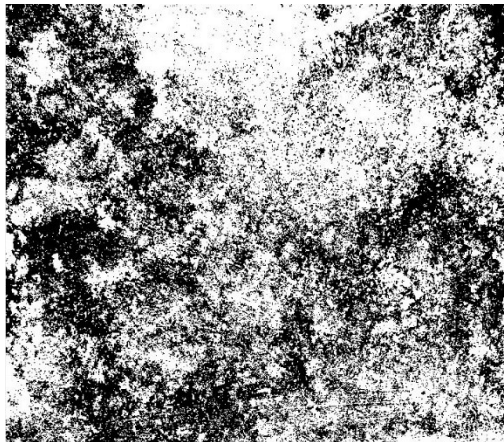


KONENÄKÖ LIKAANTUMISNÄYTTEISSÄ



HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Insinööri (AMK), konetekniikka

Syyslukukausi 2022

Riikka Aalto

Tekijä Riikka Aalto
Työn nimi Konenäkö likaantumisnäytteissä
Ohjaajat Päivi Laaksonen (HAMK Tech) ja Tiina Vuorio (HAMK Tech)

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Hämeenlinnassa sijaitsevan HAMK Tech -tutkimusyksikön kanssa. HAMK Tech on Hämeen ammattikorkeakoulun tutkimusyksikkö, jonka tutkimusalueita ovat valmistavan teollisuuden materiaalit, suunnittelu- ja valmistusteknologiat, rakentaminen sekä rakennetun ympäristön energiatehokkuus.

HAMK Tech -tutkimusyksiköllä on vuosittain useita projekteja, joissa tutkitaan erilaisten materiaalien likaantumista. Tavoitteena oli tutkia, miten konenäköä voitaisiin hyödyntää näiden likaantumisnäytteiden analysoinnissa. Konenäön avulla toivottiin löydettävän keino, jolla näytteiden lian määrää saataisiin analysoitua ja laskettua tarkemmin, sekä manuaalisen työn määrää vähennettyä. Tutkimuskohde rajattiin koskemaan ohuille metallilevyille maalattuja näytteitä, jotka olivat likaantuneet eri tavoin.

Opinnäytetyön toteutusvaihe koostui likaantumisnäytteiden kuvaamisesta erilaisilla kameroilla, kuvien käsittelystä, kuvien käsittelyyn soveltuvan ohjelman käyttöönotosta ja ohjelmoinnista, sekä näytteiden ajamisesta ohjelmalla ja tuloksien analysoinnista. Likaantumisnäytteiden kuvauksessa käytettiin erilaisia digitaalisia järjestelmäkameroita ja hyperspektrikameraa. Konenäön ohjelmat valittiin ominaisuuksien ja käyttömahdollisuuksien mukaan vastaamaan tutkimusaiheeseen.

Opinnäytetyötä varten tehtiin myös koe, jossa osallistujat sijoittivat konenäön analysoimat digitaalisten kuvien levyt omasta mielestään puhtaimmasta likaisimpaan järjestykseen. Tuloksina huomattiin, että osallistuneet ihmiset näkivät likaantumisen hieman eri tavalla kuin konenäkö. Ihmiset pitivät selvästi likaisimpina levyjä, joissa lian määrä on hyvin näkyvää ja lika isokokoista. Tutkimuksessa tutkittiin 25 levyä, joista vain yhden levyn kohdalla ihmiset ja konenäkö olivat samaa mieltä likaantumisasteesta. Hyperspektrikameralla otetuista kuvista analysoitiin spektrejä ja niiden vastaavuuksia tiedettyihin likoihin.

Avainsanat Konenäkö, likaantuminen, hyperspektrikamera
Sivut 23 sivua ja liitteitä 36 sivua

Author Riikka Aalto
Subject Machine vision in contamination tests
Supervisors Päivi Laaksonen (HAMK Tech) and Tiina Vuorio (HAMK Tech)

The thesis was done in cooperation with the HAMK Tech research unit located in Hämeenlinna. HAMK Tech is a research unit of Häme University of Applied Sciences, whose research areas are materials for manufacturing industry, design, and manufacturing technologies, construction, and the energy efficiency of built environment.

The HAMK Tech research unit has several projects each year that investigate the soiling of various materials. The goal was to investigate how machine vision could be utilized in the analysis of these soiling samples. With the help of machine vision, it was hoped to find a way to analyze and calculate the amount of dirt in the samples more precisely, and to reduce the amount of manual work. The research object was limited to samples painted on thin metal sheets that had been soiled in various ways.

The implementation phase of the thesis consisted of photographing soiling samples with different cameras, processing the images, implementing and programming a program that is suitable for image processing, running the samples with the program, and analyzing the results. Various digital cameras and a hyperspectral camera were used to photograph the soiling samples. The machine vision programs were chosen according to their features and usage possibilities to meet the research topic.

An experiment was also conducted for the thesis, in which the participants ranked the samples of digital images analyzed by machine vision from the cleanest to the dirtiest in their own opinion. The results showed that the people who participated saw the pollution in a slightly different way than machine vision. People thought that the dirtiest samples were the ones where the amount of dirt is very visible and large. In the study, 25 samples were examined, and only for one sample did humans and machine vision agree on the degree of contamination. Spectra were analyzed from images that were taken with a hyperspectral camera and their correspondences to known impurities.

Keywords Machine vision, soiling, hyperspectral camera
Pages 23 pages and appendices 36 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Pitkäaikaiskestävyytutkimus HAMK Tech -tutkimusyksikössä.....	3
3	Tutkimusvälineet ja -menetelmät	4
3.1	Digitaaliset järjestelmäkamerat ja valaistus	4
3.2	Konenäkö	5
3.3	Ohjelma digitaalisen kuvan tunnistukseen	6
3.4	Hyperspektrikamera	7
4	Tutkimustyö.....	8
5	Tulokset	12
5.1	Digitaalisten kuvien tutkimuksen tulokset.....	12
5.2	Hyperspektrikameran tulokset	17
6	Johtopäätökset	20
	Lähteet.....	22

Liitteet

Liite 1	Matlab-ohjelmointi
Liite 2	Digitaalisten kuvien tulokset
Liite 3	Hyperspektrikuvien standardien ja näytteiden spektrit sekä testiajot

1 Johdanto

Lika on erilaisia epäpuhtauksia pinnoilla. Likaantumista aiheuttavat mm. ilman saasteet ja erilaiset yhdisteet, sekä biologiset aineet ja vesi. Likaantuminen on usein monen tekijän summa ja se näkyy monella tapaa. Yleisimpiä ovat pinnan värin, rakenteen ja kiillon muutokset, lian näkyvä muodostuminen, rakenteiden haurastuminen ja kestävyiden muutokset. Likaantumisen aiheuttama kuluminen on tärkein syy julkisivujen huoltotarpeisiin. Julkisivuyhdistyksen ohjeessa korjaustarpeen selvittäminen ja kuntotutkimukset (Julkisivuyhdistys, 2005) on kerrottu julkisivujen kuntoarvion ja -tutkimuksen tekemisestä. Ohjeen mukaan kuntoarviossa likaantumisen laajuutta ja materiaalipintojen kulumista analysoidaan tavallisesti maasta käsin silmämääräisesti. Kuntotutkimus on laajempi selvitys, siihen sisältyy myös kohteen silmämääräistä tarkastelua.

Julkisivun tehtävä on suojata rakennusta ja täyttää esteettisiä vaatimuksia. Julkisivun materiaalin tulee kestää vähintään rakennuksen suunniteltu käyttöikä. Suunniteltu käyttöikä määräytyy käytettävän materiaalin, kohteen sijainnin ja huollon mukaan. Tampereen teknillisen yliopiston tutkimuksen kerrostalojen eri julkisivuvaihtoehtojen elinkaaritarkastelun (Tampereen teknillinen yliopisto, 2016) perusteella on tehty kuvaava taulukko eri materiaalien kustannuksista normaalihuollolla (taulukko 1).

Taulukko 1: Kohde 5 kerroksinen asuintalo, julkisivun pinta-ala 1800 m² (Tampereen teknillinen yliopisto, 2016).



Uusia tehokkaampia lian analysointikeinoja kaivataan, jotta julkisivujen huoltotarpeet voidaan arvioida vielä paremmin. Optimaalisella huoltovälillä saadaan taloudellista säästöä ja parannetaan turvallisuutta. Likaantumisen tutkiminen on tärkeää työtä etsittäessä yhä parempia uusia materiaaleja kohteisiin. Lisää tietoa aiheesta ja käytössä olevia analysointi ja tutkimusmenetelmiä löytyy seuraavista standardeista: SFS-EN 10169:2022 ja SFS-EN 13523-0:2021:en.

Opinnäytetyön tavoite oli löytää toimiva keino hyödyntää konenäköjärjestelmää HAMK Tech -tutkimusyksikön likaantumisenäytteiden analysoinnissa. Konenäön avulla toivottiin kehitettäväksi systemaattinen menetelmä, jonka avulla voidaan arvioida sitä miten hyvin yksinkertainen konenäköjärjestelmä toimii maalipinnoitettujen ohutlevyjen likaisuuden tutkimuksessa. Konenäköä on käytetty monessa erilaisessa käyttökohteessa, esim. teollisuudessa laadunvalvontaan. Konenäön avulla pystytään lajittelemaan linjastolla tuotteita erilaisten vikojen esiintymisen perusteella. Vikoja pystytään myös määrittelemään ja mittaamaan konenäköjärjestelmän avulla. Konenäön avulla saadaan tuotannosta nopeampaa ja kannattavampaa. Likaantumisenäytteiden analysointi konenäön avulla on verrattavissa tähän teollisuuden laadunvalvontaprosessiin. Kumpikin perustuu kohteiden havaitsemiseen, kuvan analysointiin ja tiettyjen ominaisuuksien laskentaan tai mittaamiseen.

Konenäköjärjestelmän käyttö on toistettavaa ja nopeaa, sen teolliset sovellukset vaikuttavat tulevaisuudessa lisääntyvän ja käyttökohteita on yhä enemmän. Opinnäytetyön työvaiheina oli kuvata näytteitä, ohjelmoida ja analysoida kuvat konenäön avulla, sekä vertailla sitä miten ihmisten tekemän ja tutkimuksessa käytetyn konenäköjärjestelmän likaisuuden arviot eroavat toisistaan. Näytteitä kuvatessa käytettiin sekä digitaalista järjestelmäkameraa, että hyperspektrikameraa. Hyperspektrikuvaaminen laajentaa konenäköjärjestelmän mahdollisuuksia näyttämällä levyjen pintoja vielä laajemmalla spektrillä kuin tavallinen digitaalinen kamera. Hyperspektrikuvauksella on mahdollista eritellä lian koostumusta vertailemalla spektrejä.

2 Pitkäaikaiskestävyytutkimus HAMK Tech -tutkimusyksikössä

HAMK Tech on Hämeen ammattikorkeakoulun tutkimusyksikkö, jonka keskeisiä tutkimusalueita ovat valmistavan teollisuuden materiaalit, suunnittelu- ja valmistusteknologiat, rakentaminen sekä rakennetun ympäristön energiatehokkuus. HAMK Tech -tutkimusyksikön pitkäaikaiskestävyyden tutkimusryhmä tutkii metallien, pinnoitteiden ja muiden materiaalien pitkäaikaiskestävyyttä ulko-olosuhteissa ja sääaltistusta simuloivissa laboratorio-olosuhteissa. Testimenetelmiä ovat mm. korroosiotutkimukset ja ulkotestaukset. Tulevaisuuden tavoitteena on kestävä kehityksen tukeminen teollisuudessa (Hämeen ammattikorkeakoulu, n.d.).

HAMK Tech -tutkimusyksikössä käsitellään vuosittain useita tuhansia likaantumisenäytteitä eri projektien yhteydessä. Usein nämä näytteet liittyvät materiaalien säärasituksen soveltavaan tutkimukseen, pitkäaikaiskestävyyteen ja materiaalitutkimukseen. Maalipinnoitteiset teräslevyt ovat suosittuja materiaaleja katto- ja julkisivurakentamisessa. Pinnoitteet ja muut materiaalit altistuvat erilaisille ympäristötekijöille, kuten vesi, kosteus, suola, UV-säteily, biologiset tekijät, lämpö ja kylmyys. Materiaalien testausta tehdään usein siinä ympäristössä missä materiaalia on tarkoitus käyttää. Tavoitteena on löytää oikea tuote oikeaan ympäristöön ja varmistaa että se toimii mahdollisimman taloudellisesti.

Ulko- ja sisäolosuhteissa tehtäviin testauksiin löytyy useampia erilaisia standardeja, joiden mukaan testauksia tehdään. Standardin SFS-EN 10169:2022 mukaisessa ulkotestauksessa levyt ovat testikentillä erilaisissa telineissä käyttötarkoituksen mukaisissa kulmissa ja suunnissa. Ulkotestaukseen vaikuttavat sijainti, vuodenaika ja säävaihtelut. Sisäolosuhteissa tehtävät testit ovat hieman erilaisia, niissä on vakaammat olosuhteet, vähemmän kontaminaatioita ja tuloksia saadaan nopeammin. Näistä ulko- ja sisätestauksessa olleista näytteistä mitataan mm. kiiltoa, sävyä ja tehdään visuaalinen arvio likaantumisesta. Näytteiden visuaalinen arvio pinnan kunnosta on toisinaan hankala määrittellä. Pinnan väri saattaa vaikuttaa lopputulokseen, samoin heijastumiset, kulumiset ja valo. Ihmiset saattavat olla myös eri mieltä siitä, mikä on likainen pinta ja mikä ei.

3 Tutkimusvälineet ja -menetelmät

3.1 Digitaaliset järjestelmäkamerat ja valaistus

Digitaalinen järjestelmäkamera ottaa kuvan objektiivin läpi ja tallentaa sen kennon näkemänä useimmiten muistikortille. Objektiivin näkökentän määrittää polttoväli. Pitkä polttoväli suurentaa kohteen pienelle alueella, lyhyt polttoväli tuottaa laajemman kuva-alan. Aukon suuruudella mitataan objektiivin nopeutta. Kuva koostuu kuvaelementeistä eli pikseleistä ja mitä enemmän pikseleitä on, sitä korkealaatuisempi ja tarkempi kuva on. Myös kennon koko vaikuttaa kuvan laatuun. Digitaalinen kuvaus on nopeaa ja tehokasta. Kuvat ovat pääsääntöisesti korkealaatuisia ja niitä pystyy käsittelemään erilaisilla kuvankäsittelyohjelmilla. Onnistunut kuvaus vaatii oikeat olosuhteet ja kameran asetukset. Näytteiden kuvaamisessa käytettiin Canonin ja Nikonin digitaalisia järjestelmäkameroita: Canon PowerShot SX60 HS (kuva 1), Nikon Coolpix B700 ja Nikon D5100. Kamerajalustaa käytettiin, jotta kamera pysyi paremmin paikalla valotuksen aikana ja sarjassa kuvatessa etäisyys näytteisiin pysyi samana.

Kuva 1: Canon PowerShot SX60 HS kamera.



Valaistus on kuvan muodostuksen kannalta merkityksellistä. Valo pitäisi saada jakautumaan näytteeseen tasaisesti, jotta kuvaan ei tule tummentumia tai heijastuksia. Valon jakauman ja

suuntauksen lisäksi intensiteetti on tärkeää. Valoa tulee olla riittävästi. Valaistuksen tehtävä on korostaa kuvauskohteen mitattavia yksityiskohtia. Valonlähteinä näyttöiden kuvauksissa toimivat HAMK Tech -tutkimusyksikön eri työtilojen valaistukset ja suurin osa käytetyistä kuvista kuvattiin ulkona päivän valossa Riihimäellä keväällä 2022. Ulkona kuvatessa oli pilvinen sää, jolloin näytteisiin tuli valoa tasaisesti ja riittävästi. Näytteet asetettiin pystyasentoon, jolloin vältettiin turhat heijastumiset ja varjostukset. Oikea työskentelyetäisyys ja terävyysalue löytyi testaamalla. HAMK Tech -tutkimusyksikössä käytetään digitaalista järjestelmäkameraa lähes kaikkien näyttöiden kuvaamiseen sekä sisällä että ulkona. Tässä opinnäytetyössä haettiin vielä tarkempaa kuvanlaatua ja -kokoa kuvattaville näytteille, sekä oikeaa valaistusta ja rajausta ajatellen konenäön avulla tapahtuvaa analysointia.

3.2 Konenäkö

Konenäkö on älykäs elektroniikkasysteemi, joka helpottaa ihmisten työtä. Se koostuu näköanturina toimivasta kamerasta, kohteesta, valolähteestä, tietokoneesta ja siinä olevasta kuvankäsittelyohjelmasta, joka suorittaa koodin ja laskee tuloksen. Kyseessä on automaattinen kuvan analysointi, jossa hyödynnetään tekoälyä. Konenäössä käytetään apuna kuvantunnistusta ja erilaisia kuvankäsittelyn algoritmeja. Yleisimmät konenäön toimintamuodot ovat tunnistus, luokitus, seuranta ja havaitseminen. Konenäön avulla analysointi käy nopeasti, tarkasti ja toistettavasti. Konenäölle on mahdollista opettaa esimerkkien avulla esim. eri laatuisten kankaiden tunnistusta. Algol Technics artikkelin konenäkö tarkistaa ja ohjaa (Algol Technics, 2018) mukaan konenäköä hyödynnetään skottiruutuisten kankaiden laadunvalvonnassa. Konenäölle syötetään laadukkaita kuvia oikeanlaisista ja virheellisistä kankaista, sekä sille koodataan ohjeet verrata tuotannosta otettuja kuvia näihin annettuihin kuviin. Virheelliset kankaat pystytään löytämään kankaista konenäön avulla ja ne voidaan poistaa tuotannosta. Prosessi vaatii useita kuvia ja paljon toistoja toimiakseen tehokkaasti.

Kirjassa Robotiikka ja tekoäly (Hänninen P., 2022, s. 253) todetaan, että konenäkö on väsymätön, nopea ja usein tarkempi kuin ihminen. Ihminen tarvitsee lepoa ja usein päätöksen tekoon menee enemmän aikaa. Inhimilliset virheet ovat mahdollisia. Konenäkö ei

tarvitse lepoa ja päätökset tapahtuvat nopeasti. Virheen mahdollisuus on pieni. Toki konenäön analysointi ei ole aina täysin aukotonta, jos ajatellaan kankaiden laadunvalvonnan analysointi esimerkiksi, niin siinä voi tulla ongelmia, jos kankaassa onkin jokin muu vika kuin mitä on opetettu. Pahimmillaan konenäkö ei osaa tulkita tilannetta oikein ja käyttökelpoista kangasta menee hukkaan. Konenäkö ei osaa päätellä asioita itse. Tekniikka kuitenkin kehittyy jatkuvasti eteenpäin ja tulevaisuudessa näkyy suuria odotuksia. Konenäköä on hyödynnetty paljon sovelluksiin erilaisiin tehtäviin. Näitä tehtäviä ovat mm. pullojen palautus, passin tunnistus ja lääkkeiden laadunvalvonta.

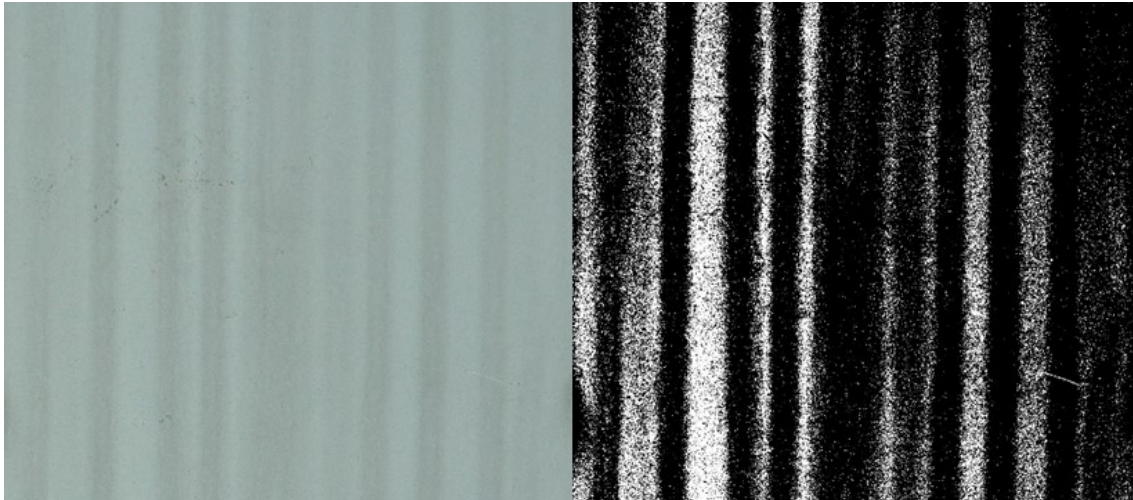
Konenäön avulla on mahdollista analysoida likaantumisenäytteiden kuvista mm. halkeamia, korroosiota, irronnutta maalia, likaa, värimuutoksia, kiiltoa, naarmuja ja kovuutta. Tuloksista saatavilla tiedoilla on mahdollista saada lisää tietoa lian syntymekanismeista ja tätä tietoa voidaan hyödyntää kohteiden materiaalien parannus- ja kehitystyössä. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin analysoimaan näytteiden pinnan lian määrää ja koostumusta.

3.3 Ohjelma digitaalisen kuvan tunnistukseen

Digitaalisten kuvien konenäön ohjelmaksi valittiin Mathworksin kaupallinen Matlab R2022a, jossa oli jo valmiina kuvan analysointiin sopivia toimintoja. Likakuvien analysoinnin koodaus Matlabilla rakennettiin siten, että ohjelma ensin binärisöi, segmentoi ja kynnysti kuvan ja laski sen jälkeen kuvasta kuinka paljon mustaa väriä eli likaa löytyi vaalealta pohjalta (liite 1). Binärisointi on kuvapisteen kaksiarvoistamista, sen avulla voidaan kuvan analysointia yksinkertaistaa. Siinä kuvapisteen kirkkausarvoa verrataan kynnyksarvoon. Segmentoinnissa ja kynnystämisessä kuva jaetaan yhtenäisiin alueisiin ja kuvan sävyjä vähennetään. Näihin asetuksiin päädyttiin tutkimalla muita vastaavia ohjelmointeja, kirjallisuutta ja kokeilemalla erilaisia vaihtoehtoja.

Kaikki käytetyt levyt valittiin vaalealla pohjalla, jotta ne olisi helpompi analysoida. Levyjen kuvia rajattiin siten että ne olivat edustavia, niissä saattoi olla esim. kiinnityksestä johtuvia tummentumia tai putsamisen aiheuttamia vaalentumia. Digitaalinen ja Matlabin käsitelty kuva erosivat ulkonäöllisesti toisistaan (kuva 2). Lisää näitä kuvapareja löytyy liitteestä 2.

Kuva 2: Digitaalinen kuva vasemmalla ja Matlab kuva oikealla.



3.4 Hyperspektrikamera

Hyperspektrikamera eli HS-kamera voi käyttää aallonpituusaluetta 200-1300 nm. Ihmissilmä näkee näkyvän valon jonka aallonpituus on 400-700 nm. HS -kamera kuvaa kohteen heijastuksia, jokaisella värillä on oma heijastuskäyrä eli spektri. Spektri kuvaa valon määrää eri aallonpituuksilla. Kohde voi lähettää, heijastaa tai siirtää valoa. Näistä spektreistä voidaan tunnistaa ja määrittellä materiaaleja, sekä niiden ominaisuuksia. HS -kamera jakaa kuvan pikseleihin. Hyperspektri -kuvantamisessa eli HS -kuvantamisessa jokainen pikseli sisältää spektritietoja, jotka auttavat tunnistamaan erilaiset muutokset pinnoissa kulumisen ja likaantumisen vuoksi. HS -kameraa hyödynnetään mm. ruuan laadunvalvonnassa, lääkkeiden tarkastuksessa, vaatejätteen lajittelussa, kasvillisuuden tutkimuksessa ja automaalien analysoinnissa. Yleisimmät HS -kuvantamisen käyttökohteet ovat teollisuus, tutkimus ja kaukokartoitus. Teknologian tutkimuskeskuksen kasvillisuuden tutkimuksessa kasvitaudit löytyvät uudella teknologialla aiemmin, tarkemmin ja nopeammin (Teknologian tutkimuskeskus, 2019), HS -kameran avulla kuvattiin kasveja ja saatiin tärkeää informaatiota niiden kasvusta, terveydestä ja ravitsemustilasta. HS -kamera pystyi tunnistamaan kasvien terveyden muutokset jo paljon ennen kuin ne ovat näkyviä. Tekniikka perustuu kemiallisten ainesosien erilaisten valojen heijastusominaisuuksiin.

Tavoitteena oli selvittää, onko spektrisiä alueita, joita voidaan käyttää erilaisten kulumisen ja likaantumisen määrälliseen tai laadulliseen analysointiin rakennusmateriaaleissa. Pohdittiin

myös, voiko HS -kuvantamista käyttää kulumisen ja likaantumisen varhaisten merkkien tunnistamiseen. HAMK Tech -tutkimusyksikön Specim IQ HS -kameralla (kuva 3) otettiin kuvia likaantumisnäytteistä. Specim IQ HS -kamera käyttää aallonpituusaluetta 400-1000 nm. Kuvadataa tutkittiin Specim IQ Studio ja Matlab Hyperspectral Viewer ohjelmilla. Molemmilla ohjelmilla pystyttiin tarkastelemaan näytteiden spektritietoja. Specim IQ Studiolla oli mahdollista tehdä kirjasto, jonne saatiin HS -kuvat laboratorioissa liatuista näytteistä joissa oli nokea, siitepölyä ja levää. Näistä näytteistä tehtiin standardeja ja muita kuvattuja näytteitä verrattiin niihin. Standardeihin vertaamalla pystyttiin arvioimaan, oliko näytteiden pinnalla nokea, levää tai siitepölyä.

Kuva 3: Specim IQ hyperspektrikamera.



4 Tutkimustyö

HAMK Tech -tutkimusyksikön likaantumisnäytteet ovat usein pitkäaikaiskestävyyden tutkimuksista. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin näytteisiin, jotka ovat maalattu tai kiinnitetty ohuelle teräslevylle. Suurin osa näytteistä on ollut ulkona erilaisia aikoja säärasituksessa metsässä tai teollisuusalueella, osa levänkasvatuskaapissa ja osa liattu noella tai siitepölyllä. Näytteissä näkyy erilaisia likoja, mm. ruostetta, jäkälää tai tummentumia. Osa liasta lähtee kevyesti pesemällä, osa ei. Näytteistä mitataan mm. kiiltoa, sävyä ja niille tehdään visuaalinen arviointi. Nämä mittaukset ja analyysit antavat näytteille dataa

keskimääräisistä muutoksista, mutta eivät sisällä mitään tietoja lian alkuperästä tai tyyppistä, eivätkä ole riittävän herkkiä kulumisen erottamiseksi ja erilaisten likaantumistyyppien luokitteluun. Esimerkiksi UV -altistus vähentää pinnan kiiltoa, mutta niin myös tapahtuu kun lika kertyy pintaan.

HAMK Tech -tutkimusyksikön likaantumisnäytteitä oli käytettävissä yhteensä 392 kpl, kuvassa 4 on osa levyistä. Niissä oli erilaisia likoja, mm. levää, siitepölyjä ja kulumia. Näistä levyistä valittiin Matlab ja koetutkimukseen 25 kpl vaalealla pohjalla olevaa näytettä, jotka kuvattiin, rajattiin ja analysoitiin. Hyperspektrikameran tutkimukseen käytettiin eri värisiä levyjä, yhteensä 24 kpl.

Kuva 4: Tutkittavia levyjä.



Matlabin ohjelmalla kuville ajettiin oma likaantumisluku, jonka perusteella niille saatiin järjestys puhtaimmasta (pienin luku) likaisimpaan (suurin luku). Matlab teki kuville binärisoinnin, segmentoinnin ja kynnystämisen sekä laski kuinka paljon tummaa likaa on vaalealla pohjalla. Ihmisten koe järjestettiin siten, että nämä samat 25 levyn kuvaa laitettiin Google Formsin kyselykaavakkeeseen, jossa ne piti laittaa järjestykseen puhtaimmasta likaisimpaan (kuva 5). Ihmisten laittaman järjestyksen avulla saatiin jokaiselle levyille oma keskiarvo, joiden perusteella ne sijoitettiin järjestykseen puhtaimmasta likaiseen. Lopuksi verrattiin ihmisten ja koneen tuloksia keskenään (taulukko 1 tuloksissa). Ihmisten kokeen osallistujia oli 10, siihen vastattiin anonyymisti.

Kuva 5: Ihmisten kokeen kyselykaavake.

Likatesti 2022

Alla on 25 kuvaa. Laita ne järjestykseen puhtaimmasta likaisimpaan. 1=puhtain, 25=likaisin.

