

# ROUDAN VAIKUTUS SÄHKÖNJAKELUN ILMAJOHTOVERKKOJEN VIKAANTUMISEEN JA SÄHKÖVERKKOLIIKETOIMINTAAN (ROUTA-HANKE)

Energia-alan  
tutkimusseminaari

28.1.2025

# ROUTA-HANKE TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

»» Hankkeen kesto 11/2023-10/2023

»» Hankkeen rahoitus

- »» Hankkeen rahoittajina toimi Sähkötutkimuspooli, Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus STEK ry, Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy ja Rovakaira Oy

»» Hankkeen päätavoitteet:

- »» Analysoida roudan vaikutus ilmajohtoverkon vikaantumiseen ja sähkönjakelun luotettavuuteen erilaisissa toimintaympäristöissä
- »» Arvioida ilmastonmuutoksen vaikutusta sähköverkkojen vikaantumiseen roudan ja lumikuormien muuttuessa
- »» Määrittää ilmastonmuutoksen vaikutus sähköverkkotoiminnan kustannuksiin

»» Tutkimusryhmä



Otto Räisänen  
Tutkijatohtori,  
Projektipäällikkö



Juha Haakana  
Tutkijaopettaja



Ahmed Saleem  
Tutkimusapulainen



Prof. Jukka Lassila  
Vastuullinen johtaja

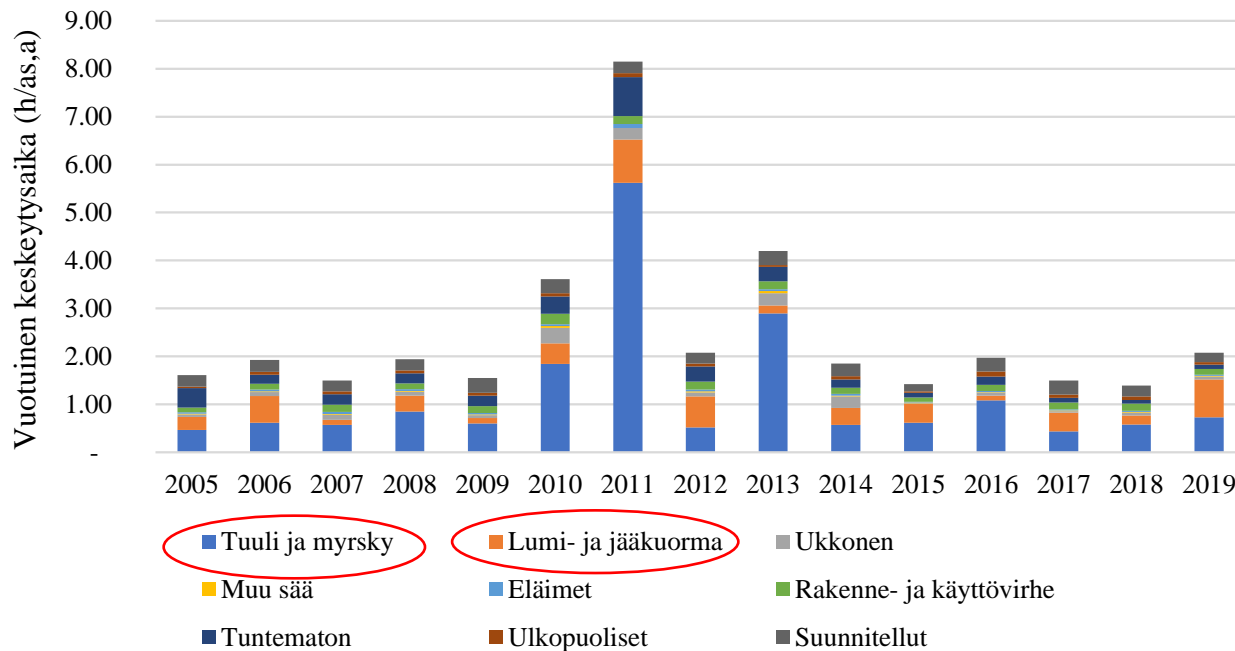


STEK

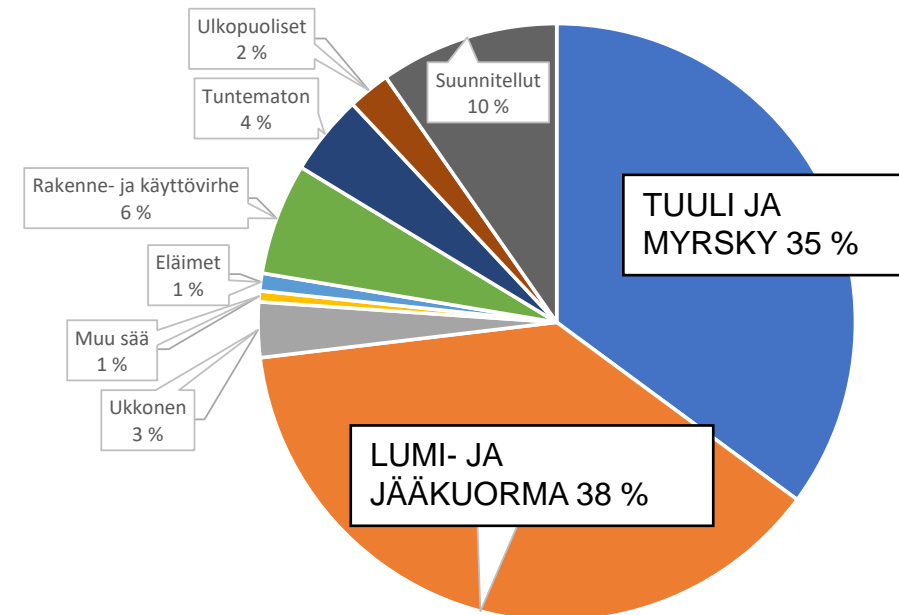


# ROUTA-HANKE TAUSTAA, SÄHKÖNJAKELUN KESKEYTYKSET

Asiakkaiden kokemat keskeytysajat keskimäärin  
vianaiheuttajien mukaan jaoteltuna



2019 keskeytysajan aiheuttajat



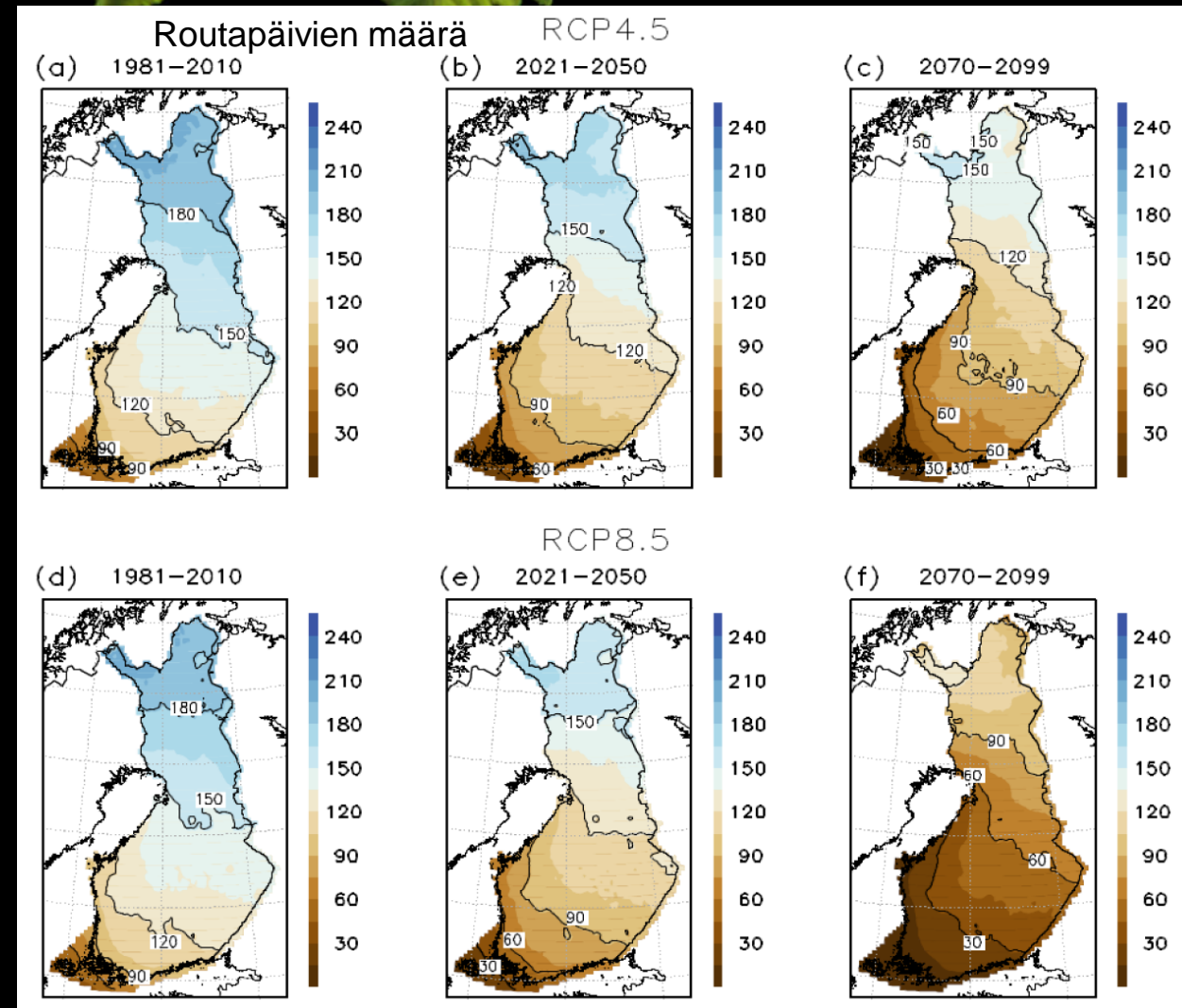
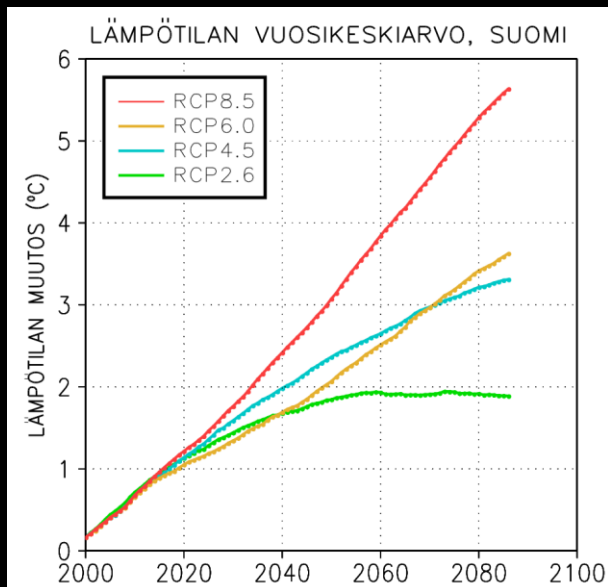
Suurin osa sähkönjakelun keskeytyksistä aiheutuu tuulen ja/tai lumikuormien vaikutuksesta erityisesti ilmajohtoverkossa

