



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Ilmakehän jäätävien olosuhteiden havainnointi maanpinnalta tehtävän kaukokartoituksen avulla

Mika Komppula

Ilmatieteen laitos

Itä-Suomen Ilmatieteellinen tutkimuskeskus (Kuopio)

Muu työryhmä:

Ari Leskinen, Anne Hirsikko, Karoliina Hämäläinen, Simo Tukiainen, Antti Ruuskanen, Sami Niemelä, Sami Romakkaniemi, Kari Heikkinen, Jarkko Hirvonen & Jukka Julkunen (PV)

MATINE-rahoitus 2018: 81 892 eur

MATINE:n tutkimusseminaari 22.11.2018

- 1) Motivaatio**
- 2) Tavoitteet**
- 3) Taustaa**
- 4) Menetelmät**
- 5) Projektin tuloksia**
- 6) Jatkosuunnitelmat**



MOTIVAATIO

- **Ilma-aluksen jäätäminen** on merkittävä turvallisuusrisk, lisäksi aiheuttaa aikataulu- ja kustannuspaineita.
- Vaikuttaa **tuulienergian** tuotannon tehokkuuteen.
- Pilvien jäätävillä kerroksilla myös **ilmastovaikutus**, pilven faasi ratkaiseva pilvien säteilyominaisuuksille.



Image from Aviation
Education Multimedia
Library

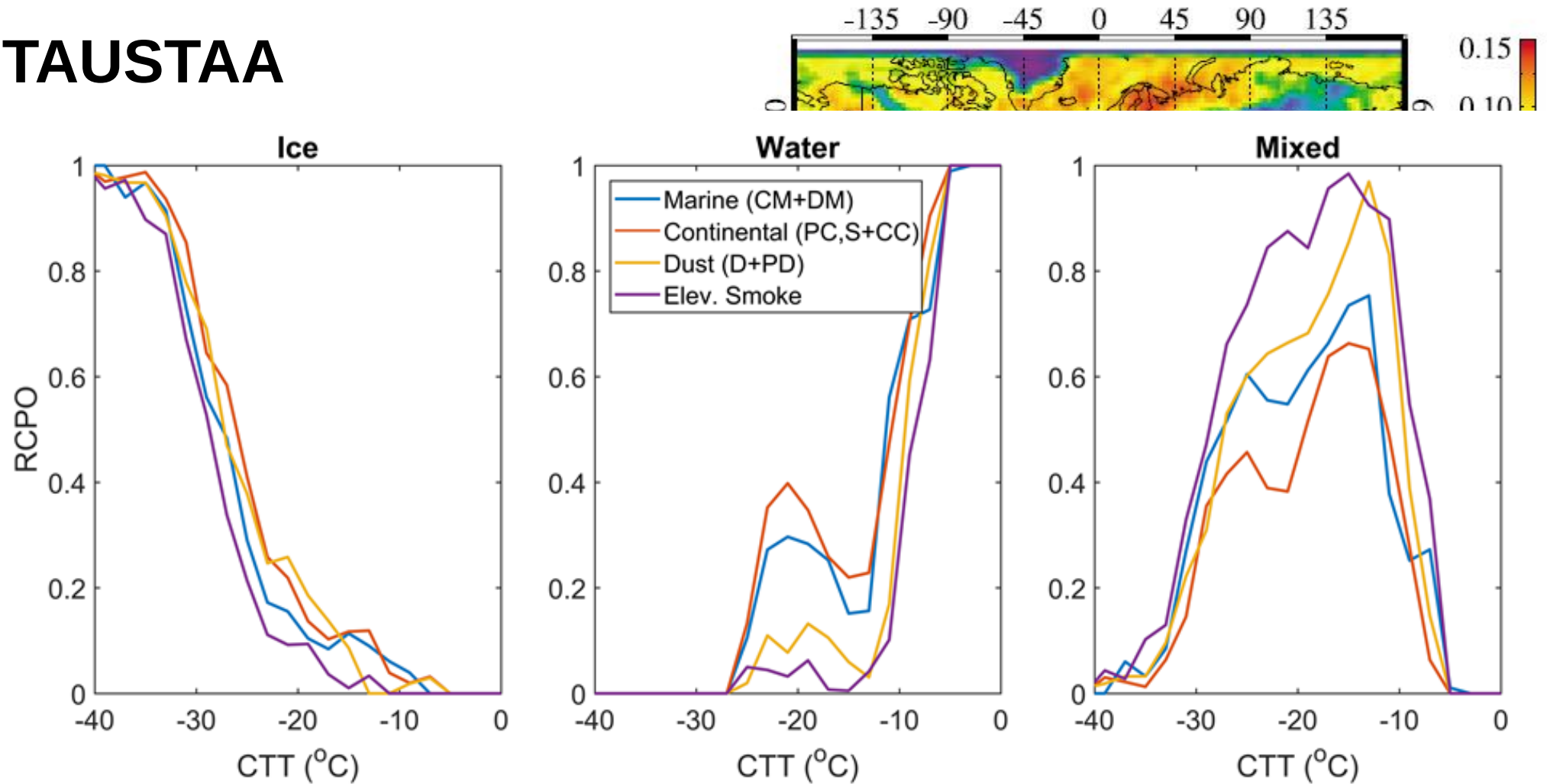


www.windpowerengineering.com

MOTIVAATIO

- **Ilma-aluksen jäätäminen** on merkittävä turvallisuushuoli, lisäksi aiheuttaa aikataulu- ja kustannuspaineita.
- Vaikuttaa **tuulienergia**n tuotannon tehokkuuteen.
- Pilvien jäätävillä kerroksilla myös **ilmastovaikutus**, pilven faasi ratkaiseva pilvien säteilyominaisuuksille.
- Malleissa paljon kehitettävää, ei ole reaaliaikaisia havaintoja → ilmiön suora mittaaminen on haastavaa.
- Tarve tietää jäätävien pilvien paikallinen ja ajallinen vaihtelu tarkemmin, reaaliajassa tai etukäteen.
- Mittausmenetelmät (kaukokartoitus ja in-situ) tarjoavat vahvan potentiaalin reaaliaikaisen tiedon lisäämiselle ja mallikehitykselle.

TAUSTAA



Pohjoisilla alueilla (62° ylöspäin) miltei kaikki matalat pilvet sisältävät nestemäistä vettä -30°C asti (Filioglou et al, käsikirjoitus).

TAVOITTEET

- Jäätävyyshavaintojen ja ennusteiden kehittäminen
 - Hyödynnetään olemassa olevaa ja uutta kerättävää aineistoa
 - Käynnistetään uusia mittauksia
 - Mallivertailu ja -kehitys
- Hyödyntäminen lentotoiminnan suunnittelussa ja toteutuksessa
 - Palaute ja jäätämishavainnot lennoilta



MENETELMÄT

- **In-situ jäätävyyssanturit (Goodrich, Labkotec & Saab)**
 - Pistemittaus: jäätäminen (on/off), jäätämisen voimakkuus
- **Pilvenkorkeusmittarit eli Ceilometrit (Vaisala CT25K, CL31 & CL51)**
 - Raakadatasta ”sironnan pystyprofiilit”, joista pilvet ja jäätäminen
- **Jäätämismalli**
 - Jään kertymänopeus (pystyprofiilit)



Lidarin / ceilometrin toimintaperiaate

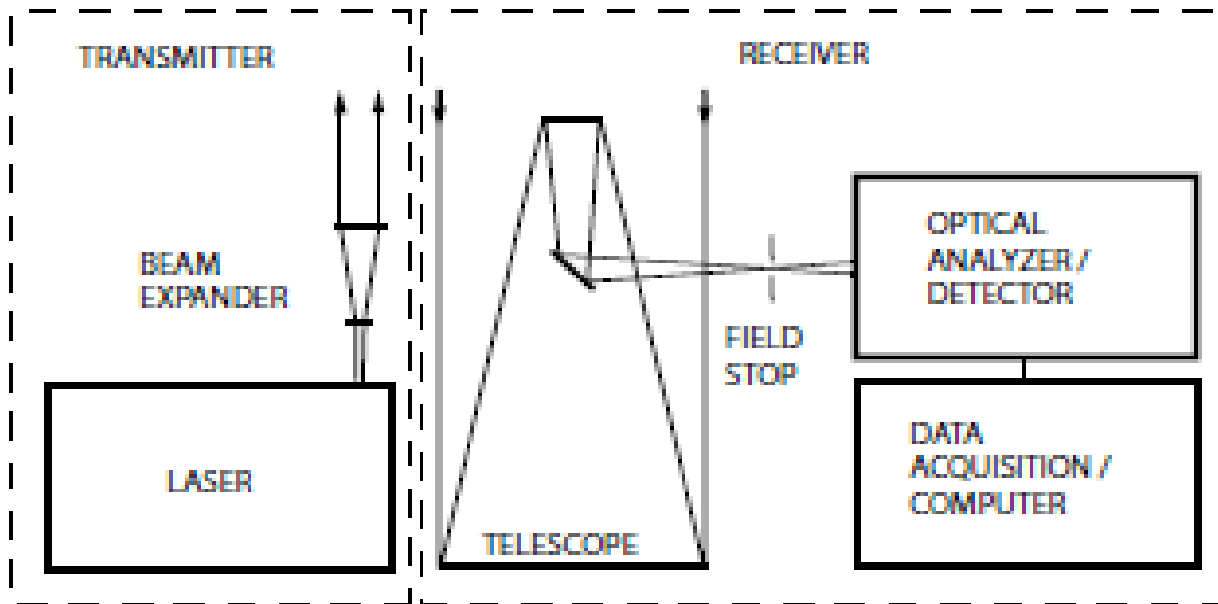
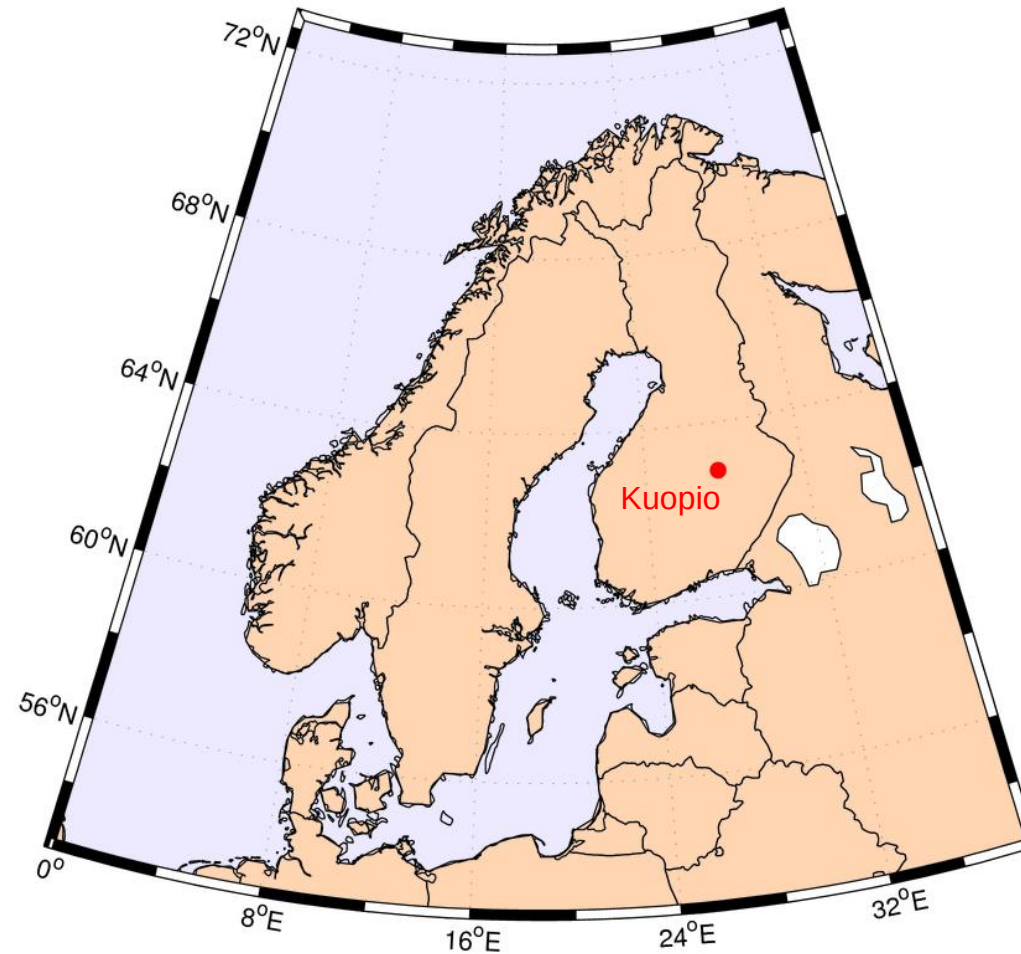


Fig. 1.1. Principle setup of a lidar system.



Kaksi mittausasemaa Kuopiossa

Puijon torni

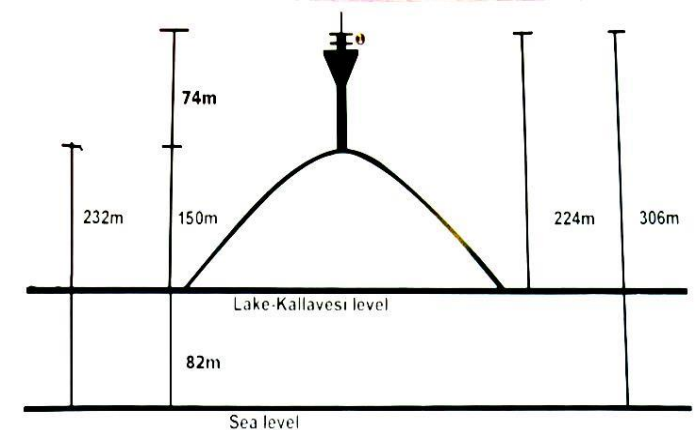
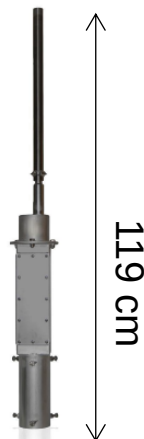
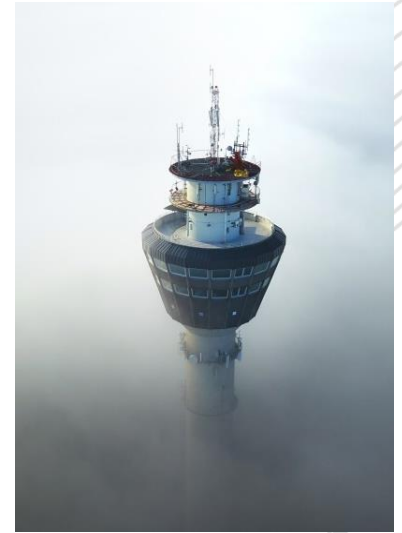


