



Élelmiszertudományi Kar

Fizika- Automatika Tanszék

MULTISPEKTRÁLIS MÓDSZER FEJLESZTÉSE
VÁKUUMCSOMAGOLT MARHAHÁTSZÍN VIZSGÁLATÁRA
TDK DOLGOZAT

Készítette:

Millner Márk

Okleveles 5. évfolyam

Konzulensek:

Dr. Firtha Ferenc

egyetemi adjunktus

Fizika-Automatika Tanszék

Dr Friedrich László

egyetemi adjunktus

Hűtő és Állatitermék Technológia Tanszék

Budapest, 2010

TARTALOMJEGYZÉK

1	BEVEZETÉS	4
2	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
2.1	Hús jellemzése	5
2.1.1	Hús fogalma	5
2.1.2	A hús, mint vitaminforrás	5
2.1.3	A hús vágás utáni érése	6
2.1.4	A hús külső megjelenését befolyásoló folyamat.....	6
2.1.5	A hús romlását meghatározó mikrobiológiai folyamatok.....	8
2.1.6	Védőgázos csomagolás	8
2.1.7	Csomagolás	8
2.1.8	Tárolás.....	9
2.2	Vizsgálati technikák.....	9
2.2.1	Közeli infravörös spektroszkópia (NIR)	9
2.2.2	Multispektrális képfeldolgozás	11
2.2.3	Húsok hiperspektrális mérési eredményei	11
2.3	Irodalmi eredmények értékelése	12
3	CÉLKITŰZÉS	13
4	ANYAG ÉS MÓDSZER	14
4.1	Anyag	14
4.2	Mérési módszerek	15
4.2.1	Multispektrális rendszer (1000-1550 nm).....	15
4.2.2	Multispektrális rendszer 750-1000 nm-ig	18
4.2.3	NIR Spektrofotométer.....	20
4.3	Eredmények feldolgozása	21
4.3.1	Adatok elő-feldolgozása (MathCad).....	21
4.3.2	Multispektrális rendszerrel (1000-1550 nm) mért képek feldolgozása MathCaddel	22
4.3.3	Multispektrális rendszerrel (750-1000 nm) mért képek feldolgozása MathCaddel	23
4.3.4	NIR Spektrofotométerrel mért adatok feldolgozása MathCaddel.....	24
4.3.5	Adatok statisztikai kiértékelése (PLS)	25
5	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS	26
5.1	Előmérés különböző érettségű húsokkal.....	26

5.2	Mérés stabilitásának ellenőrzése	27
5.3	Vákuumcsomagolt húsok mérése.....	29
5.3.1	Mérés stabilitásának biztosítása	30
5.3.2	Vákuumcsomagolt húsok reflexiójának változása.....	33
5.3.3	A húsok egyes hullámhosszakon mért reflexiójának változása az idő függvényében	35
5.3.4	Szignifikáns hullámhosszak meghatározása multispektrális rendszernél (750-1000 nm).....	38
5.3.5	Szignifikáns hullámhosszak meghatározása multispektrális rendszernél (1000-1550 nm).....	41
5.3.6	Szignifikáns hullámhosszak meghatározása NIR Spektrofotométer rendszernél (1000-1600 nm).....	44
6	ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK	47
7	IRODALMJEGYZÉK	49

1 BEVEZETÉS

Az élelmiszeriparban és ezen belül a húsiparban is egyre fontosabb a minőségi termékek előállítása. Ez mind a fogyasztónak, mind a termelőnek érdeke. A fogyasztók egyre inkább törekednek a tudatos vásárlásra, tehát igyekeznek minőségi termékeket venni. Ezen okok és a higiéniai szabályok fokozatos szigorodása miatt is a termelőknek érdekük a jó minőségű termékek előállítása, hiszen ezeket a termékeket szívesebben veszik a vevők és az sem utolsó szempont, hogy drágábban is adhatják el.

Az élelmiszeriparon belül sok területen osztályozzák a termékeket minőségük szerint, ezzel szemben a húsiparban a minőségi osztályozási rendszer még nem elterjedt. Ennek oka, hogy a húsok minőségének megállapítása jelenleg lassú, drága és nehézkes, roncsolás-mentesen nem megoldható. Míg a zöldségeknél és gyümölcsöknél létezik általános minőségi osztályozás, addig a húsoknál hiányos, a meglevők, pedig nem egyértelműek, nehézkesek a kereskedők és a vásárlók között a gyakorlatban nem elterjedt. Létezik ugyan az ipar és a kereskedelem között minősítő rendszer, de a vásárlók számára hiányzik az egyértelmű minőségi osztályozás, ami olcsó könnyen kezelhető és a kis üzemek, nagyipari feldolgozók számára is könnyen hozzáférhető és egyszerűen, olcsón alkalmazható.

Dolgozatomban olyan rendszert ismertetek, ami véleményem szerint hosszabb távon kielégítő megoldást jelentene erre a problémára, a termelők és a fogyasztók örömére. Olyan mérési módszerrel kísérleteztem, aminek a beszerzési, felszerelési és üzemeltetési költsége olcsó, kezelése egyszerű. A mérések roncsolás-mentesek, kiértékelésük a felhasználó számára gyors és egyértelmű minősítést biztosíthat.

2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 Hús jellemzése

2.1.1 Hús fogalma

Húsnak nevezzük általában az emberi fogyasztásra alkalmas minden részét a vágóállatban, valamint az ezekből készült húskészítményeket, mint pácolt és füstölt húsárúk, kolbászkészítmény, stb. A húst szűkebb értelemben a vázizomzatra értjük, azonban ide vesszük még kötőszöveteket például: elasztin, vér, kollagén, hámszövet, nyirokerek, valamint más szerveket például: máj, tüdő, vese, szív és különböző mirigyek. (LÁSZTITY, TÖRLEY 1993). Vöröshúsnak nevezik a juh-, marha- és a sertéshúst. Fehérhúsnak hívják pulyka-, csirke-, és hallhúst. Emészthetőség szempontjából kedvezőbbnek veszik a fehérhúsokat, pedig hőkezeléssel a vöröshúsok emészthetősége nagymértékben javítható.

A hús fogyasztása azért fontos mert az emberi szervezet saját sejtjeit, szöveteit csak a táplálkozáskor elfogyasztott fehérjékből tudja felépíteni és megújítani. Fehérjét a növények is tartalmazzák, azonban szükségünk van állati fehérjére is, mert olyan (esszenciális) aminosavak vannak a húsban, ami nélkülözhetetlen az emberi szervezetnek. Ezeket szervezetünk önállóan nem képes előállítani. A hús megfelelő mennyiségben és arányban tartalmazza az ember számára szükséges tápanyagok jelentős részét. Ezen kívül élvezeti értéke is igen fontos. (LŐRINCZ és LENCSEPETI 1973, HORVÁTH 2005)

2.1.2 A hús, mint vitaminforrás

Az embernek nem csak energiaforrásra van szükség, hanem olyan természetes szerves vegyületekre is, amire csak kis mennyiségben van szüksége. Ilyenek a vitaminok, amelyek sok fontos folyamatot szabályoznak az emberi szervezetben. A vitaminok két csoportra bonthatók: vízben oldódó (B-csoport, C) és

zsírban oldódó (A, D, E, K) vitaminok. A húсок zsírban oldódó vitaminokat tartalmaznak, ezen belül nagy mennyiségben B-vitamin csoportot (B₁, B₂, niacin, B₆, B₁₂). (CSISZÁR 1964; GÁRGÁNY 1986), (Magyarné 2009)

2.1.3 A hús vágás utáni érése

A vágás és elvéreztetés után, a színhúspan megváltoznak a biokémiai folyamatok. Az oxigén ellátás megszűnésével az energiatermelő folyamat megszűnik és a hús úgynevezett másodlagos változásai kerülnek előtérbe, ami a hús romlását, érését és minőségi állapotát határozza meg. A hús oxigén ellátásának megszűnésével, a terminális oxidáció lehetetlenné válik, ezért jóval kevesebb ATP képződik anaerob körülmények közt. A hullamerevség állapotában a pH savas irányba tolódik el.

A hullamerevség beálltával más húsalkotók is megváltoznak. A szénhidrátok lebomlásakor keletkező tejsav az izomszövetekben marad, ezáltal a pH értéke 5,3-5,5 értékre csökken semlegesről. A hullamerevség utáni állapotban a hús puhulni kezd, az ízét és egyéb érzékszervi tulajdonságai javulni kezdenek. (PÁSZTORNÉ, KISS 2006)

2.1.4 A hús külső megjelenését befolyásoló folyamat

A friss hús eladhatóságának a vásárló számára az egyik legfontosabb paramétere a színe, hiszen a fogyasztó ezzel a tulajdonságával szembesül először. Ngapo, Martin és Dransfield 2004 –ben végzett kutatása szerint a fogyasztók számára a négy minőségi paraméter (szín, zsírosság, márványosság és lé-kiválás) közül a szín a legfontosabb a hús minőségének megállapításánál. A hús színtartóságát több paraméter befolyásolja, pl. a hús pH-ja, tárolási hőmérséklet és fényintenzitás valamint húspan lévő pigmentek koncentrációja, de leginkább ezek oxidációs állapota. Hús elsődleges színanyaga a mioglobin. Redukált állapotban a mioglobin (Mb) sötétpiros színű. A mioglobin oxigén hatására világos piros oximioglobinná (MbO₂) alakul. Ez a világos piros szín a fogyasztók tudatában a frissességgel párosul nem beszélve az esztétikai látványról. Az oximioglobinban a vas redukált formában (Fe²⁺) van jelen. Azonban az oximioglobin nem stabil és a vas

2.1.5 A hús romlását meghatározó mikrobiológiai folyamatok

A hús megfelelő közeg a mikroorganizmusok számára a szaporodásra, ami kémiai összetételével magyarázható. A hús 75%-ban víz, ezen kívül aminosavakat, fehérjéket, nukleotidokat és cukrokat tartalmaz.

A hús vágás után nagyon könnyen szennyeződik mikroorganizmusokkal, melyek a hús romlásához vezetnek. A mikrobiális romlási folyamat sebességét friss húsnál elsősorban a hőmérséklet határozza meg. Kiegészítő hatásként befolyásolja a pH, a vízáktivitás és az alkalmazott védőgáz összetétele. (PÁSZTORNÉ és KISS 2006)

2.1.6 Védőgázos csomagolás

A védőgázos csomagolás jelentősen megnövelheti a hús eltarthatóságát, ez a növekedés 25-100%-os mértékű is lehet.

A marhahúsok tárolásakor, a gáztér szén-dioxid tartalma a tárolás kezdetén csökken, mivel a sejtanyagcserébe beolvad. Viszont az aerob mikroorganizmusok szén-dioxidot termelnek, így kismértékben nő a szén-dioxid tartalom. Az oxigén tartalma folyamatosan csökken, mert az aerob mikrobák elhasználják. A szén-dioxid tartalom optimális mennyisége 15-30% közé tehető, 30% felett erősen rontja a nyers hús vöröses színét. A nitrogén gázt, mint kitöltő gázt alkalmazzák, mert rontja a mikroorganizmusok szaporodási feltételeit. A marhahús csomagolásánál az optimális oxigéngáz-mennyiség 60-80% között van. (PÁSZTORNÉ és KISS 2006)

2.1.7 Csomagolás

A fedőfóliáknál a következők fontosak: oxigén-áteresztés, szén-dioxid és vízgőzáteresztő képesség, rugalmasság, zsugorodási hőmérséklet, szakítószilárdság, csillogás és hegesedési hőmérséklet.

A védőgázos csomagolást csomagológéppel kétféleképpen valósítható meg. A tálcás csomagolásnál a tálcában lévő levegőt kiszívják, majd helyére visszavezetik a megfelelő összetételű gázelegyet. A tasakos csomagolás esetén a kamrában lévő

túlnyomással kiszorítják a levegőt a tasakból, majd feltöltik védőgázzal. A friss húsok csomagolásához általában félmerev habtálcát, polietilént vagy polipropilén tálcát használnak, amelyet gázzáró, többrétegű fóliával zárnak le. A félmerev tálcák gyártási technológiája lehet mélyhúzásos vagy fröccsöntött.

A friss húsok csomagoló-berendezése lehet kis teljesítményű fiókos tálcás, vagy nagy teljesítményű szalagos rendszerű tálcás csomagológép.

A termék csomagolásánál figyelembe kell venni a termék és gáz arányát, aminek minimum 1/3-a gáz a termék mennyiségét figyelembe véve. (PÁSZTORNÉ és KISS 2006)

2.1.8 Tárolás

A termék eltarthatóságát nagymértékben megnöveli a védőgázos csomagolás, azonban a tárolási hőmérséklet nagymértékben befolyásolja a tényleges fogyaszthatósági időtartamot. Ezért fontos az alacsony (0-2 °C) tárolási hőmérséklet. A kereskedelemben megfelelőnek tartott 5 °C az ajánlott 0-2 °C helyet már ront az eltarthatóságon, azonban gazdasági és környezeti szempontok miatt ezt alkalmazzák. A hőingadozás elkerülése rendkívül fontos, mivel ilyenkor páraaképződés, harmatcsepp-megjelenés és tálca deformáció következik be. (Az említett paraméterek mellett 5 °C-on a marhahús eltarthatósága 10-14 nap hűtőben.)

A védőgázos csomagolás meghosszabbítja a termék eltarthatóságát, de ennek értelmében a magas fokú higiénit és pontos technológiát be kell tartani. (PÁSZTORNÉ és KISS 2006).

2.2 Vizsgálati technikák

2.2.1 Közeleli infravörös spektroszkópia (NIR)

A kezdetek a XIX. Századra tehetők. Sir Fredric William Herschel 1880-ban kiadott tanulmányában azt a színt kereste a látható spektrumban, amely a napfény melegéért felelős a látható tartományban. Eredményül azt kapta, hogy a kéktől, a

zöldön át a vörösig a napfény sugarai egyre melegszenek. A legmeglepőbb az volt, hogy a vörösön túl a meg nem világított területeken a tendencia folytatódott. (BURNS 1992, MCCLURE 2004). Mivel ez az emberi szem számára nem látható, a vörösön túli, azaz infravörös (infrared, IR) néven került feljegyzésre. Miután a látható tartománnyal könnyebb dolgozni, ezért az IR technika csak a fényképlemezek feltalálása után került újra előtérbe. A XX. Század elején Coblentz maga épített IR spektrométerrel megállapította, hogy nincs két vegyület, amelynek egyforma lenne az IR spektruma, még ha ugyanazokból az atomokból is áll (pl. etil-alkohol és dimetil-éter). Szintén ő figyelte meg, hogy hasonló kémiai csoportok hasonló IR elnyelési sávot adnak (Pl. hidroxil csoport elnyelése az alkoholok, fenolok, karbonsavak esetén) (BURNS 1992)

Az 1950-es évek közepétől megjelent műszerek az elektromágneses spektrum ibolyántúli (ultraviolet, UV), látható (visible, VIS) és közeli IR tartományait egyszerre vizsgálták. (NORRIS, BUTLER 1961). Az 1970-es évek elején kerültek kereskedelmi forgalomba szűrős készülékek, elsősorban gabonaiipari célokra.

A közeli IR hullámhossz tartomány 800-2500 nm között helyezkedik el (MURRAY 2004). Pontos optikai jelet két tartományban kaphatunk: a transzmissziós méréseknél 800-1100 nm-közötti tartományban, míg reflexiós méréseknél 1100-2500 nm-ig terjedő régióban.

Egyre nagyobb fontossággal rendelkezik az infravörös reflexiós (NIR) eljárás. A felhasználás bővüléseinek okai közé sorolható, hogy a spektrumok információjának megismerésére több új statisztikai, kemometriai eljárást dolgoztak ki. A NIR technika a minta és az infravörös fotonok kölcsönhatását használja fel. A fénykvantum hatására a molekulák rezgési és forgási állapotai gerjesztődnek, közben a fotonok egy része visszaverődik (reflexió), elnyelődik (abszorpció) vagy áthaladnak (transzmisszió) (OSBORNE és FEARN 1986b).

A NIR módszert számos helyen alkalmazták már, pl. csirkehús mikrobiológiai romlásának megállapítására és meghatározására, állati eredetű élelmiszerek zsír, fehérje és nedvesség tartalmának meghatározására, hal frissességének meghatározására, tejtermék fogyaszthatóságának monitorozására, stb. (Magyarné 2009).

2.2.2 Multispektrális képfeldolgozás

A multispektrális rendszer adott hullámhosszakon való reflexió hely szerinti eloszlását méri. Például multispektrális eszköznek tekinthető a hagyományos színes kamera is, amely az R, G és B színösszetevők reflexióját méri.

Adott spektrális jellemző szignifikáns hullámhosszait általában spektrofotométeres vagy hiperspektrális mérések eredményeinek statisztikai kiértékelésével lehet meghatározni. Az így kapott hullámhosszakon mérő multispektrális eszköz a spektrális tulajdonság inhomogenitását mérheti a felületen.

Az eszköz ipari alkalmazhatóságát tovább növeli, hogy egy spektrofotométerrel összehasonlítva, annál lényegesen olcsóbb.

2.2.3 Húsok hiperspektrális mérési eredményei

Hiperspektrális rendszerrel, amely adott hullámhossz tartományon, adott felbontásban, általában 100-nál több csatornán alkot képet a felületről, már több kísérletet végeztek húsokon.

