

# Säätutkadatan käyttö edistyneemmille

## IV Myrskybongarien kevätkoulutus

A-J Punkka

Kiitokset:

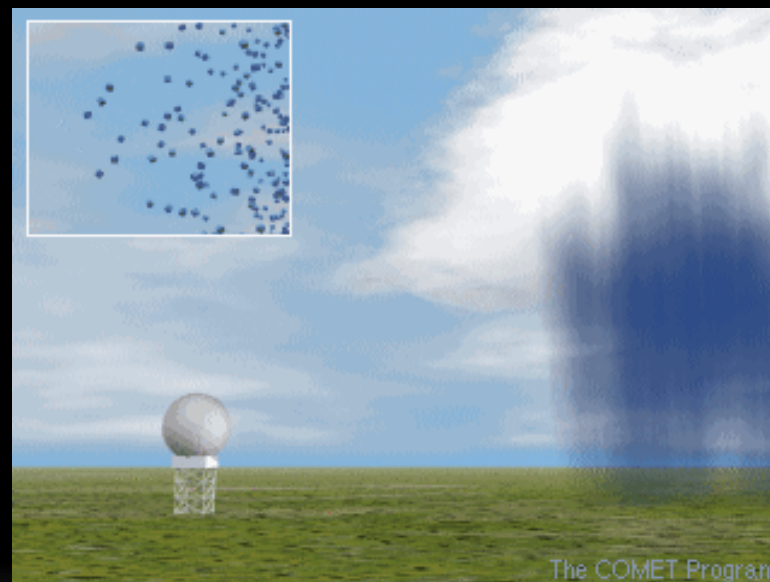
Elena Saltikoff, COMET



Kuva: Jussi Liikala

# Miten säätutka toimii?

- Mikroaaltopulsseja (aallonpituus ~ cm) useilla eri suunta- ja korkeuskulmilla
- Pulssin lähettämisen jälkeen "kuunnellaan" mitä heijastuu takaisin
- Lähtöhetken ja paluuhetken aikaero >> sateen etäisyys
- Kaiun voimakkuus >> sateen voimakkuus
- Lähetetyn ja vastaanotetun signaalin vaihe-ero >> "tuuli"



# Lähetystehosta murto-osa heijastuu takaisin

- Vastaanotettu pulssiteho luokkaa  $10^{-13} \dots 10^{-8}$  W (vrt. lähetysteho  $\sim 300$  kW)
- Yhtälössä muut tiedetään paitsi tutkaheijastavuustekijä (Z) => ratkaistaan yhtälö Z:n suhteen

Vastaanotettu teho:

$$\bar{P}_r = \frac{c\pi^3}{1024 \ln(2)} \left( \frac{P_t \tau G^2 \Theta \Phi}{\lambda^2} \right) \left( \frac{|K|^2 Z}{r^2} \right)$$

$P_t$  = lähetysteho,  $G$  = antennin vahvistus,  $\lambda$  = tutkan aallonpituus,  $t$  = tutkapulssin pituus,  $A$  = antennin pinta-ala,  $R$  = etäisyys

# Mikä ihmeen dBZ?

- Sateen intensiteetti esitetään logaritmisesti "dBZ-yksiköinä"  
⇒ yksi 1 mm sadepisara 1 m<sup>3</sup> ilmaa  
⇒ 0 dBZ
- Tekemällä karkeita oletuksia dBZ voidaan muuntaa >> sateen intensiteetti (mm/h) >> sademäärä (mm)

Tutkaheijastuvuustekijä:

$$Z \equiv \frac{\sum_j D_j^6}{V_c}$$

D = yksittäisen pisaran halkaisija

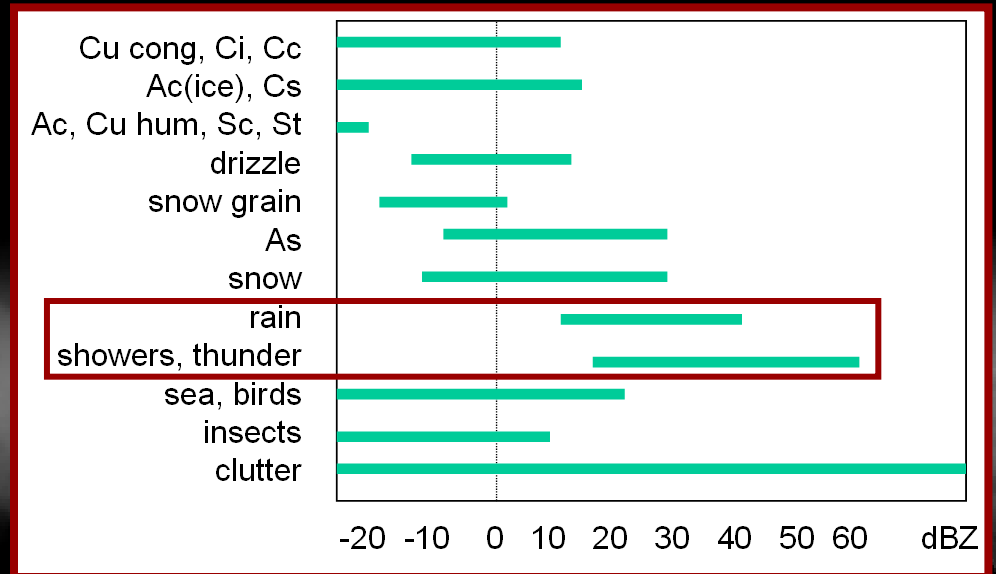
$$dBZ = 10 \log \left( \frac{Z}{1 \text{ mm}^6 / \text{m}^3} \right)$$

# Myrskybongarin kaiut 50 dBZ+

- Ei voida valita kaikuja vain meteorologisista kohteista => kaikuja myös jääkidepilvistä, hyönteisistä, linnuista, laivoista, mastoista, rakennuksista, tuntureista

