

# **DIPLOMADOLGOZAT**

**Máyer Petra**

**2024**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**

**Budai Campus**

**Élelmiszerbiztonsági és -minőségi mérnöki**

**mesterképzési szak**

**Fehérjeporok különböző keverési arányainak vizsgálata  
közeli infravörös spektroszkópiával**

**Belső konzulensek:**

Dalmadi István  
egyetemi docens  
Hidas Karina Ilona  
egyetemi adjunktus

**Belső konzulensek  
intézete/tanszéke:**

Élelmiszertudomány és  
Technológiai Intézet/  
Állattermék és  
Élelmiszertartósítási  
Technológia Tanszék

**Készítette:**

**Máyer Petra**

**Budapest**

**2024**

# Tartalomjegyzék

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK.....</b>                                              | <b>2</b>  |
| <b>2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS .....</b>                                               | <b>4</b>  |
| <b>2.1 Az élelmiszer vizsgálati módszerek általános bemutatása .....</b>              | <b>4</b>  |
| 2.1.1 Roncsolásos vizsgálatok.....                                                    | 4         |
| 2.1.2 Roncsolásmentes vizsgálatok .....                                               | 4         |
| <b>2.2 Elektromágneses spektrum .....</b>                                             | <b>6</b>  |
| <b>2.3 A közeli infravörös sugárzás .....</b>                                         | <b>8</b>  |
| <b>2.4 A NIR spektroszkópia történelme.....</b>                                       | <b>9</b>  |
| <b>2.5 Állati eredetű és növényi eredetű fehérjék közötti különbség.....</b>          | <b>14</b> |
| <b>2.6 Növényi alapú étkezési trendek.....</b>                                        | <b>16</b> |
| <b>3. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK .....</b>                                                 | <b>18</b> |
| <b>3.1 Felhasznált anyagok .....</b>                                                  | <b>18</b> |
| <b>3.2 A mérés felépítése .....</b>                                                   | <b>19</b> |
| <b>3.3 Módszerek .....</b>                                                            | <b>20</b> |
| 3.3.1 A növényi fehérjeporok színmérése .....                                         | 20        |
| 3.3.2 Közeli infravörös spektrométer használata.....                                  | 21        |
| 3.3.3 A spektrumok előkezelésének ismertetése .....                                   | 22        |
| 3.3.4 Adatértékelés menete statisztikai módszerekkel .....                            | 23        |
| <b>4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....</b>                                              | <b>24</b> |
| <b>4.1 Színmérés eredményei a növényi fehérjeporok esetében .....</b>                 | <b>24</b> |
| <b>4.2 A növényi fehérjeporok vizsgálata a NIR spektrumok alapján .....</b>           | <b>30</b> |
| <b>4.3 A növényi fehérjepor keverékek vizsgálata a NIR spektrumok alapján.....</b>    | <b>33</b> |
| <b>4.4 A növényi fehérjepor keverékek vizsgálata a PLS - regresszió alapján .....</b> | <b>35</b> |
| <b>5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK .....</b>                                         | <b>38</b> |
| <b>6. ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>                                                         | <b>40</b> |
| <b>7. IRODALOMJEGYZÉK .....</b>                                                       | <b>43</b> |
| <b>8. TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK .....</b>                                                   | <b>47</b> |
| <b>9. MELLÉKLETEK.....</b>                                                            | <b>48</b> |
| <b>NYILATKOZATOK.....</b>                                                             | <b>2</b>  |

# 1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Napjainkban a növényi fehérjék iránti kereslet világszerte nő és egyre jobban bontakozik ki a fogyasztók körében. Az állati fehérje források mellett fontos a különböző növényi fehérjék alkalmazása is, mert az évek során az állatok jólétének biztosítása és az állati fehérjék előállításának költsége folyamatosan növekszik. A fogyasztók körében egyre jellemzőbb az állati fehérjék által kiváltott allergiás reakciók, megbetegedések, így a növényi fehérjeforrások közül lehetnek olyanok, melyek bizonyos alternatívaként szolgálnak. Az alternatívák előállításához és feldolgozásához új technológiák és ismeretek szükségesek, hogy megfelelő módon tudják elégíteni a fogyasztók szükségleteit (Sim et.al., 2021).

A növényi fehérjék fogyasztása hozzásegíti a fogyasztókat az egészséges életmód fenntartásához és az állati eredetű ételek esetleges elkerüléséhez. Többféle étkezi szokás alakult ki, melyek a növényi eredetű fehérjéket részesítik előnyben, mint a vegetáriánus és vegán életmód (Rosenfeld, 2019).

Valójában miért is van szüksége a szervezetünknek fehérjékre? A szervezetünk egyik alapvető energiaforrása, mely energiával látja el az egész testet. Segíti az izmok felépítését, hormonok termelődésére is hatással van, valamint az immunrendszerünk egészséges működéséhez is hozzásegít (Johnson et. al., 1999).

A zöldségek elfogyasztásán kívül, a legkönnyebben por formájában lehet beszerezni a növényi fehérjéket a kereskedelemben. A vizsgálataim során, a por állagú növényi fehérjepor mintákat ugyancsak a kereskedelemben megtalálható termékek közül használtam fel. A fehérjeporokat a roncsolásos vizsgálattal ellentétben, a roncsolásmentes technológiát helyeztem előtérbe. Az elmúlt években, az élelmiszeripar területén a roncsolásos vizsgálatok háttérbe szorultak. Az élelmiszerekben vizsgálata során gyorsabb és egyszerűbb technológiára volt szükség, így a roncsolás nélküli technológiára fektettek nagyobb hangsúlyt. A méréseim során 17 darab növényi fehérjepor mintával dolgoztam és ezek színeinek paramétereit, a közeli infravörös spektrométerrel mért spektrumait értékeltem ki. Többféle statisztikai módszert alkalmaztam az adatok kiértékelése során.

A dolgozatomban célul tűztem ki, hogy tüzetesebben megvizsgálom a látható fény és a közeli infravörös sugárzás által létrejött adatsorokat. A látható fényforrás által mért értékeket a kézi színmérő készülék segítségével rögzítettem és a minták paramétereire külön – külön, és rájuk elsősorban egytényezős varianciaanalízist alkalmaztam. Majd, a paraméterek együttes vizsgálatakor a főkomponens - analízis segített, hogy a lássam a csoportok hasonlóságát vagy akár a szignifikáns eltéréseit. A kiértékelés során pont diagramokat alkalmaztam, ahol látható a különböző csoportok

elhelyezkedése. Továbbá, a NIR közeli infravörös sugaraival bemért minták spektrumai is különböző értékelésre kerültek. Az önálló minták mérésével kezdtem, ami azt jelentette, hogy a 17 mintát egyesével lemértem, majd az általam megadott keverési arányoknak megfelelően kialakított két porkeverék mérésével folytattam. A NIR által létrejövő adatsorok többlépcsős kezelése után, főkomponens – analízist, valamint bezárólag a PLS – regressziót alkalmaztam.

## **2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS**

### **2.1 Az élelmiszer vizsgálati módszerek általános bemutatása**

A felgyorsult globalizáció világában a legfontosabb az élelmiszerek biztonsága és a minőségének megőrzése, hogy az emberek számára biztosítsuk a megfelelő táplálékot. Az élelmiszereket minőségi és mennyiségi szempontból is megtudjuk vizsgálni. Ezeket az alapvető vizsgálatokat, a 19. századtól klasszikus analitikai módszerekkel mérték, majd különböző fejlesztésekkel eljutottak a műszeres analitikáig. Az analitikai módszerek jellemzői közül a legfontosabb a szelektivitás, a specifikusság, a zavartűrés, a méréstartomány, a linearitás, az érzékenység, a kimutatási határ, a meghatározási határ, a pontosság és a precizitás. Ezek a jellemzők szükségesek ahhoz, hogy megfelelő eredményeket kapjunk a mérések végén (Csapó, 2020).

#### **2.1.1 Roncsolásos vizsgálatok**

A roncsolásos vizsgálatok már évtizedek óta ismertek a gyakorlatban, melyet előszeretettel alkalmaznak a minőségbiztosítás terén. A vizsgálathoz három fontos téma szükséges, ami nem más, mint a megfelelő berendezés, a jól megválasztott módszer és a személyzet, aki végig vezeti a mérést. (Majoros és Csapó, 2000). A roncsolásos azaz destruktív módszer egyre kevésbé kényelmes az élelmiszeriparban, mivel időigényes, drága, munkaigényes és sok esetben kémiai reagenseket is alkalmazni kell. Szakképzett személyzetre van szükség és hosszas mintaelőkészítésre (Martinez et. al., 2003). Ilyen roncsolásos módszer a fehérjeporok vizsgálatakor használható, Dumas-módszerrel végzett teszt, mely egy viszonylag lassú folyamat. Általában 5 - 10 percet vesz igénybe a mintaelőkészítéstől és az égési időtől függően. Így a szükséges felszerelések és anyagok beszerzéséhez és a teszt elvégzéséhez költséges úton vezet az út, az eredmény eléréséhez (Ingle et. al., 2016).

#### **2.1.2 Roncsolásmentes vizsgálatok**

Az agrár- és élelmiszeriparban igény volt, a termények és termékek megfelelő roncsolásmentes és alacsony költséggel kalkulált minőségellenőrzésére. A fogyasztóknak fontos lett, hogy megfelelő minőségű termékeket vásároljanak, így az iparnak muszáj volt lépéseket tennie ennek érdekében. Az élelmiszerek vizsgálata roncsolásmentes módszerekkel is elvégezhető (Martinez et. al., 2003). A roncsolásmentes módszernél, általában nagy teljesítményű gépeket alkalmaznak, amelyek kis mérettel bírnak, legtöbbször robusztusság jellemezi őket. Az esetek többségében költségkímélő, egyszerűen lehet kezelni őket és felhasználóbarátok. Gyorsak, reagens mentesek és nagyon pontos adatokkal szolgálnak, amelyeket elemezni kell.

Ahogy már említettem, az élelmiszeripari termékeknek meg kell felelniük, elsősorban a fogyasztók egyre jobban növekvő igényeinek, másrészt az egészségügyi és biztonsági követelményeknek. Manapság a roncsolásmentes technikákat a szerves anyagok mennyiségi és minőségi elemzésére alkalmazzák. Ezen technikák közül a spektroszkópai módszerek használata bizonyul előnyösnek (Dos Santos et al., 2013). A spektroszkópia, olyan tudomány, ahol szinte az egész elektromágneses spektrumot felhasználják különböző tudományos vizsgálatok során. Az eltérő tudományágaknak, eltérő eszközökre van szüksége, hogy megfelelő energiát állítson elő. Megfelelő detektorra van szükség, hogy a minták energiáit el tudja nyelni, a referencia anyaghoz képest. A mérést a spektrométer berendezés segítségével hajtják végre. E berendezés eredménye az abszorpciós grafikonok a hullámhossz függvényében. Az a modell, amely élénk tárul a spektrométerhez kapcsolt számítógépen, a méréseket követően, spektrumoknak hívjuk. A kapott adatok elemzésével tudunk a végén eredményeket közölni (Davies, 2005).

A spektroszkópiában különféle roncsolásmentes készülékeket alkalmaznak. Az egyik ilyen technika a mágneses magrezonancia (Nuclear Magnetic Resonance = NMR). Az analízis során mágneses mezőt alkalmaznak és rádiófrekvenciás impulzusokat irányítanak az atomok mag spinjének változására.

A nagyfelbontású mágneses magrezonancia (High Resolution Nuclear Magnetic Resonance = HR-NMR) technikát gyakrabban alkalmazzák élelmiszer-kémia vonatkozások szempontjából. Az élelmiszerekben lévő izotópokat, izotóparányokat méri, mellyel a termékek hitelességét erősítik meg, vagy akár a hamisítást tudják igazolni vele. Magas költséggel jár a használata és bonyolult extrakciós eljárásokat igényel (Scotter, 1997).

Az élelmiszerekben lévő szabad gyökök kimutatására és nagy reakcióképességű oxigénfajták közvetlen azonosítására az elektronspin-rezonanciát (Erythrocyte Sedimentation Rate = ESR) alkalmazzák. A műszer nagy teljesítő képességgel bír és nagyon érzékeny technika (Barba et. al., 2020).

Még ide sorolható a dielektromos spektroszkópia (Dielectric Spectroscopy = DS), amely az elektromágneses spektrumnak a rádió- és mikrohullámú frekvenciatartományait sikeresen kölcsönhatásba hozták az anyagokkal, hogy tanulmányozzák a molekulák viselkedését. Viszonylag olcsó műszer, mellyel gyors és rutinszerű méréseket lehet végezni (Deshmukh et. al., 2017).

Az infravörös tartomány a közép infravörös spektroszkópia (Mid – Infrared = MIR) használatát fejlesztették ki, amely a szerves és szervesetlen molekulák kölcsönhatását vizsgálja a rezgési és forgási módok gerjesztésével (López-Lorente és Mizaikoff, 2016).

A spektroszkópiában egyik leghatékonyabb és legígéretesebb technológia, amely a termékek minőségének és biztonságának ellenőrzésére szolgál, az nem más, mint, a közeli infravörös spektroszkópia (Near-Infrared Spectroscopy = NIRS). A NIR technológia előnye, hogy kevesebb időt igényel az élelmiszerek vizsgálatához és egy jól alkalmazkodó műszer. A NIR spektroszkópia rutinszerű használatává vált az élelmiszer – összetevők, komponensek vizsgálatára, érzékszervi elemzésekre. A NIR fő előnye, hogy általában nincs szükség a minta előkészítésére, azonnal elkezdheti a mérést, gyorsan és egyszerűen. (Qu et.al., 2015). A vizsgálat során az élelmiszerek összetevőit „ujjlenyomat” -szerűen megvizsgálja a műszer. Főbb összetevők, például szénhidrát, zsír, víz és fehérje koncentrációjának meghatározásához az alapvető klasszikus abszorpciós spektroszkópia szükséges. Sajnálatos módon, sokszor a fizikai tulajdonságok által megváltozott spektrum miatt, a kémiai információk láthatatlanok lesznek a műszer számára. Ezáltal a NIR spektroszkópia másodlagos módszerré válik, így szükséges lesz a kalibrálás elvégzése a mérések során. A mérés ideje 15 – 90 másodperc alatt befejeződik. Egy másik előnye, hogy a műszer egyszerre több összetevő egyidejű mérését is megengedi (Scotter, 1997).

Napjainkban a közeli infravörös spektroszkópiáról már tudjuk, hogy 780 – 2500 nm közötti tartományban az elektromágneses spektrumon található meg. Az élelmiszerek NIR-spektrumai széles sávokat tartalmaznak, amelyek az átfedő abszorpciókból adódnak. Ahhoz, hogy ezeket a spektrumokat értelmezni tudjuk, az alapvető elméletét a rezgésspektroszkópia alapjai adják meg. Ha jól megfigyeljük a sávokat a NIR spektrumokban, akkor észrevehetjük, hogy a sávok a hidrogénatomot tartalmazó kötéseknek felelnek meg, mint például a C–H, N–H, O–H és S–H kötések. Ezek a kötések főleg a szerves vegyületekben vannak jelen, de előfordulnak a szervesetlenek között is. A NIR spektrum alapvetően felhangokból és kombinációs sávokból áll, amelyek hasznos kémiai, sőt fizikai információkat tartalmaznak (Osborne, 2006).

## 2.2 Elektromágneses spektrum

A spektrum jelentése, általános értelemben, valamely fizikai mennyiség energia szerinti felosztása. Az elektromágneses spektrum az elektromágneses hullámok rendezett eloszlása hullámhossz vagy frekvencia szempontjából. Az elektromágneses sugárzáson belül különböző tartományokat tudunk megemlíteni: rádióhullám, mikrohullám, infravörös sugárzás, látható fény, ultraibolya sugárzás, röntgen sugarak és gamma sugarak (Weinstein, 1988).

A rádióhullám a legnagyobb hullámhosszú ( $10^7 - 10^9$  nm), de a legalacsonyabb frekvenciájú elektromágneses hullám. Ez a hullámot alkalmazzák a rádió- és televízióadásban és a telefonok kommunikációjában.

A mikrohullámú tartományt ( $10^5$  -  $10^7$  nm), általában a telekommunikációs, rádió és televíziókészülékeknek alkalmazták, úgy, mint a rádióhullámokat. Továbbá a gyógyszeripar is ugyan azt a hullámhossz tartományt alkalmazza a berendezéseinél, mint a technológiai készülékeknek (Dávid, 2006). A mikrohullámú sütők is ezzel a tartománnyal vannak ellátva.

Az infravörös sugárzás ( $10^3$  –  $10^5$  nm), a látható fényhez hasonló energiamezővel rendelkezik, de hosszabb hullámhosszal. Az infravörös tartományt felosztjuk három részre, amely a közeli közép és a távoli tartomány. A nevük arra utal, hogy milyen távolságban helyezkednek el a látható tartományhoz képest. Általában hőlámpáknál alkalmazzák, amelyek magas hő bocsátanak ki, de az emberi szemnek ez láthatatlan. Az infravörös energia pozitív hatással lehet az emberi sejtek számára. Káros hatással nem rendelkezik a közeli infravörös spektroszkópiában (Zamanian et. al., 2005).

