

Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitus Projektin loppuraportti osa 1 – Aineistot ja menetelmät

Anna Tammilehto, Pekka Härmä, Minna Kallio, Markus Törmä,
Arto Saikkonen, Seppo Tuominen, Mikko Impiö, Mika Heikkinen,
Mikko Kervinen, Tytti Jussila, Kristin Böttcher, Elisa Pääkkö,
Aira Kokko, Katariina Mäkelä ja Saku Anttila



Kansikuva: Kaldoaivin erämaa-alue.
Kuva: Arto Saikkonen / Metsähallitus.

Översättning / Translation: Lingsoft Language Services
Sámegillii jorgalan: Pentti Pieski
Anarâškielâlâš jurgâlus: Petter Morottaja
Jåårglâttam: Tiina Sanila-Aikio

© Metsähallitus, Vantaa, 2024

ISSN-L 1235-6549
ISSN (verkkajulkaisu) 1799-537X
ISBN 978-952-377-111-6 (pdf)

**Anna Tammilehto, Pekka Härmä, Minna Kallio, Markus Törmä,
Arto Saikkonen, Seppo Tuominen, Mikko Impiö, Mika Heikkinen,
Mikko Kervinen, Tytti Jussila, Kristin Böttcher, Elisa Pääkkö,
Aira Kokko, Katariina Mäkelä ja Saku Anttila**

Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitus Projektin loppuraportti osa 1 – Aineistot ja menetelmät



Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment



**METSÄHALLITUS
FORSTSTYRELSEN
MEAH CIRÁÐÐEHUS**

Kuvailulehti

Julkaisija Metsähallitus Julkaisuaika 5.2.2024
Luottamuksellisuus Julkinen Asianumero MH 667/2024

Tekijä(t) Anna Tammilehto, Pekka Härmä, Minna Kallio, Markus Törmä, Arto Saikkonen, Seppo Tuominen, Mikko Impiö, Mika Heikkinen, Mikko Kervinen, Tytti Jussila, Kristin Böttcher, Elisa Pääkkö, Aira Kokko, Katariina Mäkelä ja Saku Anttila

Julkaisun nimi Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitus – Projektin loppuraportti osa 1 – Aineistot ja menetelmät

Tiivistelmä

Vaikuttava luonnonsuojelu ja luonnonvarojen kestävä käyttö vaativat toteutuakseen ajantasaista luontotietoa. Metsähallituksen Luontopalvelut ja Suomen ympäristökeskus ovat kolme- ja puolivuotisessa (2020–2023) yhteistyöhankkeessaan 'Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitus' tuottaneet uuden luontotyyppiaineiston Ylä-Lapin laajoilta suojelu- ja erämaa-alueilta satelliittipohjaisen kaukokartoituksen avulla. Hankealueen laajuus on 2,8 miljoona hehtaaria. Se sisältää Ylä-Lapin suojelu- ja erämaa-alueet sekä Pallas-Yllästunturin kansallispuiston. Valtaosa hankealueesta sijoittuu saamelaiden kotiseutualueelle. Hankkeessa tuotetulla tiedolla päivitetään hankealueelta aiemmin (vuosina 1996–1999) kerätty luontotyyppiaineisto ja hankkeessa on myös kehitetty kaukokartoitukseen perustuvia luontotyyppien seurantamenetelmiä. Tietojen päivittämiselle on ollut suuri tarve, sillä Ylä-Lapissa ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat jo näkyvissä ja maankäyttöpaineet ovat kasvaneet myös pohjoisilla alueilla. Hankkeen ovat rahoittaneet ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus. Hankkeen loppuraportti on jaettu kahteen osaan, joista osassa 1 (tämä) käsitellään hankkeessa käytetyt aineistot ja menetelmät ja osassa 2 luontotyyppitulokset.

Tunturiluontotyypeistä runsas kolmannes on uhanalaisia ja tunturikankaiden ja -koivikoiden suojelutaso on alpiinisella alueella epäsuotuisa. Luontopalveluilla, joka hallinnoi valtaosaa suojelu- ja erämaa-alueille sijoittuvasta tunturialueesta, on suuri vastuu luontodirektiivin luontotyyppien (Natura-tyyppi) suotuisan suojelutason säilyttämisestä Suomessa. Tavoitteen saavuttaminen vaatii ajantasaista tietoa alueen luontotyypeistä, mutta pelkästään maastohavaintoihin perustuen tietoa hyvin laajalta alueelta ei voida tuottaa. Hankkeessa uuden luontotyyppitiedon tuotanto perustuu kaukokartoituksen ja maastohavaintojen yhdistämiseen. Satelliittipohjaisella kaukokartoituksella voidaan hankkia suuria tietomääriä laajoilta alueilta ja hankkeessa luontotyyppien kartoituksessa hyödynnettiin koneoppimismenetelmiä. Satelliittiaineistojen lisäksi kaukokartoitusaineistoista erittäin keskeisessä roolissa hankkeessa olivat laserkeilausaineistot. Koneoppimismallien opetusta ja mallien validointia varten kerättiin maastotietoa koko hankealueen kattavasti 4 500 maastokoealalta.

Hanke saavutti tavoitteensa, sillä yli 80 %:lla maa-alueista Natura-tyyppi tulkittiin yli 80 %:n tarkkuudella. Myös kasvillisuutta yleisesti kuvaava inventointiluokka tulkittiin 82 %:lla maa-alueista yli 80 %:n tarkkuudella. Kivennäismailla tulkinta onnistui tarkemmin kuin soilla. Lisäksi soiden yhdistymätyyppien rajauksessa oli kaukokartoitusmenetelmien sijaan käytettävä paikkatietoanalyysiä. Natura-tyyppi tuotettiin pelkän koneoppimismallin sijaan ns. asiantuntijan päätöspuumallilla. Hankkeen tulosten perusteella satelliittipohjainen kaukokartoitus soveltuu etenkin laaja-alaisten, avointen ja puoliavointen sekä melko homogeenisten luontotyyppien inventointiin. Pienialaisten ja harvinaisten luontotyyppien inventointi vaatii edelleen maastotyötä, samoin kuin soiden ravinteisuuden (etenkin eutrofia) tarkka määrittäminen. Hankkeessa kehitettiin myös menetelmiä Natura-tyyppien tilan arviointiin ja seurantaan (tunturikoivikot, tunturikankaat ja palsasuot) ja tuotettiin tietoa niiden edustavuudesta ja luonnontilaisuudesta. Lisäksi hankkeen tuloksena on saatu luotua myös entistä parempi kokonaiskuva kaukokartoituksen käytettävyydestä luontotyyppien inventoinnissa ja seurannassa. Hanke on myös onnistunut esimerkki poikkiteollisesta ja organisaatioiden välisestä yhteistyöstä, jota vaaditaan kaukokartoitusmenetelmien kehittämiseen ja käyttöönottoon luontotyyppien kartoituksessa ja seurannassa.

Hankkeessa tuotetut luontotyyppitiedot tallennetaan Metsähallituksen ylläpitämään Suojelualueiden kuviotietojärjestelmään, josta ne ovat koko ympäristöhallinnon käytettävissä. Tämän lisäksi hankkeessa tuotetut aineistot julkaistaan avoimesti. Ne ovat siten käytettävissä seuraavassa luontodirektiivin raportoinnissa ja luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa sekä muissa selvityksissä, arvioinneissa ja tutkimuksissa ja niitä voidaan hyödyntää EU:n biodiversiteettistrategian toimeenpanossa.

Avainsanat kaukokartoitus, luontotyyppit, Natura 2000, luonnonsuojelu, seuranta, satelliittikuvat, laserkeilaus, tunturit, suot

Sarjan nimi ja numero Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 248
ISSN-L 1235-6549 ISSN (verkkojulkaisu) 1799-537X
ISBN (pdf) 978-952-377-111-6
Sivumäärä 103 s. Kieli Suomi
Kustantaja Metsähallitus, Luontopalvelut

Presentationsblad

Utgivare Forststyrelsen Utgivningsdatum 5.2.2024
Sekretessgrad Offentlig Diarienummer MH 667/2024

Författare Anna Tammilehto, Pekka Härmä, Minna Kallio, Markus Törmä, Arto Saikkonen, Seppo Tuominen, Mikko Impiö, Mika Heikkinen, Mikko Kervinen, Tytti Jussila, Kristin Böttcher, Elisa Pääkkö, Aira Kokko, Katariina Mäkelä och Saku Anttila

Publikation Fjärranalys av naturen i Övre Lappland – Projektets slutrapport del 1 – Material och metoder

Sammandrag

En effektiv naturvård och hållbar användning av naturresurserna kräver aktuell naturinformation. Forststyrelsens Naturtjänster och Finlands miljöcentral har i sitt tre- och halvåriga (2020–2023) samarbetsprojekt 'Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitus' (Fjärranalys av naturen i Övre Lappland) producerat nytt material om naturtyper i de vidsträckta skydds- och ödemarksområdena i Övre Lappland med hjälp av satellitbaserad fjärranalys. Projektområdet omfattar 2,8 miljoner hektar. Den omfattar skydds- och ödemarksområdena i Övre Lappland samt Pallas-Yllästunturi nationalpark. Största delen av projektområdet ligger i samernas hembygdsområde. Med den information som producerats inom projektet uppdateras det material om naturtyper som tidigare samlats in från projektområdet (1996–1999) och inom projektet har man också utvecklat uppföljningsmetoder för naturtyperna som grundar sig på fjärranalys. Det har funnits ett stort behov av att uppdatera uppgifterna, eftersom effekterna av klimatförändringen redan är synliga i Övre Lappland och trycket på markanvändning har ökat även i de nordliga områdena. Projektet har finansierats av miljöministeriet och Finlands miljöcentral. Projektets slutrapport är indelad i två delar, varav del 1 (denna) behandlar de material och metoder som använts i projektet och del 2 resultaten av naturtyperna.

En dryg tredjedel av fjällnaturtyperna är hotade och skyddsnivån för fjällhedar och fjällbjörkdungar är ogynnsam i alpina områden. Naturtjänsterna som förvaltar största delen av fjällområdena i skydds- och ödemarksområden har ett stort ansvar för att bevara en gynnsam skyddsnivå för habitatdirektivets naturtyper (Natura-typ) i Finland. För att uppnå målet krävs aktuell information om områdets naturtyper, men enbart på basis av observationer i fält kan man inte producera information om ett mycket stort område. I projektet grundar sig produktionen av ny information om naturtyper på en kombination av fjärranalys och observationer i fält. Genom satellitbaserad fjärranalys kan man skaffa stora datamängder från vidsträckta områden och i projektet utnyttjades maskininlärningsmetoder vid kartläggningen av naturtyper. Utöver satellitmaterialet hade laserskanningsmaterial en mycket central roll i projektet. För undervisningen av maskininlärningsmodeller och valideringen av modellerna samlade man in data med 4 500 fältprov från hela projektområdet.

Projektet uppnådde sitt mål, eftersom Natura-typen tolkades med över 80 procents noggrannhet i över 80 procent av landområdena. Även den inventeringsklass som allmänt beskriver växtligheten tolkades med över 80 procents noggrannhet på 82 procent av landområdena. På mineraljordar lyckades tolkningen noggrannare än på myrar. Vid avgränsningen av myrarnas kombinationer av naturtyper skulle man i stället för fjärranalysmetoder använda analys av geografisk information. Natura-typen producerades med den s.k. expertens beslutsträdsmodell i stället för enbart modellen för maskininläring. På basis av projektets resultat lämpar sig satellitbaserad fjärranalys särskilt för inventering av omfattande, öppna, halvöppna och ganska homogena naturtyper. Inventeringen av små och sällsynta naturtyper kräver fortfarande fältinventering, liksom en noggrann bestämning av myrarnas näringshalt (särskilt eutrofi). Inom projektet utvecklades också metoder för bedömning och uppföljning av Natura-typernas status (fjällbjörkdungar, fjällhedar och palsmyrar) och man producerade information om deras representativitet och naturtillstånd. Dessutom har projektet resulterat i en bättre helhetsbild av fjärranalysens användbarhet i inventeringen och uppföljningen av naturtyper. Projektet är också ett lyckat exempel på tvärvetenskapligt samarbete och samarbete mellan organisationer som krävs för att utveckla och ta i bruk metoder för fjärranalys vid kartläggning och uppföljning av naturtyper.

De uppgifter om naturtyper som producerats inom projektet sparas i informationssystemet för skyddsområdenas biotopfigurer, som upprätthålls av Forststyrelsen och är tillgängliga för hela miljöförvaltningen. Dessutom publiceras det material som producerats inom projektet öppet. De kan således användas i följande rapportering om habitatdirektivet och i hotbedömningen av naturtyper samt i andra utredningar, bedömningar och undersökningar och de kan utnyttjas i verkställandet av EU:s strategi för biologisk mångfald.

Nyckelord fjärranalys, naturtyper, Natura 2000, naturskydd, uppföljning, satellitbilder, laserskanning, fjäll, myrar

Seriens namn och nummer Forststyrelsens naturskyddspublikationer. Serie A 248

ISSN-L 1235-6549 ISSN (online) 1799-537X
ISBN (pdf) 978-952-377-111-6
Sidantal 103 s. Språk Finska
Förlag Forststyrelsen, Naturtjänster

Documentation Page

Published by Metsähallitus Publication date 5.2.2024
Confidentiality Public Registration no. MH 667/2024

Author(s) Anna Tammilehto, Pekka Härmä, Minna Kallio, Markus Törmä, Arto Saikkonen, Seppo Tuominen, Mikko Impiö, Mika Heikkinen, Mikko Kervinen, Tytti Jussila, Kristin Böttcher, Elisa Pääkkö, Aira Kokko, Katariina Mäkelä and Saku Anttila

Title Remote sensing the habitats of Northern Lapland– Final project report part 1 – Materials and methods

Abstract

Effective nature conservation and sustainable use of natural resources require up-to-date nature information. In its three and a half year cooperation project “Remote sensing the habitats of Northern Lapland”, National Parks Finland and the Finnish Environment Institute (2020–2023) have produced new habitat data on the large protected and wilderness areas of Northern Lapland using satellite-based remote sensing. The project area covers 2.8 million hectares. It includes the protected and wilderness areas of Northern Lapland and the Pallas-Yllästunturi National Park. Most of the project area is located in the Sámi Homeland. The data produced in the project will be used to update the habitat data collected in the project area earlier (from 1996 to 1999), and the project has also developed remote sensing-based methods for monitoring habitats. There has been a great need for updating the data, as the effects of climate change are already visible in Northern Lapland and the pressure for land use has also increased in northern areas. The project is funded by the Ministry of the Environment and the Finnish Environment Institute. The final report of the project is divided into two parts, of which part 1 (this one) discusses the materials and methods used in the project, and part 2 discusses the habitat results.

More than one third of fell habitats are endangered, and the conservation status of mountain heaths and mountain birch forests is unfavourable in the alpine area. National Parks Finland, which manages the majority of the fell area located in protected and wilderness areas, has a great responsibility for maintaining the favourable conservation status of the habitats under the Habitats Directive (Natura type) in Finland. Achieving this goal requires up-to-date data on the habitats in the area, but the data cannot be produced from a very large area based on field observations only. In the project, the production of new habitat data is based combining remote sensing and field observations. Satellite-based remote sensing can be used to acquire large amounts of data from extensive areas, and machine learning methods were utilised in the habitat survey. In addition to satellite data, important remote sensing data included laser scanning data. Field data were collected across the entire project area from 4,500 field test spots. The data were used to train machine learning models and to validate the models.

The project achieved its goals, as more than 80% of the land was interpreted with an accuracy of more than 80%. The general vegetation inventory category was also interpreted with an accuracy of more than 80% in 82% of the land areas. The interpretation was more accurate in mineral soils than in mires. In addition, geographic data analysis had to be used instead of remote sensing methods to define different mire complex types. The Natura type was produced using an “expert decision tree model” instead of a machine learning model alone. Based on the project results, satellite-based remote sensing is suitable for inventorying extensive, open and semi-open habitats and fairly homogeneous habitats. The inventory of small and rare habitats still requires field work, as well as the accurate determination of mires’ nutrient level (especially eutrophy). The project also developed methods for assessing and monitoring the status of Natura types (mountain birch forests, mountain heaths and palusa mires) and produced data on their representativeness and natural state. The project has also created a better overall picture of the usability of remote sensing in the inventory and monitoring of habitats. The project is also a successful example of interdisciplinary and interorganisational cooperation required in the development and implementation of remote sensing methods when mapping and monitoring habitats.

The habitat data produced in the project are stored in the protected area compartment information system (SAKTI) maintained by Metsähallitus, from where they are available to the entire environmental administration. Additionally, the materials produced in the project will be published as open data. They will thus be available in the next Habitats Directive reporting and in the assessment of threatened habitats as well as in other surveys, assessments and studies, and they can be used in the implementation of the EU Biodiversity Strategy.

Keywords remote sensing, habitats, Natura 2000, nature conservation, monitoring, satellite images, laser scanning, fells, mires

Series name and no. Nature Protection Publications of Metsähallitus. Series A 248
ISSN-L 1235-6549 ISSN (online) 1799-537X
ISBN (pdf) 978-952-377-111-6
No. of pages 103 pp. Language Finnish
Publishing co. Metsähallitus, Parks & Wildlife Finland

Govvidansiidu

Almmustuhtti Meahciráđdehus Almmustuhttináigi 5.2.2024
Luhtolašvuolta Almmolaš Diáranummir MH 667/2024

Dahkki(t) Anna Tammilehto, Pekka Härmä, Minna Kallio, Markus Törmä, Arto Saikkonen, Seppo Tuominen, Mikko Impiö, Mika Heikkinen, Mikko Kervinen, Tytti Jussila, Kristin Böttcher, Elisa Pääkkö, Aira Kokko, Katariina Mäkelä ja Saku Anttila

Almmustuhttima namma Davvi-Sámi luonddu gáidduskárten – Fidnu loahpparaporta oassi 1 – Materiálat ja meannudanvuogit

Čoahkkáigeassu

Vai váikkuheaddji luonddusuodjaleapmi ja luondduváriid suvdilis geavaheapmi ollašuvvá, dat gáibida áigeovuodilis luonddudieđu. Meahciráđdehusa Luonddubálvalusat ja Suoma birasguovddáš leat golmma- ja beallejagát (2020–2023) ovttasbargofidnustis ‘Davvi-Sámi luonddu gáidduskárten’ buvttadan odđa luonddutiipamateriála Davvi-Sámi viiddis suodjalan- ja meahcceguovlluin gáidduskártema vehkiin mii dáhpáhuvvá satellihta vuodul. Fidnuguovllu viidodat lea 2,8 miljovna hehtára. Dat sisttisdoallá Davvi-Sámi suodjalan- ja meahcceguovlluid ja Bállás-Ylläsduoddara álbmotmeahci. Eanaš oassi fidnuguovllus lea sápmelaččaid ruovttuguovllus. Fidnus buvttaduvvon dieđuiguin beavádit fidnuguovllus árabut (jagiin 1996–1999) čoggojuvvon luonddutiipamateriála ja fidnu lea maiddá ovddidan luonddutiippaid čuovvunvugiid mat vuodđuduvvet gáidduskártemii. Dieđuid beavádeapmái lea leamašan stuorra dárbu, dasgo Davvi-Sámis dálkkádatnuppástusa váikkuhusat leat jo oidnosis ja eanangeavahandeaddagat leat lassánan maiddá davvi guovlluin. Fidnu leat ruhtadan birasministeriija ja Suoma birasguovddáš. Fidnu loahpparaporta lea juhkkujuvvon guovtti oassái, main oasis 1 (dát) gieđahallojuvvo fidnus geavahuvvon materiálat ja meannudanvugiid ja oasis 2 luonddutiipabohtosiid.

Duottarluonddutiippain ráhpadis goalmmadas leat áitatvuložat ja duottarguolbaniid ja marastagaid suodjalandási lea alpiinnalaš guovllus ávkkeheapme. Luonddubálvalusain, mii hálddaša eanaš oasis duottarluonddus mii lea suodjalan- ja meahcceguovlluin, lea stuorra ovddasvástádus luonddudirektiivva luonddutiippaid (Natura-tiipa) oiddolaš suodjalandási seailluheamis Suomas. Mihtomeari juksan gáibida áigeovuodilis dieđu guovllu luonddutiippain, muhto dušše beare meahcceáicamiidda vuodđuduvvan dieđu hui viiddis guovllus ii sáhte buvttadit. Fidnus odđa luonddutiipadieđu buvttadeapmi vuodđuduvvá gáidduskártema ja meahcceáicamiid ovttasteapmái. Satellihtii vuodđuduvvan gáidduskártemiin sáhtta skáhppot stuorra diehtomeari viiddis guovlluin ja fidnus luonddutiippaid kártemis adnojuvvui ávkin mášenoahppanvugiid. Satellihttamateriálat lassan gáidduskártemateriálain hui guovddáš sajádagas fidnus ledje lasergovvenmateriálat. Mášenoahppanmáliid oahpaheami ja málliid nannema várás čoggojuvvui meahccediehtu, mii gokčá olles fidnuguovllu 4 500 meahcceiskkusviidodagas.

Fidnu juvssai mihtomeriidis, dasgo badjel 80 %:s eanaguovlluin Natura-tiipa dulkojuvvui badjel 80 % dárkilvuodain. Maiddá šattolašvuoda dábálaččat govvideaddji inventerenluohkká dulkojuvvui 82 %:s eanaguovlluin badjel 80 % dárkilvuodain. Minerálaeatnamiin dulkon lihkostuvai dárkileappot go jekkiin. Lassan jekkiid ovtastuvvantiippaid ráddjemis fertii gáidduskártenmeannudanvugiid sajis ávkkástallat báikediehtoanalysa. Natura-tiipa buvttaduvvui dušše mášenoahppanmáliid sadjái ng. áššedovdi mearrádusmuorramáliin. Fidnu bohtosiid vuodul satellihtii vuodđuduvvan gáidduskárten heive eandalii viiddis, jalgadis ja beallejalgadis ja viehka homogena luonddutiippaid inventeremii. Smávva ja hárvanaš luonddutiippaid inventeren gáibida ain meahccebarggu, seammá láhkai go jekkiid biebmávdnasiid meari (eandalii eutrofia) dárkilis meroštallan. Fidnus ovddidedje maiddá meannudanvugiid Natura-tiippaid dili árvoštallamii ja čuovvumii (marastagat, duottarguolbanat ja balsajeakkit) ja buvttaduvvui diehtu daid ovddasteamis ja lunddolašvuodas. Lassan fidnu boadusin leat sáhtán oážžut maiddá ain buoret ollislaš gova gáidduskártema ávkkástallamis luonddutiippaid inventeremis ja čuovvumis. Fidnu lea maiddá lihkostuvvan ovdamearkka dihtii fágaidrasttildeaddji ja organisašuvnnaid gaskasaš ovttasbarggu, mii gáibiduvvo gáidduskártenmeannudanvugiid ovddideapmái ja atnuiváldimii luonddutiippaid kártemis ja čuovvumis.

Fidnus buvttaduvvon luonddutiipadieđut vurkejuvvojit Meahciráđdehusa bajásdoallan Suodjalan-guovlluid govusdiehtovuogádahkii, gos olles birashálddahus sáhtta daid ávkkástallat. Dán lassan fidnus buvttaduvvon materiálat almmustahttojuvvojit almmolaččat. Daid sáhtta dasto geavahit čuovvovaš luonddudirektiivva raporteremis ja luonddutiippaid áitatvuložárvoštallamis ja earáin čielggadusain, árvoštallamiin ja dutkamušain ja daid sáhtta atnit ávkin EU biodiversitehtastrategiija ollašuttimis.

Čoavddasáni gáidduskárten, luonddutiipat, Natura 2000, luonddusuodjaleapmi, čuovvun, satellihttagovat, lasergovven, duoddarat, jeakkit

Ráiddu namma ja nummir Meahciráđdehusa luondduduodjalanalmmustahttimat. Ráidu A 248
ISSN-L 1235-6549 ISSN (internetpreanttus) 1799-537X
ISBN 978-952-377-111-6
Siidolohku 103 s. Giella suomagillii
Goasttideaddji Meahciráđdehus, Luonddubálvalusat

Valdâlemsijdo

Olgosadeleijee Meccihaldättäs Olgosadelemäigi 5.2.2024
Luáttámušlášvuotâ Almolâš Diaarinummeer MH 667/2024

Ráhtee(h) Anna Tammilehto, Pekka Härmä, Minna Kallio, Markus Törmä, Arto Saikkonen, Seppo Tuominen, Mikko Impiö, Mika Heikkinen, Mikko Kervinen, Tytti Jussila, Kristin Böttcher, Elisa Pääkkö, Aira Kokko, Katariina Mäkelä já Saku Anttila

Olgosadalduv nommâ Paje-Laapi luándu káiduskarttim – Proojeekt loppâraapoort uási 1 – Amnâstuvah já metodeh

Čuákankiäsu

Vaigutteijee luándusuojâlem já luánduriggoduvâi kilelis kevttim väätih ääigitásâsii luándutiädu, vâi toh puávtáččii olášud. Meccihaldättäs Luándupalvâlusah já Suomâ pirâskuávdás láá jieijâs kulmâ- já peli-ihâsii (2020–2023) oovtâstpargoaavâst 'Paje-Laapi luándu káiduskarttim' pyevtittâm uđđâ luándutijppâamnâstuv Paje-Laapi vijđes suojâlem- já meccikuávluin satellitáin olášittum káiduskarttim vievâst. Hahâkuávlv vijđodâh lii 2,8 miljon hehtaarid. Tot ana sistees Paje-Laapi suojâlem- já meccikuávluid sehe Pallas-Yllästuoddâr aalmuglášmeeci. Váldu-uási hahâkuávlust lii sâmmilij päikkikuávlust. Haavâst pyevtittum tiäđuiguin lii ulmen peividiđ hahâkuávlust ovdeláá (iivijn 1996–1999) nurrum luándutijppâamnâstuv, já haavâst láá meid vuávâjum káiduskarttimân vuáduvvee luándutijppâi čuávummetodeh. Tiäđui peividem várás lii lamaš stuorrâ tárbu, tondiet ko Paje-Laapist šonjâdâhnuvástus vaiguttâsah láá jo uáinimist já eennâmkevttimtedduuh láá lasanâm meid taavain kuávluin. Haavâ láá ruttádâm pirâsministeriö já Suomâ pirâskuávdás. Haavâ loppâraapoort lii juohhum kyevti uásán, main uásist 1 (taat) kiedâvuššojeh haavâst kevttum amnâstuvah já metodeh já uásist 2 luándutijppâpuátuseh.

Tuodârluándutijppâin pajeeel kuálmádâs láá uhkevuálâsâih já tuodârkuolbânij já -suáhimeecij suojâlemtääsi lii alpiinisii kuávlust vájugâš. Luándupalvâlusâin, mii haaldâš váldu-uási suojâlem- já meccikuávluin tiättojeijee tuodârkuávluin, lii stuorrâ ovdâsvástádâs luándudirektiv luándutijppâi (Natura-tijppâ) suotâs suojâlemtääsi siäludmist Suomâst. Uulmân olleem váátâ ääigitásâsii tiäđu kuávlv luándutijppâin, mut tuše enâdâhaiccâmušâi vuáduvdul tiäđu ij pyevti pyevtitiđ meendu vijđes kuávlust. Haavâst uđđâ luándutijppâtiäđu pyevtitem vuáduvâ káiduskarttim já enâdâhaiccâmušâi ovtâstitmân. Satellitáin olášittum káiduskarttimáin puáhtâ haahâđ stuorrâ tiätumeerijd vijđes kuávluin, já haavâst luándutijppâi karttimist kiävttojii iššeen maašinnoppâmmetodeh. Satellitamnâstuvâi lasseen káiduskarttimamnâstuvâin uáli kuávdâá roolâst haavâst lijjii laserskannamamnâstuvah. Maašinnoppâmmensterij máttáattem já myensterij validistem várás norrojii enâdâhtiäđu ubâ hahâkuávlv vijđosávt 4 500 enâdâhiskosvijđoduvâst.

Haahâ uulij ulmâsis, tondiet ko pajeeel 80 %:st eennâmvijđoduvâin Natura-tijppâ tulkkoiu pajeeel 80% tärkkivuodâin. Meid šaddoduv almolávt kovvejeijee inventistemluokka tulkkoiu 82%:st eennâmvijđoduvâin pajeeel 80 % tärkkivuodâin. Mineralenâmijn tulkkum luhostui tärhibeht ko jeegijn. Ton lasseen jeegij ovtâstum-tijppâi rajiimist koolgâi káiduskarttimetodij sajan kevttiđ päikkitiätuanalyys. Natura-tijppâ pyevtittui pođoi maašinnoppâmmenster saajeest nk. äššitobdee miärádâsmuorâmyensteráin (päättöspuumalli). Haavâ puátusij vuáduvdul satellitijguin olášittum káiduskarttim heivee eromâšávt vijđes, ávus já peliávus sehe viehâ homogeenisij luándutijppâi inventismân. Uccâ já härvinâš luándutijppâi inventistem váátâ ain-uv enâdâhpargo, siämmáá náál ko jeegij raavâdlášvuodâ (eromâšávt eutrofia) tärhis miäruštállâm. Haavâst ovdeduvvojii meid metodeh Natura-tijppâi tile áruštálmân já čuávumân (tuodârkuolbâneh já polsâjeegih) já pyevtittui tiäđu toi ovdâsteijeevuodâst já luándutiileestvuodâst. Ton lasseen haavâ puátusin lii šoddâm ain ovddist pyereeb ubâlâškove káiduskarttim kevttetteevuodâst luándutijppâi inventismist já čuávumist. Haahâ lii meid luhostum ovdâmerkkâ tiedâlijd suorgijd rastaldittee já organisaatioi koskâsii oovtâstpargoost, mii tarbâšuvvo káiduskarttimetodij ovdedem já kiävtun váldim várás luándutijppâi karttimist já čuávumist.

Haavâst pyevtittum luándutijppâtiäđu vyerkkejuvvoje Meccihaldättäs pajeeentoollâm Suojâlemkuávlv kovostiätuvuáhádâhân (kuviotietojärjestelmä), kost toh láá kevttimnáál ubâ pirâshaldättuv várás. Ton lasseen haavâst pyevtittum amnâstuvah olgosadeluvvoje almolávt. Toin naalijn toh láá kevttimnáál čuávuvâá luándudirektiv raportistmist já luándutijppâi uhkevuálâsâšvuodâ áruštálmist sehe eres čielgiittâsâin, áruštálmijn já tutkâmušâin já taid puáhtâ kevttiđ iššeen EU biodiversitetstrategia tooimâniejâmist.

Čoovdâsâänih káiduskarttim, luándutijppah, Natura 2000, luándusuojâlem, čuávum, satellitkoveh, laserskannam, tuoddâreh, jeegih

Rááidu nommâ já nummeer Metsähallituksen Luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 248
ISSN-L 1235-6549 ISSN (pdf) 1799-537X
ISBN (pdf) 978-952-377-111-6
Sijdomeri 103 s. Kielâ suomâkielân
Kuástideijee Meccihaldättäs, Luándupalvâlusah

Vuännōsga'zeât

Čōōdteei Meä'cchalltōs Čōōdtemä'gǵ 5.2.2024
Na'ddjemnalšemvuōtt Ōimmsaž Diaarnâamar MH 667/2024

Raajji Anna Tammilehto, Pekka Härmä, Minna Kallio, Markus Törmä, Arto Saikkonen, Seppo Tuominen, Mikko Impiö, Mika Heikkinen, Mikko Kervinen, Tytti Jussila, Kristin Böttcher, Elisa Pääkkö, Aira Kokko, Katariina Mäkelä da Saku Anttila

Čōōdtem nōmm Pâ'jj-Lappi luâđ kookkaskaart'tummuš – Projee'kt loppraportt vue'ss 1 – Aunstöōzz da mōōntōōllmōōzz

Vuännōs

Što vaaikteei luâttsuōjilummuš da luâtstväärai keäll'jeei ânnumōš teâuddje, tōt kai'bbai ääi'jtäss'saž luât-teâđ. Meä'cchalltōōzz Luâttkääzzkōōzz da Lää'ddjânnam pirrōškōōškōs lie koumm ee'jj pie'lin (2020–2023) pešttam Pâ'jj-Lappi luâđ kookkaskaart'tummuš -ōhttsažtuâjha'ŋkkōōzzâst puu't'tam ođđ luât-tyypaunstōōzz Pâ'jj-Lappi veiddsōs suōjilem- da poostaivuu'din satelliittvuâđđsaž kookkaskaart'tummuš veäkkä. Ha'ŋkkōōsvuu'd veidasvuōtt lij 2,8 miljoon hehtaarađ. Tōt ânnum se'st Pâ'jj-Lappi suōjilem- da poostaivuu'did di Pallas-Ylläs-tuōddâr meermie'cc. Vâ'lddvue'ss ha'ŋkkōōsvuu'dest lij sâ'mmlai dommvuu'dest. Ha'ŋkkōōzzâst puu't'tum teâđain peei'vtet ha'ŋkkōōsvuu'dest ääi'jben (ii'jji 1996–1999) norrum luât-tyypaunstōōzz da ha'ŋkkōōzzâst leät še ouu'dâam kookkaskaart'tummsa vuâđđōōvvi luât-tyyppi seu'rrijem-mōōntōōllmōōzzid. Teâđai peei'vtummsa lij leämmaž jōnn tarbb tōn diōtt, ko Pâ'jj-Lappist äimmōsmuttâz vaaiktōōzz lie ju'n kuâstjemnalla da mäddâ'nnemtiâddi lie lâssnam še tâ'vven. Pirrōsministeria da Lää'ddjânnam pirrōškōōškōs lie teäggatam ha'ŋkkōōzz. Ha'ŋkkōōzz loppraportt lij juōkkum kuei't vuâssa, koin vue'zvest 1 (tât) kiōtt'tōōlât ha'ŋkkōōzzâst ōnnum aunstōōzzid da mōōntōōllmōōzzid di vue'zvest 2 luât-tyyp- puâđđōōzzid.

Tuōddârluât-tyypin siōmmna pâ'jjel kuâlmōs lie vaaruâla da tuōddârkuōlbbni da čēarsue'kkmie'cci suōjilemtää'ss lij alpiinlaž vuu'dest kiōldlaž. Luâttkääzzkōōzzin, kââ'tt vaaldašm vâ'lddvue'zz suōjilem- da poostaivuu'did sâjiddōōtti tuōddâr vuu'dest, lij jōnn vasttōs luâttdirektiiv luât-tyyppi (Natura-tyyp) miōt-lōs suōjilemtää'zz seeiltummsēst Lää'ddjânnmest. Tääv'tō'sse vuâllmōš kai'bbai ääi'jtäss'saž teâđ vuu'd luât-tyypin, leäša tâ'lk jânnamvuâmmšōōzzid vuâđđōōvvi teâđ jeät vuâittu puu't'ted samai veiddsōs vuu'dest. Ha'ŋkkōōzzâst ođđ luât-tyyppeâđ puu't'tōs vuâđđâäv kookkaskaart'tummuš da jânnamvuâmmšōōzzi ōhttummsa. Satelliittvuâđđsaž kookkaskaart'tummsin vuei'tet ha'ŋkkeed jōnn teâttmie'rid veiddsōs vuu'din da ha'ŋkkōōzzâst luât-tyyppi kaart'tummsēst äü'kkees mašinamâttjem-mōōntōōllmōōzzid. Satelliittaunstōōzzi lââ'ssen kookkaskaart'temaunstōōzzin ha'ŋkkōōzzâst samai kōskksaž roolâst le'jje laserkovveemaunstōōzz. Mašinamâttjem-maalli mât'tōōzz da maalli validâsttmōōzz vâaras no'rres jânnamteâđ juō'kkâ'rnn ha'ŋkkōōsvuu'dest kää'ttee'l 4500 jânnamte'sttvu'd.

Ha'ŋkkōōs vuâlai tääv'tōōztees, ko pâ'jjel 80 %:st mäddvuu'din Natura-tyyp tu'lkkēes pâ'jjel 80 % tää'rkesvuōdin. Šââddaid takainalla kovveei inventâ'stemklaass tu'lkkēes 82 %:st mäddvuu'din pâ'jjel 80 % tää'rkesvuōdin. Mineraalmâddain tu'lkkummuš o'nnsti tää'rken ko jie'gǵin. Lââ'ssen jie'gǵi ōhttōōvâmtyyppi rajjōōzzâst ōōlgi kookkaskaart'tem-mōōntōōllmōōzzi sââ'jest äâ'nned päi'kkteâttanalyys. Natura-tyyp puu't'tes tâ'lk mašinamâttjem-maall sââ'jest ns. ä'sštobddi tu'mmjem-muōrrmaallin. Ha'ŋkkōōzz puâđđōōzzi vuâđald satelliittvuâđđsaž kookkaskaart'tummuš ân'jâäv jeä'rben veiddsōs, ääv- da pie'llâäv- di miälggâđ homogeenlaž luât-tyyppi inventâsttmō'sse. Veeidasvuōđâz peä'linn siōm da härvvnaž luât-tyyppi inventâsttmōš kai'bbai ōinn jânnamtuâj, seämmanalla ko jie'gǵi porrmōōzzlažvuōđ (jeä'rben eutrofia) meä'rtōōllmōš târkka. Ha'ŋkkōōzzâst ouu'dees še mōōntōōllmōōzzid Natura-tyyppi vue'jj ärvvtōōllmō'sse da seu'rrijummsa (čēarsue'kkmie'cc, tuōddârkuōlbbân da taaljie'gǵ) da puu't'tes teâđ tōi ee'ttkâ'stemvuōđâst da luâtvuâkksažvuōđâst. Lââ'ssen ha'ŋkkōōzz puâđōssân leät tuejjâam še pue'rab obbkoov kookkaskaart'tummuš äâ'nnemââ'ntemvuōđâst luât-tyyppi inventâsttmōōzzâst da seu'rrijummsēst. Ha'ŋkkōōs lij še o'nnstam ouddmiärk tiōttjikōskksaž da organisaatioi kōskksaž ōhttsažtuâjast, koon kai'bbjet kookkaskaart'tem-mōōntōōllmōōzzi ouu'dummsa da äâ'nnmavâlddmō'sse luât-tyyppi kaart'tummsēst da seu'rrijummsēst.

Ha'ŋkkōōzzâst puu't'tum luât-tyyppeâdaid ruōkkât Meä'cchalltōōzz tuō'll'jem Suōjilemvuu'di kovvōkteâtriâžldō'kke, ko'st tōk lie pirrōsvaldašm äâ'nnemnalla. Tânn lââ'ssen ha'ŋkkōōzzâst puu't'tum aunstōōzzid ōlmstââ'ttet nu'tt, što tōk lie pukid äävai. Tōnnalla tōk lie äâ'nnemnalla pue'tti luâttdirektiiv raporttâ'sttmet da luât-tyyppi vaaruâlažvuōđâst ärvvtōōllmōōst di jie'res čōōlgtōōzzin, ärvvtōōllmōōzzin da tu'tkkummsin da tōid vuei'tet äü'kkeed EU biodiversite'ttstrategia toimupijijmōōzzâst.

Lokksää'n kookkaskaart'tummuš, luât-tyyp, Natura 2000, luâttsuōjilummuš, seu'rrijem, satelliitkoov, laserkovveem, tuōddâr, jie'gǵ

Rääid nōmm da naamâr Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisu. Sarja A 248

ISSN-L 1235-6549 ISSN (pdf) 1799-537X

ISBN (pdf) 978-952-377-111-6

Seidmiē'rr 103 s. Ķiöll läädas

Čōōdteei Meä'cchalltōs, Luâttkääzzkōōzz

Esipuhe

Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitushankkeen aloituspalaveri pidettiin tammikuussa 2020 Metsähallituksen pääkonttorin tiloissa Tikkurilassa. Tavoitteet olivat selvät ja jonkinlainen kuva oli myös siitä, miten tavoitteisiin päästäisiin. Nyt, lähes neljä vuotta aloituspalaverin jälkeen, on hanke saatu päätökseen ja sen tavoitteet ovat täyttyneet. Tästä kiitän lämpimästi hankkeen projekti- ja ohjausryhmiä sekä erittäin maastokelpoisia maastotiedon kerääjiä. Lisäksi kiitos kuuluu tietysti hankkeen rahoittaneille Ympäristöministeriölle ja Suomen ympäristökeskukselle.

Rovaniemellä 21.12.2023

Anna Tammilehto

Hankkeen projektikoordinaattori

Sisällys

Sanasto.....	13
1 Johdanto	15
1.1 Hankkeen tausta.....	15
1.2 Tavoitteet	16
1.3 Hankealue.....	17
2 Aineistot	19
2.1 Kaukokartoitus.....	19
2.1.1 Sentinel-satelliittikuvat	19
2.1.2 VHR-satelliittikuvat	23
2.1.3 Ilmakuvat	25
2.1.4 Laserkeilaus	26
2.2 Muut paikkatietoaineistot.....	27
2.2.1 Maanmittauslaitoksen maastomalli	27
2.2.2 Maanmittauslaitoksen maastotietokanta	28
2.2.3 Metsähallituksen aineistot	29
2.2.4 Tulvavaikutteiset alueet.....	29
2.3 Maastomittaukset.....	29
2.3.1 Maastokoealojen valinta.....	29
2.3.2 Maastossa kerättävä ominaisuustieto.....	31
2.3.3 Maastotyö.....	32
3 Menetelmät	33
3.1 Random forest -luokittelu	33
3.2 Segmentointi	33
3.3 Tulkintojen tarkkuuden arviointi	35
4 Teemojen tulkinnat ja tulkintojen tarkkuus	36
4.1 Luontotyytit.....	36
4.1.1 Inventointiluokka	37
4.1.2 Natura-tyyppi.....	45
4.2 Erillisteemojen tuottaminen.....	52
4.2.1 Puustoisuus	52
4.2.2 Vallitseva puulaji.....	55
4.2.3 Tunturipensaikat	57
4.2.4 Mittaritahoalueet	58
4.2.5 Tunturikoivikkojen uusiutumiskyvyn luokittelu maastohavaintojen ja laidunalueiden perusteella	59
4.2.6 Tunturikoivikon uusiutumiskyvyn luokittelu laserkeilausaineiston (las5p) avulla	61
4.2.7 Jäkäläkoivikkojen tila	63

4.2.8	Suoaltaat.....	68
4.2.9	Palsasuot	68
4.2.10	Lumenviipymät ja -pysymät ja niiden tunnistaminen satelliittiaineistoista.....	71
4.2.11	Tulvalle alttiit alueet.....	72
4.2.12	Vesistöjen tyypittely.....	75
5	Lopputuotteet.....	76
6	Johtopäätökset kaukokartoituksen käytettävyydestä luontotyyppi-inventoinnissa ja seurannassa sekä jatkokehitystarpeet.....	77
	Lopuksi.....	79
	Lähteet.....	80
	Liitteet.....	83
	Liite 1 Syken Tiima-hankkeessa tuotettu tulvakartta Kevojoikisuulta.....	83
	Liite 2 Hankkeessa kerätyn maastotiedon sisältö.....	84
	Liite 3 Edustavuuden ja luonnonalaisuuden arvioiminen tunturikoivikoissa ja jäkäläisillä luontotyypeillä.....	85
	Liite 4 Hankealueen tyypillisimpien inventointiluokkien tarkennetut kuvaukset ja niiden sisäisen vaihtelun arviointi.....	88
	Liite 5 Tulkintamalleissa käytetyt piirteet.....	92
	Liite 6 Inventointiluokan tulkintamallien luotettavuus ositteittain	93
	Liite 7 Inventointiluokan tulkinnan luotettavuus.....	94
	Liite 8 Satelliittipohjaisen kaukokartoituksen ulkopuolelle jätetyt Natura-tyypit.....	95
	Liite 9 Natura-tyypin tulkintamallien luotettavuus	96
	Liite 10 Natura-tyypin Random forest tulkinnan luotettavuus (confidence).....	97
	Liite 11 Natura-tyypin asiantuntijapäätelyyn perustuvan tulkinnan yksinkertaistettu malli	98
	Liite 12 Vallitsevan puulajin Random forest -tulkintamallin tarkkuus.....	99
	Liite 13 Pensaikoiden tulkintamallin luotettavuus.....	100
	Liite 14 Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitushankkeen suositukset.....	101

Sanasto

Aallonpituusalue: Sähkömagneettisen spektrin osa.

Alueellinen erotuskyky (satelliittihavainnot): Pienimmän erotettavissa olevan kohteen koko kuvalla, yleensä rinnastetaan instrumentin yhden mittaustuloksen mittauksen pinta-alaan.

Aurinkosynkronin rata: Satelliitin kiertorata, jolla satelliitti ylittää päiväntasaajan samalla paikallisen ajan ajanhetkellä.

AutoML: Koneoppimisalgoritmi, jossa lähtöaineiston esikäsittely, mallin ja sen parametrien valinta on automatisoitu.

Avoin rajapinta: Avoin rajapinta on rajapinta, jonka kaikki ominaisuudet ovat julkisia ja jota voi käyttää ilman rajoittavia ehtoja ja sen rajapintakuvaus ja dokumentaatio ovat avoimesti saatavilla. Rajapinta mahdollistaa tietojen siirron laitteiden tai ohjelmien välillä.

Copernicus-ohjelma: Euroopan unionin koordinoima ja rahoittama ympäristön seurantaohjelma, jossa tiedonkeruu perustuu pääosin satelliittikaukokartoitukseen.

Digitointi: (Paikka)tiedon muuntaminen digitaaliseen muotoon. Tämä voidaan tehdä paikkatieto-ohjelmiston avulla.

EPSG 3067: Suomessa käytössä olevan TM-35Fin-koordinaattijärjestelmän EPSG-koodi.

ESA: European Space Agency/Euroopan avaruusjärjestö.

EU:n luontodirektiivi: EU:n luontodirektiivi ja lintudirektiivi ovat Euroopan unionin tärkeimmät luonnonsuojelusäädökset. Luontodirektiivi koskee luonnonvaraista eläimistöä, kasvistoa ja luontotyyppejä. Sen tavoitteena on saavuttaa ja säilyttää tiettyjen lajien ja luontotyyppien suojelun taso suotuisana, säilyttää laji luontaisessa ympäristössään niin, ettei sen luontainen levinneisyysalue supistu ja säilyttää riittävä määrä lajin elinympäristöjä, jotta kannan säilyminen voidaan turvata myös tulevaisuudessa.

Indeksikuva (satelliittihavainnot): Kuvan kanavia yhdistelemällä saatu kuva, jolla jokin kohdealueella esiintyvä ominaisuus korostuu.

Inventointiluokka: Inventointiluokka on osa kuviomuotoista luontotyyppitietoa, jota kerätään suojelualueilta. Inventointiluokka kuvaa kuviolla esiintyvää luontoa yleispiirteisesti.

Kanava (satelliittihavainnot): Kuvausinstrumentin mittaama aallonpituusalue.

Kaukokartoitus: Kohteen etähavainnointi esim. satelliitin tai lentokoneen mukana kulkevalta laitteella. Ilma- ja satelliittikuvan tapauksessa informaation välittäjänä toimii sähkömagneettinen säteily.

Kerrospeittävyys: Puuston latvuston tiheys (latvuspeittävyys) valitulla korkeustasolla.

KMEANS: Ohjaamaton luokittelumenetelmä.

Koneoppiminen: Koneoppiminen on tekoälyn osa-alue, joka pyrkii saamaan ohjelmiston toimimaan paremmin pohjatiedon ja käyttäjän toiminnan perusteella. Koneoppimisessa ohjelmistolle ei ole välttämättä määritetty toimintamenetelmää (algoritmia) jokaista tilannetta varten, vaan kone oppii itsenäisesti päätyämään haluttuun lopputulokseen.

Korkeusmalli: Korkeusmalli on maanpinnan muotojen numeerinen esitys, joka sisältää pinnanmuotoja kuvaavan korkeuspisteiden joukon. Tyypillisesti korkeusmalli tallennetaan tietojärjestelmään joko tasavälisenä hilana tai epäsäännöllisenä kolmioverkkona.

Las5p: Laserkeilattu pistepilvi, jossa havaintoja noin 5 kpl neliömetrillä.

Luontotyyppi: Luontotyyppi on maa- tai vesialue, jota luonnehtivat tietyt maantieteelliset sekä abioottiset ja bioottiset ominaisuudet.

LUOTI-aineisto: Luontotyyppiaineisto, joka tuotettiin Ylä-Lapin luonnonhoitoalueen ja Urho Kekkosen kansallispuiston luontokartoituksessa vuosina 1996–1999.

LuTU-tyyppi: Luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnin (Kontula & Raunio 2018) mukainen kasvillisuustyyppi.

Maastodata: Maastossa mitattu tai arvioitu luontotieto.

Maastotietokanta: Maanmittauslaitoksen tuotama koko maan kattava ja jatkuvasti ajantasaistettava paikkatietoaineisto. Kaikki Maanmittauslaitoksen kartat, sähköiset karttapalvelut ja rajapinnat tuotetaan maastotietokannasta.