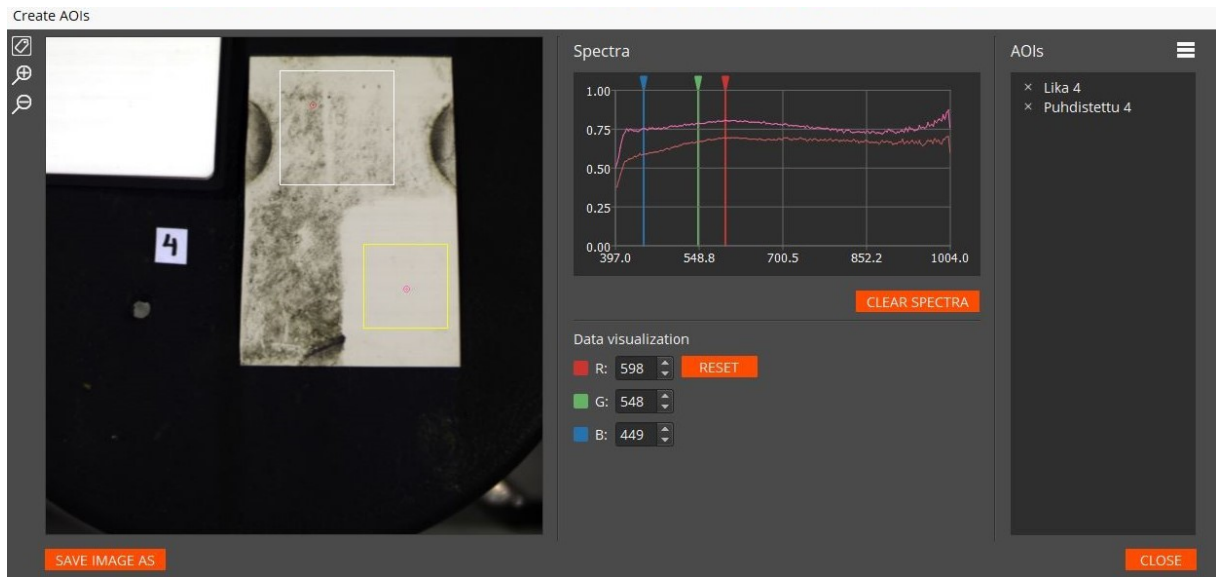
Yhteenveto kuvista. Huom! Kirjaathan vastauksesi yksittäisten kuvien alle.



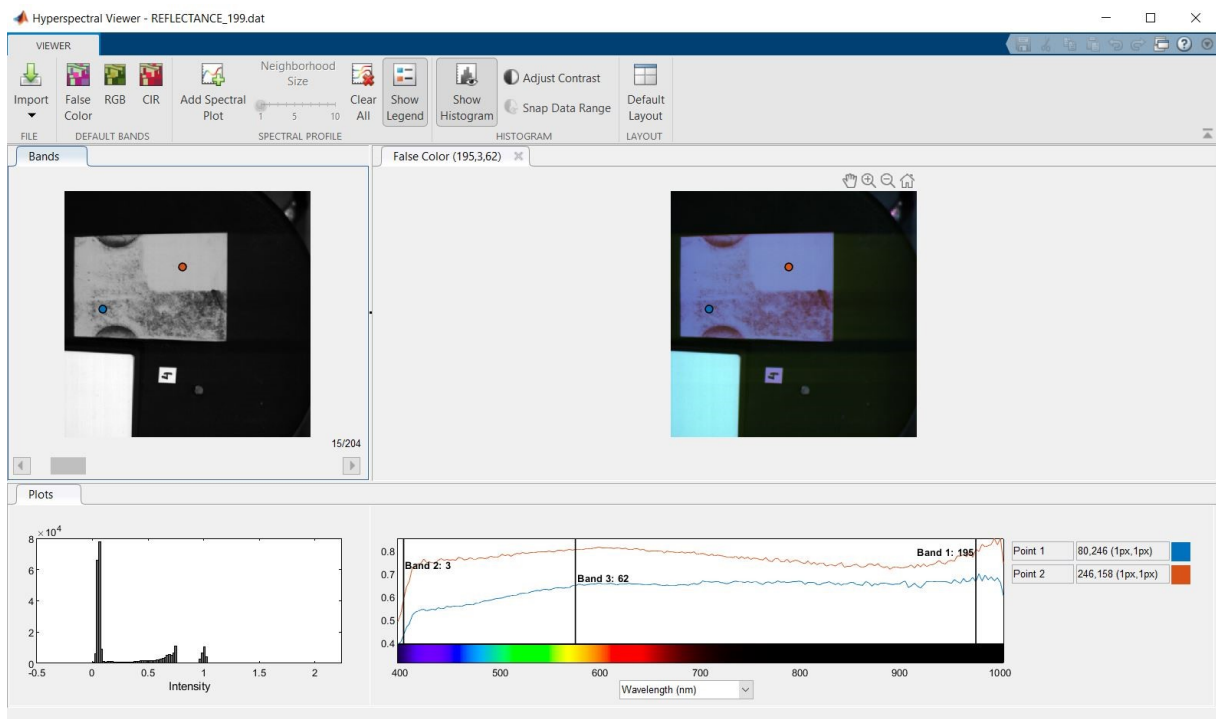
Hyperspektrikameran kuvia ja dataa tutkittiin kahdella eri ohjelmalla: Specim IQ Studio ja Matlab Hyperspectral Viewer. Specim IQ Studiolla voitiin vertailla näytteitä keskenään, tutkia spektrejä sekä luoda näytteistä oma kirjasto. Tämän kirjaston avulla oli mahdollista analysoida muiden levyjen likojen vastaavuutta, etsiä näytteiden kuvista tiettyjä likaspektrejä ja vertailla niitä. Kuvassa 6 on vertailtu puhdistetun ja likaisen levykohdan spektrejä.

Matlabilla löytyy oma Hyperspectral Viewer työkalu (kuva 7), jonka avulla pystyy tarkastelemaan näytteiden spektrejä. Kuvassa 7 on tehty vastaava vertailu kuin Specim IQ Studiolla, missä on puhdistetun ja likaisen levykohdan spektrien vertailua.

Kuva 6: Specim IQ Studion kuvanäkymä, puhdistetun ja likaisen levykohdan spektrit vertailussa, näyte 4.



Kuva 7: Matlab Hyperspectral Viewer ohjelman kuvanäkymä, puhdistetun ja likaisen levykohdan spektrit vertailussa, näyte 4.



5 Tulokset

5.1 Digitaalisten kuvien tutkimuksen tulokset

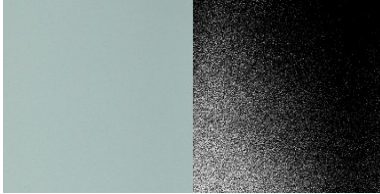
Konenäkö näki digitaalisen kameran ottamien levyjen kuvat hieman eri tavalla kuin kokeeseen osallistuneet ihmiset. Suurin ero oli tasaisesti likaantuneissa levyissä, jotka ihmiset näkivät puhtaampina kuin kone. Yhteenveto tuloksista löytyy taulukosta 2.

Taulukko 2: Digitaalisten kuvien tuloksien yhteenveto.

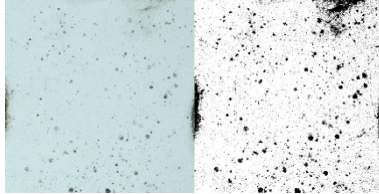
Levynumero	Ihmisjärjestys	Konejärjestys
1	8	9
2	10	5
3	7	2
4	4	1
5	3	4
6	12	11
7	14	14
8	13	7
9	17	12
10	25	22
11	16	10
12	18	19
13	24	23
14	19	15
15	23	17
16	21	18
17	9	3
18	15	13
19	11	6
20	6	21
21	22	8
22	20	16
23	2	20
24	1	24
25	5	25

Alla vasemmalla on ihmisten järjestys puhtaimmasta likaisimpaan ja oikealla koneenään Matlab ohjelman. Jokaisen kuvan vasen osa on digitaalisen kameran ottama, oikea on Matlabin kuva.

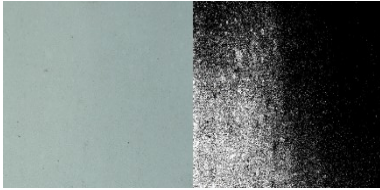
Kuva 8: Ihmisten 1. Levy 24.



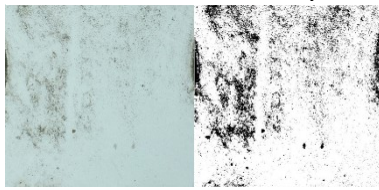
Kuva 9: Koneen 1. Levy 4.



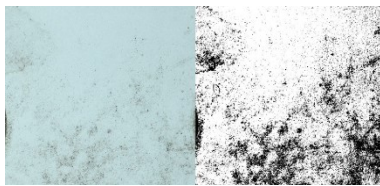
Kuva 10: Ihmisten 2. Levy 23.



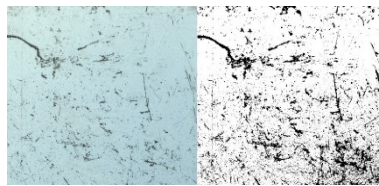
Kuva 11: Koneen 2. Levy 3.



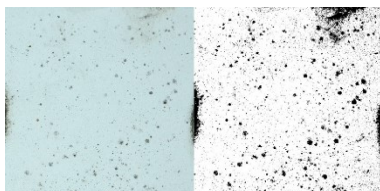
Kuva 12: Ihmisten 3. Levy 5.



Kuva 13: Koneen 3. Levy 17.



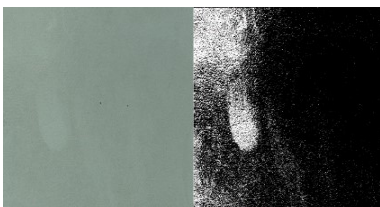
Kuva 14: Ihmisten 4. Levy 4.



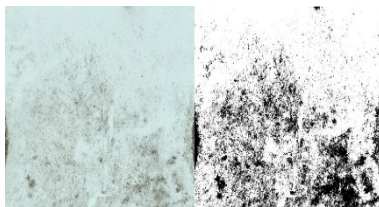
Kuva 15: Koneen 4. Levy 5.



Kuva 16: Ihmisten 5. Levy 25.



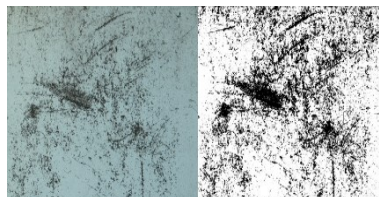
Kuva 17: Koneen 5. Levy 2.



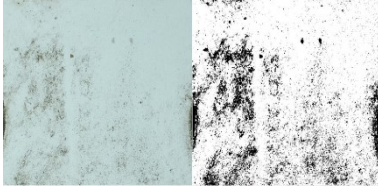
Kuva 18: Ihmisten 6. Levy 20.



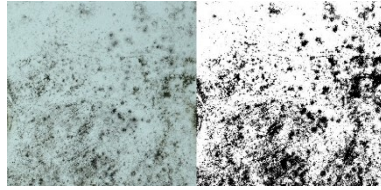
Kuva 19: Koneen 6. Levy 19.



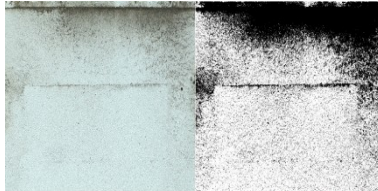
Kuva 20: Ihmisten 7. Levy 3.



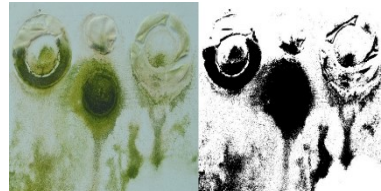
Kuva 21: Koneen 7. Levy 8.



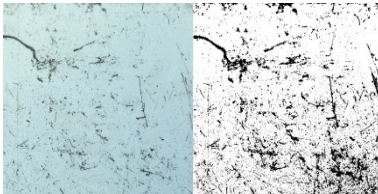
Kuva 22: Ihmisten 8. Levy 1.



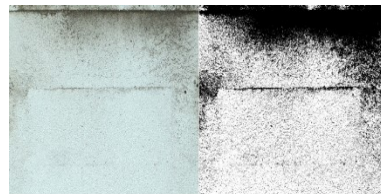
Kuva 23: Koneen 8. Levy 21.



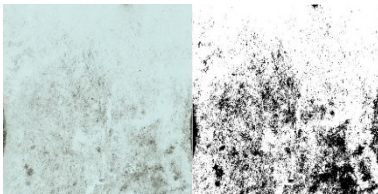
Kuva 24: Ihmisten 9. Levy 17.



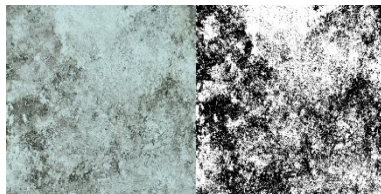
Kuva 25: Koneen 9. Levy 1.



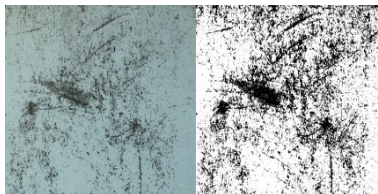
Kuva 26: Ihmisten 10. Levy 2.



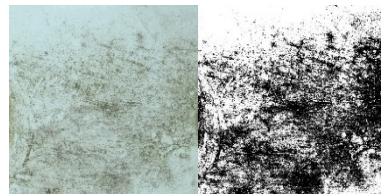
Kuva 27: Koneen 10. Levy 11.



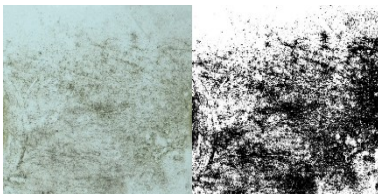
Kuva 28: Ihmisten 11. Levy 19.



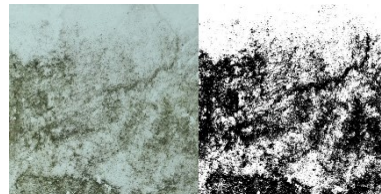
Kuva 29: Koneen 11. Levy 6.



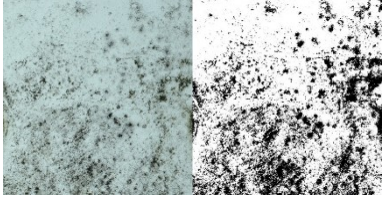
Kuva 30: Ihmisten 12. Levy 6.



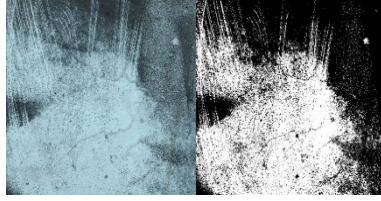
Kuva 31: Koneen 12. Levy 9.



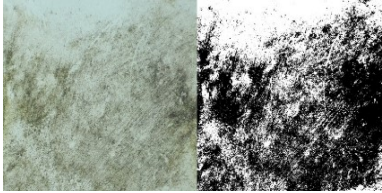
Kuva 32: Ihmisten 13. Levy 8.



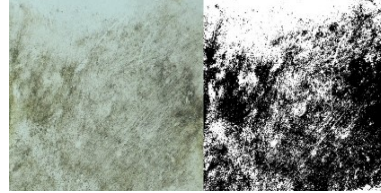
Kuva 33: Koneen 13. Levy 18.



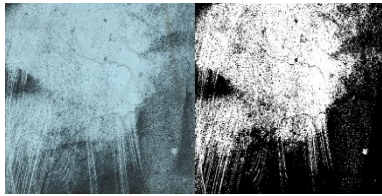
Kuva 34: Ihmisten 14. Levy 7.



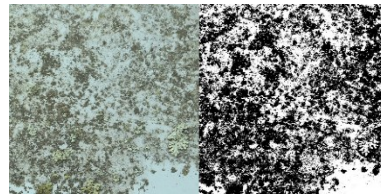
Kuva 35: Koneen 14. Levy 7.



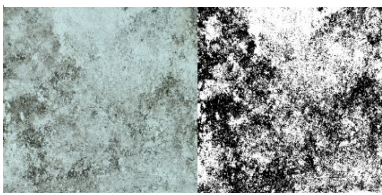
Kuva 36: Ihmisten 15. Levy 18.



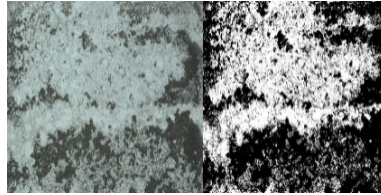
Kuva 37: Koneen 15. Levy 14.



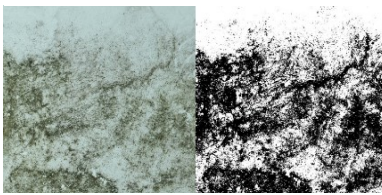
Kuva 38: Ihmisten 16. Levy 11.



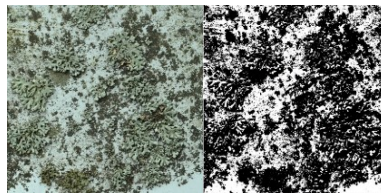
Kuva 39: Koneen 16. Levy 22.



Kuva 40: Ihmisten 17. Levy 9.



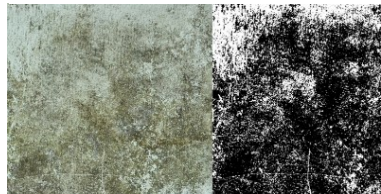
Kuva 41: Koneen 17. Levy 15.



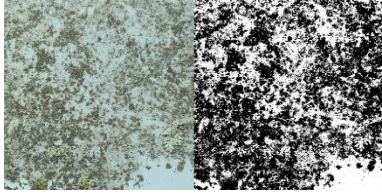
Kuva 42: Ihmisten 18. Levy 12.



Kuva 43: Koneen 18. Levy 16.



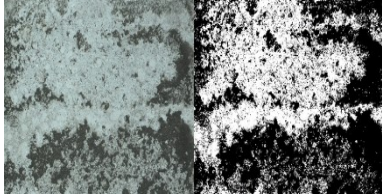
Kuva 44: Ihmisten 19. Levy 14.



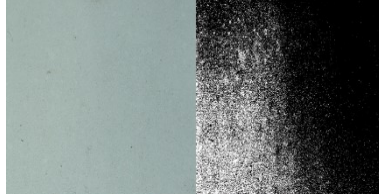
Kuva 45: Koneen 19. Levy 12.



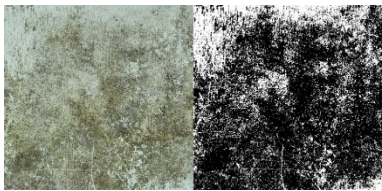
Kuva 46: Ihmisten 20. Levy 22.



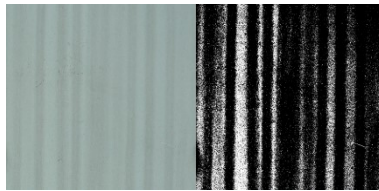
Kuva 47: Koneen 20. Levy 23.



Kuva 48: Ihmisten 21. Levy 16.



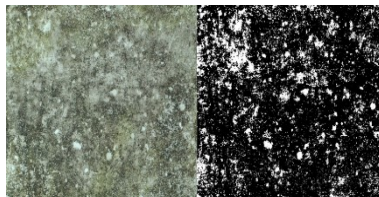
Kuva 49: Koneen 21. Levy 20.



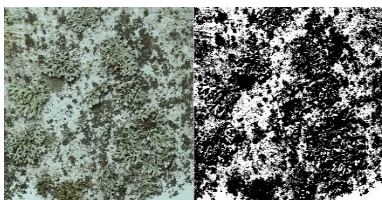
Kuva 50: Ihmisten 22. Levy 21.



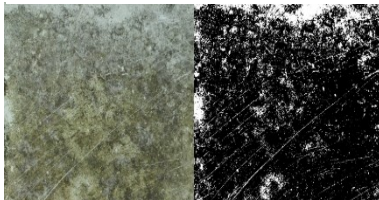
Kuva 51: Koneen 22. Levy 10.



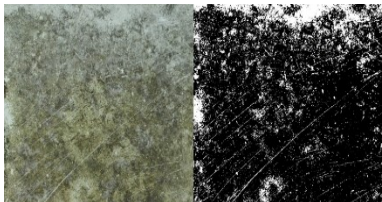
Kuva 52: Ihmisten 23. Levy 15.



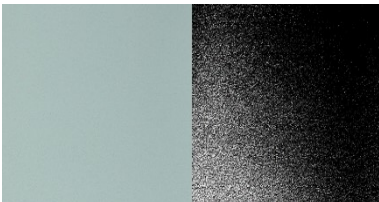
Kuva 53: Koneen 23. Levy 13.



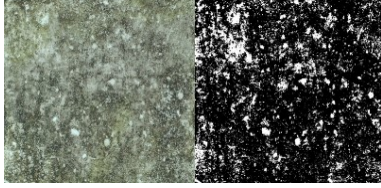
Kuva 54: Ihmisten 24. Levy 13.



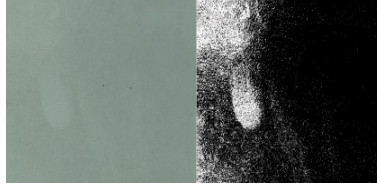
Kuva 55: Koneen 24. Levy 24.



Kuva 56: Ihmisten 25. Levy 10.



Kuva 57: Koneen 25. Levy 25.



Tarkemmat levykohtaiset tulokset löytyvät liitteestä 2. Liitteen levykohtaisissa tuloksissa alla kuvissa on vasemmalla digitaalisen järjestelmäkameran kuva ja oikealla Matlabin kuva analysoinnin jälkeen, sekä pieni analyysi tuloksista.

5.2 Hyperspektrikameran tulokset

Hyperspektrikameran kuvien Specim IQ Studio ohjelman analyysin standardeina käytettiin laboratorio-oloissa liattuja näytteitä, joissa lian koostumus oli tiedossa. Standardilevyt löytyvät kuvista 58, 59 ja 60.

Kuva 58: Siitepöly.



Kuva 59: Noki.

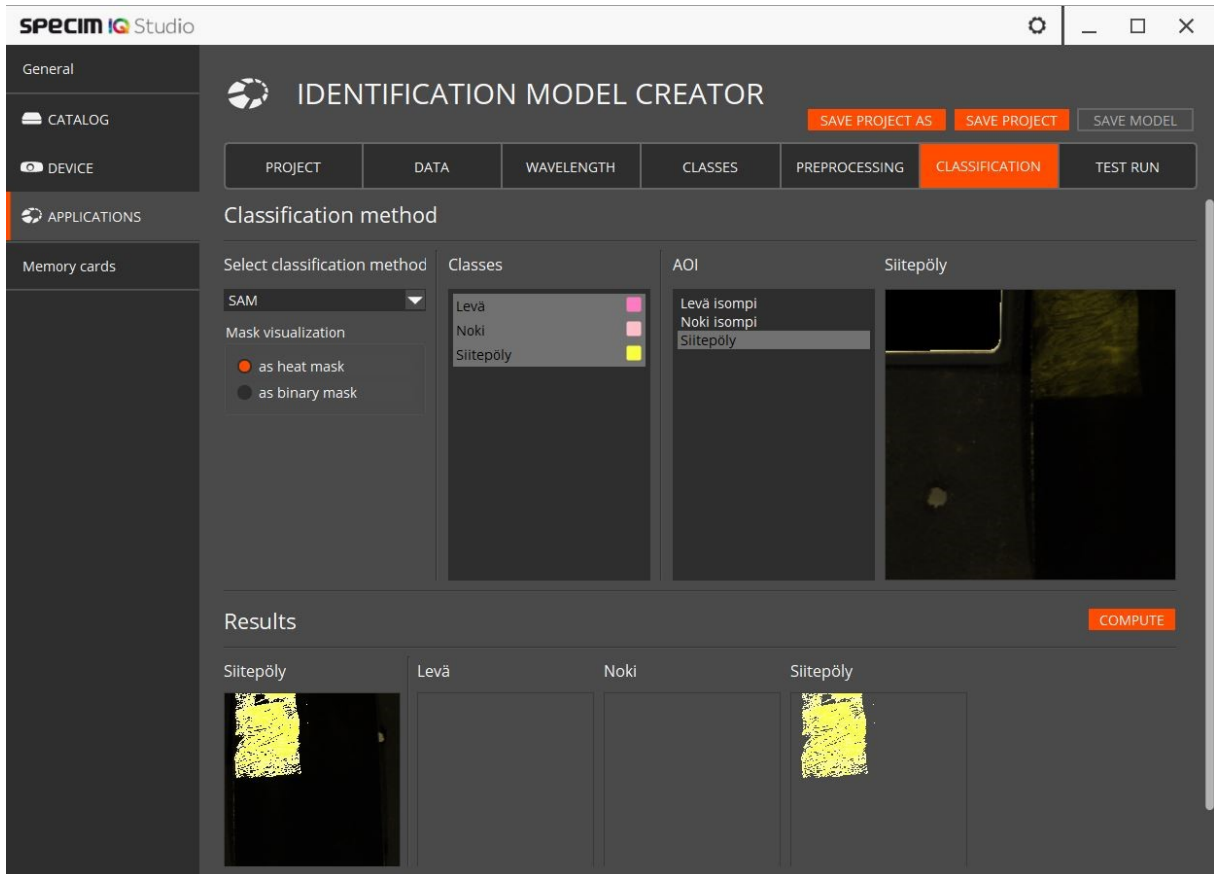


Kuva 60: Levä.



Näytteitä verrattiin näiden levyjen spektreihin (liite 3), jolloin saatiin tuloksena tieto onko testattavassa levyssä levää, nokea tai siitepölyä. Kuvassa 61 näkyy standardin testausta siitepölyä sisältävän näytteen osalta.

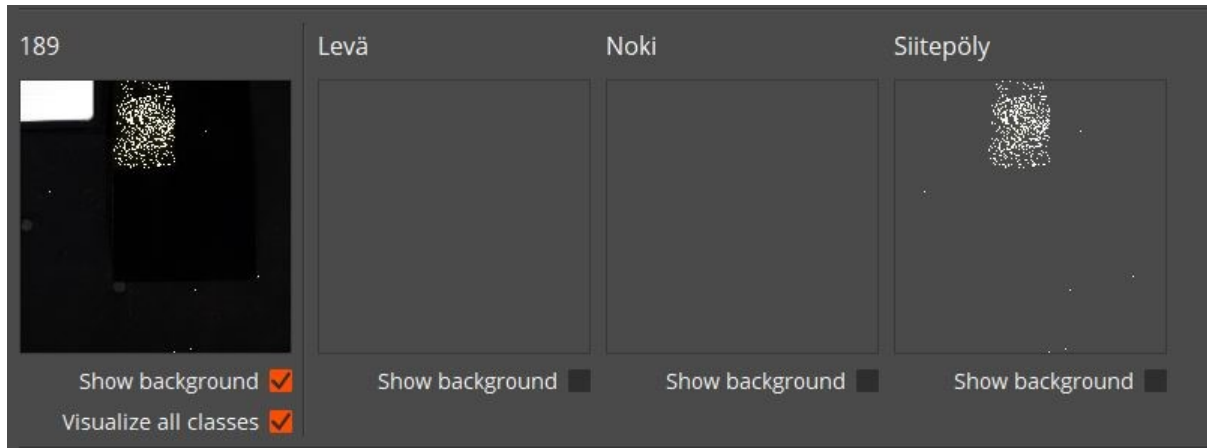
Kuva 61: Specim IQ Studio standardin määrittely.



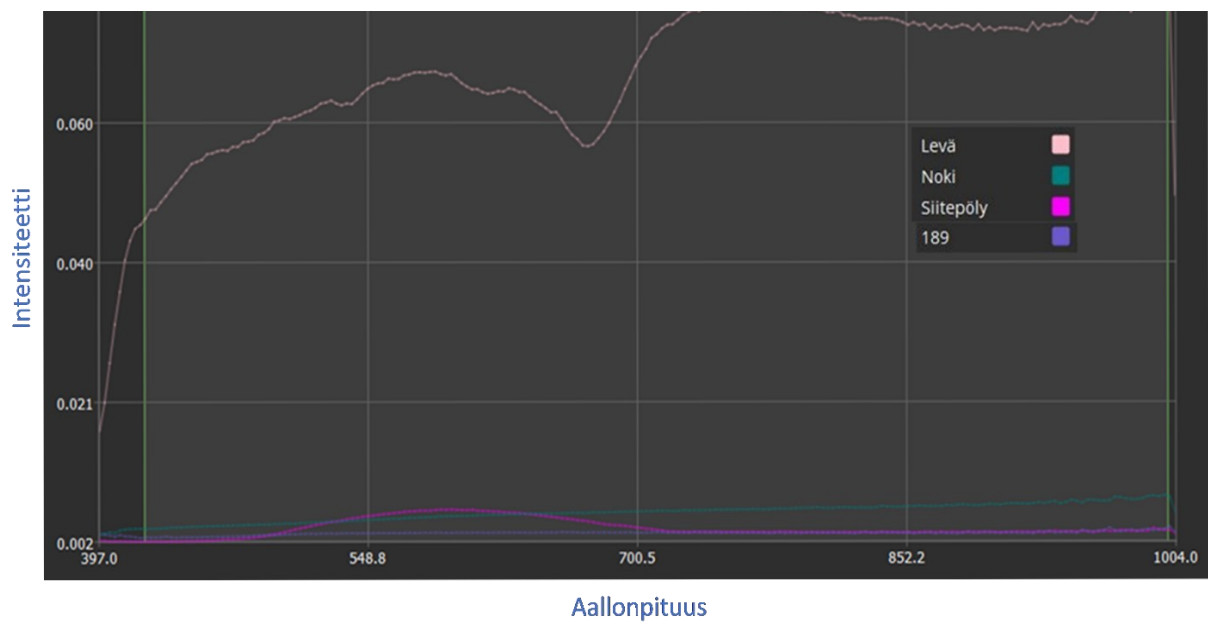
Tuloksina saatiin standardin ja näytteen spektrien käyrien vertailu, sekä Specim IQ Studion tekemä testiajo, missä ohjelma etsii spektriosumia annettuihin standardeihin. Parhaiten saatiin näkymään siitepölyn ja noen tulokset. Siitepölyä löytyi neljästä levystä ja nokea seitsemästä levystä. Siitepölyssä suurin osa osumista oli selviä ja noessa osa osumista oli osittaisia. Noen osittaiset osumat olivat ulkotestauksen levyjä, niissä saattaa hyvinkin olla seassa jotain muutakin likaa.

Kuvissa 62 ja 63 on malliesimerkki saaduista tuloksista, kaikki tulokset löytyvät liitteestä 3.