Yankun és Jianhu (2008) megpróbálták megbecsülni a marhahús omlékonyságát. A kísérletet 400-1000 nm között végezték. A legjobb eredményeket a 772, 680, 533 és 485 nm-es hullámhosszakon kapták. Ezeken a hullámhosszakon modellt tudtak felállítani a húsok omlékonyságára. A következő értékeket kapták: $r=0,94$ és a hiba $1,21 \text{ kg/cm}^2$ volt a jóslásnál omlékonyságra. (PENG és WU, 2008)

Jun és társai (2007) a disznóhúsok minőségét és márványossági szintjét határozták meg a hiperspektrális mérőrendszer használatával. Így 75-80%-os pontossággal sikerült meghatározniuk a sertéshúsok márványosságát és minőségét. (QIAO, PRASHER és társaik, 2007)

Jun és társai továbbá a pH-t, a folyadék veszteséget és a színjellemzőket is meghatározták a hiperspektrális képfeldolgozó rendszerrel. Hat jellegzetes hullámhosszt találtak folyadék veszteség megállapítására 459, 618, 655, 685, 755 és 953nm-t, Ph-ra 494, 571, 637, 669, 703, 978nm és színre 434, 494, 561, 637, 669, 703nm. Ezeken a hullámhosszakon alkalmasnak tűnik a rendszer a folyadék

veszteség, pH és színváltozás meghatározására disznóhús esetében. QIAO, PRASHER és társaik, 2006)

Govindarajan és (2008) társai látható és közel infravörös (400-1000 nm) tartományban mértek marhahúsokat. Omlékonyság szempontjából három csoportot hoztak létre gyengéd, közbenső és szívós. A gyengéd besorolást kapott húsok nyírófeszültsége $SSF \leq 205.80$ N, a közbenső minősítésű húsok nyírófeszültsége $205.80 \text{ N} < SSF < 254.80$ N, míg a szívós minősítésű húsoké $SSF \geq 254.80$ N volt. Céljuk a mérésekkel az volt, hogy a marhahúsokat ebbe a három csoportba tudják besorolni a hyperspectral képfeldolgozó rendszer segítségével. Kiváló eredményeket kaptak, 96,4% pontossággal sikerült besorolni húsokat omlékonyság szerint a fenti eljárással. (NAGATHAN, MEYER és társaik, 2008)

2.3 Irodalmi eredmények értékelése

A mérés stabilizálásával, a módszer alkalmazhatóságának bizonyításával és a minőségváltozásra jellemző szignifikáns hullámhosszak meghatározásával egy, az ipari technológiában felhasználható, aránylag olcsó és gyors módszert nyernénk. Amennyiben sikerül az adott hullámhosszakon mért reflexió felületi átlagából következtetni a hús tárolás során bekövetkező minőségi változására, későbbi mérési munkákkal tovább javítható a módszer hatékonysága, ha a reflexió felületi eloszlását is vizsgáljuk.

3 CÉLKITŰZÉS

Célom, a dolgozat elkészítésekor, olyan vizsgálati módszer fejlesztése volt, amely alkalmas multispektrális mérés feldolgozásával a vákuumcsomagolt húsok minőségében a tárolás során bekövetkező változás gyors jellemzésére.

A cél érdekében a feladataim a következők voltak:

- Előméréssel megállapítani, hogy a rendszer alkalmas-e a húsok elkülönítésére a tárolási idő függvényében
- Mérőrendszer stabilitásának megállapítása, javítása
- Vákuum-csomagolt marhahúsok tárolási idejének becslése multispektrális rendszerrel (750-1000 nm, 1000-1550 nm-es tartományban) és NIR spektrofotométerrel (1000-1700 nm-es tartományban) végzett mérővizsgálatok alapján.

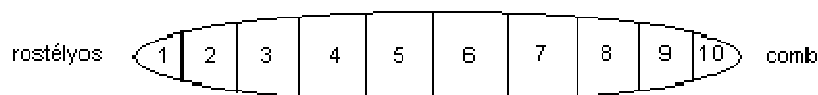
A módszer vizsgálata kiterjedt arra is, hogy a hússzeletek mennyire különíthetők el abból az aspektusból, hogy a marhahús a hátszín mely részéről származik.

4 ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1 Anyag

A vizsgálathoz szeletelt marhahátszín került felhasználásra. A hús szeleteket vákuumcsomagolásban, hűtőben (5 °C-on) tároltuk a kísérlet időtartama alatt. Tíz marhahátszín szelet azonos dátumú csomagolással, 1-től 10-ig kerültek megszámozásra, hetente két szeletet vizsgálva négy héten keresztül lettek mérve. Az 1-es húsminta volt a rostélyos felőli, ahogy növekedett a számozás, úgy tartott a comb felőli részhez (2. ábra). A húsok a következő sorrendben kerültek mérésre:

0. mérésnapon az 1-es és 10-es,
1. mérésnapon 2-es és 9-es,
2. mérésnapon 3-as 8-as,
3. mérésnapon 4-es 7-es,
4. mérésnapon 5-ös és 6-os minták.



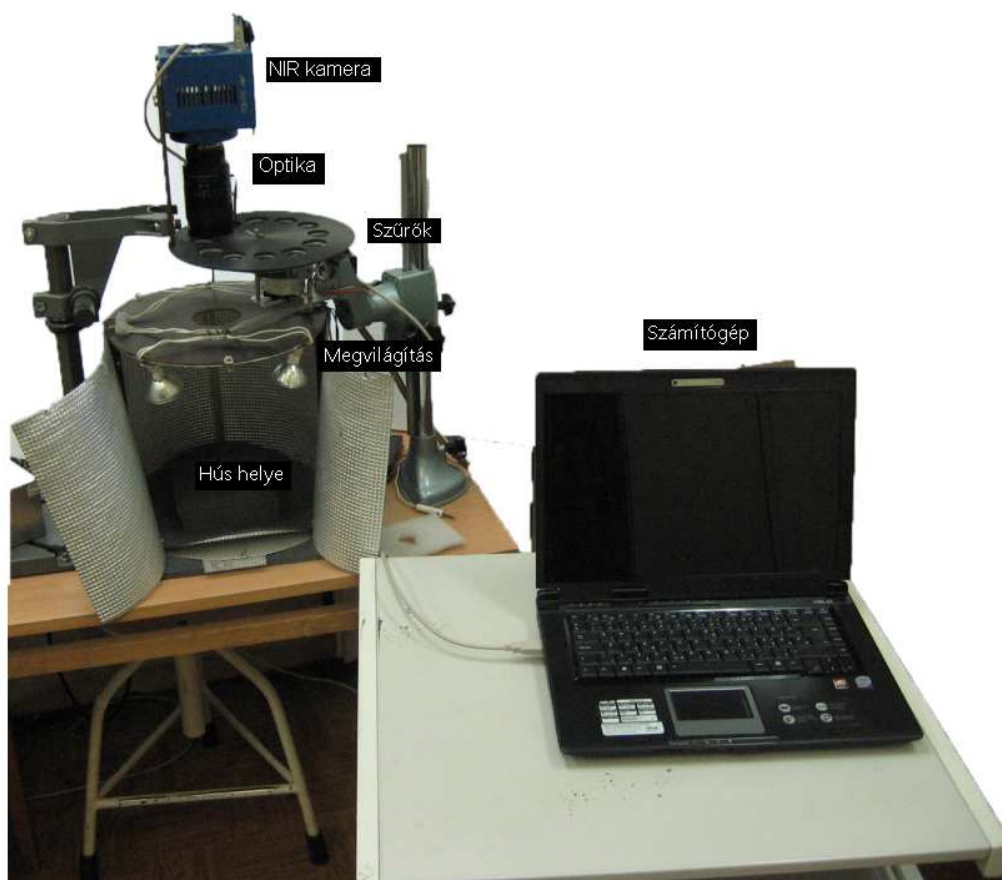
2. ábra: Húsminták számozása

A mérések előtt közvetlenül, az aktuálisan mérendő hús szelet további szeletelésére került hosszában 3 felé és az így nyert friss vágási felületek méréseredményei kerültek dokumentálásra (ez hússzeletenként 4 mérést jelent) NIR spektrofotométerrel, multispektrális rendszerrel 750-1000 nm-ig és multispektrális rendszerrel 1000-1550 nm-ig. A mérendő szeletek a mérések között polifon csomagolást kaptak, annak érdekében, hogy minél kevesebbet érintkezzenek a levegővel.

4.2 Mérési módszerek

4.2.1 Multispektrális rendszer (1000-1550 nm)

A multispektrális rendszer (3. ábra) mérései előtt ellenőrzésre került minden esetben, hogy a rendszer paraméterei (optika beállításai, integrációs idő) megfelelően vannak-e beállítva. A mérés vezérlését végző X-Control szoftver paramétereit az első mérés során készített jegyzőkönyv alapján kontrolláltuk (4. ábra). Mivel az Aranynál 20 000ms, a Húsnál pedig 40 000ms integrációs idő alkalmazására került sor, a megfelelő jelszint elérésére, erre a képfeldolgozásnál során is figyelni kellett. Ügyelni kellett továbbá arra is, hogy a megvilágítás intenzitása állandó legyen, valamint, hogy ne kapjon máshonnan fényt a felület (szórt fény). A berendezéssel, a tárcsán elhelyezett 12 szűrő használatával, 1000 nm-től 1550 nm-es tartományon történt a mérés, 50 nm-es felbontásban. Az egyes szűrők sáv szélessége ± 10 nm volt.



3. ábra: Multispektrális rendszer 1000-1550 nm

Integrációs idő	Arany esetén:20.000 Hús esetén:40.000
ADC Vin	2429
ADC Vref	2105
Hűtő hőmérséklet	300
Hőmérséklet	300 Kelvin (26 C ⁰)
PID	P=0 I=0 D=0
Hűtő energia	0
Szín Beállítás	Szürke 8 bit
Szín Profil	14 bites Sáv
Jelzők	Szelőztető készülék (Hűtés)

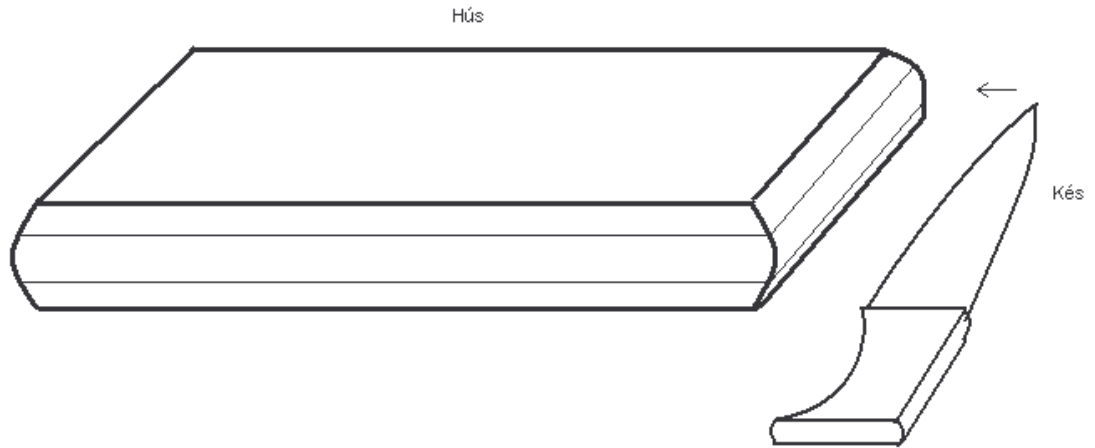
4. ábra: X-Control beállításai

Minden mérési napon, először egy arany etalonról (5. ábra) készült kép minden egyes hullámhosszon. A képek fájlneve utal az etalon mérésre és a vizsgált hullámhosszra. Az 1000 nm-en mért arany neve például: „Arany 1000.tif” volt.



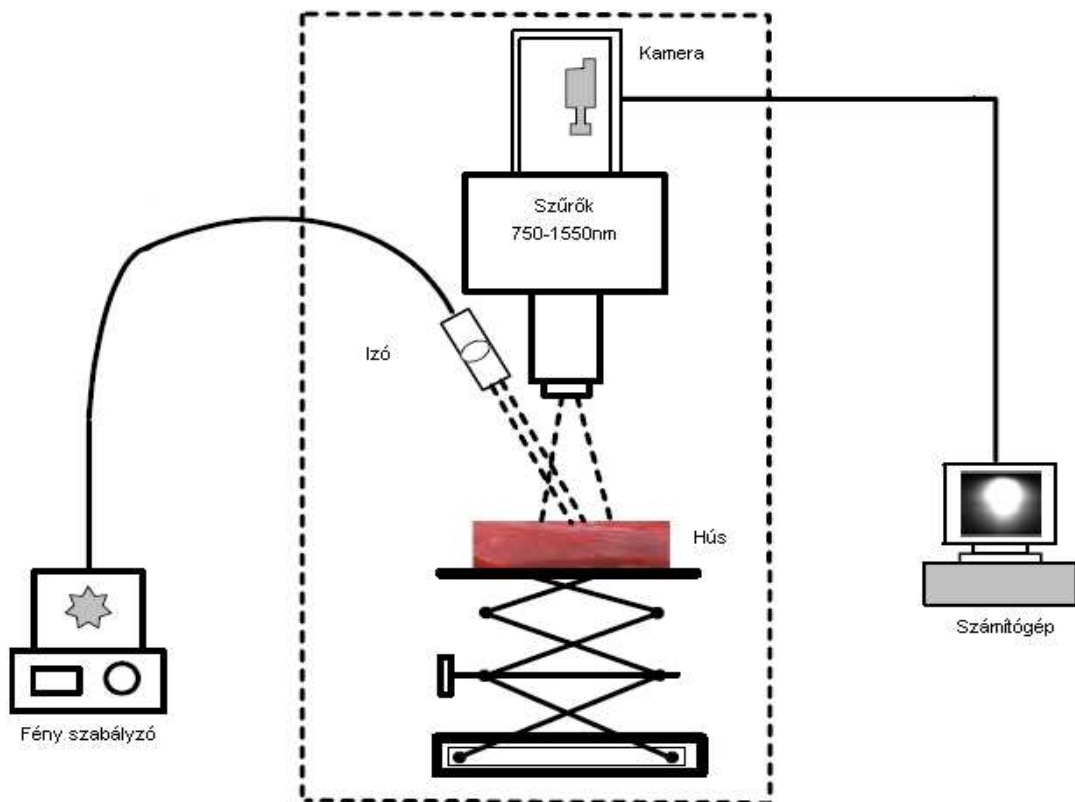
5. ábra: Arany etalon

A vákuumcsomagolt húsok közvetlenül a mérés előtt kerültek felbontásra, majd a hússzeletek hosszában kétszeri elvágása után három hússzeletet kaptunk, négy friss vágási felülettel, melyek a, b, c, d megjelölést kaptak.(6. ábra).



6. ábra: Húst hosszában háromfelé vágom

Azok a hússzeletek, melyek éppen nem kerültek mérésre, polifon csomagolást kaptak, hogy minél kevesebbet érintkezzenek a levegővel. A minták a kamera alá helyezve, úgy hogy a megfelelő felület legyen felfelé (7. ábra,) fényképezni kezdtük, először az **a** mintát mérve végig 1000-1550-ig, majd a **b-t**, **c-t** és végül a **d-t**. Ezután a képek mentése történt a számítógépbe.



7. ábra: Húsok fényképezése 750-1550 nm-ig

A húsminták képeinek fájlnevei utalnak a mérési hétre, a minta helyére, és hogy mely felületek mérése történt a vizsgált hullámhosszokon. A húsok képeit „H”-val kezdődnek, majd tartalmazzák a mérési hét számát (0... 4), a húsminta sorszámát (1... 9 és 0), a mért felület azonosítóját (a, b, c, d) és a mért hullámhosszat (1000... 1550). Tehát például az 1. mérési héten készült kép 2-es húsminta b felületéről 1450 nm-en készült fényképének a neve: „H12b 1450.tif”.

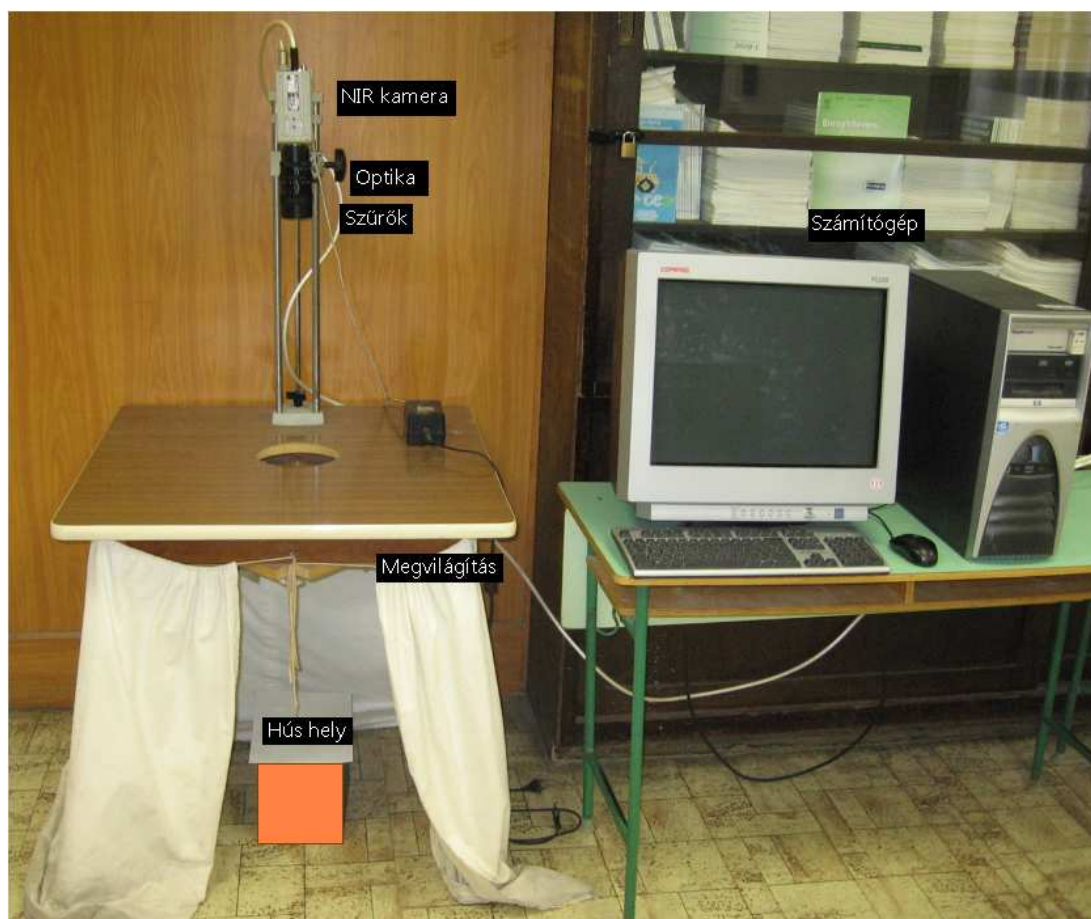
A multispektrális rendszer visszaverődött fényt méri. Az így nyert képeket a későbbiekben MathCaddel dolgoztuk fel.

