



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Suvi Moisanen

Hyperspektrikameran käyttöönotto ja testaaminen Seinäjoen ammattikorkeakoululla

Specim IQ -kameran testaaminen naudanliharuokaväärennösten tunnistamisessa

Opinnäytetyö

Syksy 2023

Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Elintarviketeknologia

Tekijä: Suvi Moisanen

Työn nimi: Hyperspektrikameran käyttöönotto ja testaaminen Seinäjoen ammattikorkeakoululla: Specim IQ -kameran testaaminen naudanliharuokaväärennösten tunnistamisessa

Ohjaaja: Juuso Kumpulainen

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 46

Liitteiden lukumäärä: 3

Hyperspektrikuvantaminen (hyperspectral imaging, HSI) yhdistää kameran ja spektrometrin, jolloin saadaan sekä avaruudellinen että spektrillinen tieto tarkasteltavasta kohteesta. HSI:tä pystytään hyödyntämään laajasti esimerkiksi elintarviketeollisuudessa, maataloudessa, lääketieteessä ja rikostutkinnoissa. Seinäjoen ammattikorkeakoulun (SeAMK) Wise Frami Food -hankkeen kautta lisätään Etelä-Pohjanmaan elintarvikeketjun digitaalisia valmiuksia hyödyntämällä avoimiin lähdekoodeihin perustuvia sovelluksia testaamalla niitä SeAMK:n elintarvikelaboratoriossa Frami Food Labissa. Tämän vuoksi hankkeeseen on hankittu kevyt ja liikuteltava Specim IQ -hyperspektrikamera. Hanke toimii tämän opinnäytetyön toimeksiantajana.

Toiminnallisen opinnäytetyön tavoitteena oli luoda tarvittavat dokumentit ja käyttöohjeet hyperspektrikameran käyttämiseen Frami Food Labissa. Lisäksi kuvaamisella oli tarkoitus testata, voiko kameraa hyödyntää naudan ja hevosenlihan erottamiseen ruokaväärennöstapauksessa. Lisääntyneestä valvonnasta huolimatta ruokaväärennökset aiheuttavat vuosittain arviolta 8–12 miljardin euron kustannukset EU:n alueella. Nopea, ei-invasiivinen menetelmä, jolla pystytään helposti varmistamaan esimerkiksi jauhelihanpihviin käytetty liha edesauttaisi ruokahuuistausten paljastamisessa. Hyperspektrikuvantamisesta ruokaväärennösten havaitsemisessa on tehty tutkimusta, mutta valmistajalta saadun tiedon mukaan Specim IQ -kameraa ei ole tiettävästi hyödynnetty tämän kaltaisessa käytössä.

Opinnäytetyön tuloksena esitettiin suomenkieliset Specim IQ -käyttöohjeet sekä laiteluettelo toimeksiantajalle. Case-tutkimuksena testattiin hyperspektrikameraa kuvaamalla tuoretta puhdasta naudan ja hevosenlihaa sekä niiden eri sekoituksia. IQ-kameralla kuvaaminen havaittiin helpoksi ja nopeaksi, eikä sen käyttäminen vaadi syvällistä ymmärrystä spektrometriasta. IQ-kameran hyödyntäminen lihalaadun tunnistamiseen vaati sovelluksen luomista, mutta sovellusta ei saatu testauksessa toimimaan. Testaamiseen ja kirjallisuuskatsaukseen perustuen voidaan todeta, että Specim IQ -kameran käyttö lihaväärennösten paljastamisessa vaatii huomattavan datamäärän hankkimista ja applikaatioiden luomista, jotta kuvaustulokset ovat luotettavia ja yleiseen käyttöön sovellettavia.

¹ Asiasanat: hyperspektrikuvantaminen, spektrometria, elintarviketurvallisuus, jauheliha

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Food Processing and Biotechnology

Specialisation: Food Technology

Author: Suvi Moisanen

Title of thesis: Implementation and testing of hyperspectral camera at Seinäjoki University of Applied Sciences: Testing the Specim IQ camera in beef meat adulteration

Supervisor: Juuso Kumpulainen

Year: 2023

Number of pages: 46

Number of appendices: 3

Hyperspectral imaging (HSI) combines camera and spectrometer to provide spatial and spectral information on the subject under consideration. HSI can be widely used in, for example, the food industry, agriculture, health sector and criminal investigations. Through the Wise Frame Food project of Seinäjoki University of Applied Sciences, the digital capabilities of South Ostrobothnian food chain will be increased by using open-source applications and by testing them at the Frami Food Lab. A lightweight mobile Specim IQ hyperspectral camera has been purchased for the project.

The Wise Frami Food-project, the commissioner of this thesis, needed documentation and instructions in Finnish for the camera. Furthermore, there was a case study concerning the possibility of using the Specim IQ camera to disclose food adulteration in beef and horse meat.

At the end of the thesis process, the instructions and a list of supplies were presented to the commissioner of the thesis. The case study tested the Specim IQ camera by data recording fresh, pure beef and horse meat and their mixtures. Imaging with the hyperspectral camera was easy and fast and did not require a deep understanding of spectrometry. However, using the Specim IQ Application did not work as expected. The result of case study was that using the IQ camera to detect meat adulteration requires acquiring a significant amount of data and creating applications. Extensive data ensures that the results are reliable and helpful in detecting meat adulteration.

¹ Keywords: hyperspectral imaging, spectrometry, food safety, minced meat

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO JA TYÖN TAVOITTEET	8
2 HYPERSEKTRIOSKOPIA.....	11
2.1 Spektrometria hyperspektrikuvantamisen perustana.....	11
2.2 Hyperspektrikameran toiminta.....	12
2.2.1 Hyperspektrikuvantaminen.....	12
2.2.2 Hyperspektrikuvauksen tarvittava välineistö	14
2.2.3 Hyperspektrikuvien analysointi.....	16
2.3 Hyperspektrikuvantaminen elintarviketeollisuudessa	18
2.3.1 HSI:n hyödyntäminen.....	18
2.3.2 HSI:n hyödyt ja haasteet.....	20
3 RUOKAVÄÄRENNÖKSET LIHA-ALALLA	23
3.1 Mikä on ruokaväärennös?	23
3.2 Ruokaväärennökset Suomessa.....	24
3.3 Hyperspektrikuvantaminen ruokaväärennösten paljastamisessa	25
4 HYPERSEKTRIOSKAMERAN KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS	26
4.1 IQ-kameran esittely	26
4.1.1 IQ-kameran tekniset tiedot.....	26
4.1.2 IQ-kameran spektrioskameran tiedot.....	26
4.2 IQ-kameran käyttöönotto: varusteluettelo ja käyttöohjeet.....	27
4.3 Materiaalit ja menetelmät	28
4.3.1 Datan hankinta: näytteet ja kuvantaminen	28
4.3.2 Datan käsittely Specim IQ Studiolla	30
4.3.3 Tulokset	36
5 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	37

5.1	Yhteenveto IQ-kamerasta ja kuvantamisesta.....	37
5.2	IQ-kameran hyödyntäminen lihatuotteiden ruokaväärennöksissä	38
5.3	Pohdinta	40
LÄHTEET		42
LIITTEET		46

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Specim IQ -kameran etu- ja takapuoli.....	26
Kuva 2. IQ-kameran säilytyssalkku.....	27
Kuva 3. IQ-kameran säilytyssalkun sisältö.....	27
Kuva 4. Kuvausjärjestelyt IQ-kameralla kuvatessa	29
Kuva 5. IQ-kameran näyttö kuvantamisen aikana.	30
Kuva 6. Jäiset lihanäytteet nauta (vas.) ja hevonen (oik.).....	35
Kuvio 1. Sähkömagneettinen säteily.....	11
Kuvio 2. Hyperspektrikuvan ja RGB-kuvan vertailu	13
Kuvio 3. Kuvaspektrografi.....	15
Kuvio 4. Hyperspektrikuvien analysointi.....	17
Kuvio 5. HSI:n hyödyntäminen lihateollisuudessa	20
Kuvio 6. Specim IQ Studion käyttöön liittyvät käsitteet	31
Kuvio 7. IQ Studio: käsittelemätön ja esikäsitelty spektri naudan- ja hevosenlihalle.....	33
Kuvio 8. IQ Studio: mallin testaus.....	34
Kuvio 9. Specim IQ Studio: sovelluksen testaaminen.....	35
Kuvio 10. IQ-kameran kuvat näytteistä 1.2 ja 2.1.	36

Käytetyt termit ja lyhenteet

Datakuutio	Hyperspektrikuvantamisesta saatava kolmiulotteinen data.
HSI	Hyperspectral imaging, hyperspektrikuvantaminen.
Hyperspektrikamera	Spektrikuvantamislaitte, jolla mitataan tuhansia tai satoja tuhansia spektrejä.
IQ-kamera	Specimin (Spectral Imaging Ltd.) liikuteltava IQ-hyperspektrikamera
RGB-väritila	Valoa lähettävät tai sen väriä tai voimakkuutta mittaavat laitteet käyttävät sitä. Tulee sanoista red, green, blue (punainen, vihreä, sininen).
Spektri	Sähkömagneettisen säteilyn jakautuminen eri lajeihin. Usein esitetään graafisesti sen intensiteetti aallonpituuden funktiona.
Spektrometri	Laite, joka erottaa sähkömagneettisen säteilyn eri aallonpituuksiin.
Spektroskopia	Tutkii, kuinka sähkömagneettinen säteily käyttäytyy tarkasteltavassa kohteessa ja tunnistaa materiaalin niiden erilaisten spektrijälkien perusteella

1 JOHDANTO JA TYÖN TAVOITTEET

Suomessa elintarvikealalla toimivan yrityksen on huolehdittava, että elintarvikkeet ovat turvallisia, niissä olevat tiedot ovat paikkansapitävät ja elintarvikelainsäädäntöä noudatetaan (Ruokavirasto, 2023). Taustalla on Suomen elintarvikelain (297/2021) ja Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 178/2002 elintarvikelainsäädäntöä koskevista yleisistä periaatteista ja vaatimuksista, joiden tarkoituksena on kuluttajien terveyden ja taloudellisten etujen suojeleminen. Tämä luo tiukat vaatimukset elintarviketeollisuuden toiminnalle, jonka vuoksi uusien, nopeiden ja kustannustehokkaiden menetelmien käyttöönotto vaatimusten täyttämiseksi on tärkeää (Sun, 2010, s. 4).

Pääsääntöisesti kuluttajat voivat luottaa elintarvikkeen tuoteselosteeseen sen ostaessaan, mutta tuotantoketjun pidentyessä riskit ruokaväärennökselle kasvavat (Koistinen, 2020, s. 27–31). Vuonna 2013 esiin tullut hevosenlihaskandaali herätti laajaa huomiota ja horjutti kuluttajien luottamusta elintarviketeollisuuteen (Kamruzzaman ym., 2015; Koistinen, 2020, s. 27–31; Kamruzzaman, 2021). Lihatuotteiden monimutkainen rakenne, useat prosessivaiheet ja pitkä toimitusketju altistavat ne ruokaväärennöksille (Jia ym., 2022). Keinoja lihatuotteiden autenttisuuden tutkimiseen on monia, mutta menetelmät ovat usein hitaita ja monivaiheisia (Edwards ym., 2021). Hyperspektrikuvausta sovelletaan lihatuotteiden turvallisuus- ja laatuparametrien nopeaan analysointiin aikaansaamiseksi nykyään laajalti, mutta sen käyttö esimerkiksi ruokaväärennösten paljastamisessa on vielä epäselvää (Jia ym., 2022).

Wise Frami Food on Etelä-Pohjanmaan liiton EAKR:n rahoittama hanke (Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK), i.a.). Wise Frami Food -hankkeen tarkoituksena on digitalisoida Seinäjoen ammattikorkeakoulun Frami Food Lab ja hyödyntää kerättyä dataa julkisesti. Frami Food Lab on syksyllä 2019 SeAMK:lla käyttöönotettu elintarviketeknologian oppimis- ja pilotointiympäristö (Junkkari, 2019). Siellä sekä opiskelijat että paikalliset yritykset pääsevät kokeilemaan ja harjoittamaan erilaisia ruoka-alan teknologioita ja prosesseja. Wise Frami Food -hankkeen kautta korotetaan Etelä-Pohjanmaan elintarvikeketjun digitaalisia valmiuksia hyödyntämällä avoimiin lähdekoodeihin perustuvia sovelluksia testaamalla niitä Frami Food Labissa (Seinäjoen ammattikorkeakoulu, i.a.). Laboratorioympäristössä tehdyt testaukset ja sitä kautta hankittu data jaetaan ruokasektorin toimijoille, jotta nämä voivat hyödyntää niitä omassa toiminnassaan. Jaetun kokemuksen ja tiedon kautta toimijoilla on mahdollisuus parantaa omaa tehokkuuttaan.

Wise Frami Food -hankkeelle on ostettu hyperspektrikamera Specim IQ, jonka valmistaja ja myyjä on Specim (Spectral Imaging Ltd). Hyperspektrikameroissa hyödynnetään jo pitkään tunnettua valon käyttäytymistä eri aineissa, mutta yhdistettynä se teknologian ja tekoälyn (AI) kehittämiseen saadaan aikaiseksi laitteita, jotka ovat yhä useampien saavutettavissa ja monipuolisesti hyödynnettävissä (Sun, 2010, s. 5, 11). Wise Frami Food -hankkeen tavoitteena on saada Specim IQ -kameralla kvalitatiivista ja kvantitatiivista tietoa erilaisista elintarvikkeiden raaka-aineista ja tuotteista hankkeen sidosryhmille hyödynnettäväksi. Hanke toimii tämän insinööriopinnäytetyön toimeksiantajana ja sen tavoitteet ovat:

- IQ-kameran ja siihen liittyvän ohjelmiston käyttöönotto ja tarvittava dokumentointi
- IQ-kameran käyttöohjeen luominen suomeksi
- IQ-kameran testaaminen elintarvikkeväärennöksen tunnistamisessa. Case-tutkimuksena naudanliha.

Kameran käyttöönotto hankkeessa vaatii dokumentoinnin ja lisäksi tarvitaan suomenkieliset käyttöohjeet, jotta opettajat ja opiskelijat voivat käyttää kameraa Frami Food Labissa SeAMK:ssa. Kuvaamisella on tarkoitus testata, voiko kameraa hyödyntää naudan- ja hevosenlihan erottamiseen ruokaväärennöstapauksessa. Kyseisen näkökulma kuvaukselle muodostui, koska vuoden 2013 tapaus on ollut käännteentekevä eurooppalaisen ruokaturvallisuuden näkökulmasta (Euroopan komissio, 2014). Aihe on lisäksi edelleen ajankohtainen, kuten Euroopan unionin helmikuun 2023 koosteraportti esittää (Euroopan komissio, 2023).

Insinööriopiskelijan näkökulmasta aihe on mielenkiintoinen ja haastava, koska se vaatii tutustumista menetelmään, jota opinnoissa ei ole käsitelty. Kirjallisuudesta löytyy kuitenkin vastaavanlaisia tutkimuksia hyperspektrikameroilla (Kamruzzaman ym., 2014; Ayaz ym., 2020; Rady & Adedeji, 2020; Kamruzzaman, 2021), joihin pohjautuen tehtiin kuvantaminen ja datan analysointi tähän opinnäytetyöhön. Tekniikan, tekoälyn ja koneoppimisen kehittymisen ansiosta myös elintarviketeollisuudessa ja -valvonnassa pystytään ottamaan käyttöön menetelmiä, jotka ovat aiemmin olleet liian hitaita tai kömpelöitä laajempaan käyttöön. Elintarviketekniikan opinnoista esimerkiksi kemian, ruokaketjun toiminnan, elintarviketutkimuksen ja lainsäädännön opeista on ollut hyötyä aiheeseen perehtymisessä. Henkilökohtaisesti suurimmat haasteet hyperspektrikuvantamisessa liittyvät kemometrian ja tekoälyn ymmärtämiseen.

Opinnäytetyön luvuissa kaksi ja kolme esitellään hyperspektrikameran toimintaa sekä ruokaväärennösten taustoja. Luku neljä sisältää opinnäytetyön toiminnallisen osuuden, jossa on

esitelty IQ-kameran tekniset tiedot, kerrottu varusteluettelon ja käyttöohjeen luomisesta sekä selostettu kameralla suoritettu kuvantaminen. Luvussa viisi on tehty yhteenveto ja pohdittu kuvauksen mahdollisuuksia ruokaväärennösten paljastamisessa. Työn lopuksi on liitteinä toiminnalliseen osuuteen liittyneet IQ-kameran laiteluettelo ja suomenkieliset käyttöohjeet sekä selvitys kuvantamisessa käytetyistä lihanäytteistä.

