



Tuukka Rantanen

# Hyperspektrikuvantaminen Inexin hedelmien ja vihannesten laadun- valvonnassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

1.5.2022

# Tiivistelmä

Tekijä:	Tuukka Rantanen
Otsikko:	Hyperspektrikuvantaminen Inexin hedelmien ja vihannesten laadunvalvonnassa
Sivumäärä:	20 sivua
Aika:	1.5.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Automaatiotekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Kristian Junno Logistiikkapäällikkö Sami Korhonen

---

Insinööriyössä oli tarkoituksena ottaa selvää, kuinka hyperspektristä kuvantamista eli HSI:tä voidaan käyttää hyväksi Inexin hedelmien ja vihannesten laadunvalvonnassa. Lisäksi tuli selvittää, voidaanko valvonta toteuttaa nykyisissä tuotantotiloissa ja mitä tuotteita sen avulla voidaan valvoa ja mitä näistä tuotteista saadaan sen avulla selville.

Tutustumalla erilaisiin tieteellisiin artikkeleihin, sekä joidenkin alan yhtiöiden materiaaleihin, saatiin selville, mitä kaikkea HSI:n avulla voidaan tehdä. Kyseisten artikkeleiden sekä omakohtaisen tiedon Inexin toiminnasta avulla pystyttiin kartoittamaan sen potentiaalia juuri Inexin käyttökohteisiin.

Tuotanto-olosuhteissa HSI:n avulla hedelmistä ja vihanneksista voidaan tunnistaa useita eri laadullisia virheitä kuten taudit, kolhut tai home. Sen avulla saadun informaation myötä osa laadunvalvonnasta voidaan korvata kokonaan HSI:llä, mutta ei kuitenkaan kokonaan. Erilaiset tuotteen tuhoamista vaativat testit, kuten mehupitoisuuden laskeminen sitrushedelmistä on edelleen suoritettava ihmisen toimesta, mutta tekniikan kehittyessä tämäkin tulee mahdolliseksi toteuttaa HSI:n avulla.

Kuvaamisen toteuttaminen nykyisissä tuotantotiloissa ei tule olemaan ongelma. Tämänhetkisellä teknologialla kuvaaminen onnistuu nopeallakin tahdilla, joten Inexin omat kuljettimet soveltuvat hyvin kuvaamiseen. Joitain ongelmia saattaa ilmetä täri- nän sekä ulkoisen valon kanssa, mutta nämä ongelmat ovat helposti korjattavissa.

Avainsanat: Hyperspektrikuvantaminen, laadunvalvonta, hedelmä, vihannes

## Abstract

Author: Tuukka Rantanen  
Title: Hyperspectral Imaging in Fruit and Vegetable Quality Control at Inex  
Number of Pages: 19 pages  
Date: 1 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Automation Technology  
Supervisors: Sami Korhonen, Logistics manager  
Kristian Junno, Senior Lecturer

---

The purpose of this thesis was to research how hyperspectral imaging can be taken advantage of in quality control of fruits and vegetables at Inex. In addition, the purpose was to determine if the quality control can be done in current production facilities, in which products it can be taken advantage of, and what kind of information can be acquired with it.

By researching different academic articles and information about companies in the industry of hyperspectral imaging, usage of it in quality control of fruits and vegetables was clarified. With the help of these articles and with personal information about Inex's operations, it was possible to map out the potential of hyperspectral imaging in Inex's applications.

In production facilities, hyperspectral imaging can be used to recognize many different faults in quality of fruits and vegetables, such as different diseases, bruises or mold. With the information acquired by it, big part of quality control can be replaced with hyperspectral imaging, but not entirely. Many tests that require destruction of the product must still be done by human, but as technology advances, these tests will become possible to do with hyperspectral imaging as well.

Imaging products in recent production facilities should not be a problem. With current technology, imaging of the products can be done in very little time, so Inex's own conveyors are well suited for the imaging. In the current facilities, there might come up some problems with shaking or external light, but these problems should be easily solvable.

Keywords: Hyperspectral imaging, fruits and vegetables, quality control

# Sisältö

1	Johdanto	1
2	Hyperspektrikuvaus	1
2.1	Komponentit	3
2.2	Valaistus	4
2.3	Kuvaamisyksikkö	4
2.4	Tietokone	6
3	Laadunvalvonta	6
4	HSI hedelmien ja vihannesten laadunvalvonnassa	8
5	HSI Inexin laadunvalvonnassa	12
5.1	Mitä saadaan kuvattua	12
5.2	Kuvaamisen toteutus	13
5.3	Jälkitarkastuspiste	14
6	Laitteisto	15
6.1	Kuvaamismenetelmä	16
6.2	Valonlähde	16
6.3	Kamera	17
6.4	Ohjelmisto	18
6.5	Valmiit paketit	18
7	Yhteenveto	19
	Lähteet	1

## Lyhenteet

CMOS: Complementary Metal Oxide Semiconductor eli komplementaarinen metallioksidipuolijohde.

CCD: Charge coupled device, on valoherkkä kenno, jota käytetään infrapunasäteilyn muuttamiseksi digitaaliseen muotoon.

HSI: Hyperspectral imaging eli hyperspektrikuvantaminen tai toiselta nimeltään kuvantamisspektroskopia.

## 1 Johdanto

Hyperspectral imaging eli HSI on konenäkötekniikan yksi uusimpia saavutuksia. Sen avulla voidaan tutkia hedelmiä ja vihanneksia pelkkien kuvien perusteella tarkemmin, saadaan enemmän informaatiota niiden kunnosta sekä löydetään virheitä, joita ei voida löytää muilla kuvaamistekniikoilla. Lisäksi sillä on lukuisia eri käyttötarkoituksia agrikulttuurissa, lääketieteessä sekä rikostutkimuksessa.

Työni tavoitteena on selvittää, kuinka hyvin HSI:tä voidaan hyödyntää Inexin hedelmien ja vihannesten laadunvalvonnassa. Lisäksi tulee selvittää, voidaanko laadunvalvonta toteuttaa nykyisissä tuotantotiloissa sekä nykyisillä kuljetinlinjoilla, mitä kaikkea HSI:n avulla voidaan selvittää tuotteista sekä minkä tuotteiden valvontaan sitä voidaan soveltaa. Lisäksi työhöni kuuluu selvittää, onko HSI-tekniikkaa käyttäviä laitepaketteja sekä ohjelmistoja myynnissä, jotka sopisivat toimeksiantajan tuotantotiloihin.

