



HARVENTAMISEN MUUTTUVAT KÄYTÄNNÖT UUDEN TIEDON VALOSSA

Jori Uusitalo
17.06.2025



FOREST TECHNOLOGY RESEARCH GROUP



Post doc Zhu Mao



Prof. Jori Uusitalo



Doctoral student
Ville Laamanen

Doctoral students (working elsewhere) :

- Harri Lindeman
- Antti Raatevaara
- Antti Laakkonen

Master thesis (hired for short periods):

- Son Cao
- Kaarlo Koivukoski
- Tero Puukka
- Juho Koivisto



University lecturer Veli-
Pekka Kivinen

Post doc Omid Abdi



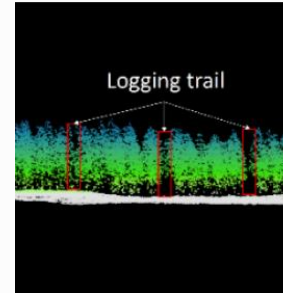
RESEARCH GROUP PROJECTS

- OptiForValue (EU-project) 1.9.2024-31.8.2028 ~300 000€
- GeoAI explained soil mapping of Finnish forests
(The Finnish Research Impact Foundation) 1.1.2025-31.12.2026 223 000 €
- Woodflow Finland 1.5.2024-31.8.2025 (MMSäätiö) 37 000 €
- Professorship project 16.9.2020-31.5.2025 ~120 000 €
- Customer project (100% funding) 1.1.2024-30.6.2025 200 000 €
- Luomuhakkuu –project 1.5.2022-31.10.2024 (RRF/MMM) 0.8 M€

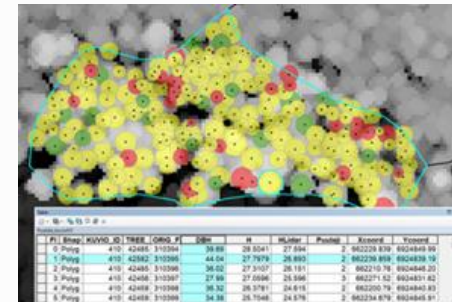
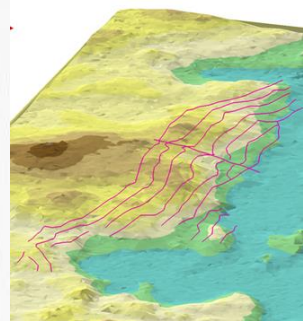


MITÄ ON TÄSMÄPUUKORJUU?

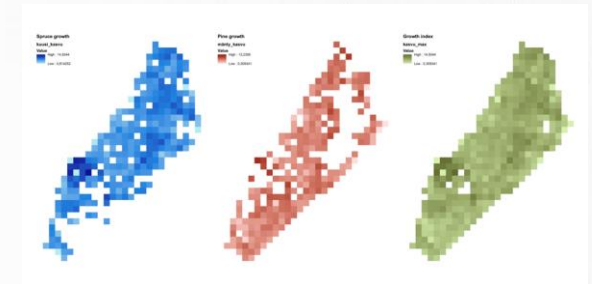
- Yhdistetään älykkäästi parhain mahdollinen kaukokartoitus- ja muu paikkatieto
 - Kuviokohtaisesta tulkinnaasta mikrokuviotasoiseen tai jopa puukohtaiseen päätöksentekoon
 - Kasvuolosuhteinen mikrokuviotasoinen tulkinta
 - Hakkuukoneen reittien etukäteissuunnittelu
 - Metsäkäsittelymenetelmän/metsänhoitolinjan valinta – jopa mikrokuviotasoisesti



Source: Omid Abdi



Source: Jussi Peuhkurinen/ Arbonaut Oy

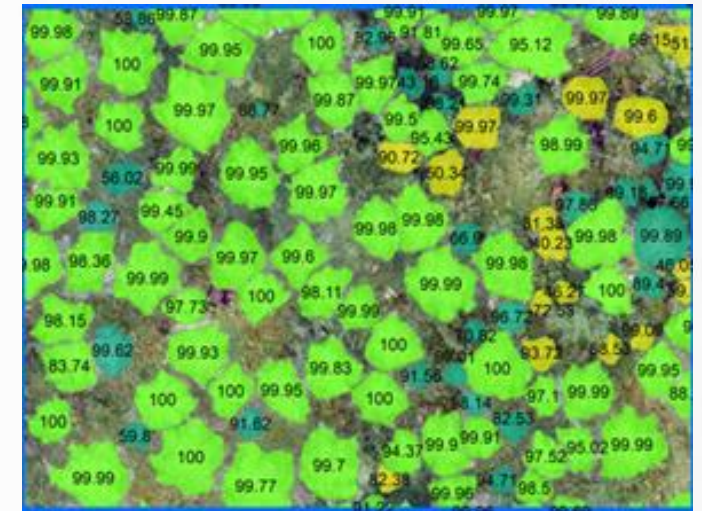
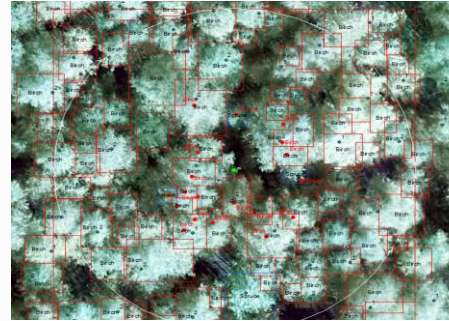