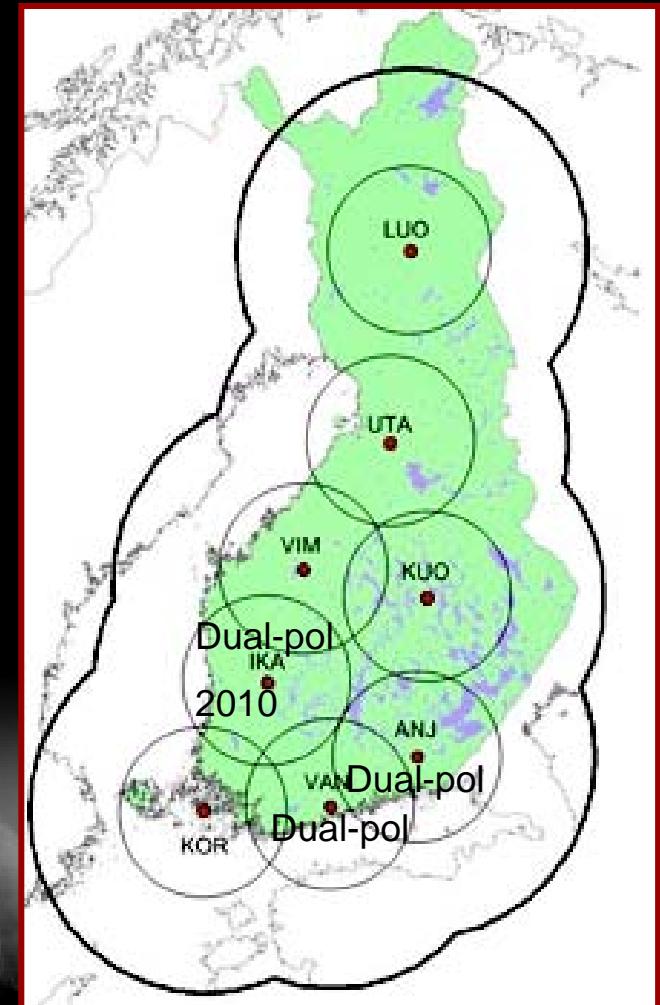
$$\overline{P_r} = \frac{P_i G^2 \theta^2 \pi^3 h |K|^2}{1024 \ln 2 R^2 \lambda^2} \sum_i D_i^6$$

Eri kohteiden tyypillinen dBZ-vaihteluväli



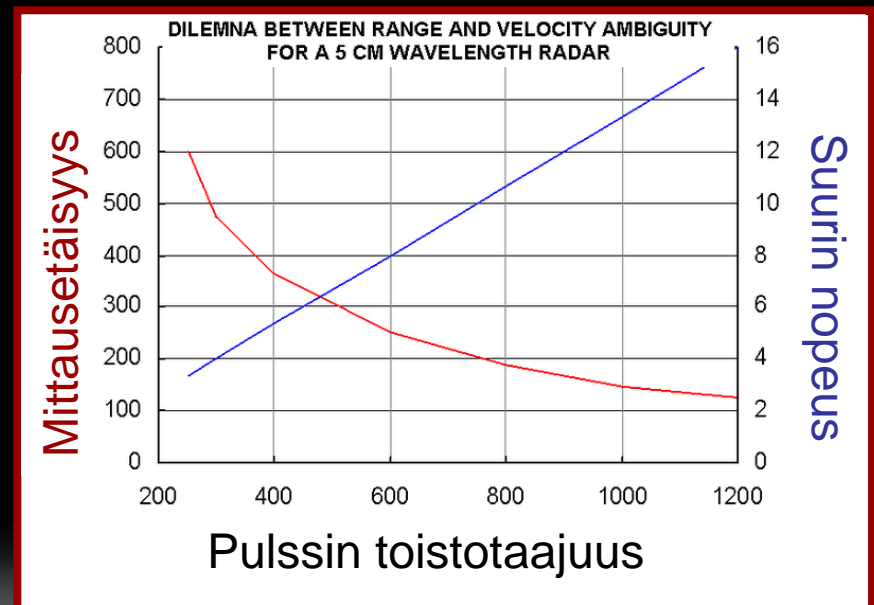
# Kesällä 2010 kolme kaksoispolarisaatiotutkaa

- Ilmatieteen laitoksella 8 operatiivista säätutkaa
- Tutkien ominaisuuksia
  - Antennin halkaisija 4-6m
  - Keilan leveys 0,7-1 astetta
  - Pulssiteho 250 kW
  - Aallonpituus 5,3 cm
  - Alin mittauskulma 0,3 astetta
  - Tutkapulssin pituus 1-2 $\mu$ s
  - Näytteiden määrä 32
  - Pulssin toistotaajuus 500-1500 Hz



# Doppler-dilemma rajoittaa mittauksia

- Jos halutaan kaikuja kaukaa, suurin tutkalla mitattavissa oleva yksikäsitteinen nopeus on alhainen => huono mm. mesosyklonien paikantamisen kannalta
- Jos halutaan mitata suuria nopeuksia, suurin mittausetäisyys pienenee => harvan tutkaverkon alueella mittausaukkoja



kuva: Wikipedia

# Kaksoispolarisaatiolla tietoa sadepisaroiden muodosta

- Lähetetään sekä pysty- että vaakasuuntaan polarisoituja tutkapulsseja  
=> kahden kanavan vastaanotetun tehon suhde ~ tieto pisaroiden muodosta  
=> tehojen korrelaatio ~ sateen olomuodot / olomuotosekoitukset
- Suurin hyöty bongaukseen: varmempi rakeiden ja rakeiden tyyppin (jää- vai lumirae) tunnistus

