



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

# Laboratoriomittakaavan hyperspektrikuvaus kaukokartoituksen tukena maa- ja metsätaloudessa ja ympäristön monitoroinnissa

Markku Keinänen, UEF

Pohjois-Suomen paikkatietoiltapäivä, 16.4.2019, Tellus Innovation Arena, Oulu



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

# SPECTROMICS

## KASVIT **UUDESSA** VALOSSA

*[spectromics.org](https://spectromics.org)*

ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO JOENSUU | KUOPIO



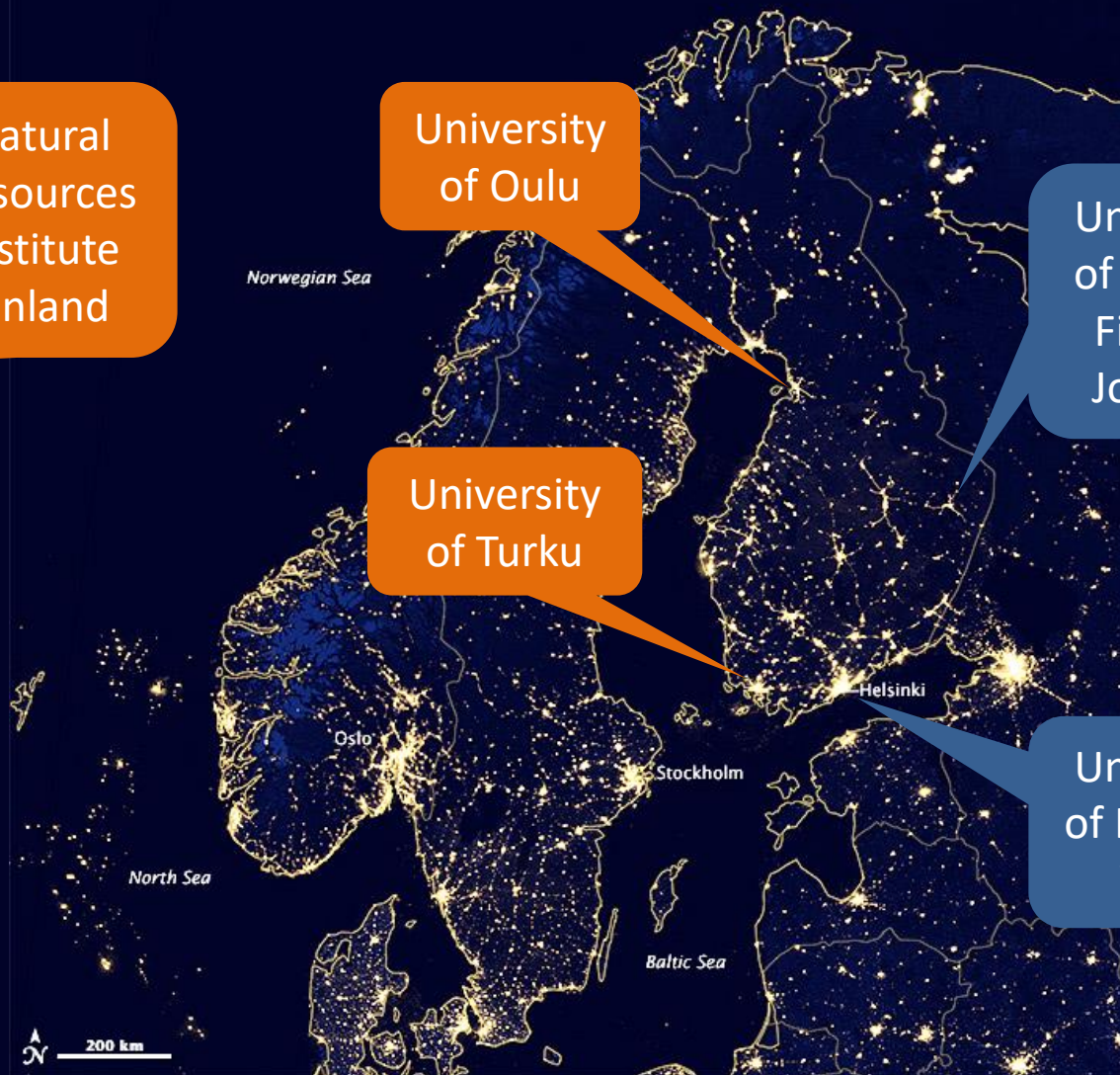
Natural  
Resources  
Institute  
Finland

University  
of Oulu

University  
of Turku

University  
of Eastern  
Finland,  
Joensuu

University  
of Helsinki,  
Viikki





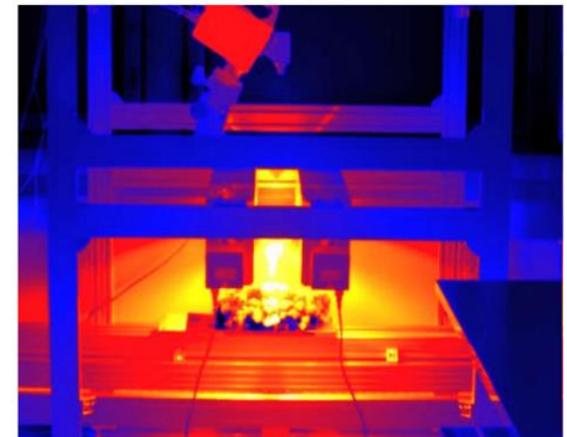
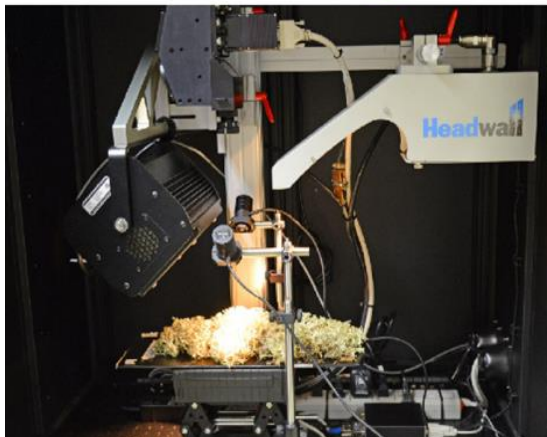
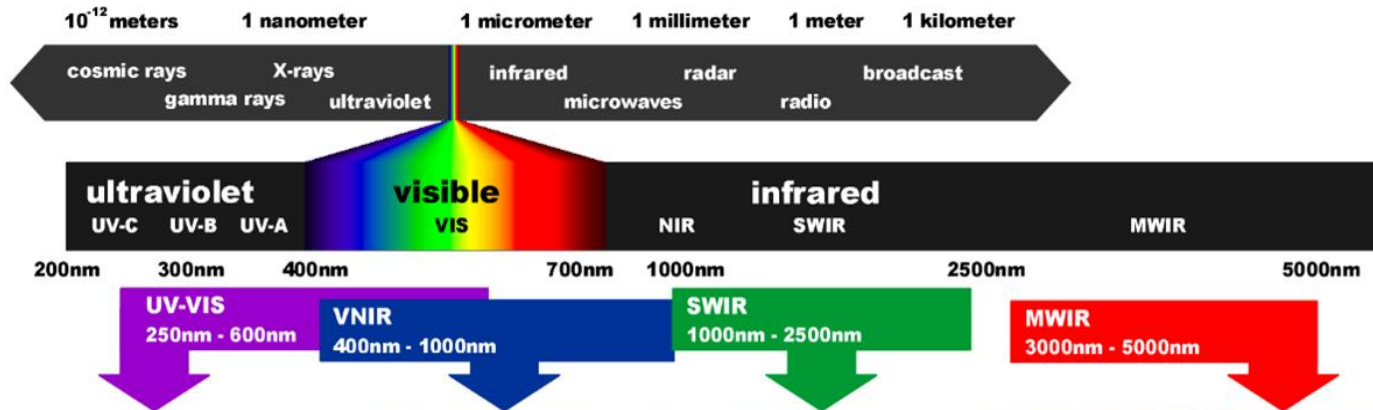
# NaPPI UEF node (Joensuu campus)

## Spectromics lab: hyperspectral imaging &c.



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

Four hyperspectral cameras covering the range 250 - 5000nm  
(& a battery-operated portable VNIR hyperspectral camera)



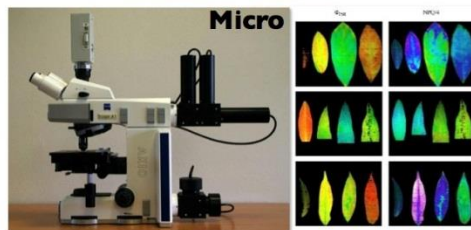


# Other imaging devices / Spectromics lab



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

## Kinetic chlorophyll fluorescence 'Imaging PAM' technique



## UV & IR modified DSLRs



## Thermography



## Macroscopy & 3D stacking



## Xenon light source w/ liquid light guides (UV to IR)



## Angle-tunable filter units

Adjustable  
338 – 700 nm  
(15 nm BW)

Liquid-cooled CCD camera  
for UV (200 - 900nm)



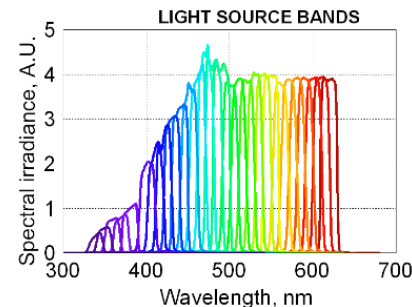
Liquid-cooled EMCCD  
camera



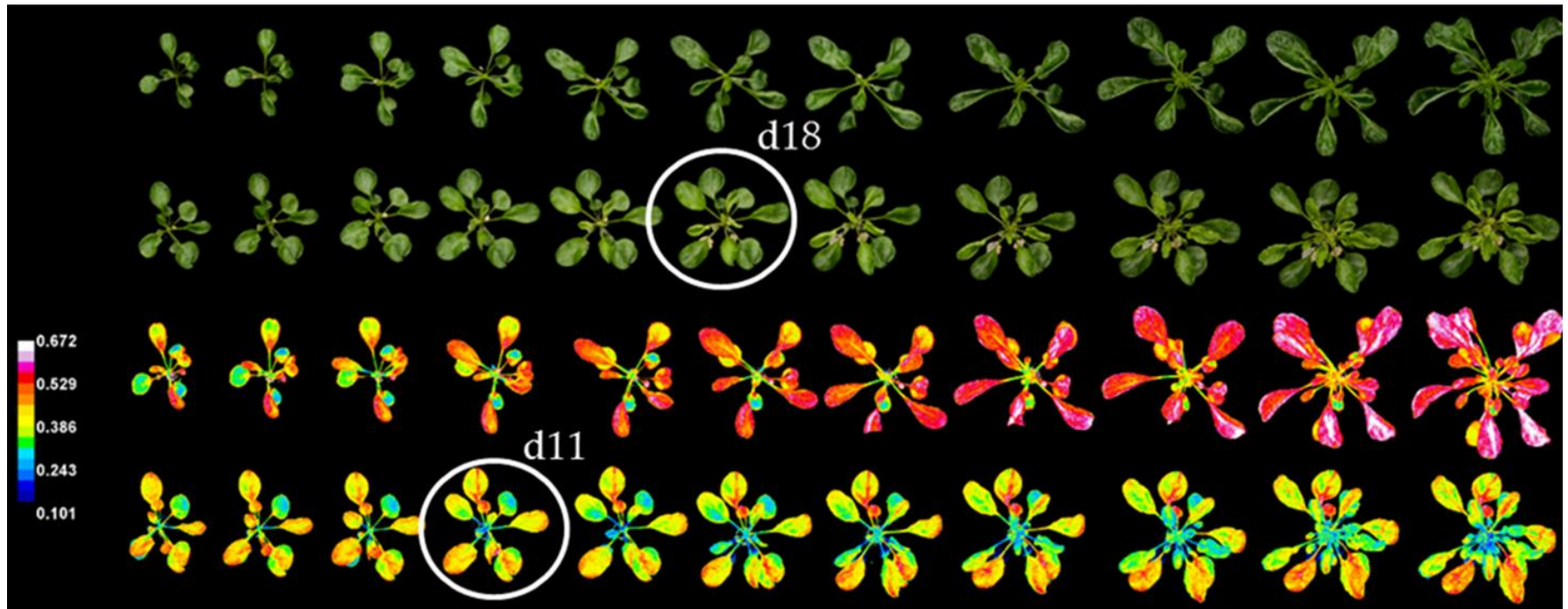
Fast sCMOS camera



Powerful LEDs, also in Deep UV



# Kadmiumaltistuksen vaikutus kevättaskuruohon kadmiumia kerryttävillä ja sitä välttävillä ekotyypeillä



Laaja seurantakoe, jossa stressioireita havainnoitiin useilla eri tekniikoilla:

Spektri-, lämpö- ja fluoresenssikuvaukset

Spektrikuvauksella havaittiin raskasmetallistressin oireet noin viikkoa ennen ihmissilmää tai tavanomaista kameraa

## Transcriptional effects of cadmium on iron homeostasis differ in calamine accessions of *Noccaea caerulea*

Pauliina Halimaa<sup>1,\*</sup>, Daniel Blande<sup>1</sup>, Erol Baltzi<sup>1,†</sup>, Mark G. M. Aarts<sup>2</sup>, Lars Granlund<sup>1</sup>, Markku Keinänen<sup>1</sup>, Sirpa O. Kärenlampi<sup>1</sup>, Anna D. Kozhevnikova<sup>3</sup>, Sirpa Peräniemi<sup>4</sup>, Henk Schat<sup>2,5</sup>, Ilya V. Seregin<sup>3</sup>, Marjo Tuomainen<sup>1</sup> and Arja I. Tervahauta<sup>1</sup>