Saksa, T.; Uusitalo, J. et al. 2021. Forests 12, 1329. <https://doi.org/10.3390/f1210132>



SYVÄOPPIMISEEN POHJAUTUVA PUUSTOTULKINTA

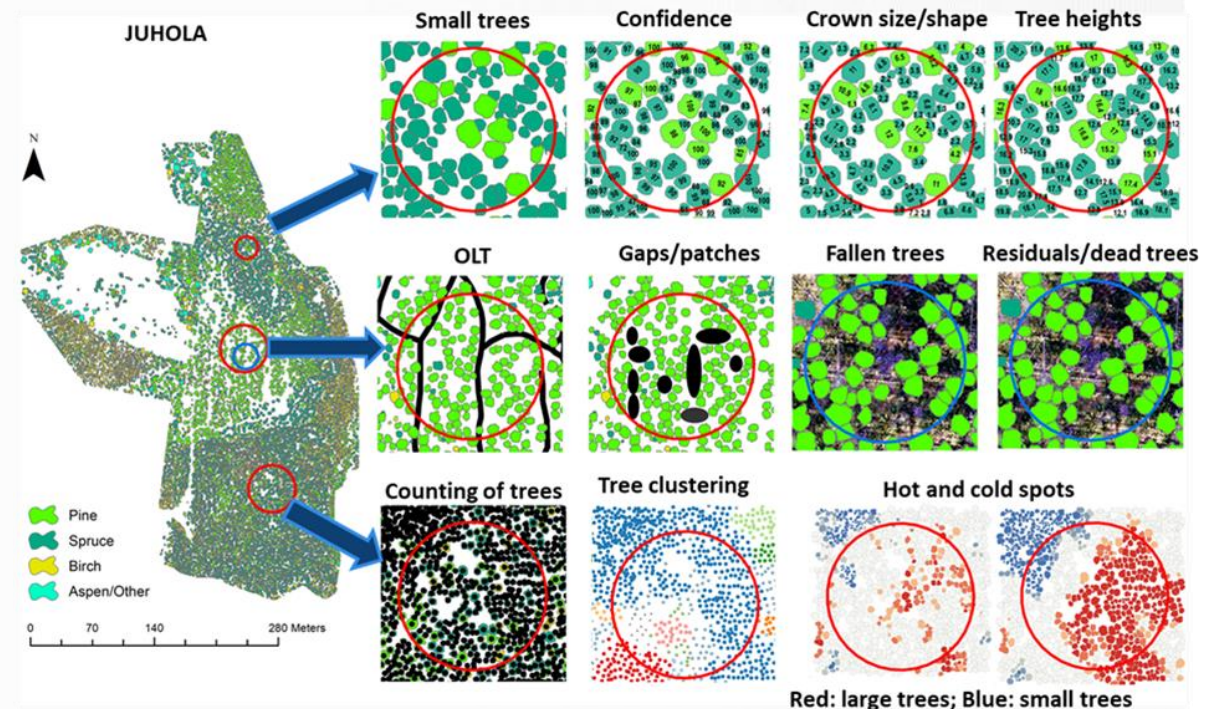
- Drone-inventointi
 - Lidar (80-100 havaintoa/m²) + RGB ja moniväri 5 cm resoluutio
- Puut opetetaan “labeloinnin” avulla
- Syväoppiminen vaatii valtavasti laskentatehoa – Tieteellinen laskentakeskus CSC Oy
- Valmiin mallin käyttö tavallisella mikrotietokoneella
- Puustotulkinnassa päästää yksittäisen puun osalta 80-90% tarkkuuteen (puulaji + pituus->D_{1.3})





SYVÄOPPIMISEEN POHJAUTUVA PUUSTOTULKINTA

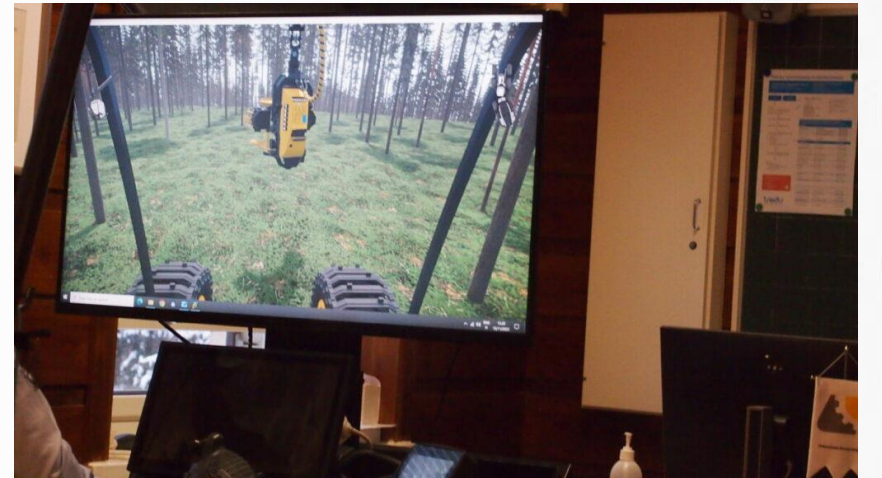
- Puustokartan avulla
 - Hakuutavan valinta (tasaikäis-/erikikäiskasvatus)
 - Metsään syntyy luonnostaan vertikaalista ja horisontaalista vaihtelua – kunnioitetaan näitä (Luonnonläheisempi metsänhoito)
 - Metsänhoitopalstojen erottelu
 - Hakuukoneen kuljettajan työntukeminen (puuvalinta)