Vehmasmäen masto



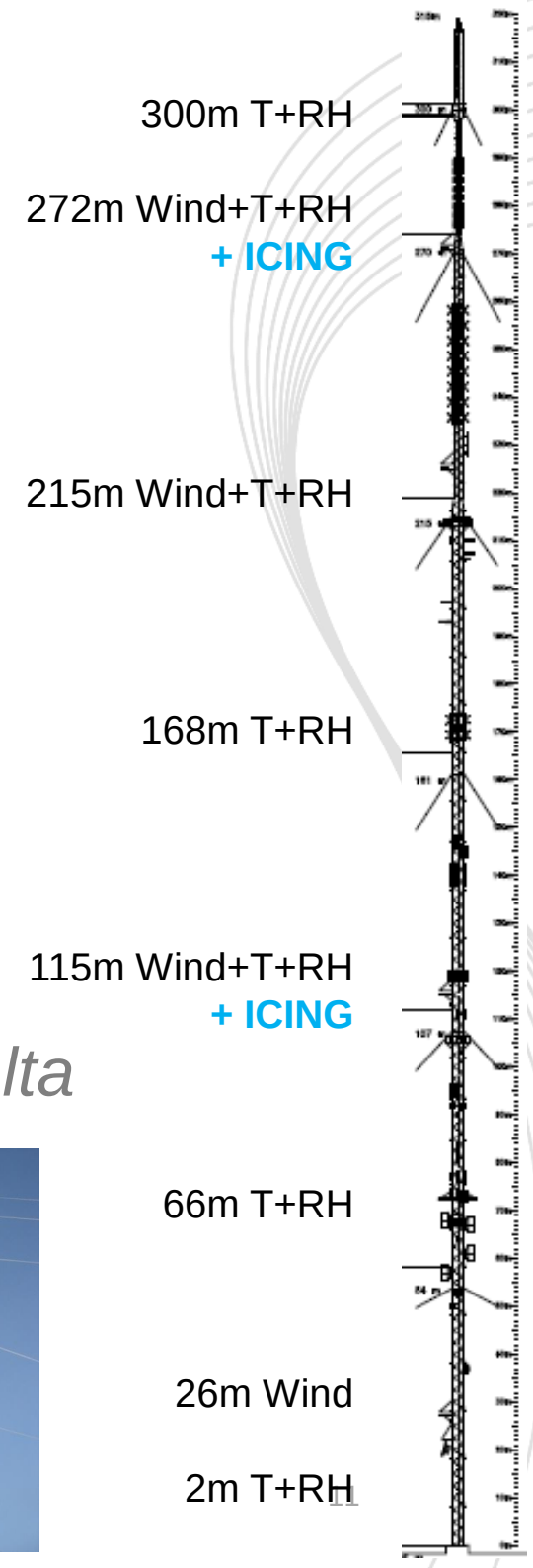
Mittausasemat – Puijon torni

- 224 m paikallisen järven pinnan yläpuolella
- Asema pilven sisällä noin 15 % ajasta
- **Jäätävyyssanturit** 2009 alkaen
- **Ceilometri** CT25K Savilahdessa **2012 alkaen**
- Sääparametrit (tuuli, lämpötila, paine, kosteus, näkyvyys, sademäärä ja -tyyppi), 2005 alkaen
- Hiukkasten ja **pilvipisaroiden kokojakaumat**, 2006 alkaen



Mittausasemat - Vehmasmäki

- 20 km Kuopiosta, 318 m masto
- **Jäätävyyssanturit** (115 & 272 m)
 - 12/2016 alkaen
- Vaisala CL51 **ceilometri** (pilvenkorkeusmittari)
- Halo Doppler lidar (tuulilidar)
- PollyXT Raman lidar (7 mittauskanavaa)
- *Doppler pilvitutka (Metek Mira-36)*
- *Säätutka (kaksoispolarisaatiotutka), 15 km asemalta*

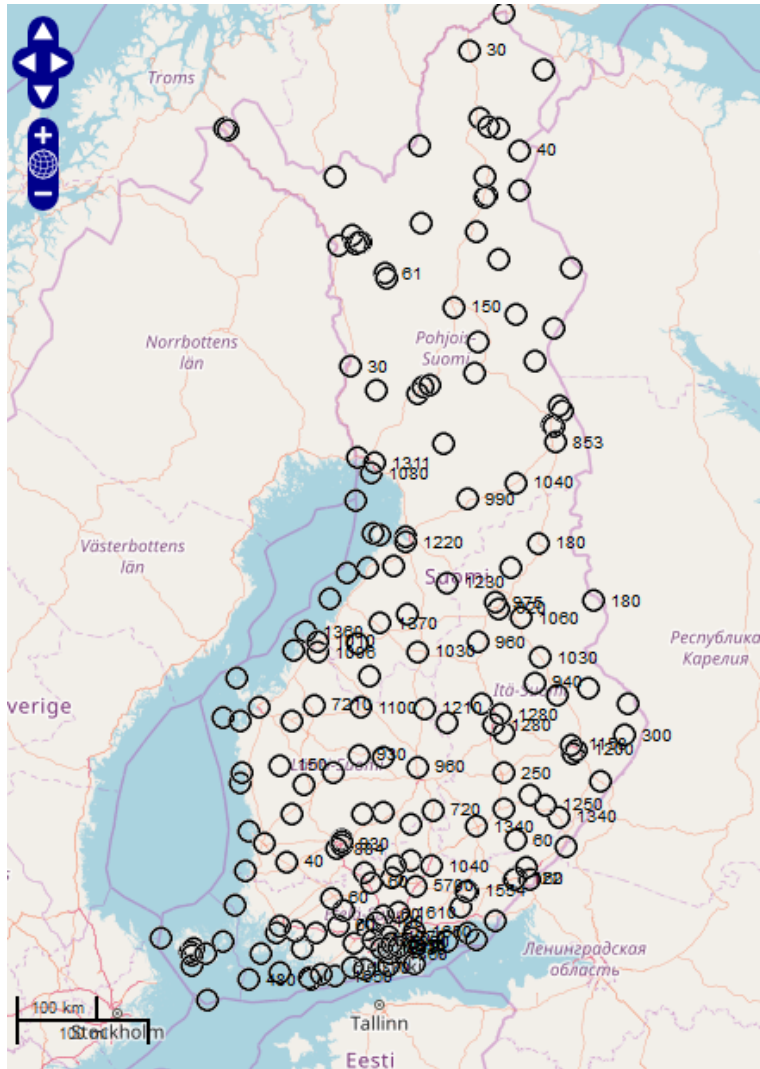


Tikkakoski

- Vaisala CT25K **ceilometri**,
 - Profiilidataa 5/2017 alkaen
- 2 kpl CL31 ceilometria asennettu kiitotien päihin
 - Eivät vielä operatiivisia (alustavasti 2019 aikana)
- Halo Doppler -tuulilidari 2-5/2017 ja 1-3/2018 koemittauksissa
- **Lentäjäpalaute jäätämishavainnoista**



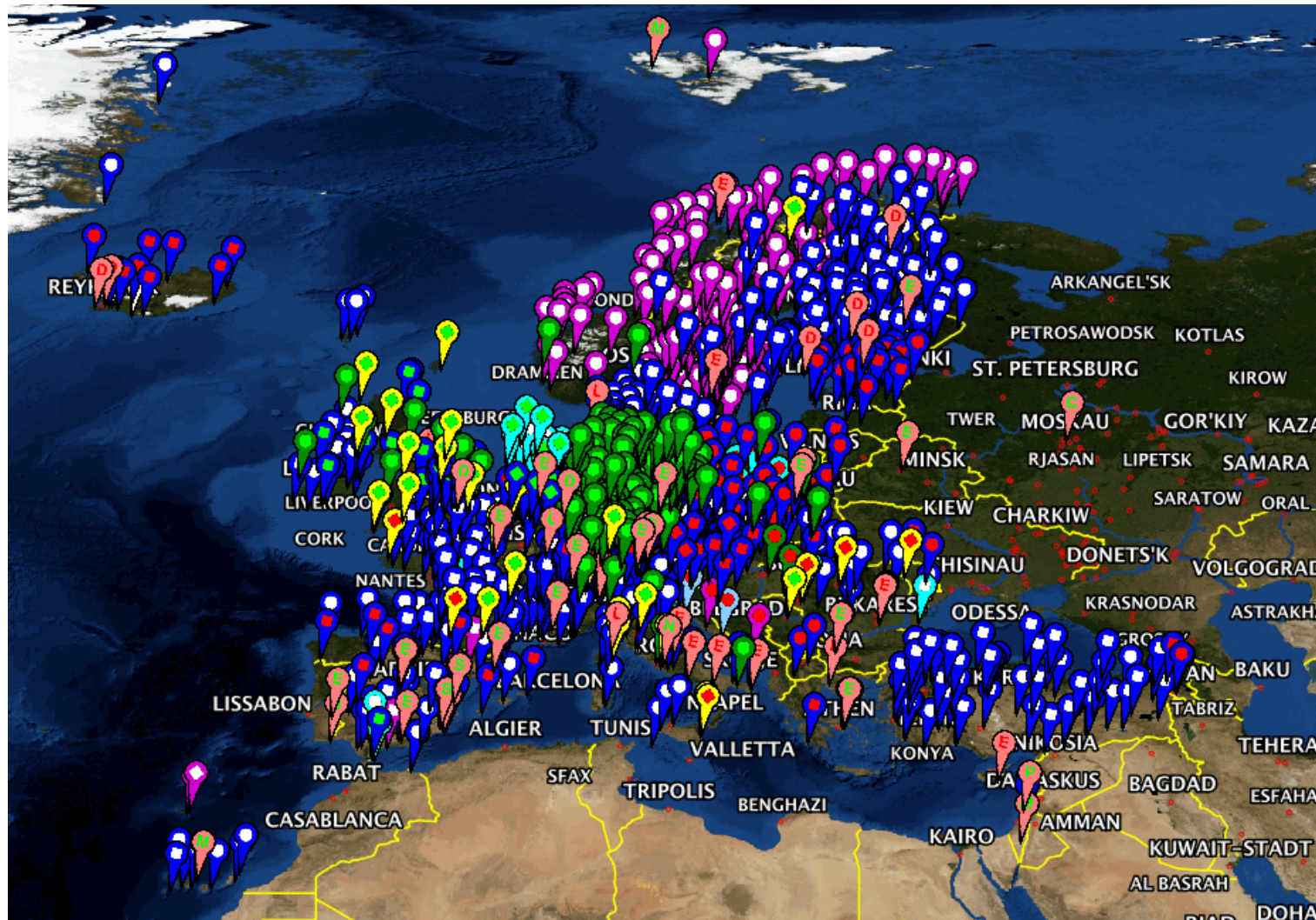
Ceilometrit Suomessa



- Pilvenkorkeusmittareita eli ceilometrejä on Suomessa noin 100 kpl operatiivisessa käytössä.
- Näistä noin 10 kpl tuottaa tällä hetkellä profiilidataa tutkimuskäyttöön.



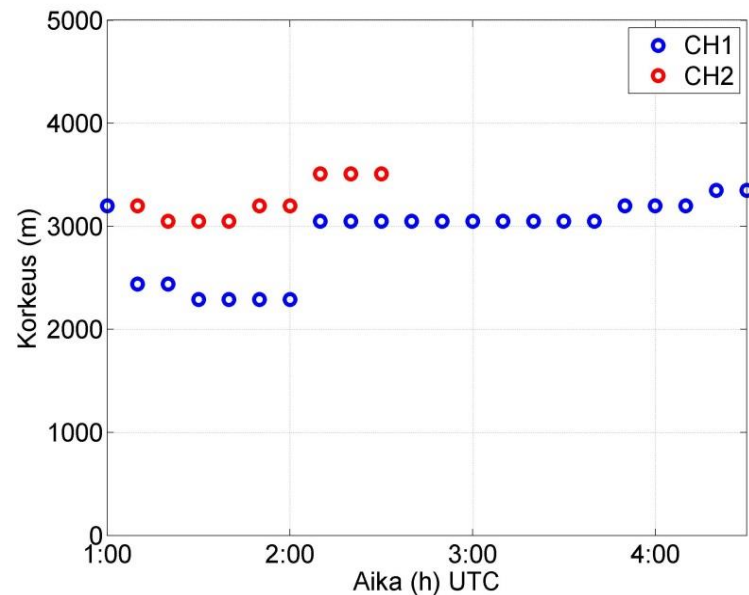
Ceilometrit/lidarit Euroopassa



http://www.dwd.de/DE/forschung/projekte/ceilomap/ceilomap_node.html

ESIMERKKI – Jäätävän kerroksen havainnointi

- Kuopio 9.3.2015

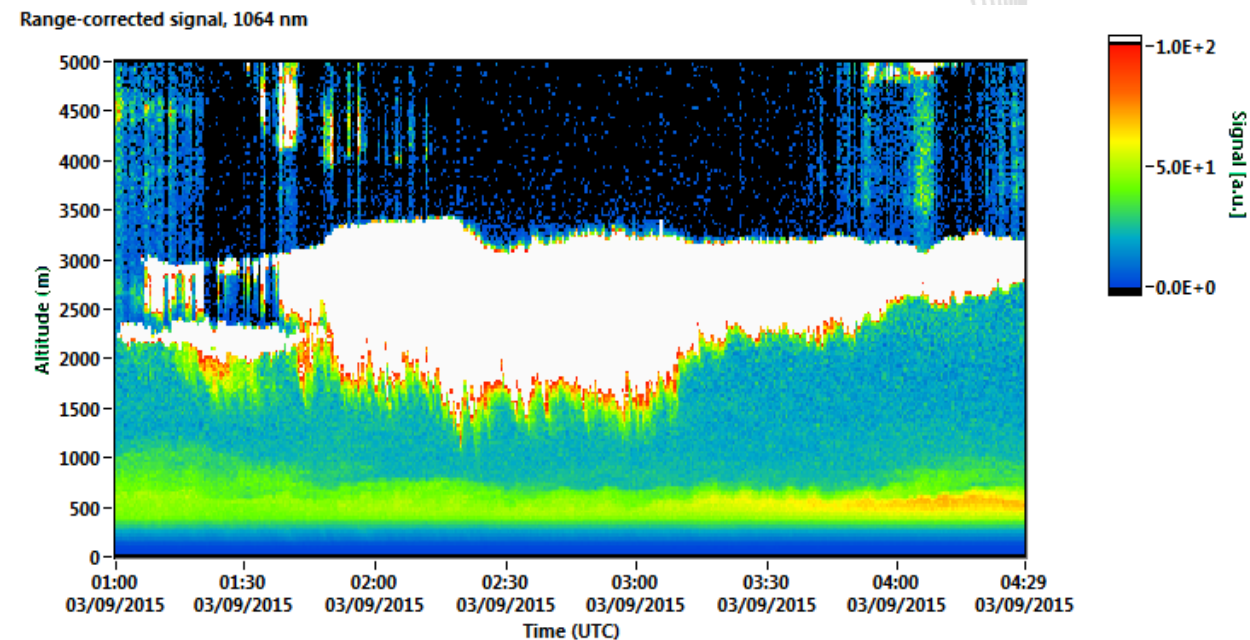
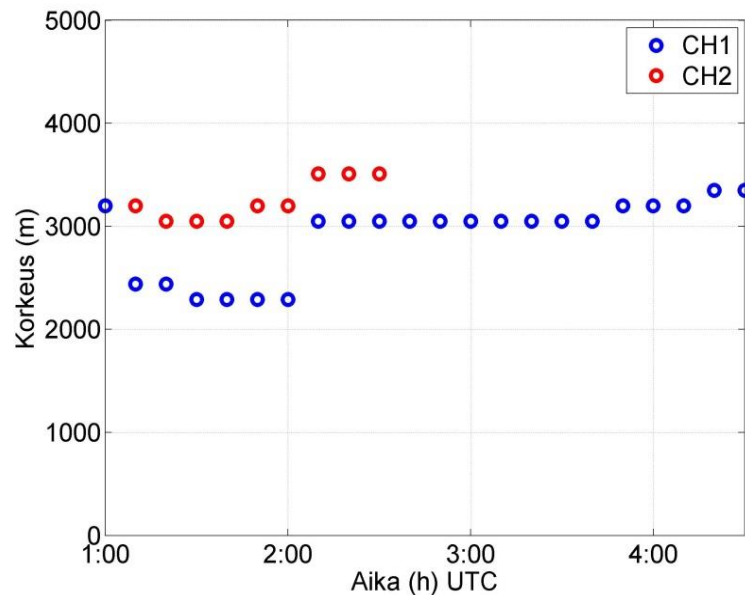