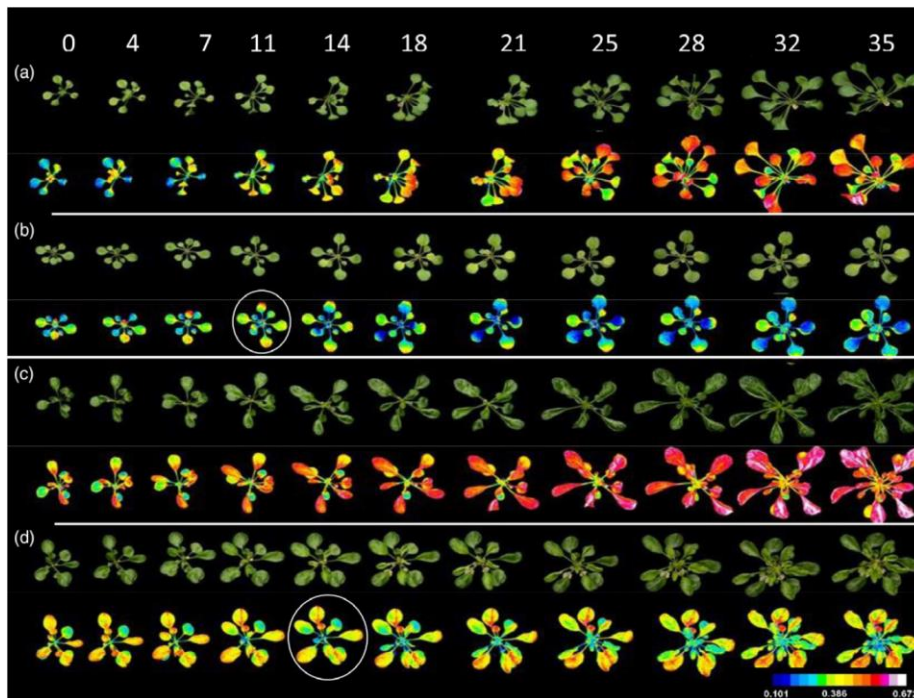
<sup>1</sup>Department of Environmental and Biological Sciences, University of Eastern Finland, P.O. Box 1627, 70210 Kuopio, Finland,

<sup>2</sup>Laboratory of Genetics, Wageningen University and Research, P.O. Box 16, 6700 AH Wageningen, The Netherlands,

<sup>3</sup>Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, ul. Botanicheskaya 35, Moscow 127276, Russia,

<sup>4</sup>School of Pharmacy, University of Eastern Finland, P.O. Box 1627, 70210 Kuopio, Finland, and

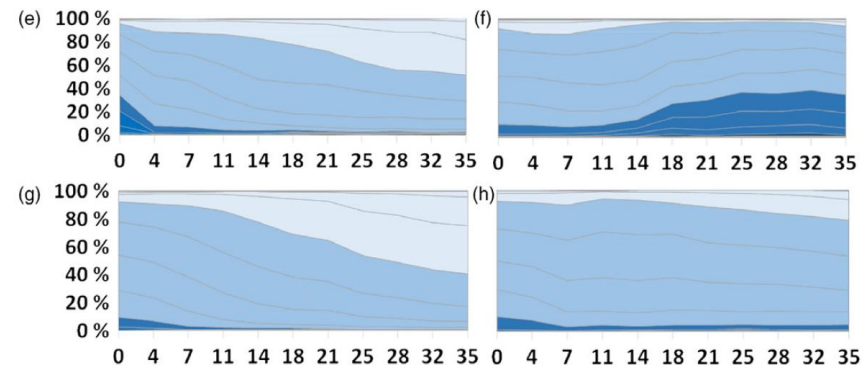
<sup>5</sup>Institute of Ecological Science, Vrije Universiteit Amsterdam, De Boelelaan 1085, 1081 HV, Amsterdam, The Netherlands



Spectral imaging of GA and LC plants during a 5-week exposure to Cadmium in hydroponics

GA and LC differ in their responses

Spectral imaging reveals stress symptoms ca. 1 week before human eye (bottom left)



Changes in relative pixel area of chlorophyll-related MD705 index divided into 4 groups ranging from severely stressed (dark blue) to healthy leaves (light blue)

e) GA control, f) GA treatment  
g) LA control, h) LA treatment



# Ahomansikan alkuperien ja kehitysvaiheiden spektrikuvantaminen

Yhteistyö Paula Elomaan ja Timo Hytösen kanssa  
Maataloustieteiden laitos, Helsingin yliopisto

NOR\_3

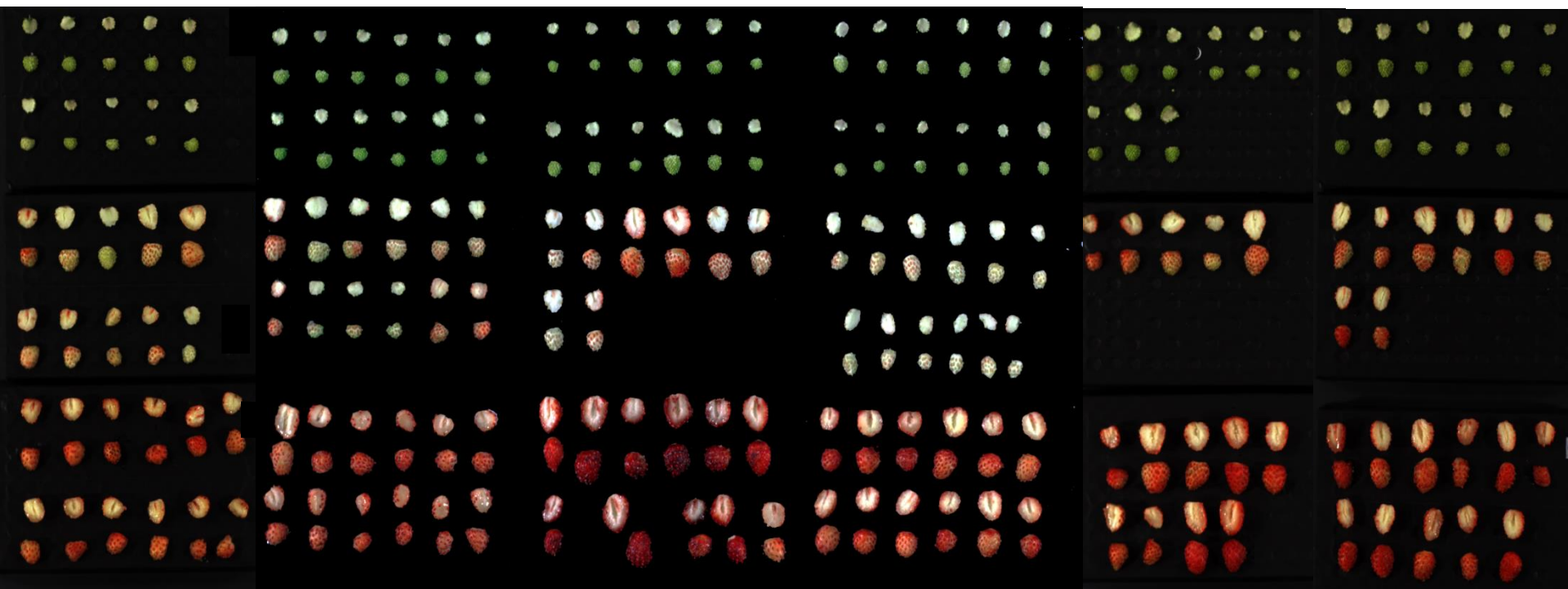
NOR\_138

IT\_15

Fin\_29

Es\_14

Ger\_4



# Ahomansikan marjan kehityksen ja eri genotyyppien (alkuperien) spektrikuvaus

220 ahomansikan (*Fragaria vesca* ) genotyyppiä eri puolilta Eurooppaa, kaikkien genomit sekvensoitu

Koko perimäaineksen laajuinen assosiaatiokartoitus

Tarkoituksena selvittää ne genomien alueet, jotka vaikuttavat marjojen ominaisuuksien vaihteluun

Muotoon ja väriin liittyvä optinen fenotyyppitys tavanomaisin kameroin (marjan ala kuvassa, ympärysmitta, eksentrisyys, värin arviointi, etc.) NaPPI:n Helsingin laitteistoilla

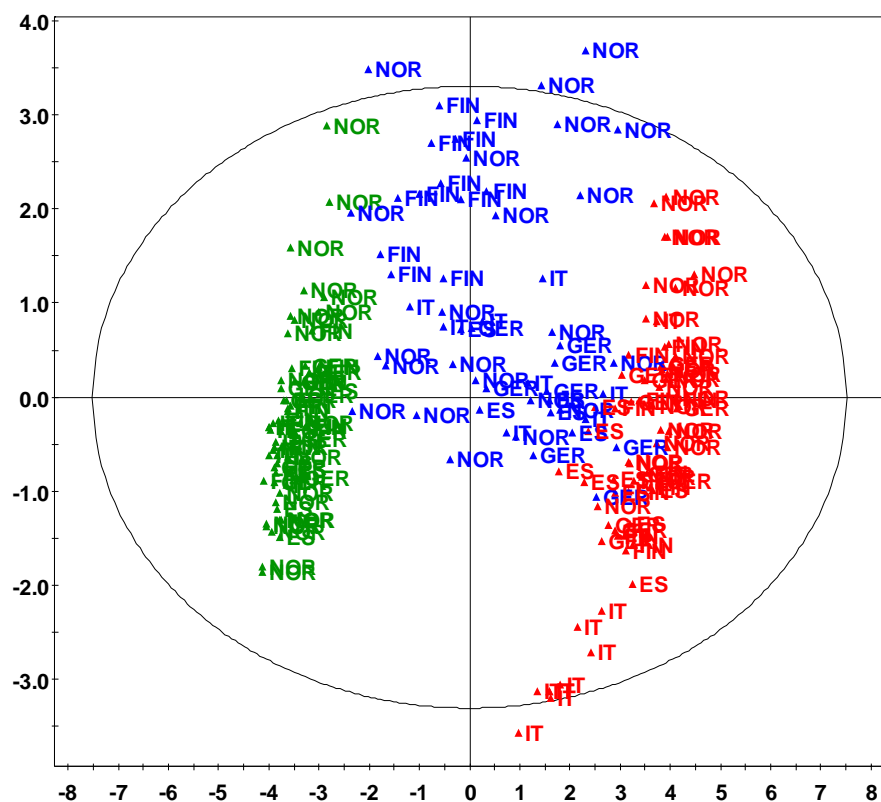
Hyperspektrikuvaus UEF:n Spectromics-laboratoriossa ja kannettavalla spektrikameralla Helsingissä





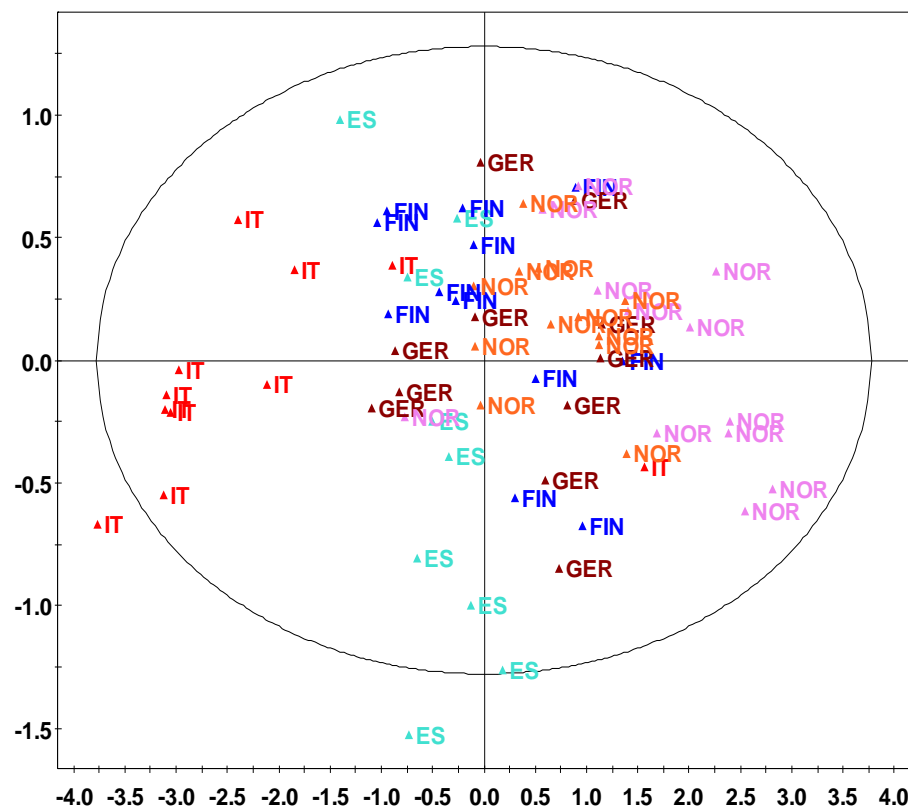


Kehitysvaiheet eroavat toisistaan  
Kypsissä marjoissa (punainen)  
Italian ja Norjan näytteet eroavat



PC1 80%, PC2 15%

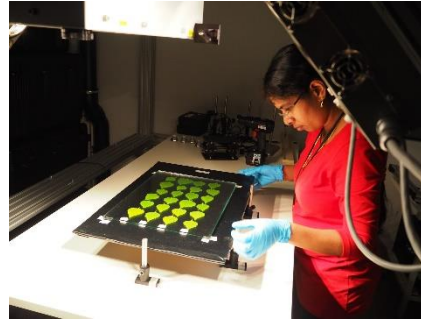
Eri alkuperät poikkeavat  
toisistaan kaikilla  
kehitystasteilla, parhaiten  
kypsillä marjoilla (alla)



PC1 84%, PC2 10%

# Koivun spektrikuvaus

Kuinka samanlaisia ovat yksittäisen puun lehdet?