”perinteinen” säätutka



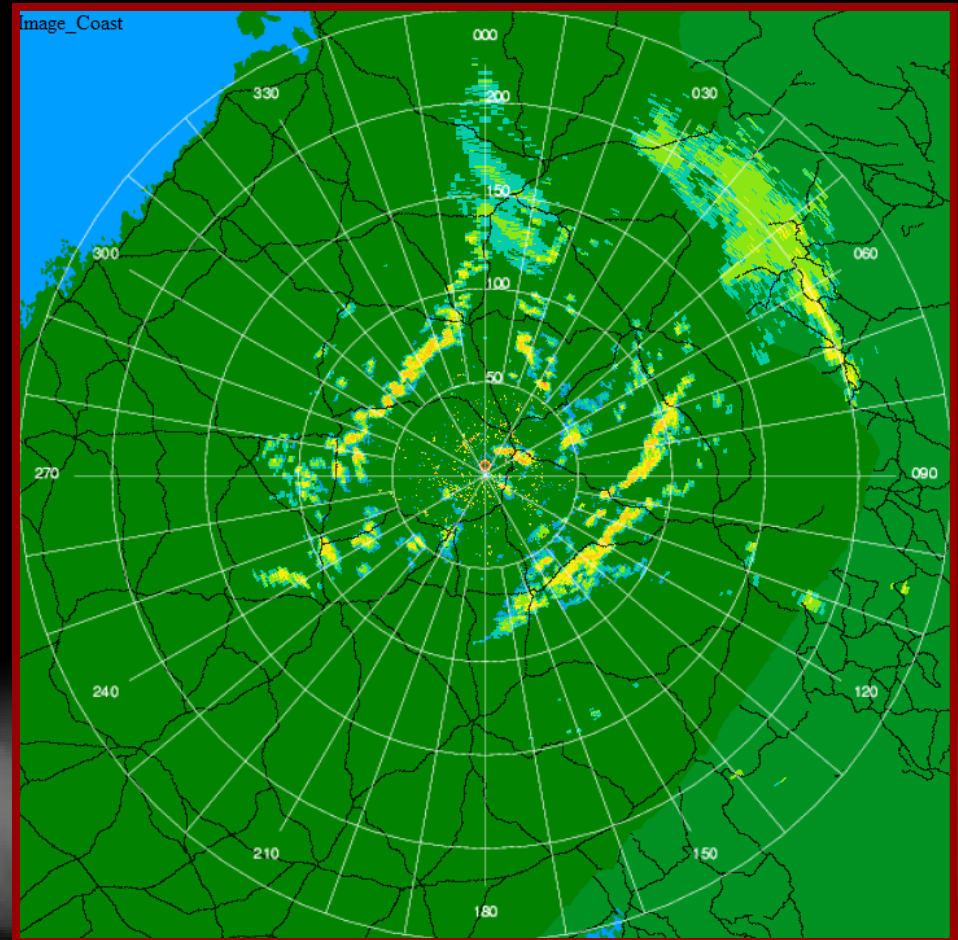
kaksoispolarisaatiosäätutka



Animaatiot: Terry Schuur

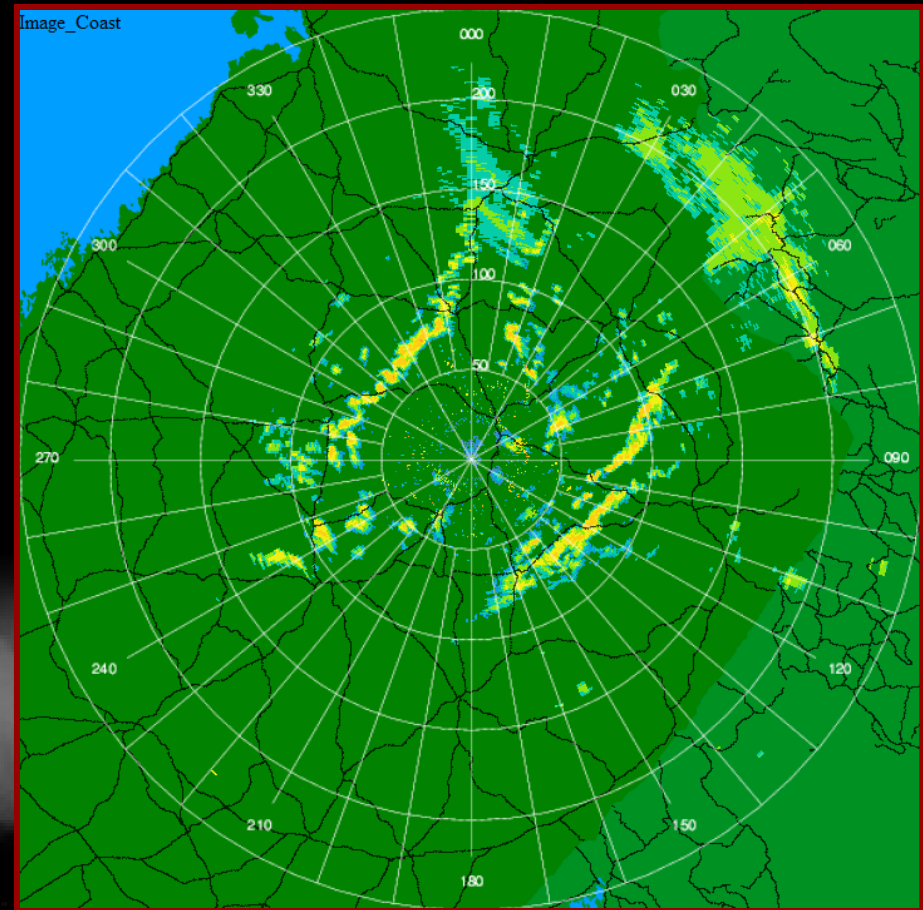
# Tuotteita: PPI – plan position indicator

- dBZ-lukema yhdeltä mittauskulmalta yli yhden 360 asteen kierroksen
- Mittauspinta ylösalaisin oleva kartio (leffateatterin popcorn-astia), jonka reunan jyrkkyys riippuu mittauskulmasta



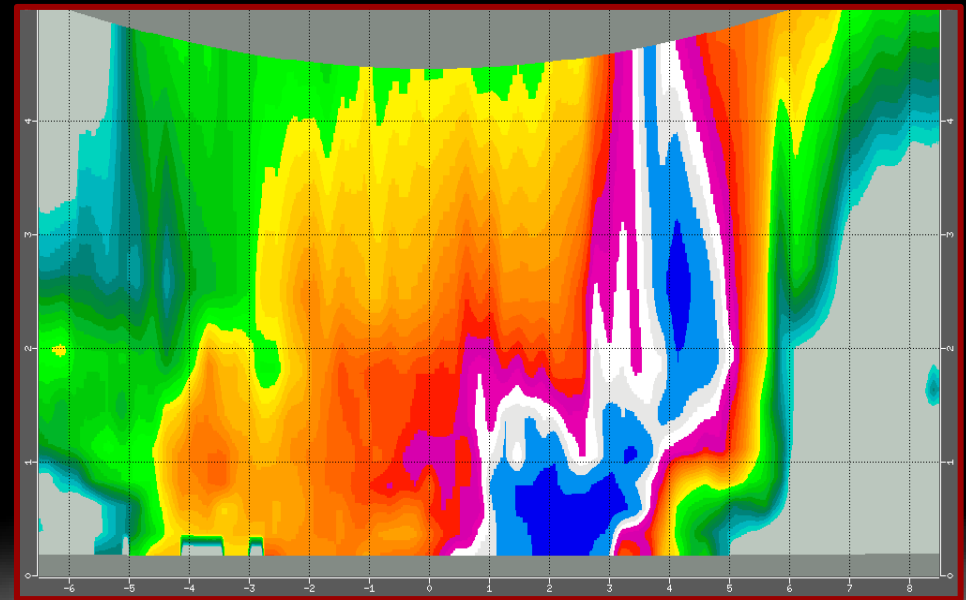
# Tuotteita: CAPPI – constant altitude plan position indicator

- dBZ-lukema vakiokorkeudelta (esim. 500 m) yli yhden 360 asteen kierroksen => kaukana tutkasta mittausdataa ei ole, joten käytössä alin mittauskulma => mittauspinta tasapohjainen pyöreä kulho



# Tuotteita: RHI – range height indicator

- Suunnataan tutka tiettyyn sivukulmaan ja liikutetaan antennia ylös alas => pystypoikkileikkaus sateesta
- Poikkileikkaus voidaan tehdä myös tavallisesta mittausdatasta "kerrostamalla", mutta tällöin ei ole kyseessä aito RHI.