Ceilometrin ”normaali” operatiivinen pilvenkorkeus informaatio

- Pilven alapinnan korkeus, tässä kaksi pilvikerrosta

ESIMERKKI – Jäätävän kerroksen havainnointi

- Kuopio 9.3.2015



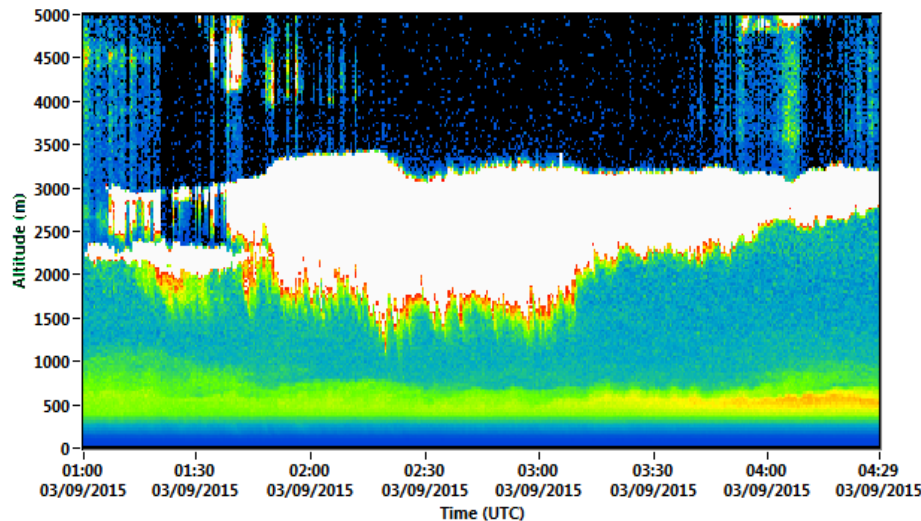
Tutkimuslidarin takaisinsirontaprofiili aikasarjana (oikealla)

- Pilvestä suuri signaali (näkyv valkoisena kuvassa)
- Havaitaan ala ja yläpinnat (suuressa osassa tapauksista)

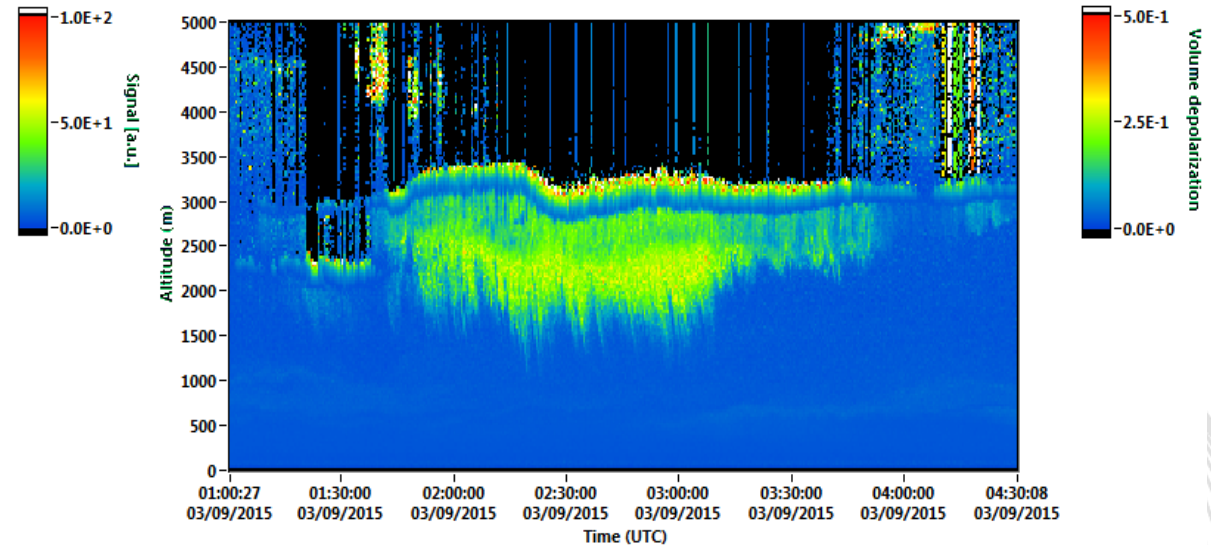
ESIMERKKI – Jäätävän kerroksen havainnointi

- Kuopio 9.3.2015

Range-corrected signal, 1064 nm



Calibrated volume depolarization ratio at 532 nm

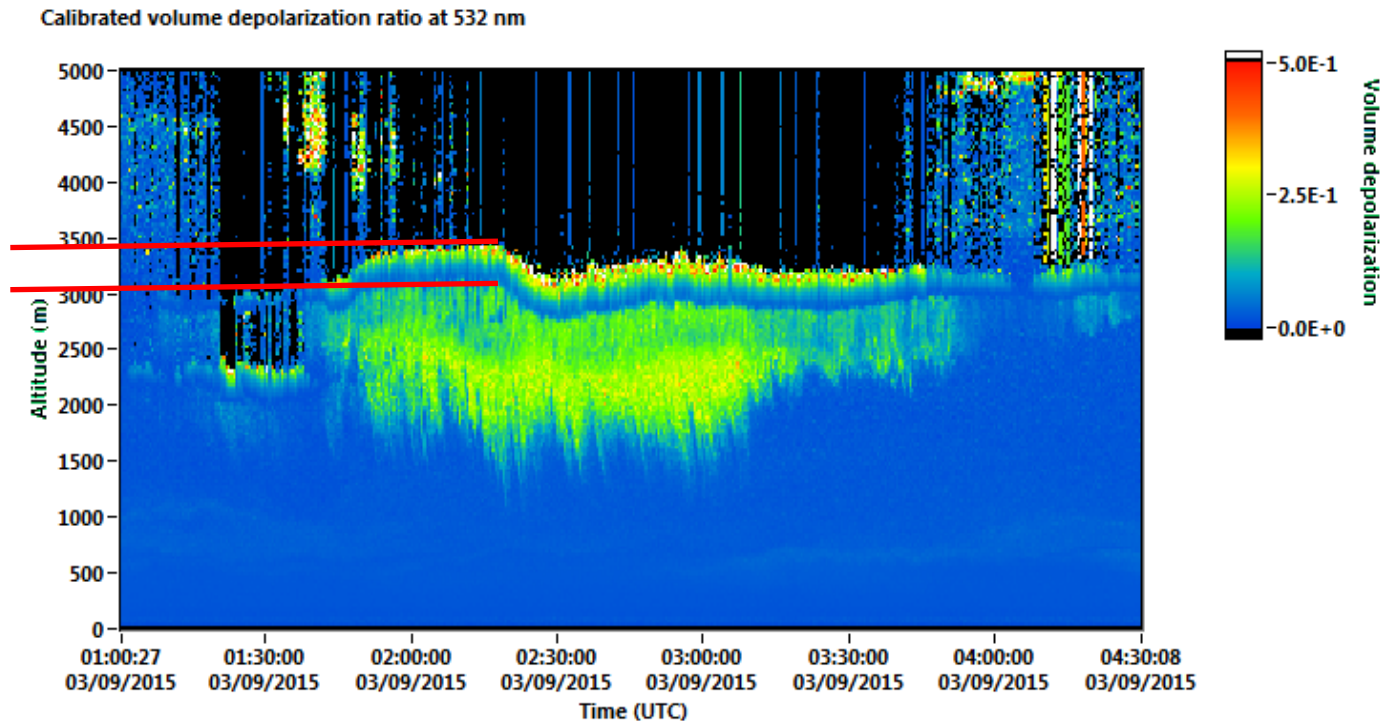


Tutkimuslidarin depolarisaatioprofiili (oikealla)

- Kertoo sirottavan kohteen muodosta (pyöreä pisara / jääkide)
- Paljastaa alijäähtyneen vesikerroksen (jää)pilven yläosassa (lämpötila 3km korkeudella -15°C)

ESIMERKKI – Jäätävän kerroksen havainnointi

- Kuopio 9.3.2015



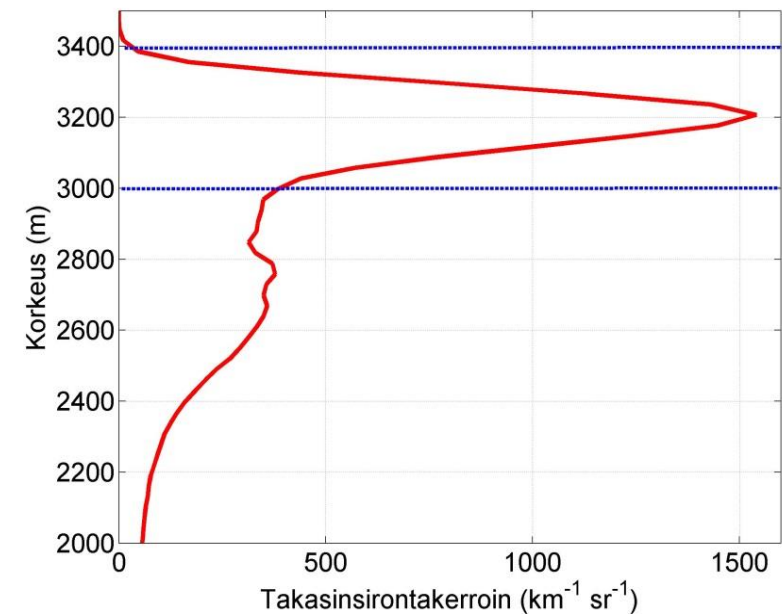
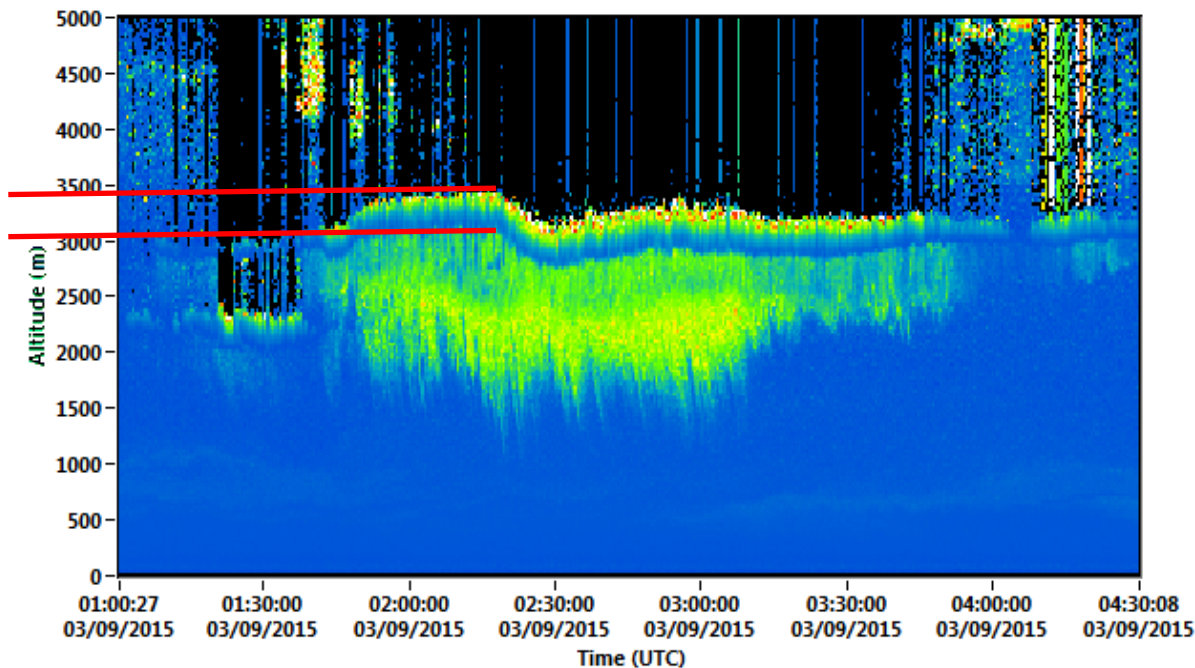
Lidarin depolarisaatioprofiilista

- Vesikerroksen sijantikorkeus 3000-3400 m (1:50-2:20)
- Vaihtelee ajan mukaan

ESIMERKKI – Jäätävän kerroksen havainnointi

- Kuopio 9.3.2015

Calibrated volume depolarization ratio at 532 nm



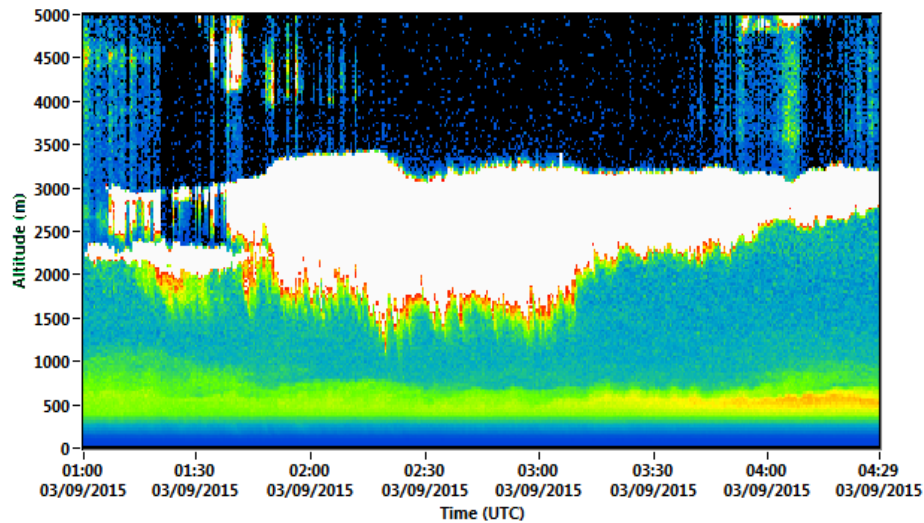
Lidarin takaisinsirontaprofiili zoomattuna (1:50-2:20)

- Vesikerroksen sijaintikorkeus 3000-3400 m
- Voidaan tunnistaa sirontaprofiilista (ceilometri), mutta polarisaatio varmistaa faasin

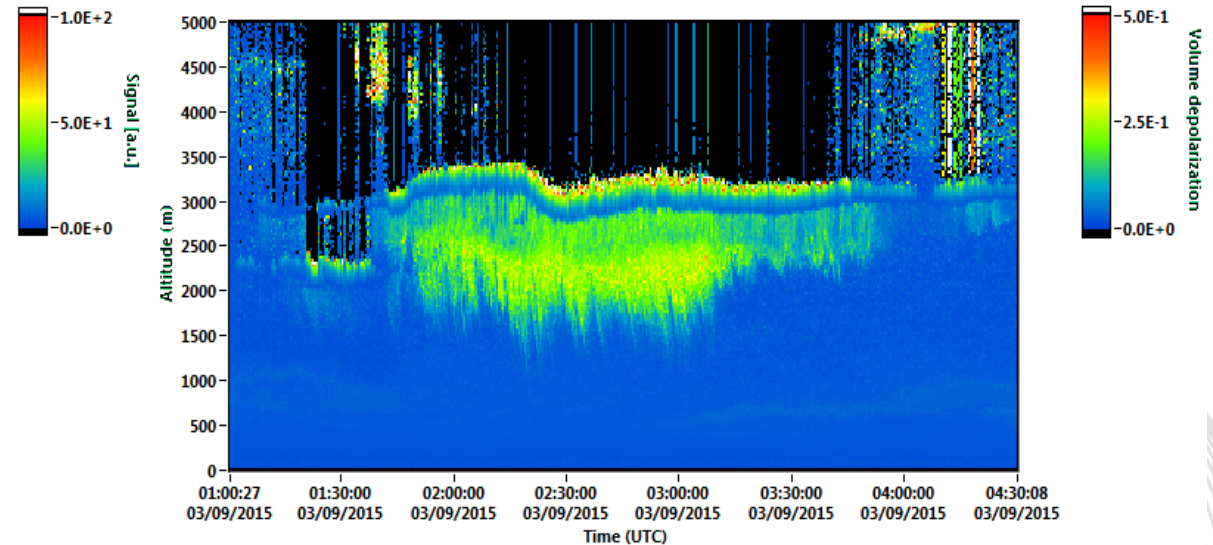
ESIMERKKI – Jäätävän kerroksen havainnointi