Az emberi szem számára érzékelhető tartomány a látható tartomány ( $10^2$  –  $10^3$  nm). Ezen belül három alapszín érzékelhető a vörös, zöld és a kék szín (Szalay, 2015).

Az ultraibolya sugárzás (UV), ( $10^0$  –  $10^2$  nm) pozitív és negatív hatással is rendelkezik. Pozitív hatásai közé tartozik a melegség, a növényekben végbemenő fotoszintézis és a D-vitamin szintézise az emberi szervezetben. Az UV sugárzásnak való túlzott kitettség azonban káros egészségügyi problémákat okozhat, mint a súlyos leégés és a kialakuló bőrrák kockázata.

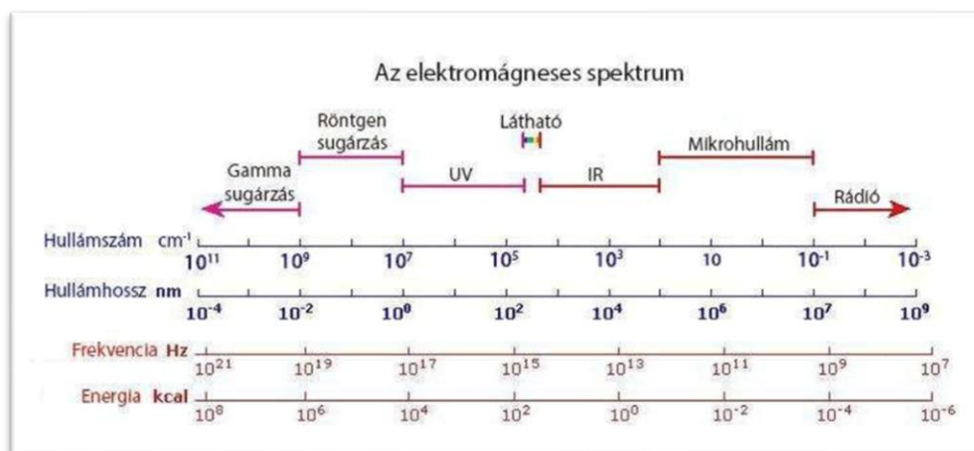
A röntgent sugarakat ( $10^0$  –  $10^{-2}$  nm) főleg az orvostudományok terén alkalmazzák. A rendkívül magas frekvencia és energia segítségével, képes a kémiai kötések megszakítani az élő szövetekben. Manapság több fajta röntgent berendezés ismert már.

A gamma sugárzás ( $10^{-2}$  –  $10^{-4}$  nm) mind a radioaktív anyagokból és nukleáris reakciókból kibocsátott alfa és béta részecskék az ionizáló sugárzás formái. Ez a sugárzás károsító hatással van a szervezetre, mivel rendellenességeket okoz a szervezetben (Zamanian et. al., 2005).

Összefoglalva a pontos tartományok hosszát az 1. ábrán tekinthetjük meg:

## 1. ábra: Az elektromágneses spektrum tartományai

(Forrás: Szigedi írása nyomán, 2014)



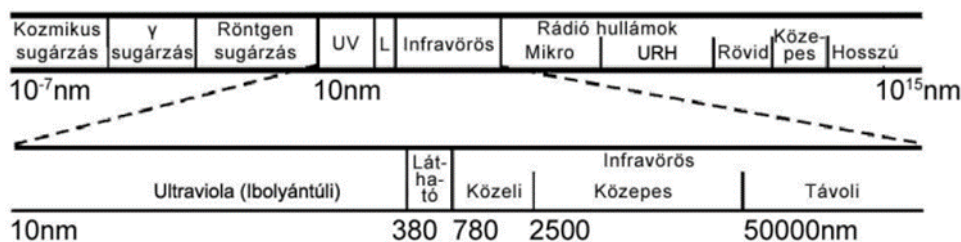
## 2.3 A közeli infravörös sugárzás

A NIR készülék feltalálását megelőzően, a legnagyobb előrelépés akkor történt, mikor egy hallgató, Herschel felfedezte a közeli infravörös sugárzást. Megfigyelte, hogy a különböző színű szűrők különböző mennyiségű hőt engednek át. Erre állított fel egy hipotézist, melynek megalkotásához egy üvegprizmát alkalmazott, hogy fény spektrumot, azaz szivárványt hozzon létre. A szivárvány akkor alakul ki, mikor a fény színeire oszlik. Ezeknek a színeknek a hőmérsékletét mérte meg egyesével. A hőmérsékleteket úgy mérte meg, hogy az egyes látható fénysugarakhoz egy – egy megfeketedett izzót és egy hőmérőt helyezett el, majd még két darabot a látható fényen kívül, kontroll mintaként. Azt tapasztalta, hogy az ibolyaszíntől a vörös színig emelkedett a hőmérséklet, kivétel a kontroll mintánál, ahol mindegyik színnél magasabb volt a mért érték. Felkeltette az érdeklődését, a vörös szín mögötti terület megmérése, amelyet nem ért napfény. Végeredményben azt tapasztalta, hogy az összeshez képest, ennek a régióknak volt a legmagasabb a hőmérséklete. Nem hagyta nyugodni, ezért további méréseket végzett. Megállapította, hogy a látható fényhez hasonlóan, a fény, itt is visszaverődik, megtörik, elnyelődik vagy akár tovább halad. Amit Herschel felfedezett, az nem más, mint a fény vagy sugár, vörös fényen túli formája, azaz a ma ismert infravörös sugárzás. A történelemben ez egy fontos lépés volt, hogy valaki bebizonyította, hogy léteznek olyan fénytípusok, amelyeket szabad szemmel nem láthatunk (Burns, 2007). 1835-ben, Ampère mondta ki, hogy a hő, azaz az „infravörös sugárzás” és a fény között csak hullámhosszban van különbség. Ezt követő években Maxwell fogalmazta meg, a fény- és hősugárzásokra, mint elektromágneses

sugárzásokra vonatkozó hullámelméleti megállapításokat (Davies, 2005). Az elektromágneses spektrumon belül észlelhetjük a közeli infravörös tartományt, amely 780 – 2500 nm között van és az 2. ábrán figyelhetjük meg. A közeli infravörös tartományban főleg felhangok és kombinációs sávok találhatóak. (Somkuti, 2014).

## 2. ábra: Az infravörös tartomány

(Forrás: Davies írása nyomán, 2005)



Ha megvizsgálunk különböző élelmiszereket, akkor azok NIR spektrumai széles sávokat mutatnak, így nem lehet őket összekeverni a közép infravörös régióban gyűjtött spektrumokkal, ahol éles csúcsok jönnek létre. A széles sávok a MIR spektrumban fellépő alaprezgések felhangjaiból és kombinációiból származnak. A spektrumok így három nagyságrenddel gyengébbek lesznek, mint az alapvető abszorpciók (Manley et. al., 2018).

Manapság az infravörös sugárzás használata nagyon sok területen elterjedt. Az orvostudományban, a hatósági és biztonsági szerveknél. Az infravörös képalkotást a mechanikai és az elektromos rendszerek feszültségének és hibáinak vizsgálatára és monitorozására is alkalmazzák. A természetben az óceánok hőmérsékletét mérik és a kőzeteket tanulmányozzák vele. A régészeti kutatások során sok értékes információt tudnak kinyerni az infravörös használatával. A leglenyűgözőbb teljesítmény, az infravörös, csillagászatban való alkalmazása. Az infravörös fény felhasználásával az univerzumban található hatalmas por mennyiséget, csillagokat és galaxisokat tudjuk tanulmányozni (Heise et. al., 2021).

## 2.4 A NIR spektroszkópia történelme

Az 1880-as évek eleje, fontos időszaknak számított a NIR spektroszkópia, azaz a közeli infravörös spektroszkópia megszületésében. Niepce and Daguerre 1829-ben létrehozott egy fényképészeti lemezt, amelyen már akkor érzékelhető volt egy csekély NIR érzékenység. Ez alapozta meg Abney és Festing számára, hogy egy szerves folyadék spektrumát rögzítsék 1881-ben. Itt kezdődtek meg az első komoly mérések és további felfedezések is napvilágot láttak.

Felfedezték az atomok csoportosítását és a hidrogénkötések fontosságát. Az első közeli infravörös szerkezetet Coblentz hozta létre, kő-só prizmából és egy tükrös galvanométerhez csatlakoztatott érzékeny hőcső segítségével. A megalkotott szerkezetnek intenzív volt az érzékenysége, főleg a hőhatásokra és a vibrációra. A leolvasás nagyon hosszadalmas és nehéz volt, mert a galvanométer elhajlásának megfigyelése a távcsővel történt. A spektrumok megfigyelése az elején napokba telt, de több száz vegyület került rögzítésre 1-15  $\mu\text{m}$  hullámhosszon (Burns, 2007).

1905-ben publikálta az 1000 és 16 000 nm közötti spektrumú vegyületekről végzett kiterjedt tanulmányát. Coblentz rájött arra is, hogy minden anyagnak különböző spektruma volt, nem volt egyforma mintázata. Azonban észrevett bizonyos mintázatokat a spektrumokban; például minden OH-csoportot tartalmazó vegyület, legyen az alkohol vagy fenol, a spektrum 2,7  $\mu\text{m}$ -es tartományában abszorbeálódik. A molekulákon belüli atomcsoportok jellegét a specifikus abszorpcióval kapcsolatba tudták hozni. Az elnyelődések a csoportok atomjaihoz kapcsolódó kémiai kötések rezgéseivel létrejövő kölcsönhatások eredménye. Minél több atom van, a kötések meghajolhatnak, több lesz a rezgés, rezgési folyamatok jönnek létre, így a rezgések energiaigénye is változhat. Az energia ezen változása a spektrumban különböző hullámhosszú abszorpciók sorozataként jelennek meg. Magában a NIR régióban lejátszódó két folyamat során, az abszorpciót rezgések generálják, ami nem más, mint a felhangok és kombinációk. A felhangok, felharmonikusnak tekinthetők. A kombinációk ennél összetettebbek (Bázár, 2021).

Coblentz lényegében egy új szerkezetet adott a kémikusok kezébe, a spektroszkópiát, amellyel szerkezeti információt szerezhetnek az anyagokról az elkövetkezendő jövőben is.

Coblentz kortársai is új műszeres terveket dolgoztak ki, amely a mai spektroszkópia alappilléreivé váltak. Habár nagyon sok időnek kellett eltelnie, hogy a NIR spektroszkópia berendezést jól kidolgozzák és megfelelően alkalmazzák, végül sikerrel jártak.

Az 1930-as évektől elkezdtek a NIR spektroszkópiákat fejleszteni, megjelent a digitális forradalom a műszerek körében. Nicolai és társai leírták, hogy a napjainkban használatos közeli infravörös spektrométerek, milyen módon épülnek fel. A NIR spektrométer általában egy fényforrásból áll, amely egy wolfram halogén izzó. Továbbá, a készülék működéséhez szükséges egy mintatartó, monokromátor, detektor és valamilyen jelfeldolgozó.

Az előzőekben említett fényforrás, azaz a wolfram halogén izzó, egy hősugárforrás. Az izzószálon áthaladó elektromos áram hatására egy ellenállásos melegítésen megy keresztül. A wolfram kering az izzószál és a halogéngáz között, kitöltve az izzó térfogatát. Nagy fényerővel bír, amelynek intenzitása és spektrális emissziós profilja mind az izzószál, mind a lámpa belső

falának hőmérsékletétől függ. Az emissziót, azaz az elektromos hullámok kibocsátását, a NIR tartományban található csúcsmaximummal stimulálják, ehhez magasabb hőmérsékletet kell elérni, mint az IR sugárzás esetén. A forrás megbízható, olcsó, és stabil teljesítményt ad, ha a termikus egyensúly létre jön. A termikus stabilitás is problémát jelenthet. A kézi spektrométerek több okból is különösen hajlamosak a hőmérséklet-ingadozásokra. A gyakori referenciavizsgálatok során sok esetben nem okoznak problémát, mivel ezek az eszközök gyakran gyors szkenneléssel rendelkeznek. Kimutatták, hogy az elégtelen termikus stabilitás negatívan befolyásolja az analitikai teljesítményt (Beć et. al., 2020).

A spektrométereket a monokromátor típusok szerint osztályozzák. A monokromátor szerepe a műszerben, hogy a széles hullámhossz-tartományból egy keskeny hullámhossz- sávot hozzon létre. A fény a rácsra vetül, ahol különböző szögben eltérést fog szenvedni (Bázár, 2011).

A laboratóriumban általában használható mintatartók, üvegből vagy kvarcból készülnek. A fényforrásból származó fénynyaláb merőlegesen esik rá a küvettára, amely általában négyzetes, hasáb alakú vagy esetleg kör alapú. A mintán átjutva a fény a detektor felé veszi az irányt (Agelet et.al, 2010).

A műszerben lévő detektor, már azt a fényt érzékeli, ami elhagyja a mintát. A fény intenzitását felfogja és elektromos jellé alakítja. A detektor anyaga lehet például szilícium is, amelyet a leggyakrabban alkalmaznak a műszerben. Nagyon érzékeny detektorra van szükség, hogy a legkisebb jeleket is érzékelni tudja, majd továbbítsa egy jelfeldolgozó felé, ahol szemlélteti a bemért adatokat (Bázár, 2011), (Xie et. al., 2016).

A mérések során többféle struktúrájú alanyanyaggal is dolgozhatunk. A szilárd minták, a folyékony, kolloid, esetleg pépes vagy apróra darált minták esetében is megfelelő eredményt érhetünk el a berendezés használatával. A műszerrel leggyakrabban a laboratóriumokban találkozhatunk, de az elmúlt években az élelmiszeripar jelentős részén is elterjed a NIR használata, ezáltal ott helyben, azonnal közvetlen a gyártósor mellett is segítségükre lehet (Porep et. al., 2015).

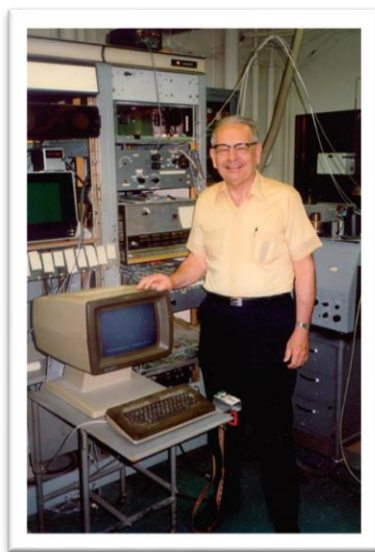
A NIR használata egyszerű. Lényege, hogy amikor egy adott energiájú NIR sugárzás kölcsönhatásba lép az anyaggal, molekuláris rezgéseket hoz létre, amelyek a keletkező spektrumban megfigyelhető abszorpciós sávokat eredményeznek. Mérés eredménye a minta spektrumok létrehozása. A spektrum a hullámhossz függvényében mért abszorbancia értéket adja meg. A létrejött spektrumokat kiértékelni és elemzeni kell. A kiértékelés során a legnagyobb támaszpontot a számítástechnika adja. A berendezés működéséhez maga a spektrométer szükséges és az előbb említett számítástechnika. A műszer bekapcsolását

követően egy kalibráláson megy végbe a rendszer, majd a mérendő minták elhelyezése, lemérése következik. Ezután a minták kivételével, a számítógépen megjelenő spektrumok értékelésével folytatódik (Benes, 2023).

A NIR spektroszkópia óriási sokoldalúsággal bír, így a kémiai összetevők mennyiségének mérésére, ujjlenyomat minőségi meghatározások végzésére, mint eredetiség ellenőrzésére, esetleges hamisítások elleni védekezésre ad lehetőséget (Porep et. al., 2015).

A nemzetközi és hazai viszonylatban is elterjedt a spektrométer használata. Karl H. Norris - t tartják a modern közel infravörös spektroszkópai analízis „atyjának” (Williams, 2019). A technika feltalálója volt, amelyet munkássága alatt, az USDA Instrumentation Research Laboratory - ban, Beltsville - ben, Egyesült Államokban dolgozott ki, melyet a 3. ábrán láthatunk.

**3. ábra:** Karl H. Norris Beltsville - ben a műszerlaboratóriumban  
(Forrás: Davies írása nyomán, 2005)



Meg is építette saját spektrométerét, dönthető szűrőkkel és elkezdte a termények mérését. Ellenben Kaye már feljegyzete a legfontosabb funkcionális csoportok hullámhosszát, de Karl rájött, hogy a spektrális adatokat független változóval a műszer kalibrálását követően létre lehet hozni, a termény összetételét függő változóként a laboratóriumban meghatározott összetételt használva. Legelőször a szójabab nedvességtartalmának meghatározásával foglalkozott. A mérés során egy különálló szűrőt használt, melynek optimális hullámhossza 1940 nm volt. Sajnos, nem kapott megfelelő eredményeket, majd később rájött, hogy 1978 nm-es hullámhosszon már fehérjeabszorpció sávot észlelt. Mivel a szójababot őrölt formában

alkalmazta, így abban a mintában 10% volt a nedvesség és 40% a fehérje tartalom, ezáltal a magasabb fehérje szint, zavart okozott a nedvesség pontos előrejelzésében. Ezzel a felfedezésével a Neotec nevű cég megkereste és konzultálva vele, arra kérték, hogy hozzanak létre egy olyan műszert, amellyel a búza fehérjetartalmát tudják mérni, gyorsan és helyben a gabona felvonóknál. Létre is hozták a műszert, amelyet Grain Quality Analyzer – nek (GQA) neveztek el. A spektrális adatok matematikai előkezelését alkalmazta, amely a  $\log 1/R$  első deriváltjának az előfutára volt.