# ROUTA-HANKE TAUSTAA, ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET SUOMESSA (KUITTI-HANKE)

ILMIÖT	Kuvaus	Vahingot, ml. bioottiset jatkoilmiöt	Ilmaston-muutoksen vaikutus
<b>Myrskyt</b>	Myrskyt (keskituuli yli 21 m/s) ovat matalapaineisiin liittyviä säähäiriöitä, jotka ovat yleisempiä ja voimakkaimpia talvikaudella. Kesälläkin esiintyy myrskyjä, ja vaikka ne ovat yleensä heikompia kuin talvella, ne voivat olla vaikutuksiltaan lähes yhtä merkittäviä roudan puutteen ja puiden lehtien vuoksi.	Kaatuvat puut ja niiden aiheuttamat vahingot sähköverkolle, liikenteelle, metsätaloudelle ja rakennuksille. Myrskyt altistavat metsiä myös tuholaishyönteisille.	Epävarma, ei merkittävää signaalia suuntaan tai toiseen
<b>Rajuilma ja ukkonen</b>	Rajuilmat ja ukkonen syntyvät ilmakehän pystysuuntaisista lämpötilaeroista sekä niistä johtuvista ilman nousuliikkeistä. Rajuilmoihin liittyy salamointia, voimakkaita tuulen puuskia, sekä syöksyvirtauksia.	Paikalliset, mutta usein mittavat puustotuhot, sähkökatkot, liikennehäiriöt sekä salamoinnin aiheuttamat metsä- ja maastopalot	Epävarma, lämpenevä ilmasto kuitenkin tarjoaa tulevaisuudessa potentiaalinen voimakkaiden ukkosten yleistymiselle.

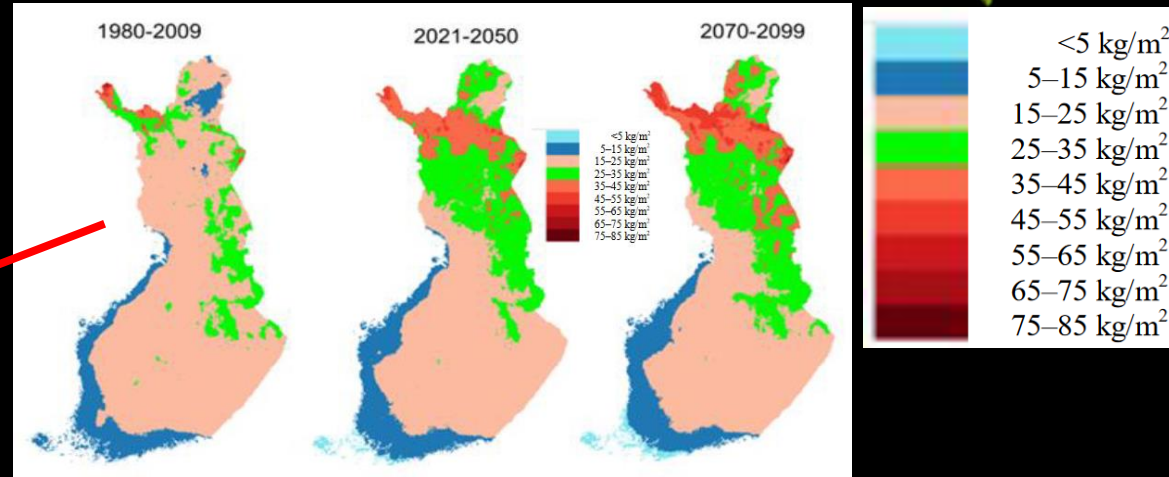
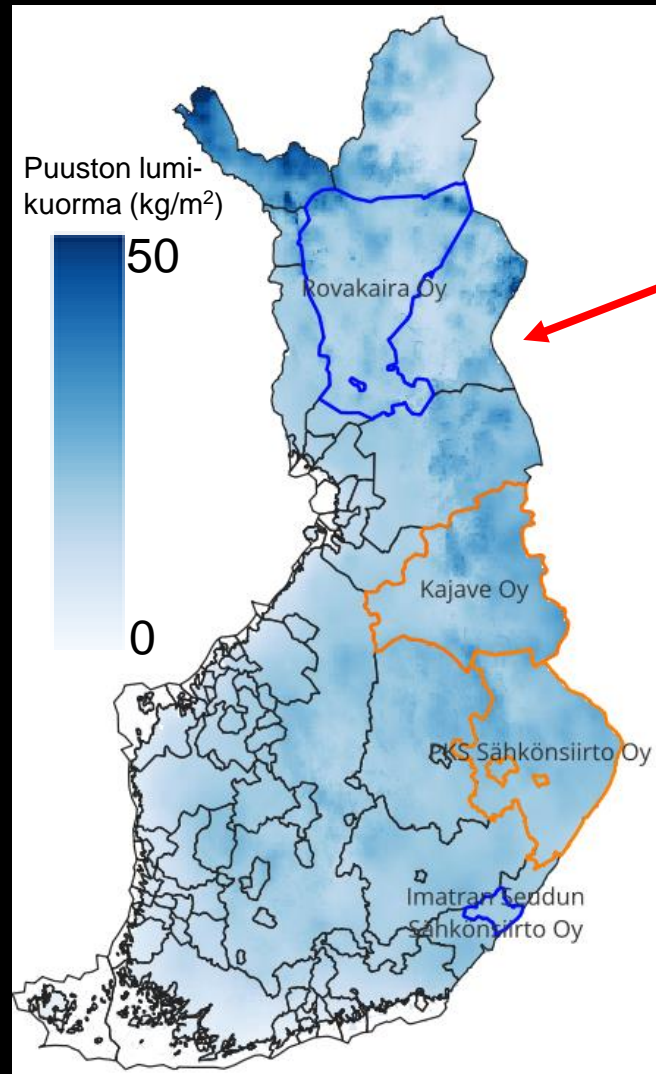
<b>Lumipyry</b>	Pyryttämällä satava lumi kinostuu ja pölyyää.	Puustotuhot, sähkökatkot, liikennehäiriöt- ja onnettomuudet	Epävarma (heikko kasvusignaali); yhdistelmäriskit kasvavat mahdollisesti.
<b>Tykkylumi ja lumikuormat</b>	Puihin kertyvää, raskasta ja usein kosteaa lumikertymää kutsutaan tykkylumeksi. Tykyn muodostuminen vaatii usein kostean ja lauhan sään. Esimerkiksi sumupilvi edistää tykyn syntyä ja lisää lumen painoa.	Puustotuhot, kattovauriot, sähkölinjavauriot ja sähkökatkot	Lumikuormien arvioidaan kasvavan Itä- ja Pohjois-Suomessa ilmaston lämpenemisen, ilman kosteuden lisääntymisen ja lisääntyvien lumisateiden myötä. Muualla lumikuormat pienenevät.