METSÄKONEOPETUS AIVAN UUDELLE TASOLLE

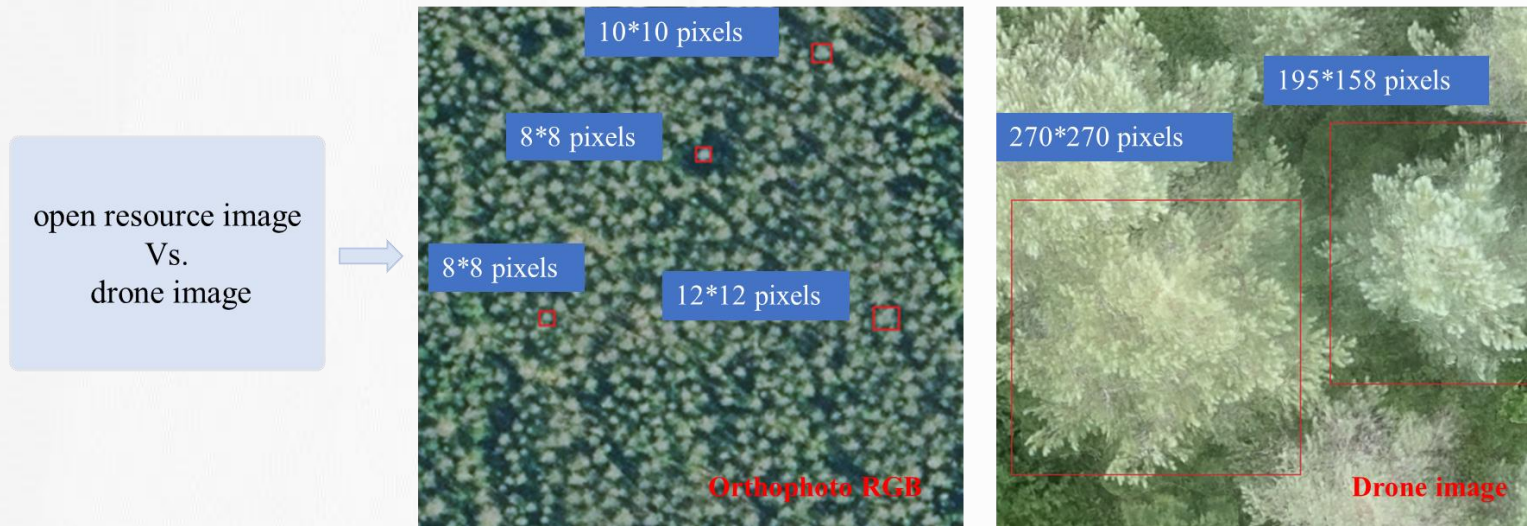
- Ponssin simulaattoriin ”digitaalinen kaksonen” kuudesta metsiköstä
- Oppilaat eivät opi pelkästään koneen teknistä käyttöä vaan heille voidaan opettaa myös metsänhoitoa
 - mitä puita valitaan kaadettavaksi eri-ikäisrakenteen ylläpitämiseksi
 - miten pienaukko kannattaa rajata
 - miten tuulelle alttiit reuna-alueet tulisi hakata
 - kuinka ajourat tulisi suunnata herkissä maastokohteissa



Kuvat: Veli-Pekka Kivinen



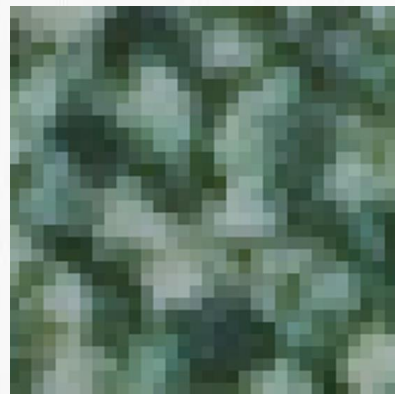
VOIDAANKO YKSITTÄISIÄ PUITA TUNNISTAA JULKISEN METSÄVARATIEDON AVULLA?



- Drone- skannaus
 - RGB +NIR+CHM
 - Resoluutio 5 cm
- Julkinen metsävaratieto
 - RGB +NIR+CHM
 - Resoluutio 50 cm



VOIDAANKO YKSITTÄISIÄ PUITA TUNNISTAA JULKISEN METSÄVARATIEDON AVULLA?



- Tarkan drone-datan (5cm) labelointi – opetusaineisto
- Tekoälypohjainen resoluution nosto 50 cm -> 12.5 cm
- Yksittäisten puiden löytyminen on täysin riippuvainen metsän rakenteesta/metsänhoidosta
 - Drone 60-90% (vallitseva kerros 80-95%)
 - Julkinen 50-80 % (vallitseva kerros 70-90%)

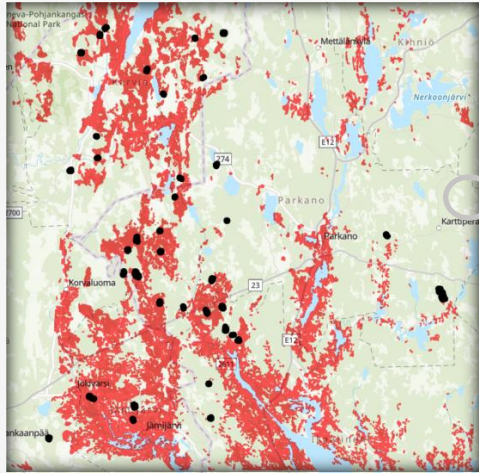
Mao Z, Abdi O, Uusitalo J, Laamanen V & Kivinen VP. 2025. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing

<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2025.04.005>



Koeleimikot

MAALAJIN ENNUSTAMINEN – DIGITAL SOIL MAPPING



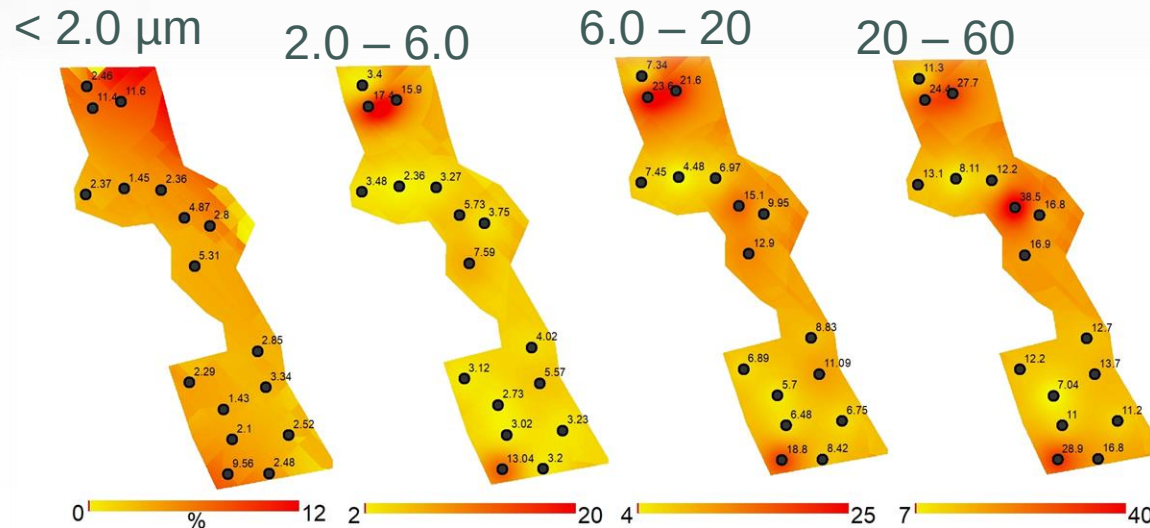
Kohteita: 47
Maanäytteitä: 330



Raekokojakauma



Coulter LS 230 Laser Diffraction





MUUTTUJAT

LiDAR-based

Geomorphometry

Accumulation Curvature
Curvedness
Gaussian Curvature
Horizontal Excess Curvature
Vertical Excess Curvature
Tangential Curvature
Ring Curvature
Plan & Profile Curvature
Difference Curvature
Mean & Total Curvature
Min & Max Curvature
Rotor
Ruggedness Index
Shape Index
Slope
Standard Deviation of Slope
Unsphericity
Aspect
Diff From Mean Elev
Downslope Index
Wetness Index
Roughness
Openness
Elevation (Breach Den.)

Hydrology

Average Flowpath Slope
Average Upslope Flowpath Length
Quinn Flow Accumulation
Hydrologic Connectivity (Upslope & Downslope)

Trees

Mean Height
Max Height
Crown coverage
Majority of Species
Diversity of Species

LiDAR (5 P)

Sentinel-based

Soil indices

$$bi = \sqrt{(R^2 + G^2)}/2$$

$$bi2 = \sqrt{(R^2 + G^2 + NIR^2)}/3$$

$$bsi = \frac{(SWIR2 + R) - (NIR + B)}{(SWIR2 + R) + (NIR + B)}$$

$$SATVI = \left(\frac{SWIR1 - R}{SWIR1 + R + L} \right) \times (1 + L) - \frac{SWIR2}{2}$$