Kuva 62: Specim IQ Studion testiajon tulos, näyte 189.



Kuva 63: Spektrikäyrien vertailua, standardit ja näyte 189.



Testiajossa näkyy osuma siitepölyn standardiin. Näytteen ja siitepölyn standardin spektrikäyrät ovat myös lähellä toisiaan.

6 Johtopäätökset

Tulevaisuudessa konenäkö lisääntyy työelämässä kun halutaan yhä tehokkaampaa tuotantoa ja parempaa tulosta sekä laatua. Opinnäytetyöni perusteella sanoisin, että yksinkertainen konenäkömenetelmä toimii hyvin maalipinnoitettujen ohutlevyjen likaisuuden tutkimuksessa, kunhan näytteet ovat tarpeeksi selkeitä analysoitaviksi ja tiedetään mitä halutaan tutkia. Konenäön analysointi oli käytännössä hyvin toistettavaa ja nopeaa. Konenäön avulla on mahdollista vähentää ihmisten tekemää manuaalista työtä. Likaantumisenäytteiden analysoinnissa suuri apu voisi olla isojen näytemäärien lajittelun nopeuttamisessa esim. Matlabin likaantumisasteen avulla.

Digitaalisten kuvien tuloksista voidaan päätellä että ihminen ja kone näkevät likaantumisen hieman eri tavalla. Konenäkö tulkitsee kuvien likaantumisen siten miten se koodataan tai ohjeistetaan se näkemään. Ihmiset havainnoivat näkemäänsä eri tavalla, suuremmalla tieto ja taito tasolla kuin kone. Ihmisillä mielipide saattaa myös muuttua, joten toistettavuus ei ole välttämättä kovin hyvä. Ihmiset kiinnittävät myös herkästi huomion isoihin näkyviin likoihin, esim. tummentumiin, jäkälään ja levään. Kone laskee kuinka paljon tummaa muodostelmaa on vaalealla pohjalla. Ihmiset ja konenäkö olivat samoilla linjoilla todella likaisista ja pilkkumaisen lian näytteistä. Eniten hajontaa tuli tasaisesti likaantuneissa näytteissä, mitkä kone analysoi likaisimmiksi. Ihmiset eivät nähneet näitä tasaisen lian levyjä niin likaisina kuin isomman näkyvän lian levyjä. Pohdittaessa kumman tulos on oikeampi, ei taida olla ihan yhtä ainoaa vastausta. Usein kuitenkin ihminen tarkastaa konenäön tulokset.

Hyvän kuvan merkitys kasvaa analyysia tehdessä, valaistus ja tarkkuus tulee olla riittävää. Kuvan kontrasti saattaa vaikuttaa lopputulokseen, samoin binäärisyys voi rajoittaa konenäön tulkinnan oikeellisuutta. Konenäkö ei välttämättä erittele likaa sen tarkemmin koostumuksen perusteella, ellei sitä osata ohjelmoida tekemään niin. Matlab ohjelmana antaisi enemmänkin mahdollisuuksia erilaisiin analyysihin, sitä kannattaisi tutkia tulevaisuudessa lisää ja miettiä miten sitä voitaisiin hyödyntää parhaiten. Oikean koodin kehitys vie aikaa ja vaatii paljon testausta. Värillisten ja tummien näytteiden analysointi vaatii myös pohdintaa siitä miten lika saadaan pohjasta kunnolla näkyviin. Korkeakiiltoisten näytteiden kuvauksessa on haasteena heijastukset. Kuvauksessa kamerana toimivat hyvin

kaikki kolme digitaalista järjestelmäkameraa. Jokaisen kameran asetukset on hyvä käydä kunnolla läpi ennen kuvaamista ja testata niitä siinä valossa missä niillä kuvataan.

Hyperspektrikuvaaminen laajentaa konenäköjärjestelmän mahdollisuuksia näyttämällä levyjen pintoja vielä laajemmalla spektrillä kuin tavallinen digitaalinen järjestelmäkamera. HS-kameralla kuvaaminen oli melko helppoa, datan käsittely oli huomattavan paljon haastavampaa ja vaatii asiantuntemusta. Ongelmana oli mm. suurikokoiset tiedostot. Tutkituista näytteistä saatiin Specim IQ Studion avulla näkyviin tuloksia noen ja siitepölyn osalta. Standardinäytteitä oli 3 kpl: levä, siitepöly ja noki. Näytelevyjä tutkittiin yhteensä 21 kpl, niistä testiajolla neljästä löytyi siitepölyä, seitsemästä nokea ja levää ei yhdestäkään levystä. Spektrikäyrät pääsääntöisesti tukivat testiajon tuloksia, joissakin näytteissä spektrit poikkesivat kuitenkin standardien spektreistä. Näihin poikkeaviin spektreihin saattoi vaikuttaa jokin toinen näytteen lika mihin ei ollut standardia. Joidenkin vaaleiden näytteiden kohdalla pohdin myös levyn pohjaväriin vaikutusta lopputulokseen. Levästä olisi ollut hyvä saada lisää näytteitä joita olisi voinut tutkia. Hyperspektrikameran kuvia pystyisi tulkitsemaan vielä enemmän jos olisi olemassa jokin laajempi vertailukirjasto yleisimmistä likatyypeistä ja niiden spektreistä. Yksi mielenkiintoinen vertailu voisi olla myös kuvata täysin puhdas levy ja verrata sitä likaisen tai puhdistetun levyn spektriin.

Tässä opinnäytetyössä käytetyt konenäön ohjelmat ovat helppokäyttöisiä ja selkeitä, niiden avulla on mahdollista saada toistettavia tuloksia. Ammatillisesta näkökulmasta opin että konenäön tehokas hyödyntäminen vaatii hyviä ohjelmointitaitoja ja asiaan perehtymistä. Uskon että opinnäytetyöni tuloksista on hyötyä HAMK Tech -tutkimusyksikön tulevaisuuden kehitystä ajattelen.

Lähteet

Algol Technics. (2018). *Konenäkö tarkistaa ja ohjaa*. Haettu 18.10.2022 osoitteesta:

https://www.algoltechnics.fi/artikkelit-ja-asiakastarinat/konen%C3%A4k%C3%B6-tarkistaa-ja-ohjaa?gclid=Cj0KCQjwnbmaBhD-ARIsAGTPcfUJ0xWncvd-ZYbgkN8r_Ru9n1AYoyo76mhSHhdiYuYyTdZP-ceXJ1oaApUIEALw_wcB

Ang T. (2011). *Digikuvaus: kuvaajan käsikirja*. Readme.fi.

Corke P. (2011). *Robotics, vision and control: fundamental algorithms in MATLAB*. Springer.

Davies E.R. (2012). *Computer & machine vision: theory, algorithms, practicalities*. Academic Press/Elsevier.

Flyktman R. (2007). *Digikamera tehokäytössä*. Readme.fi.

Gonzales Rafael C. & Woods Richard E. (2001). *Digital image processing*. Prentice Hall.

Hämeen ammattikorkeakoulu. (n.d). *HAMK Tech -tulevaisuuden teknologiaa*. Haettu 18.10.2022 osoitteesta: <https://www.hamk.fi/tutkimusyksikot/hamk-tech/>

Hänninen P. (2022). *Robottiikka ja tekoäly: johdatus aiheeseen*. Tammertekniikka.

Julkisivuyhdistys ry. (2005). *Korjaustarpeen selvittäminen ja kuntotutkimukset*. Haettu 19.10.2022 osoitteesta: <https://julkisivuyhdistys.fi/wp-content/uploads/2019/01/B3-Korjaustarpeen-selvittaminen-ja-kuntotutkimukset.pdf>

Mathworks. (n.d.). *Matlab tuotteet*. Haettu 18.10.2022 osoitteesta:

<https://se.mathworks.com/>

SFS-EN 10169:2022. (2022). *Orgaanisilla aineilla pinnoitetut (maalipinnoitetut) ohutlevyteräkset. Tekniset toimitusehdot*. SFS Online.

SFS-EN 13523-0:2021:en. (2021). *Coil coated metals. Test methods. Part:0 General introduction*. SFS Online.

Soini A. (1996). *Värinäön teolliset sovellukset*. Teknologian kehittämiskeskus.

Specim. (n.d.). *Specim IQ tuotteet ja sovellukset*. Haettu 18.10.2022 osoitteesta:

<https://www.specim.fi/>

Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. (2016). *Kerrostalon eri julkisivuvaihtoehtojen elinkaaritarkastelu*. Haettu 18.10.2022 osoitteesta:

https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/03/BET1701_76-81.pdf

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. (2019). *Kasvitaudit löytyvät uudella teknologialla aiemmin, tarkemmin ja nopeammin*. Haettu 18.10.2022 osoitteesta:

<https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/kasvitaudit-loytyvat-uudella-teknologialla-aiemmin-tarkemmin-ja-nopeammin>

Wypych G. (2018). *Handbook of material weathering*. ChemTec Publishing.

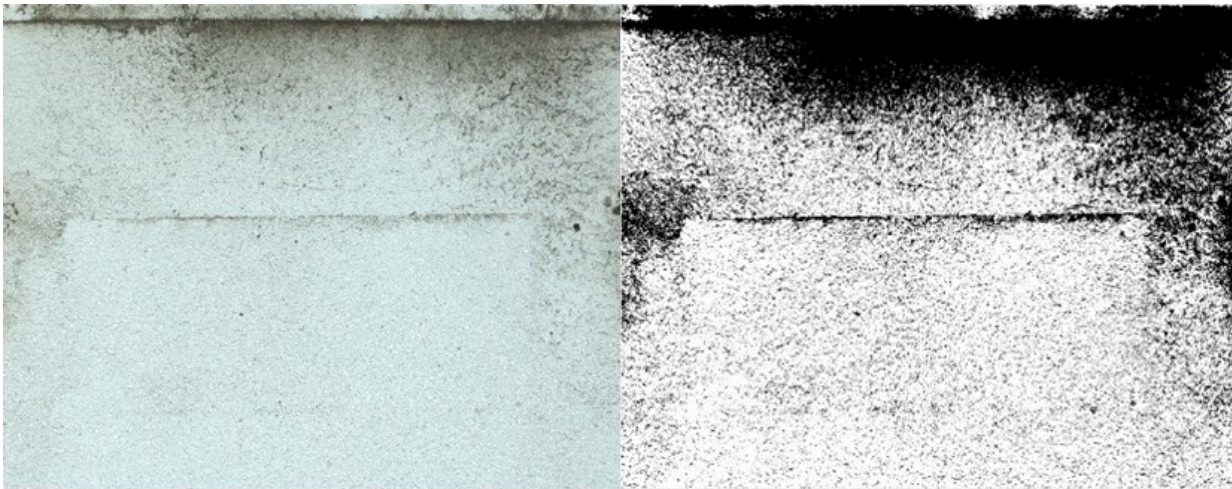
Özkaya Ö. & Yıllıkçı G. (2015). *Arduino computer vision programming : design and develop real-world computer vision applications with the powerful combination of OpenCV and Arduin*. Packt Publishing.

Liite 1: Matlab-ohjelmointi

```
Editor - C:\Users\rmaal\Documents\MATLAB\CountBW.m
CountBW.m x +
1 %%Load Image
2 i=imread(['C:\Users\rmaal\Pictures\Valmiit kuvat\386 (2).jpg']);
3 imshow(i);
4 %Image Adjust
5 adj=imadjust(i,stretchlim(i));
6 imshow(adj);
7 %%Convert RGB to Gray
8 gry=rgb2gray(adj);
9 imshow(gry,[]);
10 %%Image segmentation by thresholding
11 level=0.70;
12 thres=im2bw(gry,level);
13 imshow(thres);
14 % Image morphological operation
15 bw=bwmorph(thres,'clean',50);
16 imshow(bw);
17
18 %Count B
19 a = sum(bw(:) == 0);
20
21 %Count W
22 b = sum(bw(:));
23
24 %Count Black % of white
25 result=(a/(a+b))*100
26
27 %%End
```

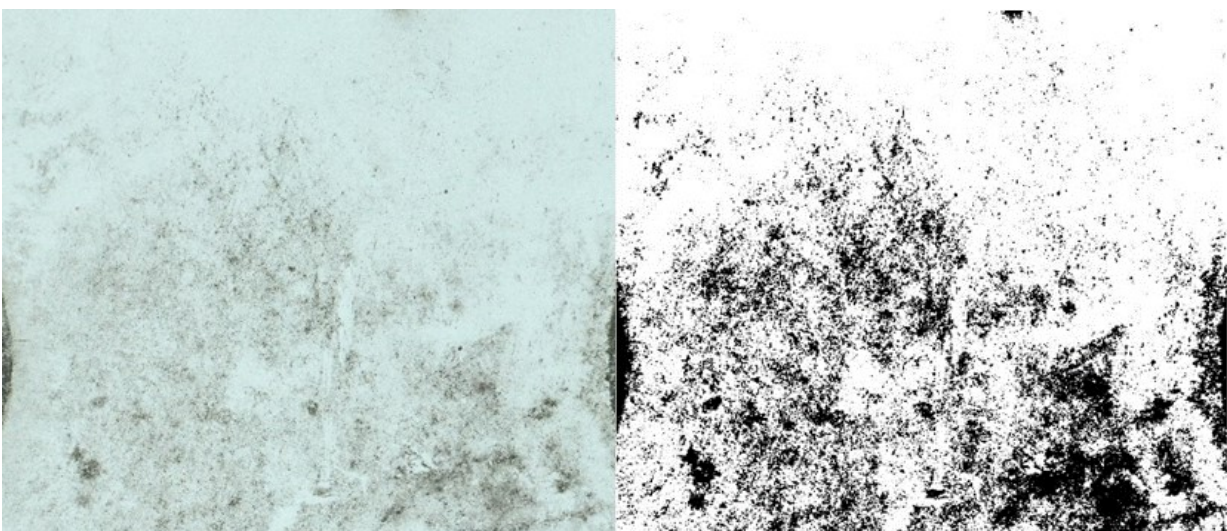

Liite 2: Digitaalisten kuvien tulokset

Levy 1



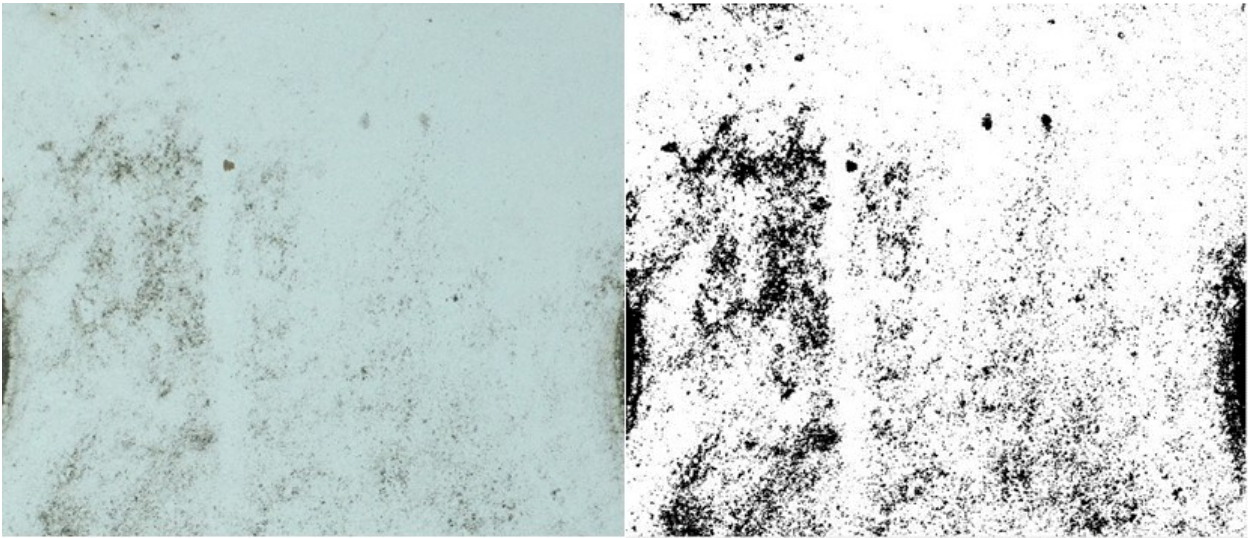
Ihmisjärjestys 8 ja konejärjestys 9. Ihmiset ja kone olivat aika samaa mieltä tämän levyn likaantumisesta. Levyssä on likaa eniten levyn yläosassa.

Levy 2



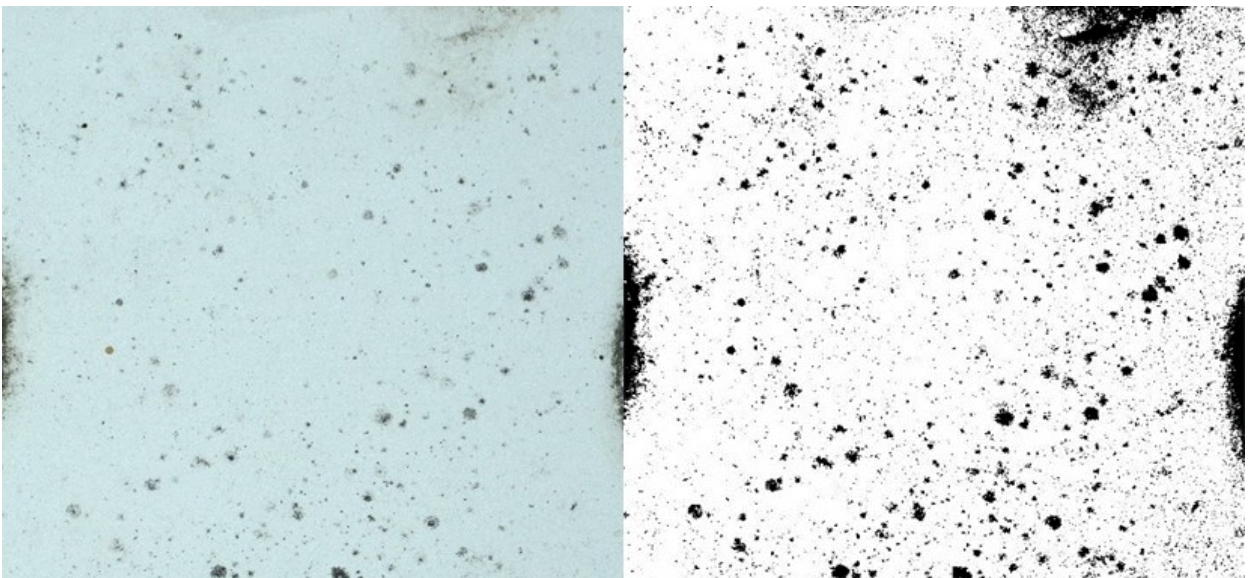
Ihmisjärjestys 10 ja konejärjestys 5. Ihmiset näkivät tämän levyn likaisempana kuin kone. Levyssä on melko tasainen likakerros, puhtain osa on ylhäällä.

Levy 3



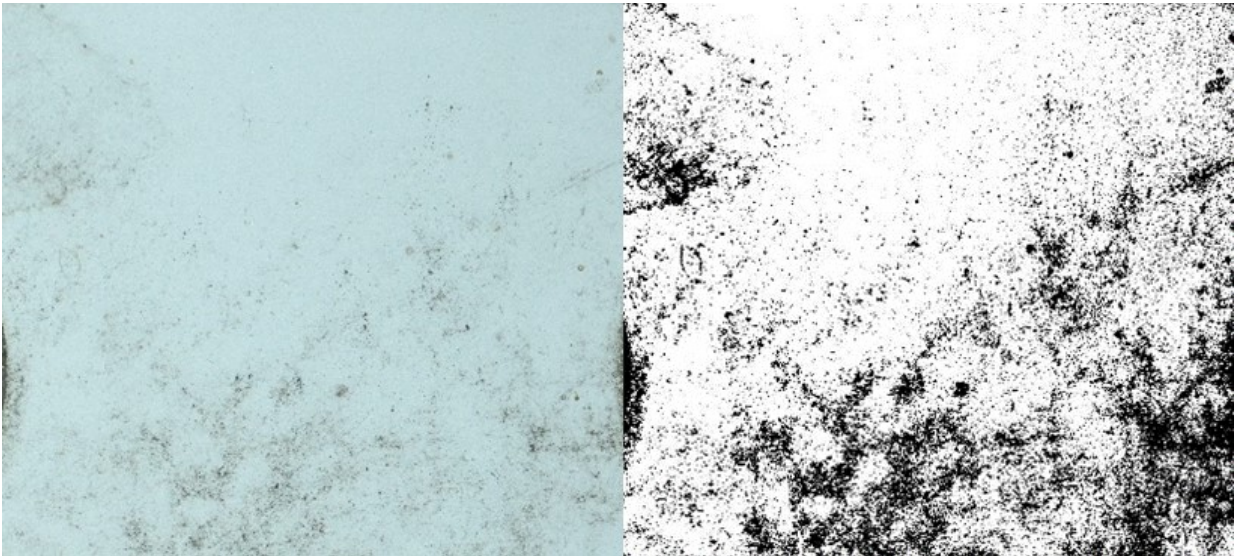
Ihmisjärjestys 7 ja konejärjestys 2. Ihmisten mielestä tämä levy on hieman likaisempi kuin mitä koneen. Levyssä lika on jakaantunut epätasaisesti, keskellä on saattanut olla jotain valumaa.

Levy 4



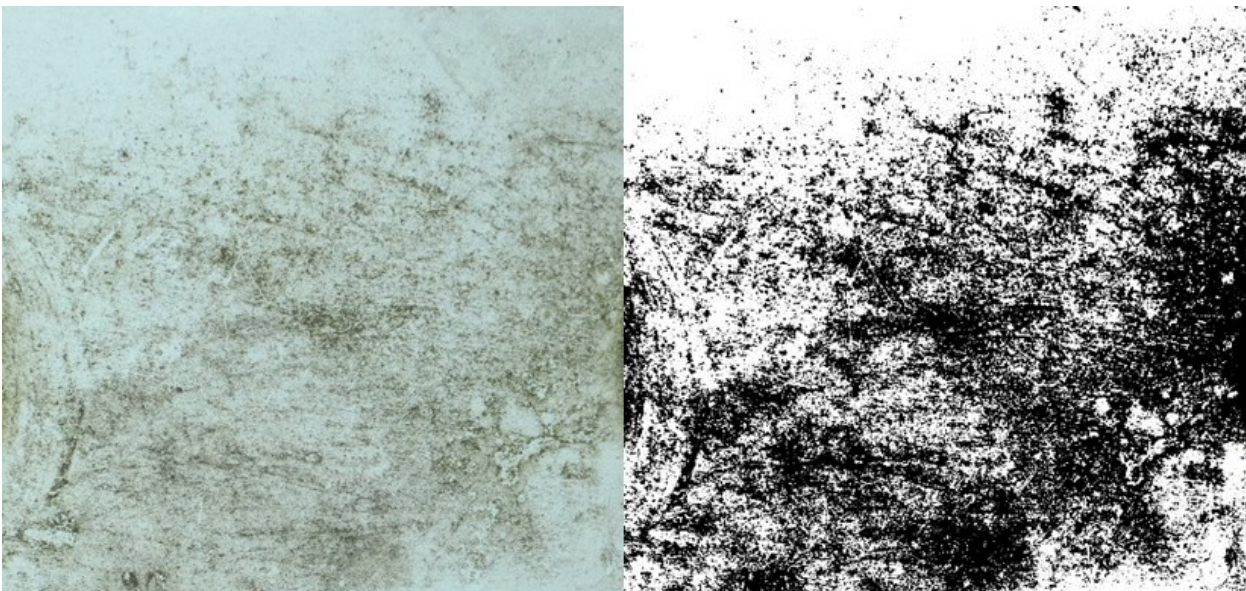
Ihmisjärjestys 4 ja konejärjestys 1. Koneen mielestä tämä levy on testin puhtain levy, ihmisten mielestä se on myös melko puhdas. Levyssä on lähinnä pientä pilkkumaista likaa.

Levy 5



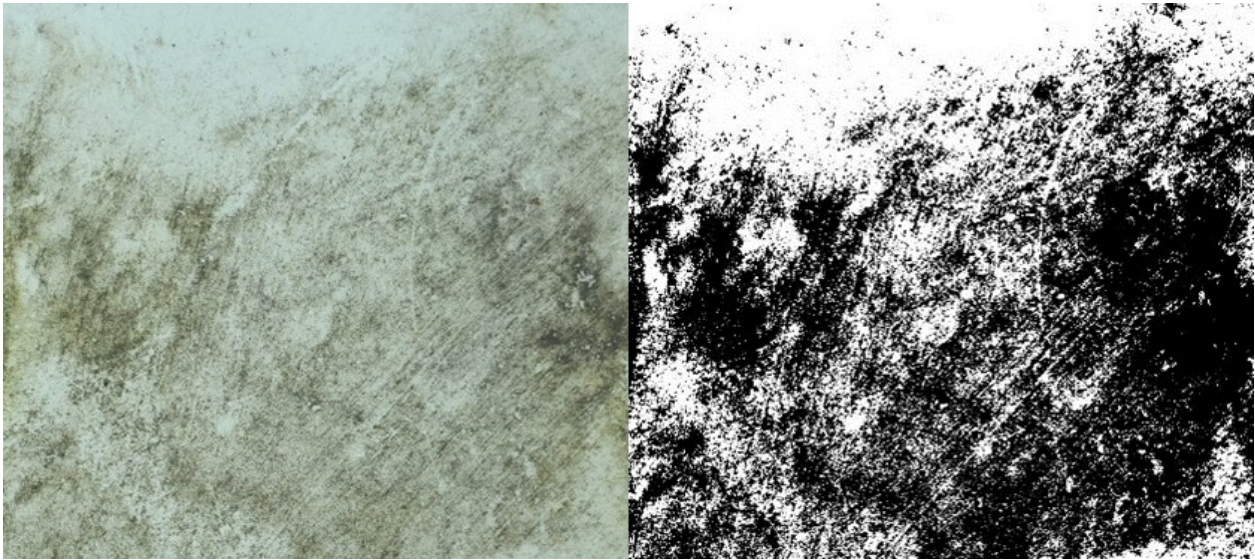
Ihmisjärjestys 3 ja konejärjestys 4. Sekä ihmiset että kone näkivät tämän levyn melko puhtaana. Pinnassa näkyy likaa lähinnä reunoilla ja alhaalla.

Levy 6



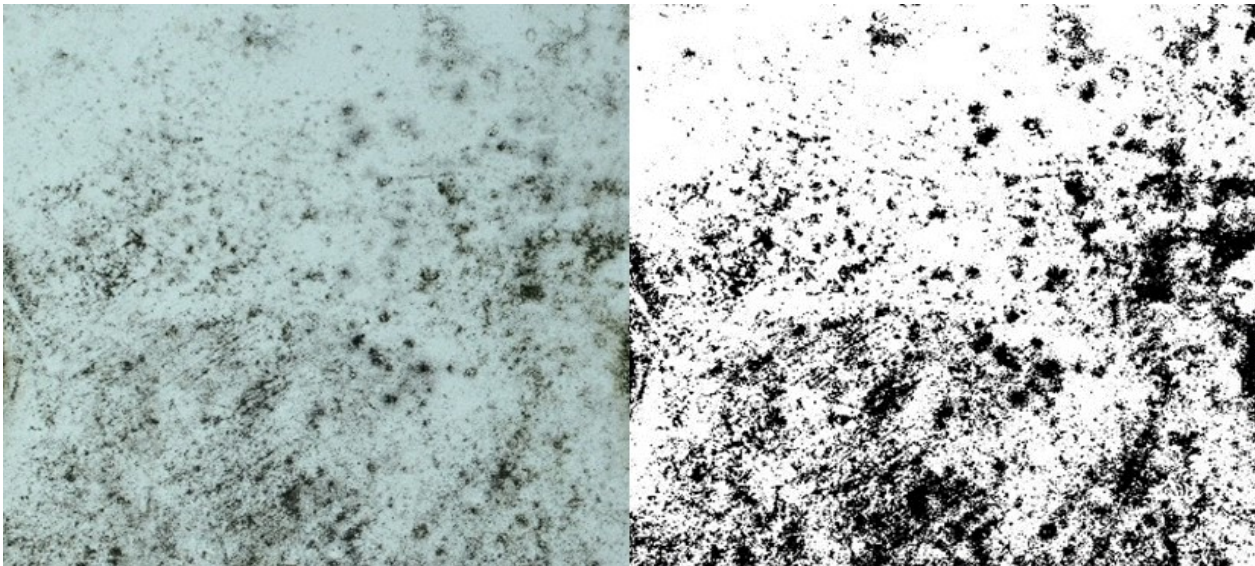
Ihmisjärjestys 12 ja konejärjestys 11. Tämän levyn sekä ihmiset että kone asettivat melko samoille sijoille likaisuuden suhteen. Levyssä näkyy likaa lähes koko alueella.

