



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 2017: 82 361eur

MATINEn tutkimusseminaari 16.11.2017



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



MOTIVAATIO

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



www.windpowerengineering.com

MOTIVAATIO

- **Ilma-aluksen jäätäminen** on merkittävä turvallisuusriski, 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

- Alijäähtyneitä vesikerroksia havaittu jopa alle -30°C lämpötiloissa
- Suomessa noin **40 %:ssa pilvistä on vesikerros yläpinnalla** (yläpinta $>2.5\text{km}$ ja $> -40^{\circ}\text{C}$)

(Zhang et al., 2010, JGR)

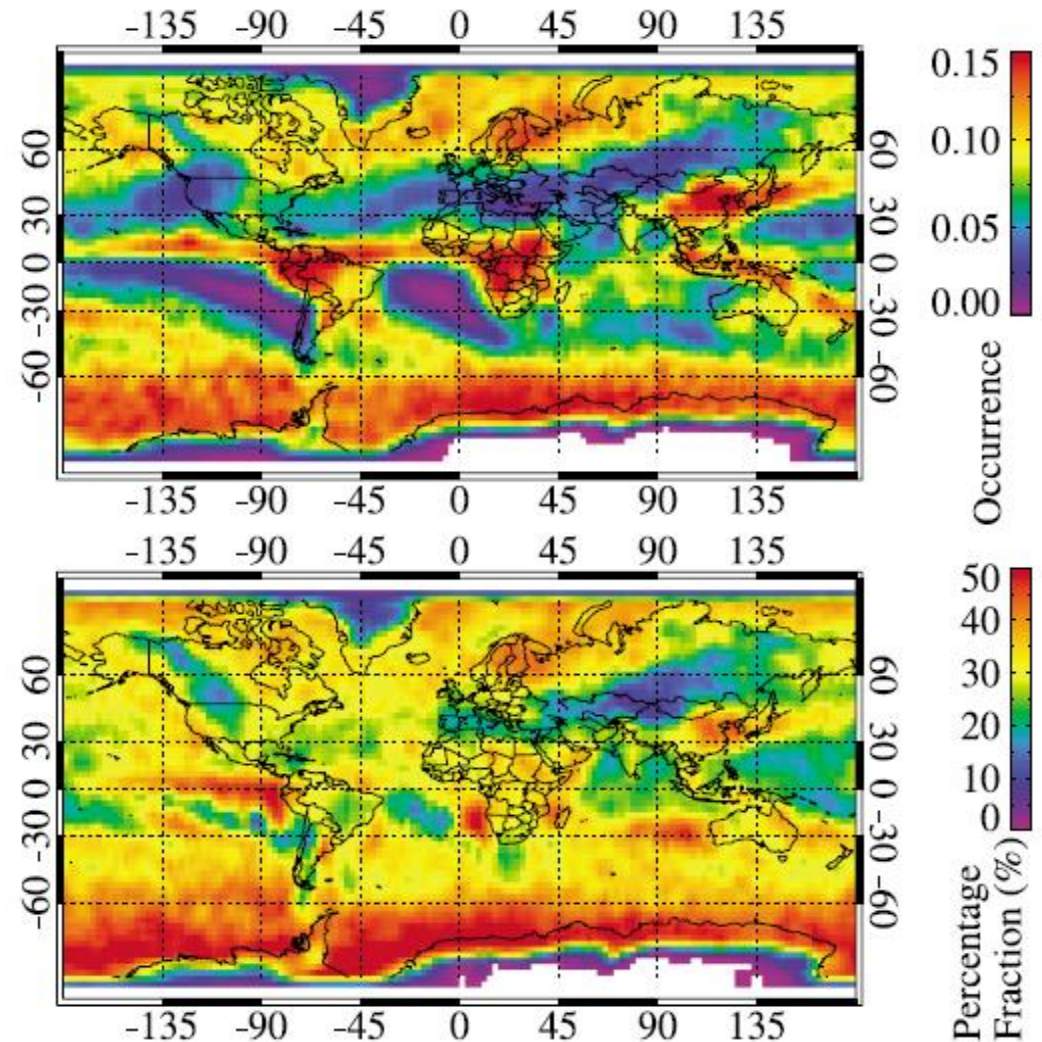


Figure 3. Global distribution of MLTSC (top) occurrence and (bottom) percentage fraction from 2 year collocated CALIPSO/CloudSat measurements.

TAVOITTEET

- Jäätävyyshavaintojen ja ennusteiden kehittäminen
 - Uusien menetelmien potentiaalin selvittäminen
 - Eri havaintojen yhdistäminen ja malliverifiointi
 - Tuottaa uutta reaaliaikaista tietoa jäätävistä kerroksista



TAVOITTEET

- Jäätävyyshavaintojen ja ennusteiden kehittäminen
 - Uusien menetelmien potentiaalin selvittäminen
 - Eri havaintojen yhdistäminen ja malliverifiointi
 - Tuottaa uutta reaaliaikaista tietoa jäätävistä kerroksista
- Hyödynnetään olemassa olevaa ja uutta kerättävää aineistoa
- Käynnistetään uusia mittauksia
- Mallivertailu ja -kehitys sekä tuotteiden ennustekäyttö
- Hyödyntäminen lentotoiminnan suunnittelussa ja toteutuksessa
- Palaute ja jäätämishavainnot lennoilta

MENETELMÄT

- **In-situ jäätävyyssanturit (eri malleja)**
 - Pistemittaus: jäätäminen (on/off), jäätämisen voimakkuus
- **Pilvenkorkeusmittarit eli ceilometrit (Vaisala CT25K, CL31 & CL51)**
 - Raakadatatista ”sironnan pystyprofiilit”, joista pilvet ja jäätäminen
- **Jäätämismalli**
 - Jään kertymänopeus (pystyprofiilit)



