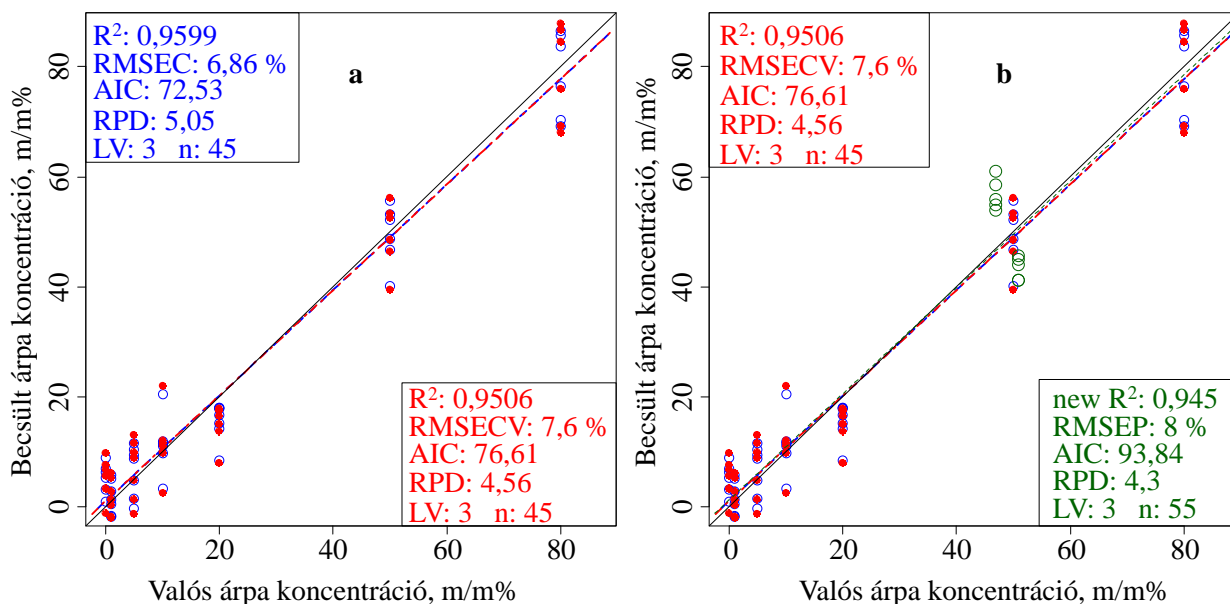
**19. táblázat** A robusta kávéhoz különböző arányokban kevert árpa mintákra épített modell által a különböző kereskedelmi minták elektronikus nyelv mérésével kapott adatainak LDA predikciós táblázata

eredeti csoport	modellépítés, %							Összesen:
	100RK	99RK	95RK	90RK	80RK	50RK	20RK	
100RK	<b>66,67</b>	16,67	0,00	16,67	0,00	0,00	0,00	66,67
99RK	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
95RK	0,00	28,57	<b>57,14</b>	0,00	14,29	0,00	0,00	57,14
90RK	33,33	0,00	0,00	<b>50,00</b>	16,67	0,00	0,00	50,00
80RK	0,00	14,29	0,00	0,00	<b>85,71</b>	0,00	0,00	85,71
50RK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	100,00
20RK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00
Total:	100,00	159,52	57,14	66,67	116,67	100,00	100,00	<b>79,93</b>

eredeti csoport	független minták becslése, %							Összesen:
	100RK	99RK	95RK	90RK	80RK	50RK	20RK	
AF	0,00	0,00	0,00	31,25	0,00	68,75	0,00	0,00
OT	0,00	0,00	0,00	31,25	18,75	50,00	0,00	0,00
Total:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>

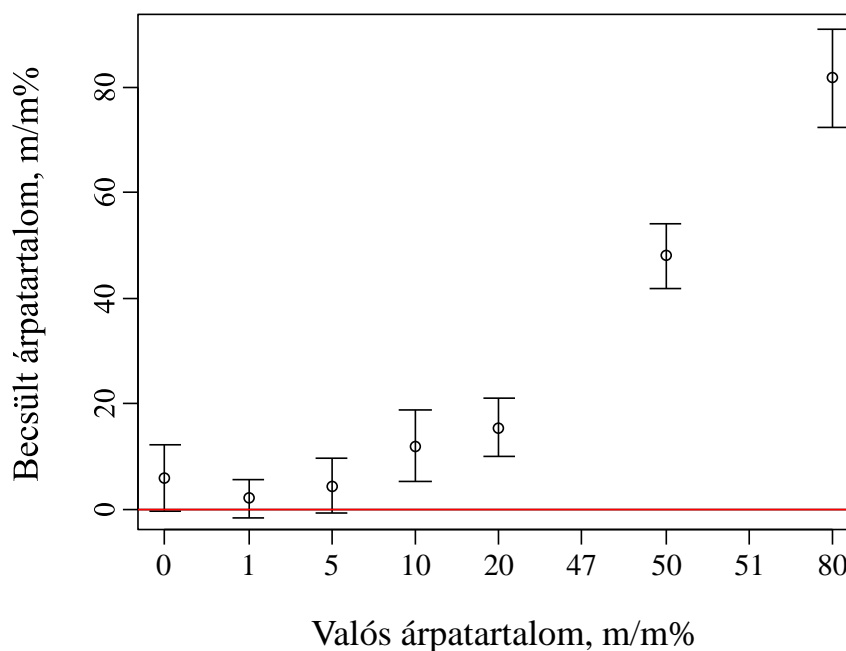
PLS regresszió segítségével a saját összeállítású árpa-robusta minták %-os árpata tartalom meghatározására elvégzett becslés jóságát a 37. ábra/a része mutatja. A modell validálása 0,95-ös  $R^2$  és 7,6m/m% RMSECV értéket eredményezett, az AIC és RPD értékek megfelelőnek adódtak.



**37. ábra** (a) A robusta-árpa keverékek (n=45, LOOCV) és (b) az ebbe a modellbe belevetített kereskedelmi minták (n=55, LOOCV) árpata tartalmának becslése az elektronikus nyelv mérésével kapott adatokból PLS regresszióval

A saját összeállítású árpa-robusta keverékek mérési pontjaira illesztett PLS modellbe belevetítve a kereskedelmi mintákat (37. ábra/b) a becslés hibája 8m/m%-nak adódott, a modell determinációs együtthatója szorosnak adódott ( $R^2=0,945$ ). Az AIC és RPD értékek alapján a modell gyengébbnek bizonyult az ismeretlen minták becslése esetén.

A PLS regressziós modellel, a kereszt validáció során kapott, becsült árpakoncentrációk további statisztikai elemzésével meghatároztam, hogy melyik az a legkisebb árpakoncentráció, melyet szignifikánsan ( $p>0,05$ ) nagyobbnak érzékel 0 m/m%-nál az elektronikus nyelv (38. ábra). Az így meghatározott kimutathatósági küszöbérték a kísérletben mért diszkrét értékek mellett 10m/m%-nak adódott.



**38. ábra** A saját összeállítású robusta-árpa keverékek hibásávjai (átlag $\pm$ 2 $\sigma$ ) az elektronikus nyelvvel kapott eredmények alapján

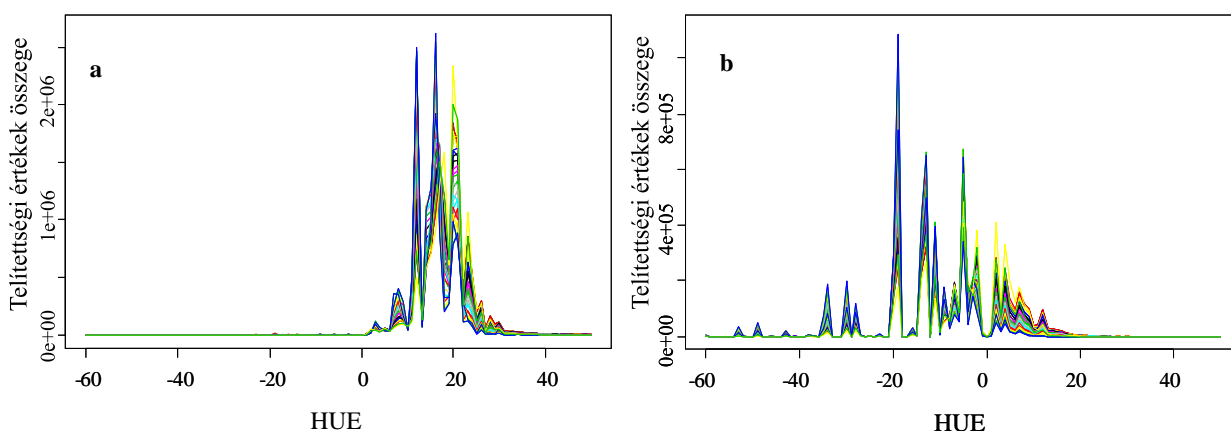
Összefoglalóan az elektronikus nyelvvel kapott eredményekről elmondható, hogy a robusta kávéhoz kevert alacsony árpa koncentráció (0-10m/m%) esetén a minták nem különböznek szignifikánsan egymástól. Ahogy nő az árpa koncentrációja, úgy egyre jelentősebb a kávéitalok ízbeli különbözősége. Az elektronikus nyelv adataiból végzett árpataralom becslés szoros korrelációval és viszonylag alacsony hibával jellemezhető. A felállított PLS regressziós modell 8%-os hibával tudja megbecsülni a robusta kávéhoz kevert árpa arányát. Az elektronikus nyelv kimutathatósági küszöbértéke a mért diszkrét értékek mellett 10m/m%.

### 5.3. Kétféle robusta kávéhoz kevert őrölt-pörkölt árpa kimutatása a kávéfajta hatásának elemzésére

A kétféle robusta kávéhoz különböző arányokban kevert árpa látórendszerrel való kimutathatóságának eredményei kerülnek bemutatásra az alábbi alfejezetekben.

