

# Suokasvillisuuden havainnoinnista lajikohtaisilla hyperspektriaineistoilla

Sini-Selina Salko

*Seloste artikkelista Salko, S.-S., Hovi, A., Burdun, I., Juola, J., Karlqvist, S., Rautainen, M. 2025. Assessing Species Fractional Cover and  $\alpha$ -diversity in Boreal Peatlands Across Trophic Levels Using Hyperspectral Data. Ecology and Evolution 15(8), e71941. <https://doi.org/10.1002/ece3.71941>.*

## Lajikohtaiset spektrikirjastot kasviyhteisöjen havainnoinnissa

Hyperspektrisiä satelliittiaineistoja, joita tuottavat esimerkiksi satelliitit EnMAP ja PRISMA sekä tulossa oleva satelliittimissio CHIME, käytetään kasvillisuuden erilaisten ominaisuuksien kaukokartoituksessa. Hyperspektriaineistoja on hyödynnetty onnistuneesti eri maaekosysteemien kasvilajien ja lajiston monimuotoisuuden kartoituksessa, ja myös soilla ne tarjoavat lupaavan menetelmän kasvillisuuden havainnointiin. Jotta hyperspektrisiä satelliittiaineistoja voidaan käyttää tehokkaasti soiden kartoittamisessa, tarvitaan kuitenkin tietoa suokasviyhteisöjen spektriominaisuuksista. Näitä ominaisuuksia voidaan tarkastella lajikohtaisten spektrikirjastojen avulla. Äskettäin ilmestyneessä artikkelissa *Assessing Species Fractional Cover and  $\alpha$ -diversity in Boreal Peatlands Across Trophic Levels Using Hyperspectral Data* hyödynsimme uusia avoimia spektrikirjastoja arvioidaksemme lajikohtaisten hyperspektriaineistojen mahdollisuuksia soiden kasvilajien ja lajiston monimuotoisuuden määrittämisessä ombro- ja minerotrofisissa suokasviyhdyskunnissa. Kasvilajien peittävyttä ennustettaessa vertasimme hyperspektriaineistoja myös suppeampaan multispektriseen syötteeseen. Ennustimme kasvilajien peittävyttä korkeintaan kohtalaisella tarkkuudella sellaisille lajeille, joiden otanta oli suuri ( $R^2 = 0.58$ ), yleensä hieman tarkemmin hyperspektriaineistojen kuin multi-

spektriaineistojen avulla. Monimuotoisuutta kuvaavia diversiteetti-indeksejä voitiin ennustaa heikolla tarkkuudella, ja ennusteet olivat tarkempia ombrotrofisille ( $R^2 = 0.42$ ) kuin minerotrofisille ( $R^2 = 0.22$ ) kasviyhteisöille.

## Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa käytettiin suo- ja metsäkasvilajiston spektrikirjastoja (aallonpituudet 400–2500 nm), jotka on kerätty aiemmin Suomesta ja Virossa, ja julkaistu avoimena datana (Taulukko 1). Spektrikirjastot koostuivat suokasviyhteisö- eli kasvivuutuspektreistä (Kuva 1a, b), rahkasammalten (Kuva 1d) ja putkilokasvien lajikohtaisista spektreistä, sekä karikkeen spektristä (Kuva 1c). Käytimme yhteensä 124 boreaalisen ja hemiboreaalisen kasvivuuden heijastusspekttriä, jotka jaoimme kasvupaikkatyypin perusteella ombrotrofisiin (61 ruutua) ja minerotrofisiin (63 ruutua). Kasvuvuutujen lajikohtainen peittävyys määritettiin prosentteina ruudun yläpuolelta otetuista valokuvista käyttämällä 100 solun ruudukkoa, jossa lajit määritettiin kunkin solun keskikohdasta. Näillä ruuduilla kasvavista lajeista käytimme lajikohtaisia heijastusspektrejä, jotka jaoimme vastaavasti ombrotrofisiin (13 lajia) ja minerotrofisiin (17 lajia). Yhtenä lajeista kummallakin ravinteisuustasolla oli karike.

