



Pro gradu -tutkielma  
Meteorologia

LENTOPAIKKAENNUSTEIDEN VERIFIOINTI JA VAIKUTUS ENNUSTUSTOIMINTAAN

Joni Kentala

31.10.2016

Ohjaajat: FM Alberto Blanco Sequeiros (Ilmatieteen laitos)

Tarkastajat: Prof. Heikki Järvinen, Dos. Jouni Räisänen

HELSINGIN YLIOPISTO  
FYSIIKAN LAITOS

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)  
00014 Helsingin yliopisto



# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1. JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LENTOPAIIKKAENNUSTE</b> .....	<b>3</b>
<b>3. VERIFIOINTIMENETELMÄT</b> .....	<b>6</b>
3.1 ILMATIETEEN LAITOKSEN MENETELMÄ.....	6
3.1.1 Näkyvyyden ja pilviryhmän verifiointi.....	7
3.1.2 Sääryhmän verifiointi .....	8
3.1.3 Tuulen suunnan ja nopeuden verifiointi .....	9
3.1.4 PROB-ryhmien verifiointi.....	9
3.2 AUSTRO CONTROL:N MENETELMÄ.....	11
3.3 NWS:N MENETELMÄ .....	13
<b>4. VERIFIOINTITULOKSET</b> .....	<b>13</b>
4.1 YLEISKUVA TULOISTA .....	13
4.1.1 Näkyvyyden ja pilviryhmän tulokset .....	16
4.1.2 Sääryhmän ja tuulen suunnan sekä nopeuden tulokset .....	19
4.2 PROB-RYHMIEN VERIFIOINTITULOKSET .....	21
4.3 TAF-MITTARI .....	23
<b>5. NÄKYVYYDEN JA PILVIRYHMÄN EROT</b> .....	<b>24</b>
5.1 VUOSIEN EROT.....	25
5.2 EROT ENNUSTETTAVUUDESSA .....	26
5.3 TULOSTEN HAJONTA .....	30
<b>6. ENNUSTETTAVUUDEN ERITYISPIIRTEITÄ</b> .....	<b>34</b>
6.1 RAJOJEN VAIKUTUS PISTEISIIN .....	34
6.2 PISTEET AJAN FUNKTIONA .....	35
6.3 PISTEET NÄKYVYYDEN FUNKTIONA .....	38
<b>7. ENNUSTETTAVUUDEN PARANTAMINEN</b> .....	<b>41</b>
7.1 INHIMILLISET VIRHEET .....	41
7.2 HAVAINTOVIRHEET .....	42
7.3 MUUTOSRYHMIEN KÄYTTÖ .....	43
7.4 PAIKALLINEN TUNTEMUS.....	44
<b>8. JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>44</b>
<b>KIITOKSET</b> .....	<b>45</b>
<b>KIRJALLISUUSLUETTELO</b> .....	<b>46</b>

# 1. JOHDANTO

Lentosääennusteet ovat tärkeä osa nykypäiväistä lentotoimintaa ja ne luovat yhtenä osana pohjan turvalliselle lentotoiminnalle. Ennusteet vaikuttavat suoraan muun muassa tankatun polttoaineen määrään, lennolla vaadittavien varakenttien valintaan ja joissain tapauksissa lento voidaan joutua perumaan ennustetun huonon säätilanteen takia. Lentokentälle saapuvan tai siltä nousuun lähtevän lentokoneen kannalta oleelliset sääsuureet ovat näkyvyys, pilvenkorkeus, tuuli ja vallitseva sää. Näitä suureita ennustetaan tekstimuotoisilla lentopaikkaennusteilla eli TAF-ennusteilla (engl. Terminal Aerodrome Forecast). Lisäksi piloteilla on käytössään liuta muita lentoreitin kattavia ennusteita, kuten merkitsevän sään kartat.

Suomessa kaikki lentopaikkaennusteet tehdään Ilmatieteen laitoksen neljän lento- ja sotilassääpalveluryhmän toimesta, joiden toimipisteet sijaitsevat Helsingissä, Tampereella, Kuopiossa ja Rovaniemellä (IL lentosääpalvelut Suomessa, 2015). Muita isoja toimijoita ilmailun saralla ovat muun muassa Finavia Oyj, Vaisala Oyj ja liikenteen turvallisuusvirasto Trafi.