Karl ezután a liszt nedvességtartalmát szerette volna meghatározni. A mérés sikeres is volt, de a lisztgyárak nem szívesen alkalmaztak olyan módszert, amit hivatalosan nem hagytak jóvá. Az első nagy ipari konzorcium a Canadian Grain Commission volt, akik alkalmazták a közeli infravörös technológiát a búza fehérjetartalmának meghatározására a garantált értékek alapján. A hitelesség és a garantált eredmény által a NIR technológia kitudott bontakozni. Karl, ezek után kidolgozta a hányados matematikai fogalmát, amely egy kiválasztott hullámhosszon a spektrális jelnek egy másik hullámhosszhoz viszonyított arányát jelentette és alkalmazására a második deriváltat találta a legjobbnak. Végeredményben, Karl és a Neotec által olyan elengedhetetlen műszer tárult a világ elé, amit az Egyesült Államokban a termesztők a mai napig használnak. Gyors és könnyen kezelhető műszer a környezetre sincs káros hatással. Valamint a műszer megjelenésével feltárultak az akadémiák kapui, ahol újabb kutatási szférákat tárhatnak fel más anyagok spektrális jellemzőit illetően (Davies, 2005).

Magyarországon belül is volt érdeklődés és tanulási vágy a NIR spektroszkópia iránt. Egyik híres magyar úttörő a NIR spektroszkópia területén Kaffka Károly volt. Sikeres volt és széles körben elterjedt tevékenysége, a NIR és ahhoz kapcsolódó technológiák terén. A NIR spektroszkópia egyik nemzetközileg elismert alapítója volt, és rendkívül aktív szerepet vállalt az ICNIRS-ben. A Budapesti Műszaki Egyetemen villamosmérnökként végzett. Egyetemen is dolgozott, majd több intézetben is helyet kapott. Végül 1959-ben megalapította Élelmiszerkutató Intézetet, ahol az élelmiszerelemzés fizikai és optikai vizsgálati módszereire összpontosított. Vákuum és izotópmérésekkel, szabályozási, technológiai és műszaki problémákkal töltötte idejét. Kutatásai alatt színméréssel, érzékszervi jellemzők műszeres elemzéseivel és azok fejlesztéseivel foglalkozott. Az 1970-es évek végétől kezdett optikai módszerekkel foglalkozni, kiemelve a NIR spektroszkópiát. A nyugdíjba vonulása után a Budapesti Kertészeti és Élelmiszertudományi Egyetem címzetes professzoraként tevékenykedett és intenzíven vett részt kutatási és fejlesztési tevékenységekben. Támogatta a fiatalabb generációt és bevezette őket a NIR spektroszkópia világába őket. Két intelligens kemometria innovációban is részt vett munkatársaival. Az első ilyen a PQS (Polar

Qualification System) módszertan volt, melyet a NIR spektrumok egyedi transzformációján alapuló érzékeny eljárás biztosított a spektrumfelismeréshez. A második a spektrumfelismerési módszereken alapuló úgynevezett, SRT módszer volt, amely nagyon hasznos volt biológiai minták és objektumok azonosítására (Salgó, 2014).

## **2.5 Állati eredetű és növényi eredetű fehérjék közötti különbség**

Napjainkban világszerte nő a fehérjeporok iránti kereslet, ennek következtében szükség van új élelmiszer fehérje forrásokra. Az állati fehérje előállítása nagyon drága és több hektáros területekre van szükség az állatok tartása miatt. Az élelmiszerbiztonság miatt, a fogyasztók jelentős részének az állati eredetű fehérjébe vetett bizalma megingott, mikor olyan betegségeket véltek felfedezni, mint a Creutzfeld - Jakob betegség, azaz ismertebb nevén „kergemarha-kór” (González - Pérez et. al., 2009). Így már pár éve az a tapasztalat, hogy a fogyasztók többsége, inkább a növényi fehérjét választják, az állati fehérjét tartalmazó termékek helyett. A fehérjék a négy makrotápanyag egyike, amely nélkülözhetetlen a kiegyensúlyozott élethez. A fehérjék nitrogén tartalmú vegyületek, amelyek különböző aminosavakból épülnek fel, melyek peptid kötéssel kapcsolódnak egymáshoz. A fehérjék, a különböző szervek alkotóelemei. A szervezetünk számára fontos, hogy mely fehérjét fogyasztjuk, mert nem mindegyik fehérje típus felel meg teljesen a testünk megfelelő tápanyag ellátására, ezért sokszor kombinálni kell az elemeket. (Johnson et. al., 1999). Szerkezetük alapján megkülönböztetünk, globuláris (albuminok, globulinok stb.), rostos (keratin és kollagén stb.), valamint rugalmas (kazein) fehérjét is (Sim et. al., 2021).

Az állati eredetű fehérje nem más, mint a tojás, hús, tej, hal. Az állati források teljes fehérjeforrást jelent a szervezetünk számára, azaz az összes esszenciális aminosavat tartalmazza, továbbá számos vitaminnal, ásványi anyaggal együtt. Az esszenciális aminosav elhanyagolhatatlan a testünk számára, mivel ezeket a szervezetünk nem képes előállítani, így külső táplálékból szerzi meg. Valamint, kiváló tápanyagot biztosítanak, ezáltal segítik a táplálkozásunkat és az egészségünk fenntartását. Ellenben az ezekből a forrásokból származó fehérjék a telített zsírok és a koleszterin magas bevitelével is összefüggésbe hozhatóak (Hoffman et. al., 2004).

A tanulmányom során, a továbbiakban, a fehérjéken belül, a növényi fehérjékkel fogok foglalkozni. Népszerű fehérje forrás a gabonafélék, hüvelyesek, szója, diófélék. Fehérjeforrásuk általában 6 – 45 % között mozog, bár ez függ a termesztési helytől és a külső környezeti hatásoktól is (Jakobson et. al., 2023). A növényi fehérjék a táplálkozásban és az

ütemes népességnövekedés fejlődésében is segítségünkre van, hogy az élelmezés képes legyen lépést tartani a rohanó világgal. Az állati eredetű fehérjékkel szemben, a növényi eredetűekből néhány esetben hiányoznak az egyes alapvető esszenciális aminosavak, melyek szükségesek lennének a test megfelelő működéséhez. Ezáltal a táplálkozás során, több növényi fehérje keverékének az elfogyasztása adja meg, a megfelelő tápanyagbevitelt. Általában klasszikus fehérjeforrást használnak, mint bab, szója, borsó. Ezeken kívül további alternatívákat alkalmaznak, esetekben fejlesztenek ki, mint különböző gabonafélékből és terményekből (Sá et. al., 2020).

Manapság nagy a kereslet a növényi fehérjékre és azok felhasználásával készült termékekre. Az egyik legnagyobb mennyiségben vásárolt termék a növényekből készült fehérjeporok. A fehérjetartalom alapján megkülönböztetünk izolátumot és koncentrátumot is. Az izolátum az a termék lehet, amelynek fehérjetartalma 90% vagy e feletti érték szárazanyagtartalomra vonatkoztatva. A koncentrátumnak pedig a 65 – 90% közötti szárazanyagtartalommal rendelkező termékeket értjük. Funkcionális tulajdonsága eltérő a két csoportnak. A fehérjeforráson kívül a növények feldolgozási módjától is függ a termék típusa. Az izolátum készítése során, egy plusz szűrésen megy keresztül a termék, így kiszűrjük a zsírok és cukrok nagy részét, még minőségibb lesz a végén a késztermék (Manickavasagan, 2022).

Az egyik legnagyobb mennyiségben felhasznált növényi fehérje a szója, de mellette már növekvő potenciált mutat a rizs és borsó fehérje is.

#### **4. ábra:** Növényi fehérjeporok szemléltetése

(Forrás: Internet 1: Életmód - magazin írása alapján)



A rizs (*Oryza sativa*) becslések szerint 3,5 milliárd ember tápláléka nap, mint nap. Termesztése és fogyasztása az ázsiai területeken a leginkább elterjedt. Az ázsiai emberek

számára a rizs adja a napi kalória mennyiség felét és a fontos fehérje bevitelt. Nem csak főtt formában fogyasztják, hanem a rizs őrlésével, rizsliszt és a rizskorpa készül, melyekkel különböző ételeket állítanak elő. Az egészséges életmód követőinek por formában is előállítják a rizs fehérjét, hogy megkönnyítsék a gyors felhasználását és elfogyasztását. A porállag előnye az alacsony nedvességtartalom, a megnövekedett eltarthatóság, amely a felhasználásig megfelelő érzékszervi és fizikai-kémiai tulajdonságokkal bír (Amagliani et.al., 2016).

A borsó (*Pisum sativum*) termelése, már az 1980-as évek alatt meghaladta a 11 millió tonnát. A növény fontos fehérje forrásként van jelen, amely fogyasztása az egész világon elterjedt. Manapság a nyers borsón kívül, további kiszerezésben is forgalmazzák, amely nem más mint, a borsóliszt, borsófehérje izolátum és a borsófehérje koncentrátum. A borsóliszt előállítása a száraz borsó őrlésével jön létre, míg a koncentrátum esetében a termék előállítása során, savas kilúgozási eljárást, vagy száraz elválasztási technikát alkalmaznak. Addig az izolátumnál már nedves feldolgozási módszerekkel oldják meg az előállítását (Owusu - Ansah et. al., 1991).

## 2.6 Növényi alapú étkezési trendek

Ahogy a fentiekben is említés volt róla, a növényi eredetű fehérjék fogyasztása, kiemelkedő az egészséges táplálkozás során. Napjainkban egy népszerű táplálkozási trend a növényi alapú étrend alkalmazása. Az étrend betartása pozitív hatást gyakorol a testre, főleg élettani és betegségek csökkentésének szempontjából. Segít a szív- és érrendszeri problémák leküzdésében. Az elhízás elleni harcban is sikereket érhetünk el a növényi eredetű összetevőkből készült ételek fogyasztása után.

Nagyon sok kutatás zajlik, ennek a fajta étrendnek a tudományos hátterével kapcsolatban. Mikor és hogyan alakult ki, milyen hatást gyakorol a szervezetre. Ezeket vizsgálják meg a vegetarianizmus, veganizmus során. A növényi alapú étrend hagyományai már az 1800-as években elindultak, de a kutatások csak a 20. századtól kezdődtek meg. A vizsgálatok fókuszra annak feltárására irányult, hogy hogyan is hat, illetve hatnak a növényi eredetű táplálékok az ember különböző fiziológiás, valamint patológias állapotaira. Első körben negatív kép alakult ki erről a fajta étkezésről, amelyet a rossz tápanyagellátottsággal, fehérje-, vitamin- vagy ásványianyag-hiánnyal és alultápláltsággal kötöttek össze (Szabó et.al., 2016).

A vegetarianizmus növényekben gazdag speciális étrend. E szó alatt a hús termékek kizárását értjük. Pozitív hatással bír a szervezetre, de a nem megfelelő étrend követésével hiányok is kialakulhatnak, ha az állati eredetű élelmiszereket elkerüljük táplálkozásunk során

(Molnár et.al., 2023).

A veganizmus már sokkal kötöttebb étrend, amely tiltja a húst és minden más állati terméket, mint tojás és tejtermékek. A növényi alapú étrend viszonylag nagy mennyiségű gabonaféléket, hüvelyeseket, zöldséget és gyümölcsöt tartalmaz. Tápanyag szinten, szénhidrátban és rostban gazdag étrend (Key et. al., 2006).

A megfelelő étrend eléréséhez ezeket a táplálékokat megfelelő arányban kell elfogyasztani. Élettani szempontból kedvező hatást érünk el ezek összekeveréseivel. Példának gyanánt, ha a gabonaféléket, hüvelyesekkel vegyítjük. Bár a két csoportnak egyedi a tápanyag-összetétele és a funkcionális tulajdonságai, ha együtt fogyasztjuk el őket, egymás gyengeségeit kipótolják, hogy megfelelő tápértékkel, fedezni tudják a testünk napi szükségleteit. A gabonák metionin tartalommal, míg a hüvelyesek lizin esszenciális aminosavban bővelkednek. Így az általános fehérjeminőségen kívül, az egészség és a tápérték tovább növekszik, ha ezen termények kombinált változatát választjuk. A kutatók célja, hogy leküzdjék a mélyen gyökerező élelmiszer-bizonytalanságot, az alultápláltságot és a csecsemők, gyermekek, valamint, a felnőttek betegségeit. (Mariotti et.al., 2017).

### 3. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

#### 3.1 Felhasznált anyagok

A mérés során felhasznált anyagok megbízható, különböző kereskedelmi forrásból származó növényi fehérjeporok voltak. Több fajtájú növényi fehérjeporral dolgoztam a színérés alatt és a közeli infravörös spektroszkópia mérések során. A felhasznált fehérjeporokról készült képek, az M1. mellékletben láthatóak részletesebben. Az 1. táblázatban foglaltam össze a méréseim során alkalmazott 17 darab termék fontos információit.

##### 1. táblázat: Felhasznált növényi fehérjeporok bemutatása

(Forrás: saját munka)

| Alapanyag     | Termék neve/Gyártó                                         | Minta kód     | Fehérje tartalom (%) | Nedvességtartalom (%) |
|---------------|------------------------------------------------------------|---------------|----------------------|-----------------------|
| borsó         | Biomenü Bio Borsófehérje                                   | BM Borsó 85   | 85                   | max. 9                |
|               | Radipure S8001B                                            | RA Borsó 75   | 75                   |                       |
|               | Friesland Plt Pea                                          | FR Borsó 85A* | 85                   |                       |
|               | Friesland Plt Pea                                          | FR Borsó 85B* | 85                   |                       |
|               | Euroduna Pea Isolate                                       | EU Borsó 85   | 85                   |                       |
|               | Puris Pro Cargill                                          | PP Borsó 80   | 80                   |                       |
|               | Puris Pea Cargill                                          | PU Borsó 80   | 80                   |                       |
| lóbab         | Friesland Plt Faba 90                                      | FR Lóbab 90A* | 90                   | max. 9                |
|               | Friesland Plt Faba 90                                      | FR Lóbab 90B* | 90                   |                       |
| rizs          | Natúr Naturize ultra silk 2.0                              | Nabrizs 90    | 90                   | max. 8                |
|               | Euroduna Riceprotein 80                                    | EU rizs 80    | 80                   |                       |
| napraforgómag | Sunbloom Hungary Kft.,<br>Sunbloom Proteins, Bonita        | IP Napraf 51  | 51                   | max. 9                |
|               | Interfood és Pharma Kft.                                   | SB Napraf 50  | 50                   |                       |
| tökmag        | Interfood és Pharma Kft.                                   | IP Tökmag 60  | 60                   | max. 8                |
|               | Bioriginal                                                 | BO Tökmag 60  | 60                   |                       |
| kendermag     | Biomenü Bio Kenderfehérje                                  | BM Kender 50  | 50                   | max. 7                |
| chiamag       | Benexia Xia powder-125<br>LM (Interfood és Pharma<br>Kft.) | IP Chia 42    | 42                   | max. 9                |

\*A borsó és lóbab minták esetén, A és B jelölés is szerepel, amely arra vonatkozik, hogy egy alapanyag azonos gyártótól, de különböző sarzsból származik.

Láthatjuk az 1. táblázatban, csoportosítottam a mintákat az átláthatóság miatt. Egy alapanyagból több minta is a rendelkezésemre állt a mérések során, mint például a borsó, lóbab, rizs, napraforgó és a tökmag. A mintákhoz tartoznak kódok is, amelyeket a továbbiakban használni is fogok a minták pontos megkülönböztetése végett.

Ami minket a legjobban érdekel, az a minták fehérjetartalma. Elég feltűnő, hogy a

különböző minták, eltérő fehérjetartalommal rendelkeznek. Az általam megvizsgált minták fehérjetartalma 42% - 90% között mozgott. A 17 darab termék közül csak a két darab lóbab fehérjepor éri el a 90%-os fehérjetartalmat, így ők izolátumoknak minősíthetők. A többi termék a koncentrátum kategóriában állja meg a helyét.

## 3.2 A mérés felépítése

A mérésem során hét féle alapanyagot választottam ki. Ezek voltak a borsó, lóbab, rizs, napraforgómag, tökmag, kendermag és chiamag fehérjeporok. Egy féle alapanyaghoz több minta is társul. Az összesen 17 darab mintához színmerést és közeli infravörös spektrométerrel való mérést végeztem el. A kísérletem során különböző fehérjetartalommal rendelkező mintákat alkalmaztam.

A színérés során nem volt szükség a minták előkészítésére. A vizsgálathoz a színmérő műszert alkalmaztam. A minták  $L^*$ ,  $a^*$  és  $b^*$  paramétereit értékeltem.

A NIR méréseknél két féle módot alkalmaztam:

- Az önálló fehérjeporok mérését. Itt a mintákat külön – külön a spektrométerbe helyeztem és elindítottam a mérést.
- A keverések által létrejött minták vizsgálatát, ahol minimális előkészületek kelletek, hogy megfelelő arányok kimérése után, a mérést megkezdjem.