Lidarin / ceilometrinn toimintaperiaate

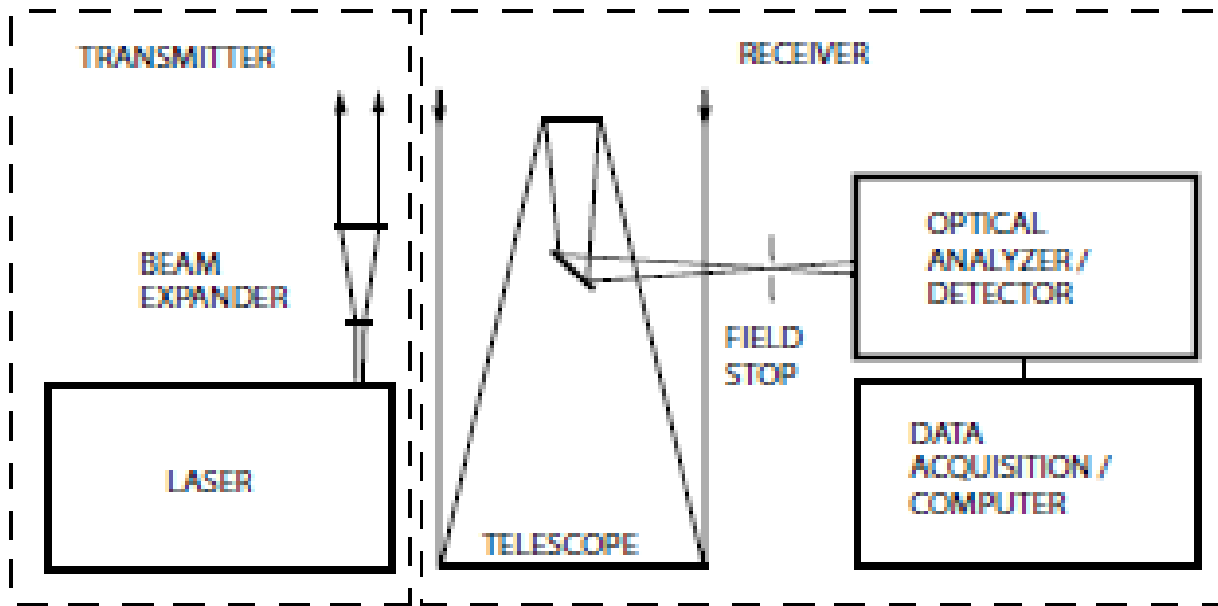
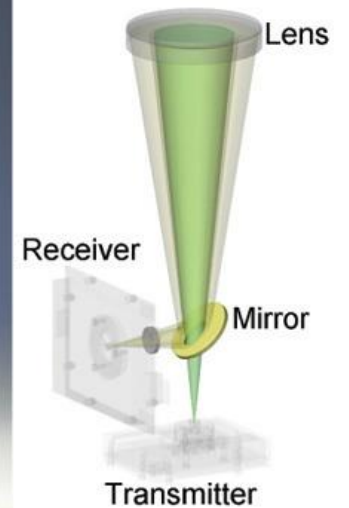
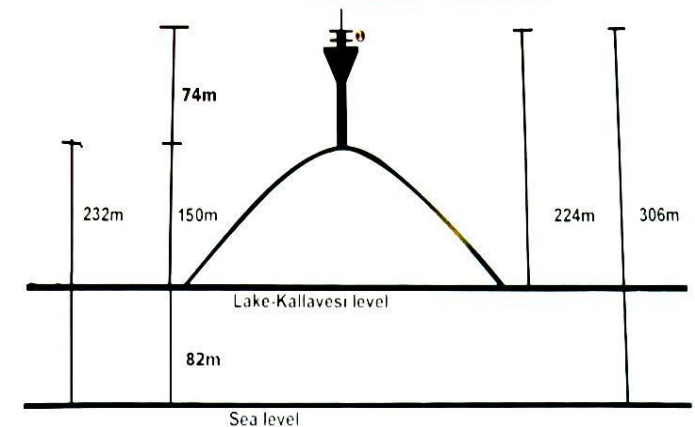
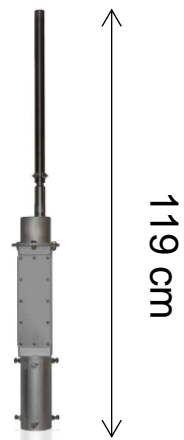


Fig. 1.1. Principle setup of a lidar system.



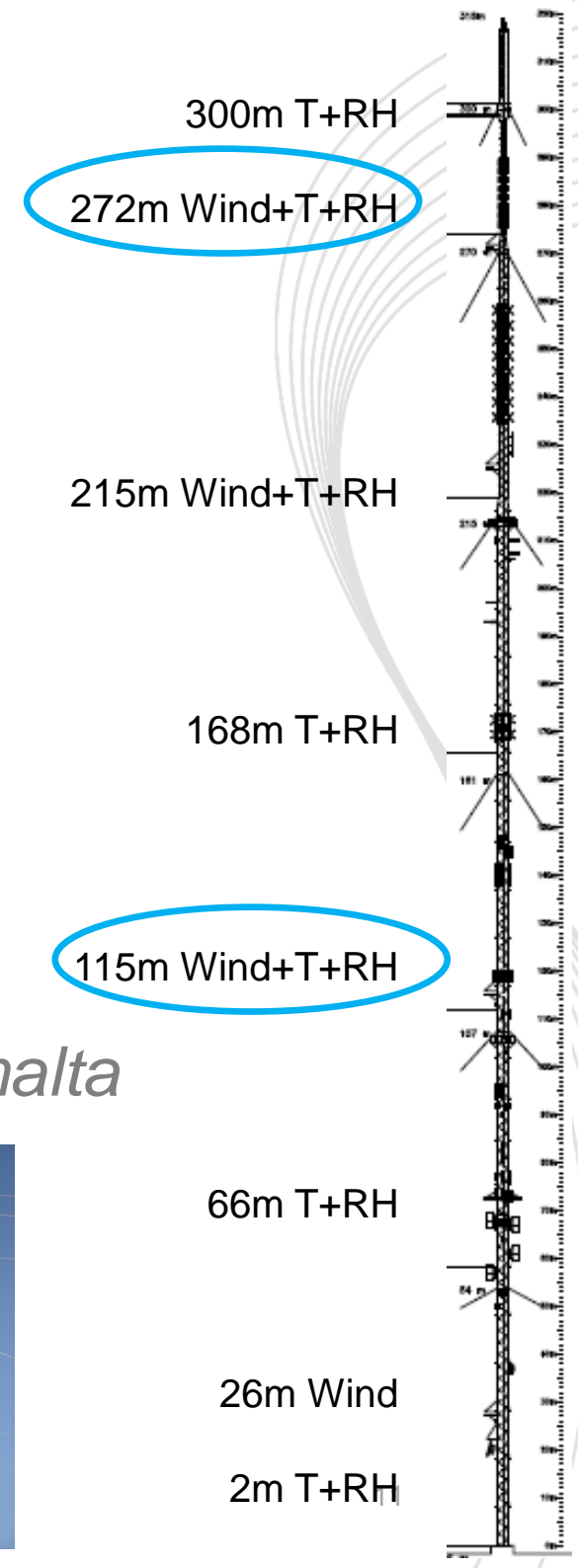
Mittausasemat – Puijon torni

- 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)
- *PollyXT Raman lidar (7 mittauskanavaa)*
- *Halo Doppler lidar (tuulilidar)*
- *Doppler pilvitutka (Metek Mira-36)*
- *Säätutka (kaksoispolarisaatiotutka), 15 km asemalta*



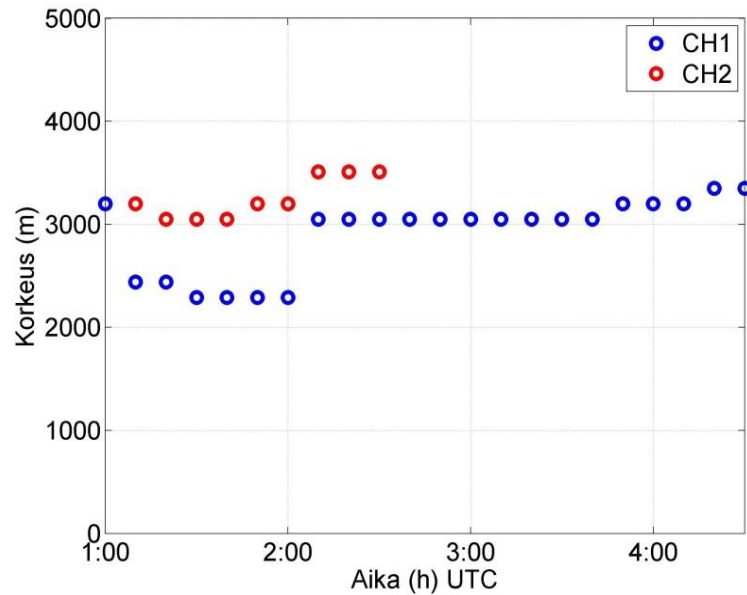
Tikkakoski

- Vaisala CT25K **ceilometri**,
 - Profiilidataa 5/2017 alkaen
- 2 kpl CL31 ceilometria asennettu kiitotien päihin
 - Eivät vielä operatiivisia
- Halo Doppler -tuulilidari 2-5/2017 koemittauksissa
 - Palautetaan takaisin talven aikana, mahdollisesti kiitotien jatkeelle