TAF-ennusteita tehdään kaikkiaan 27 Finavian valvonnanalaiselle lentokentälle. Lentokenttien maantieteelliset sijainnit näkyvät kuvassa 1. Lisäksi liitteessä 1 on lentokenttien nelikirjaimisten ICAO-lyhenteiden selitykset. Lentokentistä 8 kappaletta (EFHK, EFTP, EFKU, EFRO, EFTU, EFVA, EFJY ja EFOU) ovat ns. pitkän TAF-ennusteen lentokenttiä, joille tehdään ympäri vuorokauden 24 tunnin pituiset ennusteet. Loput 19 lentokenttää ovat käytössä epäsäännöllisemmin, ja niille tehdään maksimissaan 9 tunnin pituisia TAF-ennusteita kerrallaan. Näiden 27 lentokentän lisäksi Suomessa on lukuisia valvomattomia pienkenttiä, joille TAF-ennusteita ei tehdä.

Tämän työn tavoite on tutkia Ilmatieteen laitoksen verifiointimenetelmän avulla Suomessa tehtävien lentopaikkaennusteiden osuvuuksia ja ennustettavuutta eri tilanteissa. Näkyvyys ja pilvenkorkeus ovat lentopaikkaennusteen kannalta hankalimmat ennustettavat sääsuureet, ja niiden tarkastelu onkin tutkielman pääroolissa. Itse työskentelin lentosäämeteorologina Rovaniemellä tätä työtä tehdessäni vuosien 2014 ja 2016 välillä. Näin ollen näkökulma tässä työssä on vahvasti ennusteita tekevän meteorologin suunnasta.

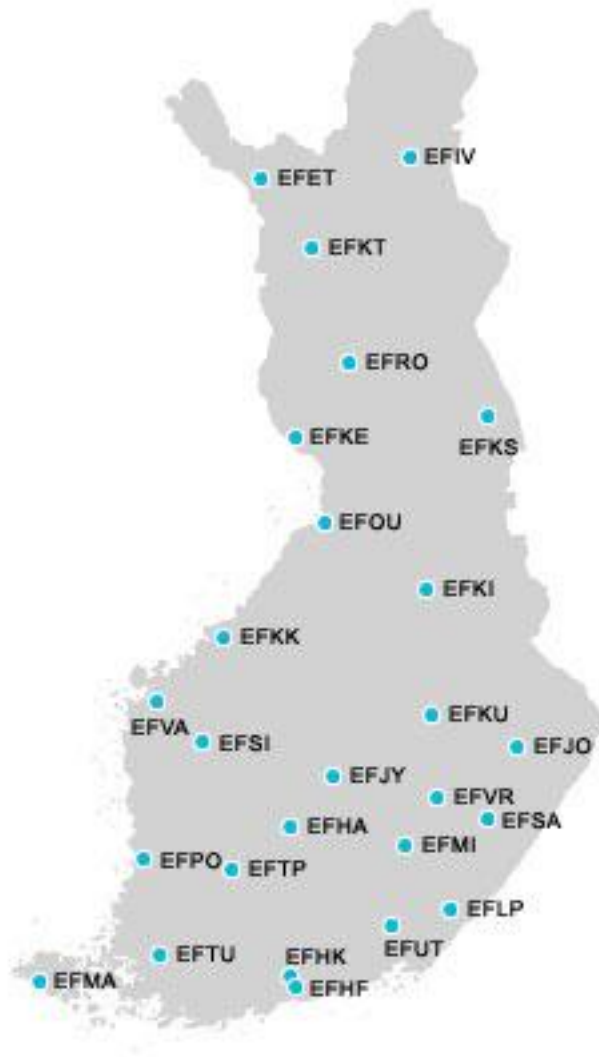
Verifioinnilla tässä työssä tarkoitetaan ennustettujen sääsuureiden osuvuuksien tarkastelua, käyttämällä vertailukohtana lentokentällä tehtyjä havaintoja. Jokainen ennuste pisteytetään sen perusteella, kuinka lähelle havaintoja se on osunut. Lentopaikkaennuste tehdään aina kattamaan lentokentän lähialue noin 15 km säteelle, mutta ennustetta voidaan käsitellä hyvänä arviona piste-ennusteena, mikä mahdollistaa verifiointin tällä tavoin. Havainnonteko on automatisoitunut viime

vuosina roimasti, ja nykyään suurin osa tehdyistä havainnoista onkin automaattisia. Ilmatieteen laitoksen lentopaikkaennusteiden verifiointimenetelmästä ei ole kovinkaan paljon tietoa julkistettuna, mikä on myös yksi motivaatio tälle työlle.

Synoptisiin karttoihin pohjautuvia operatiivisia sääennusteita alettiin tuottaa USA:ssa ja Länsi-Euroopassa 1800-luvun puolivälin tienoilla. Nopeasti ennusteiden laatu alkoi herättää keskustelua, ja ennusteiden verifiointi alkoi. Esimerkiksi J. P. Finley julkaisi tornadoennusteiden verifiointituloksia vuonna 1884, kuten Murphy (1996) mainitsee. Sääennusteiden verifiointi on tärkeä osa ennusteiden tarkkailua ja ennustusvirheiden ymmärtämistä. Verifiointi on myös työkalu ennustustoiminnan kehittämisessä. Nykyaikaisista sääennusteiden verifiointimenetelmistä on koottu tietoa muun muassa Ebertin ym. (2013) julkaisussa. Näistä esimerkkinä parviennusteisiin liittyvät verifiointit, erilaiset numeeristen mallien verifiointit sekä useat energiatalouden kannalta tärkeiden ennusteiden verifiointit.