Az előkészület során egy féle borsó fehérjeport (PU Borsó 80) és két féle rizs fehérjeport (EU rizs 80 és Nabrizs 90) választottam ki, mert komplementer párokat szerettem volna kialakítani, valamint, amely színárnyalatban is hasonlít a párjára. A két keverék keverési arányát a 2. táblázatban láthatjuk.

**2. táblázat:** A növényi fehérjepor mintáinak keverési arányai

(Forrás: saját munka)

| 1.                 |             | 2.                 |             |
|--------------------|-------------|--------------------|-------------|
| Keverési arány (%) |             | Keverési arány (%) |             |
| EU rizs 80         | PU Borsó 80 | Nabrizs 90         | PU Borsó 80 |
| 0                  | 100         | 0                  | 100         |
| 20                 | 80          | 20                 | 80          |
| 40                 | 60          | 40                 | 60          |
| 60                 | 40          | 60                 | 40          |
| 80                 | 20          | 80                 | 20          |
| 100                | 0           | 100                | 0           |

A 2. táblázatban jól látni az hat féle keverési arányt. A minták mennyiségét az asztali mérleg segítségével mértem meg. A mintákat 20% - onként adagoltam kiskanál segítségével a műanyag poharakba. Mikor kimértem a teljes sort a PU Borsó 80 mintából, következett a kétféle rizs fehérjepor hozzáadagolása. A kevert mintákat a végén jól összekevertem. A mérést a NIR eszközzel végeztem el.

### 3.3 Módszerek

#### 3.3.1 A növényi fehérjeporok színmérése

A 17 darab minta színének megméréséhez a Konica Minolta CR - 400 színmérő készüléket alkalmaztam. A műszert első lépésben megfelelően kalibráltam a fehér kalibrációs lap segítségével, melyre a minták csomagolóanyagával megfelelő fóliát helyeztem. Ezután következett a minták színmérése. A mintákat fóliába helyeztem és lehegesztettem, valamint feliratoztam őket. A mintát minden egyes csomagolásban úgy egyengettem el, hogy ne legyen rés, így egységes felületet kaptam, amely segített a pontos mérésben. A mérést mindegyik mintán háromszor végeztem el különböző pontokon. A kapott értékeket felvezettem egy Excel táblázatba, majd az ezt követő átlagolás után kiértékeltem az adatokat. A készüléket az 5. ábra mutatja be:

#### 5. ábra: Konica Minolta CR - 400 színmérő műszer

(Forrás: Internet 2 alapján)



### 3.3.2 Közeli infravörös spektrométer használata

A fehérjeporok spektrumainak méréséhez a Metrika MetriNIR 10 – 17 PR közeli infravörös spektrométert használtam. A berendezés megfelelő a por állagú termékek méréséhez is. A 3. táblázatban a berendezés adatai láthatóak.

**3. táblázat:** A Metrika MetriNIR 10 - 17 PR műszer tulajdonságai

(Forrás: Seregély írása nyomán, 2007)

|                       |                                 |
|-----------------------|---------------------------------|
| Berendezés neve       | MetriNIR 10-17-PR               |
| Segéd eszköz          | számítógép                      |
| Hullámhossz tartomány | 740 – 1700 nm                   |
| Spektrális lépésköz   | 2 nm                            |
| Fényfelbontó egység   | monokromátor                    |
| Detektor              | Indium-Gallium-Arzenit (InGaAs) |
| Tartozék              | 2 db küveta                     |
| Felszerelések         | ecset és kimérő                 |
| Kalibrálás            | belső etalon                    |

A NIR készülékhez tartozó egyik legfontosabb elem a számítógép (6. ábra). A számítógépen a NIR saját MetriNIR® szoftverének segítségével mértem a spektrumokat reflexiós módban.

**6. ábra:** Metrika MetriNIR 10 - 17 PR készülék és a hozzá tartozó számítógép és kellékek

(Forrás: saját munka)



Először, megtörtént a berendezés kalibrálása, majd a fehérjeporok mérése, a minták két független betöltésével és 3 - 3 forgatásával zajlott le. A küvettába való betöltés, mindegyik

esetben 8 gramm mennyiségű volt, melyet a kimérő kanál segítségével óvatosan adagoltam. A mintákat mindig egyenletes rétegben tettem a mintatartókba és megfelelően lezártam őket (7. ábra). A mérések előtt az ecset segítségével pormentesítettem a berendezést és a küvettát is, majd a kinyíló ablakba helyeztem. Elindítottam az első mérést. Ezt a sorrendet ugyan így a többi mérés előtt is véghez vittem.

**7. ábra:** A pormentesítés előtti állapot a küvettában lévő fehérjeporról

(Forrás: saját munka)



A küvettát a mérések után mindig  $120^\circ$  -kal elfordítottam, azonos irányban. Így a programban megjelenő spektrumok közül, minden mintához 6 – 6 darab spektrum tartozott.

### 3.3.3 A spektrumok előkezelésének ismertetése

A folyamatokat követte a spektrum – felvételek kiértékelése. A spektrumokat kezeléseknak vettem alá a könnyebb kiértékelés miatt. A mérés során rögzített adatsorokat exportáltam, majd az Unscrambler szoftver segítségével a spektrumok simítása (Savitzky-Golay szűrővel: 2-2 jobb-bal) történt meg. A különböző simítási és deriválási eljárások általánosan használt előtranszformációk a közeli infravörös spektrumok elemzése során.

A simítás egy fontos lépés, mert a deriváltat sokszor kombinálják ezzel a transzformációval, hogy tovább csökkentsék a zajt. A negatív hatások így csökkennek és a számunkra hasznos információk felerősödnek.

Ezután a deriválást alkalmaztam. Deriválás szükséges az átlapoló csúcsok és zaj okozta problémák feloldásához. Az első derivált számunkra nem ad lényegi segítséget, így célszerű a deriválás során a  $\log 1/R$  spektrum második deriváltját előállítani és azokat használni. A második derivált jobban kiemeli a spektrumrészleteket, szeparálja az abszorpciós csúcsokat. Ez azt jelenti, ahol az eredeti spektrumon csúcsot kaptunk, ott ellentétesen a második derivált során völgyet látunk és így fordítva, mikor völgy keletkezik, csúcsot kapunk.

### 3.3.4 Adatértékelés menete statisztikai módszerekkel

Ezután a megkapott adatsorokat egytényezős varianciaanalízisnek (Analysis Of Variance = ANOVA) és főkomponens-analízisnek (Principal Component Analysis = PCA), valamint a részleges legkisebb négyzetek módszernek (Partial Least Squares Regression = PLS) vettem alá. Az eredmények egyértelműbb bemutatására pont diagramokat készítettem.

A színek változásainak, tulajdonságainak statisztikai kiértékelésére az SPSS Statistics v20.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) szoftvert alkalmaztam, ahol egytényezős varianciaanalízist végeztem el a kapott átlagértékek alapján. A különbségeket a minták L\*, a\* és b\* színtényezőire vizsgáltam meg. Az ANOVA tesztet azért használtam, hogy meghatározzam, hogy a minták átlagértékei között, van-e statisztikailag szignifikáns különbség. Az eredmények további értékelésére post hoc vizsgálatot is végeztem. Az általam alkalmazott teszt a Tukey HSD teszt volt. A minták színárnyalat eltéréseinek részletes bemutatását a Tukey teszt alapján létrejött, táblázatban lévő csoportosítás segítette.

Főkomponens-analízist alkalmaztam a színparaméterek együttes vizsgálatára, a NIR által létrejövő minták önálló és keverék spektrumaira. Az eljárás nem felügyelt, lineáris módszer. Ez az analízis forma képes arra, hogy a sokváltozós adatmátrixot át tudja helyezni kisebb mátrixba, természetesen anélkül, hogy a lényeges információk elvesznének közben. A PCA elvégzését követően, megjelenik számunkra a koordináta rendszer, melynek tengelyein a főkomponensek állnak. Az x tengelyen lévő első főkomponens magyarázza meg a variancia legnagyobb részét. Az y tengelyen elhelyezkedő második főkomponens független az elsőhöz képest és próbálja a maradék varianciából magyarázni. Addig tart ez a folyamat, amíg az összes variancia el nem fogy. Láthatóvá válik a minták közötti hasonlóságok, valamint eltérések is.

A lehetséges összefüggések kimutatása érdekében a PLS-regressziót alkalmaztam. A PLS az egyik leggyakrabban alkalmazott többváltozós kemometriai módszer. A regresszió használata során a független (x) és függő (y) változók közötti kapcsolatot vizsgáljuk. A modell felépítésére megfelelő mennyiségű komponensre van szükség. Ha túl kevés a komponens, akkor alulillesztett lesz a modell, ha túl sokat választunk, túlillesztetté válhat. Ha modell komplexitása nő vele együtt nőhet a becslési hiba is. Az optimális faktorszámot általában keresztvalidálással határozzuk meg. A PLS ezekre a meglévő NIR spektrumokra részleges kalibrációt alkalmaz a variancia összegének bemutatására, amelyet a művelet végén egy átfogó kalibrációs egyenletbe gyűjt. Végeredményben egy kalibrációs és egy validálási egyenest ad számunkra, melyekről információkat olvashatunk le.

## 4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

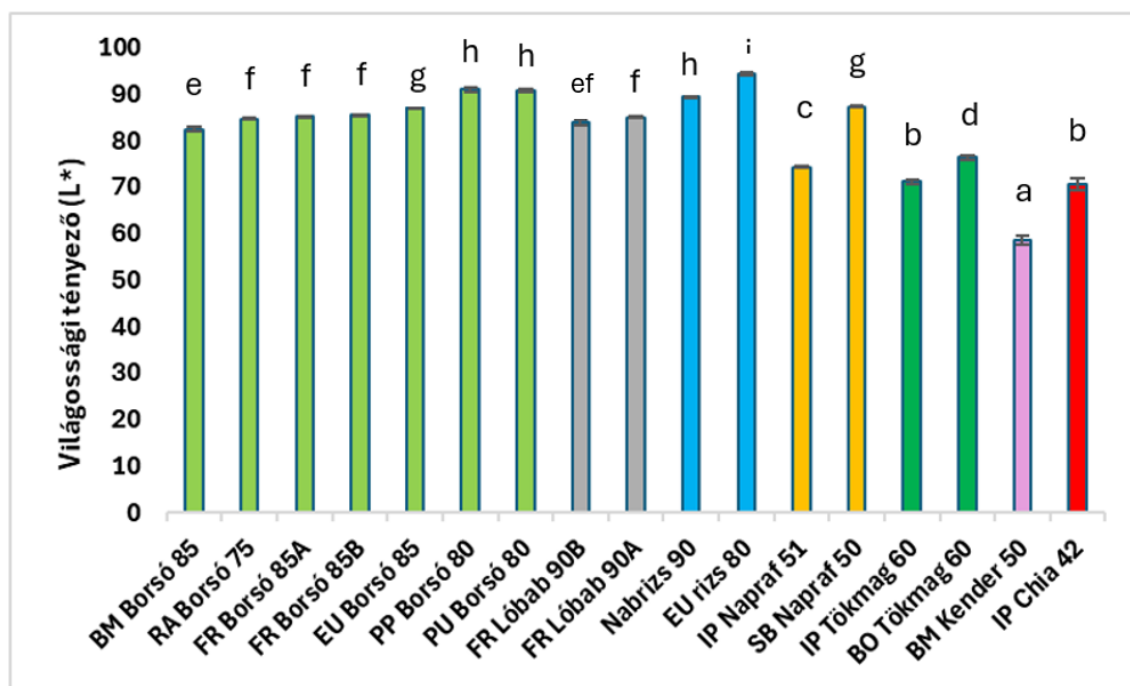
### 4.1 Színmérés eredményei a növényi fehérjeporok esetében

A továbbiakban a minták pontos színadatainak összehasonlítása történik. Első lépésként a színjellemzők egyedi értékelése történt meg az ANOVA teszt használatával, majd ezután a paraméterek együttes vizsgálatát végeztem el a PCA segítségével.

Legelőször, a 17 darab minta világossági tényezőjének ( $L^*$ ) eredményeit a 8. ábrán vizsgálhatjuk meg.

**8. ábra:** A csoportosított növényi fehérjepor minták világossági tényezőjének ( $L^*$ ) bemutatása

(Forrás: Saját szerkesztés a Tukey teszt alapján)



A 8. ábrán a fehérjeporok világossági tényezőinek átlagolt értékei szerepelnek. Az oszlopok felett a Tukey teszt alapján kapott csoportok nevét tettem (a – i). A teszt egy csoportba tette azokat a mintákat, amelyek között nincsenek szignifikáns különbségek. Az „a” csoportban egyedül a BM Kender 50 minta szerepel, melynek világossági tényezőjének átlaga, a legkisebb és teljesen eltér a többitől. A „b” csoportban már kettő minta szerepel, az IP Tökmag 60 és az IP Chia 42, melyek hasonlóak egymáshoz az  $L^*$  értékeik szerint, de eközben a tökmag párja, a BM Tökmag 60 minta, már más csoportba tartozik. Még a zöld színárnyalatok között is fellelhető szignifikáns különbség. A napraforgómag fehérjeporok egymástól nagyon távol állnak, míg az IP Napraf 51 minta a „c”

csoportban van, addig a párja az SB Napraf 50 a „g” csoportban helyezkedik el. Köztük szignifikáns különbség fedezhető fel, mert teljesen más értékekkel rendelkeznek. A borsó mintáknál figyelhető meg, hogy az (e - h) csoportokba tartoznak, eltérés van köztük, de eközben a hét borsó minta közül három minta az „f” csoportba tartozik, így párhuzam van köztük. A két 80% -os PP Borsó 80 és PU Borsó 80 is egy azon csoportot erősít. Az egyik szembe tűnő adatot az FR Lóbab 90B minta mutatja, mely az „e” és az „f” csoportba is egyaránt beletartozik. Ez az jelenti, hogy az FR Lóbab 90B értéke hasonló az „f” csoportban lévő párjához az FR Lóbab 90A mintához, amit meg is becsültünk, mivel ugyan attól a gyártótól kaptuk, de eközben az „e” csoportba is besorolta a rendszer a BM Borsó 85 minta mellé. A legmagasabb átlagértékkel az EU rizs 80 fehér rizs fehérjepor minta rendelkezik, amely egyedül az „i” csoportban áll. Az előtte lévő Nabrizs 90, barna rizs fehérjepor minta, az értéke alapján sötétebb, így egy másik csoportba került („h”).

A leglátványosabb különbségeket a rizs, napraforgómag és tökmag fehérjepor minták adták, melyek a párjuktól eltérő csoportban szerepelnek, ezáltal szignifikánsan eltérnek egymástól az  $L^*$  értékük szerint.

A legvilágosabb és legsötétebb minták értékeit a 9. ábrán látható képek alapján is alátámasztom.

**9. ábra:** A legvilágosabb és legsötétebb  $L^*$  értékkel rendelkező minták összehasonlítása  
(Forrás: saját munka)



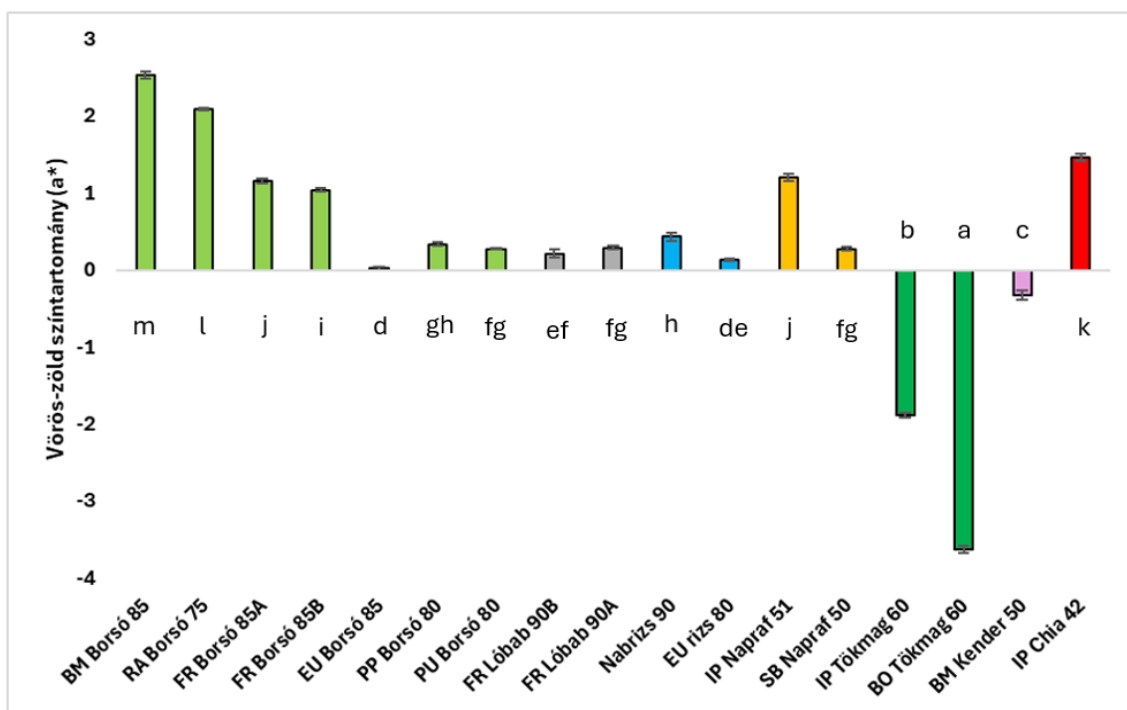
EU rizs 80

BM Kender 50

Az  $L^*$  kiértékelése után a vörös-zöld ( $a^*$ ) színtartomány szerinti adatokat vizsgáltam meg. Az adatokat a 10. ábrán láthatjuk.