A mérések nem tökéletesen kondicionált körülmények között készültek, ezért mérési hibákat okozhatott a beszűrődött fény, az, hogy a hús a mérés során levegőn volt, valamint a hőmérsékletingadozás a helységben.

4.2.2 Multispektrális rendszer 750-1000 nm-ig

Az 1000-1550 nm-ig tartó tartomány mérése után történt a 750-1000 nm-ig tartó tartomány mérése egy másik multispektrális rendszerrel (8. ábra). A mérési tartomány 750 nm-től 1000 nm-ig tartott 6 db szűrővel, 50 nm-es felbontásban, +/-10 nm sávszélességgel.

Az első mérési héten itt is úgy állítottuk be a mérési paraméterekkel a munkatartományt (optika, megvilágítás, felbontás), hogy megfelelő jelszintet nyerjünk. Ezen paramétereket jegyzőkönyvben rögzítettük, aminek alapján minden mérésnél ellenőriztük a méréselrendezést. A mérés vezérlését végző ImgPro szoftver (Firtha) paramétereit tartalmazza a 9. ábra. A megvilágítás stabilitását stabilizált tápegység biztosította. A mérések végzésénél ügyeltünk arra, hogy a felület ne kapjon máshonnan fényt.



8. ábra: Multispektrális rendszer 750-1000 nm

Video Kapcsolat	Összetett
Video Minőség	PAL
Világosság	0%
Kontraszt	49%
Telítés	49%
Színárnyalat	0%
Kép Széllesség	768x576 Full
Szín Forma	RGB 24 Bit
Pihentetés	0
Mentés	0
RGB	5

9. ábra: IMG PRO beállításai

A húsmérések előtt itt is lemértük egy etalon (fehér papírlap) reflexióját minden egyes hullámhosszon. A képek fájlneve utal az etalon mérésre és a vizsgált hullámhosszra. Az 1000 nm-en mért fehér lap neve például: „Eta 1000.bmp” volt.. (Az előmérésekre még azelőtt került sor, hogy kiszedtük volna a vákuumcsomagolásból a húsokat, tehát még az 1000-1550 nm-ig tartó mérés sorozat előtt).

A húsminták képeinek fájlneve utal a mérési hétre, a minta helyére, a felületre és a vizsgált hullámhosszra. A húsok képeit „H”-val kezdődnek, majd tartalmazzák a mérési hét számát (0... 4), a húsminta sorszámát (1... 9 és 0), a mért felület azonosítóját (a, b, c, d) és a mért hullámhosszat (1000... 1550). Tehát például az 1. mérési héten készült kép 2-es húsminta b felületéről 1450 nm-en készült fényképének a neve: „H12b 1450.tif”.

A multispektrális rendszer a visszaverődött fényt méri. A képek a későbbiekben MathCaddel kerültek feldolgozásra.

A mérések nem tökéletesen kondicionált körülmények között készültek, ezért mérési hibákat okozhatott a beszűrődött fény, az, hogy a hús a mérés során, levegőn volt, valamint a hőmérsékletingadozás a helységben.

4.2.3 NIR Spektrofotométer

PCM Spectralyzer 10-25 NIR spektrofotométerrel (10. ábra) is végeztünk méréseket. A mérési tartomány 1000 nm-től 2500 nm-ig tartott, 2nm-es felbontásban +-5 nm sáv szélességben.

A NIR készüléket először kalibráltuk, majd hússzeletek friss vágási felületéből kivágva egy körülbelül 10cm²-felületű vékony húsdarabot kaptunk. A hús darab mérése NIR-rel történt.

A húsok képeit „H”-val kezdődnek, majd tartalmazzák a mérési hét számát (0... 4), a húsminta sorszámát (1... 9 és 0) és a mért felület azonosítóját (a, b, c, d). Tehát például az 1. mérési héten készült kép 2-es húsminta b felületéről készült mérés neve:

„H12 1450.spe”.



10.ábra: NIR Spektrofotométer

A NIR Spektrofotométer az elnyelt fényt (abszorpciót) méri. Az adatokat számítógépre mentve, majd MathCaddel kerültek feldolgozásra.

4.3 Eredmények feldolgozása

4.3.1 Adatok elő-feldolgozása (MathCad)

Az eszköz által készített képek feldolgozására matematikai programot (MathCad) használtam. A MathCad egy rendkívül könnyen használható, mérnöki számításokat automatizáló szoftver. A rendszer több száz matematikai függvényt, vektor és mátrix műveletet tartalmaz. Egyedülálló módon kezeli a mértékegységeket, ami mérnöki környezetben kiemelkedő fontossággal bír.

A MathCad-et több mint 250 000 ipari szakember használja világszerte műszaki számítások elvégzésére, megosztására és dokumentálására a legkülönbözőbb szakterületeken. A szoftver nélkülözhetetlen eszköz a gépész-, vegyész-, villamos- és építészmérnökök, kutatók számára egyaránt.

(forrás: http://www.snt.hu/Content.Node/downloads/PLM/MathCad_cikk.pdf)

A MathCad jól alkalmazható képfeldolgozásra, továbbá az eredmények táblázatokba való beolvasására és kiértékelésére.

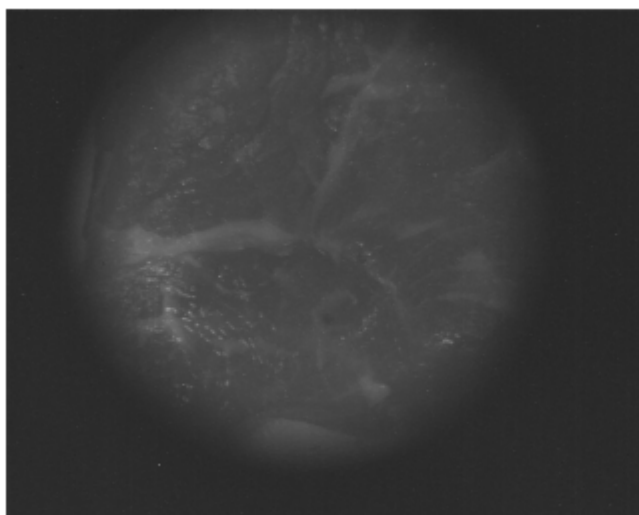
4.3.2 Multispektrális rendszerrel (1000-1550 nm) mért képek feldolgozása MathCaddel

A MathCad algoritmus először az arany 14 bites képeit olvassa be minden hullámhosszon és kiválaszt egy akkora téglalapot belőlük, amelyen csak az arany látszik minden képen (11. ábra). Ezen a téglalapon számítja az átlagos intenzitását a reflexiónak. Tehát minden mérési napon számítottam az etalon felület átlagos reflexióját minden hullámhosszra (1000 nm-től 1550 nm-ig).



11. ábra: MathCaddel beolvasott arany etalon 1100 nm-en

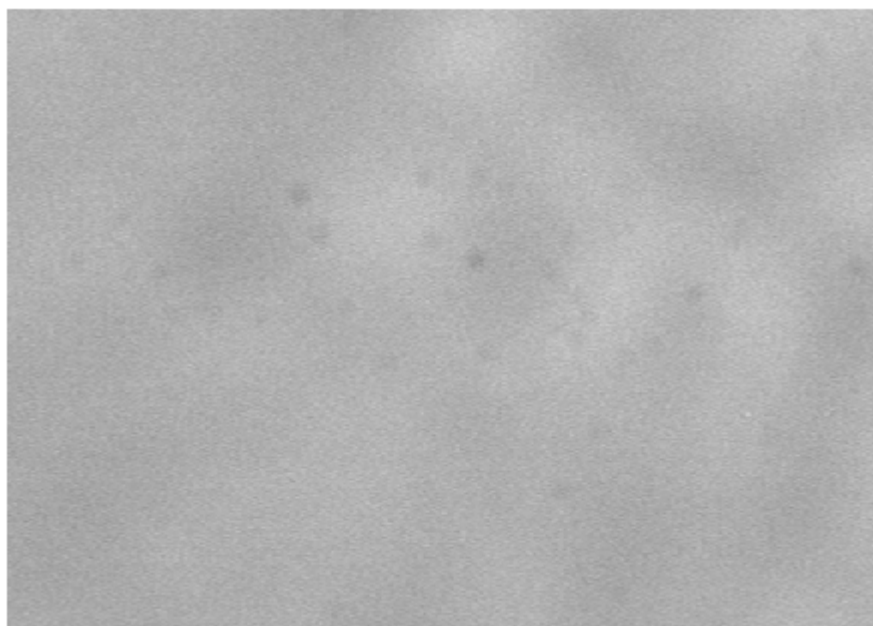
A második fázisban beolvastam az összes hullámhosszon a húsok képeit minden mérési napon (12. ábra) és abból is akkora felületet vágtam ki, hogy csak a húsok látszódnak a képeken. Ezen téglalapokon kiszámítottam a 14 bites intenzitás átlagát minden egyes hullámhosszra. Ezt osztottam az ugyanezen hullámhosszon, aranyon mért átlag kétszeresével (Az Integrációs idő fele annyi volt arany esetén, mint a húsnál 4.2.1. fejezet). Tehát normáltam az értékeket. Mivel egy hús mintára négy képsorozat volt, így egy húsról négy érték sorozat jutott, tehát egy húsról volt 1000 nm-en négy értékem, 1050 nm-en is négy érték és így tovább egészen 1550 nm-ig. A húsminta adott hullámhosszán a négy értékének vettem az átlagát és azt ábrázoltam húsonként, így egy húsról egy sorozatot kaptam.



12. ábra: Hús szeletek beolvasása 1100 nm-en

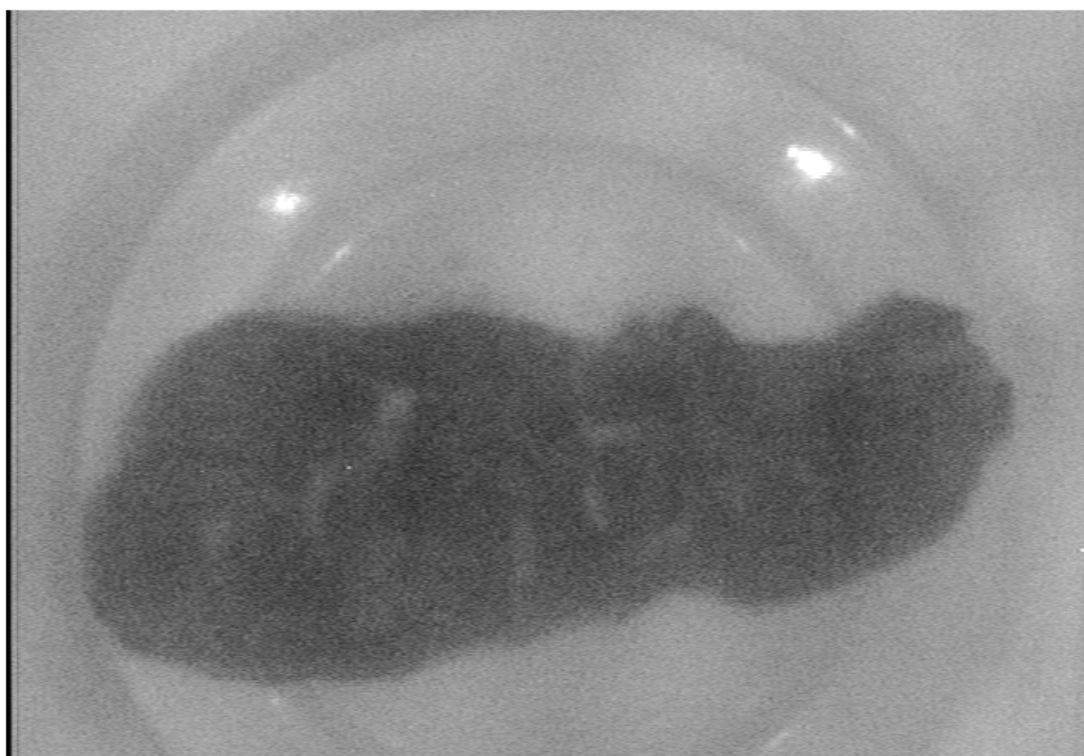
4.3.3 Multispektrális rendszerrel (750-1000 nm) mért képek feldolgozása MathCaddel

MathCad algoritmusom először az etalon képeit olvassa be (13. ábra). Akkora képkockát választ ki belőlük, amelyen csak az etalon látszódik minden képen. A képek pixeleinek átlagát vettem, így kaptam egy átlag értéket adott hullámhosszon az etalonra. Tehát minden mérési napon számítottam az etalon felület átlagos reflexióját minden hullámhosszra (750 nm-től 1000 nm-ig).



13. ábra: Etalon fehér papírlap 1100 nm-en

A második fázisban beolvastam az összes hullámhosszon a húsok képeit minden mérési napon (14. ábra) és abból is akkora felületet vágtam ki, hogy csak a húsok látszódjanak a képeken. Ezen téglalapokon számítottam az intenzitás átlagát minden egyes hullámhosszra. Ezt osztottam az ugyanezen hullámhosszon, fehérpapírlapon mért átlagával. Tehát normáltam az értékeket. Mivel egy hús mintára négy képsorozat volt, így egy húsról négy érték sorozat jutott, tehát egy húsról volt 750 nm-en négy értékem, 800 nm-en is négy értékem és így tovább egészen 1000 nm-ig. A húsminta adott hullámhosszán a négy értékének vettem az átlagát és azt ábrázoltam, húsonként, így egy húsról egy sorozatot kaptam.



14. ábra: Hús szeletek beolvasása 1100 nm-en

4.3.4 NIR Spektrofotométerrel mért adatok feldolgozása MathCaddel

A NIR műszerrel mért adatokat a MathCad algoritmus segítségével beolvastam, majd adott húsmintára kapott négy értéknek vettem az átlagát, így húsmintánként egy értéksorozatot kaptam.

4.3.5 Adatok statisztikai kiértékelése (PLS)

Az előkezelt spektrumok és referencia adatok birtokában különböző matematikai statisztikai eszközökkel vizsgáljuk az összefüggést két adathalmaz között. A Parciális Legkisebb Négyzetek Módszere (PLS) egy regressziós módszer, amely megengedi több hullámhossz használatát, miközben elkerüli a kollinearitás problémáját. PLS a spektrum és a referencia adatokat egyidejűleg modellezi. Minden lépésben az adatkészletből kivonja a spektrum és a referencia adatok egy részét, maradékot képezve. A modell látens változók (vagy faktorok) számának növelésével egyre pontosabban írja le a spektrum adatokat és referenciaadatok közti összefüggést. A PLS ezekre a látens változókra részleges kalibrációkat alkalmaz a variancia összegének modellezésére, melyeket a végén egy átfogó kalibrációs egyenletbe gyűjt. (HELLAND 1990)

Az optimális faktorszám meghatározása PLS kalibráció fontos része. Túl kevés faktor szám esetén a kalibráció nem hordoz elég információt és nagy predikciós hibával dolgozik, míg túl sok faktor alkalmazásakor túlilleszti a kalibrációs adatokat és elveszti stabilitását. Az optimális faktorszámot általában kereszt validálással határozzuk meg. A kereszt validációnál a kalibráló mintapopulációt alcsoportokba osztja. Az egyik alcsoportot visszatartjuk, míg a maradék mintákkal megtörténik a kalibráció. Az így nyert kalibrációs egyenlettel analizálhatjuk a visszatartott csoportot, mintha azok ismeretlen minták lennének. A statisztikai értékelés után a visszatartott csoport visszakerül a kalibráló mintaseregbe. Majd az előbbieken ismertetett műveletsor a többi alcsoporttal megismétlődik, majd az alcsoportokra kapott eredmények összegződnek. (FOSS NIRSYSTEM 2000).

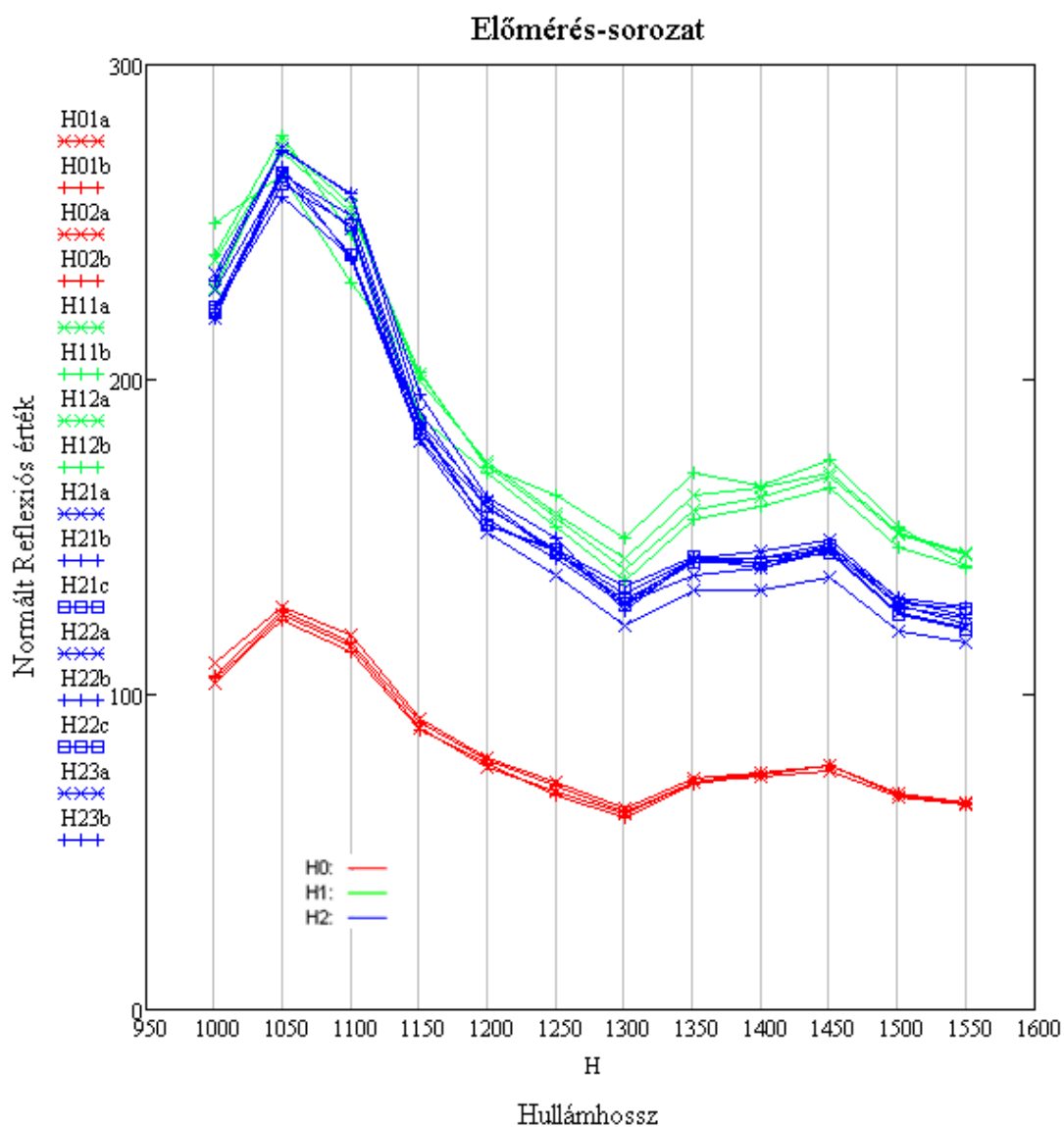
A PLS statisztikai kiértékelést a The Unscrambler programmal végeztem. A rendszert széles körben alkalmazzák kutatási és ipari alkalmazásokhoz, főleg vegyiparban, gyógyszeriparban és mezőgazdasági ágazatokban.