ESIMERKKI – Jäätävän kerroksen havainnointi

- Kuopio 9.3.2015

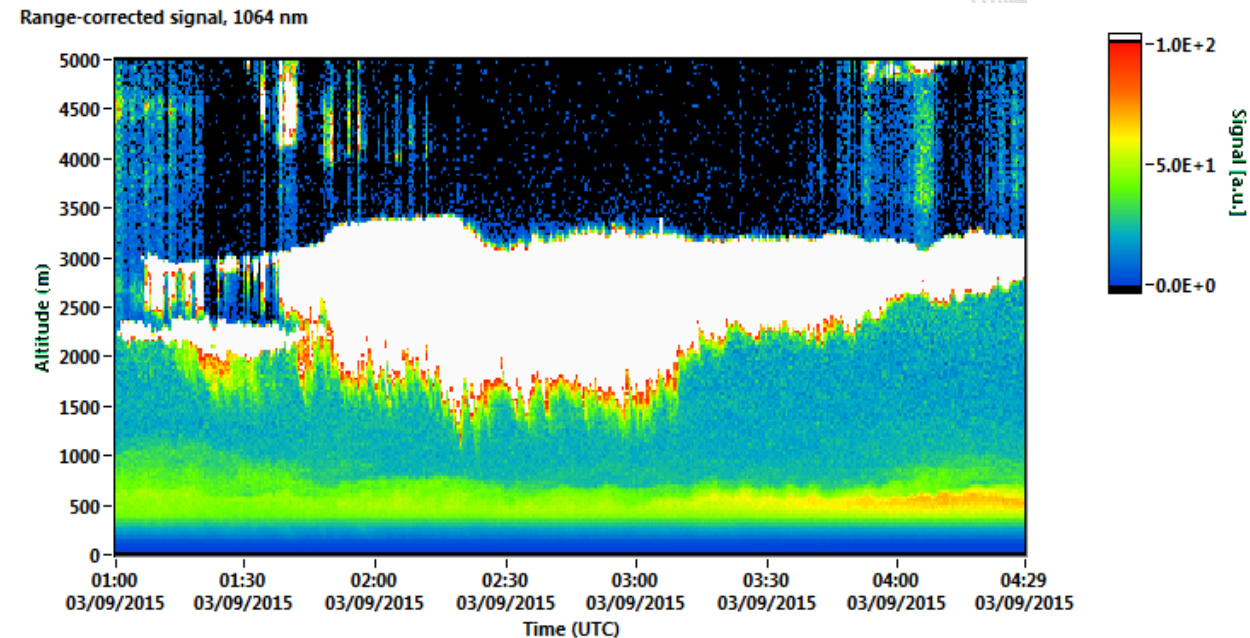
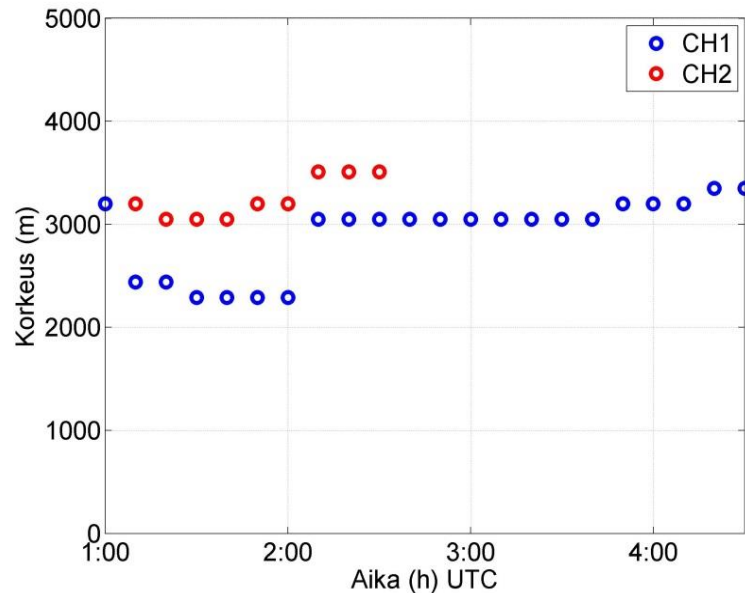


Ceilometrillä ”normaali” operatiivinen pilvenkorkeus informaatio

- Pilven alapinta, tässä kaksi pilvikerrosta

ESIMERKKI – Jäätävän kerroksen havainnointi

- Kuopio 9.3.2015



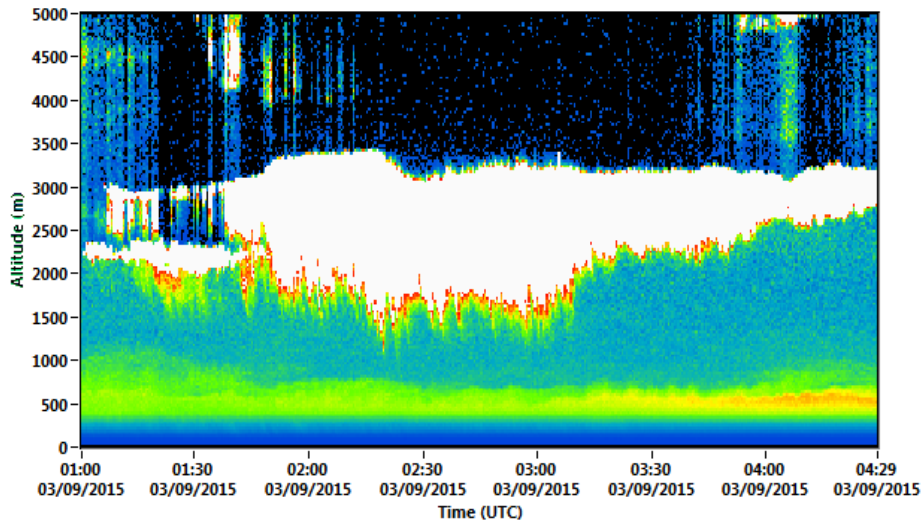
Lidarin takaisinsirontaprofiili aikasarjana (oikealla)

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

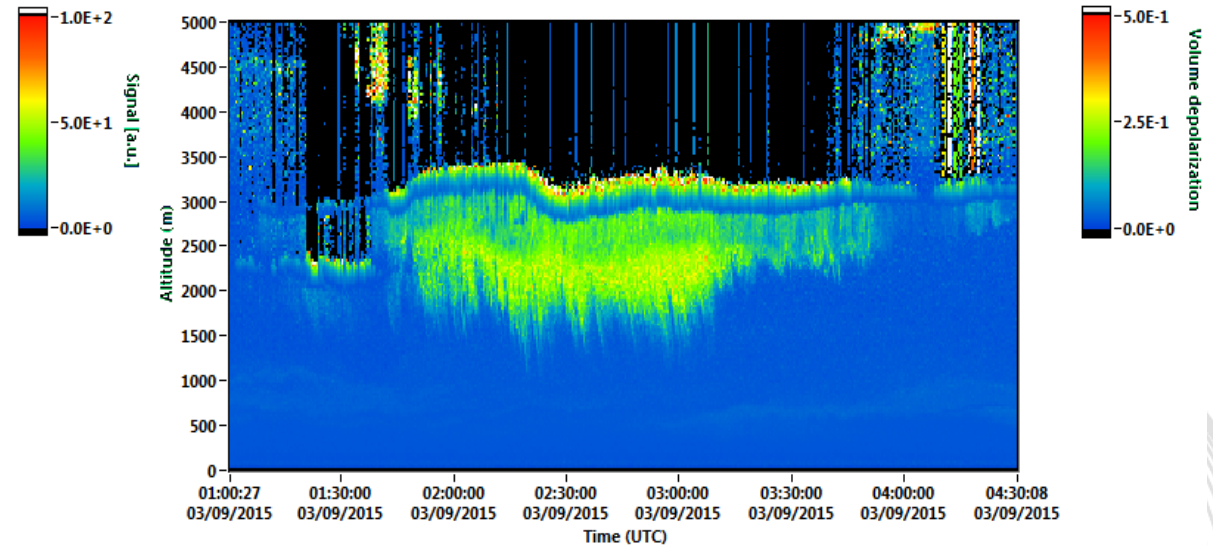
ESIMERKKI – Jäätävän kerroksen havainnointi

