

Ilmailun lintutörmäysriskin tutka- ja mallipohjainen arviointi

MATINE-tutkimus 1.6.2024 – 31.12.2025

hankkeen rahoitus: 143 044 EUR

Nadja Weisshaupt ja Jarmo Koistinen



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

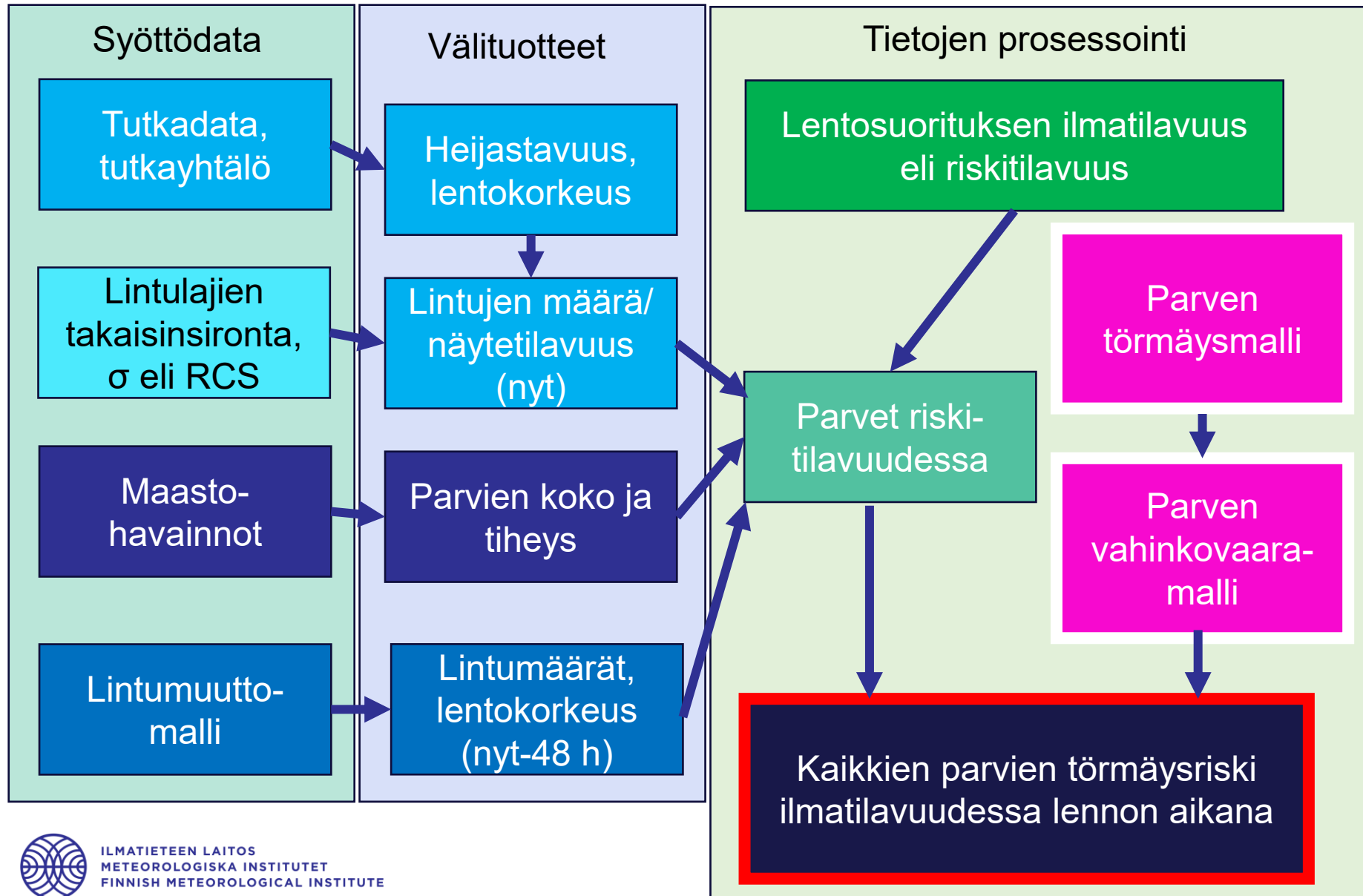
Projektin tavoite

Kehitetään automaattiset menetelmät, joilla sekä sääutkamittauksista (reaaliajassa) että muuttomallin ennusteista (2 vrk) voidaan arvioida muuttolintujen aiheuttama kolmiulotteinen törmäysvaara ja lintutörmäysriski eri alueilla ja eri korkeuksilla Suomen ilmatilassa.

Muuttolintujen aiheuttaman törmäysriskin tunnistaminen on tärkeää sotilas- ja siviili-ilmailun lentoturvallisuudelle sekä tuulivoimatuotannolle