MML: Maanmittauslaitos.

MH: Metsähallitus.

Mosaiikki (satelliittihavainnot): Useasta yksittäisestä eri ajankohtina ja paikoista otetuista kuvista muodostettu kuva.

Natura 2000 -verkosto: EU:n luontodirektiiveihin perustuvalla Natura 2000 -alueiden verkostolla suojellaan koko Euroopan unionissa harvinaistuvia luontotyyppisiä ja lajien elinympäristöjä sekä linnustolle tärkeitä alueita. Natura-verkostoon kuuluvat ne alueet, jotka Suomi on ilmoittanut lintudirektiivin mukaisiksi linnuston erityissuojelualueiksi (Special Protection Areas, SPA), sekä alueet, jotka EU:n komissio on hyväksynyt luontodirektiivin perusteella yhteisön tärkeinä pitämiksi alueiksi (Sites of Community Importance, SCI). Viimemainituista on perustettu ns. erityisten suojelutoimien alueita (Special Areas of Conservation, SAC) ympäristöministeriön asetuksella (354/2014).

Natura-tyyppien edustavuus: Edustavuus kuvaa, miten hyvin kohteen luontotyyppi vastaa luontotyyppien kuvauksen mukaista ideaalitilaa.

Natura-tyyppien luonnontilaisuus: Luonnontilaisuus kuvaa kohteen luontotyyppien rakenteellista ja toiminnallista luonnontilaa. Se koostuu kolmesta osatekijästä: rakenne, toiminta ja ennallistamismahdollisuudet.

Natura-tyyppi: Luontodirektiivin luontotyyppi. EU:n Luontodirektiivi suojelee yli 230 Euroopan unionin tärkeinä pitämää luontotyyppiä. Ne ovat luontotyyppisiä, joiden luontainen esiintymisalue on hyvin pieni tai jotka ovat vaarassa hävitä unionin alueelta. Toisaalta ne voivat olla hyviä esimerkkejä unionin kuudesta luonnonmaantieteellisestä alueesta. Suomessa esiintyy 68 luontodirektiivin luontotyyppiä, joista 22 on ensisijaisesti suojeltavia.

NDMI: Normalized Difference Moisture Index / kosteusindeksi.

NDTI: Normalized Difference Tillage Index / maanmuokkausindeksi.

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index / kasvillisuusindeksi.

NDWI: Normalized Difference Water Index / vesi-indeksi.

Piirre (satelliittihavainnot): Tulkintamallissa käytetty kaukokartoitushavainnot, esim. yksittäisen aallonpituuskanava tai kanavista laskettu indeksi (esim. NDVI).

Pikselikoko: Satelliittiaineiston maastoresoluutio eli pienin alue maastossa, josta havainnot saadaan. Rasterimuotoisissa paikkatietoaineistoissa pikselikoko on aineiston ruutukoko, esim. 10 m x 10 m.

Polygoni: Monikulmio, jonka geometrinen rajaus muodostuu joukosta sulkeutuvia käyriä siten, että yksi käyrä on ulkopiiri ja mahdolliset muut käyrät ovat sisäpiirejä.

Rasterointi: Rasteripohjaisessa paikkatiedossa pinta on jaettu samankokoisiin osa-alueisiin (esim. ruutuihin), joita kutsutaan pikseleiksi. Pikseleihin liitetään ominaisuustiedoksi lukuarvo. Rasteroinnissa muunnetaan vektorimuotoinen paikkatieto, esimerkiksi polygoni, rasteriaineistoksi.

Reflektanssi (satelliittihavainnot): Heijastussuhde; kohteesta lähtevän säteilyn määrän suhde kohteeseen tulevaan säteilyyn.

SAC: Luontodirektiivin mukainen erityisten suojelutoimien alue.

SAKTI: Luontopalvelujen hallinnoima, ympäristöhallinnon käytössä oleva Suojelualueiden kuviotietojärjestelmä. Sisältää tietoa luontotyypeistä ja perinnebiotoopeista sekä niihin kohdistuvista ennallistamis- ja luonnonhoitotoimenpiteistä.

SPA: EU:n luontodirektiivin mukainen erityinen suojelualue.

TM35Fin: Suomessa käytettävä koordinaattijärjestelmä EPSG 3067; ETRS-TM35FIN – tasokoordinaatit.

VHR-satelliittikuvat: Very High Resolution, erittäin hyvän alueellisen erotuskyvyn satelliittikuvat, pikselin koko tyypillisesti 0,5–5 m.

1 Johdanto

1.1 Hankkeen tausta

Ylä-Lappi on monin tavoin erityislaatuinen alue Suomessa. Alueella sijaitsee valtaosa Suomen tunturialueesta ja se on saamelaisen kotiseutualuetta. Ylä-Lapissa sijaitsee myös runsaasti erilaisia luonnonsuojelualueita kuten esimerkiksi Lemmenjoen ja Urho Kekkosen kansallispuistot sekä Mallan ja Kevon luonnonpuistot. Ylä-Lapissa sijaitsevat myös laajat erämaa-alueet, kuten Käsivarren ja Kaldoaivin erämaa-alueet. Valtion suojelu- ja erämaa-alueet Ylä-Lapissa kuuluvat myös Euroopan unionin Natura 2000 -verkostoon. Niiden osuus alueesta on noin 70 % (kuva 1).

Valtion luonnonsuojelualueita ja erämaa-alueita hallinnoi Metsähallituksen Luontopalvelut. Ylä-Lapissa tämä alue kattaa noin 2,5 miljoonaa hehtaaria maa- ja vesialueita. Luonnonsuojelualueiden keskeisin tarkoitus on nimensä mukaisesti luonnonsuojelu. Erämaa-alueet puolestaan on perustettu ensisijaisesti alueiden erämaaluonteen säilyttämiseksi, saamelaiskulttuurin ja luontaiselinkeinojen turvaamiseksi sekä luonnon monipuolisen käytön ja sen edellytysten kehittämiseksi. Natura 2000 -verkostoon kuuluvia alueita (jatkossa Natura-alue) koskee lisäksi heikentämiskielto, jonka mukaan alueen suojelun perusteena olevia luonnonarvoja ei saa merkittävästi heikentää.

Luonnonsuojelullisten ja muiden alueiden käyttöön liittyvien tavoitteiden saavuttamiseksi suojelu- ja erämaa-alueilta tarvitaan ajantasaista tietoa alueiden luonnosta ja sen tilasta. Ajantasaisen tiedon merkitys on entisestään kasvanut, sillä Ylä-Lappi kuuluu arktiseen vyöhykkeeseen (tarkemmin subarktiseen alueeseen), jossa ilmasto lämpenee nopeammin kuin maapallolla keskimäärin ja muutoksia alueen luonnossa voi tapahtua nopeastikin. Pääosin arktisella alueella esiintyvistä tunturiluontotyypeistämme runsas kolmannes on uhanalaisia (Pääkkö ym.

2018). Merkittävimmät tunturiluontotyyppien uhanalaistumisen syyt ovat ilmastonmuutos ja voimakas porolaidunnus sekä niiden yhteisvaikutukset.

Ylä-Lapin luonnonsuojelu- ja erämaa-alueilta on ensimmäisen kerran tuotettu kattava luontokartoitusaineisto Ylä-Lapin luonnonhoitoalueen ja Urho Kekkosen kansallispuiston luontokartoitusprojektissa (LUOTI-kartoitus) vuosina 1996–1999 (Sihvo 2001). LUOTI-kartoituksen pinta-ala oli 2,6 miljoonaa hehtaaria ja se kattoi Ylä-Lapissa suojelu- ja erämaa-alueiden lisäksi metsätalousalueen ulkopuolella olevat muut valtion alueet. Kartoitus toteutettiin väri-infra- eli värävärikuville tehtävällä kuviokohtaisella arvioinnilla, jossa hyödynnettiin maastosta kerättyä tietoa luontotyypeistä eli ns. tulkinta-avaimia. LUOTI-kartoituksessa noin 20 % pinta-alasta kartoitettiin maastossa ja kerättiin tulkinta-avaimia, minkä jälkeen noin 80 % pinta-alasta kartoitettiin ilmakuvatulkinnalla tulkinta-avaimia hyödyntäen. LUOTI-kartoitus sekä siihen liittyneet Metsähallituksen valtakunnallinen tietojärjestelmäprojekti (ks. Sihvo 2001) ja Metsähallituksen ja Suomen ympäristökeskuksen (Syke) yhteinen biotooppi- luokituksen kehittämishanke (Tuominen ym. 2001) loivat metodologisen, sisällöllisen ja aineellisen perustan Metsähallituksen Luontopalvelujen nykyiselle luontotyyppi-inventointimenetelmälle sekä Suojelualueiden kuviotietojärjestelmälle (SAKTI) ja sen tällä hetkellä sisältämälle lähes miljoonalle biotooppikuviolle. LUOTI-kartoituksen tietosisältö kuitenkin poikkesi sitä seuranneiden kuviotietojärjestelmien tietosisällöstä.

LUOTI-kartoituksen jälkeen luontotyyppi-tietoa Ylä-Lapissa on päivitetty maastokartoituksin lähinnä kasvilajistollisesti arvokkaimiksi tunnetuilta alueilta, kuten Mallan luonnonpuistossa ja Saanan luonnonsuojelualueella sekä tarveperusteisesti tietyiltä alueilta liittyen esimerkiksi hoito- ja käyttösuunnitel-

mien laadintaan tai luontotyyppien uhanalaisuuden arviointiin. Valtaosa alueen biotoopikuviotiedoista on siis yli 20 vuotta vanhaa ja perustuu vielä tätäkin vanhempiin ilmakeuviin. Tämän lisäksi LUOTI-aineistossa on epätarkkuutta Euroopan unionin (EU) luontodirektiivin liitteessä I listattujen luontotyyppien luokituksen osalta, sillä luontodirektiivin luontotyypit (jatkossa Natura-tyyppi) on johdettu kuvioille muiden ominaisuustietojen perusteella. Tämä johtuu siitä, että LUOTI-kartoituksen aikaan Natura-tyyppejä ei luokittelussa vielä käytetty. Lisäksi nyttemmin on tunnistettu myös erilaisia luontotyyppien tilaa kuvaavia parametrejä, joista ei ole kerätty tietoa LUOTI-kartoituksen aikana. Tarve Ylä-Lapin suojelu- ja erämaa-alueiden luontotyyppitietojen kattavalle päivitykselle oli siis tiedossa jo pitkään, kunnes Marinin hallituksen tulevaisuusinvestoinnit mahdollistivat Metsähallituksen Luontopalvelujen ja Syken yhteishankkeen 'Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitus' käynnistämisen vuonna 2020. Tämän vuonna 2023 päättyneen hankkeen ovat rahoittaneet ympäristöministeriö ja Syke.

Ylä-Lapin kaukokartoitushankkeessa alueen luontotyyppien ja niiden tilan kartoituksessa on nimensä mukaisesti käytetty kaukokartoitusaineistoja, kuten satelliittikuvia ja laserkeilausaineistoja, ja luontotyyppien tunnistamiseen näistä aineistoista on käytetty koneoppimismenetelmiä. LUOTI-kartoituksen tulkinta-avaimien sijaan tässä projektissa maastosta kerättiin luontotyypeistä opetusdataa koneoppimismallin opetukseen. Kartoitusmenetelmäksi valittiin kaukokartoitus paitsi alueen laajuuden ja monin paikoin vaikeakulkuisuuden vuoksi, myös sen toistettavuusmahdollisuuksien ja tehokkuuden takia. Avointen ja harvapuustoisten alueiden vuoksi kaukokartoitus myös sopii alueelle hyvin. Myös lähialueella Norjan Ylä-Paatsjoella on äskettäin tehty luontotyyppien satelliittipohjainen kaukokartoitus alueella, johon sisältyy esimerkiksi Ylä-Paatsjoen kansallispuisto (Johansen 2020). Toisaalta kaukokartoitusmenetelmien käyttö luontotyyppien inventoinnissa

ja seurannassa vaatii edelleen sen mahdollisuuksien tutkimista ja menetelmien kehittämistä poikkitieteellisessä yhteistyössä (ks. esim. Corbane ym. 2015 ja Mücher & Hazeu 2021).

Hankkeen loppuraportti on jaettu kahteen osaan. Osassa 1 esitellään hankkeessa käytetyt aineistot ja menetelmät ja osassa 2 keskeisimmät tulokset luontotyypeistä (Tammi-lehto ym. 2024).

1.2 Tavoitteet

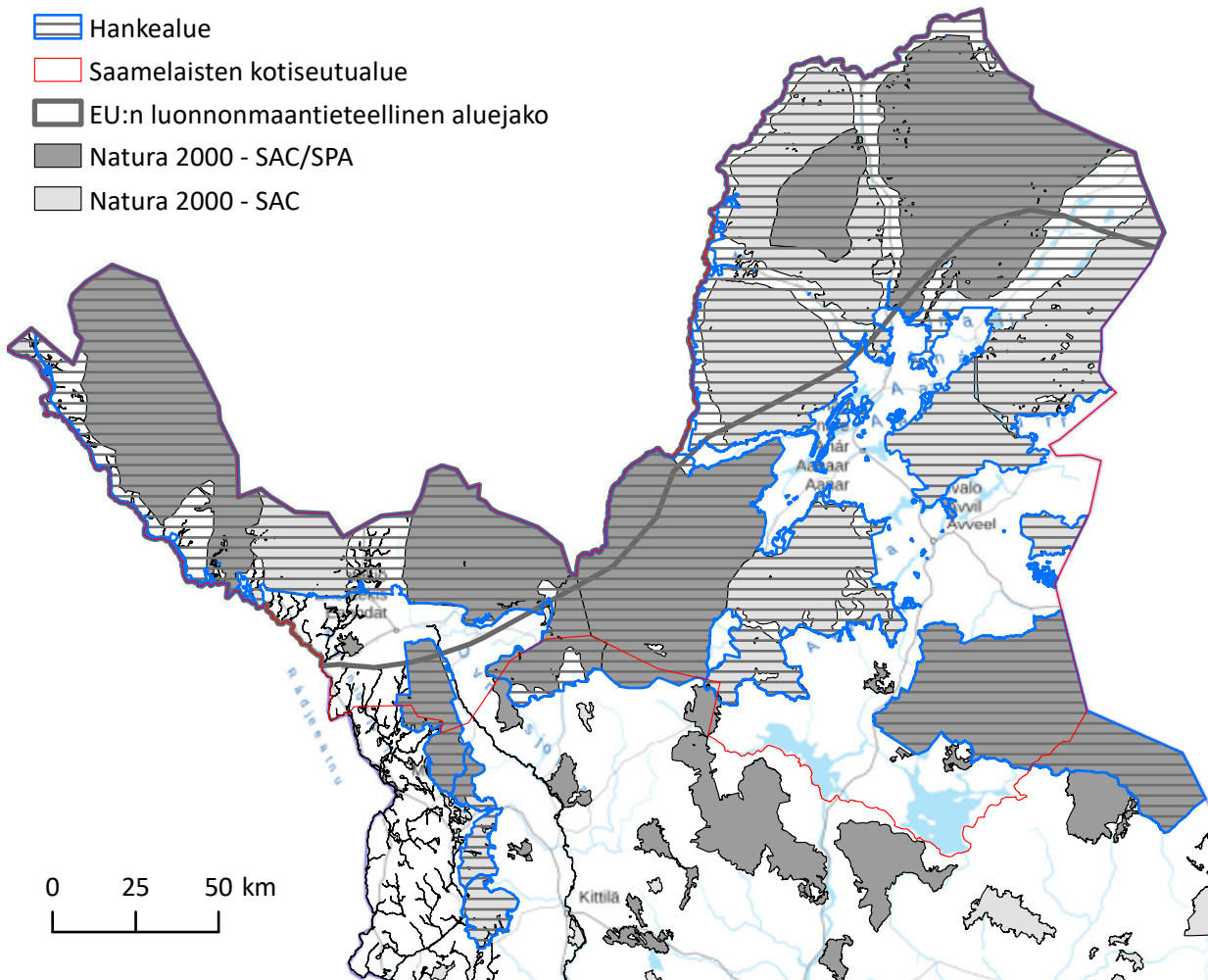
Tämän hankkeen tavoitteena on ollut päivittää Ylä-Lapin vuosina 1996–1999 inventoitu luontotyyppitieto silloiselta Ylä-Lapin luonnonhoitoalueelta ja Urho Kekkosen kansallispuistosta kaukokartoitusmenetelmiä käyttäen. Koska kaikkia hankealueella esiintyviä luontotyypejä ei voida esimerkiksi niiden pienialaisuuden vuoksi inventoida kaukokartoitusmenetelmin, asetettiin hankkeen tavoitteeksi päivittää alueen satelliittikuvilta tulkittavat luontotyypit ja niiden tila. Osittain käsitys kaukokartoituksen soveltuvuudesta tiettyjen luontotyyppien inventointiin on muuttunut tai tarkentunut hankkeen aikana. Minimipäivitystavoitteeksi asetettiin Natura-tyyppien sekä niiden tilan (edustavuus ja luonnontilaisuus) päivitys etenkin tunturiluontotyyppien osalta. Natura-tyypit ovat EU:n tärkeinä pitämiä luontotyypejä, joiden suojelemiseksi jäsenmaiden on osoitettava erityisten suojelutoimien alueita. Näillä alueilla tarkoitetaan Natura-alueita. Natura-tyyppejä esiintyy myös Natura-alueiden ulkopuolella.

Toissijaiseksi tavoitteeksi hankkeessa asetettiin Metsähallituksen käyttämän kasvillisuutta yleisesti kuvaavan inventointiluokan tunnistaminen kaukokartoitusmenetelmin. Lisäksi hankkeen tavoitteena oli kokeilla kaukokartoituksen toimivuutta joidenkin luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnin mukaisten luontotyyppien (Kontula & Raunio 2018) kartoituksessa ja seurannassa sekä tuottaa kaukokartoitusmenetelmiin perustuvat luontodi-

rektiivin tunturiluontotyyppien seurantaohjelmat. Menetelmällisesti hankkeen tavoitteena oli kaukokartoitusmenetelmien kehittäminen ja käyttöönotto Luontopalvelujen luontotyyppi-inventoinnissa sekä yhteistyömallin kehittäminen kaukokartoitustiedon tuottamiseen Luontopalveluille. Hankkeessa tuotettu päivitetty luontotyyppiaineisto tullaan viemään Luontopalvelujen ylläpitämään SAKTI-järjestelmään, josta se on koko ympäristöhallinnon käytettävissä sekä saatavissa myös avoimen rajapinnan kautta.

1.3 Hankealue

Hankealue on laajuudeltaan lähes 3 miljoonaa hehtaaria ja se kattaa Ylä-Lapin suojelu- ja erämaa-alueiden lisäksi myös Pallas–Yllästunturin kansallispuiston (kuva 1). Ylä-Lapissa mukaan on otettu myös metsätalouden ulkopuolella olevat muut valtion maat (ns. kolmannen taseen alueet), jotka sisältyvät LUOTI-kartoituksen alueeseen. Hankealueeseen on sisällytetty aineiston yhtenäisyyden vuoksi jonkin verran myös yksityismaita. Hankealue



Kuva 1. Hankealueen rajaus. Hankealue (sininen rajaus ja harmaa viivoitus) kattaa valtionmaiden luonnonsuojelualueet ja yksityiset luonnonsuojelualueet sekä erämaa-alueet. Näiden lisäksi hankealueeseen on sisällytetty sellaiset LUOTI-kartoituksen alueet, jotka nykyisin kuuluvat Metsähallituksen Kiinteistökehityksen taseeseen. Hankealueen teknisen yhtenäisyyden vuoksi hankealueeseen on sisällytetty jonkin verran myös yksityismaita. Saamelaisten kotiseutualue on rajattu punaisella. EU:n luonnonmaantieteellisessä aluejaossa (harmaa viiva) rajan pohjoispuolella on alpiininen alue ja eteläpuolella boreaalinen alue. SPA = lintudirektiivin mukainen erityinen suojelualue, SAC = luontodirektiivin mukainen erityisten suojelutoimien alue. Lähde: Syke ja Metsähallitus. Taustakartta: Esri Finland, Maanmittauslaitos.

sijoittuu Utsjoen, Enontekiön ja Inarin kuntien alueelle sekä Sodankylän, Savukosken ja Kittilän kuntien pohjoisosiin. Lisäksi Pallas-Yllästunturin kansallispuisto sijoittuu osin myös Muonion ja Kolarin kuntien alueelle.

Kasvimaantieteellisesti hankealue sijoittuu pohjoisborealiselle metsäkasvillisuusvyöhykkeelle ja sen pohjoisimmat ja läntisimmät alueet kuuluvat Tunturi-Lappiin. Hankealueen länsiosassa Käsivarren erämaassa koHoavat Suomen korkeimmat tunturit, kun taas hankealueen itäosissa tunturialueet ovat pääosin loivapiirteisempiä tunturiylänköjä. Hankealueen keski- ja kaakkoisosassa, Inarijärven seutu sekä Pallas-Yllästunturin kansallispuiston pohjoisosa ovat Metsä-Lappia, jossa tyy-

pillisesti vaihtelevat pääosin mäntyvaltaiset havumetsät sekä laajatkin suoalueet. Pallas-Yllästunturin kansallispuiston eteläosa kuuluu Perä-Pohjolaan, jota luonnehtivat paitsi havumetsät myös laajat aapasuoalueet ja harvakseltaan esiintyvät erillistunturit. EU:n luontodirektiivin yhdeksästä luonnonmaantieteellistä alueesta hankealue sijoittuu osin alpiiniselle alueelle ja osin borealiselle alueelle (kuva 1). Alpiininen alue kattaa suurimman osan hankealueen tunturialueista ja Suomessa esiintyvä alpiininen alue sijaitsee lähes kokonaisuudessaan hankealueella. Suomen borealisesta alueesta taas vain pieni osa sijaitsee hankealueella.

2 Aineistot

2.1 Kaukokartoitus

Hankkeessa on käytetty EU:n Copernicus-ohjelman Sentinel-satelliittisarjan satelliittien tuottamia kuvia. Lisäksi on käytetty jonkin verran EU:n Copernicus-ohjelman kautta saatuja erittäin tarkkan alueellisen erotuskyvyn kuvia. Lentokoneesta mitattuja kaukokartoitusaineistoja ovat olleet Maanmittauslaitoksen (MML) ilmakuvat sekä laserkeilausaineistot.

2.1.1 Sentinel-satelliittikuvat

Sentinel-satelliittisarjassa on seitsemän erilaista kaukokartoitus satelliittityyppiä, joista kukin on erikoistunut maapallon havainnointiin eri näkökulmasta käyttäen eri sähkömagneettisen säteilyn aallonpituusalueita ja muita mittaussparametreja kuten alueellinen tai ajallinen erotuskyky (European Space Agency 2023a). Tässä hankkeessa käytetyt Sentinel-1 ja Sentinel-2-satelliittityypit on tarkoitettu maanpinnan havainnointiin kohtuullisen hyvällä alueellisella erotuskyvyllä.

Sentinel-1 on aurinkosynkronisella radalla (ts. ylittää saman kohdan maapallosta samaan ajankohtaan paikallista aikaa, toistojakso 12 päivää yhdellä satelliitilla) oleva kaukokartoitus satelliitti, jonka tärkein kuvausinstrumentti on C-kaistan SAR- eli synteettisen apertuurin tutka. Kaksi satelliittia on laukaistu radalleen, S1A huhtikuussa 2014 ja S1B huhtikuussa 2016, mutta S1B rikkoutui joulukuussa 2021. Käytössä on siten tällä hetkellä vain yksi Sentinel-1-satelliitti, kunnes S1C saadaan käyttöön. Tutkan mittaustaajuus on 5.405 GHz (aallonpituus 5,5 cm) ja mittausten tekoa varten on erilaisia kuvausmoodeja, joilla kuvausparametrit vaihtelevat. Tyypillisesti käytetään Interferometric Wide Swath -moodia, jolloin kuvat otetaan käyttäen VV- ja VH-polarisatioita, kuvausalueen leveys on 250 km, alueellinen erotuskyky on 5 x 20 metriä ja mit-

tauskulma 20°–45° (European Space Agency 2023b).

Myös Sentinel-2 on aurinkosynkronisella radalla (toistojakso 10 päivää yhdellä satelliitilla) oleva kaukokartoitus satelliitti, jonka tärkein kuvausinstrumentti on optisen ja infrapuna-alueen MSI- eli MultiSpectral Instrument. Käytössä on kaksi satelliittia, joista S2A on laukaistu radalle kesäkuussa 2015 ja S2B maaliskuussa 2017. Instrumentti ottaa kuvia 13 näkyvän valon ja infrapunaa aallonpituusalueella, joista neljällä on 10 metrin, kuudella 20 metrin ja kolmella 60 metrin alueellinen erotuskyky. Kuvausalueen leveys on 290 km (European Space Agency 2023c).

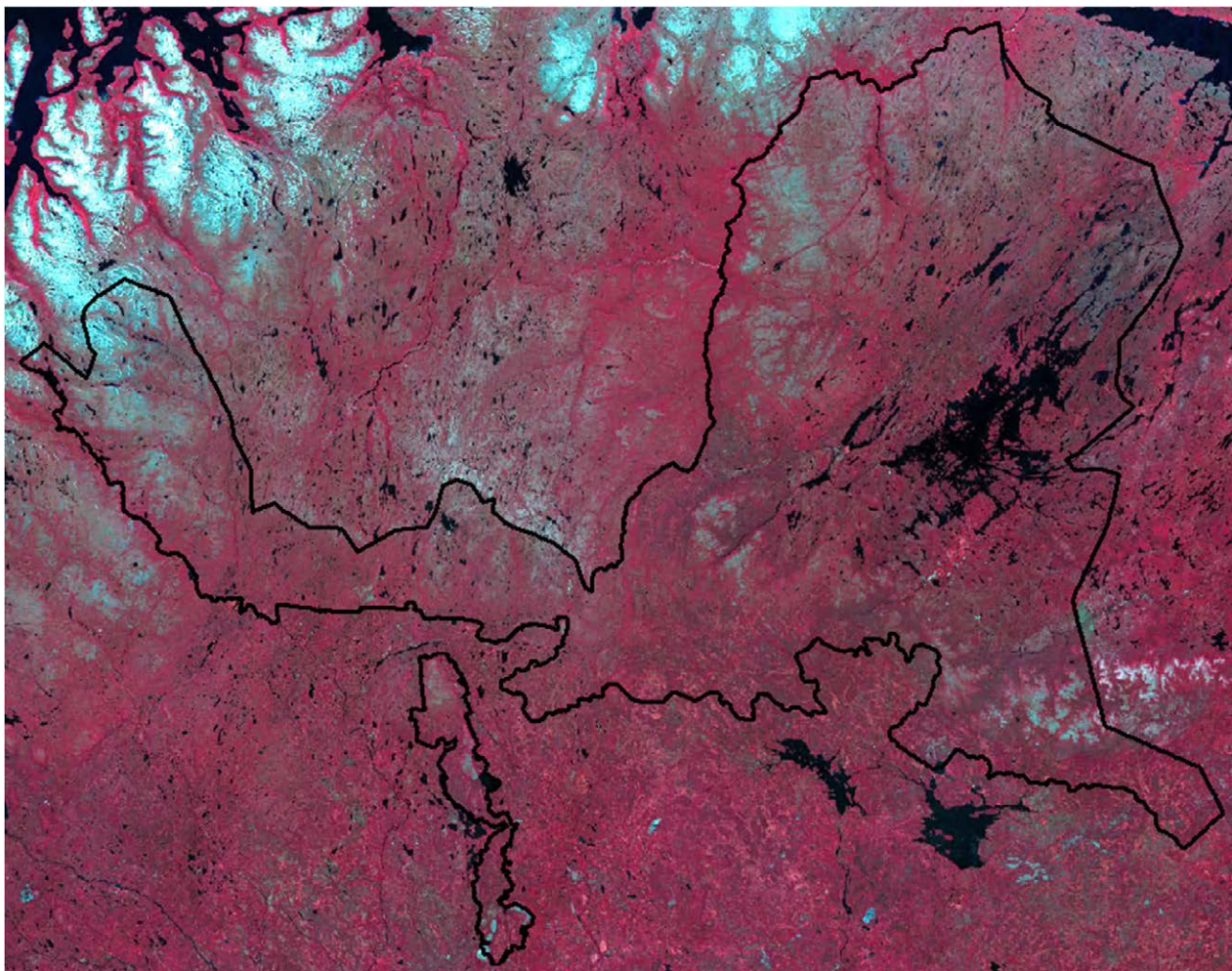
Joulukuusta 2021 lähtien Sentinel-1-kuvia (käytössä yksi satelliitti S1A) on saatavilla Ylä-Lapin alueelta 14–22 kuvaa kuukaudessa. Sentinel-2-kuvia (käytössä kaksi satelliittia S2A ja S2B) on saatavilla 18 kuvaa kuukaudessa. Saatavilla olevat kuvamäärät riippuvat käytettävissä olevista satelliiteista, näiden kuvausmoodeista, satelliittien rikkoutumisista sekä uusien käyttöönotosta. Sentinel-1C-satelliitin laukaisu tapahtuu näillä näkymin maaliskuussa 2024 ja Sentinel-2C-satelliitin 2024 alkupuolella.

2.1.1.1 Sentinel-2-reflektanssimosaiikki

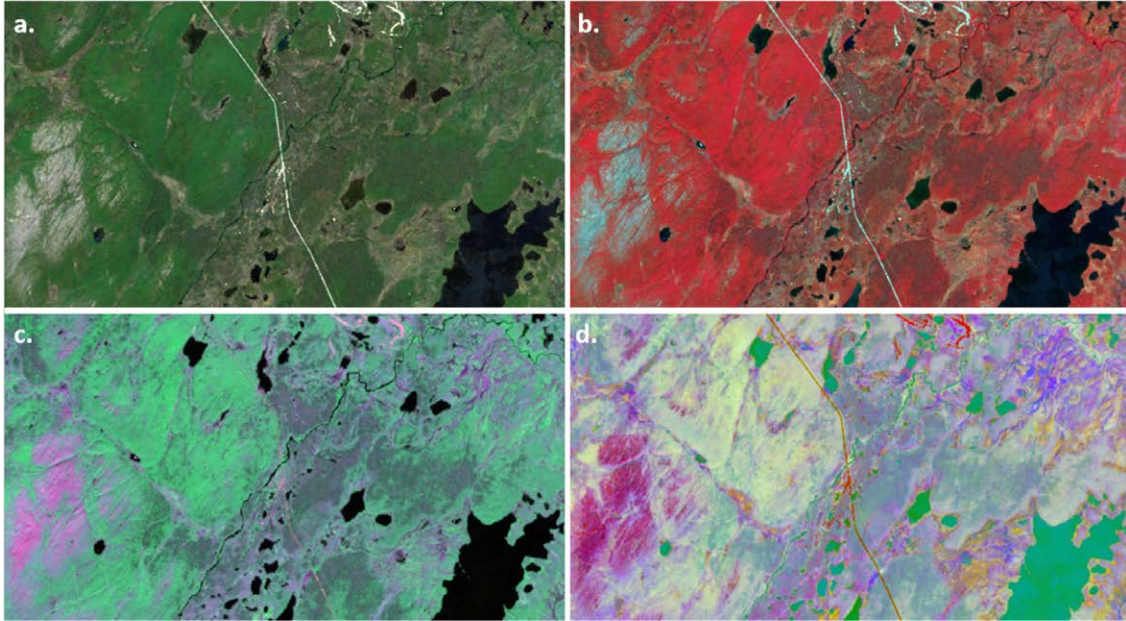
Hankkeessa käytetty Sentinel-2-reflektanssimosaiikki on tehty 1.7.–31.7.2021 otetuista Sentinel-2-kuvista Sentinel-2 Global Mosaic-palvelun ensimmäisellä versiolla. Reflektanssilla eli heijastussuhteella tarkoitetaan kohteesta lähtevän heijastuneen säteilyn määrän suhdetta kohteeseen tulevan säteilyn määrään, ja sen avulla saadaan tietoa maaston eri kohteiden ominaisuuksista. Mosaiikin kuvapikselin arvo on maanpinnan reflektanssin estimaatti kerrottuna kertoimella 10 000. Valitun ajanjakson kuville on tehty ilmähäkorjaus Sen2cor-algoritmilla. Mosaiikin pikselin arvoksi valitaan ajanjakson kuvien pik-

seleistä se, joka poikkeaa vähiten muista. Lopuksi mosaiikin palaset yhdistetään kanavittaisiksi mosaiikeiksi, aukot täytetään naapuruston avulla ja tehdään koordinaattimuunnos suomalaiseseen koordinaatistoon (TM-35Fin, EPSG 3067) 10 metrin pikselikokoon (Suomen ympäristökeskus 2023a). Mosaiikit

on tehty näkyvän valon kanaville B02, B03, B04, "red-edge" -kanaville B05, B06, B07 sekä infrapuna-alueen kanaville B08, B11 ja B12. Kuvassa 2 on Ylä-Lapin reflektanssimosaiikki heinäkuulta 2021 ja kuvassa 3 tarkennus Muotkatuntureille käyttäen mosaiikin eri kanavia.



Kuva 2. Ylä-Lapin Sentinel-2-reflektanssimosaiikki heinäkuulta 2021. Väriyhdistelmä R: B08 Lähi-infrapuna, G: B04 Punainen, B: B03 Vihreä. Lähde: Sisältää muokattua Copernicus Sentinel-2-dataa, Syke (2023).



Kuva 3. Ylä-Lapin heinäkuun 2021 reflektanssimosaikin eri kanavayhdistelmiä värikuvina Muotkatuntureilta (kuvan keskellä Peltojoen ja Kaamanen–Karigasniemi-tien yhtymäkohta). Väriyhdistelmät a. tosivärikuva (R: B04 Punainen, G: B03 Vihreä, B: B02 Sininen), b. perinteinen väärivärikuva (R: B08 Lähi-infrapuna, G: B04 Punainen, B: B03 Vihreä), c. väärivärikuva, jossa kaikki kanavat infrapuna-alueelta (R: B12 Keski-infrapuna, G: B08 Lähi-infrapuna, B: B11 Keski-infrapuna) ja d. kolme ensimmäistä pääkomponenttia. Lähde: Sisältää muokattua Copernicus Sentinel-2-dataa, Syke (2023).

2.1.1.2 Sentinel-2-kuvaindeksimosaiikit

Sentinel-2-kuvaindeksimosaiikkien tarkoituksena on korostaa jotain kohteen ominaisuutta, kuten kasvillisuuden tai kasvillisuuden kosteuden esiintymistä, ja nämä indeksit lasketaan yhdistelemällä Sentinel-2-kuvan kanavia. Ajanjakso on vuosittain huhtikuun alusta lokakuun loppuun: mosaiikit lasketaan kuukauden 15. ja viimeinen päivä ja kukin mosaiikki käsittää edellisen kuukauden kuvat. Lasketut kuvaindeksit ovat Normalized Difference Vegetation Index (NDVI, kasvillisuusindeksi), Tillage Index (NDTI, maanmuokkaus), Built-up index (NDBI, eloton alue), Snow Index (NDSI, lumi) ja Moisture Index (NDMI, kosteus). Tässä hankkeessa on käytetty seuraavia indeksejä:

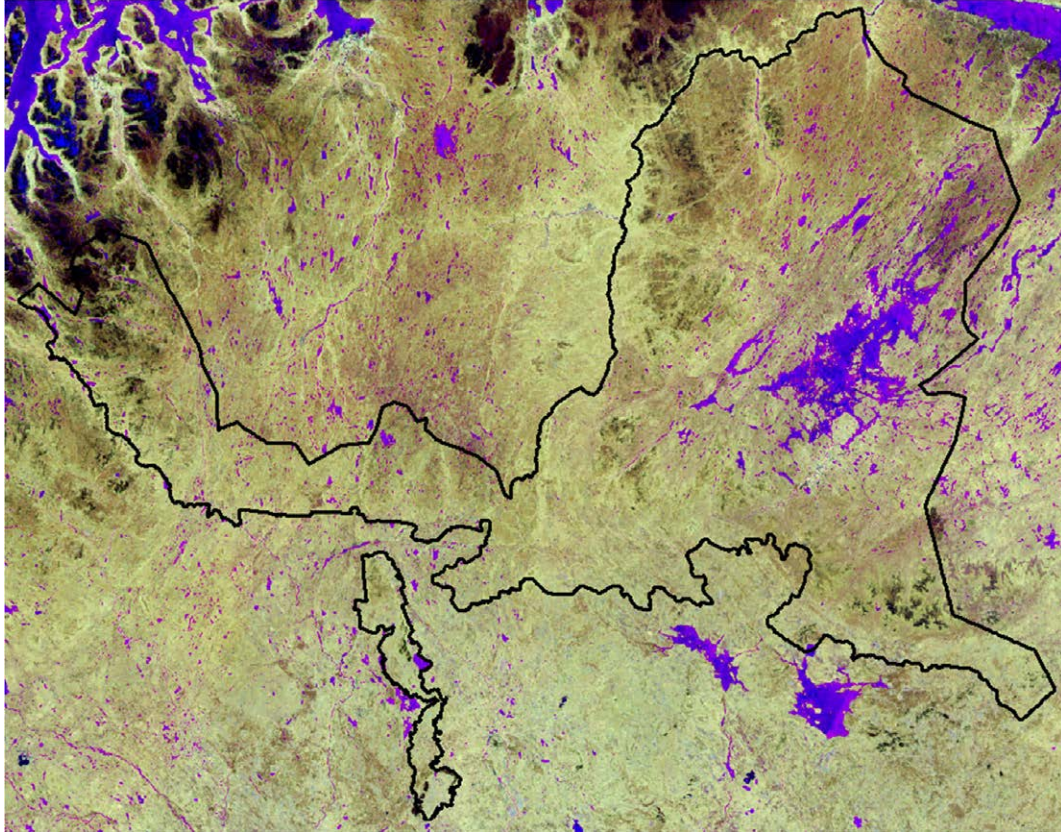
- $NDVI = (B8 - B4)/(B8 + B4)$
- $NDTI = (B11 - B12)/(B11 + B12)$
- $NDMI = (B8 - B11)/(B8 + B11)$

jossa B on Sentinel-2-kuvan kanavan ilmaisevän ulkopuolinen reflektanssi. Indeksit on skaalattu 8-bittiselle lukualueelle (0,...,255) li-

säämällä indeksin arvoon vakio 1 ja kertomalla kertoimella 100.

Mosaikointi perustuu ajanjakson maksimi-NDVI-arvoon, eli mosaiikin pikselin indeksiarvot valitaan siitä kuvasta, jolla NDVI-arvo on kaikkein suurin. Prosessoinnin yhteydessä mosaiikit muunnetaan Suomen koordinaatistoon (TM35Fin, EPSG 3067) 10 metrin pikselikokoon. Mosaiikkeja on tuotettu 13 mosaiikkia kasvukaudessa vuodesta 2016 lähtien (Suomen ympäristökeskus 2023b).

Mosaiikkien eräs ongelmista on pilvien aiheuttamat aukot. Suomi on varsin pilvinen alue, joten ajoittain saattaa käydä niin, että joltain kohdalta ei saada kuukauden aikana lainkaan pilvetöntä kuvaa. Tämän vuoksi kuvaindeksimosaiikeista on laskettu vuosittaisia maksimi- ja mediaanimosaiikkeja sekä kunkin kuukausimosaiikin osalta vuosien 2016–2022 maksimi- ja mediaanimosaiikit. Kuvassa 4 on Ylä-Lapin kuvaindeksimosaiikki, joka koostuu vuosien 2016–2022 heinäkuun NDTI-, NDVI- ja NDMI-mosaiikkien mediaanimosaiikeista.

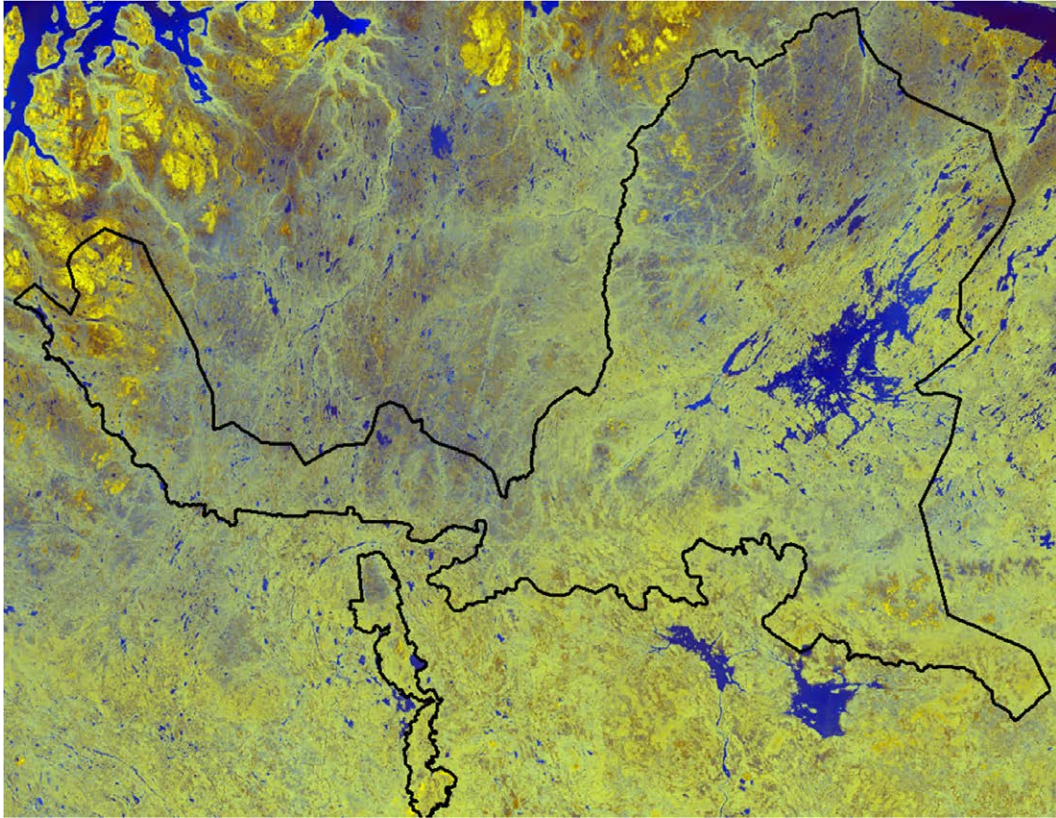


Kuva 4. Ylä-Lapin kuvaindeksimosaiikki. Väriyhdistelmä R: NDTI, G: NDVI, B: NDMI. Indeksimosaiikit ovat vuosien 2016–2022 heinäkuun mosaiikkien mediaanimosaiikkeja. Lähde: sisältää muokattua Copernicus Sentinel-2-dataa, Syke (2023).

2.1.1.3 Sentinel-1-takaisinsironta-mosaiikki

Sentinel-1 Global Backscatter Model -satelliittikuvamosaiikin (Bauer-Marschallinger ym. 2021) on tehnyt Wienin yliopiston Kaukokartoitusryhmä Euroopan avaruusjärjestön rahoituksella. SIGBM-mosaiikki perustuu Sentinel-1A- ja Sentinel-1B-kaukokartoitussatelliittien tutkainstrumenttien aikavälillä 1.1.2016–31.12.2017 ottamiin kuviin. Kuvien kuvausmoodina on ollut Interferometric Wide-swath (IW) ja käytettyjen kuvien prosessointitasona GRDH (Ground-Range Detected High Resolution). Tuloksena on maapallon maalueiden VV- ja VH-polarisaatioiden takaisinsirontan keskiarvo 10 metrin pikselikoossa ja radiometrisesti normalisoituna 38 asteen tuloalmaan.

Mosaiikin palaset on yhdistetty, suoritettu koordinaatistomuunnos TM35FIN-koordinaatistoon (EPSG 3067) käyttäen 10 metrin pikselikokoa ja tulos tallennettu 3-kanavaiseksi kuvaksi, jonka kanavat ovat 1: VV-polarisaation takaisinsironta, 2: VH-polarisaation takaisinsironta ja 3: polarisaatioiden suhde VV/VH (Suomen ympäristökeskus 2023c). Kuvasa 5 on Ylä-Lapin Sentinel-1-takaisinsironta-mosaiikki.



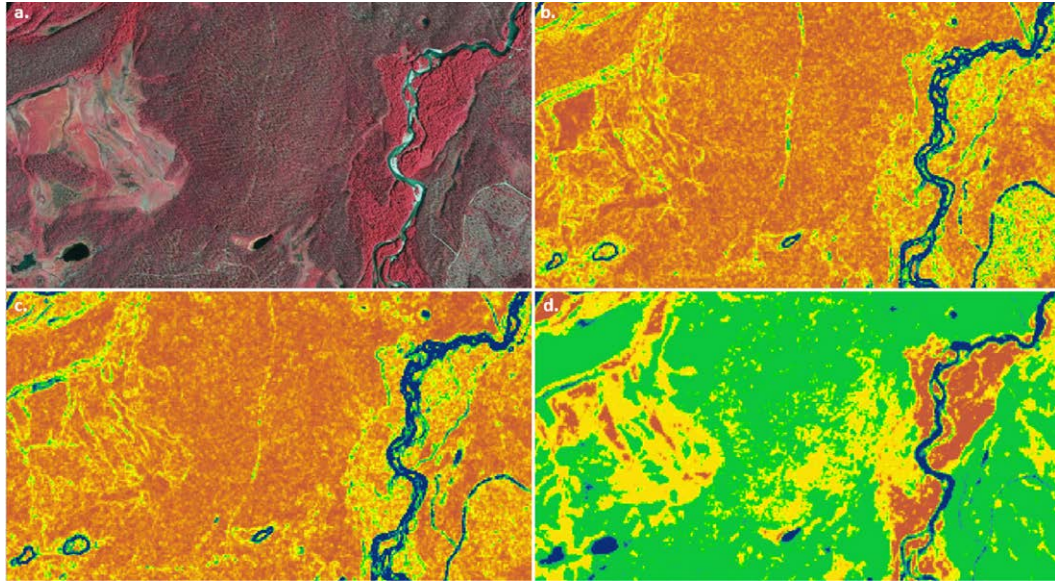
Kuva 5. Ylä-Lapin Sentinel-1-takaisinsirontamosaiikki. Värinyhdistelmä R: VV-polarisaation takaisinsironta, G: VH-polarisaatio, B: VV/VH-suhde. Lähde: sisältää muokattua Copernicus Sentinel-1- ja Sentinel-2-dataa, Syke, TU Wien (2023).

2.1.2 VHR-satelliittikuvat

Very High Resolution (VHR) -satelliittikuvilla tarkoitetaan satelliittikuvia, joiden alueellinen erotuskyky on alle 10 metriä. Syke saa käyttöönsä Euroopan unionin Copernicus-ohjelman myötä noin kolmen vuoden välein VHR-kuvapeiton, joka kattaa Suomen alueen. Kuvapeittoihin on käytetty eri kaupallisten toimijoiden ottamia kuvia, joilla mitatut aallonpituudet ovat tyypillisesti sininen, vihreä, punainen ja lähi-infra ja alueellinen erotuskyky 2 tai 4 metriä. Kuvapeittojen tavoitevuodet ovat 2021 (Optical VHR coverage over Europe VHR_IMAGE_2021, European Space Agency 2023d) ja 2018 (Optical Very High Resolution coverage over Europe VHR_IMAGE_2018, European Space Agency 2023e).

Tässä hankkeessa VHR-kuvia on käytetty määrittämään vesipinnan laajuutta tarkemmin kuin olisi mahdollista Sentinel-2-kuvilta sekä kuvaamaan kosteuden ja kasvillisuuden paikallisvaihtelua (kuva 6). Käytössä on ollut VHR-kuvia seuraavista kaukokartoitussatelliiteista (suluissa kuvien ajankohta: kuukausi ja vuosi)

- Deimos (07/2021)
- Geoeye (07/2021)
- Planet (07-08/2018)
- Pleiades-1A/-1B (06-07/2020, 07-08/2021)
- Spot-6 (07/2018, 06-07/2020, 06-07/2021)
- Spot-7 (07/2018, 06-08/2020, 06-08/2021)
- Worldview-2 (07/2021).



Kuva 6. Ilmakuva ja VHR-kuvista arvioidut kasvillisuuden ja kosteuden paikallisvaihtelu: a. MML:n ilmakuva, b. kasvillisuuden paikallisvaihtelu, c. kosteuden paikallisvaihtelu ja d. vesipinnan todennäköisyys. Väreissä punainen on pienin arvo, sitten keltainen ja vihreä ja sininen suurin. Alue on Ivalon lentokentän lähellä, Kaitajänkä vasemmalla, Tolosjoki oikealla. Lähde: sisältää muokattua Copernicus Sentinel-2-dataa, Syke (2023), Maanmittauslaitos.

NDVI on laskettu kuten Sentinel-2-kuva-indeksimosaiikkien tapauksessa. NDWI-vesiindeksin kaava on

- $NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$.