- Ilmaston lämpeneminen Suomessa noin 1-2 °C vuoteen 2050 mennessä
- Roudan keston arvioidaan tulevaisuudessa lyhenevän merkittävästi



# ROUTA-HANKE TAUSTAA, LUMIKUORMA, ILMASTONMUUTOS

Puuston keskimääräinen  
lumikuorma jaksolla 1981-2010

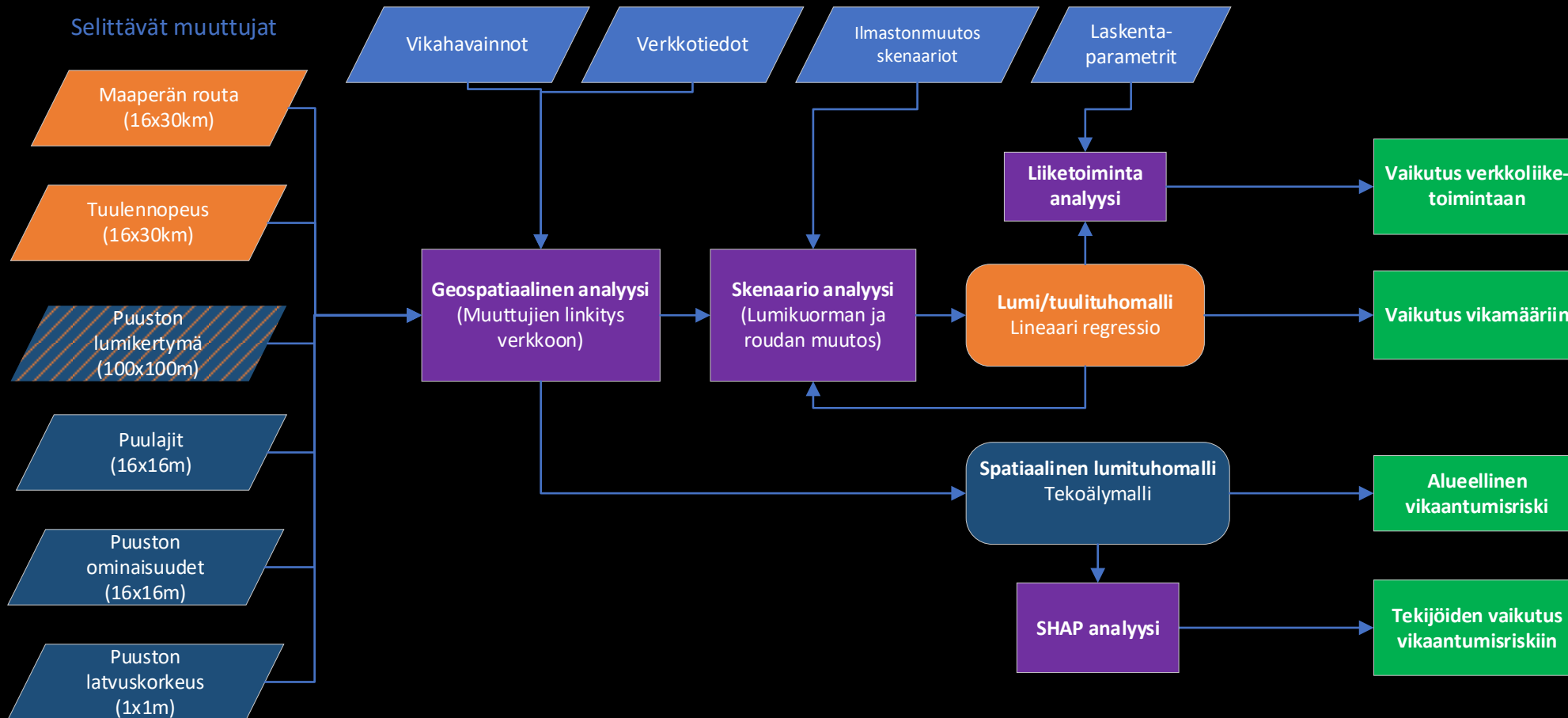


Lumikuormien on arvioitu lisääntyvän merkittävästi Itä- ja Pohjois-Suomessa lisääntyneestä lumen sadannasta ja tykkylumen kertymiselle otollisten lämpötilojen lisääntyvistä esiintymisestä johtuen. Muualla maassa muutokset ovat pienempiä.

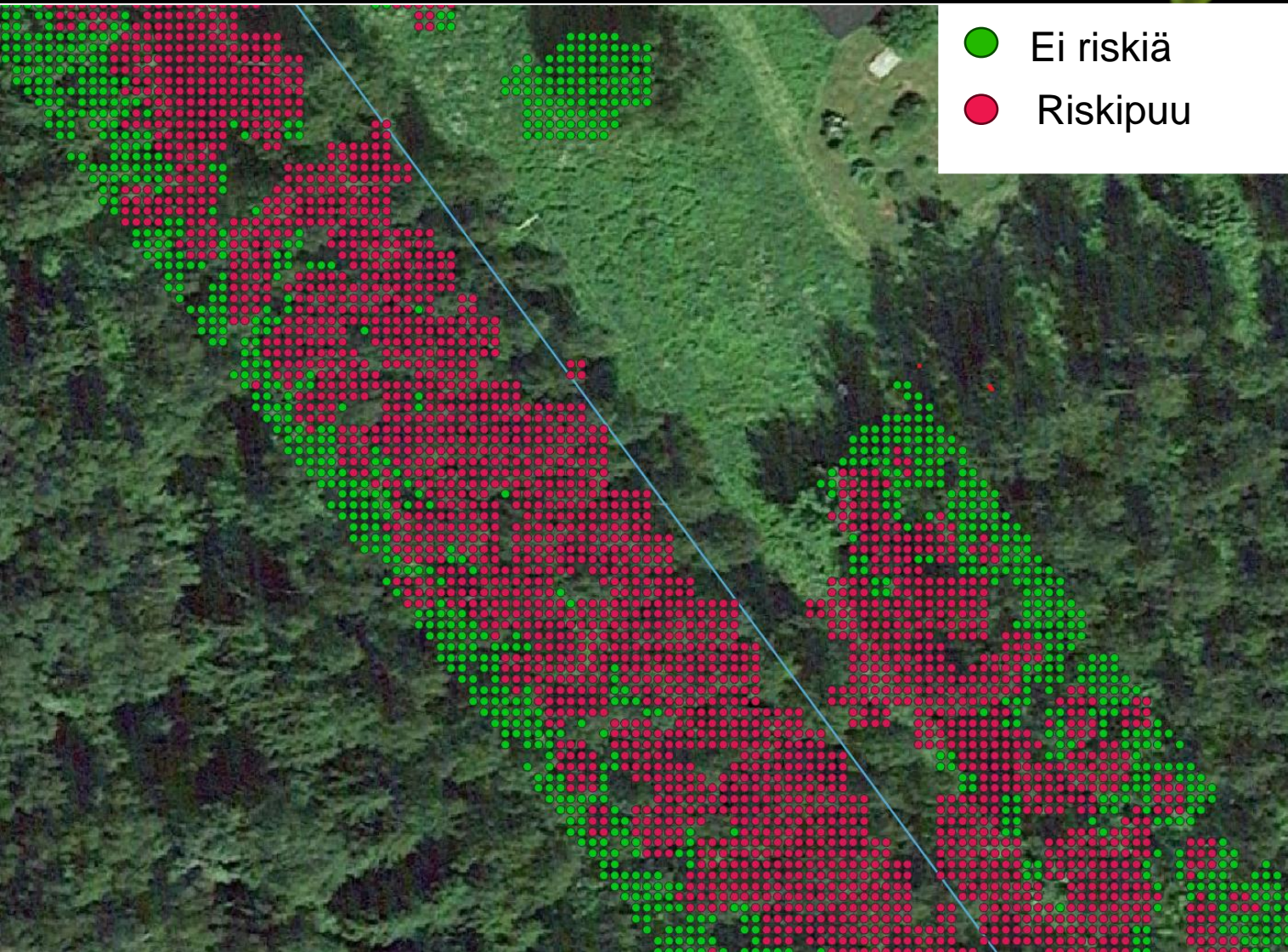
Lähde: Lehtonen, I., Kämäräinen, M., Gregow, H., Venäläinen, A. and Peltola, H., 2016. Heavy snow loads in Finnish forests respond regionally asymmetrically to projected climate change, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16, 2259-2271, doi:10.5194/nhess-16-2259-2016.