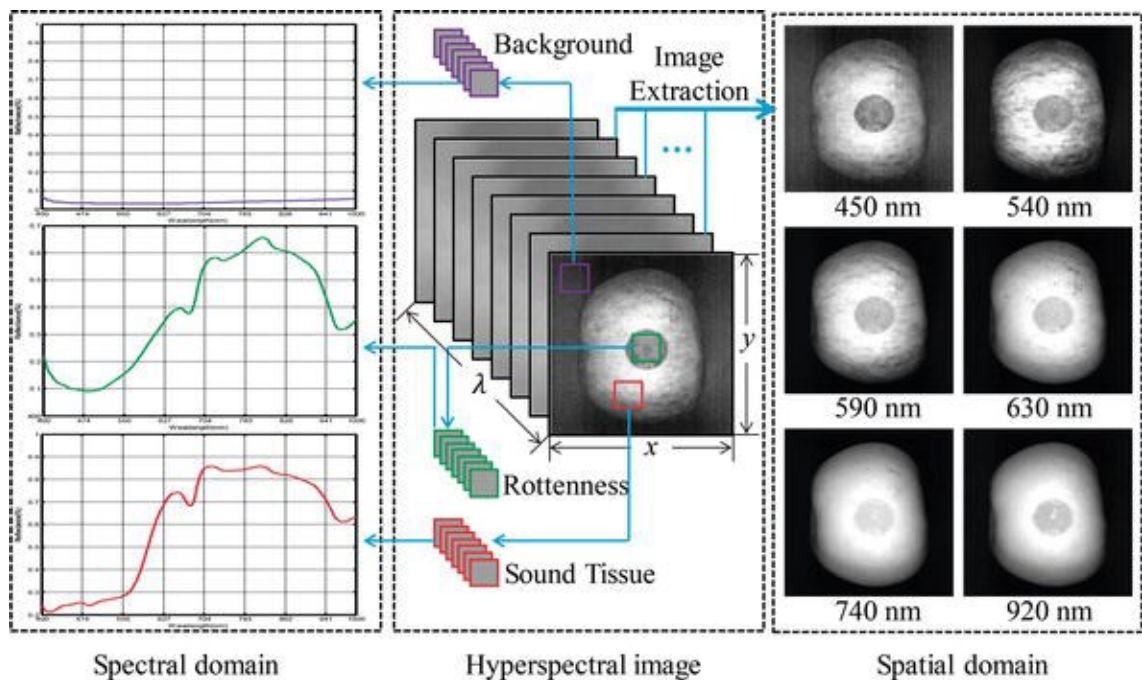
Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Inex Partner Oy. Inexin päätehtävä on tuottaa S-ryhmän päivittäis- ja käyttötavarakaupan logistiikkapalvelut. Inex toimittaa tuotteet suurimpaan osaan Suomen, Viron ja Venäjän S-ryhmän kaupoista. Vuonna 2016 avattu päivittäistavaroiden logistiikkakeskus sijaitsee Siipoon Bastukärrissä ja on Suomen suurin logistiikkakeskus.

## 2 Hyperspektrikuvaus

HSI eli hyperspectral imaging system on tekniikka, jossa yhdistyvät vanha tavomainen konenäkö sekä spektroskopia. Nämä yhdistämällä saadaan kuvattavasta kohteesta spatiaalisen informaation lisäksi myös spektrinen informaatio. Alun perin tämä kuvaamismalli luotiin etäältä tehtävää kuvaamista varten, jotta voitaisiin tunnistaa kuvattavan pinnan eri materiaalit analysoimalla niiden elektromagneettista spektriä. Sittemmin on huomattu, että HSI:llä on suuria etuja

normaaliin konenäköön verrattuna esimerkiksi maataloudessa. (Xiaona Li ym. 2017.)

Kuvasta 1 voidaan huomata, että HSI:n tuottama kuva koostuu normaalista sarjasta monokromaattisia kuvia, joista jokainen vastaa tiettyä aallonpituutta. Näistä kuvista voidaan kerätä informaatiota, joka löytyy elektromagneettiselta spektrumilta, jota ihmissilmä ei pysty tunnistamaan eli ultraviolettia (UV), lähi-infrapuna (NIR) ja infrapuna (IR) spektrumeilta. (D. Lorente ym. 2011.)



Kuva 1. HSI:n tuottama kuva, jossa nähdään kuvan spatiaalinen sekä spektraalinen informaatio.

Hyperspektri kamera pystyy kaappaamaan jopa satoja aallonpituuskaistoja. Näistä kaistoista muodostetaan kolmiulotteinen datakuutio. Kyseisen datakuution avulla voidaan tutkia jokaisen kaapatun pikselin spektriä. Datakuutio voidaan luoda kolmella eri tavalla. Kukin tapa riippuu siitä, kuinka spatiaalinen informaatio on hankittu.

”Whiskbroom” eli pistekuvaus luodaan kuvaamalla vain tiettyä pistettä kuvattavasta kohteesta. Kun yksi piste on saatu kuvattua, joko kuvattavaa kohdetta tai

kameraa on liikutettava. Systemaattisesti liikuttamalla kohdetta tai kameraa saadaan luotua kokonainen hyperspektrinen kuva. Luotu kuva on todella tarkka ja siitä saatava informaation määrä suuri. Tämä tapa ei ole kuitenkaan kovin käytännöllinen, sillä kuvaamiseen kuluu huomattavan suuri määrä aikaa.

”Pushbroom” eli viivakuvaus toimii samalla tavalla kuin pistekuvaus, mutta pisteen sijaan kuvataan kokonaista viivaa. Tällä tavalla osa spatiaalisesta informaatiosta ja koko spektrinen informaatio jokaiselle pisteelle viivan alueella voidaan hankkia samanaikaisesti.