- Kuopio 9.3.2015

Range-corrected signal, 1064 nm



Calibrated volume depolarization ratio at 532 nm



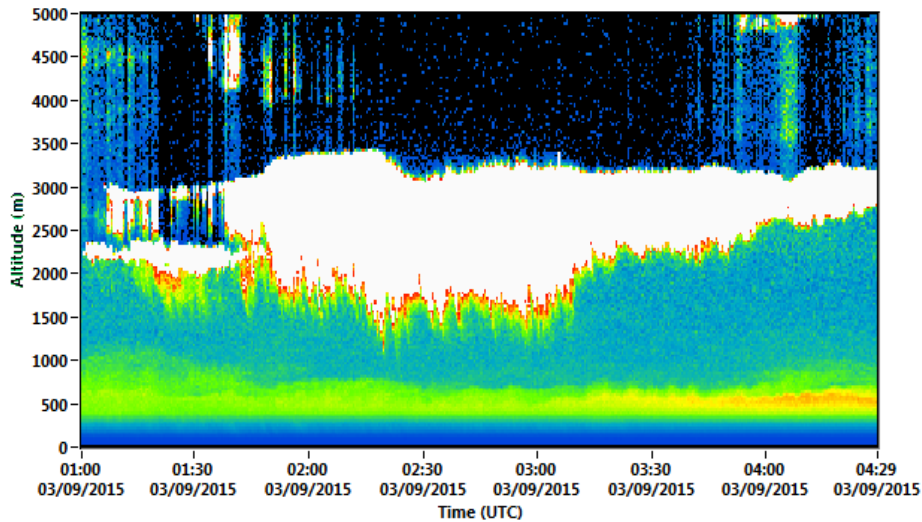
Lidarin depolarisaatioprofiili (oikealla)

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

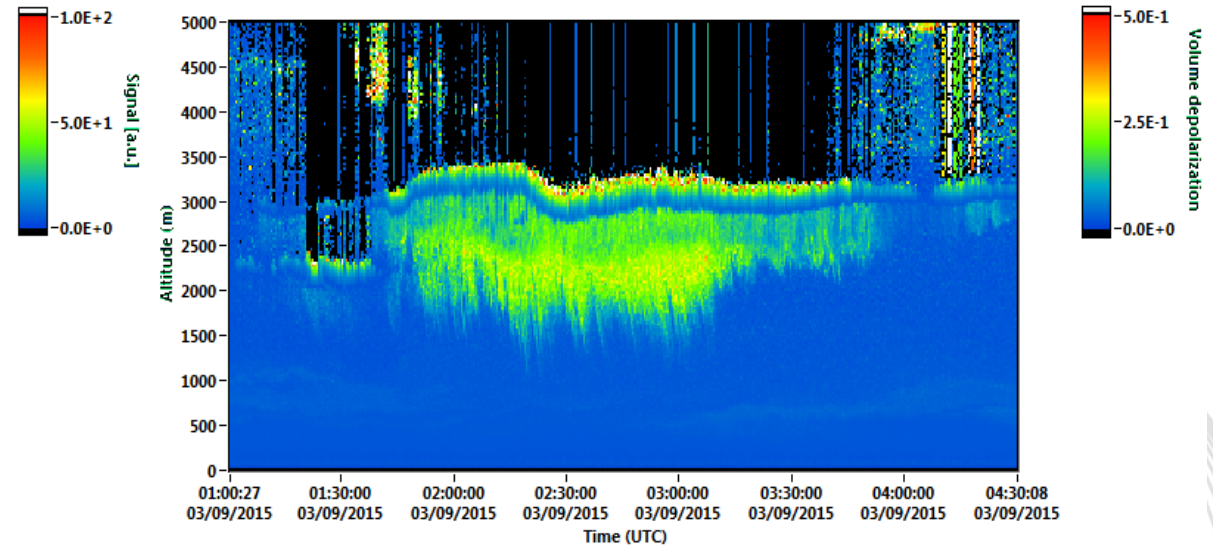
ESIMERKKI – Jäätävän kerroksen havainnointi