Lentopaikkaennusteiden verifiointi alkoi useissa lentosääpalvelupisteissä pääosin 1980-luvulla, minkä jälkeen useita erilaisia menetelmiä on julkaistu. Mahringerin (2008) mukaan yhtenäistä menetelmää ei kuitenkaan ole löytynyt muuta kuin rajoitetuille alueille. Suomessa Ilmatieteen laitoksen osalta lentopaikkaennusteiden verifiointi aloitettiin 1990-luvulla ja se on osana laatujärjestelmää ja tuotteiden sertifiointia laitoksella.

Luvussa 2 tutustutaan lentopaikkaennusteeseen ja sen ennustamiseen. Verifiointimenetelmä käydään läpi luvussa 3, jossa myös verrataan miten Suomessa käytetty menetelmä eroaa muissa maissa käytettävistä menetelmistä. Verifiointitulokset esitellään luvussa 4 yleisesti kaikille verifiointisuureille, ja luvussa 5 keskitytään tarkemmin näkyvyyden ja pilviryhmän tuloksiin. Tämän jälkeen luvussa 6 tutkitaan ennustettavuuden erityispiirteitä, ja luvussa 7 pohdintaan keinoja ennustettavuuden parantamiseksi. Lopuksi luvusta 8 löytyy yhteenveto tutkielmasta.



**Kuva 1.** Finavian valvomat lentokentät kartalla. Yhteensä kenttiä 27 kpl. Kuva: <https://ais.fi/ais/eaip/fi/>

## 2. LENTOPAIIKKAENNUSTE

Lentopaikkaennusteella eli TAF-ennusteella ennustetaan näkyvyyttä, pilvenkorkeutta, tuulta ja vallitsevaa säätä lentokentän lähialueelle, noin 15 km säteelle lentokentästä. Yksikköinä näkyvyydelle käytetään metrejä, pilvenkorkeudelle jalkoja (1 jalka = 0,3048 m) ja tuulen nopeudelle solmuja (1 solmu = 0,5144 m/s). TAF-ennusteella ennustetaan suureiden muutokset niille asetettujen luokkarajojen mukaisesti. TAF-ennusteen sanomamuoto ja ennustettavat luokkarajat pohjautuvat Kansainvälisen siviili ilmailu organisaatio ICAO:n (International Civil Aviation Organization) asettamiin standardeihin. Lentosääennusteita koskeva ohjeistus löytyy ICAO:n julkaisemasta Annex 3-ohjeesta, viitteestä ICAO (2010).

Taulukossa 1 nähdään Ilmatieteen laitoksella käytössä olevat luokkarajat näkyvyydelle ja pilvenkorkeudelle. Aina, kun luokkaraja ylittyy ennusteen aikana lentokentällä, tämä pyritään ennustamaan TAF-ennusteessa. Sääryhmän osalta ennustetaan lentotoiminnalle merkittävät sääilmiöt, jotka on lueteltuna liitteessä 3. Tuulen osalta ennustetaan suunta vähintään 60 asteen tarkkuudella, kun tuulen nopeus on yli 10 solmua. Tuulen nopeuden osalta ennustetaan yli 10 solmun muutokset tuulessa.

**Taulukko 1.** *Ilmatieteen laitoksella käytössä olevat luokkarajat TAF-ennusteen näkyvyydelle ja pilvenkorkeudelle. Näkyvyydelle on 9 luokkaa, siten että alempi ilmoitetuista luokkarajoista kuuluu kyseiseen luokkaan, mutta ylempi kuuluu seuraavaan luokkaan. Pilvenkorkeus ilmoitetaan sadan jalan tarkkuudella ja sille on 5 eri luokkaa.*

Näkyvyys	Pilvenkorkeus
8000m tai yli	1500ft tai yli
8000 – 5000m	1400 – 1000ft
5000 – 3000m	900 – 500ft
3000 – 1500m	400 – 200ft
1500 – 800m	100ft
800 – 600m	
600 – 350m	
350 – 150m	
alle 150m	

TAF-ennuste koostuu perusrhyhmästä ja muutosryhmistä. Perusrhyhmä kuvaa lentokentällä vallitsevaa säätä ennusteen alkutilanteessa, ja muutosryhmät kuvaavat säätilan muutoksia sekä vaihteluita ennusteen edetessä. Lyhyesti TAF-sanoman perusrhyhmän muoto on seuraavanlainen, kuten ICAO (2010) sen määrittelee:

TAF nnnn ddhmmZ ddhh/ddhh dddss vvvv wx cldnnn=

Missä

- nnnn on lentokentän icao paikkatunnus. (esim. EFRO on Rovaniemen lentokentän tunnus)
- ddhmmZ on sanoman lähetysaika siten että, dd on päivän numero, hh on tunti ja mm on minuutit sekä Z lopussa tarkoittaa että kyseessä on UTC-aika. (esim. 220837Z)

- ddhh/ddhh kertoo millä aikavälillä ennuste on voimassa tunnin tarkkuudella, kauttaviivan etupuolella alkuhetki, jälkipuolella loppuhetki. (esim. 2209/2309)
- dddss-termissä ddd on tuulen suunta asteina, kymmenen asteen tarkkuudella ja ss tuulen nopeus solmuina (esim. 20010KT tarkoittaa 200 astetta ja 10 solmua)
- vvvv on näkyvyys metreinä (esim. 7000)
- wx on sääryhmä (esim. SHRA tarkoittaa kohtalaista kuurosadetta. wx jätetään tyhjäksi, jos ennustettavaa säätä ei ole).
- cldnnn on pilviryhmä, cld kuvaa pilvisyyden määrän 0-8/8 asteikolla seuraavasti:  
FEW = 1-2/8, SCT = 3-4/8, BKN = 5-7/8 ja OVC = 8/8. nnn kertoo pilven alarajan korkeuden sadan jalan tarkkuudella. (esim. BKN030 tarkoittaa 5-7/8 osaa taivaasta peittävää pilveä 3000 jalan korkeudella)

Perusryhmän lisäksi TAF-sanomassa kuvataan säätilan muutokset ja vaihtelut erilaisilla muutosryhmillä, jotka kirjoitetaan sanomassa perusryhmän jälkeen. Muutosryhmät ovat lyhyesti seuraavanlaiset:

- FM-ryhmä kuvaa säätilan muutosta tietyistä ajanhetkeistä eteenpäin. FM-ryhmä käytetään, kun useat perusryhmän säätekijöistä muuttuvat merkittävästi. FM-ryhmää käytettäessä ilmoitetaan aina kaikki perusryhmän termit uudelleen, kun muita muutosryhmiä käytettäessä nimetään vain säätilan kannalta merkittävät muutokset. Esim. FM160700 19012KT 6000 RA BKN006.
- BECMG-ryhmä kuvaa säätilan muutosta uuteen tilaan tietyn aikavälin kuluessa. Esim. BECMG 1607/1609 2500 SN, kuvaa kahden tunnin kuluessa kohtalaisen lumisateen alkavan, näkyvyyden huonontuvan 2500 metriin.
- TEMPO-ryhmää käytetään kuvaamaan säätilan ajoittaisia vaihteluita, jotka eivät ole ajallisesti yhtäjaksoisia, kuten kesäiset sadekuurot. ICAO:n (2010) määritelmän mukaan TEMPO-ryhmä kuvaa sään vaihteluita, jotka kestävät ajallisesti alle tunnin kerrallaan ja jotka toteutuvat alle puolet ennustetusta ajasta. Esim. TEMPO 1711/1715 6000 SHRA.
- PROB-ryhmä kuvaa todennäköisyyttä tietyn suureen tai suureiden merkittävälle muutokselle annetulla aikavälillä. Todennäköisyyksistä vain 30% ja 40% ovat käytössä, ja ne ilmaistaan sanomassa PROB sanan yhteydessä (PROB30 tai PROB40). Esim. PROB40 1812/1815 BKN009.
- TAF ennuste päättyy tekstirivin lopussa olevaan = merkkiin.



Esimerkki Rovaniemen lentokentälle tehdystä TAF-ennusteesta löytyy alta. Siinä ennuste alkaa 28. päivä klo 06 UTC ja päättyy 29. päivä klo 06 UTC. Tuuli on suunnasta 290 astetta 7 solmua, näkyvyys on yli 10 kilometriä ja vähäistä pilvisyyttä on 2000 jalan korkeudella. 19 ja 01 UTC aikavälillä, näkyvyys putoaa ajoittain 7 kilometriin, vettä sataa kohtalaisesti ja esiintyy 400 jalan pilvisyyttä. 21 ja 01 UTC aikavälillä lisäksi on 30 prosentin mahdollisuus sumulle, jossa näkyvyys 800 metriä ja pilvenalaraja 100 jalkaa.