Lintutörmäysriskin arviointi



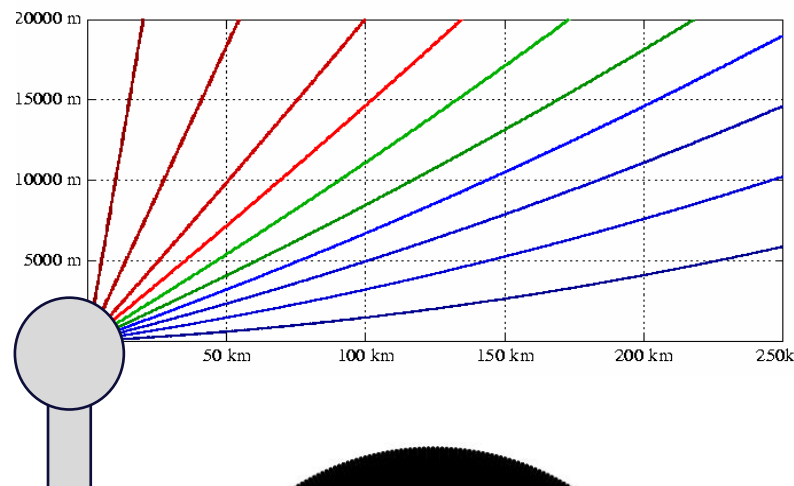
Syöttödata ja sen välituotteet



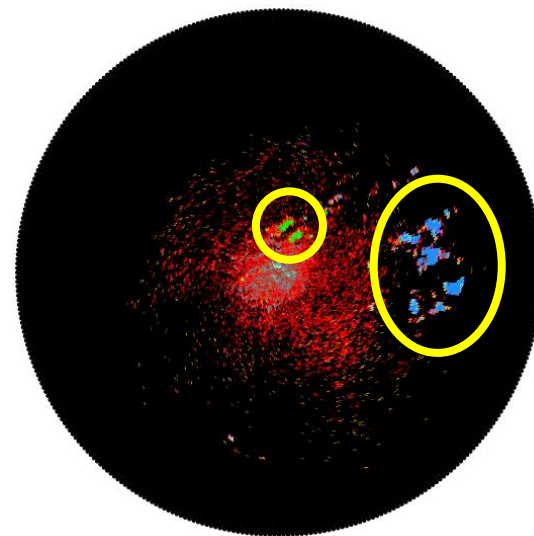
Syöttödata - säätutkat

IL:n valittujen C-kaistan
kaksoispolarisaatiosäätutkien mittaukset

- Dataa 5-15 min välein, 24 x 365, 12 tutkaa
- n. 10 korkeuskulmaa

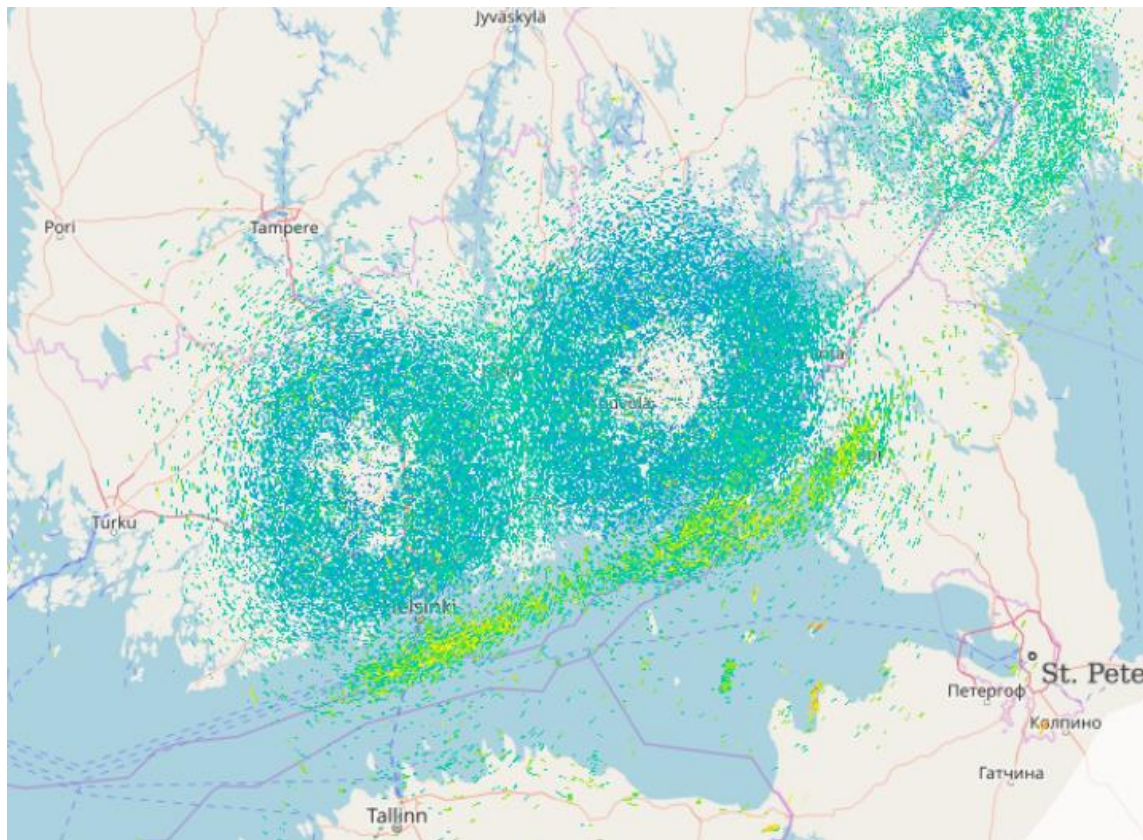


- Kaikuluokitin (Mäkinen ym. 2022) poimii lintumittauksia
- Ei lajitietoja suoraan mittauksista



Lintukaikujen erot

9.5.2022 yöllä pikkulintuja ja vesilintuja/hanhia



- Isot linnut tai isot lintuparvet aiheuttavat voimakkaampia kaikuja kuin pienet, mutta ei aina helppo erottaa.



Eläinmäärien laskeminen säätutkissa

- Eläindatatuotteet parhaalla korkeusresoluutiolla n. 5-40 km tutkien ympäriltä ja n. 100-4000 m korkeudesta, mutta kaiut näkyvät jopa 100-200 km:iin asti.

$$\eta = \frac{\pi^5}{\lambda^4} |K|^2 Z_e$$

$$N_{bio} = \frac{\eta}{\sigma}$$

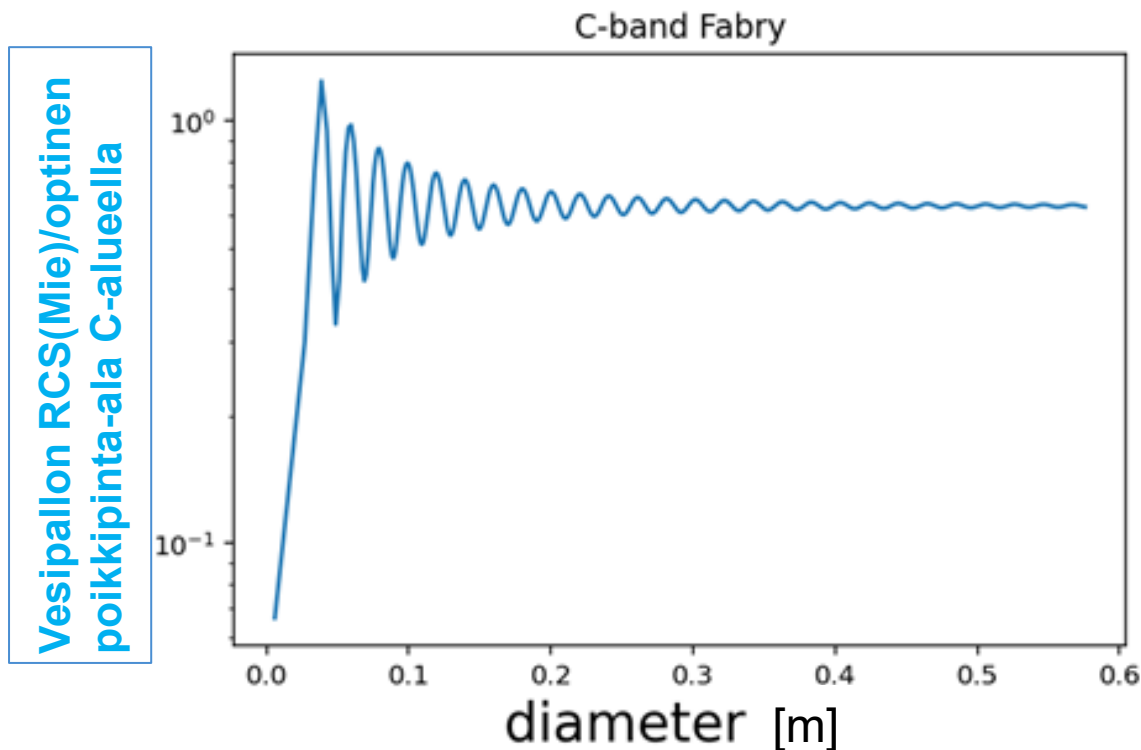
Eläinmäärät heijastavuudesta

- η : heijastavuus
- $|K|^2 = 0.93$ -> nestemäisen veden dielektrinen vakio
- $\lambda = 0.053$ m aallonpituus
- Z_e = tutkaheijastavuustekijä (tutkan mitta)
- σ : takaisinsirontapinta-ala (RCS) lajien mukaan tai usein keskiarvo