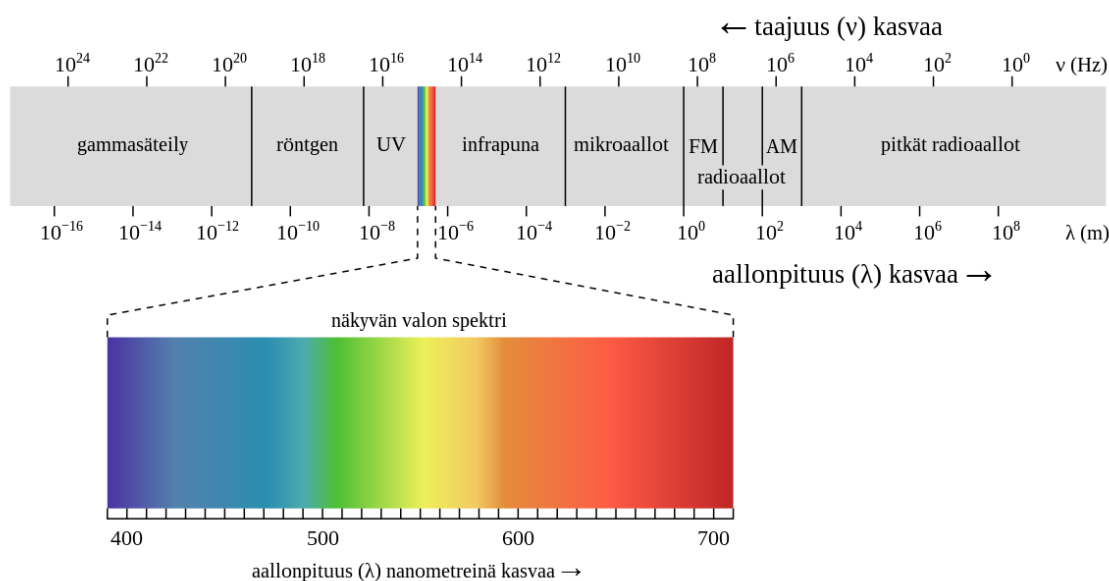
2 HYPERSEKTROSKOPIA

Hyperspektrikuvantaminen (hyperspectral imaging, HSI) yhdistää kameran ja spektrometrin, jolloin saadaan sekä avaruudellinen että spektrillinen tieto tarkasteltavasta kohteesta (Specim, i.a.-a). Tässä luvussa kerrotaan lyhyesti spektrometrian peruskäsitteitä, selostetaan hyperspektrikameran toimintaperiaate sekä esitellään hyperspektrikuvauksen mahdollisuuksia, etuja ja haasteita elintarviketeollisuudessa.

2.1 Spektrometria hyperspektrikuvantamisen perustana

Hyperspektrikuvantaminen perustuu spektroskopiaan, joka tutkii aineen rakennetta sähkömagneettiseen säteilyyn avulla (Opetushallitus, i.a.). Sähkömagneettinen säteily on ilmiö, joka saa aikaan itseään lisääviä aaltoja tyhjiössä tai materiassa (Sun, 2010, s. 14). Se koostuu sähkö- ja magneettikentän komponenteista, jotka värähtelevät vaihe vaiheelta kohtisuorassa toisiaan ja kohtisuorassa energian lisääntymissuuntaan nähden.

Sähkömagneettiseen säteilyyn kuuluvat gamma-, röntgen-, ultravioletti (UV)- ja infrapunasäteily sekä radioaallot (Opetushallitus, i.a.) (kuvio 1.). Näkyvän valon aallonpituus sijoittuu UV- ja infrapunasäteilyn sisälle. Yleisesti spektrometrisissä menetelmissä tutkitaan UV:n, näkyvän valon ja infrapunasäteilyn aallonpituuksia.



Kuvio 1. Sähkömagneettinen säteily (EM_spectrum.svg, 2011).

Aine ja sähkömagneettinen säteily ovat vuorovaikutuksessa keskenään ja spektroskopia tutkii aineen absorptiota ja emissiota (Opetushallitus, i.a.). Absorptio tarkoittaa aineen tai energian sitoutumista, jolloin aineen elektroni tai elektronit virittyvät korkeammille energiatiloille. Emissiossa viritystila puolestaan purkautuu, jolloin aine lähettää energiaa sähkömagneettisena säteilynä.

Spektroskopiaa hyödyntävät menetelmät mahdollistavat biologisen materiaalin yksilöimisen sormenjäljen tavoin (Sun, 2010, s. 12). Tämä tapahtuu analysoimalla sähkömagneettisen säteilyn ja materiaalin vuorovaikutusta fysikaalisia ominaisuuksia mittaamalla, kuten mittaamalla heijastusta, absorptiota ja fluoresenssia. Spektroskopia-analyysissä hyödynnetään sähkömagneettisen säteilyn vuorovaikutusta atomeihin ja molekyyliin, jotta saadaan kvalitatiivista ja kvantitatiivista tietoa sen perusteella onko kyseisen aallonpituusspektrin sisällä absorboitumista tai emittoitumista.

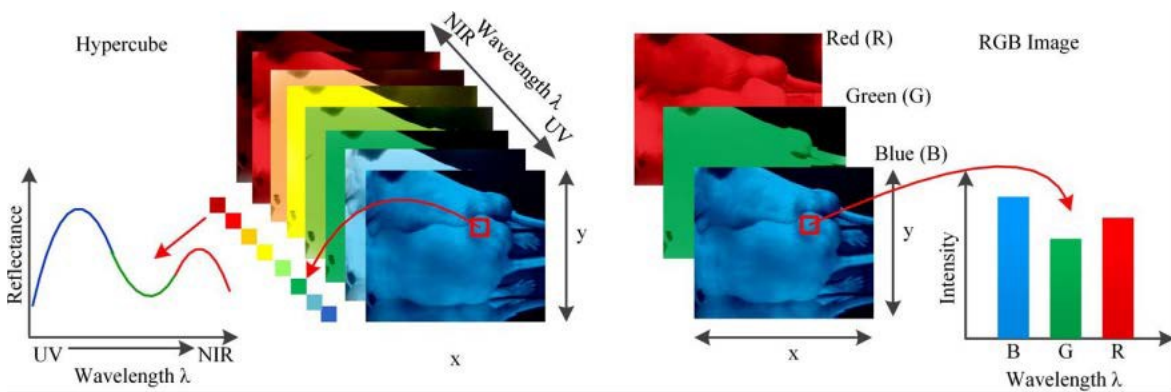
2.2 Hyperspektrikameran toiminta

Hyperspektrikuvaaminen mahdollistaa kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen arvioinnin, jolla pystytään arvioimaan aineen useita osa-alueita samanaikaisesti (Sun, 2010, s. 8; Kang ym., 2022). Hyperspektrikuvauksesta saatavaa tietoa voidaan hyödyntää laajasti ja sitä on hyödynnetty menestyksekkäästi kaukokartoituksessa, elintarviketeollisuudessa, maataloudessa, lääketieteessä ja rikostutkinnoissa (Odzemir & Polat, 2020). Tässä opinnäytetyössä on perehdytty menetelmään elintarvikkeiden näkökulmasta.

2.2.1 Hyperspektrikuvantaminen

Hyperspektrikuvantaminen yhdistää tavallisen RGB-kuvauksen ja spektroskopian (Specim, i.a.-a.). Värikuvaus perustuu näkyvän valon aallonpituuteen, jonka ihmissilmä erottaa. Tämä aallonpituus on noin 380–700 nm. Ihmisen silmän verkkokalvolla on kolmenlaisia tappisoluja, jotka erottavat punaisen, vihreän ja sinisen aallonpituuden erilaisten opsiini-proteiinien avulla (Forrester ym., 2021, s. 278). Pienin energia on punaisella aallonpituudella ja vastaavasti suurin violetilla (Specim, i.a.-a.). Kun valo kohtaa aineen, tapahtuu heijastumista, taittumista, absorboitumista ja emittoitumista. Se, miten valo käyttäytyy rajapinnassa, riippuu valon aallonpituudesta ja aineen koostumuksesta.

Specimin (i.a.-a) mukaan digitaalista valokuvaa otettaessa kuva kohteesta muodostuu kolmesta aallonpituusalueesta: punaisesta, vihreästä ja sinisestä (red, green, blue). Tällöin kohteesta saadaan ikään kuin kolmesivuinen lehtiö. Hyperspektrikuvassa puolestaan aallonpituusalueita voi olla 220, jolloin kohteesta saadaan 220-sivuinen kirja. Hyperspektrikuva tallentaa satojen eri kaistojen heijastukset sähkömagneettisesta taajuudesta (Odzemir & Polat, 2020). Ihmissilmä näkee sähkömagneettisen säteilyn heijastukset vain näkyvän valon alueella, mutta hyperspektrinen kuva sisältää heijastuksia muun muassa infrapunaa (infrared, IR) ja lähi-infrapunaa (near-infrared, NIR) alueella. Kuviossa 2 on Odzemirin ja Polatin (2020) esittämänä vertailu hyperspektri- ja RGB-kuvasta. HSI:sta saadaan kolmiulotteinen hyperkuutio (x, y, λ), jossa x ja y ilmaisevat paikkaa ja λ spektraalista ulottuvuutta (Kamruzzaman, 2021; Sun, 2010, s.131; Specim, i.a.-a.; Zhu ym., 2020). Zhun ym. (2020) mukaan näin päästään lähemmäksi tutkittavan kohteen todellisia ominaisuuksia verrattuna muihin optisiin kuvausmenetelmiin.



Kuvio 2. Hyperspektrikuvan ja RGB-kuvan vertailu (Odzemir & Polat, 2020).

Zhun ym. (2020) mukaan hyperspektrikuvantaminen on jaettavissa heijastus- (reflecting), fluoresenssi- ja läpäisykuvantamiseen (transmission), joista heijastuskuvantaminen on heidän mukaansa yleisin menetelmä. Sunin (2010, s. 131–132) mukaan hyperspektrikuvaus voidaan suorittaa neljällä eri tavalla: pisteskannauksena, linjaskannauksena, alueskannauksena ja kertaskannauksena. Pisteskannauksessa (point scanning, myös whiskbroom method) yksittäinen piste skannataan x - ja y -akselin mukaisesti joko liikuttamalla näytettä tai tunnistinta. Linjaskannaus (line scanning, myös pushbroom method) on laajempi kuin pisteskannaus, koska se antaa samanaikaisesti tietoa kapean leikkeen (slit) osalta. Tätä kuvaustekniikkaa voidaan hyödyntää linjastoissa, jolloin saadaan havainnoitavan kohteen koko datakuutio, kun kohde liikkuu x -akselin mukaisesti. Piste- ja linjaskannaus ovat avaruudellisia

skannausmenetelmiä. Alue-skannaus (area scanning, myös band sequential method) puolestaan on spektrillinen menetelmä, jossa saadaan yksikaistainen 2D-harmaasävykuva, jossa on kerralla täydelliset paikkatiedot. Kertakuvauksessa tallennetaan yhdellä kertaa avaruudellinen ja spektrinen tieto, mutta tätä kuvausmenetelmää vielä kehitetään eikä siitä ole käytössä kuin muutamia sovelluksia.

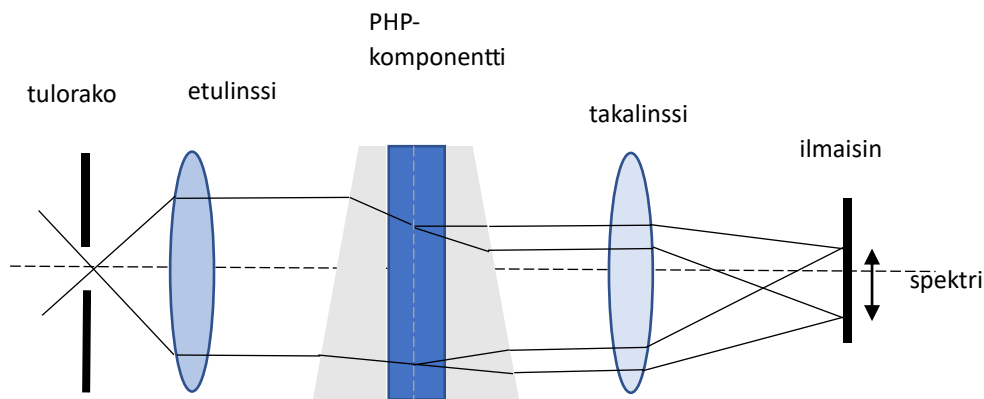
Spektrialue (spectral range) kuvaa hyperspektrisen kuvantamisjärjestelmän kattamat aallonpituudet (Sun, 2010, s. 18). Laite voi tallentaa ultravioletti-, näkyvän-, lähi-infrapuna- tai infrapuna-alueen aallonpituudet. Elintarvikeanalyseissä käytetään yleisesti näkyvän ja lähi-infrapuna-alueen aallonpituuksia, eli 380–800 nm tai 400–1000 nm, mutta saatavilla on 900–1700 nm saakka, mikäli kyseessä on haasteellisemmat kuvantamiset. Spektresoluutio (spectral resolution) kuvaa kuvantamisjärjestelmän pienintä mahdollista erotuskykyä kuvan kahden erillisen pisteen havaitsemiselle, joka samalla määrittää laitteen kapeinta aallonpituusalueita, jonka se pystyy erottamaan.

2.2.2 Hyperspektrikuvauksen tarvittava välineistö

Hyperspektrikuvaukseen tarvitaan tyypillisesti yksikkö, jossa on RGB-kamera, spektrografi ja ilmaisin, valaistus ja tietokone. Hyperspektrikuvausta voidaan elintarviketeollisuudessa tehdä linjastolla reaaliaikaisesti, jolloin yleensä käytetään HSI-kameraa, valonlähdettä sekä tietokoneohjelmistoa ja -laitteistoa saadun datan analysointiin (Zhu ym., 2020). Tätä nykyä on saatavilla myös kädessä pidettäviä HSI-kameroita, kuten Specim IQ. Tällöin käytetään liikutettavaa HSI-kameraa ja siirrettävää valonlähdettä riippuen kuvataanko ulko- vai sisätiloissa (Specim, i.a.-b.). Kuvantamisesta saatu data siirretään kamerasta kuvauksen jälkeen muistikortin tai USB-kaapelin avulla tietokoneelle.

HSI-kamerassa on sisällä aallonpituuden hajottamislaitte ja ilmaisin (Sun, 2010, s. 133). Aallonpituuden hajottaja on hyperspektrikuvantamisen ydin ja ne voivat olla optisia tai elektrooptisia laitteita. Sunin (2010, s.139–152) mukaan niitä ovat kuvaspektrografi, filttipyörä, akusto-optiset suodattimet, nestekristallisuodattimet, Fourier-muunnos ja yksittäiskuvantajat. Tässä opinnäytetyössä käsitellään kuvaspektrografi, koska tämä on käytössä Specimin IQ-kamerassa.

Kuvaspektrografi on optinen laite, joka pystyy levittämään kohteesta tulevan aallonpituuskaitan eri aallonpituusalueisiin (Sun, 2010, s.139). Sen toimintaperiaate on esitetty kuviossa 3. Kuvaspektrografia voidaan pitää perinteisen spektrografin parannettuna versiona, koska sillä saadaan sekä avaruudellinen että spektrinen tieto samanaikaisesti. Tätä tekniikkaa hyödynnetään linjaskannauksessa ja pushbroom-menetelmässä. Useimmat nykyaikaiset kuvantamisspektrografit perustuvat diffraktiohiloihin ja erityisesti transmissio- ja heijastushiloihin.



Kuvaspektrografi (imaging spectrograph), PHP = prisma-hila-prisma

Kuvio 3. Kuvaspektrografi (soveltaen Sun, 2010, s. 140).

Valonlähteiden valinta ja valaistuslaitteiston suunnittelu ovat ratkaisevia minkä tahansa kuvantamisjärjestelmän luotettavuudelle ja luotettavuudelle, koska valo toimii informaation tuojana näköaistiin perustuvissa tutkimuslaitteissa (Sun, 2010, s. 133). Valonlähteenä HSI-kuvantamisessa voi olla halogeeni, kylmähalogeeni, LED ja jatkuvatoiminen laser (Specim, 2022). Halogeenilamput ovat yleisimpiä valonlähteitä näkyvän ja lähi-infrapuna-alueen spektrin kuvaamisessa, ja niitä onkin saatavana useita erilaisia (Sun, 2010, s.133; Specim, 2022). Specimin (2022) mukaan halogeenivalaistuksen etuja ovat niiden edullisuus, jatkuva spektri 400–2500 nm:n välillä ja hyvä infrapunasäteily. Heikkoutena ovat polttimoiden lyhyt käyttöikä, lämmöntuotto ja vaikeus valon kohdistamisessa. Halogeeni ei myöskään ole paras, mikäli tarve on mitata värejä.