- puun ylä-, keski- ja alaosa
- eri ilmansuuntiin kasvavat oksat
- lehtien sijainti oksassa

Lehdet eroavat toisistaan em. suhteissa erityisesti infrapunasäteilyn alueella

Voidaanko samalla paikalla kasvaneet koivualkuperät ja genotyypit tunnistaa heijastuspektrien perusteella?



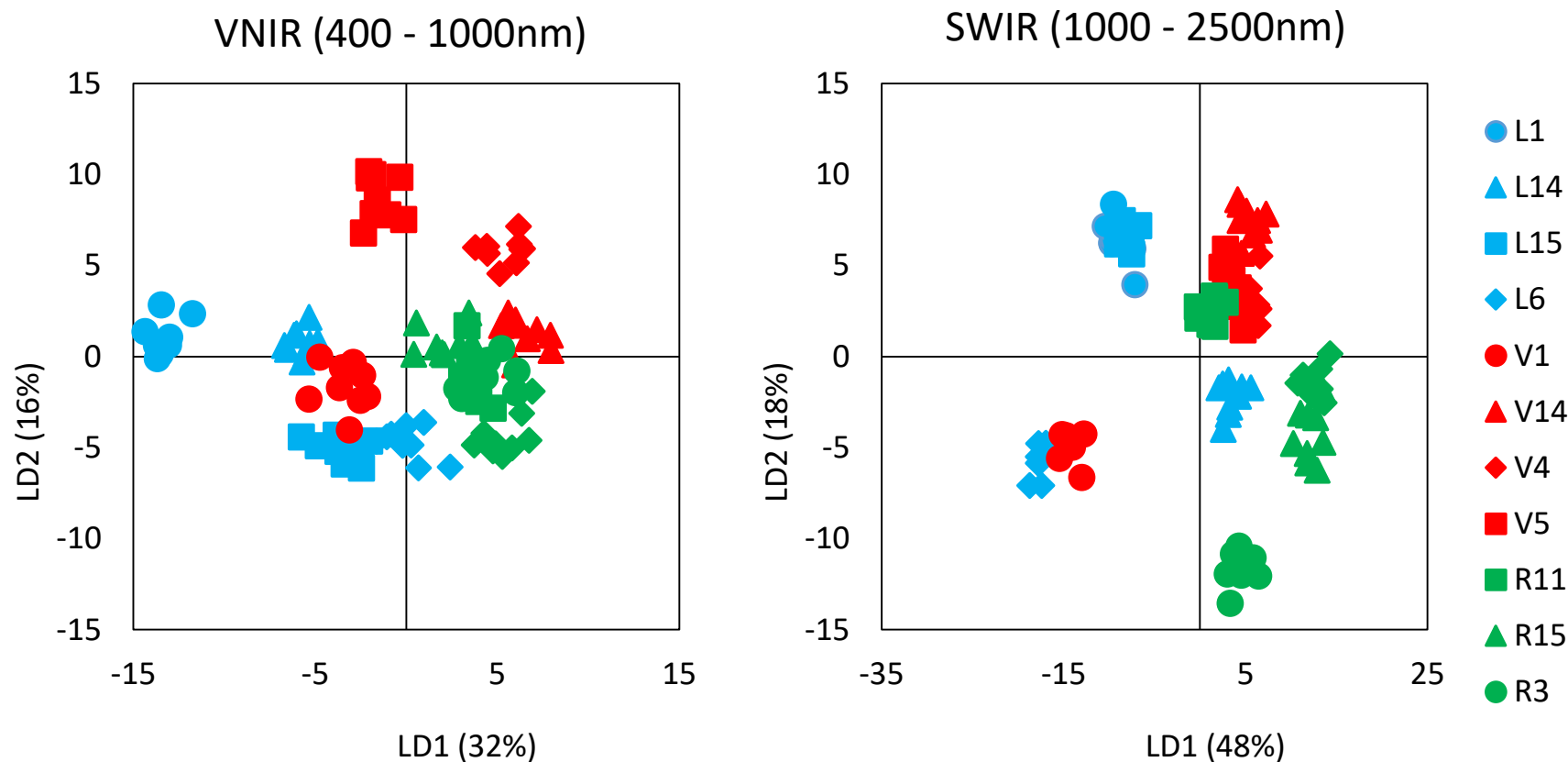


Spektrikuvattuja lehtiä (12 genotyyppiä, 2 lehteä kustakin)





# Eri osista Suomea peräisin olevat koivugenotyyppien lehtien heijastusspektrit eroavat toisistaan

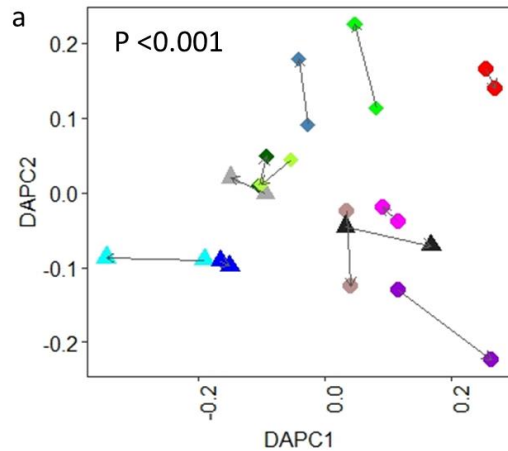


L = Loppi, V = Vehmersalmi, R = Rovaniemi

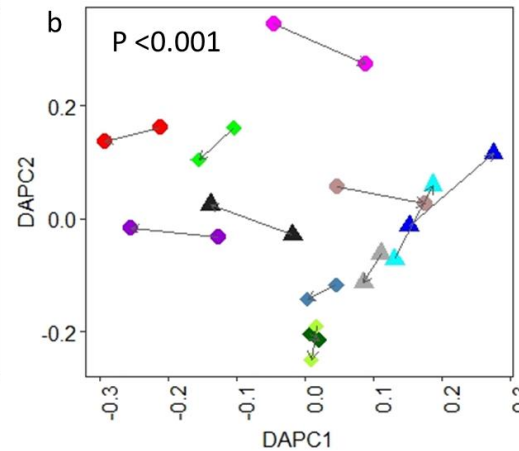
Pääkomponenttianalyysiin pohjautuva erotteluanalyysi (DAPC)

# Genotyyppien erottelu on toistettavaa

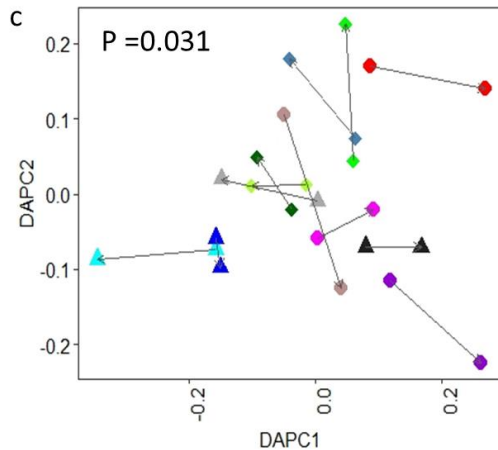
VNIR 2015  
ja 2016



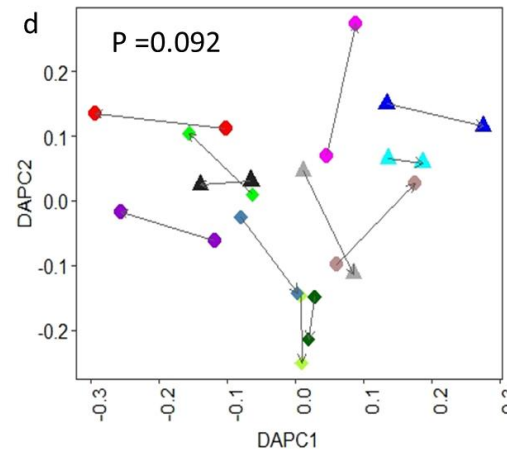
SWIR 2015  
ja 2016



Kemia 2013  
ja VNIR 2015



Kemia 2013  
ja SWIR 2015



- 60°\_L1
- 60°\_L14
- 60°\_L15
- 60°\_L6
- 62°\_V1
- 62°\_V14
- 62°\_V4
- 62°\_V5
- 66°\_R11
- 66°\_R15
- 66°\_R3
- 66°\_R8

Kemia- ja spektritietoon perustuvat  
erottelut vastaavat toisiaan

Procrustes-analyysi:  
Verrattavien aineistojen  
projektio rotaation jälkeen  
kunkin genotyypin keskiarvoin



# Eläviä kiviä (Lithops) maastoutuneena Etelä-Afrikassa





# Hyperspektrikuvaus tutkimusvälineenä (Lithops vs. tausta)





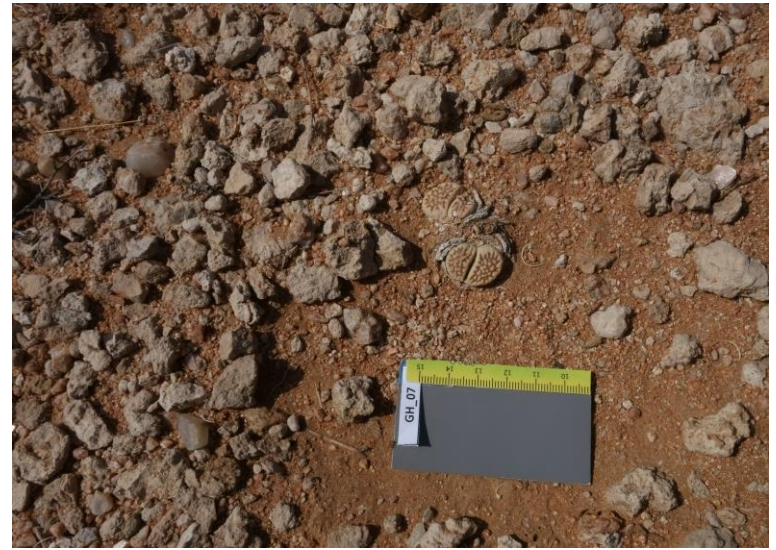
# THE **LITHOPS** PROJECT

ECOLOGY | EVOLUTION | GENETICS | PHYSIOLOGY



Tommi Nyman (UEF & NIIBIO, Ås, Norja)

Allan G. Ellis (University of Stellenbosch, South Africa)





## Imaging lichen water content with visible to mid-wave infrared (400–5500 nm) spectroscopy

Lars Granlund<sup>a,\*</sup>, Sarita Keski-Saari<sup>a</sup>, Timo Kumpula<sup>b</sup>, Elina Oksanen<sup>a</sup>, Markku Keinänen<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Environmental and Biological Sciences, University of Eastern Finland, 80101 Joensuu, Finland

<sup>b</sup> Department of Geographical and Historical Studies, University of Eastern Finland, 80101 Joensuu, Finland

Taustana maaperän eroosioon ja porojen laidunnukseen liittyvä kaukokartoitus

Kaukokartoitukseen vaikuttaa jäkälien vesipitoisuuden vaihtelu

Valkoporonjäkälä (*Cladonia arbuscula*)  
Harmaaporonjäkälä (*Cladonia rangiferina*)  
Palleroporonjäkälä (*Cladonia stellaris*)  
Okatorvijäkälä (*Cladonia uncialis*)  
Hirvenjäkälä (*Cetraria islandica*)  
Tinajäkälät (*Stereocaulon* spp.)  
Lapalumijäkälä (*Flavocetraria nivalis*)