5 EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

5.1 Előmérés különböző érettségű húsokkal

Ebben a mérésorozatban arra a kérdésre kerestem választ, hogy a multispektrális módszerrel el lehet-e különíteni a különböző érettségű húsokat.

- A H0-ás mérések a 0. héten mért húsok.
- A H1-es húsok az 1 hétig hűtőben (5 °C-on), szabad levegőn tárolt hús.
- A H2-es húsok a 2 hétig hűtőben (5 °C-on) olajos pácban tárolt húsok.



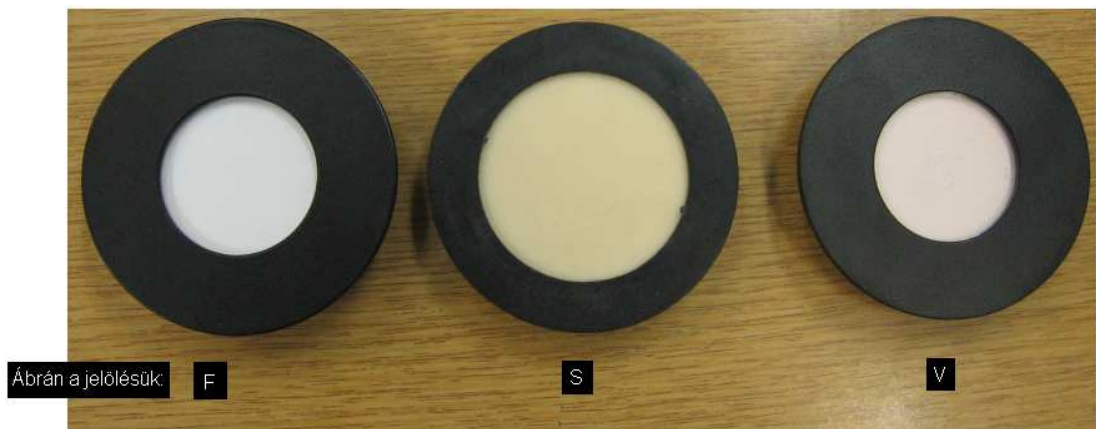
15. ábra: Előmérések eredményei

1000-1550 nm mérés tapasztalatai:

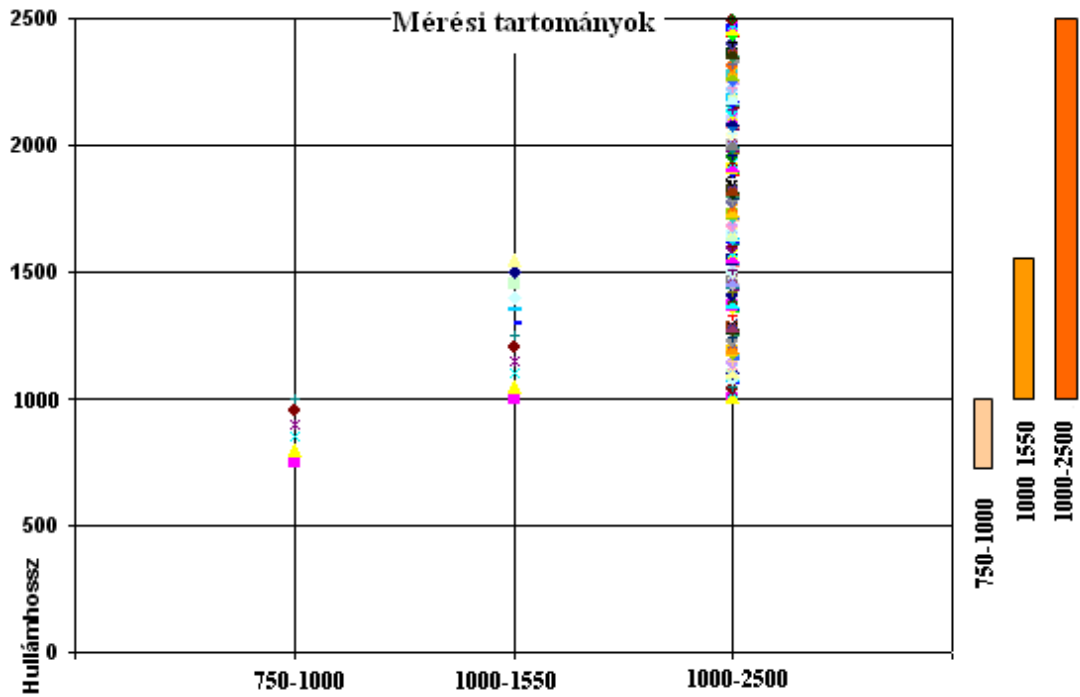
- Az első héten, a teljes tartományon látszik a világosodás, az érés során a hús szerkezete lazul, ez okozza a világosodást.
- A második héten a 0.-hoz képest világosodik a hús, de az 1. méréshez képest sötétedik, az oka, hogy olajban volt pácolva a hús. A kísérletben történtek megfelelnek az irodalomban leírtaknak.
- Az egyes mérési napok görbéi együtt futnak, így a rendszer alkalmasnak tűnik a húsok érettségi állapot szerinti szétválasztására (15. ábra)!

5.2 Mérés stabilitásának ellenőrzése

Ebben a mérési csoportban azt vizsgáltam, hogy mennyire reprodukálhatók a mérési eredmények. Három etalont (NIR spektrofotométer etalonjait 16. ábra) mértem mindhárom mérőrendszerrel (multispektrális 750-1000 nm, multispektrális 1000-1550 nm, NIR 1000-2500 nm 17. ábra szemlélteti a mérési tartományokat), majd egy hét után megismételtem a mérést.



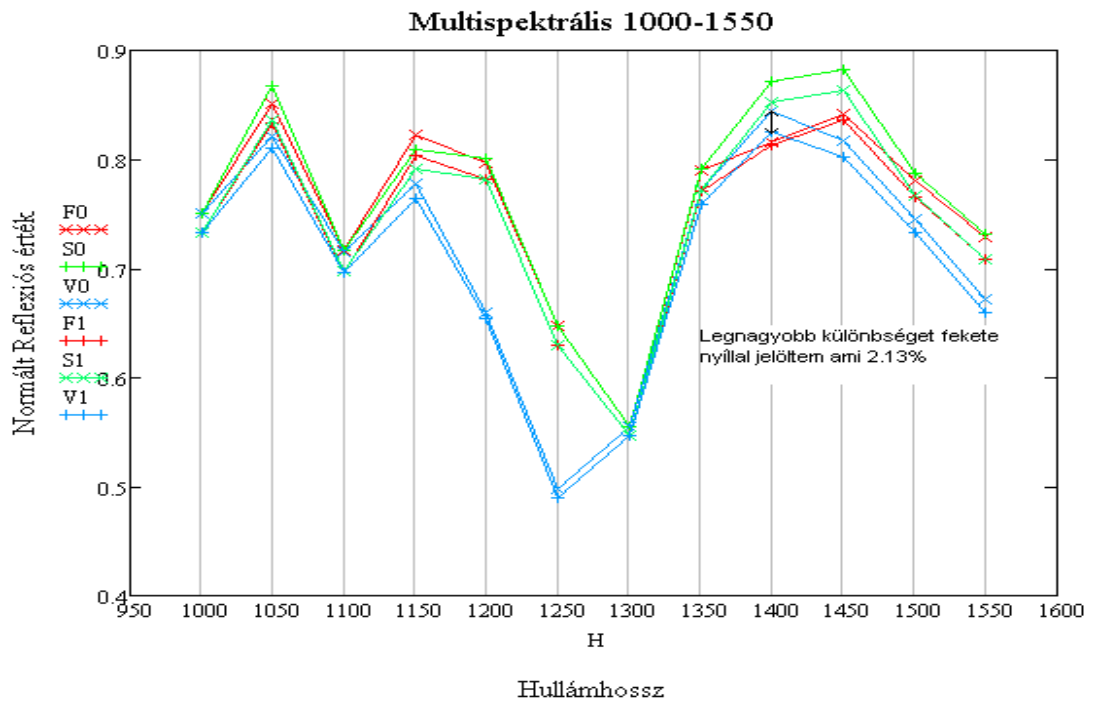
16. ábra: NIR spektrofotométer etalonjai



17. ábra: Mérési tartományok

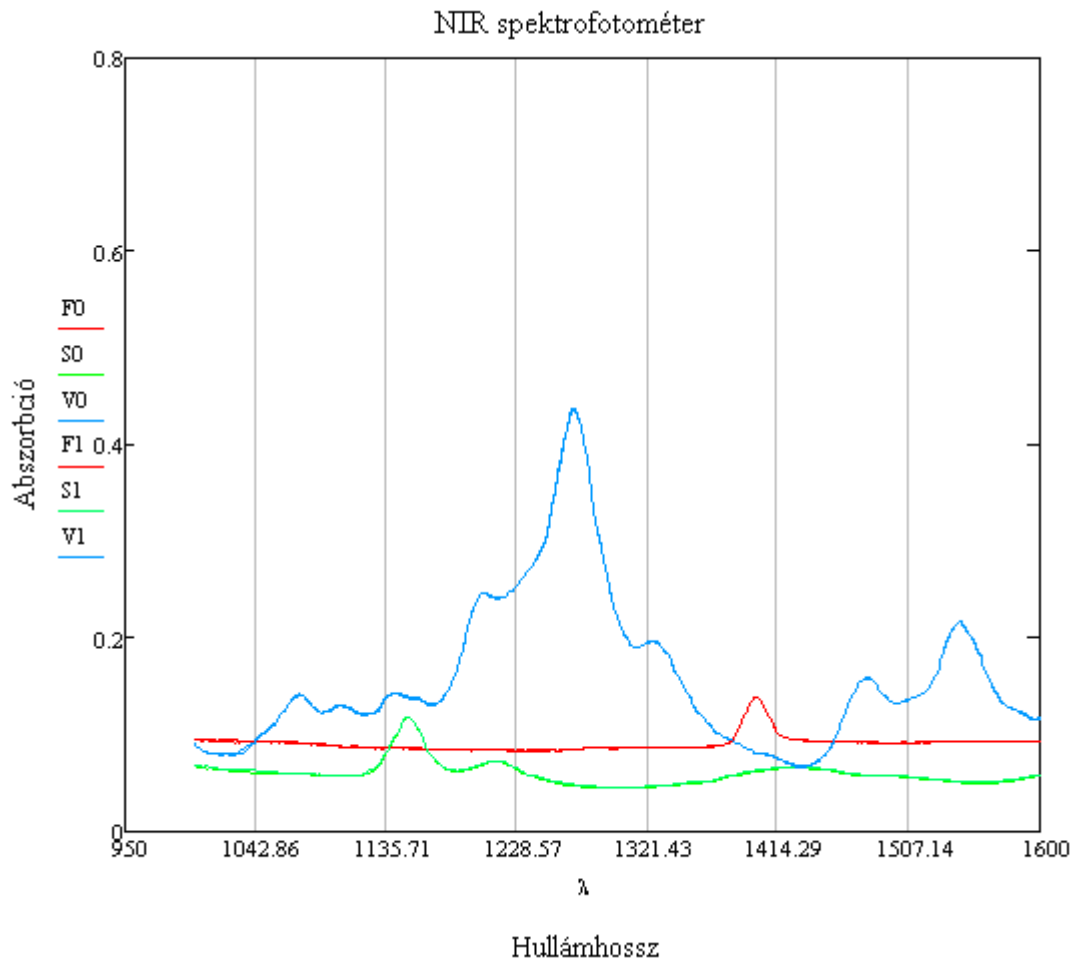
A méréssorozat tapasztalatai:

- Az 1000-1550 nm-ig tartó multispektrális mérés jól reprodukálható, maximum 2.13%-os hibával (18. ábra).



18. ábra: NIR spektrofotométer etalonjain mért Normált Reflexiós értékek (1000-1550 nm)

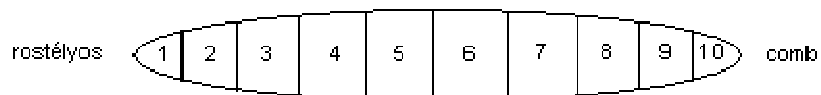
- NIR spektrofotométer eredményei tökéletesen reprodukálhatók, az eredeti és a megismételt mérés spektrumai együtt futnak (19. ábra)



19. ábra: NIR spektrofotométer etalonjain mért abszorbción (1000-1600 nm)

5.3 Vákuumcsomagolt húsk mérése

A mérés tárgya az volt, hogy mérhető-e spektrális változás a vákuumcsomagolt húsk tárolása során. A méréseket 4 héten keresztül hetente folytattam. Az öt mérési napon 2 minta 4 friss vágásfelületén mértem. Sorrendben a következő mintákat: a 0. héten az 1-es 10-es, az 1. héten a 2-es 9-es, 2. héten 3-as 8-as, a 3. héten 4-es 7-es, a 4. héten 5-ös 6-os (20. ábra)



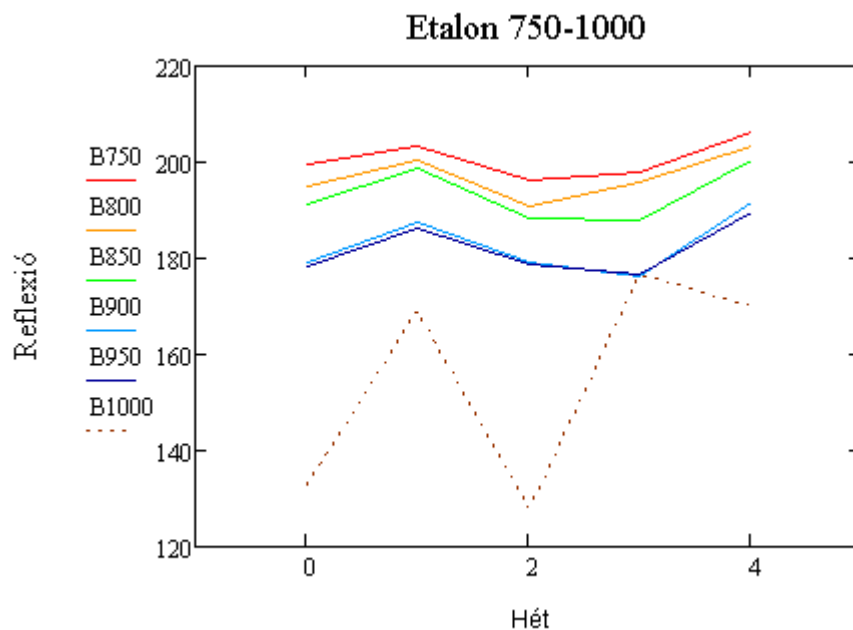
20. ábra: Húsminták számozása

A húsok felületét az előzőekhez hasonlóan három eszközzel mértem:

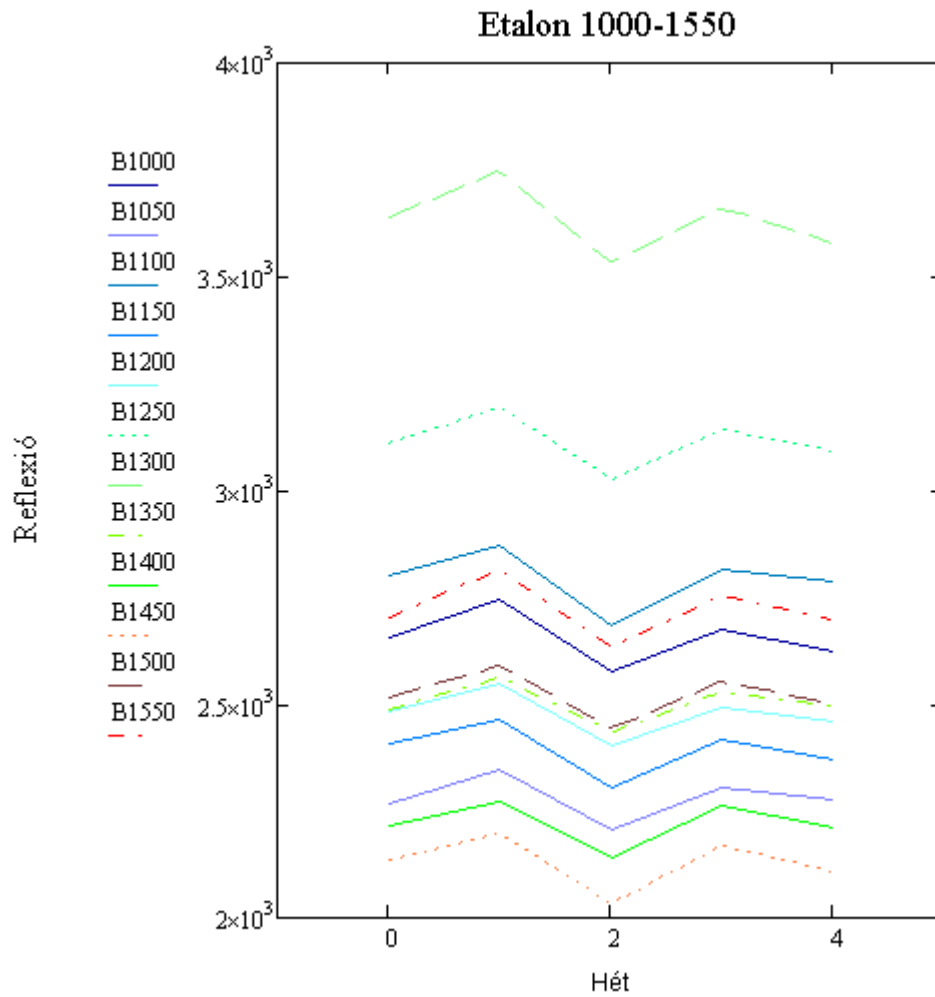
- Spektrofotométerrel (1000-2500 nm tartományon/2nm felbontásban)
- Multispektrális mérőrendszerrel 750-1000 nm tartomány/50 nm felbontás
- Multispektrális mérőrendszerrel 1000-1550 nm tartomány/50 nm felbontás

5.3.1 Mérés stabilitásának biztosítása

Multispektrális rendszereknél etalon felületek mérésével (750-1000 nm fehér lap, 1000-1550 nm arany) ellenőriztem a multispektrális mérések stabilitását az idő függvényében. Az átlagos jelszint, minden mért hullámhossznál hasonlóan hullámzik (21. és 22. ábra), valószínűleg az áramingadozás miatt.