Elintarviketeollisuudessa HSI-kuvaus tapahtuu sisätiloissa, mutta liikuteltavaa kameraa on mahdollista käyttää myös ulkona auringonvalossa (Specim, 2022). Auringonvalossa tapahtuvaa kuvausta hyödynnetäänkin paljon maatalouden, ympäristön arvioinnin ja

kaivosteollisuuden puolella. Vaikka auringonvalo onkin homogeeninen ja suhteellisen tasainen 400–1000 nm:n alueella, mahdollistaa se kuvauksen vain tietynä aikana päivästä. Lisäksi pilvisyys ja ilmakehä vaikuttavat auringon säteilyyn.

Edwardsin ym. (2021) mukaan jokaiselle kuvassa kuvatulle pikselille muodostuu oma spektrinsä ja yksittäinen spektri voi toimia kemiallisena sormenjälkenä, joka mahdollistaa kemiallisten aineosien tunnistamisen näytteestä. HSI:llä voidaan visualisoida näytteen eri kemiallisten komponenttien jakautumista, mikä on selvä etu perinteiseen NIR-spektroskopiaan verrattuna. Tämä mahdollistaa heterogeenisten näytteiden analysoinnin ja näytteen muodostavien kemiallisten komponenttien tunnistamisen

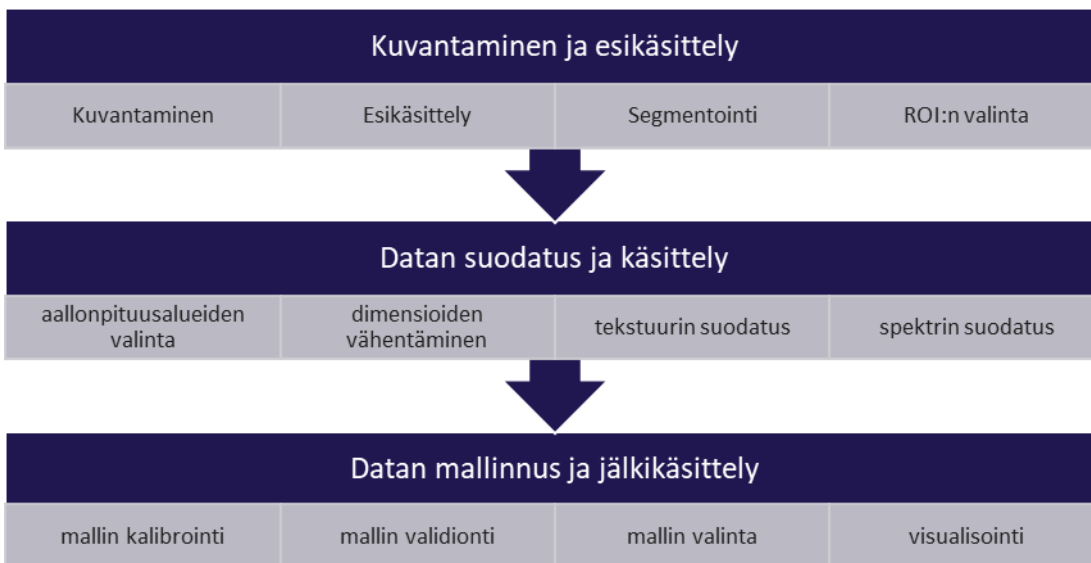
HSI-kameralla saatavaa kuvaa kutsutaan datakuutioksi, koska eri aallonpituuksilta saadut tiedot kasataan päällekkäin (Specim, i.a.-c.). HSI:llä saatuja datakuutioita voidaan tulkita kohteen heijastus-, transmissio- ja vuorovaikutustilaa (Özdoğan ym., 2021). Tarkastelemalla heijastustilaa voidaan tehdä päätelmiä ulkoisista ominaisuuksista, kuten koosta, pinnan tekstuurista ja fyysisistä puutteista. Transmissiotilaa käytetään koostumuksen tai sisäisten puutteiden arviointiin. Lisäksi voidaan hyödyntää vuorovaikutustilaa, jotta saadaan tarkempaa analyysiä elintarvikkeesta. Sopiva tulkintatapa valitaan elintarvikkeiden käyttötarkoituksen, ominaisuuksien ja tarpeen perusteella.

HSI-kamera tallentaa kolme erilaista datakuutiota: raaka-datakuution, tumman kehysten (dark frame) ja valkoreferenssin (white reference) (Specim, i.a.-c.). Näitä tarvitaan kameran optiikasta aiheutuneen vääristymien poistamiseksi lopullisesta kuvasta ja tietojen vertaamisen mahdollistamiseksi. Eri ympäristössä otetut kuvat ovat tällöin paremmin vertailtavissa keskenään. Raaka-datakuutio sisältää valon intensiteetin mitatussa kohteessa kaikilla kameran havaitsemilla aallonpituusalueilla. HSI-kamera, kuten muutkin digikamerat, vaativat tumman kehysten, koska kameran sensori ja tekniikka aiheuttavat kohinaa ja tumma kehys vähentää tätä. Valkoreferenssitaulu on materiaalia, jonka heijastus on lähes 100 %. Kun valkoreferenssi mitataan samassa valaistuksessa ja etäisyydellä kuin tutkittava aine, sen signaalin voidaan olettaa sisältävän vain valaistuksen signaalin.

2.2.3 Hyperspektrikuvien analysointi

Hyperspektrikuvien analysoinnissa käytetään hyödyksi kemometriaa (eräs kemian tieteenhaara, jossa hyödynnetään tilastollisia ja matemaattisia menetelmiä) ja tietokoneteknologiaa

(Zhu ym., 2020). Analysoinnin tärkeimpinä vaiheina ovat datan esikäsittely, muuttujien valinta ja mallinnus, joissa kaikissa hyödynnetään prosessointialgoritmeja (Ozdemir & Polat, 2020; Zhu ym., 2020). Algoritmien valinnalla on tärkeä merkitys tarkkuuteen ja erilaisten muuttujien ennustettavuuteen (Zhu ym., 2020). Kuviossa 4 on esitelty HSI:n kolme päävaiheita datan käsittelyn näkökulmasta.



Kuvio 4. Hyperspektrikuvien analysointi (soveltaen Özdoğan ym., 2021).

Datan esikäsittelyn tarkoituksena on esimerkiksi kohinan (noise) poistaminen spektrisignaalin vahvistamiseksi (Özdoğan ym., 2021). Yleisesti käytettyjä menetelmiä ovat multiplicate scatter correction ja standardimuotoinen normaalijakauma (Hassoun ym., 2020; Özdoğan ym., 2021). Hyperspektrikuvauksessa tarkasteltavassa näytteessä on päällekkäisyyksiä kemiallisten aineiden signaaleissa, jonka vuoksi täytyy valita muuttuja huomioiden sopivat aallonpituuudet ja näin luomaan mallin ennustettavuutta (Özdoğan ym., 2021).

Ruokaväärennöksistä puhuttaessa aitous voidaan määrittää luokittelemalla (Hassoun ym., 2020). Luokitukseseen on kaksi päälähestymistapaa: luokka- ja erottelumallinnus. Luokkamallinnuksessa keskitytään mallintamaan saman luokan näytteiden samankaltaisuuksia, mutta erottelumallinnuksessa keskitytään löytämään eroavaisuuksia ennalta määriteltujen luokkien välillä. Tieteellisessä kirjallisuudessa käytetyimpiä menetelmiä ovat esimerkiksi pienimmän neliösumman menetelmä (partial least square (PLS) analysis), samoin vektorit ja

keinotekoiset neuroverkot. Ozdemirin ja Polatin (2020) mukaan keinotekoiset neuroverkot ovat tärkeässä roolissa HSI-analysoinnissa. Spektrillisten ja spatiaalisten paikkatietojen yhdistäminen edesauttaa datan analysointia. Koska HSI-kuvasta saatavat datapisteet eivät asetu lineaarisesti, ei lineaarinen luokittelukaan onnistu. Hyperspektrikuvien ulottuvuuden vuoksi on haastava luoda tarvittavia harjoitusesimerkkejä tilastolliseen luokitteluun. Tämän vuoksi hyperspektrikuvan kokoa rajoitetaan valitsemalla data vain tärkeiltä kaistoilta käyttäen pääkomponenttianalyysiä.

Özdoğan ym. (2021) mukaan HSI:tä käytettäessä ruoan aistinvaraiseen arviointiin käytetään yleisesti monimuuttuja-analyysinä lineaarista regressioalgoritmia (PLSR ja MLR), mutta ei-lineaarinen analyysi parantaa aistinvaraisten ominaisuuksien ennustamista. Regressiomalleja käytetään elintarvikkeiden koostumuksen, värin, maun ja tuoreuden määrittämiseen, kun taas luokitusmalleja käytetään niiden virheiden ja kypsyyden havaitsemiseen, joilla tarkimmat tulokset saadaan. Lisäksi yhdistämällä algoritmit ja spektri- ja paikkatiedot antavat tarkempia tuloksia aistiominaisuuksien arvioinnissa.

2.3 Hyperspektrikuvantaminen elintarviketeollisuudessa

Hyperspektrikuvauksesta saatavaa tietoa voidaan hyödyntää laajasti ja sitä on käytetty menestyksekkäästi kaukokartoituksessa, elintarviketeollisuudessa, maataloudessa, lääketieteessä ja rikostutkinnoissa (Odzemir & Polat, 2020). Tässä opinnäytetyössä on perehdytty HSI:n elintarvikkeiden näkökulmasta.

2.3.1 HSI:n hyödyntäminen

Özdoğan ym. (2021) mukaan elintarvikkeiden aistinvaraisten ominaisuuksien arviointi on yksi HSI-sovellusten pääalueista. Elintarvikkeen ulkonäön, kuten värin, muodon ja fyysisten vikojen sekä rakenneominaisuuksien (kovuus, pureskeltavuus) määrittäminen ovat olennaisia, jotta saadaan tuotettua mahdollisimman laadukkaita tuotteita kuluttajille. Lisäksi aistinvaraisten ominaisuuksien muuttuminen prosessoinnin aikana on tärkeä osa arvioitaessa elintarvikkeiden laatua ja tähän HSI:tä pystytään käyttämään yhtenä arviointimenetelmänä.

Taulukossa 1 on koottuna Özdoğan ym. (2021) kokoamia tutkimuksia siitä, millaisia ominaisuuksia hyperspektrikuvantamisella on tutkittu aallonpituusalueella 400–1000 nm.

Kamzuramanin (2015) mukaan aallonpituusalue 400–1000 nm on teollisuudessa käytetty, koska se on edullisempi ja paremmin saatavilla verrattuna 900–1700 nm mittaaviin laitteisiin. Aallonpituusalueella 900–2500 nm pystytään tutkimaan pitkälle samoja ominaisuuksia, esimerkiksi flavorin tutkiminen on artikkelin mukaan tapahtunut pääosin yli 1000 nm alueella.

Taulukko 1. HSI-kuvantamisella selvitettäviä ominaisuuksia elintarvikkeissa (sovelten Özdoğan ym., 2021).

Ruoka-tyyppi	Tuote	Tarkasteltava ominaisuus	Ruoka-tyyppi	Tuote	Tarkasteltava ominaisuus
liha	nauta	marmoroituminen, väri	kasvikset, marjat, hedelmät	bananaani	kiinteys, väri
	kala	kimmoisuus, kovuus, kimmoisuus, vedensidontakyky (WHC), tuoreus		omena	kiinteys, tummentumat, makeus
	sika	väri, vedensidontakyky, tuoreus		persikka	kylmän aiheuttamat vauriot
	sianlihamaakara	väri		mustikka	kiinteys, kypsyys (ulkoinen)
	kana	kimmoisuus, väri		mansikka	kypsyys (ulkoinen)
	kananmuna	tuoreus		päärynä	kiinteys, kypsyys (ulkoinen)
				tomaatti	väri, kypsyys

HSI-kuvantamista voidaan hyödyntää myös vierasesineiden tunnistamiseen tilanteissa, joissa raaka-aineen ja kontaminaation välinen väriero ei ole värin perusteella havaittavissa (Specim, i.a.-d, 2018, 2020). Tällaisia ovat esimerkiksi luun palaset, muovi ja puu. Lisäksi HSI-

kuvantamisella voidaan havaita, mikäli tuotteessa on parasiittejä, hometta tai joukkoon on päässyt hyönteisiä (Specim, i.a.-d, 2018)

Lihateollisuuden näkökulmasta HSI mahdollistaa useita hyödyntämismahdollisuuksia (Jia ym., 2022). HSI:tä voidaan käyttää lihan turvallisuuden ja laadun määrittämiseen, kuten kuviossa 5 on esitelty. Jian ym. (2022) mukaan laadun määrittämiseen liittyvät esimerkiksi ravintoarvojen määrittäminen, marmoroituminen ja lihan väri. Mikrobiologiseen turvallisuuteen liittyvät kokonaispesäkemäärän määrittäminen sekä biogeenisten amiinien mittaus.



Kuvio 5. HSI:n hyödyntäminen lihateollisuudessa (soveltaen Jia ym., 2022).

2.3.2 HSI:n hyödyt ja haasteet

Hyperspektrikuvantamista voidaan hyödyntää laajasti koko ruokaketjussa ja menetelmään liittyy useita etuja, mutta myös haasteita (Kang ym., 2022). Näitä on koottu taulukkoon 2. HSI:n etuja ovat näytteenoton osalta, ettei se vaadi suuria valmisteluja eikä näytteeseen tarvitse kajota, jonka vuoksi näyte on käyttökelpoinen kuvauksen jälkeenkin (Sun, 2010, s. 3, 8; Edwards, 2021). Kuvantamisessa ei tarvita kemikaaleja, jotka voisivat olla haitallisia

terveydelle tai ympäristölle (Sun, 2020, s. 8). HSI on menetelmänä alkuinvestoinnin jälkeen edullinen toteuttaa, koska sillä säästetään työvoimakustannuksia ja aikaa, eikä siitä koidu näytteenottokuluja esimerkiksi laitteistosta, reagensseista eikä näytteiden hävittämisestä.

Hyperspektrikuvantaminen mahdollistaa eri biokemiallisten aineosien visualisoinnin näytteessä (Sun, 2010, s. 8). Kun kalibrointimalli tutkittavalle ominaisuudelle on rakennettu ja validoitu, HSI:stä saadaan yksinkertainen analyysimenetelmä. Tulokset saadaan HSI:llä nopeasti ja sillä pystytään havaitsemaan useita kemiallisia koostumuksia samanaikaisesti. Edwardsin ym. (2021) mukaan HSI:n etuna on mahdollisuus käyttää sitä teollisuudessa tutkittavan materiaalin liikkuessa liukuhihnalla.

Hyperspektrikuvantamisessa haasteena on, että kuvat sisältävät suuren määrän dataa, jossa on myös turhaa tietoa (Özdoğan ym., 2021). HSI-kamerat ovat myös kalliita. Kuvantaminen ja analysointi vie kuvien suuren datamäärän takia aikaa, joten HSI:tä pystytään toistaiseksi käyttämään hyvin rajoitetusti esimerkiksi online-järjestelmissä automaattisessa laadunarvioinnissa (Sun, 2010, s. 9). Kang ym. (2022) puolestaan nostavat HSI:n haasteeksi kuvantamisprosessin alttiuden ulkoisille vaikutuksille, kuten erilaiset kuvaustavat ja ilmaisimet, vaihtelu valotusajassa sekä kuvaajasta riippuva vaihtelu. Nämä tekijät häiritsevät spektrin ominaisuuksia sekä vääristävät spatiaalista tietoa.

Taulukko 2. Hyperspektrikuvantamisen etuja ja haittoja (mukailtu Edwards ym., 2021).

Hyperspektrikuvantaminen	
Edut	Haitat
Ei-destruktiivinen menetelmä, joka ei vaadi näytteen ennakkovalmisteluja	HSI-laitteet kalliita, vaativat suurta laitteistonopeutta, usein monimutkaisia
Saadaan spektrillinen ja spatiaalinen data samalla kuvauksella	Tietoaineistojen suuren koon vuoksi tarvitaan huomattavia määriä tallennustilaa
Tarkka analyysi useista komponenteista samanaikaisesti	Kemometria on olennaista tiedon analysoinnissa → tietojenkäsittely ja mallin kehittäminen on aikaa vievää

Kamruzzamanin (2021) mukaan HSI on epäsuora menetelmä, joka vaatii ns. märkäkemian analyysejä. Analysointi edellyttää monimutkaista monimuuttajakalibrointia, joissa on tiedettävä millaista monimuuttujadataa kannattaa kyseisessä sovelluksessa käyttää. Kamruzzamanin (2021) myös muistuttaa, että kalibrointisiirrot eri laitteiden välillä ovat myös erittäin kriittisiä HSI-sovellusten kannalta. Samaa kalibrointia ei välttämättä voida tehdä eri laitteiden välillä, vaan tarvitaan kalibrointisiirto ja sen suorittaminen tilastollisesti täsmällisesti ja tarkasti on haastavaa. HSI mittaa samanaikaisesti satoja muuttujia, mutta kaikki ne eivät sisällä olennaista tietoa. Tämä epäolennainen, mutta korreloiva tieto saattaa johtaa epävakaaseen malliin, jonka vuoksi tarkoituksenmukainen muuttujien valinta on kriittisen tärkeää. Sopivien muuttujien valinnalla parannetaan mallin tulkittavuutta ja ennustettavuutta sekä nopeutetaan ennusteen tekemistä. Elintarvikkeiden aistinvaraisten laatuominaisuuksien arvioinnissa puolestaan Özdoğan ym. (2021) mukaan HSI perustuu pääasiassa kemometriseen analyysiin, joka vaatii molekyyლისidosten ja aallonpituusalueiden välisen suhteen ymmärtämistä.