- Kuopio 9.3.2015

Range-corrected signal, 1064 nm



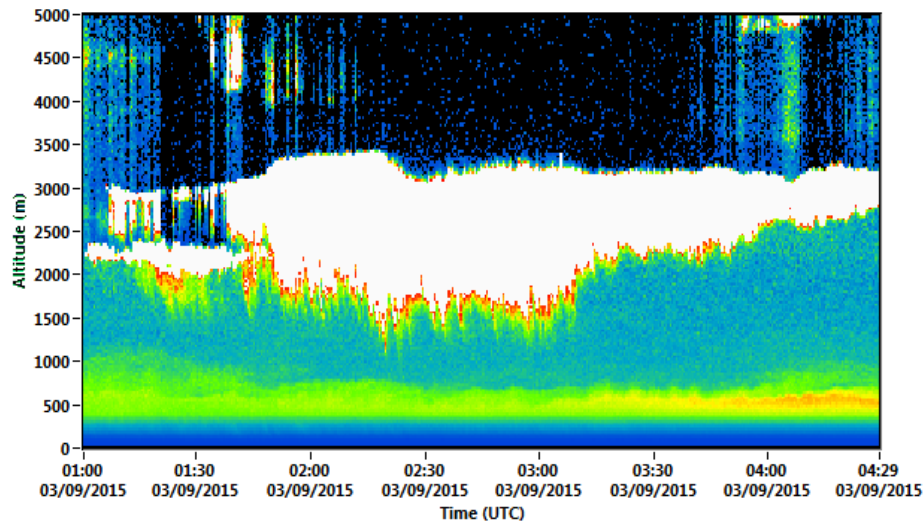
Calibrated volume depolarization ratio at 532 nm



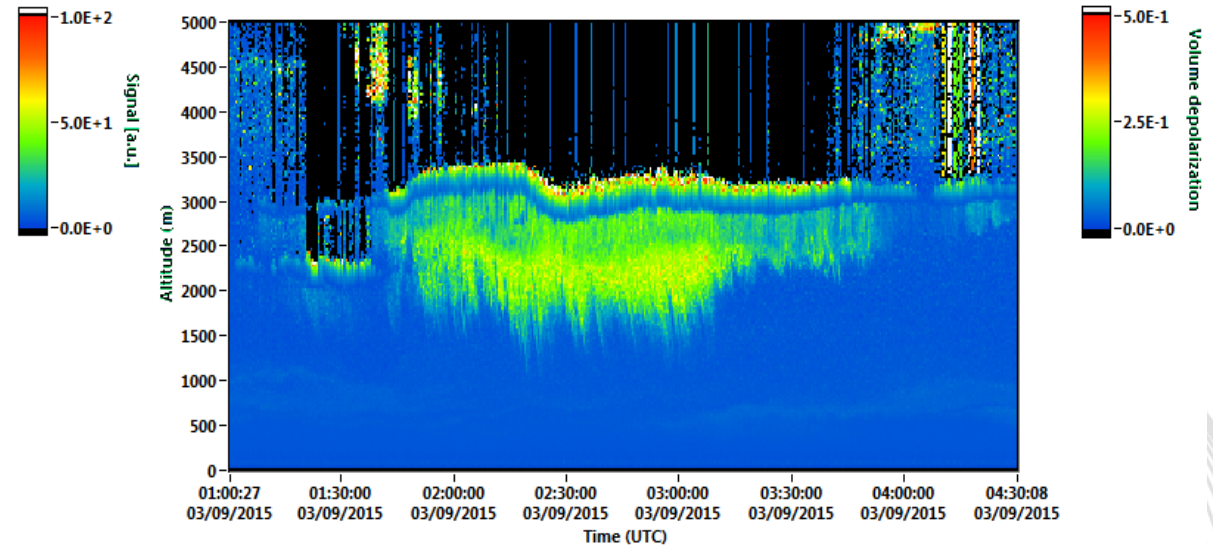
ESIMERKKI – Jäätävän kerroksen havainnointi

- Kuopio 9.3.2015

Range-corrected signal, 1064 nm

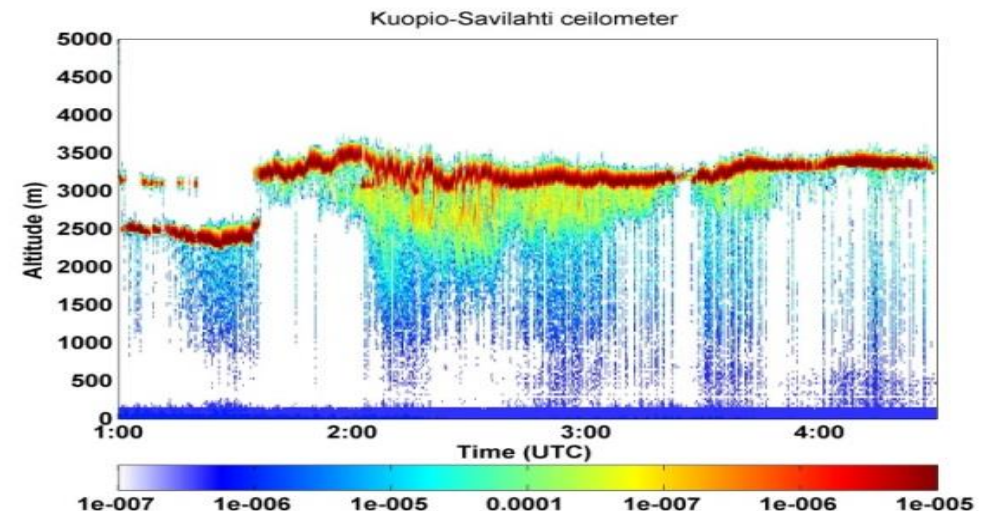


Calibrated volume depolarization ratio at 532 nm

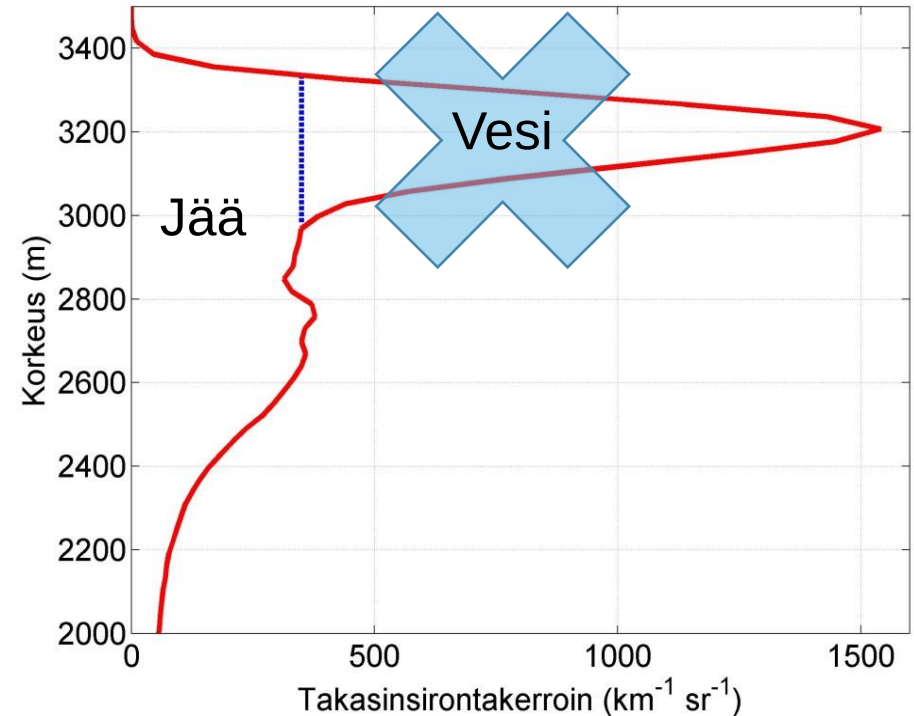
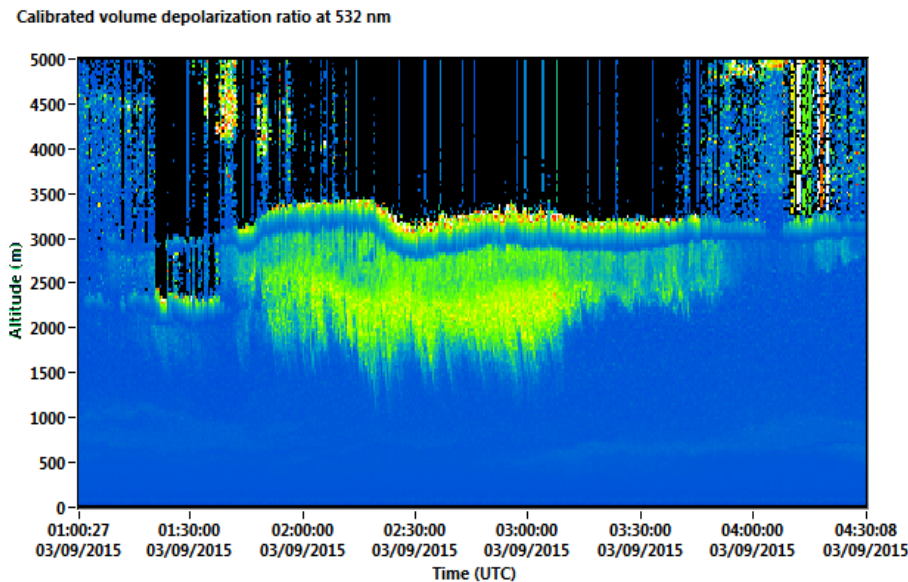


Ceilometrin takaisinsirontaprofiili

- Vesikerros erottuu suurena takaisinsirontana ceilometrillä (punainen väri oikealla)



Vesikerroksen ilmastovaikutukset



Vesikerroksella suuri vaikutus pilven säteilyominaisuuksiin

- Jos koko pilven oletetaan olevan jäätä, jää puolet pilven säteilyvaikutuksesta huomioimatta



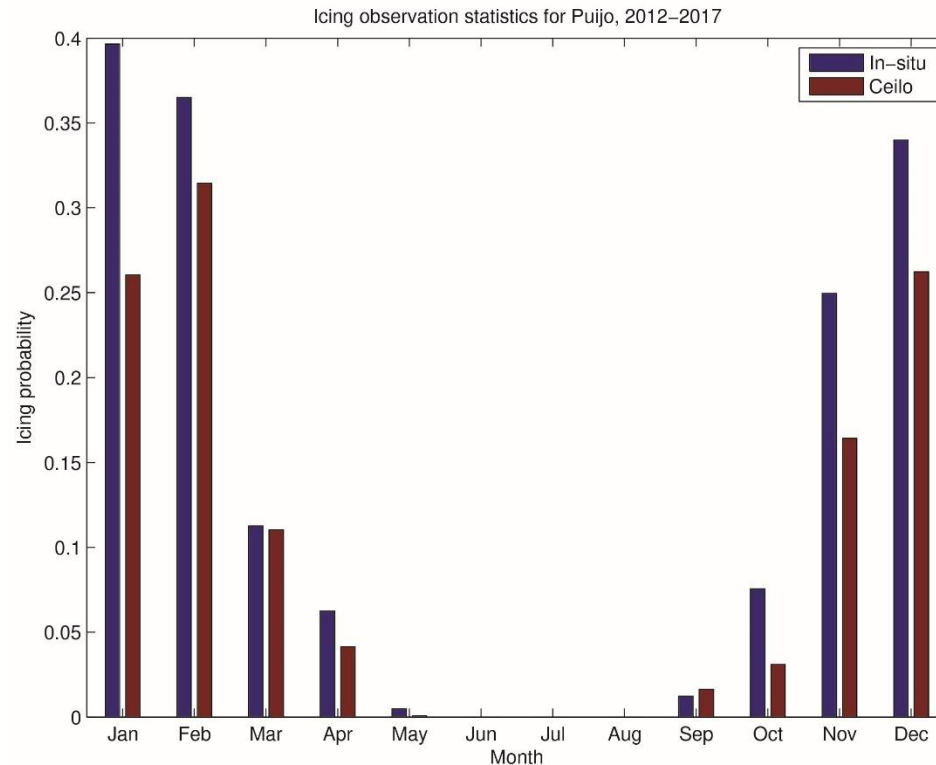
PROJEKTIN TULOKSIA

PROJEKTIN TULOKSIA (1)

- Puijon ja arkistodata käyty läpi vuosilta 2009-2018 (talvi)
 - Jäätävyyssanturit, ceilometri, säädata, pilvipisaradata
- Vehmasmäen datasta vertailtu masto vs. ceilometri vs. malli
 - Toteutettu aikajaksolle 1.1.-16.2.2017 (maaliskuu 2018)
- Ceilometrasta tehty jäätävyystuote valmiina ja reaaliaikaisena
- Jäätämismallin valikoidut ennusteprofiilit operatiivisessa ajossa
 - Mallidata päivittyy 4 kertaa vuorokaudessa
 - Ajossa 9 asemaa vertailuja varten
- Tikkakoskella uusia mittauksia (ceilometri & Halo lidar)

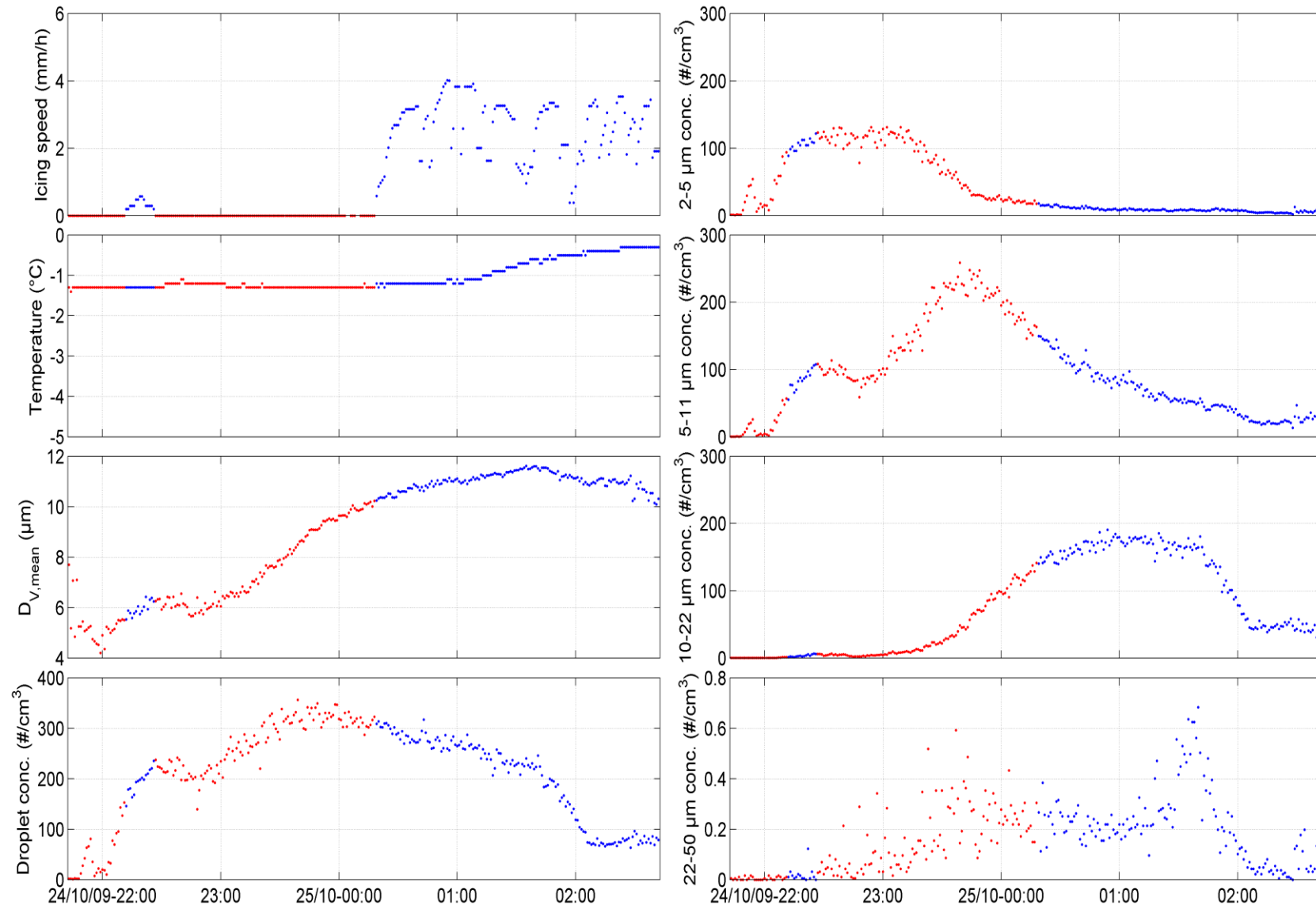
PROJEKTIN TULOKSIA

- Puijon jäätävyyssanturien (224 m järven pinnan yläpuolella) ja Savilahden ceilometrin havaitsemat jäätämistapaukset (%)