# Tuotteita: puuska

## Laskenta:

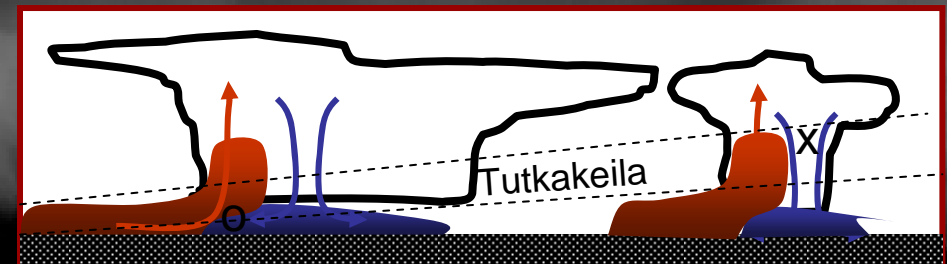
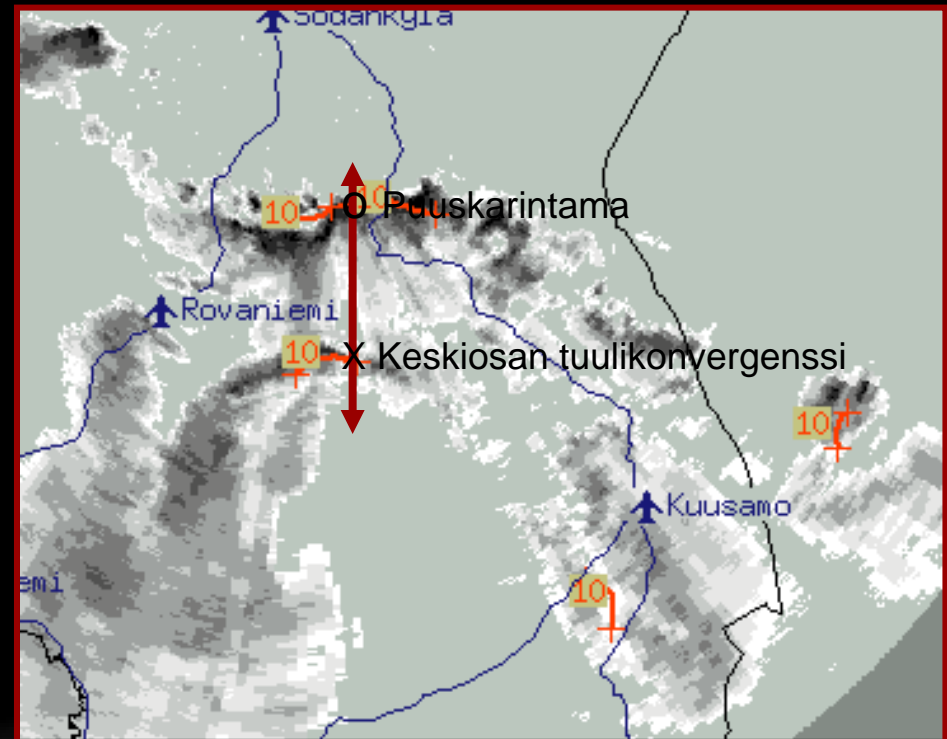
- Etsitään mm. kohtia, joissa tuulet kohtaavat eli  $\Rightarrow \leftarrow$  (konvergenssi)
- Jos tällaisia kohtia vierekkäisillä suuntakulmilla, pisteet yhdistetään "puuskamadoiksi"

## Käyttö:

- Puuskarintamien ja pilven keskiosan tuulikongressin paikantamiseen
- Huom! Alle 100 km etäisyydellä lähinnä puuskarintamat ja kauempana vain keskiosan konvergenssit.

## Ongelmakohtat:

- Kaukaa ei voi nähdä puuskarintamia
- Jos konvergenssi on poikittain tutkasäteeseen nähden, paikannusta ei saada