Lintulajien takaisinsirontapinta-ala

- Ei julkaistuja C-alueen σ -tietoja
- Yleisesti säätutka-lintuseurantatutka-regressiolla saatua pikkulintujen yömuuton keskiarvoa käytetty lajikoostumuksesta riippumatta ($\sigma = 11 \text{ cm}^2$)
- Ilmatieteen laitoksen **sirontamalli** oletusarvona lintu $\approx$ vesipallo



Esimerkkejä, RCS (cm^2)

- rytikerttunen 0.96
- hippiäinen 5.38
- laulurastas 7.70
- kottarainen 18.0
- sepelkyyhky 58.8
- mustalintu 73.1
- valkoposkihanhi 97.0
- kurki 251

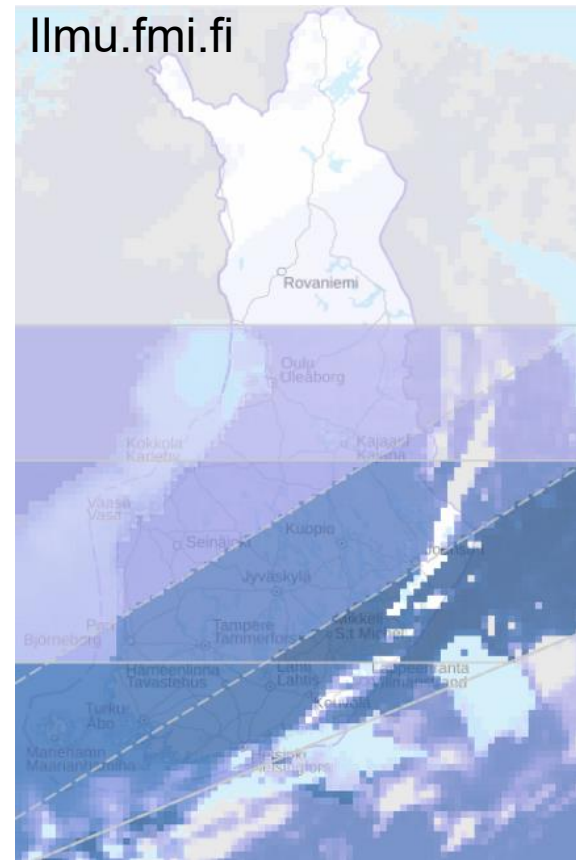


Syöttödata - muuttoennustemalli

Lintumuuttokalenterit, lintupopulaatiot,
säämallituotteet ja muuton dynamiikka

=> kytketty numeerinen muuttoennustemalli

- 10x10 km² resoluutiolla (Suomi ja lähialue)
- 114 lintulajin kolmiulotteisia muuttoennusteita **yksilömääristä** tunnin välein 48 ennustetuntiin asti
- **Korkeusjakaumat** 3 km:iin asti
- Päivitty 3 tunnin välein
- Lajikoostumus, joka puuttuu tutkista



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

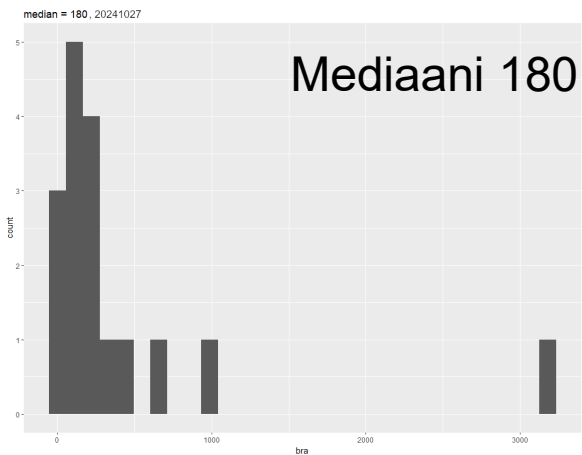


BirdLife
SUOMI • FINLAND

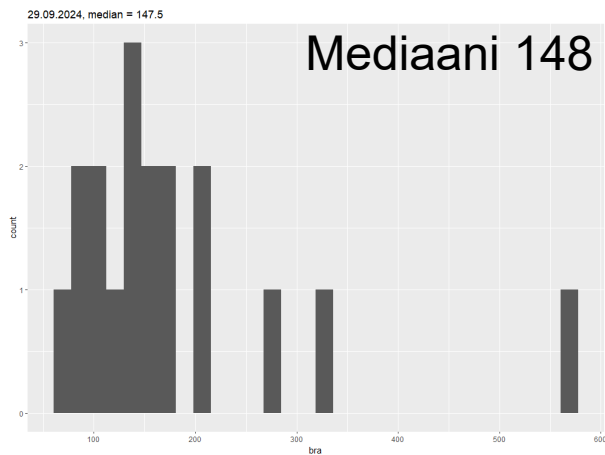
LUOMUS
LUONNONTIETEELLINEN KESKUSMUSEO
NATURHISTORISKA CENTRALMUSEET
FINNISH MUSEUM OF NATURAL HISTORY