NDWI-indeksi saa suuria arvoja vihreän kanavan ollessa suurempi kuin lähi-infrakanava. Tyypillisesti tällaiset alueet ovat vesialueita. Kuvien prosessointi on suoritettu seuraavasti:

- 2 m kuvat on keskiarvoistettu 4 m pikseliin.
- Kuvien kanaville on tehty histogrammin sovitus Sentinel-2 heinäkuun 2021 reflektanssimosaiikin kanavien histogrammeihin. Vesialueet ja avoimet suot (määritetty Corine 2018 maanpeitetulkinnan avulla) on jätetty pois histogrammin sovituksesta.
- Kuvista on laskettu NDVI- ja NDWI-kuvat. Indeksit on skaalattu 8-bittiselle lukualueelle (0,...,255) lisäämällä indeksin arvoon vakio 1 ja kertomalla kertoimella 100.

- Kasvillisuuden paikallisvaihtelua kuvaava kuva saadaan, kun NDVI-kuvas- ta lasketaan 3 x 3 pikselin hajonta, joka keskiarvosuodatetaan 3 x 3 pikselin suodatusikkunalla.
- Kosteuden paikallisvaihtelua kuvaava kuva saadaan, kun NDWI-kuvasta lasketaan 3 x 3 pikselin hajonta, joka keskiarvosuodatetaan 3 x 3 pikselin suodatusikkunalla.
- Syntyneet NDVI- ja NDWI-kuvat mosaikoidaan suurimman arvon mukaan.
- Mosaiikeille tehdään koordinaatistomuunnos TM35Fin-koordinaatistoon (EPSG 3067), lähimmän naapurin interpolointi, 10 m pikseli.

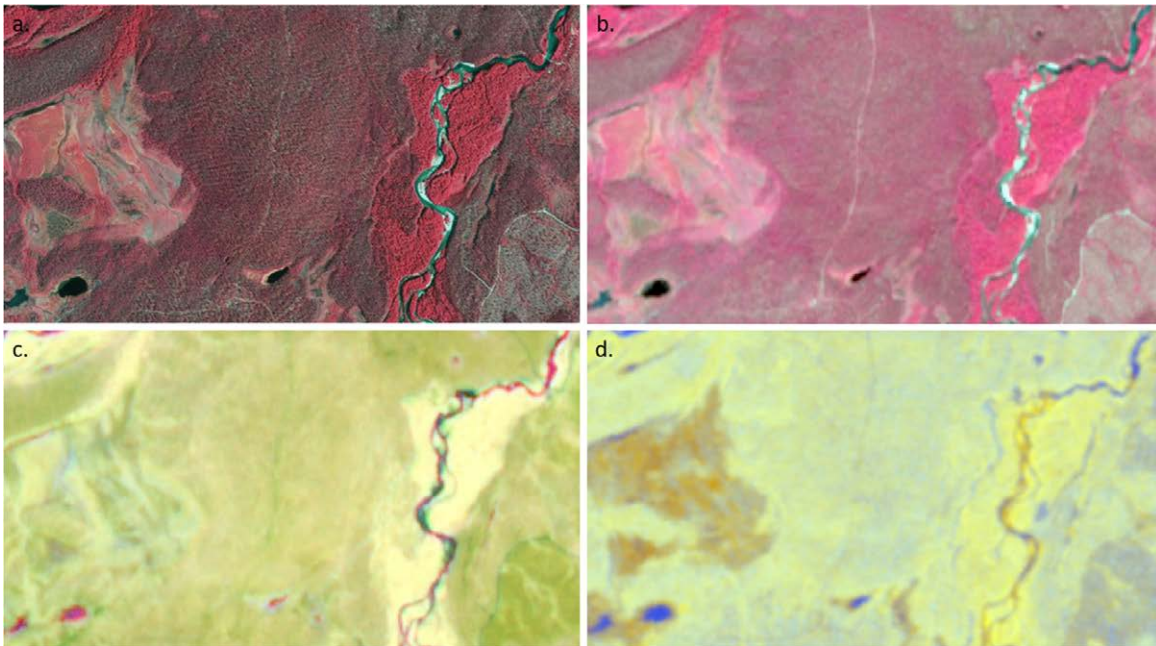
Vesipinnan todennäköisyys arvioidaan seuraavasti:

- Lasketaan NDWI yksittäisille kuville kuten edellä.
- Kuvan pikseleille arvioidaan veden esiintymisen todennäköisyys.

- Lasketaan vesialueiden (määritetty Ranta10-rantaviiva-aineiston avulla) keskiarvo (MN) ja hajonta (STD).
- Todennäköisyys (TN) määritetään em. keskiarvon MN ja hajonnan STD avulla
 - jos pikselin arvo $> MN - STD$ niin $TN = 100$
 - jos pikselin arvo $< MN - STD$ ja pikselin arvo $> MN - 2 \times STD$ niin $TN = 90$
 - jos pikselin arvo $< MN - 2 \times STD$ ja pikselin arvo $> MN - 3 \times STD$ niin $tn = 80 \dots$ jne.
 - lopuksi kuvalle lasketaan 3×3 pikselin keskiarvo.
- Mosaikointi ja koordinaatistomuunnos eli kuvien prosessointi kuten edellä.

2.1.3 Ilmakuvat

Digitaaliset ilmakuvat on otettu vuodesta 2009 lähtien digitaalisella ilmakuvaukameeralla käyttäen neljää aallonpituusaluetta: sininen, vihreä, punainen ja lähi-infra. Osa kuvista otetaan keväällä ennen lehtien puhkeamista ja osa keskikesällä. Kuvien pikselikoko on parhaimmillaan 0,25 metriä. Maanmittauslaitos kuvaa osan Suomea vuosittain ja koko maan peitto saadaan nykyään kolmen vuoden välein (Maanmittauslaitos 2023a). Osa kuvista ottavat alan konsulttiyritykset ja osan MML omalla kuvauskalustollaan. Kuvassa 7 on vertailtu, miltä näyttävät MML:n ilmakuva sekä Sentinel-2-reflektanssi- ja kuvaindeksimosaiikit ja Sentinel-1-takaisinsiron-tamosaiikki.



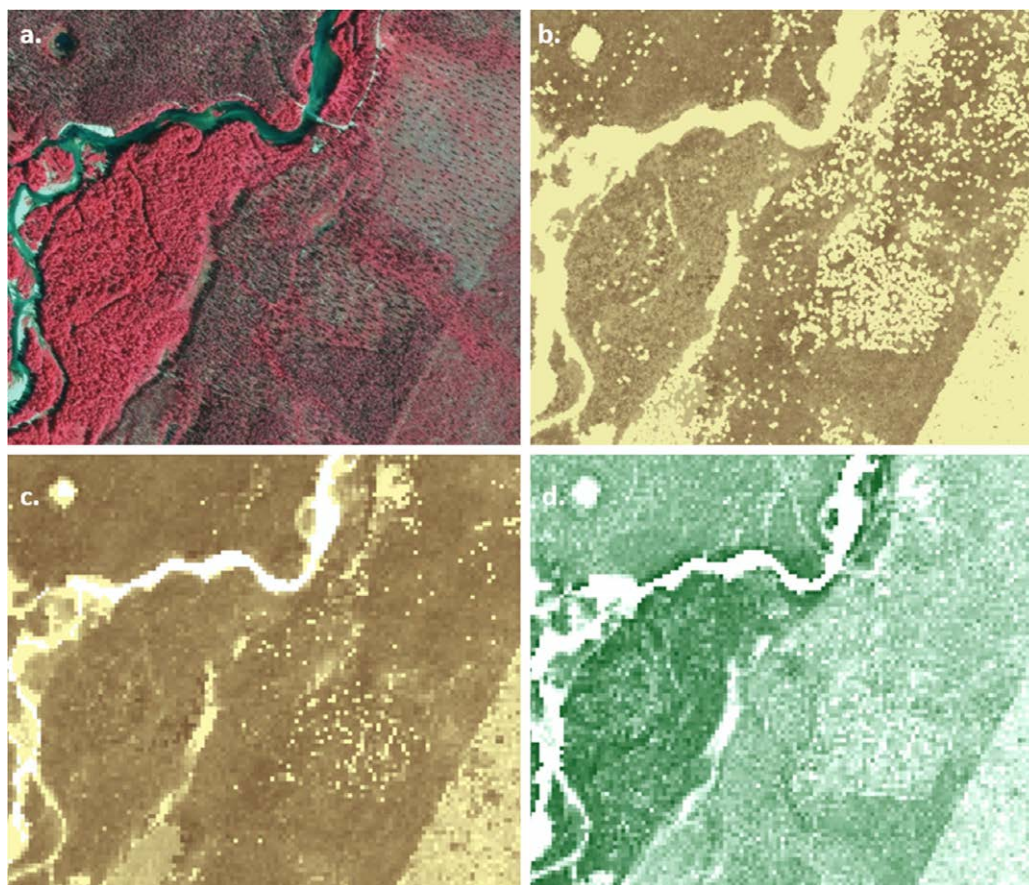
Kuva 7. Ilmakuva ja Sentinel-1/2-mosaikit: a. MML:n ilmakuva, b. Sentinel-2-reflektanssimosaikki, c. Sentinel-2-kuvaindeksimosaiikki (NDTI, NDVI, NDMI), ja d. Sentinel-1-takaisinsiron-tamosaiikki. Alue on Ivalon lentokentän lähellä, Kaitajänkä vasemmalla, Tolosjoki oikealla. Lähde: sisältää muokattua Copernicus Sentinel-1- ja Sentinel-2-dataa, Syke, TU Wien (2023), Maanmittauslaitos.

2.14 Laserkeilaus

Maanmittauslaitos on tuottanut laserkeilausaineistoa vuodesta 2008 lähtien. Vuosina 2008–2019 aineiston pistetiheys on ollut 0,5 pistettä/m² (Maanmittauslaitos 2023b) ja vuodesta 2020 lähtien pääasiassa 5 pistettä/m² (Maanmittauslaitos 2023c). Maanmittauslaitos luokittelee pistepilven osin automaattisesti, osin manuaalisesti eri luokkiin, kuten maanpinta tai kasvillisuus. Korkeustarkkuuden keskivirhe aineistossa 0,5 pistettä/m² on enintään 15 cm ja tasotarkkuuden keskivirhe enintään 60 cm yksiselitteisillä kohteilla. Vastaavat luvut 5 pistettä/m² -aineistossa ovat 10 cm ja 45 cm. Pistepilvestä voidaan tuottaa tarkkaa ja luotettavaa tietoa kasvipeitteen ominaisuuksista, kuten kasvuston (puusto) pituudesta ja tiheydestä (latvuspeittävyys).

Suomen ympäristökeskuksessa on laskettu 1. valtakunnallisen laserkeilauksen (pistetiheys keskimäärin 0,5 neliometrillä) pistepilvestä koko Suomen kattavat tietotuotteet kasvillisuuden pituudesta (maksimi, keskiarvo ja hajonta) ja latvuspeittävyydestä 2 m tai 8 m hilassa. Puuston pituus on tallennettu desimetreinä käyttäen 8-bittistä lukualuetta (0,...,255), jolloin puuston pituuden ollessa yli 25 m pikselin arvoksi tulee 255. Kuvassa 8 on MML:n ilmakeku ja samalta alueelta laserkeilausdatasta lasketut kasvillisuuden korkeus (2 m ja 8 m hiloissa) sekä kasvillisuuden latvuspeitto (8 m hila).

Suomen Metsäkeskus tuottaa tietoa kasvillisuuden korkeudesta (pintamalli) 1 m hilassa (Metsäkeskus 2021). Tässä pintamallissa pis-



Kuva 8. Ilmakeku ja laserkeilausdata: a. MML:n ilmakeku, b. kasvillisuuden korkeus (2 m hila), c. kasvillisuuden maksimikorkeus (8 m) ja d. kasvillisuuden latvuspeitto (8 m). Tummempi väri tarkoittaa suurempaa arvoa. Ilmakeku, lähde: Maanmittauslaitos. Kasvillisuuden korkeus, lähde: Syke (perustuu Maanmittauslaitoksen aineistoon).

tepilveä on täydennetty virtuaalisten havaintojen avulla latvusten ympärillä, mikä saattaa johtaa joissain tilanteissa latvuston peittävyden yliarvioon. Toisaalta menetelmä tasaa eri keilausalueiden pulssitiheyden vaihteluista johtuvia eroja pintamallissa.

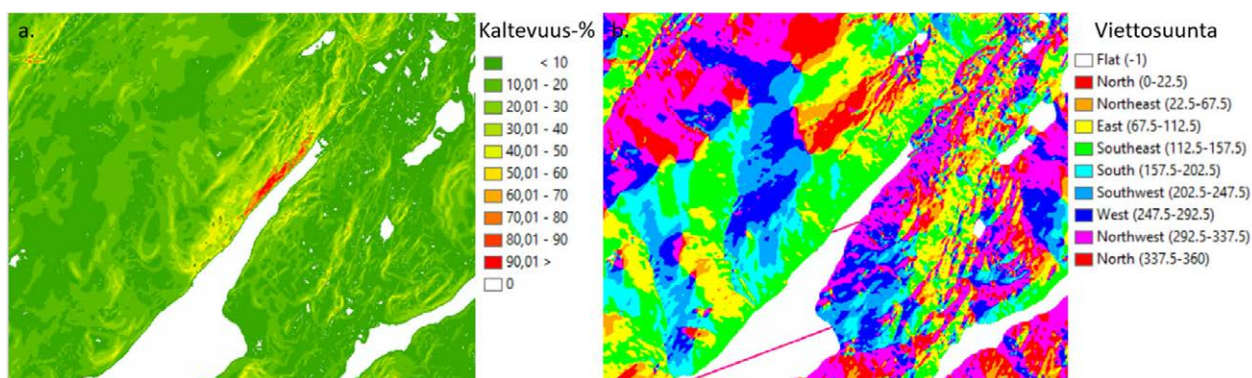
2.2 Muut paikkatietoaineistot

Muiden paikkatietoaineistojen osalta käytössä on ollut Metsähallituksen aiemmin tuottamia aineistoja, kuten Suojelualueiden kuviotietojärjestelmän (SAKTI) biotooppikuviotiedot ja tunturimaski sekä Maanmittauslaitoksen aineistoja, kuten maastomalli sekä Maastotietokannan eri teemoja. Analyseissa on käytetty tai tarkasteltu lisäksi useita muita aineistoja kuten suojelualueiden ja suojeluun varattujen alueiden rajaukset, metsäkasvillisuusvyöhykkeet, EU:n luonnonmaantieteellinen aluejako Suomessa, kuntarajat, Digiroad, Corine maanpeite 2018, tulvamallinnetut aineistot ja hankkeessa tehdyt digitoinnit.

2.2.1 Maanmittauslaitoksen maastomalli

Maanmittauslaitoksen korkeusmalli 10 m kuvaa maanpinnan korkeutta 10 m:n hilakoossa käyttäen korkeusjärjestelmää N2000 (Maanmittauslaitos 2023d). Korkeusmalli 10 m perustuu MML:n korkeusmalliin 2 m (Maanmittauslaitos 2023e) niillä alueilla, joilla se on saatavilla. Muualla käytetään Maastotietokannan päivityksen yhteydessä tarkennettuja korkeuskäyriä, digitoituja maanpintapistettä sekä sellaisia Maanmittauslaitoksen maastotietokannan kohteita, joilla on korkeustieto. Maanmittauslaitoksen korkeusmallista 10 m laskettu rinteen viettosuunta sekä rinteen kaltevuus prosentteina on esitetty kuvassa 9.

Maanmittauslaitoksen korkeusmalli 2 m kuvaa maanpinnan korkeutta 2 metrin hilakoossa käyttäen korkeusjärjestelmää N2000 (Maanmittauslaitos 2023e). Aineisto on tuotettu MML:n laserkeilausaineistosta. Maanmittauslaitoksen korkeusmallia 2 m on käytetty maaston pinnanmuotojen paikallisvaihtelun määrittämiseen laskemalla 5 x 5 ikkunassa korkeuden keskiarvo, hajonta sekä maksimin ja minimin erotus. Nämä on keskiarvoistettu 10 m pikseliin.



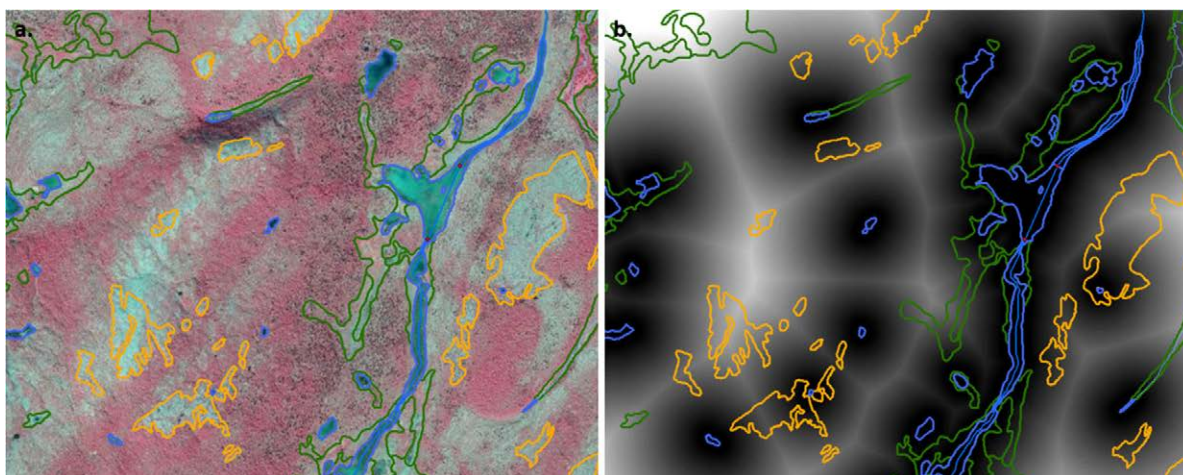
Kuva 9. Maanmittauslaitoksen korkeusmallista 10 m laskettu a. rinteen kaltevuus prosentteina sekä b. viettosuunta jaettuna pää- ja väli-ilmansuuntiin. Alue: Peltojärvi ja Pelto-tunturi. Lähde: Maanmittauslaitos, Syke.

2.2.2 Maanmittauslaitoksen maastotietokanta

Maanmittauslaitoksen tuottama ja ylläpitämä maastotietokanta on koko Suomen kattava maastoa kuvaava aineisto (Maanmittauslaitos 2023f). Aineiston keskeisimmät teemat ovat liikenneverkko, rakennukset ja rakenteet, hallintorajat, nimistö, maankäyttö, vedet ja korkeussuhteet (Maanmittauslaitos 2023g). Maastotietokantaa päivitetään jatkuvasti hyödyntäen ilmakuvia ja keilausaineistoja sekä muiden tiedontuottajien tuottamia aineistoja.

Tässä hankkeessa on hyödynnetty tietoja maastotietokannan kallioista, louhikoista ja hietikoista, soista ja soistumista sekä vakavesistä ja virtavesistä (kuva 10). Virtavesien varsilta on myös paikannettu potentiaalisten tulvavaikutteisten luontotyyppien esiintymiä. Näiden ositteiden yksiselitteinen erottaminen

kaukokartoitusaineistoista on vaikeaa, joten maastotietokannan luokkia on käytetty kaavamaisesti suoraan aineiston osittamiseen ja tulkinnat on tehty ositteittain. Maastotietokannan aluerajaukset ovat pääosin visuaalisia tulkintoja, joten niihinkin voi liittyä virhetulkintoja. Esimerkiksi soistumien alueella esiintyy myös suoluontotyypppejä. Tästä syystä soistumien alueelle tehtiin erillinen tulkinta, minkä tavoitteena oli erottaa selvät, esimerkiksi rimpipintaisten suot soistuneista kivennäismaista. Suon ja kivennäismaan erottaminen hankealueella voi niiden vaihteluväyhykkeellä olla vaikeaa johtuen ohutturpeisuudesta ja roudan vaikutuksesta, minkä vuoksi maastotietokannassa voi olla näillä alueilla virheitä. Maastotietokanta on kuitenkin edellä mainittujen ositteiden erottamiseen tarkin saatavissa oleva aineisto hankealueen kaltaiselta laajalta alueelta.



Kuva 10. Kuvassa a. on MML:n ilmakuva sekä sen päällä vektoreina Maastotietokannan kalliot (oranssit polygonit), suot ja soistumat (vihreä) sekä vedet (sininen), ja kuvassa b. laskettu etäisyys veteen (mitä tummempi niin sitä pienempi etäisyys). Alue: Alempi Honkavuoma, Muotkatunturit. Ilmakuva (MML/WMTS) Lähde: Maanmittauslaitos. Maastotietokanta, Maanmittauslaitos 02/2023.

2.2.3 Metsähallituksen aineistot

Luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa (Pääkkö ym. 2018) tuotettiin tunturialueen raja-alue (Tunturialueet 2017; <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/tunturialueet>) eli niin sanottu tunturimaski. Tässä hankkeessa tunturimaski ei sellaisenaan ollut käyttökelpoinen, sillä sen ulkopuolelle jäi osa tunturikoivikoista. Siksi tulkintaa varten tunturimaskista tuotettiin hieman laajennettu versio eli tunturiluontotyyppien maski. Tunturiluontotyyppien maskiä tulkitaan vain tunturiluontotyyppien maskin alueelle. Sen avulla voidaan esimerkiksi erottaa tunturikoivikot muista koivikoista. Samoin lumenviipymäistä inventointiluokkaa 271 (tuntureiden sammalpinna) voi esiintyä vain tunturiluontotyyppien maskin alueella. Myös muut tunturiluontotyyppit voivat esiintyä vain tunturiluontotyyppien maskin alueella. Luonnonmetsien edustavuuden määrittelyssä hyödynnettiin SAKTtiin tallennettuja tietoja hankealueella toteutetuista metsätaloustoimenpiteistä.

Hankkeessa tuotettiin myös männulle ja kuuselle pohjoisrajamaskit, joita käytettiin apuna havupuu- ja lehtipuuvaltaisten luontotyyppien sijainnin määrittelyssä.

2.2.4 Tulvavaikutteiset alueet

Suomen ympäristökeskuksessa on kehitetty Potentiaaliset tulvametsät ja metsäluhdat (Potut) -hankkeessa (<https://www.syke.fi/hankkeet/potut>) uusi, valuma-alueittainen tulvakartoitusmenetelmä, mikä mahdollistaa tulvimiselle alttiiden alueiden mallintamisen koko Suomen alueelle. Siinä hyödynnetään pintavaluntamallinnusta 4 m:n hilassa 3. jakovaiheen valuma-alueittain. Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitushanketta varten uusi, valuma-alueittainen tulvakartta mallinnettiin Kevojoen valuma-alueelta (liite 1). Mallin lähtötietoina ovat:

- Virtaamat ja järvien vedenkorkeudet Syken Vesistömallijärjestelmästä tilastollisesti kerran 20 vuodessa toistuvalla tulvalle

- Valittu vakiosadanta (75 mm/vrk)
- Valtakunnallinen erittäin tarkkanerotuskyvyn (2 m) maanpeiteaineisto (Suomen ympäristökeskus 2023d) Virtausreittikorjattu korkeusmalli (julkaistaan loppuvuodesta 2023).

Tulva-aineiston tietosisältönä on tulvien peittämien alueiden tulvaveden syvyys. Tätä aineistoa testattiin tulvavaikutteisten luontotyyppien tunnistamisessa Kevojoen valuma-alueella.

2.3 Maastomittaukset

Hankkeessa kerättiin luontotyypeistä maastotietoa koneoppimismallien opetukseen ja validointiin. Tämän lisäksi maastotietoa kerättiin sellaisista luontotyypeistä, joita ei voida esimerkiksi pienialaisuutensa vuoksi tulkitella satelliittikuvilta, kuten esimerkiksi lähteistä. Maastotietoa koneoppimismallien opetukseen ja validointiin kerättiin ympyräkoelaloilta (säde 10 m).

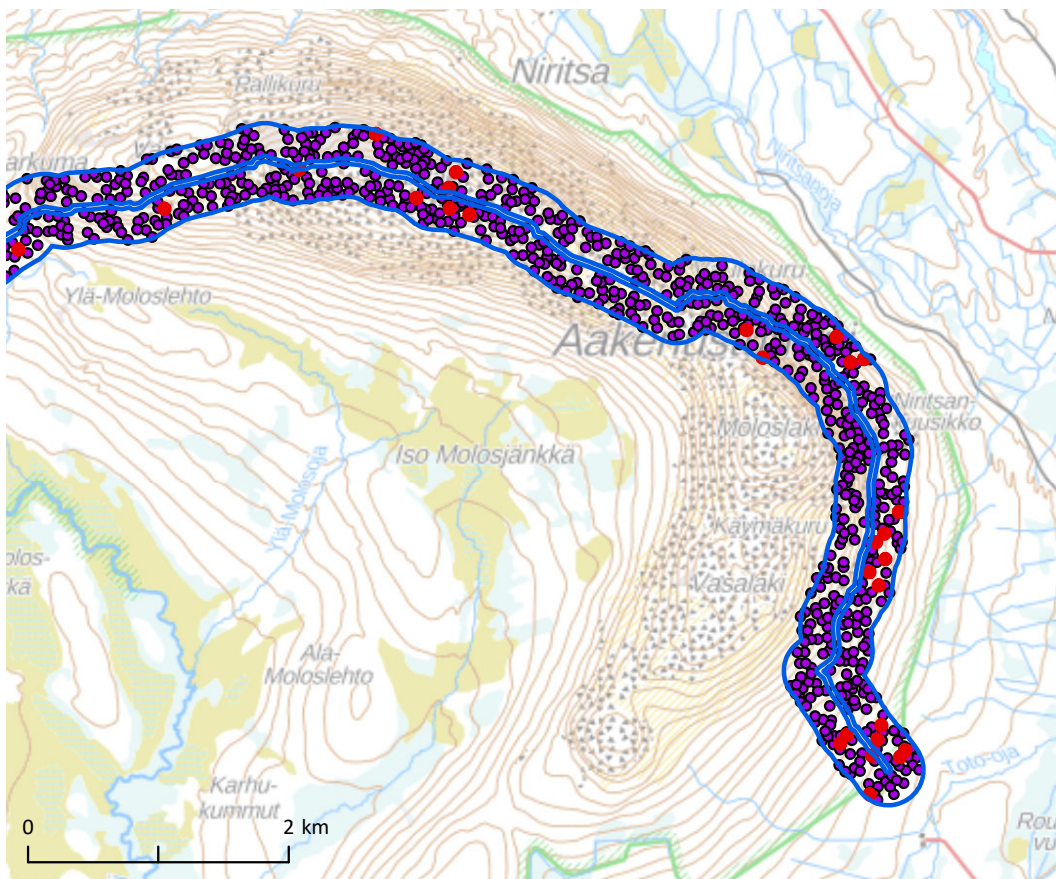
2.3.1 Maastokoealojen valinta

Maastokoealojen sijoittelussa ja valinnassa pyrittiin varmistamaan, että koealatieta kattaa koko sen kaukokartoitettavien luontotyyppien vaihtelun, jota kunkin kesän (2020–2022) maastotyöalueella esiintyy. Tässä käytettiin apuna ositettua otantaa ja koealojen optimaalista allokointia. Ositteet määriteltiin Sentinel-2-satelliittikuvamosaiikin ohjaamattoman luokittelun (KMEANS) avulla ja ositteiden sisäinen hajonta arvioitiin Sentinel-2-aikeasarjan maksimi NDVI-mosaiikin hajontana. Maastotiedon keruu keskitettiin maastoreittien tai jokien varsille, jotta koealalta toiselle siirtyminen olisi mahdollisimman nopeaa ja sujuvaa ja että siirtymät voitiin tarvittaessa toteuttaa myös mönkijällä tai veneellä. Koealojen sijainti maastossa määritettiin joko etukäteen ennen maastotöiden aloitusta tai maastotöiden aikana kohteen luontotyyppin perusteella.

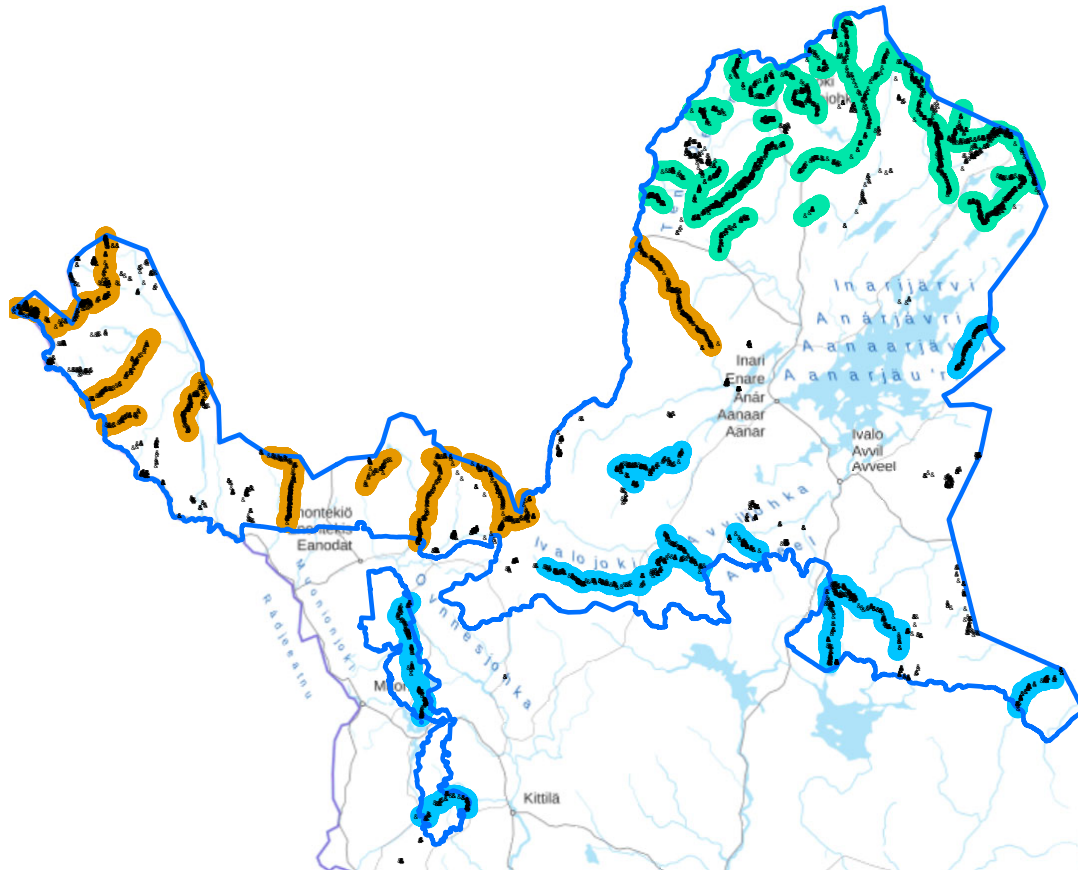
Maastokoealojen sijainnit tuotettiin arpomalla maastoreittien ympäristöön (250 metrin puskurivyöhyke ja vähintään 20 m:n etäisyys reitistä) satunnaisesti suuri määrä potentiaalisia koealoja, joista valittiin maastossa mitattavat koealat systemaattisesti siten, että haluttu määrä koealoja sijaitsi kussakin ositteessa (kuva 11). Valinnassa huomioitiin myös koealan välittömän lähiympäristön vaihtelu siten, että koeala ja ympäristö olisi homogeeninen. Viimeisen maastotyökesän (2022) koealojen allokoinnissa huomioitiin koko projektialueen KMEANS-luokituksen luokkien jakauma ja hajonnat, jotta projektialueen koko vaihtelu saatiin katettua. Koealatietaa ke-

rättiin myös maastoreittien ulkopuolelta, erityisesti soilta ja harvinaisilta luontotyypeiltä. Yhteensä maastotietoa kerättiin hankkeessa kolmen maastokauden (2020–2022) aikana 4 500 maastokoealalta (kuva 12). Yli puolet maastokoealoista sijoittui kuiville, kuivahkoille ja tuoreille kankaille.

Maastosta kerättyä opetusaineistoa täydennettiin lisäksi ilmakuvilta tulkitulla tiedolla alueilta, joissa oli merkittävää epävarmuutta inventointiluokan tulkintamallin luotettavuuden perusteella (confidence) arvioituna. Koealatietaa täydennettiin ilmakuvilta soilta ja Käsivarren suur tunturien alueelta.



Kuva 11. Maastoreitti Aakenustunturilla; violetit pisteet potentiaalisia ja punaiset maasto-otokseen valittuja koealoja. Lähde: Syke. Taustakartta (MML/WMTS): Maanmittauslaitos.



Kuva 12. Maastoreitit kesällä 2020 (vihreä), 2021 (oranssi) ja 2022 (sininen) sekä kaikki mitatut koealat (musta), hankealueen ulkoraja sinisellä. Lähde: Syke, MH. Taustakartta (MML/WMTS): Maanmittauslaitos.

2.3.2 Maastossa kerättävä ominaisuustieto

Maastokoealoilta kerätyt ominaisuustiedot vastaavat pääosin Metsähallituksen SAKTI-kuviotietojärjestelmän ominaisuustietoja (Metsähallitus 2020). Tässä hankkeessa kerätty maastotietosisältö on tarkemmin listattu liitteessä 2. Koealoilta kerättiin tieto tunturikoivikon uusiutumiskyvystä, jonka perusteella voidaan arvioida tunturikoivikon tilaa (edustavuus ja luonnontilaisuus) (liite 3). Lisäksi koealoilta kerättiin tieto jäkälätilasta, minkä avulla voitiin arvioida jäkäläisten luontotyyppien tilaa (liite 3). Jäkälät ja etenkin poronjäkälät (*Cladonia* spp.) ovat tyypillisiä pohjakerroksen lajeja kuivilla ja kuivahkoilla kankailla, ja niiden tila vaikuttaa jäkäläisten luontotyyppien tilan arviointiin (liite 3). Hankealueella poronjäkälä esiintyy etenkin karuilla tunturikankailla sekä kuivissa ja

kuivahkoissa tunturikoivikoissa ja luonnontiemetsissä. Koealoilta ja niiden lähiympäristöstä arvioitiin myös kasvillisuuden vaihtelevuutta (liite 2). Runsaasti vaihtelevuutta sisältävien eli heterogeenisten koealojen käyttöä tulkintojen opetusaineistona testattiin ensimmäisen maastokauden jälkeen, jolloin todettiin hyvin heterogeenisten, useita inventointiluokkia sisältävien koealojen heikko soveltuvuus tulkintamallin opetukseen.

Tärkeimmät, jokaiselta koealalta kerätyt tiedot olivat kivennäismaiden kasvillisuutta ja soiden vedenpinnan tasoa kuvaava inventointiluokka (Metsähallitus 2020 ja liite 4) sekä Natura-tyyppi ja Natura-tyypin edustavuus ja luonnontilaisuus. Natura-tyypit on hankkeessa määritelty julkaisussa Natura 2000 -luontotyyppiopas (Airaksinen & Kart-

tunen 2001) esitettyjen kuvausten mukaisesti, ja työssä on hyödynnetty myös edellä mainittua opasta tarkentavaa Natura 2000 -luontotyyppien inventointiohjetta (Suomen ympäristökeskus & Metsähallitus 2020). Myös Natura-tyyppien edustavuuden heikentymisen eli poikkeaman aiheuttanut tekijä arvioitiin. Lisämääreiden avulla täydennettiin inventointiluokan sisältämää tietoa koealan ominaisuuksista. Yleisiä lisämääreellä kuvattavia koealan ominaisuuksia olivat kivisyys, soistuneisuus, roudan vaikutus ja lumen viipyminen. Puusto- ja pensastulkintaa varten kerättiin tiedot koealan puulajivaltaisuudesta sekä pensaslajistosta ja peittävydestä. Tunturikoivikoissa laskettiin koealoilta tunturikoivuvesojen ja -taimien lukumäärä, joiden perusteella voitiin arvioida tunturikoivikon uusiutumiskyky. Jäkäläisillä kasvillisuustyypeillä mitattiin/arvioitiin jäkälikön keskipituusluokka jäkäläpinnoilta eli niiltä pinnoilta, joilla poronjäkälät (*Cladonia* spp.) olivat vallitsevia. Mikäli poronjäkälät olivat korvautuneet tinajäkälillä, tieto kirjattiin ylös. Pääsääntöisesti koealalta pyrittiin määrittämään myös luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa (Kontula & Rautio 2018) käytetty kasvillisuustyypin (jatkossa LuTU-tyyppi).

2.3.3 Maastotyö

Hankealue on laaja ja monin paikoin vaikeakulkuinen. Maastotöiden sujuvoittamiseksi koealaverkosto sijoitettiin siten, että siirtymissä oli mahdollista tukeutua polkuihin, uriin ja jokiin. Koealareittien pituudet vaihtelivat muutaman kilometrin pituisista aina 70 kilometrin pituisiin reitteihin, ja maastotöitä tehtiin usein työviikon mittaisissa jaksoissa. Vaikeakulkuisille, laajoille suoalueille ja kalkkivaikutteisille, pienialaisten luontotyyppien alueille tehtiin erillisiä maastokartoituksia. Patikoinnin lisäksi maastotöissä liikuttiin mönkijällä, maastopyörällä ja jokiveneellä. Majoittuminen tapahtui pääosin teltoissa ja mahdollisuuksien mukaan huoltotuissa.

Maastotiedot kerättiin älypuhelimien asennetulla Esriin Collector-sovelluksella (myöhemmin Field Maps, ESRI Inc.), johon oli ladattu sähköinen maastotietolomake sekä maastokartta ja muita maastotyössä tarvittavia paikkatietoaineistoja. Koealalle suunnitettiin GPS-paikantimen avulla ja tiedot koealalta pyrittiin keräämään mahdollisimman keskeltä koealaa (ympyränmuotoinen koeala, jonka säde on 10 metriä). Koealat pyrittiin etukäteen valitsemaan siten, että kasvillisuus on mahdollisimman homogeenista 20 metrin säteellä koealan keskipisteestä eli myös 10 metrin säteisen koealan välittömässä lähiympäristössä. Tällä pyrittiin vähentämään GPS-virheestä johtuvaa virhettä koealan ominaisuuksien arvioinnissa. Koealojen sijaintia ei merkitty maastoon.

3 Menetelmät

3.1 Random forest -luokittelu

Luontotyyppitietoa tuotettiin yhdistämällä kaukokartoitus- ja paikkatiedot sekä maastotieto koneoppimisalgoritmien avulla. Työssä käytettiin pääasiassa Random forest -koneoppimismenetelmää, jossa iso määrä päätospuita (tässä 100 kpl) tekee ennusteen lopputuloksesta itsenäisesti ja lopullinen ennuste tehdään yhdistämällä kaikkien puiden ennusteet (enemmistöäänestys). Jokainen päätöspuu rakennetaan käyttäen satunnaisesti valittuja näytteitä (maastokoealoja) ja satunnaisesti valittuja piirteitä alkuperäisestä datasta, mikä vähentää tulkintamallin ylioppimista ja parantaa ennusteen luotettavuutta (ns. "Bagging"-menetelmä). Samalla syntyy arvio ennusteen luotettavuudesta (confidence), joka kertoo mikä osuus (0–1) kaikista päätöspuista ennusti ko. lopputulosta; mitä suurempi osuus sitä luotettavampi lopputulos. Tieto luotettavuudesta saadaan laskentayksiköittäin paikkatietona, joka on tässä 10 x 10 m:n pikseli. Paikkatietoa ennusteen luotettavuudesta on hyödynnetty tässä hankkeessa maasto-otoksen täydentämisessä ja tulosten jälkiprosessoinnissa ja se on myös yksi hankkeen lopputuloksista.

Tulkintamallit on toteutettu Python-ohjelmointikielellä sklearn-kirjastoa ja sen satunnaismetsätoteutusta (RandomForestClassifier) käyttäen. Päätöspuiden hyödyllisyys perustuu osittain optimoitavien hyperparametrien pieneen määrään. Päätöspuiden hyperparametrien optimointia tehtiin käyttäen sklearnin satunnaishakua (RandomizedSearchCV) sekä ruudukkohakua (GridSearchCV). Useimmissa tilanteissa laskennan vaativuus ja mallin ennustearvo huomioon ottaen päädyttiin käyttämään oletusparametrejä, joissa päätöspuita on 100 kappaletta. Päätöspuun jakofunktiona käytettiin Gini-metriikkaa, eikä puun syvyydelle asetettu maksimiarvoa.

Hienostuneempaa mallin valintaa tehtiin myös TPOT-kirjastoa (Olson ym. 2016) käyttäen. TPOT (<http://epistasslab.github.io/tpot>) on AutoML-kirjasto, joka optimoi sekä piirteiden esikäsittelyvaiheita, mallin valintaa että mallien hyperparametreja geneettistä algoritmia käyttäen. Kirjaston algoritmi läpikäy kymmeniä tuhansia eri mallivaihtoehtoja optimoiden mallin kelpoisuutta johonkin metriikkaan nähden. Alustusvaiheessa käytetään satunnaisesti valittuja malliyhdistelmiä, joista kelpoimpien ominaisuudet valitaan seuraavalle optimointikierrökselle. Lopputuloksena saadaan optimoitu malli ja sen hyperparametrit, joita voidaan käyttää tulkinnassa. Osa tulkintamalleissa käytetyistä ohjelmakoodeista on avoimesti saatavilla osoitteessa <https://github.com/sykefi/point-eo>.

3.2 Segmentointi

Satelliittikuvatulkinnan lopputulokset ovat rastereita, joiden maastoresoluutio määräytyy lähtöaineistojen mukaan. Tässä hankkeessa yleisimmin käytetyn datan eli Sentinel-2 MSI -instrumentissa alueellinen erotuskyky on tarkimmillaan 10 metriä. Koska lopputulokset haluttiin käyttöön myös perinteisessä (vrt. SAKTI-järjestelmä) vektorimuodossa, hankkeessa luotiin tiedolle uusi geometria eli kuviot (kuva 13), jolle tulkinnan lopputulokset lasketaan. Geometria (kuviokartta) tuotettiin satelliittiaineiston segmentoinnin ja paikkatietojen avulla seuraavasti:

- Kuviot generoitiin segmentoimalla Sentinel-2-satelliittidata ERDAS IMAGINE -ohjelmistossa toteutetun FLS (Fuzzy Logic Segmentation) -algoritmin avulla. Menetelmässä satelliittikuvamosaiikki jaettiin kuvioihin eli segmentteihin pikselien spektristen ominaisuuksien ja naapuripikselien samankaltaisuuksien perusteella. Seg-

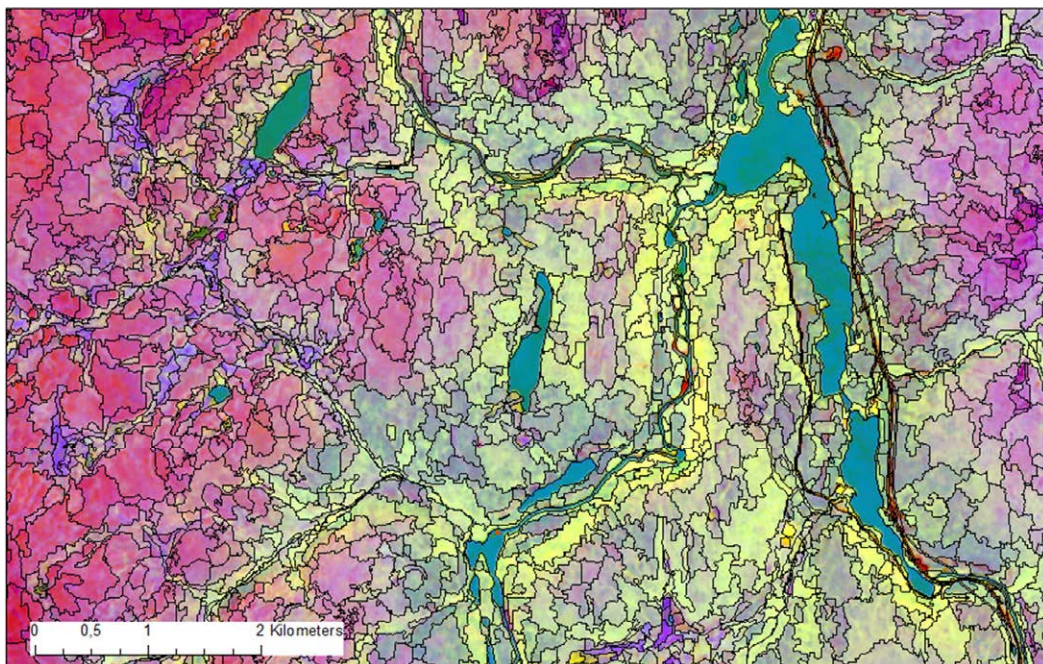
menttien minimikooksi asetettiin 0,45 ha ja keskimääräiseksi kooksi 22,4 ha. Samankaltaisuuden mittaamiseen asetettiin seuraavat suhteelliset painokertoimet: spektrinen tieto 0,8, tekstuuri 0,5, koko 0,5 ja muoto 0,4.

- Lähtödatoina tässä olivat
 - Sentinel-2 heinäkuu 2021 -reflektanssimosaiikista lasketut pääkomponentit (1, 2, 3, 5),
 - kasvukausien 2016–2020 kuukausittaisten NDVI mosaiikkien maksimi ja
 - heinäkuun 2021 reflektanssimosaiikista laskettu NDMI-indeksi.
- Segmentointiin pakotettiin mukaan laserkeilausaineistosta johdettu ja yleistetty puustoisuus (metsä, pensas ja avoin) erikseen soilla ja kivennäismailla.
- Lisäksi segmentointiin upotettiin maastotietokannan vesistöt eli järvet, aluemaiset joet ja viivamaiset joet 4 m leveiksi puskuroituina sekä tiet.
- Lopuksi aineistoon jääneet pienet polYGONIT (vesien lisäämisen ja hanke-

alueen leikkauksen yhteydessä syntyneet) poistettiin sulauttamalla ne naapurialueisiin.

Teema-aineistojen, kuten inventointiluokka ja Natura-tyyppi, valmistuttua segmenteille johdettiin ominaisuustiedot näistä aineistoista. Keskeisimmät ominaisuustiedot ovat hankkeessa tuotetut SAKTIn biotooppikuvioiden minimitiedot (Metsähallitus 2020). Lisäksi segmenteille johdettiin tiedot esimerkiksi tunturikoivikon uusiutumiskyvystä ja jäkälikköjen tilasta, joiden perusteella arvioitiin tunturikoivikkojen ja jäkäläisten luontotyyppien edustavuutta ja luonnontilaisuutta.

Segmentoinnin lähtöaineistona ei käytetty tämän hankkeen keskeisimpiä teema-aineistoja eli inventointiluokan tulkintaa tai Natura-tyypin tulkintaa. Tästä syystä segmenttien rajat eroavat paikoin jonkin verran tulkintojen tuloksista, mikä taas vaikuttaa segmenteille rastereilta johdettuihin ominaisuustietoihin. Segmentointi yleistää tulkintojen tuottamaa tietoa, mikä on usein tarpeellista, mutta tietyissä tilanteissa siitä saattaa aiheutua myös haittaa. Segmenttiaineiston kanssa kannat-



Kuva 13. Segmentit ja Sentinel-2 satelliittikuva (reflektanssimosaiikista lasketut pääkomponentit 1,2,3). Lähde: sisältää muokattua Copernicus Sentinel-2 -dataa, Syke 2023, Maanmittauslaitos.

taakin yleensä tarkastella myös sitä tarkempia rasteriaineistoja (esim. inventointiluokan tulkinta ja Natura-tyyppi).

3.3 Tulkintojen tarkkuuden arviointi

Mallien tarkkuuden arvioinnissa on käytetty yleisesti käytettyjä luokittelutarkkuutta kuvaavia arvoja: käyttäjän ja tuottajan tarkkuutta (precision, recall), F1-arvoa ja kokonaistarkkuutta (accuracy). Tarkkuusarvot perustuvat sekaannusmatriisiin (taulukko 1), jossa jokaisen havainnon ennusteen tulos voi olla luokakohtaisesti joku matriisin neljästä eri vaihtoehdosta.

Tässä luokka c on käsiteltävä luokka. Luokkaan kuuluvuuden positiivisuus ja negatiivisuus määritetään ”yksi vastaan muut” -menetelmällä, jossa käsiteltävä luokka (c) on positiivinen ja kaikki muut luokat (ei-c) yhdessä ovat negatiivinen vaihtoehto. Esimerkki: Luokitellaan havaintoja (pikseleitä) kolmeen luokkaan A, B ja C. Luokittelemme yhden pikselin luokkaan B, vaikka se on todellisuudessa luokkaa A. Voimme laskea lopputuloksen kullekin luokalle erikseen: Luokan A suhteen ennuste on väärä negatiivinen, luokan B suhteen väärä positiivinen ja luokan C suhteen tosi negatiivinen.