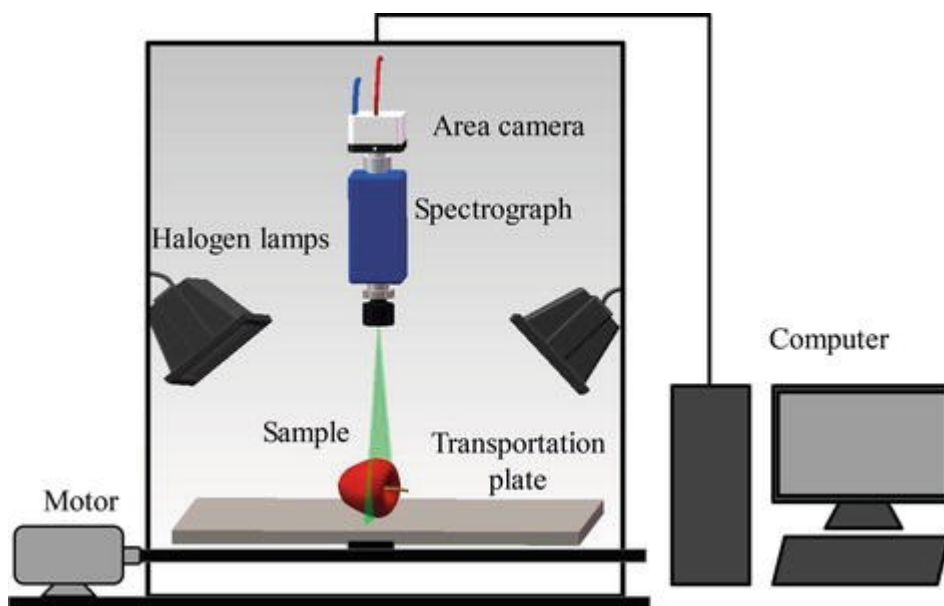
”Tunable filter” eli aluekuvaus luodaan kuvaamalla koko alue samaan aikaan. Tämä tapa vaatii yhtenäisen valaistuksen koko kuvattavalle alueelle.

Hyperspektrisen kuvan luomiseen käytettävä tapa valitaan käyttökohteen mukaan. Elintarviketeollisuudessa käytettävä tapa on yleisesti viivakuvaus. Aluekuvaukseen verrattuna viivakuvaus on huomattavasti helpompi toteuttaa, sillä yhtenäisen ja vakaan valonlähteen tuottaminen suurelle alueelle tuottaa hankaluuksia aluekuvauksessa. Lisäksi viivakuvauksessa uuden kohteen kuvaaminen voidaan aloittaa, vaikka edellisen kuvan dataa käsitellään vielä. (Xiaona Li ym. 2017.)

## 2.1 Komponentit

Kuvasta 2 näemme HSI:n peruselementit, jotka ovat valonlähde, aallonpituuksien valitsemiseen käytetyt laitteet, kamera sekä tietokone, jolta löytyy työtehtävää vastaava ohjelmisto.





Kuva 2. HSI:n eri komponentit

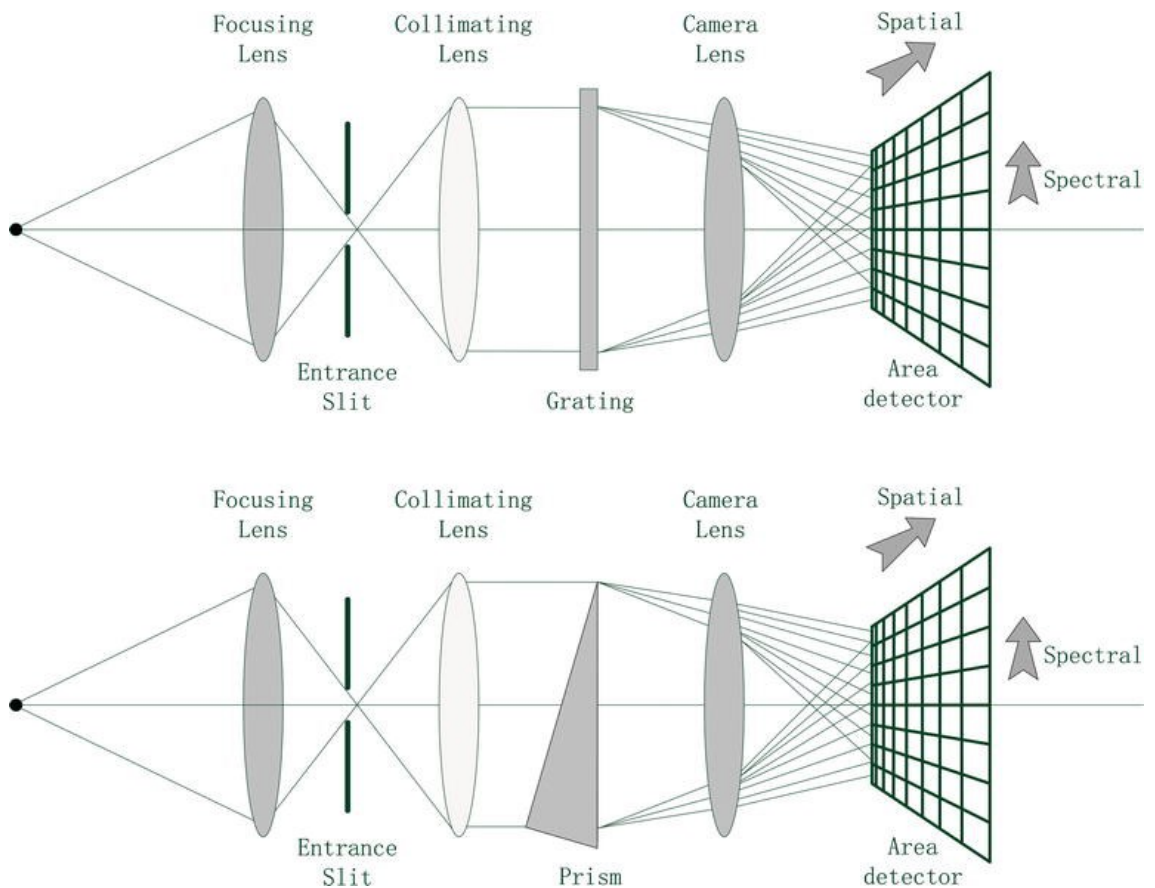
## 2.2 Valaistus

Jotta kuvasta saataisiin mahdollisimman selkeä, tarvitsee HSI-järjestelmässä olevan valaistuksen olla mahdollisimman hyvä. Valaistuksella pystytään vaikuttamaan saadun kuvan laatuun vähentämällä melua, varjoja sekä heijastusta. Lisäksi voidaan parantaa kuvan kontrastia. Valonlähteen asettelu, erilaiset valonlähteet sekä värin laatu on otettava huomioon valonlähdeä valitessa. HSI:n kanssa eniten käytetyt valon lähteet ovat nykyään halogeenilamppuja, lasereita tai infrapunalamppuja.

## 2.3 Kuvaamisyksikkö

Kuvaamisyksikkö koostuu linssistä sekä erittäin herkstä ja käyttötarpeen mukaan valitusta spektrografista yhdessä joko CCD-kennon eli charge coupled device tai CMOS- eli complementary metal oxide semiconductor -kameran kanssa.