- Kuopio 9.3.2015

Range-corrected signal, 1064 nm

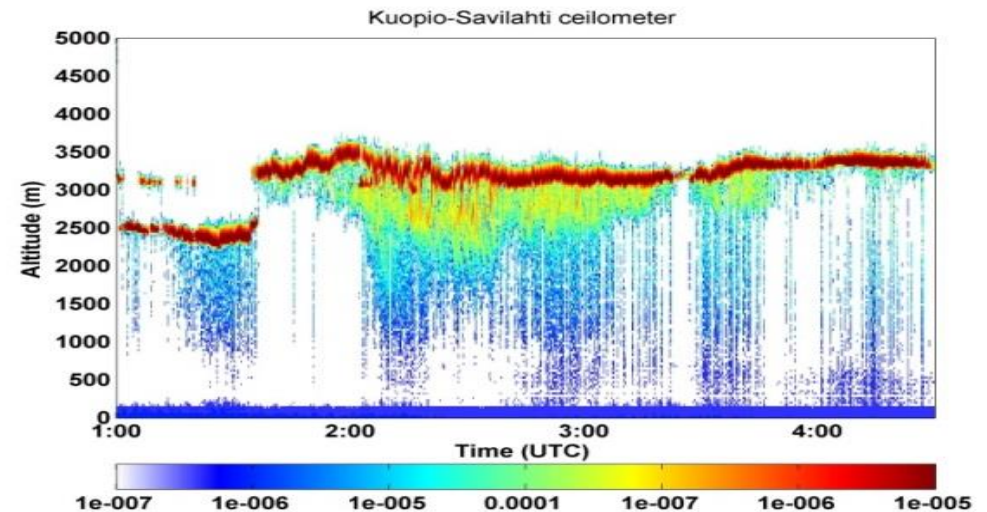


Calibrated volume depolarization ratio at 532 nm



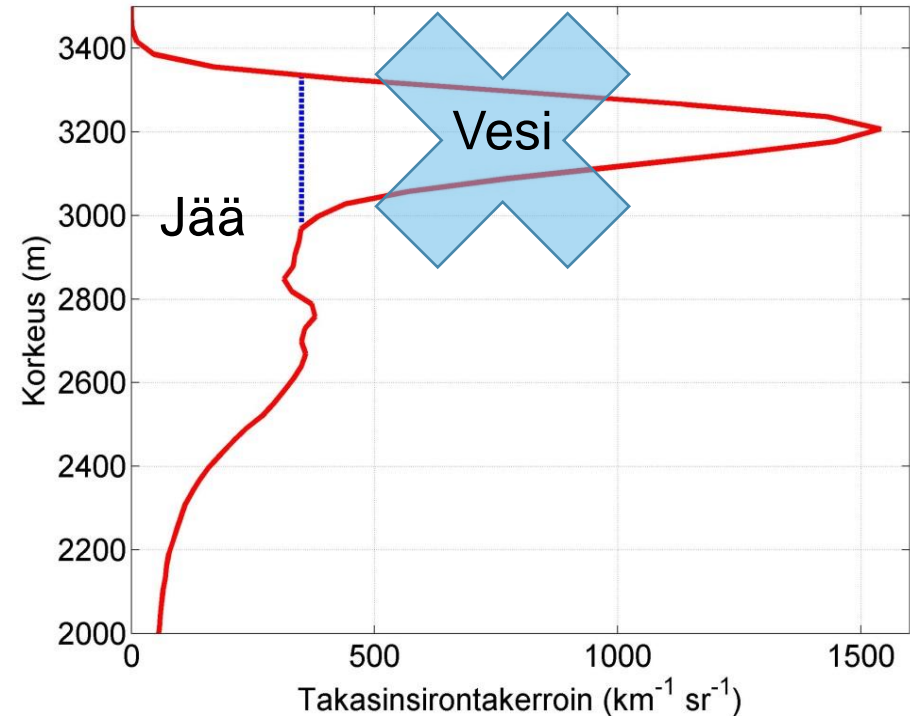
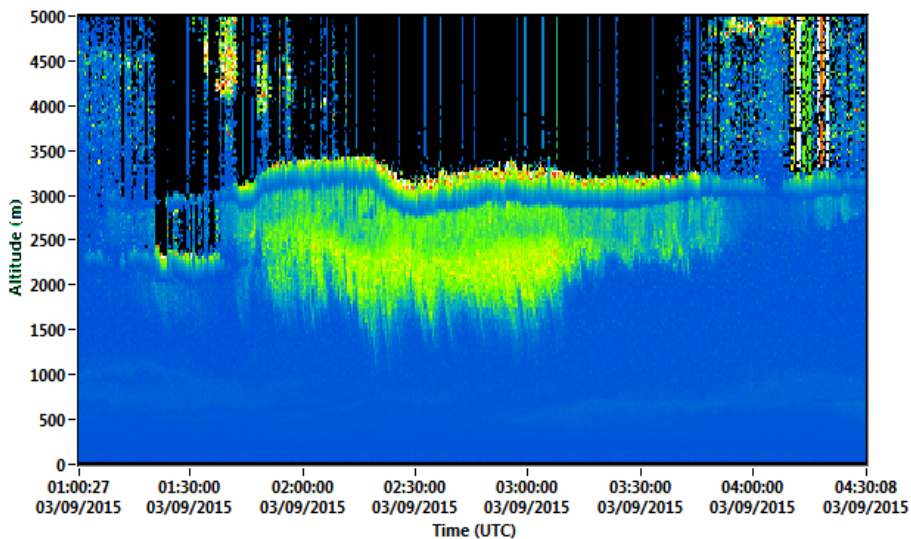
Ceilometrillä takaisinsirontaprofiili

- Vesikerros erottuu suurena takaisinsirontana ceilometrillä (punainen väri oikealla)



Pilven vesikerroksen ilmastovaikutukset

Calibrated volume depolarization ratio at 532 nm



Vesikerroksella suuri vaikutus pilven säteilyominaisuuksiin

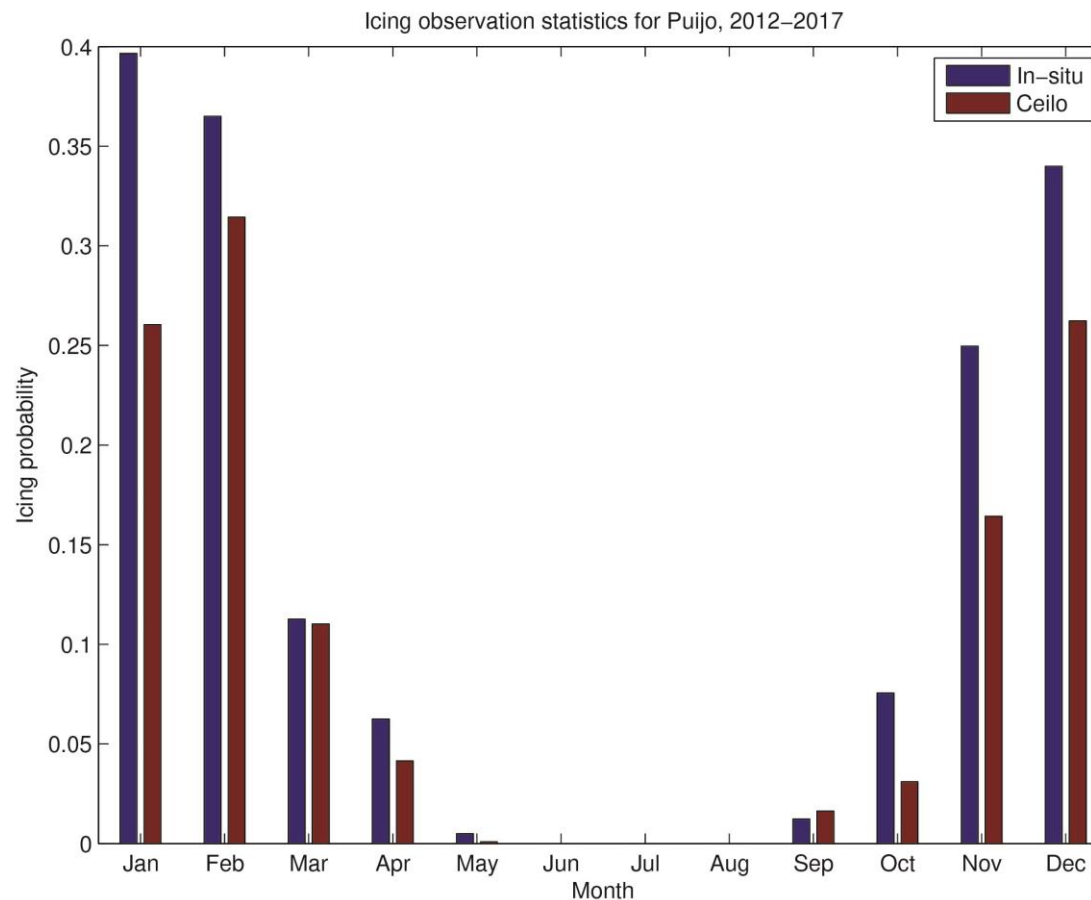
- Jos koko pilven oletetaan olevan jäätä, jää puolet pilven säteilyvaikutuksesta huomioimatta



PROJEKTIN TULOKSIA

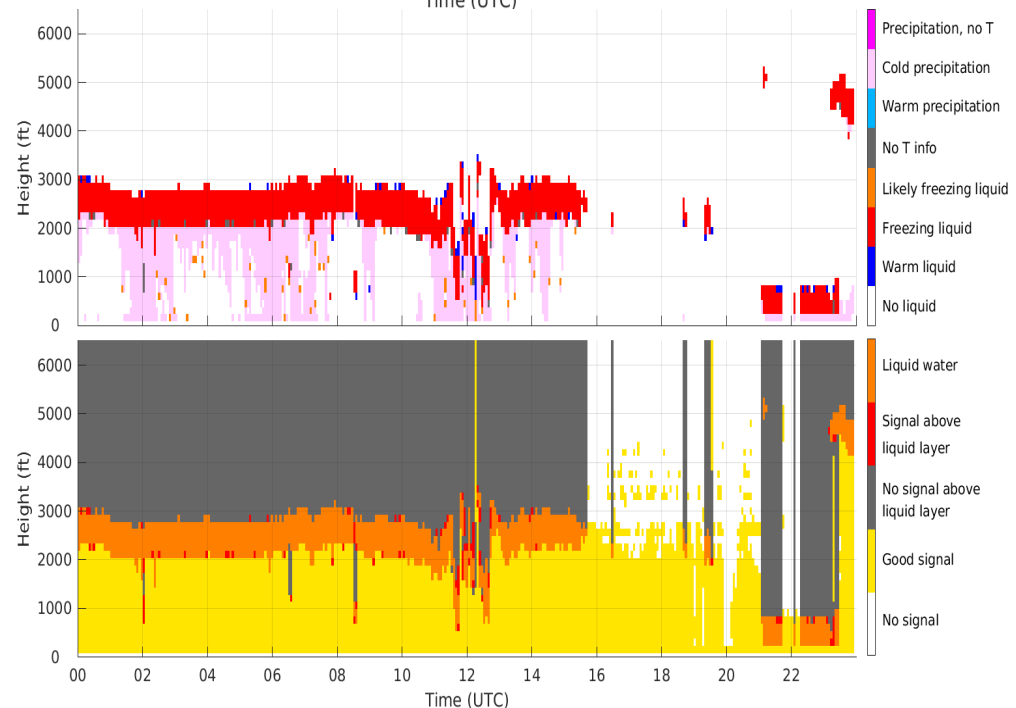
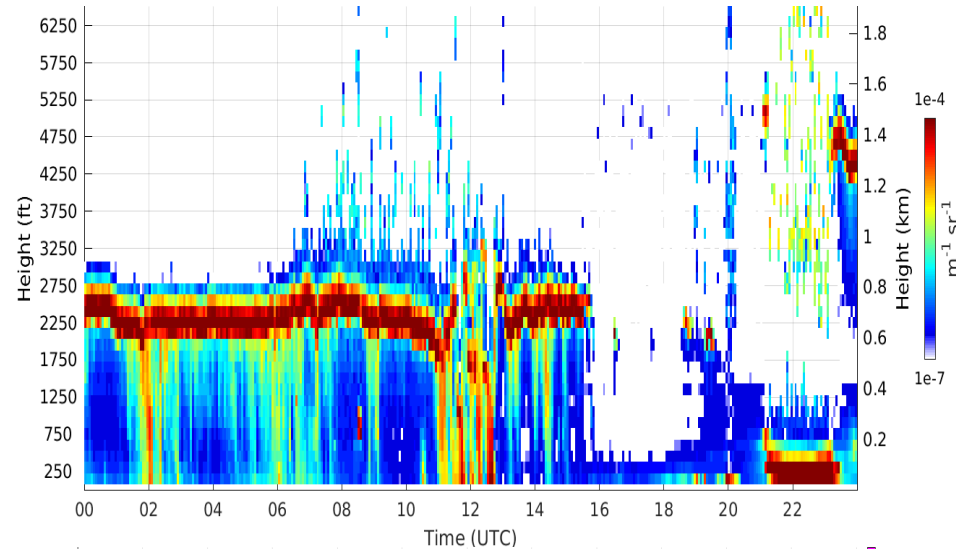
PROJEKTIN TULOKSIA