Luokittelutarkkuutta kuvaavat arvot voidaan laskea sekaannusmatriisin avulla. Kokonaistarkkuus (accuracy) saadaan ”oikeiden arvausten” (TP + TN) suhteessa kaikkien havaintojen lukumäärään

$$\text{kokonaistarkkuus} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

Kokonaistarkkuus on intuitiivinen, mutta vain harvoin hyödyllinen tunnusluku. Jos luokkajakauma on hyvin epätasainen, voi

myös heikkolaatuinen malli tuottaa korkeita kokonaistarkkuuslukuja vallitsevalle luokalle (ns. ”accuracy paradox”). Sekaannusmatriisista johdetut tuottajan tarkkuus (kutsutaan myös termeillä recall, herkkyys tai sensitiivisyys) sekä käyttäjän tarkkuus (precision) ottavat huomioon myös väärät positiiviset ja väärät negatiiviset ennusteet. Tuottajan tarkkuus kertoo todennäköisyyden sille, että todellisuudessa johonkin luokkaan kuuluvat havainnot luokitellaan kuuluvaksi tähän luokkaan. Käyttäjän tarkkuus puolestaan kertoo todennäköisyyden sille, että havainto kuuluu ennustettuun luokkaansa.

$$\text{tuottajan tarkkuus} = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$\text{käyttäjän tarkkuus} = \frac{TP}{TP + FP}$$

F1-arvo yhdistää nämä kaksi luokittelutarkkuutta kuvaavaa arvoa laskemalla niiden harmonisen keskiarvon.

Käyttäjän ja tuottajan tarkkuusluvut sekä niistä johdettu F1-arvo lasketaan erikseen jokaiselle luokalle. Jos halutaan arvioida mallin kokonaislaatua, voidaan luokittelutarkkuutta kuvaavia arvoja keskiarvottaa luokkien yli. Yksinkertainen vaihtoehto on painottaa jokaista luokkaa tasaisesti, korostaen täten pienempiä luokkia. Painotettu keskiarvo (weighted mean) taas painottaa jokaisen luokan luokittelutarkkuutta kuvaavia arvoja havaintojen lukumäärän perusteella, antaen enemmän merkitystä suuremmille luokille.

Tulkintojen tarkkuutta arvioitiin tilastollisten menetelmien lisäksi laadullisesti ns. look & feel -arvioinnin eli asiantuntija-arvioinnin avulla. Tämän arvioinnin tavoitteena oli havaita tulkinnoissa sellaisia poikkeamia, joiden havaitseminen tilastollisten menetelmien avulla on vaikeaa/mahdotonta.

Taulukko 1. Mallien tarkkuuden arvioinnissa käytetty sekaannusmatriisi.

Havainto/Ennuste	Ennustettu luokkaan c	Ennustettu muihin luokkiin
Todellisuudessa luokkaa c	Tosi positiivinen (TP)	Väärä negatiivinen (FN)
Todellisuudessa muuta luokkaa	Väärä positiivinen (FP)	Tosi negatiivinen (TN)

4 Teemojen tulkinnat ja tulkintojen tarkkuus

4.1 Luontotyypit

Tulkintamallien lähtöaineistoina testattiin ja otettiin käyttöön luvussa 2 kuvattuja kaukokartoitus- ja paikkatietoaineistoja. Sentinel 2 -reflektanssimosaiikin ja indeksiaikasarjojen esiprosessoinnissa käytettiin pääkomponenttianalyysiä, jonka avulla pitkien aikasarjojen ja lukuisten spektristen kanavien tietosisältö tiivistettiin muutamaaan pääkomponenttiin valitulla radiometrisellä erotuskyvyllä (8 bits/pikseli). Lisäksi sen avulla vähennettiin piirteiden välistä korrelaatiota sekä satelliittien eriaikaisten ylilentojen ja epätäydellisen pilvitulkinnan aiheuttamaa heterogeenisyyttä lähtödatasta.

Luokittelun kannalta vaikuttavien piirteiden arviointi ja valinta perustui luokittelutarkkuuksien (kokonaistarkkuus ja painotettu F1-arvo sekä permutation importance (permutaatiotärkeys)) -kuvaajien tarkasteluun.

Tiedon loppukäyttäjää tyydyttävän luontotyypitiedon tuotanto tavoitteena olevilla luontotyypitiedon luokituksilla ja käytettävissä olevilla lähtöaineistoilla ja menetelmillä oli haastavaa. Työ oli iteratiivinen prosessi, jossa eri mallien tuottamia luokituksia ja niiden luotettavuuksia arvioitiin yhdessä loppukäyttäjien kanssa. Prosessin kuluessa tuloksia pyrittiin parantamaan loppukäyttäjän palautteen perusteella ja:

- tuomalla lähtödatoina uusia piirteitä (liite 5), jotka ovat homogeenisiä koko projektialueelta. Tietyn ajankohdan satelliittiaineiston lisäksi hyödynnettiin pitkiä satelliittihavaintojen aikasarjoja (2016–2021), joista laskettiin koko kasvukautta kuvaavia piirteitä (MIN, MAX, STD, MEDIAN, AMPLITUDE). Pitkät aikasarjat auttoivat myös homogeenisten piirteiden

laskennassa Ylä-Lapissa, missä kasvukausi on lyhyt ja pilvisuus runsasta.

- käyttämällä ositusta eli tavoiteluokat jaettiin osajoukkoihin, joille tehtiin omat mallit, esim. suot ja kivennäismaat. Kullekin ositteelle määritettiin oma tavoiteluokitus, opetusdata, piirteet ja tulkintamalli. Ositteiden rajoituksessa hyödynnettiin maastotietokannan paikkatietoaineistoja sekä hankkeessa tuotettuja paikkatietoaineistoja.
- testaamalla erilaisia tulkintamalleja automaattisen koneoppimisen avulla (TPOT – Tree-based Pipeline Optimization Tool), jossa algoritmi etsii parhaan mahdollisen lähtödatojen esiprosessoinnin, koneoppimismallin ja sen parametrit annetulle datalle.
- parantamalla koneoppimismallien tuottamaa luokitusta jälkiprosessoinnissa, jossa hyödynnettiin paikkatietoaineistoja, tulkinnan luotettavuustietoja (confidence) ja loppukäyttäjien kokemuksia tulkintatuloksista.

Ositteittain yhdistetty ja jälkiprosessoitu lopputulos validoitiin maastodatan osajoukolla (20 % kaikista maastokoealoista), jota ei ollut käytetty tulkintamallien opetuksessa. Validoinnissa käytetyille koealoille poimittiin lopputulos kahdella tavalla:

- 1) Koealakeskipisteen lähimmän pikselin mukaan: koeala arvioitiin tulkituksi oikein, mikäli lähimmän pikselin tulkittu luokka on sama kuin koealalla maastossa on arvioitu.
- 2) Ympyräkoelalle, jonka säde on 15 metriä, osuneiden pikselien mukaan:

koeala arvioitiin tulkituksi oikein, mikäli vähintään yhden pikselin tulkittu luokka on sama kuin koealalla maastossa on arvioitu.

Jälkimmäinen tapa otettiin mukaan, koska lähtödatoina (satelliittikuva-aikasarjat) on sijaintivirheitä (keskimäärin 5–10 m), mikä aiheuttaa epävarmuutta myös tulkinnan lopputuloksen ja maastokoealan kohdentamiseen ja siten validointitulokseen. Nämä kahdella, hieman erilaisella tavalla lasketut tunnusluvut antavat kattavamman kuvan lopputuloksen laadusta.

Kaukokartoituksen tulkinnan tulosta pidetään tässä hankkeessa onnistuneena, kun tarkkuus (F1-arvo) on vähintään 0,80. Riittävän tarkkuuden määrittelyä ei kuitenkaan voida tehdä yleispätevästi, vaan se riippuu esimerkiksi kaukokartoituksella tuotetun tiedon käyttötarkoituksesta. Tässäkin hankkeessa tulosten onnistumista on arvioitu paitsi tarkkuuslukujen avulla, myös asiantuntija-arviona.

4.1.1 Inventointiluokka

Inventointiluokka kuvaa kohteen luontoa yleispiirteisesti (Metsähallitus 2020). Inventointiluokat ryhmitellään kuuteen eri ryhmään: 1) kalliot, kivikot ja hiekkarannat, 2) kivennäismaat, 3) suot, 4) vesikuviot, 5) perinnebiotoopit, luonnonniityt sekä avoimet, kasvittuneet rantaympäristöt ja 6) nykyaikaiset kulttuurikuviot. Hankealueen inventointiluokat kuuluvat pääosin neljään ensimainittuun ryhmään. Inventointiluokkaa voidaan pitää jo varsin tarkkana kasvillisuuden kuvauksena, vaikka varsinainen kasvillisuustyyppi se ei olekaan. Se kuvaa pohja- ja kenttäkerroksen vallitsevaa kasvillisuutta ja soilla vedenpinnan tasoa eli mätäs-, väli- ja rimpipintoja. Inventointiluokka on tarkkuudeltaan realistinen tavoiteluokka kaukokartoitukseen, ja yhdistelemällä sitä muihin ominaisuustietoihin, kuten puustoisuuteen, voidaan luontotyyppien ominaisuustietoja

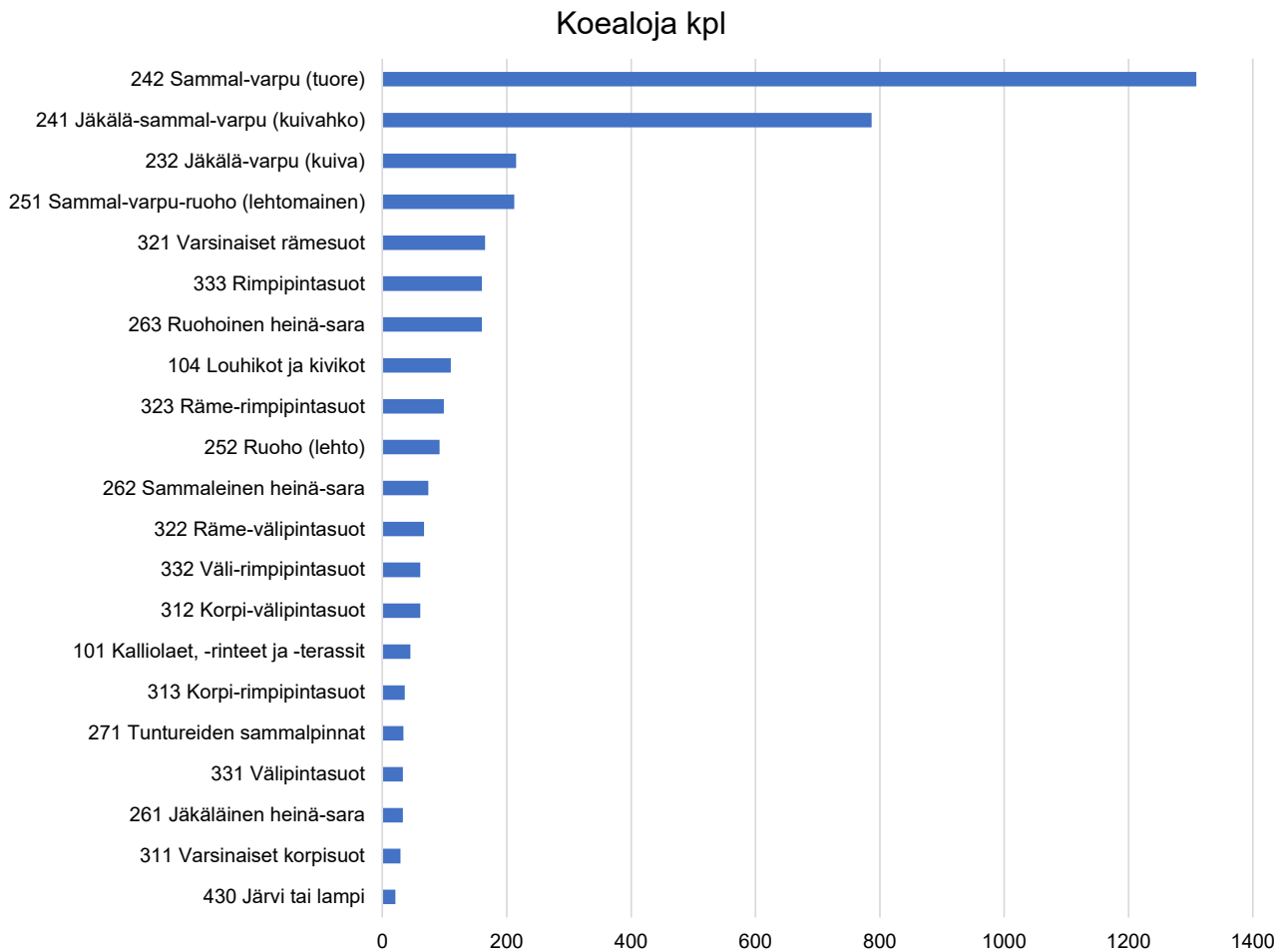
edelleen tarkentaa. Heikkoutena kaukokartoituksen näkökulmasta on puuston peitteisyyden vaikutus, mutta se on rajoittava tekijä pohja- ja kenttäkerroksen tarkastelussa joka tapauksessa. Hankealueen puuttomat ja harvapuustoiset alueet mahdollistavat hyvin inventointiluokkatason kaukokartoituksen. Tarkemmalle tasolle voidaan päästä luotettavasti joissain poikkeustapauksissa, mutta pääsääntöisesti kasvillisuustyyppitason erottelu on nykyaineistoilla vielä varsin epätarkkaa kaukokartoitusmenetelmin.

Kivennäismaita kuvaavat inventointiluokat (ryhmä 2) on jaettu alaryhmiin kuvaamaan kasvillisuuden yleispiirteitä. Luokka sisältää kasvittomat, kuivat ja tuoreet varpuvaltaiset, ruohoiset ja heinä-saravaltaiset kivennäismaat sekä tuntureiden sammalpinnat. Varpuvaltaisiin inventointiluokkiin sisältyy tunturikankaita, tunturikoivikoita ja havumetsävyöhykkeen metsiä. Ruohovaltaisiin luokkiin kuuluu lehtoja, ja heinä-saravaltaisiin luokkiin sisältyvät tunturiniityt ja monet tulvavaikutteiset luontotyytit. Myös lumenviipymäkasvillisuus kuuluu heinä-saravaltaisiin luokkiin, mutta osin myös tuntureiden sammalpinthiin.

Soiden inventointiluokilla kuvataan korprien, rämeiden ja nevojen vedenpinnan tasoa, ja sillä voidaan luokitella soita mätäs-, väli- ja rimpipintaisiin soihin sekä niiden yhdistelmiin.

Inventointiluokan tulkintaan otettiin mukaan yhteensä 21 tavoiteluokkaa (maastodatatassa yhteensä 30 inventointiluokkaa) (kuva 14). Ulkopuolelle jätetyissä luokissa oli yleisesti vain vähän havaintoja ja/tai niiden tulkinta kaukokartoituksen avulla ei onnistunut.

Inventointiluokka tulkittiin viidessä eri ositteessa: 1) soistumat, 2) suot, 3) kalliot ja louhikot, 4) lumenviipymät ja 5) muut kivennäismaat, jolle määritettiin omat tavoiteluokat, opetusdata ja piirteet (liite 6). Ositekohtainen tulkinta tehtiin, jotta vältettiin vain tiettyssä ositteessa esiintyvän luontotyyppin sekoittuminen/esiintyminen muissa ositteissa, joissa sen esiintyminen ei ole mahdollis-



Kuva 14. Inventointiluokan tulkinnan opetusdatan (koealojen) tavoiteluokkien jakauma (kpl/tavoiteluokka).

ta/todennäköistä. Ensimmäiset tulkinnat tehtiin ilman ositteita, mutta osittamisen tarve kävi nopeasti ilmi varsinkin tiettyjen kivennäismaiden ja soiden inventointiluokkien sekoituessa keskenään. Osittamisesta aiheutuu jonkin verran pienialaisten kohteiden huomioiden jättämisestä, jos ne sijaitsevat toisen ositteen alueella. Tästä aiheutuva virhe arvioitiin kuitenkin selvästi pienemmäksi kuin, jos tulkinta olisi tehty ilman ositteita. Osittamisessa hyödynnettiin maastotietokannan tietoja (ns. maskeja) soistumien, soiden, kallioiden ja louhikoiden sekä muiden kivennäismaiden esiintymisestä. Lumenviipymäisten alueiden esiintyminen määritettiin yhteistyössä LumenviipymäPUTTE2-hankkeen (Huttunen ym. 2023) kanssa (ks. tarkemmin luku 4.2.9).

Lopputulosta muokattiin jälkiprosessoinnissa käytettävissä olevien paikkatietoaineistojen ja tulkinnan todennäköisyyden avulla seuraavasti:

- Inventointiluokan ositteittaiset luokitukset yhdistettiin koko hankealueen kattavaksi inventointiluokkateemaksi. Edellä mainitut maskit määrittivät siis, minkä ositteen tulkinnasta koko hankealueen kattavan inventointiluokkateeman kukin pikseli sai tietonsa.
- Koko hankealueen kattavaan inventointiluokkateemaan lisättiin inventointiluokat:
 - 210 – Lumipeitteinen, joka perustuu Sentinel-2 -aikasarjaan (LumenviipymäPUTTE2-hanke, Huttunen ym. 2023) ja

- 220 – Kasviton kivennäismaa, joka määritettiin maastotietokannan hietikkojen ja laserkeilausaineistoon perustuvan puustoisuustiedon mukaan
- Kalliolaet, -rinteet ja -terassit (inventointiluokka 101) sekä louhikot ja kivikot (inventointiluokka 104) tulkittiin näiden luokkien yhteenlasketun todennäköisyyden mukaan (confidence) eli ne erotettiin ensin yhtenä luokkana kasvipeitteisistä inventointiluokista tulkinnan todennäköisyyden mukaan. Tämän jälkeen valinta inventointiluokkien 101 ja 104 välillä tehtiin maastotietokannan perusteella seuraavasti: maastotietokannan kallioalueilla inventointiluokaksi tuli kallio (101) ja maastotietokannan louhikkoalueilla inventointiluokaksi tuli louhikko (104). Lisäksi maastotietokannan kallio- ja louhikkomaskien ulkopuolella tulkinnasta otettiin mukaan louhikoksi (104) alueet, jossa luokkien 101 ja 104 yhteenlaskettu tulkinnan todennäköisyys oli yli 80 %.
- Käsivarren suurtunturien alueella (yli 850 mpy), missä tulkinnan luotettavuus on yleistasoa alhaisempi (liite 7), inventointiluokan 261 (jäkäläinen heinä-sara) erottamisessa käytettiin tulkinnan todennäköisyyksiä (confidence) asiantuntijan antamien sääntöjen mukaan.

Inventointiluokan tulkinnan lisäksi hankkeen aikana testattiin LuTU-tyyppien tulkintaa. Kokeilu kuitenkin osoitti LuTU-tyyppien tulkinnan sellaisenaan olevan vielä liian epätarkkaa, jotta tuloksia olisi voitu luotettavasti hyödyntää. LuTU-tyyppien kaukokartoitus vaatii siis jatkokehitystyötä.

Inventointiluokan tulkinnan tarkkuus

Inventointiluokan tarkkuutta arvioidaan ensisijaisesti 15 metrin säteiseltä ympyräkoelalta. Mahdollisen sijaintivirheen lisäksi inventointi-

luokan tulkinnan tarkkuuden arvioinnissa on huomioitava, että tavallisimmin epätarkkuus johtuu inventointiluokan sekoittumisesta sitä eniten muistuttavan eli vierekkäisen inventointiluokan kanssa. Esimerkiksi inventointiluokka jäkälä-sammal-varpu (241) sekoittuu tavallisimmin sitä hieman kuivempaan inventointiluokkaan jäkälä-varpu (232) tai hieman tuoreempaan inventointiluokkaan sammal-varpu (242).

Inventointiluokan tulkinnan kokonaistarkkuus oli 0,80 ja painotettu F1-keskiarvo 0,79 eli inventointiluokan tulkinnan voidaan arvioida onnistuneen hyvin (taulukko 2). On kuitenkin huomattava, että tulkinnan tarkkuudet inventointiluokkien välillä vaihtelevat suuresti (taulukko 2). Vähintään 80 %:n tarkkuudella tulkinta onnistuu seuraavista inventointiluokista: kalliolaet, -rinteet ja -terassit (101), louhikot ja kivikot (104), jäkälä-sammal-varpu (241), sammal-varpu (242), sammal-varpu-ruoho (251), tuntureiden sammalpinnaat (271), välipintasuoat (331), rimpipintasuoat (333) ja järvet tai lammet (430). Välipintasoiden osalta luotettavuus on huomattavasti odotettua parempi, sillä kyseisestä inventointiluokasta tehtiin maastossa melko vähän havaintoja ja se näkyy myös validointidatan vähyytenä. Välipintasoiden osalta tässä laskettu tarkkuus ei siten todennäköisesti vastaa menetelmän todellista erottelukykyä tässä inventointiluokassa.

Hankealueen yleisimpien kivennäismaiden inventointiluokkien eli jäkälä-sammal-varpu (241) ja sammal-varpu (242) tulkinta onnistuu vähintään 80 %:n todennäköisyydellä, samoin kallioalueiden (101) sekä louhikoiden ja kivikoiden (104) (taulukko 2). Heinäisten inventointiluokkien eli jäkäläinen heinä-sara (261), sammaleinen heinä-sara (262) ja ruohoinen heinä-sara (263) tulkinnan tarkkuus vaihtelee välillä 0,48–0,69 eli kovin luotettavasti näitä luokkia tulkinta ei tunnista. Huomionarvoista on kuitenkin, että heinä-, sara- ja ruohovaltaiset Natura-tyypin karut tunturiniityt, jotka sisältävät lähinnä näitä heinäisiä inventointiluokkia, erottuvat aineistosta varsin luotet-

tavasti (taulukko 3). Rehevimmän inventointiluokan ruoho (252) tulkinnan tarkkuus (F1-arvo = 0,63) ei vielä riitä tunnistamaan näitä kohteita tulkinnasta luotettavasti, mutta antaa kuitenkin tietoa potentiaalisista ruohoisista kohteista eli lehdoista. Kuivan jäkälä-varpu (232) -inventointiluokan tulkinta sekoittuu sitä hieman tuoreemman jäkälä-sammal-varpu (241) -inventointiluokan kanssa, mikä selittää tämän inventointiluokan melko alhaista tarkkuutta (F1-arvo = 0,61). Sekoittumista aiheuttaa mahdollisesti se, että jäkälä-varpu-inventointiluokassa tunturialueilla jäkälien määrä on vähentynyt ja sammalten lisääntynyt. Myös puusto, erityisesti lehtipuut, voi johtaa karumpien inventointiluokkien sekoittumiseen rehevämpien luokkien kanssa.

Soiden inventointiluokkien luotettava tulkinta on vaikeampaa kuin kivennäismaiden. Luotettavasti soiden inventointiluokista tulkinta onnistuu vain rimpipintasoiden (333), joiden F1-arvo on 0,86 (taulukko 2). Rämepimpintasoiden (323) ja varsinaisten rämesoiden (321) tulkinta onnistuu soista seuraavaksi tarkimmin, mutta tarkkuus jää kuitenkin alle 80 %:iin (taulukko 2).

Tuntureiden sammalpintojen (271) eli lumenviipymäisten kohteiden tulkinnan tarkkuus on kivennäismaiden inventointiluokkien korkein (F1-arvo = 0,91, taulukko 2). Tämä joh-

tune paitsi inventointiluokan ominaisuuksista myös siitä, että tätä inventointiluokkaa on tulkittu hyvin rajatulle alueelle eli lumenviipymämaskin alueelle. Järvien tai lampien (430) tulkinta onnistuu lähes aina täysin tarkasti.

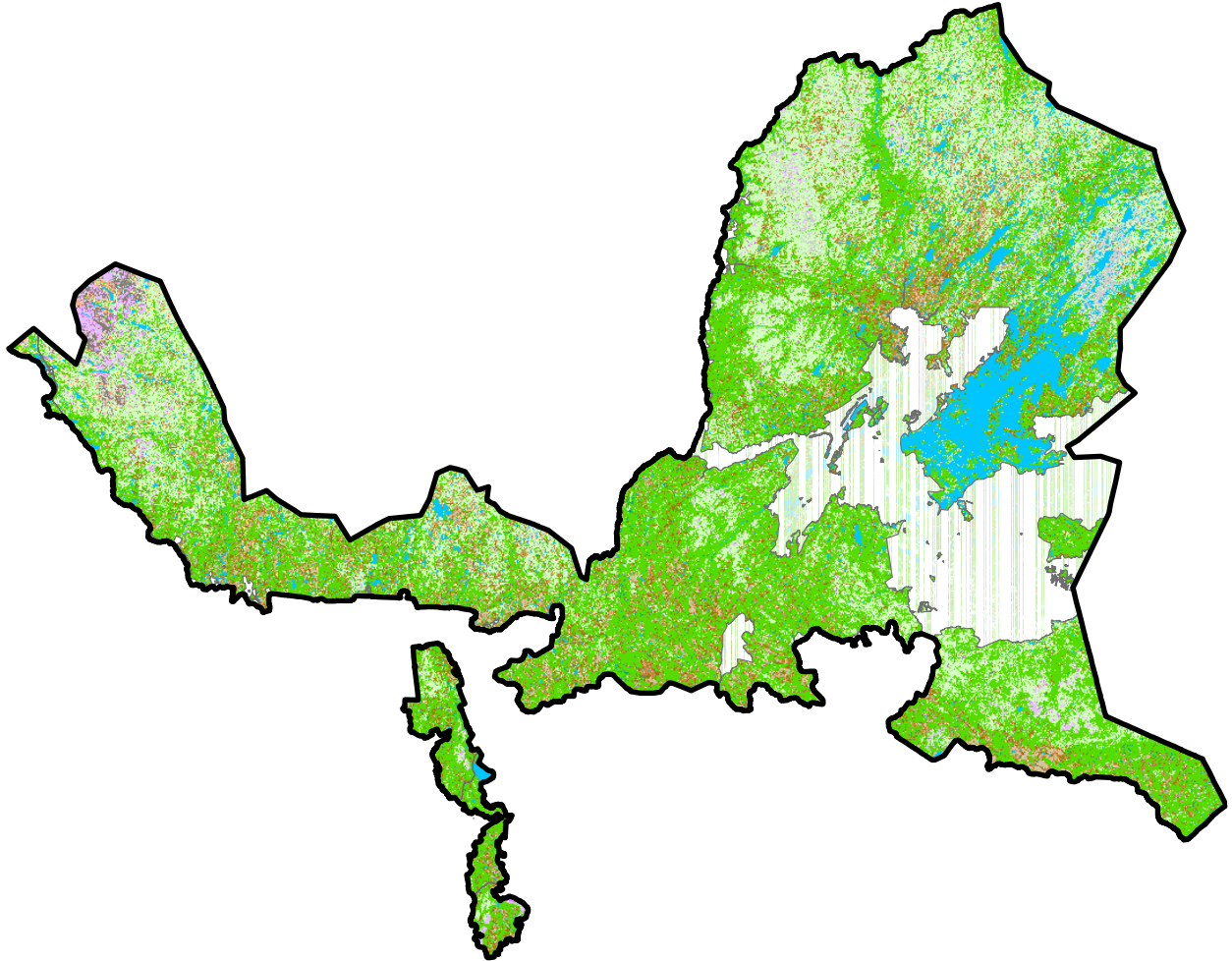
Tulkinnan luotettavuutta voidaan arvioida lisäksi Random forest -algoritmin pikseleitäin tuottaman luotettavuustiedon (confidence) avulla, joka kertoo kuinka monta prosenttia (0–100) päätöspuista 'äänesti' lopputulokseen valittua tavoiteluokkaa (liite 7). Soil-tulkinnan epävarmuus on suurempaa kuin kivennäismailla. Toisaalta suuri epävarmuus ei välttämättä kerro tulkinnan tarkkuudesta, sillä tulkinta voi silti osua hyvin kohdalleen huolimatta suhteellisen suuresta epävarmuudesta. Tulkinnan voidaan arvioida olevan vaikeampaa enemmän epävarmuutta sisältävien tavoiteluokkien kohdalla, mutta tulkinta voi silti onnistua hyvällä tarkkuudella.

Inventointiluokan tulkinnan tulos koko hankealueelta on esitetty kuvassa 15 ja Kevon kanjonin alueelta suuremmassa mittakaavassa kuvassa 16. Segmentointi inventointiluokan tulkinnan kanssa on esitetty kuvassa 17. Inventointiluokan tuloksia käsitellään tarkemmin loppuraportin osassa 2 (Tammilehto ym. 2024).

Taulukko 2. Inventointiluokan validointitulokset jälkiprosessoinnin jälkeen maastokoealan lähimmän (lähin) ja 15 metrin ympyräkoealan mukaan (15 m) laskettuna.

Inventointiluokka	Käyttäjän tarkkuus lähin	Käyttäjän tarkkuus 15 m	Tuottajan tarkkuus lähin	Tuottajan tarkkuus 15 m	F1-arvo lähin	F1-arvo 15 m	F1-arvo n
101 Kalliolaet, -rinteet ja -terassit	1,00	1,00	0,25	0,67	0,40	0,80	12
104 Louhikot ja kivikot	0,65	0,76	0,87	0,87	0,74	0,81	15
232 Jäkälä-varpu (kuiva)	0,59	0,83	0,42	0,48	0,49	0,61	31
241 Jäkälä-sammal-varpu (kuivahko)	0,62	0,79	0,64	0,84	0,63	0,81	133
242 Sammal-varpu (tuore)	0,76	0,86	0,81	0,92	0,79	0,89	217
251 Sammal-varpu-ruoho (lehtomainen)	0,58	0,77	0,76	0,83	0,66	0,80	29
252 Ruoho (lehto)	0,50	0,75	0,36	0,55	0,42	0,63	11
261 Jäkäläinen heinä-sara	0,43	0,50	0,75	0,75	0,55	0,60	4
262 Sammaleinen heinä-sara	0,83	0,86	0,28	0,33	0,42	0,48	18
263 Ruohoinen heinä-sara	0,54	0,65	0,57	0,74	0,55	0,69	23
271 Tuntureiden sammalpinna	1,00	1,00	0,83	0,83	0,91	0,91	6
311 Varsinaiset korpi-suot	0,00	0,50	0,00	0,33	0,00	0,40	3
312 Korpi-välipintasuot	0,71	0,86	0,42	0,50	0,53	0,63	12
313 Korpi-rimpipintasuot	0,25	0,60	0,20	0,60	0,22	0,60	5
321 Varsinaiset rämesuot	0,56	0,68	0,69	0,79	0,62	0,73	29
322 Räme-välipintasuot	0,20	0,50	0,09	0,18	0,13	0,27	11
323 Räme-rimpipintasuot	0,48	0,64	0,67	1,00	0,56	0,78	21
331 Välipintasuot	0,67	1,00	0,67	0,67	0,67	0,80	3
332 Väli-rimpipintasuot	0,80	1,00	0,29	0,50	0,42	0,67	14
333 Rimpipintasuot	0,71	0,82	0,87	0,90	0,78	0,86	31
430 Järvi tai lampi	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2

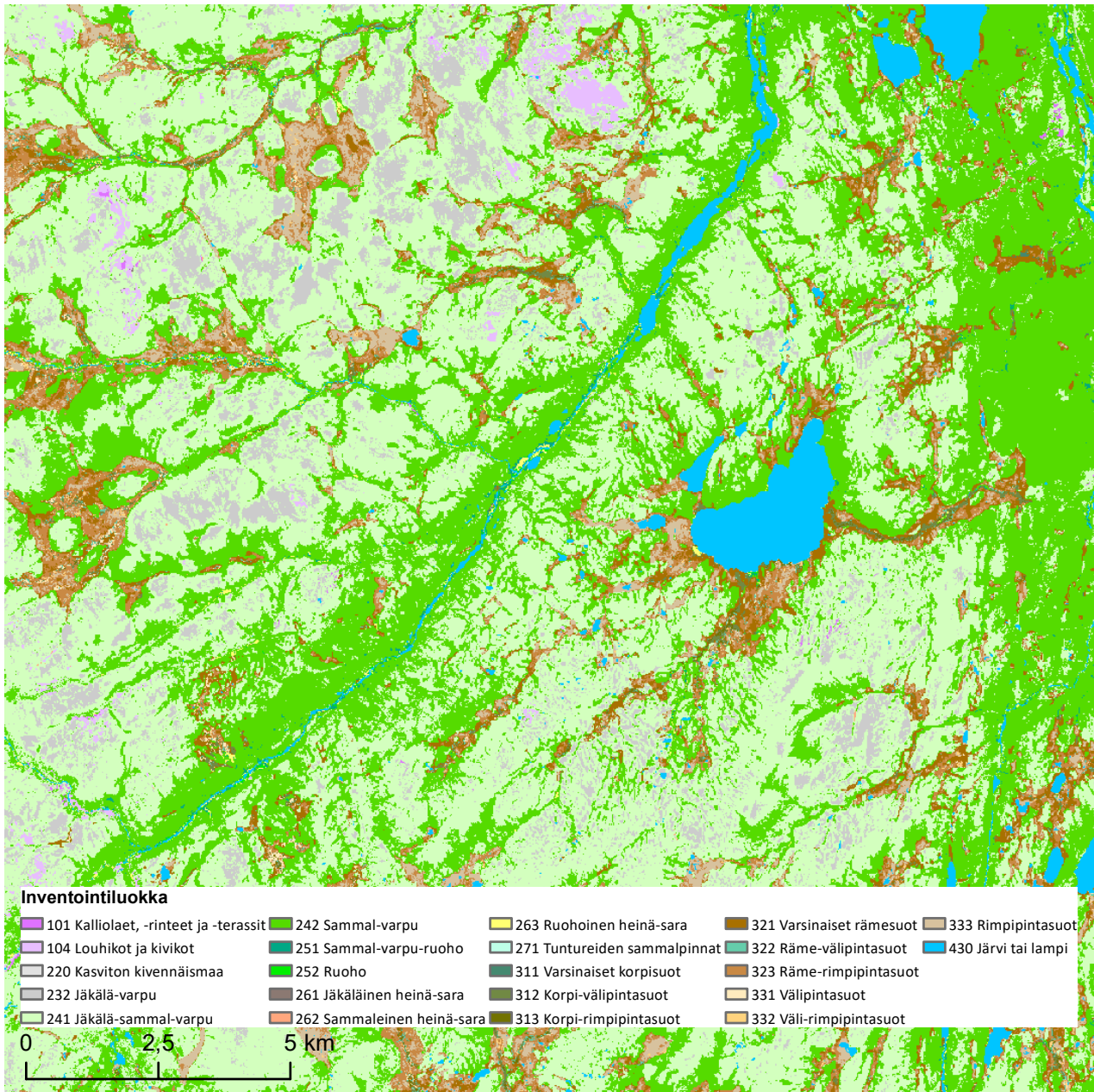
Tarkkuus	F1-arvo lähin	F1-arvo 15 m	F1-arvo n
Kokonaistarkkuus (accuracy)	0,66	0,80	
F1-keskiarvo	0,55	0,70	
F1 painotettu keskiarvo	0,65	0,79	
Yhteensä			630



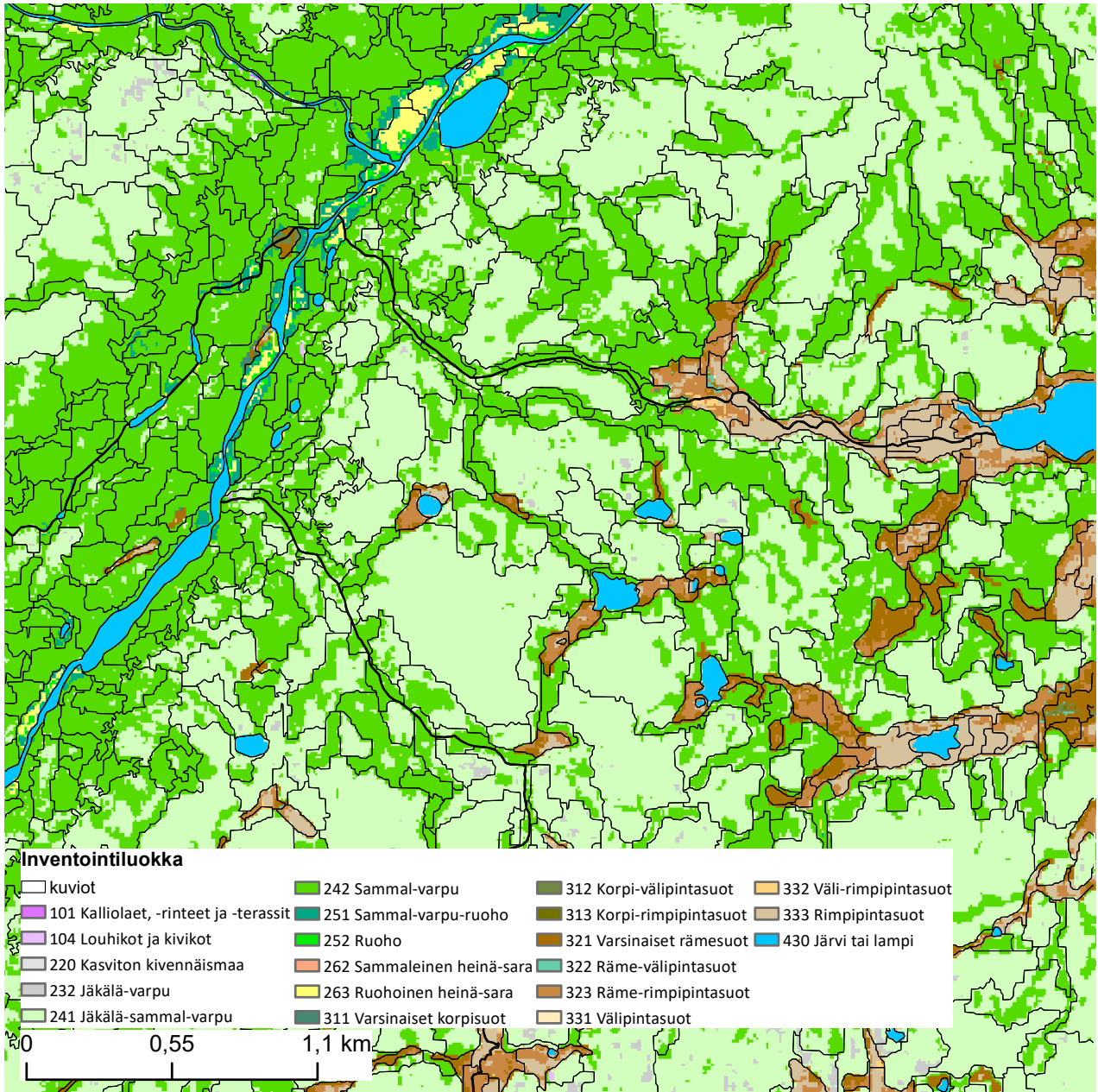
Inventointiluokka

101 Kalliolaet, -rinteet ja -terassit	241 Jäkälä-sammal-varpu	262 Sammaleinen heinä-sara	313 Korpi-rimpipintasuo	332 Väli-rimpipintasuo
104 Louhikot ja kivikot	242 Sammal-varpu	263 Ruohoinen heinä-sara	321 Varsinaiset rämesuo	333 Rimpipintasuo
210 Lumipeitteinen	251 Sammal-varpu-ruoho	271 Tuntureiden sammalpinnat	322 Räme-välipintasuo	430 Järvi tai lampi
220 Kasviton kivennäismaa	252 Ruoho	311 Varsinaiset korpisuo	323 Räme-rimpipintasuo	
232 Jäkälä-varpu	261 Jäkäläinen heinä-sara	312 Korpi-välipintasuo	331 Välipintasuo	

Kuva 15. Inventointiluokan tulkinta hankealueella. Lähde: Syke, MH.



Kuva 16. Inventointiluokan tulkinta Kevon kanjonin alueella. Lähde: Syke, MH.



Kuva 17. Inventointiluokan tulkinta ja segmentointi (kuviot) Kevon kanjonin alueella. Lähde: Syke, MH.

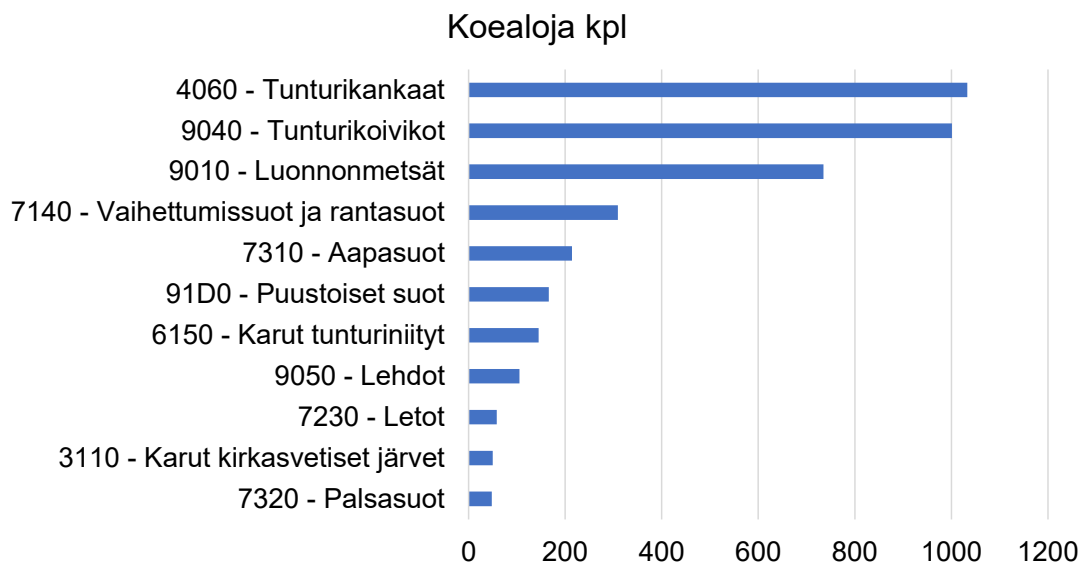
4.1.2 Natura-tyyppi

Natura-tyyppien tulkintaa testattiin aluksi Random forest -koneoppimismallin avulla. Tulkintaan otettiin lopulta mukaan puolet maastokoealoilla esiintyvistä Natura-tyypeistä (11/22) (kuva 18), sillä kaikki tyypit eivät soveltuneet satelliittikuvilta tulkittaviksi johtuen niiden pienialaisuudesta tai muista ominaisuuksista. Tulkinnan ulkopuolelle jätetyt Natura-tyypit on listattu liitteessä 8 (kaikkia niistä ei esiintynyt maastokoealoilla). Maastokoealatiiedon (n = 2 693) jakautuminen tavoiteluokkiin on esitetty kuvassa 18. Natura-tyyppien tulkinta tehtiin kahdessa ositteessa: kivennäismaat ja suot (liite 9). Pelkkä tulkinta ei kuitenkaan johtanut riittävän tarkkaan lopputulokseen (tulkinnan luotettavuus (confidence) esitetty liitteessä 10), joten Natura-tyyppitieto päätettiin tuottaa asiantuntijan päätöspuumallilla (expert system), jossa lähtödatoina käytettiin seuraavia aineistoja:

- Laserkeilausaineisto
 - Puustoisuus
 - Latvuspeittävyys
 - Puuston pituus

- Koneoppimismalleilla tulkitut
 - Vallitseva puulaji
 - Inventointiluokka
 - Natura-tyyppi
- Paikkatieto
 - Maastotietokanta
 - Korkeusmalli
 - SAKTI
 - Corine maanpeite 2018
- Muut
 - Tunturiluontotyyppien aluemaski
 - Suoallasaineisto
 - Tunturimittarituhot.

Asiantuntijan päätöspuumallissa jokaiselle Natura-tyypille annettiin päättelysäännöt, joiden avulla lopputulos johdettiin lähtödatojen perusteella. Natura-tyyppien Random forest -tulkintaa käytettiin suoraan puustoisien soiden määrittelyssä ja tilanteissa, joissa päättelysäännöt eivät tuottaneet lopputulosta. Päättelysäännöillä määriteltiin esimerkiksi, mitä Natura-tyyppiä voi minkäkin tulkintamaskin alueella esiintyä. Esimerkiksi tunturiluontotyyppiä voi esiintyä vain tunturiluontotyyppimaskin alueella. Samoin puustoisia



Kuva 18. Natura-tyyppien tulkinnan opetusdatan (koealojen) tavoiteluokkien jakauma (kpl/tavoiteluokka). Myös lettojen tulkintaa kokeiltiin, mutta tulkinnan tulos osoittautui liian epätarkaksi ja se jätettiin pois lopullisesta Natura-tyyppiaineistosta.

Natura-tyyppjä voi esiintyä vain puustoisiksi tulkituilla alueilla. Tarkemmin päättelysääntöt on kuvattu liitteessä 11. Päättelysääntöjä käyttämällä voitiin myös varmistaa Natura-tyyppien ja inventointiluokkien yhteensovitus.

Tieto suoyhdistymätyypeistä (keidas-, aapa- ja palsasuot) tuotettiin suoallasaineiston avulla (ks. tarkemmin luku 4.2.7), sillä kaukokartoitus, jossa tulkinnan piirteet lasketaan pikseleittäin ja/tai segmenteittäin, ei tuota tietoa suoyhdistymien alueellisesta laajuudesta. Suoyhdistymät ovat yhtenäisiä suoalueita, jotka koostuvat useista eri suotyypeistä ja jotka rajataan alueen pinnanmuotojen ja hydrologisten olosuhteiden perusteella.

Natura-tyypin tulkinnan tarkkuus

Natura-tyypin tulkintatuloksen validoinnissa käytettiin kaikkia homogeenisia maastokoealoja (n = 3 522), koska sen tulkinnassa käytettiin asiantuntijan päätöspuumallia, eikä tulkinta siten perustunut suoraan yksittäiseen koneoppimismalliin. Natura-tyypin tarkkuutta arvioidaan ensisijaisesti lähimmän pisteen perusteella, sillä Natura-tyyppiä voidaan useimmiten pitää enemmän luontotyyppi-ryhmänä kuin yhtenä kasvillisuustyypinä ja siten siinä on enemmän sisäistä vaihtelua kuin inventointiluokassa.

Natura-tyypin kokonaistarkkuus ja painotettu F1-keskiarvo olivat molemmat 0,82 eli Natura-tyypin tulkinnan voidaan arvioida onnistuneen hyvin ja tuottavan varsin luotettavaa tietoa hankealueen Natura-tyypeistä (taulukko 3). Tulosten tarkastelussa tulee kuitenkin huomioida, että eri Natura-tyyppien tiedot on voitu tuottaa toisistaan poikkeavin tavoin. Merkittävin ero on kivennäismaiden ja soiden välillä: soiden Natura-tyypit on puustoisia soita lukuun ottamatta tuotettu maastotietokannan suoalueista paikkatietoanalyysin kautta (ks. luku 4.2.7). Tästä syystä soiden, puustoisia soita lukuun ottamatta, tulkinnan tarkkuuksia ei ole tarkoituksenmukaista käsitellä tässä tarkemmin.

Natura-tyypeistä noin 90 %:n tarkkuudella erottuvat karut kirkasvetiset järvet (3110), tunturikankaat (4060), karut tunturiniityt (6150), silikaattikalliot (8220), luonnonmetsät (9010) ja tunturikoivikot (9040) (taulukko 3). Karut kirkasvetiset järvet tarkoittavat tässä kuitenkin yleisesti järviä ja lampia, sillä hankealueella harvinaisempia humuspitoisia järviä ja lampia tulkinta ei erota kirkasvetisistä. Kirkasvetisten ja humuspitoisten järvien ja lampien tyypittely on kuvattu luvussa 4.2.11. Karut tunturiniityt erottuvat toisesta tunturien avoimesta tyypistä eli tunturikankaista hyvin. On kuitenkin huomioitava, että karut tunturiniityt sisältää myös kosteat suurruohoniityt (6430), jonka erottaminen omana tyyppinä luotettavasti osoittautui mahdottomaksi. Kosteat suurruohoniityt hankealueella on kuitenkin pienialaisena esiintyvä, karuja tunturiniittyjä selvästi harvinaisempi tyyppi. Hankealueen tavallisimmat metsätyypit eli tunturikoivikot ja luonnonmetsät erottuvat melko luotettavasti omina tyyppinä. Luonnonmetsien erottaminen tunturikoivikoista perustuu ennen muuta pääpuulajiin, joka ensin mainitussa on mänty, kuusi tai haapa. Jonkin verran sekoittumista tapahtuu havumetsänrajan luonnonmetsien ja tunturikoivikoiden välillä. Näissä tapauksissa pääpuulaji on tunturikoivu ja sekapuuna mänty, jolloin Natura-tyyppi määräytyy puulajien suhteen mukaan. Luonnonmetsien rakennepiirteitä menetelmä ei tunnista, joten pelkästään havupuuvaltaisella alueella menetelmää ei voida käyttää luonnonmetsien tunnistamiseen käsitellyistä metsistä. Hankealueen luonnonmetsien edustavuuden arvioinnissa on siksi hyödynnetty myös tietoja mahdollisista metsäkäsittelytoimenpiteistä alueella. Silikaattikallioiden tunnistaminen päätöspuumallilla onnistuu niin ikään luotettavasti.