Syöttödata - Parvien koot kenttähavainnoista

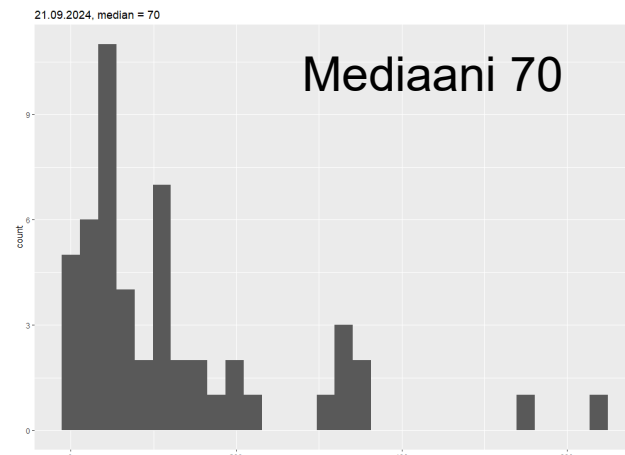
Valkoposkihanhet



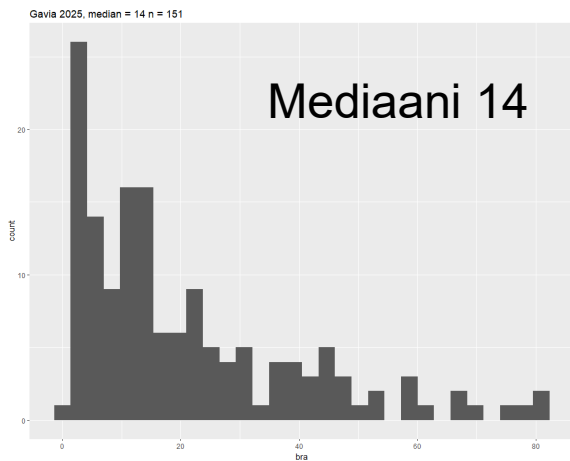
Sepelkyyhkyt



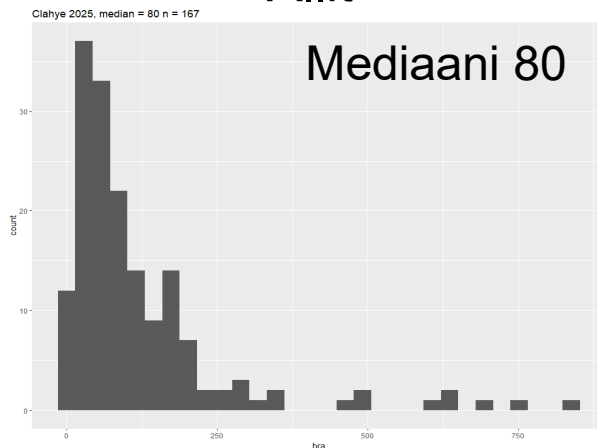
Kurjet



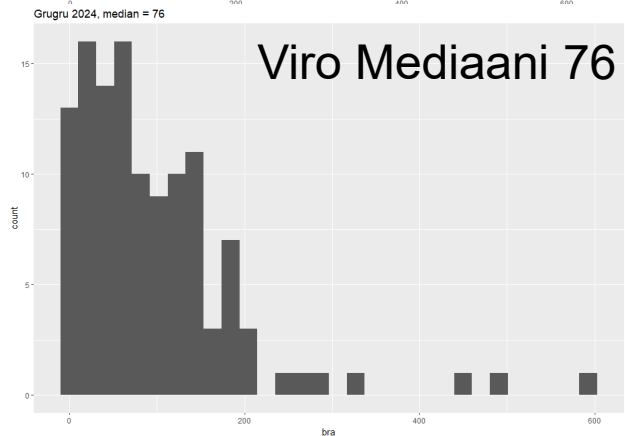
Kuikat



Allit



Viro Mediaani 76



Parvilintujen välimatkat valokuvista

Kurjet



Valkoposkianhet



Haaste: 2D -> 3D

Kuikat



Vesilinnut (allit)



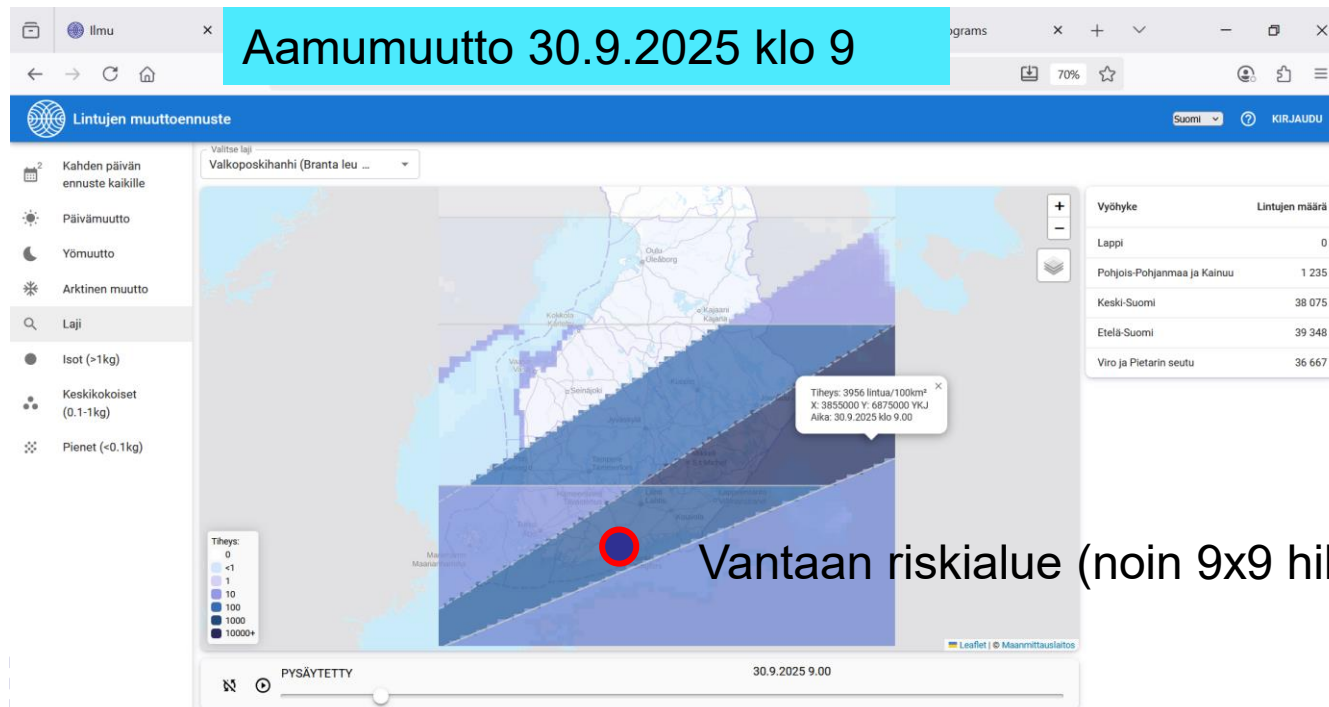
Törmäysvaaran suuruuteen vaikuttaa olennaisesti myös lintujen tiheys parvessa: arvioimme ne tärkeille lajeille