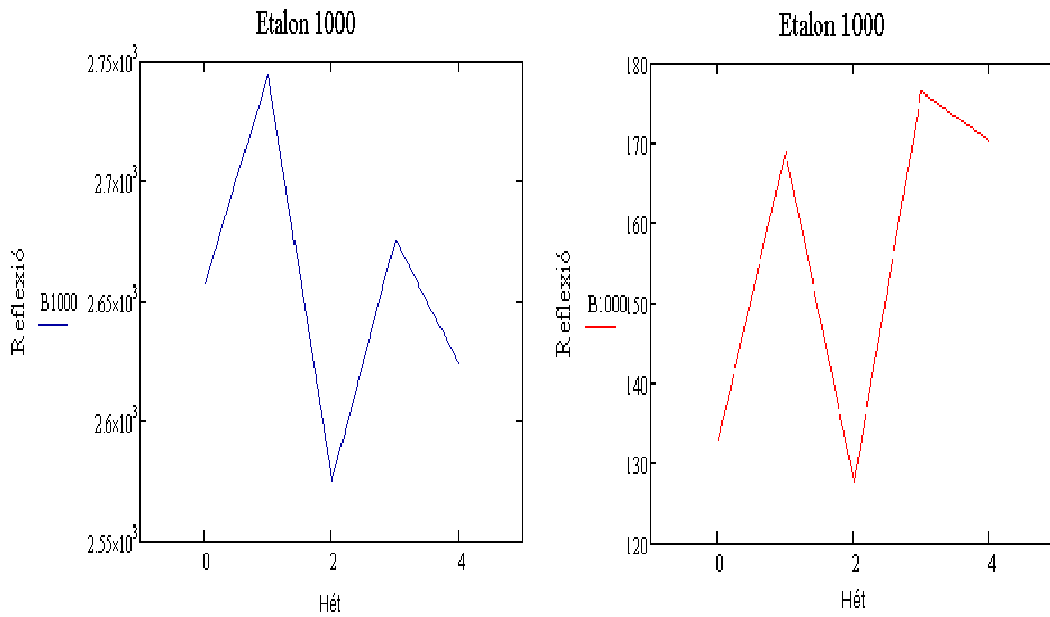


21. ábra: Fehér lap reflexiója 750-1000 nm-ig



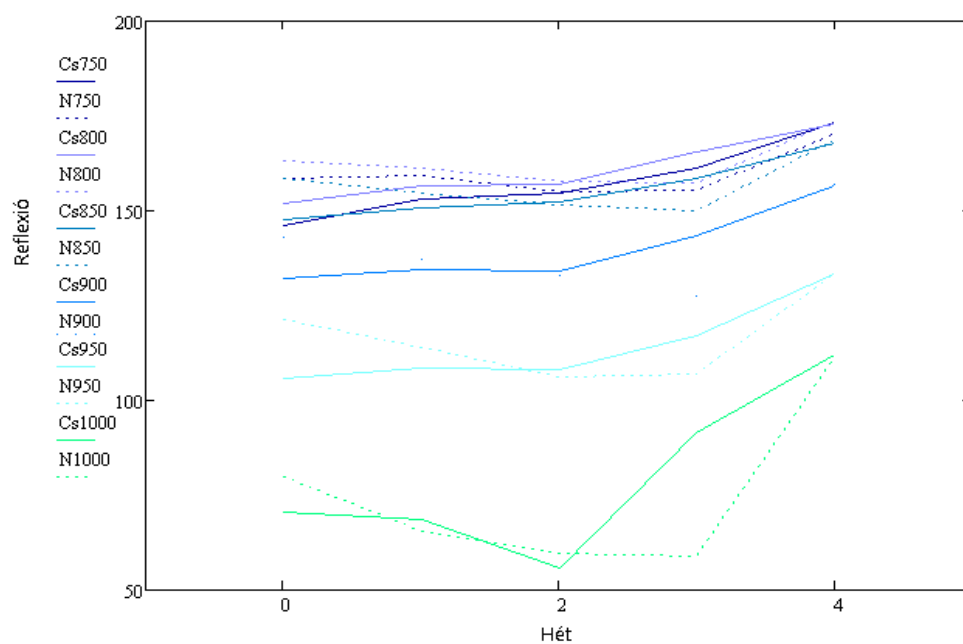
22. ábra: arany reflexiója 1000-1550 nm-ig

Megnéztem továbbá, hogy 1000 nm-en a különböző műszereken mért etalonok reflexiója hogyan változik az idő függvényében. A 23. ábrából az látszik, hogy a két műszer által mért intenzitás értékek hasonló tendenciát mutatnak.

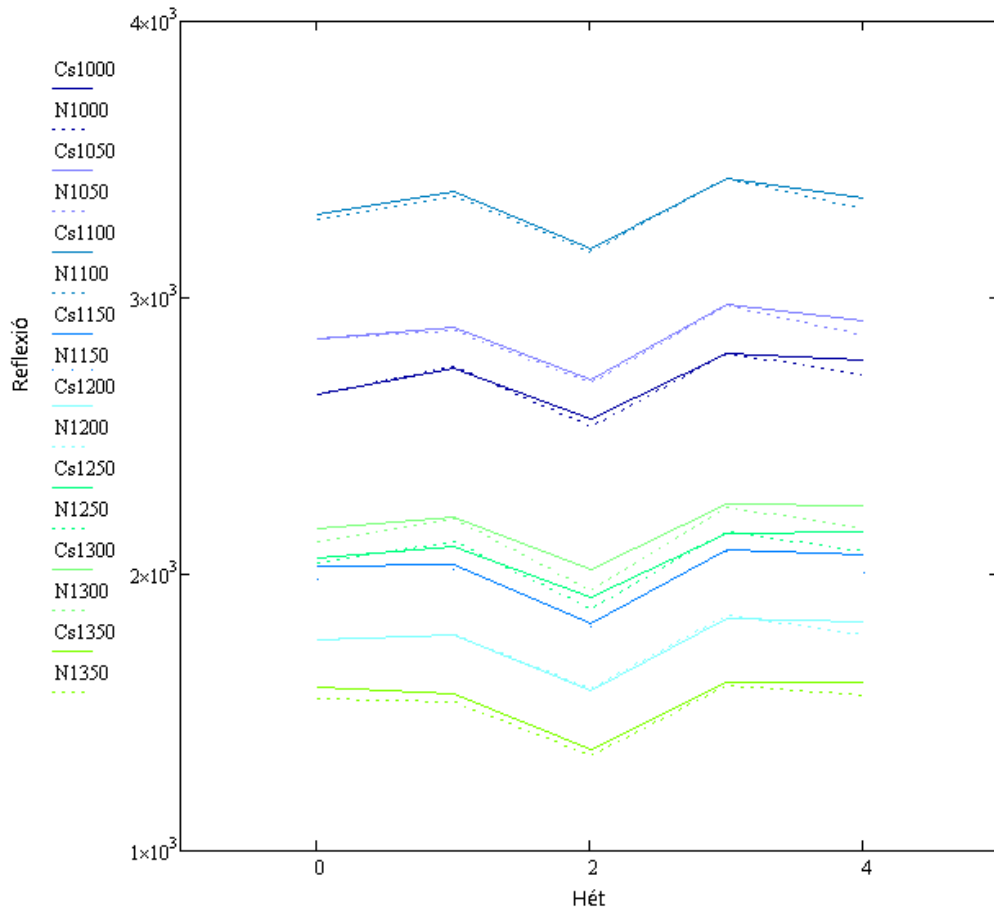


23. ábra: Az 1000 nm-en mért reflexió változása az idő függvényében a két multispektrális műszerrel

Adott hullámhosszakon, a húsok átlagos reflexiójának változását vizsgálva, a 24. és 25. ábrából az látszik, hogy ha nem normáljuk az etalonnal a méréseket, akkor az etalonnál látható hullámzáshoz hasonló tendenciát kapunk a húsokra mind a két mérési tartományra. Ez az ingadozás lesz normálással kiküszöbölve.



24. ábra: Húsok reflexiójának változása az idő függvényében normalítás nélkül 750-1000 nm-ig



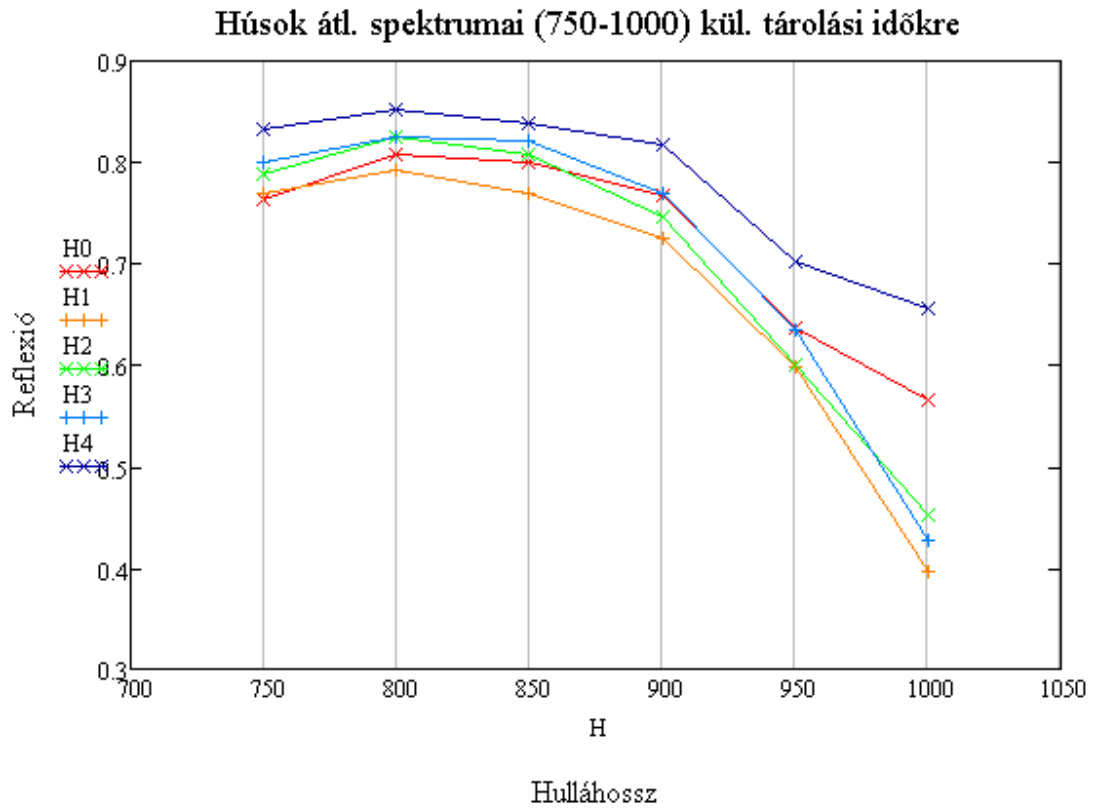
25. ábra: Húsok reflexiójának változása az idő függvényében normálás nélkül 1000-1550 nm-ig

5.3.2 Vákuumcsomagolt húsok reflexiójának változása

A továbbiakban a húsok, multispektrális méréseinek reflexiós spektrumát tehát normáltam az etalon felületek méréseihez képest.

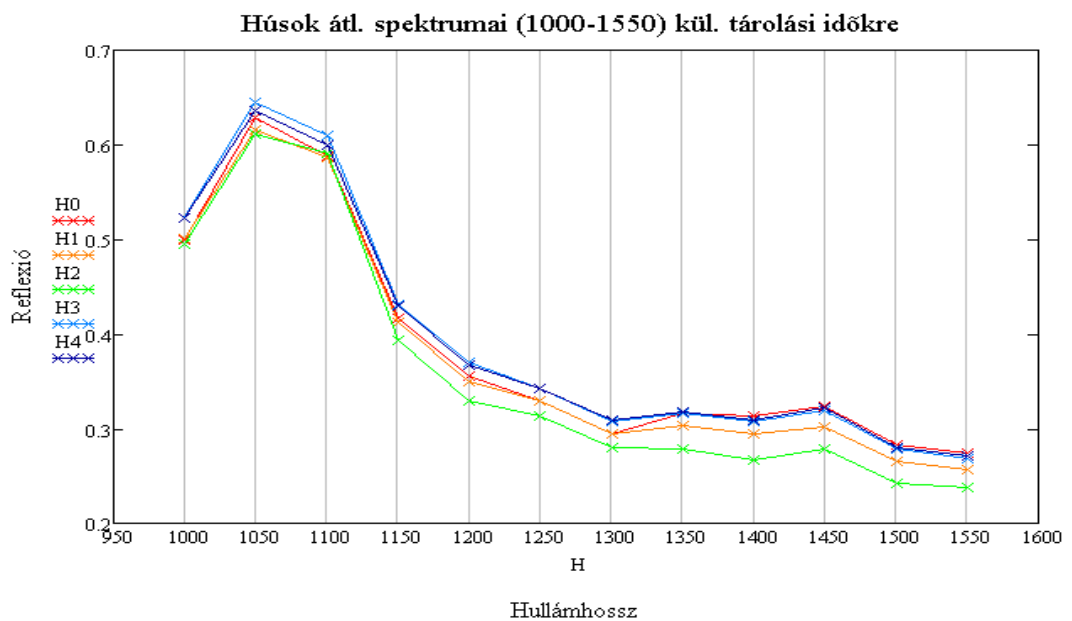
Először adott mérési napok átlagos reflexiós illetve abszorpciós spektrumokat vizsgáltam.

A multispektrális 750-1000 nm átlagos reflexiós spektrumokon, az első héten sötétedés, majd 3 héten keresztül monoton világosodás látszik (kivéve 750 nm-en, ahol monoton világosodás látszik) (26. ábra, **H0** 0. mérésnap, **H1** az 1. mérésnap, **H2** a 2. mérésnap, **H3** a 3. mérésnap, **H4** a 4. mérésnap).



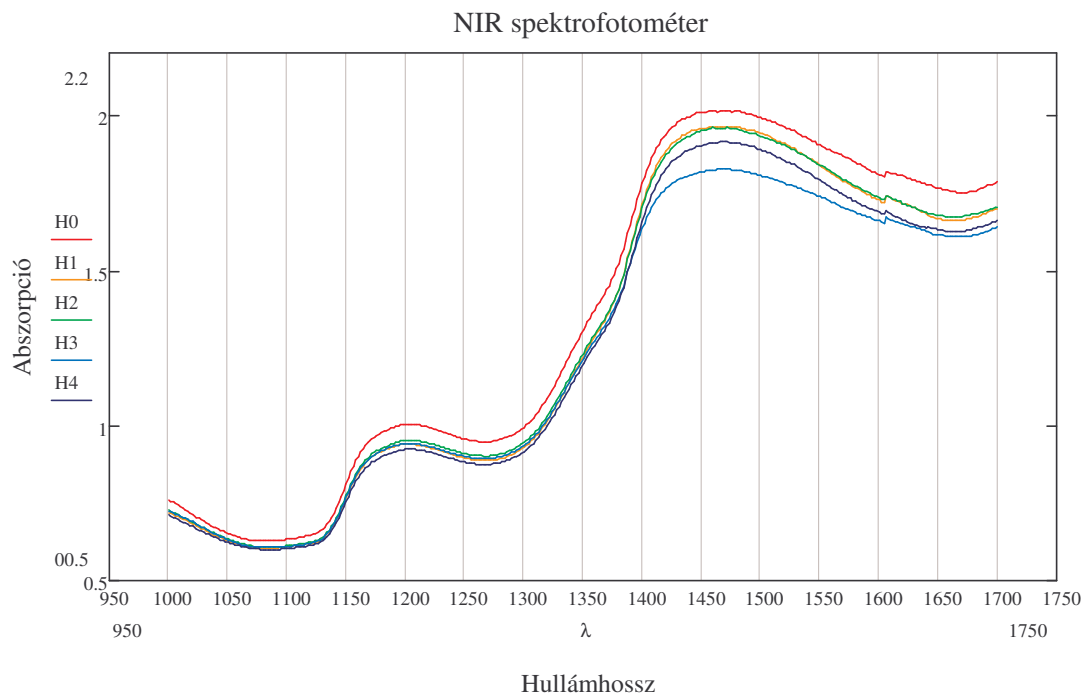
26. ábra Húsok átlagos reflexiói (750-1000 nm) különböző tárolási időkre

A multispektrális 1000-1550 nm átlagos reflexiók spektrumokon, az első 2 héten sötétedés, majd 2 héten keresztül monoton világosodás látszik (kivéve 1000 nm-en enyhe monoton világosodás) (27. ábra, **H0** 0. mérésnap, **H1** az 1. mérésnap, **H2** a 2. mérésnap, **H3** a 3. mérésnap, **H4** a 4. mérésnap).