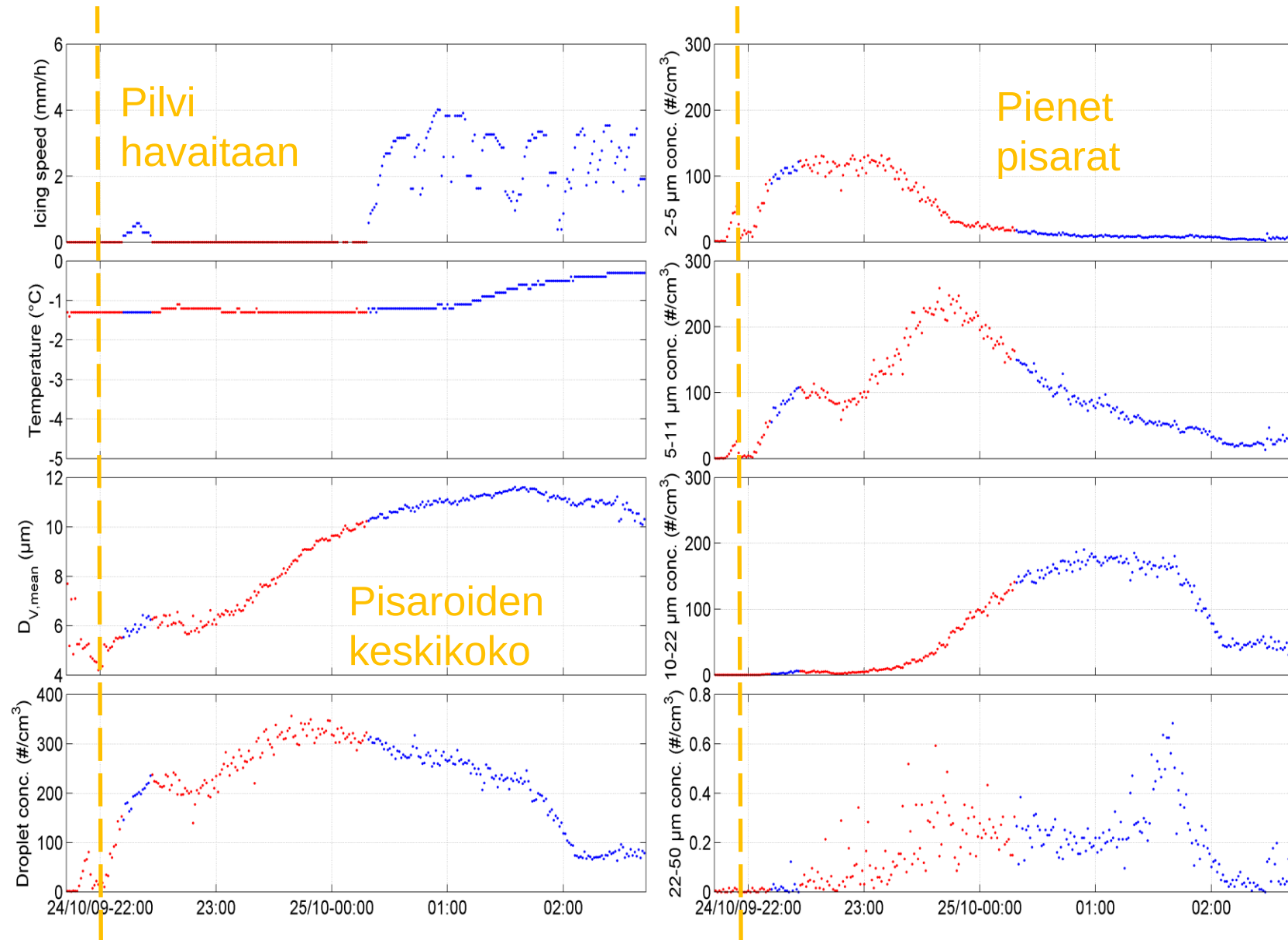


- Ceilometri-analyysissä käytetty mallilämpötila on korkeampi kuin havaittu

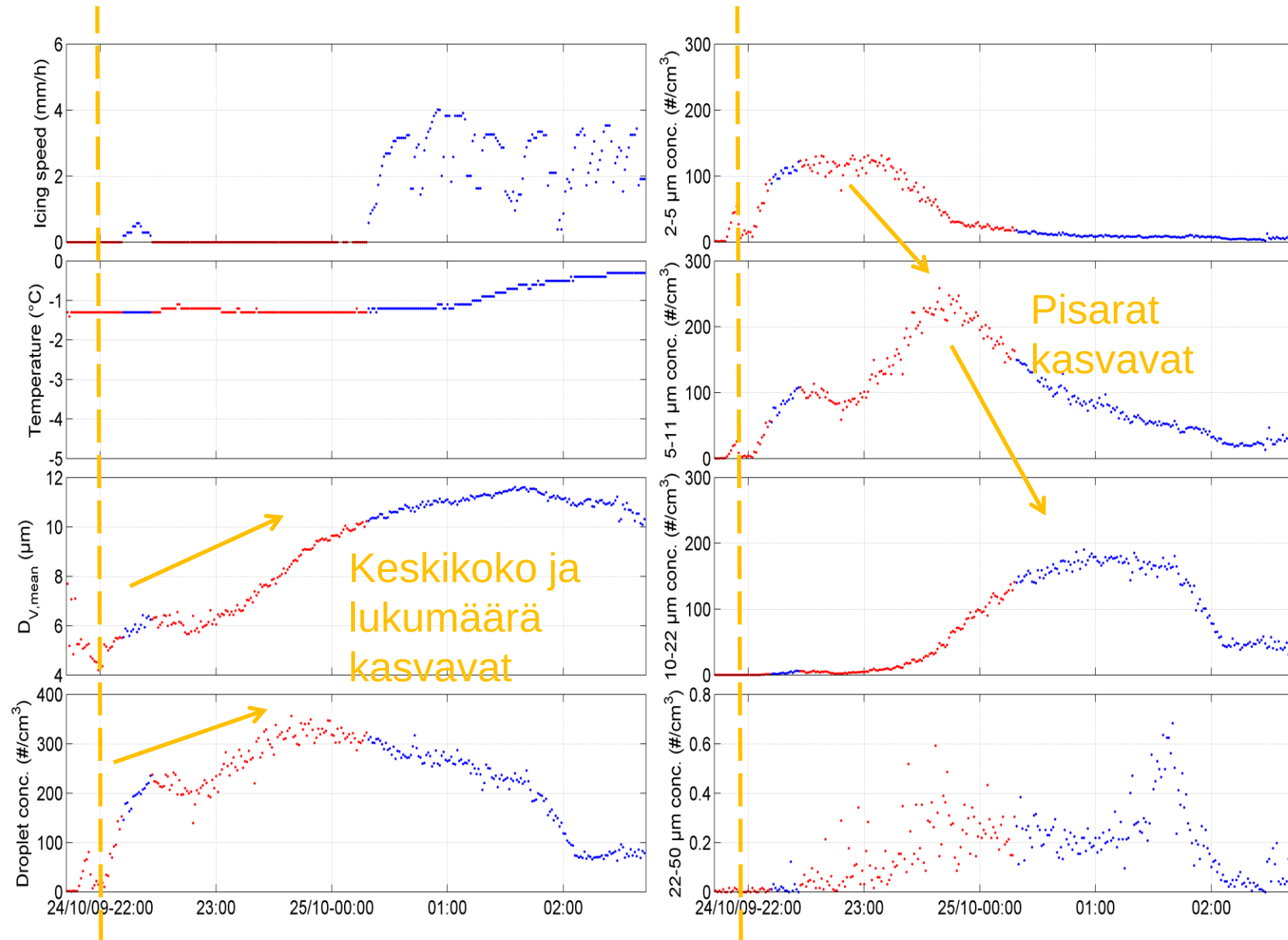
Pilvipisaroiden koko ja lukumäärä - jäätämistapaus (1)



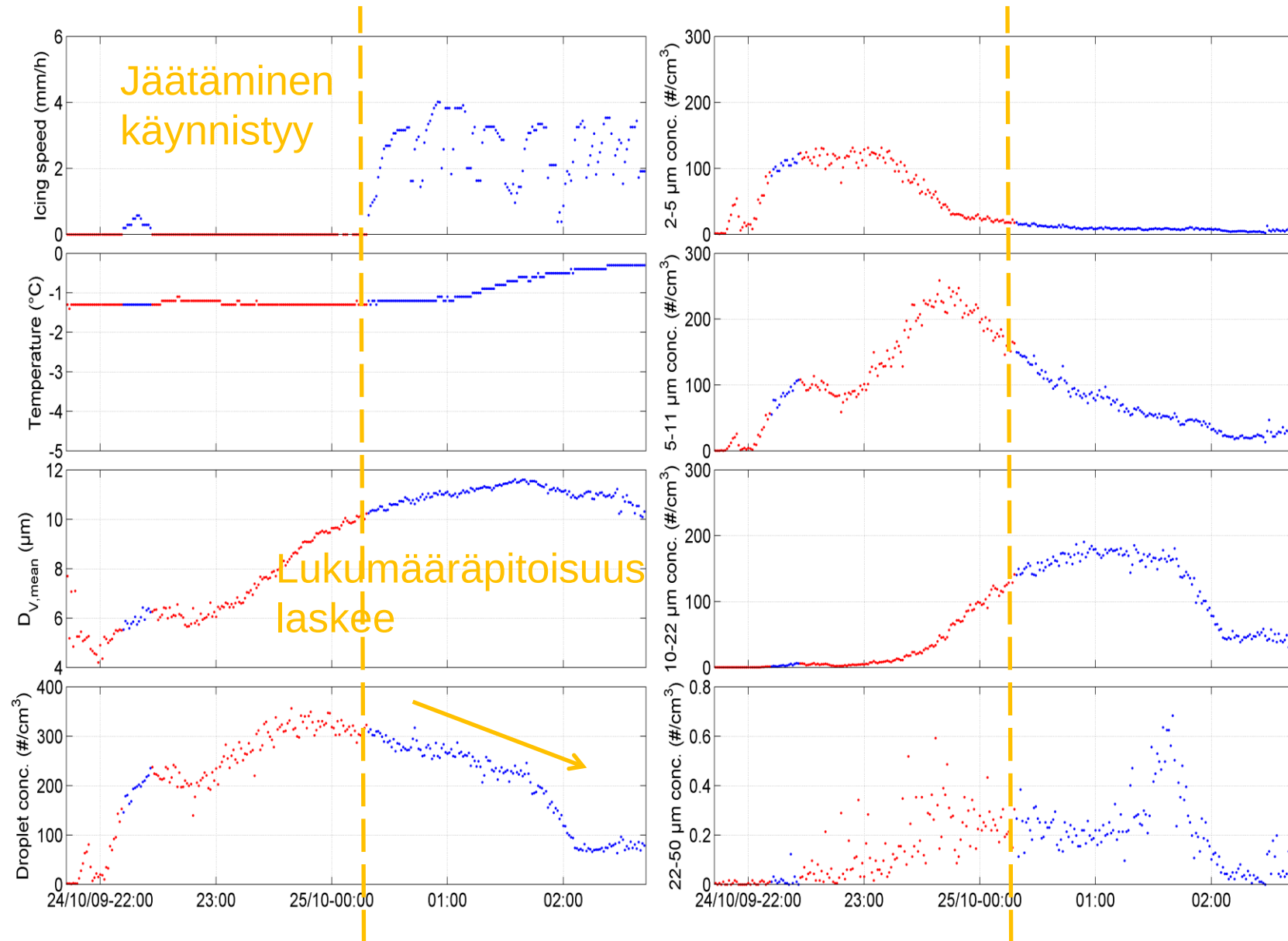
Pilvipisaroiden koko ja lukumäärä - jäätämistapaus (1)



Pilvipisaroiden koko ja lukumäärä - jäätämistapaus (1)



Pilvipisaroiden koko ja lukumäärä - jäätämistapaus (1)

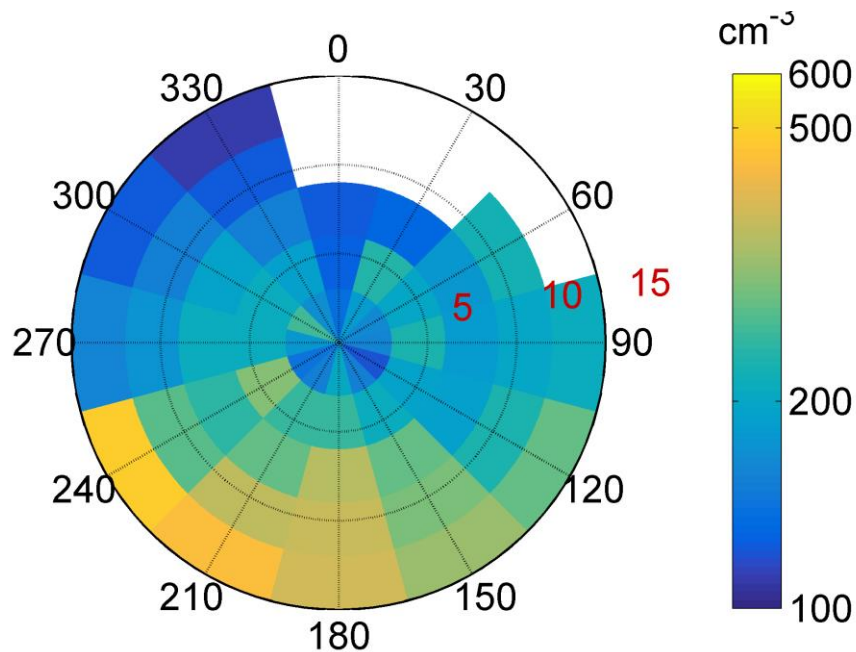


punainen = ei jäätävää, sininen = jäätävää

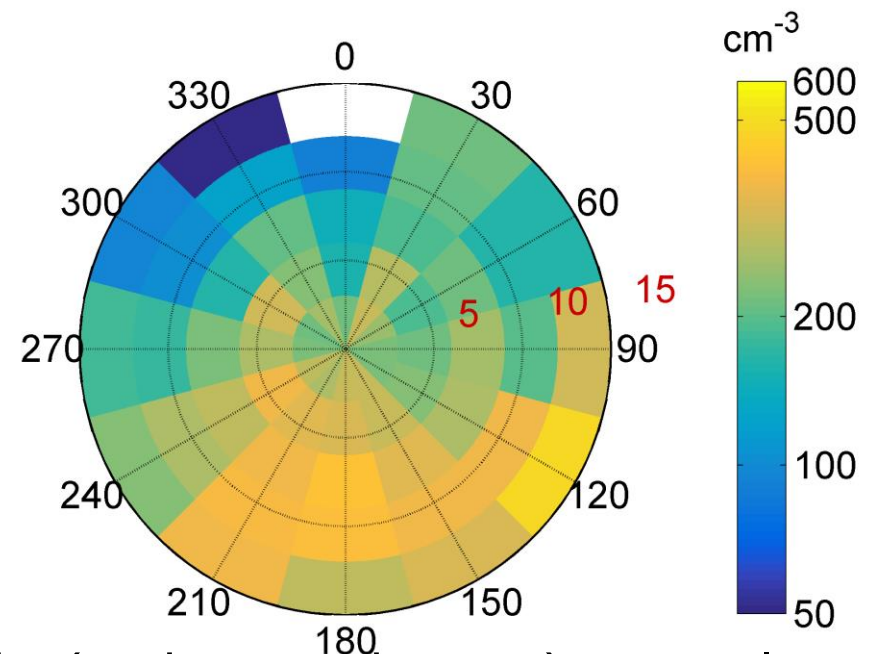
Pilvipisaroiden koko ja lukumäärä – ilmakehän pienhiukkaset