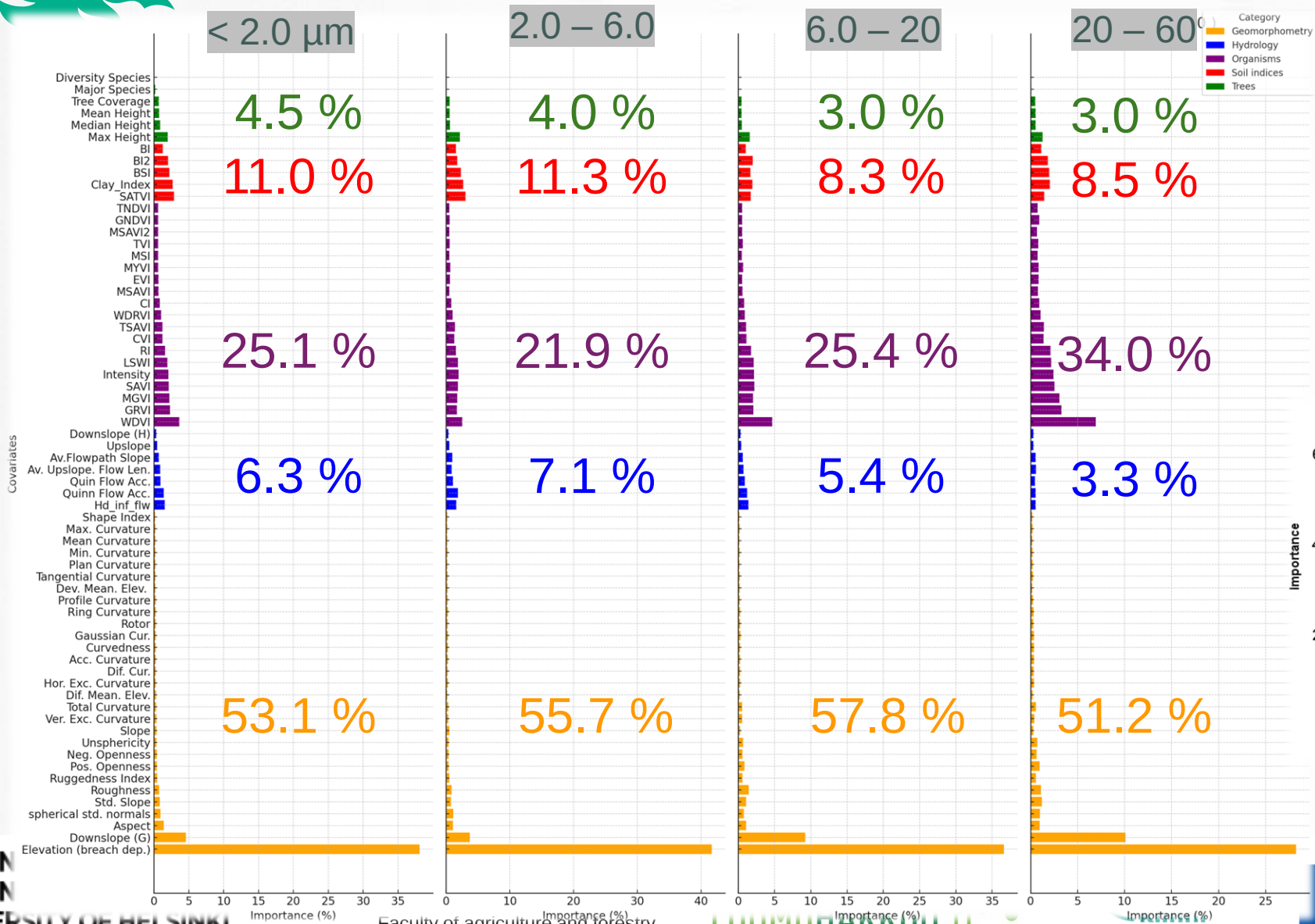
$$Clay\ Index = \frac{SWIR1}{SWIR2}$$

- Time series 2017- 2023
(May – November)
- Mask green vegetation
(NDVI: - 0.15 – 0.20)
- Mask residuals
(NBR2: - 0.15 – 0.15)

Organisms

TVI
EVI
SATVI
SAVI
MSI
GNDVI
GRVI
LSWI
TSAVI
MSAVI
MSAVI2
WDVI
RI
CI
TNDVI
WDVI
WDRVI
MYVI
MGVI
Intensity
CVI

MUUTTUJIEN MERKITSEVYYS



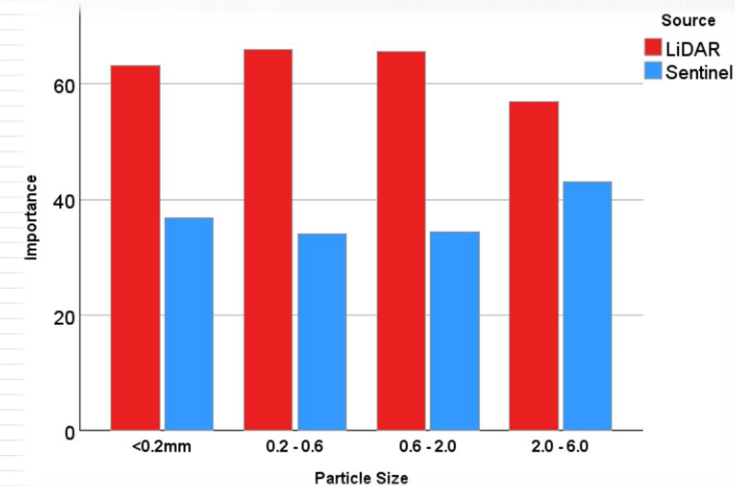
Validation Data (R^2)