Kun HSI:llä analysoidaan lihaa, Wang ja Peng (2020) nostavat menetelmän haasteeksi suuren datan määrän, laitteiden kalliin hinnan sekä kalibrointimenetelmien työläyden, oli kysymys joko lihan kvantitatiivisesta tai kvalitatiivisesta tutkimisesta. HSI:llä saadaan avaruudellinen ja spektrillinen tieto samanaikaisesti, jonka vuoksi datan määrä on valtava verrattuna menetelmään, jossa tutkitaan yhtä ominaisuutta kerralla. Raakadatan määrä hankaloittaa HSI:n käyttöä reaaliaikaisessa käytössä lihateollisuudessa kuten muillakin aloilla. Lisäksi HSI:llä pystytään saamaan dataa vain pinnalta, jonka vuoksi se ei sovellu näytteisiin, jotka ovat kovin homogeenisiä eri osissa näytettä (Zhu ym., 2021).

3 RUOKAVÄÄRENNÖKSET LIHA-ALALLA

Ruokaväärennöksiä on tehty vuosisatojen ajan (Koistinen, 2020, s. 15–17). Viini, mausteet ja leipä olivat ensimmäisiä elintarvikkeita, joita esimerkiksi laimennettiin tai niihin lisättiin jopa myrkyllisiä aineita (mts. 23). 1800-luvulta asti väärennetyt rasvat, hunaja, alkoholi, liha ja kahvi ovat vielä nykypäivänäkin ruokahuijausten kohteena. Teknologian kehittyminen 1800-luvulla mahdollisti ensimmäiset mikroskooppianalyysit, ja vuosisadan lopulla lihantarkastuksen kehittyminen on ollut elintarvikevalvonnan pohjana.

3.1 Mikä on ruokaväärennös?

EU:n lainsäädännössä ei ole elintarvikeketjussa määritelmää ruokaväärennökselle (Euroopan komission, i.a.). Neljän pääkriteerin täytyessä voidaan epäillä ruokaväärennöstä. Nämä kriteerit ovat:

- vähintään yhden EU:n säännösten vastaisesti toimiminen
- asiakkaan harhaanjohtaminen
- aiheettoman edun saaminen
- tahallisuus.

Ruokaväärennösepäilyssä rikotaan Euroopan unionin asetuksessa (EU) 2017/625 1. artiklan 2. kohdassa tarkoitetun EU:n maatalous- ja elintarvikeketjulainsäädännön yhtä tai useampaa sääntöä (Euroopan komissio, i.a.). Asiakkaan harhaanjohtamisella tarkoitetaan asiakkaiden tai kuluttajien huijaamista esimerkiksi pakkausmerkintöjen muuttamalla. Tästä voi seurata myös kansanterveydellinen riski allergeenien muodossa. Ruokaväärennösepäilyyn liittyy aina tarkoituksellinen taloudellisen edun tavoittelu ja tahallisuus. Esimerkiksi kalliimman ainesosan korvaaminen edullisemmalla tekee teosta tahallisen ja antaa tekijälleen paremman tuoton.

Ruokaväärennöksiä on useita erilaisia. Kyseessä voi olla laimentaminen, korvaaminen, salaaminen, väärinmerkitseminen, tuotteen parantelu ja väärentäminen (Euroopan komissio, 2020). Lisäksi ruokaväärennöksiin kuuluu harmaan talouden tuotanto. Ayazin ym. (2020) mukaan ruokaväärennöksistä kalliimman ainesosan korvaaminen on yleisintä, koska siitä saadaan suoraan taloudellista hyötyä. Yleisimmin ruokaväärennökset koskevat oliiviöljyä, maitoa, hunajaa, sahramia, appelsiini- ja omenamehua, viiniä, vaniljaa ja kalaa (Euroopan komissio, 2020). Ruokaväärennösten laajuudesta kertoo se, että EU julkaisee kuukausittain

raportin, johon on koottu yhden kuukauden ajalta kaikki esiin tulleet ruokaväärennökset. Helmikuussa 2023 raportin mukaan esimerkiksi EU:n alueella oli takavarikoitu kuusi tonnia Paraguaysta tuotua hevosenlihaa, joka oli merkitty naudanlihaksi (Euroopan komissio, 2023).

Ruokaväärennösten laajuudesta voidaan esittää vain arvioida, mutta pidentyneet ruokaketjut ja järjestäytyneen rikollisuuden soluttautuminen niihin ovat useiden asiantuntijoiden mielestä lisänneet elintarvikepetoksia (Koistinen, 2020, s. 33–35). Väärentäminen voi tapahtua missä tahansa elintarvikeketjun vaiheessa (Euroopan unioni, i.a.). Elintarvikepetosten aiheuttamaa taloudellista vaikutusta on tarkalleen mahdotonta arvioida, mutta EU:n alueella siitä epäillään koituvan 8–12 miljardin euron kustannukset (Ruokavirasto, 2022). Suomessa tulli, Ruokavirasto ja kuntien elintarvikevalvonta pyrkivät yhteisvoimin paljastamaan elintarvikepetokset.

Vuonna 2013 paljastui hevosenlihaskandaali Iso-Britanniassa ja Irlannissa (Kamruzzaman ym., 2015; Koistinen, 2020, s. 27–31; Kamruzzaman, 2021). Pelkästään naudanlihaksi merkityssä lihasta löytyi hevosen ja sian lihaa. Ruokaväärennöksen tarkoituksena oli saada taloudellista hyötyä lisäämällä edullisempaa hevosen lihaa naudan lihan joukkoon. Tämä aiheutti yli kymmenen miljoonan naudanlihapihvin ja muun naudanlihatuotteen takaisin vetoja. Vaikka hevosen liha on ihmisravinnoksi sopivaa, voi sille olla allerginen tai hevosen syöminen ei ole uskonnollisista tai eettisistä syistä sopivaa. Lisäksi laaja ruokahuijaus heikentää kuluttajan luottamusta elintarvikkeisiin.

3.2 Ruokaväärennökset Suomessa

Suomessa Ruokavirasto ohjaa ja kehittää elintarvikevalvontaa (Ruokavirasto, 2022). Toimivaltainen viranomaisen valvoo maahantuotavien elintarvikkeiden tarkoituksenmukaisuutta ja turvallisuutta jatkuvasti muun elintarvikevalvonnan ohessa kaikissa niiden elinkaaren vaiheissa. Elintarviketeollisuusliitto (2020) myös ohjaa jäsenyrityksiään epäillessään ruokaväärennöstapauksen. Vaikka Suomessa elintarviketurvallisuus on hyvällä tasolla, on täälläkin mahdollista joutua ruokahuijauksen uhriksi. Vuoden 2021 lopussa tuomittiin eteläpohjalainen yrittäjä ja hänen työntekijänsä ehdolliseen vankeuteen, koska olivat myyneet ulkomaista saksanhirveä suomalaisena hirvenä, porona ja peurana (Niemi, 2021).

Joensuu ym. (2022) tutkivat Suomessa vuosina 2008–2019 esiin tulleita 127 ruokaväärennösepäilyä. Epäilyistä 37,8 % koski lihaa tai lihatuotteita ja ne aiheuttivat puolet terveystarpeista. Joensuun ym. (2022) mukaan, 51,2 % ruokaväärennösepäilyistä oli havaittu

elintarvikevalvonnan tarkastuksissa, joka nostaa esiin paikan päällä tehtävien tarkastusten merkityksen.

3.3 Hyperspektrikuvantaminen ruokaväärennösten paljastamisessa

Burnsin ym. (2020, s. 74–78) mukaan analyttisiä ruoan aitouden varmistamismenetelmiä on yli 150. Ruoan alkuperän ja autenttisuuden todentamiseen käytetään kemiallisia, fysikaalisia, proteomiimisiä eli proteiinien rakenteen analysointia sekä DNA-tutkimuksia. Hyperspektrikuvantaminen on fysikaalinen tutkimustapa. Edwardsin ym. (2021) mukaan lihantunnistus ruokaväärennöstudkimuksissa voidaan jakaa destruktiivisiin ja ei-destruktiivisiin menetelmiin. HSI on ei-destruktiivinen menetelmä. Hassoun ym. (2020) mukaan eläinperäisten näytteiden tunnistamisessa on perinteisesti käytetty monenlaisia tarkoin kohdennettuja lähestymistapoja, kuten kemiallisia, kromatografisia, molekyyli- ja proteiinipohjaisia tekniikoita. Perinteiset menetelmät ovat tarkkoja, luotettavia ja hyvin valikoitavissa tarpeen mukaan, mutta niissä kajoetaan näytteeseen. Lisäksi ne ovat aikaa vieviä, koska näytteenvalmistukseen sekä proteiinin ja rasvan uuttoon tarvitaan useita vaiheita ja ne vaativat aina laboratorioympäristön toteuttamiseen. Ruokaväärennösepäilyissä usein tarvittaisiin tuloksia nopeasti, jonka vuoksi paikan päällä tapahtuva testaaminen olisi ensiarvoisen tärkeää.

Jauhetun lihan väärentämisen havaitseminen ilman monimutkaisia tutkimusmenetelmiä on haasteellista, koska jauhaminen rikkoo lihan morfologisen rakenteen ja väärentämiseen käytetyt aineet ovat usein samankaltaisia kuin varsinainen aine (Kamruzzaman, 2021). HSI-prosessoinnissa tekoälyn ja koneoppimisen avulla mahdollistaa ruokaväärennösten paljastamisen myös jauhetusta lihasta. Näin saadaan nopeammin ja tehokkaammin tietoa lihan pH:sta ja vedensidontakyvystä verrattuna laboratorioissa suoritettaviin mittauksiin. HSI:n etuna esimerkiksi NIR-määrittelyyn on, että sillä pystytään tarkastelemaan laajempaa näytettä (Jia ym., 2022). Yleisestikin spektroskopiaan perustuvat menetelmät ovat lisääntyneet tutkimusten aiheena viime vuosina kuten Hassoun ym. (2020) tuovat esille. Heidän mukaansa spektroskopiamenetelmät ovat viime vuosina osoittautuneet korvaamattomiksi työvälineiksi, joilla voidaan päihittää suurin osa perinteisiin tutkimuksiin liittyvistä rajoituksista.

4 HYPERSPEKTRIKAMERAN KÄYTTÖNOTTO JA TESTAUS

Tässä luvussa esitellään Wise Frami Food -hankkeen ostama Specim IQ -kamera. Opinnäytetyön toiminnalliseen osuuteen liittyy hyperspektrikameran käyttöönotto, varusteluettelon ja käyttöohjeen tekeminen sekä kuvaamisen testaaminen.

4.1 IQ-kameran esittely

Specim IQ -kamera (myöhemmin IQ-kamera) on suomalaisen Specim Spectral Imaging Ltd:n (myöhemmin Specim) valmistama liikuteltava hyperspektrikamera, jolla pystytään kuvantamaan monia materiaaleja muutamassa sekunnissa (Specim, i.a.-b). IQ-kameran paino on 1,3 kg ja sen fyysiset mitat ovat 207 x 91 x 74 mm. Kamerassa on RGB- ja spektrikamera aallonpituusalueelle 400–1000 nm. IQ-kameran käyttölämpötila on +5°C - +40°C ja säilytyslämpötila -20°C - +50°C. IQ-kameran ulkoasu on esitelty kuvassa 1.



Kuva 1. Specim IQ -kameran etu- ja takapuoli (Specim, i.a.-e).

4.1.1 IQ-kameran tekniset tiedot

IQ-kameran käyttöliittymä ja spektrikamera ovat Specimin kehittämiä (Specim, i.a.-b). Siinä on 5 megapikselin mittaetsinkamera ja 1,3 megapikselin tarkennuskamera. Lisäksi siinä on GPS-paikannin. IQ-kamerassa on SD-muistikortti, johon pystyy tallentamaan noin 100 hyperspektrikuvaa. Kamera toimii ladattavalla 5200 mA:n paristolla.

4.1.2 IQ-kameran spektrikameran tiedot

IQ-kameran aukkosuhde on sensorissa $F/1,7$ ja leikkeessä $F/2,2$ (Specim, i.a.-b). Leikkeen pituus on 11,7 mm ja korkeus 42 μm . IQ-kameran spatiaalinen koko on 512 px ja kuvan

resoluutio 512 px*512 px. Spektresoluutio on 7 nm ja spektrikaistoja on 204. Objektiivin etäisyys on 150-∞ mm, polttoväli 21 mm ja aukkosuhde F/2,2.

4.2 IQ-kameran käyttöönotto: varusteluettelo ja käyttöohjeet

Toimeksiantajan pyynnöstä osana opinnäytetyötä tehtiin varusteluettelo IQ-kameran säilytyslaukusta ja kuvaustarvikkeista. Varusteluettelo löytyy liitteestä 1. IQ-kameraan kuuluu säilytyslaatikko tarvikkeineen (kuvat 2 ja 3). Lisäksi valaistusta varten olevat säädettävät jalustat ja kameran jalusta säilytetään omassa kuljetuslaukussaan.



Kuva 3. IQ-kameran säilytyslaukku (Moisanen, 2023, CC BY NC ND).



1. IQ-kamera + mikrokuitupussi
2. hihna
3. varapolttimo
4. jalusta valkoreferenssille
5. pikaohjeet (eng.)
6. kalibrintilevy
7. valkoreferenssipaneeli
8. muistikortit * 3
9. patterit * 2
10. adapteri
11. paristolaturi + suojapussi
12. USB-A-kaapeli
13. Datakaapeli USB-C-USB-A

Kuva 2. IQ-kameran säilytyslaukun sisältö (Moisanen, 2023, CC BY NC ND).

Kameraan on saatavilla valmistajan englanninkieliset käyttöohjeet. Näitä ohjeita hyödyntäen sekä kuvaamisen kautta tulleen kokemuksen kautta tehtiin suomenkielinen käyttöohje SeAMK:n henkilökunnan ja opiskelijoiden käyttöön. Lupa Specimin käyttöohjeen hyödyntämiseen pyydettiin yrityksen edustajalta (J. Kallio, henkilökohtainen tiedonanto, 2.3.2023). Ohje kokonaisuudessaan on liitteenä 2.

4.3 Materiaalit ja menetelmät

Hyperspektrikuvantaminen suoritettiin SeAMK:n Food Labissa 28.-29.3.2023. Kuvauksen tavoitteena oli testata, pystyykö IQ-kameralla tunnistamaan naudanlihan, jota on jatkettu hevosenlihalla. Kameran valmistajan edustajalla ei ollut tietoa, että IQ-kameraa olisi hyödynnetty ruokaväärennösselvityksissä (J. Kallio, henkilökohtainen tiedonanto, 2.3.2023). Kuvauksen suunnittelun perustana olivat kirjallisuudesta löytyneet, saman aallonpituusalueen (400–1000 nm) tutkimukset.

4.3.1 Datan hankinta: näytteet ja kuvantaminen

Hyperspektrikuvantaminen suoritettiin naudan ja hevosen ulkofileestä. Naudan liha hankittiin paikallisesta hypermarketista ja hevosen liha suoraan teurastamolta Hahtolan tilalta Orismalasta. Lihat käsiteltiin peräkkäin niin että ensimmäisenä jauhettiin naudan liha. Tämän jälkeen lihamyllyn kaikki osat pestiin käsin kuumalla vedellä ja käsitiskiaineella sekä kuivattiin talouspaperilla. Jauhatukseen käytettiin lihamyllyä (Koneteollisuus, LM-10/P), jossa käytettiin 6 mm:n reikälevyä. Lihat jauhettiin yhden kerran.