# Jäkälien vesipitoisuuden spektrikuvaus

Seitsemän jäkälälajia

Vesipitoisuus  
lisääntyy vasemmalta  
oikealle

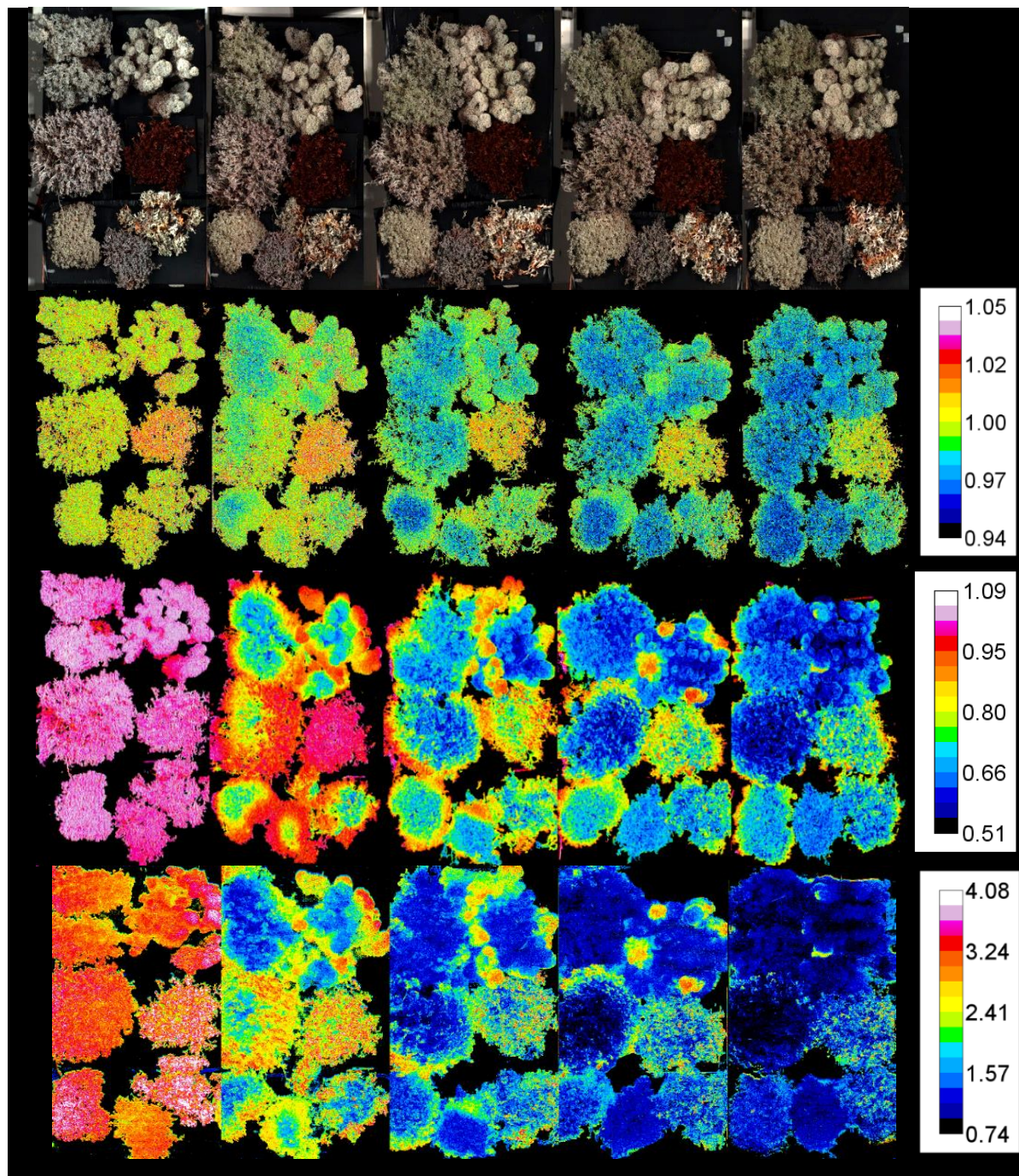
Kamerat ylhäältä  
lukien

RGB

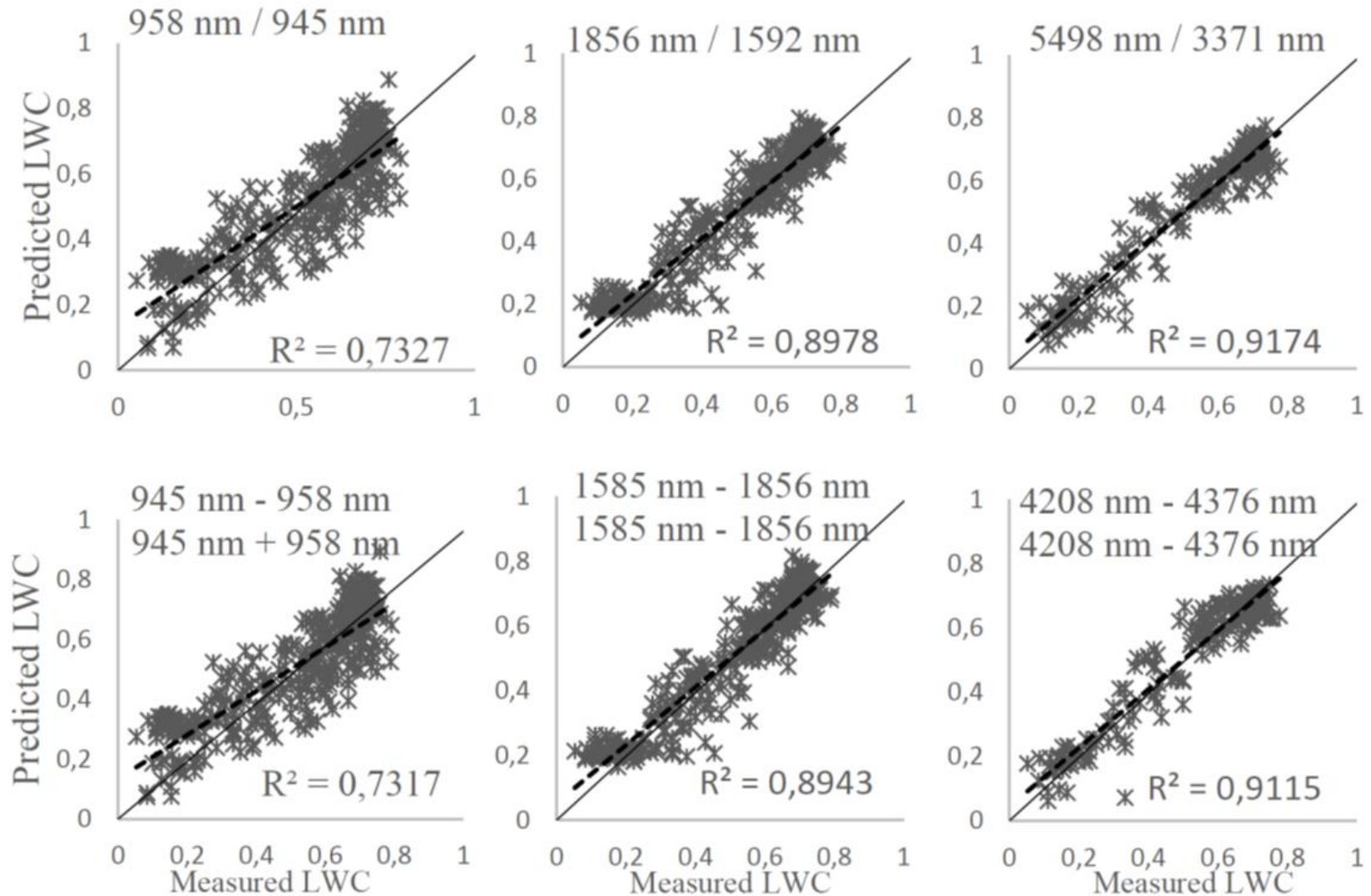
VNIR

SWIR

MWIR



Kaikille lajeille soveltuvat indeksit toimivat vesipitoisuuden arvioinnissa, mutta aallonpituusalueissa on eroja



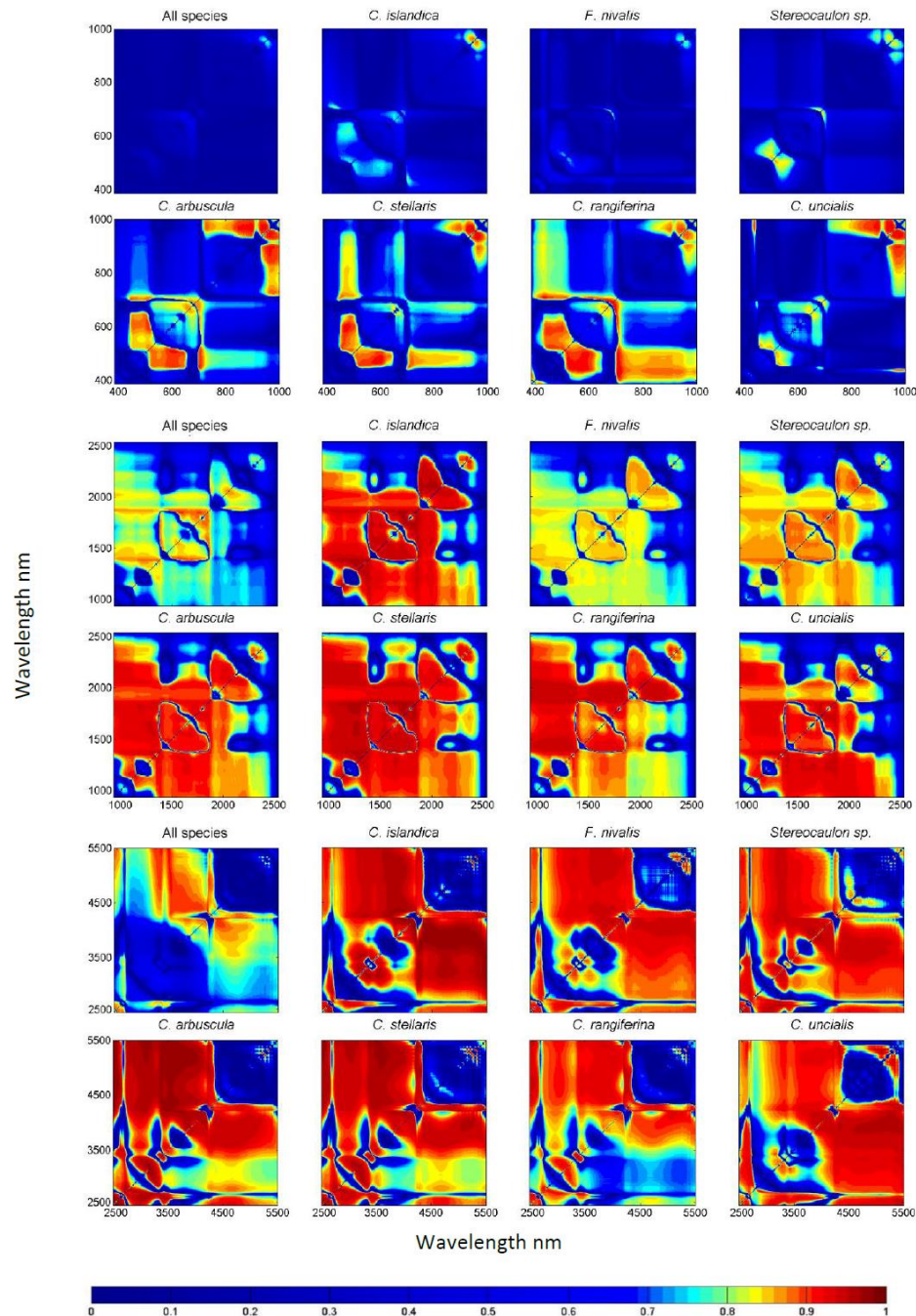


Jäkälien heijastusspektrit  
muuttuvat eri tavoin vesi-  
pitoisuuden vaihdellessa

Kuvassa kolmen eri kameran  
tulokset 8 kuvan paneeleina  
(Lajien keskiarvo + 7 lajia)

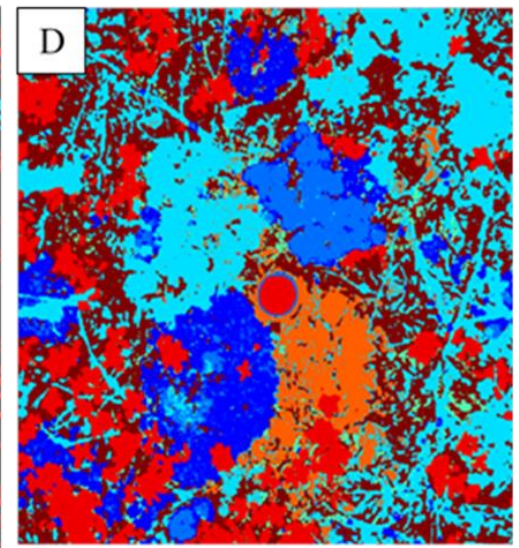
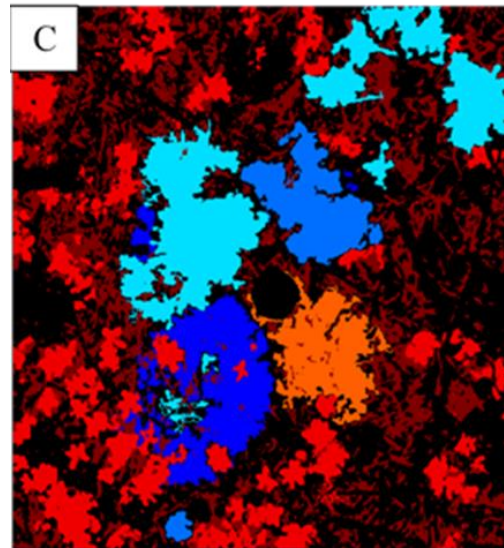
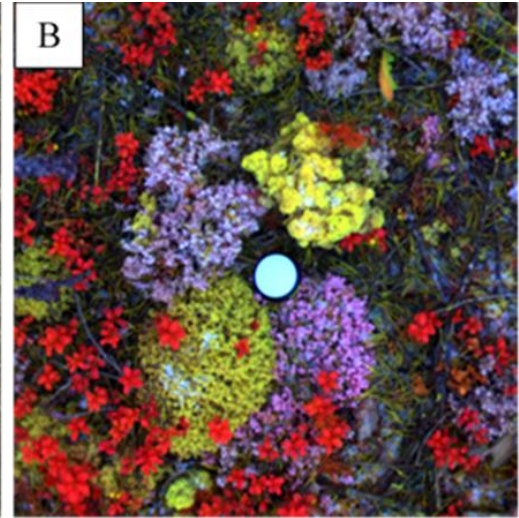
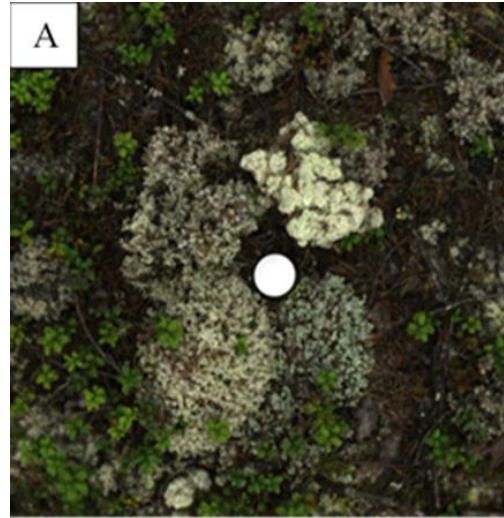
Värit ilmentävät  
aallonpituusparien suhteen  
korrelaatiota vesipitoisuuteen

Lajit eivät ole samanlaisia:  
Kaukokartoitus tuottaa  
luotettavinta tietoa jos kunkin  
lajin ominaisuudet tiedetään





# Jäkälälajien erottaminen ja peittävyys arviointi



Palleroporonjäkälä  
Valkoporonjäkälä  
Harmaaporonjäkälä  
Tinajäkälä

RGB-kuva (A), spektridatasta laskettu jäkälien eroja korostava kuva (B),  
pohjatotuus (C) ja mallin pohjalta tehty ennuste (D).