**10. ábra:** A csoportosított növényi fehérjepor minták vörös - zöld (a\*) színezetének bemutatása

(Forrás: Saját szerkesztés a Tukey teszt alapján)



Folytatva az elemzést tovább haladok az a\* paraméter értékelésével. A vörös-zöld színtartományban a minták sokkal jobban elkülönülnek egymástól, eltérő átlagértékekkel rendelkeznek (a – m). Látható, hogy a legtöbb minta értéke közel áll a nullához. A negatív tartományban csak a tökmag fehérjeporok és a kendermag fehérjepor szerepel. Ezek a minták a zöldes színtartományba tartoznak. Ezzel ellentétben a többi minta a pozitív tartományban mozog a vöröses skálán. Elsőként a tökmag fehérjeporoknál látható, hogy mindegyik negatív értékkel rendelkezik, de ennek ellenére nem azonos csoportba tartoznak. A „c” csoportban egyedül a BM Kender 50 fehérjepor szerepel, amihez egyik minta sem mutat hasonló értékeket. A csoportokon belül több átlapolást is láthatunk, mert egy minta kettő csoportba is tartozik. Hat minta értéke a (d – h) csoportokig tart. Így érzékelhető, hogy a minták vörös – zöld árnyalatai a legtöbb minta esetén hasonlóságot mutat. Ezek a minták a borsó, lóbab, rizs és még a napraforgómag fehérjeporok. A „j” csoportban kettő minta is szerepel az FR Borsó 85A és az IP Napraf 51. Eközben az FR Borsó 85B, már egy újabb csoport tagja és szignifikánsan különbözik a párjától az FR Borsó 85A mintától. A legmagasabb átlagértéket az „m” jelű csoportban lévő BM Borsó 85 mutatja. A majdnem nulla értéket elérő EU Borsó 85 fehérjepor minta, a vörös – zöld skála határán mozog. A legnagyobb eltérés a két napraforgómag

fehérjepor között vehető észre. Míg az IP Napraf 51 a vöröses tartományban van teljesen, úgy az SB Napraf 50 minta a zöld színárnyalathoz van közelebb. A két tökmag fehérjepor közötti zöld árnyalatukban lévő különbség alátámasztására a 11. ábra szolgál.

**11. ábra:** A két tökmag fehérjepor minta zöld színárnyalatainak összehasonlítása

(Forrás: saját munka)



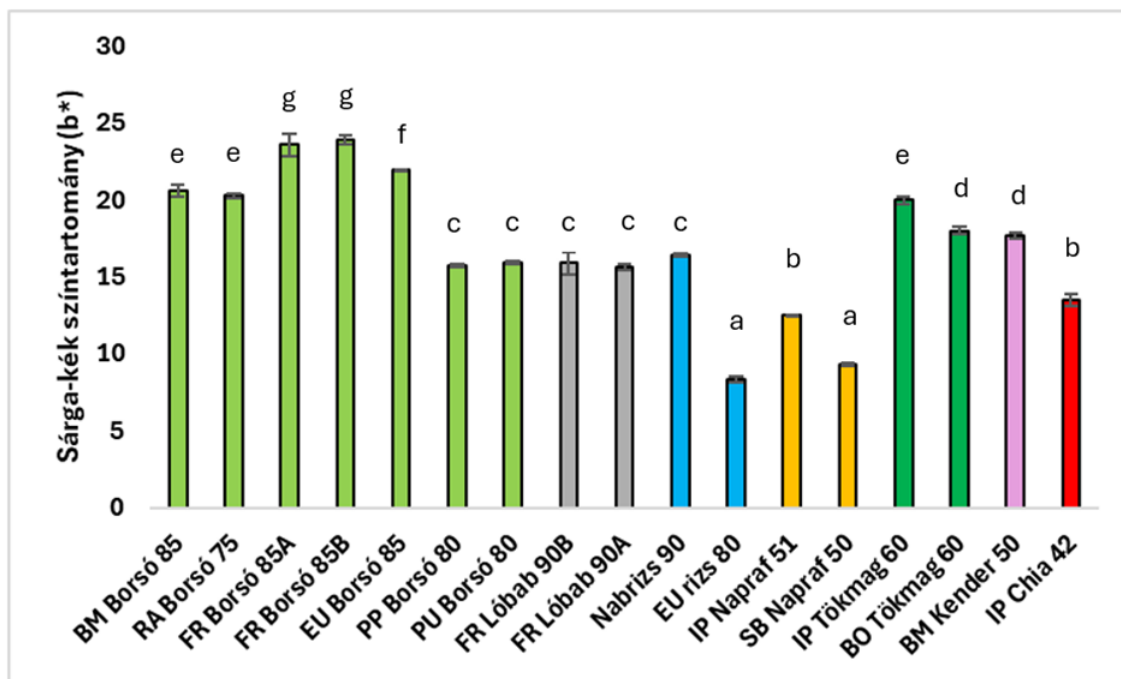
IP Tökmag 60

BO Tökmag 60

A legutolsó egyéni paraméter ( $b^*$ ) sárga – kék tartományban szereplő 17 darab mintáinak eredményét a 12. ábra mutatja be.

**12. ábra:** A csoportosított növényi fehérjepor minták sárga - kék (b\*) színezetének bemutatása

(Forrás: Saját szerkesztés a Tukey teszt alapján)



A 17 darab minta az (a – g) csoportba sorolható be. A minták a pozitív tartományban vannak, így sárga tartományban mutatnak értékeket. Megfigyelhetjük, hogy nincsenek csoportok közötti átlapolások. Egy csoportban legalább kettő minta szerepel, kivéve az „f” csoportot, ahol egy darab minta tartózkodik az EU Borsó 85 kóddal. Az EU Borsó 85 minta kivételével a borsó mintákat további három csoportra bontja a teszt. Megvizsgálva a csoportokat láthatjuk, hogy a „c” csoportban, a PP Borsó 80, PU Borsó 80, FR Lóbab 90B, FR Lóbab 90A, és a Nabrizs 90 minta is beletartozik. Közöttük nincsen szignifikáns különbség. A BO Tökmag 60 minta értéke előbb hasonlít a BM Kender 50 mintához („d”), mint a vele egy fajtaiba tartozó másik IP Tökmag 60 mintához („e”). Számomra az is meglepő, hogy az „e” csoportban szereplő IP Tökmag 60 minta értéke szorosan a két borsó fehérjepor minta értékeihez hasonló, ami nem más, mint az RA Borsó 75 és a BM Borsó 85. A rizs fehérjeporoknál is különböző csoportok vannak, míg az EU rizs 80 az „a” csoportba tartozik, a Nabrizs 90 már a „c” csoportban van. Az is különös és feltűnő, hogy egy csoportba tartozik az IP Napraf 51 minta és az IP Chia 42 minta is. Az egy fajtaiba tartozó napraforgómag mintái között is eltérés tapasztalható, amely a 13. ábrán szerepel.

**13. ábra:** A két napraforgómag fehérjepor minta sárga színárnyalatainak összehasonlítása  
(Forrás: saját munka)



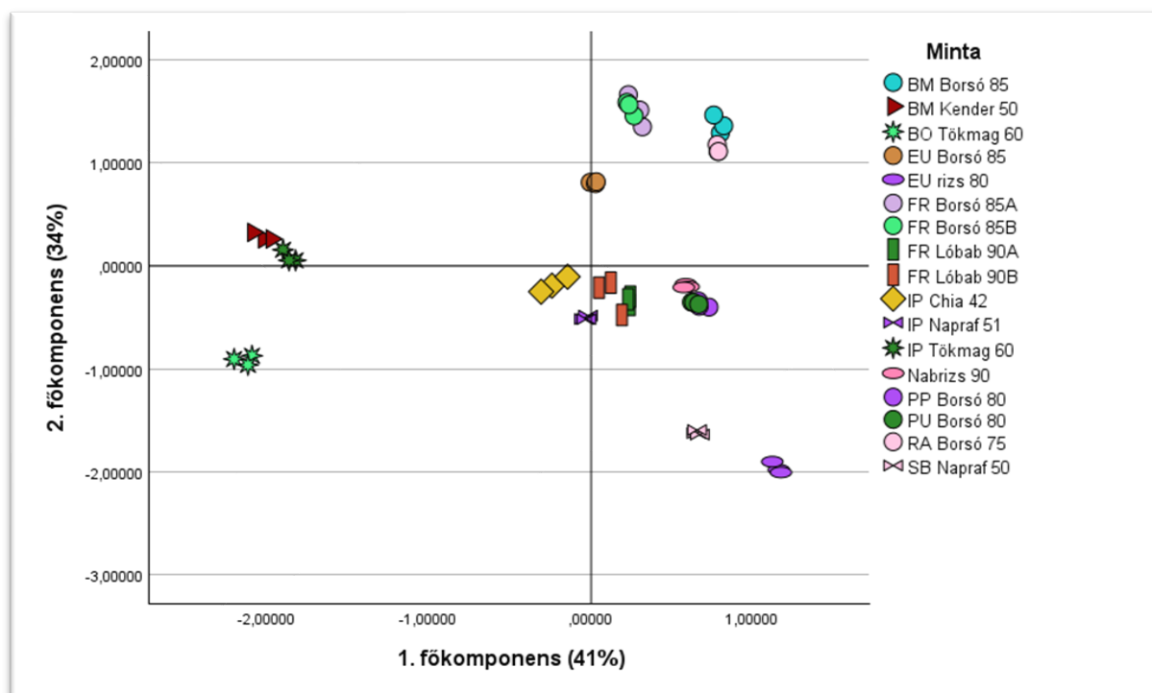
SB Napraf 50

IP Napraf 51

A 14. ábrán a Konica Minolta CR - 400 színmérő készülék által kapott eredmények alapján elkészített főkomponens elemzés látható, ahol a komponensek közös értékelése történt meg. A különböző alapanyagokat eltérő jelöléssel ábrázoltam.

**14. ábra:** A növényi fehérjepor minták színparamétereinek elemzése

(Forrás: Saját szerkesztés a főkomponens - analízis alapján)



A 14. ábrán a 17 minta adathalmazai láthatóak a színmérés  $L^*$ ,  $a^*$  és  $b^*$  paramétereit

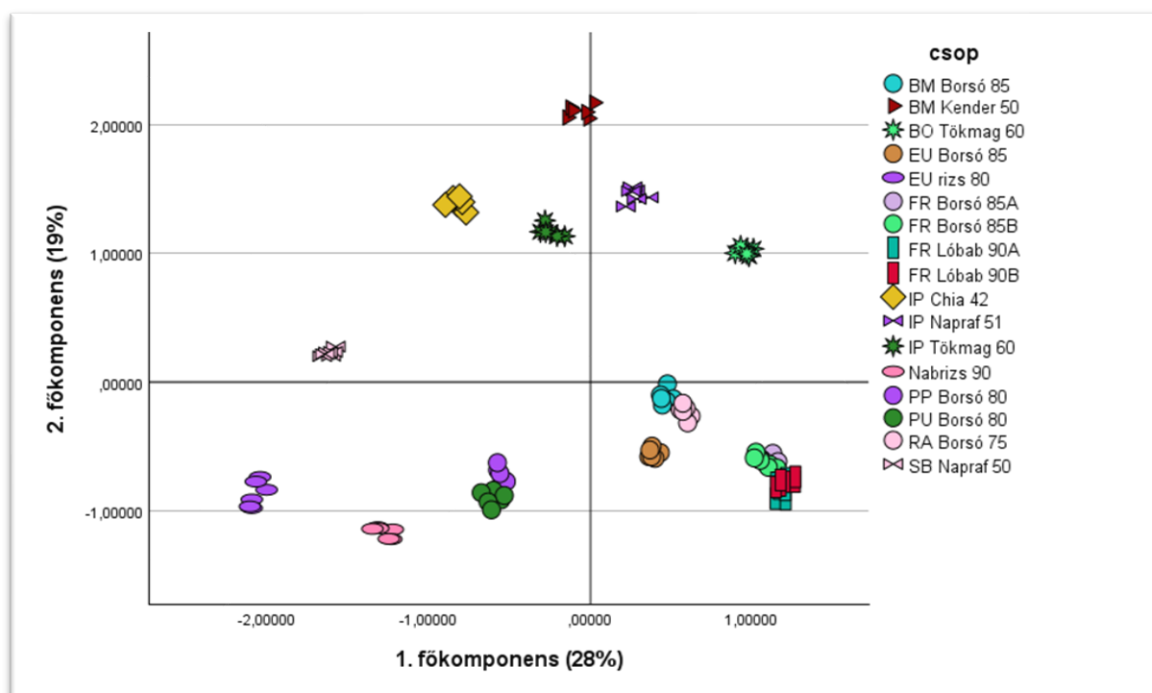
alapján. A tengelyek mentén a csoportok viszonylag jól szétválaszthatóak. Az 1. főkomponens tengelyétől legtávolabb a kender és tökmag fehérjepor minták állnak a bal oldalon, ezzel szemben a jobb oldalon az EU rizs 80 minta áll a legmesszebb. A tengelyen, az EU Borsó 85 és az IP Napraf 51 áll és ezekhez közelítenek a chiamag, lóbab minták és a borsó minták halmazai. Az 2. főkomponens szerint a nullát jelölő tengelyvonaltól felfelé egy csoportosulásban csak a borsó fehérjepor mintákat, valamint külön a tengely mentén balra egy másik csoportosulásban lévő BM Kender 50 és az IP Tökmag 60 látható. E tengelytől lefelé egy nagyobb csoportban középen, a chiamag, lóbab, borsó, napraforgómag és rizs fehérjepor minták vannak, míg ettől a csoportthalmaztól teljesen elkülönül az SB Napraf 50, EU rizs 80 és BO Tökmag 60. Ha az egész ábrát vizsgáljuk, a 17 mintahalmazból, három minta markánsan elkülönül a többitől. Ezek a BM Kender 50, IP Tökmag 60 és a BO Tökmag 60 minták. A mintákkal szemben a másik oldalon jobbra, a többi minta, egymáshoz közel helyezkedik el. Megfigyelhető, hogy a világos zöld csillaggal jelölt BO Tökmag 60 minta, sokkal távolabb áll a tökmag párjától. Ehelyett, a BM Kender 50 és az IP Tökmag 60 állnak szorosabb kapcsolatban. Az ábra tetején a kör jelöléssel a borsó minták keresztezik egymást. Ezeken kívül még a PU Borsó 80 és a PP Borsó 80 is egymáshoz nagyon közel állnak, míg egyedül elkülönül az EU Borsó 85 minta. A két 80%-os borsó fehérjepor mintákhoz még a Nabrizs 90 is hasonlít, amely egy barna rizs fehérjepor. Elmondható, hogy a két 80% -os borsó fehérjepor minta különleges, mert a minták eredményei egymáson helyezkednek el és szín alapján ők inkább a közelben lévő lóbab mintákhoz és a Nabrizs 90 minta színeihez hasonlítanak. A másik rizs fehérjepor (EU rizs 80) az ábra alján látható, amely egyik mintacsoporthoz sem kötődik. A legközelebbi mintacsoport hozzá képest, az SB Napraf 50 minta lett. A két napraforgómag fehérjepor eltávolodik egymástól és az IP Napraf 51, inkább a lóbab fehérjeporokhoz és a chiamag fehérjeporhoz áll közel az ábra szerint. A IP Napraf 51 minta és SB Napraf 50 között szín alapján is eltérés van, mert a minták egymástól távol kerültek.

## **4.2 A növényi fehérjeporok vizsgálata a NIR spektrumok alapján**

A 15. ábrán a közeli infravörös spektrométerrel elvégzett vizsgálatok eredményeit láthatjuk, melyet a főkomponens – analízis segítségével egy modellben összesítettem. A különböző alapanyagokat különböző színnel és jelöléssel láttam el, az átláthatóság szempontjából.