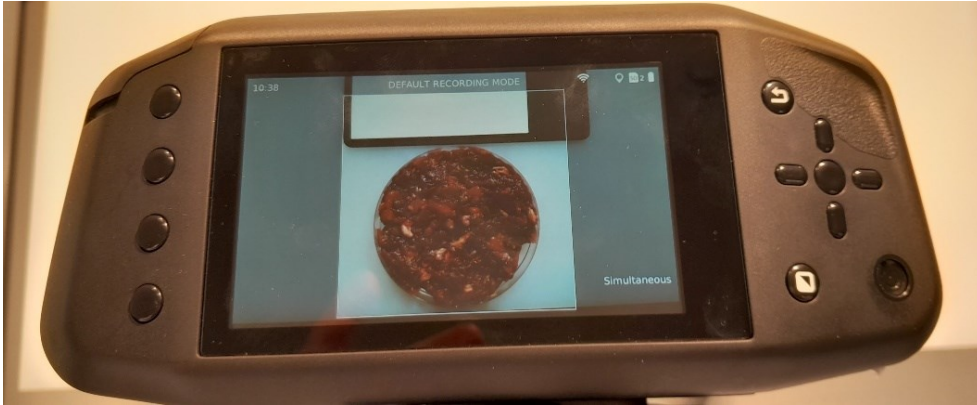
Jauhatuksen jälkeen valmisteltiin näytteet ja rinnakkaisnäytteet punnitsemalla lihaa kuvaussuunnitelman mukaisesti (liite 3). Yksittäisen näytteen koko oli 50 g. Näytteet 1–11 sekä niiden kolme rinnakkaisnäytettä punnittiin Precisa BJ12100G-merkkisellä vaa'alla. Näytteet 12 ja 13 punnittiin Precisa XB4200C -merkkisellä vaa'alla, koska kyseisessä vaa'assa oli parempi tarkkuus kontrollinäytteiden punnitsemiseen. Ensin punnittiin pelkästään naudan- tai hevosenlihaa olevat näytteet. Tämän jälkeen punnittiin yhdistelmänäytteet, joilla oli tarkoitus demonstroida ruokaväärennöstä. Naudanlihaan lisättiin hevosenlihaa kymmenen prosentin välein näytteen kokonaismassasta ja yhdistelmäsuhdetta kasvatettiin aina näytteeseen 11 saakka, joka sisälsi 10 % naudanlihaa ja 90 % hevosenlihaa. Lopuksi tehtiin kaksi kontrollinäytettä. Kontrollinäytteeseen (näyte 12) petrimaljaan laitettiin neljää erilaista

sekoitussuhdetta ja näytteeseen 13 kahta erilaista sekoitussuhdetta. Näytteet, joissa oli sekä nautaa että hevosta, sekoitettiin käsin metalliastiassa. Lihat laitettiin muovisiin petrimaljoihin, joiden halkaisija oli 90 mm ja tasoitettiin petrimaljan reunoja myöten tasaiseksi. Jokainen näyte ja sen rinnakkaisnäytteet numeroitiin tussilla petrimaljaan merkiten ja laitettiin lihatuotteille tarkoitettuun jääkaappiin odottamaan kuvausta. Yhteensä näytteitä tuli 46 kappaletta.

Kuvaus tehtiin alaluvussa 4.1.2 tarkemmin esitellyllä IQ-kameralla. Kuvaustilana toimi Food Labin kuiva-ainevarasto, koska se on ikkunaton tila, eikä ulkoa tuleva valo häirinnyt kuvausta. Kuvauksen valaistuksessa käytettiin kameran valmistajan suosituksen mukaisesti halogeenivalaistusta. Valaistus saatiin luotua kahdella säädettävällä metallikupuisella valaisimella, joissa yhden polttimon teho oli 575 W. Kuiva-ainevarastossa on yleisvalaistus katossa, mutta kuvia ottaessa se oli sammutettuna. Kuvausjärjestelyt on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Kuvausjärjestelyt IQ-kameralla kuvatessa (Moisanen, 2023, CC BY NC ND).



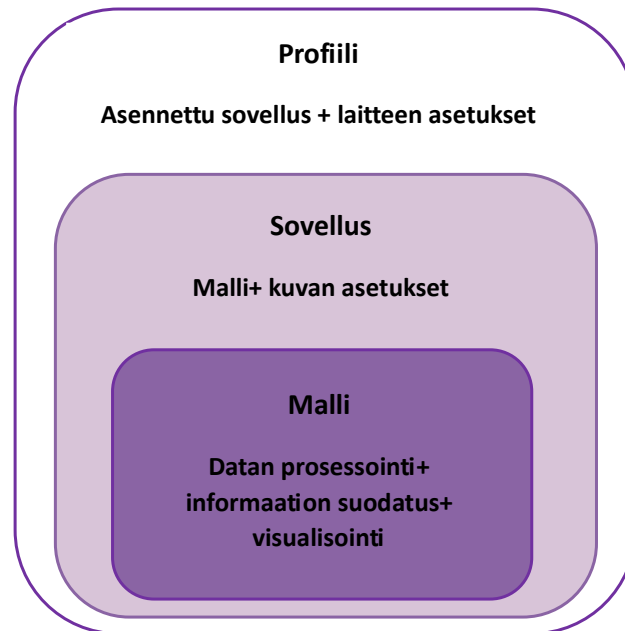
Kuva 5. IQ-kameran näyttö kuvantamisen aikana (Moisanen, 2023, CC BY NC ND).

Ennen kuvauksen alkua tehtiin kalibrointi kameran valmistajan ohjeen mukaisesti. Jokainen näytteen kuvaus suoritettiin Default Recording -tilalla integraatioajan ollessa 3 ms (kuva 5). Näyte asetettiin kohtisuoraan kameran linssin alle yhdessä valkoreferenssilevyn kanssa. Kameran ja näytteen etäisyys oli 23 cm. Valaisimet olivat viistosti näytteeseen 102 cm:n etäisyydellä noin 45 asteen kulmassa. Testikuvauksessa tällä etäisyydellä saavutettiin sopivat maksimi- ja minimi-intensiteetit kuvalle eikä integraatioaikaan tarvinnut tehdä muutoksia yhdenkään kuvan osalta. Kaikki 46 näytettä kuvattiin IQ-kameralla. Tämän jälkeen näytteistä pakastettiin etukäteen satunnaisesti valitut näytteet (yhteensä 11 kappaletta, ei näytteitä 12 ja 13) testikuvaamista varten. Petrialojen kannet teipattiin ja näytteet pakattiin yhteen isoon muovipussiin kuiva-ainevarastossa olleeseen elintarvikkeille tarkoitettuun pakastimeen.

4.3.2 Datan käsittely Specim IQ Studiolla

Specim IQ Studio (myöhemmin IQ Studio -ohjelmisto) on ohjelmisto IQ-kameran datan käsittelyyn (Specim, i.a.-e). Sitä voidaan käyttää myös HSI-laitteilla. Käyttöjärjestelmävaatimuksena on 64-bittinen Windows 7 tai Windows 10, 8 Gb:n keskusmuistilla. Ohjelmiston asentaminen vie 600 Mb:n verran kovalevyä ja lisäksi tallennetut spektrikuvadatat. IQ Studion avulla tuodaan ja viedään sekä hallitaan kuvantamisella saatua hyperspektridataa. Sillä voidaan muokata IQ-kameran asetuksia sekä luoda uusia sovelluksia, malleja ja referenssispektrejä. IQ Studion avulla voidaan myös tallentaa, ladata, tuoda ja viedä profiileja.

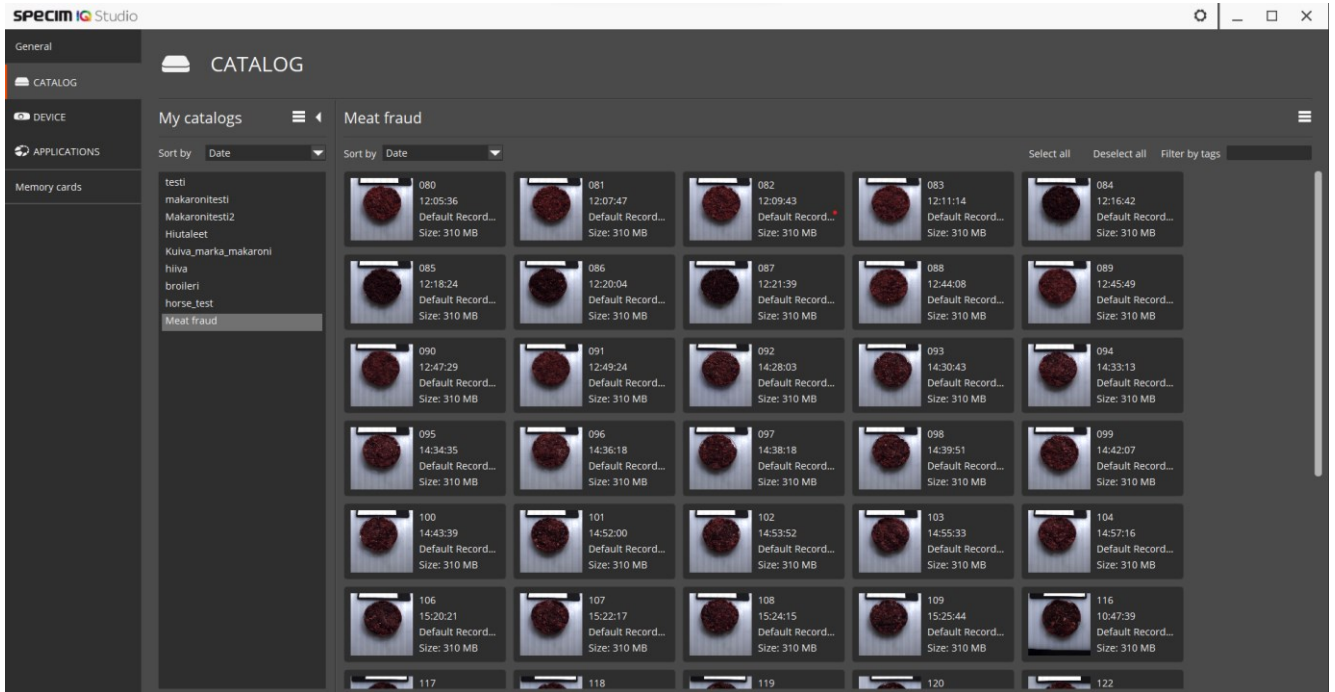
IQ-kameran ja IQ Studio -ohjelmiston käyttöön liittyy toisiinsa linkittyviä käsitteitä, jotka on esitelty kuviossa 6. Mallien, sovelluksien ja profiilien avulla pystytään hyödyntämään IQ-kameralla saatua dataa käyttötarkoituksen mukaan. Malli on tiedosto, jossa hankittua dataa



Kuvio 6. Specim IQ Studion käyttöön liittyvät käsitteet (mukailtu Specim, i.a.-e).

prosessoidaan, informaatiota suodatetaan tarkoituksen mukaisesti sekä tehdään visualisointia. Malli toimii sovelluksen perustana, joka voidaan viedä IQ-kameraan, jolloin sitä voidaan hyödyntää kuvauksen aikana. Sovellus käyttää mallin mukaisesti prosessoitua tietoa sekä määritettyjä kuvan asetuksia. Profilissa puolestaan hyödynnetään sovellusta, jonka lisäksi se IQ-kameraan asennettaessa se määrittää myös kameran asetukset sovelluksen mukaiseksi. Ennen mallin, sovelluksen tai profiilin luomista ne ovat ns. projekteja, jolloin niitä pystytään muokkaamaan tarpeen mukaan. Valmista mallia, sovellusta tai profiilia ei pystytä enää muokkaamaan.

Mallin luominen. Naudan ja hevosen lihasta hankitun datan käsittely aloitettiin viemällä IQ-kameralla kuvatut tiedot USB:n avulla IQ Studio -ohjelmistoon. Kuviossa 7 on kuvakaappaus näkymästä.

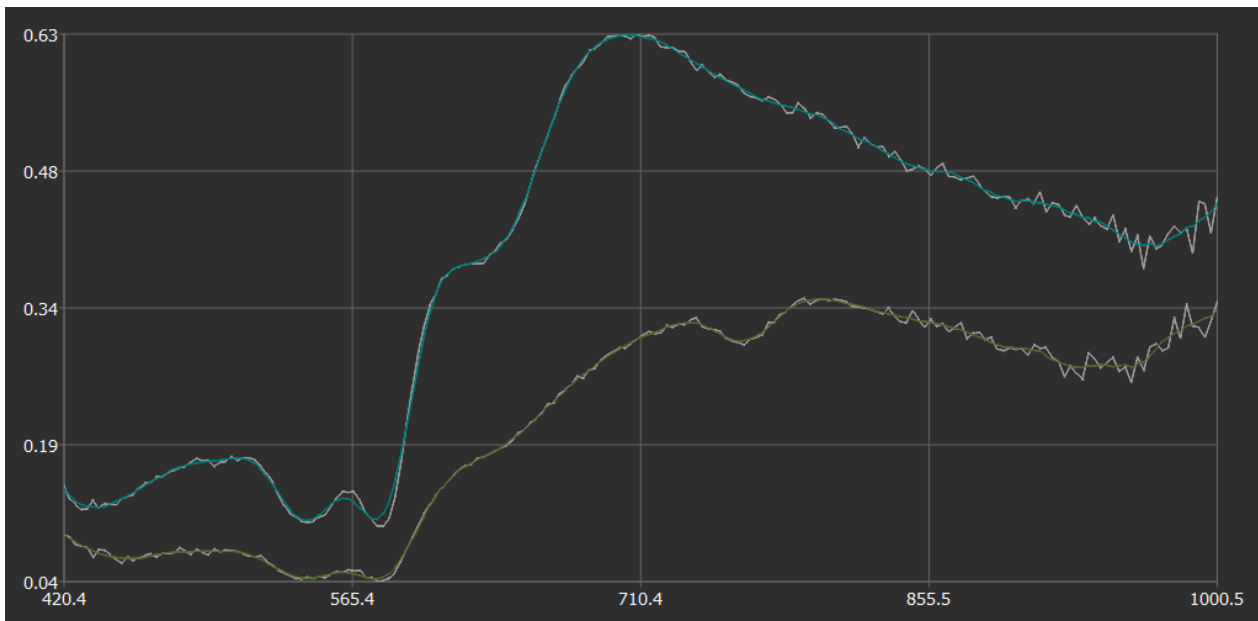


Kuvio 7. Näkymä Specim IQ Studiosta (Specim, 2019).

Mallinnuksessa edettiin valmistajan opetusohjelman mukaan (Specim, i.a.-f). Ensimmäisenä valittiin mallinnettavaksi sata prosenttisen naudan- ja hevosenlihan data. Malliprojekti aloitettiin kirjaamalla projektin informaatio, kuten nimi, tekijä, kuvaus projektista ja versionumero. Tämän jälkeen edettiin datan visualisointiin eli valittiin kuvasta alue, joka oli tutkimuksen kohteena. Seuraavaksi vuorossa oli aallonpituusalueiden valinta. Tässä testauksessa käytettiin koko kameran aallonpituusaluetta 400–1000 nm. IQ Studiosta olisi mahdollisuus valita kaapeampiakin kaistoja tarvittaessa.

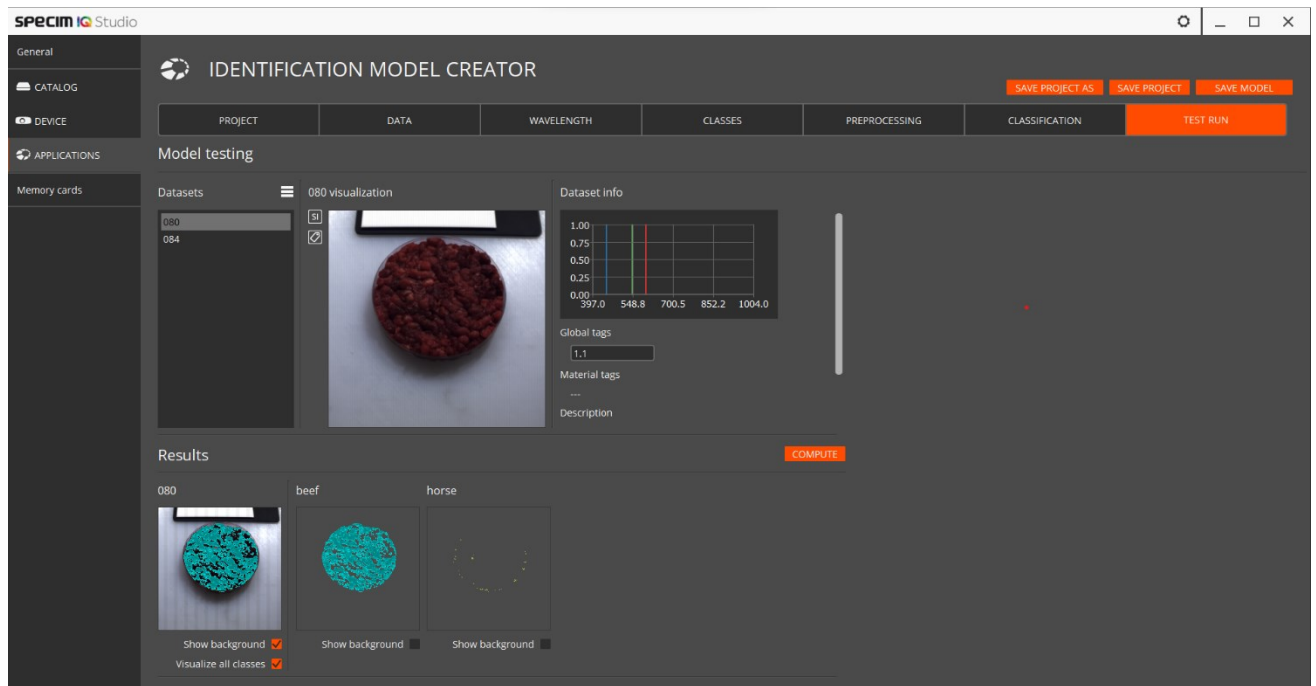
Seuraavaksi vuorossa oli luokittelu, joka on mallintamisen tärkein vaihe. Kuvasta valittiin sopiva referenssispektri, jonka jälkeen tehtiin luokkamaskaus, eli muokattiin valitulle spektrille oma värinsä, joka poikkeaa normaalista värikuvasta sekä kynnsarvon muokkaus, jossa pysytään vaikuttamaan, kuinka tarkoin pikselin spektrin on vastattava referenssispektriä. Tämän jälkeen tehtiin luokan nimeäminen. Luokittelu tehtiin erikseen naudan- ja hevosenlihalle.