Puustoisten soiden osalta tulkinnan tarkkuus jää 64 %:iin (taulukko 3). Tämä melko alhainen tarkkuus selittyy todennäköisesti sillä, että puustoisia soita voi tässä tulkintamallissa esiintyä vain maastotietokannan soiden

alueella, vaikka todellisuudessa etenkin korpia voi esiintyä myös maastotietokannassa kiennäismaiksi merkityillä alueilla. Maastotietokannan soiden alueelta puustoiset kohteet eli puustoiset suot voidaan tunnistaa hyvin luotettavasti ja siksi puustoisten soiden tulkintaa pidetään kuitenkin melko hyvin onnistuneena. Lehtojen ja tulvametsien tulkinnan tarkkuus jää myös selvästi 80 %:n alapuolelle (taulukko 3) ja niiden esiintymätietoihin on suhtauduttava mahdollisina, ei varmoina, luontotyyppien esiintyminä. Tulee kuitenkin huomioida, että tunturikoivuvaltaiset lehdot ja tulvametsät muistuttavat kasvillisuudeltaan toisiaan hyvin paljon ja tulkinnassakin ne sekoittuvat usein keskenään. Lehtotulkintaan virhettä todettiin aiheuttavan ainakin soistuneisuus, rinteiden kaltevuus ja tietyt kasvillisuusindeksiä nostavat lajit, kuten heinät ja

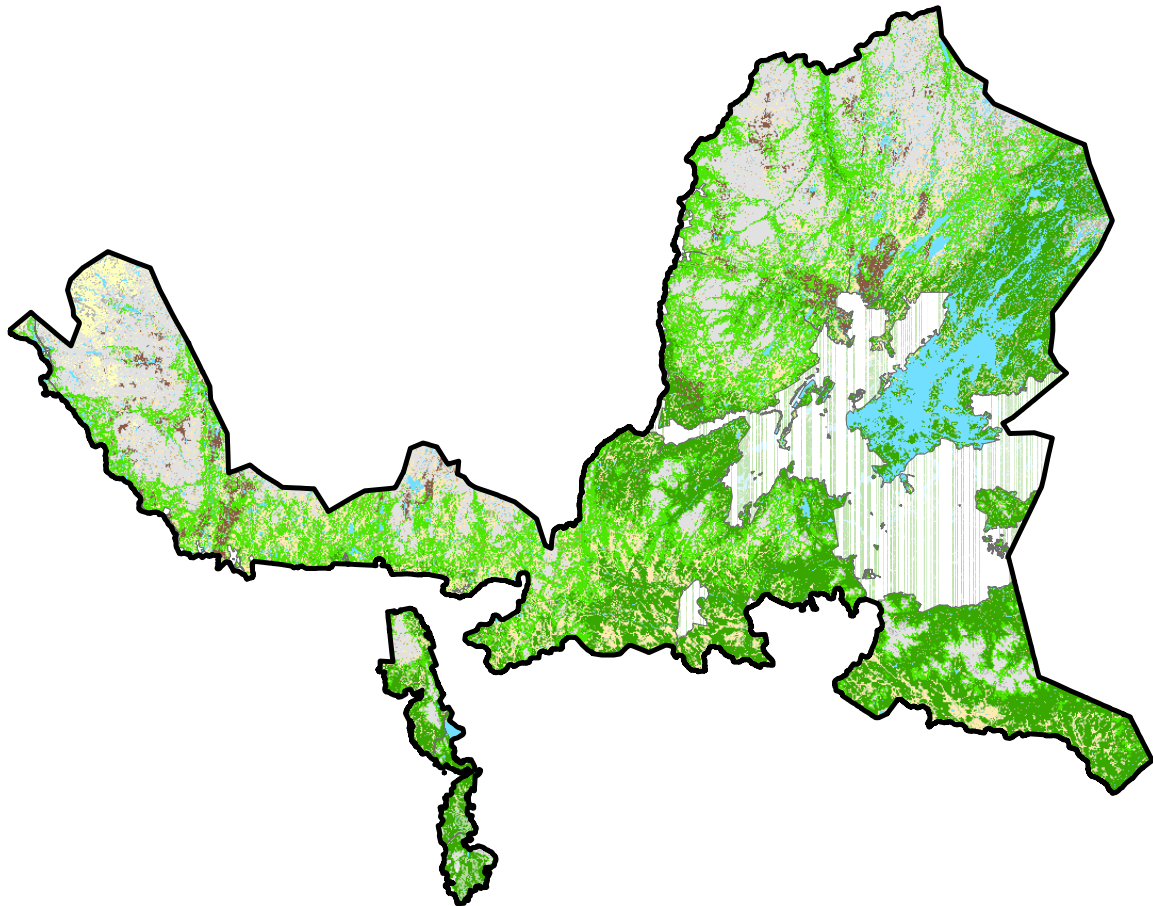
juolukka. Pieniä tulvaniittyjä ei voida tällä menetelmällä erottaa luotettavasti (taulukko 3). Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että hankealueella tulvaniityt ovat tavallisimmin kaapina vyöhykkeinä jokien varsilla, mikä tekee niiden erottamisesta satelliittikuvilta vaikeaa. Tieto tulvaniitystä myös häviää kuviotarkastelussa osaksi kuvion sisäistä vaihtelua ja rasteriaineistoa tarkasteltaessa tulvaniittyjä onkin havaittavissa enemmän.

Natura-tyyppien päättelysääntöihin perustuvan tulkinnan (expert system) tulos koko hankealueelta on esitetty kuvassa 19 ja Kevon kanjonin alueelta suuremmassa mittakaavassa kuvassa 20. Segmentointi Natura-tyypin tulkinnan kanssa on esitetty kuvassa 21. Natura-tyyppituloksia käsitellään tarkemmin loppuraportin osassa 2 (Tammilehto ym. 2024).



Taulukko 3. Natura-tyyppien validointitulokset maastokoealan lähimmän (lähin) ja 15 metrin ympyräkoealan mukaan (15m) laskettuna. Puustoisilla soilla (91D0) Natura-tyyppien tasot 1 ja 2 on yhdistetty.

Natura-tyyppi	Käyttäjän tarkkuus lähin	Käyttäjän tarkkuus 15 m	Tuottajan tarkkuus lähin	Tuottajan tarkkuus 15 m	F1-arvo lähin	F1-arvo 15 m	F1-arvo n
3110 - Karut kirkasvetiset järvet	0,85	0,89	1,00	1,00	0,92	0,94	17
4060 - Tunturikankaat	0,90	0,95	0,94	0,98	0,92	0,96	907
6150 - Karut tunturiniityt	0,86	0,88	0,90	0,93	0,88	0,90	108
6450 - Tulvaniityt	1,00	1,00	0,14	0,24	0,25	0,38	21
7110 - Keidassuot	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2
7140 - Vaihettumissuot ja rantasuot	0,79	0,84	0,36	0,39	0,49	0,53	225
7310 - Aapasuot	0,62	0,56	0,77	0,77	0,68	0,65	198
7320 - Palsasuot	0,60	0,60	1,00	1,00	0,75	0,75	38
8220 - Silikaattikalliot	0,83	0,96	0,91	0,96	0,87	0,96	48
9010 - Luonnonmetsät	0,90	0,92	0,84	0,89	0,87	0,91	689
9040 - Tunturikoivikot	0,89	0,93	0,85	0,92	0,87	0,93	929
9050 - Lehdot	0,60	0,67	0,72	0,76	0,65	0,71	92
91D0 - Puustoiset suot	0,58	0,75	0,72	0,75	0,64	0,75	150
91E0 - Tulvametsät	0,50	0,56	0,67	0,68	0,57	0,61	98

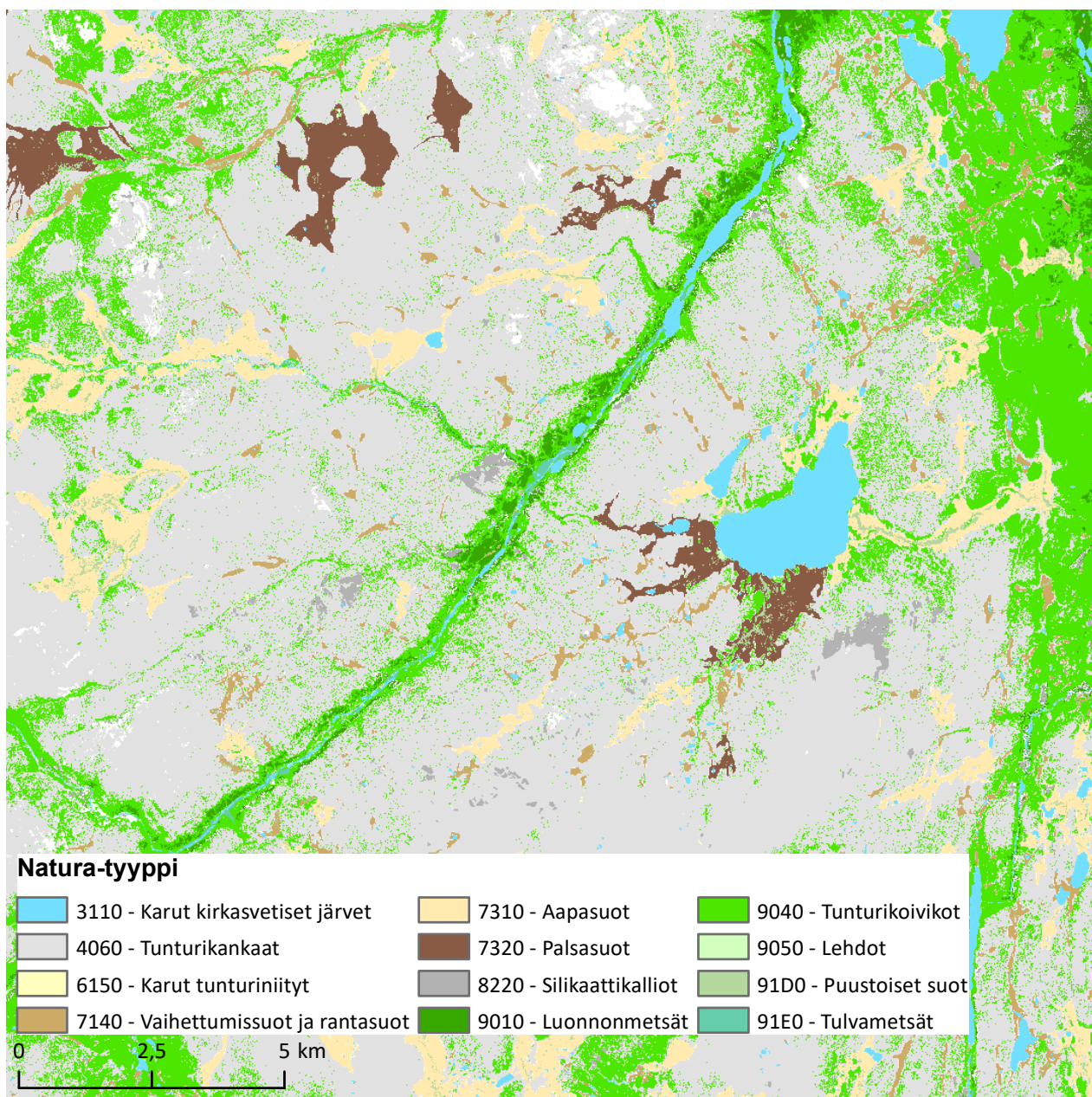
Tarkkuus	F1-arvo lähin	F1-arvo 15 m	F1-arvo n
Kokonaistarkkuus (accuracy)	0,82	0,87	
F1-keskiarvo	0,74	0,79	
F1 painotettu keskiarvo	0,82	0,86	
Yhteensä			3 522



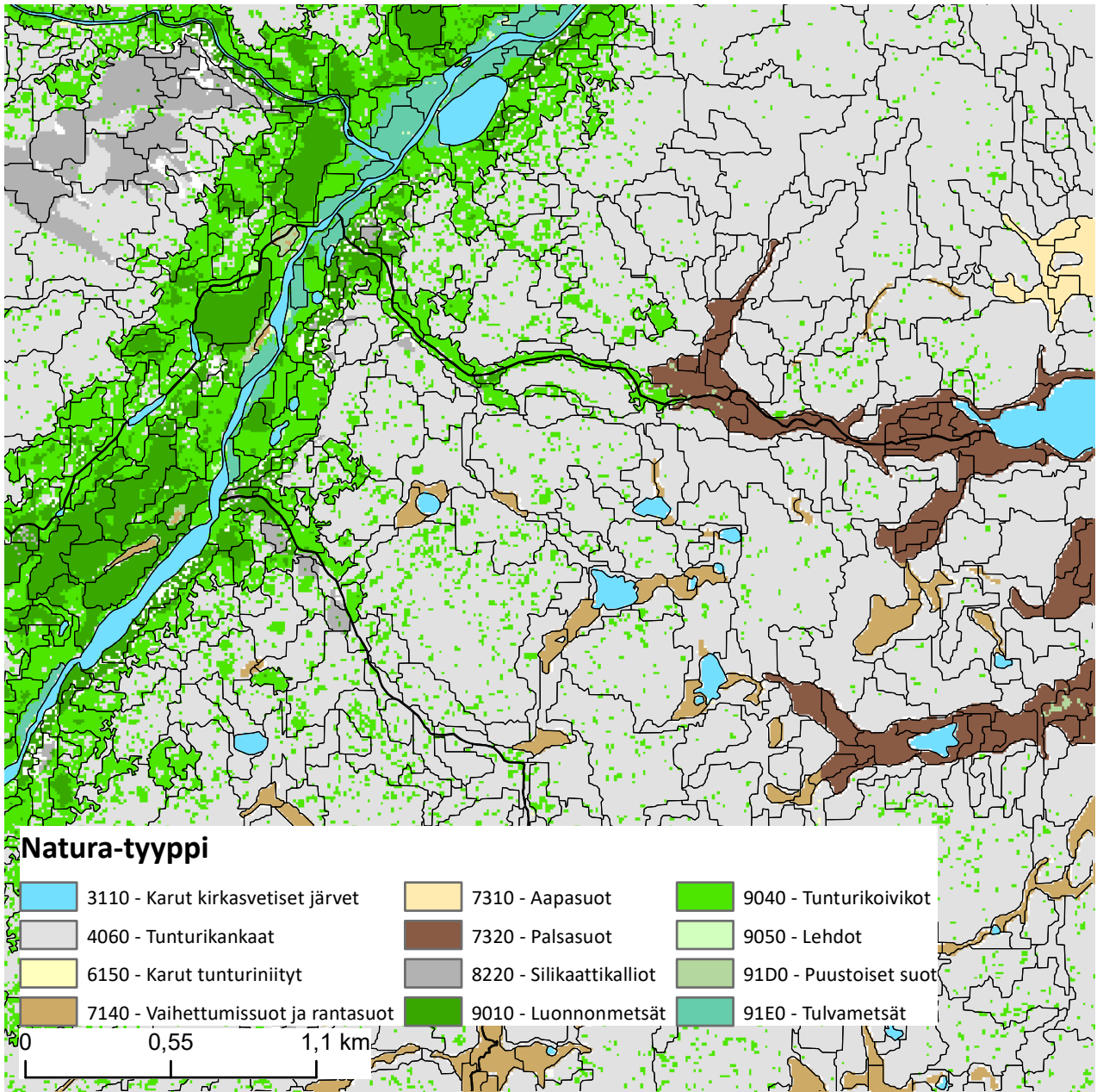
Natura-tyyppi

 3110 - Karut kirkasvetiset järvet	 7310 - Aapasuot	 9040 - Tunturikoivikot
 4060 - Tunturikankaat	 7320 - Palsasuot	 9050 - Lehdot
 6150 - Karut tunturiniityt	 8220 - Silikaattikalliot	 91D0 - Puustoiset suot
 7140 - Vaihtumissuot ja rantasuot	 9010 - Luonnonmetsät	 91E0 - Tulvametsät

Kuva 19. Natura-tyypin tulkinta hankealueella. Lähde: Syke, MH.



Kuva 20. Natura-tyyppien tulkinta Kevon kanjonin alueelta. Lähde: Syke, MH.



Kuva 21. Natura-tyypin tulkinta ja segmentointi (kuviot) Kevon kanjonin alueelta. Lähde: Syke, MH.

4.2 Erillisteemojen tuottaminen

Erillisteemoilla tarkoitetaan inventointiluokan ja Natura-tyyppin tulkinnan tueksi hankkeessa tuotettuja aineistoja, kuten esimerkiksi puustoisuus ja suoaltaat, joita voidaan käyttää myös itsenäisinä aineistoina. Erillisteemoilla tarkoitetaan myös Natura-tyyppin luonnontilaisuuden ja edustavuuden arvioimiseksi tuotettuja aineistoja jäkälikön tilasta ja tunturikoivikon uusiutumiskyvystä. Erillisteemoja on hankkeessa tuotettu paitsi koneoppimismallein myös paikkatietoanalyysien avulla.

4.2.1 Puustoisuus

Tässä hankkeessa puustoisuus on määritelty kasvillisuuden korkeuden (h) ja tiheyden (peittävyys-%) mukaan seuraavasti

- Metsä: $h \geq 2$ m ja latvuspeittävyys ≥ 10 %
- Pensas, jos $h = 0,5-2,0$ m ja latvuspeittävyys ≥ 10 %
- Avoin, jos $h < 0,5$ m ja/tai latvuspeittävyys < 10 %.

Puustoisuus-teema (kuva 22) laskettiin Suomen Metsäkeskuksen tuottamasta 1 m pintamallista (luku 2.1.4) seuraavasti:

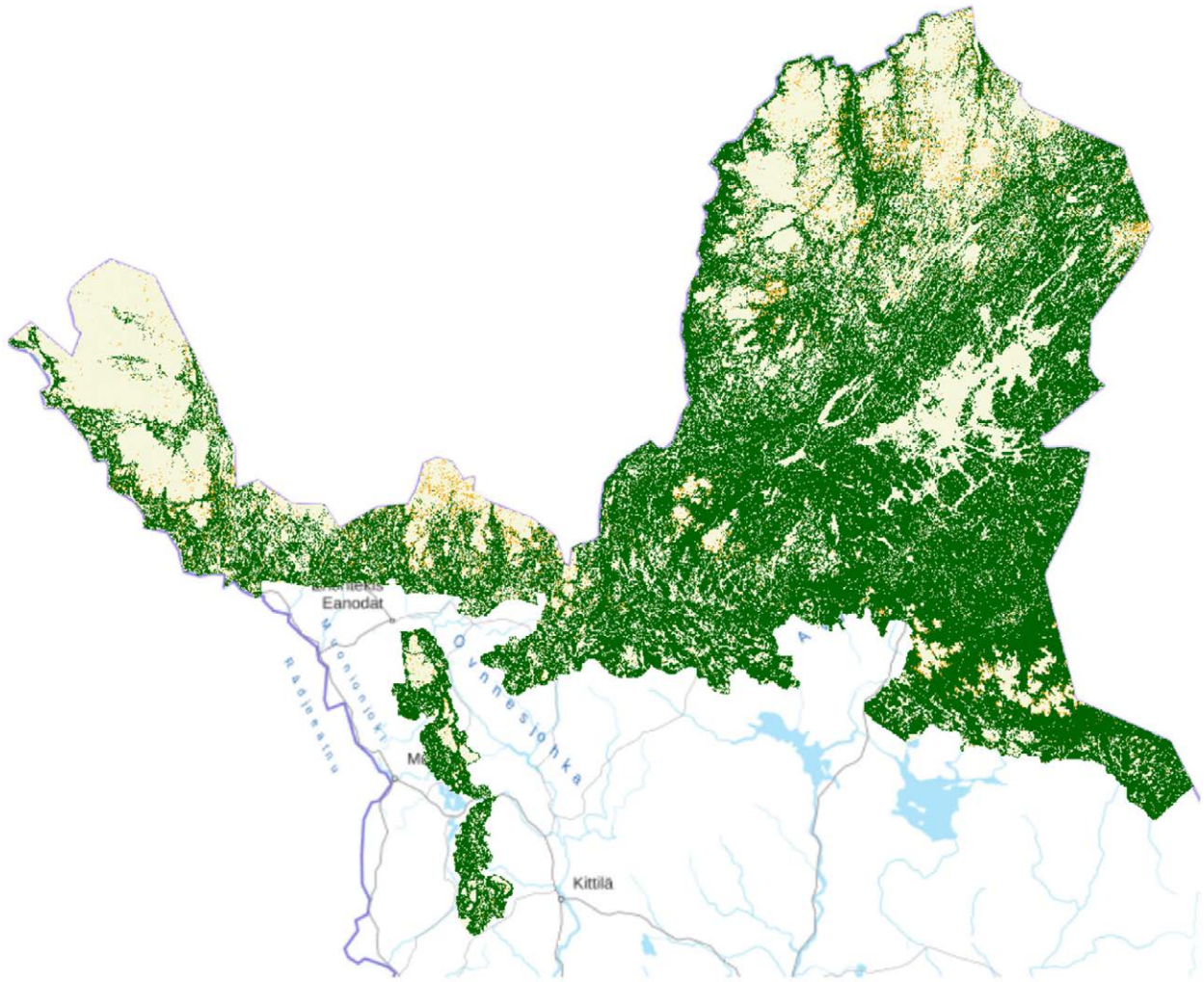
- laskemalla kasvillisuuden korkeuden perustella metsän ja pensaiston peitto-osuudet liukuvassa 10 x 10 m laskentaikkunoissa ja
- yleistämällä aineisto 10 m hilaan.

Laserkeilatussa pintamallissa louhikot ja pensaas sekoittuvat keskenään ja virhettä syntyy myös jyrkissä rinteissä. Virheellisesti määritetyjä pensaikkoja vähennettiin Sentinel-2 kasvillisuusindeksin (MaxNDVI), korkeusmallista johdetun maaston kaltevuuden ja Maastotietokannan louhikkomaskin avulla.

Puustoisuusteemaa käytettiin hankkeessa:

- osana geometriaa rajaamassa metsät, pensaikat ja avoimet alueet soilla ja kivennäismailla omiin segmentteihin. Tässä käytettiin yleistettyä (MMU 0,22 ha) puustoisuusteemaa.
- rajaamassa koneoppimismalleilla tulkittu vallitseva puulaji -tieto metsiin.
- rajaamassa koneoppimismallilla tulkittu pensaikkojen lajitieto (paju, koivu, kataja) pensaikkoihin.
- osana Natura-tyyppin tulkinnan asiantuntijan päätöspuumallia.

Puustoisuus teemaa verrattiin maastokoealoilta arvioituun (vain homogeeniset koealat, 3 312 kpl) Natura-tyyppiin, jonka puustoisuus tiedetään luokittain. Maastokoealoista 90,2 %:ssa puustoisuus (metsä, pensas, avoin) vastasi puustoisuus-teeman vastaavaa tietoa (taulukko 4). Pensaistoissa vastaavuus on heikko, kun taas metsissä ja avoimilla alueilla hyvä. Laserkeilaus ei pysty erottamaan louhikkoja pensaista, mikä selittää niiden osalta heikon tuloksen. Lisäksi ensimmäisen keilauskierroksen harva pulssitiheys (0,5 pistettä/m²) ja sen heterogeenisuus keilausalueiden välillä tuovat haasteita pienialaisten kohteiden ja matalimpien pensaikoiden havainnointiin.



Kuva 22. Puustoisuus hankealueella (vihreä = metsä, oranssi = pensas, beige = avoin). Lähde: Syke. Taustakartta: Esri Finland, Maanmittauslaitos.

Taulukko 4. Puustoisuus-teema (15 m ympyräkoealan moodiarvo) tarkkuus ja maastokoealojen Natura-tyyppi. Tähdellä merkityt tyytit avoin-sarakkeessa voivat sisältää myös jonkin verran puustoisia koealoja, minkä vuoksi käyttäjän tarkkuus on taulukossa hieman yliarvioitu.

* = voivat sisältää myös puustoisia koealoja.

Natura-tyyppi	Puustoistisuusluokka	Puustoisuus Metsä	Puustoisuus Pensas	Puustoisuus Avoin	Puustoisuus Koealat yhteensä	Puustoisuus Tuottajan tarkkuus
3110 - Karut kirkasvetiset järvet	avoin			17	17	100,0
3220 - Tunturijoet ja purot	avoin			1	1	100,0
4060 - Tunturikankaat	avoin	91	58	761	910	83,6
4080 - Tunturipajukot	pensas	4	5	5	14	35,7
6150 - Karut tunturiniityt	avoin	14	1	96	112	85,7
6430 - Kosteat suurruohonniityt		1			1	0,0
6450 - Tulvaniityt	avoin	12		10	22	45,5
7110 - Keidassuot	avoin			2*	2	100,0
7140 - Vaihtumissuot ja rantasuot	avoin	30	11	185	226	81,9
7160 - Lähteet ja lähdesuot	avoin	4	2	10	16	62,5
7230 - Letot	avoin	18	1	30*	49	61,2
7310 - Aapasuot	avoin	23	2	176*	202	87,1
7320 - Palsasuot	avoin			38*	38	100,0
8110 - Tuntureiden vyörysoaikot ja -lohkareikot	avoin	2		2	4	50,0
8210 - Kalkkikalliot	avoin			3	3	100,0
8220 - Silikaattikalliot	avoin	19	1	38*	58	65,5
9010 - Luonnonmetsät	metsä	693		1	713	97,2
9040 - Tunturikoivikot	metsä	900	6	25	932	96,6
9050 - Lehdot	metsä	92			93	98,9
9080 - Metsäluhdat	metsä	10			10	100,0
91D0 - Puustoiset suot	metsä	145		5	150	96,7
91E0 - Tulvametsät	metsä	98			98	100,0
Homogeeniset koealat yhteensä		1 938	5	1369	3 312	
Käyttäjän tarkkuus		89,9	5,7	97,4		
Kokonaistarkkuus (accuracy)						90,2

4.2.2 Vallitseva puulaji

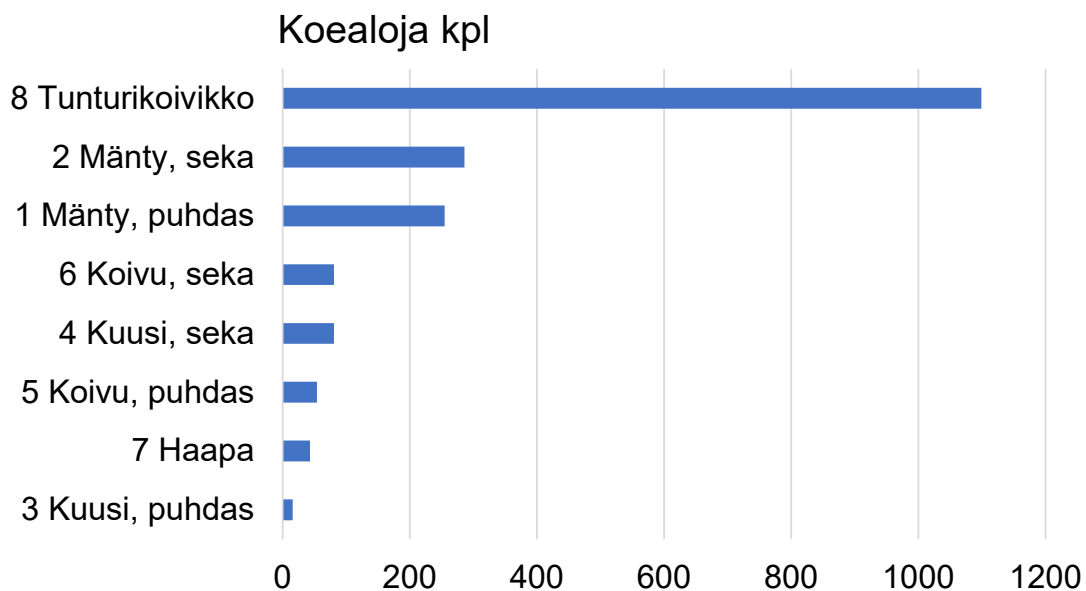
Vallitsevan puulajin tulkinnessa käytettiin kaikkia projektialueella esiintyviä puustoisia tavoiteluokkia (8 kpl), joista maastohavain-toja oli yhteensä 1 925 kpl (kuva 23). Vallitsevan puulajin tulkinnessa ei käytetty ositusta (liite 12). Tulkintamalli ei pysty erottelemaan tunturikoivikoita koivikoista. Samoin puhtaiden kuusikoiden (n = 13) tulkinnan tarkkuus on heikko. Tähän vaikuttanee pääosin vähäinen koealojen määrä opetusaineistossa. Tunturialueen jyrkänteet puolestaan aiheuttivat virheellisiä männiköitä.

Vallitsevan puulajin tulkintaa parannettiin jälkiprosessoinnissa seuraavasti:

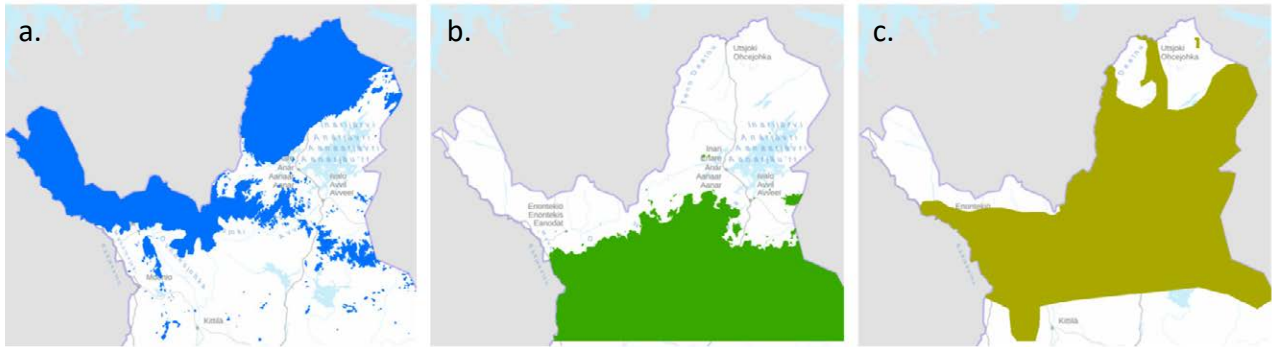
- tunturikoivikot ja muut koivikot erotettiin hankkeessa tuotetun tunturiluontotyypin aluemaskin (kuva 24) ja tulkittujen lehtipuustojen avulla.
- havupuutulkintaa muutettiin kuusikoiden ja männiköiden esiintymisen

pohjoisrajojen (kuva 24) avulla seuraavasti:

- mäntyrajan pohjoispuoliset männiköt määritettiin tunturikoivikoiksi tai poistettiin, mikäli ne olivat jyrkänteitä ja
- kuusirajan pohjoispuoliset kuusikot määritettiin männiköiksi tai tunturikoivikoiksi tulkinnan todennäköisyyden (confidence) perusteella.
- haavikoiden tulkinnessa käytettiin sekä Random forest että TPOT lopputulosta seuraavasti:
 - haavikoiden esiintymien sijainti määritettiin Random forest -tulkinnaasta ja
 - esiintymien kattavuus TPOT-tulkinnan avulla.
- lopuksi puulajitieto rajattiin vain puustoisille alueille puustoisuus-teen metsäluokan avulla.



Kuva 23. Koealojen jakautuminen vallitsevan puulajin tulkinnessa.



Kuva 24. Hankkeessa käytetty a) tunturiluontotyyppien esiintymisalue, b) kuusen esiintymisalue ja c) männyn esiintymisalue, joita on käytetty vallitsevan puulajin jälkiprosessoinnissa. Lähde: Syke, MH. Taustakartta (MML/WMTS): Maanmittauslaitos.

Jälkiprosessoitu vallitseva puulajitulkin- ta validoitiin erillisen validointidatan (20 %, n = 317) avulla (taulukko 5). Koealakeskipis- teen lähimmän pikselin mukaan laskettuna painotettu F1-arvo on 0,81 ja 15 m säteisen ympyräkoealalla vastaava luku on 0,91 eli val- litsevan puulajin tulkinta onnistuu kokonai- suudessaan varsin luotettavasti. Puulajiluok- kien välillä on kuitenkin eroja tulkinnan luot- tavuudessa ja luotettavimmin erotetuksi saadaan seuraavat luokat: mänty, mänty-se- ka, kuusi-seka, haapa ja tunturikoivu. Näillä

luokilla tulkinnan luotettavuus on vähintään 0,83 (15 m säteinen ympyräkoeala) (taulukko 5), mikä tarkoittaa, että vallitseva puulaji saa- tiin tulkittua luotettavasti 89 %:sta hankealu- een metsistä. Haavan tulkinnan luotettavuut- ta kuitenkin heikentää havaintojen vähäisyys. Puhtaan kuusen ja koivun tulkinta ei onnistu kovin luotettavasti johtuen todennäköisesti niiden havaintojen vähyydestä sekä koivun osalta sekoittumisesta tunturikoivun kanssa (taulukko 5).

Taulukko 5. Vallitsevan puulajin tulkinnan validointi jälkiprosessoinnin jälkeen.

Puusto	Käyttäjän tarkkuus lähin	Käyttäjän tarkkuus 15 m	Tuottajan tarkkuus lähin	Tuottajan tarkkuus 15 m	F1-arvo lähin	F1-arvo 15 m	F1-arvo n
1 Mänty	0,77	0,87	0,75	0,91	0,76	0,89	44
2 Mänty-seka	0,74	0,91	0,78	0,86	0,76	0,89	50
3 Kuusi	1,00	1,00	0,33	0,33	0,50	0,50	3
4 Kuusi-seka	0,86	0,94	0,75	0,94	0,80	0,94	16
5 Koivu	0,33	0,63	0,38	0,63	0,35	0,63	8
6 Koivu-seka	0,43	0,64	0,43	0,64	0,43	0,64	14
7 Haapa	0,83	1,00	0,71	0,71	0,77	0,83	7
8 Tunturikoivu	0,93	0,94	0,94	0,97	0,91	0,94	175

Tarkkuus	F1-arvo lähin	F1-arvo 15 m	F1-arvo n
Kokonaistarkkuus (accuracy)	0,80	0,91	
F1-keskiarvo	0,65	0,78	
F1 painotettu keskiarvo	0,81	0,90	
Yhteensä			317

4.2.3 Tunturipensaikot

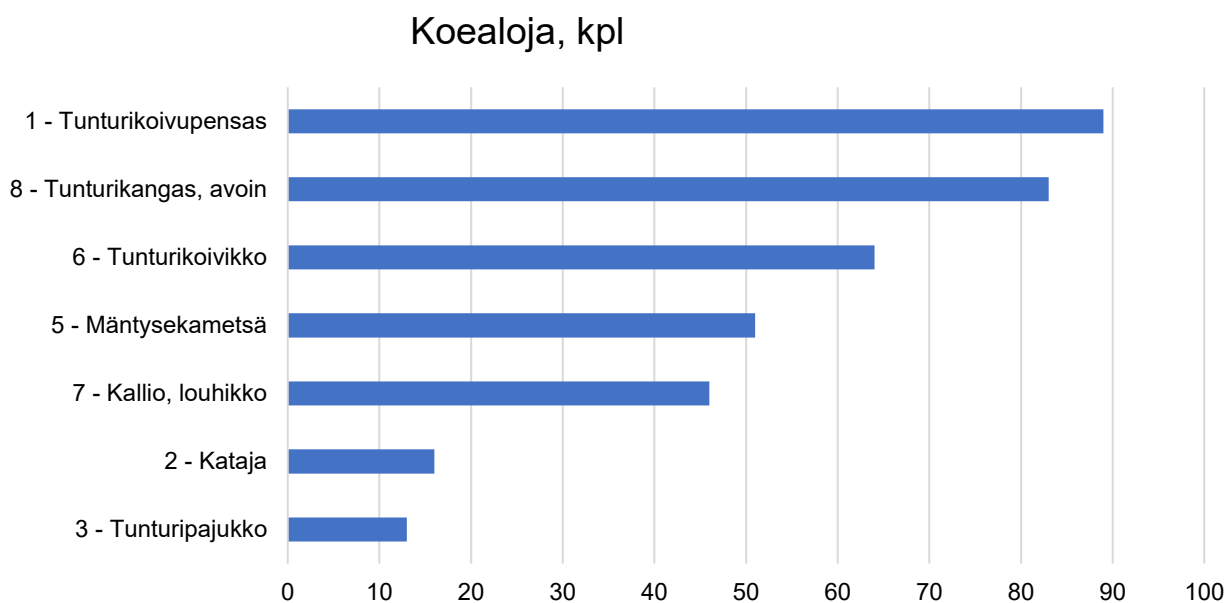
Tunturipensaikoista tulkittiin tunturikoivupensaikoita, tunturikatajikkoja ja tunturipajukoita puustoisuusteeman pensaiden (ks. luku 4.2.1) alueelle (maastossa tehtiin lisäksi havaintoja pensasluokkaan kuuluvista vaivaiskoivuista ja muista mahdollisista pensaista). Tulkinnassa näiden tavoiteluokkien lisäksi tulkittiin avointa tunturikangasta, tunturikoivikkoa, mäntysekametsää sekä kallioita/louhikoita (kuva 25), joita tiedettiin esiintyvän jonkin verran pensasmaskin alueella. Näin menetellen tunturipensaikoiden tulkinnasta saatiin tarkempi. Tunturipensaikoiden tulkinnassa ei käytetty ositusta (liite 13).

Pensastulkinnan jälkiprosessoinnissa käytettiin seuraavia paikkatietoja:

- Tunturiluontotyyppien aluemaski
- Maastotietokannan suot/kivennäismaat
- Laserkeilattu puustoisuus (pajukot, kataja, tunturikoivupensas)
 - Lisäksi Vätsärin alueelta (erillisdigitointi) lopputuloksesta poistettiin

tunturikoivupensaikot, koska niiden erottaminen Vätsärille tyypillisistä suurista paikallisista korkeuseroista aiheuttavista louhikoista ja kallioista ei täällä onnistunut laserkeilatun puustoisuustiedon avulla. Maastohavaintojen perusteella tiedetään, että alueella ei juuri ole tunturikoivupensaikoita.

Pensastulkinnasta ei tehty erillistä, itsenäiseen maastokoealajoukkoon perustuvaa validointia, koska tulkintamalliin oli käytettävissä vain vähän maastokoealoja. Johtopäätökset mallin luotettavuudesta perustuvat siksi suoraan käytetyn tulkintamallin tunnuslukuihin (liite 13). Tunturikoivupensaiden tulkinta onnistui varsin tarkasti, sillä käyttäjän ja tuottajan tarkkuudet ovat noin 0,8 ja F1-arvo 0,81. Tunturikatajikkojen ja tunturipajukoiden käyttäjän tarkkuudet ovat yli 0,7, mutta tuottajan tarkkuudet selvästi huonompia (< 0,4), mikä johtuu siitä, että tulkinta aliarvioi näiden pensaikoiden esiintymien määrää.

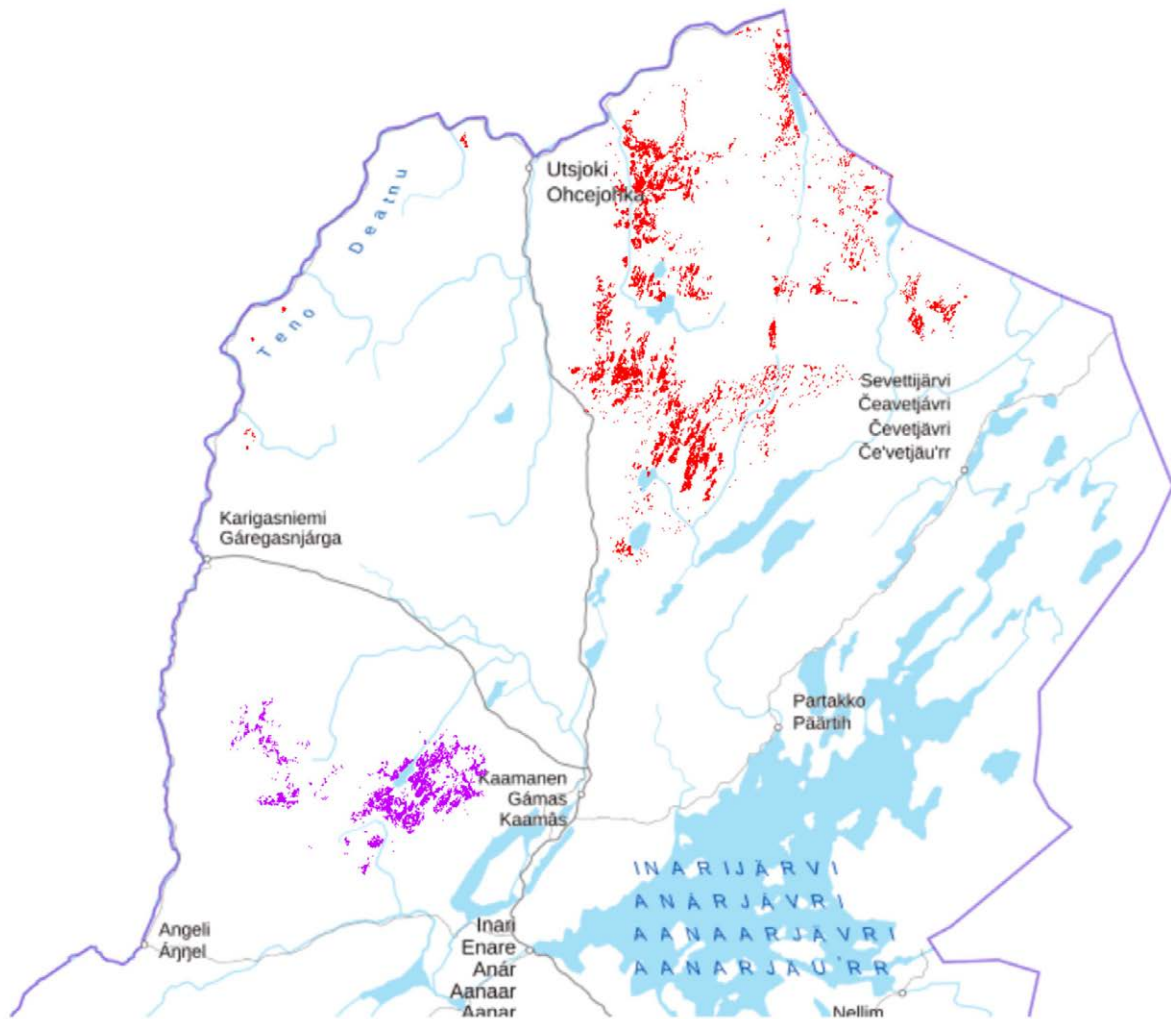


Kuva 25. Tunturipensaikoiden tulkinnassa mukana olleiden tavoiteluokkien koealojen lukumäärät.

4.2.4 Mittarituhoalueet

Tunturi- ja hallamittariperhosten toukat käyttävät ravinnokseen tunturikoivun lehtiä. Mittariperhosten massaesiintymien aikana toukat voivat syödä tunturikoivujen lehdet laajoilta alueilta jättäen koivut lehdettömiksi. Tunturikoivikkojen palautuminen mittarituhoista riippuu niiden uusiutumiskyvystä. Mikäli koivikko ei pysty uusiutumaan ja se kuolee, aluetta kutsutaan tässä työssä mittarituhoalueeksi. Mikäli tunturikoivikko on pystynyt uusiutumaan mittari-invaasiosta, sitä ei ole luettu mukaan mittarituhoalueisiin, koska pysyviä puustotuhoja ei ole syntynyt.

Mittarituhoalueista tuotettiin aineistoa tarkastelemalla NDVI-erotuskuva-aineistoa ja laserkeilausaineistosta tuotettua puuston pituuden ja peittävyden suhdetta kuvaavaa aineistoa (kuva 26). Aineistojen suoraa käyttöä hankaloittaa huomattavasti se, että usein mittarituhon viittaava aineisto selittyy jollain muulla kuin mittarituholla. Aineistoa on siis tarkkaan verrattava ilmakeuviin ja maastohavaintoihin ja erikseen tarkastelemalla hyväksyttävä varsinaiset aineiston esille tuomat mittarituhot. Virheellisyyttä aiheuttaa etenkin vanhemmissa satelliittikuvissa pilvisuus. Virheellisyyttä aiheuttaa myös eri satelliittinstrumenttien ottamien kuvien käyttö, kun



Kuva 26. Inari–Utsjoki-alueen 2000-luvulla tapahtuneet mittarituhot alueilla, joilla tunturikoivikot eivät ole uusiutuneet. Violetilla NDVI-erotuskuvien (Sentinel-2) avulla tuotettu aineisto ja punaisella laserkeilausaineistosta lasketun pituus-peittävyys-suhteen avulla tuotettu aineisto. Lähde: Syke, MH. Taustakartta: Esri Finland, Maanmittauslaitos.

kuvia ei ole luotettavasti korjattu radiometri-
sesti ja kalibroitu keskenään sekä instrument-
tien erilaisista alueellisista erotuskyvyistä joh-
tuvat muutokset vuosittaisissa NDVI-arvois-
sa. Pituus/peittävyys aineiston mittarituhoihin
viittaaviin arvoihin tulee mukaan luontaisesti
harvapuustoisia alueita kuten metsänrajakoh-
teita ja pitkään voimakkaan laidunnuksen al-
la olleita koivikoita. Lisäksi laserkeilausaineis-
ton tarkkuus vaihtelee alueittain, mikä joh-
taa siihen, että mittarituhoihin viittaavat ra-
ja-arvot vaihtelevat eri alueilla. Yleisesti voi-
daan todeta, että Sentinel-2-aineiston laatu
on riittävän hyvä todentamaan voimakkaat
muutokset vuosittaisissa NDVI-arvoissa. Ai-
neistoa on kuitenkin saatavilla vasta vuodes-
ta 2016 alkaen. Landsat-aineistoissa havaittiin
enemmän puutteita johtuen etenkin siitä, et-
tä hyvää kuvamateriaalia saattoi olla varsin
vähän hyvälaatuisten vuotuisten NDVI-mak-
simimosaiikkien tekoon. Pituus/peittävyys-ai-
neisto puolestaan todentaa selvästi parem-
min 15–20 vuotta vanhat tuhoalueet kuin
uusimmat alle 10 vuotta vanhat tuhoalueet.
Näistä syistä johtuen 2000-luvun alkupuolen
mittarituhojen rajaamiseen käytettiin pi-
tuus/peittävyys-aineistoa ja vuoden 2016 jäl-
keisiin Sentinel-2-aineistoa. Muotkatunturin
alueella Sentinel-2-aineistolla saatua rajaus-
ta täydennettiin pituus/peittävyys-aineistol-
la ennen vuotta 2016 tapahtuneiden (toden-
näköisesti vuosi 2015) mittarituhojen mukaan
saamiseksi.

Mittarituhalueet otettiin mukaan Natura-
tyyppitulkintaan, jonka avulla pystyttiin erot-
tamaan tuhoista palautuneita tunturikoivikoi-
ta ja kuolleita, sekundääripaljakaksi jääneitä
alueita. Uusimpien mittarituhalueiden kor-
kea koivupökelikkö on vielä selvästi havait-
tavissa laserkeilausaineistoissa, mistä syystä
valtaosa alle 10 vuotta vanhoista tuhoalueis-
ta on vielä tulkittu tunturikoivikoiksi.

4.2.5 Tunturikoivikkojen uusiutumiskyvyn luokittelu maastohavaintojen ja laidunalueiden perusteella

Tunturikoivikoiden uusiutumiskyvyn ja edus-
tavuuden määrittämistä varten tehtiin tuntu-
rikoivikkojen uusiutumismaski, josta tieto uu-
siutumiskyvystä johdettiin segmentoinnissa
tuotetuille kuvioille ominaisuustiedoksi. Tun-
turikoivikkojen uusiutumiskykyä arvioidaan
ensisijaisesti taimien ja vesojen lukumäärien
ja elinvoimaisuuden perusteella. Arviointime-
netelmä on kuvattu tarkemmin liitteessä 3.
Tässä hankkeessa tunturikoivikoiden uusiutu-
miskyky koko hankealueen laajuisesti määri-
tettiin laidunaluekohtaisella tarkastelulla pe-
rustuen pääosin kullakin laidunalueella ke-
rättyyn maastokoealatietoon. Laidunalueet
(lähde: Paliskuntain yhdistys) on jaettu ke-
sä-, talvi- ja ympärivuotisiin laidunalueisiin.
Tunturikoivikon uusiutumiskykyyn vaikuttaa
kesäaikainen voimakas laidunnuspaine, mis-
tä syystä uusiutuminen on usein heikentynyt
erityisesti kesä- ja ympärivuotisilla laidun-
alueilla. Alueilla on kuitenkin suurta sisäistä
vaihtelua laidunnuspaineessa, mitä selvitet-
tiin kaikilla laajoilla tunturikoivikon esiinty-
misalueilla maastohavainnoin. Laidunalue-
aineistoa (lähde: Paliskuntain yhdistys) on
käytetty myös Luontotyyppien uhanalaisuu-
den arvioinnissa (Pääkkö ym. 2018).