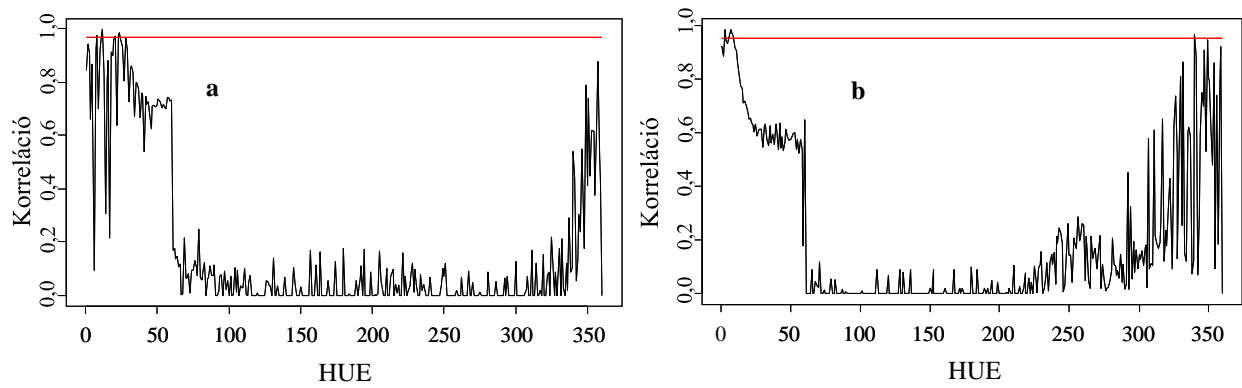
#### 5.3.1. A kétféle robusta kávéhoz kevert őrölt-pörkölt árpa detektálhatóságának látórendszerrel mért eredményei összehasonlítva a halogén és LED megvilágítás hatását

Jelen kísérletben az árpa mint idegen anyag jelenlétének kimutathatóságát vizsgáltam kétféle, 100%-os robusta kávéhoz keverve, valamint két, a csomagolás alapján ismert összetételű kereskedelmi árpakávé mintát (OT és AF) látórendszeres módszer segítségével. A méréseket mind halogén, mind LED-es megvilágítással (célműszer) elvégeztem, hogy összehasonlítsam a megvilágítás hatását az eredményekre.



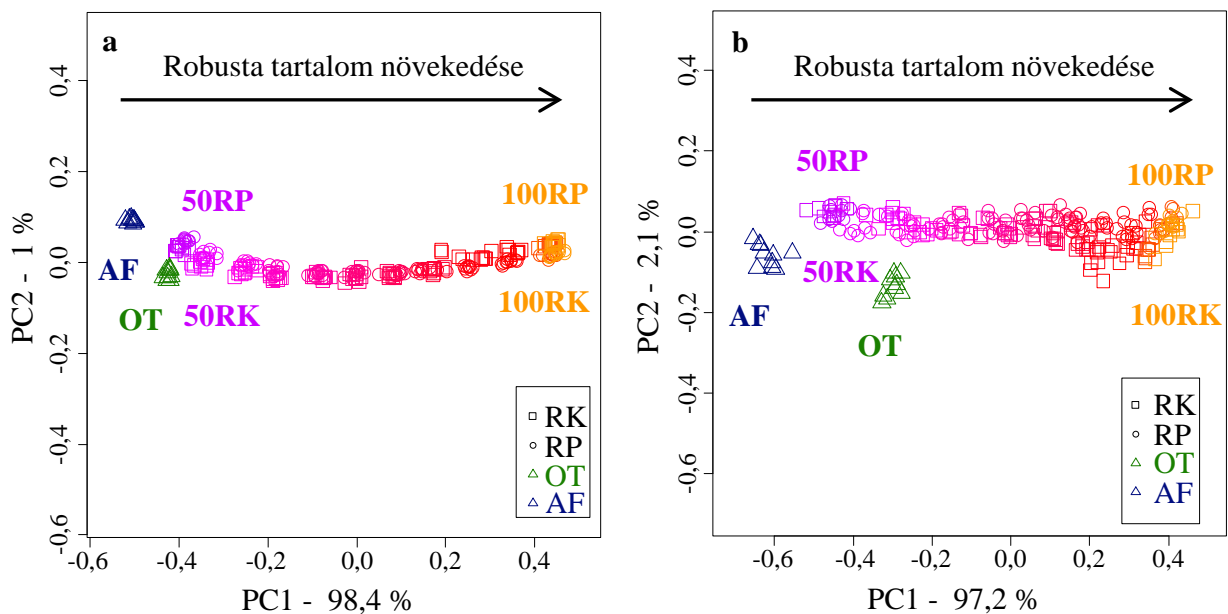
**39. ábra (a)** Az árpa-robusta keverékek látórendszeres méréssel kapott hue-telítettségi értékek összege diagramjának tipikus hue tartományai LED és **(b)** halogén megvilágítás esetén (-180°-180°)

A látórendszer nyers adatainak diagramja látható a 39. ábrán, ahol a telítettségi értékek összegét ábrázoltam a hue értékek függvényében ugyanazon a mintasoron, a különböző megvilágítások esetén. A 0-360° hue helyett az adatokat -180°-180°-ig ábrázoltam, az adatok könnyebb összevethetősége érdekében. A LED-del történő megvilágításnál készült képek adatai azt mutatják, hogy a tipikus hue értékek tartománya sokkal szűkebb, mint a halogén megvilágításnál, amely előnyt jelent az adatfeldolgozás során.



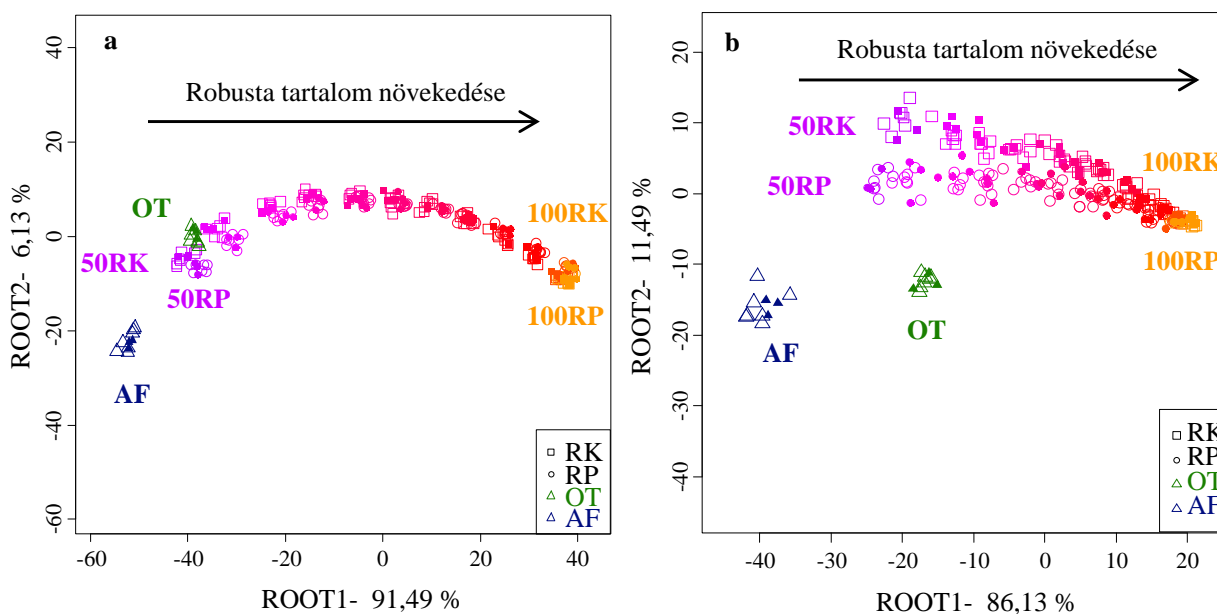
**40. ábra** (a) A kiválasztott tipikus hue értékek LED megvilágítás esetén ( $|r|>0,97$ : 8, 11, 12, 21, 23, 24) és (b) halogén megvilágítás esetén ( $|r|>0,95$ : 3, 6, 7, 8, 9, 340) a mért minták robusta koncentrációjával való korrelációjuk alapján

Az előzetes adatfeldolgozás során tipikus hue értékek kerültek kiválasztásra mind a LED, mind a halogén megvilágítás esetén a robusta koncentrációval történő korrelációjuk alapján, mivel ezek hordozzák a lényegi információt. A LED megvilágításnál a 0,97 feletti, míg halogén megvilágításnál a 0,95 feletti korrelációs együtthatóval rendelkező, releváns információt hordozó hue értékeket választottam, hat értéket mindkét esetben, amelyet a 40. ábra szemléltet.



**41. ábra** (a) A kétféle robusta kávéhoz különböző arányokban kevert árpa minták látórendszeres méréssel kapott adatainak PCA ábrája LED (PC1-PC2,  $n=260$ ) és (b) halogén megvilágítás esetén (PC1-PC2,  $n=260$ ) belevetítve a kereskedelmi mintákat

A PCA eredményei azt mutatták, hogy az árpa-robusta keverék minták csoportjai az árpatartalmuknak megfelelően jól elkülönülnek a látórendszeres mérés alapján, ahogyan azt a 41. ábra is mutatja. Az első két főkomponens az adatok varianciájának több mint 99%-át leírta mindkét megvilágítás esetén, habár a LED megvilágításnál (41. ábra/a) a minták elkülönülése hatékonyabbnak bizonyult a növekvő robusta tartalomnak megfelelően. Nem volt különbség a kétféle robusta kávéból készült minták azonos összetételű csoportjai között a LED megvilágítás esetén. A két kereskedelmi gabonakávé csoportja az árpatartalmának megfelelően illeszkedett a felállított koncentráció sorba. A halogén megvilágítás esetében (41. ábra/b) nagyobb volt a minták csoportjainak szórása, a különböző összetételű minták pontjai átfedést mutattak követve a növekvő robusta koncentrációt az első főkomponens mentén. A modellbe vetített kereskedelmi minták (AF, OT) pontjai nem mutattak átfedést az árpa-robusta kávékeverékek koncentráció sorának csoportjaival.



**42. ábra (a)** A kétféle robusta kávéhoz különböző arányokban kevert árpa minták látórendszeres méréssel kapott adatainak LDA ábrája LED és **(b)** halogén megvilágítás esetén (Root1-Root2, n=250, osztályozó változó: %-os összetétel és kávéfajta)

Az árpa-robusta keverékek LDA eredményei a PCA-hoz hasonlóak, a LED megvilágítás esetén a minták osztályozása a robusta tartalmuk alapján hatékonyabbnak bizonyult, ahogyan a 42. ábra/a része mutatja. A csoportok közti variancia több mint 91%-át az első diszkriminációs változó írja le. Ennek mentén a különböző arányban árpát tartalmazó minták osztályai teljesen elkülönülnek egymástól, habár a kétfajta robusta szerint csak a nagyobb %-ban árpát tartalmazó minták esetén tapasztalható különbség. A saját összetételű árpa-robusta keverékek által felállított modellbe

projektált kereskedelmi OT (49m/m% árpata tartalom) minta csoportja az 50 m/m%-ban árpát tartalmazó minták pontjaival fed át. Az AF (53m/m% árpata tartalom) kereskedelmi minta mind az első, mind a második diszkrimináns változó alapján elkülönül a többi mintától, de árpata tartalmuknak megfelelően mindkét kereskedelmi minta illeszkedik a koncentrációsorba.

A kereszt-validációs mátrix alapján, a modellépítés szakaszában a 100RP minta csoportjának egy része a 99RP, valamint a 100RK minta csoportjának egy része a 99RK mintához sorolódott. Így a kalibrációs modell pontossága 97,29%-nak adódott. Összességében a felállított klasszifikációs modell 95,01%-os pontosságú besorolásra volt képes, mivel kalibrációnál tapasztalt tévesztéseken felül a 85RK minta csoportjának egy részét a 85RP minta osztályába sorolta.