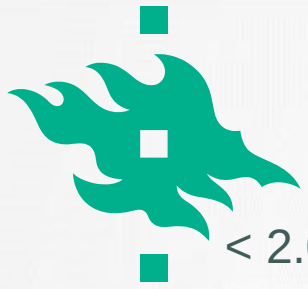
1: 0.865

2: 0.883

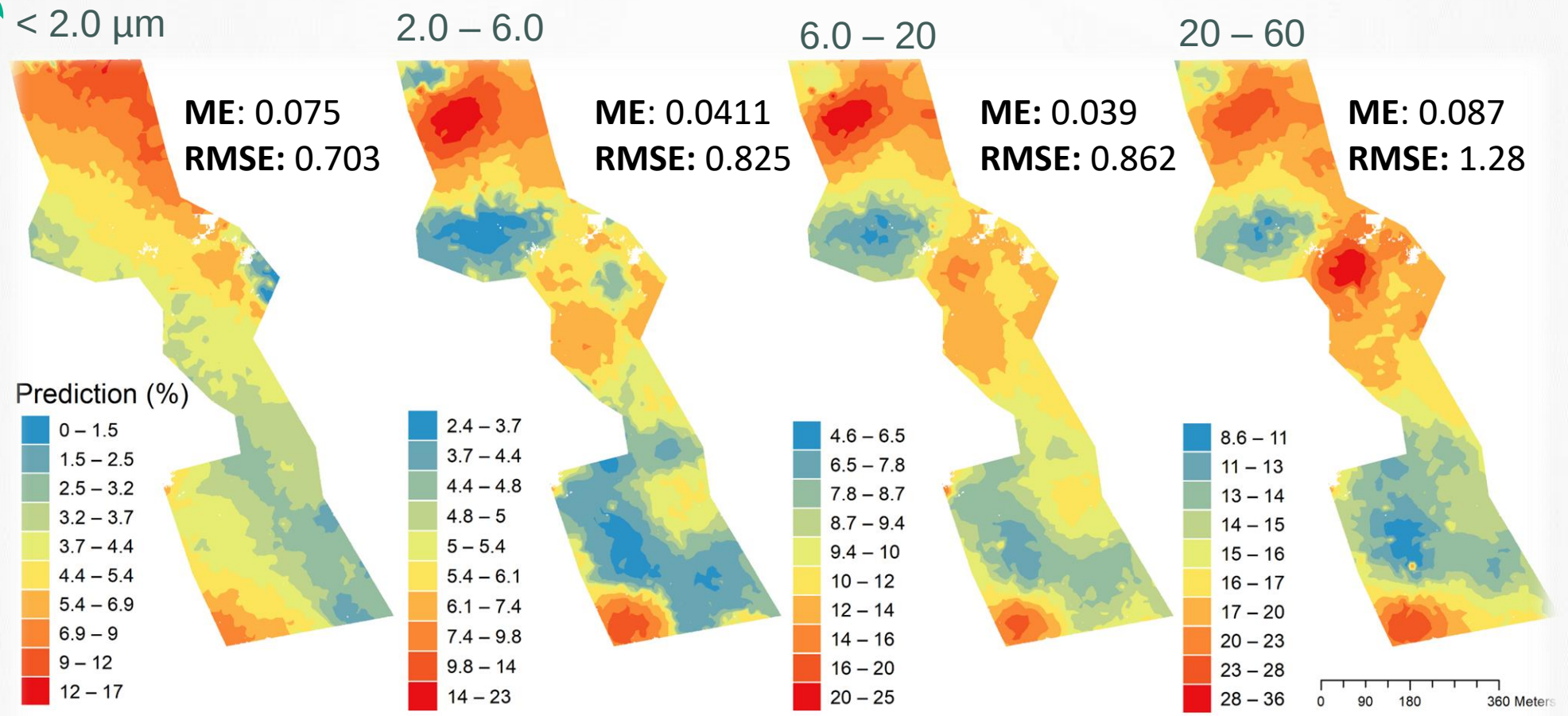
3: 0.870

4: 0.859





MAALAJIKARTTA





AJOURAREITISTÖN OPTIMOINTI

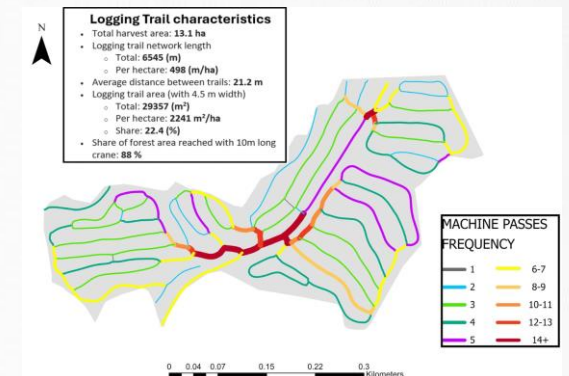
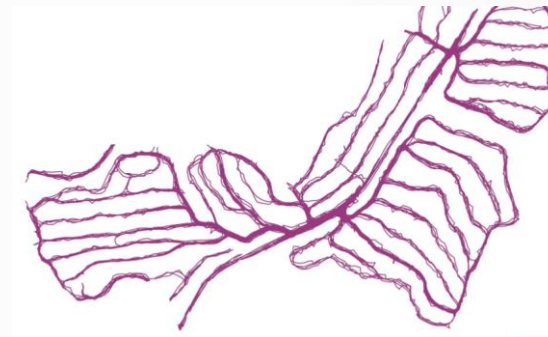
- Vanhojen ajourien hyödyntäminen