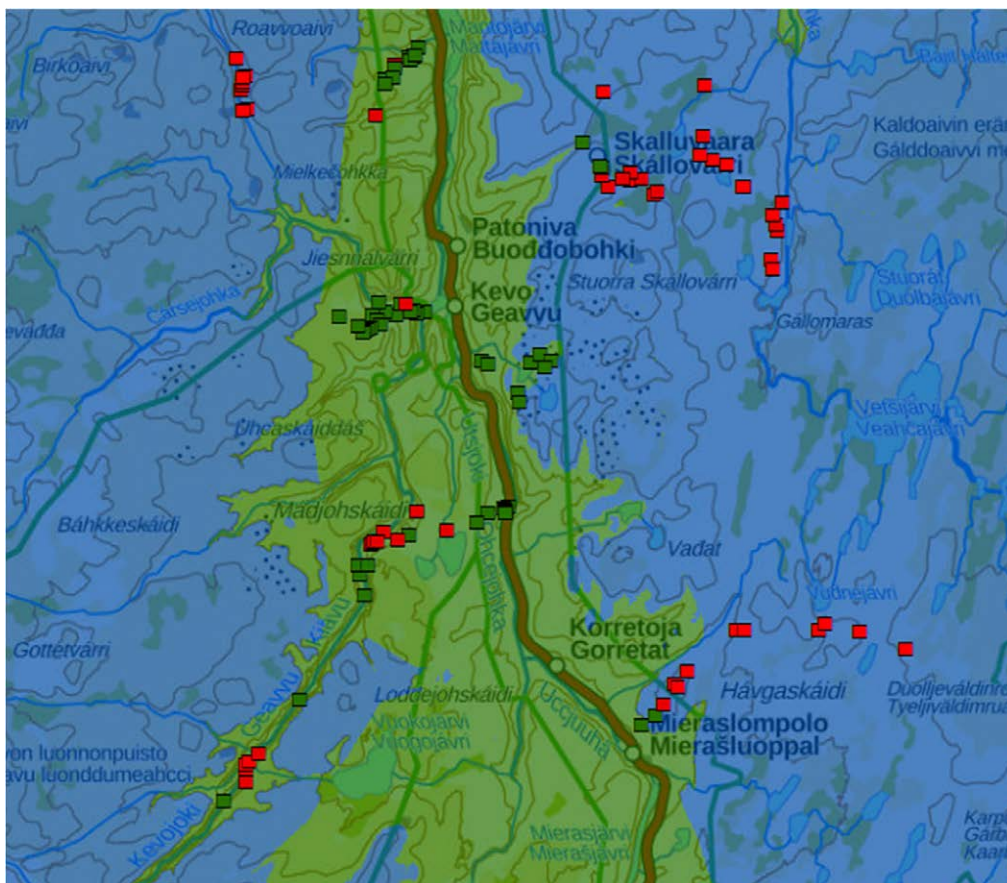
Laajimmilla tunturikoivikoiden esiintymis-
alueilla maastotietoa tunturikoivikoiden uu-
siutumiskyvystä kerättiin kattavasti eri puolil-
ta laidunalueita. Kaikkiaan käytössä oli 1 035
maastokoealaa tunturikoivikoista. Laidun-
alueet luokiteltiin maastotietojen perusteel-
la uusiutumisluokkiin: 1) uusiutuu hyvin/koh-
talaisesti, 2) uusiutuu heikosti ja 3) ei uusiudu.
Uusiutumiskyky on keskeinen ominaisuustie-
to tunturikoivikon edustavuuden ja luonnon-
tilaisuuden arvioinnissa (liite 3).

Mikäli saman laidunalueen sisällä oli erias-
teisesti uusiutuvia tunturikoivikoita, alue jaet-
tiin maastohavaintojen perusteella korkeus-
vyöhykkeen tai vesistön avulla osiin (kuva 27).

Paistunturin, Kaldoaivin, Muotkatunturin ja Hammastunturin erämaa-alueilla käytettiin korkeuteen (MPY) perustuvaa aluejakoa. Lisäksi Kaldoaivin erämaa-alueen eteläosa jaettiin Näätämöjoella. Tunturikoivikon uusiutumiskyky on yleensä parempi alavilla mailla ja alarinteillä. Tämä johtuu laidunpaineen painottumisesta kesällä korkeammille alueille ja laaksojen keskimäärin ravinteisemmista kasvupaikoista.

Mikäli selkeätä vaihtelua tunturikoivikon uusiutumiskyvyssä laidunalueella ei maasto-

havaintojen mukaan havaittu, kyseisen alueen uusiutumiskyky määritettiin vallitsevan uusiutumislukon perusteella. Joiltakin eteläisiltä alueilta uusiutumiskyvystä ei ollut riittävästi havaintoja. Tällöin alueen tunturikoivikkojen uusiutumiskyky määritettiin laidunaluetyypin perusteella siten, että uusiutumiskykyä alennettiin kesälaidunalueilla. Laidunalueiden ulkopuolelle jäävät alueet esimerkiksi Tenojokilaaksossa tai valtiorajoilla ovat uusiutumiskykyisiä ja ovat siksi edustavuudeltaan ja luonnontilaisuudeltaan pääosin erinomaisia.



Kuva 27. Maastohavaintoihin perustuvan korkeusrajan mukaan muodostettu tunturikoivikon uusiutumismaski Mierasluoppolan alueella Kevon luonnonpuistossa ja Kaldoaivin erämaa-alueella. Vihreä alue = tunturikoivikko uusiutuu, sininen alue = tunturikoivikko ei uusiudu, vihreä neliö = maastohavainto (uusiutuu), punainen neliö = maastohavainto (ei uusiudu). Lähde: Syke, MH. Taustakartta: Maanmittauslaitos.

4.2.6 Tunturikoivikon uusiutumiskyvyn luokittelu laserkeilausaineiston (las5p) avulla

Tunturikoivikkojen uusiutumiskykyä arvioitiin myös laserkeilausaineistoja hyödyntäen. Menetelmää testattiin kolmella karttalehdellä, joilta oli saatavissa uutta, tarkempaa laserkeilausaineistoa (5 havaintopistettä/m², jäljempänä las5p). Tunturikoivikon uusiutumiskykyä eli vesojen ja nuorten runkojen määrästä voidaan saada viitteitä etenkin tarkimmista laserkeilausaineistoista.

Aineistoille laskettiin kerrospeittävydet 0,5–1,5 metrin korkeudesta, jossa on suurin osa tunturikoivikon uusiutumiskykyä kuvaavasta elinvoimaisesta vesaikosta. Voimakkaan laidunnuksen vaikutus tähän kerrokseen on suuri, sillä poro syö myös koivujen alaoksia noin 1,5 metrin korkeuteen asti. Alle 0,5 metrin kerros aiheuttaa aineistoon pinnan muodoista johtuvaa virhettä, eivätkä alle 0,5 metrin korkuiset vesat ilmennä pitkäkestoista uusiutumiskykyä, joten se jätettiin aineistosta kokonaan pois.

Kerrospeittävydellä tarkoitetaan kyseisen kerroksen havaintojen määrän suhdetta kyseisen kerroksen ja sen alapuolella olevien laserkeilaushavaintojen määrään (kerroksen yläpuoliset havainnot poistettu). Havainnot poimittiin 8 x 8 metrin alueelta eli kerrospeittävyden lopputuloksen pikselikooksi tuli 8 m. Luokitteluaineistoina käytettiin las5p-laserkeilausaineiston kerrospeittävyden keskiarvoa ja mediaania. Rasteriaineistossa vaihtelu on yksittäisten pikselien kohdalla eri tekijöistä johtuen verrattain suurta, joten luotettavimmin uusiutumiskykyä kuvaa alueille (koeala, segmentti) laskettu mediaani tai keskiarvo kerrospeittävydestä. Uusimman las5p-laserkeilausaineiston alueella sijaitseville tunturikoivikkokoealoille laskettiin kerrospeittävyyskeskiarvot ja -mediaanit ja laskettiin niille edelleen keskiarvot eri uusiutumislukille maastokoealojen avulla (taulukot 6 ja 7).

Koealoista poistettiin maastossa heterogeenisiksi määritetyt koealat sekä runsaasti pensaskerrosta, useimmiten katajaa, (peittävyys yli 10 %) sisältävät koealat. Sekä pensaat että heterogeenisissa koealoissa allikot, pu-

Taulukko 6. Tunturikoivikkokoealoille laskettujen kerrospeittävyksien (0,5–1,5 metriä) keskiarvojen uusiutumisloukkakohtaiset keskiarvot (ka) ja niiden perusteella asetetut luokkarajat las5p-aineiston ja maastomittausten mukaan määritetyille uusiutumisloukkille.

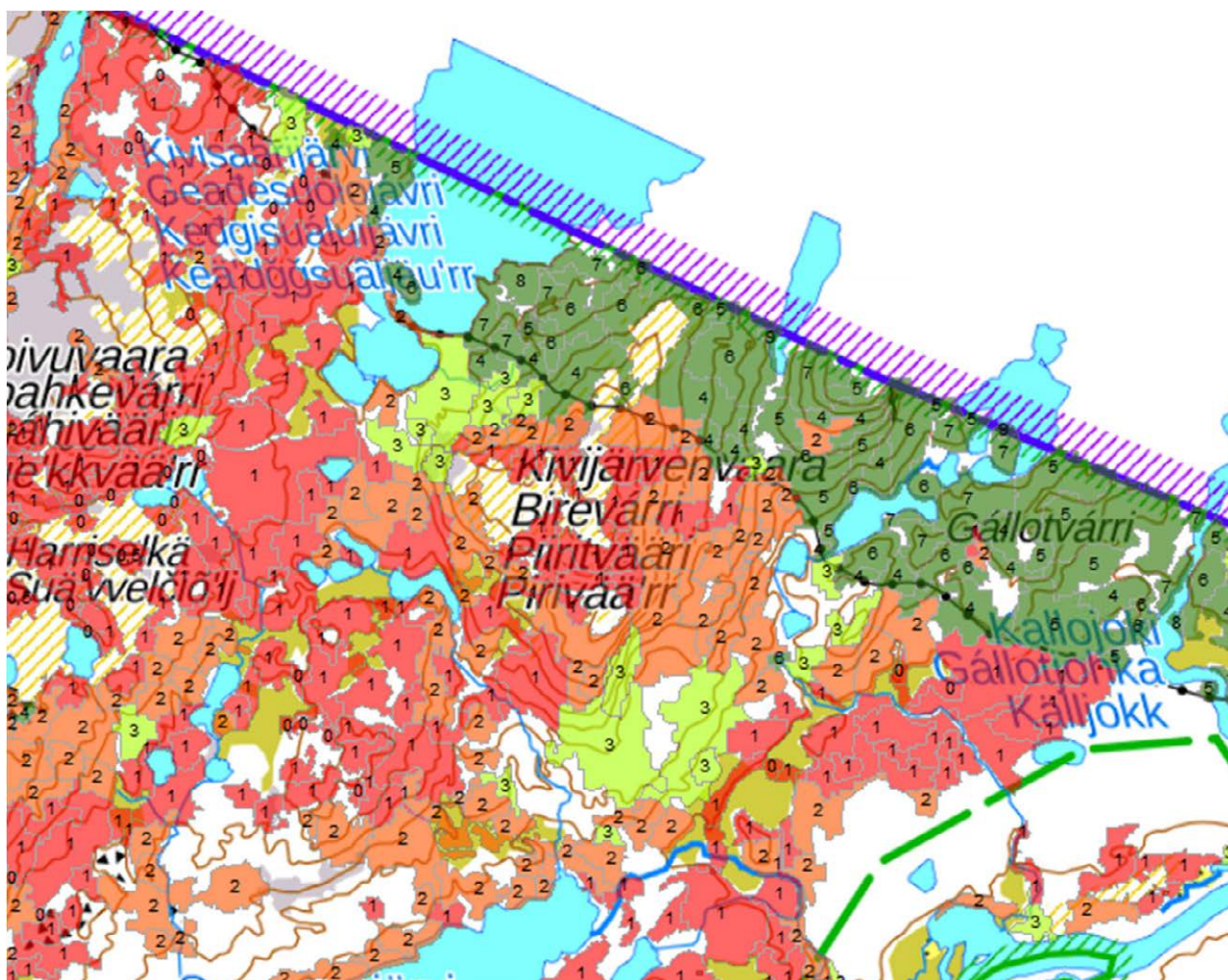
Uusiutumisloukka	Kerrospeittävyys koealoilla (ka)	Kerrospeittävyden uusiutumisloukkaraja (ka)
1 ei uusiudu	1,4	<3
2 uusiutuu heikosti	1,6	<3
3 uusiutuu kohtalaisesti	3,2	>3
4 uusiutuu hyvin	3,9	>3,5

Taulukko 7. Tunturikoivikkokoealoille laskettujen kerrospeittävyksien (0,5–1,5 metriä) mediaanien (med) loukkakohtaiset keskiarvot ja niiden perusteella asetetut luokkarajat las5p-aineiston ja maastomittausten mukaan määritetyille uusiutumisloukkille.

Uusiutumisloukka	Kerrospeittävyys koealoilla (ka)	Kerrospeittävyden uusiutumisloukkaraja (ka)
1 ei uusiudu	1,1	<2,5
2 uusiutuu heikosti	1,4	<2,5
3 uusiutuu kohtalaisesti	2,8	>2,5
4 uusiutuu hyvin	3,5	>3,0

ron- ja joenvarret voivat aiheuttaa merkittävästi yliarviota kerrospeittävyteen. Myös louhikot aiheuttavat virhettä, mutta käytettyihin koealoihin ei sisällynyt erityisen louhikoisia koivikoita. Menetelmä antaa yliarvion herkemmin kaltevilla kuin tasaisilla alueilla. Tulokset osoittavat, että menetelmällä voidaan arvioida tunturikoivikkojen uusiutumiskykyä laajoilta alueilta, kun tarkempi laserkei-

lausaineisto koko Ylä-Lapin alueelta saadaan tuotettua lähivuosina. Kuvassa 28 on esitetty kerrospeittävyden mediaaneihin perustuva uusiutumiskyvyn luokittelu esimerkkialueelta Näätämöjoen pohjoispuolella. Luokkarajat huonosti uusiutuvien tunturikoivikoiden määrittämiseksi on asetettu varovaisuusperiaatteen mukaan yläkanttiin.



Kuva 28. Tunturikoivikkokuvioille lasketut (kerroksen 0,5–1,5 m) kerrospeittävyksien mediaanit teemoitettuna taulukon 7 mukaisiin uusiutumislukuihin Näätämöjoen pohjoispuolella poroaidan molemmiin puolin. Punainen = ei uusiudu, oranssi = uusiutuu heikosti, vaaleanvihreä = uusiutuu kohtalaisesti, tummanvihreä = uusiutuu hyvin. Lähde: Syke, MH. Taustakartta (MML/WMTS): Maanmittauslaitos.

4.2.7 Jäkäläkoivien tila

Maastossa koealoilla jäkäläkoivien tilaa arvioidtiin viisiportaisella asteikolla (taulukko 8, liite 3), joka perustuu luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa käytettyyn, suurelta osin Luonnonvarakeskuksen pitkäaikaiseen seuranta-aineistoon pohjautuvaan luokitukseen (Kumpula & Turunen 2018). Kaukokartoituksella tehdyssä jäkäläkoivien tilan luokituksessa käytettiin luokkia huonokuntoinen jäkälä (alkuperäiset luokat 1 ja 2, jäkäläpeitteen paksuus alle 25 mm) ja hyväkuntoinen jäkälä (alkuperäiset luokat 3, 4 ja 5, jäkäläpeitteen paksuus yli 25 mm) (taulukko 8).

Jäkäläkoivien tilan luokittelussa käytettävät piirteet muodostettiin seuraavista aineistoista (taulukon 9 toisessa sarakkeessa on käytössä olleiden piirteiden lukumäärä piirryhmittäin):

- S2ref: Sentinel-reflektanssimosaikki, heinäkuu 2021 (luku 2.1.1.1): Mosaikin kanaville tehtiin pääkomponenttimuunnos ja luokittelussa käytettiin 5 ensimmäistä pääkomponenttikuvaa.
- S2ndi: Sentinel-2-reflektanssimosaikin kanavista laskettiin kaikki erilaiset indeksikuvat $NDI_{ab} = (DN_a - DN_b) / (DN_a + DN_b)$. Lasketuille indeksikuville (36 erilaista) tehtiin pääkomponenttimuunnos ja luokittelussa käytettiin 10 ensimmäistä pääkomponenttikuvaa.
- S2ind: Sentinel-2 kuvaindeksi-aikasarja (NDVI-, NDMI- ja NDTI-mosaikkien kuukausi-indeksit vuosilta 2016–2022,

yhteensä 91 mosaikkia kutakin, luku 2.1.1.2) prosessoitiin siten, että ensinnä laskettiin NDVI-indeksin osalta vuosien 2016–2022 kuukausien maksimimosaikit, ja NDTI- ja NDMI-indeksien osalta vastaavien vuosien kuukausien mediaanimosaikit. Tämän jälkeen kullekin indeksille laskettiin pääkomponenttimuunnos tallentaen neljä ensimmäistä pääkomponenttia (yhteensä 12 mosaikkia), ja nämä yhdistettiin jälleen tekemällä pääkomponenttimuunnos ja tallentamalla neljä ensimmäistä pääkomponenttia. Näin saatiin tiivistettyä 273 mosaikin tieto neljään mosaikkiin.

- Slgbm: Sentinel-1 GBM -mosaiikista (luku 2.1.1.3) käytettiin VV-polarisaation ja VH-polarisaation takaisinsiron-ta sekä näiden suhde.
- VHR: VHR IMAGE 2021 ja 2018 -kuvista laskettiin kasvillisuuden ja kosteuden paikallisvaihtelua sekä paljaan vesipinnan todennäköisyyttä kuvaavat piirteet kuten on esitetty luvussa 2.1.2.
- DEM: Topografian osalta piirteinä käytettiin korkeutta metreinä jaettuna luvulla 10, sekä laskettiin MML:n 10 m maastomallista rinteiden kaltevuus prosentteina ja viettosuunta luokiteltuna pää- ja väli-ilmansuuntiin, sekä MML:n 2 m korkeusmallista topografian paikallisvaihtelua kuvaavat korkeuden keskiarvo jaettuna luvulla 10, hajonta sekä maksimi miinus minimi kuten on esitetty luvussa 2.2.1.

Taulukko 8. Luokittelussa käytetyt jäkäläluokat ja käytössä olleiden näytteiden lukumäärät.

Luokka	Jäkäläpeitteen paksuus (mm)	Lukumäärä, kaikki	Lukumäärä, jäkäläinen alue
Lk1	<15	716	216
Lk2	15–25	212	49
Lk3	25–40	115	43
Lk4	40–55	25	24
Lk5	>55	12	9
Huonokuntoinen	<25		265
Hyväkuntoinen	>25		76

- LAS: Laserkeilausdatasta (kasvillisuuden korkeus 2 m, luku 2.1.4) laskettiin 10 m hilassa kasvillisuuden korkeuden keskiarvo käyttäen kaikkia 2 m pikseleitä ja pelkästään kasvillisia pikseleitä, sekä kasvillisuuden hajonta ja maksimikorkeus.

Kaikki piirteet tallennettiin 8-bittisiksi, eli lukualueelle 0,...,255. Piirteet, jotka laskettiin pääkomponenttimuunnoksen avulla, skaalattiin lineaarisesti katsoen skaalauksen minimi- ja maksimiarvot piirteiden histogrammeista. Kaikkiaan luokitteluun oli käytössä 34 piirrettä.

Luokittelu tehtiin käyttäen Random forest -luokittelijaa, käyttäen 100 puuta, Gini impurity -kriteeriä sekä viiden osan ristiinvalidointia. Luokittelua kokeiltiin erilaisilla opetus- ja piirrejoukoilla. Lopulliseksi opetusjoukoksi valittiin taulukossa 8 esitetty opetusdata. Lopullinen piirrejoukko (16 piirrettä) valittiin luokittelemalla kaikki piirteet, poistamalla kaksi huonointa piirrettä (perustuen permutation importance -kuvaajaan) ja toistamalla piirteiden poistoa, kunnes vain kaksi piirrettä oli jäljellä. Tämän jälkeen optimaalinen piirrejoukko valittiin tarkastelemalla tarkkuuslukuja, etenkin luokkien käyttäjän tarkkuutta (precision).

Luokiteltaessa kaikki piirteet viiteen jäkäläluokkaan luokittelun kokonaistarkkuus oli 0,75, luokkien F1-arvo tarkkuusluvun (luokkien tuottajan ja käyttäjän tarkkuuksien geometrinen keskiarvo) 0,34 (lk2)–0,87 (lk1). Tarkkuusluvut paranivat hieman piirteiden valinnan myötä, parhaimmillaan 22 piirteellä kokonaistarkkuus oli 0,76 ja luokkien F1-arvo tarkkuusluvut 0,39 (lk2)–0,87 (lk1). Luokat sekoittuivat lähinnä siten, että muiden luokkien opetusjoukon pisteitä luokiteltiin luokkaan 1 ja luokat 4 ja 5 sekoittuivat keskenään.

Mikäli kaikkien piirteiden sijaan luokittelussa käytettiin pelkkiä satelliittikuviin perustuvia piirteitä, niin kokonaistarkkuudet olivat jonkin verran pienempiä. Käyttäen pelkkiä Sentinel-2-reflektanssimosaikista laskettu-

ja pääkomponentteja, kokonaistarkkuus oli 0,70. Jos luokittelussa käytettiin vain Sentinel-2-indeksimosaiikkeja kokonaistarkkuus pieneni hieman ja oli pienin pelkkien Sentinel-1-piirteiden luokittelussa (kokonaistarkkuus 0,60).

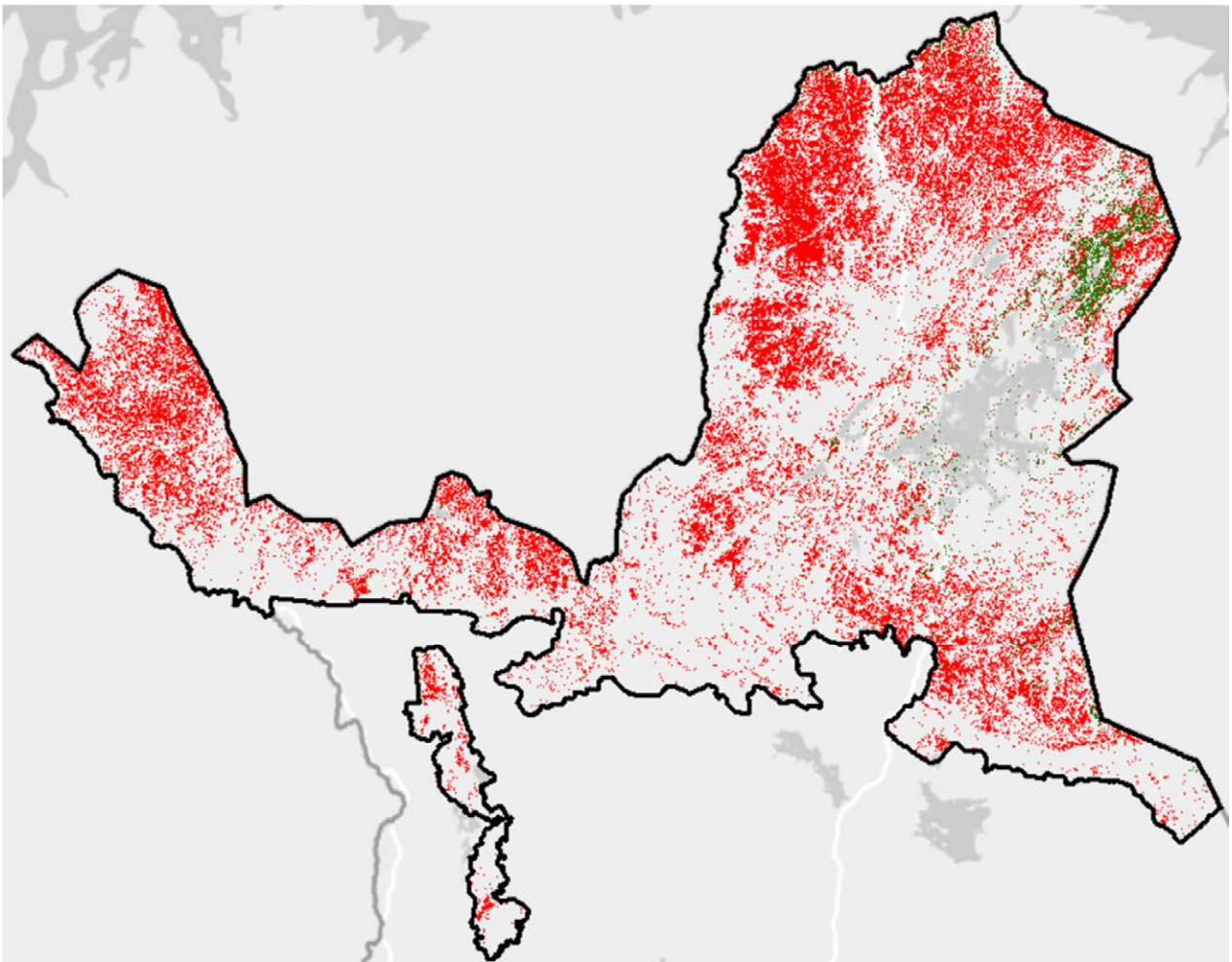
Tehtyjen luokittelukokeilujen perusteella, tarkastelemalla sekä luokittelijan tuottamia tarkkuuslukuja että visuaalisesti tulkinnan lopputulosta, päädyttiin jakamaan viisi jäkäläluokkaa kahdeksi; hyvä- (luokat 3, 4 ja 5) ja huonokuntoiseksi (luokat 1 ja 2) jäkäläksi (taulukko 8). Lisäksi opetusjoukosta poistettiin pisteitä siten, että jäljelle jäivät vain parhaimman laatuiset, inventointiluokkien 232 (jäkälä-varpu) ja 241 (jäkälä-sammal-varpu) alueella olevat pisteet.

Luokiteltaessa kaikki piirteet kahteen jäkäläluokkaan luokittelun kokonaistarkkuus oli 0,92, luokkien F1-arvo tarkkuuslukuja ollessa huonokuntoiselle jäkälälle 0,95 ja hyväkuntoiselle 0,80. Tarkkuusluvut eivät juuri muuttuneet piirteiden valinnan myötä, parhaimmillaan 16 piirteellä kokonaistarkkuus oli 0,92 ja huonokuntoisen jäkälän F1-arvo 0,95 ja hyväkuntoisen 0,81.

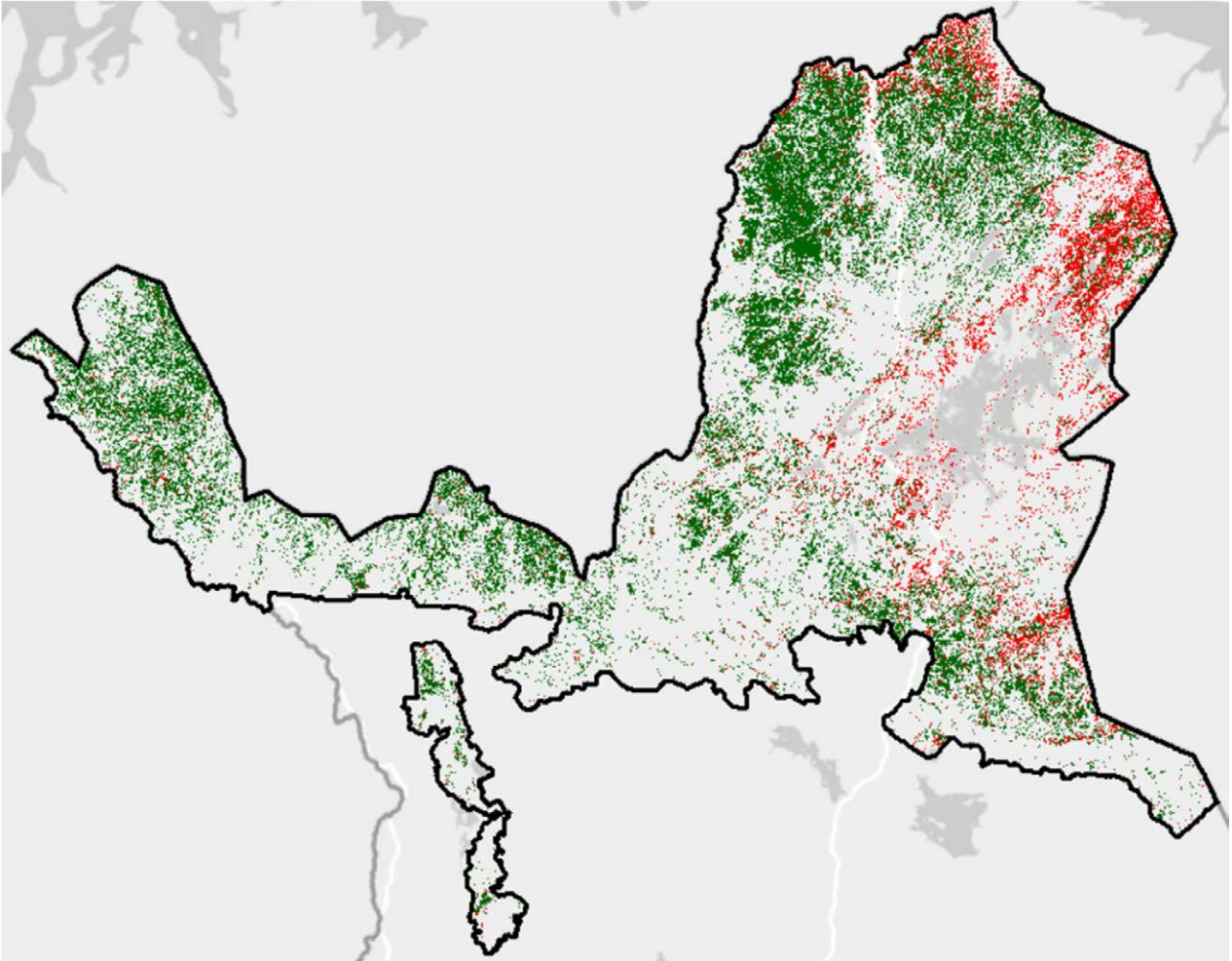
Lopullisena jäkäläluokitteluna käytettiin kahden luokan parasta luokittelua, joka ositettiin käyttäen inventointiluokkaa siten, että inventointiluokkien 232 ja 241 alueella käytettiin tehtyä jäkäläluokitusta ja ulkopuoliset alueet luokiteltiin ei-jäkäläisiksi. Lisäksi tiet ja rakennetut alueet poistettiin tulkinnasta tekemällä Digiroad- (Väyläviraston tuottama kansallinen tie- ja katutietojärjestelmä) ja Imperviousness- (Euroopan unionin Copernicus Land Monitoring Service palvelussa tuotettu arvio vettä läpäisemättömistä pinnoista) aineistojen avulla maski, jonka alueella jäkäläisen pikselit on merkitty jäkälättömiksi. Tämä tehtiin siitä syystä, että huomattiin, että varsin usein etenkin hiekkateille tulkittiin jäkäläpeitettä. Kuvassa 29 on jäkäläluokittelu koko Ylä-Lapin alueelta, kuvassa 30 on jäkäläluokituksen luotettavuusestimaatti kuvana ja kuvassa 31 on jäkäläluokituksen yksityiskohta Välipääntunturin alueelta läheltä Venäjän rajaa. Tul-

kinnan perusteella huonokuntoista jäkäläpeitettä on noin 7 725 km², josta suuri osuus, 83 % (6 422 km²) on tulkittu luotettavasti (ts. pikselin tulkinnan luotettavuusarvo on yli 0,8). Hyväkuntoista jäkäläpeitettä on varsin vähän eli 562 km², josta pienempi osuus, 14 % (noin 80 km²), on tulkittu luotettavasti. Tulkinnassa oletetaan, että koko inventointiluokkien 232 ja 241 alueella on jäkäläpeitettä. Epäluotet-

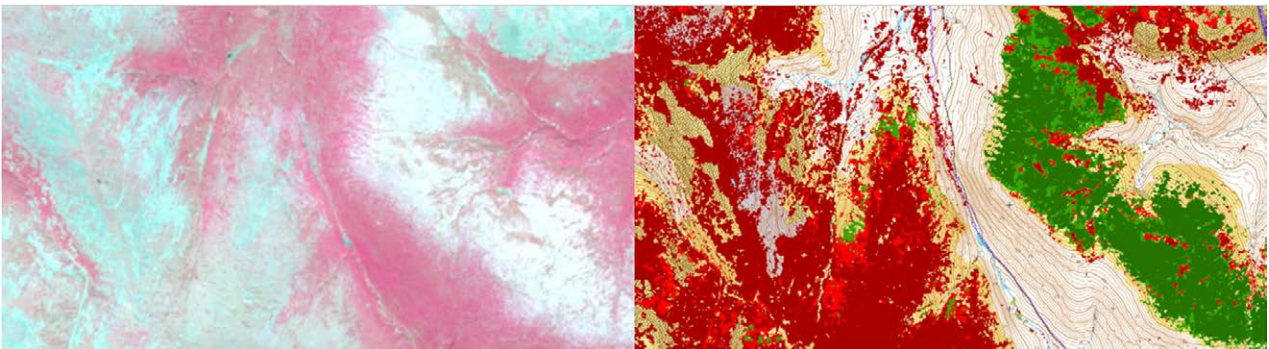
tava tulkinta tarkoittaa, että kyseessä olevien kahden luokan välillä on opetusjoukon perusteella vaikea tehdä luotettava valinta. Eräs tulkintaan epävarmuutta aiheuttava asia on alueen kivisyys, sillä esimerkiksi Vätsärin erämaassa ja yleisesti järvien rannoilla kiviset kohteet on voitu luokitella virheellisesti hyväkuntoisiksi jäkäläkoiksi.



Kuva 29. Ylä-Lapin jäkälätulkinta, punaisella värillä huonokuntoinen jäkälä ja vihreällä värillä hyväkuntoinen jäkälä. Lähde, Syke, MH. Taustakartta: Maanmittauslaitos, Esri Finland.



Kuva 30. Ylä-Lapin jäkälätulkinnan luotettavuus, vihreällä värillä luotettava tulkinta ja punaisella värillä epäluotettava tulkinta. Lähde: Syke, MH. Taustakartta: Maanmittauslaitos, Esri Finland.



Kuva 31. Vasemmalla Sentinel-2-reflektanssimosaikki heinäkuulta 2021 (värit R: B08 Lähi-infrapuna, G: B04 Punainen, B: B03 Vihreä) ja oikealla jäkälätulkinta (tummanvihreällä hyväkuntoinen, luotettavasti tulkittu jäkälä, vihreällä hyväkuntoinen epäluotettavasti tulkittu jäkälä, tumman punaisella huonokuntoinen luotettavasti tulkittu jäkälä ja punaisella huonokuntoinen epäluotettavasti tulkittu jäkälä). Alue: Välipää-tunturi, Urho Kekkosen kansallispuisto. Lähde: sisältää muokattua Copernicus Sentinel-2-dataa, Syke (2023), MH, Maanmittauslaitos.

Luokittelun kannalta tärkeimpien piirteiden arviointi ja valinta on perustunut toisaalta luokittelutarkkuuksien (lähinnä kokonaistarkkuus ja luokkien käyttäjän tarkkuus (precision)) tarkasteluun, mutta myös permutation importance (permutaatiotärkeys) -kuvaajaan. Taulukossa 9 esitetään luokittelussa käytettävänä olleet piirreryhmät, piirteiden lukumäärät piirreryhmittäin ja eri luokkien lukumäärillä saavutettujen parhaiden luokittelutulosten piirteiden lukumäärät piirreryhmittäin. Kahden luokan tapauksessa paras luokittelutulos on saavutettu 16 piirteellä 34 piirteestä ja nämä parhaat piirteet ovat jakautuneet varsin tasaisesti eri piirreryhmien välille. Kolmen luokan tapauksessa paras luokittelutulos on saavutettu pienemmällä piirrejoukolla (12 piirrettä) kuin kahden luokan tapauksessa, ja tämä näkyy siinä, että S1- ja VHR-piirteitä on tarvittu vähemmän. Viiden luokan tapauksessa parhaaseen luokittelutulokseen on tarvittu enemmän piirteitä (22 piirrettä), ja etenkin erilaisten Sentinel-2-piirteiden lukumäärä on kasvanut, kuten myös DEM-piirteiden.

Mikäli tarkastellaan piirreryhmien sijaan yksittäisiä piirteitä, ovat luokittelujen kannalta tärkeimmät piirteet permutaatioarvojen perusteella:

- Sentinel-2-reflektanssimosaikin kanavista lasketut ensimmäinen ja kolmas pääkomponentti
- Sentinel-2 NDVI-/NDTI-/NDMI-indeksiakasarjan toinen pääkomponentti
- MML:n 2 m maastomallin keskimääräinen maanpinnan korkeus
- Laserkeilausaineistosta laskettu kasvillisuuden keskimääräinen korkeus.

Hieman vähemmän tärkeitä piirteitä ovat olleet:

- Sentinel-2-reflektanssimosaikin kanavista lasketuista NDI-indeksien ensimmäinen ja toinen pääkomponentti
- Sentinel-2 NDVI-/NDTI-/NDMI-indeksiakasarjan ensimmäinen pääkomponentti
- Sentinel-1-mosaikin VH-polarisaatio.

Taulukko 9. Piirreryhmät, luokittelussa käytössä olevien piirteiden lukumäärät piirreryhmittäin sekä eri luokkien lukumäärillä saavutettujen parhaiden luokittelutulosten piirteiden lukumäärät piirreryhmittäin.

Nimi	Kaikki	2 luokkaa	3 luokkaa	5 luokkaa
S2ref	5	2	3	5
S2ndi	10	3	3	5
S2ind	4	3	1	3
S1gbm	3	2	1	2
VHR	3	2	0	1
DEM	5	2	2	4
LAS	4	2	2	3
Yhteensä	34	16	12	22

4.2.8 Suoaltaat

Suoallasaineisto muodostettiin soiden Natura-tyyppien, jotka ovat pääasiassa suoyhdistymätyyppejä, rajaamiseksi. Maanmittauslaitoksen maastotietokannan vuoden 2019 soista mukaan luettiin niin sanotut varsinaiset suot eli maastotietokannan turvemaaluokat pois lukien eloperäisen maa-aineksen ottoalueet (turpeenottoalueet) sekä soistumat (mukana olivat kohdeluokat 35411, 35412, 35421, 35422).

Suoyhdistymätyypit ovat kompleksityyppejä, eli ne voivat sisältää useampaa erilaista suotyyppiä, minkä vuoksi niiden erottaminen kaukokartoitusaineistosta on ongelmallista. Siksi suoyhdistymätyyppien erottamisessa onkin aiemmissa hankkeissa, mm. luontodirektiivin raportoinnissa ja luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa käytetty yhtenäisten turvemaalaikkujen kaavamaista erotte-
lua laajempien ydinalueiden ja kapeikkojen avulla suoaltaiksi. Tässä hankkeessa toteutettiin kaavamainen turvema-alueiden erotte-
lu jakamalla suolaikut ensin koon perusteella pieniin soihin (< 10 ha) ja suuriin soihin (> 10 ha). Suuret suolaikut jaettiin sitten yli 150 m leveiden ydinalueiden ja alle 50 m leveiden kapeikkojen avulla a) yli 50 m leveisiin ytimellisiin suoalueisiin, joilla on yli 150 m leveä ydinalue, ja b) yli 50 m leveisiin ytimettömiin suoalueisiin, joilla ydinaluetta ei ollut. Alle 50 m leveät suoalueet muodostivat oman luokan – pirstaleet. Ytimellisiin laikkuihin sitten liitettiin niihin liittyvien pirstaleiden kautta 300 m:n etäisyydellä olevat ytimettömät laikut ja pirstaleet. Jos muodostuneen suolaikun koko jäi alle 10 ha, siirrettiin se pienten soiden aineistoon. Ytimellisiin suolaikkuihin liittymättömät ytimettömät suolaikut ja pirstaleet yhdistettiin ja liitettiin pienten soiden joukkoon. Lopputuloksena oli aineisto, jossa yli 150 m leveän ydinalueen omaavat yli 10 ha:n kokoiset suoalueet muodostivat aapasuoaltaat ja muut suoalueet muodostavat piensuoaltaat.

Palsakumpualueet digitoitiin maastotietokannan turvema-alueita, ilmakuvia ja kor-

keusmalliaineistoa käyttäen ja palsasuot erotettiin aapasoista omaksi luokakseen digitoitujen palsasuokuvioiden perusteella (ks. luku 4.2.8). Suoyhdistymä määritettiin palsasuoksi, jos sen alueella sijaitsi palsasuokuvio. Suoallasaineistossa oli tämän jälkeen luokat aapasuoaltaat, palsasuoaltaat ja piensuoaltaat.

Suoallasaineisto rasteroitiin ja aineistosta erotettiin vielä erikseen tehdyn aineiston avulla keidassuot. Keidassoiden määrittelyyn käytettiin segmenteille laskettua NDMI-arvoa (180 ylittävät kuviot). NDMI heijastaa kasvillisuuden vesipitoisuutta ja kuiva-aineen määrää. Mikäli valitulla alueella oli ilmakuvatar-
kastelussa havaittavissa selviä keidassuon piirteitä, kuviot ja niihin liittyvät osat määriteltiin keidassoiksi. Pienimpiä aapasuon sisällä olevia ”rahkakakkuja” ei valittu mukaan. Keidassuorajauksia harmonisoitiin muuhun suoallasaineistoon sopivaksi.

Jäljelle jääneet piensuot luokiteltiin puustoisuusluokituksen avulla joko puustoisiin soihin tai vaihettumis- ja rantasoihin. Lopputuloksena saatiin soiden Natura-tyyppijä kuvaava rasteriaineisto.

Soiden Natura-tyyppiaineistossa ovat seuraavat luokat:

- Aapasuot (7310)
- Palsasuot (7320)
- Keidassuot (7110)
- Puustoiset suot (91D0)
- Vaihettumissuot ja rantasuot (7140).

4.2.9 Palsasuot

Palsasoiden esiintymistä kartoitettiin tarkastelemalla palsasoiden keskeisten rakenteiden, palsakumpujen, esiintymistä tunnetuilta palsakuvioilta (SAKTI), minkä lisäksi pyrittiin löytämään uusia palsakumpuja näiden kuvioiden lähistöiltä. Uusien kuvioiden etsimisessä käytettiin apuna myös muita aineistoja (Ruuhijärvi ym. 2022) ja maastokoealojen tietoja. Palsakuvioista pyrittiin tunnistamaan ne, jotka edelleen sisältävät palsoja. Palsakummut näkyvät ilmakuvissa ja tarkemmissa korkeusmalliaineistoissa. Palsakuviot

luokiteltiin sen mukaan, onko niillä havaittavissa vielä palsoja ja minkä aineiston perusteella palsoja on havaittu (kuva 32). Tieto myös sellaisilta palsakuvioilta, joissa viitteitä palsoista ei enää havaittu tai joilla todennäköisesti alun perinkään ei palsoja ole ollut, säästettiin.

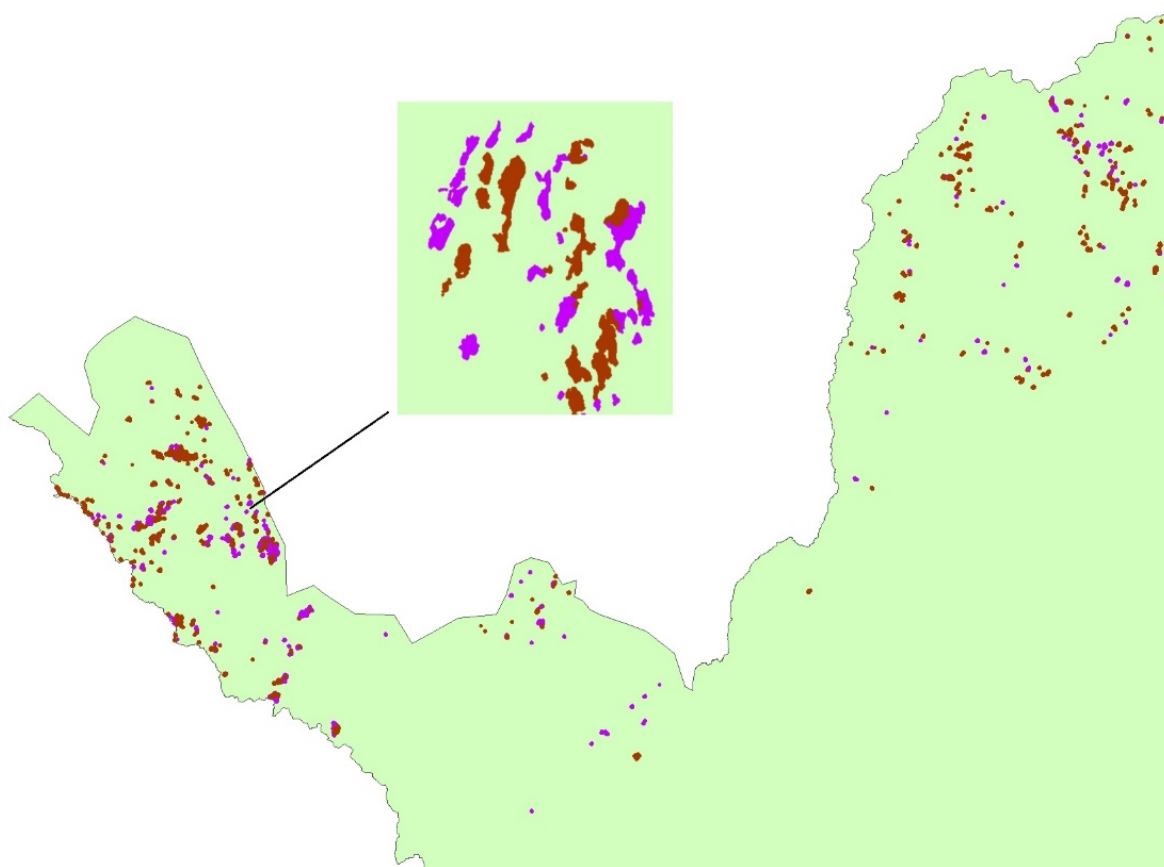
Lähtöaineistot palsasoiden esiintymien paikkatietokartoituksessa:

- SAKTI:n palsakuviot
- Ilmakuvat
- MML:n laserkeilattu korkeusmalli 2 m
- Palsasoiden levinneisyys, rakennetyypit ja tila Suomessa 2010-luvulla -artikkelin aineisto (Ruuhijärvi ym. 2022)
- Maastotietokannan suot
- Tämän hankkeen maastokoealat.