A halogén megvilágítás esetében (42. ábra/b) 80m/m%-os robusta tartalom alatt különváltak az azonos összetételű minták csoportjai a robusta fajtája alapján. A kereskedelmi minták (AF és OT) pontjai nem mutattak átfedést az árpa-robusta minták pontjaival, de a csoportok elhelyezkedése alapján az árpata tartalmukkal összhangban megfelelően helyezkedtek el.

A modellépítés szakaszában a kereszt-validációs mátrix alapján, kávé fajtánként több egymás melletti csoportot is eltévesztett a modell. Ennek eredményeként a kalibrációs modell pontossága 94,79%-nak adódott. A felállított klasszifikációs modell összességében 88,39%-os pontosságú besorolásra volt képes, mivel számos esetben tapasztaltam a csoportok egy részének rossz osztályba való sorolását.

A PCA és LDA eredmények alapján elmondható, hogy a különböző robusta koncentrációjú minták jól elkülönültek egymástól a növekvő robusta koncentrációnak megfelelően, a kétfajta robusta különbözőségét azonban nem mutatták ki a feldolgozási módszerek által kapott eredmények. A LED megvilágítás hatékonyabbnak bizonyult, mivel a minták csoportjai élesebben elkülönültek a növekvő robusta tartalom alapján, a mért hue tartomány is szűkebb volt, illetve az LDA-nál kapott modell kalibrációs és validációs %-ai is jobb értékeket mutattak.

Többváltozós PLS regressziós módszert használtam a kiválasztott hat hue érték adatai alapján az árpa-robusta keverékekben levő robusta tartalom becslésére. Az eredményeket a 20. táblázat tartalmazza, amelyben a modelleket jellemző paraméterek értékei láthatóak. A determinációs koefficiensek mindkét megvilágítással szorosnak adódtak, az RMSEP érték a LED megvilágításnál alacsonyabbnak adódott, a becslés hibája ebben az esetben kisebb. Mindezek ellenére a DW érték 1 körüli, amely azt mutatja, hogy mindkét modell autokorrelációval terhelt.

**20. táblázat** A robusta tartalom becslésére szolgáló PLS regressziós modellek kalibrációs és kereszt-validációs paraméterei LED és halogén megvilágítás esetén (LOOCV)

Modell paraméterek	Paraméter jellege	LED megvilágítás	Halogén megvilágítás
R <sup>2</sup>	kalibráció	0,9974	0,9766
RMSEC, %	kalibráció	1,69	5,07
DW	kalibráció	1,23	0,87
AIC	kalibráció	-11	231,24
RPD	kalibráció	19,54	6,54
R <sup>2</sup>	validáció	0,9972	0,9749
RMSECV, %	validáció	1,75	5,25
DW	validáció	1,23	0,86
AIC	validáció	-2,56	239,15
RPD	validáció	18,91	6,33
LV	mindkettő	7	4
n	mindkettő	260	260

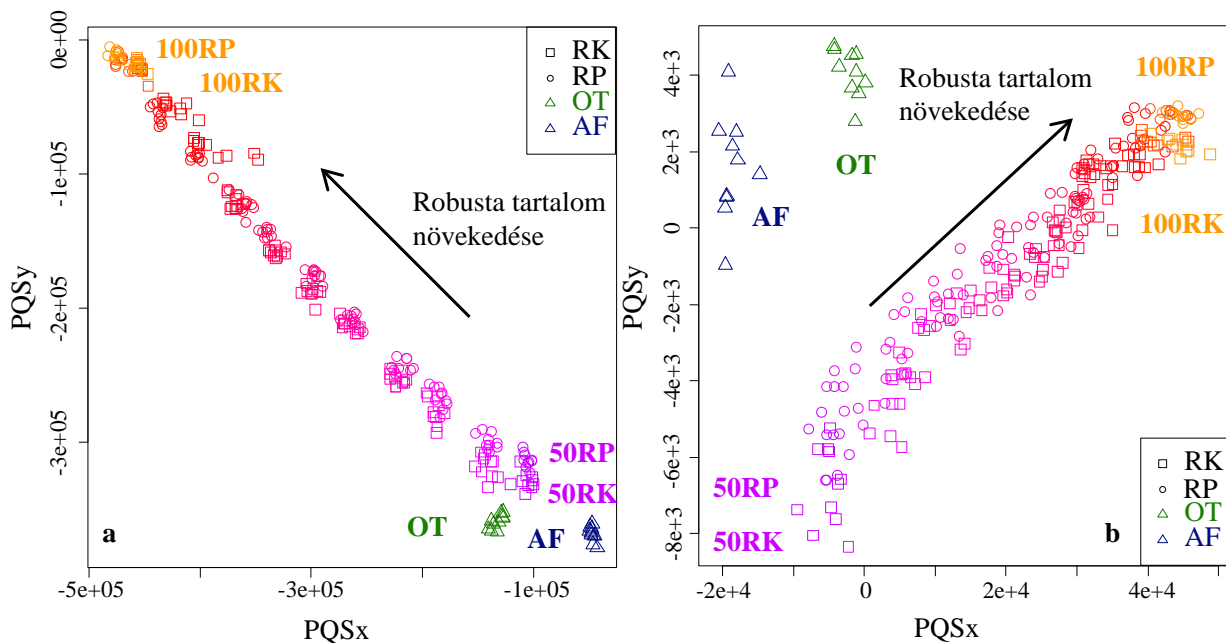
Mivel a lineáris módszer által kapott regressziós modellek nem bizonyultak megfelelőnek az árpa-robusta keverékekben a robusta tartalom becslésére, ezért a továbbiakban radiális SVM módszert alkalmaztam. A kétféle megvilágításnál felállított modellek kalibrációs és validációs paraméterei a 21. táblázatban láthatóak. A DW értékek alapján elmondható, hogy a modellek szisztematikus hibával nem terheltek. A halogén megvilágításhoz képest a LED megvilágítás esetében felállított modell paraméterei jobbnak bizonyultak, mivel a determinációs együttható értéke magasabb, az AIC alacsonyabb és az RPD szintén magasabb értéknek adódott a halogén megvilágítás értékeinél. A becslés hibája 2m/m% körülnek adódott a LED megvilágítás esetén.



**21. táblázat** A robusta tartalom becslésére szolgáló RSVM modellek kalibrációs és validációs paraméterei LED és halogén megvilágítás esetén

Modell paraméterek	Paraméter jellege	LED megvilágítás	Halogén megvilágítás
$R^2$	kalibráció	0,996	0,993
RMSEC, %	kalibráció	2,23	2,9
DW	kalibráció	2,137	2,116
AIC	kalibráció	22,138	63,068
RPD	kalibráció	15,42	11,65
$R^2$	validáció	0,996	0,991
RMSECV, %	validáció	2,26	3,16
DW	validáció	2,153	2,099
AIC	validáció	13,523	40,095
RPD	validáció	15,03	10,6

A PQS adatredukciós módszer háromféle megközelítése közül ebben a kísérletben a pont módszer bizonyult hatékonyabbnak mind a LED, mind a halogén megvilágítás esetén.

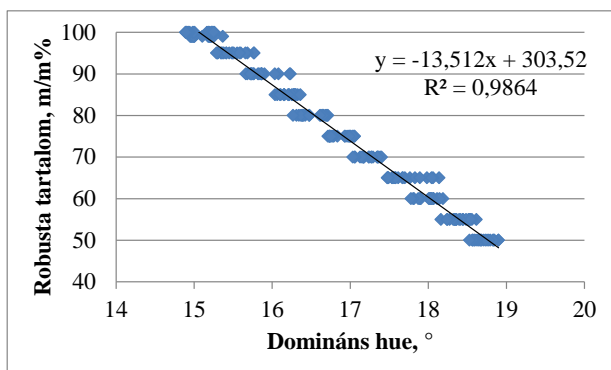


**43. ábra** (a) A kétféle robusta kávéhoz különböző arányokban kevert árpa minták látórendszeres méréssel kapott adatainak PQS ábrája LED és (b) halogén megvilágítás esetén (pont módszer)

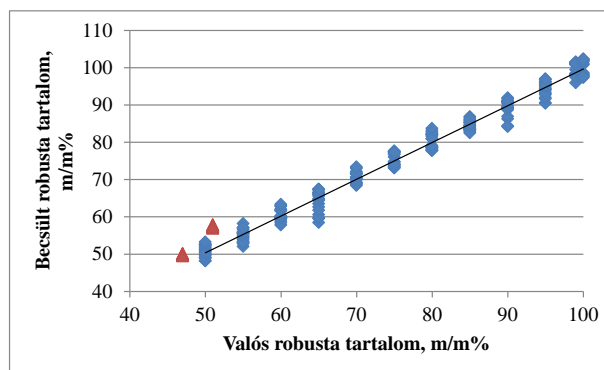
Az árpával kevert kávéminták csoportjainak elhelyezkedése monoton változást mutatott, ahogy az a 43. ábrán is látható, mindkét megvilágítás esetén. A megvilágítástól függetlenül a kávéminták csoportjainak elhelyezkedése a növekvő robusta koncentrációt követi. A kereskedelmi OT és AF minták elkülönülnek az árpa-robusta keverékektől.

Halogén megvilágítás esetén (43. ábra/b) a különböző árpataktartalmú minták követik ugyan a növekvő árpa koncentrációs sort, de ezek a csoportok már nem különülnek el annyira élesen egymástól, mint a LED megvilágításnál. Ennek ellenére a kétféle robusta kávé csoportjai jobban különválnak egymástól a robusta fajtája alapján. A LED megvilágításnál tehát erősebb a kávéban található árpa arányának hatása, mint a robusta kávé fajtája.

A saját összeállítású árpa-robusta keverékek PQS pont módszere (LED megvilágítás) által kapott adataiból meghatározott domináns hue értékei és a robusta tartalmuk közötti összefüggés jellege látható a 44. ábrán. A kapott összefüggés lineáris volt, mely igen szorosnak adódott ( $R^2=0,9864$ ). A modell független a mért robusta fajtájától. A lineáris modellel megbecsültem a kereskedelmi minták (AF-47m/m% robusta, OT-51m/m% robusta - az ábrán piros háromszöggel jelölt) robusta tartalmát, melynek jósága a 45. ábrán látható. A csomagoláson feltüntetett (bizonytalan) összetételi arányhoz képest 5m/m% alatti különbséggel valósult meg a robusta tartalom becslés (RMSEP=4,98m/m%).