TAF EFRO 280529Z 2806/2906 29007KT 9999 FEW020 TEMPO 2819/2901 7000 RA BKN004 PROB30 2821/2901 0800 FG BKN001=

### **3. VERIFIOINTIMENETELMÄT**

#### **3.1 Ilmatieteen laitoksen verifiointimenetelmä**

Ilmatieteen laitoksen verifiointimenetelmän perimmäinen tarkoitus on tutkia, kuinka hyvin TAF-ennuste pystyy ennustamaan sään muutokset ennusteen aikana. Verifiointiin käytettävät luokkarajat ja -ryhmät eri sääsuureille ovat samat, kuin TAF-ennusteen teollekin asetetut rajat, joita esiteltiin edellisessä luvussa. Menetelmän avulla verifioidaan jokainen yksittäinen TAF-ennuste, ja vertailukohtana käytetään lentokentällä tehtyjä METAR-havaintoja (Meteorological aerodrome report). Blanco Sequeiros ym. esittävät menetelmän periaatteen julkaisussaan, josta tässä luvussa lyhyt selostus.

Tämän hetkiselällä menetelmällä verifiointi aloitettiin vuonna 2004 Ilmatieteen laitoksella. Sama menetelmä on käytössä Suomen lisäksi myös Islannissa, Virossa, Latviassa, Tanskassa, Norjassa ja Ruotsissa. Käytännössä tulosten laskenta tapahtuu Suomessa Ilmatieteen laitoksella, mistä saadut tulokset toimitetaan muihin maihin.

Verifioitavat sääsuureet ovat kaikki TAF-ennusteessa ennustetut parametrit eli näkyvyys, pilviryhmä, sääryhmä ja tuulen suunta sekä nopeus. Jokaista suuretta verifioidaan erikseen ja ne pisteytetään sen perusteella kuinka hyvin ennuste on pysynyt havaintojen perusteella luokkarajojen sisällä. Eri sääparametrit verifioidaan hieman eri tavalla toisistaan, mutta yhteistä kaikille on pisteytys 0 ja 10 pistemäärän välille. Pistemäärä 10 on paras arvo, jolloin on pystytty ennustamaan sääparametrin vaihtelut luokkarajojen puitteissa täydellisesti. Pistemäärä 0 on huonoin arvo, joka tarkoittaa ennusteen olevan täysin pielessä jo lähtötilanteessa. TAF-ennuste pisteytetään jokaisen sen voimassaoloaikana tehdyn havainnon kohdalla, ja verifiointitulokset saadaan laskemalla keskiarvo kaikista pisteistä.

### 3.1.1 Näkyvyyden ja pilviryhmän verifiointi

Näkyvyyden ja pilviryhmän verifiointi toteutetaan keskenään samankaltaisesti, ja se perustuu suureille asetettuihin luokkarajoihin. Luokkarajat ovat edellä nähdyn taulukon 1 mukaiset. Pilvisyyden osalta ainoastaan yli puoli taivasta kattava pilvisuus tulkitaan merkittäväksi. Tätä vähäisempi pilvisyyden määrä tulkitaan sekä ennusteessa että havainnoissa yli 1500 jalan luokkaan kuuluvaksi. Yli puoli taivasta kattava pilvisuus merkitään BKN- (5-7/8 osaa taivaasta peitossa) tai OVC-merkinnällä (8/8 osaa taivaasta peitossa).

TAF-ennusteen perusryhmän osalta pisteytys on hyvin looginen. Jos ennuste on samassa luokassa havainnon kanssa, se saa 10 pistettä kyseiseltä ajanhetkeltä. Jos eroa on 1 luokan verran, pisteitä tulee 7. Jos eroa on 2 luokkaa, saa ennuste enää 1 pisteen. Jos ero on 3 luokkaa tai enemmän, pisteitä tulee 0.