- Pilvipisaroiden lukumääräpitoisuus riippuu pienhiukkasten lukumääräpitoisuudesta (data Puijolta)

Pilvipisarakonsentraatio



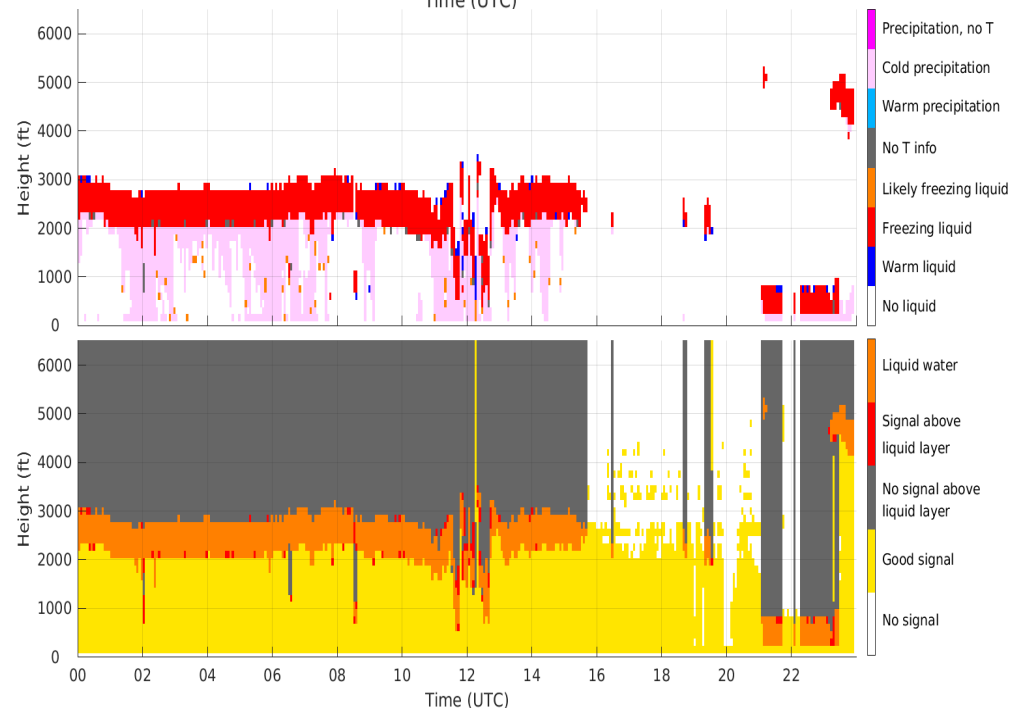
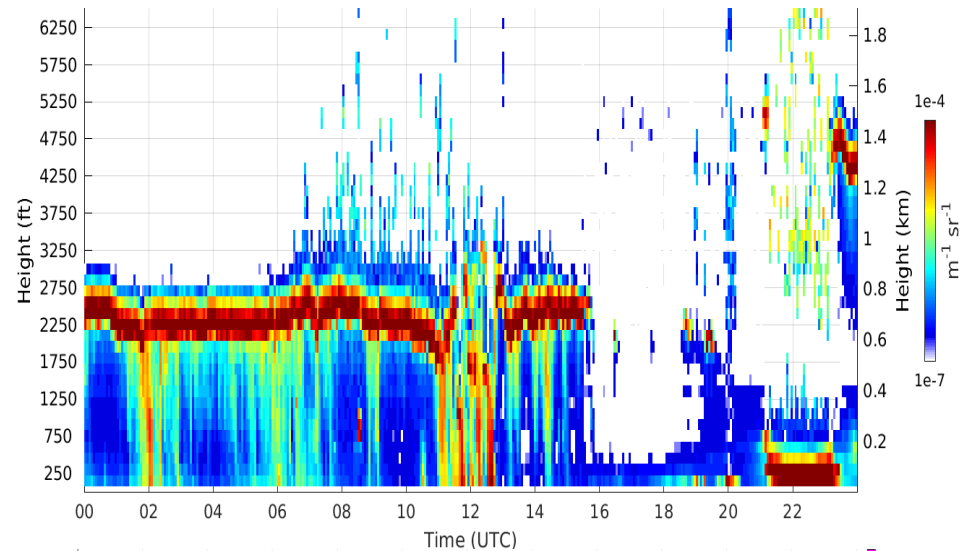
Pienhiukkaskonsentraatio



- Enemmän pisaroita -> pienempi keskikoko (vesimäärä ei muutu) -> matalampi jäätävyys?

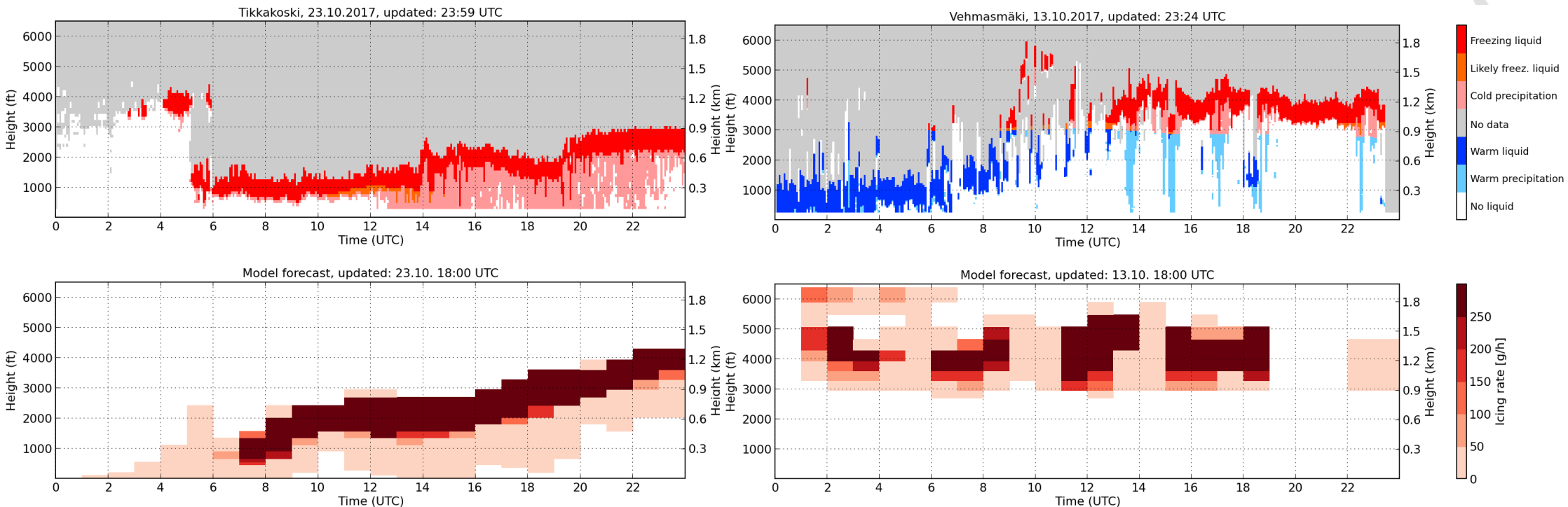
Ceilometrin profiilidata ja jäätämislukittelu

- Raakadata (kuva 1) yhdistetään mallin lämpötilatiedon kanssa, jolloin
- Jäätämislukittelussa (kuva 2) voidaan esittää vesikerroksen tai sateen jäätämispotentiaalia.
- Signaalista määritetään myös luotettavan datan korkeusalue (kuva 3)



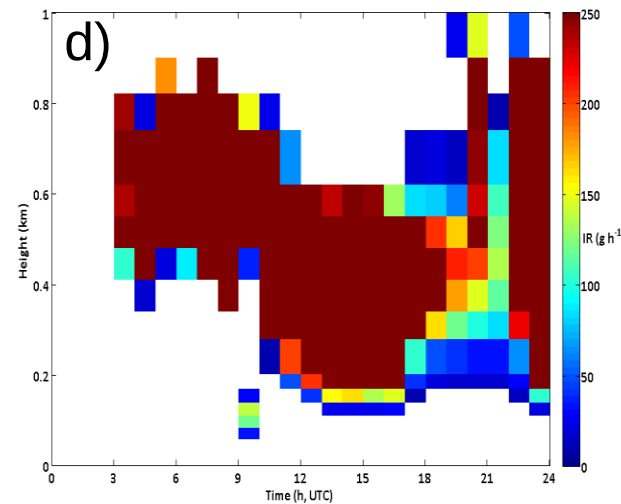
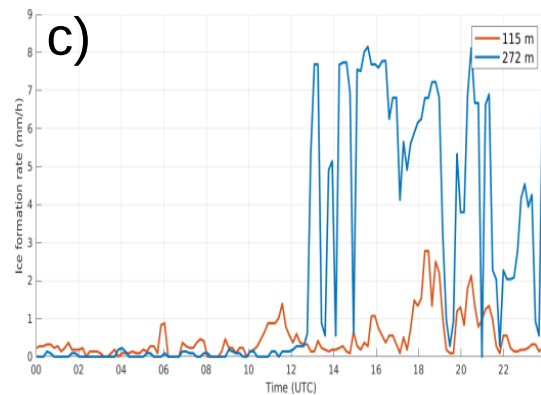
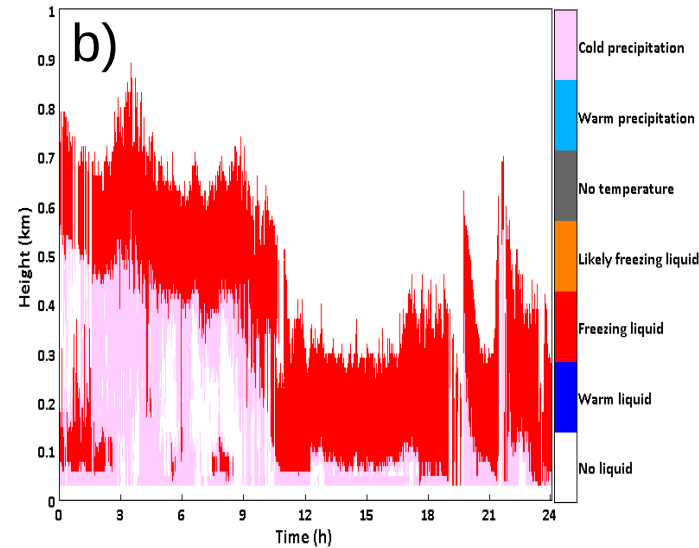
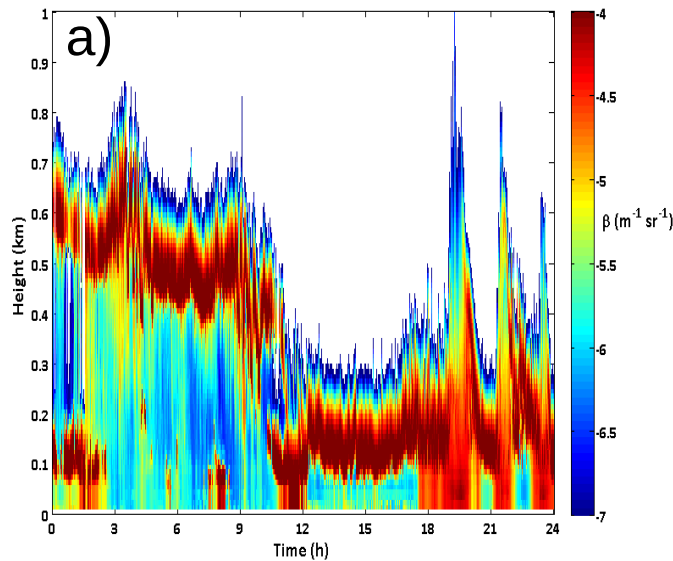
Ceilometrin profiilidata ja jäätämislukittelu

- Yksinkertainen yhden sivun yhdistelmäkuva jäätämislukittelusta ja datan luotettavuudesta (ylärivin esimerkkikuvat) sekä jäätämismallin ennusteesta (alarivi)
- Tuote esitetään reaaliaikaisena webbisivulla

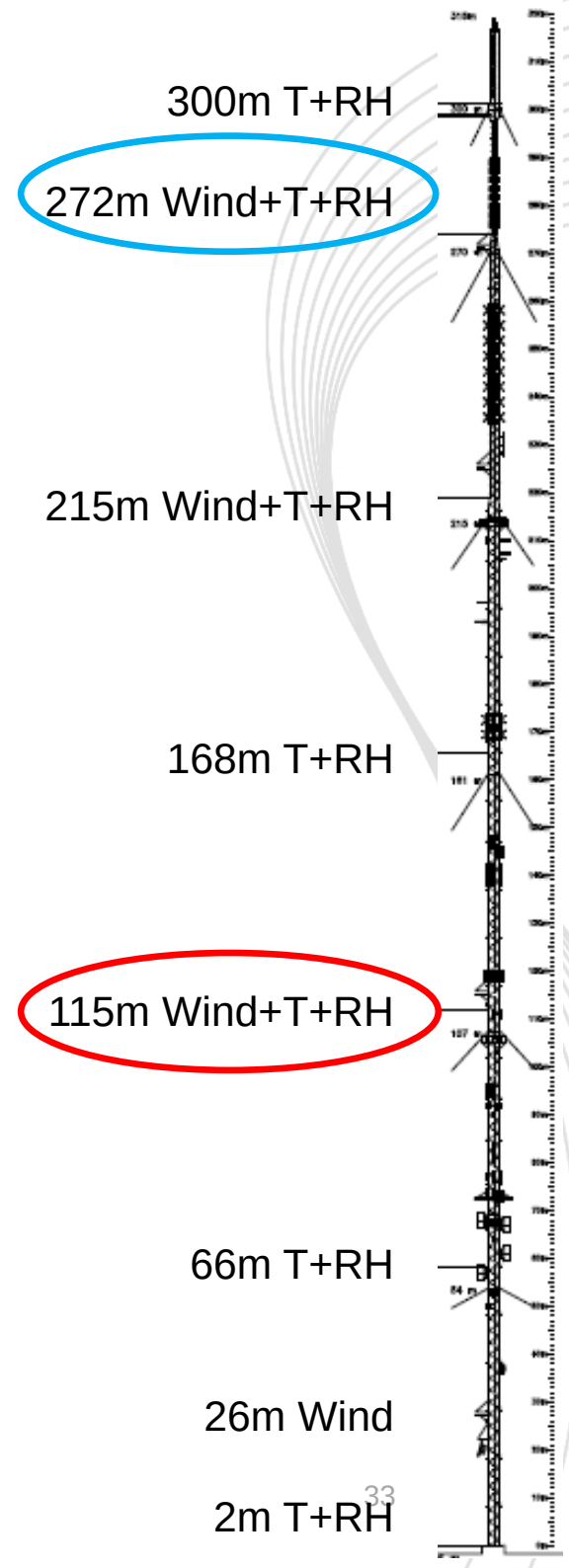


PROJEKTIN TULOKSIA (Vehmasmäki)