Abdi O, Kivinen VP & Uusitalo J. 2022. Remote Sensing

<https://doi.org/10.3390/rs14020349>



- Ajouran keskilinjän määrittäminen



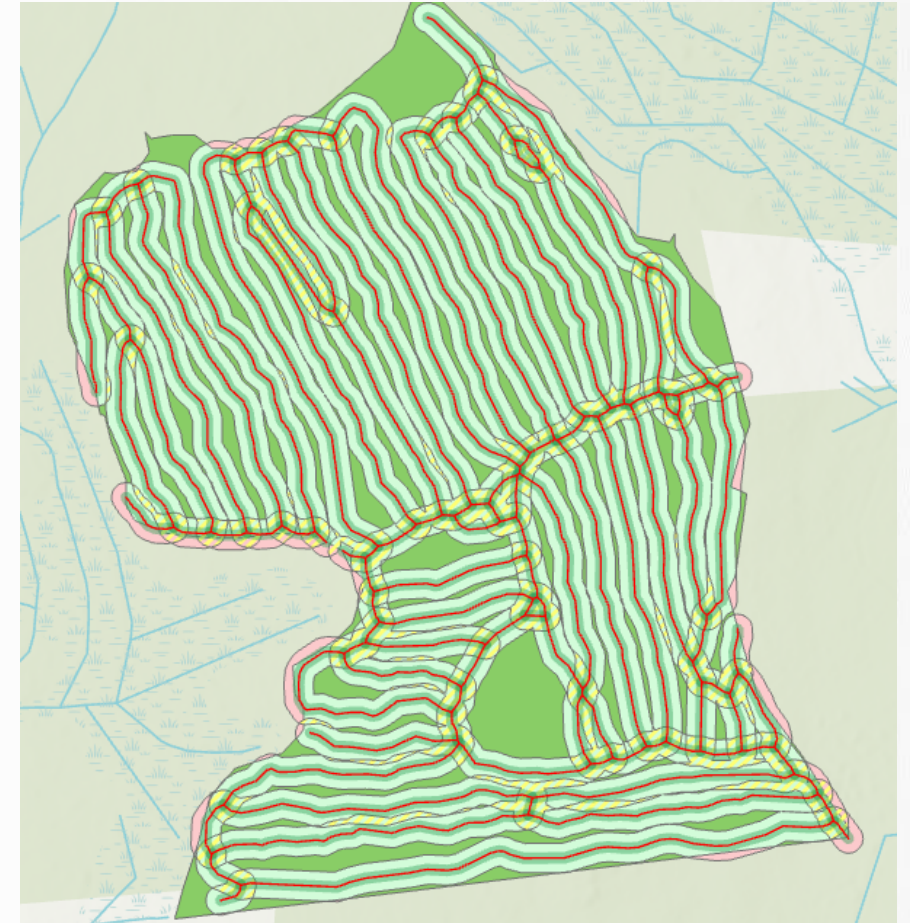
Cao S, Abdi O, Koivukoski K, Mao Z & Uusitalo J. 2025. Smart Agricultural Technology

<https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101038>



AJOURAREITISTÖN HYVYYDEN MITTARIT

Mittari	Määritelmä
Metsikön pinta-ala(ha)	
Reitistön kokonaispituus (m) (m/ha)	Keskilinjän kokonaispituus (m ja m/ha)
Kuljettu matka (m)	Summa (jokaisen segmentin pituus*ajokertojen lkm)
Ajourareitistön pinta-ala (ha)	Keskiviivan pituus* 4.5 m – risteysalueet
Ajourareitistön osuus	Metsikön pinta-ala/ Ajourareitistön pinta-ala (n. 25%)
Ajouraväli (m)	Vierekkäisten, ei risteävien segmenttien keskietäisyys
Muodon epäsäännöllisyys indeksi	Säännöllinen muoto lähellä 1; hyvin epäsäännöllinen < 0.3





AJOURAREITISTÖN HYVYYDEN MITTARIT

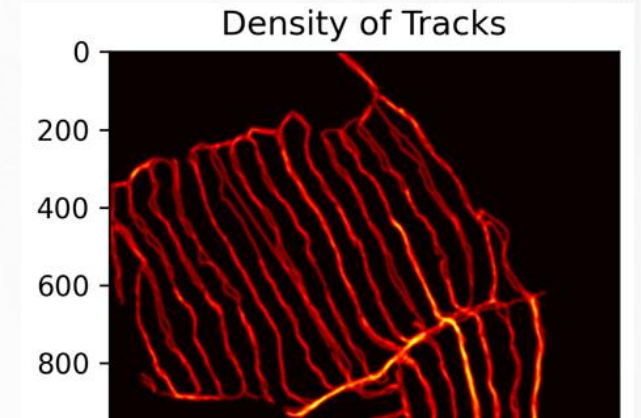
Mittari	Määritelmä
Gross boom reach coverage Kuormaimen peittävyys (brutto) (GBRC) (ha)	Keskilinja 10 m bufferilla
Net boom reach coverage Kuormaimen peittävyys (netto) (NBRC) (ha)	GBRC – risteysalueet – rajojen ulkopuoliset alueet Kuormaimen peittävyys (netto)
NBRC rate (%) Metsäkoneen peittävyys indeksi	NBRC(ha)/Metsikkökuvio(ha); (Tyypillisesti 0.8-1)
Ajourareitistön tehokkuuskerroin	Reitistön pituus/'optimaalisen' reitistön pituus (500 m/ha); tyypillisesti 0.95 -1.3
<i>Forest accessibility index (1964) Saavutettavuus indeksi</i>	<i>Laskennalliseen ajouraväliin pohjautuva saavutettavuus (Vaihtelee 0.8-1)</i>





ENSIMMÄISET 10 TESTILEIMIKKOA

- 10 harvennusleimikkoa Pirkanmaalta
 - GNSS-reittipiirrokset : Trimble Forestry/WoodForce (CFHarvest)/metsäyhtiön datapankki
 - Ei tietoa alkuperäisestä GNSS-järjestelmästä
 - Vain hakkuukone: 4
 - Hakkuukone ja osittain kuormatraktori: 2
 - Hakkuukone + kuormatraktori: 4
 - LTA työkalun parametrit säädetty leimikkokohtaisesti
 - Leimikon koko: 1.7 – 26.6 ha





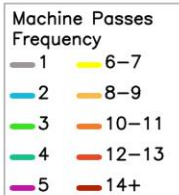
HYVÄ TOTEUTUS

Net boom reach coverage
rate (NBRC): **0.86**
Efficiency factor **1.02**
Network length: **509 m/ha**