Luokittelun jälkeen tehtiin esikäsittely, jossa algoritmina käytettiin Savitzky Golayta (Specim, i.a.-f). Tämän tarkoituksena oli vähentää datan kohinaa ja poistaa epäolennaista informaatiota (Ozdoğan ym. 2021; Specim, i.a.-e). Savitzky Golayta voidaan pitää digitaalisena suodattimena, joka hyödyntää muun muassa tilastotieteessä ja signaalinkäsittelyssä käytettyä konvoluutioprosessia (Specim, i.a.-e). Kangin ja muiden mukaan (2022) tästä on etua ruokanäytteiden kohdalla niiden morfologisen epätasaisuuden vuoksi. Esikäsittelyn jälkeen IQ Studioissa pystyi tutkimaan sekä naudan-, että hevosenlihanäytteiden spektriä ilman korjausta ja korjattuna (kuvio 8). Kuvioista käy ilmi, että naudanlihan spektrin heijastavuus on suurempi erityisesti 710 nanometrin kohdalla. Kaikilla aallonpituusalueilla IQ-kameran tallentama spektri on suurempi naudanlihalla, mutta ero lisääntyy noin 570 nm:n jälkeen. Esikäsittelyn perusteella voitiin olettaa, että naudan ja hevosenlihan spektrit ovat riittävän erilaiset tallennetulla aallonpituusalueella niiden erottamiseksi toisistaan.



Kuvio 8. IQ Studio: käsittelemätön ja esikäsitelty spektri naudan- ja hevosenlihalle (turkoosi naudanliha, vihreä hevonen) (Specim, 2019).

Esikäsittelyn jälkeen vuorossa oli luokittelu, jossa visualisointimenetelmänä on SAM-algoritmi (spectral angle mapper) (Specim, i.a.-f). Visualisointi ja maskaus voidaan tehdä joko vain yhdellä värisävyllä tai käyttämällä värin eri kirkkauksia kynnyksarvon mukaan. Viimeisenä vaiheena mallin luomisessa oli testaus (kuvio 9). Testauksessa olisi paras, jos näytteestä olisi dataa useilla valaistuksilla ja taustoilla. Tässä testauksessa oli käytössä vain yhdenmukaiset kuvausolosuhteet.

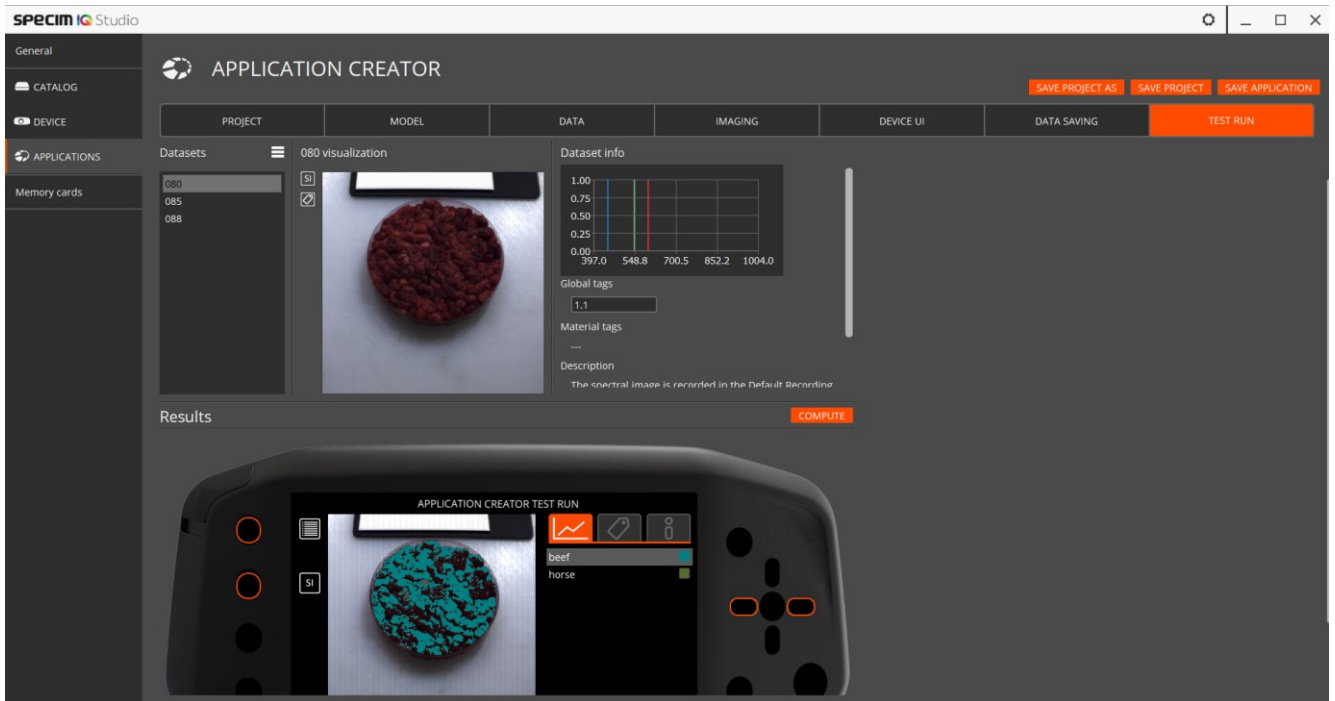


Kuvio 9. IQ Studio: mallin testaus (Specim, 2019).

Sovelluksen luominen. Mallin luomisen jälkeen aloitettiin sovelluksen eli applikaation luominen, jonka tarkoituksena oli saada mallintamisella saatu tieto IQ-kameraan visuaalisesti hyödynnettäväksi. Tässä työssä sovellusta käyttäen lihanäytteestä pitäisi sekunneissa saada tieto, onko kyseessä naudan vai hevosen lihaa.

Applikaatio luotiin Specimin ohjevideon mukaan (Specim, i.a.-g.). Applikaation tekeminen aloitettiin luomalla uusi applikaatioprojekti, johon kirjattiin muun muassa sen nimi, tekijä ja projektin kuvaus (käytetty malli ja aallonpituusalue, luokkien määrä ja esikäsittely). Tämän jälkeen valittiin käytettävä malli. Tämän jälkeen vuorossa oli mallin tarkastaminen, jolloin valittuun malliin olisi halutessaan voinut tehdä muutoksia esimerkiksi jättämällä joku luokittelu pois sekä sen testaaminen. Kun nämä oli tehty, sai halutessaan tehdä lokeroinnin (binning), joka pienentää tallennettavan datan määrää mutta estää silloin datan hyödyntämisen jälkikäteen. Applikaatiota luodessa tulosten visualisointia ja tietojentallennusasetuksia pystyi

halutessaan muokkaamaan. Viimeisenä suoritettiin koekäyttö, jossa pystyy näkemään, kuinka hyperspektrikuva näkyy IQ-kameran näytöllä (kuvio 10).



Kuvio 10. Specim IQ Studio: sovelluksen testaaminen (Specim, 2019).

Sovelluksen testaaminen. Sovellus ladattiin IQ-kameraan ja sitä testattiin SeAMK:n Food Labissa 25.4.23. Kuvantaminen tapahtui kuiva-ainevarastossa IQ-kameralle tarkoitettua valaistusta käyttäen kuten datan keräämisen yhteydessäkin. Kuvantamisessa käytettiin pakastettuja näytteitä 1–11, keskittyen testaamaan lähinnä näytteitä 1.2 ja 2.1 eli 100 % naudan- ja hevosenlihaa (kuva 6). Näytteet olivat kuvauksen alussa jäisiä ja niihin oli muodostunut pakastuksen aikana jäähilettä, joka on nähtävissä varsinkin näytteessä 2.1.



Kuva 6. Jäiset lihanäytteet nauta (vas.) ja hevonen (oik.) (Moisanen, 2023, CC BY NC ND).

Applikaation lataaminen IQ-kameraan tapahtui helposti, jonka jälkeen kuvaustilaksi valittiin päävalikosta luotu sovellus ”Meat fraud testing” ja kuvantaminen suoritettiin näyte kerrallaan. Näytteen 1.2. osalta IQ-kameran sovellustila tunnisti, että kyseessä oli naudanlihaa, mutta kamera ei tunnistanut sitä kuin osasta näytettä (kuvio 12). Koekäytössä maskaus oli melko tasaisesti koko naudanlihanäytteessä, mutta testauksessa HSI-kuvassa oli noin puolta vähemmän värjäntymistä.



Kuvio 12. IQ-kameran kuvat näytteistä 1.2. (vasemmalla.) ja 2.1. (oikealla) sovelluksella otettuna (Specim, 2019).

Näytteestä 2.1 IQ-kamera tunnisti vain hyvin pienen alueen hevosenlihaksi jättäen HSI-kuvan lähes ilman maskausta, joten voidaan todeta, ettei sovelluksella voitu tunnistaa näytettä hevosenlihaksi.

4.3.3 Tulokset

Case-tutkimuksen tavoitteena oli testata, voidaanko IQ-kameran avulla erottaa, onko lihanäyte nautaa vai hevosta. Mallien luomista varten naudan- ja hevosenlihanäytteet kuvattiin keinovalossa niiden ollessa tuoreita. Kahdesta valitusta 100 % naudan- ja hevosenlihanäytteestä luotiin mallit Specimin ohjeiden mukaan ja luotiin sovellus IQ-kameraan. Aikataulullisten syitten takia sovelluksen testaaminen tehtiin pakastetuilla näytteillä muutoin samoissa kuvaolosuhteissa. Testaamisen perusteella IQ-kameran sovelluksella ei pystytty erottamaan, oliko näyte naudan- ja hevosenlihaa. Varsinkin hevosenlihan osalta tunnistaminen jäi odotettua huomattavasti heikommaksi. Tämän vuoksi näytteitä, joissa oli sekä naudan- että hevosenlihaa, ei testattu sovelluksella lainkaan.

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

5.1 Yhteenveto IQ-kamerasta ja kuvantamisesta

Opinnäytetyön toiminnallinen osuus jakautui kahteen selkeästi erilaiseen osa-alueeseen, IQ-kameran käyttöönottoon sisältäen suomenkielisen käyttöohjeen ja varusteluettelon laatimisen (tavoitteet 1 ja 2) sekä IQ-kameran testaamisen (tavoite 3). IQ-kameralla kuvaaminen oli helppoa ja yksinkertaista. Varusteluettelon laatiminen ja käyttöohjeen tekeminen valmistajan ohjeiden perusteella sujui hyvin. Koska IQ-kamera oli käytettävissä, pystyi valmistajan englanninkielisiä käyttöohjeita muokkaamaan kokemuksen perusteella paremmin SeAMK:n käyttöön. Käyttöohjeen ja varusteluettelon osalta haasteita tuotti lähinnä oikeiden termien löytäminen, koska aihealueesta suomen kielistä kirjallisuutta on niukasti saatavilla. Valmiit tuotokset luovutettiin toimeksiantajalle.

Opinnäytetyön kolmas tavoite oli testata, pystyisikö IQ-kameralla erottamaan hevosenlihalla jatkettun naudanlihan. Tämä tavoite todettiin opinnäytetyön aikana liian haastavaksi toteuttaa aikataulun puitteissa ja lopulta sovelluksen avulla päädyttiin testaamaan IQ-kameran kykyä erottaa puhdas naudan ja hevosen liha toisistaan. Näytteitä ja rinnakkaisnäytteitä naudan ja hevosenlihasta kuvattiin paljon ja dataa IQ-kameralla kerättiin yhteensä 46 näytteestä. Suurin osa näytteistä jäi kuitenkin analysoimatta, koska opinnäytetyön alussa ei ollut tarkkaa käsitystä kuvaukseen vaadittavien näytteiden määrästä. Specim IQ Studiolla tehtyä sovellusta ei saatu toimimaan, johon vaikutti esimerkiksi pakastamisen vaikutus näytteeseen ja sovelluksen luominen vain yhden kuvan datan perusteella. Kuvantaminen olisi kannattanut suorittaa eri valaistusolosuhteissa tuoreella ja pakastetulla näytteellä. Lisäksi datan analysoinnin olisi voinut rajata pienemmälle aallonpituusalueelle. Esimerkiksi Kamruzzaman ym. (2015) olivat painottaneet tutkimuksessaan aallonpituusalueita 515, 595, 650 ja 880 nm. IQ Studio -ohjelmistossa kapein tarkasteltava aallonpituusalue raakadatassa on noin 30 nm (Specim, i.a.-f). Sovelluksen toimivuuden parantamiseksi voitaisiin mallintamisvaiheessa rajata spektrin aallonpituusalueet 500–530, 580–610, 645–675 ja 865–895 nm.

Vaikka tässä opinnäytetyössä IQ-kameran hyötyä ei saatu esiin parhaalla tavalla, tarjoaa IQ-kamera kuitenkin hyperspektrikuvantamisen edut ilman laajaa ymmärrystä esimerkiksi saadun datan analysoinnista. IQ-kameraa pystytään soveltamaan moniin mittauksiin usealla teollisuuden ja tutkimuksen osa-alueella. IQ-kameran hyödyntämisen mahdollisuuksia SeAMK:ia

ajatellen on valtavasti kaikissa ruokaketjun osissa aina alkutuotannosta kuluttajalle saakka. IQ-kameraa voidaan käyttää bio- ja elintarviketekniikan opiskelijoiden lisäksi myös agrologien opinnoissa. IQ-kamera on vasta hankittu SeAMK:lle, joten tulevaisuudessa kameralla saatavaa dataa voidaan hyödyntää opetuksessa, opinnäytetöissä ja muissa tutkimuksissa Wise Frami Food- hankkeen tavoitteiden mukaisesti. Mahdollisia jatkotutkimuksen kohteita bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelman osalta voisivat olla värin ja mureuden arviointi lihasta. Specimin mukaan heidän hyperspektrilaitteitaan vastaavalla aallonpituusalueella on sovellettu näiden laadullisten ominaisuuksien testaamiseen (J. Kallio, henkilökohtainen tiedonanto, 2.3.2023).

5.2 IQ-kameran hyödyntäminen lihatuotteiden ruokaväärennöksissä

Ruokaväärennösten havaitseminen on haasteellista. Joenperä ym. (2022) nostivat esiin, että vain pieni osa ruokaväärennösepäilyistä havaittiin laboratoriotulosten perusteella, vaikka heidän mukaansa Koubovan ym. (2018) aiempi tutkimus on osoittanut laboratoriotestien tehokkuuden niiden havaitsemisessa. Syynä vähäisiin laboratoriotutkimuksiin pidetään niiden kallista hintaa. Tämän vuoksi tarvitaan edullisimpia ja helpommin toteutettavia menetelmiä ruokaväärennösten paljastamiseen. Nopeaan ja kustannustehokkaaseen testaamiseen pyritään HSI-menetelmällä ja sitä kautta myös IQ-kameralla. Hyperspektrikuvantaminen ja ennen kaikkea sitä hyödyntävien helppokäyttöisten ja kohtuuhintaisten laitteiden tulo markkinoille mahdollistaa useammalle elintarviketoimijalle ja valvovalle viranomaiselle mahdollisuuden testata yhä suurempia raaka-aine-eriä. Tämä lisää kiinnijäämisen riskiä ja oletettavasti vähentää petollista toimintaa. Jian ym. (2022) mukaan mukautetuilla tehdasasetuksilla ja HSI:n koneoppimisen ansiosta tarkastuskattavuus voisi ylittää sataan prosenttiin lihaerästä. Verrattuna perinteiseen laboratorionäytteeseen saadaan nopeammin tutkittua huomattavasti suurempi määrä elintarvikkeita. Tähän perustuu myös IQ-kameran mahdollisuudet ruokaväärennösten paljastamisessa.