Tietojen yhdistäminen ja prosessointi



Lintumäärien arviointi I: Sekamuuttomenetelmä

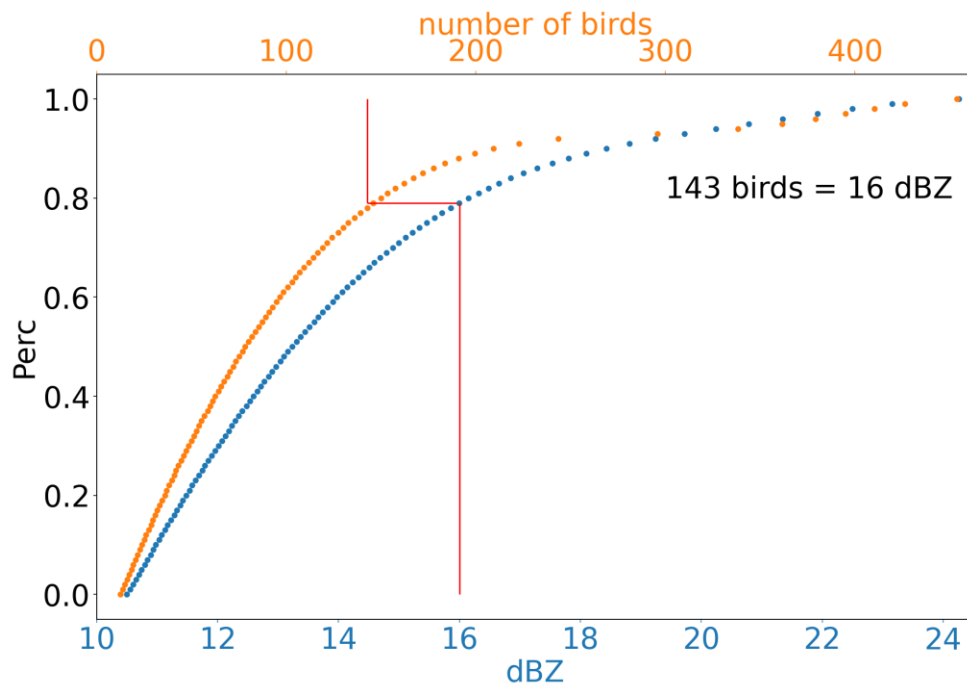
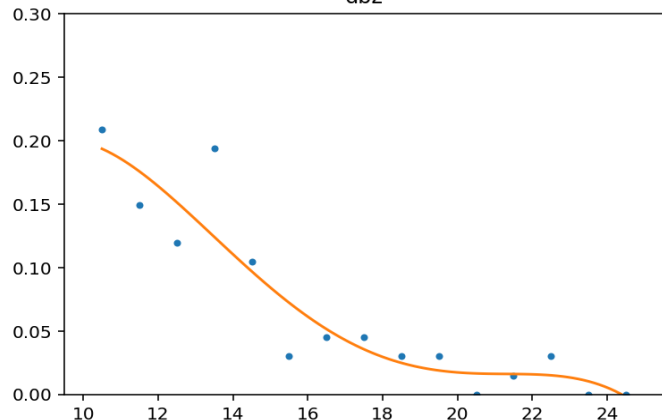
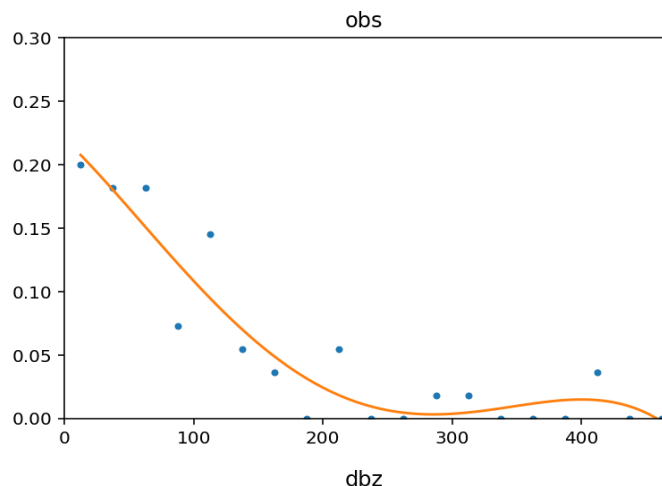
- Lintulajiston koostumuksesta ei ole kenttähavaintoja
- Alueelliset lajiosuudet kerroksittain mallista
- Takaisinsirontapinta-alat sirontamallista
- Parvitiedot havainnoista tai ei tarpeellisia (pikkulinnut ei parvina)



Lintumäärien arviointi II: Yhden dominoivan lintulajin muutto

Kallvikin hanhiparvihavainnot 20240509 klo 1700-1900

Haaste: Monia lajeja muuttaa usein samaan aikaan erilaisissa parvissa.

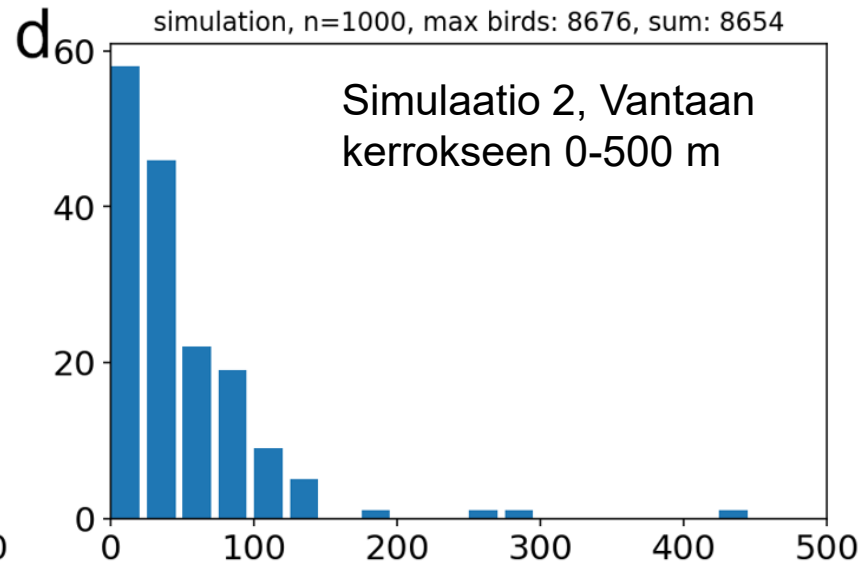
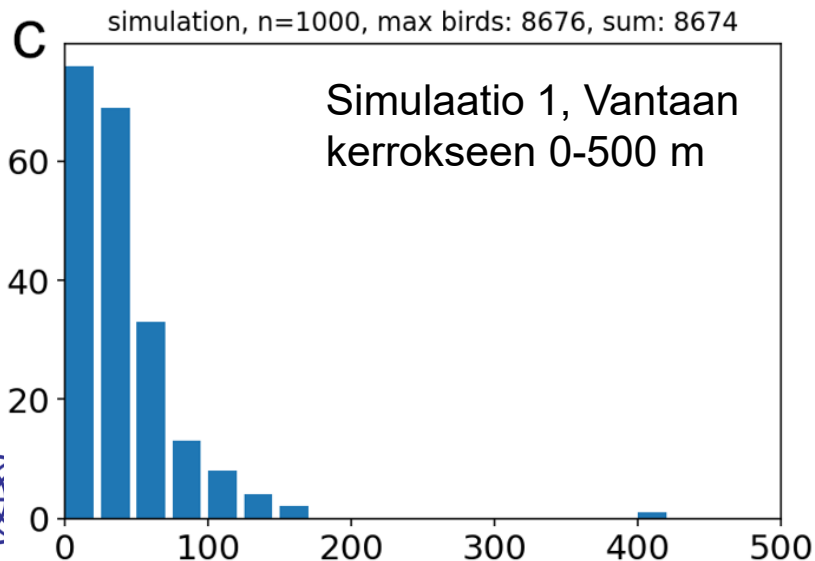
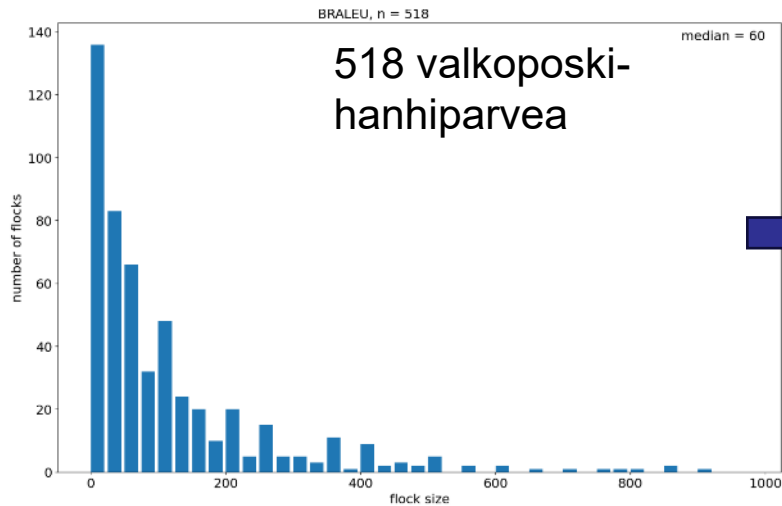