Logging Trail Characteristics

- Total harvest area: **13.1 ha**
- Shape irregularity index: **0.45**
- Logging trail network length
 - Total: **6691 (m)**
 - Per hectare: **509 (m/ha)**
- Distance travelled: **22756 m**
- Average distance between trails: **24.8 (m)**
- Logging trail area (with 4.5 m width):
 - Total: **29495 (m²)**
 - Share: **22.5 (%)**
- Forest area reached with 10m
 - Gross boom reach coverage: **16.7 (ha)**
 - GBRC outside: **0.67 (ha)**
 - Net boom reach coverage: **11.3 (ha)**
 - NBRC Rate: **0.86**
- Logging trail efficiency factor: **1.02**
- Forest accessibility factor: **0.96**

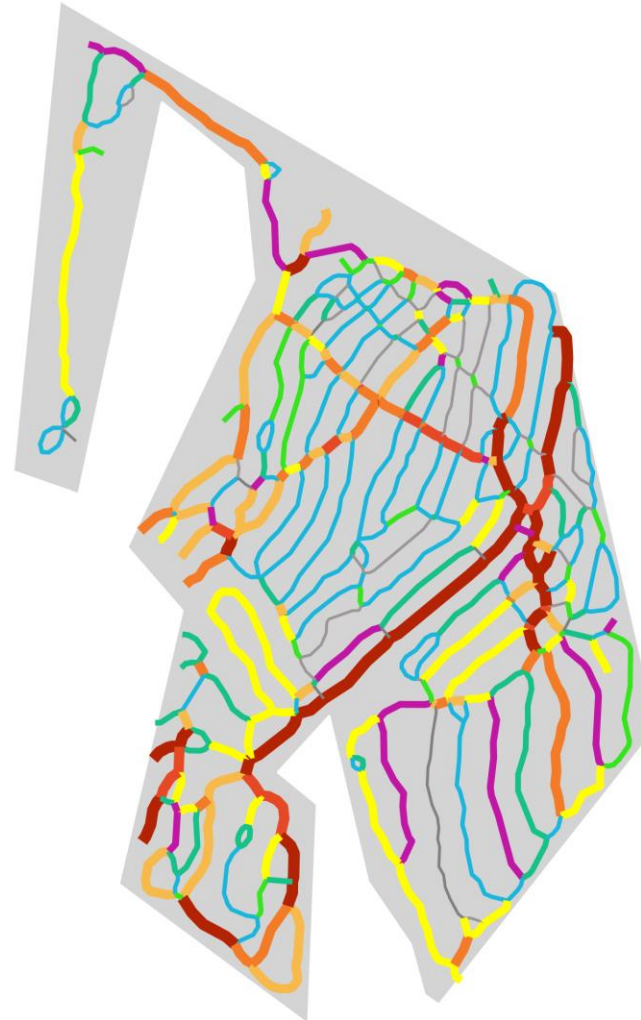
resolution_x: 0.23 m
resolution_y: 0.28 m





Logging Trail Characteristics

- Total harvest area: **13.9 ha**
- Shape irregularity index: **0.26**
- Logging trail network length
Total: **9077 (m)**
Per hectare: **652 (m/ha)**
- Distance travelled: **52749 m**
- Average distance between trails: **16.9 (m)**
- Logging trail area (with 4.5 m width):
Total: **38667 (m2)**
Share: **27.8 (%)**
- Forest area reached with 10m
Gross boom reach coverage: **29.9 (ha)**
GBRC outside: **0.33 (ha)**
Net boom reach coverage: **11.8 (ha)**
NBRC Rate: **0.85**
- Logging trail efficiency factor: **1.30**
- Forest accessibility factor: **0.80**

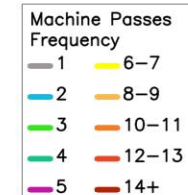


resolution_x: 0.25 m
resolution_y: 0.27 m



EI TÄYDELLINEN

Net boom reach coverage
rate (NBRC): **0.85**
Efficiency factor **1.30**
Network length: **652 m/ha**





YHTEENVETO 10 LEIMIKOSTA

- ‘Hyvä toteutus’
 - Ajouran keskipituus ~500 m/ha
 - Tehokkuuskerroin ~1
 - Ajouran osuus <23 %
- ‘Ei optimaalinen’
 - Ajouran keskipituus >600 m/ha
 - Tehokkuuskerroin >1.2
 - Ajouran osuus >25 %

Density m/ha	Mean trail spacing		Share (4.5) %	NBRC Rate %	EF
	m				
487	20,0		21,4	0,81	0,98
482	20,8		21,4	0,84	0,97
594	20,3		25,7	0,87	1,19
652	16,9		27,8	0,85	1,3
537	21,4		23,7	0,87	1,07
538	23,0		23,9	0,88	1,08
566	20,0		24,9	0,92	1,13
546	20,0		23,9	0,85	1,09
604	19,4		26,6	0,91	1,21
502	23,9		22,2	0,86	1,00



PÄÄTELMÄT/KÄYTTÖKOHTEET

- LTA työkalun käyttö
 - Ajourareitistön tarkempi kuvaus hyödyllinen seuraavassa hakkuussa
 - Kuormatraktoriliikenteen ohjaus
 - Reitistön hyvyyden kontrollointi
 - maastovaurioiden estäminen, polttoainekulutuksen minimointi
 - Kuljettajakoulutus
 - Automaattisen reittisuunnittelun ohjaaminen