Suomessa ruokaturvallisuus on erittäin hyvällä tasolla, mutta tämä ei saa aiheuttaa sinisilmäisyyttä elintarvikkeiden osalta. Viimeisin yleiseen tietoisuuteen levinnyt lihaan liittyvä ruokaväärennös on muutaman vuoden takaa, jossa toimija oli vaihtanut ulkomaiseen lihaan etiketit ja myynyt ne suomalaisena lihana (Niemistö, 2021). Tässä opinnäytetyössä oli testattavana vain naudan ja hevosen liha, mutta olisi mielenkiintoista tietää pystytäänkö HSI:llä tai IQ-kameran tyyppisellä laitteella havaitsemaan myös alkuperämaahuijaus. Mikäli se onnistuisi,

liikuteltava hyperspektrikamera voisi kuulua esimerkiksi osana elintarviketoimijan omavalvontaa tavaran vastaanoton yhteydessä tai valvovan elintarvikeviranomaisen rutiinitarkastukseen jäljitettävyyden varmistamisessa. Mikäli HSI:n käyttö yleistyy, olisi mahdollista tehdä ”sormenjälki”kirjasto eri raaka-aineille ja tuotteille, jolla ruoka-alan toimija pystyy tarkistamaan dokumenttien ja raaka-aineen yhdenmukaisuuden. Jian ym. (2022) muistuttavat, että maailmanlaajuisen viitetietokannan kokoaminen eri lihalajeille niiden tunnistamista ja analysointia varten on haastavaa, mutta olisi erittäin tarpeellista.

Ruokaväärennöksissä valvovalla viranomaisella on suuri merkitys, vaikka elintarvikelainsäädännön noudattaminen on ensisijaisesti toimijan vastuulla. Särkkä-Tirkkonen (2015) toi artikkelissaan esille analytiikan varmuustason tärkeyden elintarvikepetosten paljastamisessa. HSI:n luotettavuuden olisi oltava sellainen, että viranomainen pystyisi toimimaan saatujen tulosten perusteella, koska pelkkien suuntaa antavilla arvioiden perusteella näin ei voida tehdä. Särkkä-Tirkkosen (2015) viittaa artikkelissaan eurooppalaisten tutkijoiden AuthenticFood-hankeeseen ja siinä tehtyyn johtopäätökseen, että todennäköisesti luotettavimmat tulokset saadaan erilaisten analyysien yhdistämällä. Saman seikan toi esille myös Edwards ym. (2021). Tähän perustuen IQ-kameraa ja yleisesti hyperspektrikameroita voitaisiin käyttää seulovana menetelmänä, joilla on nopea tutkia suuriakin näytemääriä. Mikäli HSI:n perusteella herää epäily ruokaväärennöksistä, voidaan tarkempi, esimerkiksi DNA:han perustuva, laboratoriotutkimus toteuttaa kustannustehokkaasti.

Hyperspektrikuvauksessa näytettä ei tarvitse esivalmistella eikä kuvaaminen myöskään tuhoa näytettä (Edwards ym., 2021). Tällöin elintarvikkeita kuvattaessa näytteet olisivat edelleen käyttökelpoisia, mikäli kuvauksen aikana lämpötila ei tuotteessa, kuten lihajalosteessa, nouse liian korkeaksi. IQ-kameraa voidaan käyttää alimmillaan +5 °C:n lämpötilassa, joka mahdollistaa kuvantamisen suhteellisen viileässäkin kuten kylmiöissä (Specim, i.a.-b). Haasteena lihatuotteiden ja ylipäätään elintarvikkeiden osalta HSI:ssa hyödyntämisessä käytännössä on se, että hyperspektrikuva antaa dataa vain näytteen pinnasta (Zhu ym., 2020). Zhun ym. (2020) toteavat, että mikäli näyte on erilainen pinnalta kuin syvemmältä näytettä, sen heterogeenisyys ei käy hyperspektrikuvantamisella ilmi. Tämän vuoksi esimerkiksi suurempien ruhon osien koostumusta (kuten rasva- tai proteiinipitoisuutta) ei kokonaisuutena pystytä arvioimaan. On myös oletettavaa, että HSI:n huonona puolena yleisesti elintarvikkeiden osalta on, ettei tutkittava näyte voi olla esimerkiksi muovipakkauksessa.

Myyntipakkauksen muovikalvo estää varsinaisen näytteen hyperspektrikuvantamisen, koska HSI-skannaus tapahtuu pakkauksesta eikä tietoa saada elintarvikkeesta.

5.3 Pohdinta

IQ-kameran käyttö sujui vaikeuksista, mutta sovelluksen luominen aiheutti haasteita eikä sitä saatu toimimaan naudan ja hevosen lihan tunnistamiseen. Sovelluksen toimimattomuuteen voi olla useita syitä, kuten datan keräämiseen, lihan rakenteeseen ja käyttäjään liittyvät tekijät. Vaikka ohjevideoiden neuvoja noudatettiin, on toimimattomuus saattanut johtua käyttäjän tekemistä virheistä. IQ Studiossa mallintaminen tehtiin vain yhdellä naudan ja hevosen lihan näytteellä, joka saattoi olla syynä tunnistamisen epäonnistumiseen. Näytteitä olisi kannattanut käyttää mallintamisvaiheessa useampia sekä ottaa kuvia erilaisissa valaistuksissa, jotta dataa IQ Studioon olisi ollut enemmän. IQ-kameran etuna nimittäin on, että valkoreferenssi voidaan määritellä jokaiseen kuvaan erikseen, jolloin ympäristön valon vaikutus spektriin voidaan huomioida.

Sovelluksen toimimattomuus saattoi johtua näytteen pakastamisesta. Pakastaminen vaikuttaa lihaan monin tavoin, jonka vuoksi tuoreesta lihasta otettu näytteen aallonpituuskäyrä ei vastannut tuoretta. IQ-kameran käyttämä spektroskopia tutkii ainetta molekyyalitasolla. Vähärasvainen liha sisältää vettä 70–75 %, joka on sitoutuneena siihen eri tavoin (Feiner, 2006, s. 11–12). Jäätymässä jääkiteiden eri aikainen muodostuminen solunsisäisessä ja -ulkoisessa vedessä aiheuttaa muutoksia soluissa. Vesi kulkeutuu pois solun sisältä ja aiheuttaa suolapitoisuuden lisääntymistä aiheuttaen solun vaurioitumista kemiallisesti, kun suolapitoisuus solunulkoisessa tilassa kasvaa (mts. 58–59). Pakastaminen aiheuttaa myös lihaan pinnan kuivumista. Tämän kaltaiset muutokset voivat näkyä HSI-spektrissä, jonka vuoksi IQ-kamera ei tunnistanut hevosen lihaa kunnolla sovelluksessa.

IQ-kameran etuihin kuuluvat helppokäyttöisyys ja nopeus. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että hyperspektrikuvantaminen menetelmänä olisi yksinkertainen tai saadut tulokset aukottomia. IQ-kameran käyttö todellisessa ruokaväarennösten tutkimisessa vaatisi kyvyn erottaa onko esimerkiksi naudan jauhelihapihviin lisätty hevosen lihaa tai muuta proteiinivalmistetta. Tätä varten pitäisi luoda ”vääreännöskartta” tai muu visuaalinen keino. Kirjallisuudesta löytyi ainakin kaksi tutkimusta, jossa tämä on kuvattu (Kamruzzaman ym., 2015; Kamruzzaman, 2021).

Mikäli hyperspektrikamerat yleistyvät, tämän kaltaisia työkaluja voi olla tulevaisuudessa käytössä esimerkiksi elintarvikevalvontaa tekevillä viranomaisilla.

Vaikka HSI on menetelmänä perinteisiin, laboratoriossa suoritettaviin tutkimuksiin verrattuna helppo toteuttaa suuremmassakin mittakaavassa, ei ole mahdollista tutkia esimerkiksi kaikkea Suomeen maahantuotavaa lihaa. Tämä tarkoittaa, että hyvä jäljitettävyyssjärjestelmä on myös jatkossa avainasemassa ruokahuujauksen ehkäisemisessä. Edwardsin ym. (2021) mukaan HSI on potentiaalinen ruokaväärennösten havaitsemisessa, mutta tieteellistä tutkimusta tarvitaan lisää tehokkaan ja käytännöllisen luokitusalgoritmin valintaan. Tällä hetkellä ei ole olemassa yleisesti hyväksyttyä menetelmää luokitteluun ja Edwardsin ym. (2021) mukaan tämä voi olla haastava tehtävä tulevaisuudessa. Mahdollisuudet hyperspektrikameroiden laajaan hyödyntämiseen ovat kuitenkin valtavat. Tekoälyn ja koneoppimisen kehittymisen myötä myös tämä vuosisatoja tunnettu sähkömagneettista säteilyä hyödyntävä analysointimenetelmä mahdollistaa monia uusia sovelluksia ja niiden laajan käytön jo lähitulevaisuudessa.

Opinnäytetyöprosessi eteni pääosin hyvin. Työlle asetetut tavoitteet toteutuivat, tosin IQ-kameran testaaminen jäi suppeammaksi, kuin mitä oli etukäteen mietitty. Oppimisprosessia ajatellen kehitystä tapahtui ennen kaikkea hyperspektrikameran HSI-kameran toiminnan ja hyödyntämisen ymmärryksen lisääntymisen osalta. Wise Frami Food -hanke tarjosi bio- ja elintarviketekniikan opiskelijalle mielenkiintoisen ja haastavan aiheen. Apua ja tukea ohjaajalta Juuso Kumpulaiselta sekä toimeksiantajan edustalta Markus Ojalalta tuli koko opinnäytetyön ajan nopeasti, mistä heille suuret kiitokset. Hyperspektrikamera ja sen mahdollisuudet ruokaväärennöstapausten tutkimisessa herättää toivottavasti kiinnostusta myös yleisesti elintarvikevalvontaan. Liikuteltavat HSI-kamerat tulevat varmasti olemaan tulevaisuudessa suuremmassa roolissa koko elintarvikealalla.

LÄHTEET

- Ayaz, H., Ahmad, M., Mazzara, M., & Sohaib, A. (2020). Hyperspectral imaging for minced meat classification using nonlinear deep features. *Applied sciences*, 10(21), 7783. <https://doi.org/10.3390/app10217783>
- Burns, M., Foster, L., & Walker, M. (2020). *DNA techniques to verify food authenticity - applications in food fraud*. Royal Society of Chemistry.
- Edwards, K., Manley, M., Hoffman, L., & Williams, P. (2021). Non-destructive spectroscopic and imaging techniques for the detection of processed meat fraud. *Foods*, 10(2), 448. <https://doi.org/10.3390/foods10020448>
- Elintarvikelaki 297/2021
- Elintarviketeollisuusliitto ry. (2020). Q & A: *Elintarvikepetokset*. <https://www.etl.fi/media/aineistot/qat/qa-elintarvikepetokset-tammikuu-2020.pdf>
- EM_spectrum.svg. (13.2.2011). *The spectrum of electromagnetic radiation in Finnish*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_spectrum_fi.svg
- Euroopan komissio. (i.a.). *Agri-food fraud: What does it mean?* https://food.ec.europa.eu/safety/eu-agri-food-fraud-network/what-does-it-mean_en
- Euroopan komissio. (14.2.2014). *Horsemeat: One year after → actions announced and delivered!* https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_14_113
- Euroopan komissio. (14.1.2020). *Food fraud*. https://knowledge4policy.ec.europa.eu/food-fraud-quality/topic/food-fraud_en
- Euroopan komissio. (17.3.2023). *Food fraud summary February 2023*. https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/food-fraud-summary-february-2023_en
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 178/2002. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/TXT/?uri=CELEX%3A32002R0178>
- Feiner, G. (2006). *Meat products handbook: Practical science and technology*. Elsevier Science & Technology.

- Forrester, J., Dick, A., McMenamin, P., Roberts, F., & Pearlman, E. (2021). *The eye. Basic sciences in practice*. Elsevier.
- Hassoun, A., Måge, I., Schmidt, W., Temiz, H., Li, L., Kim, H.-Y., Nilsen, H., Biancolillo, A., Aït-Kaddour, A., Sikorski, M., Sikorska, E., Grassi, S., & Cozzolino, D. (2020). Fraud in animal origin food products: Advances in emerging spectroscopic detection methods over the past five years. *Foods*, 9(8):1069. <https://doi.org/10.3390/foods9081069>
- Jia, W., van Ruth, S., Scollan, N., & Koidis, A. (2022). Hyperspectral imaging (HSI) for meat quality evaluation across the supply chain: Current and future trends. *Current research in food science*, 5, 1017-1027. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.05.016>
- Joensuu, J., Koskela, T., & Lundén, J. (2022). Incidence and characteristics of food-related criminal cases in Finland. *Food control*, 134, 108425. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108425>
- Junkkari, T. (3.4.2019). *Frami Food Lab vihitään käyttöön*. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. <https://lehti.seamk.fi/kestavat-ruokaratkaisut/frami-food-lab-vihitaan-kayttoon-seamk-ruoka-yksikon-laboratorio-valmistuu/>
- Kamruzzaman, M., Makino, Y., Oshita, S., & Liu, S. (2015). Assessment of visible near-infrared hyperspectral imaging as a tool for detection of horsemeat adulteration in minced beef. *Food bioprocess technology*, 8, 1054-1062. <https://doi.10.1007/s11947-015-1470-7>
- Kamruzzaman, M. (2021). Fraud detection in meat using hyperspectral imaging. *Meat and muscle biology* 5(3), 1–10. <https://doi:10.22175/mmb.12946>
- Kang, Z., Zhao, Y., Chen, L., Guo, Y., Mu, Q., & Wang, S. (2022). Advances in machine learning and hyperspectral imaging in the food supply chain. *Food engineering reviews*, 14, 596–616. <https://doi.org/10.1007/s12393-022-09322-2>
- Koistinen, M. (2020). *Syötkö väärennettyä ruokaa? Elintarvikepetokset meillä ja muualla*. Into Kustannus.
- Niemistö, E. (21.12.2021). *Yrittäjä ja yrityksen työntekijä myivät ulkomaista lihaa kotimaisena – oikeus tuomitsi ehdolliseen vankeuteen*. Yleisradio. <https://yle.fi/a/3-12242321>

- Odzemir, A., & Polat, K. (2020). Deep learning applications for hyperspectral imaging: A systematic review. *Journal of the institute of electronics and computer*, 2, 39-56. <https://doi.org/10.33969/JIEC.2020.21004>.
- Opetushallitus. (i.a.) *Laboratorioanalyysit: Spektrometriset menetelmät*. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_5-1_yleista_spektroskopiasta.html
- Rady, A., & Adedeji, A.-A. (2020). Application of hyperspectral imaging and machine learning methods to detect and quantify adulterants in minced meats. *Food analytical methods*, 13, 970–981. <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01719-1>
- Ruokavirasto. (10.11.2022). *Yhteistyö avainasemassa elintarvikepetosten paljastamisessa*. <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/elintarvikealan-uutiset/yhteistyö-avainasemassa-elintarvikepetosten-paljastamisessa/>
- Ruokavirasto. (26.1.2023). *Elintarvikelainsäädännön vaatimukset tuote- ja toimialakohtaisesti*. <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/tuote--ja-toimialakohtaiset-vaatimukset/>
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu. (i.a.). *Wise Frami Food*. <https://projektit.seamk.fi/kestavat-ruokaratkaisut/wise-frami-food/>
- Specim. (i.a.-a). *White paper: Recent development in hyperspectral imaging in industrial applications*. <https://www.specim.com/library/>
- Specim. (i.a.-b). *Specim IQ user manual*. <https://www.specim.com/downloads/iq/manual/software/iq/topics/iq-smart-camera-user-manual.html>
- Specim. (i.a.-c). *Spectral imaging*. <https://www.specim.com/downloads/iq/manual/software/iq/topics/spectral-imaging.html>
- Specim. (i.a.-d). *Hyperspectral imaging in food quality and safety*. <https://www.specim.com/hyperspectral-imaging-in-food-quality-and-safety/>
- Specim. (i.a.-e). *Specim IQ Studio user manual*. <https://www.specim.com/downloads/iq/manual/software/iq/topics/iq-dashboard-user-manual.html>

- Specim. (i.a.-f). *Specim IQ Studio tutorial- creating a model* [video]. <https://www.specim.com/library/specim-iq-studio-tutorial-creating-a-model/>
- Specim. (i.a.-g). *Specim IQ Studio tutorial- creating an application* [video]. <https://www.specim.com/library/specim-iq-studio-tutorial-creating-an-application/>
- Specim. (7.12.2018). *What's really in your meat?* <https://www.specim.com/whats-really-in-your-meat/>
- Specim. (2019). *Specim IQ Studio* (versio 2019.05.29.2) [tietokoneohjelma]. <https://www.specim.com/iq/iq-downloads/>
- Specim. (9.12.2020). *Hyperspectral imaging and X-rays for the food industry*. <https://www.specim.com/hsi-and-x-rays-for-the-food-industry/>
- Specim. (28.3.2022). *Illumination sources*. <https://www.specim.com/illumination-sources/>
- Sun, D.-W. (2010). *Hyperspectral imaging for food quality analysis and control*. Elsevier.
- Särkkä-Tirkkonen, M. (2015). Ruokaväärennöksiä voidaan selättää. *Kehittyvä elintarvike*, (3), 13.
- Wang, W., & Peng, Y. (2018). Hyperspectral imaging for assessing quality and safety of meat. *Hyperspectral imaging in agriculture, food and environment*. doi: [10.5772/intechopen.74371](https://doi.org/10.5772/intechopen.74371)
- Zhu, M., Huang, D., Hu, X.-J., Tong, W.-H., Han, B.-L., Tian, J.-P., & Luo, H.-B. (2020). Application of hyperspectral technology in detection of agricultural products and food: A review. *Food science & nutrition* 8(10), 5206–5214. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1852>
- Özdoğan, G., Lin, X., & Sun, D.-W. (2021). Rapid and noninvasive sensory analyses of food products by hyperspectral imaging: Recent application developments. *Trends in food science & technology*, 111, 151-165. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.044>

LIITTEET

Liite 1. Varusteluettelo

Liite 2. Suomenkieliset käyttöohjeet

Liite 3. Specim IQ -kameran testaaminen 28.-29.3.2023: näytteiden sekoitussuhteet

Liite 1 Tarvikeluettelo

Specim IQ-hyperspektrikamera: kameran kuljetuslaukku ja varustelaukku**IQ-kameralaukku**

1. IQ-kamera + mikrokuitupussi
2. hihna
3. varapolttimo
4. jalusta valkoreferenssille
5. pikaohjeet (eng.)
6. kalibrointilevy
7. valkoreferenssipaneeli
8. muistikortit * 3
9. patterit * 2
10. adapteri
11. paristolaturi + suojaussi
12. USBA-kaapeli
13. datakaapeli USBC-USBA

Muut varusteet

1. halogeenivalaisimet 2 kpl
2. valaisimien jalat 2 kpl
3. kameran jalusta

Huom! Halogeenivalaisimet kuumenevat käytössä.