# Multidisciplinary assessment of NW European aapa mire ecosystems

Teemu Tahvanainen\*, Lucie Bland, Lars Granlund, Urban Gunnarsson, David Keith, Tiina Kolari,  
Timo Kumpula, Oleg Kuznetsov, Hannu Marttila, Nicholas Murray, Antti Sallinen, Seppo  
Tuominen

## Shiftmire – Remote sensing

Hydrological changes can launch rapid growth of *Sphagnum* mosses in aapa mires

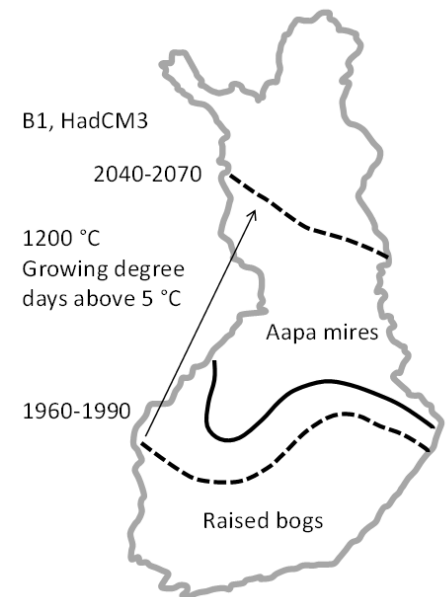
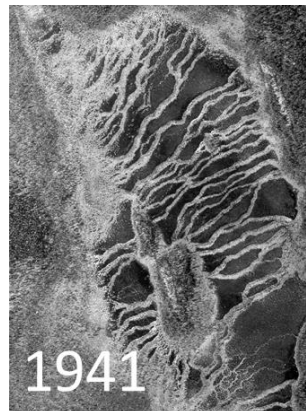
Fen to bog transitions

Aerial images (time series)

UAVs w/false-color sensors

Satellites

120 sites in NW europe





# Hyperspektrikuvauksen tavoite Shiftmire-hankkeessa

Perinteinen turvenäytteen analysointi on hidasta ja työteliästä ja edellyttää manuaalista näytteen käsittelyä osanäytteiksi

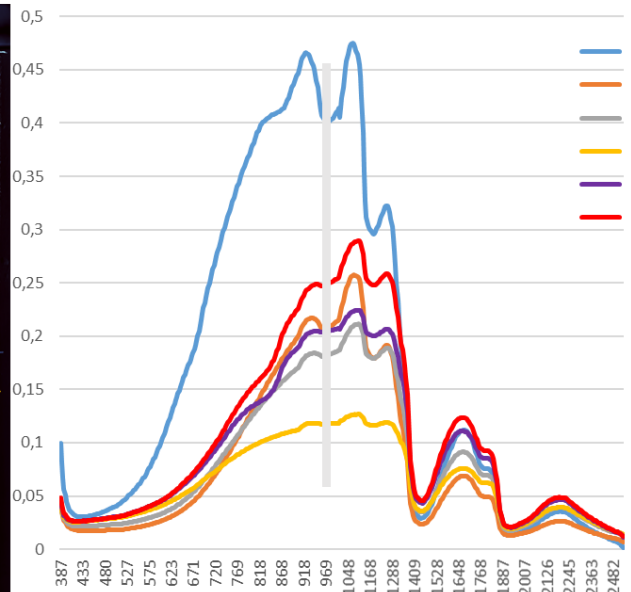
Osa menetelmistä on subjektiivisia, kokeneen tutkijan näkemykseen perustuvia (mm. maatuneisuusaste)

Kemiallinen analysointi laboratorimenetelmin



Tavoitteena spektrikuvaukseen perustuva ennustava malli näytteiden keskeisistä piirteistä

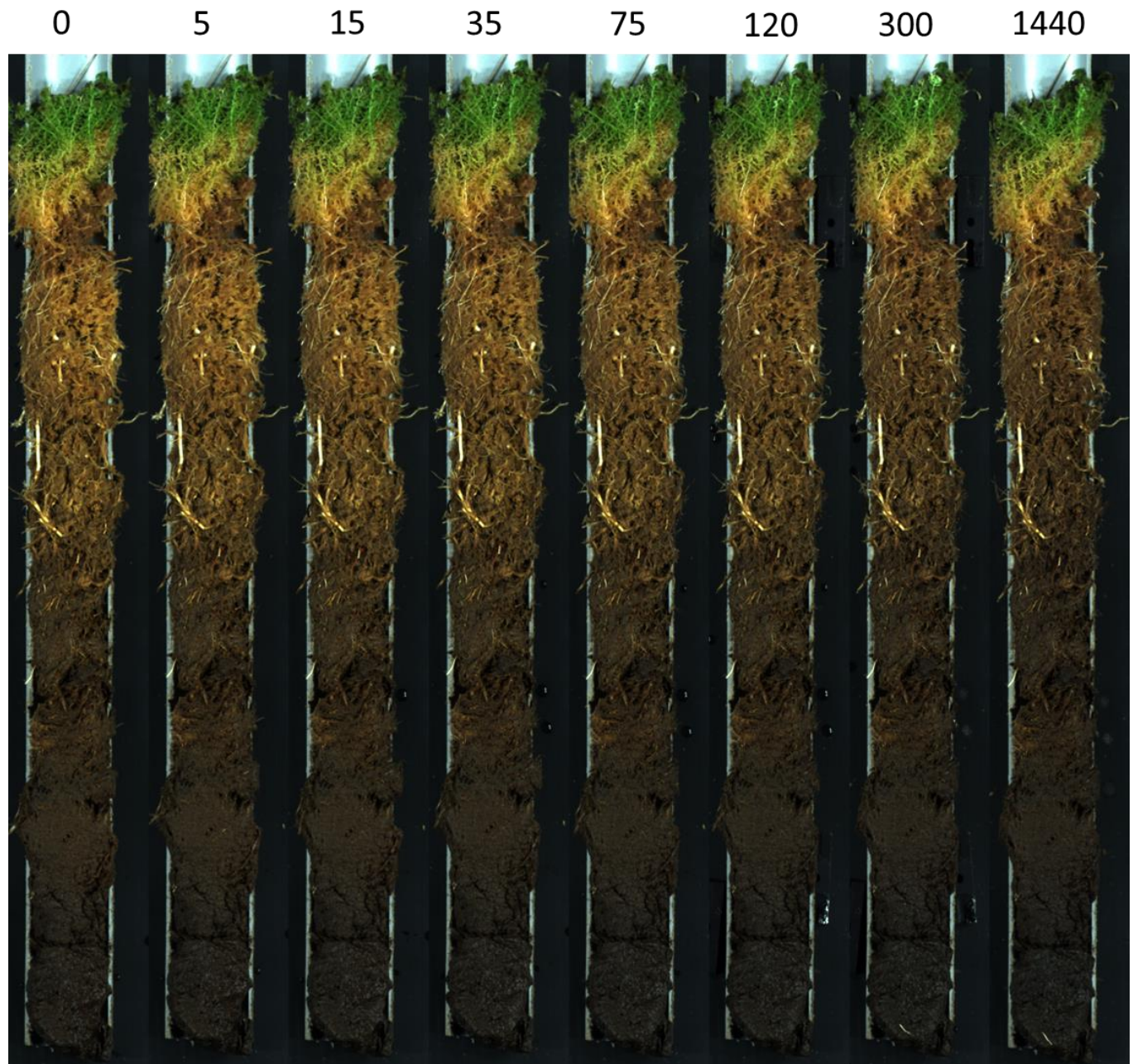
Luokittelu tukivektorkoneella (Support Vector Machine)



# Menetelmän kehitystä:

Aikasarja  
turvenäytteen  
hapettumisen  
ja muiden  
muutosten  
seurantaan  
(minuutteja)

Kuva  
ihmissilmän  
näkemänä



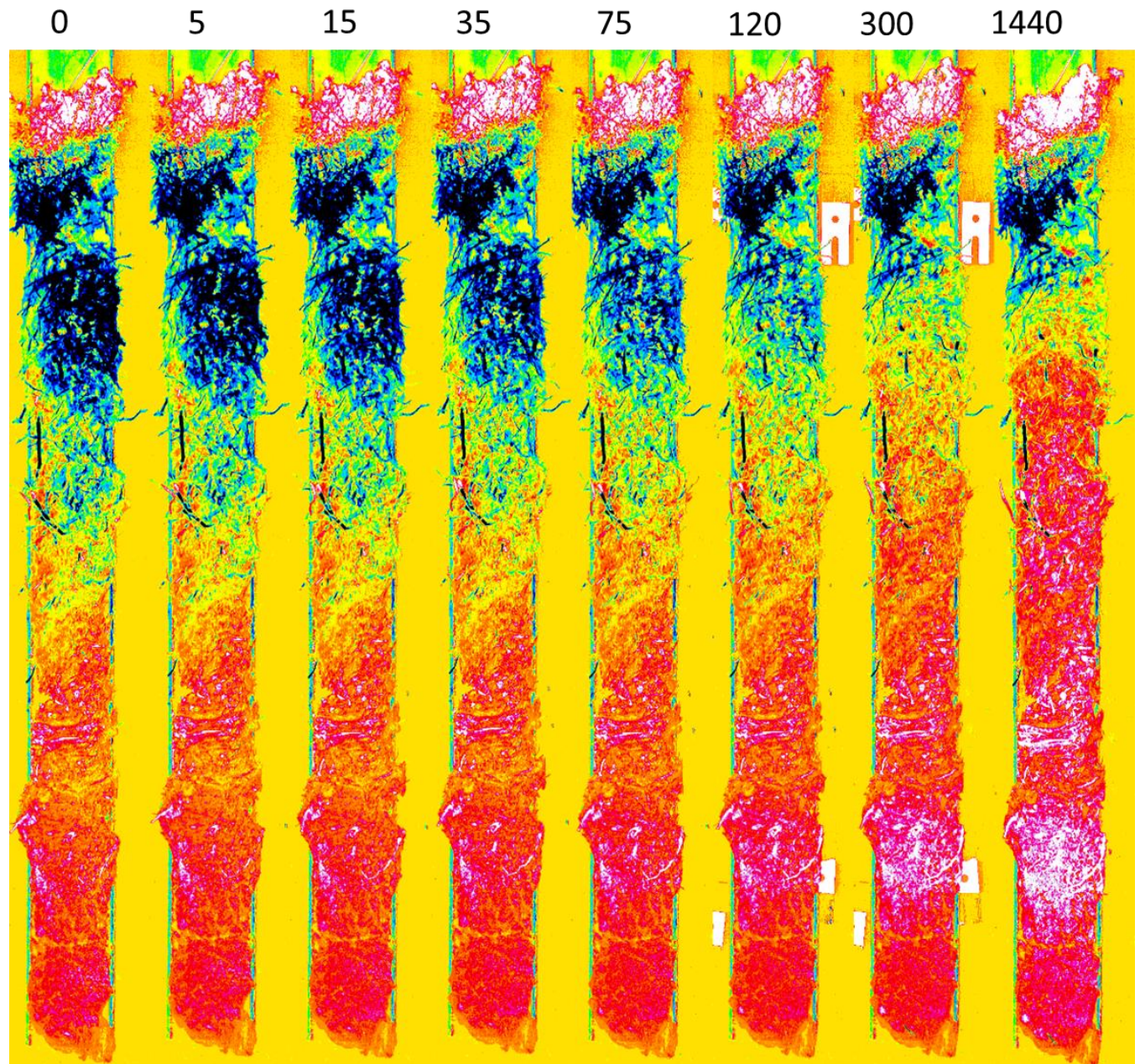


# Menetelmän kehitystä:

Aikasarja  
turvenäytteen  
hapettumisen ja  
muiden  
muutosten  
seurantaan  
(minuutteja)

Väärävärikuva  
spektritiedon  
pohjalta

Ensimmäinen  
pääkomponentti:  
aineiston  
päävaihtelu



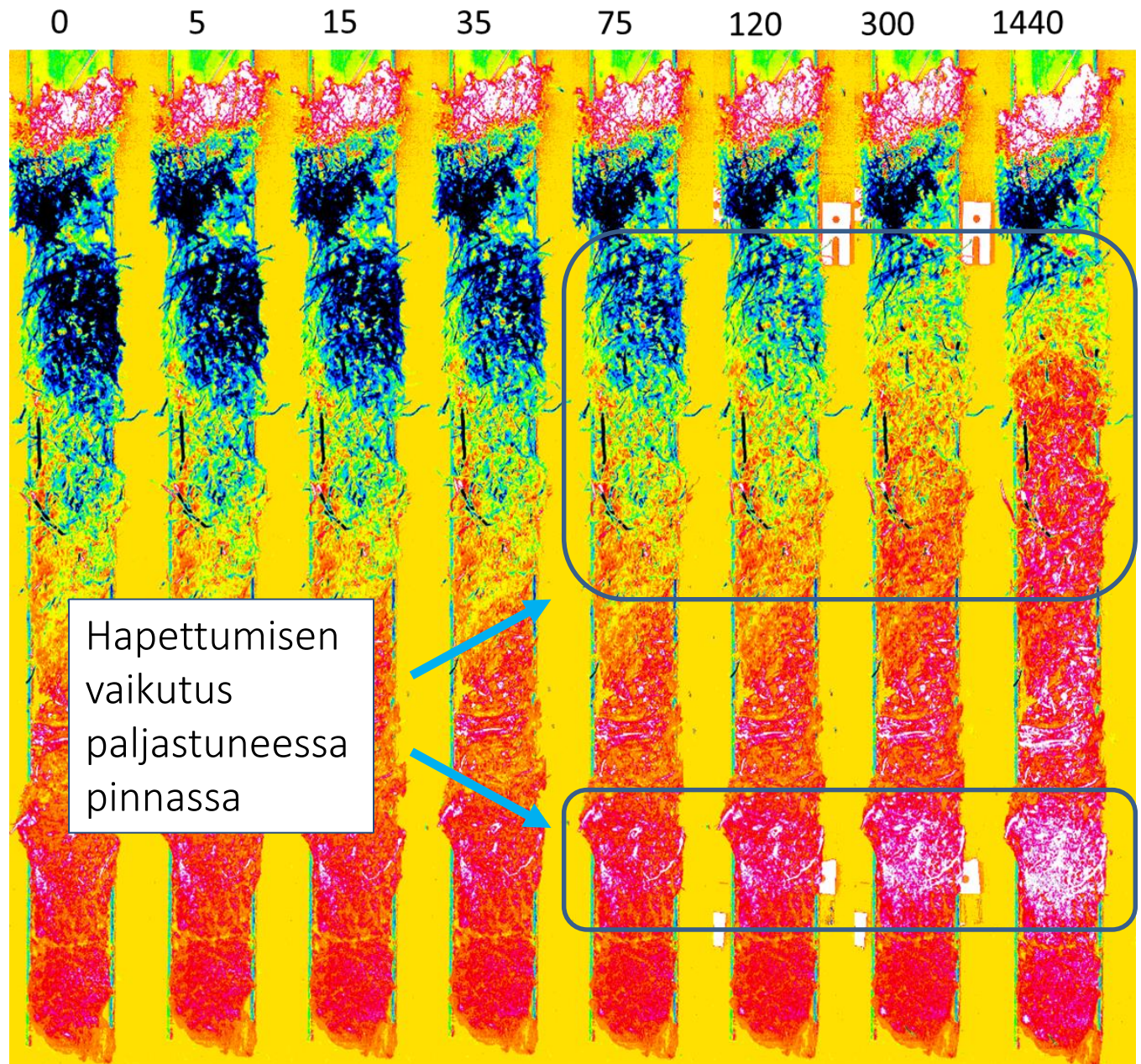


# Menetelmän kehitystä:

Aikasarja  
turvenäytteen  
hapettumisen ja  
muiden  
muutosten  
seurantaan  
(minuutteja)