### 15. ábra: A növényi fehérjepor minták NIR adathalmazainak elemzése

(Forrás: Saját szerkesztés a főkomponens - analízis alapján)

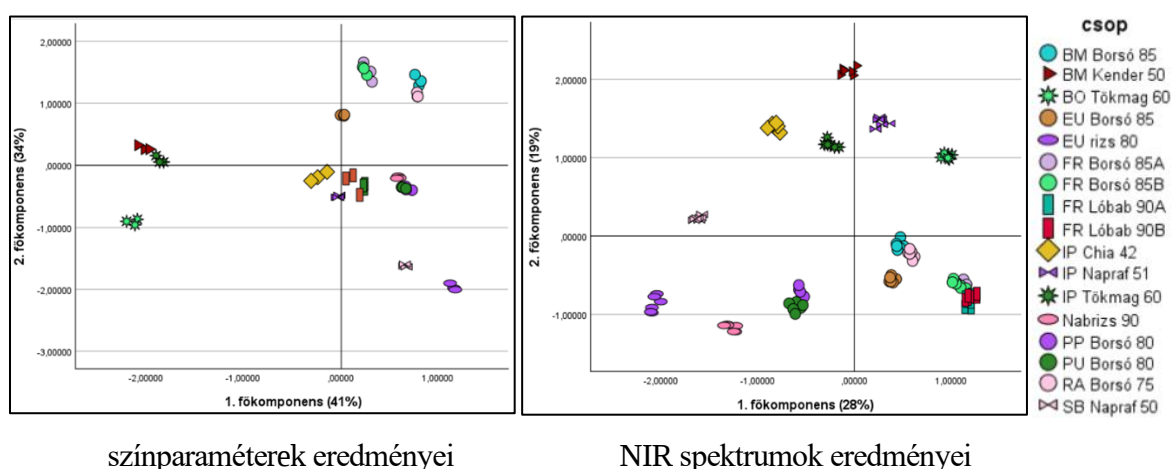


A csoportok elkülönülése sokkal jobban megfigyelhető ezen az ábrán, de láthatóak átlapolások is. A minták csoporthalmazai az 1. főkomponens alapján a tengely bal oldalán, a csoportok egymástól távolabb helyezkednek el, kivétel a PP Borsó 80 és PU Borsó 80 mintákat, ahol a két adathalmaz összekapcsolódik egymással. Közöttük hasonlóság figyelhető meg. A jobb oldalon az IP Napraf 51 és a BO Tökmag 60, valamint az EU Borsó 85 halmaz elhatárolódik a többi mintától. A csoportosulást, itt is megnézhetjük a borsók esetében, mert tömbösített halmazok jöttek létre, melyet már a bal oldalon is tapasztaltunk a borsó mintáknál. Az egyik halmazba a BM Borsó 85 és RA Borsó 75 minta tartozik, ellenben, a másik csoportba az FR Borsó minták. Az FR Borsó mintákhoz szorosan az FR lóbab minták csoportja kapcsolódik még. A 2. főkomponens alapján a tengely felső részébe a csoportok jól láthatóak, minták szerint csoportosítva is vannak, míg az alsó részben átlapolások sora látható, melyben kivételt képez a két rizs fehérjepor minta és az egyedül álló EU Borsó 85 minta. Rátéekintünk a kész ábrára, akkor a tengely metszetek szerint három halmaz értelmezhető. Az ábra felső részén kendermag, chiamag, tökmag és napraforgómag csoportok állnak egymáshoz közelebb, de az SB Napraf 50 sokkal távolabb áll a többitől, főleg az IP Napraf 51 minta párjától. Az SB Napraf 50, akár a fenti csoportba, de a bal alsó sarokban lévő csoporthoz is tartozhat, mert a kettő között helyezkedik el félúton. Bal oldalon az alsó részen, a rizs fehérjepor minták, valamint a 80% -os borsófehérjék kaptak helyet. Az utolsó csoporthalmazban a legszorosabb egységet a borsó és lóbab minták mutatják.

A 16. ábrán, a látható fény az  $L^*$ ,  $a^*$  és  $b^*$  paramétereinek alapján kiértékelt adatok és a közeli infravörös spektrométer által mért főkomponens - analízis során létrejövő eredmények összehasonlítása látható. Az összehasonlítástól azt vártuk, hogy valamilyen átfedést, hasonlóságot vagy egyes csoportok elhelyezkedésének egyezését lássuk. Azt sem zártuk ki, hogy a sorrend teljesen felborul és másfajta tulajdonságokkal találkozunk a kétfajta mérés eredményének esetén.

**16. ábra:** A növényi fehérjepor minták színparamétereinek és NIR adathalmazainak összehasonlítása

(Forrás: Saját szerkesztés a főkomponens - analízis alapján)



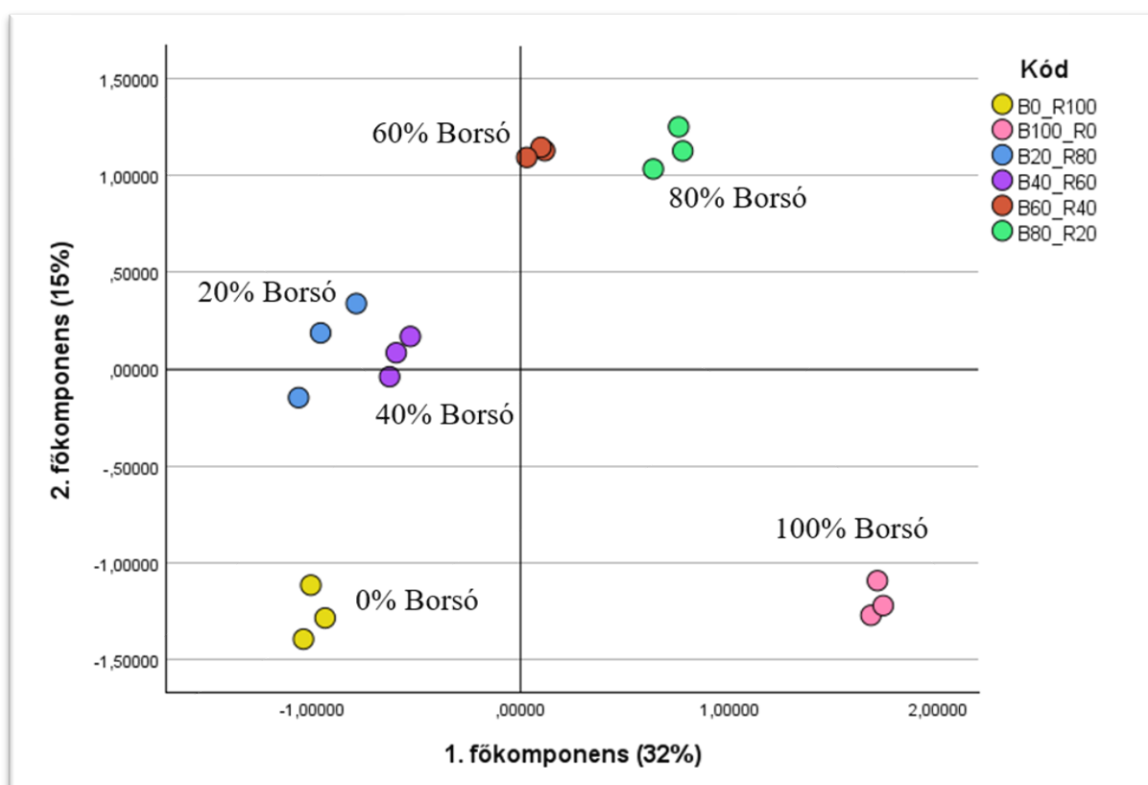
A 16. ábrán lévő két főkomponens elemzésen látható, hogy a bal oldali ábrán lévő minták csoportjai közelebb vannak egymáshoz, ellenben a jobb oldalival. A két ábra eredményei között minimális átfedések vannak. A csoportok nem ugyan ott helyezkednek el, de észrevehető, hogy vannak hasonlóságok. A borsó fehérjepor mintáknál látható, hogy mind két esetben az FR Borsó 85A és FR Borsó 85B kapcsolatban állnak, ugyan úgy, mint a BM Borsó 85 és RA Borsó 75 minta, valamint még a PP Borsó 80 és PU Borsó 80 minta is összekapcsolódik. Míg a Nabrizs 90 szorosan kötődött a 80% -os borsó fehérjeporokhoz a színmérés során, addig a NIR berendezéssel végzett mérés esetén a csoportok eltávolodtak egymástól. Az is különös az ábrákon, hogy az FR lóbab fehérjeporok a szín mérést követően a PP és PU Borsó 80 mintákhoz álltak közelebb, addig a NIR mérést követően már az FR Borsó mintákhoz kapcsolódtak. Ez azzal magyarázható, hogy az FR Lóbab és FR Borsó minták azonos gyártótól származnak. A BM Kender 50 minta közvetlen az IP Tökmag 60 mintához kapcsolódik a bal oldali ábrán, míg jobb oldalon már láthatón eltávolodnak egymástól.

A következőkben bemutatásra kerülő keverékek vizsgálatának alapjául szolgál a 16. ábrán látottak, mert a 17. ábra megmutatja, hogy a keverékekben lévő PU Borsó 80 és két rizs fehérjepor minták, színek alapján viszonylag komplementerei egymásnak. Arra törekedtem, hogy színben hasonló mintát válasszak, de ezt nem csak a vizuális szemrevételezéssel, hanem műszeres vizsgálatok által is tudjam bizonyítani.

### 4.3 A növényi fehérjepor keverékek vizsgálata a NIR spektrumok alapján

A következő ábrákon a NIR spektrumok alapján történő fehérjepor keverékek modelljeit láthatjuk, melyet a főkomponens – analízis általi eredmények alapján készítettem el (17., 18. ábra). Külön ábrákon látható a fehér rizsből, valamint a barna rizsből és hozzájuk hasonló borsó mintából összekevert keverékek eredményei.

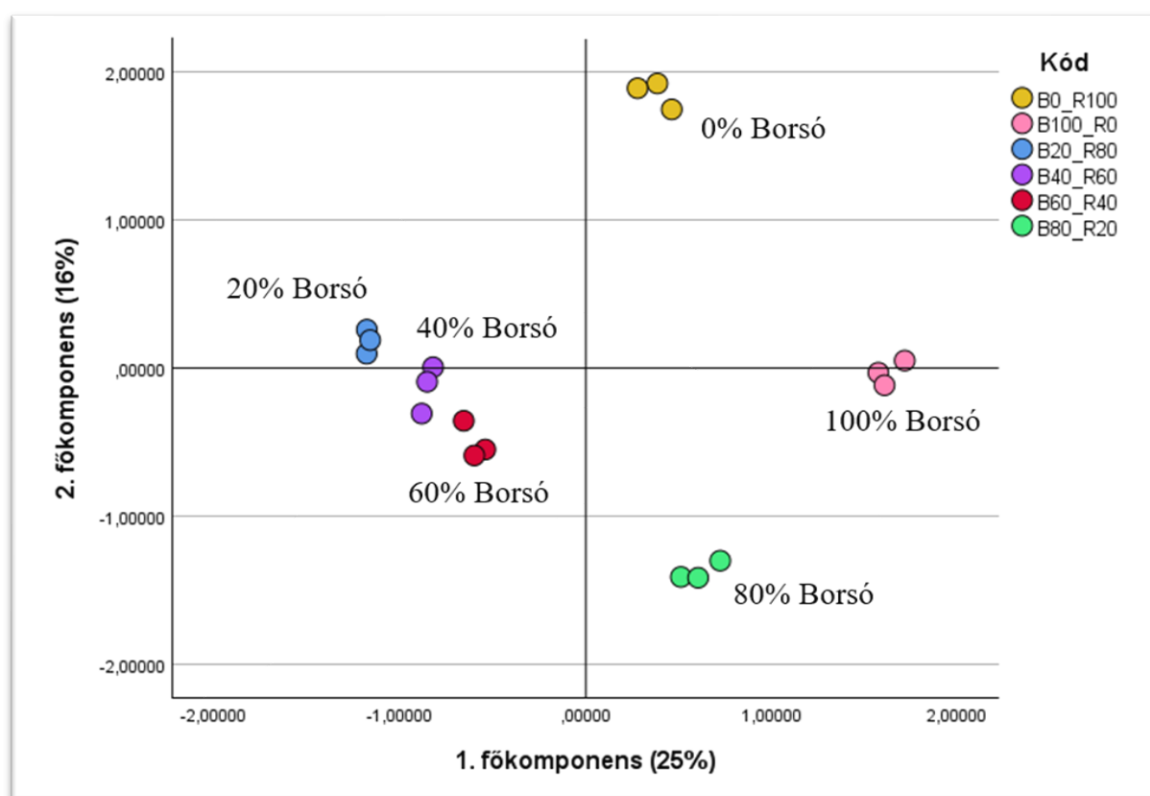
**17. ábra:** Az EU rizs 80 és a PU Borsó 80 fehérjepor minták keverékének elemzése  
(Forrás: Saját szerkesztés a főkomponens - analízis alapján)



A 17. ábrán a kiválasztott rizs fehérjepor és a kiválasztott borsó fehérjepor keveréknek a különböző arányait láthatjuk halmazokba csoportosítva. Ez a keverék tartalmazza a fehér rizs

mintát. A porkeverék kódjainak betűi a két alapanyagot jelölik, a számok a keverési arányokat, százalékban megadva. A modellt többféleképpen lehet jellemezni. A csoportok között tendenciát vélünk felfedezni. A tendencia megfelelően követi az elvárt csoportsorrendet. A bal alsó sarokban elindul a 0% -os borsó fehérje porkeverékkel (B0\_R100) és felfelé, balról – jobbra haladva láthatjuk a porkeverékeket, a keverési arálynak megfelelő sorrendben. A porkeverék csoportok láthatóan elkülönülnek egymástól és nincs közöttük átfedés sem. Egymáshoz legközelebb a 20% -os borsó fehérjepor (B20\_R80) és a 40% -os borsó fehérjepor keverékek (B40\_R60) állnak. A 100% -os borsó fehérjepor porkeverék (B100\_R0) áll a legtávolabbi helyen a többi keverékhez képest.

**18. ábra:** A Nabrizs 90 és a PU Borsó 80 fehérjepor minták keverékének elemzése  
(Forrás: Saját szerkesztés a főkomponens - analízis alapján)



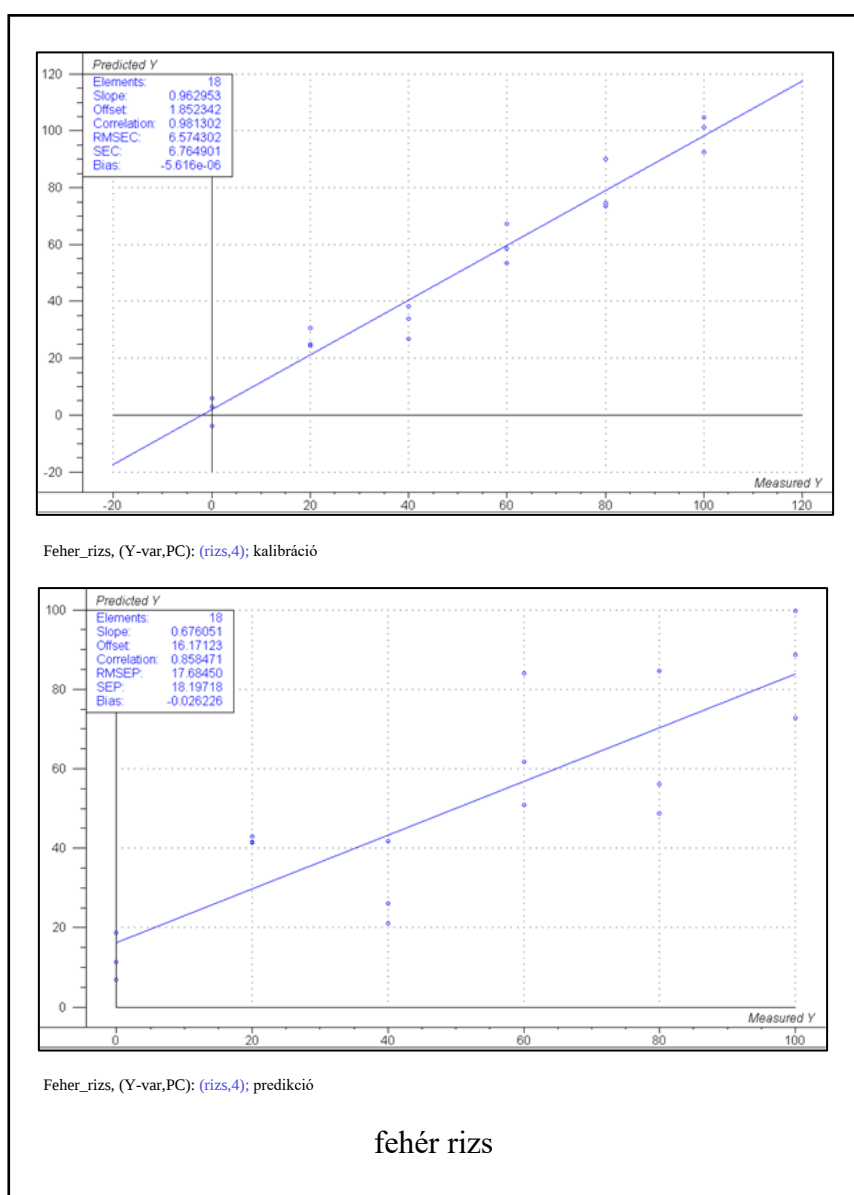
A 18. ábrán a kiválasztott rizs fehérjepor és a kiválasztott borsó fehérjepor porkeverék modelljét láthatjuk. A csoportok itt is kellően elkülönülnek egymástól. A csoportsorrend itt is felismerhető, csak fentről – lefelé mozognak a keverékek. A 0% -os borsó fehérje porkeverék (B0\_R100) áll a legtávolabbi a többi keverékhez képest. A 20%, 40% és a 60% -os porkeverékek (B20\_R80, B40\_R60 és a B60\_R40), hasonlóak egymáshoz, egymás közelében helyezkednek el.