Spektrografin tehtävä kuvaamisyksikössä on hajottaa kaapattu valo yhdeksi jatkuvaan spektriseksi alueeksi. Tämän saavuttamiseksi spektrografeissa käytetään erilaisia optisia apuvälineitä. Näihin apuvälineisiin kuuluu prisma, hila sekä useat erilaiset suodattimet. Kuvassa 3 nähdään prisman sekä hilan toimintaperiaate.



Kuva 3. Prisman sekä hilan toimintaperiaate

Kuvan fyysisen tai kemiallisen informaation muuttaminen digitaaliseen muotoon toteutetaan yleisimmin joko CCD-kennon tai CMOS-kameran avulla. Näistä CMOS-kameraa sovelletaan tavallisesti tilanteissa, joissa kovalta ei vaadita tiukkoja laatuvaatimuksia. Kun taas CCD-kameraa sovelletaan esimerkiksi lääketieteen ja tieteen aloilla, jolloin kuvien tulee olla mahdollisimman tarkkoja. (Xiaona Li ym. 2017.)

## 2.4 Tietokone

Tietokoneen käyttö kaikessa digitaalisessa kuvan käsittelyssä on pakollista. HSI:n osalta tietokone on suuressa osassa datan vastaanottamisessa, sen prosessoimisessa sekä analysoimisessa. Lisäksi kuvat saadaan säilöttyä tietokoneelle, mutta suurien tiedostokokojen takia kuvien säilömiseen tarvitaan usein myös muita apukeinoja.

## 3 Laadunvalvonta

Laadunvalvonnalla halutaan taata elintarvikkeiden hyvä kunto sen kulkiessa toimittajalta kuluttajalle. Hedelmien ja vihannesten laatua seurataan kasvatuksesta kauppaan asti. Laadunvalvontaan kuuluu elintarvikkeiden tuotannossa jokaisen yksittäisen tekijän omavalvontasuunnitelma, jonka määrittää elintarvike- ja terveydensuojelulaki. Lisäksi näitä omavalvontasuunnitelmia ja niiden toteutumista valvoo kunnalliset viranomaiset kuten elintarvike- ja terveystarkastajat. (Ruokatieto Yhdistys.)

Inexillä saapuvien tuotteiden laadunvalvonta toteutetaan tällä hetkellä vielä täysin manuaalisesti. Laadun valvonnasta vastaa 3-4 henkilöä jokaista vuoroa kohti. Riippuen tuotteesta ja vaadittavista tarkastustoimenpiteistä yhden kuorman tarkastamiseen kuluu aikaa 15 minuutista tuntiin.

Tarkastus suoritetaan satunnaisotannalla kuorman alku-, keski- ja loppuosasta. Aluksi kustakin osasta mitataan kuorman lämpötila. Tämän jälkeen kuormasta valitaan satunnaisia laatikoita, joiden sisältö tarkastetaan erikseen. Tarkastuksessa tuotteita tutkitaan monilla eri tavoilla. Visuaalisessa tarkastuksessa tarkistetaan tuotteiden väri. Tarkistetaan, että tuotteissa ei ole selviä jälkiä kolhuista, hometta, näkyviä tauteja tai muuta, mikä voisi aiheuttaa tuotteen hylkäyksen. Visuaalisessa tarkastuksessa tarkistetaan myös tuotteiden parasta ennen -päiväykset sekä laatikoiden kunto. Tuotteista, joissa on valmiina EAN-koodi, eli kaikki tuotteet, jotka ovat valmiiksi pakattuja, eikä niitä tarvitse erikseen punnita kaupoissa, tarkistetaan EAN-koodin kunto.

Tietyillä tuotteilla on lisäksi muita tarkastuksia, joiden tekeminen vaatii pienen määrän tuhoamista tarkastuksen yhteydessä. Sitruhedelmistä, pois lukien limet ja sitruuna, tarkastetaan mehupitoisuus. Mehupitoisuus mitataan avaamalla hedelmä ja puristamalla siitä mehu ulos. Mehun painoa verrataan koko hedelmän painoon ja siitä saadaan laskettua mehupitoisuus.

Suurimmasta osasta hedelmiä tarkastetaan vähimmäissokeripitoisuus. Tarkastus tehdään refraktometrillä, joka mittaa sokeripitoisuuden ja ilmaisee pitoisuuden Brix-asteikolla.

Hedelmistä mitataan myös hedelmän kiinteys. Mittaus suoritetaan penetrometrillä. Tällä tarkastuksella saadaan tietoa hedelmän kypsyystilasta. Mittaus tapahtuu halkaisijaltaan erikokoisia kärkiä käyttämällä. Näillä kärjillä hedelmää isketään eripaineella. Mitä enemmän painetta tarvitaan, sen raaempi hedelmä on. (Ruokavirasto 2020.)

Näiden mittausten jälkeen laadunvalvonta joko hylkää tuotteet tai syöttää ne sisään järjestelmään. Hylätyt tuotteet lähetetään kauppakunnostukseen, joka on erillinen työpiste, jossa huonoista lavoista tarkastetaan, ja poistetaan laatikot, joissa havaitaan huonoja tuotteita, jonka jälkeen lavat kasataan uudestaan.

Jos otannasta yli prosentti on kriittisesti huonoja, eli jos niissä on havaittu hometta tai tuotteet ovat mätiä, tai jos niissä havaitaan hyönteisiä tai suuria määriä likaa, joudutaan koko erä hylkäämään. Jos otannasta yli seitsemän prosenttia sisältää kolhuja tai vaurioita tai muita havaittuja virheitä, jotka vaikuttavat tuotteen säilymiseen varastossa, hylätään erä. Jos otannasta yli 10 prosentissa havaitaan pintavikoja, hylätään erä. Lisäksi jos tarkastuksen jälkeen yli 80 prosenttia tuotteista sisältyy joihinkin aikaisemmin mainituista kategorioista, lavaa ei lähetetä kauppakunnostukseen.

Lisäksi riippuen tuotteesta, tarvittaessa suoritetaan jälkitarkastus yli kolme päivää varastossa olleille laatikoille.

Laadunvalvonta on jatkuvassa vuorovaikutuksessa toimittajien ja sitä kautta Inexin hankinnan kanssa. Aiemmin mainittiin hylkäys prosentit, mutta mehupitoisuuden, vähimmäissokeripitoisuuden tai paineiden takia lavoja ei hylätä, vaan niistä tehdään ilmoitus hankintaan ja sitä kautta toimittajille. Toimittajilla on myös mahdollisuus ilmoittaa tuote-erien laadun heikkoudesta, esimerkiksi jos jokin satokausi on jollain tavalla vahingoittunut. Näissä tapauksissa laadunvalvonnan raja-arvoja voidaan muuttaa tarpeen mukaan, jotta tulevat tuotteet saadaan eteenpäin.