# Tuotteita: rae-algoritmit (POH ja LHI)

## Laskenta:

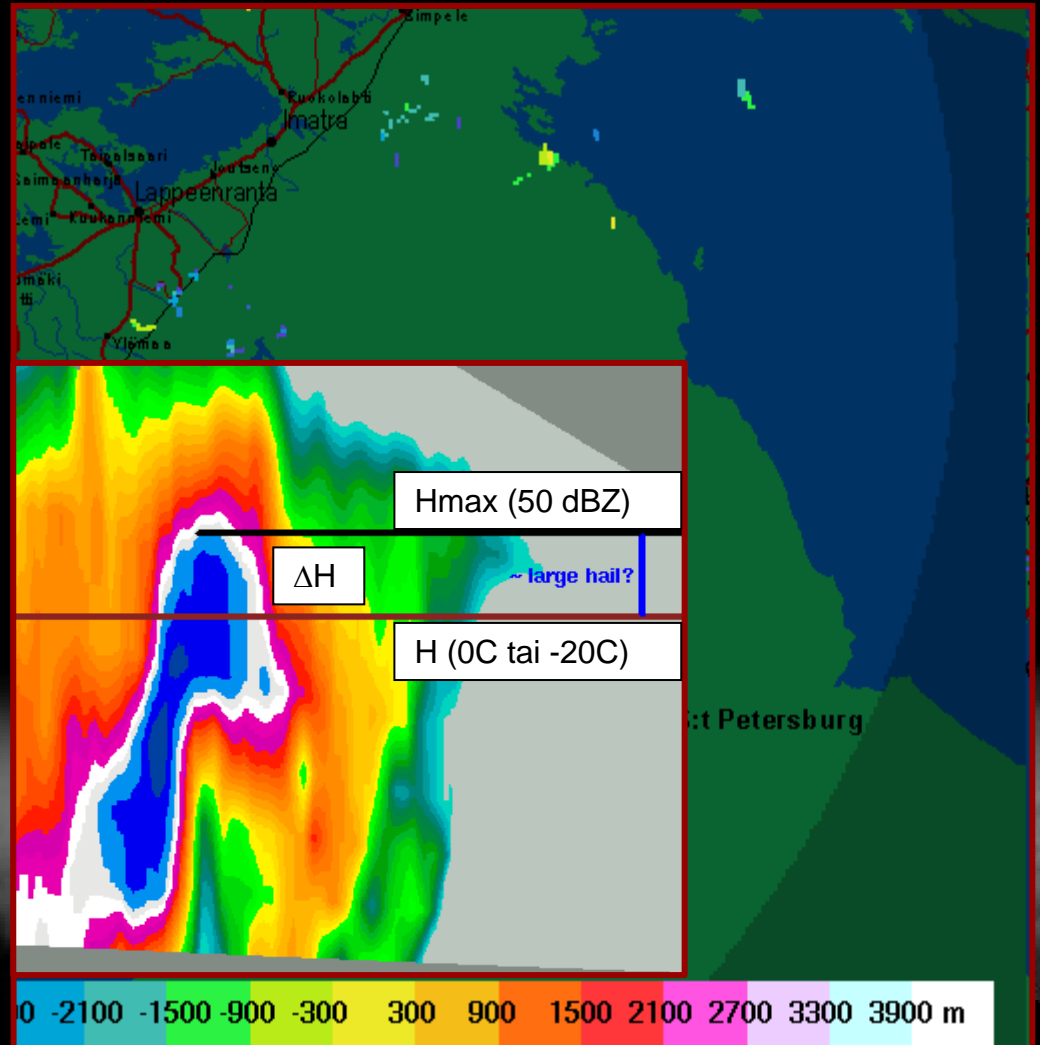
- Algoritmi, joka huomioi lämpötilan -20C korkeuden sekä 50 dBZ kaiun suurimman korkeuden. Eli  $LHI = h_{max}(50 \text{ dBZ}) - h(0C/-20C) \Rightarrow$  mitä suurempi erotus, sen suurempi raeriski. POH:ssa käytetään lämpötilan nollarajaa.

## Käyttö:

- POH: kiinnitä huomiota isoihin 80-100% alueisiin
- LHI: kiinnitä huomiota positiivisiin arvoihin
- Mitä pidempi kestoinen ja laajempi voimakas signaali, sitä isommat rakeet.

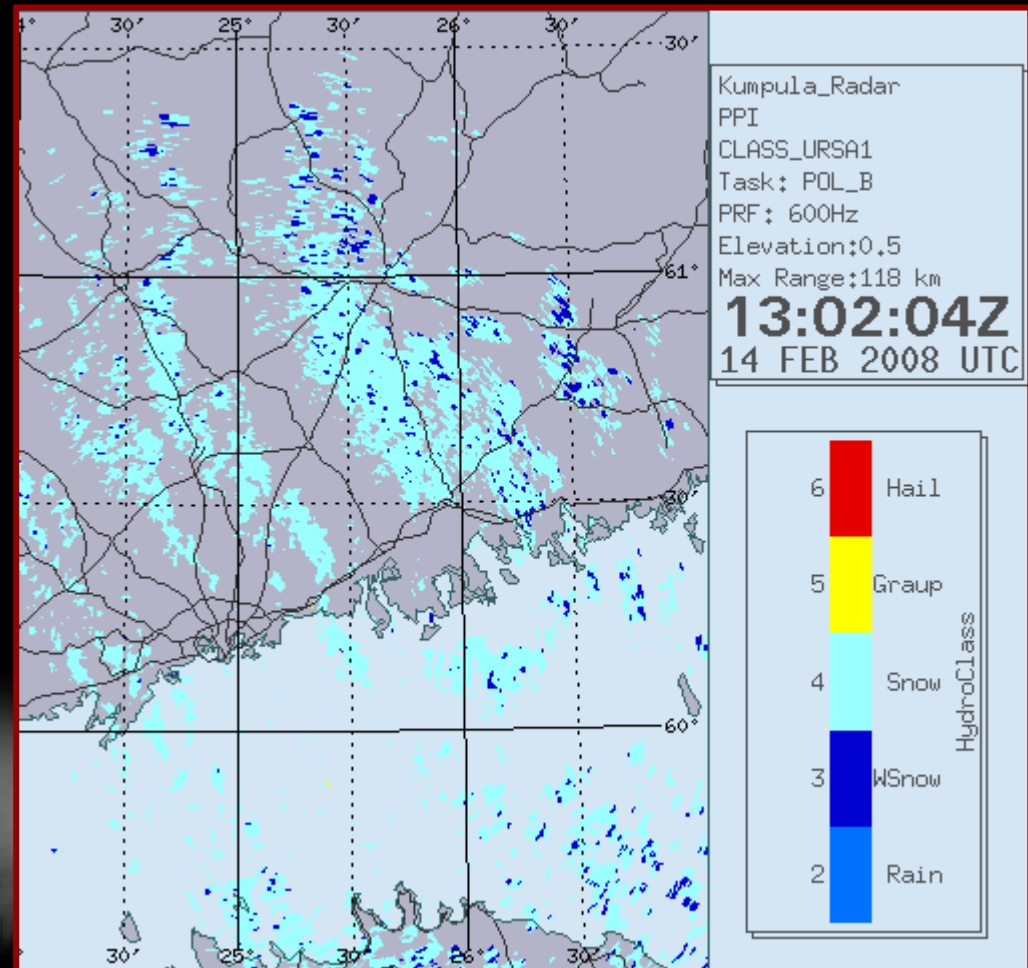
## Ongelmakohdat:

- Toimivat huonosti kylmässä ilmassassa
- Huomioi mittausgeometrian rajoitteet



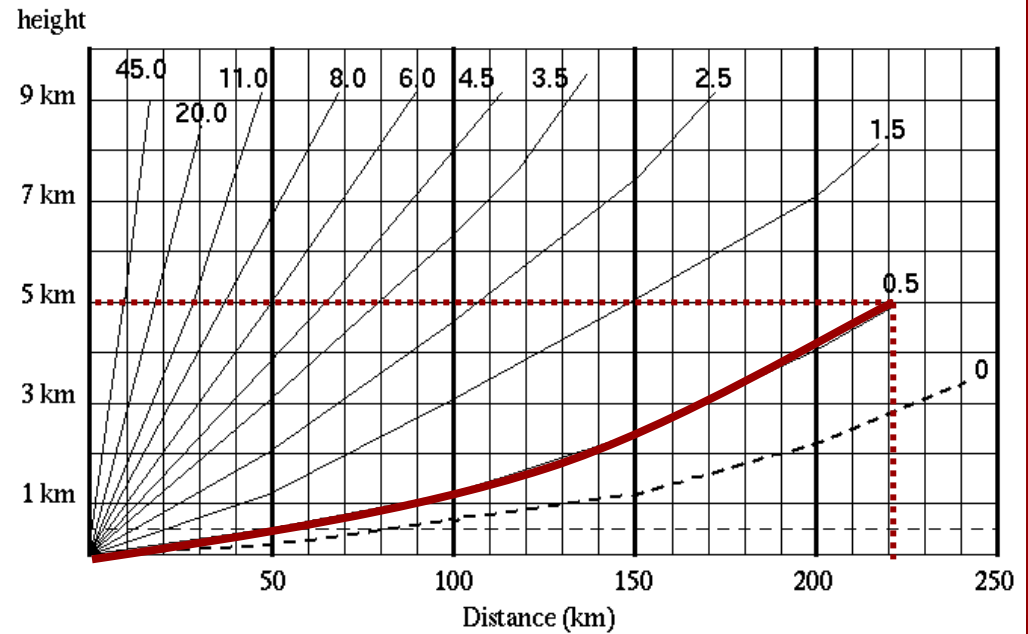
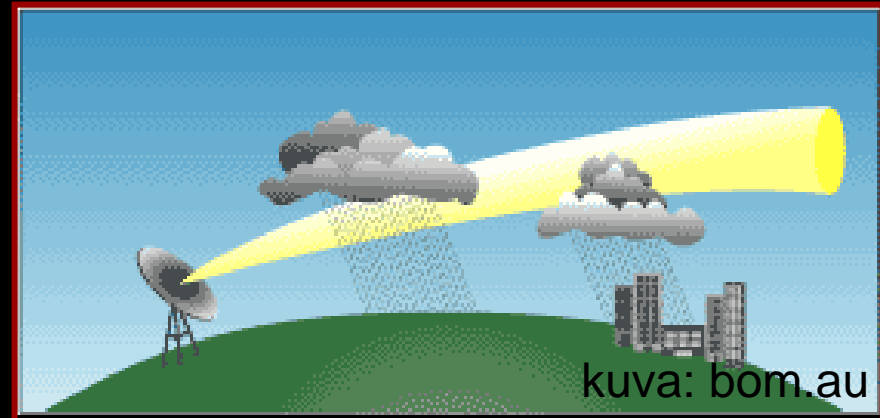
# Tuotteita: HydroClass

- Polarimetristen mittaussuureiden avulla päätellään kaiunaiheuttajien tyyppi (kuiva lumi, märkä lumi, vesi, lumirakeet, jäärakeet). Jäärakeet punaisella.
- Muista mittausgeometria: tutka ei näe mitä maanpinnalla sataa – kaukana näkyy kesälläkin lunta!



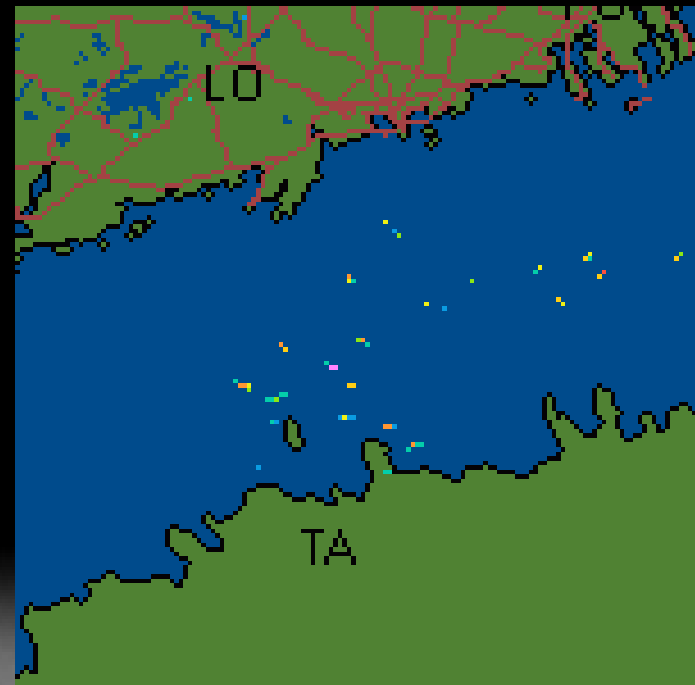
# Emme elä pannukakkumaassa!

- Maanpinnan kaareutuminen
  - 220 km päässä ei nähdä enää alinta 5 kilometriä lainkaan >> talvisateita ei usein nähdä yli 150 km päästä
  - Ilmiöt, joista saa huonosti tai ei ollenkaan tietoa yli 100 km päästä: tornadot, puuskarintamat, pintaan romahtanut rankka/raesade



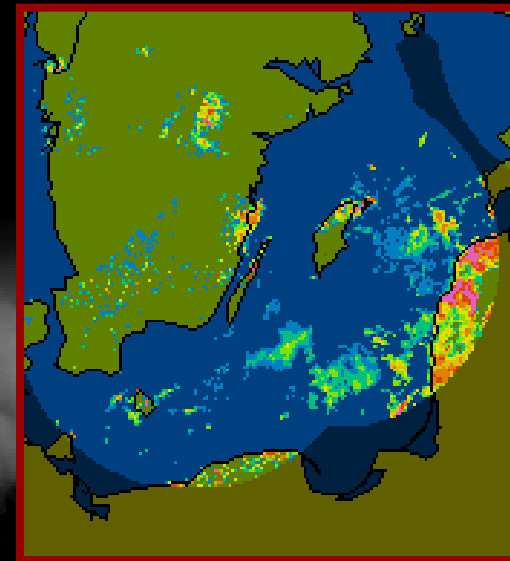
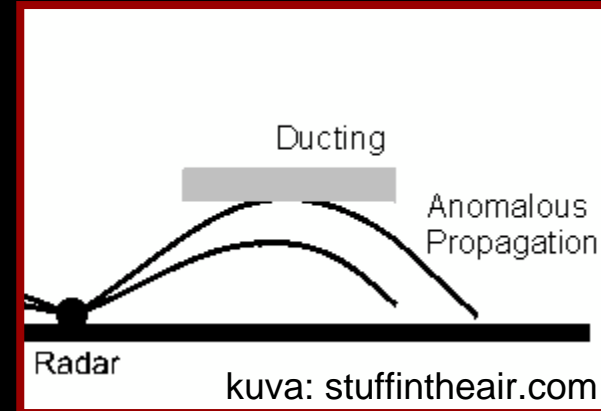
# Ei-meteorologisia kaikuja: laivat