- Masto/ceilometri/malli–vertailu 1-2/2017



Ilmatieteen laitos



- A) Ceilometer data
B) Icing classification (preliminary)
C) Ice formation rate (in-situ)
D) Modelled icing rate

Vehmasmäki-vertailu

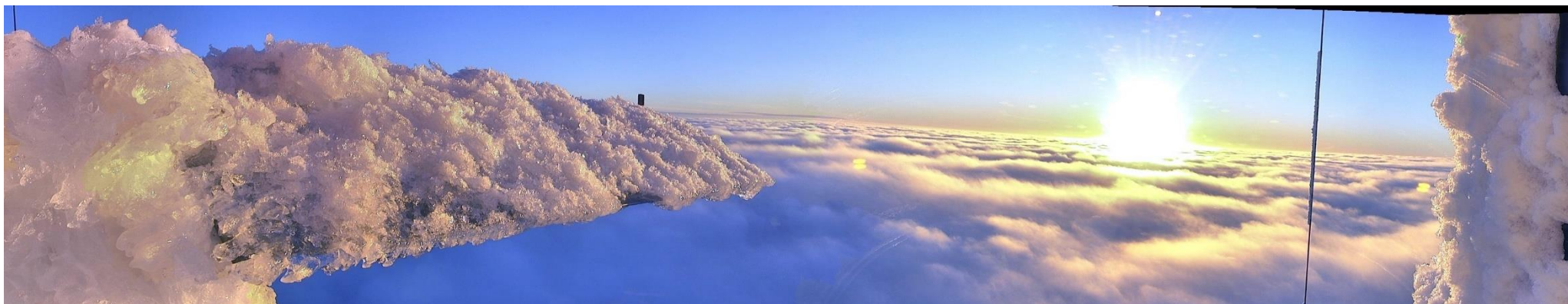
- 1.1.-16.2.2017
- Havaintopisteitä 1974 kpl per korkeus
- **Jäätämistä havaitaan 41-42 % ajasta** kyseisellä jaksolla anturien korkeudella
- **Yhdenaikaiset havainnot 85-94 %**, mutta myös ”ylimääräisiä” havaintoja
- Ceilometrillä osalta analysoitu Vehmasmäki (Mar 2016-Maa 2018) ja Savilahti (Tam 2012-Maa 2016) datat.

Korkeus	115 m	272 m
Jäätämishavaintojen lukumäärä		
Jäätämisanturi	810	835
Ceilometri	1079	1125
Malli	1565	1505

Korkeus	115 m	272 m
Havaittu jäätämistapausten osuus		
Jäätämisanturi	41 %	42 %
Yhdenaikaiset jäätämishavainnot		
Ceilo & jäät.anturi	85 %	94 %
Malli & jäät.anturi	89 %	92 %



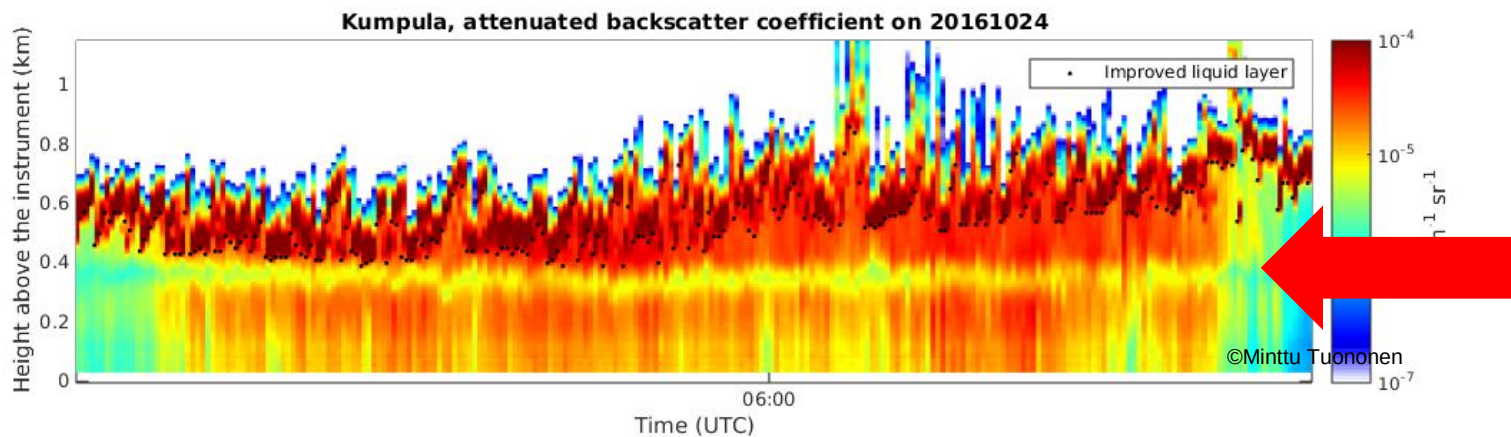
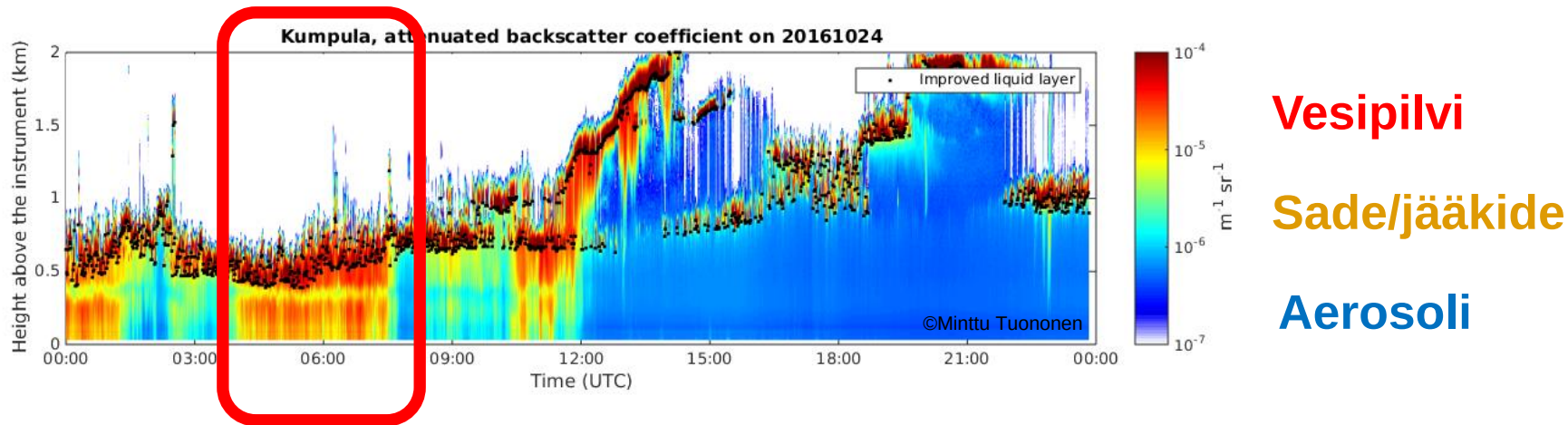
Vehmasmäen mastokamera





PROJEKTIN TULOKSIA

- Sateen faasi ceilometrasta



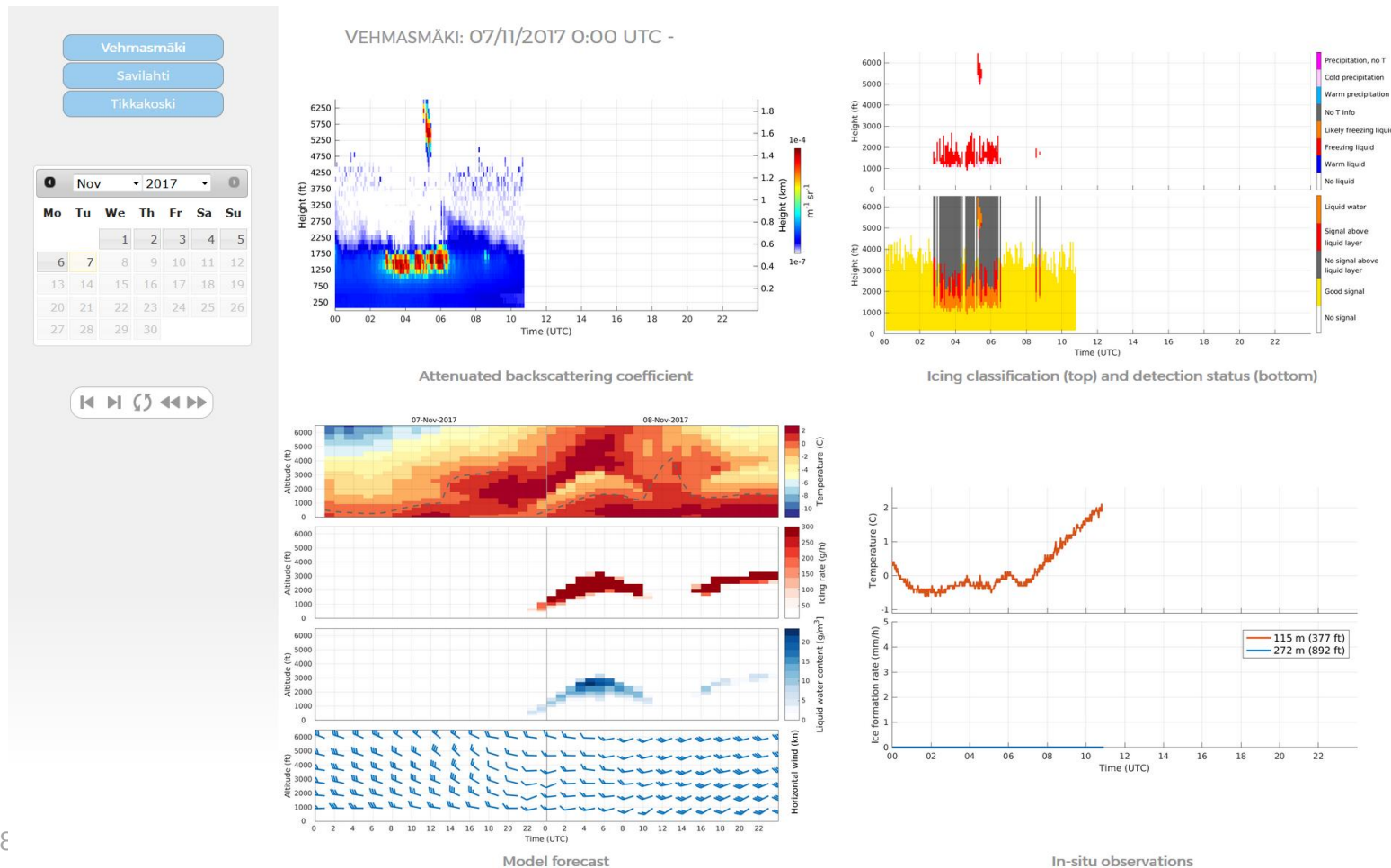
Silmämääräisesti
faasimuutos on helppo
määrittää 'dark bandin'
avulla, mutta
automatisointi hankalaa.

PROJEKTIN TULOKSIA (2)

- Webbisivut käytössä
 - Sivuilla reaaliaikaiset datakuvat ja arkisto
 - Jäätävyyssanturien data, Ceilometrin raakadata ja jäätävyystuote, jäätämismallin ennusteprofiilit, mallin lämpötila ja tuuliennusteet
- Vierailtu Tikkakoskella säännöllisesti projektin esittelyn ja jatkosuunnittelun merkeissä
- Lentokampanjoita varten tehty lentäjille yksinkertainen kyselylomake lennon aikaisista jäätämishavainnoista
 - Intensiivikampanja vkolla 45 (2017) -> ei jäätämistä...
- Vierailtu Rissalassa (Hornet) ja Niinisalossa (UAV-toiminta) esittelemässä projektia

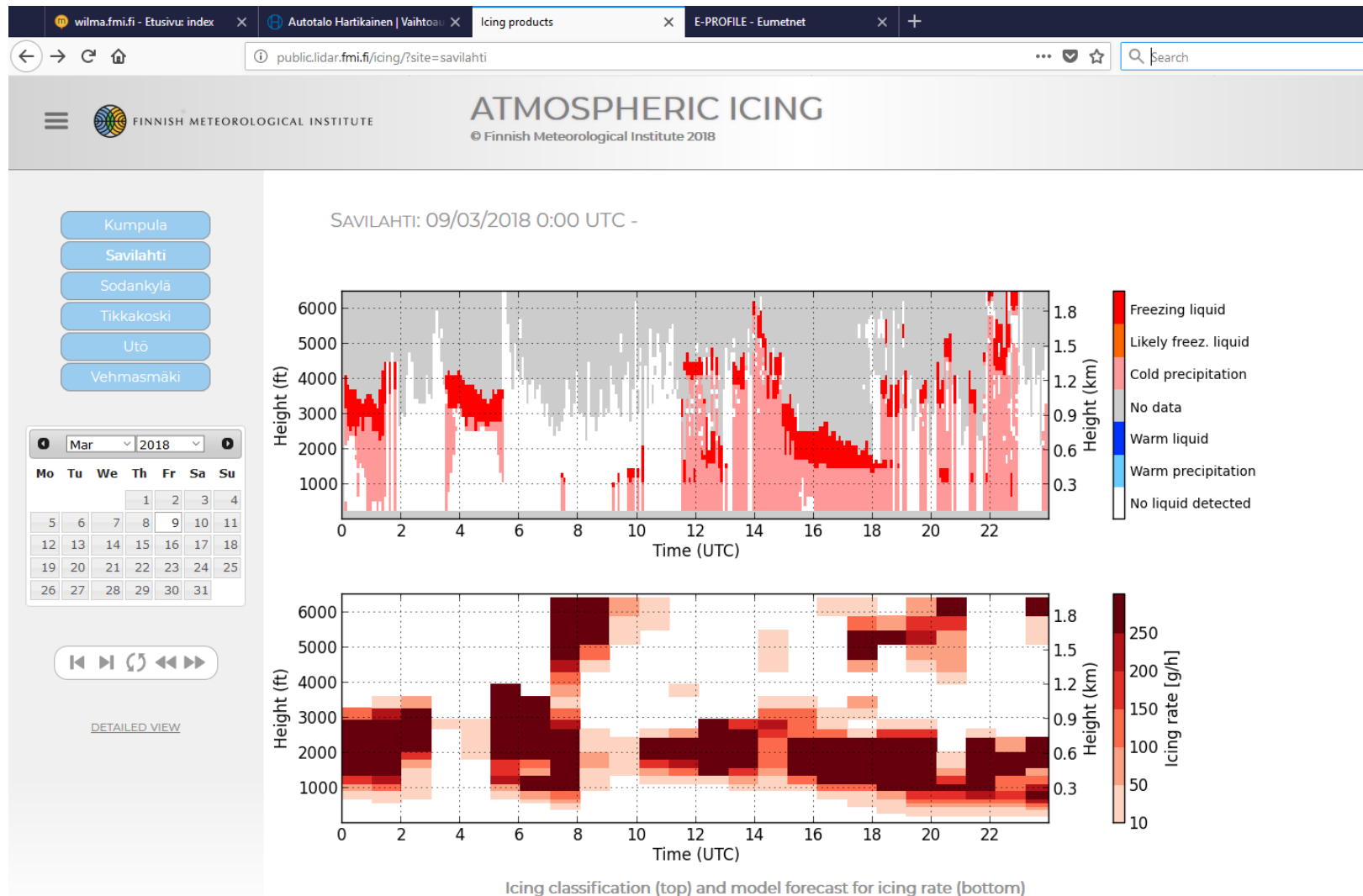
PROJEKTIN TULOKSIA – webbisivut

- Tällä hetkellä 6 asemaa reaaliaikaisena
- <http://public.lidar.fmi.fi/icing/?site=tikkakoski>