#### **4 HSI hedelmien ja vihannesten laadunvalvonnassa**

Hedelmien sekä vihanneksien laadunvalvontaan ja lajitteluun käytetään apuna konenäköä. Tavallisella konenäkösystemillä tuotteet saadaan kuvattua ja lajiteltua värin, pinnan koostumuksen, koon sekä muodon mukaan. HSI:n lisääminen laadunvalvontaan tuottaa suuria etuja normaaliin konenäköön verrattuna. Erilaiset viat, jonka väri voidaan sekoittaa normaalin kuoren väriin, ovat mahdollisia havaita automaattisesti vain HSI:n avulla. Tällaisia vikoja ovat esimerkiksi kolhut, mädäntyneet alueet sekä paleltumat. (Xiaona Li ym. 2017.)

HSI kehittyi koko ajan, ja uusia kuvaamistekniikoita kehitetään koko ajan lisää. Sen käyttötarkoitukset laajenevat nopeaa tahtia ja sitä voidaan käyttää hyväksi sekä jo valmiiden tuotteiden laadunvalvonnassa sekä tuotteiden kasvatusvaiheessa. Etenkin hedelmien ja vihannesten kasvatuksessa on monia tekijöitä, jotka vaikuttavat suoraan valmiin tuotteen makuun, ulkonäköön, terveyteen ja näin ollen myös myyntiin. HSI:n avulla näitä voidaan valvoa istutuksesta kaupan hyllylle asti tuhoamatta tuotetta, jolloin säästetään sekä rahaa, että tekniikan ja kuvaamistekniikan kehittyessä myös aikaa.

Taulukossa 1 on käyty läpi erilaisten vihannesten ja hedelmien tyypillisiä laatu-  
vikoja ja tutkittu, kuinka hyvin ne voidaan tunnistaa HIS:n avulla. Kuten taulu-  
kosta nähdään, kuvien tarkkuus on hyvinkin suuri ja yleisimmät viat saadaan  
tietoon helposti.

Taulukko 1. Yhteenveto hedelmien ja vihannesten erilaisia vikoja havaitsevista  
tutkimuksista.

<b>Product</b>	<b>Species</b>	<b>Applications</b>	<b>Types of CVS</b>	<b>Met- hods</b>	<b>Accuracy</b>
<b>Fruits</b>	Apple	Bruise detection	HIS	PLS, SDA	93,95 %
	Apple	Decayed spot, wound and rot detection	MIS	BR	99,5 %
	Apple	Rottenness detection	HIS	LDA, CAR T	91,2 %
	Citrus	Common defect detection	HIS	PCA	93,7 %
	Citrus	Rottenness detection	HIS	ANN, DT	98 %

<b>Product</b>	<b>Species</b>	<b>Applications</b>	<b>Types of CVS</b>	<b>Methods</b>	<b>Accuracy</b>
	Pear	Bruise detection	HIS	PCA,	93,8-95 %
	Strawberry	Bruise detection	HIS	LDA	100 %
<b>Fruits</b>	Cherry	Pit detection	HIS	NN	97 %
<b>Vegetables</b>	Cucumber	Bruise detection	HIS	PCA, BR	75-95 %
	Cucumber	Chilling injury detection	HIS	PCA, BR	>90 %
	Mushroom	Freeze damage detection	HIS	PCA, LDA	

HIS: hyperspectral imaging system; MIS: multispectral imaging system.

Kolhut ovat yksi yleisemmistä vaurioista, joita hedelmistä löytyy. Kolhut saavat hedelmissä aikaan kemiallisia muutoksia, jotka vaikuttavat hedelmän heijastusominaisuuksiin. Näin ollen vertaillen eri spatiaalisten pisteiden spektriä voidaan kolhut tunnistaa helposti.

Paleltumat ovat toinen hyvin yleinen vika hedelmissä. Paleltumat johtuvat solukalvon rikkoutumisesta ja solukalvon hajoamisesta, mikä johtaa paleltuman saaneen alueen kiinteyden muutokseen. Tämä voidaan havaita tutkiessa hedelmien kiinteyttä HSI:n avulla.

Hedelmien hapokkuus ja pH-arvo vaikuttavat huomattavasti niiden laatuun ja makuun. Näiden ominaisuuksien määrittämiseen on aikaisemmin käytetty tuotteen tuhoamista vaativia testejä. HSI:n avulla on päästy testituloksiin, joilla näiden parametrien mittaaminen voidaan suorittaa esimerkiksi mangosta tai rypäleistä, tuhoamatta sitä ollenkaan.

Hedelmien ja vihanneksien vesipitoisuus vaikuttaa suoraan niiden makuun, koostumukseen, painoon, ulkonäköön sekä hyllyykään. HSI:tä on jo käytetty tunnistamaan eri hedelmien ja vihannesten vesipitoisuuksia. Sen avulla on luotu värikarttoja erilaisten hedelmien ja vihannesten vesipitoisuuksista ja niiden avulla saatu laskettua niiden tarkat vesipitoisuudet.

Tärkkelyspitoisuus hedelmissä ja vihanneksissa vaikuttaa suoraan niiden sokerin määrään kypsymisen jälkeen. HSI:n avulla on saatu laskettua tärkkelyspitoisuus omenoista, ja mittaustulokset ovat vastanneet normaalilla tuhoamista vaativalla tavalla saatuja tuloksia. (Xiaona Li ym. 2017.)

Kaikkia aiemmin lueteltuja HSI:n tuomia etuja ei kuitenkaan voida hyödyntää tavallisissa tuotannollisissa olosuhteissa. Osa testeistä on suoritettu laboratorioolosuhteissa, ja kuvaamisajat ovat nousseet useisiin minuutteihin, mikä normaalisti liikkuvalla tuotantolinjalla tekee kuvaamisesta mahdotonta. Lisäksi laitteet, joita on käytetty saattavat olla joillain tavoilla muokattuja, eikä niitä välttämättä edes löydy markkinoilta.