→ PMM-sovitus
→ takaisinsirontapinta-alalla:
16 dBZ -> 144 hanhea



Lintuparvisimulaattorin kehitys

- Muunnetaan muuttomallin ja tutkien yksilömäärät parviksi **parvikokosimulaattorilla**, joka noudattaa havaitun kokojakauman sovitusfunktiota -> parvitietoja törmäysvaaran arviointiin



Vahinkovaaran ja -riskin arviointi

***Vahinkovaara** on parven aiheuttamien vahinkoluokkien suuruuden (H_{1-4} : vaaraton, pieni, iso, tuhoisa) todennäköisyys.*

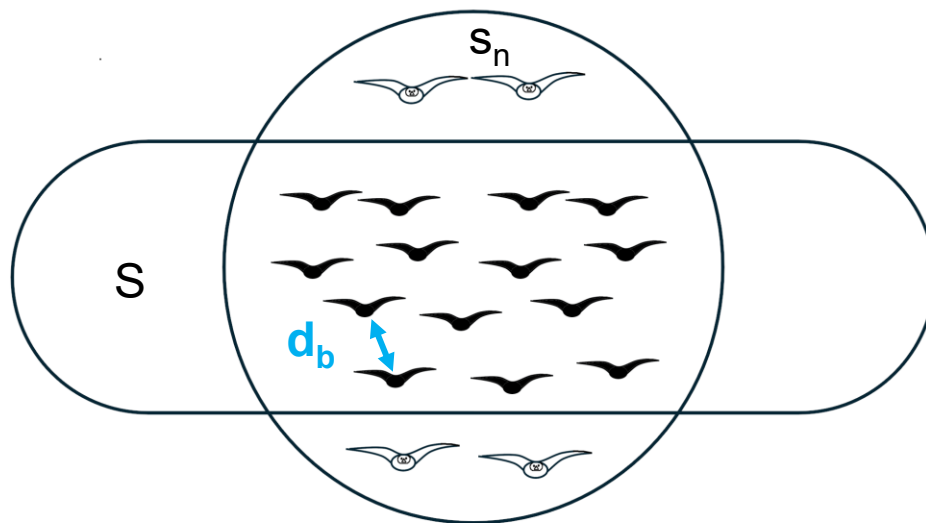
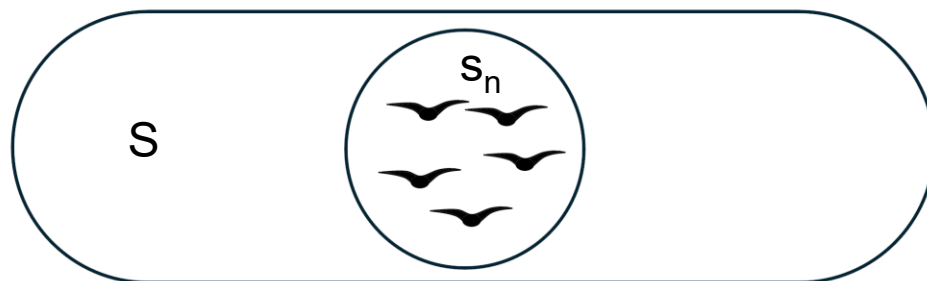
***Riski** on vahingon tapahtumisen todennäköisyys lennon aikana kertaa vahingon suuruus lentokoneelle.*



Törmäysmalli

- Parvet $\approx$ pallot
- kaikki linnut parvessa törmäävät
 $n_C = n$
- Osa linnuista törmää:
törmäävien lintujen määrä
on $n_C = n(S/s_n)$

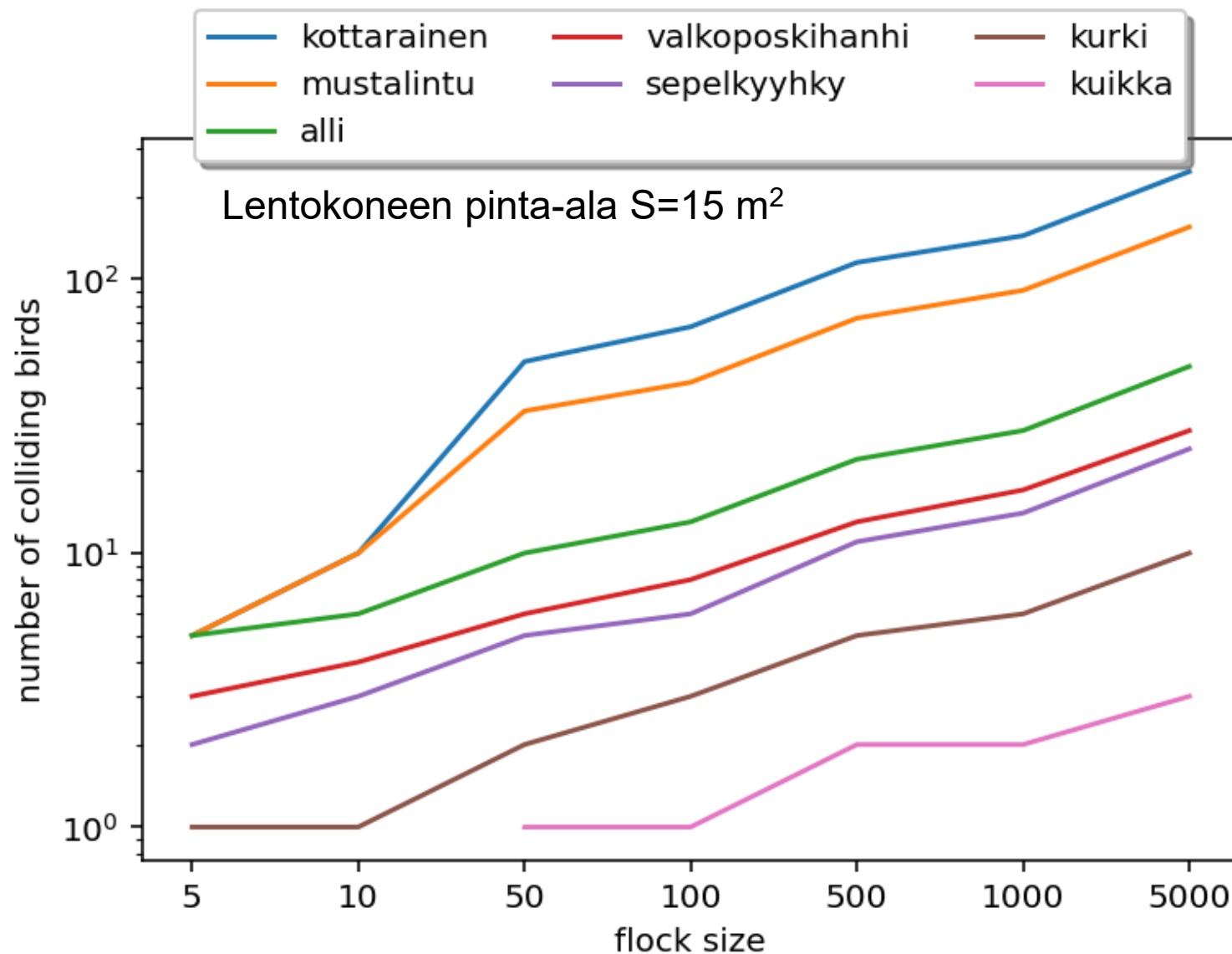
Välttämätön tieto on
lintujen välimatka d_b
parvessa.