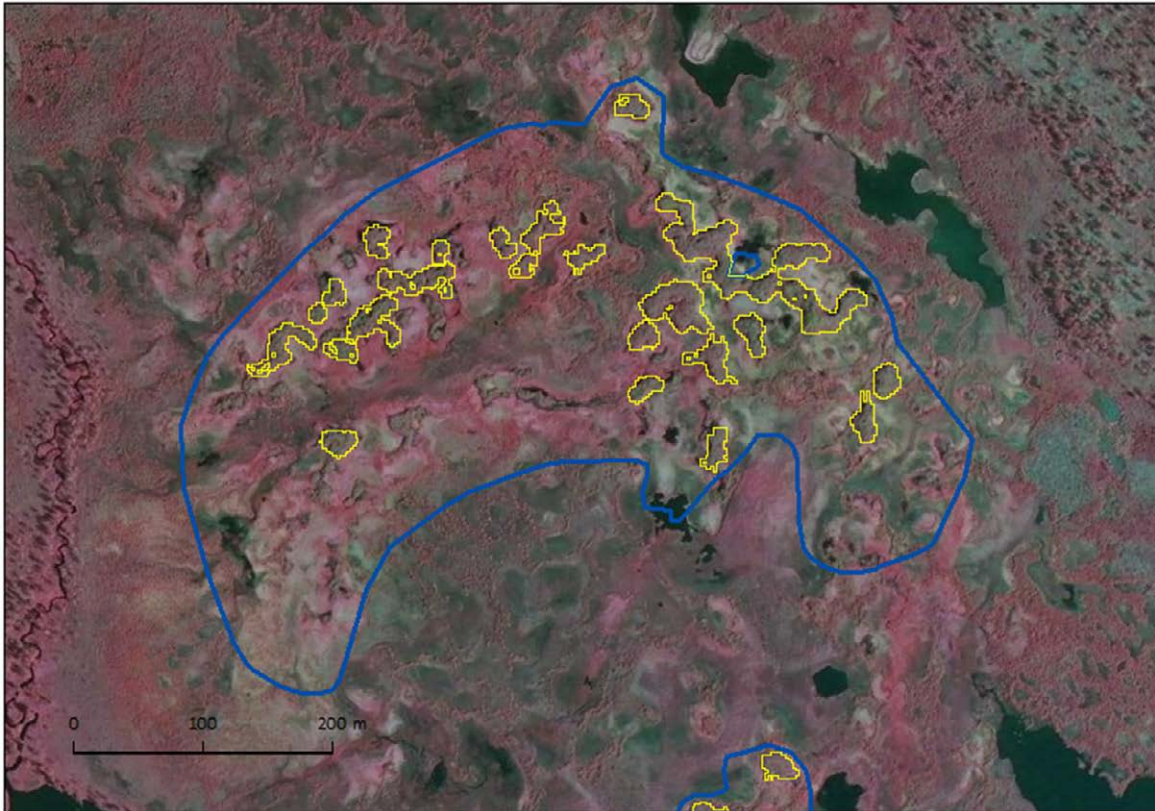
Aluksi Metsähallituksen SAKTI-paikkatietojärjestelmän palsakuvioiden rajauksia tar-

kennettiin menetelmään sopiviksi. Kuvioiden rajauksia muutettiin tarvittaessa siten, että kyseisen kohteen kaikki erotetut palsapinnat saatiin kuviorajauksen sisään (kuva 33). Lisäksi suhteellisessa korkeusmalliaineistossa olevat, muihin kuin palsoihin liittyvät yli metrin korkeuseroja kuvaavat alueet rajattiin palsakuvion ulkopuolelle. Tällaiset korkeuserot johtuvat yleensä suon kaltevuudesta, vesiuomista ja lampareista. Kuvioita ei muokattu rajaamaan itse palsoja, vaan tarkoituksena oli rajata palsat kuvion sisälle ja selvät virheet suhteellisessa korkeusmallissa kuvion ulkopuolelle. Hankkeen maastokoealoille osui palsoja yhteensä 48. Rajauksella varmistettiin, että koealat jäivät palsakuvioiden sisään. Maastotiedoista johdettiin tietoa kuvioiden luokitukseen.

Maanmittauslaitoksen laserkeilattu korkeusmalli 2 m muutettiin suhteelliseksi kor-



Kuva 32. Palsakuvioita sisältävät sekä nykyiset (ruskealla) että aikaisemmin palsakumpuja sisältäneet kuviot (violetilla). Lähde: MH, Syke. Taustakartta: Maanmittauslaitos.



Kuva 33. Palsakuvio (sininen rajaus) ja sen sisälle korkeusmallilla määritetyt yli 1 metrin korkeiset palsakumpualueet (keltainen rajaus). Matalaksi painuneita palsapintoja näkyy vielä ilmakuvalla, mutta ei korkeusmallissa. Biesjänskä, Karigasniemi. Lähde: Syke, MH. Ilmakuva (MML/WMTS): Maanmittauslaitos.

keusmalliksi 20 m:n etäisyydeltä. Siinä pikselin korkeutta suhteutettiin lähiympäristön korkeuteen (10 pikseliä), jolloin saatiin paikallisesti poikkeavat arvot. Palsakumpujen digitoinnin vihjeaineistoksi poimittiin suhteellisesta korkeudesta yli 75 cm luokat ja korkeusmallista yli 5° asteen kaltevuudet tunnettujen palsakuvioiden sisältä suomaskin alueelta.

Lopullisen palsakumpuaineiston muodostamiseksi poimittiin uusilla ja tarkistetuilla kuvioilla korkeusaineistoista luokat uudelleen. Tämän tuloksena saatiin aineisto palsoista ja palsapinnoista, joiden maksimikorkeus ylittää suhteellisen korkeusmallin mukaan yhden metrin sekä niihin liittyvistä yli 0,75 metriä korkeista palsapinnoista ja palsojen kaltevista reunoista (yli 5°). Korkeusmalli voi sisältää ympäristöstä tai muista virhelähteistä johtuvaa virhettä, mistä johtuen koko palsa ei aina näy aineistossa. Näin ollen aineistosta saadaan vain karkea arvio varsinais-

ten palsarämeiden pinta-alasta. Myös työssä käytettyjen ilmakuvien ja laserkeilausaineistojen ajankohta vaihtelee.

Palsasuokuviot luokiteltiin sen mukaan, oliko niillä käytettävissä olleiden aineistojen perusteella havaittavissa palsakumpuja:

- 1) Palsoja sisältävät kuviot
- 2) Palsoihin viittaavia piirteitä ilmakuvilla sisältävät kuviot
- 3) Palsoihin viittaavia piirteitä korkeusmallissa sisältävät kuviot
- 4) Poistuneet palsakuviot (joilla ei enää mitään palsoihin viittaavia piirteitä missään aineistossa).

Palsoja sisältävien kuvioiden (luokat 1–3) perusteella määriteltiin palsasuoyhdistymät. Mikäli suoaltaan alueella esiintyi näitä kuvioita, suoallas luokiteltiin palsasuoyhdistymäksi. Vanhoja palsakuvioita, joilla ei tuoreimpien ilmakuvien ja korkeusaineistojen mukaan voi-

da enää havaita palsoja (luokka 4), ei luettu mukaan aineistoon, jonka avulla määritettiin palsasuoyhdistymät. Osalla näistä kuvioista ei ole ollut palsoja enää aikoihin, osalla näkyy merkkejä hiljattain sulaneista palsoista ja osa on alun perin ollut virheellisiä kuvioita.

4.2.10 Lumenviipymät ja -pysymät ja niiden tunnistaminen satelliittiaineistoista

Lumenviipymät ovat luontotyyppisiä, joilta lumi sulaa keskimäärin vasta kesäkuun puolivälin jälkeen, pääosin yleisimmin heinä-elokuun aikana. Lumenviipymien kasvueroaa ympäristöstään lyhyemmän kasvukauden ja kosteampien kasvuolosuhteiden vuoksi. Lumenviipymien tunnistusmenetelmiä kehitettiin aluksi osana Puutteellisesti tunnettujen ja uhanalaisten lajien tutkimusohjelmaa (PUTTE2) (Huttunen ym. 2023) ja hankkeiden yhteistyössä valittiin lumenviipymien tarkasteluun sopivat lumensulamisaikakohdat. Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitushankkeessa lumenviipymäisille alueille tehtiin oma ositettu inventointiluokkatulkinta.

Lumenviipymien ja -pysymien tunnistamisessa lähdettiin liikkeelle tunnistamalla selkeät alueet, joilla lumi viipyy muuta ympäristöä pidempään, Euroopan avaruusjärjestön Sentinel 2 -satelliittikuvilta käyttäen Google Earth Engine -palvelun Sentinel 2 -satelliittikuva-arkistoa vuosilta 2018–2021. Kaikille vuosien 2018–2021 huhti-joulukuun välisille Sentinel-kuville laskettiin Normalized Difference Snow Index (NDSI), joka on kehitetty tunnistamaan lumipeitteisiä alueita (Riggs & Hall 2016).

Pilvisten alueiden tunnistamisessa käytettiin satelliittikuviin liitettyä pilviset alueet tietoa ja erikseen manuaalisesti yksittäisten kohteiden heijastusaikasarjojen avulla. Manuaalisessa tarkastelussa pistemäisten kohteiden heijastusaikasarjoista tunnistettiin poikkeavia arvoja ja kyseisten päivien satelliittikuvat

tarkastettiin erikseen Syken Tarkka-palvelusta. Mikäli kuvan havaittiin olevan pilvinen, se poistettiin käytetystä aineistosta.

Lumen sulamista eri alueilla seurattiin kahden viikon ajanjaksoissa alkaen kesäkuun alusta juoksevasti. Toisin sanoen kullekin kahden viikon ajanjaksolle laskettiin kaikilta ajanjaksoon osuvilta riittävän pilvettömiltä vuosien 2018–2021 satelliittikuviin perustuvat keskimääräiset lumituotteet. Lumiset alueet tunnistettiin NDSI-indeksin avulla (alueet, joissa NDSI arvo ylittää 0,35; esim. Riggs ym. 1994 ja Tong ym. 2000). Lumituotteet siis laskettiin kesäkuun kahden ensimmäisen viikon vuosien 2018–2021 kuvien keskiarvona, kesäkuun 2. ja 3. viikon kuvien keskiarvona, kesäkuun 3. ja 4. viikon jne., aina elokuun loppupuolella saakka.

Kahden viikon ajanjakso, jonka katsottiin edustavan parhaiten lumenviipymiin viittavia alueita, valittiin asiantuntija-arvion avulla (Metsähallitus, Turun yliopisto ja Syke). Käytettäväksi lumenviipymäajanjaksoksi valittiin kesäkuun kahdelta viimeiseltä viikolta laskettu tuote (sisältäen vuosipäivät 166–180 vuosilta 2018–2021).

Kahden viikon aikavälein tuotetut lumipeittotuotteet jälkikäsiteltiin ArcMap-ohjelmistolla, jossa erikseen poistettiin analyysistä järvi-alueet käyttäen Corine-maanpeiteluokituksen järvi-alueita sekä korkeusmallin avulla alueet, joilta lumenviipymiä ei voi esiintyä (raja-arvoina alle 350 merenpinnan yläpuolella olevat alueet, paitsi Inarin alueella 270 m mpy ja Utsjoen 170 m mpy). Lisäksi aineistoista poistettiin vain yksittäisellä pikselillä (aineiston maastoerotuskykyä vastaa 10 x 10 m alue) tunnistetut alueet. Maastotarkastelussa näistä yksittäisellä pikselillä havaitusta alueista osalla tunnistettiin lumenviipymille tyypillistä kasvillisuutta ja osalla ei.

Tuotettu lumipeittoalue sisällytettiin kuvioaineistoon siten, että mikäli segmentin pinta-alasta yli puolet sisälsi lumenviipymä-alueita, tieto lumenviipymästä näkyy kuvion lisämääränä. Lumipeittoalueelle eli ns. lumenviipymämaskin alueelle tehtiin ositet-

tu inventointiluokkatulkinta. Tulkinnan avulla voitiin karkeasti erotella lumenviipymäisten alueiden kasvillisuusluokkia toisistaan ja tunnistaa varpuvaltainen kasvillisuus, joka ei kuulu varsinaisiin lumenviipymien kasvillisuustyyppisiin. Inventointiluokkaan lumenpysymät luettiin kuuluviksi ne alueet, joilla oli lunta vielä elokuun loppupuolella. Osa näistä alueista on myöhäisiä lumenviipymiä.

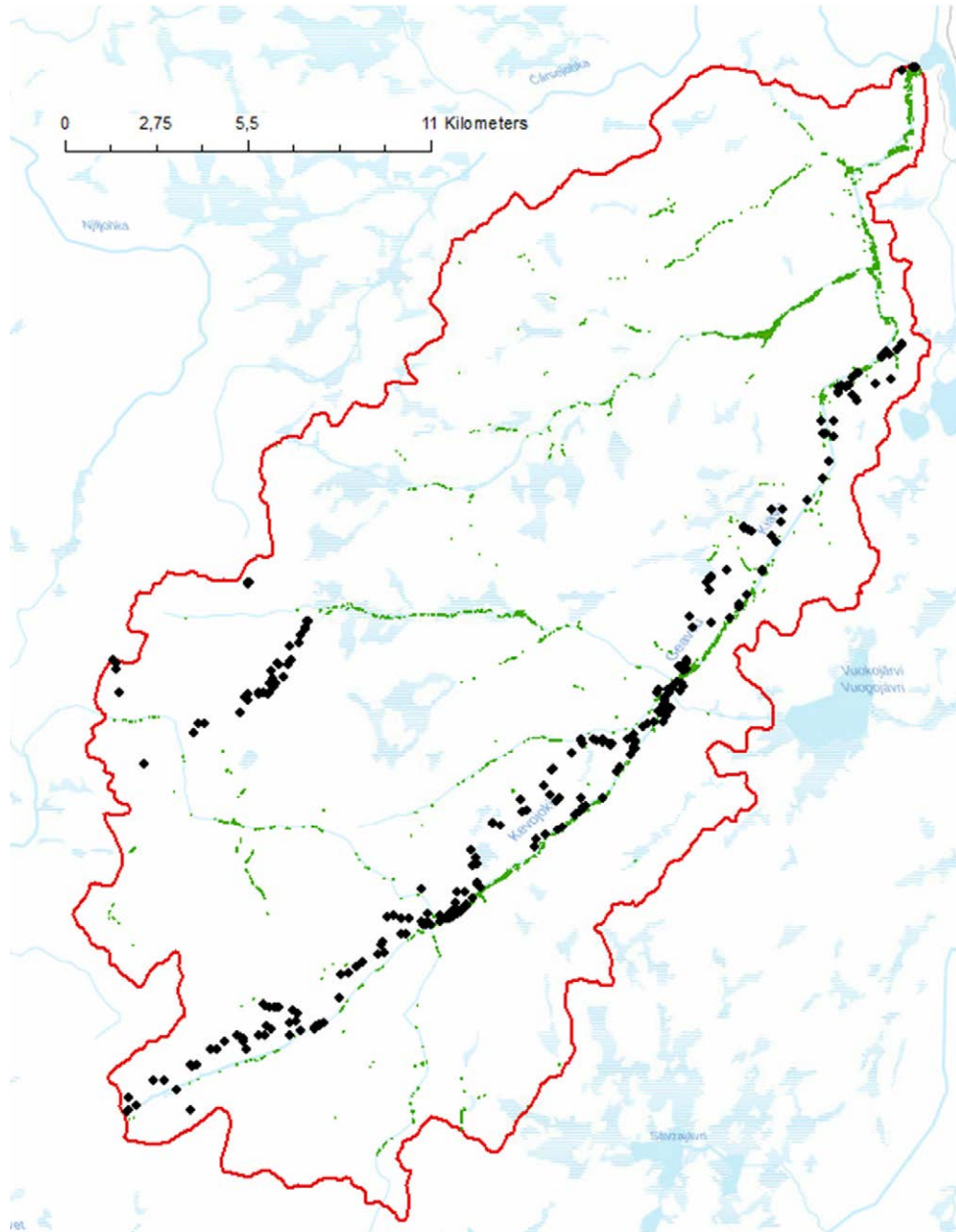
4.2.11 Tulvalle alttiit alueet

Tulvavaikutteisten, kuten tulvametsien ja tulvaniittyjen, tunnistamista pyrittiin tarkentamaan tulvalle alttiiden alueiden mallintamisella. Uuden, valuma-alueittaisen tulvamallin käytettävyyttä luontotyyppikartoituksessa testattiin Kevojoella yhdistämällä tulkittu inventointiluokka ja laserkeilattu puuston pituus tulvatiedon kanssa. Tulvavaikutteiset (mallinnettu tulvasyvyys 0,05–3 m) alueet jaettiin avoimiin (kasvillisuuden korkeus < 1 m) ja metsäisiin (kasvillisuuden korkeus > 2 m) luontotyyppisiin, joissa Random forest -menetelmällä tulkittu inventointiluokka on lehtomainen (251), lehto (252), sammaleinen heinä-sara (262) tai ruohoinen heinä-sara

(263). Tietoa verrattiin tulvamallinnetun alueen (Kevojoen valuma-alue) maastokoealoilla arvioituun Natura-tyyppiin ja sen ensimmäiseen lisämääreeseen (kuva 34).

Uudella tulvatiedolla ja tässä hankkeessa tuotetun luontotiedon avulla tulvavaikutteiset luontotyyppit voidaan paikallistaa kattavasti (taulukko 10). Kevojoen valuma-alueella sijaitsi yhteensä 73 koealaa, jotka on määritetty maastossa tulvasta riippuvaiseksi tai tulvavaikutteiseksi luontotyyppiksi ja joista 61 koealaa eli 84 % tunnistettiin testatun menetelmän avulla (taulukko 10).

Koko hankealueella tulvavaikutteisiksi alueiksi määritettiin ne edellä mainittujen inventointiluokkien (251, 252, 262, 263) alueet, jotka sijaitsivat 50 metrin säteellä yli 5 metriä leveistä jokiuomista sekä näihin yhteydessä olevat samojen inventointiluokkien alueet. Metsäiset tulvavaikutteiset luontotyyppit määritettiin tulvametsiksi (91E0) ja avoimet tulvaniityiksi (6540). Tulvavaikutteiset Natura-tyypit myös Kevojoen valuma-alueelta tuotettiin lopputulokseen samoin kuin muulta hankealueelta, jolta ei vielä ole olemassa tarkempaa tulvamallia.



Kuva 34. Tulvavaikutteiset luontotyypit (vihreä) ja maastokoealat (musta) Kevojoen valuma-alueella (valuma-alueen raja punaisella). Lähde: Syke. Taustakartta: Maanmittauslaitos, Esri Finland.

Taulukko 10. Kevojoen valuma-alueen maastokoealat. Tulvavaikutteisten luontotyyppien (tulvaniityt, metsäluhdat ja tulvametsät) lisäksi mukaan on otettu sellaiset koealat, joilla on lisämääränä tulvavaikutteinen tai luhtainen. Tulvavaikutteiset luontotyypit on jaettu taulukossa avoimiin ja metsäisiin.

Natura-tyyppi/lisämäärä*	Tulvavaikutteisuusluokka	Maastokoealat Tulvavaikutteinen, avoin	Maastokoealat Tulvavaikutteinen, metsäinen	Maastokoealat Muu	Maastokoealat Yhteensä
4060 - Tunturikankaat				77	77
6150 - Karut tunturiniityt		2		6	8
6430 - Kosteat suurruohoniityt				2	2
6450 - Tulvaniityt	avoin	2			2
7140 - Vaihettumissuot ja rantasuot				9	9
7160 - Lähteet ja lähdesuot				6	6
7230 - Letot				1	1
8110 - Tuntureiden vyörysoaikot ja -lohkareikot				1	1
8220 - Silikaattikalliot				1	1
9010 - Luonnonmetsät			3	32	35
9040 - Tunturikoivikot			2	36	38
9050 - Lehdot			8	4	12
9080 - Metsäluhdat	metsäinen		8	1	9
91D0 - Puustoiset suot			1		1
91E0 - Tulvametsät	metsäinen		32		32
*29 Tulvavaikutteinen	metsäinen		16	6	22
*42 Luhtainen	avoin, metsäinen	2	1	5	8
Yhteensä		6	71	187	234
Tulvavaikutteiset koealat yhteensä		73			
Tunnistettu tulvavaikutteisista (lkm ja osuus)		61			83,6

4.2.12 Vesistöjen tyypittely

Järvet ja lammet tyypiteltiin kahteen eri Natura-tyyppiin, karut kirkasvetiset järvet (3110) ja humuspitoiset järvet ja lammet (3160), jotka ovat hankealueen selvästi yleisimmät Natura-tyypit. Järvien ja lampien tyypittelyssä ei käytetty kaukokartoitustulkintaa, sillä valtaosa hankealueen järvistä ja lammista on pinta-alaltaan niin pieniä, ettei niiden tyypistä saada kaukokartoituksella riittävän tarkkaa tietoa. Järviä ja lampia tulkittiin satelliittiaineistoista vesialueina, mutta niiden ja virtavesien geometria on pääosin peräisin MML:n maastotietokannasta.

Ensisijaisesti tyypittely tehtiin vesipolitiikan puitedirektiivin mukaisen pintavesien ekologisessa luokittelussa käytetyn järvityypittelyn (VPD-tyyppi) perusteella, sillä Natura-tyyppi voidaan yleensä johtaa melko suoraan VPD-tyypistä (Suomen ympäristökeskus & Metsähallitus 2020). Tiedot VPD-tyypeistä saatiin Syken ylläpitämästä ympäristötiedon hallintajärjestelmästä Hertasta. Läheskään kaikilla hankealueen järvillä ja lammilla ei kuitenkaan ole VPD-tyyppiä. Järvi- tai lampityypin määrittelyssä hyödynnettiin myös mahdollisia Herttaan tallennettuja värilukutietoja järven tai lammen pintakerroksesta talvikaudelta. Jos väriluku (tai keskiarvo) oli alle 30 mg Pt/l, tyypiteltiin järvi tai lampi kirkasvetisiin (3110). Jos väriluku (tai keskiarvo) oli yli 30 mg Pt/l, tyypiteltiin järvi tai lampi humuspitoisiin (3160). Tyypittelyssä hyödynnettiin myös hankkeessa tehtyjä maastohavaintoja veden väristä.

Niille järville ja lammille, joilta ei ollut käytettävissä mitään yllä mainituista tyypittelyta-voista, Natura-tyyppi tuotettiin kaavamaisesti järven tai lammen rantavyöhykkeen turvemaosuuden perusteella. Kaavamainen tyypittely tehtiin määrittämällä järven tai lammen ympärille 100 metrin levyinen puskurivyöhyke, jolta laskettiin turvemaan osuus

(maastotietokannan suot). Jos turvemaan osuus puskurivyöhykkeellä oli enintään 5,9 %, järven tai lammen tyyppiä tuli kirkasvetinen (3110). Jos turvemaan osuus puskurivyöhykkeellä oli vähintään 66,0 % järven tai lammen tyyppiä tuli humuspitoinen (3160). Raja-arvot määritettiin niiden järvien ja lampien perusteella, joiden Natura-tyyppi oli määritetty VPD-tyypin, Hertan vedenlaatutietojen tai maastohavaintojen perusteella. Jos turvemaan osuus puskurivyöhykkeellä oli yli 5,9, mutta alle 66,0 %, järven tai lammen tyyppiä tuli kirkasvetinen (3110), sillä se on humuspitoisia yleisimpi tyyppiä hankealueella eikä tämän ns. väliinputoajajoukon tyypittelyyn ollut käytettävissä muuta aineistoa. Kaavamaisesta luokittelusta aiheutuu väistämättä jonkin verran virhettä kirkasvetisten ja humuspitoisten järvien ja lampien tyypittelyyn, mutta tiedon laadun arvioidaan kuitenkin olevan näin menetellen aiempaa parempi.

Hankealueen virtavedet tyypitellään inventointiohjeen (Suomen ympäristökeskus & Metsähallitus 2020) mukaisesti Fennoskandian luonnontilaisiin jokireitteihin (3210), tunturijokiin ja -puroihin (3220) sekä pikkujokiin ja puroihin (3260). Alpiinisella alueella kaikki virtavedet kuuluvat luonnontilaisiin jokireitteihin (3210), minkä lisäksi toisena Natura-tyypinä voi olla tunturijoet ja -purot (3220). Luonnontilaisiin jokireitteihin voidaan lukea myös jokireittien lyhytviipymäiset järvet ja lammet. Borealisella alueella luonnontilaiset jokireitit määritellään vuoden 2013 luontodirektiivin raportoinnin yhteydessä koostetun paikkatietoaineiston avulla (lähde: Metsähallitus, Luontopalvelut). Hankealueen borealisella alueella virtavedet voivat olla pikkujokia tai puroja tai luonnontilaisia jokireittejä ja toiselta Natura-tyypiltään pikkujokia ja puroja. Borealisella alueella sijaitsevien tunturialueiden virtavedet ovat tyypiltään myös tunturijokia ja puroja.

5 Lopputuotteet

Hankkeen keskeisimmät lopputuotteet ovat inventointiluokan tulkinta, Natura-tyyppin tulkinta ja SAKTIin tallennettava kuvioaineisto, jonka kuvioille on johdettu ominaisuustiedot mm. inventointiluokan tulkinnasta ja Natura-tyyppin tulkinnasta. Nämä ja muut hankkeessa tuotetut aineistot tulevat avoimesti saa-

taville (taulukko 11). Aineistojen julkaisussa on saatu tukea myös Syken hankkeesta Suomen ekosysteemiobservatorio FEO (<https://feosuomi.fi/>). Lisäksi hankkeessa on tuotettu mittava maastokoeala-aineisto (4 500 koealaa).

Taulukko 11. Hankkeessa tuotetut aineistot.

Aineisto	Aineistomuoto	Sijainti	Julkaisuvuosi
Inventointiluokka	rasteri	https://www.syke.fi/avointieto	2024
Natura-tyyppi	rasteri	https://www.syke.fi/avointieto	2024
Loppuraportti, osat 1 ja 2	pdf	https://julkaisut.metsa.fi/	2024
Aineistojen metadatat	xml ja pdf	https://www.syke.fi/avointieto	2024
Kuviot	vektori	SAKTI ja https://www.metsa.fi/maat-ja-vedet/paikkatieto/suojelualueiden-biotooppikuviot/	2024
Palsasuot	vektori	https://www.syke.fi/avointieto	2024
Suoaltaat	vektori	https://www.syke.fi/avointieto	2024
Jäkälökköjen tila	rasteri	https://www.syke.fi/avointieto	2024
Lumenviipymät	vektori	https://www.syke.fi/avointieto	2024
Tunturiluontotyyppien alue	vektori	https://www.syke.fi/avointieto	2024
Puulajitulkinta	rasteri	https://www.syke.fi/avointieto	2024
Tunturimittarituhoalueet	vektori ja rasteri	https://www.syke.fi/avointieto	2024
Puustoisuusluokittelu	rasteri	https://ckan.ymparisto.fi/dataset/puustoisuusluokat	2023

6 Johtopäätökset kaukokartoituksen käytettävyydestä luontotyyppi-inventoinnissa ja seurannassa sekä jatkokehitystarpeet

Tässä hankkeessa Luontopalvelut on yhteistyössä Syken kanssa hyödyntänyt ensimmäistä kertaa satelliittipohjaista kaukokartoitusta luontotyyppitiedon tuottamisessa suuressa mittakaavassa. Kaukokartoitustulkinta tehtiin kahdelle luontotyyppiluokittelujärjestelmälle: Metsähallituksen inventointiluokka ja EU:n luontodirektiivin Natura-tyypiluokittelu. Inventointiluokista tulkintaan otettiin mukaan 21 luokkaa niistä 30 luokasta ja Natura-tyypeistä 14 tyyppiä niistä 22 tyypistä, jotka esiintyvät maastotiedoissa, eli tulkintoihin otettiin mukaan vain sellaiset inventointiluokat ja Natura-tyypit, joilla kaukokartoitustulkinna odotettiin tai tiedettiin toimivan ainakin jollakin tavoin.

Tuloksia ja niiden tuottamisessa käytettyjä menetelmiä voidaan pitää hyvin onnistuneina, sillä hankealueella 82 %:lla maa-alueista inventointiluokka (kalliolaet, -rinteet ja -terrassit, louhikot ja kivikot, jäkälä-sammal-varpu, sammal-varpu, sammal-varpu-ruoho, tuntureiden sammalpinnat, välipintasuo (vähän havaintoja) ja rimpipintasuo) ja 80 %:lla maa-alueista Natura-tyyppi (tunturikankaat, karut tunturiniityt, keidassuo (vähän havaintoja), silikaattikalliot, luonnonmetsät ja tunturikoivikot) on tulkittu yli 80 %:n tarkkuudella (huomioiden tulkinna mukana olleet luokat). Luotettavan kaukokartoitustiedon tuottaminen vaatii tiedon tuottajan ja loppukäyttäjän välistä tiivistä yhteistyötä, jossa tuotettujen aineistojen paikkaansa pitävyyttä arvioidaan useissa välivaiheissa ja menetelmiä kehitetään edelleen prosessin edetessä parhaan mahdollisen lopputuotteen tuottamiseksi.

Luontotyyppien kaukokartoituksessa tulisiikin tarkoituksenmukaisen lopputuloksen varmistamiseksi aina olla mukana kaukokartoituksen ammattilaisten lisäksi myös aineistojen loppukäyttäjiä (Vanden Borre ym. 2011). Hankkeessa tuotetut luontotyyppitulokset on esitelty loppuraportin osassa 2 (Tammilehto ym. 2024).

Hankealueen kaukokartoitetun alueen pinta-ala on noin 2 800 000 ha. Pinta-ala sisältää myös ne Natura-tyypit, joita ei kaukokartoituksen avulla voida tällä hetkellä luotettavasti kartoittaa johtuen esimerkiksi niiden pienialaisuudesta tai ravinteisuudesta (liite 8) ja jotka tästä syystä sisältyvät tässä hankkeessa kaukokartoitettuihin Natura-tyyppeihin. Tällä hetkellä SAKTIssa kaukokartoitukseen soveltumattomien Natura-tyyppien pinta-ala on noin 3 400 ha (pl. virtavedet ja suoyhdistymien rajaus), mikä on alle prosentti kaukokartoituksella tulkittujen Natura-tyyppien pinta-alasta. Kaukokartoituksen avulla voidaan siten kartoittaa valtaosa hankealueen Natura-tyypeistä ja maastotyöresurssit voidaan kohdentaa niihin luontotyyppeihin, joita ei voida kartoittaa/seurata ilman maastotyötä. On toki muistettava, että maastotietoa tarvitaan myös kaukokartoituksessa koneoppimismallien opetukseen ja mallien validointiin.

Kaukokartoituksella saatavan tiedon tarkkuus riippuu merkittävästi tulkittavasta kohteesta. Luontotyyppien kaukokartoitus onnistuu tarkimmin avoimissa tai puoliavoimissa ympäristöissä, jollainen hankealue suurelta osin on. Toisaalta soilla sekä inventointiluok-

kan että Natura-tyyppien tulkinta onnistuu ki-
vennäismaiden luokkia heikommin. Lisäksi
Natura-tyyppi päädyttiin tuottamaan loppu-
jen lopuksi ns. asiantuntijan päätöspuomal-
lilla, sillä koneoppimismallin tuottama tulos
oli joidenkin Natura-tyyppien osalta osin risti-
riidassa inventointiluokan tulkinnan kanssa
eikä tulkintamallilla voitu tuottaa tietoa esi-
merkiksi metsien rakennepiirteistä (luonnon-
metsät). Myöskään suoyhdistymien rajausten
määrittäminen ei onnistu kaukokartoitusme-
netelmin, vaan lopullinen rajausta vaatii manu-
aalista asiantuntijatyötä. Suoyhdistymän in-
ventointiluokista ja puustosta tieto saadaan
kaukokartoitusmenetelmin, joskin soiden in-
ventointiluokkien tulkintojen tarkkuudessa
on vielä kehitettävää. Myös ravinteisuudesta
voidaan saada suuntaa antavia tuloksia kau-
kokartoitusmenetelmiä edelleen kehittämäl-
lä (ks. myös Middleton ym. 2023), mutta luo-
tettava ravinteisuuden, erityisesti lettojen
(eutrofia) määrittäminen vaatii jatkossakin maasto-
työtä.

Hankkeessa tuotettiin tietoa myös Natu-
ra-tyyppien tilasta kaukokartoituksen avulla,
mikä on merkittävä kehitysaskel ajantasaisen
luontotyyppitiedon tuotannossa näin laajalta
alueelta. Jäkäläisten luontotyyppien tilaa ku-
vaa jäkäläköiden tila, jota pystytään tämän
hankkeen tulosten perusteella kaukokartoit-
tamaan tilan arviointiin tarvittavalla tarkkuu-
della. Tämän lisäksi hankkeessa on kehitet-
ty tunturikoivikon uusiutumiskyvyn arviointia
perustuen uuteen laserkeilausaineistoon (5p/
m²), jonka kattavuus Ylä-Lapissa on tällä het-
kellä vielä vaatimaton, mutta kasvaa joka vuo-
si ja tarjoaa tulevaisuudessa mahdollisuuden

tunturikoivikkojen tilaa indikoivan koivikko-
jen uusiutumiskyvyn kaukokartoitukseen. Uu-
si, tarkempi laserkeilausaineisto (5p/m²) mah-
dollistaa tarkemman tiedon tuottamisen niin
luontotyyppien esiintymisestä kuin niiden ti-
lasta eli edustavuudesta ja luonnon-tilasta. On
siis tärkeää, että tarkempi laserkeilausaineis-
to tulevaisuudessa kattaa koko maan ja että
keilausta toistetaan, mikä mahdollistaa seu-
rannan toteuttamisen. Tarkemmalla keilaus-
aineistolla voidaan paremmin erottaa nuoret
männyn ja männyntaimet sekä puulajisuhteet,
jolloin metsänrajan muutokset ja sen vaiku-
tukset tunturiluontotyyppisiin, etenkin tun-
turikoivikoihin ja tunturikankaisiin, ovat ha-
vaittavissa laajoiltakin alueilta. Tarkemmalla
aineistolla saadaan myös tarkempaa tietoa
metsien rakennepiirteistä (luonnonmetsät),
pensaikoista sekä tunturikoivikoiden uusiu-
tumiskyvystä, toisin sanoen häiriönsietoka-
pasiteetista, sekä uudistumisesta (taimettu-
misesta ja vesomisesta) mittariperhostuho-
jen jälkeen. Myös palsasoiden ja etenkin niillä
esiintyvien palsakumpujen kartoittamisessa
tarkempi aineisto antaa paremman tuloksen
ja mahdollistaa tarkemman muutosten seu-
rannan. Aineistojen saatavuuden turvaamisen
lisäksi tulee jatkaa poikkitieteellistä menetel-
mäkehittämistä huomioiden eri kaukokartoit-
tusmenetelmät ja -aineistot. Esimerkiksi Sy-
ken LETOT-hankkeessa on kartoitettu laaja-
alaisesti lettosoiden esiintymistä ja hankkees-
sa tuotetut aineistot mahdollistaisivat soiden
ravinteisuuden kaukokartoituksen testaami-
sen. Lisäksi hankkeessa tuotetulla mittavalla
maastokoeala-aineistolla voi olla monia käyt-
tötarkoituksia myös tulevaisuudessa.

Lopuksi

Tässä hankkeessa on onnistuneesti tuotettu luontotyyppitietoa kaukokartoitusmenetelmin hyvin laajalta alueelta. Se on siten tuottanut uutta ja kattavaa tietoa luontotyypeistä ja niiden tilasta Ylä-Lapissa. Hankkeen tuloksena on saatu luotua myös entistä parempi kokonaiskuva kaukokartoituksen käytettävyydestä luontotyyppien inventoinnissa ja seurannassa. Hankkeessa on tuotettu suositukset

kaukokartoitusmenetelmien käyttöönottoon luontotyyppien inventoinnissa ja seurannassa (liite 14). Hanke onkin onnistunut esimerkki poikkitieteellisestä ja organisaatioiden välisestä yhteistyöstä, jota vaaditaan kaukokartoitusmenetelmien kehittämiseen ja käyttöönottoon luontotyyppien kartoituksessa ja seurannassa.

Lähteet

- Airaksinen, O. & Karttunen, K. 2001: Natura 2000 -luontotyyppiopas. 2. korjattu painos. – Ympäristöopas 46. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 194 s.
- Bauer-Marschallinger, B., Cao, S., Navacchi, C., Freeman, V., Reuß, F., Geudtner, D., Rommen, B., Vega, F. C., Snoeij, P., Attema, E., Reimer, C. & Wagner, W. 2021: The normalised Sentinel-1 Global Backscatter Model, mapping Earth's land surface with C-band microwaves. – *Sci Data* 8: 277. <doi.org/10.1038/s41597-021-01059-7>.
- Corbane, C., Lang, S., Pipkins, K., Alleaume, S., Deshayes, M., García Millán, V. E., Strasser, T., Vanden Borre, J., Toon, S. & Michael, F. 2015: Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status – New opportunities and challenges. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 37: 7–16.
- European Space Agency 2023a: Sentinel Overview. – <sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions>, luettu 10.7.2023.
- 2023b: Mission Summary. – <sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/overview/mission-summary>, luettu 10.7.2023.
- 2023c: Resolution and Swath. – <sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload/resolution-and-swath>, luettu 10.7.2023.
- 2023d: Optical VHR coverage over Europe (VHR_IMAGE_2021). – <spacedata.copernicus.eu/web/guest/optical-vhr-coverage-over-europe-vhr_image_2021->, luettu 11.7.2023.
- 2023e: Optical Very High Resolution coverage over Europe (VHR_IMAGE_2018 plus VHR_IMAGE_2018_ENHANCED and DEM_VHR_2018). <spacedata.copernicus.eu/web/guest/optical-very-high-resolution-coverage-over-europe-vhr_image_2018-plus-vhr_image_2018-enhanced-and-dem_vhr_2018->, luettu 11.7.2023.
- Huttunen, S., Kuusisto, I., Anttila, S., Johanson, N., Kotilainen, A., Leskinen, S., Laakalindberg, S., Mattanen, S., Metsämäki, S., Pihlaja, K. & Virtanen, R. 2023: Lumenviipymien kasvillisuusyhteisöjen ja lajiston seurannat uhanalaisuusarvioinnin tukena. Putte2 – Lumenviipymät -hankkeen lopuraportti. 41 s.
- Johansen, B. 2020: Kartlegging og registrering av vegetasjon i Øvre Pasvik, Sør-Varanger. – Raportti, NORCE/Klima. 21 s.
- Kontula, T. & Raunio, A. (toim.) 2018: Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa I: Tulokset ja arvioinnin perusteet. – Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 388 s.
- Kumpula, J. & Turunen, M. 2018: Porojen laidunnus ja laidunten kunto tunturialueella. – Teoksessa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.), Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa I: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. S. 283–287.
- Maanmittauslaitos 2023a: Maanmittauslaitoksen ilmakuva. – <maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/ilmakuva>, luettu 1.8.2023.

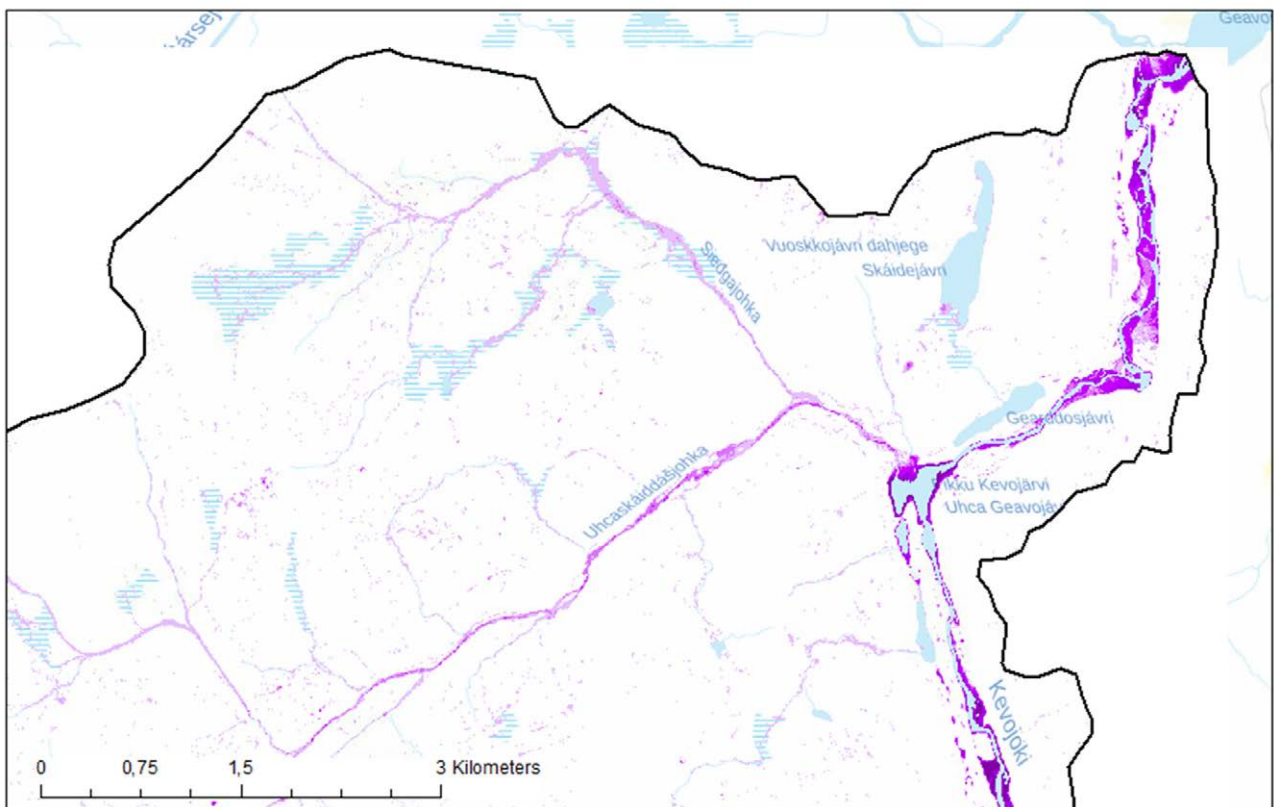
- 2023b: Laserkeilausaineisto 0,5 p (2008–2019). – <maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto>, luettu 11.7.2023.
 - 2023c: Laserkeilausaineisto 5 p. – <maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/aineistot-ja-rajapinnat/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto-5-p>, luettu 27.11.2023.
 - 2023d: Korkeusmalli 10 m. – <maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/korkeusmalli-10-m>, luettu 1.8.2023.
 - 2023e: Korkeusmalli 2 m. – <maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/korkeusmalli-2-m>, luettu 1.8.2023.
 - 2023f: Maastotietokanta. – <maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/maastotietokanta-0>, luettu 1.8.2023.
 - 2023g: Maastotietokohteet. – <maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2023/06/Maastotietokohteet_2023_05.pdf>, luettu 1.8.2023. 119 s.
- Metsähallitus 2020: Luontopalvelujen luontotyyppi-inventoinnin kuviotieto-ohje. – Moniste, Metsähallitus, Vantaa. 124 s.
- Metsäkeskus 2021: Tietotuotokuvaus. Latvusmallit. – <metsakeskus.fi/sites/default/files/document/tietotuotokuvaus-latvusmallit.pdf>, luettu 1.8.2023. 3 s.
- Middleton, M., Laatikainen, M., Kivilompolo, J., Harju, A., Lerssi, J., Valkama, M., Pitkänen, T., Pohjankukka, J., Balazs, A., Tuominen, S., Zelioli, L., Farahnakian, F., Nevalainen, P. & Heikkonen, J. 2023: Technical description for the peatland site type data of Finland. – GTK Open File Work Report 73/2023. Geological Survey of Finland. <tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/73_2023.pdf>, luettu 29.11.2023. 253 s.
- Mücher, S. & Hazeu, G. 2021: Contribution of Remote Sensing Techniques for monitoring Natura 2000 sites. – Teoksessa: Schmidt, A. M. & Van der Sluis, T. (toim.), E-BIND Handbook (Part A): Improving the availability of data and information on species, habitats and sites. Wageningen Environmental Research/ Ecologic Institute /Milieu Ltd. Wageningen, The Netherlands. <ecologic.eu/sites/default/files/publication/2021/A_EBind_Handbook.pdf>, viitattu 23.11.2023. S. 40–67.
- Olson, R. S., Bartley, N., Urbanowicz, R. J. & Moore, J. H. 2016: Evaluation of Tree-based Pipeline Optimization Tool for Automating Data Science. – Proceedings of GECO 2016. S. 485–492.
- Pääkkö, E., Mäkelä, K., Saikkonen, A., Tynys, S., Anttonen, M., Johansson, P., Kumpula, J., Mikkola, K., Norokorpi, Y., Suominen, O., Turunen, M., Virtanen, R. & Väre, H. 2018: Tunturit. – Teoksessa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.), Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa I: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. S. 255–313.
- Riggs, G. A. & Hall, D. K. 2016: MODIS Snow Products Collection 6 User Guide. – <nsidc.org/sites/nsidc.org/files/files/MODIS-snow-user-guide-C6.pdf>. 66 s.
- Hall, D. K., & Salomonson, V. V. 1994: A snow index for the Landsat thematic mapper and moderate resolution imaging spectroradiometer. – Proceedings of IGARSS'94-1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Vol. 4: 1942–1944). IEEE.
- Ruuhijärvi, R., Salminen, P. & Tuominen, S. 2022_ Palsasoiden levinneisyys, rakenneytyypit ja tila Suomessa 2010-luvulla. – Suo 73(1): 1–32.

- Sihvo, J. 2001: Ylä-Lapin luonnonhoitoalueen ja Urho Kekkosen kansallispuiston luontokartoitus. Loppuraportti osa 1. Projektikuvauus. – Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja Sarja A 130. 76 s.
- Suomen ympäristökeskus 2023a: Sentinel-2-satelliittikuvamosaiikki 2017–2021 (S2GM). – <ckan.ymparisto.fi/dataset/sentinel-2-satellite-image-mosaics-2017-2021-s2gm-sentinel-2-satelliittikuvamosaiikki-2017-2021>.
- 2023b: Sentinel-2 kuvamosaiikit. – <ckan.ymparisto.fi/dataset/sentinel-2-image-index-mosaics-s2ind-sentinel-2-kuvamosaiikit-s2ind>.
- 2023c: Sentinel-1 Global Backscatter Model-kuvamosaiikki. – <ckan.ymparisto.fi/dataset/sentinel-1-global-backscatter-model-mosaic-sentinel-1-global-backscatter-model-kuvamosaiikki>.
- 2023d: Maanpeite 2 m 2022 ja jatkojaloste kasvillisuuden korkeudella – Datasets - Syke's Metadata Portal (ymparisto.fi). <ckan.ymparisto.fi/en/dataset/maanpeite-2-m-2022-ja-jatkojaloste-kasvillisuuden-keuudella>.
- & Metsähallitus 2020: Natura 2000 -luontotyyppien inventointiohje, versio 9. – <<https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/Luontotyyppiohjeitus-ver9-MH-SYKE-2020.pdf>>, luettu 22.8.2023. 78 s.
- Tammilehto, A., Saikkonen, A., Pääkkö, E., Tuominen, S., Mäkelä, K., Kokko, A., Härämä, P., Kallio, M., Heikkinen, M., Impiö, M., Törmä, M. & Anttila, S. 2024: Ylä-Lapin kaukokartoitus – Projektin loppuraportti osa 2 – Luontotyypit. – Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 249. 59 s.
- Tong, R., Parajka, J., Komma, J. & Blöschl, G. 2020: Mapping snow cover from daily Collection 6 MODIS products over Austria. – Journal of Hydrology 590, 125548.
- Tuominen, S., Eeronheimo, H. & Toivonen, H. (toim.) 2001: Yleispiirteinen biotooppiluokitus. – Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja B 57. 60 s.
- Vanden Borre, J., Paelinckx, D., Múcher, C. A., Kooistra, L., Haest, B., De Blust, G. & Schmidt, A. M. 2011. Integrating remote sensing in Natura 2000 habitat monitoring: Prospects on the way forward. – Journal for Nature Conservation 19: 116–125.

Liitteet

Liite 1 Syken Tiima-hankkeessa tuotettu tulvakartta Kevojoisuulta

Tulva-alueiden vesisyvyys violetin eri sävyillä: mitä tummempi sävy, sitä suurempi vesisyvyys ja useammin toistuva tulva. Lähde: Syke. Taustakartta: Esri Finland, Maanmittauslaitos.



Liite 2 Hankkeessa kerätyn maastotiedon sisältö

Maastotieto	Kuvaus
Arvioija	
Arviointiaika	
Pisteen tyyppi	Otantakoeala = Otantamenetelmällä ennakkoon valittu koeala / Muu koeala = maastossa valittu koeala / Muu piste = muu havainto / Kuviotieto = SAKTI-kuvioksi soveltuva tieto
Suoryhmä*	
Kasvillisuusluokka*	
Inventointiluokka*	
Inventointiluokan sisäinen vaihtelu	Inventointiluokkien sisäistä vaihtelua kuvaava tarkempi tieto (liite 4)
Lisämääreet (1–3)*	
Ravinteisuus*	
Natura 2000 -luontotyyppi*	
Natura 2000 -luontotyyppin edustavuus*	
Natura 2000 -luontotyyppin edustavuuden poikkeaman syy*	
Tunturikoivikon uusiutumiskyky	Arvioidaan tunturikoivun vesojen ja taimien määrän perusteella (ks. tarkemmin liite 3)
Mittarituho %	koealan tunturikoivuista kuollut: < 20 %, 20–50 %, 50–80 %, 80–100 %
Jäkälä mm (korkeus)	1 = alle 15 mm, 2 = 15–25 mm, 3 = 25–40 mm, 4 = 40–55 mm, 5 = yli 55 mm (liite 3)
Pensaslaji1*	
Pensaslaji2*	
Pensaslaji2 peittävyys*	
Pensaslaji1 peittävyys*	
LuTu-tyyppi	Luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnin 2018 mukainen kasvillisuustyyppi
Puulajivaltaisuus*	
Erityispuusto*	
Tunturikoivun vesojen ja taimien runkoluku	Arvioitu runkoluku/ha (ks. Laskutavan kuvaus liite 3)
Männyn taimet runkoluku	Arvioitu runkoluku/ha (ks. Laskutavan kuvaus liite 3 (samoin kuin tunturikoivun taimilla ja vesoilta))
Koealan sisäinen homogeenisuus	Homogeeninen = koeala koostuu yhdestä inventointiluokasta, heterogeeninen = koeala sisältää useaa inventointiluokkaa
Tunturikoivun nuorten taimien runkoluku	Arvioitu runkoluku/ha (ks. Laskutavan kuvaus liite 3)
Ympäristön homogeenisuus	Homogeeninen = koealan ympäristön inventointiluokka sama kuin koealan, heterogeeninen = koealan ympäristön inventointiluokka eri kuin koealan
Ympäristön inventointiluokka	Koealan ympäristön inventointiluokka
Kuviotieto	Tieto siitä, soveltuuko kuviotietona tallennettavaksi Saktiin (tekstikenttä)
Lisätieto (kaksi kenttää)	Vapaamuotoinen lisätieto

*Ominaisuustiedon sisältö kuvattu Luontopalvelujen Kuviotieto-ohjeessa (Metsähallitus 2020)

Liite 3 Edustavuuden ja luonnontilaisuuden arvioiminen tunturikoivikoissa ja jäkäläisillä luontotyypeillä

Edustavuuden määrittäminen

- Tunturikoivikoiden edustavuutta arvioidaan puuston rakenteen, taimien ja vesojen määrän sekä jäkäläisillä tyypeillä myös jäkälikön tilan perusteella
 - puuston perusteella edustavuutta voidaan pudottaa yhden tai kahden luokan verran
- edustavuuteen vaikuttavat tekijät arvioidaan mittaushetken mukaan
- edustavuus määritellään puusto- ja jäkälämittauksiin perustuvien uusiutusluokkien perusteella
- jäkälikön uusiutuminen mitataan vain jäkäläisiltä tyypeiltä
 - jäkälikön perusteella edustavuutta voidaan pudottaa yhden luokan verran
- Mittaritahoalueilla tunturikoivikoiden edustavuus pudotetaan huonoimpaan edustavuusluokkaan, mikäli elävien puiden latvuspeittävyys on alle 10 % tai tuho yli 50 %, eikä uusiutumista taimien tai vesojen kautta ole havaittavissa.