## 5 HSI Inexin laadunvalvonnassa

Tuotteet Inexin hedelmä- ja vihannespuolella pitää sisällään laajan kirjon erilaisia ja eri muotoisia hedelmiä sekä vihanneksia. Kaikki tuotteet tulevat taloon ja liikkuvat sen sisällä laatikoissa. Jotta kuvaaminen on mahdollista, tarvitsee laatikoiden yläpuolen olla avonainen. Pieni osa laatikoista on suljettuja ylhäältä päin ja näin ollen niiden kuvaaminen on mahdotonta. Suurin osa tuotteista on kuitenkin pakattu muovisiin Europal-laatikoihin, joiden yläpuoli on avonainen. Laatikoihin pakatut muovikääreissä olevat tuotteet on myös mahdollista kuvata, mutta näissä erilaiset etiketit saattavat aiheuttaa ongelmia. Lisäksi joidenkin lavojen ylin kerros on suojattu esimerkiksi pahvilla. Nämä pahvit täytyisi siis poistaa joko toimittajien puolesta tai manuaalisesti ennen lavan purkua, jotta kuvaaminen olisi mahdollista.

Tuotantotiloissa toteutetulla kuvauksella tämänhetkisinä laitteilla ei saada hedelmistä ja vihanneksista niin paljon informaatiota, kuin mitä HSI:llä käytännössä voidaan saada. Tämä johtuu siitä, että kuvaamisajat täytyy pitää mahdollisimman pienenä, jotta tuotanto ei kärsi.

### 5.1 Mitä saadaan kuvattua

Nopean kuvaamisen takia tiedot, joita tuotteista saadaan jäävät suurelta osin pinnallisiksi virheiksi. Näihin virheisiin lukeutuu kolhut, home, erilaiset tuholaiset, ylikypsyys, erilaiset sairaudet sekä paleltumat. Monet näistä ovat sellaisia virheitä, joita on hankala, ellei mahdotonta havaita ihmissilmällä, sillä ne saattavat sijaita myös kuoren sisäpuolella. Myös kun verrataan normaaliin konenäköön, jolla nähdään vain tuotteiden pinta, on informaation määrä, mitä HSI:n tuottamasta kuvasta saadaan, huomattavasti suurempi.

Inexin tuotteista hedelmät ovat helpoiten kuvattavissa HSI:n avulla. Päärynöistä, avokadoista, persikoista sekä kiiveistä saadaan kuvaamisen avulla helposti informaatio erilaisista kolhuista sekä niiden kypsyystilasta. Nämä tuotteet

ovat suurimmaksi osaksi irtonaisina laatikoissa ilman etikettejä, mikä mahdollistaa todella suuren otannan kustakin tuote-erästä.

Banaaneja kuvaamalla saadaan informaatio niiden kypsydestä, homeesta sekä erilaisista taudeista. Niiden kuvaaminen tällä hetkellä on vain käytännössä mahdotonta, sillä kaikki banaanit saapuvat Inexille suljetuissa laatikoissa, ja ellei laatikoiden kansia poisteta, kuvaaminen ei onnistu.

Vihannekset on yleisesti pakattu muoviin, jossa on erilaisia kuvaamista hankaloittavia elementtejä, kuten etikettejä ja muita kuvioiteja muovin pinnassa. Irtonaisena olevat vihannekset saadaan kuvattua, ja esimerkiksi tomaateista saadaan tieto niiden kypsydestä sekä mahdollisista kolhuista. Lisäksi esimerkiksi perunoiden tärkkelys- ja sokeripitoisuudet voidaan selvittää HSI:n avulla, mutta tämä ei ole laadunvalvonnan kannalta oleellista.

Näin ollen Inexillä HSI:n suurin hyöty saadaan etenkin pakkauksettomien hedelmien kuvauksesta, ja niiden visuaalinen tarkastaminen ihmisten toimesta voidaan jättää kokonaan pois. Mehu- ja sokeripitoisuudet sekä painetesti jäävät kuitenkin vielä ihmisen tehtäväksi, sillä nopealla kuvaamisella näitä tietoja ei vielä hedelmistä saada.

## 5.2 Kuvaamisen toteutus

Inexille tuotteet saapuvat lavoilla, ja laaduntarkastus toteutetaan jo vastaanottovaiheessa. Jos laaduntarkastus haluttaisiin toteuttaa konenäköä hyväksikäyttäen, tarvitsee laaduntarkastus siirtää myöhemmäksi, kun lavat on jo purettu. Lavat puretaan Inexillä depalletizer-laitteella, joka purkaa lavan kerroksittain tuotantolinjalle. Lavan purun jälkeen jokainen tuote naitetaan tarjottimelle, ja järjestelmä saa informaation, mikä tuote on milläkin tarjottimella.

Hedelmä- ja vihannespuolella yhdelle tarjottimelle menee 1-4 tuotetta, jonka takia osa tuotteista jää pakosti kuvaamatta. Lisäksi tuotteet saattavat olla laatikoissa useammassa kerroksessa, jolloin vain päällimmäinen kerros saadaan

kuvattua. Vaikka laatikoiden määrä ja mahdolliset kerrokset tekevät osan tuotteista kuvaamisesta mahdotonta, otanta tulee silti HSI:n avulla paljon suuremmaksi kuin mitä se tällä hetkellä muutaman satunnaisotannalla valitun laatikon kanssa on.

Laboratoriossa tehdyistä kuvauksista poiketen Inexillä kuvaaminen täytyy toteuttaa tuotteiden suuresta määrästä johtuen kuljettimilla. Kuljettimia on mahdollista hidastaa kuvaamista varten, mutta tämä ei todennäköisesti ole vaadittavaa, sillä esimerkiksi Specim1-kamera pystyy kuvaamaan viivakuvaus toiminnolla noin 3 metriä sekunnissa.

Kuvauspisteen sijainnilla ei ole muuten suurta merkitystä, kunhan se sijaitsee pisteessä, jossa tuotteet ovat jo tarjottimella. Näin saadaan varmistettua mahdollisimman suuri otanta. Pistettä valittaessa tarvitsee ottaa myös huomioon tilan määrä, jotta kaikki kalusto mahtuu paikalle.

Kuvan laatuun vaikuttavat tekijät tarvitsee myös ottaa huomioon. Ulkoinen valo saattaa aiheuttaa suuriakin virheitä kuviin, joten mahdollisimman pimeä paikka olisi kaikista optimaalisin. Ulkoisen valon voi kuitenkin sulkea kokonaan pois toteuttamalla kuvaamispiste suljettuna kokonaisuutena.

Tärinä on toinen tekijä, joka vaikuttaa kuvan laatuun. Suurin osa kuljettimista sijaitsee kuitenkin korkealla rakenteiden varassa, joten tärinää ei saada kokonaan suljettua pois. Näin ollen jälkitarkastuspiste on suositeltavaa sijoittaa lattiatasoon ja mieluiten mahdollisimman kauas kaikista tärinää aiheuttavista laitteista.