Levy 7



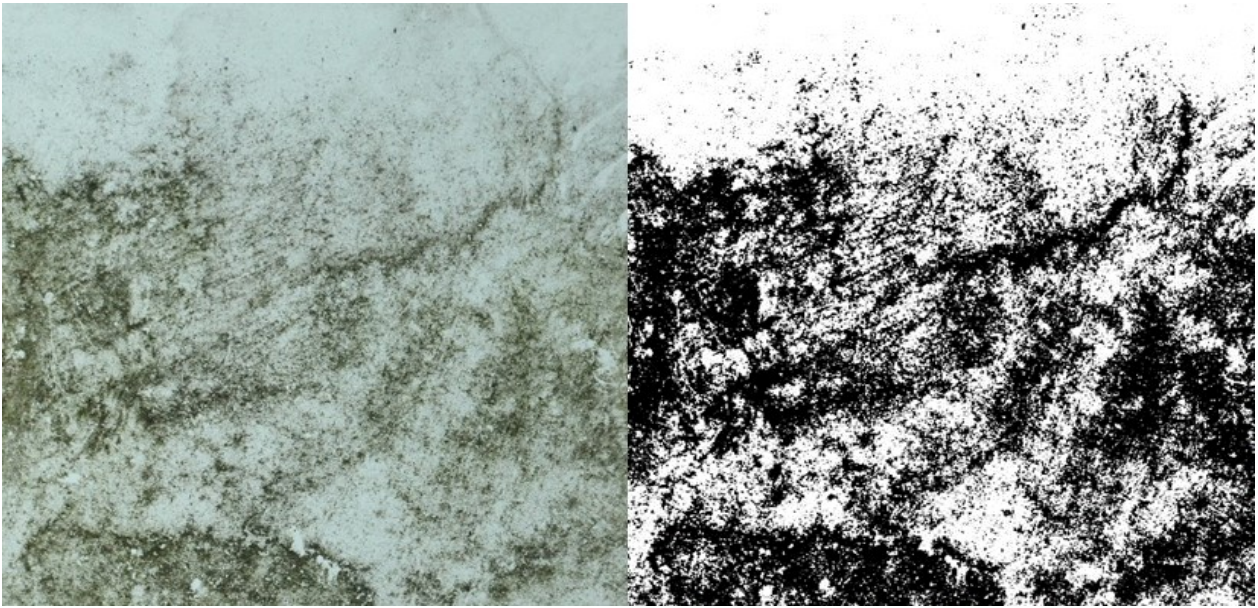
Ihmisjärjestys 14 ja konejärjestys 14. Tämä on ainoa levy mistä sekä ihmiset että kone ovat samaa mieltä järjestyksen suhteen. Levy on kohtalaisen likainen.

Levy 8



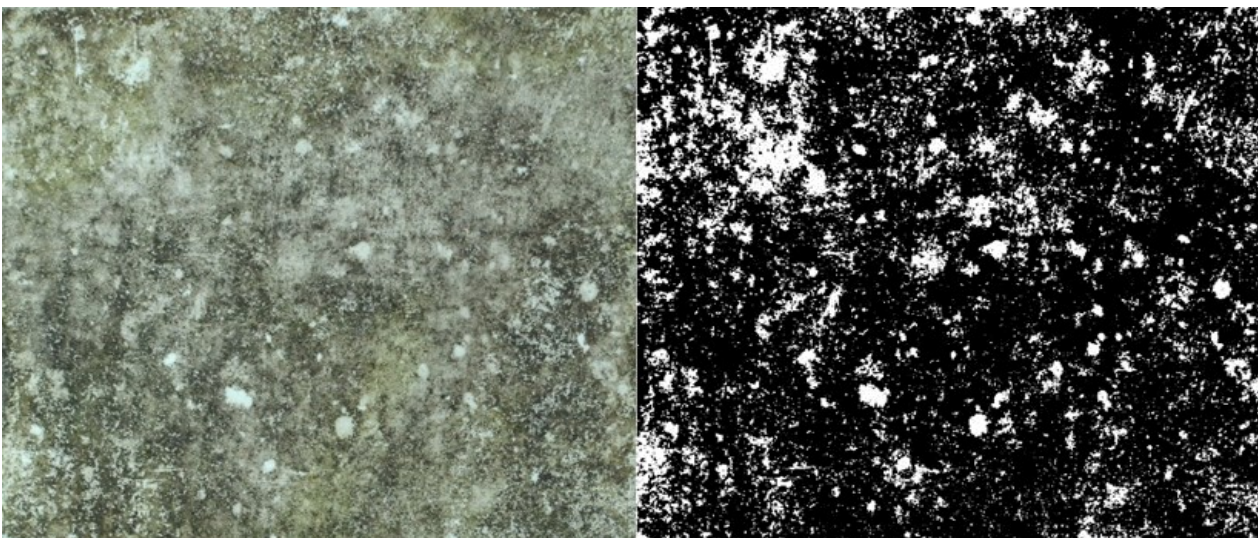
Ihmisjärjestys 13 ja konejärjestys 7. Ihmiset näkivät tämän levyn likaisempana kuin kone. Levyssä on pilkkumaista likaa ja se on melko epätasaisesti jakautuneena.

Levy 9



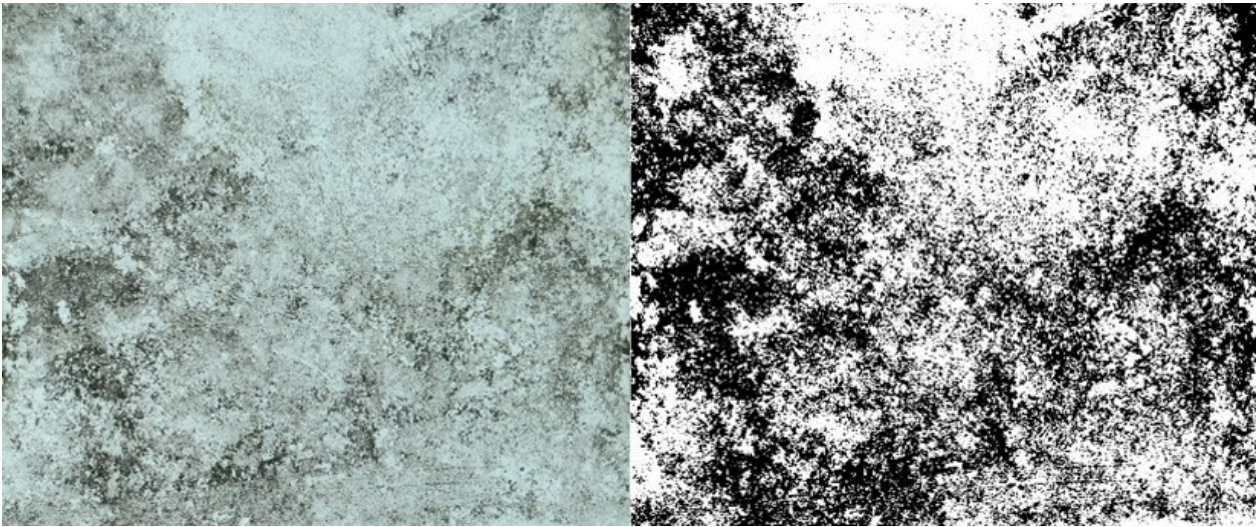
Ihmisjärjestys 17 ja konejärjestys 12. Ihmisten mielestä tämä levy on likaisempi kuin koneen. Levyssä on jonkun verran likaa epätasaisesti jakautuneena.

Levy 10



Ihmisjärjestys 25 ja konejärjestys 22. Ihmisten mielestä tämä on likaisin levy, koneen mielestä myös yksi likaisimmista. Levyssä näkyy lähes koko pinnan alalta likaa.

Levy 11



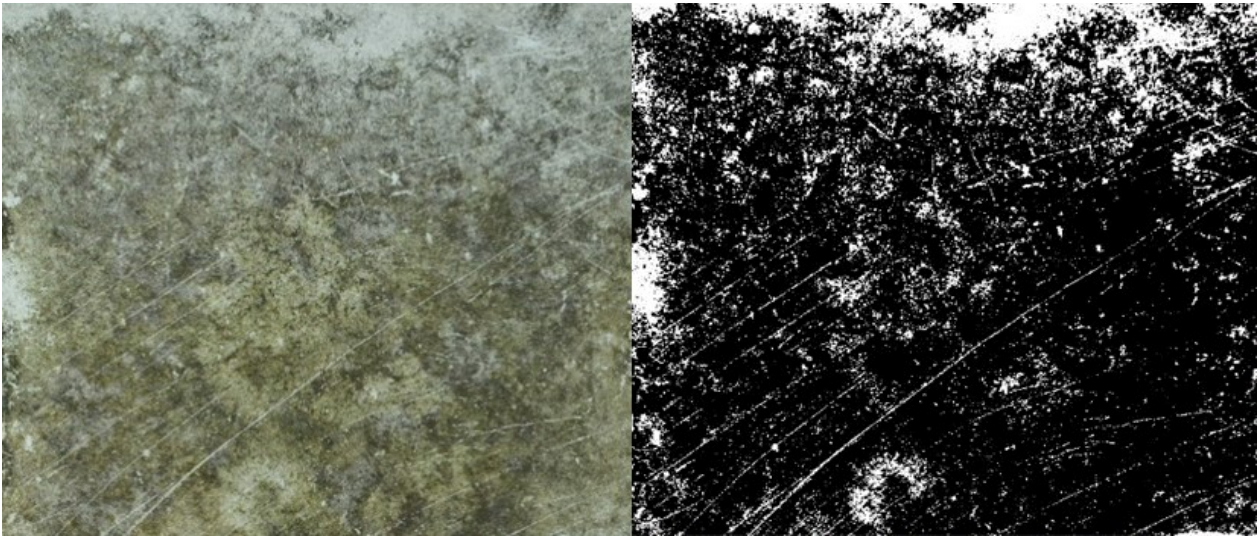
Ihmisjärjestys 16 ja konejärjestys 10. Ihmiset näkivät tämän levyn likaisempana kuin kone. Levyssä likaa on epätasaisesti, keskellä ylhäällä on vaaleampia kohtia.

Levy 12



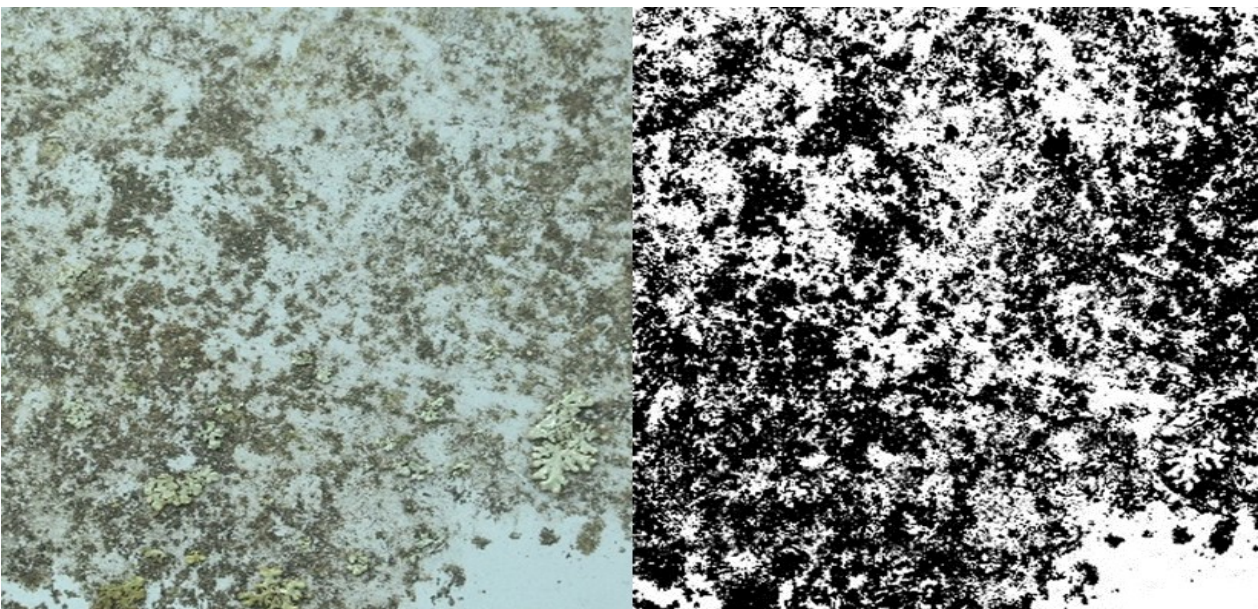
Ihmisjärjestys 18 ja konejärjestys 19. Tämän levyn sekä ihmiset että kone ovat sijoittaneet lähes samoille sijoille. Pinnassa on melko paljon likaa ja naarmuja.

Levy 13



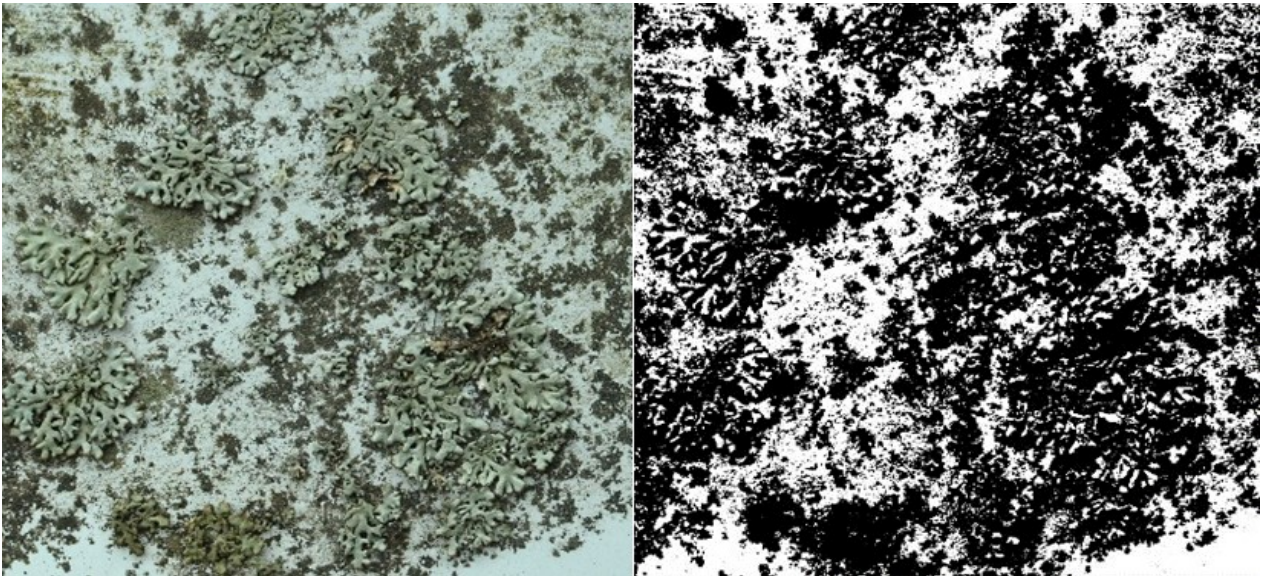
Ihmisjärjestys 24 ja konejärjestys 23. Sekä ihmiset että kone näkivät tämän levyn yhtenä likaisimmista. Levyssä on tiivis kerros likaa ja naarmuja.

Levy 14



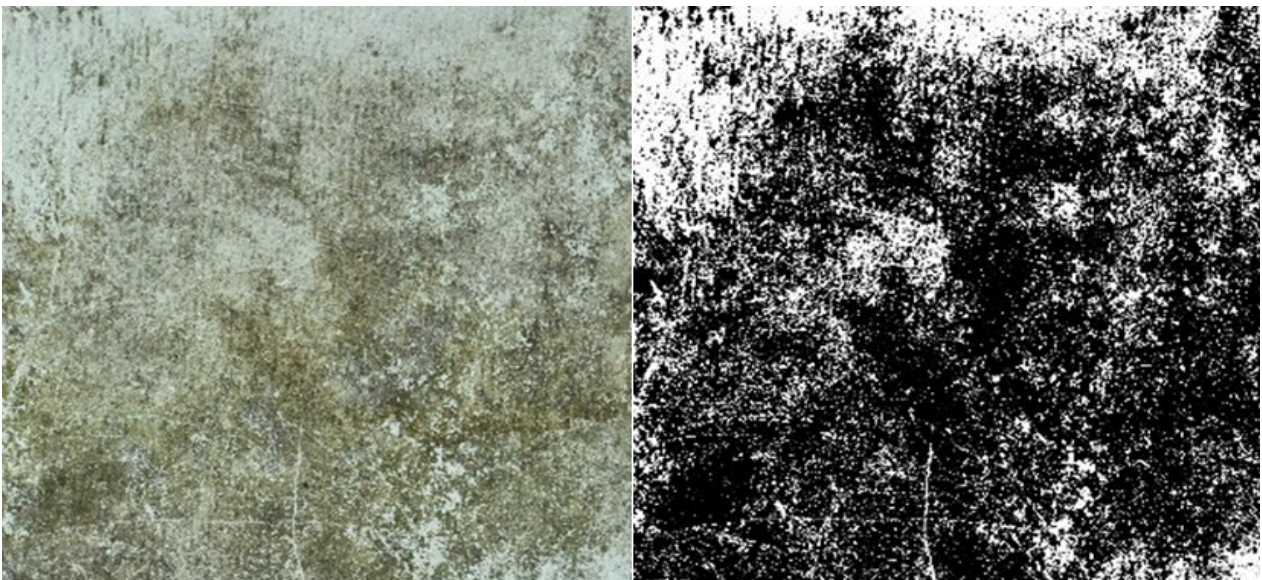
Ihmisjärjestys 19 ja konejärjestys 15. Ihmiset pitivät tätä levyä hieman likaisempana kuin kone. Levyssä on mm. jäkälää.

Levy 15



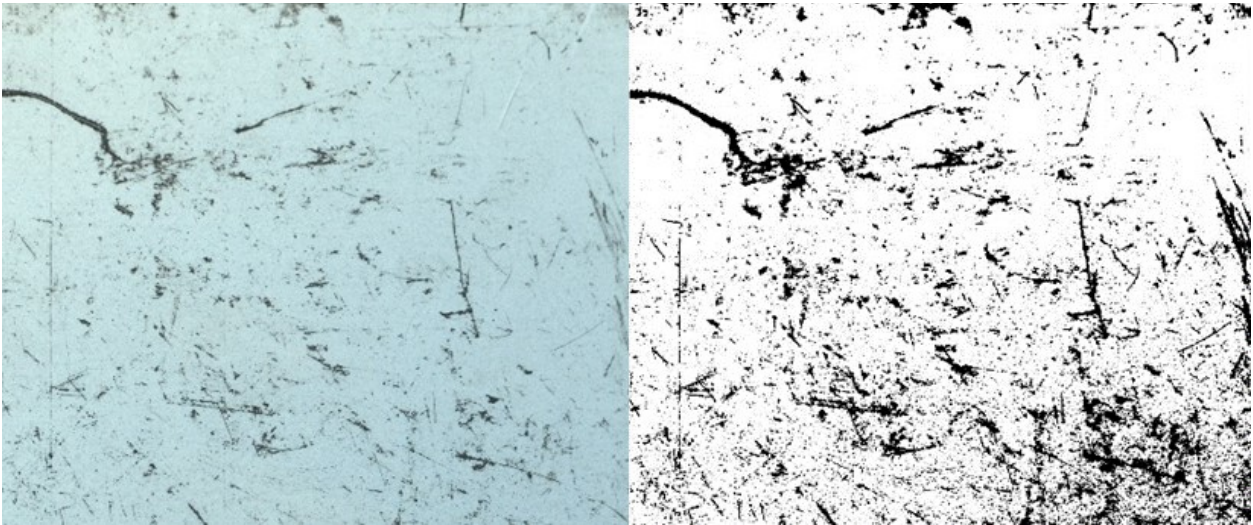
Ihmisjärjestys 23 ja konejärjestys 17. Ihmiset näkivät tämän levyn yhtenä likaisimmista. Koneen mielestä se ei ollut ihan niin likainen. Levyn pinnassa on mm. jäkälää.

Levy 16



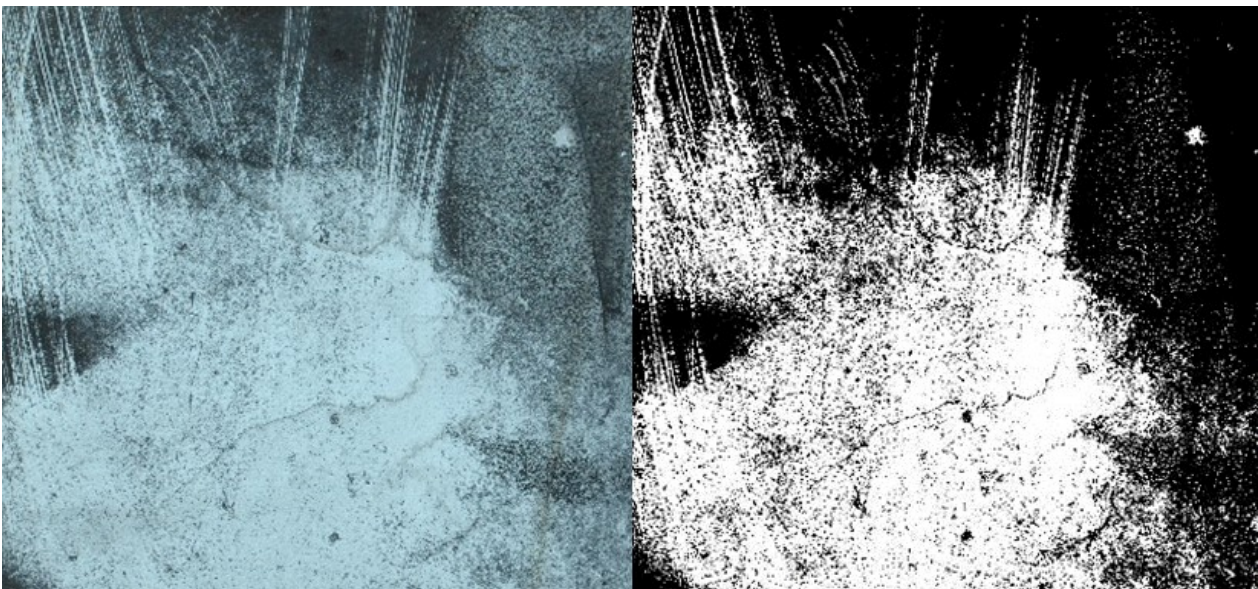
Ihmisjärjestys 21 ja konejärjestys 18. Ihmiset näkivät levyn hieman likaisempana kuin kone. Levyssä on melko paljon likaa ja muutama naarmu.

Levy 17



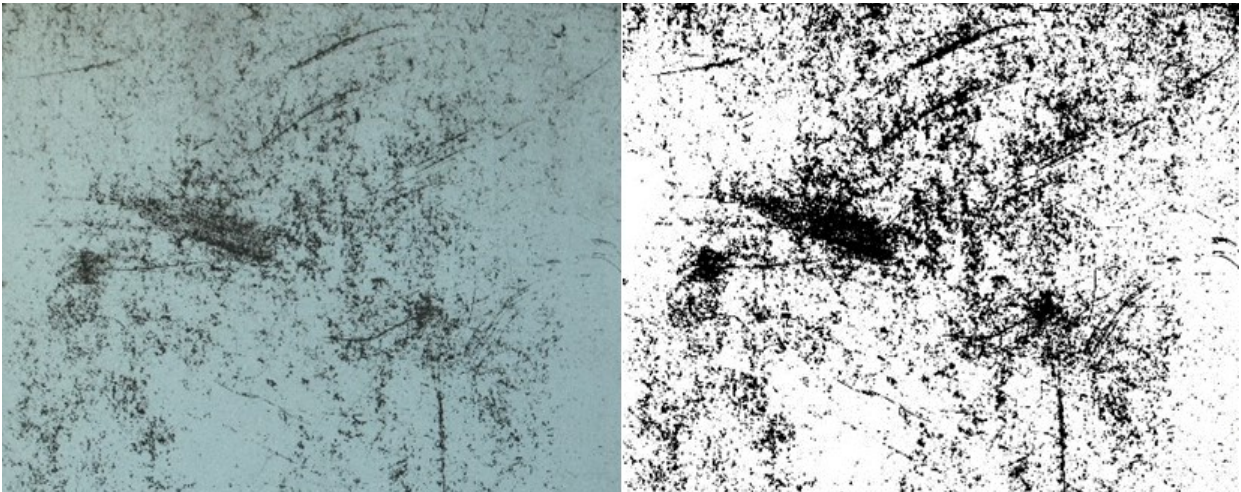
Ihmisjärjestys 9 ja konejärjestys 3. Levy on ihmisten mielestä likaisempi kuin koneen. Levyn pinnassa on kulumia ja naarmuja.

Levy 18



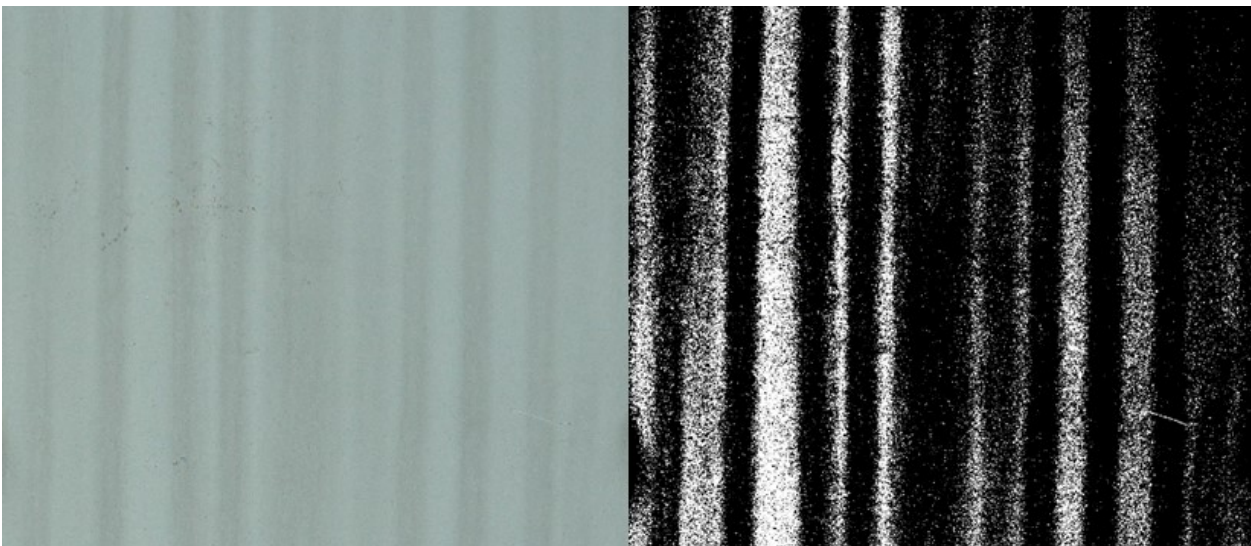
Ihmisjärjestys 15 ja konejärjestys 13. Sekä ihmiset että kone olivat melko samaa mieltä tämän levyn likaantumisesta. Levyssä näkyy likaa epätasaisesti ja hieman naarmuja tai valumia.

Levy 19



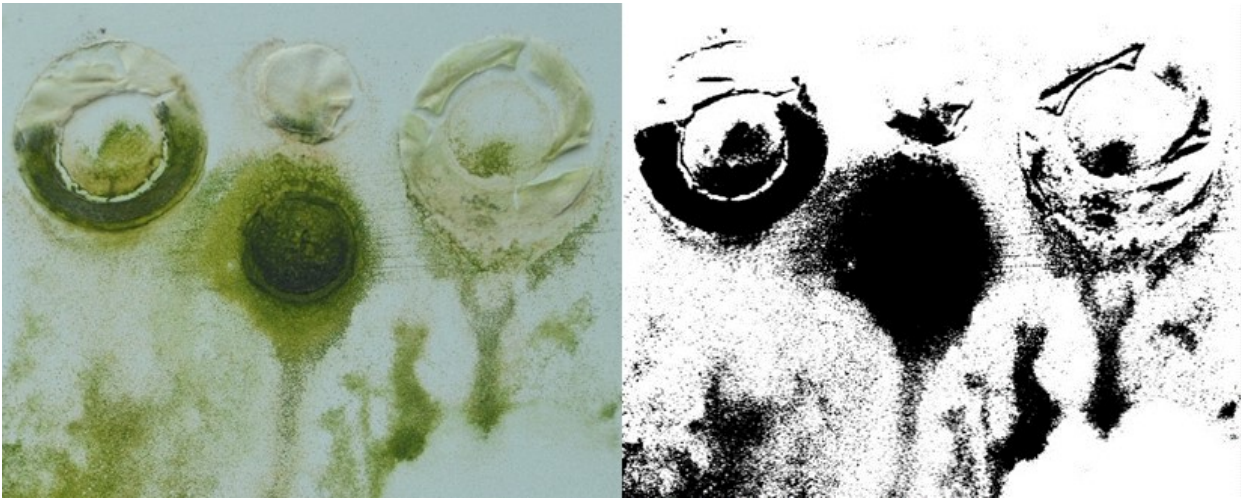
Ihmisjärjestys 11 ja konejärjestys 6. Ihmiset pitivät tätä levyä likaisempana kuin kone. Levyssä näkyy naarmuja ja lika on jakautunut levyllä epätasaisesti.

Levy 20



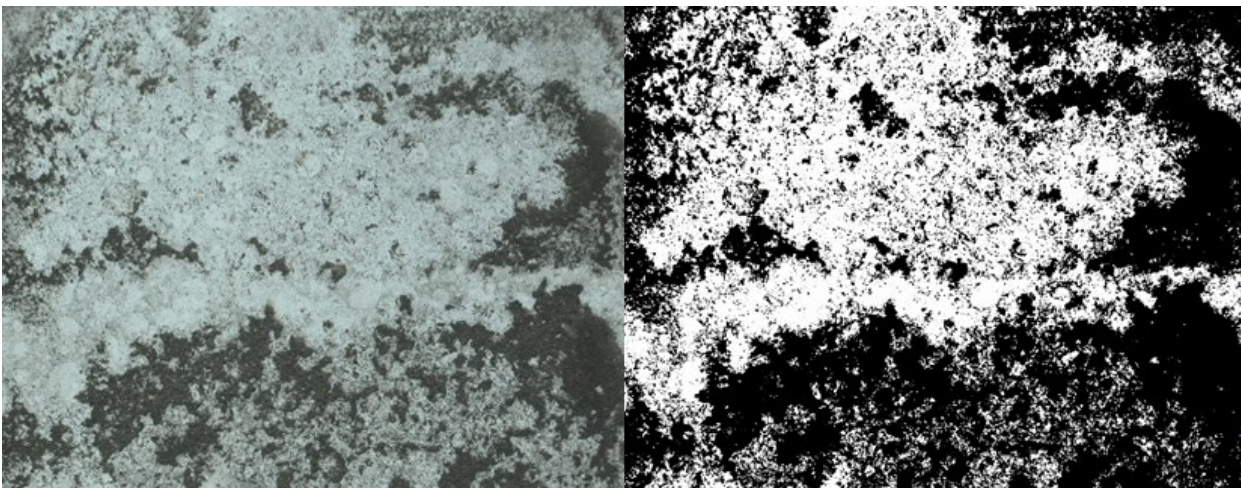
Ihmisjärjestys 6 ja konejärjestys 21. Tämän levyn kohdalla ihmiset ovat pitäneet sitä selvästi puhtaampana kuin kone. Levyssä on likaa melko tasaisesti ja siinä on ollut valumia.