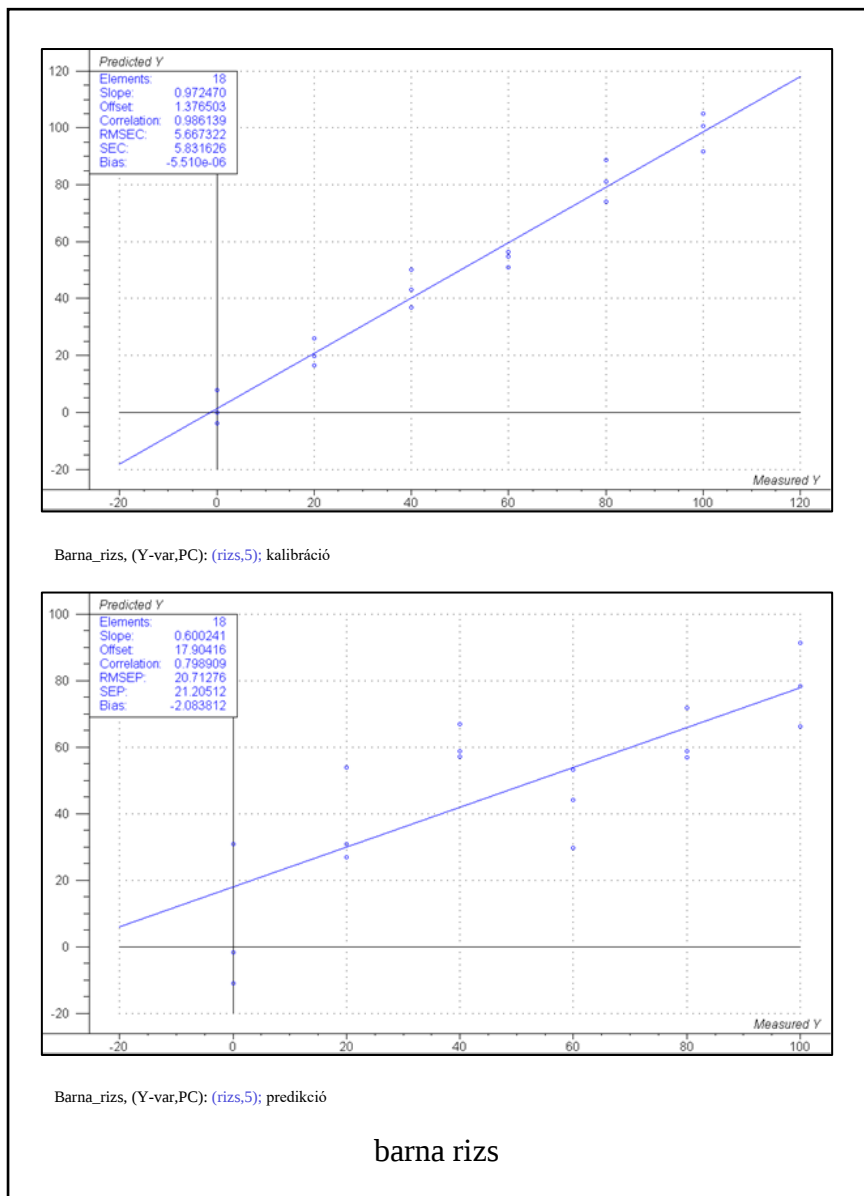
## 4.4 A növényi fehérjefor keverékek vizsgálata a PLS - regresszió alapján

A keverékek minőségi megvizsgálását követően számszerű adatokkal is értékeltük a keverékekben lévő fehér rizs és a barna rizs arányait.

**19. ábra:** Az EU Borsó 80 és PU Borsó 80, valamint a Nabrizs 90 és PU Borsó 80 keverékek, fehér rizs és barna rizs részarányainak vizsgálata

(Forrás: Saját szerkesztés a PLS - regresszió alapján)





A kiértékelés során a PLS – regresszió segítségével a porkeverékek rizs fehérjepor mintáinál egy - egy modellt állítottam fel (19. ábra). Annak ellenőrzésére állítottam fel modelleket, hogy a keverékekben lévő rizs fehérjeporok és borsó minta között kimutatható – e valamilyen összefüggés.

Összefüggést is teremtünk köztük, oly módon, hogy felállítunk egy modellt, a keverékben szereplő rizs komponenseinek értékeire 0 – 100% -ig, 20%-os lépésközzönként. Ezeket kék pöttyként tekinthetjük meg az ábrákon. Külön láthatjuk a fehér rizsre és a barna rizsre felállított modell illesztéseket, kalibrációt és a keresztvalidációt, predikciót is. Továbbá, ingadozások figyelhetők meg az ábrákon. A modellek része a hibák és tévesztések is. A predikciós hiba dimenziója ugyan az, mint a függő változó dimenziója. Azt szeretnén megbecsülni, hogy milyen arányban van a rizs a borsóban. Megállapítottam, hogy a fehér rizst és a barna rizst is ugyan olyan hatékonysággal lehet gyakorlatilag megkülönböztetni és mind a

két esetben maga a modell  $\pm 6\%$  ingadozással képes becsülni az értéket a kalibrálás során, míg a predikciót vesszük figyelembe ott már  $\pm 20\%$ -ot kapunk. Ezt mind az RMSEC/RMSEP értékeiből becsültük meg. A mérési hibák érzékelhetőek, hogy bizonytalanná válik mert  $5 - 6\%$ -ról a keresztvalidálás során  $18 - 20\%$ -ra növekszik. Jelzi, hogy a NIR észleli a különbségeket, de ráfér a finomítás. Attól függetlenül, hogy a NIR mérések előtt gondosan előkészítettem a fehérje porkeverékeket, megfelelően összekevertem a komponenseket, próbáltam egységesíteni és homogenizálni őket, a megfelelő tömörítés ellenére lehet, hogy a küvettákat túlságosan megtöltöttük és a porszemcséket ezáltal túlságosan összenyomtuk. Így a fénysugár nem tudott elég mélyre hatni és kellően visszaverődni. A modell alkotás biztató volt. Megfigyelhető, hogy a két ábra hasonlít egymásra, de meredekség és a tengelymetszet alapján a pontosabb becslést a fehér rizs értékei szemléltetik.

Figyelembe kell venni, hogy a mérési módszer kiforratlansága és a végrehajtott kalibrációk kis elemszámú mintákkal való mérése során, a végeredményben, egy nem teljesen kiforrt mérési eredményt kaptunk.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A diplomadolgozatomban a növényi fehérjeporok színparamétereinek egyedi és együttes vizsgálatával, valamint minták spektrumainak további elemzésével foglalkoztam. Az  $L^*$ ,  $a^*$  és a  $b^*$  színparaméterek mérése a látható fénnel történt meg. A közeli infravörös sugárzással mind a 17 minta elemzése és a kiválasztott minták porkeverékének mérése zajlott le. A színmérés során nem volt szükség különösebb előkészületekre. A spektrométernél már megfelelő előkészületek kellettek, hogy a mérésünk még pontosabb legyen. Arra jutottam, hogy a berendezéshez használt küetták fehérjeporral való megtöltésével, tömörítésével, majd tökéletes pormentesítésével a rendszer kevesebb hibával dolgozik.

A kapott adatokat az egyedi értékelés során ANOVA tesztnek vetettem alá, míg a színparaméterek közös vizsgálatánál főkomponens – analízist alkalmaztam.

Az ANOVA teszt alapján elkészítettem külön – külön az oszlopos diagramokat, melyeken feltüntettem a Tukey teszt alapján létrejött minták csoportosítását. Megállapítottam, hogy a minták között sok esetben szignifikáns eltérések vannak, de látható pár esetben csoportok közötti átfedések is.

A főkomponens – analízis eredményeit, mind a színmérő műszer általi adatokat, mind a közeli infravörös spektrométerrel mérteteket összehasonlítottam. A két mérési eredmények után, arra a következtetésre jutottam, hogy a különböző mérés technológiával elvégzett méréseknél, felborult a sorrend, eltérések mutatkoztak, de eközben, ha jobban megnézzük az ábrákat, minimális hasonlóságokat is tapasztalhatunk. Bizonyos csoportok helyét hasonlóan találtam, míg mások elhelyezkedése teljesen eltérő volt.

A kiválasztott mintákból, mind a két keverési párt illetően a borsó minta ugyan az volt. Ehhez az alap mintához kevertem hozzá az eltérő fehér és barna rizs mintát a megfelelő arányban. A porkeverékek vizsgálata során, arra a következtetésre szerettem volna jutni, hogy a különböző százalékban bekevert porkeverékek csoportja mennyire különül el egymástól. Mennyire látszódnak a határok és keverési arányok sorrendje. A tulajdonságok alapján egy trendet, tendenciát véltem felfedezni.

A kvalitatív elemzéseket követően egy olyan becslő függvényt is felállítottam, ahol számszerű adatokat kaptunk a fehér rizs és a barna rizs mintára vetítve. A predikciós hibákat a PLS – regresszió során állapíthatjuk meg. Hány százaléknyi ingadozással lehet a spektrumot becslésre használni? A kalibrációs összefüggések létrejötte után levonható, hogy minél kisebb a hiba értéke annál jobb lesz a becslés.

Az esetleges további mérésekhez javasolnám, több és többfajta minták alkalmazását.

Egy alapanyag fajtához nem csak két féle minta, hanem különböző gyártótól származó, más feldolgozási technológiával eljáró mintát kellene alkalmazni. A NIR méréseknél a porkeverékek keverési arányai megváltoztathatóak más részarányban is, hogy a mérések elvégzésével milyen új összefüggések keletkezhetnének. Esetleg a már adott porkeverékek keverési arányain kívül, más arányok létrehozása is megtörténhetne, valamint azok beillesztése a modellbe. Ha lehetőség nyílna rá, vizsgálatokat lehetne végezni a növényi fehérjeporok és az állati eredetű fehérjeporok keverékéből is.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A fehérje az egyik legfontosabb makrotápanyag az emberi szervezet számára. Fontos, a megfelelő fehérje bevitel, hogy a testünk minden része tökéletes állapotban tudjon működni. A kiegyensúlyozott táplálkozás során, különféle élelmiszerek elfogyasztásával tudjuk a fehérje forrásainkat fenntartani. A legegyszerűbb módja az állati eredetű fehérjék fogyasztása, mint a hús, tojás, hal és különböző tejtermékek. A másik mód, a növényi fehérjék, mint olajos magvak, diófélék, hüvelyesek beemelése a napi étrendbe. Nem csak a szervezetünk számára, de az élelmiszeripar szempontjából is fontos az élelmiszerek fehérjetartalmának mennyisége. Egy termék fehérjetartalmának méréséhez régen, roncsolásos technikát alkalmaztak, mint például a Dumas módszert. Magas hőmérsékletre és hosszú időre volt szükség, hogy elérjék a kívánt eredményt. Ezt a módszert szárnyalta túl a közeli infravörös spektroszkópia megjelenése. A NIR egy roncsolásmentes műszer, mely nem okoz kárt a termékben és rendkívül könnyű a használata. A méréseim során a NIR műszert alkalmaztam, hogy a fogyasztók által könnyen hozzáférhető növényi fehérjeporokat megmérjem.

Napjainkban az állati eredetű fehérjeporok mellett, a növényi fehérjeporok is közkedvelt termékekké váltak. A fehérjeporok készítése során, az állati és növényi eredetű alapanyagokból vonják ki a magas fehérjetartalmat. Por állagban elérhető koncentrátum és izolátum a legkedveltebb termékek egyike a fogyasztók körében. A tudatos étkezések és trendek megjelenésével a növényi alapú fehérjeporok kerültek előtérbe. Az előállítás egyszerűbb, mint az állati eredetűeké és költséghatékonyabb is. A gyártók egyre nyitottabbak arra, hogy különféle növényekből hozzák létre a termékeket. A fogyasztók körében elsősorban a borsóból, rizsből és szójából készült fehérjék a legkelendőbbek, de kendermagból, tökmagból és akár a chiamagból is képesek fehérjeporokat előállítani.

Annak tanulmányozása volt a célom, hogy a rendelkezésemre álló, 17 darab növényi fehérjepor megvizsgálásával, milyen hasonlóságokat, esetleg szignifikáns különbségeket tudok felfedezni különböző mérések alapján. A méréseim között szerepelt, mind a 17 minta színparamétereinek lemérése a színmérő készülék segítségével, valamint a közeli infravörös spektrométer használata a fehérjeporok önálló mérésére és az ezekből kikevert készítmények mérésére is. A színmérés során a Konica Minolta CR – 400 készüléket használtam, hogy a látható fény segítségével megmérjem a fehérjeporok  $L^*$ ,  $a^*$  és  $b^*$  paramétereit. A paramétereket ezután, az ANOVA teszt, valamint a főkomponens - analízis alapján, külön – külön és együtt is kiértékelés alá vontam. Előzetesen a Tukey tesztet is alkalmaztam. Majd a kiértékeléseket oszlop és pont diagramokon ábrázoltam. Az eredmények bemutatása során hasonlóságok, de

különbségek is észrevehetőek voltak. Az egyedi mérések során, a világossági tényezők ( $L^*$ ) elemzésénél a leglátványosabb adatát a fehér rizsből előállított világos rizsfehérjapor és a sötét színezettel rendelkező kendermag fehérjapor mutatta. Szemmel láthatóan, valamint a kapott értékekből is elmondható volt, hogy az egyik minta sokkal világosabb színezetet mutatott, mint a másik. Ezt a jelenséget ábrákkal is alátámasztottam. Ezután a kapott vörös – zöld ( $a^*$ ) paraméter vizsgálata következett, ahol a minták különböző színezete, miatt, páran a negatív tartományban mutattak értékeket. Ebben a tartományban kapott helyet a két darab tökmagfehérjapor és az egyedüli kendermag fehérjapor. Az utolsó színtényező a  $b^*$ , azaz a sárga – kék színtartomány meghatározása volt. Itt azt tapasztaltam, hogy a két napraforgómag mintát a Tukey teszt külön csoportosította, mert közöttük szignifikáns különbség volt észlelhető. Az összes mintát egyszerre megvizsgálva, a főkomponens – analízis segítségével pont diagramot hoztam létre és bemutattam a minták egymástól való elkülönülését vagy esetleges egymáshoz való társulását.

Mint a színmérés esetében, úgy a NIR méréseknél is a hasonlóságok és eltérések is megfigyelhetőek voltak. Itt is ugyan azokat a mintákat alkalmaztam, mint az első mérés esetében. Ez is egy roncsolásmentes vizsgálat volt, ahol a spektrum - felvételek kiértékelésével eredményekhez jutottam. Mindezek előtt, a megkapott spektrumokat előkezelésnek kellett alávetnem, hogy megfelelő adatokhoz jussak, amelyekkel tovább lehetett dolgozni. A spektrumok simításával és deriválásával, már olyan adatsorokat kaptam, melyeken statisztikai módszereket tudtam alkalmazni. A főkomponens – analízisen kívül még a PLS – regressziót is használtam, hogy az összefüggéseket még jobban bemutathassam. A 17 minta NIR adathalmazait egymással összevetve, látható a PCA által létrehozott ábrán vannak egyezések, de vannak olyan csoportok, melyek teljesen elkülönülnek egymástól, az ábrán térben messzebb helyezkednek el egymástól. Azt is megnéztem, hogy hogyan viszonyul egymáshoz a színmérés és a NIR mérés általi adathalmazok elhelyezkedése. Ezután, kialakítottam két porkeveréket és azokon végeztem el a közeli infravörös spektrométerrel a méréseket. Az első porkeverék alapanyagai a fehér rizs fehérjapor és a borsó fehérjapor volt. A második porkeveréknél a borsó fehérjapor ugyanaz volt, mint az elsőnél, de itt már barna rizs fehérjeport alkalmaztam mellé. Hat - hat mérési párt hoztam létre, mindegyik keverés során 100% -os keveréket alakítottam ki a két alapanyagból, 20% -os lépésközlőként. Látható, hogy egy sorrend állt fel a keverékek között és ez mind a kétféle keveréknél megfigyelhető volt.

A részleges legkisebb négyzetek módszer (PLS) abban nyújtott segítséget, hogy megbecsüljem a kapott számok alapján a porkeverékekben lévő rizs fehérjaporok arányait. Felállítottam egy modellt és kiértékelés után elmondható volt, hogy a pontosabb becslés és

összefüggések aránya a fehér rizs fehérjepor esetében volt pontosabb.

A méréseim során kapott eredményeket összegezve úgy vélem, hogy a színérés paramétereire alkalmazott egytényezős varianciaanalízissel kezdve, elkezdtem felépíteni a dolgozatomat. Tovább haladva a többváltozós statisztika világába merültem, melyen belül először a kvalitatív részét tanulmányoztam. A főkomponens – analízissel csoportokat alkottam és a hasonlóságokat, valamint eltéréseket tudtam felfedezni. Lezárásul a többváltozós statisztika mélyebb eredményeit a kalibrációs függvény segítségével tudtam bemutatni.