PROJEKTIN TULOKSIA – webbisivut

- <http://public.lidar.fmi.fi/icing/?site=tikkakoski>



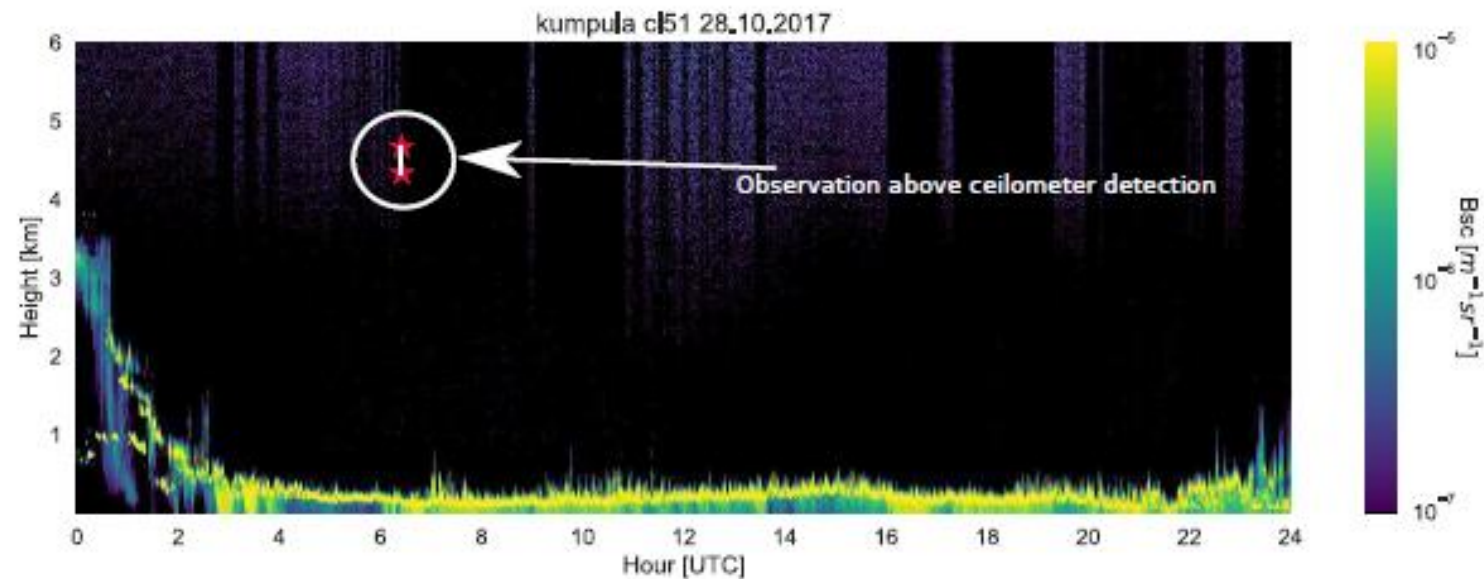
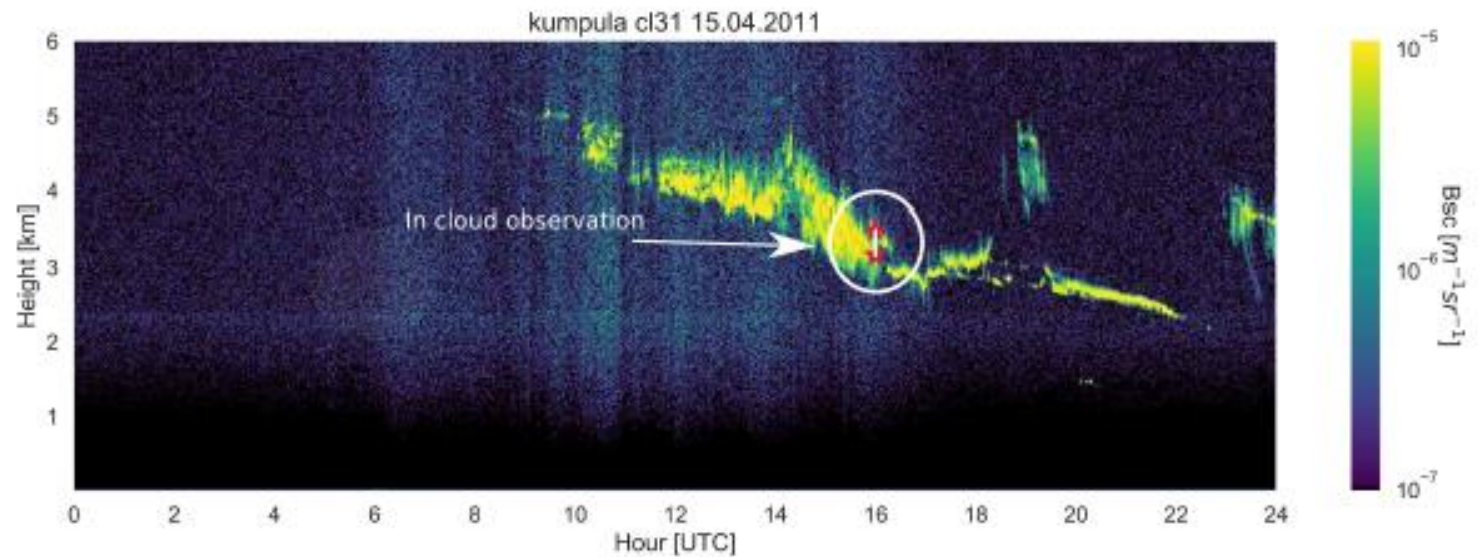
PROJEKTIN TULOKSIA (2)

- Webbisivut ”valmiina”
 - Sivulla reaaliaikaiset datakuvat ja arkisto
 - Jäätävyyssanturien data, Ceilometrin raakadata ja jäätävyystuote, jäätämismallin ennusteprofiilit, mallin lämpötila ja tuuliennusteet
- Vierailtu Tikkakoskella säännöllisesti projektin esittelyn ja jatkosuunnittelun merkeissä
- Lentokampanjoita varten tehty lentäjille kyselylomake lennon aikaisista jäätämishavainnoista
 - Viikon intensiivikampanja syksyllä 2017 -> ei jäätämistä...
 - Uusi palautejakso käynnissä syksy/talvi 2018.
- Vierailtu Rissalassa (Hornet) ja Niinisalossa (UAV-toiminta) esittelemässä projektia

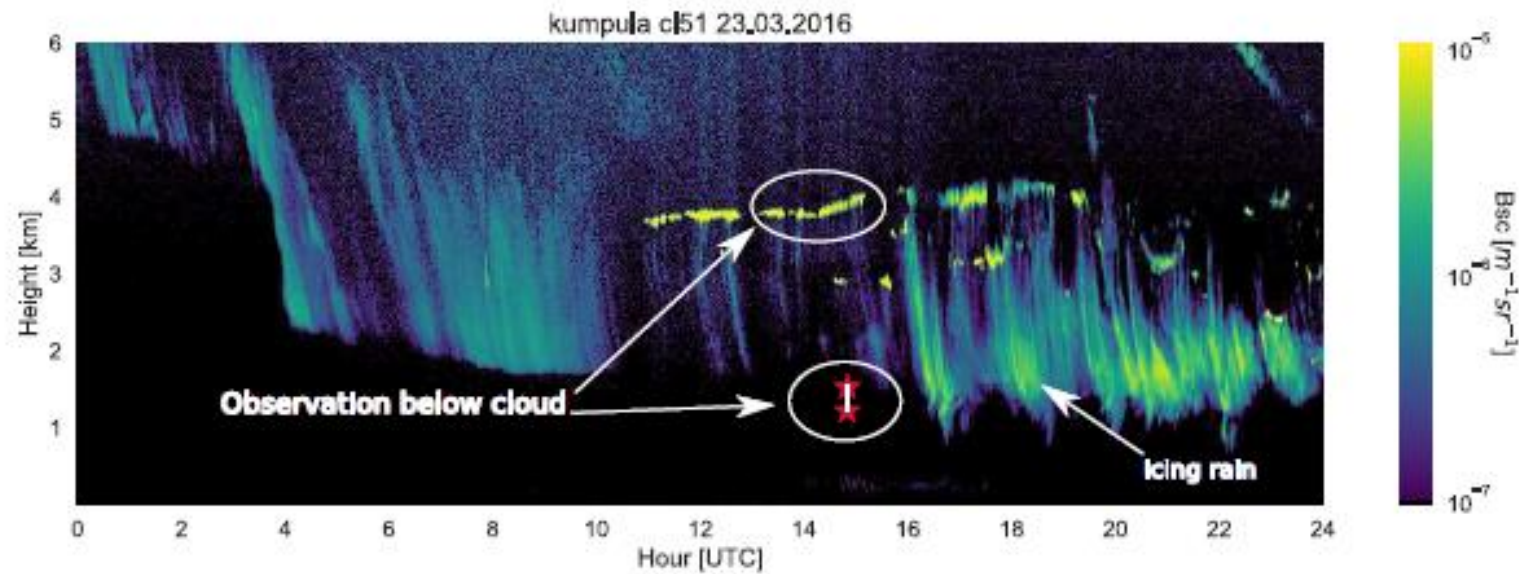
WXREP – raportit ilmailulta

- Lentäjiltä lennonjohtoon tulevia raportteja merkittävistä sääilmiöistä, pääosin lentokenttien lähestymisalueelta (15-20 km säteellä kentästä).
- Noin 500-600 ilmoitusta vuodessa, näistä jäätämiseen liittyviä noin 30% tapauksista.
- Tarkasteltiin tapauksia Helsingissä ja Kuopiossa.
- Ceilometrit noin 15 km lentokentältä molemmissa paikoissa.
 - Lentäjähavainnon ja mittauspisteen ero voi olla yli 30 km, josta aiheutuu eroavaisuuksia.

WXREP – raportit ilmailulta - esimerkkejä



WXREP – raportit ilmailulta - esimerkkejä



JATKOSUUNNITELMIA... työ jatkuu

- Lisätään **uusia ceilometreja** jäätämisanalyysiin
 - Jatketaan datan tarkastelua/vertailua uusilla asemilla
 - Liitetään **pilvipisaradata** mukaan vertailuihin
 - **Sateen olomuodon luokittelu** ceilometrasta
 - **Lentäjäpalautteen ja -havaintojen** vertaaminen tuotteisiin ja edelleen kehittäminen
-
- IL:n meteorologit käyttävät tuotetta säännöllisesti ennustetyössä
 - Jäätävyystuote mahdollisesti operatiiviseen järjestelmään
 - E-Profile (EUMETNET) on myös erittäin kiinnostunut, Euroopan laajuinen operatiivinen verkko

Referoidut artikkelit:

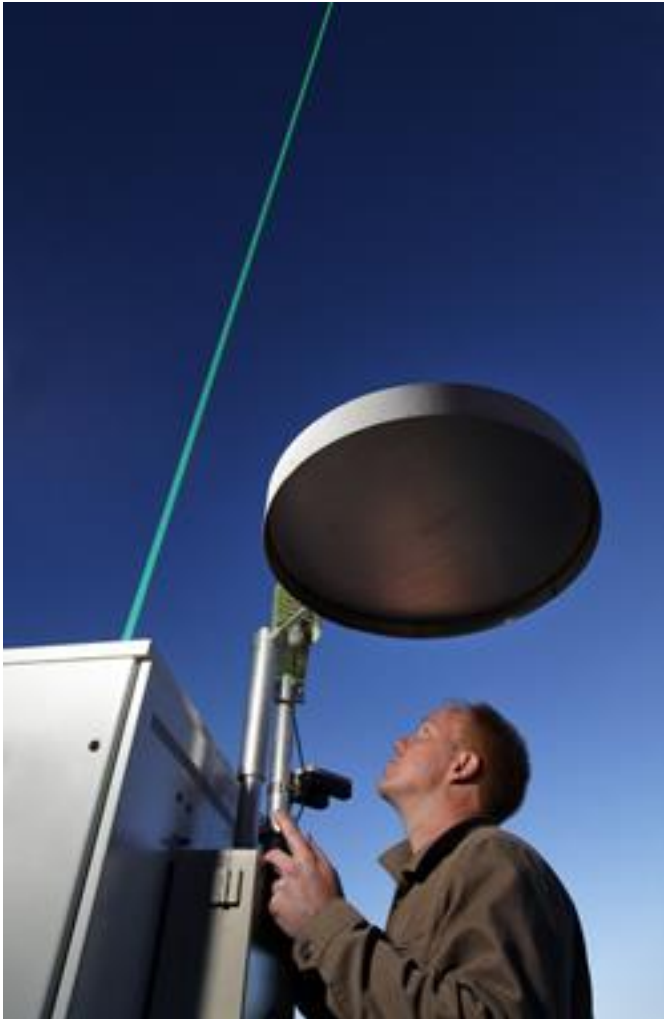
- Hirsikko A., Härmäläinen K., Komppula M., Leskinen A. and O'Connor E.J., Real-time monitoring of icing conditions in vertical profile of the atmosphere with an operational ceilometer network, in preparation.

Kokousabstraktit:

- Hirsikko A, Brus D, O'Connor E, Filioglou M, Komppula M, Romakkaniemi S: Super-cooled liquid water topped sub-arctic clouds and precipitation - investigation based on combination of ground-based in-situ and remote-sensing observations, Geophysical Research Ab-stracts, Vol. 19, EGU2017-1872, 2017. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-1872.pdf>.
- Hirsikko A, Komppula M, Leskinen A, Härmäläinen K, Niemelä S, O'Connor E: Freezing condition monitoring and FMI's icing forecast model evaluation with observations from ceilometer network in Finland, EMS Annual meeting abstract, Vol. 14, EMS2017-132, <http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2017/EMS2017-132.pdf>, 2017.
- Hirsikko A., M. Komppula, A. Leskinen, K. Härmäläinen, S. Niemelä and E.J. O'Connor: Towards monitoring of icing conditions with operational ceilometer network and evaluation of icing forecast model. Proceedings of 'the Center of Excellence in Atmospher-ic Sciences (CoE ATM) -From Molecular and Biological Processes to the Global Climate' Annual Meeting 2017, Editors: Päivi Haapanala, Anna Lintunen, Joonas Enroth, and Markku Kulmala (2017), p. 251-254. <http://www.atm.helsinki.fi/FAAR/reportseries/rs-202.pdf>
- Komppula M., A. Leskinen, A. Ruuskanen and S. Romakkaniemi, Measurements of cloud droplet size and concentration related to icing, Winterwind 2018 Book of Abstracts, Ab-stract #34, p.36. http://winterwind.se/wp-content/uploads/2017/11/Winterwind2018_BoA_171101.pdf
- Hirsikko A., K Härmäläinen, A. Leskinen, M. Komppula, and E.J. O'Connor, Detection of atmospheric icing conditions in the vertical profile with a ceilometer - validation of the method, EGU 2018.
- Hirsikko A., K. Härmäläinen, A. Leskinen, A. Ruuskanen, A. Laitinen and M. Komppula, Monitoring and forecasting presence and influence of atmospheric super-cooled liquid water containing clouds in the vertical profile – final results of the project. Proceedings of YOPP, Helsinki, 14-16 January 2019.
- Hirsikko A., K. Härmäläinen, A. Ruuskanen, A. Leskinen, M. Komppula, and E. O'Connor, Advances in Ceilometer Data Processing - Detecting Atmospheric Icing in the Vertical Profile, Proceedings of AMS 2019, Phoenix, USA 6-10 January 2019.
- Ruuskanen A., A. Leskinen, S. Romakkaniemi and M. Komppula, The effect of atmospheric aerosol particles on cloud icing rate, Winterwind 2019.



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



**Kiitos,
kysymyksiä...**

mika.komppula@fmi.fi