Liite 2 Suomenkieliset käyttöohjeet

Specim IQ- hyperspektrikameran käyttöohje

Valkoreferenssi

Laadukkaan datan saamiseksi Specim IQ-kameralla kuvantamisessa tulisi käyttää valkoreferenssiä (white reference, WR).

Käytössä on kolme erilaista valkoreferenssimenetelmää:

Simultaani: Valkoreferenssipaneeli on näkyvässä kuvassa ja se määrittää jokaisen kuvan yhteydessä. Tämä antaa parhaimman datan.

Kustomoitu: Valkoreferenssipaneeli on tallennettu ennen varsinaista datan kuvausta.

Ennaltamäärätty: Etukäteen määritetyt valkoreferenssiasetukset sopivat yleisimpiin valaistusolosuhteisiin (halogeenivalaistus).

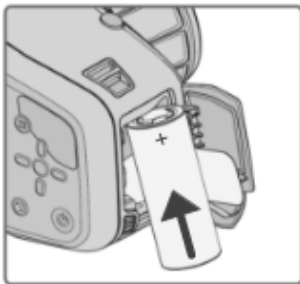
Datan tallennustavat

Default recording mode (DRM), oletustallennus: käytetään, kun kerätään raakadataa.

Automatic screening mode (ASM), automaattinen seulontatapa: laitetila, jolla tunnistetaan yhtäläisyyksiä tallennetun datan kanssa. Haluttu materiaali voidaan valita luokkaan, joka voi luokitella samankaltaiset materiaalit tiedoista. Tässä tilassa luokka määritellään ensin, minkä jälkeen sitä käytetään tunnistamiseen.

Application mode (AM), sovellustila: kuvantamistila tietojen keräämiseksi, jota käsitellään toivotulla tavalla. Sovellukset luodaan Specim IQ Studiossa ja ladataan IQ-kameraan.

1. Alkujärjestelyt



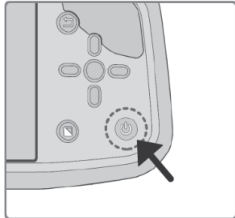
kuva: Specim

- 1.1 Aseta patteri.
- 1.2 Varmista, että muistikortti on paikallaan. Sen sijaitsee paristokotelossa.
- 1.3 Aseta kamera jalustalle.
- 1.4 Varmista sopiva valaistus kuvantamiseen

2. Datan tallennus oletustallennuksella ja simultaanivalkoreferenssillä (DRM, Simultaneus WR)

Tässä datan tallennusmenetelmässä käytetään oletustallennusta (Default Recording Mode, DRM) ja kuvauksen aikaista valkoreferenssimenetelmää (Simultaneus White Reference). Kyseisessä tallennusmenetelmässä paneeli sisältyy tallennettuihin tietoihin eli se näkyy kuvassa ja määritellään tallennuksen jälkeen.

2.1 Käynnistä kamera virtanapista



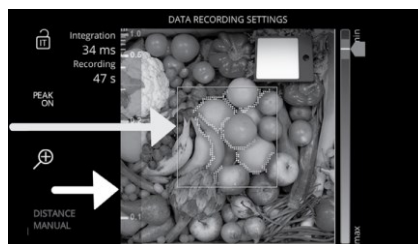
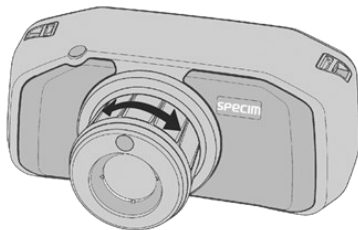
Kuva: Specim

2.2. Kameran asetukset

- 2.1 Paina **SET**-nappia, jotta pääset valikkoon (menu).
- 2.2 Valitse DRM painamalla **Custom 1**-nappia.
- 2.3 Paina **Simultaneus** kosketusnäytöstä tai navigointinäppäimillä ja painamalla **SET**-näppäintä.

3. Datan tallennusasetusten valinta

- 3.1. Paina puoleenväliin laukaisinta (shutter), jotta esiin tulee datan tallennusasetukset (Data recording settings). Näissä asetuksissa suoritetaan oikean integrointiajan asettaminen ja tarkentaminen.
- 3.2. Aseta valkoinen valkoreferenssi kohteesi viereen niin, että se kattaa **vähintään 10 prosenttia** kameranäkymästä.
- 3.3 Määritä integraatioaika integraatioliukujalla, joka ilmestyy oikealle. Valkoisen osoittimen viiva asettuu automaattisesti vihreään palkkiin, joka osoittaa optimaalisen arvon integraatioajalle. Voit halutessasi muuttaa integraatioaikaa liu'uttamalla valkoista ilmaisulinjaa sormella tai ohjaamalla sitä navigaattorin painikkeilla.
- 3.4 Tarkenna kuva kameran edessä olevalla tarkennusrenkaalla, kunnes kohde korostuu mahdollisimman suurella määrällä oranssia.



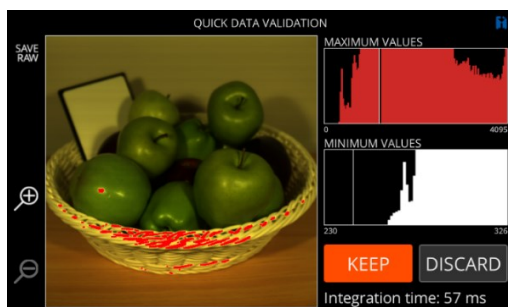
kuvat: Specim

4. Datan tallennus (capture)

Paina suljinpainiketta pohjaan tallentaaksesi tiedot.

5. Datan vahvistus

Tarkista datan laatu kuvan esikatselusta ja intensiteettihistogrammista.



kuva: Specim

Jos kuvan esikatselussa maksimiarvo on punaisena, tiedot ovat osittain kylläisiä

→ muuta integraatioaika lyhyemmäksi tietojen tallennusasetuksista ja tallenna tiedot uudestaan.

Jos kuvan esikatselussa maksimiarvo on sinisenä, integraatioaika voi olla liian lyhyt, eikä joitakin osia tiedoista valaise kunnolla.

→ muuta integraatioaika pidemmäksi tietojen tallennusasetuksista ja tallenna tiedot uudestaan.

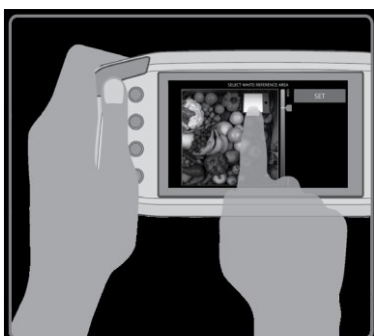
Painamalla **DISCARD**ia voit uusia DRS-asetukset ja tallentaa tiedot uudelleen.

Painamalla **KEEP** tietosi tallentuvat.

6. Valkoreferenssin valinta

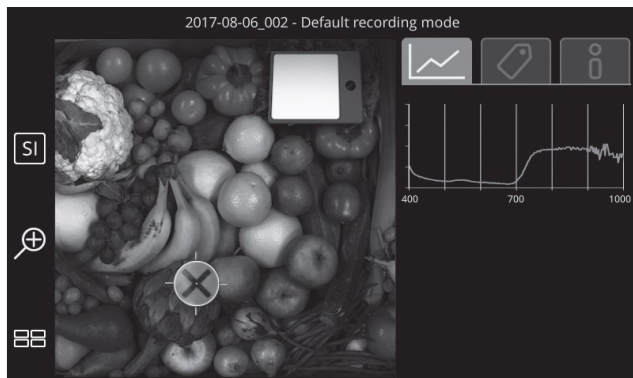
Datan vahvistuksen jälkeen määritellään valkoreferenssi kuvalle. Käytä oikealla olevaa liikusäädintä oikean valkoreferenssialueen valintaan.

Kun valkoreferenssi muuttuu kokonaan valkoiseksi ja alkaa vilkkua, napauta valkoreferenssitaulua kosketusnäytöltä tai valitse se navigaattorin painikkeilla. Valitse **SET** näytöltä, kun tämä on tehty.



7. Tulosnäky

Tulosnäkyssä on kolme toimintoa, jotka sijaitsevat oikeassa yläkulmassa.



Kohdespektri (target spectrum)

- Napauttamalla tiettyä aluetta näet kyseisen pikselin spektrin.

Tunnisteet (tags)

- Voit lisätä tunnisteita tietoihin tai tietojen kohdennettuihin pikseleihin.

Data-info

- Katso tietojasi, poista tietoaineistoja ja lisää tekstitietoja

8. Datan siirto Specim IQ Studioon

Datan siirto joko:

muistikortin avulla: Sammuta kamera. Avaa akkutilan ovi. Paina muistikorttia, niin se irtoaa ja aseta se tietokoneeseen.

USB:n avulla: Avaa USB-kansi vasemmasta yläkulmasta. Kiinnitä USB-kaapeli ja liitä se tietokoneeseen.

8.1. Avaa Specim IQ Studio tietokoneeltasi. Sen lataaminen tapahtuu Specimin sivuilta <https://www.specim.com/iq/iq-downloads/>

8.2. Etsi Your Specim IQ tai muistikortti vasemmalta valikosta ja klikkaa se auki.

8.3. Valitse tiedostot, jotka haluat siirtää. Valitse "Import selected data" ylhäältä oikeasta valikosta.

8.4. Valitse sijainti, johon tiedostot tallennetaan joko luomalla uusi kansio tai valitsemalla jo olemassa oleva kansio.

Datan tallennus (DRM ja Custom WR)

Tässä datan tallennusmenetelmässä käytetään oletustallennusta (Default recorded mode) ja kustomoitua valkoreferenssiä. Tässä kuvausmenetelmässä valkoreferenssi on tallennettu ja määritetty ennen varsinaista tietojen tallennusta.

1. Kameran asetukset

Paina **SET**-painiketta mennäksesi valikkoon ja valitse **DRM**.

2. Valkoreferenssin määrittäminen

2.1 Paina **WR**-menetelmän painiketta ja valitse **CUSTOM**. Valitse **DEFINE** uudelle tietojen tallennussessiolle.

2.3 Aseta valkoreferenssi kuvan tarkennusnäkökseen.

2.4 Paina laukaisin puoleen väliin ja aseta oikea integrointi-aika ja tarkenna.

2.5 Paina laukaisin pohjaan valkoreferenssitietojen tallentamiseksi.

2.6 Validoi tiedot ja tee **WR**-valinta kuvatuista tiedoista. Kun olet valmis, valitse **Set WR**.

3. Datan tallennusasetukset

3.1 Paina laukaisin puoleen väliin.

3.2 Aseta integrointi-aika käyttämällä liikusäädintä ja kameran tarkennusta.

4. Datan tallennus (capture)

Paina suljinpainiketta pohjaan tallentaaksesi tiedot.

5. Datan vahvistus

Tarkista datan laatu kuvan esikatselusta ja intensiteettihistogrammista.

Jos kuvan esikatselussa ja maksimivoimakkuudessa on punaisia kohokohtia, tiedot ovat osittain kylläisiä

→ harkitse integraatioajan muuttamista lyhyemmäksi tietojen tallennusasetuksista ja tallenna tiedot uudestaan.

Jos kuvan esikatselussa ja maksimivoimakkuudessa on sinisiä kohokohtia, integraatio-aika voi olla liian lyhyt, eikä joitakin osia tiedoista valaise kunnolla.

→ harkitse integraatioajan muuttamista pidemmäksi tietojen tallennusasetuksista ja tallenna tiedot uudestaan.

Painamalla **DISCARD**ia voit uusia DRS-asetukset ja tallentaa tiedot uudelleen.

Painamalla **KEEP** tietosi tallentuvat.

Datan tallennus (DRM ja Pre-Defined WR)

Tässä datan tallennusmenetelmässä käytetään oletustallennusta (Default recorded mode) ja ennalta määrättyä valkoreferenssiä. Tässä valkoreferenssimenetelmässä käyttäjä valitsee sopivimman etukäteisvaihtoehdon, joka vastaa kuvausympäristön valaistusta. Ennalta määrättyä valkoreferenssiä käytetään halogeenivalaistukselle

1. Laitteen järjestelyt

Paina SET-painiketta mennäksesi valikkoon, valitse DRM.

2. Valkoreferenssin määrittely

- 2.1. Paina WR method-nappia ja valitse Pre-Defined.
- 2.2. Valitse datan tallennusympäristöön sopiva vaihtoehto

3. Datan tallennusasetukset

Paina laukaisin puoleen väliin. Aseta integrointiaika käyttämällä liikusäädintä ja kameran tarkennusta.

4. Datan tallennus (capture)

Paina suljinpainiketta pohjaan tallentaaksesi tiedot.

5. Datan vahvistus

Tarkista datan laatu kuvan esikatselusta ja intensiteettihistogrammista.

Jos kuvan esikatselussa ja maksimivoimakkuudessa on punaisia kohokohtia, tiedot ovat osittain kylläisiä

→ harkitse integraatioajan muuttamista lyhyemmäksi tietojen tallennusasetuksista ja tallenna tiedot uudestaan.

Jos kuvan esikatselussa ja maksimivoimakkuudessa on sinisiä kohokohtia, integraatioaika voi olla liian lyhyt, eikä joitakin osia tiedoista valaise kunnolla.

→ harkitse integraatioajan muuttamista pidemmäksi tietojen tallennusasetuksista ja tallenna tiedot uudestaan.

Painamalla **DISCARD**ia voit uusia DRS-asetukset ja tallentaa tiedot uudelleen.

Painamalla **KEEP** tietosi tallentuvat.

Lähteet ja kuvat:

Specim IQ User Manual

Specim IQ Quick Guide

Käyttöohjeiden tekijä: Suvi Moisanen, MBIELI20, SeAMK

LIITE 3. Specim IQ -kameran testaaminen 28.-29.3.2023: näytteiden sekoitussuhteet

NÄYTE N:O	SEKOITUSSUHDE	RINN.NÄYTTEIDEN LKM
1	100 % naudanliha	4
2	100 % hevosenliha	4
3	90 % naudanliha/10 % hevosenliha	4
4	80 % naudanliha/20 % hevosenliha	4
5	70 % naudanliha/ 30 % hevosenliha	4
6	60 % naudanliha/40 % hevosenliha	4
7	50 % naudanliha/ 50 % hevosenliha	4
8	40 % naudanliha/ 60 % hevosenliha	4
9	30 % naudanliha/ 70 % hevosenliha	4
10	20 % naudanliha/ 80 % hevosenliha	4
11	10 % naudanliha/ 90 % hevosenliha	4
12	100 %/ 80 %/40 %/ 20 % hevosenlihaa, loput naudanlihaa	1
13	100 % naudanliha/ 50 % naudan- ja 50 % hevosenliha	1