# ROUTA-HANKE HANKKEEN TOTEUTUS, KÄYTETYT MENETELMÄT

## LUMI- JA TUULITUHOMALLINUS



# ROUTA-HANKE KÄYTETYT AINEISTOT, RISKIPUIDEN MÄÄRITYS

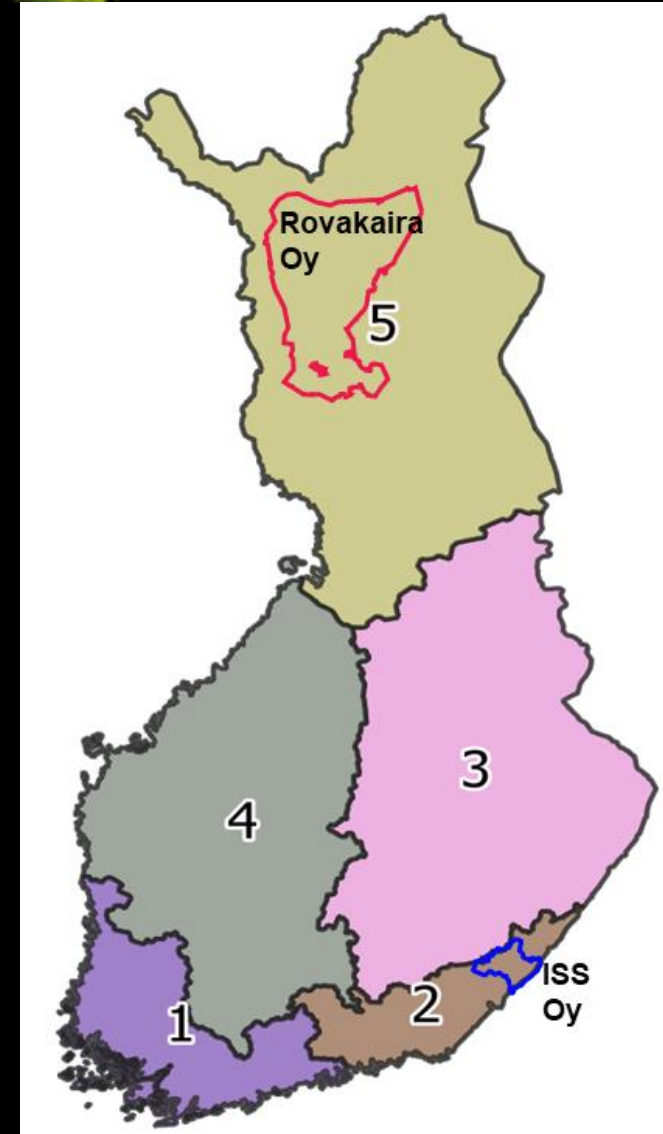


1x1m latvuskorkeusaineisto mahdollistaa erittäin tarkan määrittelyn johdolle yltävistä puista.



# ROUTA-HANKE KÄYTETYT AINEISTOT, KESKEYTYSAINOSTOT

- » Keskeytysaineistoa käytettävissä kahden verkkoyhtiön alueelta (ISS Oy, Rovakaira Oy)
  - » Aineistoa käytettävissä 8-10 vuoden ajalta
  - » Vikatapahtumia noin 1200 (Tuuli ja lumiviat)
- » Valtakunnalliset tarkastelut tuotettu hyödyntäen tuloksia laajasta verkkoyhtiöaineistosta aggregoituna viiteen alueeseen
  - » Aineisto vuosilta 2008-2018
  - » Vikatapahtumia noin 80 000 (Tuuli ja lumiviat)



# ROUTA-HANKE

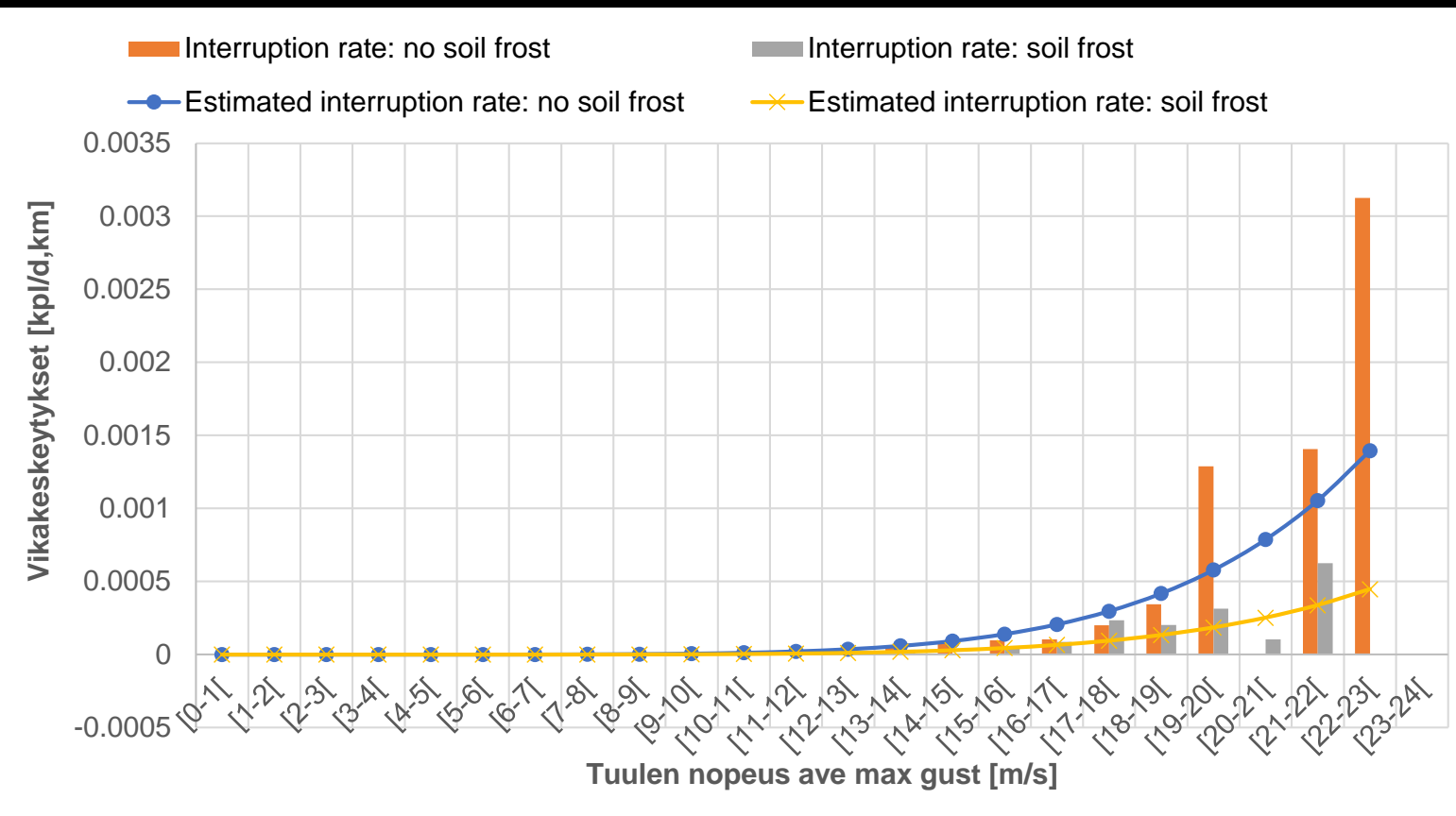
## ROUDAN VAIKUTUKSEN MALLINNUS

- Roudan vaikutus mallinnettiin Rovakaira Oy:n ja ISS Oy:n verkkoalueille sekä koko Suomen alueelle
- Tuulivikojen mallintamiseksi haettiin univariaattimallia hyödyntäen parhaiten korreloiva tuulimuuttuja ja tuulimuuttujan potenssi jokaiselle tarkastelualueelle
- Routamuuttujana käytettiin binaarista routapäivä muuttujaa (Routapäivä jos maaperän lämpötila alle -0.5 Celsius syvyydellä 18cm syvyydessä)
  - Muuttuja valittiin vastaamaan mahdollisimman hyvin Ilmatieteenlaitoksen routamallinnusta
- Roudan vaikutuksen mallintamiseksi käytetty monimuuttujamalli oli muotoa :

$$y_{\text{vikataajuus}} = \alpha + \beta_1 * W_s^X + \beta_2 * F_{\text{bin}} * W_s^X$$

- Jossa  $W_s$  on tuulimuuttuja,  $F_{\text{bin}}$  on roudan binäärimuuttuja eli routapäivä ,  $\beta$  on kerroin ja  $x$  on parhaiten korreloiva tuulennopeuden potenssi

# ROUTA-HANKE MALLINNUKSEN TULOKSET, ROUDAN JA TUULEN VAIKUTUS, ROVAKAIRA OY



Keskeytyksien määrä kasvaa lähes eksponentiaalisesti tuulennopeuden kasvaessa.