Väärävärikuva  
spektritiedon  
pohjalta

Ensimmäinen  
pääkomponentti:  
aineiston  
päävaihtelu



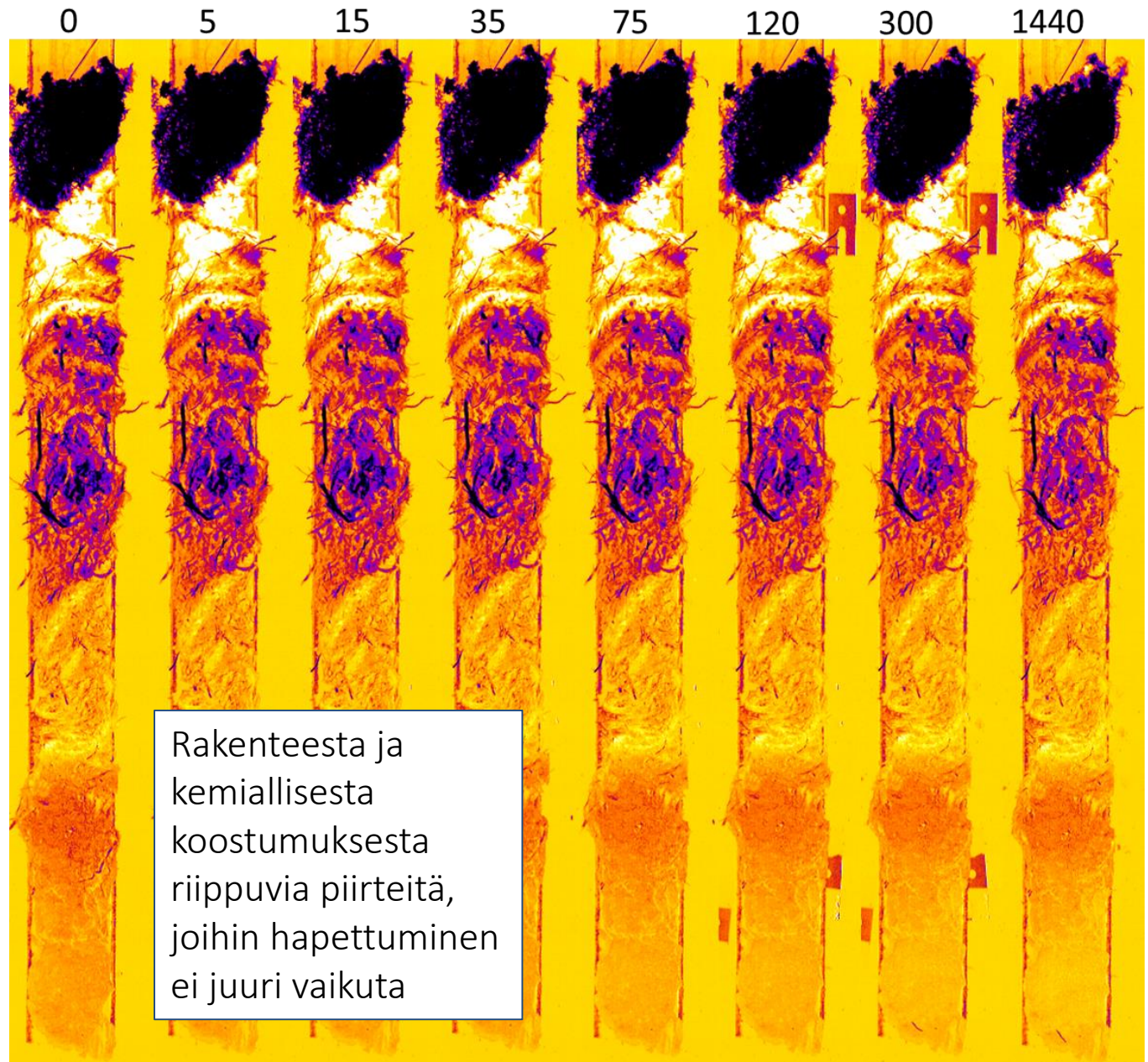


# Menetelmän kehitystä:

Aikasarja  
turvenäytteen  
hapettumisen ja  
muiden  
muutosten  
seurantaan  
(minuutteja)

Väärävärikuva  
spektritiedon  
pohjalta

**Toinen  
pääkomponentti:  
toiseksi suurin  
vaihtelusuunta**

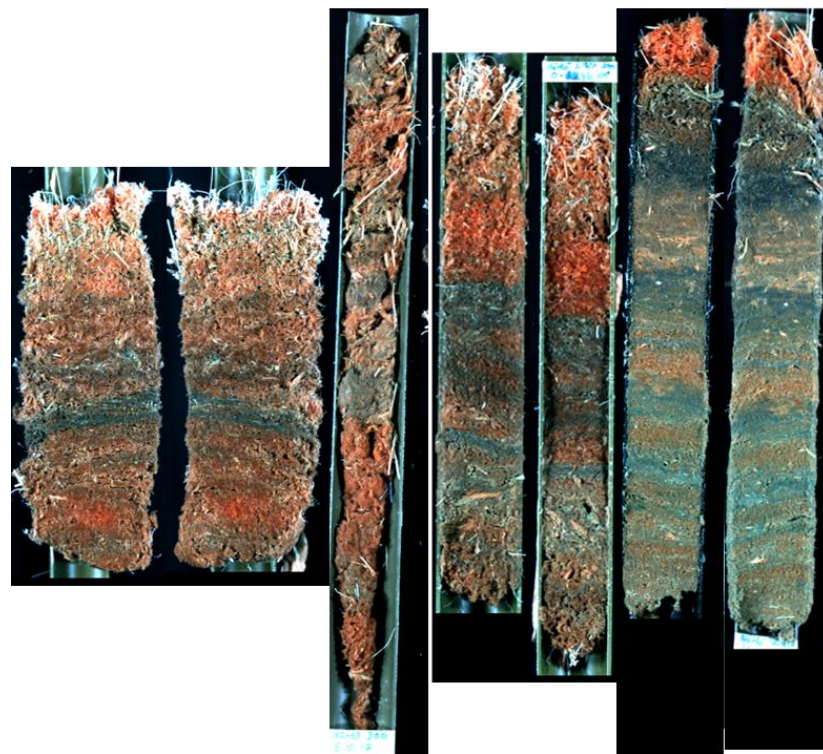


# Testinäytteitä Härkösuolta

Tavanomainen valokuva (RGB)



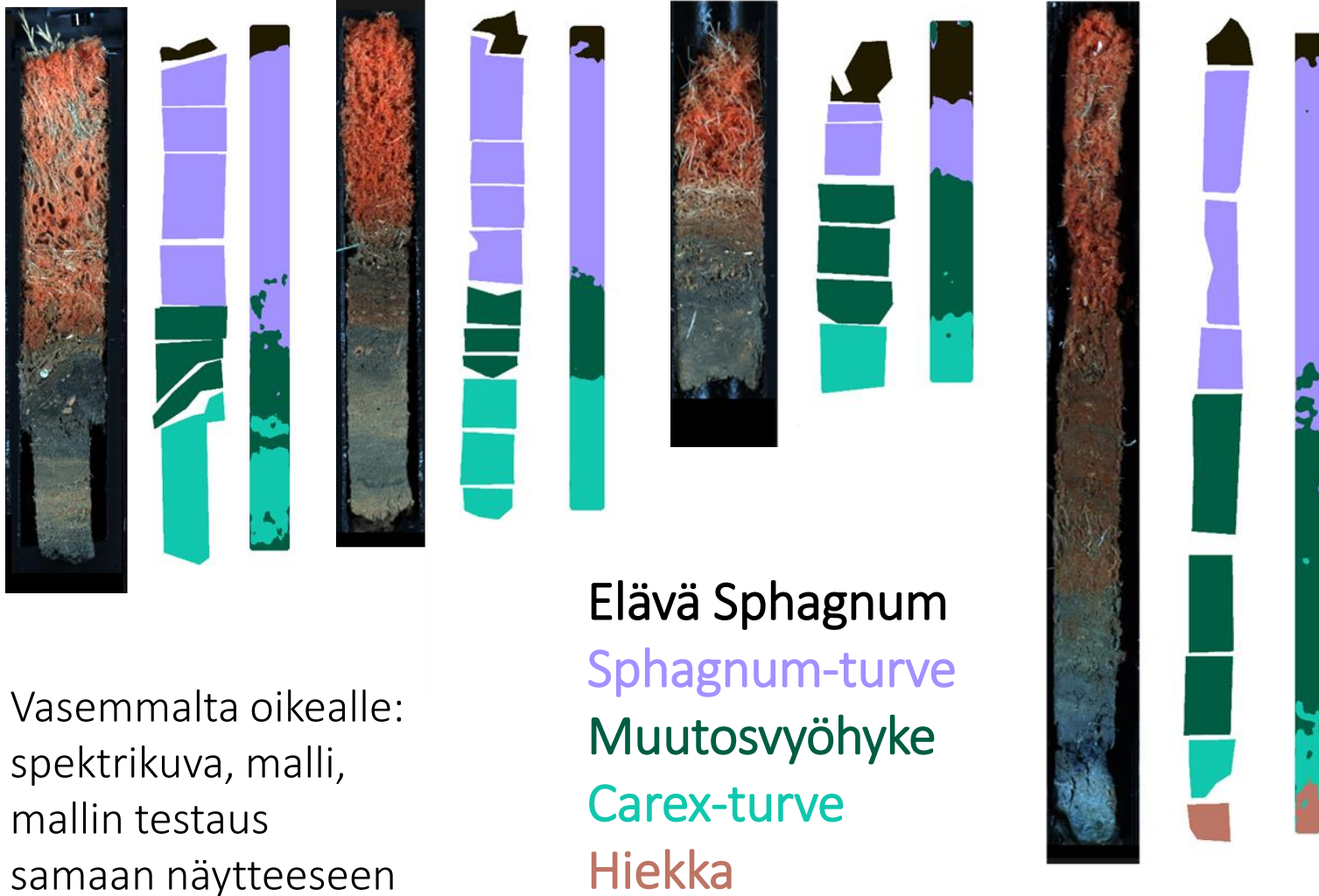
Väärävärikuva VNIR-spektrikameralla



Kairanäytteissä ylimpänä elävää rahkasammalta, alempana kerroksittain lähinnä osittain maatunutta rahka- ja saraturvetta



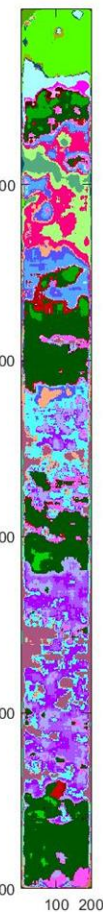
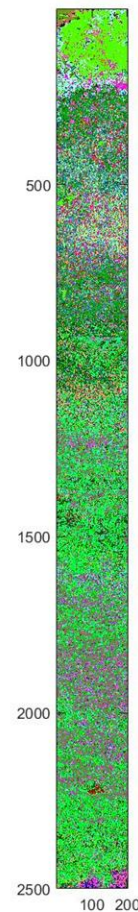
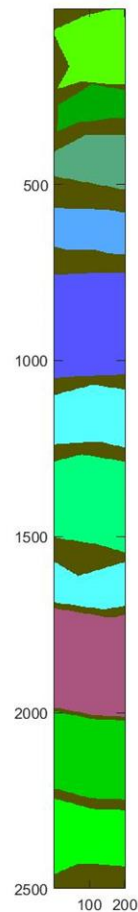
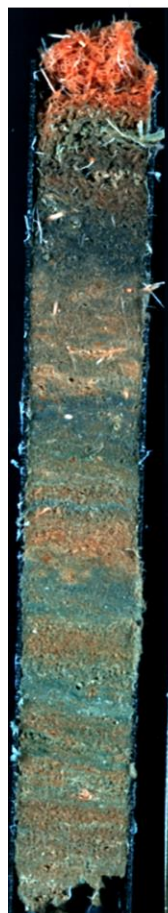
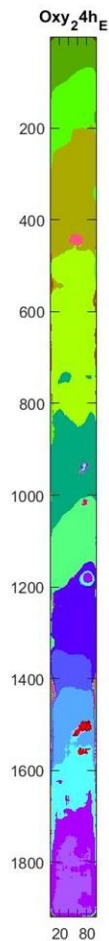
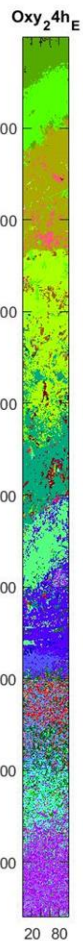
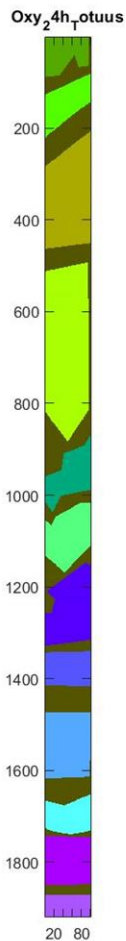
# Laskennallisen mallin testaus perinteisesti arvioituihin näytteisiin (karkea luokittelu)