27. ábra Húsok átlagos reflexiói (1000-1550 nm) különböző tárolási időkre

A NIR 1000-2500 nm átlagos abszorpciós spektrumokon, az első 3 héten világosodás látszik, majd az utolsó héten sötétedés (különösen 1200 és 145nm-en) (28. ábra, **H0** 0. mérésnap, **H1** az 1. mérésnap, **H2** a 2. mérésnap, **H3** a 3. mérésnap, **H4** a 4. mérésnap, 1700 nm felett a mérés zajosnak bizonyult, ezért azt nem tüntettem fel az ábrán).



28. ábra Húsok átlagos abszorpciói (1000-1700 nm) különböző tárolási időkre

Összefoglalva

- A három mérés (multispektrális 750-1000 nm, 1000-1550 nm és NIR spektrofotométer 1000-2500 nm) alapvető tendenciája (világosodás) tehát időeltolódással hasonló (nem számolva az egyes hullámhosszak viselkedésével).
- A NIR mérés igazolja az irodalmi adatokat (2.1.4. fejezet) (750 nm közelében 2-3 hétig világosodás, majd sötétedés).
- A multispektrális mérés eredményei a tárolási idő szerint jól elkülönülnek

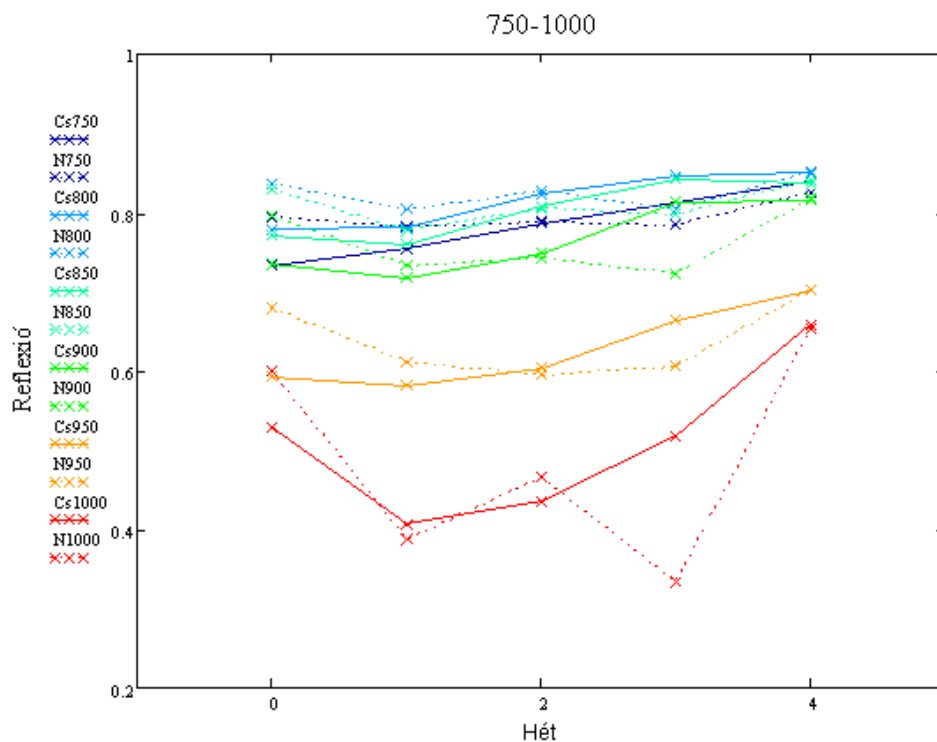
5.3.3 A húsok egyes hullámhosszakon mért reflexiójának változása az idő függvényében

Megvizsgáltam a vákuumcsomagolt húsok egyes hullámhosszakon mért átlagos reflexió változását a tárolási idő szerint. Vonallal jelöltem a rostélyos felőli

mintákon (1-5) és pontozott vonallal a comb felőli mintákon (10-6) mért átlagokat. Az egyes napokon mért minták így: 0. mérésnapon 1 és 10 minta, 1. mérésnapon 2 és 9 minta, 2. mérésnapon 3 és 8 minta, 3. mérésnapon 4 és 7 minta, 4. mérésnapon 5 és 6 minta. A mintákat szétválasztottam aszerint, hogy melyik irányból mértem.

Eredmények 750-1000 nm-en:

- A 750-1000 nm-es tartományon monoton világosodás látszik az első három héten. A comb felőli méréseknél a 4. héten is világosodik, míg a rostélyos felőli részen, bizonyos hullámhosszokon (29. ábra 900 nm, az ábrán N900-ként van jelölve és 850 nm az ábrán N850-ként van jelölve) el kezd sötétedni.
- A minták viselkedésének helytől való függését vizsgálva azt láthatjuk, hogy az első 2 hétben az 1-től 5-ig elhelyezkedő minták világosabbak, mint a 10-től 6-ig számozott minták, majd a második 2 hét után ez megfordul (29. ábra).



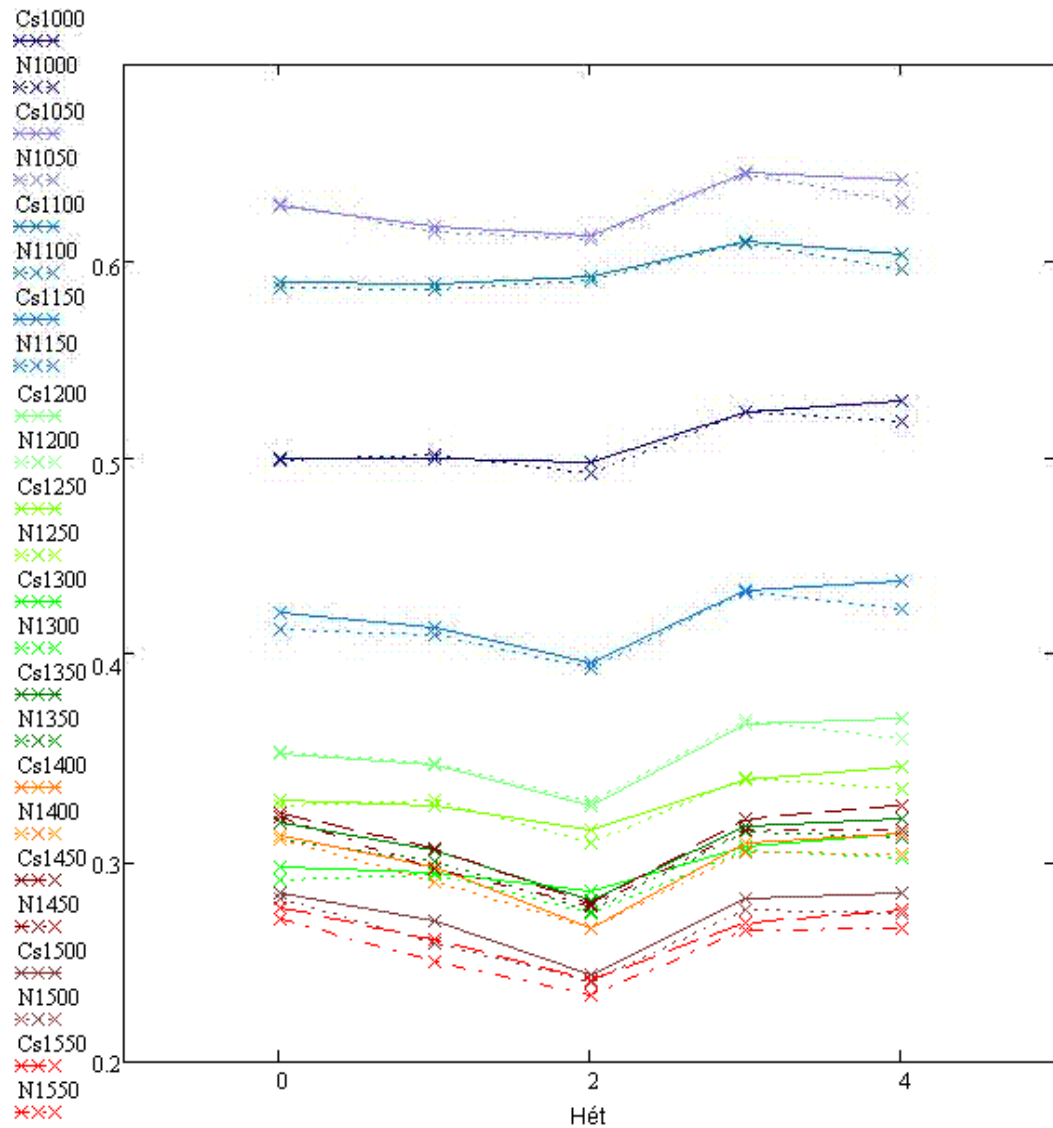
29. ábra: A reflexió változása az idő függvényében (750-1000 nm)

Jelmagyarázat:



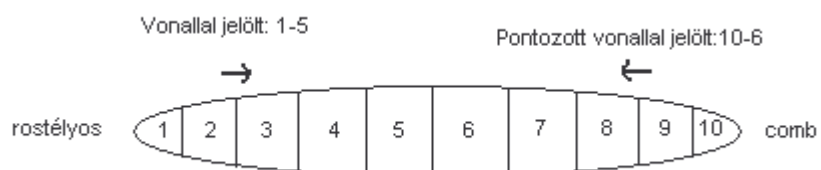
Eredmények 1000-1550 nm-en:

- Az 1000-1550 nm-es tartományon az első 2 héten egy sötétedés látszik, majd a harmadik héten világosodás. A negyedik héten újra sötétedést mutat (30. ábra), ami megfelel az irodalomban leírtaknak (2.1.4.).
- A minták viselkedésének helytől való függését vizsgálva azt láthatjuk, hogy 1-től 5-ig tartó minták világosabbak, mint a 10-től 6-ig tartó minták. (30. ábra)



30. ábra Az idő függvényében a húsok változása 1000-1550 nm-es hullámhosszakon

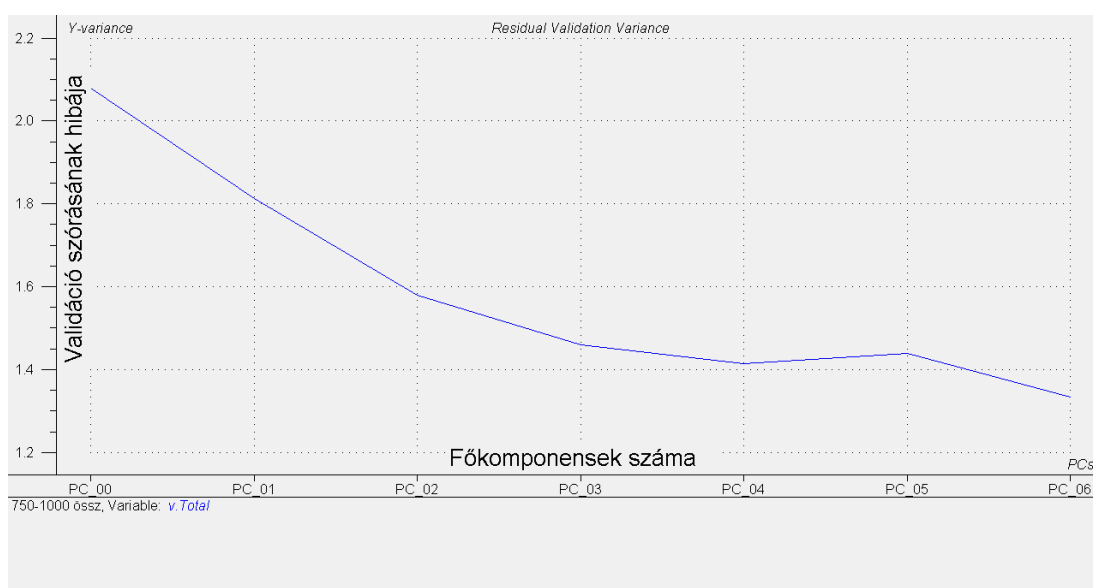
Jelmagyarázat:



5.3.4 Szignifikáns hullámhosszak meghatározása multispektrális rendszerénél (750-1000 nm)

A vákuumcsomagolt hús tárolási idejére jellemző szignifikáns hullámhosszak kiválasztása PLS1 modell illesztésével történt. A modell független változói az egyes hullámhosszakon mért intenzitás értékek, célváltozója pedig a mérés időpontja. A modellek 5 mérési nap 8-8 méréséből, 6 hullámhossz (750-1000 nm) közül választja ki az optimálisakat.

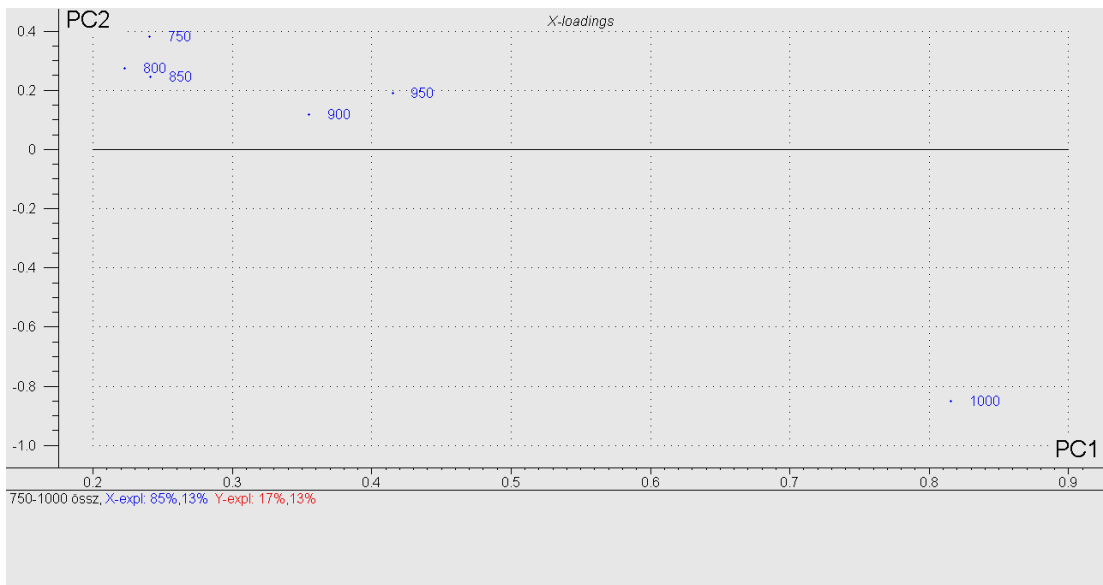
Elsőként meg kell határozni, hány hullámhossz (750-1000 nm között/50 nm-es felbontásban) figyelembe vételével lehet a legpontosabban megjósolni, hogy hány hetes egy ismeretlen hús. A látens változók optimális száma a modell által jósolt és a célfüggvény eltérés négyzet összegének (Least Squared Error) minimumánál van. A grafikon alapján (31. ábra), 750-1000 nm-ig nincs minimum, a hiba a látens változók számával monoton csökken, azaz az összes hullámhosszon mért értéket figyelembe kell venni.



31. ábra: Optimális főkomponensek számát lehet leolvasni 750-1000 nm között

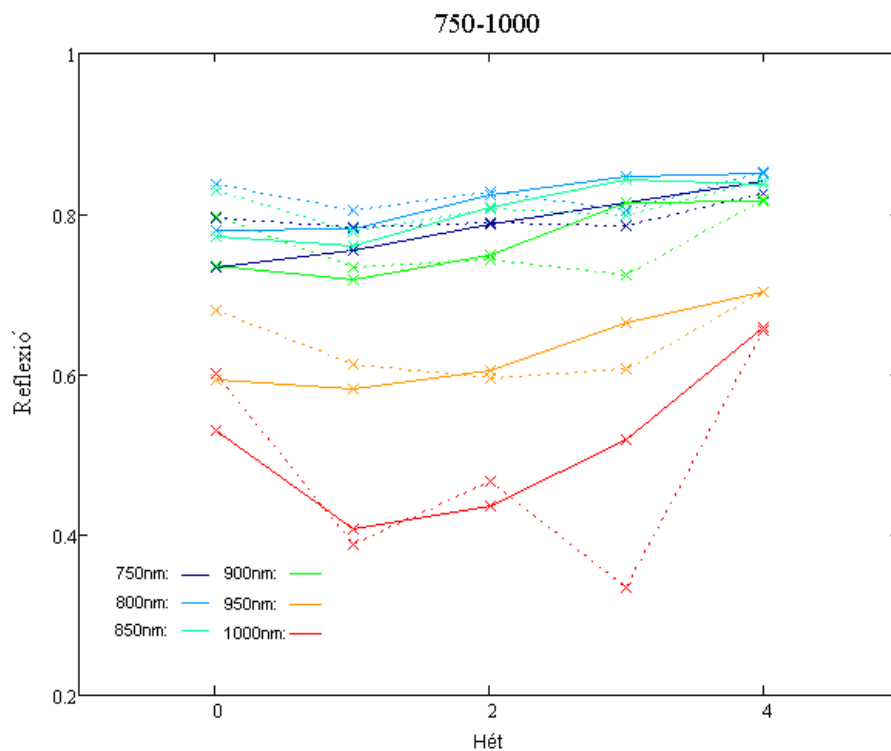
Az optimális számú, azaz ebben az esetben az összes hullámhossz intenzitásának felhasználásával illesztett lineáris modell súlytényezői mutatják meg az egyes hullámhosszak fontossági sorrendjét (32. ábra). Minél nagyobb a súlytényező abszolút értéke, annál fontosabb a változó. Mind a 6 hullámhossz felhasználása

esetén a fontossági sorrend: 1000 nm, 750 nm, 800 nm, 850 nm, 950 nm és végül 900 nm.