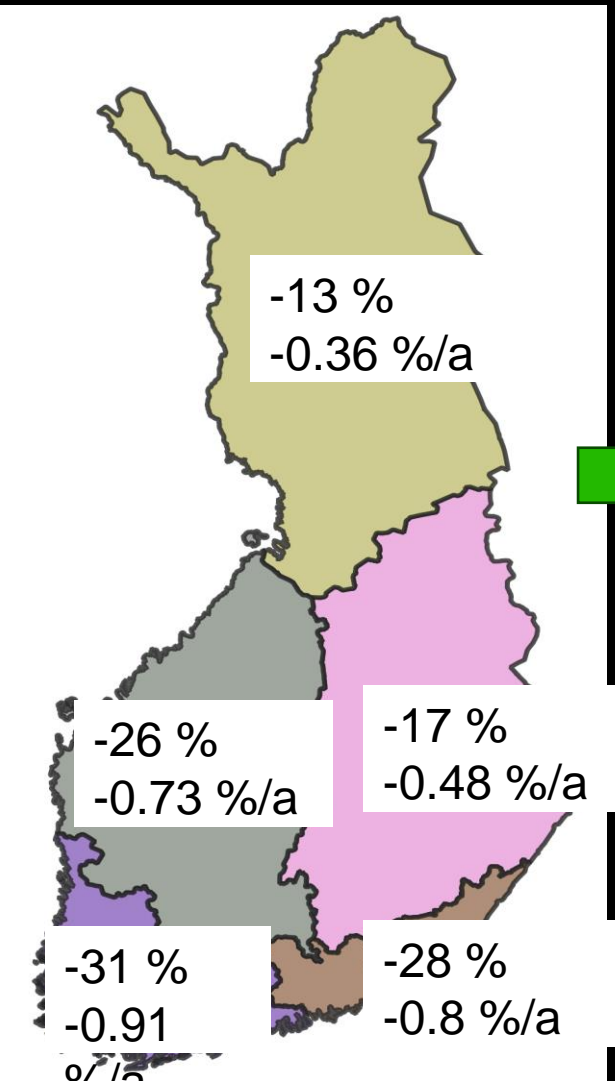
Keskeytyksien määrä huomattavasti alhaisempi routa-aikana myös myrskytuulilla.

# ROUTA-HANKE ILMASTOSKENAARIOT

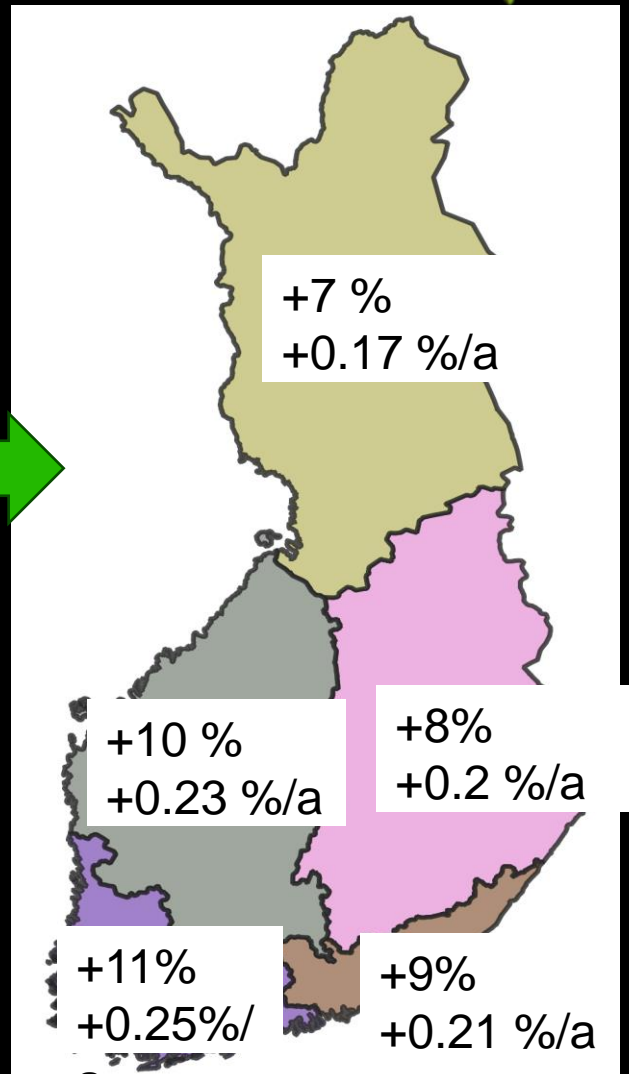
- » Hankkeessa hyödynnettiin Ilmatieteenlaitoksen tuottamia mallinnuksia roudan- ja lumikuormien muutoksesta kahdessa ilmastoskenaariossa
  - » Jaksolle 1981–2010 aineistot on tuotettu säähavaintoihin pohjautuen
  - » Ilmastonmuutosarviot on muodostettu jaksolle 2021-2050 viiden ilmastomallin keskiarvona RCP4.5 ja 8.5 skenaarioille
- » Routa-aineistossa on mallinnettu tarkasteltavan 30 vuoden jakson keskimääräinen vuosittaisten routapäivien määrä
  - » Roudan määrittämisessä on otettu huomioon mm. maaperän tyyppi, ilman lämpötila ja lumikertymä
- » Lumikuorma-aineistossa on mallinnettu tarkasteltavan 30 vuoden jakson keskimääräinen vuoden suurin puiden lumikuorma (kg m<sup>-2</sup>)
  - » Mallinnuksessa on otettu huomioon erilaisten lumityyppien kertymä tykkylumelle otollisten olosuhteiden aikana
  - » Tykkylumikertymässä on otettu huomioon mm. korkeus merenpinnasta, lämpötila, sadanta, ilmankosteus ja tuulennopeus