# Laskennallisen mallin testaus malliin kuulumattomilla näytteillä (hienojakoinen luokittelu)

Näytteet malliin kuulumattomilta, eri tyyppisiltä soilta, visualisointi pikselipohjaisesti ja mediaanisuotimella paikallisten ääriarvojen poistamiseksi

Malli toimii hyvin tässä



Malli ei toimi tällä näytteellä

Suo hyvin toisen tyyppinen

Kuvat ja tiedot:  
Lars Granlund

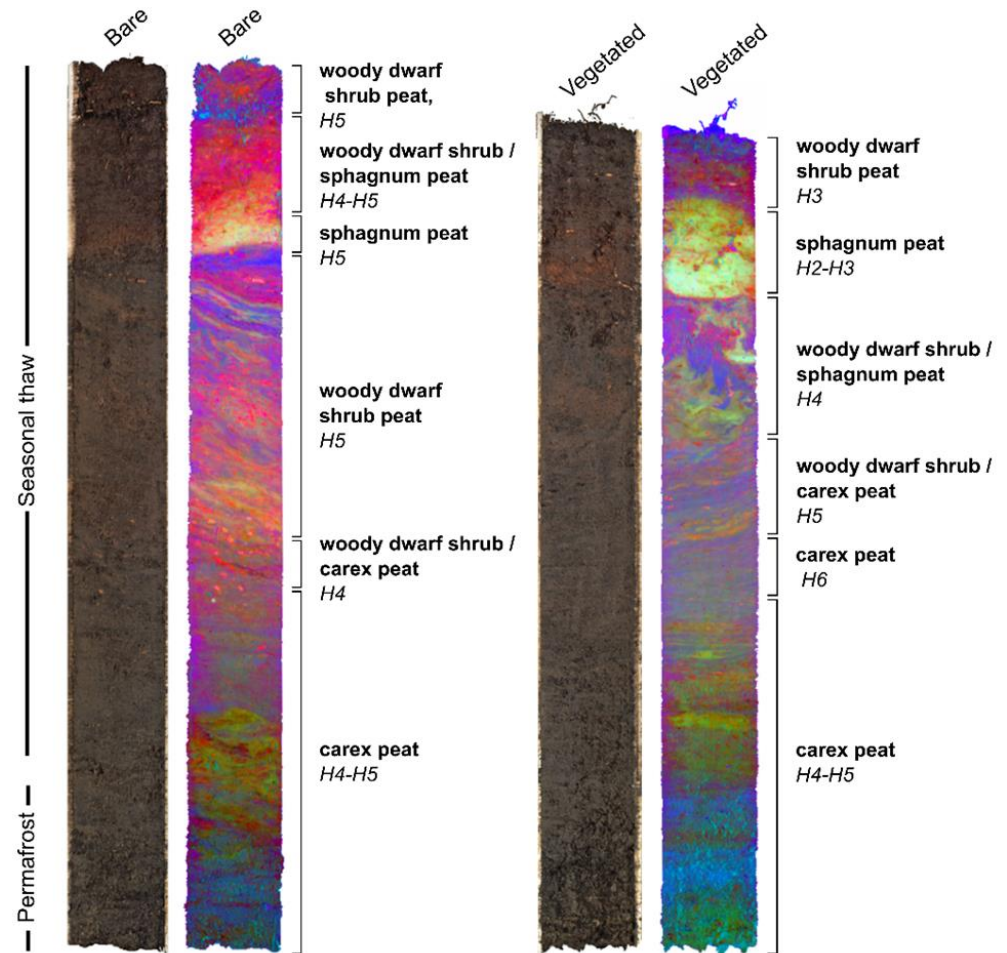


# Turpeen spektrikuvausmenetelmän soveltaminen ympäristön muutoksen tutkimukseen

Tavoitteena ensi vaiheessa testata menetelmän yleistettävyyys pohjoisen havumetsävyöhykkeen soille

Seuraavaksi spektripiirteiden yhdistäminen näytteiden kemialliseen koostumukseen ja maatuneisuuteen

Tavoitteena myös soiden hiilensidonnän arviointi ja toisaalta seuraukset kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin ja metaanin tuottamiseen



# Metsäluonnon monimuotoisuuden suojelu ja hiilen sitominen muuttuvassa ympäristössä

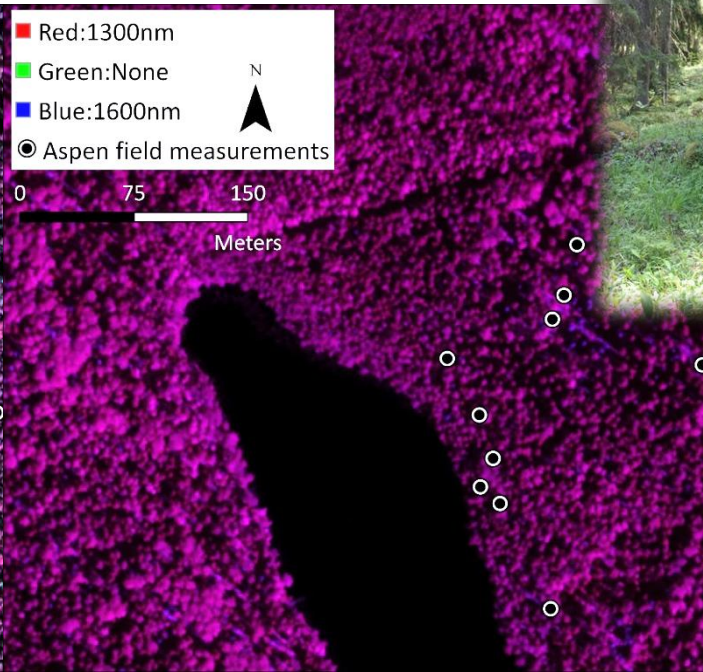
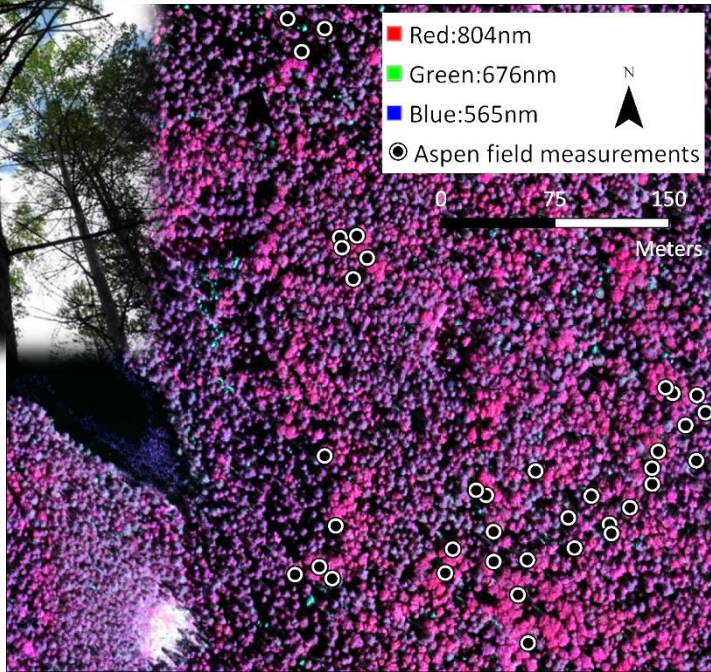
IBC-Carbon WP4 Kaukokartoitusmenetelmien kehittäminen

Timo Kumpula UEF, Petteri Vihervaara SYKE

Yhteistyössä mukana Sarita Keski-Saari ja MK

VNIR camera from aircraft  
Spectral range 400 – 1000 nm  
Bandwidth 3.26 nm  
Pixel resolution 0.5 m

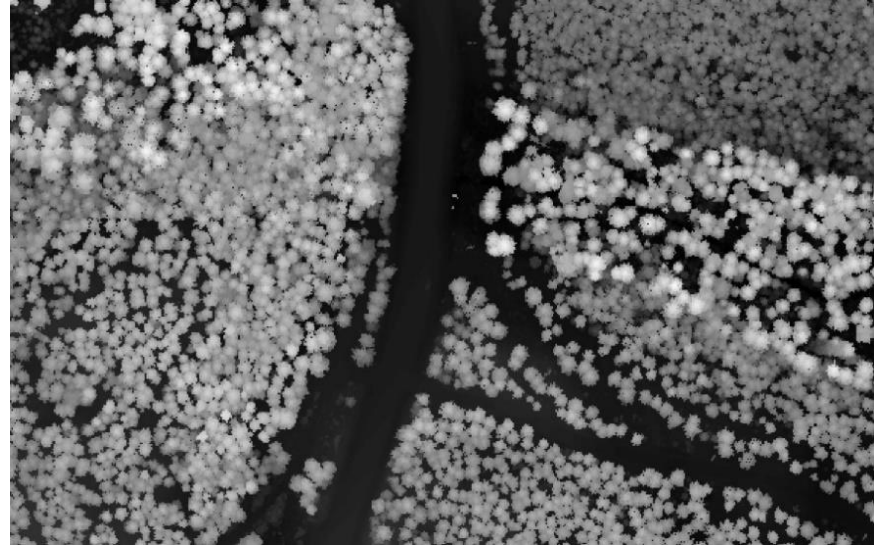
SWIR camera from aircraft  
Spectral range 1000 – 2500 nm  
Bandwidth 5.45 nm  
Pixel resolution 1 m





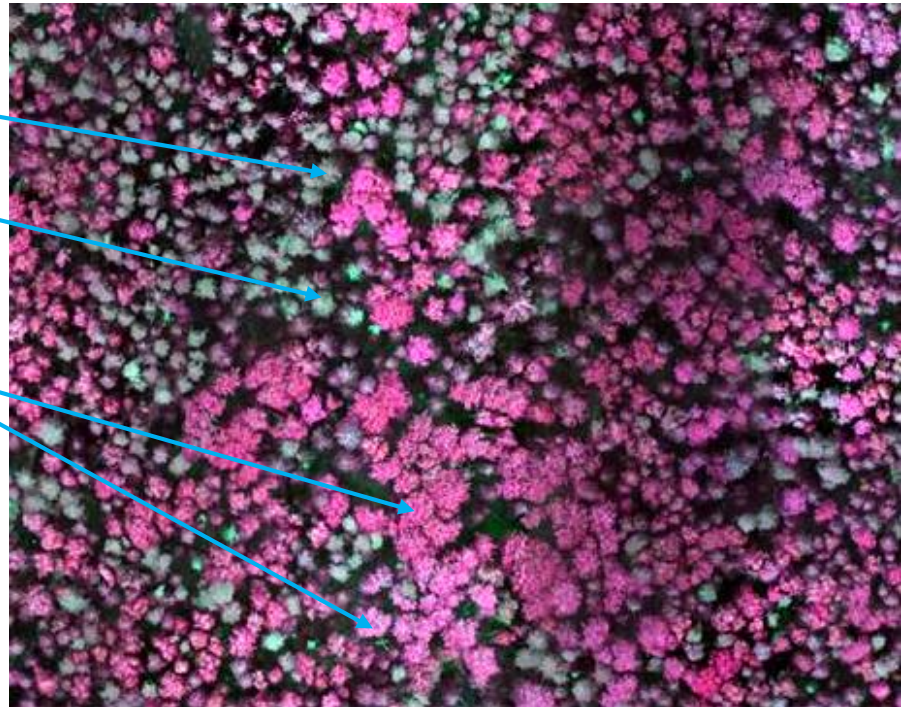


Terrestrial laser scanning and  
field measurements



Airborne laser scanning (8 points m<sup>-2</sup>)

Kuusi  
Mänty  
Koivu  
Haapa



Drone flights at Evo  
Flying height 140 - 180 m  
Fixed wing Ebee, Phantom 3 Pro  
Parrot SeRGB  
Multispectral 4 band data







# Thank you

This is groupwork:

Elina Oksanen  
Laure Fauch  
Sarita Keski-Saari  
Maya Deepak  
Lars Granlund  
Antti Tenkanen