### 5.3 Jälkitarkastuspiste

Tuotteet Inexillä säilötään tarjottimilla niille erikseen suunnitelluissa varastoissa. Vaikka lämpötila näissä varastoissa onkin 4 – 8°C tuotteita saatetaan joutua säilömaan pidempiäkin aikoja kerrallaan. Tämän takia Inexin laadunvalvojilla on

mahdollisuus tilata näitä tuotteita varastoista jälkitarkastusta varten. Jälkitarkastus voidaan myös toteuttaa HSI:n avulla, mutta sitä varten on luotava oma tarkastuspiste. Erillinen tarkastus piste on pakko luoda, sillä tarjottimet eivät välttämättä pääse varastoista kulkemaan alkuperäiseen kuvauspaikkaan.

Jälkitarkastuspisteen sijaintia ei tarvitse niinkään erikseen miettiä, sillä lattiatasolta löytyy jo paikka, jonne laadunvalvojat tilaavat tuotteita jälkitarkastusta varten. Nykyinen jälkitarkastuspiste koostuu ovaalin muotoisesta kuljettimesta, johon tarjottimet tulevat hissillä. Tämän kuljettimen koko saattaa kuitenkin olla liian pieni, joten sitä saatetaan joutua laajentamaan. Vaihtoehtoisesti voidaan luoda tämän kuljettimen läheisyyteen täysin erillinen piste, jossa kuvat otetaan. Jälkitarkastuspisteen ei siis täydy sijaita itse kuljettimen yhteydessä, mutta jos näin toimitaan, joudutaan kaikki tarjottimet nostamaan manuaalisesti kuvausta varten.

Kun muut kuvauspisteet on sijoitettava rakenteiden päälle, jotta ne on sijoitettu mahdollisimman optimaaliseen paikkaan, voi niiden ottamisessa kuvissa ilmetä erialaisia ulkoisten tekijöiden aiheuttamia häiriöitä. Jotta nämä häiriöt voidaan karsia pois jälkitarkastuspisteeltä, on tärkeää, että siellä otettavat kuvat saadaan otettua paikassa, jossa on mahdollisimman vähän ulkoisia häiritseviä tekijöitä, kuten tärinää ja ulkoista valoa.

## **6 Laitteisto**

HSI-laitteistoja on markkinoilla monia erilaisia. Osa myynnissä olevista tuotteista ovat vain yksittäisiä komponentteja kuten kamera, eikä niitä myyvät yhtiöt tuota kokonaisia valmiita järjestelmiä. Jotkut yhtiöt taas myyvät valmiita järjestelmiä eivätkä itse valmista niihin kuuluvia laitteita, vaan räätälöivät markkinoilla valmiiksi olevista tai heidän yhteistyökumppanien valmistamista tuotteista kokonaisen paketin, joka on kasattu täysin asiakkaan käyttötarpeiden mukaan.

HSI-laitteistoa valittaessa tulee ottaa huomioon useita seikkoja. Spektrialue, resoluutio, kuvaamisnopeus sekä hinta ovat seikkoja, jotka tulee ottaa huomioon

kameraa valittaessa. Lisäksi valaistus, valonkeräyksen tehokkuus, spektrisen datan puhtaus sekä tarkkuus ja datan prosessoinnin yksinkertaisuus ovat seikkoja, jotka täytyy ottaa huomioon. (Herrala, Esko.)

## 6.1 Kuvaamismenetelmä

Kuvaamismenetelmä on valittava käyttökohteen mukaan. Inexin tapauksessa ”Push-broom” eli viivakuvaus menetelmä on käytännössä ainoa mahdollinen ratkaisu. Tämä kuvaamismenetelmä perustuu matriisikameraan sekä spektrografiin, joiden avulla muodostetaan viivakuvauslaite, jossa ilmaisimen yksi akseli rekisteröi spatiaalisen sijainnin viivasta ja toinen akseli rekisteröi spektrisen infon jokaisessa spatiaalisessa pisteessä. Tällä taataan se, että tuotettu spektri on täydellisesti yhteisrekisteröity niin, että kaikki spektrikaistat on mitattu samanaikaisesti, sekä täysin samasta tuotteen sijainnista. Näillä ominaisuuksilla saadaan mahdollistettua käytännössä välitön mittaustietojen saanti, koska ei tarvitse erikseen odottaa spektrin skannausta tai tuotteen liikkumista, jotta saadaan tietoon kaikki spektrin komponentit.

Viivakuvauksen kilpaileva kuvaamismenetelmä on tällä hetkellä aluekuvaus, joka tuo mukanaan monia hankaloittavia tekijöitä. Hankaluus tuottaa yhteisrekisteröityjä spektrejä tulee myöhemmin hankaloittamaan datan prosessoimista sekä hidastaa tulosten saamista. Se myös saattaa tuottaa epäluotettavaa spektristä infoa. Tämän lisäksi toimintaperiaatteesta johtuva valaistuksen tuottaman energian tuhlaaminen, sekä vaatimus saada homogeeninen sekä vakaa valaistus koko kuvattavalle alueelle tekevät aluekuvauksesta nopealla tuotantolinjalla käytännössä hyödyttömän. (Herrala, Esko.)

## 6.2 Valonlähde

HSI vaatii enemmän valonlähteeltä kuin normaali konenäkö vaatii. Eritoten viivakuvauksessa, kaikki aallonpituuden kerätään samanaikaisesti kuvattavalta viivalta, joten vain kyseinen viiva tarvitsee erillisen valonlähteen. Yleisimmin tämä

toteutetaan käyttämällä kahta valonlähdettä, jotka tuottavat mahdollisimman hyvän ja homogeenisen valonlähteen.

Aluekuvauksessa vaadittu valon määrä ja alue jolle valo täytyy heijastaa, on paljon suurempi. Lisäksi kirkkauden tarvitsee olla vakaa ja homogeeninen. Kun valo pitää saada paljon laajemmalle alueelle, tarvitsee valon lähteen olla voimakkaampi, sillä se tarvitsee sijoittaa paljon korkeammalle kuvattavasta kohteesta.

Valonlähteen kohdentaminen viivakuvausten vaatimalle viivalle voi olla jopa 30 kertaa tehokkaampaa kuin jos samalla energialla tuotettu valo kohdennetaan aluekuvausta varten laajemmalle alueelle. Tämä tarkoittaa sitä, että viivakuvaus saadaan 30 kertaa lyhyempi valotusaika ja siten 30 kertaa nopeampi kuvaamisnopeus kuin aluekuvauksella. Valotusajalla on myös suora vaikutus tuotteiden lämpenemiseen, joten jos kuvaamistavaksi valitaan aluekuvaus, tämä on seikka, joka täytyy ottaa huomioon. (Herrala.)