Levy 21



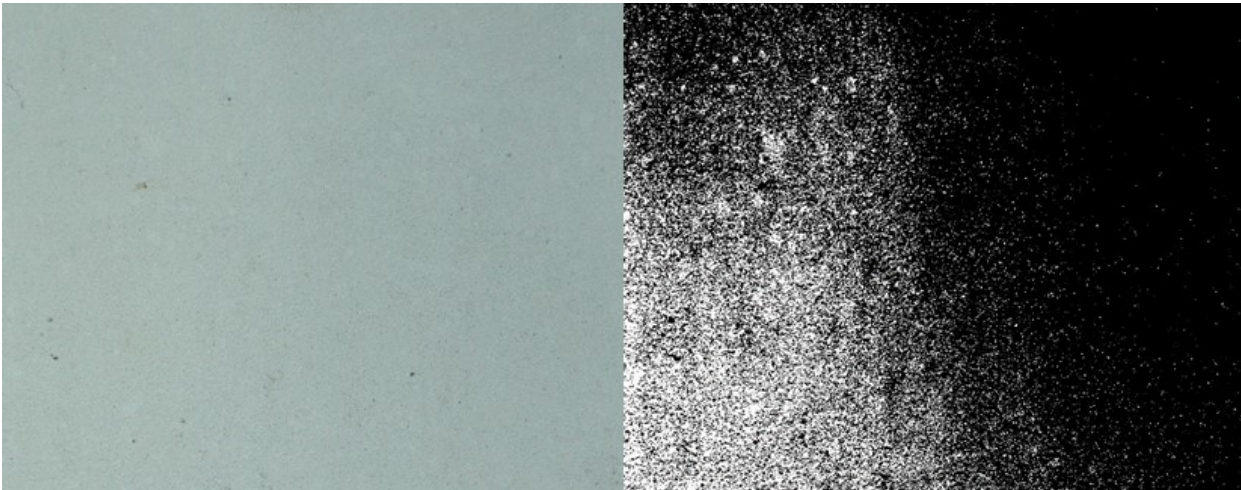
Ihmisjärjestys 22 ja konejärjestys 8. Ihmiset ovat nähneet tämän levyn likaisena, koneen mielestä siinä on melko vähän likaa. Levyn pinnassa on levää.

Levy 22



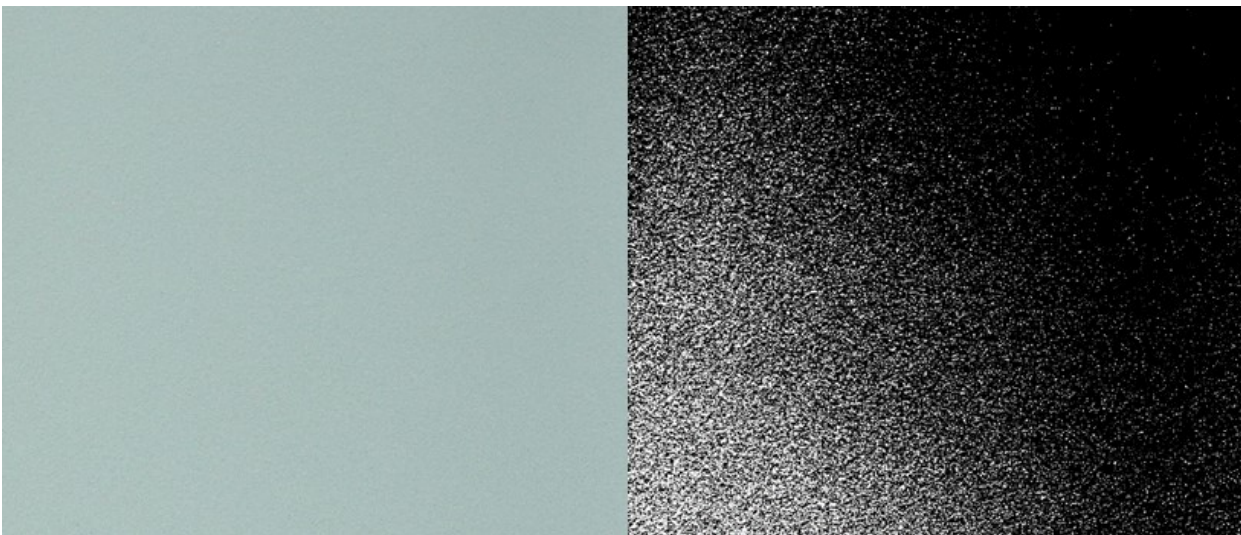
Ihmisjärjestys 20 ja konejärjestys 16. Sekä kone että ihmiset näkivät tämän levyn pinnan melko likaisena. Levyssä on epätasaisia likakuvioita johtuen noesta.

Levy 23



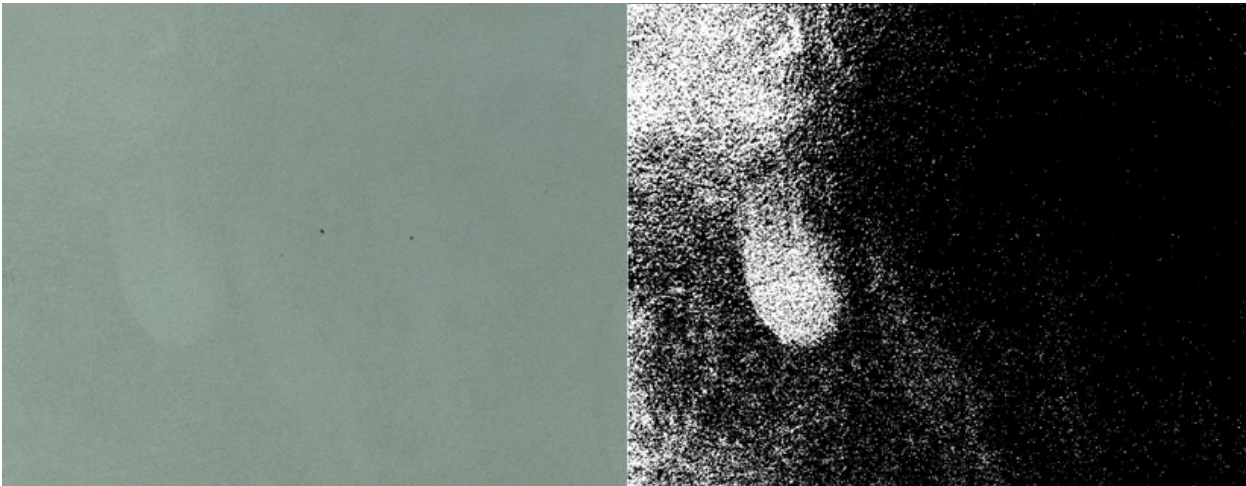
Ihmisjärjestys 2 ja konejärjestys 20. Ihmiset eivät nähneet tätä levyä likaisena, koneen mielestä se on kohtuu likainen. Levyssä on melko tasainen kerros likaa ja hieman pilkkuja.

Levy 24



Ihmisjärjestys 1 ja konejärjestys 24. Ihmiset näkivät yksimielisesti tämän levyn testin puhtaimpana, koneen mielestä se on toiseksi likaisin. Levyssä on melko tasainen kerros likaa.

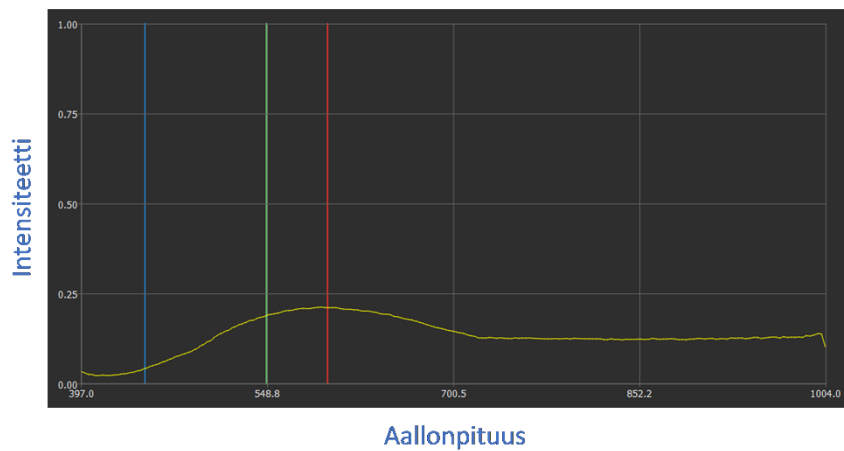
Levy 25



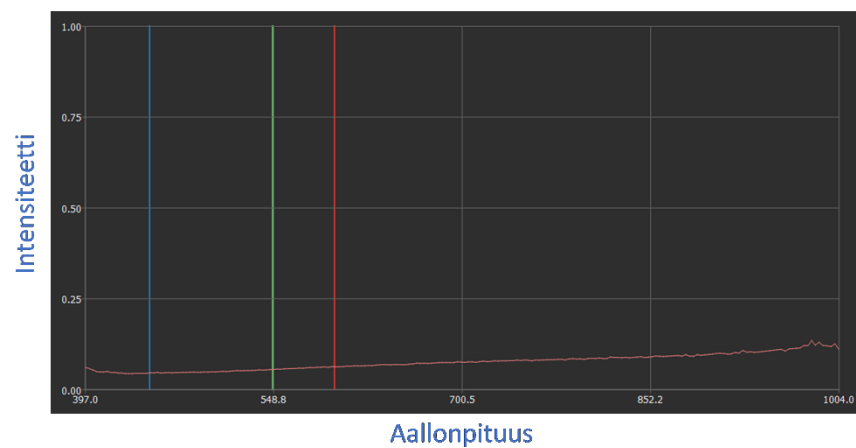
Ihmisjärjestys 5 ja konejärjestys 25. Ihmiset eivät nähneet tätä levyä kovin likaisena, koneen mielestä se on likaisin levy. Levyssä on tasainen kerros likaa ja hieman sormenjälkeä muistuttava tahra keskellä vasemmalla.

Liite 3: Hyperspektrikuvien standardien ja näytteiden spektrit sekä testiajot

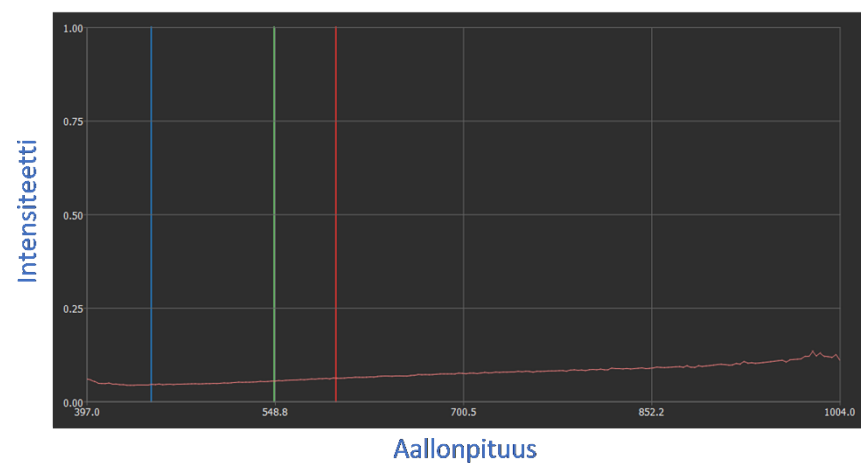
Siitepölyn standardin spektrikäyrä



Levän standardin spektrikäyrä

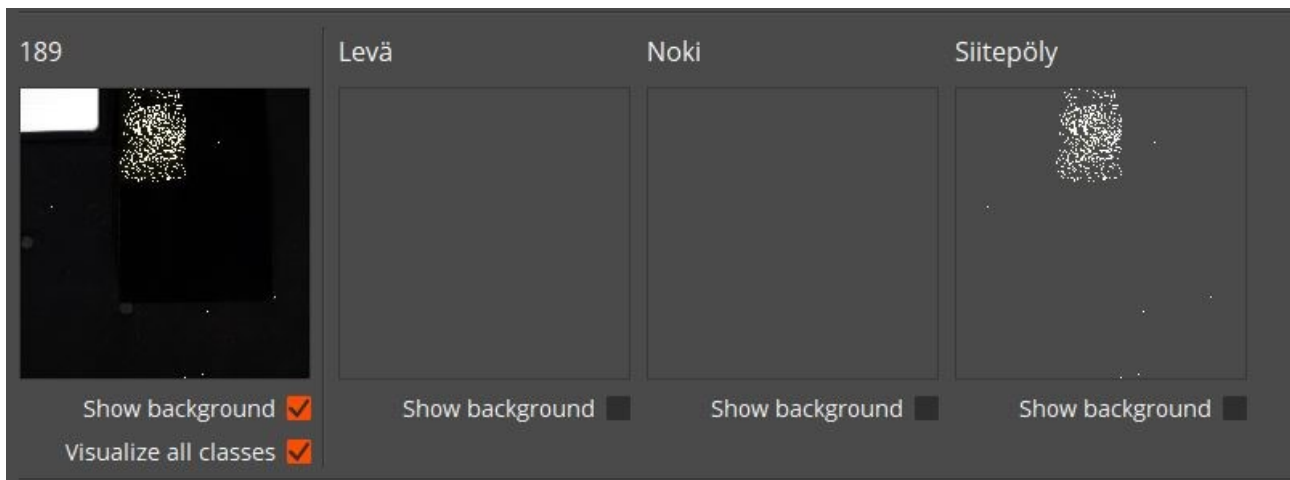


Noen standardin spektrikäyrä

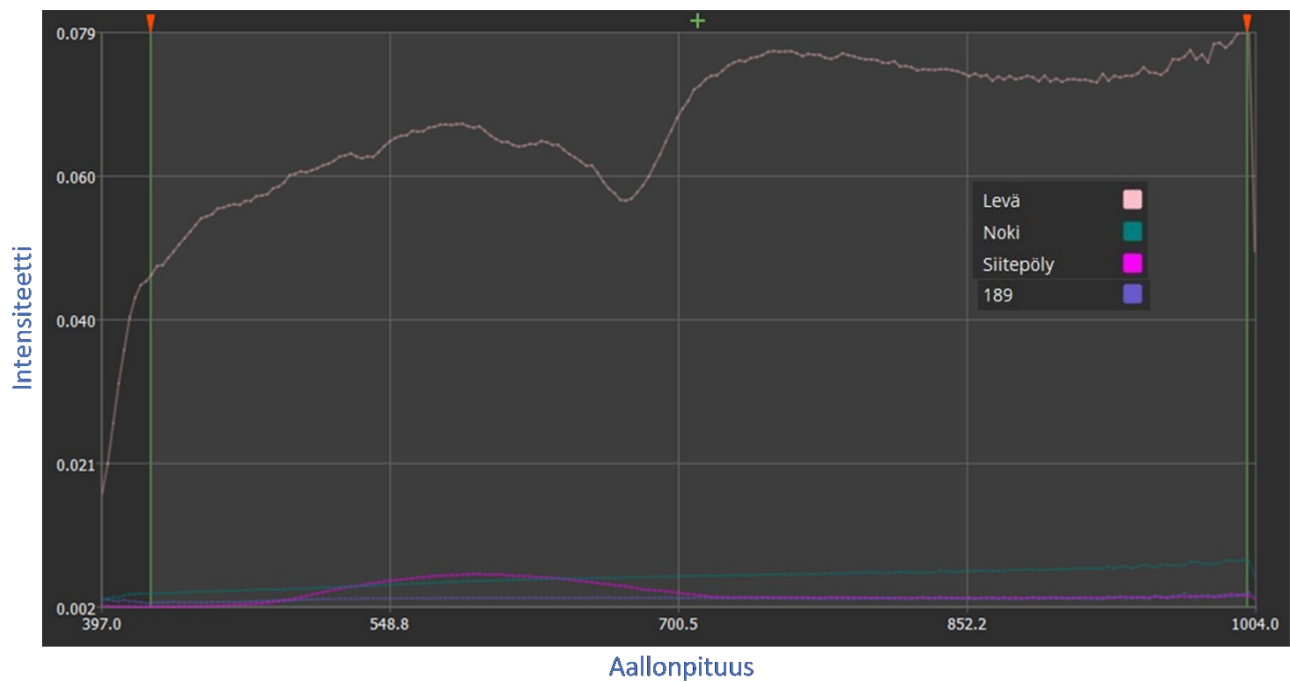


Mitatut näytteet:

Näyte 189

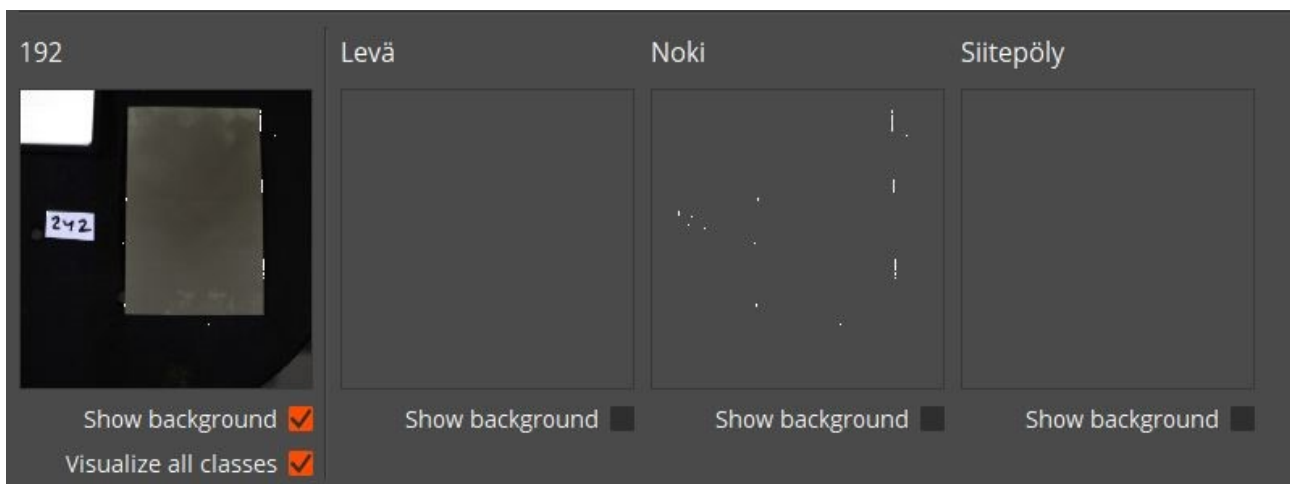


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 189

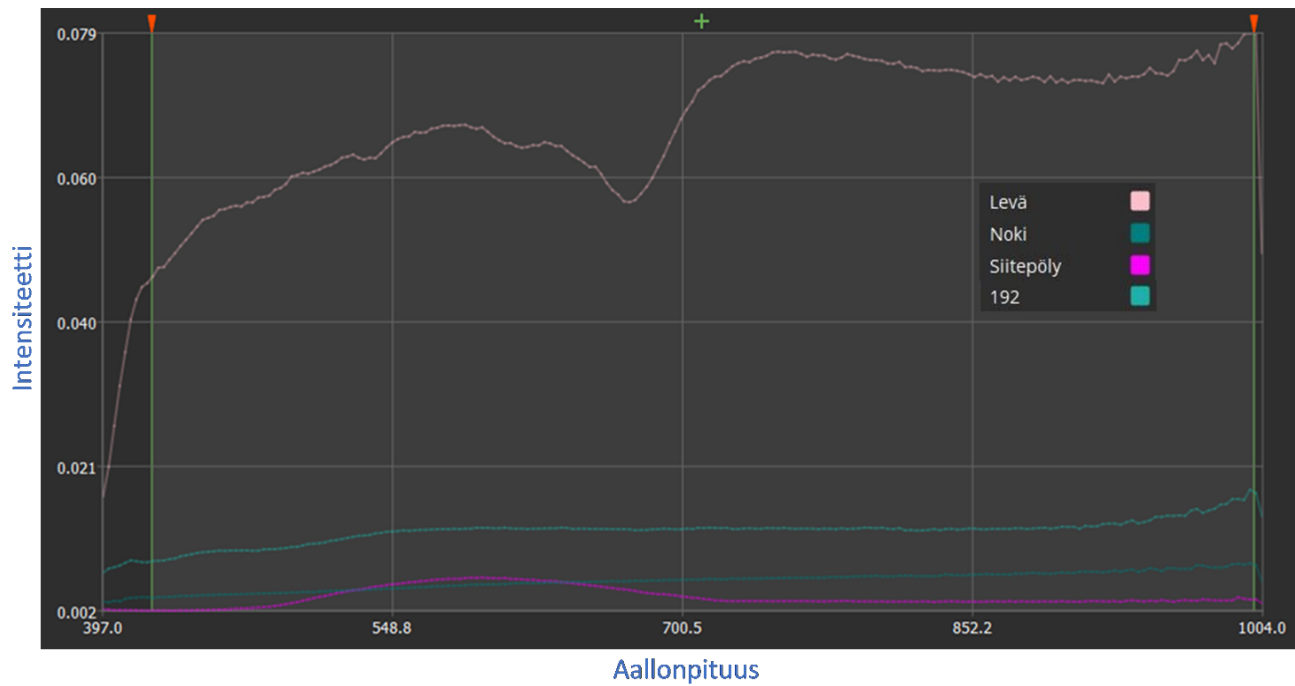


Testiajossa näkyy osuma siitepölyn standardiin. Näytteen ja siitepölyn standardin spektrikäyrät ovat myös lähellä toisiaan.

Näyte 192

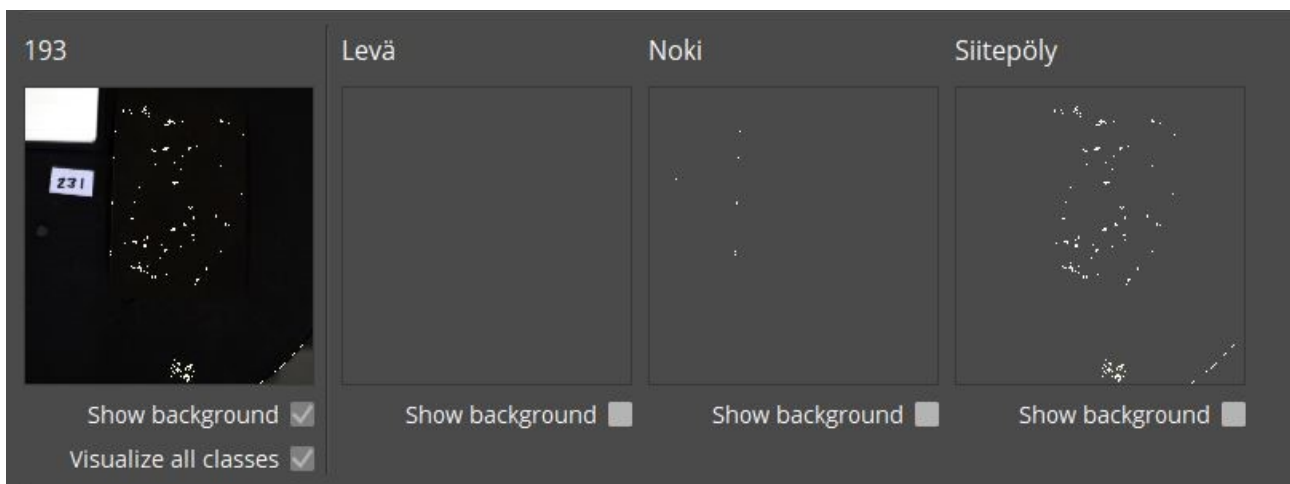


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 192

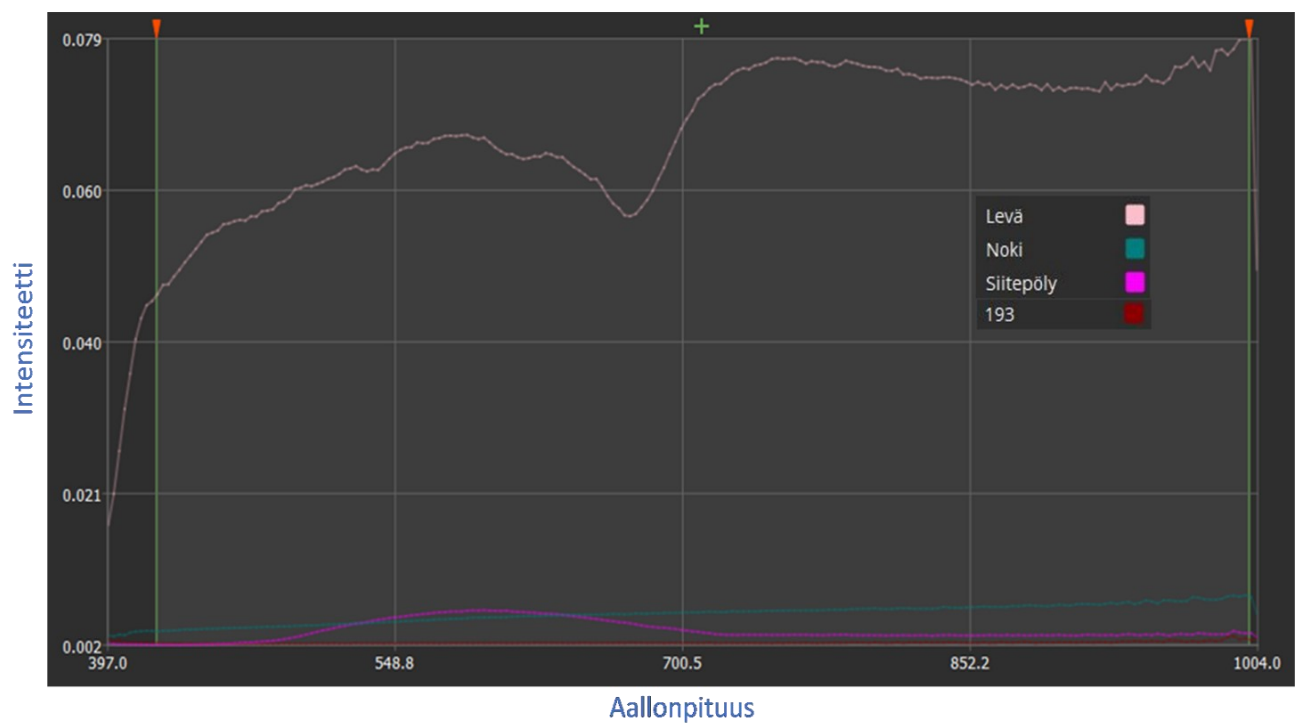


Testiajossa ei näy osumia standardeihin. Näytteen spektrikäyrä muistuttaa kuitenkin hieman noen spektrikäyrää.