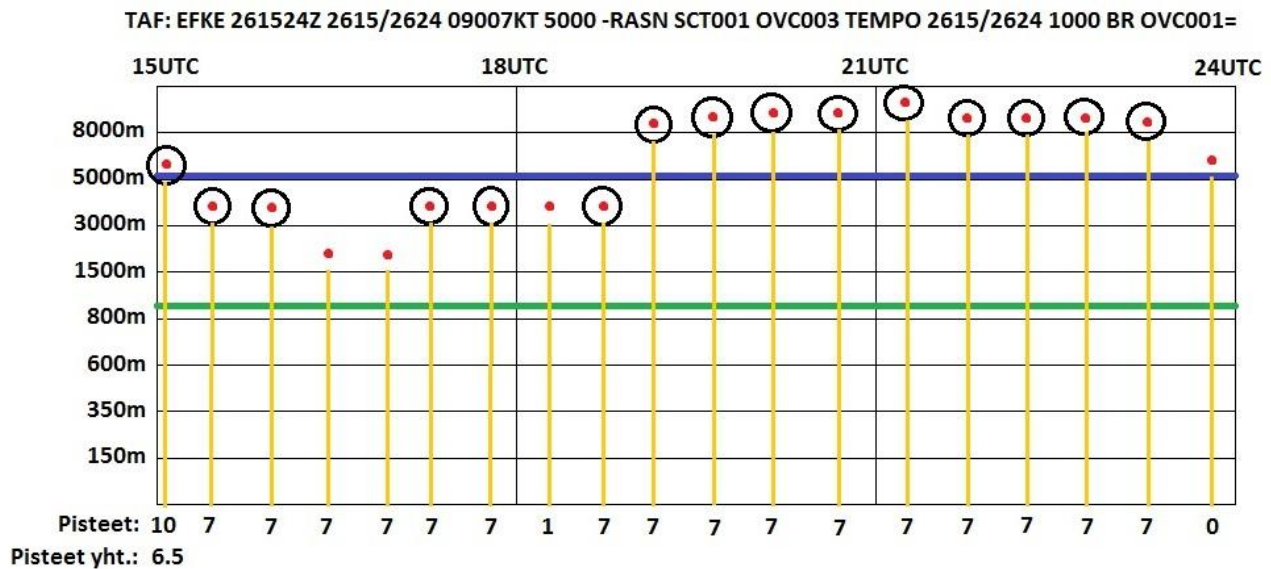
Muutosryhmien osalta verifiointi hieman monimutkaistuu, ja tarkempi selostus käytettävistä säännöistä löytyy liitteestä 4. Tiivistettynä seuraavia sääntöjä noudatetaan:

- FM-ryhmä katsotaan muuttuvan sen alkuhetken jälkeen vallitsevaksi perusryhmän sääksi, jolloin se myös verifioidaan, kuten perusryhmä. FM-ryhmän alkuhetkeä edeltävä sekä jälkeinen havainto saavat kuulua joko aikaisempaan perusryhmään tai muuttuvaan FM-ryhmään.
- BECMG-ryhmän muutosajan aikana ennuste tulkitaan oikeaksi, kunhan havainto on edeltävän perusryhmän ja muuttuvan BECMG-ryhmän välillä. Muutosajan jälkeen sään tulkitaan muuttuneen BECMG-ryhmän tilaan ja se verifioidaan uutena perusryhmän sääinä.

TEMPO-ryhmän osalta verifiointi on huomattavasti monimutkaisempaa muihin muutosryhmiin nähden. Kuten edellisessä luvussa mainittiin, TEMPO-ryhmä kuvaa sään vaihteluita, jotka kestävät ajallisesti alle tunnin kerrallaan ja jotka toteutuvat alle puolet ennustetusta ajasta. Verifiointinissa tämän kaltainen käytös on pyritty pisteyttämään seuraavalla tavalla:

- TEMPO-ryhmä jaetaan kolmen tunnin jaksoihin sen voimassaoloaikana. Jaottelu alkaa ryhmän alusta, ja viimeiset ryhmät voivat olla myös yhden tai kahden tunnin pituisia.
- Ennustetta verrataan joko TEMPO-ryhmään tai perusryhmään riippuen kumpaa lähempänä havainto on. TEMPO-ryhmään verrataan korkeintaan 2 peräkkäistä havaintoa ja maksimissaan puolet kolmen tunnin jakson havainnoista kerrallaan. Kuitenkin vähintään yhtä havaintoa verrataan TEMPO-ryhmään, vaikka kaikki havainnot osuisivatkin lähemmäksi perusryhmän ennustetta.

Kuvassa 3.1 on esimerkki TEMPO-ryhmän verifiointista, jossa sääsuurena on näkyvyys. Ennusteen perusrhymässä on ennustettu näkyvyydeksi 5000 metriä ja 9 tuntia kattavassa TEMPO-ryhmässä on ennustettu näkyvyydeksi 1000 metriä. TEMPO-ryhmä on verifioitaessa jaettu kolmen tunnin jaksoihin. Näistä ensimmäisessä, havainnoista kaksi kappaletta on lähempänä TEMPO-ryhmää. Eroa on silti yhden luokkarajan verran, jolloin ne saavat pistemäärän 7. Kahdessa jälkimmäisessä kolmen tunnin jaksossa kaikki havainnot ovat lähempänä perusrhymän ennustetta, mutta vähintään yhtä havaintoa verrataan silti aina TEMPO-ryhmään. Tällöin keskimmäisen jakson yksi havainto saa pistemäärän 1, ja viimeisen jakson yksi havainto saa pistemäärän 0.