s_n = palloparven poikkipinta-ala
 S = lentokoneen poikkipinta-ala
(8 ja 15 m²)



Törmäävien lintujen määrät n_c parvissa



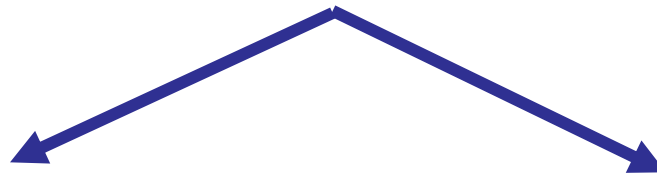
Lintutörmäysten vahinkoluokat

- **Ei vahinkoa (H1).** On nähty törmäys tai kuultu törmäysääni, mutta tarkastuksessa koneesta ei löydy minkäänlaista huollettavaa vauriota.
- **Pieni vahinko (H2).** Törmäyksessä syntyy pieni lommo, verijälkiä tai pieniä vaurioita, jotka eivät yleensä keskeytä lentosuoritusta. Ne pitää huoltaa; noin 5-15 kappaletta vuodessa.
- **Iso vahinko (H3).** Törmäyksessä syntyy iso vahinko, mutta lentäjä ja kone laskeutuvat. Korjaus on iso ja pitkäaikainen; noin 2-3 tapausta vuodessa.
- **Tuhoisa vahinko (H4).** Lentokone putoaa. Ohjaaja todennäköisesti ehtii pelastautua tai, pahimmassa tapauksessa, menetetään ihmishenki.



Lintuparvien vaaran määrittely

- Lintuparven vahinkovaara lasketaan todennäköisyyksinä P_{Hj} kunkin vaaraluokan H_1 - H_4 tapahtumalle, jos kone törmäisi.



Kaikki linnut törmäävät

$$H_4 \quad P_{H4}(n, v_A) = 1 - P_0^{n(m_1/m_{H4})k(v_A)}$$

$$H_3 \quad P_{H3}(n, v_A) = [1 - P_{H4}(n)] \cdot [1 - P_0^{n(m_1/m_{H3})k(v_A)}]$$

$$H_2 \quad P_{H2}(n, v_A) = [1 - P_{H4}(n) - P_{H3}(n)] \cdot [1 - P_0^{n(m_1/m_{H2})k(v_A)}]$$

$$H_1 \quad P_{H1}(n, v_A) = 1 - P_{H4}(n) - P_{H3}(n) - P_{H2}(n)$$

Osa linnuista törmää

$$P_{H4}(n, v_A) = 1 - P_0^{4Sn^{\frac{1}{3}}(m_1/m_{H4})k(v_A)/(\pi d_b^2)}$$

$$P_{H3}(n, v_A) = [1 - P_{H4}(n)] \cdot [1 - P_0^{4Sn^{\frac{1}{3}}(m_1/m_{H3})k(v_A)/(\pi d_b^2)}]$$