- Syy
  - Osa tutkakeilasta osuu laivoihin, jotka heijastavat tehokkaasti
- Virhetulkinnat
  - Voivat joskus näyttää pieniltä konvektiosolun aluilta
- Kuinka erottaa sääkaiuista
  - Liikkuvat eri suuntaan kuin sääkaiut
  - Kukin piste liikkuu omaan suuntaansa
- Hyötykäyttö
  - Ei hyötyä bongauksessa



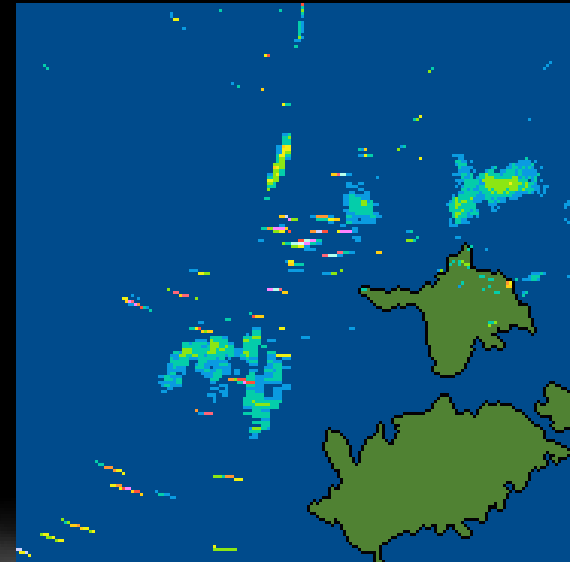
# Ei-meteorologisia kaikuja: maakaiut

- Syy
  - Lämpötilainversio, josta tutkakeila taipuu alaspäin (lämmen ilman kylmän meren yllä)
- Virhetulkinnat
  - Voi yksittäisessä kuvassa vaikuttaa voimakkaalta ukkoskuuroalueelta
- Kuinka erottaa sääkaiuista
  - Eivät liiku mihinkään
- Hyötykäyttö
  - Ei hyötyä bongauksessa, kangastusten bongauksessa kylläkin



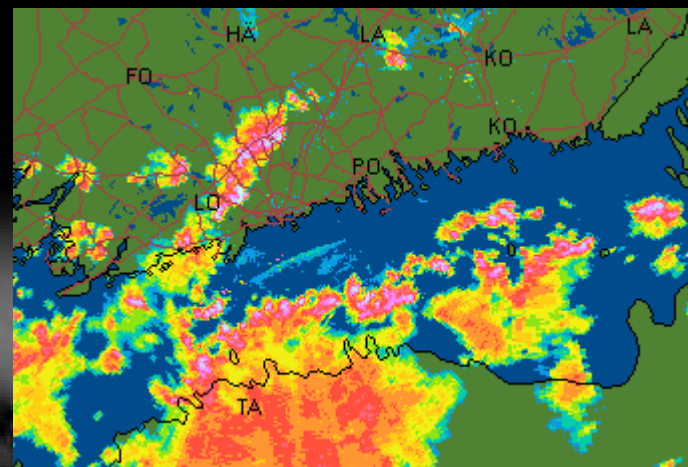
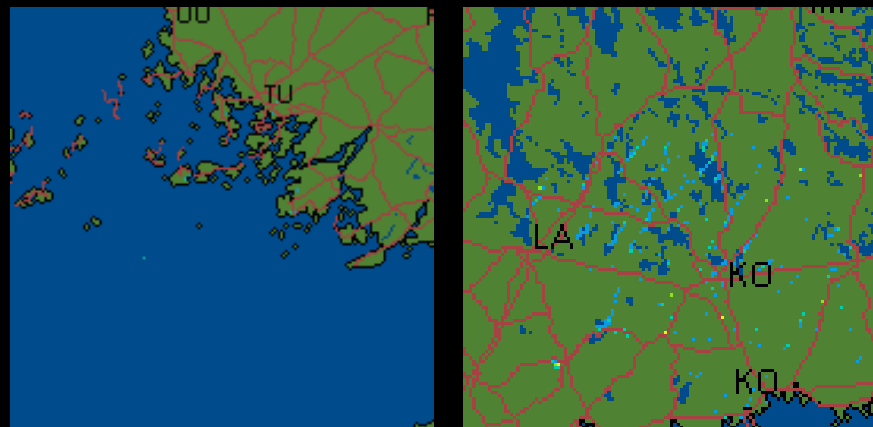
# Ei-meteorologisia kaikuja: merikaiut

- Syy
  - Osa tutkakeilasta osuu meren aaltoihin (tutkakeilan taipumisen vuoksi)
- Virhetulkinnat
  - Muistuttavat joskus heikkoja sadekuuroja
- Kuinka erottaa sääkaiuista
  - Liike on epämääräistä ja huojuvaa
- Hyötykäyttö
  - Ei hyötyä bongauksessa



# Ei-meteorologisia kaikuja: hyönteiset

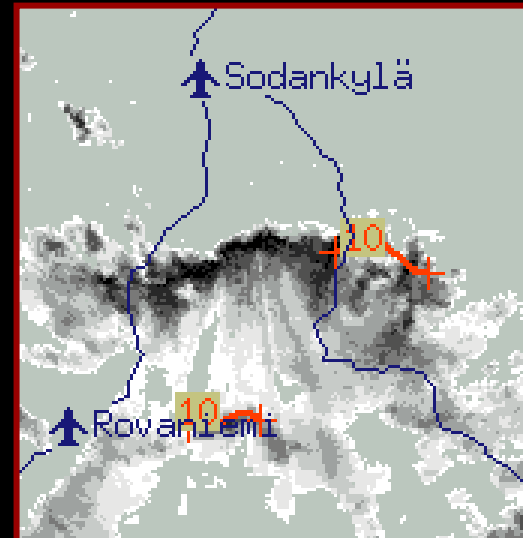
- Syy
  - Tutkakeila osuu hyönteisiin ja heijastuu takaisin tutkalle. Ilmavirtaukset kasaavat hyönteisiä keskittymiksi
- Virhetulkinnat
  - Kaiut erittäin heikkoja, joten sekoittamisen mahdollisuus lähinnä tihkusateeseen
- Kuinka erottaa sääkaiuista
  - Epämääräinen "halo" tutkan ympärillä, erittäin heikon kaiun nauhoja
- Hyötykäyttö
  - Satunnaisesti erittäin suuri hyöty puuskarintamien ja rullapyörteiden paikantamiseen => jatkokehityksen arviointi. Älä jää puuskarintaman taakse.