- Puijon jäätävyyssanturien (224 m järven pinnan yläpuolella) ja Savilahden ceilometrillä havaitsemat jäätämistapaukset (%) kuukausittain vuosilta 2012-2017



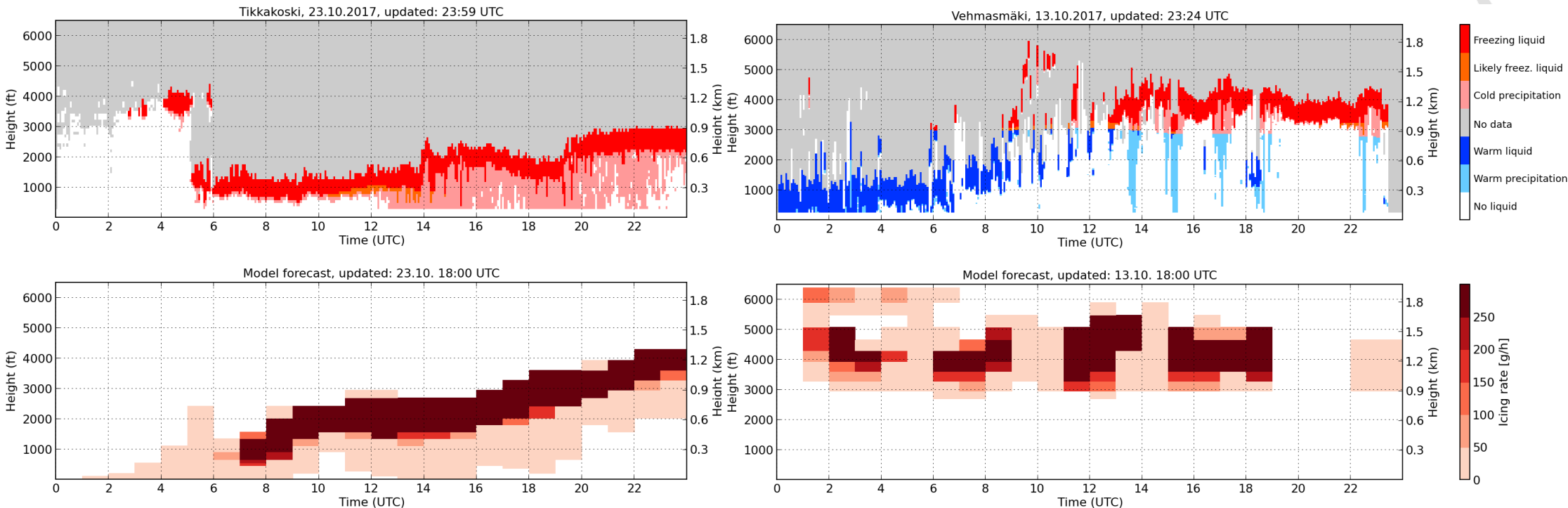
Ceilometrin profiilidata ja jäätämislukittelu