# ROUDAN-MUUTOKSEN VAIKUTUS VIKAANTUMISEEN SUOMESSA 2010-2050

Roudan-muutos  
RCP4.5



Vaikutus vikaantumiseen  
RCP4.5



## »» Sähköverkon elinkaarikustannusanalyysit

### »» CAPEX + KOPEX + KAH + Vakiokorvaus + Häviökustannukset

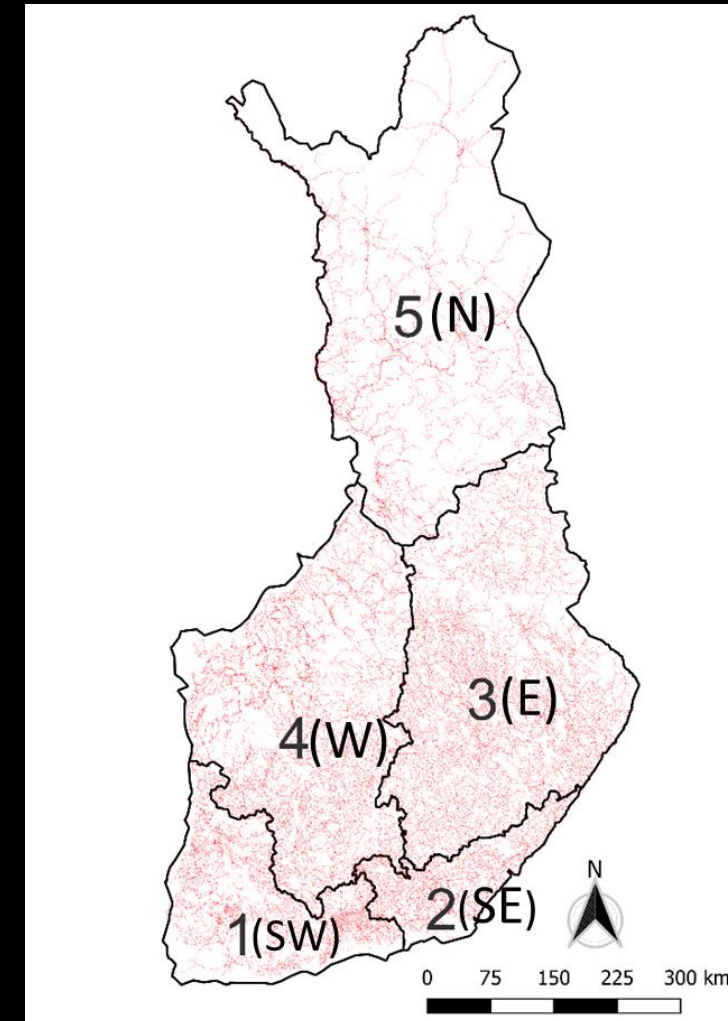
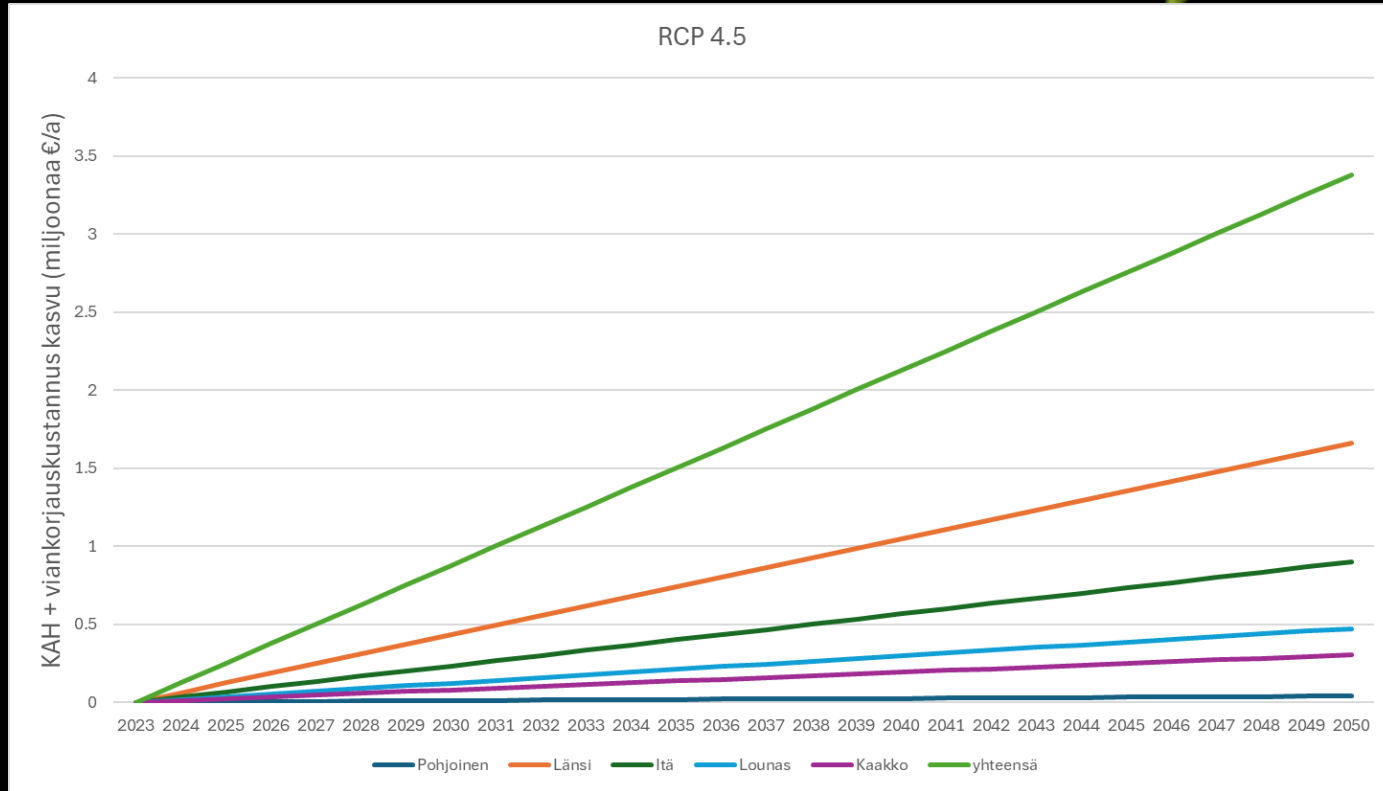
- Tuuli- ja lumikuormahäiriönhoidon operatiiviset kustannukset
- Tuuli- ja lumikuormahäiriöistä aiheutuvien keskeytyskustannusten arviointi

$$K_{\text{elinkaari}} = K_{\text{capex}} + K_{\text{opex}} + K_{\text{kesk}} + K_{\text{häv}}$$

- ### »» Tässä hankkeessa arvioitiin keskeytyskustannusten ja häiriönhoidollisten kustannusten kehittymistä ajanjaksolle 2050 asti

# LIIKETOIMINTA-ANALYYSI TULOKSET

## Routapäivien vähenemisen vaikutus viankorjaus- ja KAH-kustannuksiin, Suuralueet

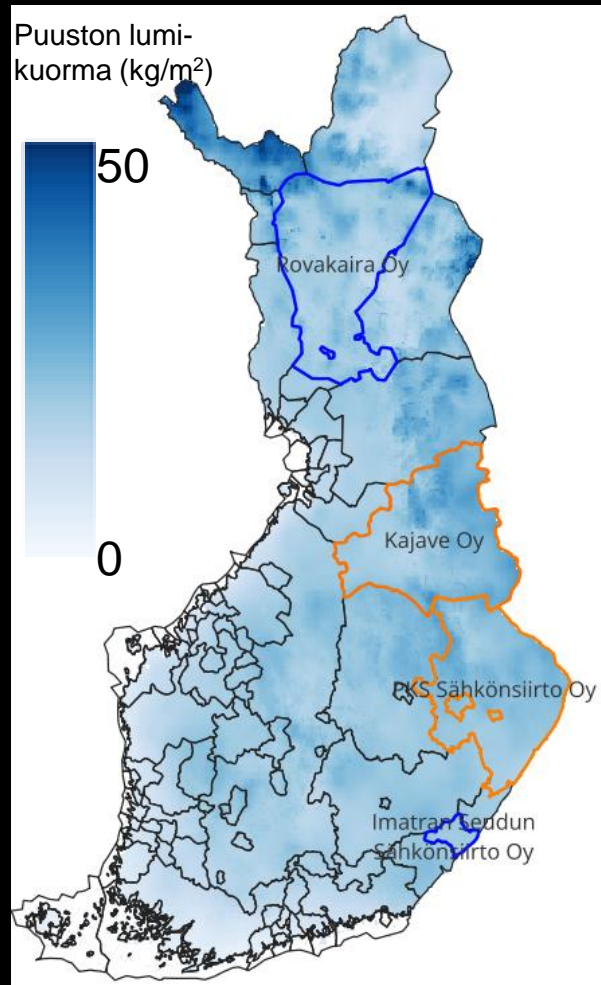


	Roudan vaikutus vikoihin	Routapäivien osuus (2008-2018, %)	Routapäivien osuus (2050, %), RCP4.5	Kopex M€	KAH M€	Viankorjauskustannus M€
Pohjoinen	-80 %	41 %	36 %	25.1	5.9	1.3
Länsi	-86 %	32 %	24 %	150.3	74.9	7.5
Itä	-65 %	32 %	26 %	63.6	37.5	3.2
Lounas	-71 %	25 %	17 %	54.3	14.0	2.7
Kaakko	-85 %	27 %	20 %	32.2	10.3	1.6
<b>yht</b>	<b>-77 %</b>	<b>31 %</b>	<b>25 %</b>	<b>325.5</b>	<b>142.6</b>	<b>16.3</b>

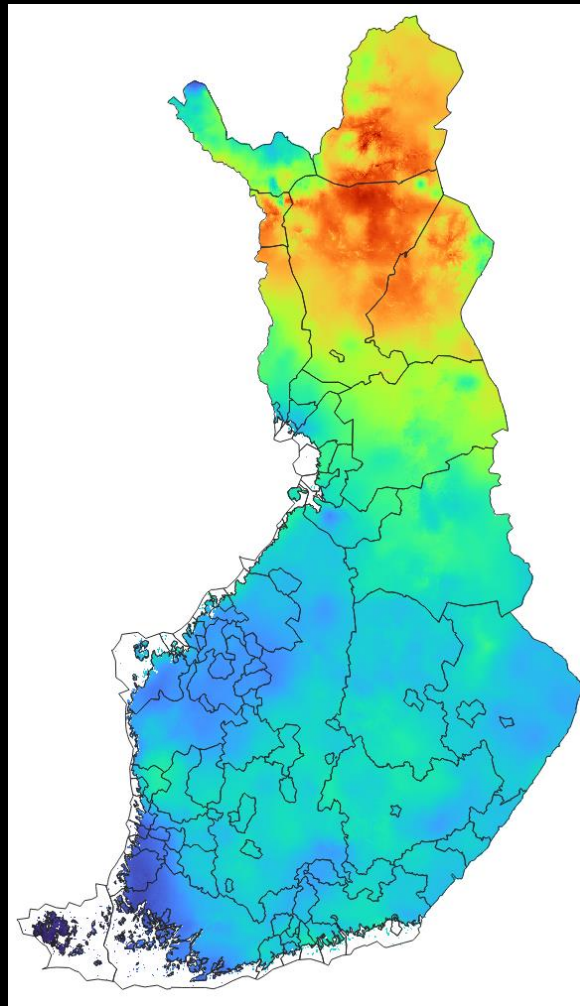
# ROUTA-HANKE LUMIKUORMAN MUUTOS

Puuston keskimääräinen lumikuorma jaksolla 1981-2010 ja 2021-2050 ilmastonmuutos skenaarioissa