**Kuva 3.1.** Esimerkki näkyvyyden verifiointista. Y-akselilla on näkyvyys jaettuna verifiointiluokkarajoihin, x-akselilla on aika 3 tunnin välein TAF-ennusteen voimassaoloajalle. TAF-ennuste näkyy kuvan yläreunassa. TEMPO-ryhmä (9h) jaetaan verifioidessa kolmen tunnin jaksoihin. Punaiset pallot kuvaavat havaintoja, ympyröidyt havainnot on verifioitaessa verrattu perusrhymään ja pelkät punaiset pallot on verrattu TEMPO-ryhmään. Kuvan alareunassa on ennusteen saamat pistemäärät jokaiselle havainnolle sekä yhteispistemäärä. Kuva on uudelleenpiirretty Blanco Sequeirosin ym. s.14 kuvan pohjalta.

### 3.1.2 Säätiryhmän verifiointi

Säätiryhmän verifiointissa käytetään säätilaa kuvaavia ryhmiä, jotka käsittävät lentotoiminnan kannalta merkittävät sääilmiöt. Verifioitaviin ryhmiin kuuluvat lumisade, vesisade, jäätävät ilmiöt,

ukkonen, rakeet, muut harvinaisemmat ilmiöt ja ei merkittävän sään ryhmä. Liitteestä 3 löytyy tarkempi jaottelu ryhmille, ja liitteessä 2 on selitykset eri sääilmiöille käytetyistä lyhenteistä.

Verifiointi tapahtuu tunnin jaksoissa, jonka aikana ennustetta verrataan saatuihin havaintoihin. Ennusteen ensimmäisen tunnin osalta myös yksi tuntia edeltävä metar-havainto otetaan mukaan. Jos sekä ennustettu että havaittu säätyyppi ovat samassa ryhmässä, ennuste saa 10 pistettä kyseiseltä tunnilta eli ennuste on oikein. Jos merkittävä sääilmiö on havaittu yhdessäkin havainnossa, ja sitä ei ole ennustettu, saa ennuste 0 pistettä kyseiseltä tunnilta. Lopullinen verifiointitulokset saadaan laskemalla keskiarvo saaduista pisteistä.

Muutosryhmien osalta, FM-ryhmä verifioidaan siten, että uusi sääryhmä tulee voimaan heti FM-ryhmän alettua, mutta ensimmäinen havainto voi olla joko edeltävässä tai voimaantulevassa ryhmässä ollakseen oikein. BECMG-ryhmän aikavälillä ennuste on oikein jos havainto on joko edeltävässä perusryhmässä tai BECMG-ryhmän muuttamassa ryhmässä. TEMPO-ryhmän osalta ennuste tulkitaan oikeaksi, jos havainto on joko perusryhmässä tai TEMPO-ryhmässä.

### *3.1.3 Tuulen nopeuden ja suunnan verifiointi*

Tuulen nopeuden verifiointissa ennuste tulkitaan oikeaksi, jos se on 10 solmun tarkkuudella havainnosta. Ennustetta verrataan jokaiseen ennustenaikaiseen havaintoon. Jos ennuste on oikein, se saa 10 pistettä kyseiseltä havainnolta. Muussa tapauksessa se saa 0 pistettä. Lopuksi verifiointitulokset lasketaan saatujen pisteiden keskiarvona. Havainnoista ainoastaan 3 solmun tai korkeamman nopeuksiset tuulet otetaan huomioon, pienemmillä nopeuksilla ennuste saa 10 pistettä automaattisesti.

Tuulen suunnan osalta verifiointi tapahtuu 60 asteen tarkkuudella, kun havaittu nopeus on 10 solmua tai enemmän. Ennuste saa 10 pistettä, jos havaittu tuulen suunta on 60 asteen sisällä ennusteesta, ja 0 pistettä jos eroa on yli 60 astetta. Verifiointitulokset saadaan vastaavasti keskiarvoistamalla, kuten tuulen nopeudellakin. Jos nopeus on pienempi kuin 10 solmua, tuulen suunnan ennuste tulkitaan oikeaksi ja se saa 10 pistettä.

Tuulen nopeuden ja suunnan osalta ei verifioida TEMPO- ja PROB-ryhmiä. BECMG- ja FM-ryhmä verifioidaan vastaavasti kuin sääryhmän yhteydessä.

### *3.1.4 PROB-ryhmien verifiointi*

PROB-ryhmän ennuste on aina todennäköisyysennuste. Käytettävät ryhmät ovat PROB30 ja PROB40, jotka vastaavat 30% ja 40% todennäköisyyksiä vastaavasti. Näin ollen PROB-ryhmän

ennusteen ei tarvitse aina toteutua ollakseen oikein, ja oikeastaan suuremmaksi osaksi ennustetaankin sääilmiötä, jota suuremmalla todennäköisyydellä ei oleteta toteutuvan. Tässä suhteessa PROB-ryhmä eroaakin muista muutosryhmistä, joissa kaikissa ennustetun sääilmiön oletetaan toteutuvan ainakin osan ajasta: BECMG- ja FM-ryhmän jälkeen sää ennustetaan muuttuvan kokonaan uuteen tilaan, ja TEMPO-ryhmässäkin sään oletetaan ainakin kerran kolmen tunnin aikana toteuttavan ryhmän ennusteen.