- 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

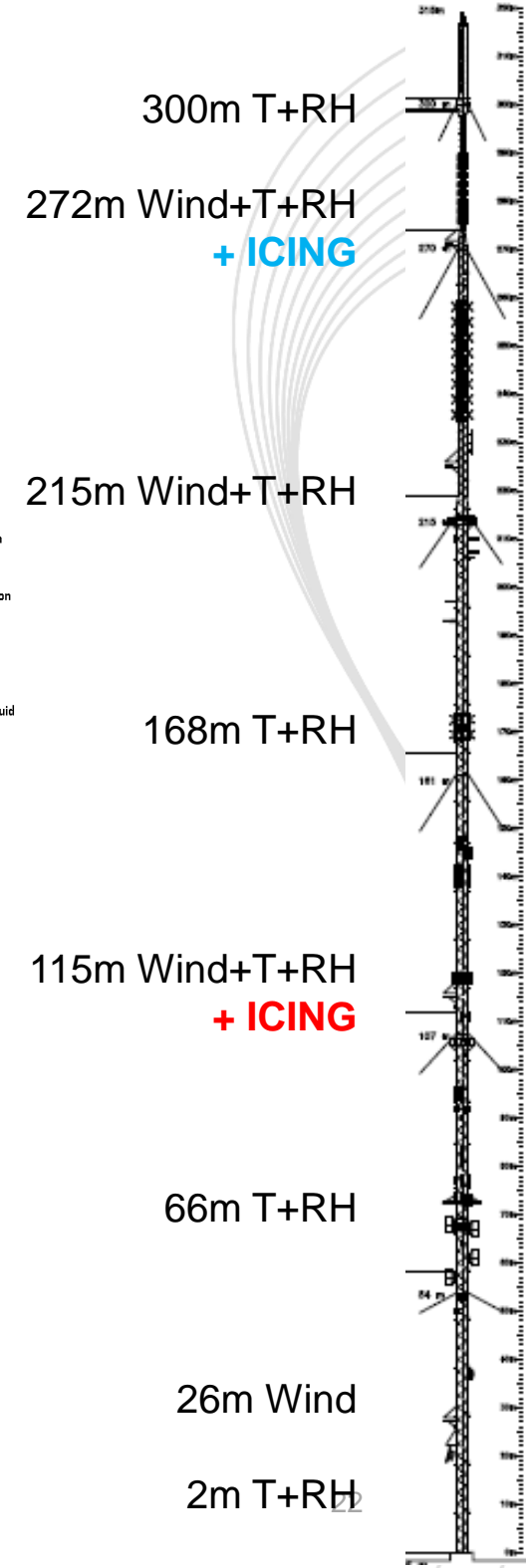
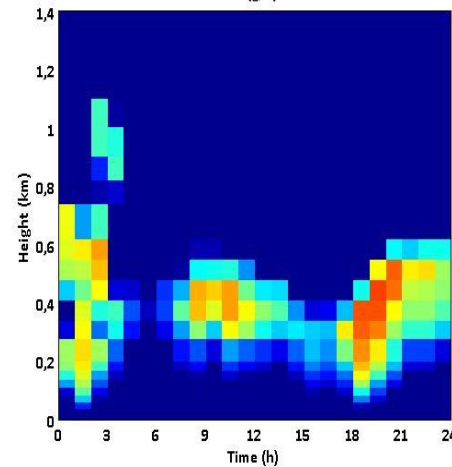
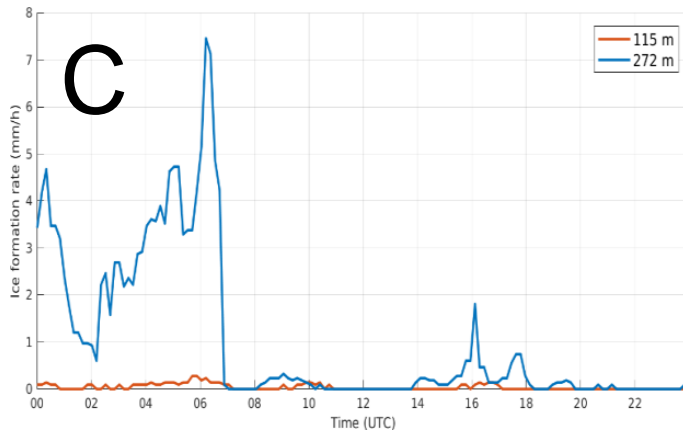
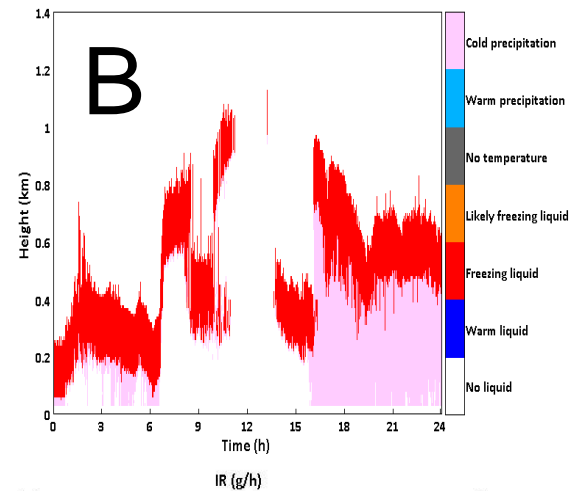
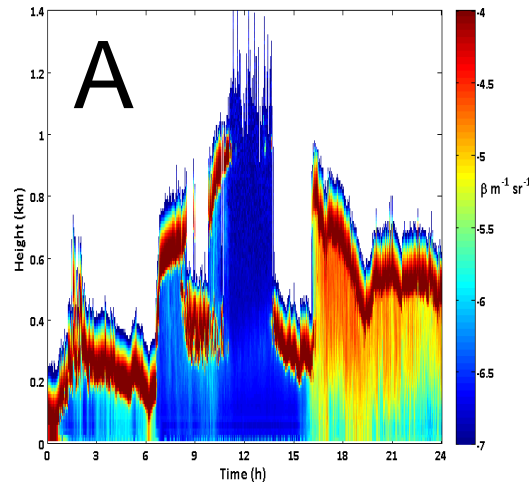
- Yksinkertainen yhden sivun yhdistelmäkuva jäätämislukittelusta ja datan luotettavuudesta (ylärivin esimerkkikuvat) sekä jäätämismallin ennusteesta (alarivi)
- Tuote esitetään reaaliaikaisena verkkosivulla



PROJEKTIN TULOKSIA

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

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



Vehmasmäki-vertailu

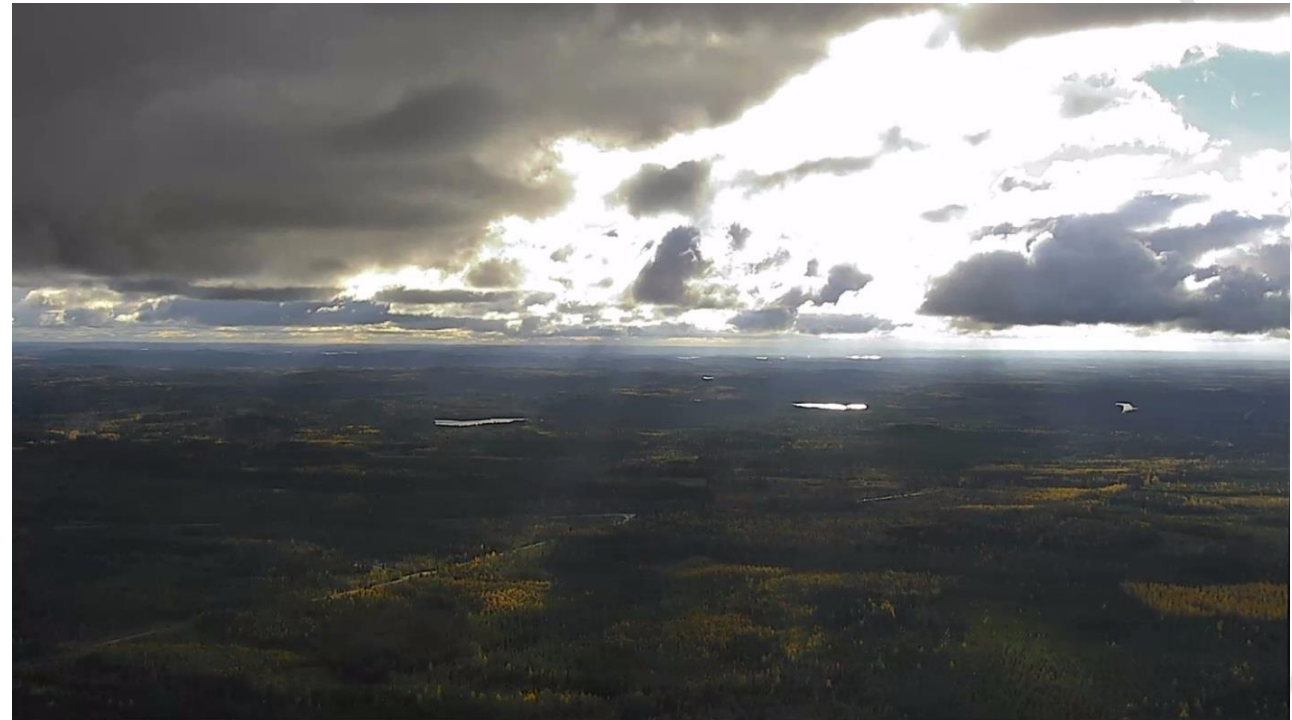
- 1.1.-16.2.2017
- Havaintopisteiden kokonaismäärä 1974 kpl per korkeus
- **Jäätämistä havaitaan 41-42 % ajasta** kyseisellä jaksolla anturien korkeudella
- **Yhdenaikaiset havainnot 85-94 %**, mutta myös ”ylimääräisiä” havaintoja

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 (1)

- Puijon ja arkistodata käyty läpi vuosilta 2009-2017
 - Jäätävyyssanturit, ceilometri, säädata, pilvipisaradata
- Vehmassmäen datasta vertailtu masto vs. ceilometri vs. malli
 - Toteutettu aikajaksolle 1.1.-16.2.2017
- 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 (2)