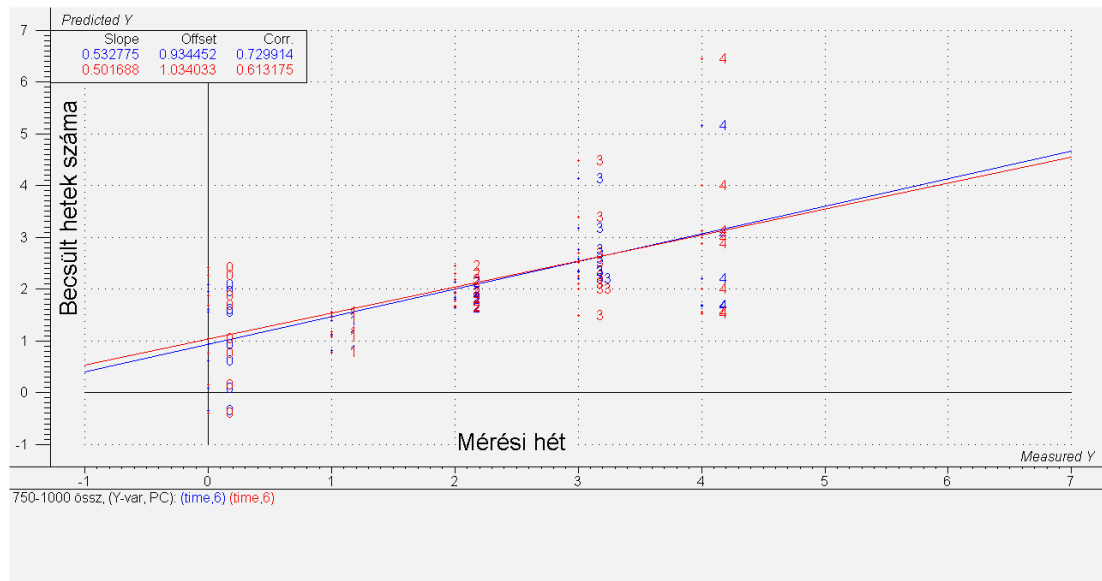
32. ábra: PC1, PC2: Az első két főkomponens által kifeszített síkok, erre illeszti a program a változókat

Az egyes hullámhosszak átlagos reflexiójának, a tárolási idő függvényében történő változását mutatja a 33. ábra.



33. ábra: Reflexió változása a tárolási idő függvényében, a 6 hullámhosszra és 2-2 mintára

Validálással ellenőrizzük a kalibrációs mintahalmazra illesztett modellt. A 34. ábrán a kalibrációs (piros) és validációs (kék) halmazra alkalmazott modellek becslései láthatók a mért érték (tárolási idő) függvényében.



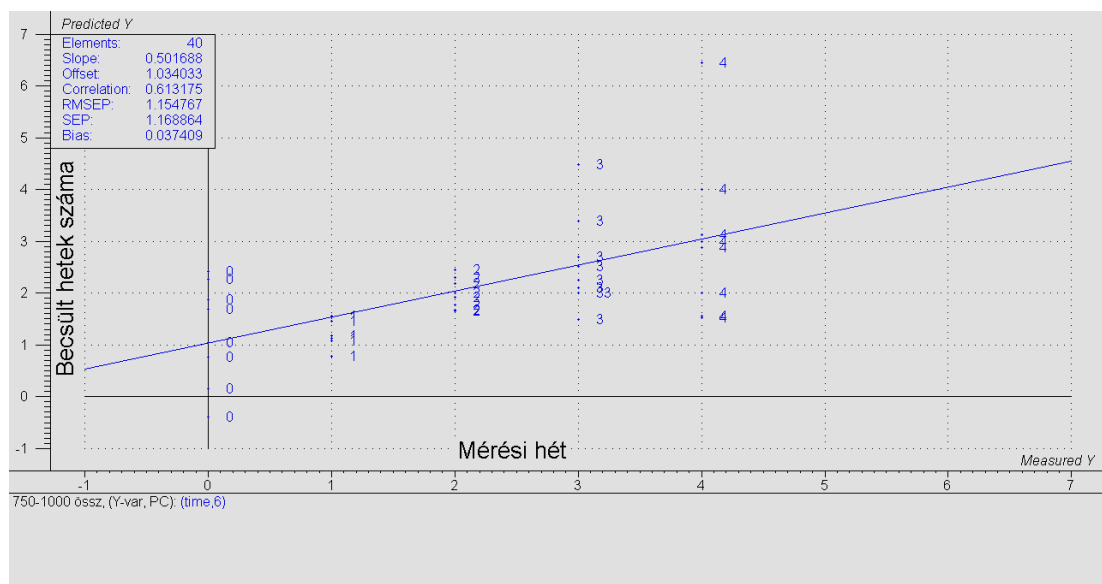
34. ábra: Becsült tárolási időtartam a mért időértékek függvényében, kalibrációs egyenes – piros, validációs - kék

Az utolsó (35. ábra) grafikon azt mutatja meg, hogy a 750-1000 nm tartomány mérésével, milyen pontosan tudjuk megjósolni egy ismeretlen mintáról, hogy hány hetes. Az ebben a tartományban kapott statisztikai értékek nem túl biztatóak:

R^2 : 0.613

RMSEP: 1.155, tehát plusz mínusz 1.155 maximum hét eltéréssel tudjuk

meghatározni egy ismeretlen mintáról annak tárolási idejét

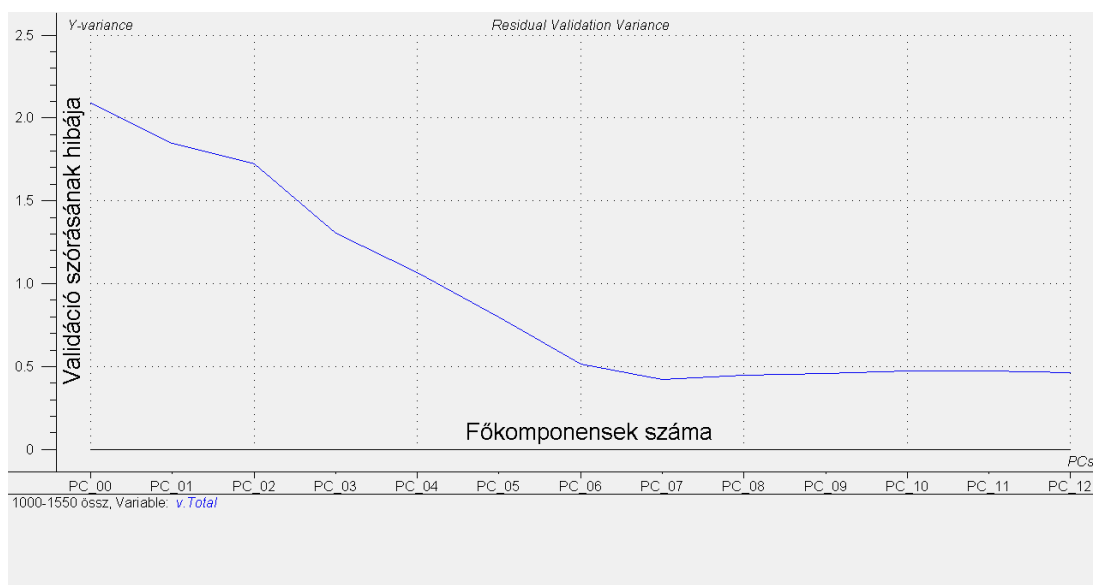


35. ábra A mért értékek alapján hány hetesnek becsülné az egyes méréseket

5.3.5 Szignifikáns hullámhosszak meghatározása multispektrális rendszerrel (1000-1550 nm)

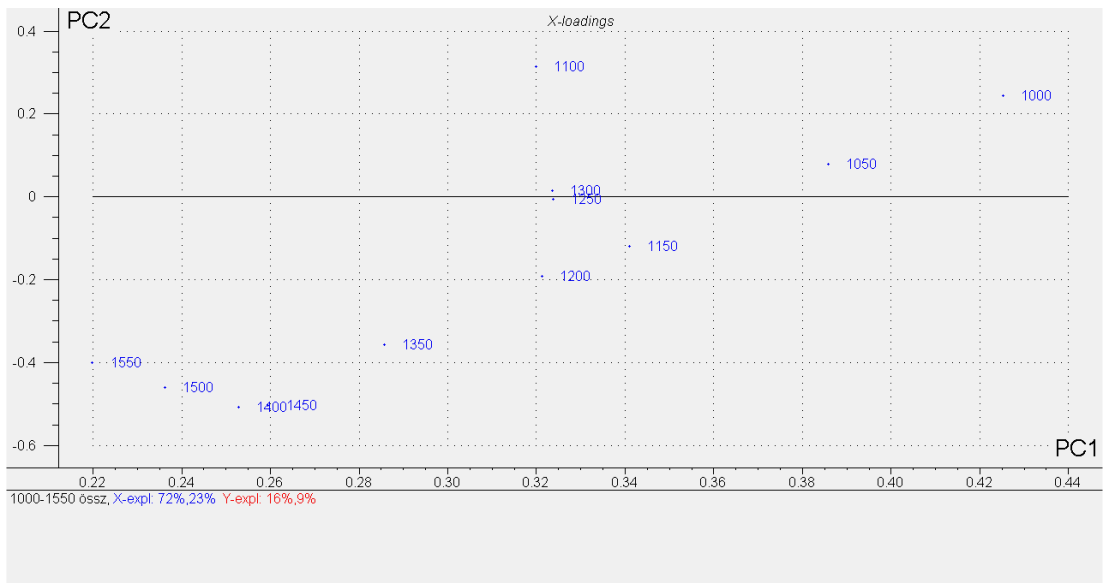
A vákuumcsomagolt hús tárolási idejére jellemző szignifikáns hullámhosszak kiválasztása PLS1 modell illesztésével történt. A modell független változói az egyes hullámhosszakon mért intenzitás értékek, célváltozója pedig a mérés időpontja. A modellek 5 mérési nap 8-8 méréséből, 12 hullámhossz (1000-1550 nm) közül választja ki az optimálisakat.

Először meg kell határozni, hány hullámhossz figyelembe vételével (1000-1550 nm között/50 nm-es felbontásban) lehet a legpontosabban megjósolni, hogy hány hetes egy ismeretlen hús. A látens változók optimális száma a modell által jósolt és a célfüggvény eltérés négyzet összegének (Least Squared Error) minimumánál van. A grafikon alapján (36. ábra), 1000-1550 nm-ig az optimális hullámhosszak száma hét.



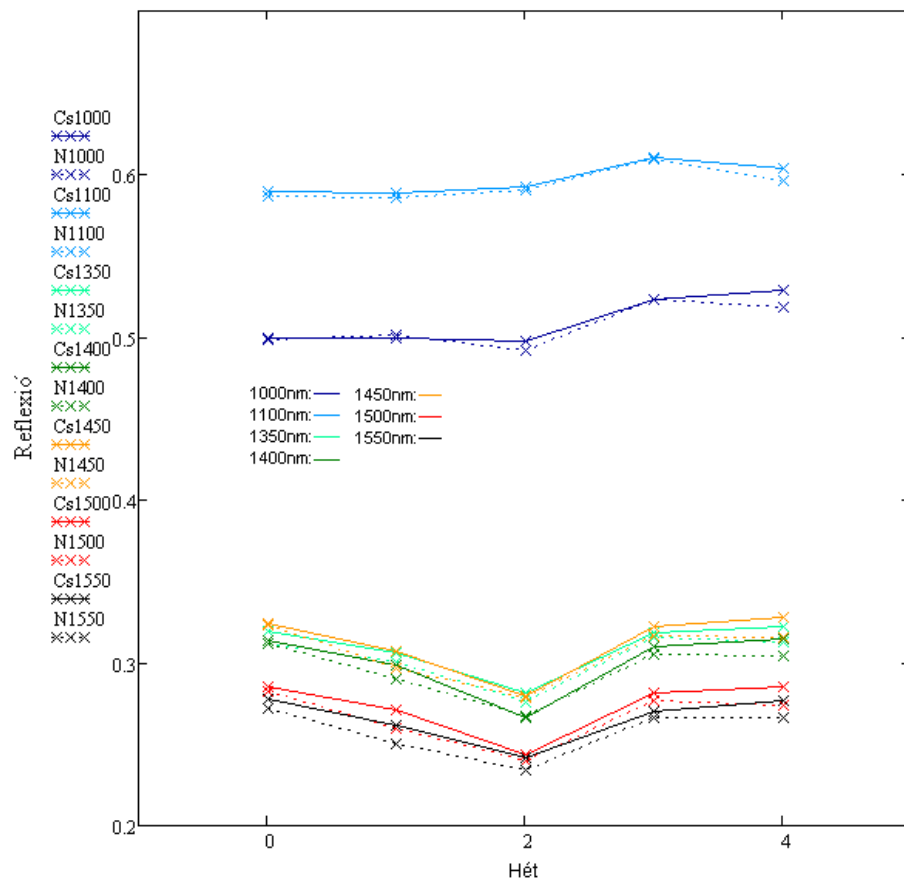
36. ábra Optimális főkomponensek számát lehet leolvasni 1000-1550 nm között

Az optimális számú, azaz ebben az esetben a hét hullámhossz intenzitásának felhasználásával illesztett lineáris modell súlytényezői mutatják meg az egyes hullámhosszak fontossági sorrendjét (37. ábra). Minél nagyobb a súlytényező abszolút értéke, annál fontosabb a változó. Mind a 7 hullámhossz felhasználása esetén a fontossági sorrend: 1400 nm, 1450 nm, 1500 nm, 1550 nm, 1350 nm, 1100 nm és végül 1000 nm.



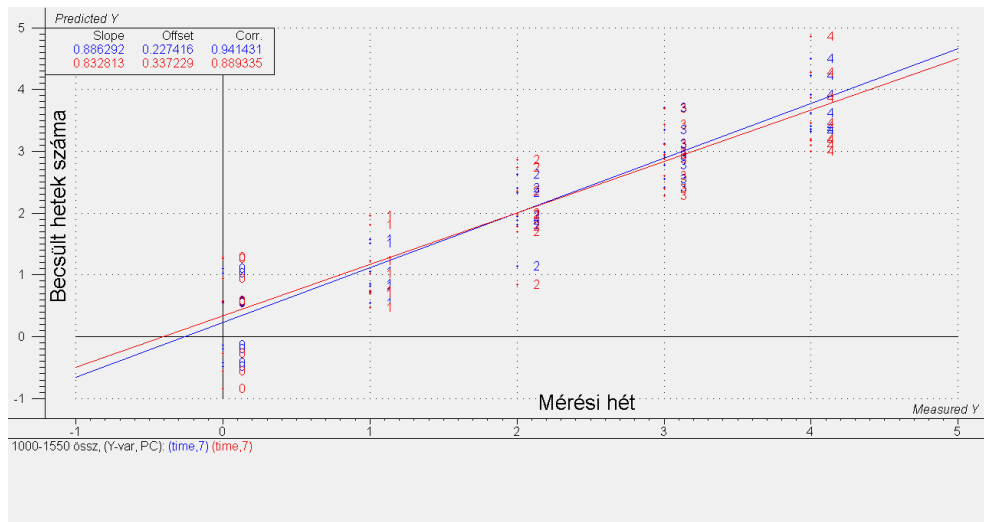
37. ábra: PC1, PC2: Az első két főkomponens által kifeszített síkok, erre illeszti a program a változókat

Az egyes hullámhosszak átlagos reflexiójának, a tárolási idő függvényében történő változását mutatja a 38. ábra.



38. ábra Reflexió változása a tárolási idő függvényében, a 7 kiválasztott hullámhosszra és 2-2 mintára

Validálással ellenőrizzük a kalibrációs mintahalmazra illesztett modellt. A 39. ábrán a kalibrációs (piros) és validációs (kék) halmazra alkalmazott modellek becslült értékei láthatók a mért érték (tárolási idő) függvényében.