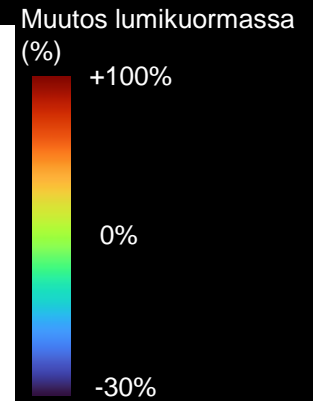
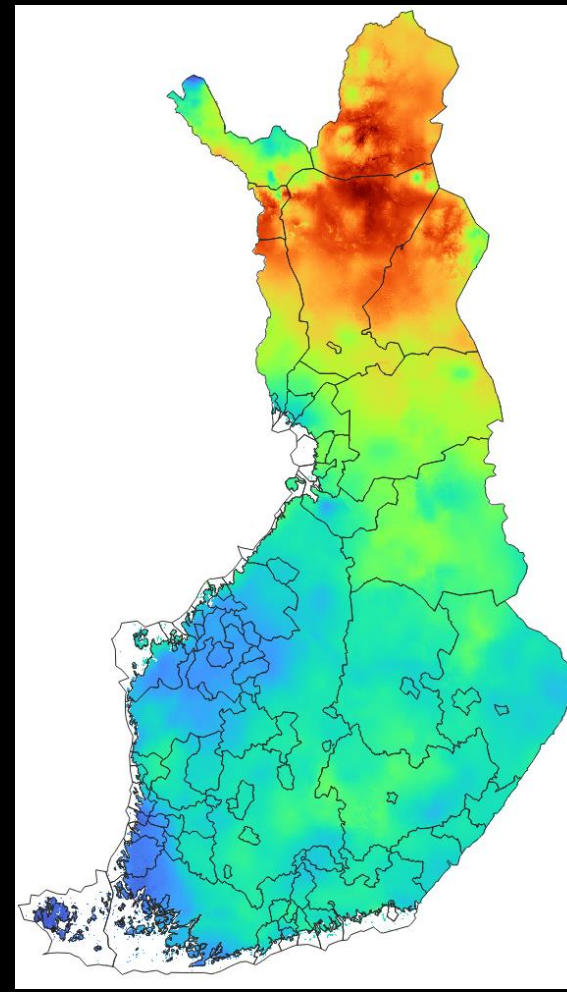
1981-2010



RCP 4.5 2021-2050



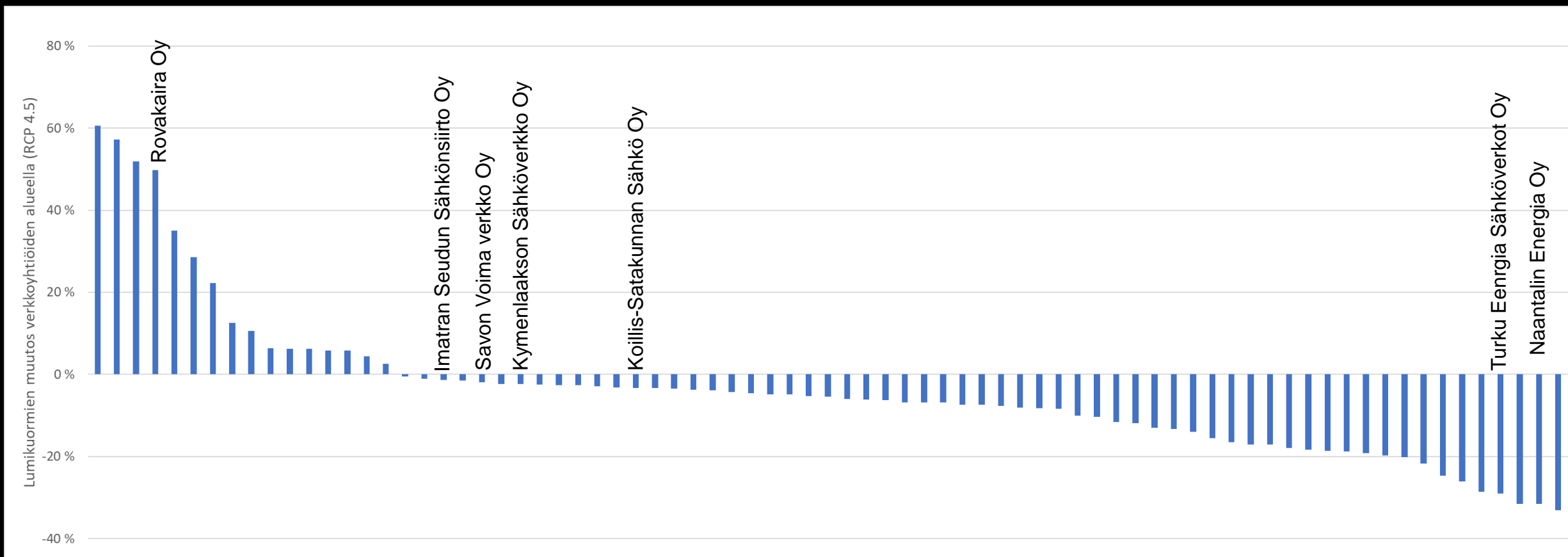
RCP 8.5 2021-2050





# ROUTA-HANKE LUMIKUORMAN MUUTOSARVIOITA

Lumikuorman muutos suomen jakeluverkkoyhtiöiden alueella (RCP 4.5 2050)



## » Ilmastoskenaariot :

- Lämpeneminen riippuu päästöjen kasvusta
- Etenkin lumikuormaskenaario herkkiä pienille muutoksille lämpötilassa
- Roudan esiintyminen ja muutos riippuu voimakkaasti ympäristöolosuhteista (Metsä/Avomaa, Kivennäismaa/Turvemaa)

## » Tilastointi:

- Vikojen luokittelu usein epätarkkaa, (esim. ukkosten aikaan kaatuneiden puiden luokittelu)
- Tilastoidut vikamäärät eivät aina vastaa todellista tilannetta
  - Esimerkiksi suurhäiriöiden aikana vikoja niputetaan yhteen eli vikamääriä aliarvioidaan

## » Mallinnus:

- Malli ei ota huomioon kaikkia vikaantumiseen liittyviä tekijöitä, Pohjoisen-Suomen osalta vikaantumista voi lisätä merkittävästi puiden keskipituuden kasvaminen ilmastonmuutoksen myötä
- Mallinnusaineiston määrä suhteellisen vähäinen etenkin lumituhojen osalta (vuosittaiset aineistot)
- Kustannusten tarkka arviointi hankalaa vikamäärien perusteella
  - Tilastoidun yksittäisen vian todelliset viankorjauskustannukset voivat vaihdella rajusti vian luonteen ja sijainnin mukaan

# YHTEENVETO

- » Rouda-päivien määrä vähenee tulevaisuudessa koko suomessa
  - » Maan ollessa roudassa myrskyvikojen määrä on merkittävästi alhaisempi kuin sulan maan aikana (-65% – -85%)
  - » Todennäköisyys yksittäisille vakaville suurhäiriöille lisääntyy
  - » Roudan vähenemisen vaikutus viankorjaus- ja keskeytyskustannuksiin keskimäärin on kuitenkin maltillinen (2-8% )
    - Vaikutuksia vähentää mm. rouda-päivien jo valmiiksi matala osuus Eteläisessä-Suomessa ja myrskyvarmuusinvestointien eteneminen koko Suomessa
  - » Kerrannaisvaikutukset, kuten kostea maaperä ja voimakkaammat myrskytuulet syys- sekä talvikaudella voivat lisätä vikamääriä mallinnettuja tuloksia enemmän
    - Lisäksi Pohjois-Suomessa puuston keskipituuden kasvu voi lisätä muiden tekijöiden kanssa vikaantumisriskiä merkittävästi
- » Lumikuormien määrä lisääntyy merkittävästi Pohjois- ja Itä-Suomessa, vikamäärien lisääntyminen mahdollisesti huomattavaa näillä alueilla, muilla alueilla lumikuorma vähenee tai pysyy samana
  - » Lumikuormien lisääntymisen vaikutus vikaantumiseen mahdollisesti merkittävä, lisätutkimusta kuitenkin vaaditaan lumikuormien muutoksen ja vikaantumisen välisen yhteyden selvittämiseksi

# KIITOKSET!



Otto Räisänen

[otto.raisanen@lut.fi](mailto:otto.raisanen@lut.fi)



Juha Haakana

[juha.haakana@lut.fi](mailto:juha.haakana@lut.fi)