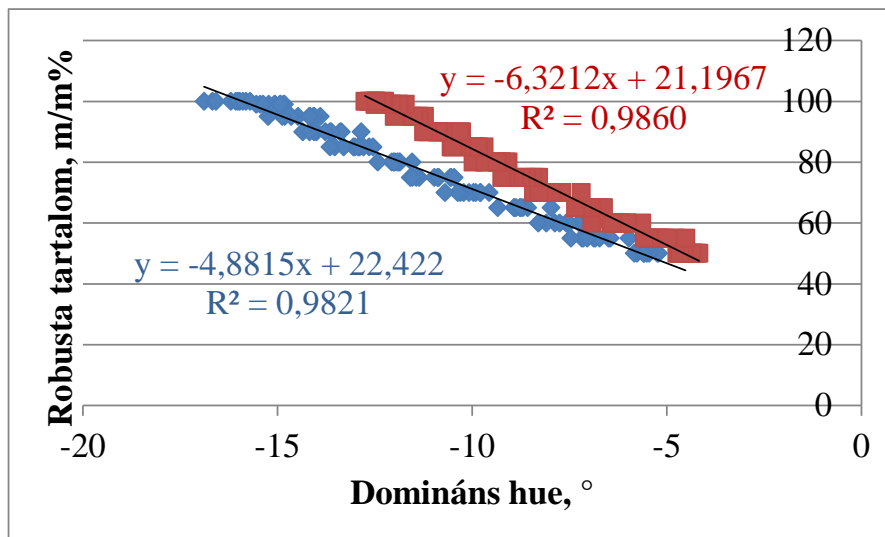


**44. ábra** A domináns hue és a robusta tartalom közötti összefüggés a saját összeállítású árpa-robusta keverékek esetén (LED megvilágítás)



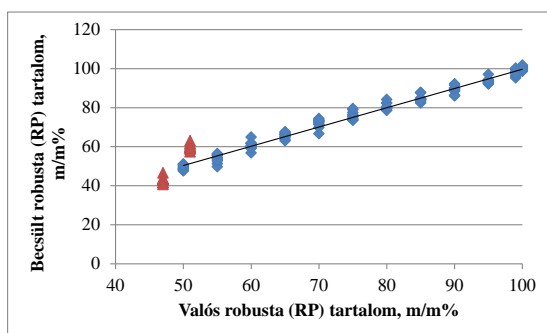
**45. ábra** A domináns hue alapján becsült robusta tartalom a kereskedelmi gabonakávék esetén piros háromszöggel jelölve (LED megvilágítás)

A halogén megvilágítás esetén már jelentős volt a kétféle robusta hatása, ami a PQS pont módszeréből kiszámolt domináns hue értékek és az egyes minták robusta tartalma közötti összefüggésnél is látszik (46. ábra). A kétféle robusta esetén két, különböző lineáris összefüggést kaptam.

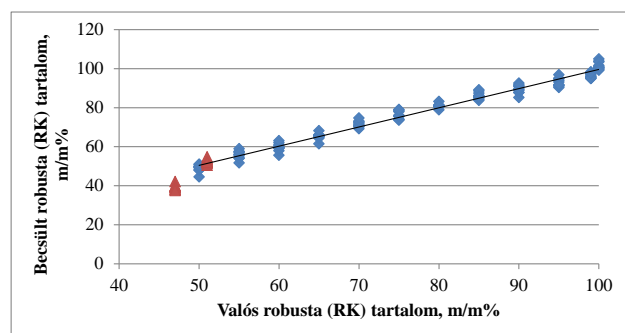


**46. ábra** A domináns hue és a robusta tartalom (kétféle robusta: K és P típusú) közötti összefüggés a saját összeállítású árpa-robusta keverékek esetén (halogén megvilágítás)

A kapott, különböző robusta fajtájú mintákra illesztett egyenesek egyenlete által megbecsültem a kereskedelmi minták (AF, OT- az ábrán piros háromszöggel jelölt) robusta tartalmát, melynek jósága a 47. és 48. ábrákon látható, a csomagoláson feltüntetett (bizonytalan) összetételi információkhoz képest az eltérés 8m/m% alatti. Az RK modellje által becslt kereskedelmi gabonakávék robusta tartalma jobb becslést eredményezett ( $RMSEP_{RP}=7,21m/m\%$ ,  $RMSEP_{RK}=5,70m/m\%$ ).



**47. ábra** A domináns hue alapján becslt robusta (RP) tartalom a kereskedelmi gabonakávék esetén piros háromszöggel jelölve (halogén megvilágítás)



**48. ábra** A domináns hue alapján becslt robusta (RK) tartalom a kereskedelmi gabonakávék esetén piros háromszöggel jelölve (halogén megvilágítás)

Összefoglalóan elmondható, hogy a kétféle robusta kávéhoz különböző arányban kevert árpa minták látórendszerrel történő mérése során a LED (közös fejlesztésű célműszer) és halogén megvilágítás esetén is sikerült növekvő robusta tartalom szerint elkülöníteni a mintákat. A célműszerrel kapott eredmények alapján az árpa arányának hatása erősebbnek bizonyult, mint a robusta kávé fajtájának hatása. Ez azt eredményezi, hogy esetemben a mérés független a robusta kávé fajtájától, csak a bekevert árpa mennyiségének különbözőségére utalnak az eredmények.

A pont alapú módszerrel kapott PQS adatok alapján kiszámolt domináns hue értékek és a minták robusta tartalma között szoros, lineáris összefüggés áll fenn. A modell alapján a két kereskedelmi minta robusta tartalmának becslése 5m/m% alatti eltéréssel valósult meg a csomagoláson feltüntetett (bizonytalan) információkhoz képest. A hat kiválasztott hue érték alapján elvégzett PLS regresszió szisztematikus hibával terhelt modellt eredményezett. A radiális SVM módszer által kapott összefüggés alapján a becslés hibája 2m/m% körülire adódott.

A halogén megvilágítás alkalmazása során szintén különváltak a minták a növekvő robusta tartalom szerint, de a minták csoportjai átfedést mutattak. A robusta fajtájának hatása is érvényesül a bekevert árpa mennyisége mellett. A pont alapú módszerrel kapott PQS adatok alapján kiszámolt domináns hue értékek és a minták robusta tartalma között szoros, lineáris összefüggés áll fenn mindkét fajta robusta esetén. A modell alapján a két kereskedelmi minta robusta tartalmának becslése 8m/m% alatti eltéréssel valósult meg a csomagoláson feltüntetett (bizonytalan) információkhoz képest. Az RK kávé minta esetében a kereskedelmi kávék robusta tartalmának becslését illetően pontosabb becslést értem el. A hat kiválasztott hue érték alapján elvégzett PLS regresszió szisztematikus hibával terhelt modellt eredményezett. A radiális SVM módszer által kapott összefüggés alapján a becslés hibája 3m/m% körülire adódott. A radiális SVM módszerrel tehát a látórendszer és a célműszer esetén is hasonlóan jó eredményeket kaptam a robusta tartalom kvantitatív meghatározására.

#### 5.4. Új tudományos eredmények

Új tudományos eredményeim az adott műszerekre és vizsgált mintákra bizonyítottak teljes mértékben, de véleményem szerint a kávéhamisításra vonatkozóan más potenciális szennyező anyagra is kiterjeszhetőek a kidolgozott mérési módszerek és adatfeldolgozási algoritmusok. Dolgozatom jelentőségét növeli, hogy elektronikus nyelv műszerrel a kávéban esetlegesen előforduló idegen anyagok detektálására irányuló vizsgálatokat még nem végeztek a felkutatott irodalmak alapján, valamint erre a problémára irányuló kérdés érzékszervi bírálat során sem képezte a vizsgálat tárgyát.

##### 1. tézis

Számítógépes látórendszeren alapuló mérési és kiértékelési módszert dolgoztam ki a kávé pörkölési folyamatának követésére, valamint a kávéhoz kevert árpa arányának meghatározására. Az eredmények többváltozós módszerekkel (PCA, LDA) való feldolgozásával bebizonyítottam, hogy az adott színezeti szöghöz (hue) tartozó telítettség

értékek (szaturáció) összegével képzett spektrum-jellegű adatsor alkalmas a pörkölés során bekövetkező, valamint a kávéhoz különböző arányban kevert árpa által okozott színváltozás monoton leképezésére.

2. tézis

A színváltozás jellemzésére új mérőszámot („domináns hue”) vezettem be. Megállapítottam, hogy a domináns hue segítségével őrlés nélkül is jól becsülhető a kávé pörköltségét jellemző Dr. Lange színérték ( $R^2=0,9689$ ). Az összefüggés szigmoid jellegű görbével jellemezhető, amely a gyakorlat számára fontos technológiai paraméterek becslését teszi lehetővé (pl.: átcsapás a világos pörkölésből a sötétbe). Mérésekkel igazoltam, hogy a domináns hue alkalmas a változó összetételű robusta kávé/árpa keverékek jellemzésére is. Az összefüggés jellegét lineáris modell írja le ( $R^2=0,9955$ ).

3. tézis

Bebizonyítottam, hogy az elektronikus nyelv alkalmas a pörkölés során bekövetkező kémiai változások monoton követésére, erőteljes különbséget detektáltam a világos és sötét pörkölésű arabica kávéminták között. A laikus bírálók bírálatának eredményei szintén szignifikáns különbséget eredményeztek a pörkölt ízre adott íztulajdonságra a világos és a sötét minták csoportjai között. Az elektronikus nyelv eredményeiből becsült érzékszervi tulajdonságok közül a pörkölt íz intenzitás volt a legjobban becsülhető ( $R^2=0,90$ ).

4. tézis

Megállapítottam, hogy az elektronikus nyelvvel kapott eredmények alapján a robusta kávé/árpa keverékek árpataartalma szoros korrelációval becsülhető ( $R^2=0,9506$ ,  $RMSE_{cv}=7,6m/m\%$ ). Az adott modellnél a mért diszkrét értékek mellett a detektálási küszöb  $10m/m\%$ .

5. tézis

Új képfeldolgozó célműszert fejlesztettem ki (LED világítással) a robusta kávéhoz kevert árpa mennyiségének detektálására. Igazoltam, hogy a célműszer mérései alapján kiszámolt domináns hue értékek és a minták árpataartalma között szoros, lineáris összefüggés áll fenn ( $R^2=0,9864$ ).

6. tézis

Mérésekkel igazoltam, hogy a kétféle robusta kávéhoz különböző arányban kevert árpa minták elkülöníthetőek az idegen anyag tartalom szerint látórendszeren alapuló módszerrel mind LED, mind halogén megvilágítás alkalmazásával.

A célműszer segítségével megállapítottam, hogy esetemben a robusta kávé/árpa keverékekben az árpa-arány hatása erősebb, mint a robusta kávé fajtájának hatása, vagyis a színmérés eredménye független a robusta kávé fajtájától.

## 6. Javaslatok

Kutatómunkám eredményei megalapozzák egy mintavevővel ellátott, a pörkölési folyamat online monitorozására képes látórendszer létjogosultságát, amely beépítve a pörkölő berendezésbe, segítheti a folyamat megfelelő időpillanatban történő leállítását.