Näyte 193

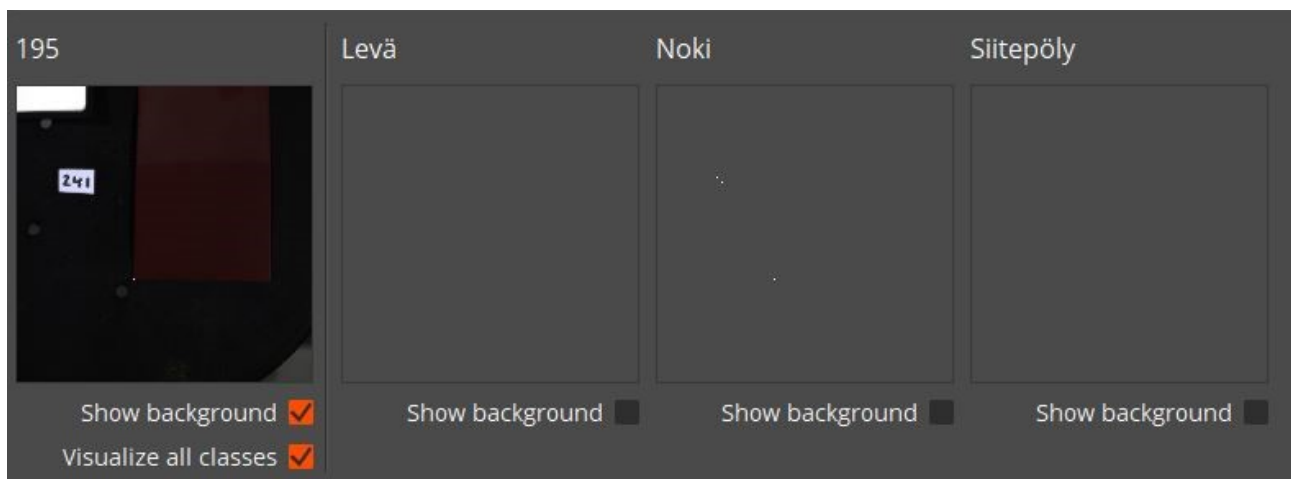


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 193

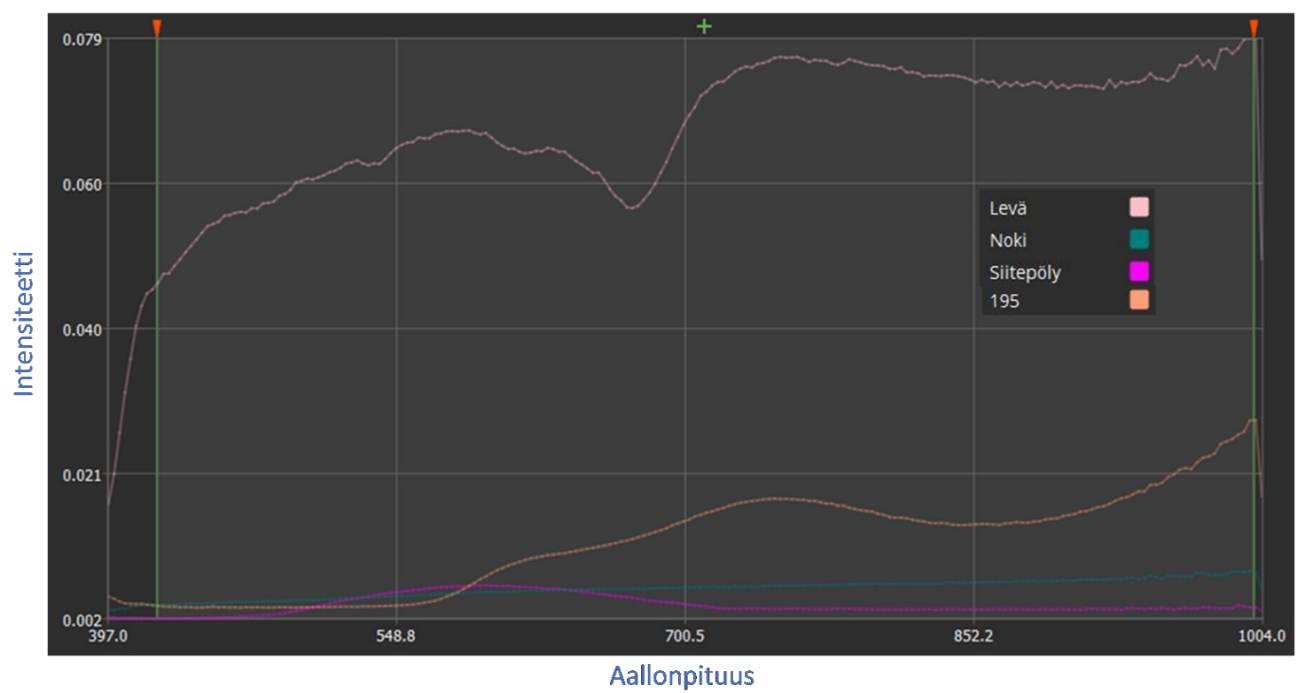


Testiajossa näkyy osuvia siitepölyn standardiin. Näytteen ja siitepölyn standardin spektrikäyrät ovat myös lähellä toisiaan.

Näyte 195

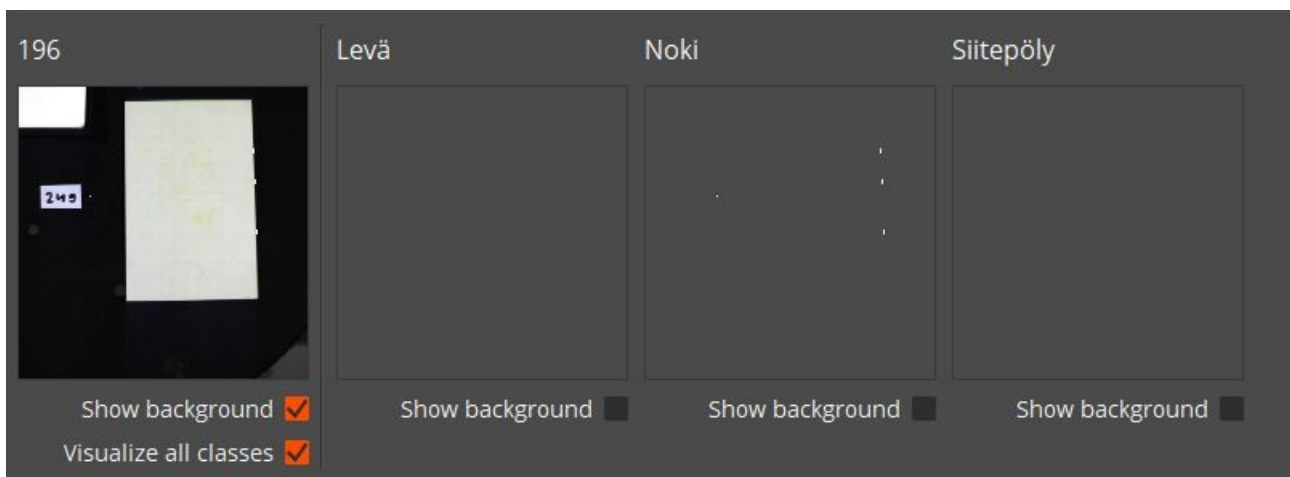


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 195

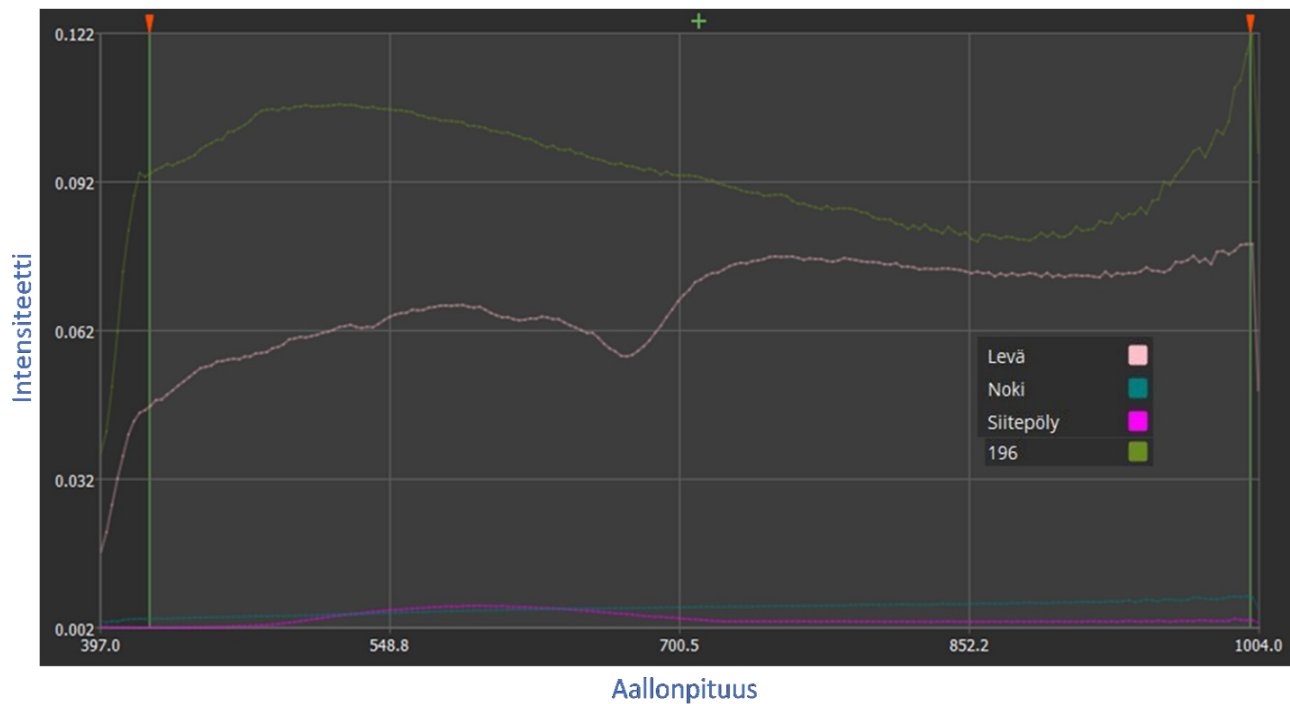


Testiajossa ei näy osumia standardeihin. Näytteen spektrikäyrä on erilainen kuin standardeilla.

Näyte 196

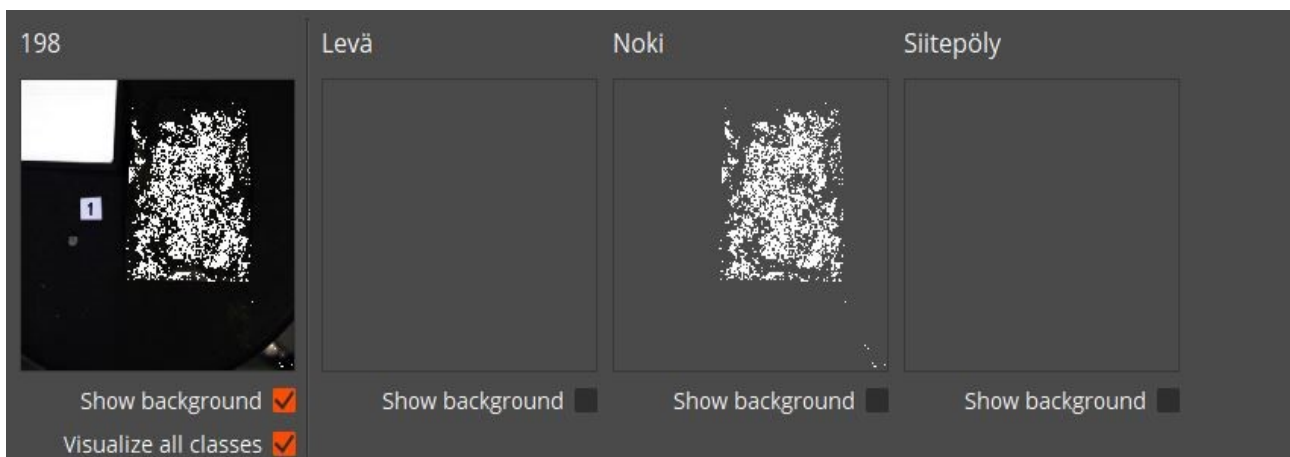


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 196

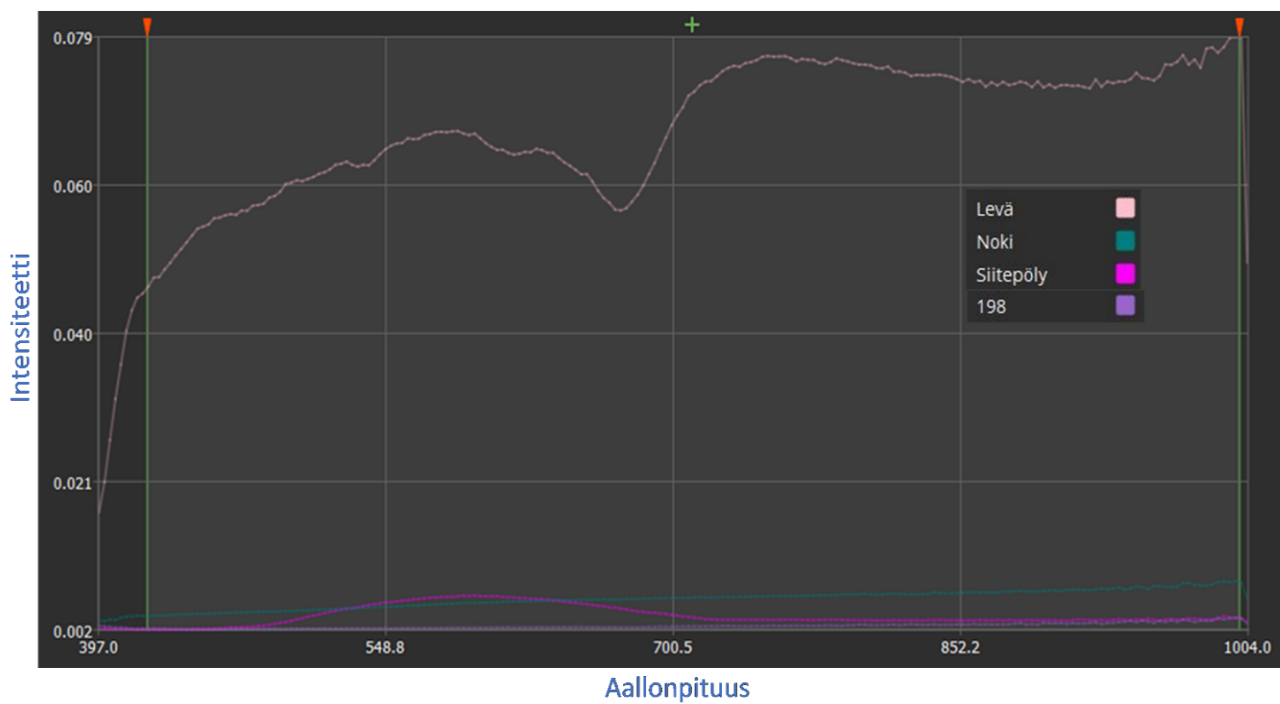


Testiajossa ei näy osumia standardeihin. Näytteen spektrikäyrä on myös hyvin erilainen kuin standardien.

Näyte 198

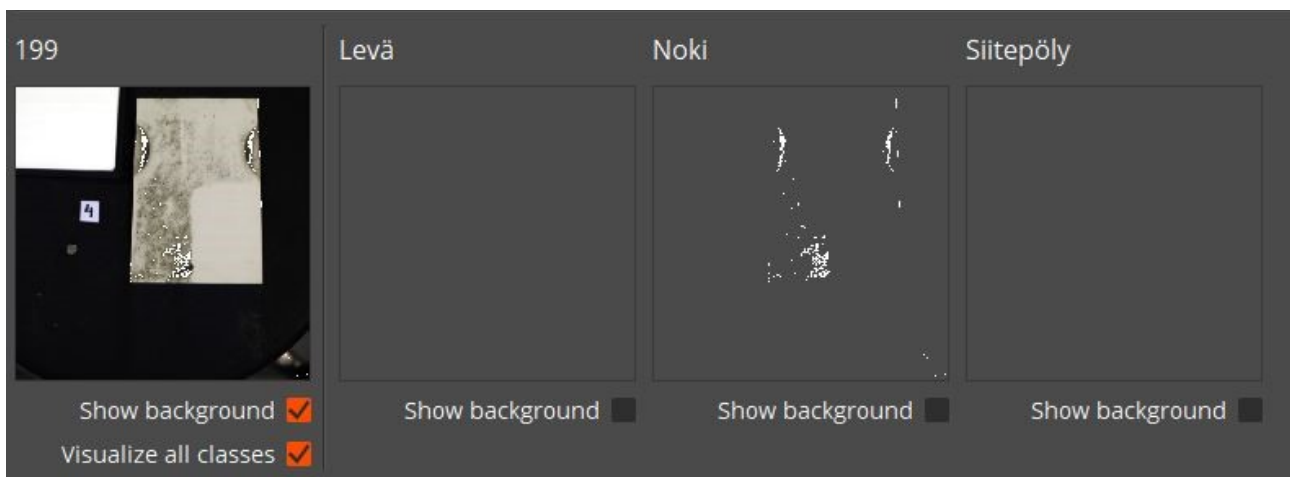


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 198

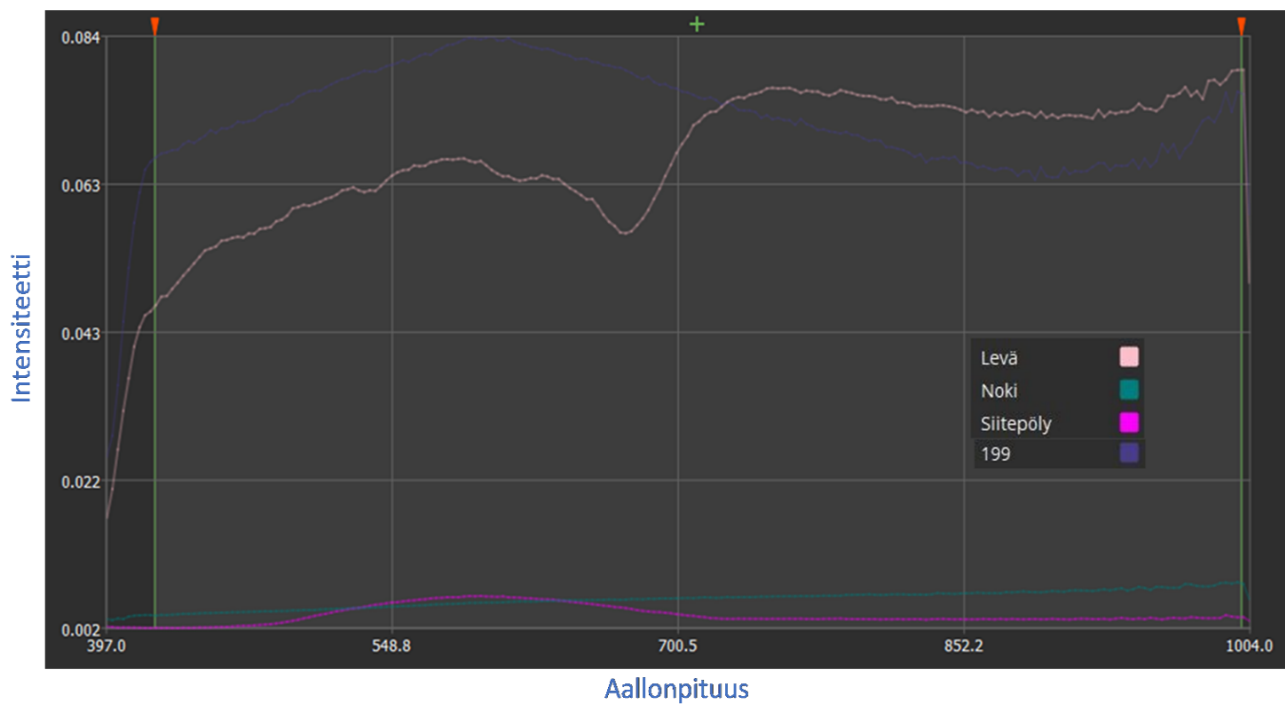


Testiajossa näkyy osuma noen standardiin. Näytteen ja noen standardin spektrikäyrät ovat myös lähellä toisiaan.

Näyte 199

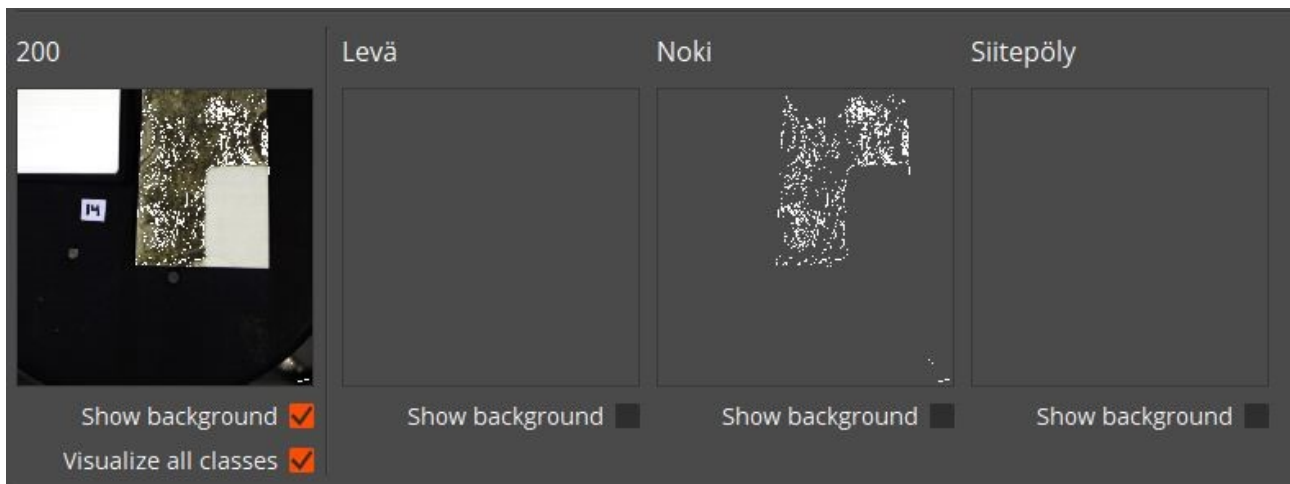


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 199

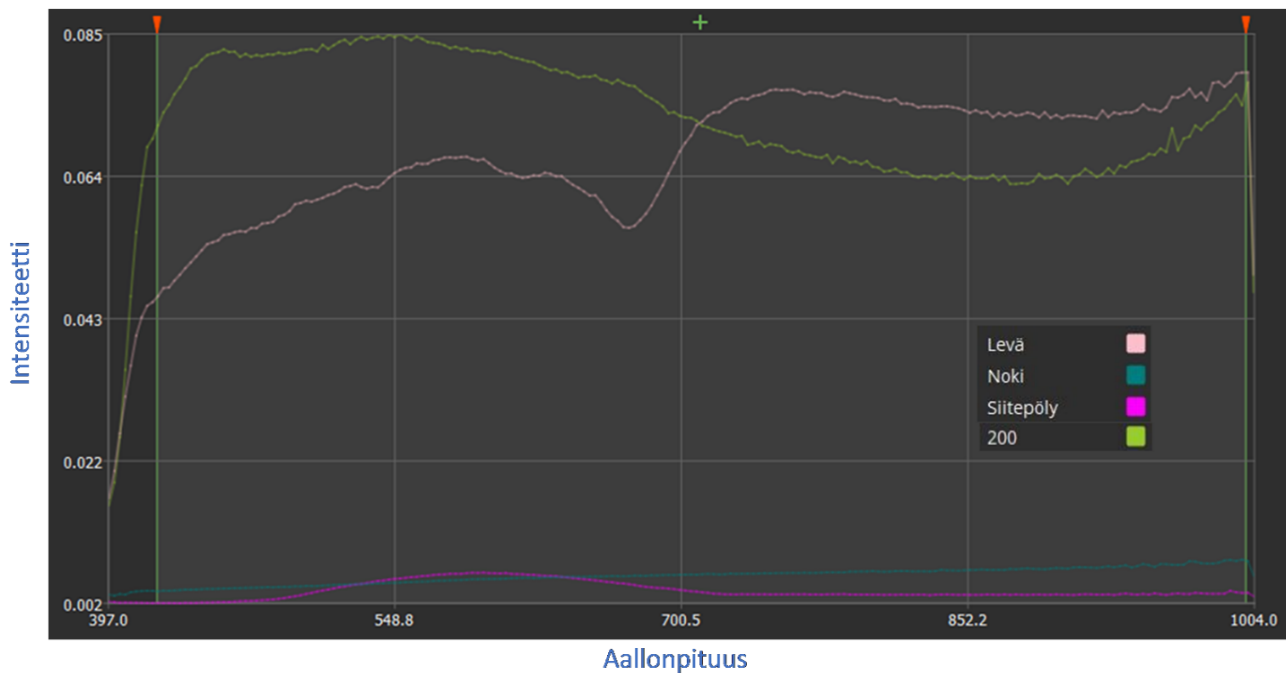


Testiajossa näkyy osittainen osuma noen standardiin. Näytteen ja noen standardin spektrikäyrät ovat kuitenkin melko erilaiset. Seassa saattaa olla jotain muutakin likaa joka näkyy spektrissä.

Näyte 200

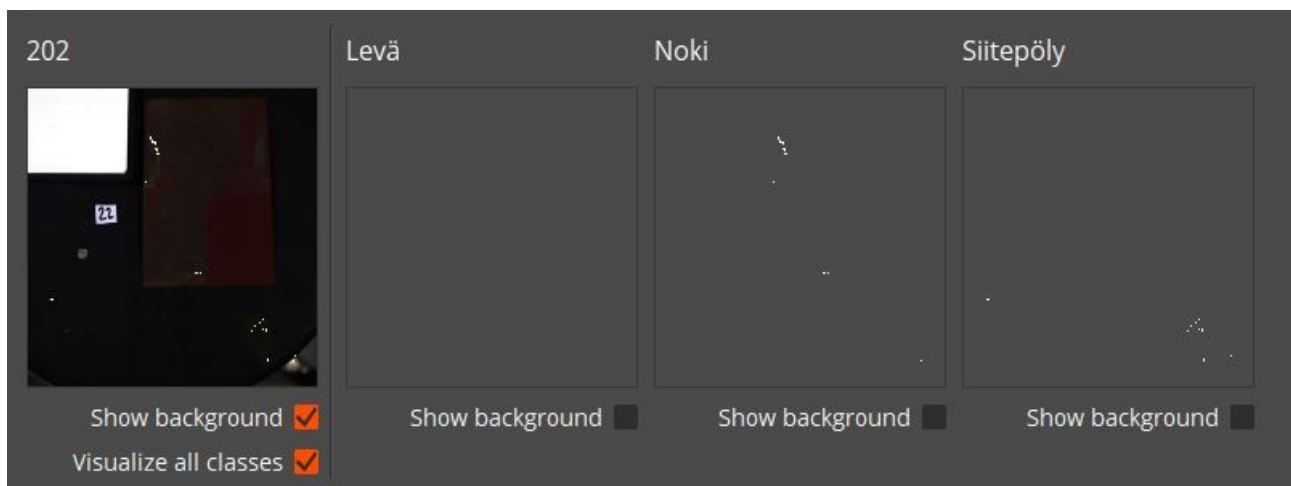


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 200

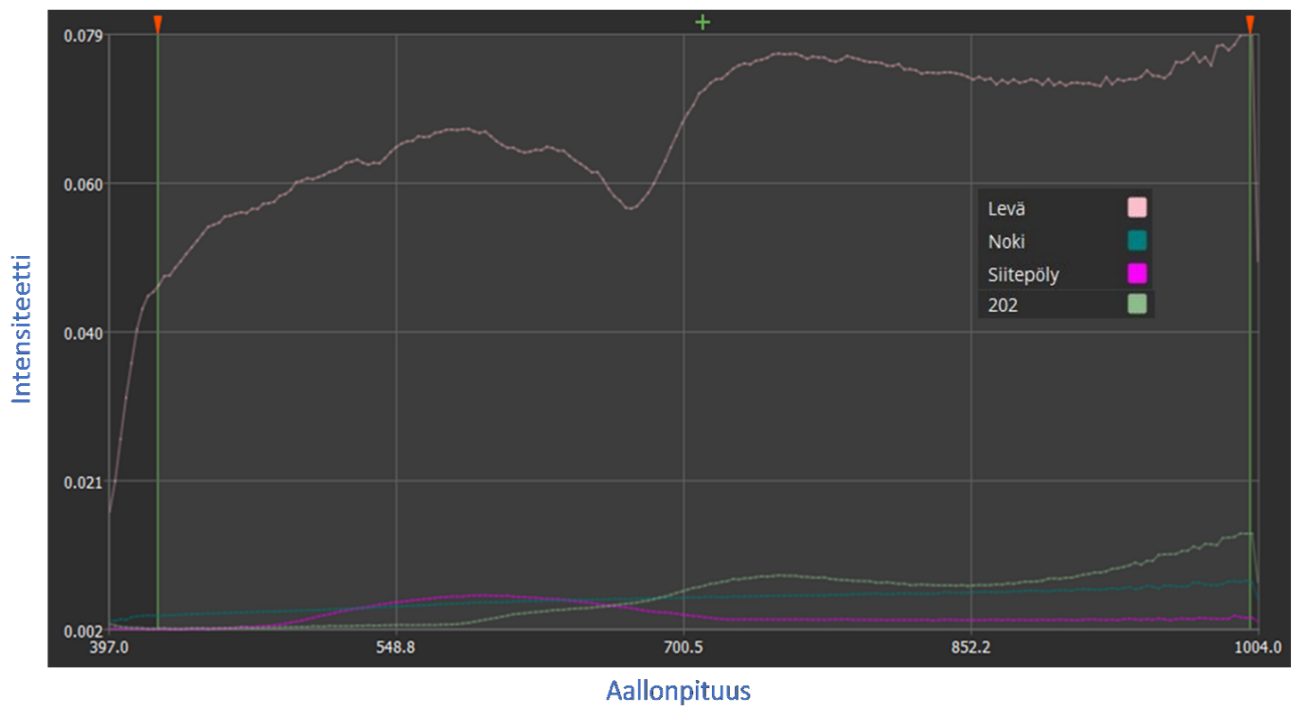


Testiajossa näkyy osuma noen standardiin. Näytteen ja noen standardin spektrikäyrät ovat kuitenkin melko erilaiset. Seassa saattaa olla jotain muutakin likaa joka näkyy spektrissä. Näytteen 199 ja 200 spektrit ovat samankaltaiset.