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

PROJEKTIN TULOKSIA - webbisivut

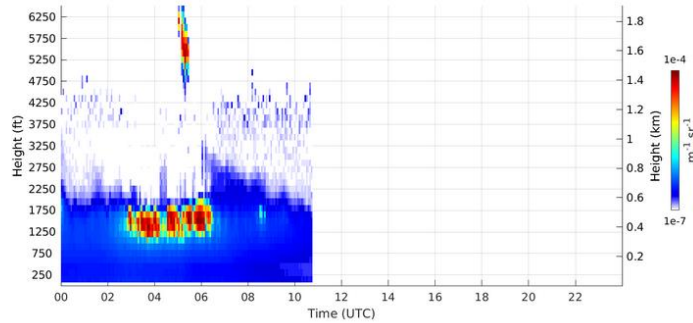
Vehmassmäki
 Savilahti
 Tikkakoski

Nov 2017

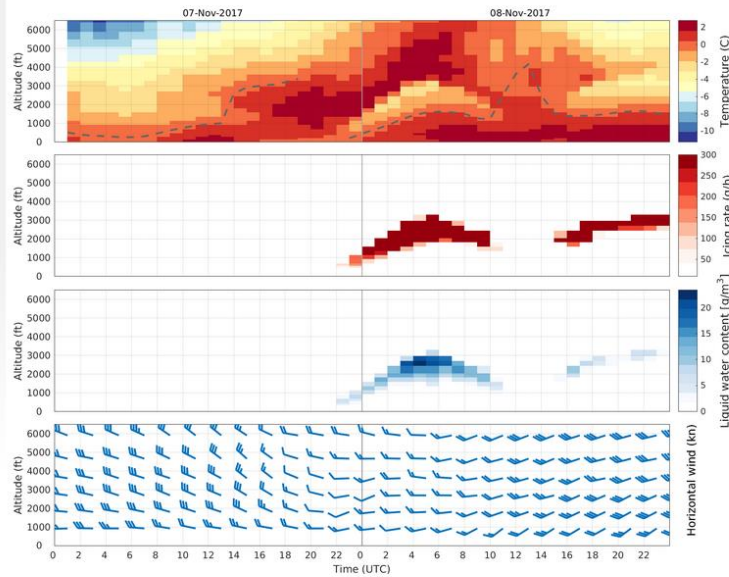
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			



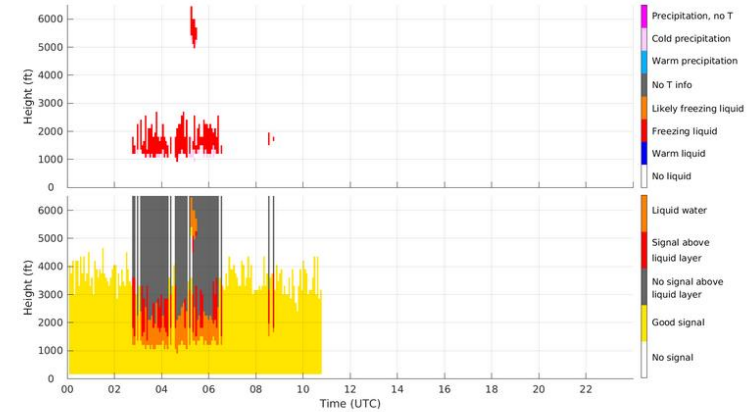
VEHMASMÄKI: 07/11/2017 0:00 UTC -



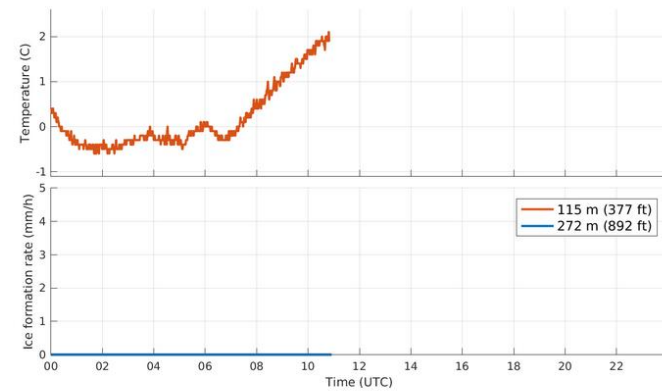
Attenuated backscattering coefficient



Model forecast



Icing classification (top) and detection status (bottom)



In-situ observations

PROJEKTIN TULOKSIA (2)

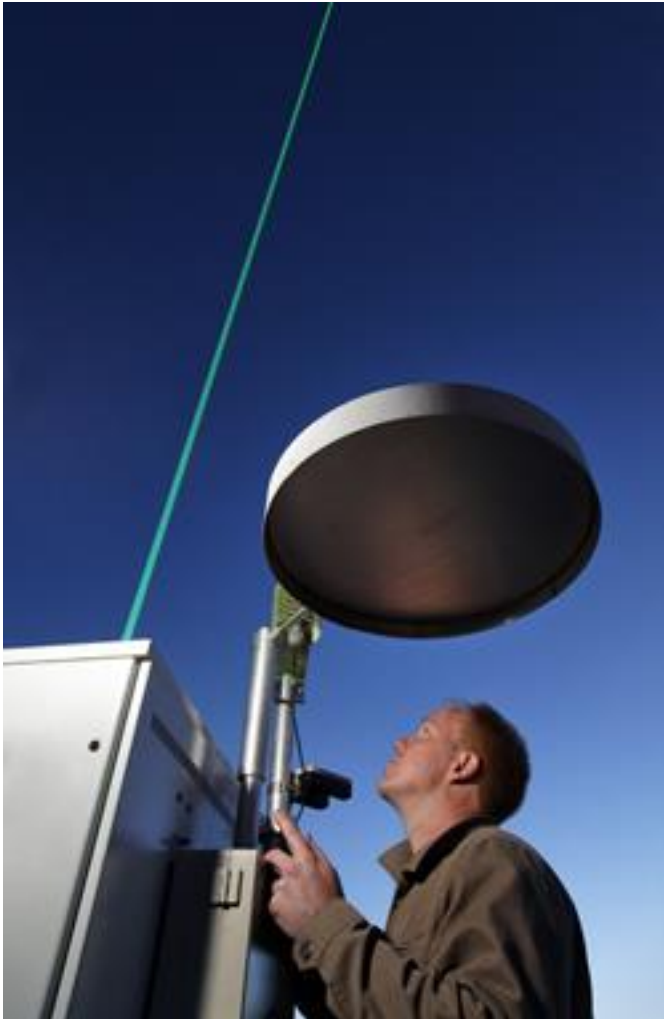
- Webbisivut ”valmiina”
 - Sivulla reaaliaikaiset datakuvat ja arkisto
 - Jäätävyyssanturien data, Ceilometrin raakadata ja jäätävyystuote, jäätämismallin ennuste Profiilit, mallin lämpötila ja tuuliennusteet
- Lentopalautetta varten tehty lentäjille kyselylomake lennon aikaisista jäätämishavainnoista
- Vierailtu Tikkakoskella säännöllisesti projektin esittelyyn ja jatkosuunnittelun merkeissä
- Vierailtu Rissalassa (Hornet) ja Niinisalossa (UAV-toiminta) esittelemässä projektia

Tikkakosken intensiivikampanja

- Aloitetaan viikon intensiivijaksolla viikolla 45
- Kerätään lentäjiltä tietoa lennon aikaisista jäätämishavainnoista
- **Lomakkeella kysytään mm. seuraavaa:**
 - **Jäätäminen kyllä / ei**
 - **jäätämisen voimakkuus**
 - **korkeus/korkeusväli**
 - **etäisyys lentokentästä**

JATKOSUUNNITELMIA

- Jatketaan arkistodatan tarkastelua/vertailua
 - Lisätään vertailudatan ja asemien määrää
 - Selvitetään tarkemmin havaittujen erojen alkuperää
- **Sateen olomuodon luokittelu** ceilometrasta
- In-situ jäätävyyssanturien algoritmin kehitystyö / optimointi
- Webbisivujen ja tuotteiden jatkokehittäminen
- **Lentäjäpalautteen ja -havaintojen** vertaaminen tuotteisiin ja edelleen kehittäminen
- Vierailu suunnitteilla Uttiin (helikopterit)



**Kiitos,
kysymyksiä...**

mika.komppula@fmi.fi