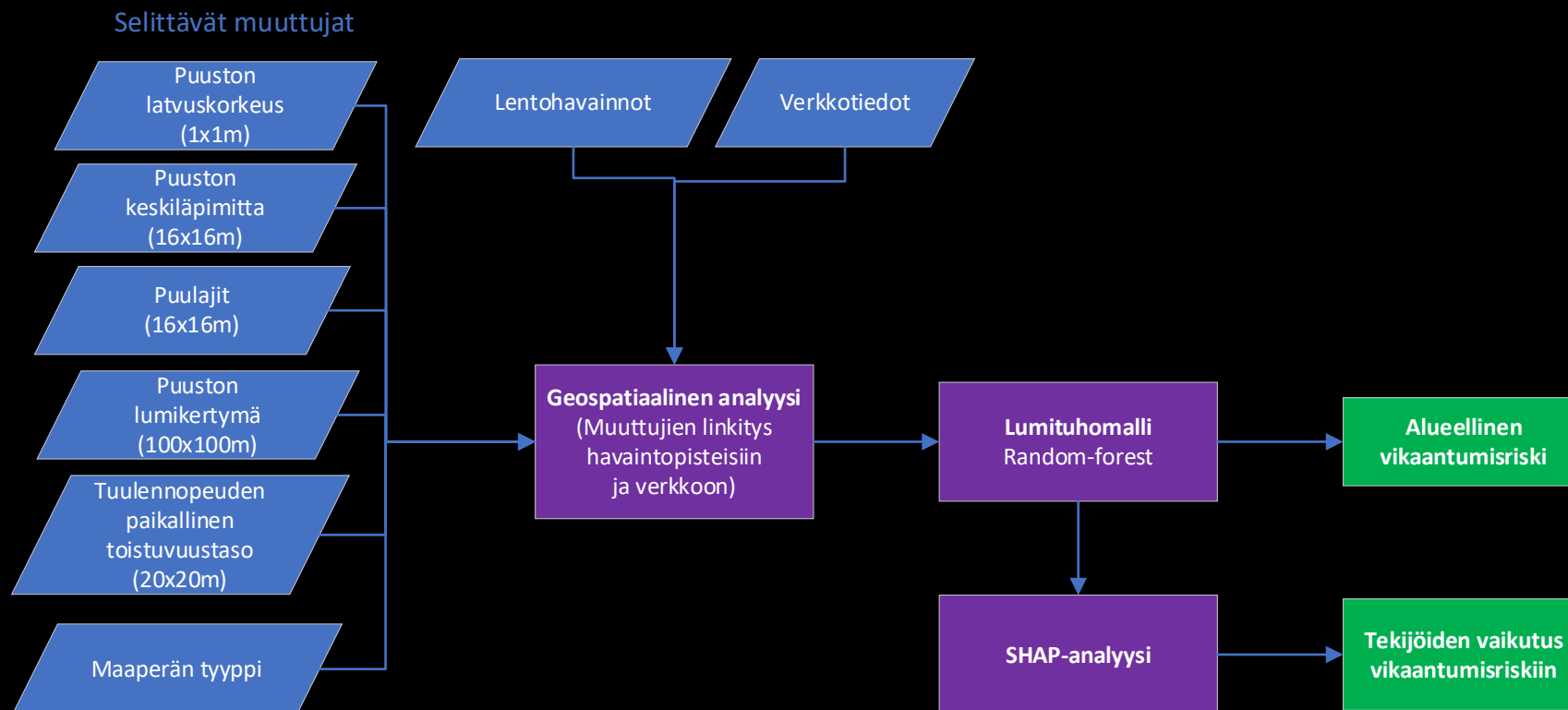


Jukka Lassila

[jukka.Lassila@lut.fi](mailto:jukka.Lassila@lut.fi)

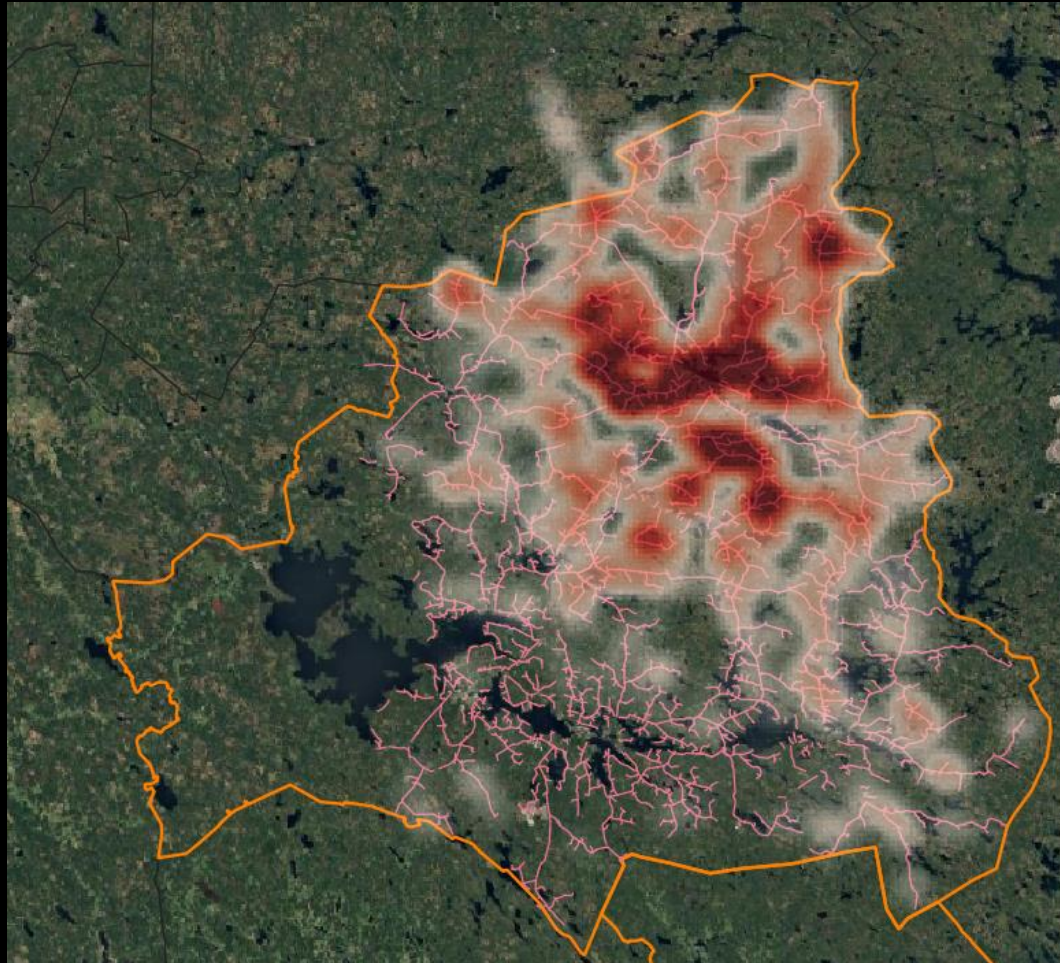


# ROUTA-HANKE LUMIKUORMIEN SPATIAALINEN MALLINNUS



# SPATIAALINEN LUMIKUORMAMALLINNUS LÄHTÖAINEISTO

## Lentohavainnot Kajaven alueella



- Lumikuormamallin opettamiseen käytetty Kajaven alueelta vuosina 2018-2019 kerättyä lentohavaintoaineistoa
- Aineistossa mukana noin 13 000 havaintopistettä.
- Havainnot jaettu vikahavaintoihin (puu/oksa linjassa) ja riskihavaintoihin (Vaarallinen puu/oksa)
- Mallinnuksessa käytetty Random Forest – koneoppimismallia
  - Malli kertoo millä johto-alueilla on suurin riski lumituhoille

# SPATIAALINEN LUMITUHORISKIMALLI

## MALLIN ALUSTAVAT TULOKSET

Havainnekuva tuloksesta



- Mallinnettu vikaantumisriski kuvaa lumituhoriskin todennäköisyyttä johto-alkiolla (100x20m).
- Riskiä kasvattaa mm. johdolle yltävien riskilavusten määrä, puustolle kertyvä maksimi lumikuorma ja koivujen suuri määrä
- Riskiä pienentää suuri keskiläpimitta

Esimerkkijohtoalkioiden lähtöarvot ja mallinnettu lumituhoriski.

Johtoalkio	Puuston lumikuorma (kg/m <sup>3</sup> )	Riskilavusten määrä (kpl, 1x1m pisteet)	Latvuskorkeus (m)	Tilavuus, koivu (dm <sup>3</sup> )	Tilavuus, kuusi (dm <sup>3</sup> )	Tilavuus, yhteensä (dm <sup>3</sup> )	Keskiläpimitta (cm)	Mallinnettu lumituhoriski
1	25.1	130	10	0	30	30	30	0.13
2	24.5	1600	13.4	116	24	140	15	0.92