Collaborators, e.g.,  
Timo Kumpula, UEF,  
Teemu Tahvanainen, UEF

Actively looking for  
collaboration



Juho and Lempi  
Pitkänen Fund







# Maaperänäytteiden spektrikuvausanalyysi ja luokittelu

Näytteet  
analysoidaan  
tavallisesti FTIR-  
spektroskopiolla

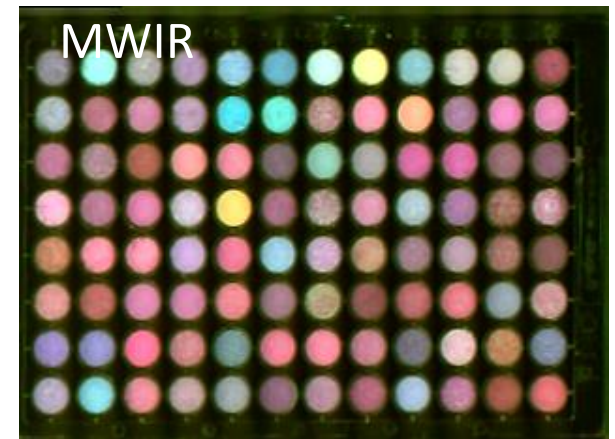
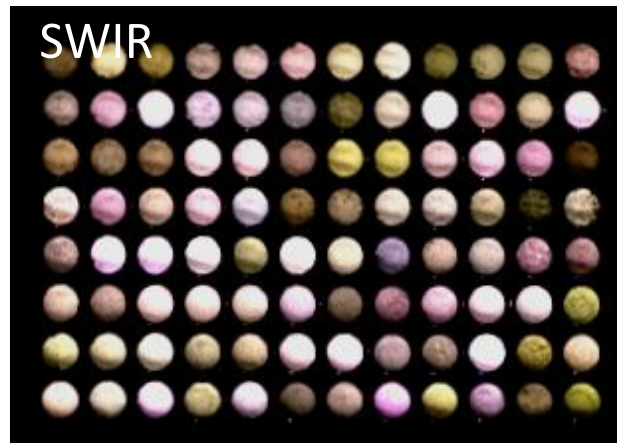
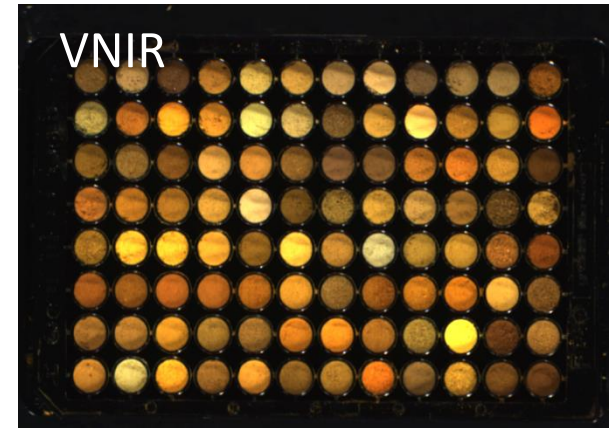
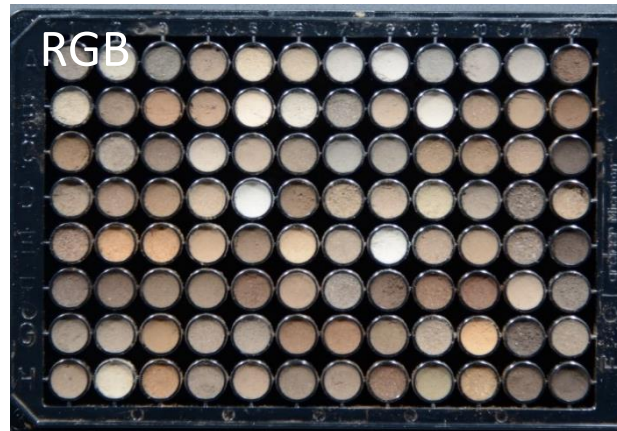
Hyvin hidas

Edellyttää  
näytteen  
käsittelyä

Tulkinta  
aikaavievää

Yhteistyökumppanit

Tomas Hajek (Institute of Experimental Botany, Academy of Sciences, Czech Republic), Petra Strakova (University of Helsinki), Teemu Tahvanainen (UEF)



# FOTONIIKASTA VALOA SUOMEN HYVINVOINTIIN

Selvitys alan vaikuttavuudesta ja kasvunäkymistä





# Autofluoresenssiin perustuva spektrikuvantaminen

Autofluoresenssiin perustuvalla spektrikuvauksella voidaan visualisoida luun rakennepiirteet yhtä hyvin tai paremmin kuin yleisesti käytetyllä MG-värjäyksellä

Research Article

Vol. 10, No. 5 | 1 May 2019 | BIOMEDICAL OPTICS EXPRESS 2367

**Biomedical Optics** EXPRESS

## Narrowband-autofluorescence imaging for bone analysis

**LAURE FAUCH,<sup>1,6,7</sup> ANNI PALANDER,<sup>2,6,8</sup> HANNAH DEKKER,<sup>3</sup>  
ENGELBERT A. J. M. SCHULTEN,<sup>3</sup> ARTO KOISTINEN,<sup>1</sup> ARJA  
KULLAA,<sup>1,2,4</sup> AND MARKKU KEINÄNEN<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>*SIB Labs, University of Eastern Finland, P.O. Box 1627, 70211 Kuopio, Finland*

<sup>2</sup>*Institute of Dentistry, University of Eastern Finland, P.O. Box 1627, 70211 Kuopio, Finland*

<sup>3</sup>*Department of Oral and Maxillofacial Surgery/Oral Pathology, Vrije Universiteit VU University Medical Center/Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA), P.O. Box 7057, Amsterdam, The Netherlands*

<sup>4</sup>*Research Group of Oral Health Sciences, Faculty of Medicine, P.O. Box 8000, 90014 Oulu, Finland*

<sup>5</sup>*Department of Environmental and Biological Sciences, University of Eastern Finland, P.O. Box 111, 80100 Joensuu, Finland*

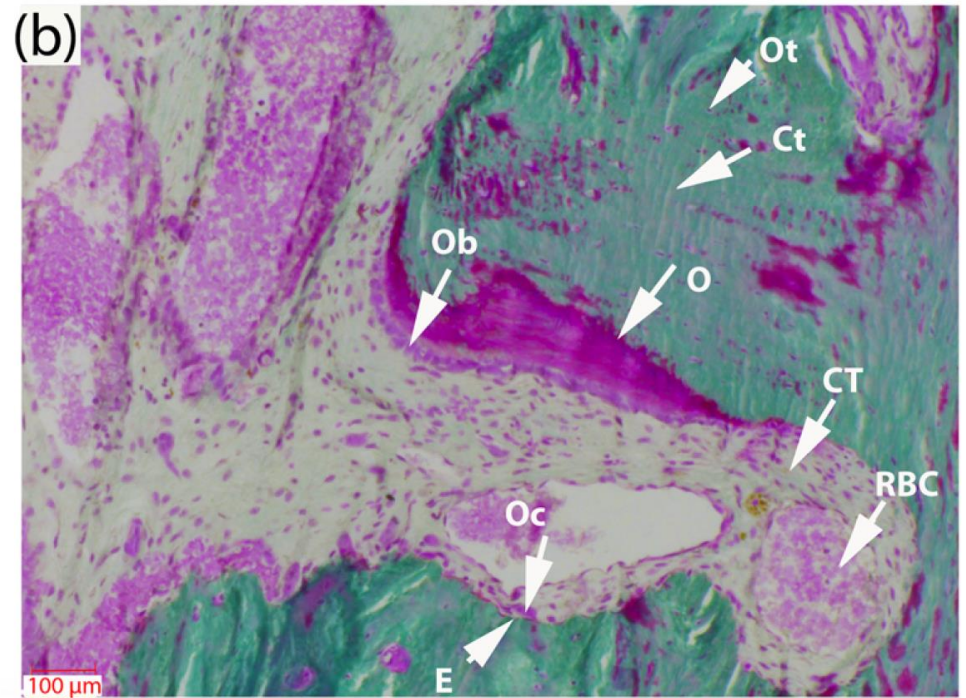
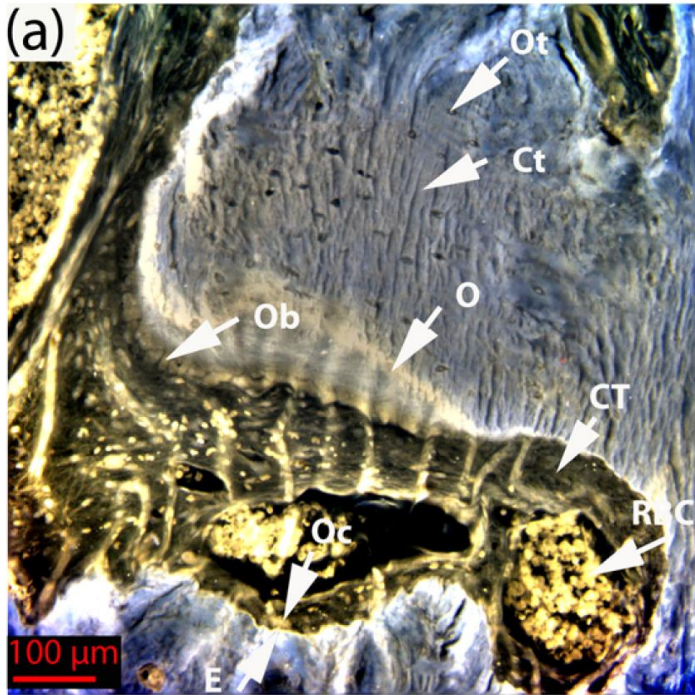


Fig. 6. Autofluorescence image of a native bone in false color in (a) and its RGB image, after staining, represented in true color in (b). Main-bone features (osteoblasts Ob, osteoid O, osteocytes Ot, cortex Ct, connective tissues CT, eroded surface E, osteoclasts Oc and erythrocytes RBC) are indication by arrows



**Table 1. Observed features common to images obtained with both imaging methods**

<b>Visualized features</b>	<b>Autofluorescence color image for main features distinction</b>	<b>MG-Stained bone image</b>	<b>B&amp;W Img. <math>\lambda_{exc} / \lambda_{emc}</math> (nm)/(nm)</b>	<b>Optimum RGB image <math>\lambda_{emc}</math> (nm)</b>
Mineralized Cortex (Ct)	++ steel blue	++ ocean green	340 / 390	560;500;390
Cortical lamellae	++ light,dark steel blue	- ocean green	340 / 390	620;540;420
Active bone apposition (osteoid)	++ sand color	+ purple	340 / 580	560;500;390
Eroded surface (E)	++ narrow sand color	+ narrow purple	340 / 580	600;560;390
Loose connective tissue (CT)	+ black chocolate color	+ medium grey	340 / 390	560;500;390
Adipose tissue in bone marrow	++ brown	+ white	340 / 434	520;475;390
Endosteum (Es)	+ pale sand color	+ medium purple	340 / 520	600;560;390
Erythrocytes (RBC)	++ canary yellow	+ pearly purple	365 / 540	560;500;390
Osteoblasts (Ob)	+ camel color	+ purpureus	340 / 520	620;520;390
Osteoclasts (Oc)	- camel color cells	+ purpureus	340 / 560	620;560;390
Osteocytes (Ot) in lacunae	+ olive cells	- Royal purple	340 / 520	620;434;420
Sample preparation artefacts (folded tissues,cracks)	++ white, black	++ green, white	any	any

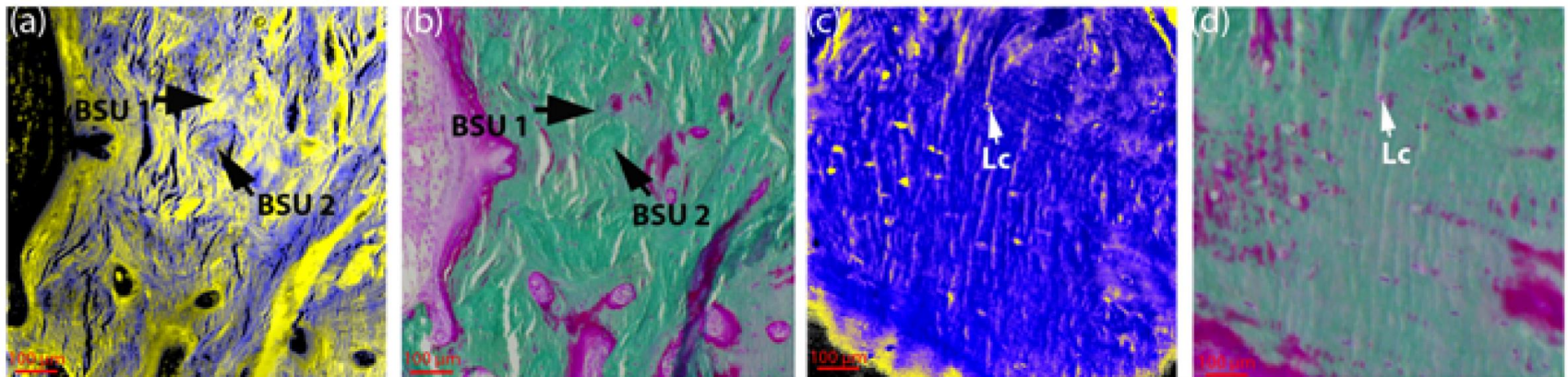
++ strongly visualized, + visualized, – poorly visualized, - - not visualized

Annettujen aallonpituuksien avulla voidaan valita sopivat suotimet tarkasteluun tavanomaisella fluoresenssimikroskopiolla, ilman muita lisäosia

**Table 2. Observed features in autofluorescence image, barely contrasted in MG-stained bone image**

Visualized Features	Autofluorescence color image for feature contrasting	B&W Image $\lambda_{exc} / \lambda_{emc}$ (nm)/(nm)	Optimum RGB image $\lambda_{emc}$ (nm)
Bone basic structural units (BSUs)	++ yellow and blue	340 / 390	620;540;420
Cement lines (Cm)	+ light blue lines	340 / 390	560;500;390
Osteocyte lacunar wall borders	+ sand color	340 / 520	620;434;420
Dust artefacts	++ bright	360 / 450	any
Air bubble artefacts	++ bright circles	any	any

++ strongly visualized, + visualized, – poorly visualized, - - not visualized



Bone structural units clearly visualized in autofluorescence images