Natura-tyyppien edustavuusluokitus (Kuviotieto-ohje, Metsähallitus 2020).

Erinomainen: 10 Kohde vastaa täysin määritelmäänsä ja siinä tavataan tyyppille tunnusomaiset lajit sekä muut ominaispiirteet

Hyvä: Kohde on määritelmän mukainen ja siinä tavataan oleellimmat tyyppille tunnusomaiset lajit ja ominaispiirteet.

- (20) Hyvä, poikkeaman syytä ei tarkemmin määritetty EI KÄYTETÄ
- 21 Hyvä, poikkeama luontaisten syiden aiheuttama
- 22 Hyvä, poikkeama ihmistoiminnan aiheuttamaa
- 23 Hyvä, poikkeama luontaisten syiden ja ihmistoiminnan aiheuttamaa

Merkittävä: Kohde on jokseenkin määritelmän mukainen ja omaa joitakin tyyppille tunnusomaisia lajeja ja ominaispiirteitä

- (30) Merkittävä, poikkeaman syytä ei tarkemmin määritetty
- 31 Merkittävä, poikkeama luontaisten syiden aiheuttama
- 32 Merkittävä, poikkeama ihmistoiminnan aiheuttama
- 33 Merkittävä, poikkeama luontaisten syiden ja ihmistoiminnan aiheuttamaa

Ei merkittävä: Kohde ei ole lainkaan tyyppillinen eikä siinä esiinny juuri lainkaan tyyppille tunnusomaisia lajeja ja ominaispiirteitä.

- (40) Ei merkittävä, poikkeaman syytä ei tarkemmin määritetty
- 41 Ei merkittävä, poikkeama luontaisten syiden aiheuttama
- 42 Ei merkittävä, poikkeama ihmistoiminnan aiheuttama
- 43 Ei merkittävä, poikkeama luontaisten syiden ja ihmistoiminnan aiheuttamaa.

Uusiutumislukitukset ja edustavuuksien määräytyminen

Edustavuus arvioidaan nykytilan perusteella.

4 Hyvin uusiutuva

- vesoja runsaasti koivujen tyvillä
 - runkoluku > 1 500/ha
- taimia esiintyy säännöllisesti
- puustossa useita ikäluokkia, runsaasti nuoria taimia, joiden korkeus 2–3 m ja läpimitta 2–3 cm.

→ edustavuus 10 sammaleisilla tyypeillä, 22 jäkäläisillä tyypeillä, mikäli jäkäläluokka on 1–2.

3 Kohtalaisesti uusiutuva

- vesoja esiintyy säännöllisesti
 - runkoluku 500–1 500/ha
- puustossa myös nuoria puita (2–3 m, 2–3 cm).

→ edustavuus 10 sammaleisilla tyypeillä, 22 jäkäläisillä tyypeillä, mikäli jäkäläluokka 1–2.

2 Heikosti uusiutuva

- vesoja ei ole tai niitä on hyvin vähän < 500/ha
- taimia ei ole
- puustossa on kuitenkin nuoria 2–3 m, 2–3 cm puita

→ edustavuus 22 sammaleisilla tyypeillä, 32 jäkäläisillä tyypeillä, mikäli jäkäläluokka 1–2.

1 Ei uusiudu

- ei vesoja
- ei taimia
- ei nuoria puita
- alimmat oksat syötyjä → puut omenapuumaisia.

→ edustavuus 32 kaikilla tyypeillä.

Runkoluvun laskenta

Lasketaan ympyräkoevalta (säde 4 metriä tai 10 metriä). Lasketaan koevalta puiden kapalemäärä ja johdetaan määrästä runkoluku hehtaarilla, eli ilmoitetaan runkoluku/hehtaari

- 4 metrin koeala
 - Kerroin 200
 - Jos koevalta lasketaan 15 vesaa, vesojen määrä/ha on 3 000 (15 x 200)
 - Tätä kannattaa käyttää, jos vesoja on säännöllisesti ja paljon.
- 10 metrin koeala
 - Kerroin 30
 - Voidaan käyttää harvoissa koivikoissa tai kun vesoja/taimia on hyvin vähän.

Jäkälikön tila

Jäkälikön tila vaikuttaa edustavuuteen jäkäläisillä tunturikoivikkotyypeillä, jäkäläisillä tunturikangastyypeillä sekä jäkälätyypin borealisissa luonnonmetsissä. Jäkäläköiden tilan luokittelu on tehty Luonnonvarakeskuksen luokittelua soveltaen (Kumpula & Turunen 2018).

Luokka nro	Jäkälikön tila	Keskipeite mm	Edustavuus
1	Voimakkaasti kulunut	< 15	pudottaa
2	Hitaasti uudistuva	15-25	pudottaa
3	Hyvin uudistuva	25-40	ei pudota
4	Maksimituottoinen	40-55	ei pudota
5	Laiduntamaton	55-70	ei pudota

Mittarituhon arviointi maastokoealoilla

1: 20–50 % puista kuollut

- Edustavuus voi olla 10, jos koivu uusiutuu hyvin (3–4) ja varvikko palautunut normaaliksi
- Edustavuus 22–32, jos koivu ei uusiudu.

2: 50–80 % puista kuollut

- Edustavuus 22, jos koivu uusiutuu (3–4)
- Edustavuus 32, jos koivu ei uusiudu (1–2)

3: 80–100 % puista kuollut

- Edustavuus 32, jos koivu uusiutuu (3–4) tai 42 kaikissa tapauksissa, mikäli latvuspeittävyys alle 10
- Edustavuus 42, jos koivu ei uusiudu (1–2)

4: < 20 % puista kuollut

- Edustavuutta ei tarvetta laskea mittarituhon perusteella, jos koivikko uusiutuu (3–4).

Lähteet

Kumpula, J. & Turunen, M. 2018: Porojen laidunnus ja laidunten kunto tunturialueella. – Teoksessa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.), Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa I: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. S. 283–287.

Metsähallitus 2020: Luontopalvelujen luontotyyppi-inventoinnin kuviotieto-ohje. – Moniste, Metsähallituksen arkisto, Vantaa. 124 s.

Liite 4 Hankealueen tyypillisimpien inventointiluokkien tarkennetut kuvaukset ja niiden sisäisen vaihtelun arviointi

Koodi	Ryhmä	Luokka	Kuvaus	Sisäinen vaihtelu	Sisäisen vaihtelun luokka
101		Kalliolaet, -rinteet ja -terassit	Kalliot, joiden kaltevuus < 45°.	Paljaan/lähes paljaan kalliopinnan peittävyys yli 50 %	1 = kalliopinta 50–75 % 2 = kalliopinta 75–100 %
102		Kalliojyrkänteet ja -seinämät	Kaltevuus > 45° ja korkeus-ero vähintään 4 metriä. Poikkeuksellisesti voidaan kuvata pienempikin kohde, ei kuitenkaan < 2 m.		Ei käytetä
103		Kalliorotkot	Kahden kalliojyrkänteen ja niiden välisen solan muodostamia kokonaisuuksia, kun rotkon leveys on pienempi kuin sen syvyys. Jyrkänteiden korkeus- ja jyrkkyysvaatimukset kuten jyrkänteissä.		Ei käytetä
104		Louhikot ja kivikot	Suurten kivien (läpimitta 25 cm) tai lohcareiden peittämät alueet.	Louhikon peittävyys yli 50 %	1 = louhikko 50–75 % 2 = louhikko 75–100 %
105		Vyörylouhikot ja -kivikot	Jyrkillä rinteillä oleva louhikko tai kivikko. Nämä liikkuvat yleensä suhteellisen hitaasti, muodostaen kuitenkin epästabiilin pinnan.		Ei käytetä
106		Hiekkarannat	Sisävesien hietikkoiset ranta-alueet ja tuntureiden hiekkapaljastumat, joiden kasvillisuuden peittävyys alle 50 %. Vastaavat alueet, joilla kasvillisuuden peittävyys on yli 50 %, luokitellaan niittykasvillisuuteen (luokat 521–523, tunturialue 262–263).		1 = hietikko 50–75 % 2 = hietikko 75–100 %
	Jäkälä-varpu		Karukkokankaiden ja kuivien kankaiden metsät ja niiden kaltaiset tunturikankaat. Poronhoitoalueella jäkälän määrä on vähentynyt merkittävästi, jolloin osa jäkälästä on korvautunut sammalilla.		
231		Jäkälä (karukkokankaat)	Varpujen peittävyys on hyvin vähäinen. Valtaosa maanpinnasta on jäkälien peittämää.	Jäkälä/jäkälä-varpu > 80 % sammal-varpu < 20 % kenttäkerros mosaiikkimainen	Ei käytetä
232		Jäkälä-varpu (kuivat metsätyypit)	Varpuja esiintyy laikuittain ja niiden peittävyys on suurempi kuin edellisessä luokassa. Sammalia on hyvin vähän, lähinnä varpujen alla.	Jäkälä 50–80 % Varpu (sammal-varpu) 20–50 % kenttäkerros mosaiikkimainen Variksenmarja-jäkälä-tunturikivikot	1 = jäkälä 65–80 (jäkäläpinta vallitsee selvästi) 2 = jäkälä 50–65 (jäkäläpintaa ja varvikkoa lähes yhtä paljon)
	Sammal-varpu		Sammalia on vähintään yhtä paljon kuin jäkäliä.		

Koodi	Ryhmä	Luokka	Kuvaus	Sisäinen vaihtelu	Sisäisen vaihtelun luokka
241		Jäkälä-sammalvarpu (kuivahkot kangasmetsät)	Sammalia ja jäkälää on suunnilleen yhtä paljon, poronhoitoalueella kuitenkin sammat selvästi vallitsevat. Varvusto on yleensä melko peittävää, tosin pieniä varvuttomia laikkuja esiintyy. Sammalista runsaimpia ovat seinäsammal ja tunturikynsisammalet. Jäkälälajisto on samanlainen kuin edellisessä ryhmässä.	Jäkälä (jäkälä-varpu) 10–50 % Varvikko (sammalvarpu) 50–90 % kenttäkerros mosaiikkimainen <i>Variksenmarja-jäkälä-seinäsammal-tunturikoivikot</i>	1 = jäkälä 30–50 % (jäkäläpintaa lähes yhtä paljon kuin varvikkoa) 2 = jäkälä 10–30 % (jäkäläpintaa selvästi varvikkoa vähemmän)
242		Sammal-varpu (tuoreet kangasmetsät)	Jäkälää on hyvin vähän. Sammalista runsaimpia ovat metsissä seinäsammal ja kerrossammal, tunturialueella on myös kynsisammalia. Varvusto on yleensä yhtenäistä. Metsissä mustikka on yleensä peittävin. Tuntureilla lajit vaihtelevat enemmän (variksenmarja, mustikka, vaivaiskoivu). Ruohoja voi esiintyä jonkin verran.	jäkälät < 10 % varpu (sammal-varpu 70–90 %) kenttäkerroksessa ei selvää mosaiikkimaisuutta <i>Variksenmarja-mustikka-tunturikoivikot</i>	1 = Sammal-varpu ei aivan yhtenäinen (jäkäläpintoja esiintyy) 2 = Sammal-varpu yhtenäinen (jäkäläpintoja ei esiinny)
	Ruoho		Runsaasti ruohoja.		
251		Sammal-varpu-ruoho (lehtomaiset metsät)	Varvustoa ja ruohoja on lähes yhtä paljon. Sammalista kerrossammal, metsäliekosammal ja kynsisammalet ovat runsaimpia.	varvut 40–60 % ruohot 40–60 %	1 = varvikko vallitsee 2 = ruohosto vallitsee
252		Ruoho (lehdot)	Varpuja ei juuri esiinny ja kenttäkerros on leveälehtisten ruohojen vallitsemaa. Lisäksi esiintyy runsaasti heiniä, ei kuitenkaan vallitsevana. Myös ravinteiset tunturiniityt ja tuntureiden suurruohoniityt.	ruohot ja heinät > 90 % Ruohot vallitsevat selvästi (varsinaiset lehdot) vrt. 263 (tulvalehdot).	Ei käytetä
	Heinä-sara		Heinäkasvit (esim. lampaanata, jäkki, tunturivihvilä, kastikat) tai sarat vallitsevat.		
261		Jäkäläinen heinä-sara	Heinä- ja sarakasvillisuus vallitsee kenttäkerroksessa, pohjakerroksessa runsaasti jäkälää. Esim. heinäiset tunturikankaat.		1 = paljaita jäkäläpintoja esiintyy (heinä-sara epäyhtenäinen) 2 = paljaita jäkäläpintoja ei juuri esiinny (heinä-sara lähes yhtenäinen)
262		Sammaleinen heinä-sara	Heinä- ja sarakasvillisuus vallitsee kenttäkerroksessa, ruohoja ei esiinny merkittäviä määriä, pohjakerroksessa lähes yksinomaan sammalia. Esim. jäkkiniiityt, matalasaraiset ja -heinäiset lumenviipymät.		1 = paljaita sammalpintoja esiintyy (heinä-sara epäyhtenäinen) 2 = paljaita sammalpintoja ei juuri esiinny (heinä-sara lähes yhtenäinen)

Koodi	Ryhmä	Luokka	Kuvaus	Sisäinen vaihtelu	Sisäisen vaihtelun luokka
263		Ruohoinen heinä-sara	Heinä- ja sarakasvillisuuden ohella kenttäkerroksessa yleisesti ruohoja, pohjakerroksessa lähes yksinomaan sammalia. Esim. ravinteisten alueiden (esim. puronvarret) heinä-saravaltainen kasvillisuus. Esim. pienruohoniityt.		1 = ruohoja melko niukasti 2 = ruohoja runsaasti
271		Tuntureiden sammalpinnat	Sammalkerros yhtenäinen tai lähes yhtenäinen, kenttäkerros harva tai puuttuu kokonaan. Esim. sammalumenviipymät, vaivaspajulumenviipymät.		1 = kenttäkerros puuttuu (esim. sammalumenviipymät) 2 = kenttäkerros niukka (esim. vaivaspajuviipymät)
	Korpiset suot		Puustoisia tai pensaikkoisia, harvoin puuttomia. Myös puustoiset ja pensaikkoiset luhdat. Korpikasvillisuutta olevan mätäsinnan osuus yli 20 %.		
311		Varsinaiset korpisuot	Mätäspintaa (korpikasvillisuutta) yli 80 %.		Ei käytetä
312		Korpi-välipinta-suot	Mätäspintaa (korpikasvillisuutta) yli 20 %, mätäs- ja välipinnan osuus yhteensä yli 80 %.		1 = mätäsinnan (korpip.) osuus 50–80 % 2 = mätäsinnan (korpip.) osuus 20–50 %
313		Korpi-rimpipinta-suot	Mätäspintaa (korpikasvillisuutta) yli 20 %, mätäs- ja rimpipinnan osuus yhteensä yli 80 % tai minkään kahden pintarakenneluokan yhteenlaskettu osuus ei ole yli 80 %.	Mätäs-, väli- ja rimpipintojen mosaiikkia.	1 = mätäsinnan (korpip.) osuus 50–80 % 2 = mätäsinnan (korpip.) osuus 20–50 %
	Rämeiset suot		Puustoisia tai puuttomia. Rämekasvillisuutta olevan mätäsinnan osuus yli 20 %. Myös lettorämeet.		
321		Varsinaiset rämesuot	Mätäspintaa (rämekasvillisuutta) yli 80 %.		Ei käytetä
322		Räme-välipinta-suot	Mätäs-välipintasuo. Mätäspintaa (rämekasvillisuutta) yli 20 %, mätäs- ja välipinnan osuus yhteensä yli 80 %.	Välipintainen neva-/letto esiintyy mosaiikkimaisesti. Esim. välipintaiset neva- ja lettorämeet, myös tupasvillarämeet.	1 = mätäsinnan (rämep.) osuus 50–80 % 2 = mätäsinnan (rämep.) osuus 20–50 %
323		Räme-rimpipintasuo	Mätäspintaa (rämekasvillisuutta) yli 20 %, mätäs- ja rimpipinnan osuus yhteensä yli 80 % tai minkään kahden pintarakenneluokan yhteenlaskettu osuus ei ole yli 80 %.	Mätäs-, väli- ja rimpipintojen mosaiikkia. Esim. rimpinevarämeet	1 = mätäsinnan (rämep.) osuus 50–80 % 2 = mätäsinnan (rämep.) osuus 20–50 %
324		Räme-vesipinta-nevat	Mätäs-väli-rimpi-vesipintasuo. Mätäspintaa yli 20 % ja vesipinta muista pinnoista vallitsevin. Mätäspinta on rämekasvillisuutta.	Esim. keidassoiden allikkoiset keidasrämeet.	1 = mätäsinnan (rämep.) osuus 50–80 % 2 = mätäsinnan (rämep.) osuus 20–50 %

Koodi	Ryhmä	Luokka	Kuvaus	Sisäinen vaihtelu	Sisäisen vaihtelun luokka
	Nevat ja avoletot		Avoimia tai hyvin harva- puustoisia, pensaikkoa voi olla. Myös avoluhdat. Mätäs- pintaa (räme- tai korpikas- villisuutta) alle 20 %. Myös <i>lettonevat</i> .		
331		Välipintasuot	Välipintaa > 80 %. Vallitse- via usein vaaleat rahkasam- malet, suursarat tai lyhyt- kortiset sarat. Ruohoisuus ja ruskosammaleisuus vaihte- lee ravinteisuuden mukaan. Varsinkin Pohjois-Suomessa voi kasvaa pajuja ja vaivais- koivua, joskus tiheänäkin.	Esim. <i>suursarane- vat, välipintaiset lyhytkorsinevat</i> .	Ei käytetä
332		Väli-rimpipinta- suot	Väli- ja rimpipinnan osuus yhdessä mutta ei yksinään > 80 %. Välipinnat yleensä lyhytkortisia.		Ei käytetä
333		Rimpipintasuot	Rimpipinnan osuus yksi- nään yli 80 %. Rimpipinnoil- la sarakasvillisuus on usein harvaa ja lyhytkortiset rim- pisarat ja/tai luhtavilla val- litsevat. Sammalkerros voi lähes puuttua (ruopparim- met) tai se voi muodostua rimpipintojen rahkasamma- lista tai ruskosammalista.		1 = Sphagnum-tyyppi 2 = Warnstorfia-tyyppi
334		Vesipintasuot	Vesipinnan osuus yksinään yli 80 %.	<i>Avo- ja pensaikko- luhdat, allikot jne.</i>	
335	Ei käy- tetty hank- keessa	Arokosteikot	Vesitilanteeltaan äärimmäi- sen epävakaata suokasvilli- suus, sisältäen varsinais- ten arokosteikoiden ohel- la maankohoamisrannikot epämääräisiä, kausikuivia/ -kosteita tyyppisiä. Turve- kerros on selvästi alle 10 cm tai puuttuu. Maalajina ki- vennäismaa (ei turve).	Käytetään näillä kasvillisuutta ku- vaavaa inv-luok- kaa ja tuodaan kausikosteus esiin lisämäärällä.	
336		Tihkupinta	Soiden tihkupinnat.		

Liite 5 Tulkintamalleissa käytetyt piirteet

Kolme merkityksellistä piirrettä merkitty kussakin malissa järjestysnumeroin (1), (2) ja (3). Pensaikkojen mallissa Sentinel 2 -pääkomponentit(*) on laskettu muista malleista poiketen erikseen 10 ja 20 m kanaville, jolloin nämä piirteet ei vertailukelpoisia keskenään.

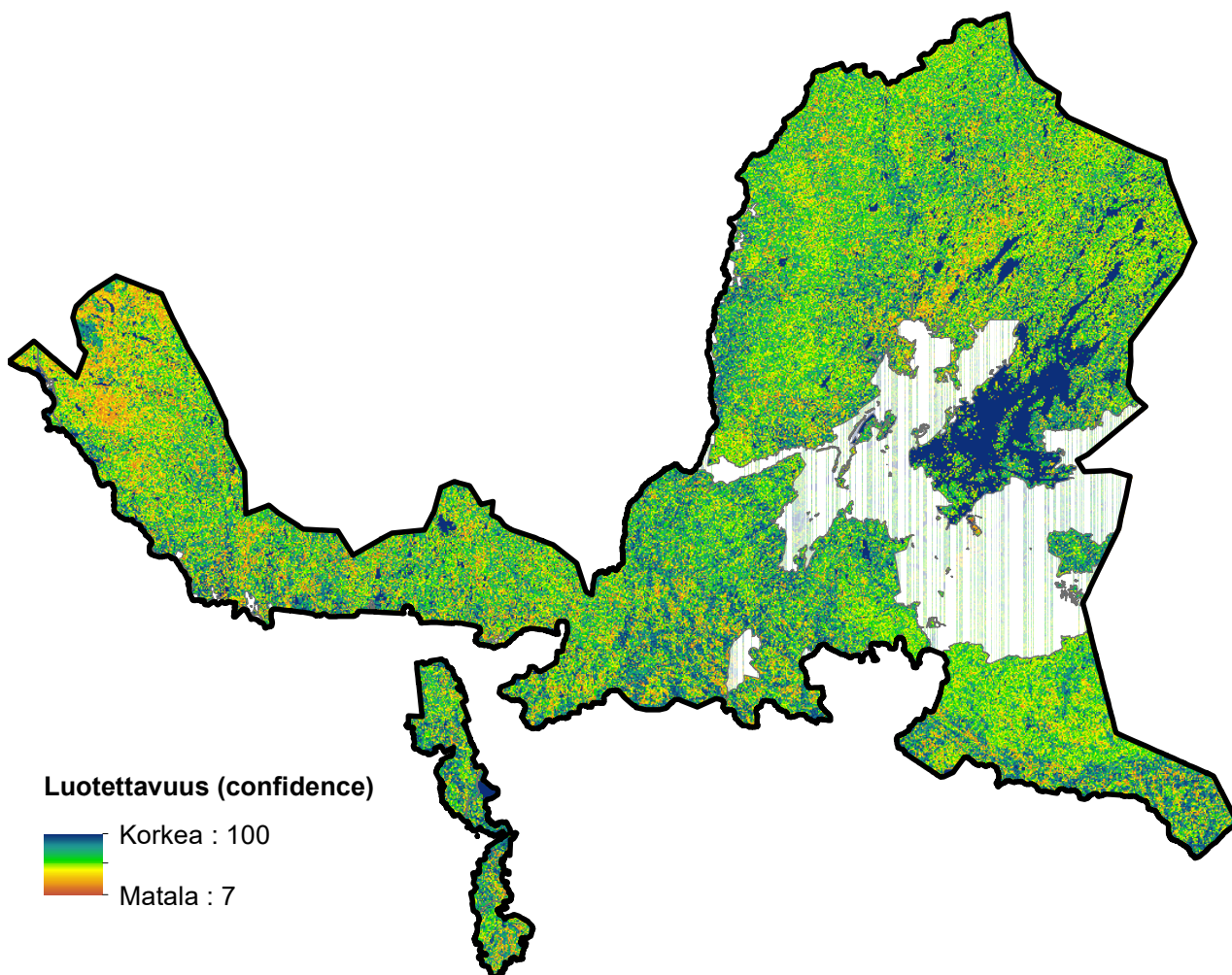
Piirre	Tavoitemuuttuja Inventointiluokka Suot	Tavoitemuuttuja Inventointiluokka Soistumat	Tavoitemuuttuja Inventointiluokka Kalliot ja Lohikot	Tavoitemuuttuja Inventointiluokka Muut kivennäismaat	Tavoitemuuttuja Inventointiluokka Lumenviipymät	Tavoitemuuttuja Puulaji	Tavoitemuuttuja Natura-tyyppi Suot	Tavoitemuuttuja Natura-tyyppi Kivennäismaat	Tavoitemuuttuja Pensaikot
LAS pintamalli	x(2)	x	x	x	x	x(3)	x(1)	x(1)	x(1)
Sentinel 1 vv	x	x	x	x	x	x	x	x	
Sentinel 1 vh	x	x	x	x	x	x	x	x(3)	
Sentinel 1 vv/vh	x(3)	x	x	x	x	x	x	x	
Sentinel 2 NDMI (md)		x	x	x	x		x	x	
Sentinel 2 NDTI (md)	x	x	x	x	x		x	x	
Sentinel 2 NDVI (max)	x	x	x(2)	x(2)	x(1)	x	x	x	
Sentinel 2 refls 2021 PC1	x	x	x	x	x	x(1)	x	x(2)	x(*)
Sentinel 2 refls 2021 PC2	x	x	x	x	x		x		x(*)
Sentinel 2 refls 2021 PC3	x	x	x	x	x	x	x	x	x(*)
Sentinel 2 refls 2021 PC5		x	x	x	x		x	x	
Copernicus HR Phenology – Amplitude		x							
Sentinel 2 NDMI kk med 2016– 2021 (11*11 win std)	x	x							
Maastotietokanta – Suomaski		x(1)				x(2)			
DEM 2 m std mean (5 x 5win)	x	x	x	x	x	x	x(2)		
DEM 2 m max–min (5 x 5 win) range segmenteissä	x						x(3)		
DEM 2 m max–min (5 x 5 win) mean segmenteissä	x						x		
DEM 2 m max-min (5 x 5 win) std segmenteissä	x						x		
DEM 2 m mean (5 x 5 win) range segmenteissä	x						x		
Dem 2 m std (5 x 5 win) segs. mean	x						x		
Sentinel 2 NDVI kk 2016–2022 PC1						x	x	x	x
Sentinel 2 NDVI kk 2016–2022 PC2		x(2)	x(1)	x(1)	x(2)	x	x	x	x
Sentinel 2 NDVI kk 2016–2022 PC3		x	x	x	x(3)	x	x	x	x
Sentinel 2 NDMI kk 2016–2022 PC1		x	x	x(3)	x	x	x	x	x
Sentinel 2 NDMI kk 2016–2022 PC2	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sentinel 2 NDMI kk 2016–2022 PC3		x	x	x	x		x	x	x
Sentinel 2 NDTI kk 2016–2022 PC1	x	x	x	x	x		x	x	x(3)
Sentinel 2 NDTI kk 2016–2022 PC2	x(1)	x	x	x	x	x	x	x	x
Sentinel 2 NDTI kk 2016–2022 PC3		x(3)	x(3)	x	x			x	x
Copernicus VHR mosaic (vesi)							x	x	

Liite 6 Inventointiluokan tulkintamallien luotettavuus ositteittain

Malli (Osio)	n	Tavoiteluokat	Kokonaistarkkuus	F1-keskiarvo	F1 painotettu keskiarvo
Soistumat	3243	101, 104, 231, 232, 241, 242, 251, 252, 261, 262, 263, 271, 311, 312, 313, 321, 322, 323, 331, 332, 333, 430	0,65	0,44	0,63
Suot	613	311, 312, 313, 321, 322, 323, 331, 332, 333	0,59	0,50	0,57
Kalliot ja louhikot	2487	101, 104, 232, 241, 242, 251, 261, 262, 263	0,73	0,63	0,71
Lumenviipymät	1824	101, 104, 232, 241, 242, 261, 262, 263, 271	0,73	0,61	0,72
Muut kivennäismaat	2427	232, 241, 242, 251, 252, 261, 262, 263	0,70	0,55	0,69

Liite 7 Inventointiluokan tulkinnan luotettavuus

Confidence -arvojen jakauma soilla ja kivennäismailla. Soilla tulkinnan epävarmuus on suurempi kuin kivennäismailla. Lähde: Syke.



Liite 8 Satelliittipohjaisen kaukokartoituksen ulkopuolelle jätetyt Natura-tyypit

Natura-tyyppi	Natura-tyyppi	Pinta-ala SAKTI:ssa (ha) (11/2023)	Syy kaukokartoitustulkintojen ulkopuolelle jättämiseen
2140	Variksenmarjadyynit	14	määrittäminen vaatii maastotyötä
2320	Kuivat kanerva- ja variksenmarjadyynit	30	määrittäminen vaatii maastotyötä
3130	Niukka-keskiravinteiset järvet	203	järvi- ja lampityyppien erottaminen toisistaan kaukokartoituksella hyvin epävarmaa, osin myös pienialaisuus
3140	Kalkkilammet ja järvet	2	järvi- ja lampityyppien erottaminen toisistaan kaukokartoituksella hyvin epävarmaa, osin myös pienialaisuus
3150	Luontaisesti ravinteiset lammet	0	järvi- ja lampityyppien erottaminen toisistaan kaukokartoituksella hyvin epävarmaa, osin myös pienialaisuus
3230	Pensaskanervikot	34	pienialainen, vaatii lajin tunnistusta
6270	Runsaslajiset kuivat ja tuoreet niityt*	30	perinnebiotooppi, erottaminen muista niittytyypeistä vaatii maastotyötä
6430	Kosteat suurruohoniityt	45	usein pienialainen, erottaminen muista niittytyypeistä vaatii maastotyötä
6510	Alavat niitetyt niityt	2	perinnebiotooppi, erottaminen muista niittytyypeistä vaatii maastotyötä
7160	Lähteet ja lähdesuot	121	pienialaisuus, lähteisyyden tunnistaminen vaatii maastotyötä
7220	Huurresammallähteet*	23	pienialaisuus, vaatii lajien tunnistamista
7230	Letot	693	Eutrofian varma määrittäminen vaatii maastotyötä
7240	Tuntureiden rehevät puronvarsisuot*	0	pienialaisuus, kalkkivaikutuksen tunnistaminen vaatii maastotyötä
8110	Tuntureiden vyörysoaikot ja -lohkareikot	850	voimakkaasti kalteva pinta vaikeuttaa satelliittikuvien tulkintaa
8210	Kalkkikalliot	32	pienialaisuus, vaatii lajien tunnistamista
8230	Kallioiden pioneeri-kasvillisuus	50	pienialainen, sisältyy tässä hankkeessa sili-kaattikallioihin
9060	Harjumetsät	1 268	vaatii myös geomorfologian tunnistamista
9070	Hakamaat ja kaskilaitumet	2	pienialainen, erottaminen muista niityistä/laitumista vaatii maastotyötä
9080	Metsäluhdat*	43	erottaminen korvista vaatii maastotyötä

*priorisoitu luontotyyppi

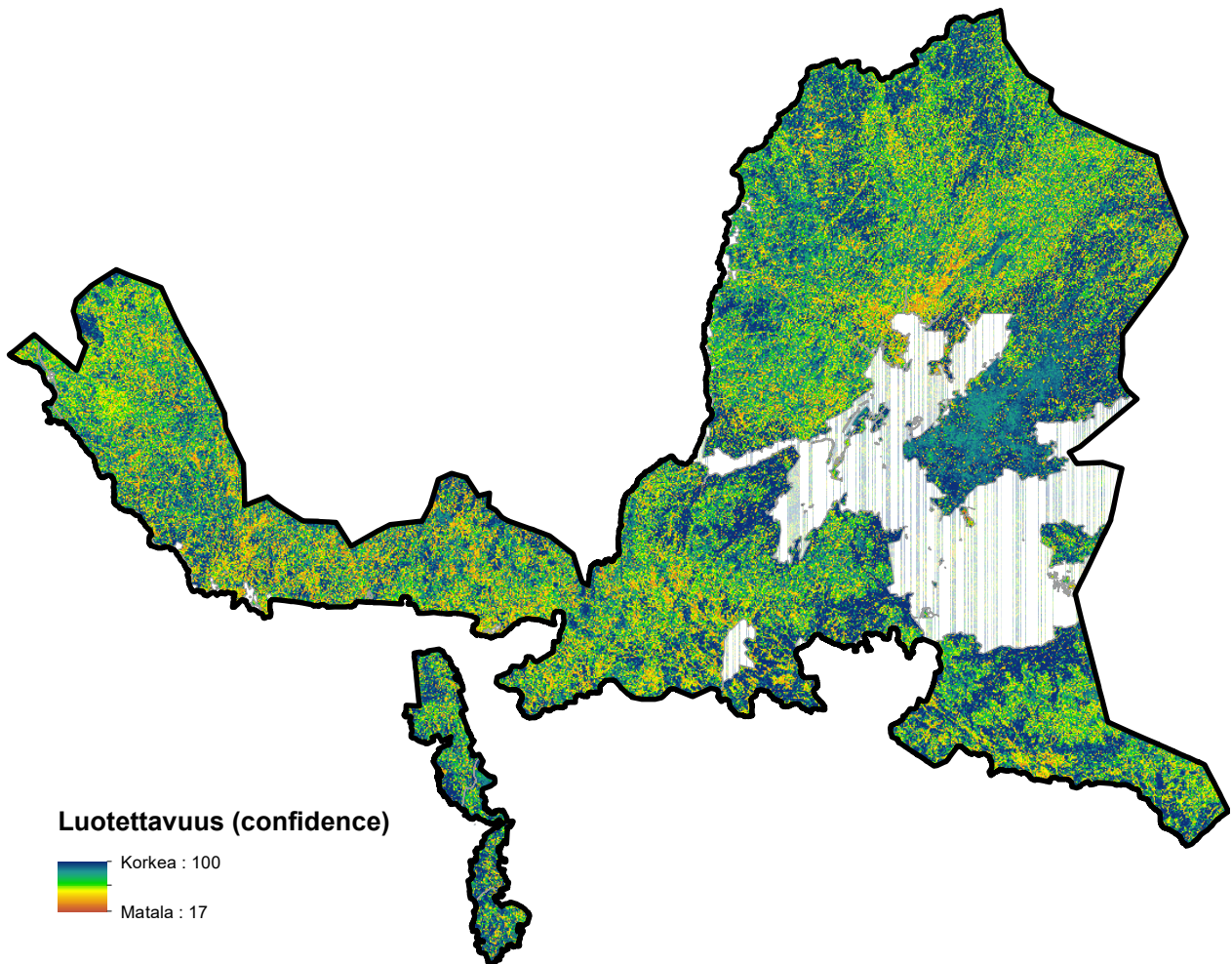
Kaukokartoitustulkintojen ulkopuolelle jätettiin myös virtavedet, joka suuria jokia lukuun ottamatta on yleensä pienialainen luontotyyppi. Virtavesien tyypittely on lisäksi pääosin kaava- maista, ja hankkeessa niiden geometria johdettiin Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta. Lisäksi kaukokartoitustulkintojen ulkopuolelle jätettiin suoyhdistymätyyppien rajaukset.

Liite 9 Natura-tyyppien tulkintamallien luotettavuus

Malli (Osio)	n	Tavoiteluokat	Kokonaistarkkuus	F1-keskiarvo	F1 painotettu keskiarvo
Suot	462	7140, 7230, 7310, 7320, 9100 (puustoiset suot)	0,67	0,67	0,66
Kivennäismaat	2 381	3110, 4060, 6150, 8221, 9010, 9040, 9050	0,86	0,80	0,86

Liite 10 Natura-tyyppin Random forest tulokinnan luotettavuus (confidence)

Lähde: Syke.



Liite 11 Natura-tyyppin asiantuntijapäätelyyn perustuvan tulkinnan yksinkertaistettu malli

mtk = Maanmittauslaitoksen maastotietokanta

Liite on erillisenä excel-tiedostona osoitteessa:

https://julkaisut.metsa.fi/wp-content/uploads/sites/2/2024/01/a248_liite_11.xlsx

Liite 12 Vallitsevan puulajin Random forest -tulkintamallin tarkkuus

Malli	n	Tavoiteluokat	Kokonaistarkkuus	F1-keskiarvo	F1 painotettu keskiarvo
Kaikki yhdessä	1 525	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	0,81	0,54	0,79

Tavoiteluokat

- 1 = Mänty, puhdas
- 2 = Mänty, seka
- 3 = Kuusi, puhdas
- 4 = Kuusi, seka
- 5 = Koivu, puhdas
- 6 = Koivu, seka
- 7 = Muu (haapa)
- 8 = Tunturikoivikko

Liite 13 Pensaikoiden tulkintamallin luotettavuus

Malli	n	Tavoiteluokat	Kokonaistarkkuus	F1-keskiarvo	F1 painotettu keskiarvo
Kaikki yhdessä	362	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8	0,8	0,72	0,79

Tavoiteluokat

1 = tunturikoivupensas

2 = kataja

3 = tunturipajukko

5 = mäntysekametsä

6 = tunturikoivikko

7 = kallio, louhikko

8 = tunturikangas, avoin

Liite 14 Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitushankkeen suositukset

Luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnin (Kontula & Raunio 2018) mukaan runsas kolmannes tunturiluontotyypeistä on uhanalaisia. Tärkeimpinä uhanalaistumisen syinä ovat ilmastonmuutos ja porolaidunnus sekä niiden yhteisvaikutukset. Myös luontodirektiivin raportoinnin (2019) mukaan tunturikoivikoiden ja -kankaiden suojelutaso alpiinisella alueella on epäsuotuisa. Ilmastonmuutos aiheuttaa mm. mittarituhojen lisääntymistä tunturikoivikoissa, havumetsärajan nousua, pensoittumista ja palsasoiden häviämistä. Porolaidunnus ehkäisee avointen alueiden umpeenkasvua, mutta voimakas laidunnuspaine estää tunturikoivikoiden uusiutumista ja vaikuttaa heikentävästi jäkäläisten luontotyyppien tilaan. Lisäksi muut maankäyttöpaineet ovat lisääntyneet myös pohjoisilla alueilla.

Metsähallituksen Luontopalveluilla, joka hallinnoi 85 %:a (1,5 milj. ha) tunturialueesta, on suuri vastuu luontodirektiivin luontotyyppien suotuisan suojelutason säilyttämisestä Suomessa. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää ajantasaista tietoa luontotyypeistä. Laajalta ja osin vaikeasti saavutettavalta tunturialueelta pelkästään maastohavaintoihin perustuvan tiedon kerääminen on kallista, eikä

ajantasaisen luontotiedon tuottaminen kaikilta luontotyypeiltä ole mahdollista.

Satelliittipohjaisella kaukokartoituksella voidaan kattaa laajoja alueita tihein havainnoin. Menetelmän etuna on myös tiedon valtava määrä, joka mahdollistaa koneoppimismenetelmien käytön ja kustannustehokkuuden. Kaukokartoituksella saatava tieto on kuitenkin eriluonteista verrattuna luontotyypeiltä maastossa kerättyyn tietoon. Menetelmän tarkkuus ei myöskään usein riitä pienialaisten kohteiden erottamiseen tai esimerkiksi kasvilajiston tarkempaan tunnistamiseen.

Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitushankkeessa on tuotettu uusi luontotyyppiaineisto Ylä-Lapin suojelu- ja erämaa-alueille. Kaukokartoitushanke on kolmivuotinen (2020–2023) Luontopalvelujen ja Suomen ympäristökeskuksen (Syke) yhteistyöhanke, jonka ovat rahoittaneet ympäristöministeriö ja Syke. Aineiston tuotanto hankkeessa perustuu kaukokartoituksen ja maastohavaintojen yhdistämiseen. Aineisto on tuotettu opettamalla laajasti eri satelliitti- ja laserkeilausaineistoja sisältänyttä tietokokoomaa vuosien 2020–2022 aikana kerätyllä, yli 4 000 havaintopisteen maastoaineistolla. Uusi aineisto sisältää



Kuva: ArtoSaikkonen/Metsähallitus.

luontodirektiivin luontotyyppiluokituksen ja Metsähallituksen käyttämän tarkemman inventointiluokittelun mukaiset tiedot Ylä-Lapin alueelta. Aineisto tallennetaan Metsähallituksen Luontopalvelujen SAKTI-tietojärjestelmään. SAKTI:n kautta uusi aineisto on muun ympäristöhallinnon käytössä, ja se julkaistaan myös avoimena datana.

Hankkeen tulokset tukevat luontotyyppien seurannan kehittämistä kohti eri seurantamenetelmien suunnitelmallista ja toisiaan tukevaa yhteiskäyttöä. Tunnistamalla eri menetelmien kyky tuottaa luontotyyppitietoa ja toisaalta niihin kuuluvat puutteet, epävarmuudet ja kustannukset voidaan suunnitella eri seurantamenetelmien toisiaan tukeva kokonaisuus. Kaukokartoitusmenetelmien käyttöönotto ja tarkkuudenarviointi edellyttää esimerkiksi riittävän määrän maastohavaintoja. Vastaavasti kaukokartoitustulkintojen avulla maastoinventointeja voidaan kohdentaa niille luontotyypeille, joilla olemassa oleva tieto on tunnistettu epätarkaksi.

Ylä-Lapin kaukokartoitushankkeen pohjalta Luontopalvelut ja Syke kokosivat seuraavat suositukset kaukokartoitusmenetelmien käyttöönottoon luontotyyppien inventoinnissa ja seurannassa:

Suositus 1: Kaukokartoituspohjaisen tiedon käyttöönotto luontotyyppiseurannoissa

Käytettävissä olevan satelliittitiedon määrä ja sen kasvu ovat suuria, eikä sen kaikkia hyödyntämismahdollisuuksia ole vielä tunnistettu. Kaukokartoitustieto poikkeaa luonteeltaan ja tarkkuudeltaan luontotyyppien arvioinneissa käytetystä maastohavainnoinnista. Kaukokartoitustietoa tulisi aktiivisesti hyödyntää inventoinneissa ja seurannoissa ja tunnistaa sen tuoma lisäarvo eri luontotyyppiryhmissä.

Suositus 2: Tutkimus- ja kehitystyön jatkaminen sekä kansallisen rahoituksen turvaaminen

Koneoppimisen ja muiden suuria tietomassoja hyödyntävien menetelmien tutkimus ja käyttöönotto eri sovellusaloilla on kiivasta. Luontotyyppien seurantaan tukevan tiedon osalta näiden menetelmien hyödyntäminen on vasta alussa ja työtä tulisi aktiivisesti kehittää.

Suositus 3: Kaukokartoitustarpeiden huomiointi maastoinventoinneissa

Maastotiedon kerääminen on edellytys myös kaukokartoituksen käyttöönotolle luontotyyppien inventoinnissa ja seurannassa. Eri menetelmien tarpeet tulisi huomioida seurantojen suunnittelussa.

Suositus 4: Eri toimijoiden roolien tunnistaminen ja yhteistyön vahvistaminen

Luontotiedon keräämiseen osallistuvien tahojen yhteistyötä tulisi vahvistaa ja tunnistaa eri toimijoiden erityisosaaminen ja rooli osana kerättävän luontotiedon kokonaisuutta.

Suositus 5: Kansainvälisen rahoituksen ja yhteistyön edistäminen kaukokartoituksen käyttöönotossa ja kehittämisessä

Suomessa tehty kehitys- ja yhteistyö ovat korkeatasoisia myös kansainvälisessä mitta-kaavassa. Tehtyä työtä tulisi aktiivisesti tuoda esiin ja jatkaa kansainvälisissä yhteistyöverkostoissa.

Projektiyhmä

Suomen ympäristökeskus: Pekka Härmä, Minna Kallio, Markus Törmä, Mika Heikkinen, Mikko Impiö, Kristin Böttcher, Mikko Kervinen, Tytti Jussila, Saku Anttila, Seppo Tuominen, Katariina Mäkelä, Aira Kokko
Metsähallitus, Luontopalvelut: Arto Saikkonen, Anna Tammilehto, Elisa Pääkkö.

Lisätietoja

Anna Tammilehto, Metsähallitus, Luontopalvelut (anna.tammilehto@metsa.fi)
Saku Anttila, Suomen ympäristökeskus, (saku.anttila@syke.fi)

metsa.fi/projekti/yla-lapin-kaukokartoitus

storymaps.arcgis.com/stories/dd1ea2be6ef-c4a97b004c1eb89a17dd0



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

Uusimmat Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisut

Sarja A

- No 241 Metsähallitus 2022: Hyvät käytännöt maakotkalle aiheutuvien vaikutusten arviointiin – esimerkkiraportti Nimettömänkankaan tuulivoimahankkeesta. 59 s.
- No 242 Ridanpää, R. & Tervo-Kankare, K. 2022: Matkailuyritysten hiiliopas – Land of National Parks. 66 s.
- No 243 Erkinaro, H. (toim.) 2023: SALMUS – Saving Our Northern Freshwater Pearl Mussel Populations. 336 s.
- No 244 Virnes, J. & Lehtonen, L. 2023: Esteettömien luontokohteiden (reittien) nykytilan arviointi. 48 s.
- No 245 Laulumaa, V. 2023: Päijänteen kansallispuiston arkeologisen inventoinnin päivitys 2022. 38 s.
- No 246 Saatsi, E., Saatsi, P., Sirén, R., Hjelt, H. & Salo, A. 2023: Evon retkeilyalueen rakennetun kulttuuriympäristön inventointi 2022. 80 s.
- No 247 Saatsi, E., Saatsi, P., Sirén, R. & Salo, A. 2023: Päijänteen kansallispuiston retkeilyalueen rakennetun kulttuuriympäristön inventointi 2022. 68 s.
- No 248 Tammilehto, A., Härmä, P., Kallio, M., Törmä, M., Saikkonen, A., Tuominen, S., Impiö, M., Heikkinen, M., Kervinen, M., Jussila, T., Böttcher, K., Pääkkö, E., Kokko, A., Mäkelä, K. & Anttila, S. 2024: Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitus – Projektin loppuraportti osa 1 – Aineistot ja menetelmät. 103 s.
- No 249 Tammilehto, A., Saikkonen, A., Pääkkö, E., Tuominen, S., Mäkelä, K., Kokko, A., Härmä, P., Kallio, M., Heikkinen, M., Impiö, M., Törmä, M. & Anttila, S. 2024: Ylä-Lapin luonnon kaukokartoitus – Projektin loppuraportti osa 2 – Luontotyytit. 59 s.

Sarja B

- No 267 Puranen, T. & Mikkola, M. 2022: Torronsuon kansallispuiston kävijätutkimus 2020–2021. 60 s.
- No 268 Puranen, T. 2022: Liesjärven kansallispuiston kävijätutkimus 2021. 62 s.
- No 269 Tiikkainen, U. 2023: Sallan kansallispuiston ja Sallatunturin alueen kävijätutkimus 2022. 63 s.
- No 270 Haverinen, S. 2023: Patvinsuon kansallispuiston kävijätutkimus 2022. 66 s.
- No 271 Haverinen, S. 2023: Tiilikjärven kansallispuiston kävijätutkimus 2022. 64 s.
- No 272 Metsähallitus 2023: Suojelualueiden hoidon ja käytön periaatteet. 245 s.

Sarja C

- No 180 Metsähallitus 2022: Tulliniemen linnustonsuojelualueen ja Bengtsårin lehdon hoito- ja käyttösuunnitelma. 132 s.
- No 181 Metsähallitus 2022: Selkämeren kansallispuiston ja Natura 2000 -alueiden hoito- ja käyttösuunnitelma. 199 s.
- No 182 Metsähallitus 2022: Helvetinjärven kansallispuiston hoito- ja käyttösuunnitelma. 109 s.
- No 183 Metsähallitus 2022: Pinkjärven ja Lastensuon hoito- ja käyttösuunnitelma. 99 s.
- No 184 Metsähallitus 2023: Koloveden kansallispuiston hoito- ja käyttösuunnitelma. 131 s.
- No 185 Metsähallitus 2023: Linnansaaren kansallispuiston hoito- ja käyttösuunnitelma. 157 s.



ISSN-L 1235-6549
ISSN (VERKKOJULKAISU) 1799-537X
ISBN 978-952-377-111-6 (PDF)
JULKAISUT.METSA.FI