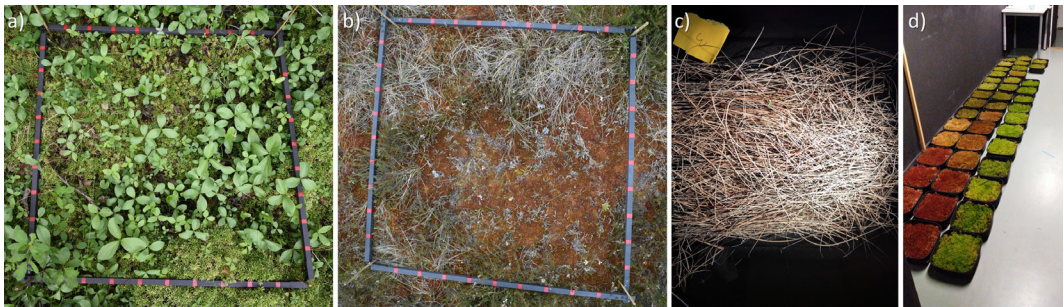
Lajikohtaista peittävyttä ennustettiin vertaamalla kasvuvuutujen heijastusspekttriä kasvilajien spektriin ”spectral unmixing” -menetelmällä.

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyt avoimet spektrikirjastot.

| Spektrikirjasto | Spektrikirjaston pysyvä digitaalinen tunnus (DOI)                                         | Laji                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kasviruutu      | <a href="https://doi.org/10.17632/3866tj3w8v.1">https://doi.org/10.17632/3866tj3w8v.1</a> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Rahkasammalet   | <a href="https://doi.org/10.17632/wm5fexdmzd.3">https://doi.org/10.17632/wm5fexdmzd.3</a> | Rämerahkasammal ( <i>Sphagnum angustifolium</i> )<br>Kangasrahkasammal ( <i>Sphagnum capillifolium</i> )<br>Valearahkasammal ( <i>Sphagnum centrale</i> )<br>Kuljurahkasammal ( <i>Sphagnum cuspidatum</i> )<br>Sararahkasammal ( <i>Sphagnum fallax</i> )<br>Ruskorahkasammal ( <i>Sphagnum fuscum</i> )<br>Rusorahkasammal ( <i>Sphagnum rubellum</i> )                                                                                                                                                             |
| Karike          | <a href="https://doi.org/10.17632/kg7627wgp6.1">https://doi.org/10.17632/kg7627wgp6.1</a> | Kuollut sara ( <i>Carex</i> sp.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Putkilokasvit   | <a href="https://doi.org/10.17632/kg7627wgp6.1">https://doi.org/10.17632/kg7627wgp6.1</a> | Vaivaiskoivu ( <i>Betula nana</i> )<br>Suovehka ( <i>Calla palustris</i> )<br>Vaivero ( <i>Chamaedaphne calyculata</i> )<br>Suokurjenjalka ( <i>Comarum palustre</i> )<br>Mesiangervo ( <i>Filipendula ulmaria</i> )<br>Raate ( <i>Menyanthes trifoliata</i> )<br>Ruokohelpi ( <i>Phalaroides arundinacea</i> )<br>Rönsyleinikki ( <i>Ranunculus repens</i> )<br>Hilla ( <i>Rubus chamaemorus</i> )<br>Paju ( <i>Salix</i> sp.)<br>Juolukka ( <i>Vaccinium uliginosum</i> )<br>Suo-orvokki ( <i>Viola palustris</i> ) |
| Varvut          | <a href="https://doi.org/10.14214/sf.22014">https://doi.org/10.14214/sf.22014</a>         | Kanerva ( <i>Calluna vulgaris</i> )<br>Mustikka ( <i>Vaccinium myrtillus</i> )<br>Puolukka ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Ennustettaviksi valittiin lajit, joiden peittävyys ylitti 5 % vähintään viidessä kasvivuodessa (6 lajia kummallekin ravinteisuustasolle). Tämä tehtiin sekä hyperspektridatalla että hyperspektridatasta simuloidulla multispektridatalla. Lajiston

monimuotoisuutta tarkasteltiin puolestaan laske-  
malla kullekin kasvivuodulle diversiteetti-indeksi  
(Shannon-indeksi), ja mallintamalla erikseen  
ombro- ja minerotrofisten ruutujen indeksit.