## 7. IRODALOMJEGYZÉK

1. Agelet, L. E., & Hurburgh Jr, C. R. (2010). A tutorial on near infrared spectroscopy and its calibration. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 40(4), 246-260.
2. Amagliani L., O'Regan J., Kelly A. L., & O'Mahony, J. A. (2016). Physical and flow properties of rice protein powders. *Journal of Food Engineering*, 190, 1–9. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.05.022
3. Barba, F. J., Roohinejad, S., Ishikawa, K., Leong, S. Y., Bekhit, A. E. D. A., Saraiva, J. A., & Lebovka, N. (2020). Electron spin resonance as a tool to monitor the influence of novel processing technologies on food properties. *Trends in food science & technology*, 100, 77-87.
4. Beć, K. B., Grabska, J., & Huck, C. W. (2021). Principles and applications of miniaturized near-infrared (NIR) spectrometers. *Chemistry–A European Journal*, 27(5), 1514-1532.
5. Benes, E., L., (2023). Egyes snackek, illetve zöld- és pörkölt kávé roncsolásmentes analitikai, valamint érzékszervi vizsgálata
6. Burns, D. A., & Ciurczak, E. W. (Eds.). (2007). *Handbook of near-infrared analysis*. CRC press, 25 – 35.
7. Davies, A. M. C. (2005). An introduction to near infrared spectroscopy. *NIR news*, 16(7), 9-11.
8. Dávid Á. Z. (2006): *Mikrohndullámú és közeli infravörös elektromágneses sugárzás alkalmazása a korszerű gyógyszer technológiai eljárásokban és vizsgálatokban*. Doktori (Ph.D.) értekezés Semmelweis Egyetem Gyógyszerészeti Intézet, Budapest
9. Deshmukh, K., Sankaran, S., Ahamed, B., Sadasivuni, K. K., Pasha, K. S., Ponnamm, D., ... & Chidambaram, K. (2017). Dielectric spectroscopy. In *Spectroscopic Methods for Nanomaterials Characterization* (pp. 237-299). Elsevier.
10. Dos Santos, C. A. T., Lopo, M., Páscoa, R. N., & Lopes, J. A. (2013). A review on the applications of portable near-infrared spectrometers in the agro-food industry. *Applied spectroscopy*, 67(11), 1215-1233.
11. González-Pérez, S., & Arellano, J. B. (2009). Vegetable protein isolates. In *Handbook of hydrocolloids* (pp. 383-419). Woodhead Publishing.
12. Heise, H. M. (2021). Medical applications of NIR spectroscopy. *Near-Infrared Spectroscopy: Theory, Spectral Analysis, Instrumentation, and Applications*, 437-473.
13. Hoffman, J. R., & Falvo, M. J. (2004). Protein—which is best?. *Journal of sports science*

& medicine, 3(3), 118.

14. Ingle, P. D., Christian, R., Purohit, P., Zarraga, V., Handley, E., Freel, K., & Abdo, S. (2016). Determination of protein content by NIR spectroscopy in protein powder mix products. *Journal of AOAC International*, 99(2), 360-363.
15. Jakobson, K., Kaleda, A., Adra, K., Tammik, M. L., Vaikma, H., Kriščiunaite, T., & Vilu, R. (2023). Techno-Functional and Sensory Characterization of Commercial Plant Protein Powders. *Foods*, 12(14), 2805.
16. Johnson, A. M., Rohlf, E. M., & Silverman, L. M. (1999). Protein. *Tietz textbook of clinical chemistry*, 3, 477-540.
17. Kaffka, K. J. (1976). Rapid instrumental analysis of composition of wine. *Acta Alimentaria*, 5, 267-279.
18. Key, T. J., Appleby, P. N., & Rosell, M. S. (2006). Health effects of vegetarian and vegan diets. *Proceedings of the Nutrition Society*, 65(1), 35-41.
19. López-Lorente, Á. I., & Mizaikoff, B. (2016). Mid-infrared spectroscopy for protein analysis: potential and challenges. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 408, 2875-2889.
20. Majoros A., Csapó P. (2000): Kalibráció a roncsolásos anyagvizsgálat gyakorlatában.
21. Manickavasagan, A., Lim, L. T., & Ali, A. (Eds.). (2022). *Plant protein foods*. Cham, Switzerland: Springer. 61-63.
22. Manley, M., & Baeten, V. (2018). Spectroscopic technique: Near infrared (NIR) spectroscopy. In *Modern techniques for food authentication* (pp. 51-102). Academic Press.
23. Mariotti, F. (2017). Plant protein, animal protein, and protein quality. In *Vegetarian and plant-based diets in health and disease prevention* (pp. 621-642). Academic Press.
24. Martinez, I., Aursand, M., Erikson, U., Singstad, T. E., Veliyulin, E., & Van Der Zwaag, C. (2003). Destructive and non-destructive analytical techniques for authentication and composition analyses of foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology*, 14(12), 489-498.
25. Molnár, J., Vasas, D., & Ahmed, M. (2023). A flexitáriánus, vegetáriánus és vegán étrendek összehasonlító elemzése. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 69(1), 4374-4381.
26. Nicolaï, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I., & Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest biology and technology*, 46(2), 99-

27. Osborne, B. G. (2006). Near-infrared spectroscopy in food analysis. *Encyclopedia of analytical chemistry: applications, theory and instrumentation*.
28. Qu, J. H., Liu, D., Cheng, J. H., Sun, D. W., Ma, J., Pu, H., & Zeng, X. A. (2015). Applications of near-infrared spectroscopy in food safety evaluation and control: A review of recent research advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(13), 1939-1954.
29. Owusu-Ansah, Y. J., & McCurdy, S. M. (1991). Pea proteins: a review of chemistry, technology of production, and utilization. *Food Reviews International*, 7(1), 103-134.
30. Porep, J. U., Kammerer, D. R., & Carle, R. (2015). On-line application of near infrared (NIR) spectroscopy in food production. *Trends in Food Science & Technology*, 46(2), 211-230.
31. Rosenfeld, D. L. (2019). A comparison of dietarian identity profiles between vegetarians and vegans. *Food Quality and Preference*, 72, 40-44.
32. Salgó, A. (2014). Obituary: Károly Kaffka: The Hungarian pioneer of near infrared spectroscopy. *NIR news*, 25(7), 13-14.
33. Sá, A. G. A., Moreno, Y. M. F., & Carciofi, B. A. M. (2020). Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 170-184.
34. Scotter, C. N. (1997). Non-destructive spectroscopic techniques for the measurement of food quality. *Trends in food science & technology*, 8(9), 285-292.
35. Seregély, Z. (2007). A minőség nyomkövetése az élelmiszerlánc különböző pontjaiban gyors fizikai módszerekkel= Monitoring the quality at different places of the chain by rapid physical methods. *OTKA Kutatási Jelentések| OTKA Research Reports*.
36. Sim, S. Y. J., Srv, A., Chiang, J. H., & Henry, C. J. (2021). Plant proteins for future foods: A roadmap. *Foods*, 10(8), 1967.
37. Somkuti, J. (2014). *Fehérjék nyomás által indukált szerkezetváltozásainak jellemzése infravörös és fluoreszcencia spektroszkópiai módszerekkel* (Doctoral dissertation).
38. Szalay D, K. (2015). *Távérzékelésre és spektroszkópiára alapozott őszi búza fajtaazonosító eljárás* (Doctoral dissertation, Szent István Egyetem (2000-2020)).
39. Szigedi, T. (2014). *Módszerfejlesztés Fourier-transzformációs közeli infravörös technika (FT-NIR) alkalmazási körének kibővítésére élelmiszeripari mintákon= Method development for expanding the application of Fourier-Transform Near-Infrared Spectroscopy (FT-NIR) in food samples* (Doctoral dissertation, Budapesti Corvinus

Egyetem).

40. Tan, M., Nawaz, M. A., & Buckow, R. (2023). Functional and food application of plant proteins—a review. *Food Reviews International*, 39(5), 2428-2456.
41. Williams, P. (2019). Karl H. Norris, the Father of near-infrared spectroscopy. *NIR news*, 30(7-8), 25-27.
42. Weinstein, L. A. (1988). Electromagnetic waves. *Radio i svyaz', Moscow*.
43. Xie, L., Wang, A., Xu, H., Fu, X., & Ying, Y. (2016). Applications of near-infrared systems for quality evaluation of fruits: A review. *Transactions of the ASABE*, 59(2), 399-419.
44. Zamanian, A., & Hardiman, C. J. H. F. E. (2005). Electromagnetic radiation and human health: A review of sources and effects. *High Frequency Electronics*, 4(3), 16-26.

#### **Internetes hivatkozások:**

Internet 1: [Fehérjepor: válasszuk inkább a növényt \(1.\) \(eletmod-magazin.com\)](#)

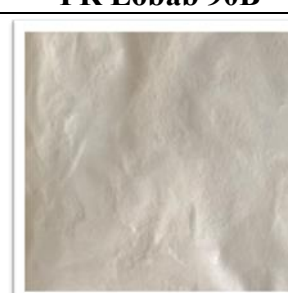
Internet 2: [Chroma Meter CR-400 and CR-410 | Biotechnology | Geneq](#)

## 8. TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ÁBRA: AZ ELEKTROMÁGNESES SPEKTRUM TARTOMÁNYAI (FORRÁS: SZIGEDI ÍRÁSA NYOMÁN, 2014).....                                                        | 8  |
| 2. ÁBRA: AZ INFRAVÖRÖS TARTOMÁNY (FORRÁS: DAVIES ÍRÁSA NYOMÁN, 2005).....                                                                         | 9  |
| 3. ÁBRA: KARL H. NORRIS BESTVILLE - BEN A MŰSZERLABORATÓRIUMBAN (FORRÁS: DAVIES ÍRÁSA NYOMÁN, 2005) .....                                         | 12 |
| 4. ÁBRA: NÖVÉNYI FEHÉRJEPOROK SZEMLELTETÉSE (FORRÁS: INTERNET 1: ÉLETMÓD - MAGAZIN ÍRÁSA ALAPJÁN) .....                                           | 15 |
| 1. TÁBLÁZAT: FELHASZNÁLT NÖVÉNYI FEHÉRJEPOROK BEMUTATÁSA (FORRÁS: SAJÁT MUNKA) .....                                                              | 18 |
| 2. TÁBLÁZAT: A NÖVÉNYI FEHÉRJEPOR MINTÁINAK KEVERÉSI ARÁNYAI (FORRÁS: SAJÁT MUNKA) .....                                                          | 19 |
| 5. ÁBRA: KONICA MINOLTA CR - 400 SZÍNMEŰRŐ MŰSZER (FORRÁS: INTERNET 2 ALAPJÁN) .....                                                              | 20 |
| 3. TÁBLÁZAT: A METRIKA METRINIR 10 - 17 PR MŰSZER TULAJDONSÁGAI (FORRÁS: SEREGÉLY ÍRÁSA NYOMÁN, 2007) .....                                       | 21 |
| 6. ÁBRA: METRIKA METRINIR 10 - 17 PR KÉSZÜLÉK ÉS A HOZZÁ TARTOZÓ SZÁMÍTÓGÉP ÉS KELLÉKEK (FORRÁS: SAJÁT MUNKA).....                                | 21 |
| 7. ÁBRA: A PORMENTESÍTÉS ELŐTTI ÁLLAPOT A KÜVETTÁBAN LÉVŐ FEHÉRJEPORRÓL (FORRÁS: SAJÁT MUNKA) ..                                                  | 22 |
| 8. ÁBRA: A CSOPORTOSÍTOTT NÖVÉNYI FEHÉRJEPOR MINTÁK VILÁGOSSÁGI TÉNYEZŐJÉNEK (L*) BEMUTATÁSA ..                                                   | 24 |
| (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS A TUKEY TESZT ALAPJÁN) .....                                                                                           | 24 |
| 9. ÁBRA: A LEGVILÁGOSABB ÉS LEGSÖTÉTEBB L* ÉRTÉKKEL RENDELKEZŐ MINTÁK ÖSSZEHASONLÍTÁSA (FORRÁS: SAJÁT MUNKA).....                                 | 25 |
| 10. ÁBRA: A CSOPORTOSÍTOTT NÖVÉNYI FEHÉRJEPOR MINTÁK VÖRÖS - ZÖLD (A*) SZÍNEZETÉNEK BEMUTATÁSA ..                                                 | 26 |
| (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS A TUKEY TESZT ALAPJÁN) .....                                                                                           | 26 |
| 11. ÁBRA: A KÉT TÖKMAG FEHÉRJEPOR MINTA ZÖLD SZÍNÁRNYALATAINAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA .....                                                             | 27 |
| (FORRÁS: SAJÁT MUNKA) .....                                                                                                                       | 27 |
| 12. ÁBRA: A CSOPORTOSÍTOTT NÖVÉNYI FEHÉRJEPOR MINTÁK SÁRGÁ - KÉK (B*) SZÍNEZETÉNEK BEMUTATÁSA ..                                                  | 28 |
| (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS A TUKEY TESZT ALAPJÁN) .....                                                                                           | 28 |
| 13. ÁBRA: A KÉT NAPRAFORGÓMAG FEHÉRJEPOR MINTA SÁRGÁ SZÍNÁRNYALATAINAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA (FORRÁS: SAJÁT MUNKA).....                                | 29 |
| 14. ÁBRA: A NÖVÉNYI FEHÉRJEPOR MINTÁK SZÍNPARAMÉTEREINEK ELEMZÉSE .....                                                                           | 29 |
| (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS A FŐKOMPONENS - ANALÍZIS ALAPJÁN) .....                                                                                | 29 |
| 15. ÁBRA: A NÖVÉNYI FEHÉRJEPOR MINTÁK NIR ADATHALMAZAINAK ELEMZÉSE .....                                                                          | 31 |
| (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS A FŐKOMPONENS - ANALÍZIS ALAPJÁN) .....                                                                                | 31 |
| 16. ÁBRA: A NÖVÉNYI FEHÉRJEPOR MINTÁK SZÍNPARAMÉTEREINEK ÉS NIR ADATHALMAZAINAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA .....                                            | 32 |
| (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS A FŐKOMPONENS - ANALÍZIS ALAPJÁN) .....                                                                                | 32 |
| 17. ÁBRA: AZ EU RIZS 80 ÉS A PU BORSÓ 80 FEHÉRJEPOR MINTÁK KEVERÉKÉNEK ELEMZÉSE .....                                                             | 33 |
| (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS A FŐKOMPONENS - ANALÍZIS ALAPJÁN) .....                                                                                | 33 |
| 18. ÁBRA: A NABRIZS 90 ÉS A PU BORSÓ 80 FEHÉRJEPOR MINTÁK KEVERÉKÉNEK ELEMZÉSE (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS A FŐKOMPONENS - ANALÍZIS ALAPJÁN).....  | 34 |
| 19. ÁBRA: AZ EU BORSÓ 80 ÉS PU BORSÓ 80, VALAMINT A NABRIZS 90 ÉS PU BORSÓ 80 KEVERÉKEK, FEHÉR RIZS ÉS BARNÁ RIZS RÉSZARÁNYAINAK VIZSGÁLATA ..... | 35 |
| (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS A PLS - REGRESSZIÓ ALAPJÁN).....                                                                                       | 35 |

## 9. MELLÉKLETEK

**M1.** A méréseim során felhasznált fehérjeporokról készült képek

|                                                                                     | <b>Borsó fehérjeporok</b>                                                           |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>BM Borsó 85</b>                                                                  | <b>RA Borsó 75</b>                                                                  | <b>FR Borsó 85A</b>                                                                   |
|    |    |    |
| <b>FR Borsó 85B</b>                                                                 | <b>EU Borsó 85</b>                                                                  | <b>PP Borsó 80</b>                                                                    |
|   |   |   |
|                                                                                     | <b>PU Borsó 80</b>                                                                  |                                                                                       |
|                                                                                     |  |                                                                                       |
|                                                                                     | <b>Lóbab fehérjeporok</b>                                                           |                                                                                       |
| <b>FR Lóbab 90A</b>                                                                 |                                                                                     | <b>FR Lóbab 90B</b>                                                                   |
|  |                                                                                     |  |

| <b>Rizs fehérjeporok</b>                                                            |  |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nabrizs 90</b>                                                                   |  | <b>EU rizs 80</b>                                                                     |
|    |  |    |
| <b>Napraforgómag fehérjeporok</b>                                                   |  |                                                                                       |
| <b>IP Napraf 51</b>                                                                 |  | <b>SB Napraf 50</b>                                                                   |
|   |  |   |
| <b>Tökmag fehérjeporok</b>                                                          |  |                                                                                       |
| <b>IP Tökmag 60</b>                                                                 |  | <b>BO Tökmag 60</b>                                                                   |
|  |  |  |
| <b>Kendermag<br/>fehérjepor</b>                                                     |  | <b>Chiamag fehérjepor</b>                                                             |
| <b>BM Kender 50</b>                                                                 |  | <b>IP Chia 41</b>                                                                     |
|  |  |  |

## NYILATKOZAT

### a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Máyer Petra  
A Hallgató Neptun kódja: R21U67  
A dolgozat címe: Fehérjeporok különböző keverési arányainak vizsgálata közeli infravörös spektroszkópiával  
A megjelenés éve: 2024  
A konzulens intézetének neve: Élelmiszertudomány és Technológiai Intézet  
A konzulens tanszékének a neve: Állattermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: Budapest, 2024. április 26.



Hallgató aláírása

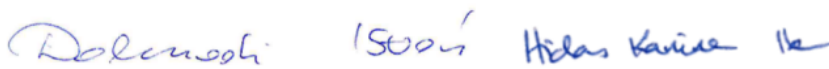
## NYILATKOZAT

Máyer Petra (hallgató Neptun azonosítója: R21U67) konzulenseiként nyilatkozunk arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettük, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattuk.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védelemre **javasoljuk**.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Budapest, 2024. április 26.



Dr. Dalmadi István, Dr. Hidas Karina Ilona  
belső konzulensek