Ehhez minden esetben a pörkölendő tétel egy kisebb adagját előzetesen egy kézi pörkölőben megpörköljük, és elkészítjük az adott mintára vonatkozó pörkölési sor modelljét. A tételről folyamatosan képeket készítünk, és feldolgozzuk azokat az adatfeldolgozó egységgel egybekötött látórendszer segítségével a munkám során kifejlesztett algoritmus segítségével. Az így kapott színparamétereket betápláljuk az ipari pörkölő berendezéshez csatolt mintavevővel egybeépített látórendszer adatfeldolgozó egységébe.

Az ipari pörkölő berendezésben a kézi pörkölőhöz hasonló mérési körülmények mellett képeket rögzítünk, melyeket az adatfeldolgozó egység folyamatosan összehasonlít az előzetesen felállított modell paramétereivel és láthatóvá válik a pörkölési folyamat vége.

Ahhoz, hogy ez a műszer a gyakorlatban is megjelenjen, további ipari környezetben történő mérésre van szükség, de a kutatómunkám eredményei, és a munka során kifejlesztett célműszer előrevetítheti a berendezés alkalmazását.

A kutatómunkám során kifejlesztett LED megvilágítású célműszer a kávéhoz kevert árpa detektálására is alkalmas. A PQS eredményekből kiszámított „domináns hue” módszerével az árpa arányának kvantifikálása is lehetővé vált. A további kutatások során érdemes lehet kiterjeszteni a módszert más, potenciális hamisító anyagokra is, és egy hordozható kézi műszert kialakítani, amely gyors módszerként segíti a hatóság munkáját az ellenőrzések során.

## 7. Összefoglalás

A szakirodalmi áttekintés során bemutattam, hogy milyen tényezők befolyásolhatják a kávé ízét/minőségét, melyek közül a pörkölést és az idegen/rosszabb minőségű alapanyag esetleges előfordulását emeltem ki. A kutatók számos különböző módszert (kémiai, optikai, érzékszervi bírálat, elektronikus nyelv) alkalmaztak, hogy különbséget tegyenek a két, kereskedelmi szempontból jelentős kávéfaj között őrölt-pörkölt formában, egy kávékeverékben, detektálják az esetlegesen előforduló idegen anyagokat, illetve meghatározzák az optimális pörköltiségi fokot. A legtöbb esetben azonban a minta előkészítés, vagy maga a mérés igen körülményesnek bizonyult.

A szakirodalmi elemzés alapján hiányosságokat fedeztem fel a kávé pörköltiségi fokának meghatározási módszerében, és a kávé idegen anyag tartalmának gyors meghatározását illetően. Az előbbieket alapján tehát olyan módszer kidolgozását tűztem ki célul látórendszeres és elektronikus nyelv műszer segítségével, amely képes indikálni a pörkölés végét a fogyasztó által elvárt minőség elérése érdekében, illetve képes detektálni az őrölt-pörkölt kávéban esetlegesen előforduló őrölt-pörkölt árpát, mint idegen anyag. Másik fontos célként fogalmaztam meg egy olyan célműszer kidolgozását, ami képes nyomon követni a kávé pörkölési folyamatát és kimutatható általa a kávéban esetlegesen előforduló árpa, hogy a minőség-ellenőrzés során rutinszerűen alkalmazható legyen.

A céljaim elérése érdekében különböző pörköltiségi fokú arabica kávékat, valamint hozzáadott árpát tartalmazó robusta kávékeverékeket vizsgáltam meg látórendszer (diffúz megvilágítás: halogén lámpákkal) és ISFET szenzorral rendelkező Alpha Astree elektronikus nyelv műszer segítségével.

Számítógépes látórendszeren alapuló mérési és kiértékelési módszert dolgoztam ki a kávé pörkölési folyamatának követésére. A szemes kávé és az őrölt kávé mérési eredményein alkalmazott többváltozós módszerekkel (PCA, LDA) bebizonyítottam, hogy az adott színezeti szöghöz (hue) tartozó telítettség értékek (szaturáció) összegével képzett spektrum-jellegű adatsor alkalmas a pörkölés során bekövetkező színváltozás monoton leképezésére. Az adatsor PQS transzformációja alapján új mérőszámot („domináns hue”) vezettem be a pörköltiségi folyamat nyomon követésére. Mérésekkel igazoltam, hogy az iparban a pörköltiségi fok jellemzésére alkalmazott Dr. Lange színérték és a „domináns hue” értékek közötti összefüggés szigmoid jellegű modellel írható le, amely a gyakorlat számára fontos technológiai paraméterek becslését teszi lehetővé (pl.: átcsapás a világos pörkölésből a sötétbe). Ez alapján egyrészt már szemes



állapotban becsülhető a szemes kávéból készült őrölt kávé Dr. Lange dimenziómentes értéke, másrészt a látórendszer egy alacsonyabb költségű alternatívát jelent a mindennapi ipari mérési gyakorlat számára.

Az elektronikus nyelv mérés eredményei alapján a világos, saját pörkölésű minták csoportja egyértelműen elkülönült a sötét, saját pörkölésű minták pontjaitól. A sötét pörkölésű minták csoportjain belül is egyértelmű elkülönülést tapasztaltam, a pörkölési fok növekedésével a minták csoportjai egyre élesebben különültek el.

A robusta kávéhoz kevert árpa esetén elmondható, hogy a látórendszeres mérések eredményei alapján az alacsony koncentrációban (0-10m/m%) árpát tartalmazó robusta-árpa keverékek csoportjai átfedést mutatnak. Ahogy nő a keverék árpa tartalma, úgy egyre inkább megkülönböztethetőek egymástól a kávéminták. A PQS adatredukciós módszer alapján korábban bevezetett „domináns hue” értékek és az árpatartalom között szoros, lineáris kapcsolat áll fenn, amely lehetővé teszi az ismeretlen összetételű árpa-robusta keverék összetételének becslését.

A LED megvilágítással rendelkező, kutatótársammal kifejlesztett célműszerrel kapott eredmények alapján bebizonyítottam, hogy az árpa arányának hatása erősebb, mint a robusta kávé fajtájának hatása. Ez azt eredményezi, hogy esetemben a mérés független a robusta kávé fajtájától, csak a bekevert árpa mennyiségének különbözőségére utalnak az eredmények.

A kutatási munkám eredményeképp kifejlesztett látórendszeres módszer tehát jó közelítéssel alkalmasnak bizonyult a kávé pörköltégi állapotának meghatározására a szemes és őrölt kávé esetén (szigmoid jellegű összefüggés), valamint a robusta kávéhoz kevert árpa arányának becslésére lineáris összefüggés alapján.

A leírt eredmények hozzájárulhatnak egy, a pörkölő berendezésbe beépíthető, a pörkölési folyamat online nyomon követését lehetővé tevő műszer kifejlesztéséhez. Az összeállított, LED-es megvilágításon alapuló látórendszer pedig az alapját jelentheti egy hordozható kézi műszer konstrukciójának a kávéban esetlegesen előforduló idegen anyag detektálására és kvantifikálására, amely megkönnyíti a hatóságok munkáját az ellenőrzések során.

## 8. Summary

Through the available publications the main attributes influencing coffee taste/quality were presented. Among them roasting and impurities/bad quality coffee mixed to the good quality coffee are the most important. Researchers applied several different methods (chemical, optical, sensory analysis, electronic tongue) to determine the ratio of the two commercially important coffee species (arabica, robusta) in a ground roasted coffee mixture or to detect the impurities or to define the optimal roasting degree. In most of the cases the sample preparation or the measurement is complicated and expensive. There is a lack of fast and cheap method to determine the roasting degree and to detect the impurities in coffee.

Therefore the objective of my work was to establish a method to indicate the end point of roasting process to achieve the required quality of coffee by the consumer, that way the roasting process can be monitored. Furthermore, the target was to introduce a method to detect impurities especially ground roasted barley in ground roasted coffee. Based on the obtained results a vision system linked to a special algorithm has been developed that is capable to detect ground roasted barley in coffee and to determine the roasting degree of coffee in a fast and easy way.

Arabica coffee with different roasting degree and robusta coffee with added ground roasted barley in different ratios were analysed to achieve the above described objectives. The coffee as whole bean or in ground form was measured with vision system applying halogen diffuse light; and also coffee brew was analysed with Alpha Astree type electronic tongue having IFSET sensors.

Measurement and evaluation method based on computer vision system have been developed to monitor the coffee roasting process. By multivariate methods (PCA, LDA) applied for the evaluation of coffee beans and ground coffee, I proved that the spectrum-like data set of hue-sum of saturation is suitable for monotone mapping of changes in color during roasting. A new value ("dominant hue") has been introduced to describe the level of roast based on PQS transformation. It was proven by measurements that there is a strong relationship between the Dr. Lange color value (used in the industry to characterize the degree of roast) and the "dominant hue" values. The obtained model was a sigmoid-like model. The model consists of several stages of roasting (sudden changes, slowing down processes, rupture between light and dark roasted coffees groups), therefore, the main technically important parameters can be predicted by using this sigmoid-like model.

Based on these results the vision system based instrument can be a lower-cost alternative to the everyday practice and industry measurements, the roasting degree (Dr. Lange color value) could be predicted without grinding the coffee.

The results of the electronic tongue showed that light and dark roasted sample groups were clearly separated from each other. There was a definite differentiation between the dark roasted coffee groups by the increase of roasting degree.

In case of ground roasted barley added to robusta coffee I found that the groups of low barley concentration (0-10w/w%) are overlapping by vision system method. As the barley content of the mixture increases, the samples become more distinct from each other. I found linear relationship between the introduced "dominant hue" values and the barley content of coffee that allows the estimation of the composition of the unknown barley-robusta blend.

Based on the measurements' results, a device using LED lighting as diffuse light was developed with my colleague, and it was found that the effect of the proportion of barley is stronger than the effect of robusta coffee variety. Which means that the measurement is independent of the robusta coffee types, only the mixed amount of barley is measured.

As a result of my research the developed vision system device was suitable to determine the roasting degree of coffee beans and ground coffee (sigmoid-like relationship) and to estimate the barley content of robusta-barley mixture (linear relationship).

The described results contribute to the development of a built-in instrument enabling the online tracking of the roasting process. The assembled vision system based on LED lighting means the basis of a portable hand-held instruments to detect and quantify impurities in coffee that can facilitate the work of authorities in case of inspections.