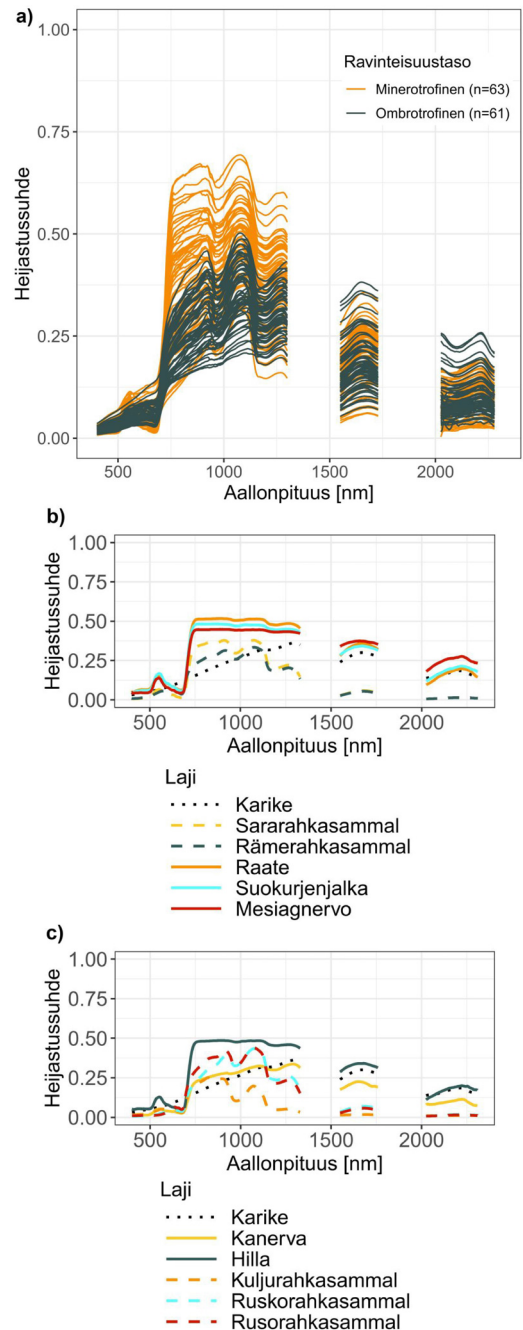
Kuva 1. Esimerkkikuva (a) minerotrofisesta kasvivuodusta, (b) ombrotrofisesta kasvivuodusta, (c) karikenäytteestä, ja (d) rahkasammalnäytteistä, joiden heijastusspektriä tutkimuksessa käytettiin. Mukaelma kuvasta, joka on aiemmin julkaistu artikkelissa Salko ym. (2025) ja lisensoitu Creative Commons BY 4.0-lisenssillä (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## Tulokset ja johtopäätökset

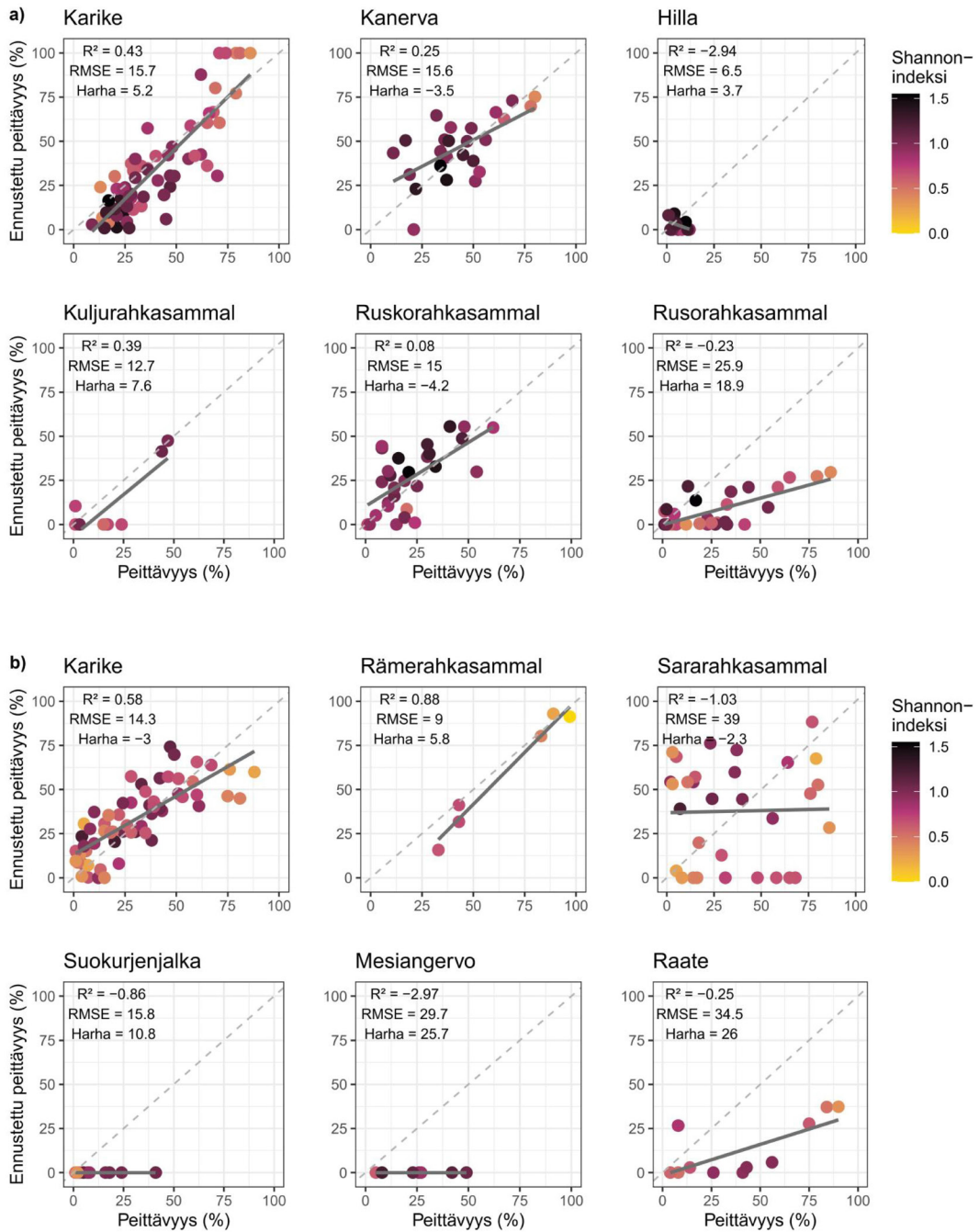
Kasviruutujen spektriominaisuudet erosivat toisistaan ravinteisuustasojen välillä. Ombrotrofisilla kasviruuduilla, joille oli tyypillistä sammaleiden vallitsevuus suhteessa putkilokasveihin ja pienilehtiset putkilokasvit, heijastussuhde oli matalampi näkyvän valon (~400–700 nm) ja lähi-infrapunan (~700–1300 nm) alueilla (Kuva 2a). Minerotrofisilla ruuduilla, joilla suurilehtiset putkilokasvit olivat vallitsevia, heijastussuhde oli korkeampi näkyvän valon ja lähi-infrapunan alueilla, erityisesti vihreällä alueella (~500–565 nm) (Kuva 2a). Kosteudesta kertovalla lyhytaaltoinfrapuna-alueella (~1300–2500 nm) ombrotrofisten kasviruutujen heijastussuhde vaihteli minerotrofisia enemmän, mikä viittasi siihen, että sekä kosteimmat että kuivimmat ruudut olivat ombrotrofisia (Kuva 2a). Vastaavasti putkilokasvien heijastusspektri oli yleisesti sammalia korkeampi ja karikkeen heijastusspektri oli näkyvän valon alueella eläviä kasveja loivempi (Kuva 2b, c).