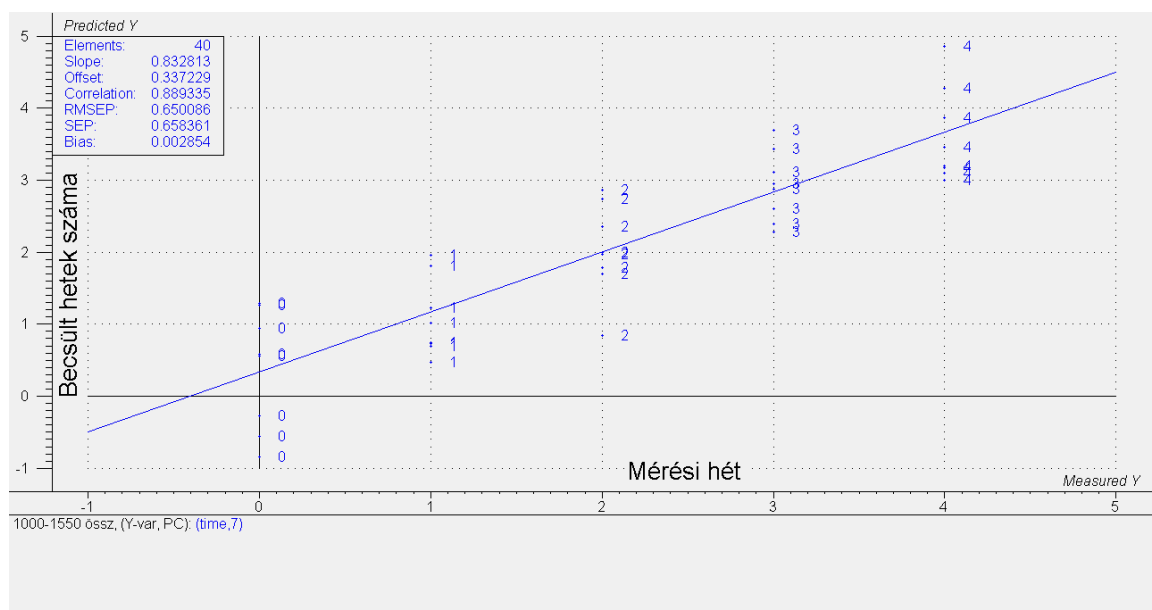
39. ábra: Becsült tárolási időtartam a mért időértékek függvényében, kalibrációs egyenes – piros, validációs – kék

Az utolsó (40. ábra) grafikon azt mutatja meg, hogy a 1000-1550 nm tartomány mérésével, milyen pontosan tudjuk megjósolni egy ismeretlen mintáról, hogy hány hetes. Az ebben a tartományban kapott statisztikai értékek biztatóak:

R^2 : 0.889

RMSEP: 0.650, tehát plusz mínusz 0.650 maximum hét eltéréssel tudjuk

meghatározni egy ismeretlen mintáról annak tárolási idejét

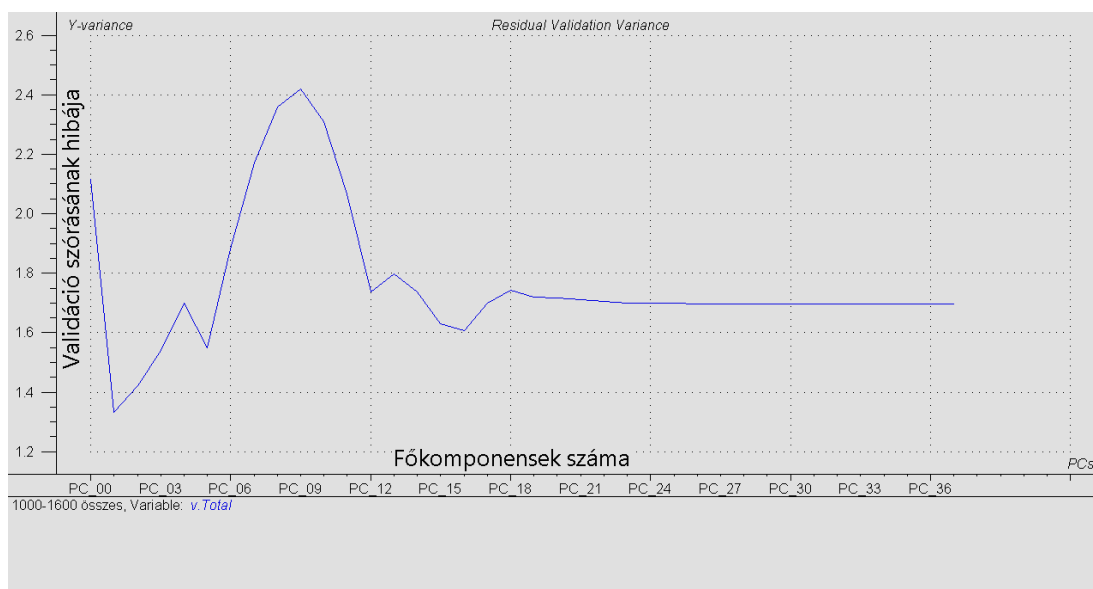


40. ábra: A mért értékek alapján hány hetesnek tippelné az egyes méréseket

5.3.6 Szignifikáns hullámhosszak meghatározása NIR Spektrofotométer rendszerénél (1000-1600 nm)

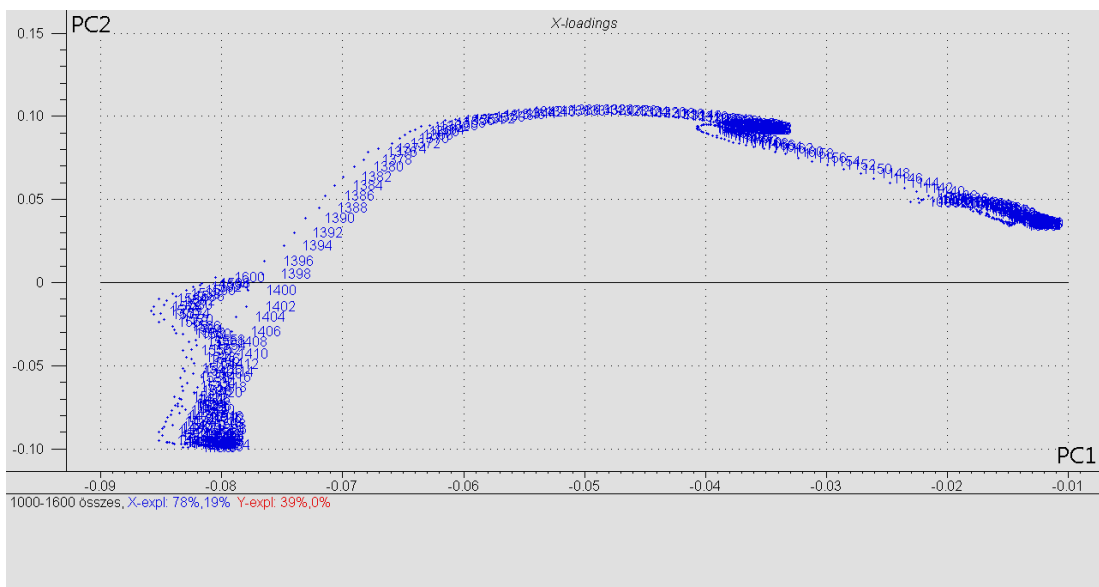
A vákuumcsomagolt hús tárolási idejére jellemző szignifikáns hullámhosszak kiválasztása PLS1 modell illesztésével történt. A modell független változói az egyes hullámhosszakon mért intenzitás értékek, célváltozója pedig a mérés időpontja. A modellek 5 mérési nap 8-8 méréséből, 301 hullámhossz (1000-1600 nm) közül választja ki az optimálisakat.

Először meg kell határozni, hány hullámhossz figyelembe vételével (1000-1600 nm között/2 nm-es felbontásban) lehet a legpontosabban megjósolni, hogy hány hetes egy ismeretlen hús. A látens változók optimális száma a modell által jósolt és a célfüggvény eltérés négyzet összegének (Least Squared Error) minimumánál van. A grafikon alapján (41. ábra), 1000-1600 nm-ig az optimális hullámhosszak száma egy.



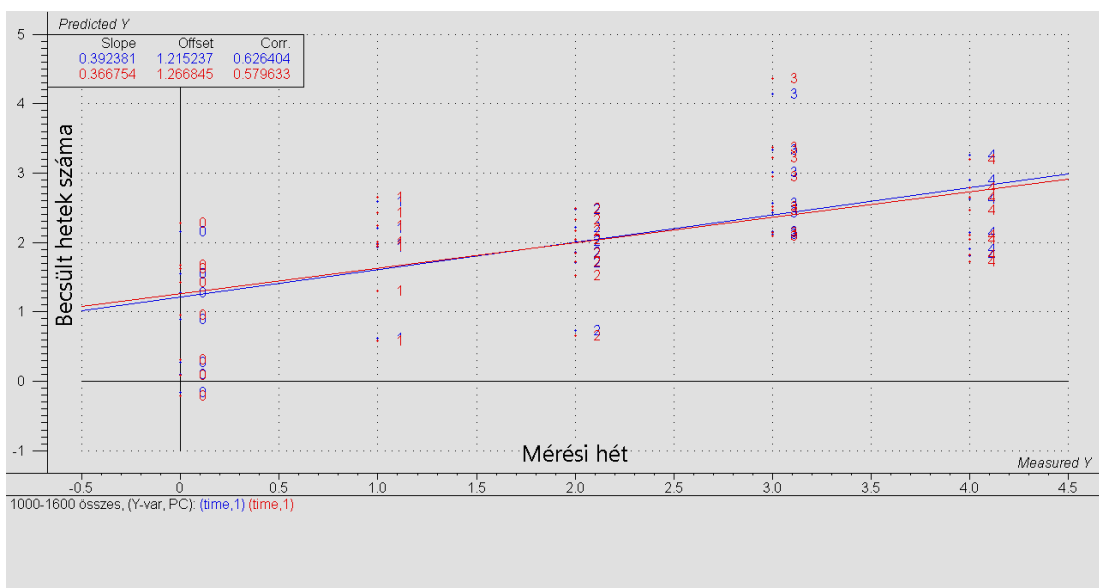
41. ábra Optimális főkomponensek számát lehet leolvasni 1000-1550 nm között

Az optimális számú, azaz ebben az esetben a egy hullámhossz intenzitásának felhasználásával illesztett lineáris modell súlytényezői mutatják meg az egyes hullámhosszak fontossági sorrendjét (42. ábra). Minél nagyobb a súlytényező abszolút értéke, annál fontosabb a változó. Ebben az esetben egy hullámhosszat használunk fel, ez azonban az ábrán nem látszik melyik az.



42. ábra: PC1, PC2: Az első két főkomponens által kifeszített síkok, erre illeszti a program a változókat

Validálással ellenőrizzük a kalibrációs mintahalmazra illesztett modellt. A 43. ábrán a kalibrációs (piros) és validációs (kék) halmazra alkalmazott modellek becsült értékei láthatók a mért érték (tárolási idő) függvényében.

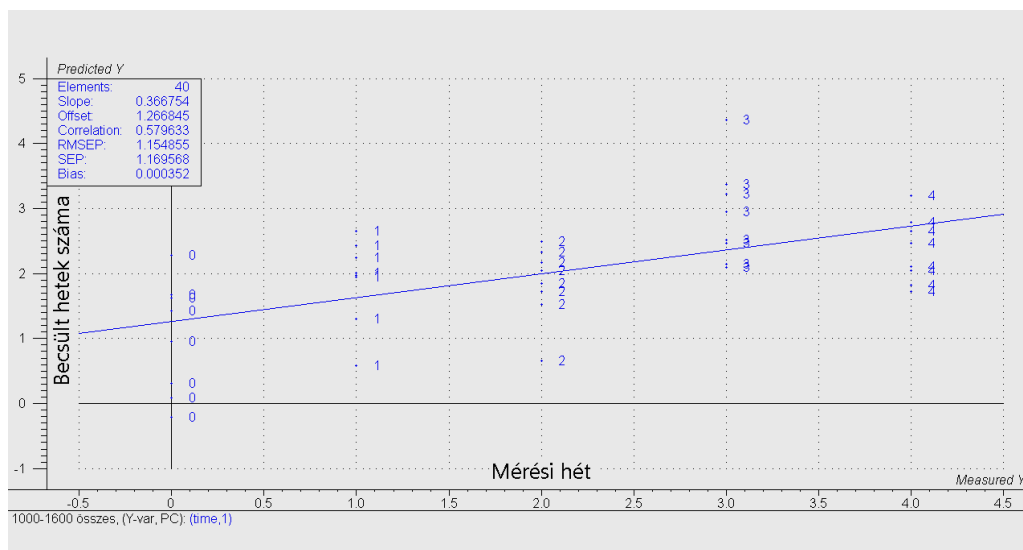


43. ábra: Becsült tárolási időtartam a mért időértékek függvényében, kalibrációs egyenes – piros, validációs – kék

Az utolsó (44. ábra) grafikon azt mutatja meg, hogy a 1000-1600 nm tartomány mérésével, milyen pontosan tudjuk megjósolni egy ismeretlen mintáról, hogy hány hetes. Az ebben a tartományban kapott statisztikai értékek nem túl biztatóak:

R²: 0.579

RMSEP: 1.155, tehát plusz mínusz 1.155 maximum hét eltéréssel tudjuk meghatározni egy ismeretlen mintáról annak tárolási idejét



44. ábra: A mért értékek alapján hány hetesnek tippelné az egyes méréseket

A multispektrális rendszer 750-1000 nm-es tartományban és a NIR Spektrofotométer 1000-1600 nm-es tartományban nem adott jó eredményeket, azonban a multispektrális rendszer 1000-1550 nm-es tartományban megfelelően tudja meghatározni egy ismeretlen minta korát.

6 ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A kísérleti mérés sorozat elvégzésének célja az volt, hogy megállapítást nyerjen, vajon a multispektrális rendszer alkalmas-e a hűtőben (5 °C-on) tárolt vákuumcsomagolt húsok elkülönítésére az idő függvényében.

A multispektrális rendszerek közül az 1000-1550 nm-es tartományban végzett kísérleteim pontosabb és jobb eredményeket adtak, mint a 750-1000 nm-es tartományban végzett mérések. A PLS-sel végzett analízis alapján az 1000-1550 nm-es tartományban az $R^2 = 0.889$. Ebben a tartományban egy ismeretlen minta korát plusz/mínusz 0.65 hét pontossággal tudná megjósolni. Ezek az értékek 750-1000 nm-es tartományban rosszabbak, az $R^2 = 0.613$, míg egy ismeretlen minta korát plusz/mínusz 1.155 hét pontossággal tudná megjósolni. A NIR Spektrofotométer 1000-1600 nm-es tartományban, PLS-sel végzett analízis alapján $R^2 = 0.579$, míg egy ismeretlen minta korát plusz/mínusz 1.155 hét pontossággal tudná megjósolni. Tehát összességében az multispektrális rendszer 1000-1550 nm-es tartományban bízható eredményeket adott.

A mérések általában 750-1000 nm-es tartományban azt mutatták, hogy a húsok eleinte világosodtak, majd az utolsó héten egy visszasötétedés kezdete látszik, ez megfelel az irodalomban leírtaknak, amely 750 nm-es tartományban ilyen tendenciát írt le.

Az 1000-1550 nm-es tartományban az első két héten egy sötétedés látható, a második két hétben egy visszavilágosodás látszik telítődéssel, tehát valószínűleg a mérési sorozat folytatása után ismét sötétedés látszott volna (jelenlegi mérési sorozat 5 mérést tartalmazott 4 héten keresztül).

Összességében elmondható, hogy a rendszer alkalmas a vákuumcsomagolt húsok elkülönítésére az idő függvényében.

A mérések során nem vettem figyelembe, hogy a húsok inhomogének, ezeknek a tulajdonságoknak a figyelembe vételével a módszer alkalmas lehet a későbbiekben a húsok elkülönítésére más tulajdonságok alapján például: márványosság vizsgálatára.

Másik célom a kísérletekkel, annak megállapítása, hogy a rendszer alkalmas-e húsok elkülönítésére attól függően, hogy a hússzelet a hátszín mely részéről

származik. A mérések alapján az látszik, hogy a 750-1000 nm-es tartományban eleinte a rostélyos felöli rész a világosabb, a második két hétben a tendencia megfordul, és a comb felöli rész látszik világosabbnak. Az 1000-1550 nm-es tartományban az látszik, hogy végig a rostélyos felöli rész a világosabb. Tehát, a kísérleteim alapján az vázolódik, hogy a rendszer 1000-1550 nm-es tartományban alkalmas lehet a húsok elkülönítésére attól függően, hogy a hús a hátszín, mely részéről származik.

További mérésekre van azonban szükség annak egyértelmű igazolására, hogy a húsok valóban elkülöníthetők-e, aszerint, hogy a hús szelet a hátszín mely részéről származik. Ennek bizonyítására nagyobb mennyiségű húsról és további mérésre lenne szükség, valamint, hogy a méréseket úgy végezzék, hogy azok levágástól számított kora ugyanaz legyen. Minderre azért van szükség, hogy a hús kora ne befolyásolja a méréseket.

Célszerű lenne másfajta további méréseket végezni a jövőben a rendszerrel. Alkalmasnak tűnik a rendszer arra is, hogy a hús minőségét megállapíthassuk vele. Minőségi osztályok létrehozása lehetne a további lépcső. A rendszer alkalmazásával ismeretlen húsokat lehetne besorolni ezekbe az osztályokba.

Végeztek olyan kísérleteket hiperspektrális rendszerekkel, hogy a húsokat olyan módon osztályozták, hogy milyen omlós és a rendszerrel be tudták sorolni a mintákat 90%-os pontossággal. Hasonló kísérleteket lehetne elvégezni multispektrális rendszerekkel is, mert erre a rendszer alkalmasnak tűnik.

A rendszer nagy előnye, hogy a méréseket roncsolás mentesen, gyorsan és egyszerűen lehet elvégezni. Sok lehetőség van a rendszerben, ezeket a jövőben ki lehet és ki is kell használni.

7 IRODALMJEGYZÉK

BURNS D. A. (1992): Historical development, In: Handbook of Near Infrared Analysis, Ed by Burns D. A., Ciurczak E. W., Marcel Dekker, Inc., New York, 1-5.p

CSISZÁR V. (1964): Húsvizsgálat és higiénia, Budapest. Mezőgazdasági Kiadó

FOSS NIRSYSTEM, 2000 Vision Manual: Theory

GÁRÁNYI Z. (1986): Húsipari technológiák, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

HELLAND I.S. (1990): Pls regression and statistical models. *Scandinavian Journal of Statistics*, 17, 97–114.p

LÁSZTITY R., TÖRLEY D. (1993): Élelmiszer-kémia 2, Mezőgazda kiadó, Budapest

LŐRINCZ F., LENCSEPETI J. (1973): Húsipari kézikönyv, Mezőgazdasági kiadó Budapest

MAGYARNÉ H. K. (2009): Műszeres gyorsmódszerek alkalmazása sertéshús minőségváltozásának jellemzésére

MCCLURE W. F. (2004): 204 years of near infrared technology: 1800-2003. *J. Near Infrared Spectrosc.* 11, (6), 487-518.p.

MURRAY I. (2004): Scatteres infomation: philosaphy and practice of near infrared spectroscopy. In *Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 11 th International Conference*

NAGANATHAN K. G., MEYER E. G. (2008): Visible/near-infrared hyperspectral imaging for beef tenderness prediction

NORRIS K. H., BUTLER W. L. (1961): Techniques for obtaining absorption spectra on intact biological samples. *Ire Trans Electron.*, 8, 153-157.p

OSBORNE B. G., FEARN T. (1986 b): Physics of the interaction of radiation with matter, In *Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis*, Longman Scientific & Technical, Harlow, 43-56. p.

PÁSZTORNÉ HUSZÁR K., KISS I. (szerk.) (2006): *Minőségkímélő élelmiszertechnológiák és élelmiszer-biztonság*. Mezőgazdasági Kiadó

PENG Y., Wu J. (2008): *Hyperspectral Scattering Profiles for Prediction of Beef Tenderness*

QIAO J., PRASHER S. O. és társaik (2007): *Pork quality and marbling level assessment using a hyperspectral imaging system*

QIAO J., PRASHER S. O. és társaik (2006): *Prediction of drip-loss, pH, and color for pork using a hyperspectral imaging technique*