## 9. Mellékletek

### 9.1. Irodalomjegyzék

- Abdullah M.Z., L.C. Guan and B.M.N. Mohd Azemi, (2001): Stepwise Discriminant Analysis for Colour Grading of Oil Palm Using Machine Vision System. *Food and Bioprocess Processing*, 79(4), p.223–231. <http://doi.org/10.1205/096030801753252298>
- Akiyama M., K. Murakami, N. Ohtani, K. Iwatsuki, K. Sotoyama, A. Wada, K. Tokuno, H. Iwabuchi and K. Tanaka, (2003): Analysis of Volatile Compounds Released during the Grinding of Roasted Coffee Beans Using Solid-Phase Microextraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(7), p.1961–1969. <http://doi.org/10.1021/jf020724p>
- Alessandrini L., S. Romani, G. Pinnavaia and M. Dalla Rosa, (2008): Near infrared spectroscopy: An analytical tool to predict coffee roasting degree. <http://doi.org/10.1016/j.aca.2008.07.013>
- Alves R.C., S. Casal, M.R. Alves and M.B. Oliveira, (2009): Discrimination between arabica and robusta coffee species on the basis of their tocopherol profiles. *Food Chemistry*, 114(2009), p.295–299. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.093>
- Amari S. and S. Wu, (1999): Improving support vector machine classifiers by modifying kernel functions. *Neural networks: the official journal of the International Neural Network Society*. [http://doi.org/10.1016/S0893-6080\(99\)00032-5](http://doi.org/10.1016/S0893-6080(99)00032-5)
- Amboni R.D. de M.C., A.D.E. Francisco and E. Teixeira, (1999): Utilização de microscopia eletrônica de varredura para detecção de fraudes em café torrado e moído. *Food Science and Technology (Campinas)*, 19, p.311–313.
- Andueza S., M.P. de Peña and C. Cid, (2003): Chemical and Sensorial Characteristics of Espresso Coffee As Affected by Grinding and Torrefacto Roast. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(24), p.7034–7039. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1021/jf034628f>
- Apetrei I.M. and C. Apetrei, (2014): Detection of virgin olive oil adulteration using a voltammetric e-tongue. *Computers and Electronics in Agriculture*, 108, p.148–154. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2014.08.002>
- Balázs G., Z. Bugyi, S. Gergely, A. Hegyi, A. Hevér, A. Salgó and S. Tömösközi, (2011): Élelmiszeranalitika gyors és automatizált módszerei. In Nemzeti Tankönyvkiadó.
- Banks M., C. McFadden and C. Atkinson, (1999): *The World Encyclopedia of Coffee*, Anness Publishing.

- Baranyai L., D.L. Dénes and J. Felföldi, (2012): Analysis of Hue Spectra During Storage of Pepper ( *Capsicum annum* ). *International Conference of Agricultural Engineering - CIGR-AgEng 2012, Valencia, Spain*.
- Barnes R.J., M.S. Dhanoa and S.J. Lister, (1989): Standard normal variate transformation and de-trending of near-infrared diffuse reflectance spectra. *Applied Spectroscopy*, 43(5), p.772–777.
- Bee S., C.H.J. Brando, G. Brumen, N. Carvalhaes, I. Kolling-Speer, K. Speer, F.S. Liverani, A.A. Teixeira, R. Teixeira and R.A. Thomaziello, (2005): The raw bean. *Espresso coffee, the science of quality*, p.87–178.
- Belitz H.D., W. Grosch and P. Schieberle, (2009): *Food Chemistry*, Springer Berlin Heidelberg.
- Bernal J.L., M. J. Del Nozal, L. Toribio and M. Del Alamo, (1996): HPLC Analysis of Carbohydrates in Wines and Instant Coffees Using Anion Exchange Chromatography Coupled to Pulsed Amperometric Detection. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(2), p.507–511. <http://doi.org/10.1021/jf9406065>
- Berrueta L.A., R.M. Alonso-Salces and K. Héberger, (2007): Supervised pattern recognition in food analysis. *Journal of chromatography. A*, 1158(1-2), p.196–214. <http://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.05.024>
- Bertone E., A. Venturello, A. Girauo, G. Pellegrino and F. Geobaldo, (2016): Simultaneous determination by NIR spectroscopy of the roasting degree and Arabica/Robusta ratio in roasted and ground coffee. *Food Control*, 59, p.683–689. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.055>
- Bhumiratana N., K. Adhikari and E.I. Chambers, (2011): Evolution of sensory aroma attributes from coffee beans to brewed coffee. *LWT - Food Science and Technology*, 44(10), p.2185–2192. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.001>
- Bicho N.C., A.E. Leitão, J.C. Ramalho, N.B. de Alvarenga and F.C. Lidon, (2013): Impact of Roasting Time on the Sensory Profile of Arabica and Robusta Coffee. *Ecology of Food and Nutrition*, 52(2), p.163–177. <http://doi.org/10.1080/03670244.2012.706061>
- Blank I., A. Sen and W. Grosch, (1991): Aroma impact compounds of arabica and robusta coffee. Qualitative and quantitative investigations. In *Quatorzieme colloque scientifique international sur le cafe, San Francisco, 14-19 juillet 1991*. pp. 117–129.
- Briandet R., E.K. Kemsley and R.H. Wilson, (1996): Discrimination of Arabica and Robusta in Instant Coffee by Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Chemometrics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(1), p.170–174. <http://doi.org/10.1021/jf950305a>
- Casal S., M.R. Alves, E. Mendes, M.B.P.P. Oliveira and M.A. Ferreira, (2003): Discrimination

- between Arabica and Robusta Coffee Species on the Basis of Their Amino Acid Enantiomers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(22), p.6495–6501. <http://doi.org/10.1021/jf034354w>
- Cesar C.L., H. Vargas, C.A.S. Lima, J. Mendes Filho and L.C.M. Miranda, (1984): On the use of photoacoustic spectroscopy for investigating adulterated or altered powdered coffee samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 32(6), p.1355–1358. <http://doi.org/10.1021/jf00126a034>
- Ciampa A., G. Renzi, A. Taglienti, P. Sequi and M. Valentini, (2010): Studies on coffee roasting process by means of nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of Food Quality*, 33(2), p.199–211. <http://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00306.x>
- Ciosek P. and W. Wróblewski, (2007): Sensor arrays for liquid sensing--electronic tongue systems. *The Analyst*, 132(10), p.963–978. <http://doi.org/10.1039/b705107g>
- Cordella C., I. Moussa, A.C. Martel, N. Sbirrazzouli and L. Lizzani-Cuvelier, (2002): Recent developments in food characterization and adulteration detection: Technique-oriented perspectives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(7), p.1751–1764. <http://doi.org/10.1021/jf011096z>
- Costa A.M.S., M.M.C. Sobral, I. Delgadillo and A. Rudnitskaya, (2014): Electronic tongue as a rapid tool for the assessment of coffee flavour and chemical composition. *SENSORS, 2014 IEEE*, p.2126–2129. <http://doi.org/10.1109/ICSENS.2014.6985458>
- Craig A.P., A.S. Franca and L.S. Oliveira, (2012): Discrimination between defective and non-defective roasted coffees by diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.016>
- Craig A.P., A.S. Franca, L.S. Oliveira, J. Irudayaraj and K. Iileje, (2015): Fourier transform infrared spectroscopy and near infrared spectroscopy for the quantification of defects in roasted coffees. <http://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.11.038>
- Cristianini N. and J. Shawe-Taylor, (2000): *An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods*, Cambridge university press.
- Czerny M., F. Mayer and W. Grosch, (1999): Sensory Study on the Character Impact Odorants of Roasted Arabica Coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(2), p.695–699. <http://doi.org/10.1021/jf980759i>
- Delgado Assad E., E. Eyji Sano, S.A. Rodrigues da Cunha, T.B. Simões Correa and H.R. Rodrigues, (2002): Identificação de impurezas e misturas em pó de café por meio de comportamento espectral e análise de imagens digitais. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 37(1), p.211–216. <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000200013>

- Deutsches Institut für Normung Normenausschuss Lebensmittel und Landwirtschaftliche Produkte, (2009): *Sensorische Analyse - Prüfverfahren - Rangordnungsprüfung: (ISO 8587:2006)*, Beuth.
- Dias L.A., A.M. Peres, A.C.A. Veloso, F.S. Reis, M. Vilas-Boas and A.A.S.C. Machado, (2009): An electronic tongue taste evaluation: Identification of goat milk adulteration with bovine milk. *Sensors and Actuators B*, 136, p.209–217. <http://doi.org/10.1016/j.snb.2008.09.025>
- Domingues D.S., E.D. Pauli, J.E.M. De Abreu, F.W. Massura, V. Cristiano, M.J. Santos and S.L. Nixdorf, (2014): Detection of roasted and ground coffee adulteration by HPLC by amperometric and by post-column derivatization UV–Vis detection. *Food Chemistry*, 146, p.353–362. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.066>
- Dorfner R., T. Ferge, C. Yeretizian, A. Kettrup and R. Zimmermann, (2004): Laser Mass Spectrometry as On-Line Sensor for Industrial Process Analysis: Process Control of Coffee Roasting. *Analytical Chemistry*, 76(5), p.1386–1402. <http://doi.org/10.1021/ac034758n>
- Downey G. and B. Spengler, (1996): Compositional Analysis of Coffee Blends by near Infrared Spectroscopy. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 35(2), p.179–188.
- Du C.-J. and D.-W. Sun, (2005): Pizza sauce spread classification using colour vision and support vector machines. *Journal of Food Engineering*, 66(2), p.137–145. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.011>
- Du C.-J. and D.-W. Sun, (2004): Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5), p.230–249. <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.006>
- Dutra E.R., L.S. Oliveira, A.S. Franca, V.P. Ferraz and R.J.C.F. Afonso, (2001): A preliminary study on the feasibility of using the composition of coffee roasting exhaust gas for the determination of the degree of roast. *Journal of Food Engineering*, 47(3), p.241–246. [http://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00116-3](http://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00116-3)
- Ebrahimi-Najafabadi H., R. Leardi, P. Oliveri, M.C. Casolino, M. Jalali-Heravi and S. Lanteri, (2012): Detection of addition of barley to coffee using near infrared spectroscopy and chemometric techniques. *Talanta*, 99, p.175–179. <http://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.05.036>
- Eggers R. and A. Pietsch, (2001): Technology I: Roasting. In *Coffee*. Blackwell Science Ltd, pp. 90–107. <http://doi.org/10.1002/9780470690499.ch4>
- El-Abassy R.M., P. Donfack and A. Materny, (2011): Discrimination between Arabica and Robusta green coffee using visible micro Raman spectroscopy and chemometric analysis. *Food Chemistry*, 126, p.1443–1448. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.132>