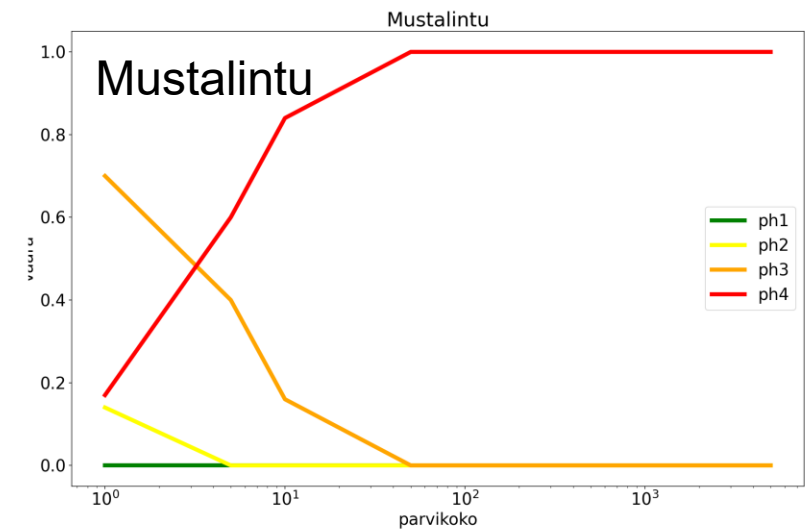
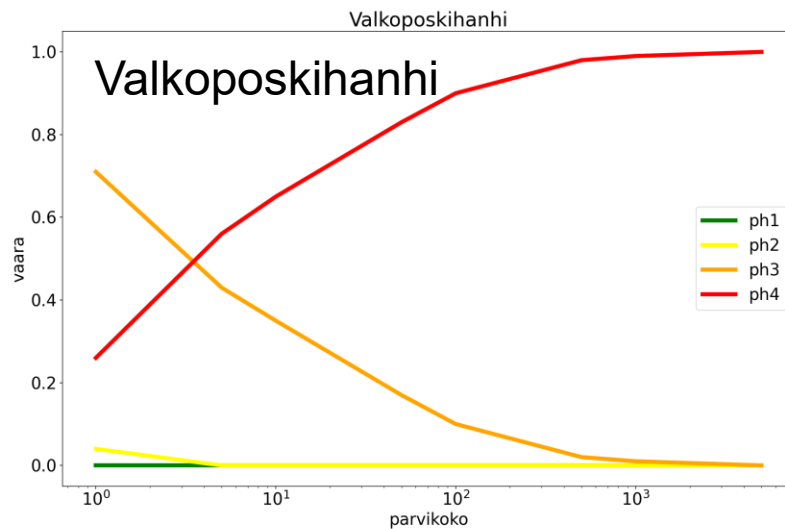
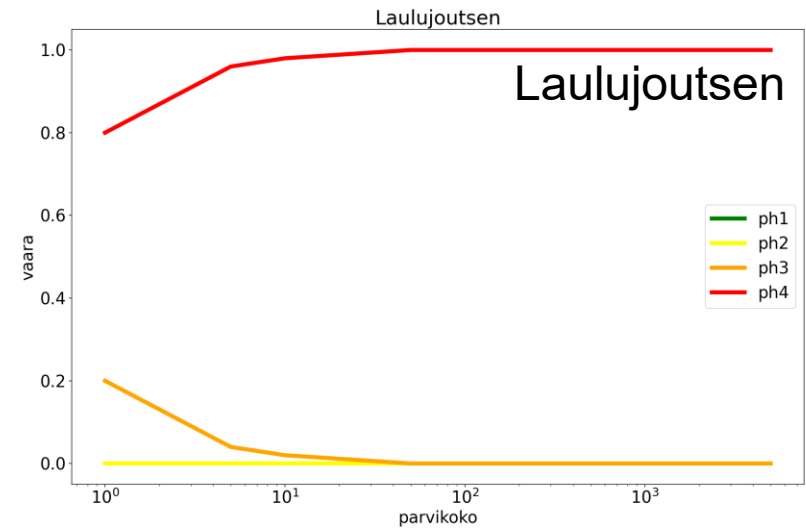
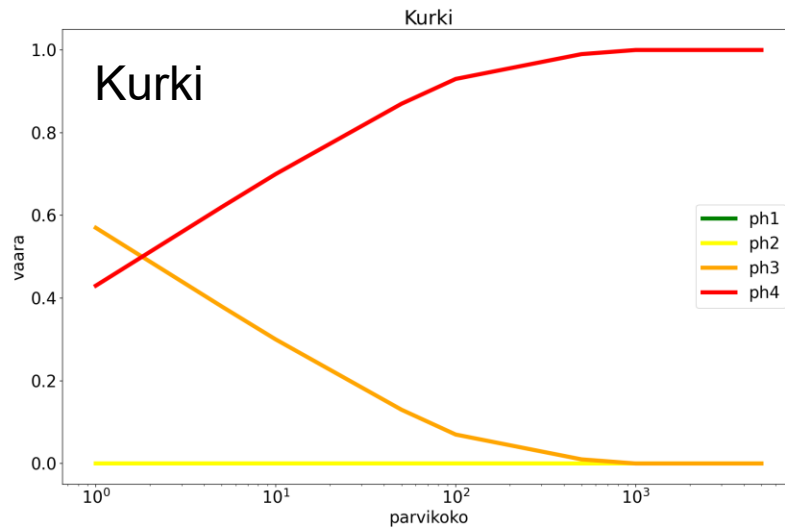
$$P_{H2}(n, v_A) = [1 - P_{H4}(n) - P_{H3}(n)] \cdot [1 - P_0^{4Sn^{\frac{1}{3}}(m_1/m_{H2})k(v_A)/(\pi d_b^2)}]$$

$$P_{H1}(n, v_A) = 1 - P_{H4}(n) - P_{H3}(n) - P_{H2}(n)$$

-> Lentokoneen ja parven ominaisuudet on otettu huomioon.



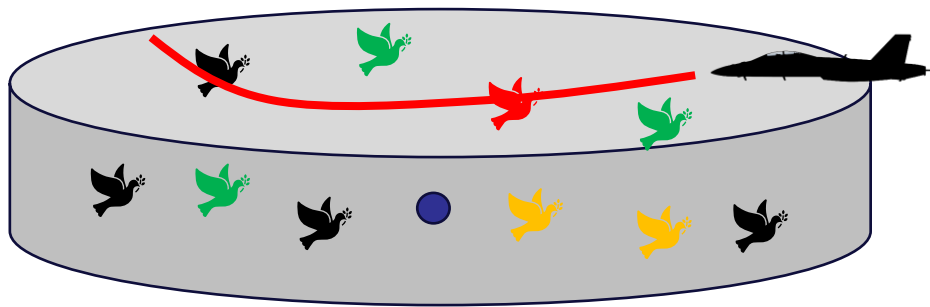
Vahinkovaara parvikoon mukaan ($v_A = 700$ km/h)



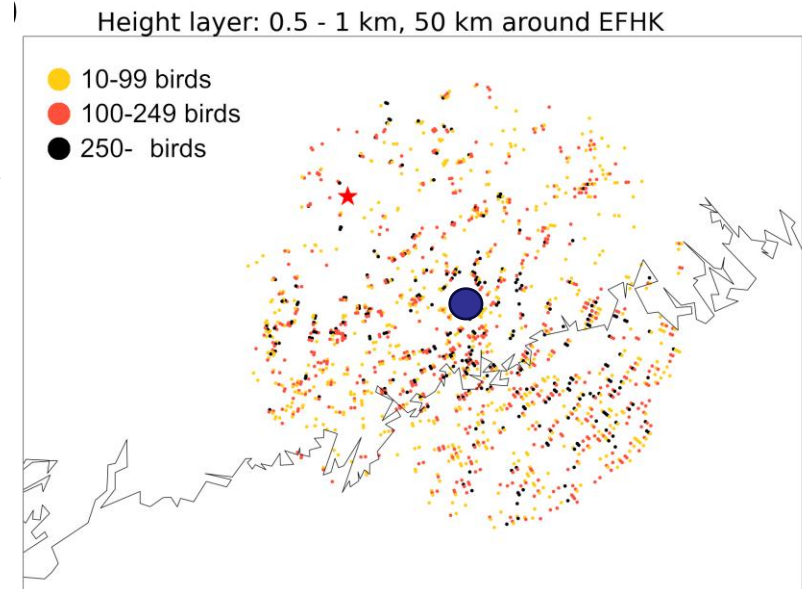
Törmäysriskin laskeminen

- Lasketaan kunkin vahinkoluokan parvien tiheys riskitilavuudessa.
- Lasketaan todennäköisyys lentokoneen ja kunkin vahinkoluokan parvien kohtaamiselle riskitilavuudessa.
- Esimerkiksi suihkukone lentää 30 minuuttia yli 30 km:n päässä Hki-Vantaasta ($v_A = 700 \text{ km/h}$) 30.9.2025 klo 09, niin todennäköisyys kohdata tuhoisa (musta) parvi on $2.16 \cdot 10^{-4} = 0.02 \%$
- Riski on esim. $0.0002 * (20 \text{ milj. €} + 1 \text{ pilotti})$

tuhoisa - iso - pieni - vaaraton



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



Kysymyksiä?

Kiitos!



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



LUOMUS
LUONNONTIETEELLINEN KESKUSMUSEO
NATURHISTORISKA CENTRALMUSEET
FINNISH MUSEUM OF NATURAL HISTORY



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

17.11.2025

Nimi