Lajikohtainen peittävyys voitiin arvioida tarkimmin, joskaan ei erityisen suurella tarkkuudella, niille lajeille, joista oli runsaasti havaintoja (karike, ruskorahkasammal, kanerva) (Kuva 3, Taulukko 2). Sen sijaan lajit, joiden peittävyys ja otanta olivat vähäisiä, mallintuivat huonosti (raate, mesiangervo). Yleisesti niillä lajeilla, joiden otanta oli suuri, hyperspektrinen malli tuotti tarkemman tuloksen. Poikkeuksena tästä oli kuitenkin kuljuraikasammal, jonka selitysaste ( $R^2$ ) oli hieman korkeampi multispektrisessä mallissa (Taulukko 2, Kuva 3). Lajiston monimuotoisuutta tarkastelevaa Shannon-indeksiä voitiin mallintaa kohtalaisella tarkkuudella ombrotrofisilla kasviruuduilla ( $R^2 = 0.42$ ), ja hyvin heikolla tarkkuudella minerotrofisilla ( $R^2 = 0.22$ ).

Lajikohtaisen kasvipeitteen ennustaminen kasviruuduista tuotti yleisesti epätarkkoja tuloksia. Näin oli erityisesti lajeilla, joiden peittävyys oli vähäistä ja jotka muistuttavat visuaalisesti toisiaan, kuten minerotrofiset putkilokasvit. Hyperspektriaineistoilla on aiemmissa tutkimuksissa ennustettu kasvipeittävyyttä tarkemmin, kun lajien sijaan on käytetty laajempia kasviryhmiä, kuten varpuja, rahkasammalia ja ruohovartisia kasveja (Salko ym. 2024). Tämän tutkimuksen tulokset tukevat aiempia havaintoja siitä, että