- Esteban-Díez I., J.M. González-Sáiz, C. Sáenz-González and C. Pizarro, (2007): Coffee varietal differentiation based on near infrared spectroscopy. *Talanta*, 71(1), p.221–9. <http://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.03.052>
- Farah A., (2012): Coffee Constituents. In *Coffee*. Wiley-Blackwell, pp. 21–58. <http://doi.org/10.1002/9781119949893.ch2>
- Farah A., M.C. Monteiro, V. Calado, A.S. Franca and L.C. Trugo, (2006): Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry*, 98(2), p.373–380. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.032>
- Farah A., T. De Paulis, L.C. Trugo and P.R. Martin, (2005): Effect of roasting on the formation of chlorogenic acid lactones in coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), p.1505–1513. <http://doi.org/10.1021/jf048701t>
- Felföldi J., L. Baranyai, F. Firtha, L. Friedrich and C. Balla, (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*, 9(1), p.27–53. <http://doi.org/10.1556/Progress.9.2013.2>
- Ferreira E.J., R.C.T. Pereira, A.C.B. Delbem, O.N. Oliveira and L.H.C. Mattoso, (2007): Random subspace method for analysing coffee with electronic tongue. *Electronics Letters*, 43(21), p.1138–1139. <http://doi.org/10.1049/el:20071182>
- Fontes A.S., A.C. Bento, L.C.M. Miranda and M.L. Baesso, (2001): Thermal lens evaluation of the presence of adulterants in brewed coffee. *Analytical Chemistry*, 17(January 2016), p.526–529.
- Franca A.S., J.C.F. Mendonça and S.D. Oliveira, (2005): Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. *LWT - Food Science and Technology*, 38(7), p.709–715. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.014>
- Franca A.S., L.S. Oliveira, R.C.S. Oliveira, P.C.M. Agresti and R. Augusti, (2009): A preliminary evaluation of the effect of processing temperature on coffee roasting degree assessment. *Journal of Food Engineering*, 92(3), p.345–352. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.12.012>
- Fugel R., R. Carle and A. Schieber, (2005): Quality and authenticity control of fruit purees, fruit preparation and jams--a review. *Trends in food science & technology*., 16(10), p.433–441. <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.07.001>
- Garrett R., B.G. Vaz, A.M.C. Hovell, M.N. Eberlin and C.M. Rezende, (2012): Arabica and Robusta Coffees: Identification of Major Polar Compounds and Quantification of Blends by Direct-Infusion Electrospray Ionization–Mass Spectrometry. *Journal of Agricultural and*



- Food Chemistry*, 60(17), p.4253–4258. <http://doi.org/10.1021/jf300388m>
- Gilissen L.J.W.J., I.M. Van Der Meer and M.J.M. Smulders, (2014): Reducing the incidence of allergy and intolerance to cereals. *Journal of Cereal Science*, 59(3), p.337–353. <http://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.005>
- Godinho A., L.S. Oliveira, V.P. Ferraz and A.S. Franca, (2003): Detecção e quantificação de impurezas em café torrado e moído (Detection and quantification of contaminants in roasted and ground coffee). *Revista Brasileira de Armazenamento, Especial Café*, 7, p.50–55.
- Gonzalez A., F. Pablos, M. Martin, M. Leon-Camacho and M. Valdenebro, (2001): Analytical, Nutritional and Clinical Methods Section HPLC analysis of tocopherols and triglycerides in coffee and their use as authentication parameters. *Food Chemistry*, 73, p.93–101.
- Gonzalez R.C. and R.E. Woods, (1992): *Digital Image Processing* Addison-We.,
- Gunn S.R., (1998): Support Vector Machines for Classification and Regression. *University of Southampton*.
- Hečimović I., A. Belščak-Cvitanović, D. Horžić and D. Komes, (2011): Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. *Food Chemistry*, 129, p.991–1000. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.059>
- Helland I.S., (1990): Partial Least Squares Regression and Statistical Models. *Scandinavian Journal of Statistics*, 17(2), p.97–114.
- Hernández J.A., B. Heyd and G. Trystram, (2008): On-line assessment of brightness and surface kinetics during coffee roasting. *Journal of Food Engineering*, 87(3), p.314–322. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.009>
- Hill T. and P. Lewicki, (2007): *STATISTICS: Methods and Applications*, Tulsa: StatSoft.
- Hoaglin D.C., (2015): *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, Elsevier. <http://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.42125-2>
- Hong X., J. Wang and S. Qiu, (2014): Authenticating cherry tomato juices—Discussion of different data standardization and fusion approaches based on electronic nose and tongue. *FRIN*, 60, p.173–179. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.039>
- Hvg.hu, (2015): Óvatosan kávézzon! Szennyezett kávé tiltott be és kobzott el a Nébih.
- Illy A. and R. Viani, (2005): *Espresso Coffee: The Science of Quality*, Elsevier Academic.
- ISO/FIDS 6668:2008, (2008): Green coffee -Preparation of samples for use in sensory analysis.
- ISO/FIDS 8587:2006, (2006): Sensory analysis- Methodology- Ranking.
- Ivanciuc O., (2007): Applications of Support Vector Machines in Chemistry. *Reviews in Computational Chemistry*, 23, p.291–400.
- Jackson D., J. Skillman and J. Vandermeer, (2012): Indirect biological control of the coffee leaf

- rust, *Hemileia vastatrix*, by the entomogenous fungus *Lecanicillium lecanii* in a complex coffee agroecosystem. *Biological Control*, 61, p.89–97. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.01.004>
- Jham G.N., J.K. Winkler, M.A. Berhow and S.F. Vaughn, (2007):  $\gamma$ -Tocopherol as a Marker of Brazilian Coffee (*Coffea arabica* L.) Adulteration by Corn. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(15), p.5995–5999. <http://doi.org/10.1021/jf070967n>
- Jokanovic M., N. Dzinic, B. Cvetkovic, S. Grujic and B. Odzakovic, (2012): Changes of physical properties of coffee beans during roasting. *Acta periodica technologica*, 342(43), p.21–31. <http://doi.org/10.2298/APT1243021J>
- Kaffka K.J. and Z. Seregély, (2002): pqs (polar qualification system) the new data reduction and product qualification method. *Acta Alimentaria*, 31(1), p.3–20. <http://doi.org/10.1556/AAlim.31.2002.1.2>
- Kántor D.B., P. Mészáros and A. Fekete, (2006): Kávé mennyiségi és minőségi ízjellemzőinek vizsgálata elektronikus nyelv alkalmazásával. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 4, p.216–223.
- Kaszab T., Z. Kovács, D. Szöllősi and A. Fekete, (2011): Prediction of carrot sensory attributes by mechanical tests and electronic tongue. *Acta Alimentaria*, 40(0), p.41–58. <http://doi.org/10.1556/AAlim.40.2011.Suppl.5>
- Kovács Z., I. Dalmadi, L. Lukács, S. László, K. Szántai-Kohegyi, Z. Kókai and A. Fekete, (2010): Geographical origin identification of pure Sri Lanka tea infusions with electronic nose, electronic tongue and sensory profile analysis. *Journal of Chemometrics*, 24(3-4), p.121–130. <http://doi.org/10.1002/cem.1280>
- Kovács Z., L. Sipos, D. Szöllősi, Z. Kókai, G. Székely and A. Fekete, (2011): Electronic Tongue and Sensory Evaluation for Sensing Apple Juice Taste Attributes. *Sensor Letters*, 9(4), p.1273–1281. <http://doi.org/10.1166/sl.2011.1687>
- Kovács Z., D. Szöllősi and A. Fekete, (2009): Application of electronic tongue to soya drink discrimination. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 5(1), p.75–96. <http://doi.org/10.1556/Progress.5.2009.4>
- Kučera L., R. Papoušek, O. Kurka, P. Barták and P. Bednář, (2016): Study of composition of espresso coffee prepared from various roast degrees of *Coffea arabica* L. coffee beans. *Food chemistry*, 199, p.727–35. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.080>
- Kuit M., D.M. Jasen and N. Van Thiet, (2004): Manual for Arabica cultivation. , p.213.
- Lashermes P. and F. Anthony, (2007): Technical Crops. In C. Kole, ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 109–118. [http://doi.org/10.1007/978-3-540-34538-1\\_5](http://doi.org/10.1007/978-3-540-34538-1_5)

- Legin A., A. Rudnitskaya, L. Lvova, Y. Vlasov, C. Di Natale and A. D'Amico, (2003): Evaluation of Italian wine by the electronic tongue: Recognition, quantitative analysis and correlation with human sensory perception. *Analytica Chimica Acta*, 484(1), p.33–44. [http://doi.org/10.1016/S0003-2670\(03\)00301-5](http://doi.org/10.1016/S0003-2670(03)00301-5)
- Legin A., A. Rudnitskaya, Y. Vlasov, C. Di Natale, F. Davide and A. D'Amico, (1997): Tasting of beverages using an electronic tongue. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 44(1), p.291–296.
- Martin M.J., F. Pablos and A.G. Gonzalez, (1999): Characterization of arabica and robusta roasted coffee varieties and their chemical composition. *Food Chemistry*, 66, p.365–370.
- Martín M.J., F. Pablos and A.G. González, (1998): Discrimination between arabica and robusta green coffee varieties according to their chemical composition. *Talanta*, 46, p.1259–1264.
- Martín M.J., F. Pablos, A.G. González, M.S. Valdenebro and M. Leó N-Camacho, (2001): Fatty acid profiles as discriminant parameters for coffee varieties differentiation. *Talanta*, 54, p.291–297.
- Mayer F., M. Czerny and W. Grosch, (2000): Sensory study of the character impact aroma compounds of a coffee beverage. *European Food Research and Technology*, 211(4), p.272–276. <http://doi.org/10.1007/s002170000169>
- Mendes L.C., H.C. De Menezes, M. Aparecida and A.P. Da Silva, (2001): Optimization of the roasting of robusta coffee (*C. canephora conillon*) using acceptability tests and RSM. *Food Quality and Preference*, 12(2), p.153–162. [http://doi.org/10.1016/S0950-3293\(00\)00042-2](http://doi.org/10.1016/S0950-3293(00)00042-2)
- Mendoza F. and J.M. Aguilera, (2004): Application of Image Analysis for Classification of Ripening Bananas. *Journal of Food Science*, 69(9), p.E471–E477. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09932.x>
- Meyer D., (2015): Support Vector Machines \* The Interface to libsvm in package e1071.
- Milanez K.D.T.M. and M.J.C. Pontes, (2014): Classification of edible vegetable oil using digital image and pattern recognition techniques. *Microchemical Journal*, 113, p.10–16. <http://doi.org/10.1016/j.microc.2013.10.011>
- Næs T., P.B. Brockhoff and O. Tomic, (2010): ANOVA for Sensory and Consumer Data. In *Statistics for Sensory and Consumer Science*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 193–207. <http://doi.org/10.1002/9780470669181.ch13>
- Nogueira T. and C.L. do Lago, (2009): Detection of adulterations in processed coffee with cereals and coffee husks using capillary zone electrophoresis. *Journal of separation science*, 32(20), p.3507–11. <http://doi.org/10.1002/jssc.200900357>