Näyte 202

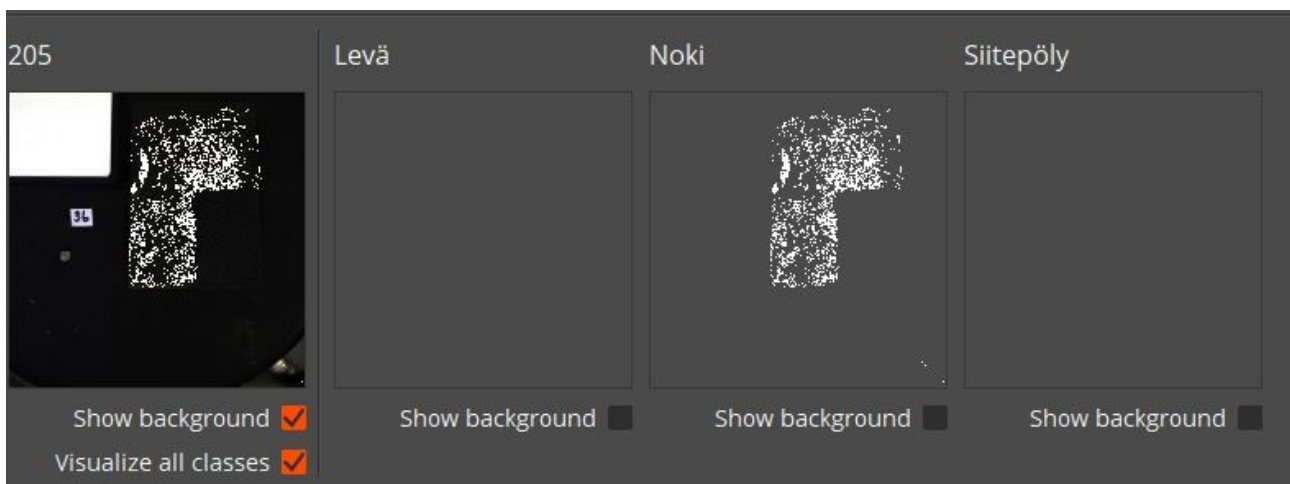


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 202

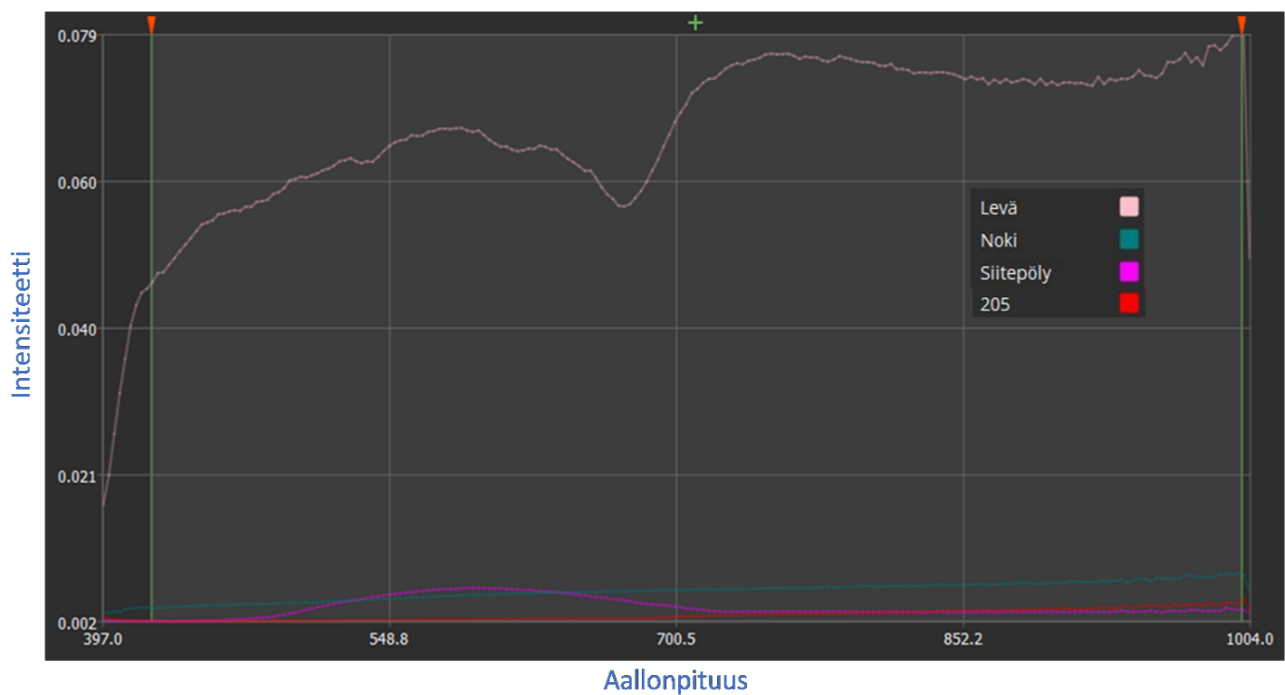


Testiajossa ei näy osumia standardeihin. Näytteen spektrikäyrä on erilainen kuin standardien.

Näyte 205

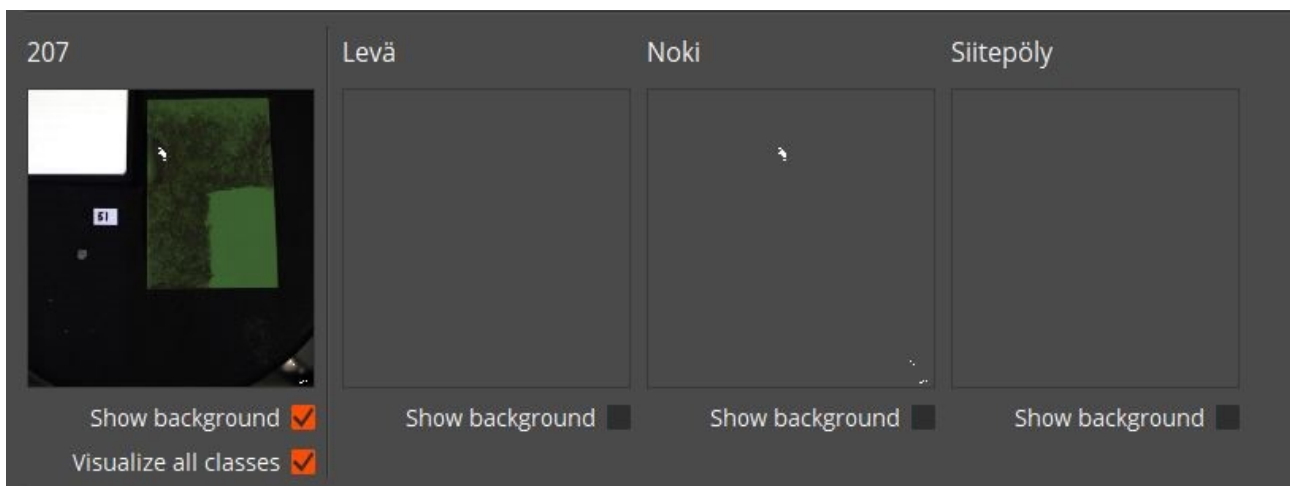


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 205

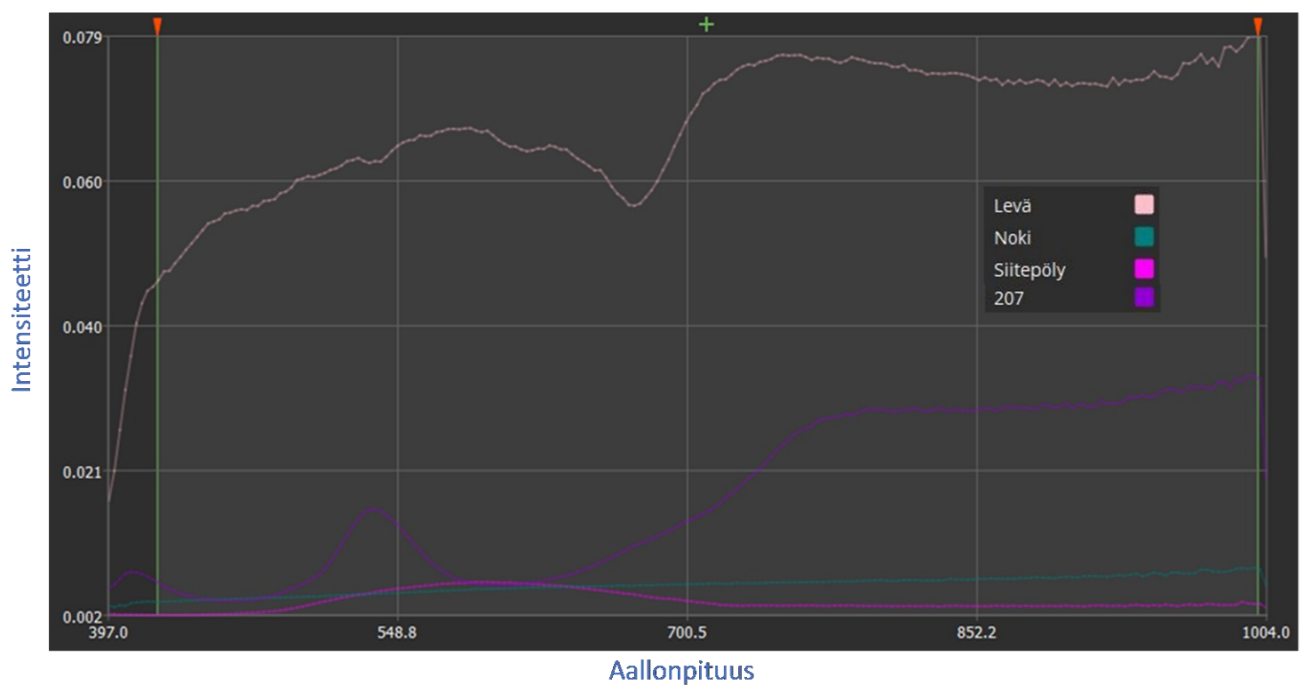


Testiajossa näkyy osuma noen standardiin. Näytteen ja noen standardin spektrikäyrät ovat myös lähellä toisiaan.

Näyte 207

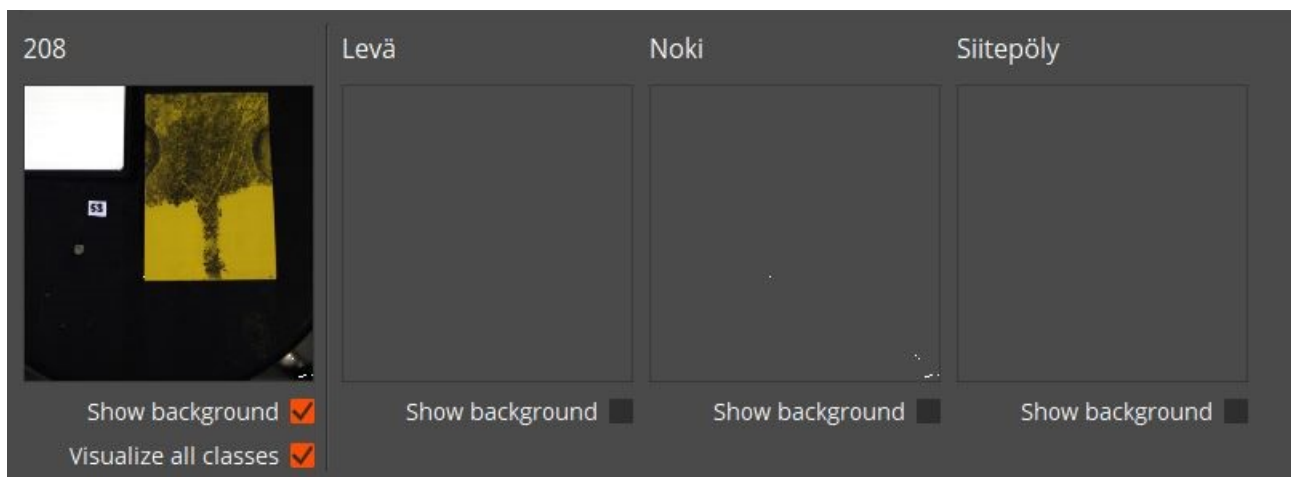


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 207

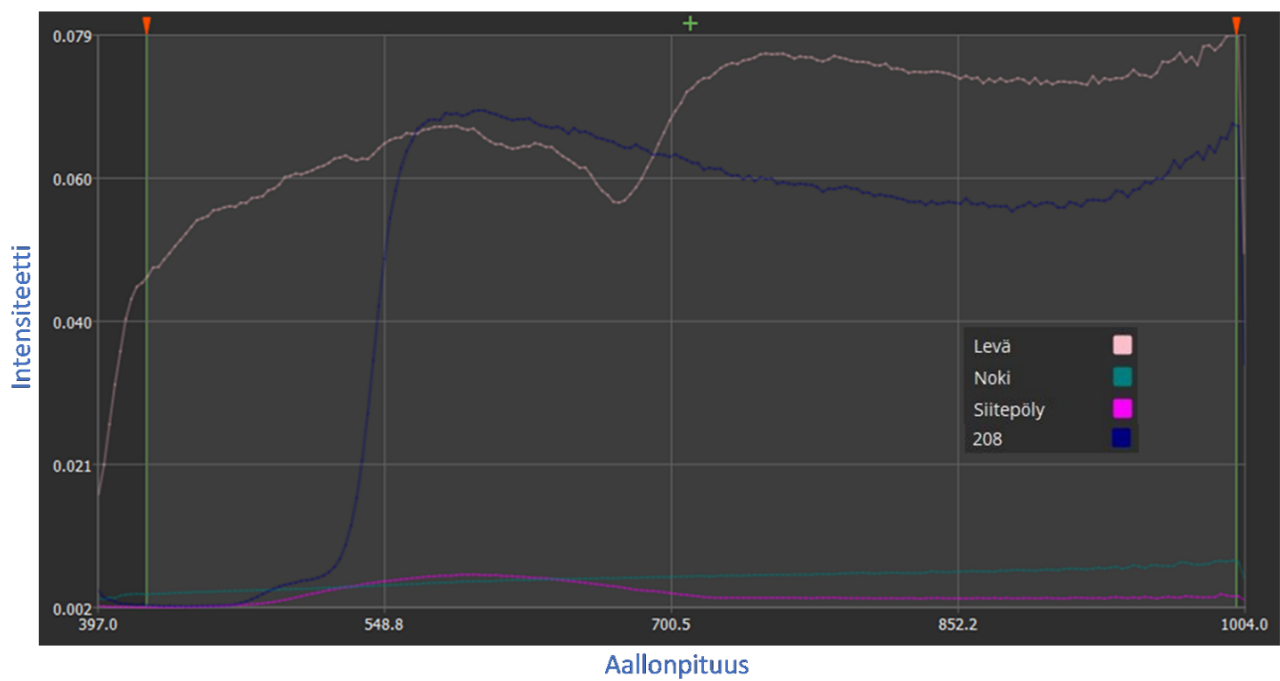


Testiajossa ei näy osumia standardeihin. Näytteen spektrikäyrä on erilainen kuin standardien.

Näyte 208

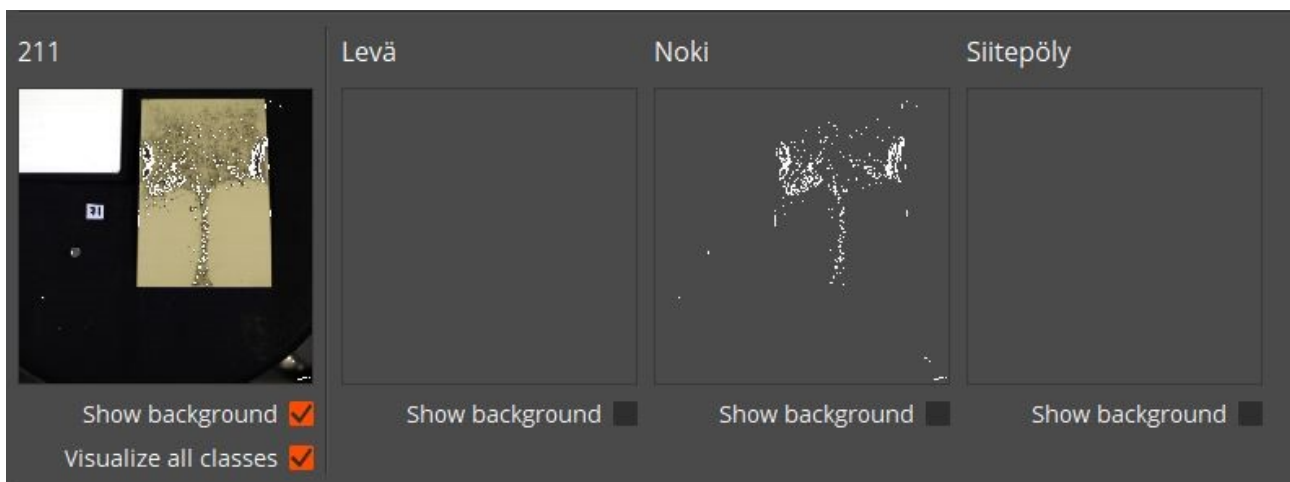


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 208

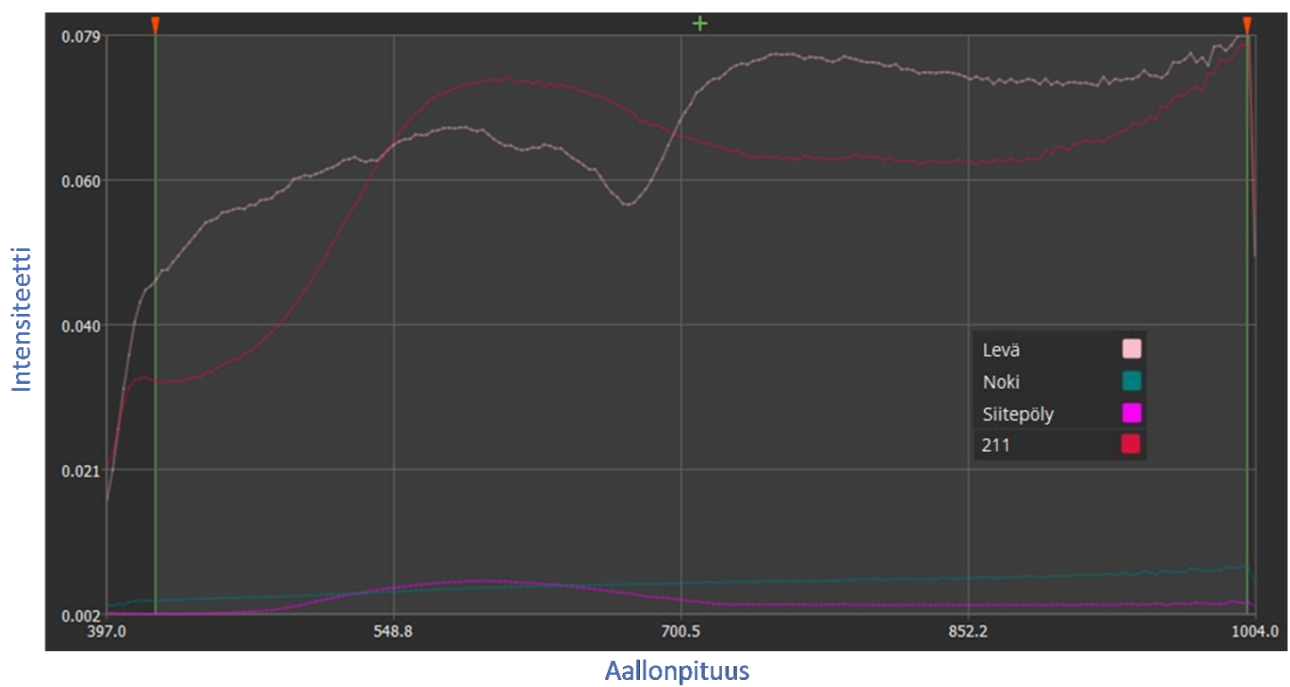


Testiajossa ei näy osumia standardeihin. Näytteen spektrikäyrä on erilainen kuin standardien.

Näyte 211

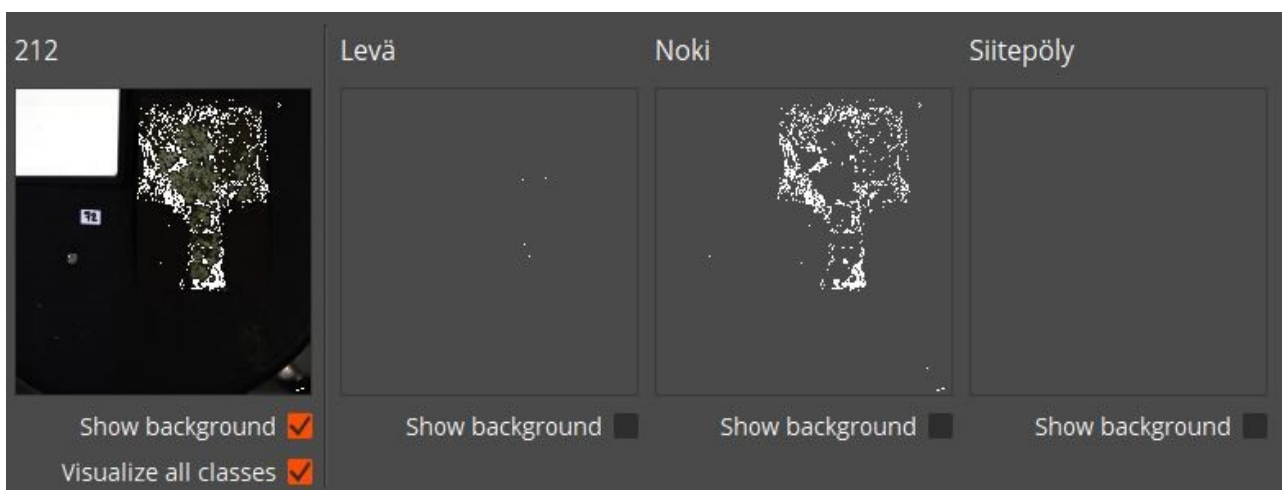


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 211

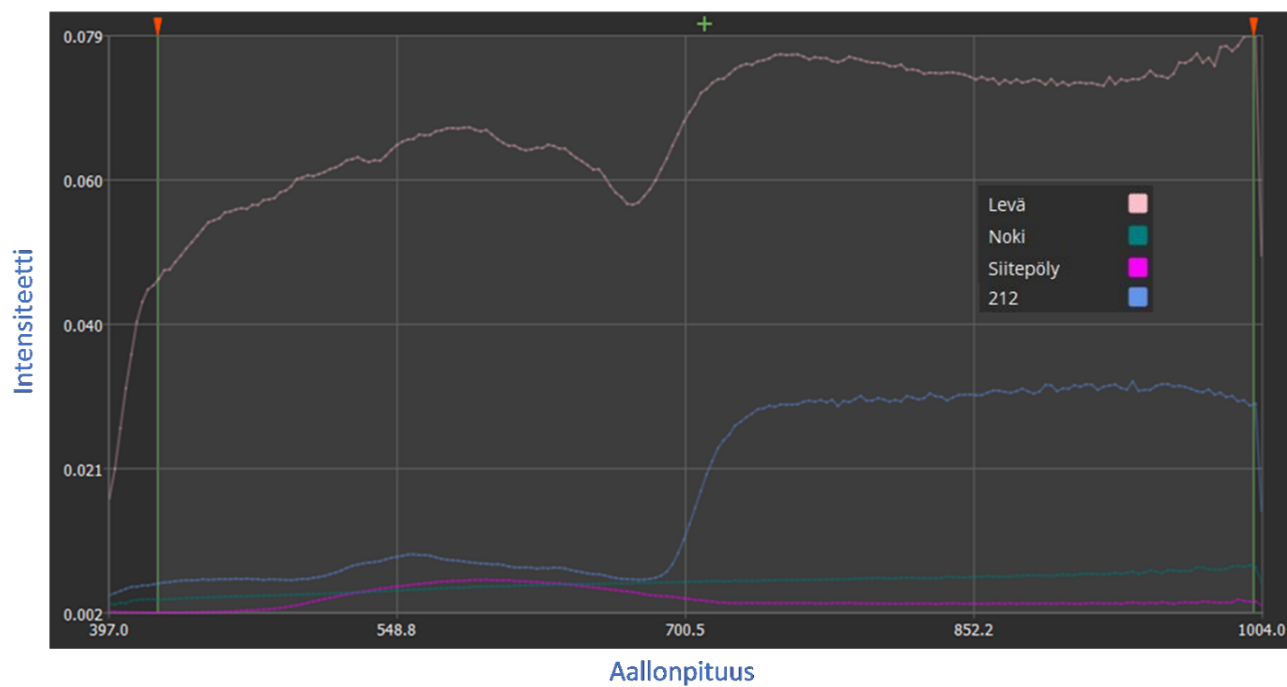


Testiajossa näkyy osittainen osuma noen standardiin. Näytteen ja noen standardin spektrikäyrät ovat kuitenkin melko erilaiset. Seassa saattaa olla jotain muutakin likaa joka näkyy spektrissä.

Näyte 212

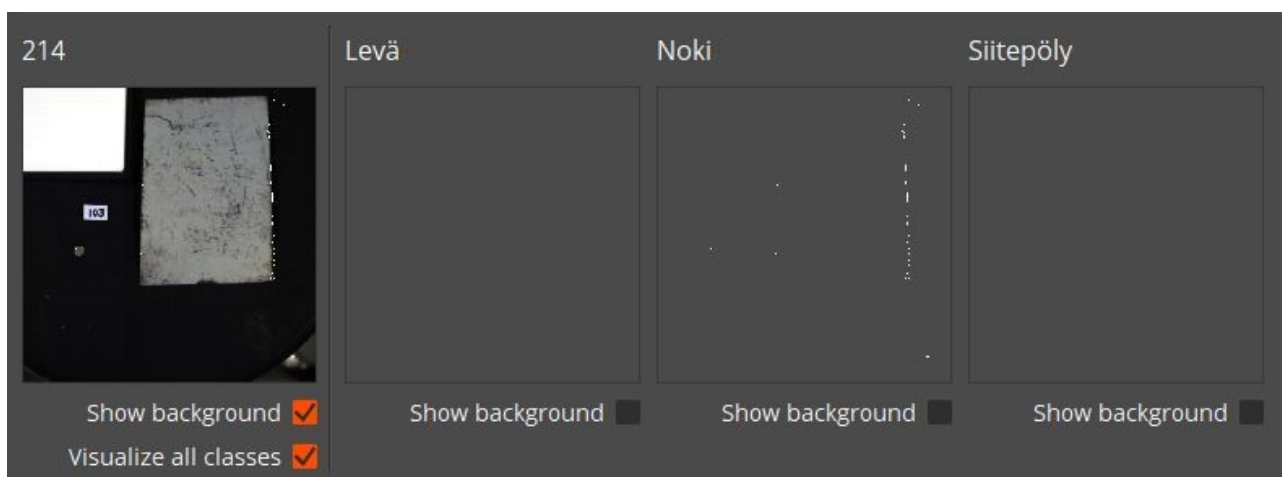


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 212

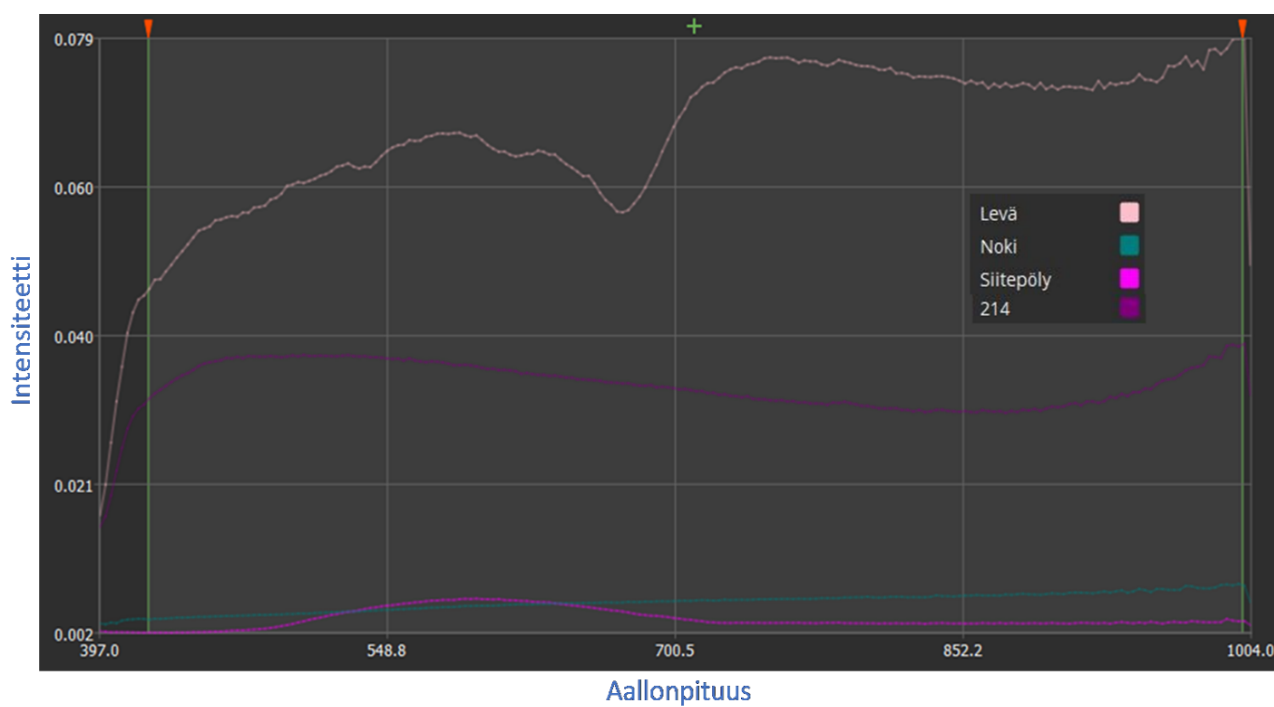


Testiajossa näkyy osittainen osuma noen standardiin. Näytteen ja noen standardin spektrikäyrät ovat kuitenkin melko erilaiset. Seassa saattaa olla jotain muutakin likaa joka näkyy spektrissä.