Kuva 2. Heijastusspektrit, joista on kohinan vuoksi poistettu veden absorptioalueet 1330–1549, 1761–2024 ja 2311–2500 nm alueilta. a) Kasviruutujen heijastusspektrit, b) ombrotrofisten lajien heijastusspektrit, sekä c) minerotrofisten lajien heijastusspektrit. Mukaelma kuvasta, joka on aiemmin julkaistu artikkelissa Salko et al. (2025) ja lisensoitu Creative Commons BY 4.0-lisenssillä (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Kuva 3. Lajikohtaista peittävyttä ennustava malli a) ombrotrofisille ja b) minerotrofisille kasvivuuduille. Mukaelma kuvasta, joka on aiemmin julkaistu artikkelissa Salko et al. (2025) ja lisensoitu Creative Commons BY 4.0-lisenssillä (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Taulukko 2. Kasvilajien peittävyyttä ennustavien mallien selitysaste ( $R^2$ ), keskimääräinen neliövirhe (RMSE) ja harha hyperspektrisellä ja multispektrisellä syötteellä

|                                   | R <sup>2</sup> (Hyper-<br>spektrinen<br>malli) | R <sup>2</sup> (Multi-<br>spektrinen<br>malli) | RMSE<br>(Hyperspek-<br>trinen malli) | RMSE<br>(Multispek-<br>trinen malli) | Mallin harha<br>(Hyperspek-<br>trinen malli) | Mallin harha<br>(Multispek-<br>trinen malli) |
|-----------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Laji</b>                       |                                                |                                                |                                      |                                      |                                              |                                              |
| <b>Minerotrofiset kasviruudut</b> |                                                |                                                |                                      |                                      |                                              |                                              |
| Karike                            | 0.58                                           | 0.55                                           | 14.3                                 | 14.7                                 | −3                                           | 5.5                                          |
| Rämerahkasammal                   | 0.88                                           | 0.11                                           | 9                                    | 24.1                                 | 5.8                                          | 21.7                                         |
| Sararahkasammal                   | −1.03                                          | −1.19                                          | 39                                   | 40.6                                 | −2.3                                         | −9.4                                         |
| Suokurjenjalka                    | −0.86                                          | −0.86                                          | 15.8                                 | 15.8                                 | 10.8                                         | 10.8                                         |
| Mesiangervo                       | −2.97                                          | −0.04                                          | 29.7                                 | 15.3                                 | 25.7                                         | −0.9                                         |
| Raate                             | −0.25                                          | −0.54                                          | 34.5                                 | 38.2                                 | 26                                           | 30.1                                         |
| <b>Ombrotrofiset kasviruudut</b>  |                                                |                                                |                                      |                                      |                                              |                                              |
| Karike                            | 0.43                                           | 0.45                                           | 15.7                                 | 15.5                                 | 5.2                                          | 5.4                                          |
| Kanerva                           | 0.25                                           | −0.05                                          | 15.6                                 | 18.5                                 | −3.5                                         | 0.1                                          |
| Hilla                             | −2.94                                          | −6.53                                          | 6.5                                  | 8.9                                  | 3.7                                          | −2                                           |
| Kuljurahkasammal                  | 0.39                                           | 0.4                                            | 12.7                                 | 12.5                                 | 7.6                                          | 7.9                                          |
| Ruskorahkasammal                  | 0.08                                           | −0.03                                          | 15                                   | 15.8                                 | −4.2                                         | −4.3                                         |
| Rusorahkasammal                   | −0.23                                          | −0.22                                          | 25.9                                 | 25.8                                 | 18.9                                         | 18.7                                         |

laajemmat kasviryhmät ovat hyödyllisempiä suokasvillisuuden kaukokartoituksessa kuin yksittäiset lajit. Kasvien monimuotoisuuden ennustaminen puolestaan osoitti, että ombrotrofisilla kasvupaikoilla, joilla kasvillisuus on tyypillisesti vähemmän kerroksellista kuin minerotrofisilla, lajiston monimuotoisuutta voitiin ennustaa, vaikkakin heikosti. Kerroksellisemmän ja visuaalisesti homogeenisemmän kasvillisuuden vallitsemilla minerotrofisilla kasvupaikoilla lajiston monimuotoisuutta taas oli vaikea ennustaa heijastusspektristä.

## Viitteet

Salko, S. S., Hovi, A., Burdun, I., Juola, J., Karlqvist, S. & Rautiainen, M. 2025. Assessing species fractional cover and  $\alpha$ -diversity in boreal peatlands across trophic levels using hyperspectral data. *Ecology and Evolution* 15(8), e71941. <https://doi.org/10.1002/ece3.71941>

Salko, S.-S., Hovi, A., Burdun, I., Juola, J. & Rautiainen, M. 2024. Hyperspectral characterization of vegetation in hemiboreal, boreal and Arctic peatlands using a geographically extensive field dataset. *Ecological Informatics* 82, 102772. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102772>