# Voimakkaaseen konvektioon liittyviä kaikuja

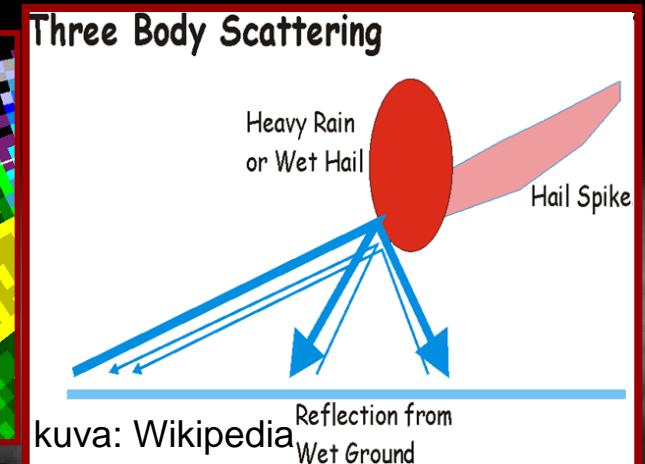
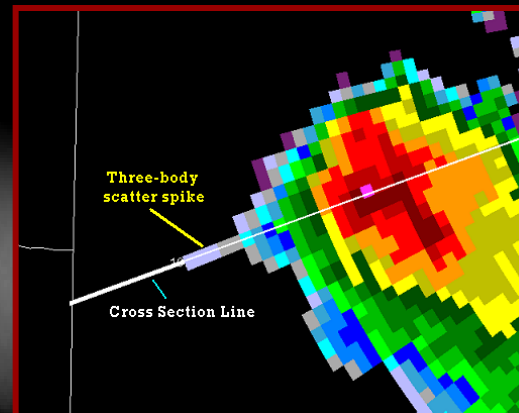
- Vaimeneminen

- Syy: rankkasade ja rakeet estävät tutkapulssien pääsyä sateen taakse => tutkan kyky nähdä sateen läpi heikkenee => "kaiuttomat sektorit"
- Virhetulkinnat: takana tulevan sateen voimakkuuden aliarviointi
- Hyödyt: tieto rakeista

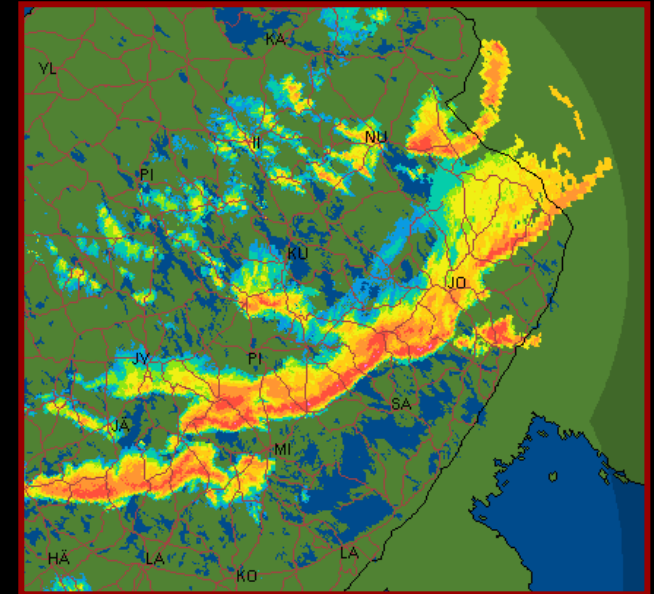
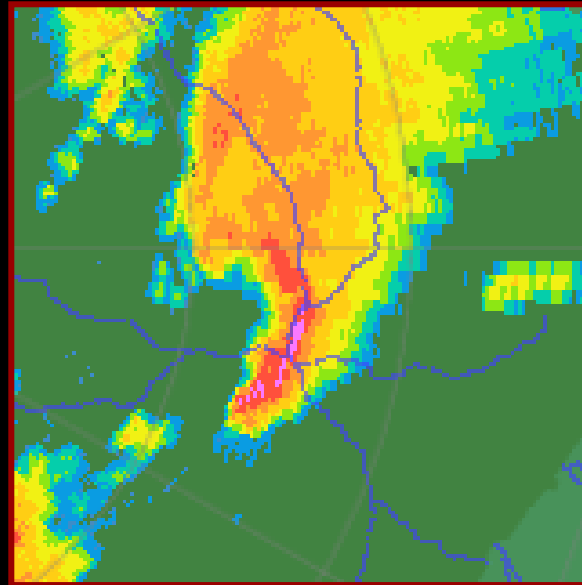
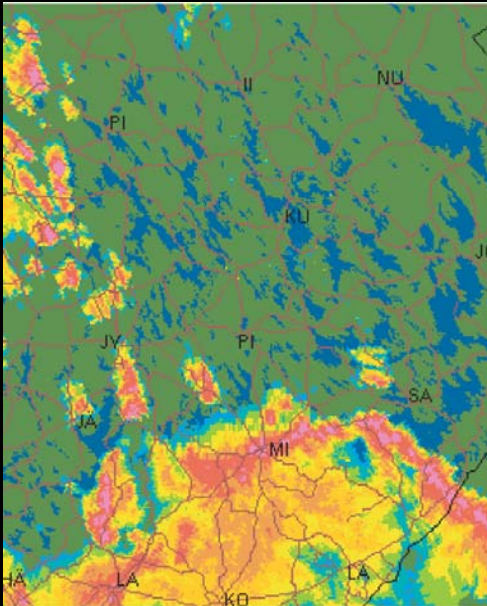


- Three-body scattered spike / flare echo / soihutkaiku

- Syy: tutkapulssien heijastuminen rakeista maahan ja rakeiden kautta takaisin tutkalle => solun taakse sarvi
- Hyödyt: tieto erittäin isoista rakeista
- Suomen tutkilla erittäin harvinainen



# Vaaraa aiheuttava konvektio näkyy tutkakuvissa...



... usein nopealiikkeisinä, kaareutuvina, pullistuvina ja katkeilevina nauhoina.

Kaarikaiut (bow echo), tutkakaiun aaltomaiset muodot (line echo wave pattern), takaosan kovertumat (rear inflow notch)