Näyte 214

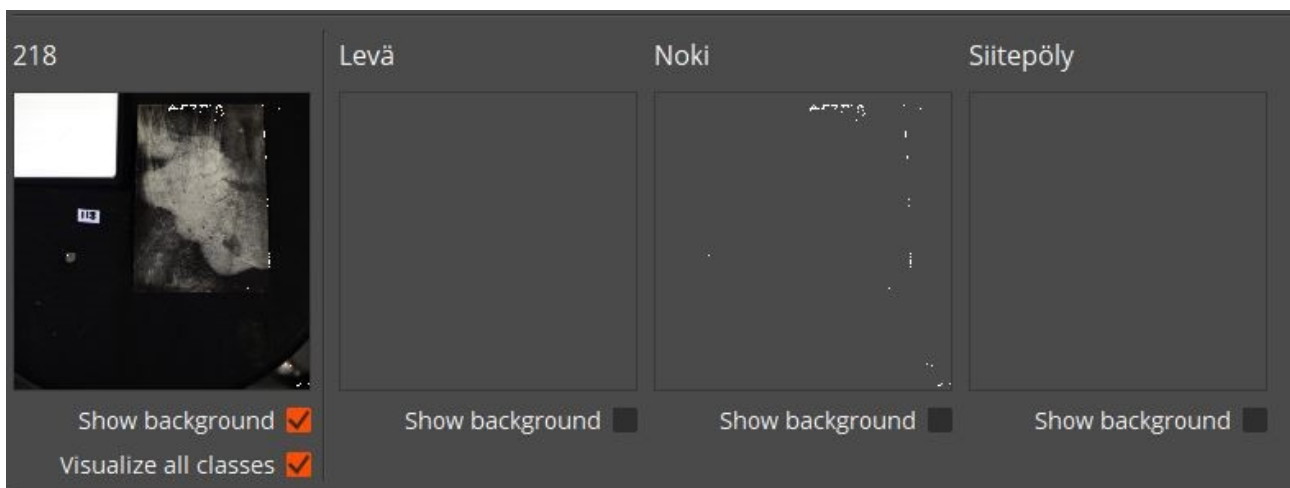


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 214

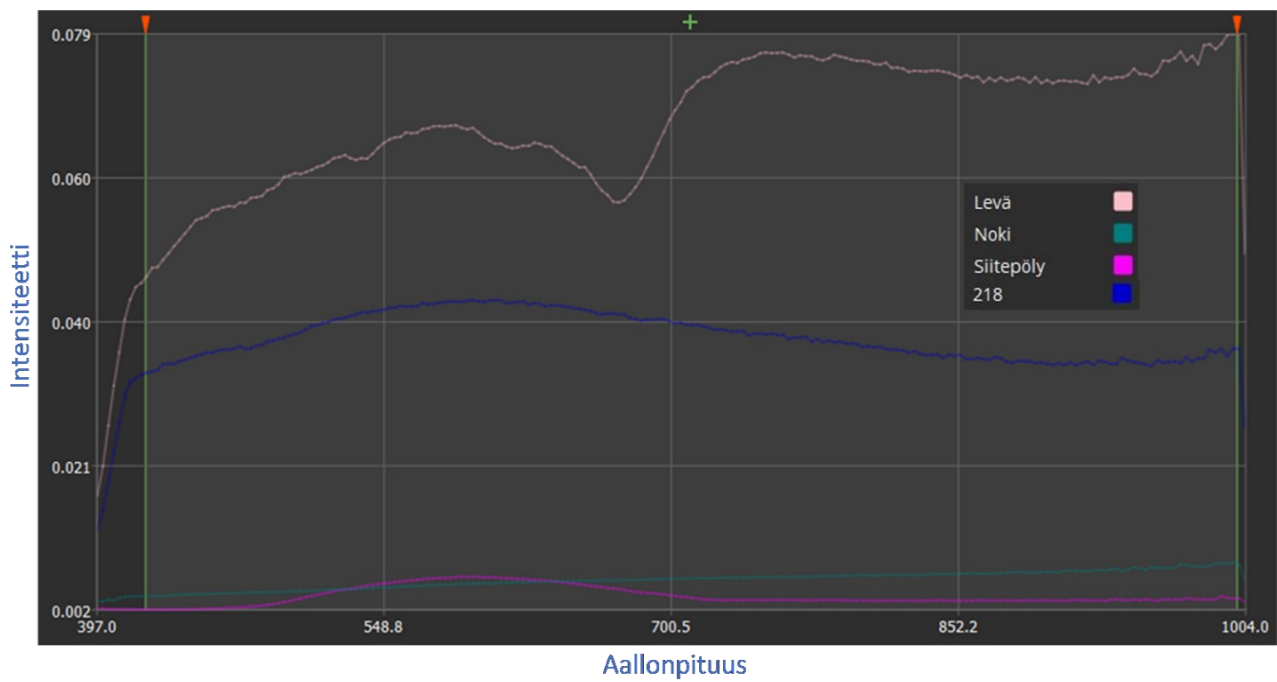


Testiajossa ei näy osumia standardeihin. Näytteen spektrikäyrä on erilainen kuin standardien.

Näyte 218

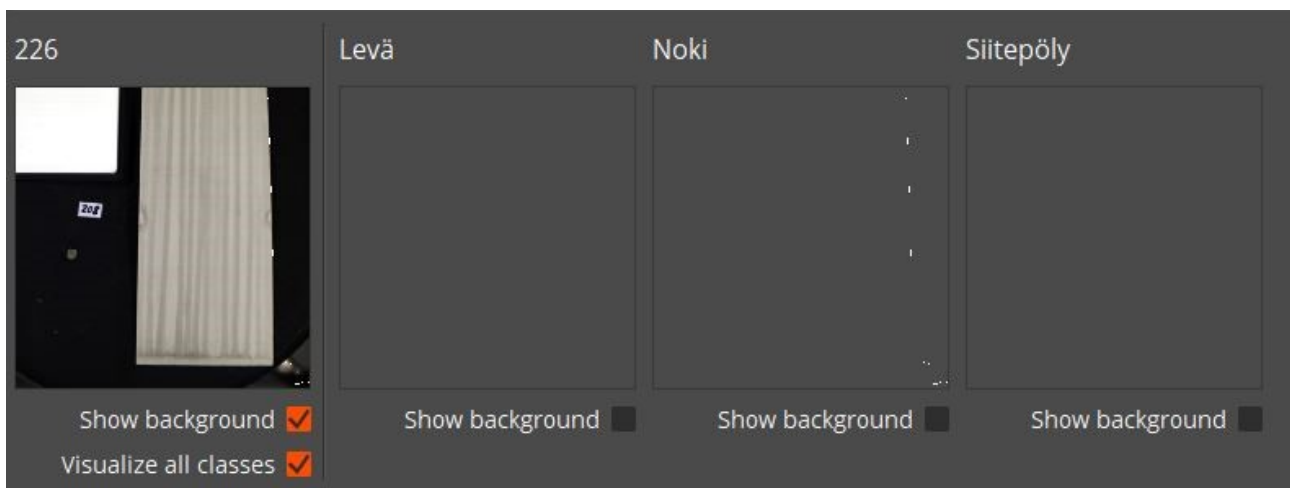


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 218

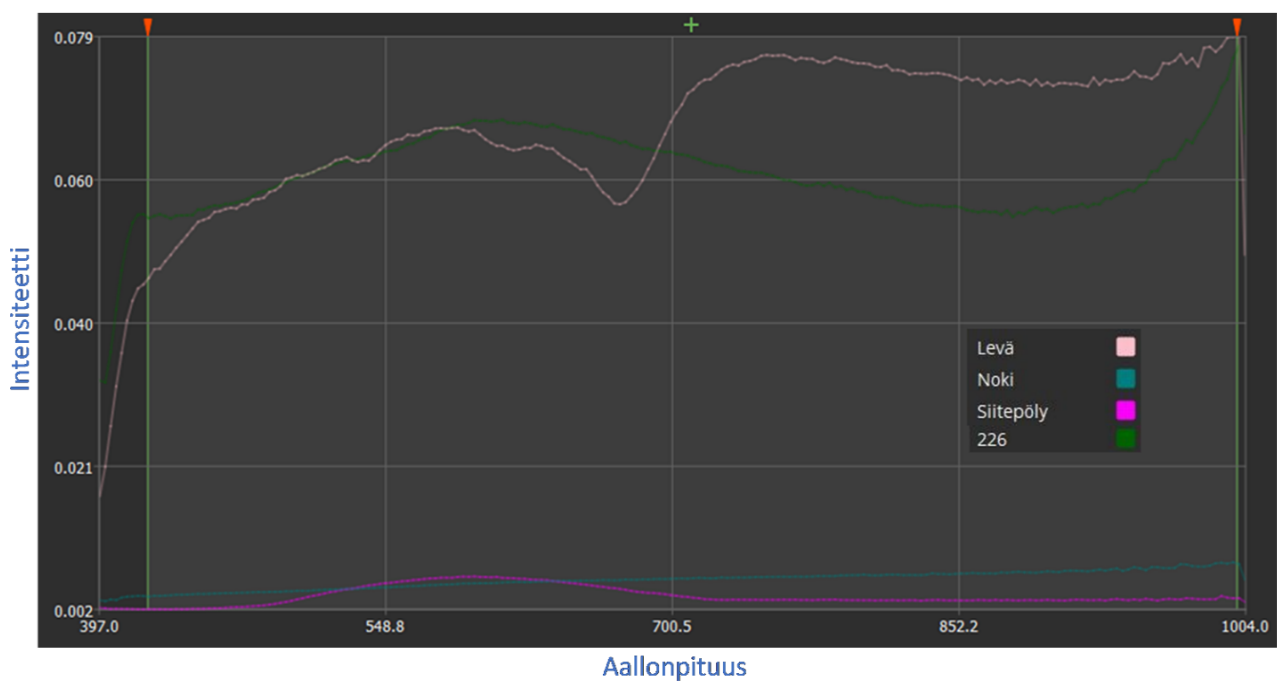


Testiajossa ei näy varsinaisia osumia standardeihin. Näytteen spektrikäyrä on erilainen kuin standardien, hyvin samanlainen kuin näytteellä 214.

Näyte 226

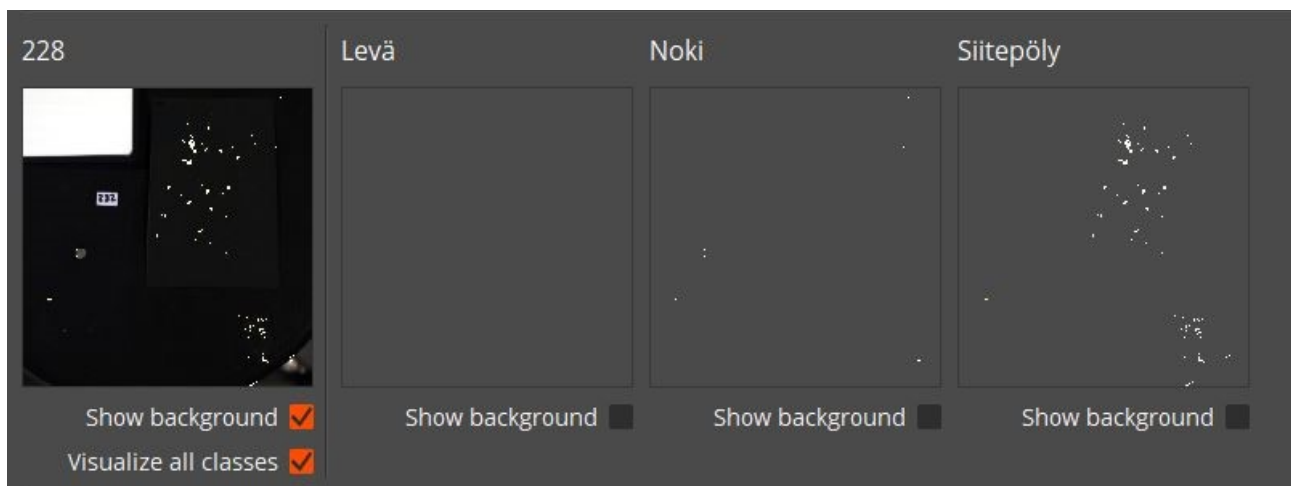


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 226

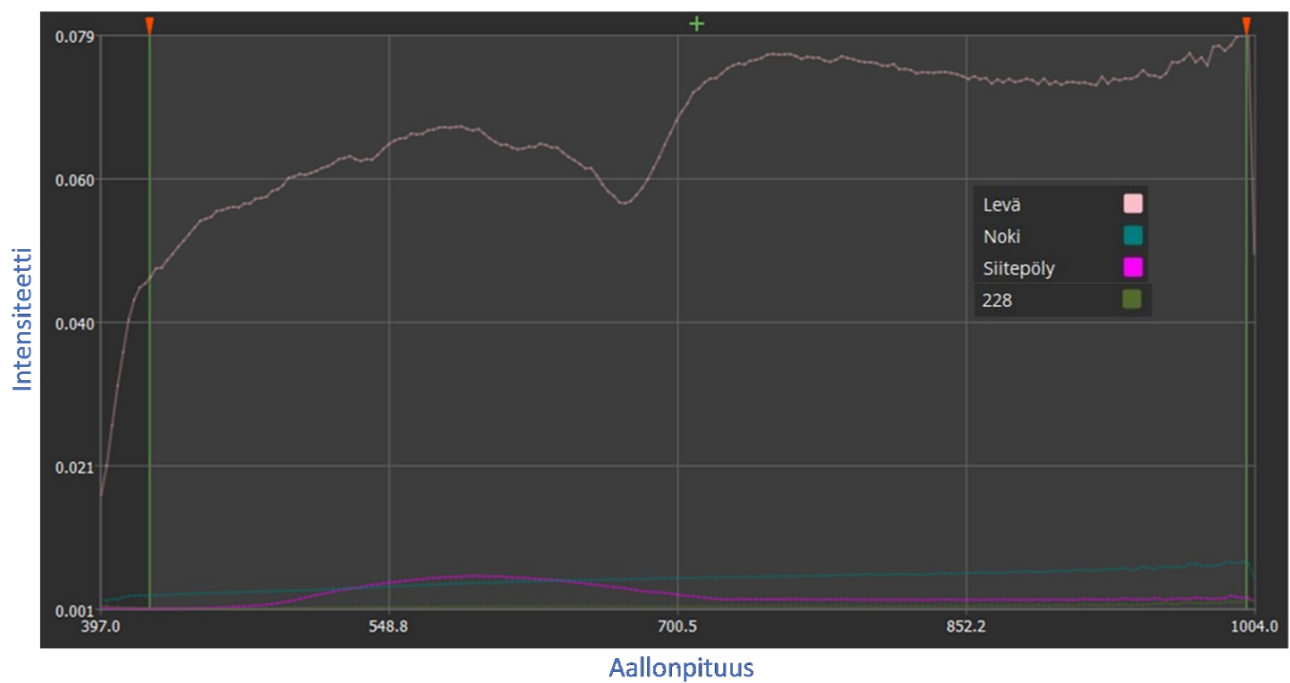


Testiajossa ei näy osumia standardeihin. Näytteen spektrikäyrä on erilainen kuin standardien.

Näyte 228

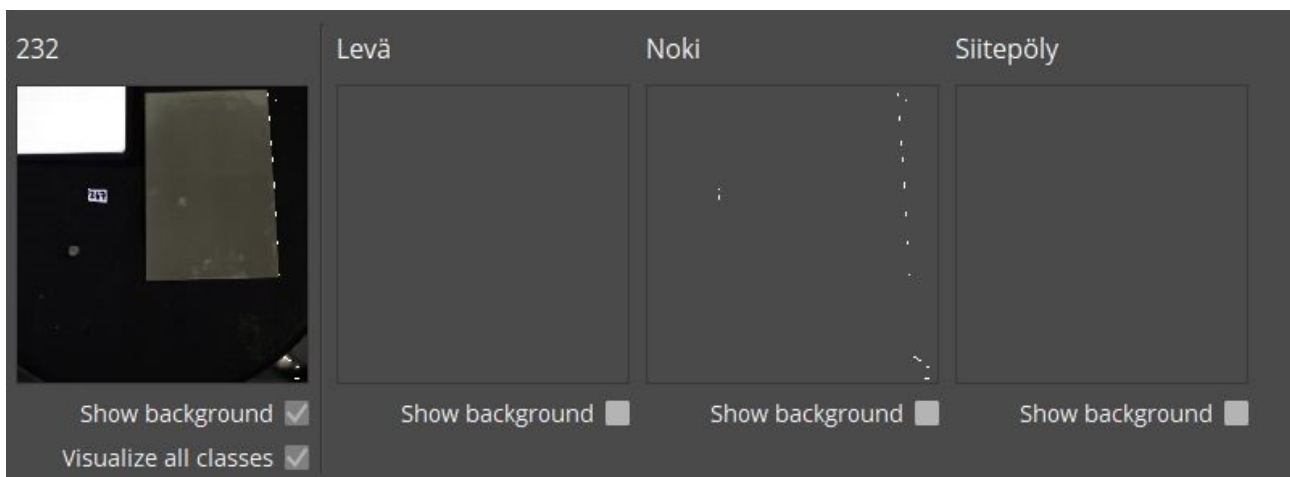


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 228

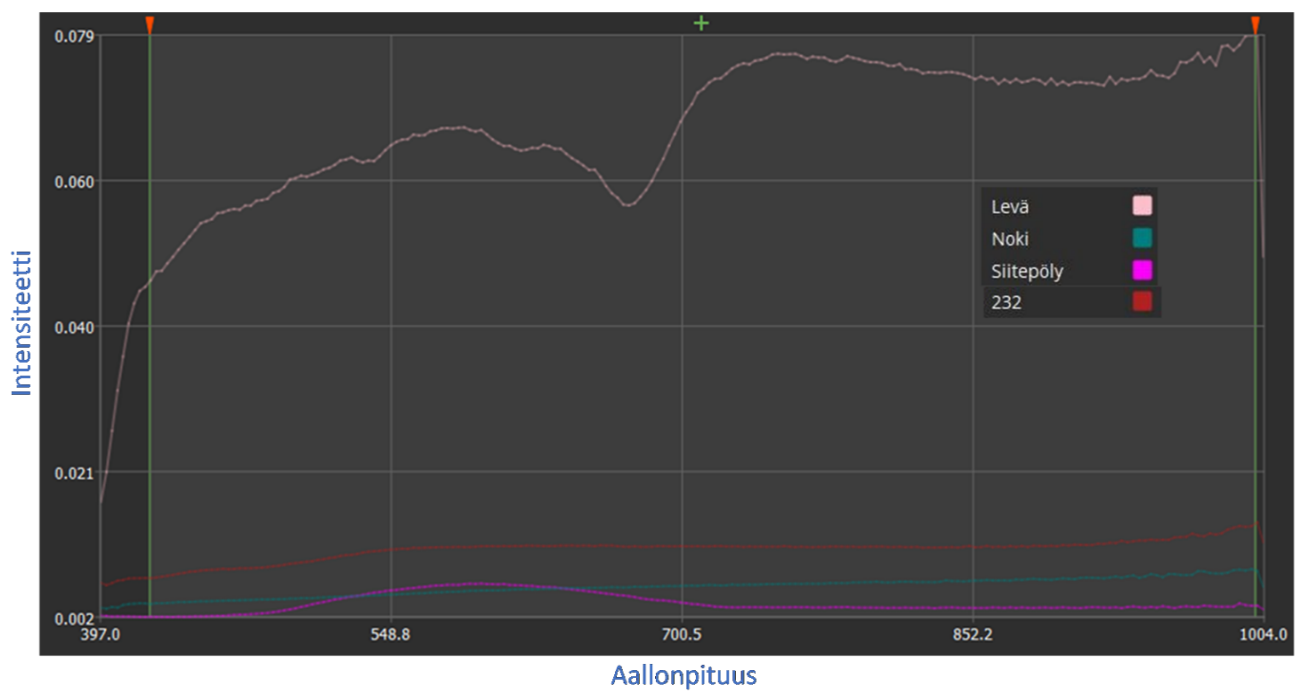


Testiajossa näkyy osuvia siitepölyn standardiin. Näytteen ja siitepölyn standardin spektrikäyrät ovat myös lähellä toisiaan.

Näyte 232

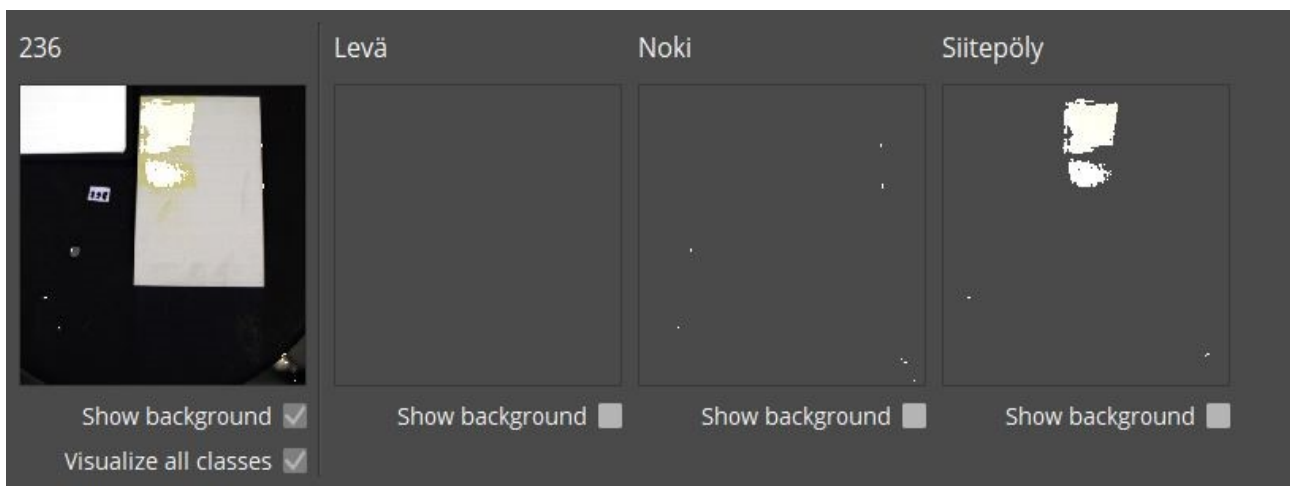


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 232

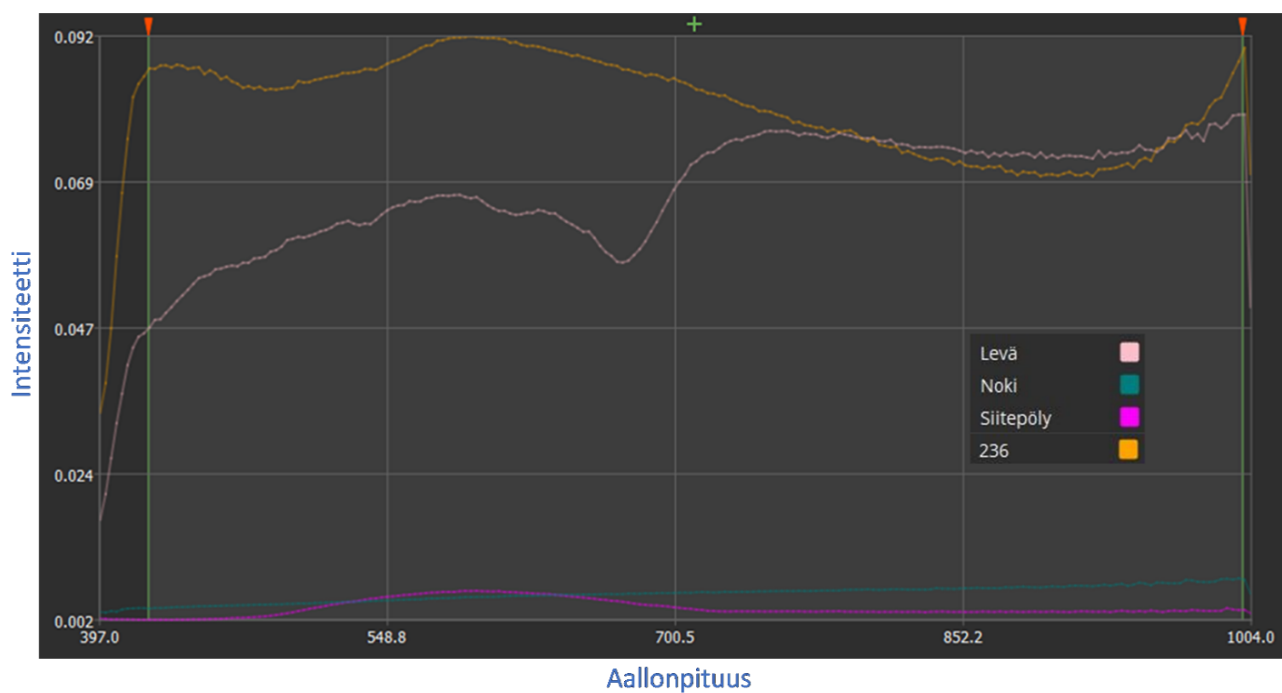


Testiajossa ei näy osumia standardeihin. Näytteen spektrikäyrä on kuitenkin melko lähellä noen standardin spektrikäyrää.

Näyte 236

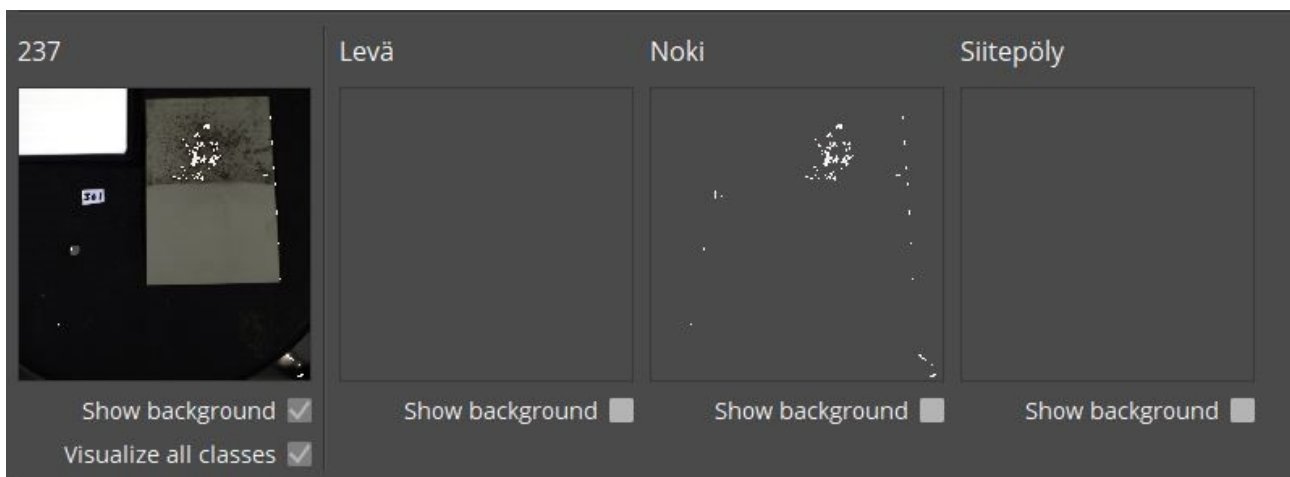


Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 236

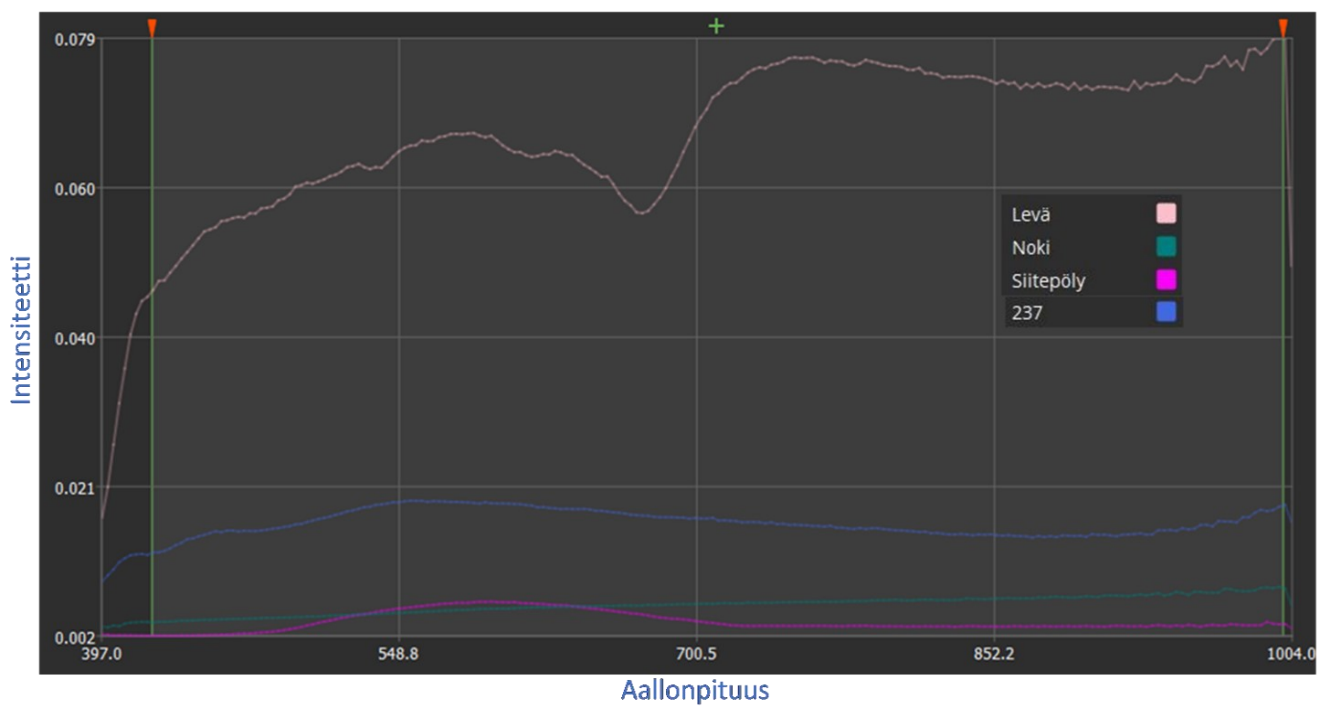


Testiajossa näkyy osuma siitepölyn standardiin. Näytteen ja siitepölyn standardin spektrikäyrät ovat kuitenkin hyvin erilaiset. Seassa saattaa olla muutakin likaa.

Näyte 237



Spektrikäyrien vertailua, kaikki standardit ja näyte 237



Testiajossa näkyy osittainen osuma noen standardiin. Näytteen ja noen standardin spektrikäyrät ovat melko lähellä toisiaan.