### 6.3 Kamera

Kamera on HSI:n yksi pääelementti. Sitä valittaessa huomioon tarvitsee ottaa spektrialue, kameran resoluutio, kuvaamisnopeus sekä hinta.

Spektrialue vaihtelee kameroissa tuotteen mukaan. Eri valmistajien kameroiden spektrialueet vaihtelevat jonkin verran, ja parhain spektrialue valitaan käyttökohteen mukaan. Kuitenkin, jotta tuotteista saadaan mahdollisimman paljon informaatiota, jota Inexin käyttökohteissa vaaditaan, tulee kameran spektrialueen todennäköisesti olla lähi-infrapuna-alueella, joka on noin 700-2500 nm. Esimerkkinä tällaisesta kamerasta on suomalaisvalmisteinen Specim FX17, joka toimii 900-1700 nm spektrialueella.

Kameran resoluutio vaikuttaa suoraan kuvan tarkkuuteen, joten mitä tarkempia kuvia halutaan, sen korkeampi tulee resoluution olla. Kuvista ei kuitenkaan haluta liian tarkkoja, sillä kun kuvien tarkkuus suurenee, saattaa kuvien tiedostokoot kasvaa liian suuriksi.

Kuvaamisnopeus on tärkeää muistaa, kun mietitään, mitä kuvataan. Viivakuvauskamerat ovat kuvaamisnopeudeltaan parhaimpia linjastolla tapahtuvaan kuvaamiseen ja ainoa vaihtoehto, ellei linjastoja haluta pysäyttää kuvaamisen ajaksi.

## 6.4 Ohjelmisto

Ohjelmistoa valittaessa tarvitsee miettiä sen käyttötarkoitusta. Useat eri ohjelmistojen valmistajat tarjoavat ohjelmistoja useisiin eri käyttötarkoituksiin ja eri aloille, kuten maatalouteen ja oikeuslääketieteeseen. Ruokiin ja juomiin keskittyvistä ohjelmistoistakin löytyy useita erilaisia käyttötarkoituksia, kuten erilaisten tuntemattomien materiaalien tunnistaminen ja lajittelu, tuotteiden tautien ja erilaisten vikojen tunnistaminen ja huonojen tuotteiden lajittelu.

## 6.5 Valmiit paketit

Kuten monissa muissakin laajoissa järjestelmäkokonaisuuksissa, myös HSI:ssä löytyy yhtiöitä, jotka myyvät valmiita kokonaisuuksia, jossa kaikki on otettu huomioon. Tällaisia yhtiötä HSI:n saralla ovat esimerkiksi Euroopassa toimivat In-spectra sekä Stemmer imaging.

Tällaiset yhtiöt räätälöivät valmiin kokonaisuuden juuri asiakkaan käyttötarpeiden mukaan. Kun otetaan huomioon kaikki, mitä HSI-järjestelmältä vaaditaan, tällaiset yhtiöt tekevät HSI:n integroimisesta esimerkiksi Inxin varastoon huomattavasti helpompaa.

## 7 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin, onko HSI:n integroiminen mahdollista Inexin tuotantotiloihin ja kuinka hyödyllinen sen integroiminen tulisi olemaan hedelmien ja vihannesten laadunvalvonnassa. Lisäksi työhön kuului HSI:n käyttötarkoituksiin ja toimintaan tutustuminen ja sen pohjalta selvittää, mihin kaikkeen sitä voidaan käyttää. HSI:n käyttö Inexin tuotantotiloissa tulee helpottamaan laadunvalvontaa, jonka lisäksi informaation määrä, mitä laadunvalvonnasta saadaan, kasvaa huomattavasti.

Myynnissä olevien laitepakettien sekä ohjelmistojen selvittäminen jäi hiukan suppeaksi, sillä insinööriyön tavoite ei ollut saada valmista järjestelmää tuotantoon. Näitä firmoja on useita, ja niiden vertailu tulee eteen vasta kilpailutusvaiheessa.

Insinööriyön pohjalta on helppoa miettiä, kuinka kannattava HSI tulee juuri Inexin tuotantotiloissa olemaan ja mihin sitä voidaan tällä hetkellä ja tulevaisuudessa käyttää.



## Lähteet

D. Lorente & J. Gómez-Sanchis & N. Aleixos & S. Cubero & O. L. García-Navarrete & J. Blasco. May 2011. Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. *Food and Bioprocess Technology*. 5(4):1121-1142. DOI: 10.1007/s11947-011-0725-1. Verkkoaineisto <[https://www.researchgate.net/publication/226411047\\_Recent\\_Advances\\_and\\_Applications\\_of\\_Hyperspectral\\_Imaging\\_for\\_Fruit\\_and\\_Vegetable\\_Quality\\_Assessment](https://www.researchgate.net/publication/226411047_Recent_Advances_and_Applications_of_Hyperspectral_Imaging_for_Fruit_and_Vegetable_Quality_Assessment)>. Luettu 16.2.2022.

Herrala, Esko. Guide to selecting hyperspectral instruments-pdf. Verkkoaineisto <<https://www.specim.fi/guide-to-selecting-hyperspectral-instruments/>>. Luettu

Omavalvonta ja muu laadunvalvonta. Ruokatieto Yhdistys. Verkkoaineisto <<https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/elintarviketeollisuus/ymparisto-ja-laatuasiat/omavalvonta-ja-muu-laadunvalvonta>>. Luettu 15.3.2022.

Pu, Y.-Y., Feng, Y.-Z. and Sun, D.-W. 2015. Recent Progress of Hyperspectral Imaging on Quality and Safety Inspection of Fruits and Vegetables: A Review. *COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY*, 14: 176-188. <<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12123>>. Luettu 23.2.2022.

Tuoreiden hedelmien ja vihannesten kaupan pitämistä koskevat vaatimukset. 6531/04.02.00.01/2020/3. Ruokavirasto. Verkko aineisto <<https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/elintarviketeollisuus/ymparisto-ja-laatuasiat/omavalvonta-ja-muu-laadunvalvonta>>. Luettu 23.2.2022.

Xiaona Li, Ruolan Li, Mengyu Wang, Yaru Liu, Baohua Zhang and Jun Zhou. 2017. Hyperspectral Imaging and Their Applications in the Nondestructive Quality Assessment of Fruits and Vegetables. DOI:10.5772/intechopen.72250. Verkkoaineisto <<https://www.intechopen.com/chapters/58346>>. Luettu 24.2.2022.