- Oliveira R.C.S., L.S. Oliveira, A.S. Franca and R. Augusti, (2009): Evaluation of the potential of SPME-GC-MS and chemometrics to detect adulteration of ground roasted coffee with roasted barley. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(3), p.257–261. <http://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.10.015>
- Omwamba M. and Q. Hu, (2009): Antioxidant capacity and antioxidative compounds in barley (*Hordeum vulgare* L.) grain optimized using response surface methodology in hot air roasting. *European Food Research and Technology*, 229(6), p.907–914. <http://doi.org/10.1007/s00217-009-1128-7>
- Ouyang Q., J. Zhao and Q. Chen, (2014): Instrumental intelligent test of food sensory quality as mimic of human panel test combining multiple cross-perception sensors and data fusion. <http://doi.org/10.1016/j.aca.2014.06.001>
- Papadakis S.E., S. Abdul-Malek, R.E. Kamdem and K.L. Yam, (2000): A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods. *Food technology*, 54(12), p.48–51.
- Parra V., A.A. Arrieta, J.-A. Fernández-Escudero, M. Luz Rodríguez-Méndez and J.A. De Saja, (2006): Electronic tongue based on chemically modified electrodes and voltammetry for the detection of adulterations in wines. *Sensors and Actuators B*, 118, p.448–453. <http://doi.org/10.1016/j.snb.2006.04.043>
- Phat C., B. Moon and C. Lee, (2016): Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system. *Food chemistry*, 192, p.1068–77. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.113>
- Phatthara-Aneksin A., V. Yuwaphan, S. Pratontep, T. Chodarusawad, K. Lopetcharat, I. Suppavorasatit, F. Kulapichitr and C. Borompichaichartkul, (2015): Classification of arabica by electronic tongue. *Siam Physics Congress 2015*.
- Pittia P. and S. Romani, (2010): *Coffee Processing* K. Kristbergsson & S. Otlés, eds., ISEKI Food Series, Springer.
- Pizarro C., I. Esteban-Díez and J.M. González-Sáiz, (2007): Mixture resolution according to the percentage of robusta variety in order to detect adulteration in roasted coffee by near infrared spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*, 585, p.266–276. <http://doi.org/10.1016/j.aca.2006.12.057>
- Prodolliet J., M. Bruelhart, M.B. Blanc, V. Leloup, G. Cherix, C.M. Donnelly and R. Viani, (1995): Adulteration of soluble coffee with coffee husks and parchments. *Journal of AOAC International*, 78(3), p.761–767.
- Purdon M.P. and D.A. McCamey, (1987): Use of a 5-caffeoylquinic Acid/Caffeine Ratio to Monitor the Coffee Roasting Process. *Journal of Food Science*, 52(6), p.1680–1683.

<http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb05905.x>

- Reis N., A.S. Franca and L.S. Oliveira, (2013): Performance of diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy and chemometrics for detection of multiple adulterants in roasted and ground coffee. *LWT - Food Science and Technology*, 53, p.395–401. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.04.008>
- Ribeiro J.S., M.M.C. Ferreira and T.J.G. Salva, (2011): Chemometric models for the quantitative descriptive sensory analysis of Arabica coffee beverages using near infrared spectroscopy. *Talanta*, 83(5), p.1352–1358. <http://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.11.001>
- Richards E., C. Bessant and S. Saini, (2002): Multivariate Data Analysis in Electroanalytical Chemistry. *Electroanalysis*, 14(22), p.1533–1542. [http://doi.org/10.1002/1521-4109\(200211\)14:22<1533::AID-ELAN1533>3.0.CO;2-T](http://doi.org/10.1002/1521-4109(200211)14:22<1533::AID-ELAN1533>3.0.CO;2-T)
- Robinson T.J., C.M. Borrer and R.H. Myers, (2004): Robust Parameter Design: A Review. *Quality and Reliability Engineering International*, 20(1), p.81–101. <http://doi.org/10.1002/qre.602>
- Sano E.E., E.D. Assad, S.A.R. Cunha, T.B.S. Correa and H.R. Rodrigues, (2003): Quantifying adulteration in roast coffee powders by digital image processing. *Journal of Food Quality*, 26(2), p.123–134. <http://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2003.tb00232.x>
- Santos J.R., M. Lopo, A.O.S.S. Rangel and J.A. Lopes, (2016): Exploiting near infrared spectroscopy as an analytical tool for on-line monitoring of acidity during coffee roasting. *Food Control*, 60, p.408–415. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.007>
- Santos J.R., M.C. Sarraguça, A.O.S.S. Rangel and J.A. Lopes, (2012): Evaluation of green coffee beans quality using near infrared spectroscopy: A quantitative approach. *Food Chemistry*, 135, p.1828–1835. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.059>
- Santos J.R., O. Viegas, R.N.M.J. Páscoa, I.M.P.L.V.O. Ferreira, A.O.S.S. Rangel and J.A. Lopes, (2016): In-line monitoring of the coffee roasting process with near infrared spectroscopy: Measurement of sucrose and colour. In *Food Chemistry*. pp. 103–110. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.114>
- Segnini S., P. Dejmek and R. Öste, (1999): A Low Cost Video Technique for Colour Measurement of Potato Chips. *LWT - Food Science and Technology*, 32(4), p.216–222. <http://doi.org/10.1006/fstl.1999.0536>
- Silva H.S.A., J.P.L. Tozzi, C.R.F. Terrasan and W. Bettiol, (2012): Endophytic microorganisms from coffee tissues as plant growth promoters and biocontrol agents of coffee leaf rust. *Biological Control*, 63, p.62–67. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.06.005>
- Singhal R.S., P.K. Kulkarni and D. V Reg, (1997): *Handbook of indices of food quality and*

*authenticity*, Elsevier.

- Soós J., S. Kozits, Z. Kovács, E. Várvölgyi, D. Szöllősi and A. Fekete, (2013): Application of electronic tongue to beverages. *Acta Alimentaria*, 42(0), p.90–98. <http://doi.org/10.1556/AAlim.42.2013.Suppl.11>
- Sualeh A., S. Endris and A. Mohammed, (2014): Processing Method , Variety and Roasting Effect on Cup Quality of Arabica Coffee ( *Coffea arabica* L .). *Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2(2), p.70–75.
- Szöllősi D., Z. Kovács, A. Gere, L. Sípos, Z. Kókai and A. Fekete, (2011): Sensory evaluation and electronic tongue analysis for sweetener recognition in coke drinks. *AIP Conference Proceedings*, 1362, p.193–194. <http://doi.org/10.1063/1.3626355>
- Tao Y., P.H. Heinemann, Z. Varghese, C.T. Morrow and H.J.S. III, (1995): Machine vision for color inspection of potatoes and apples. *Transactions of the ASAE (USA)*, 38(5), p.1555–1561. <http://doi.org/10.13031/2013.27982>
- Toledo B.R., L.W. Hantao, T.D. Ho, F. Augusto and J.L. Anderson, (2014): A chemometric approach toward the detection and quantification of coffee adulteration by solid-phase microextraction using polymeric ionic liquid sorbent coatings. *Journal of Chromatography A*, 1346, p.1–7. <http://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.04.035>
- Várvölgyi E., L.D. Dénes, J. Soós, L. Baranyai, Z. Kovács and J. Felföldi, (2013): Monitoring the roasting process of Arabica coffee by vision system, NIR and electronic tongue methods. *Hungarian Agricultural Engineering*, 25, p.46–50.
- Várvölgyi E., A. Gere, D. Szöllősi, L. Sipos, Z. Kovács, Z. Kókai, M. Csóka, Z. Mednyánszky, A. Fekete and K. Korány, (2014): Application of Sensory Assessment, Electronic Tongue and GC--MS to Characterize Coffee Samples. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(1), p.125–133. <http://doi.org/10.1007/s13369-014-1489-5>
- Várvölgyi E., S. Kozits, J. Soós, D. Szöllősi, Z. Kovács and A. Fekete, (2012): Application of electronic tongue for distinguishing coffee samples and predicting sensory attributes. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 8(1), p.49–63. <http://doi.org/10.1556/Progress.8.2012.5>
- Veloso A.C.A., L.G. Dias, N. Rodrigues, J.A. Pereira and A.M. Peres, (2016): Sensory intensity assessment of olive oils using an electronic tongue. *Talanta*, 146, p.585–93. <http://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.08.071>
- Vidékfejlesztési Minisztérium, (2002): Codex Alimentarius Hungaricus 2-86 számú irányelv Kávé , kávékeverék , pótkávés és egyéb kávékészítmények Coffee , coffee mixes , coffee substitutes and other coffee products.

- Wang N., (2012): Physicochemical Changes of Coffee Beans During Roasting.
- Wang X. and L.-T. Lim, (2014): Effect of roasting conditions on carbon dioxide degassing behavior in coffee. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.027>
- Wasserman G.S., N. Rerngsamai, D.F. Hayes, E.F. Mofford and C. Dabdoub, (2001): Roasted coffee and coffee roasting method.
- Wei Z. and J. Wang, (2014): Tracing floral and geographical origins of honeys by potentiometric and voltammetric electronic tongue. *Computers and Electronics in Agriculture*, 108, p.112–122. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2014.07.014>
- Wilson P.S., (2014): Coffee roasting acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 135(6).
- Winqvist F., C. Krantz-Rülcker and I. Lundström, (2002): Electronic Tongues and Combinations of Artificial Senses. *Sensors Update*, 11(1), p.279–306. <http://doi.org/10.1002/seup.200211107>
- Wit J. De, (2005): The Coffee Roast Process.
- Wold S., M. Sjostrom and L. Eriksson, (2001): PLS-regression: a basic tool of chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 58, p.109–130.
- Yeretzian C., A. Jordan, R. Badoud and W. Lindinger, (2002): From the green bean to the cup of coffee: investigating coffee roasting by on-line monitoring of volatiles. *European Food Research and Technology*, 214(2), p.92–104. <http://doi.org/10.1007/s00217-001-0424-7>

#### Internetes források:

- Heti Világ Gazdaság (2015): Óvatosan kávézzon  
 Internet: [http://hvg.hu/enesacegem/20150319\\_Ovatosan\\_kavezzon\\_Szenyezett\\_kavet\\_tilto](http://hvg.hu/enesacegem/20150319_Ovatosan_kavezzon_Szenyezett_kavet_tilto)  
 (2016.01.06.)
- Coffee Research Institute. (2001-2006) Internet: [www.coffeeresearch.org](http://www.coffeeresearch.org) (2016.01.06.)

## 10. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni a szakmai segítséget és támogatást:

- A témavezetőimnek: Dr. Fekete Andrásnak, Dr. Felföldi Józsefnek és Dr. Kovács Zoltánnak
- Soós Jánosnak
- Dr. Zana Jánosnak
- A SZIE ÉTK Fizika és Automatika Tanszék régi és jelenlegi munkatársainak
- Vasné Húvös Évának
- Prof. Günter Espernek
- Tobias Werumnak
- Dr. Somogyi Lászlónak.

Köszönöm az együttműködést, az alapanyagok és eszközök biztosítását a Sara Lee Hungary Zrt-nek és a Café Frei-nek.

Köszönettel tartozom továbbá a Nemzeti Kiválóság programnak az Apáczai Csere János ösztöndíjjal nyújtott segítségéért.

Szeretnék köszönetet mondani férjemnek és az egész családomnak a kitartó szakmai és lelki támogatásért!