Tästä syystä PROB-ryhmiä ei oteta mukaan suoranaisesti verifiointipisteisiin vaikuttavaksi tekijäksi, vaan ne verifioidaan omiin taulukoihinsa. PROB30- ja PROB40-ryhmät verifioidaan omina ryhminä jokaiselle sääryhmälle erikseen. Lisäksi mahdolliset yhdistelmäryhmät PROB30 TEMPO ja PROB40 TEMPO, verifioidaan kuten PROB30- ja PROB40-ryhmät vastaavasti.

Toisin kuin edellä muiden muutosryhmien verifiointinnissa, PROB-ryhmien tulokset ilmoitetaan prosenttilukuina 0-100 % välillä. 100 % kuvaa sitä, että ennustettu sää toteutuu jokaisessa havainnossa PROB-ryhmän ennustejalla. 0 % puolestaan tarkoittaa, että yksikään havainto ei ole ollut PROB-ryhmän ennusteluokassa. Eri sääparametreille käytetään seuraavia verifiointimenetelmiä:

- Näkyvyys ja pilven alarajan korkeus: jos ennuste ja havainto ovat samassa luokassa, ennuste saa tältä ajanhetkeltä tulokseksi 100 %. Muussa tapauksessa tulokseksi tulee 0 %. Lopulta verifiointitulos on keskiarvo kaikilta ajanhetkiltä saaduista tuloksista PROB-ryhmän voimassaoloajalta.
- Tuulen suunta: verifiointi otetaan huomioon vasta 10 solmua tai isommilla tuulen nopeuksilla. Tällöin, jos ennuste eroaa korkeintaan 60 astetta havainnosta, tulos on 100 % kyseiseltä ajanhetkeltä, ja jos eroa on enemmän, tulos on 0 %. Lopullinen tulos saadaan jokaisen havaintohetken tulosten keskiarvosta.
- Tuulen nopeus: verifiointi otetaan huomioon 3 solmua tai isommilla tuulen nopeuksilla. Jos ennuste eroaa havaitusta tuulen nopeudesta korkeintaan 10 solmua, on tulos tältä ajanhetkeltä 100 %. Jos taas eroa on enemmän, tulos on 0 %. Lopuksi havaintohetkiltä saaduista tuloksista otetaan keskiarvo, joka on lopullinen tulos.
- Sääryhmä: verifiointi tapahtuu muista suureista poiketen 1 tunnin jaksoissa PROB-ryhmän voimassaoloaikana. Vallitsevan sään verifiointinnissa käytettävät ryhmät ovat myös samat, kuten 3.1.2 luvussa. Nyt, jos ennuste ja havainto ovat samassa ryhmässä edes yhdessä havainnossa kyseisen tunnin aikana, tulos on 100 % tältä tunnilta. Muussa tapauksessa tulos on 0 %. Lopullinen tulos saadaan ottamalla keskiarvo jokaisen PROB-ryhmän ennustustunnin tuloksista.

### 3.2 Austro Control:n menetelmä

Austro Control:n eli Itävallan sääpalvelukeskuksen kehittämä verifiointimenetelmä lentopaikkaennusteille on ollut operatiivisessa käytössä 2005 vuodesta alkaen. Menetelmä on käytössä MetAlliance:n jäsenmaissa, joita ovat Itävalta (Austro Control), Belgia (Belgocontrol), Saksa (DWD), Irlanti (Met Éireann), Sveitsi (MeteoSwiss), Hollanti (KMNI), Ranska (Météo France) ja Luksemburg (ANA Luxembourg). Mahringer (2008) käy artikkelissaan kattavasti läpi menetelmän, jonka perusteella käyn tässä kappaleessa menetelmän lyhyesti läpi.

Verifioitavat sääsuureet ovat samat kuin Ilmatieteen laitoksen menetelmällä eli näkyvyys, pilviryhmä, sääryhmä sekä tuuliryhmät. Sääsuureet verifioidaan erikseen, kuten Ilmatieteen laitoksellakin. Myös verifiointiin käytettävät raja-arvot eri sääsuureille ovat hyvin samankaltaiset. Austro Control:n menetelmässä, näkyvyyden raja-arvoissa on yksi luokka vähemmän (ylin luokka on >5000m), ja tuuliryhmän osalta raja-arvot ovat hieman tiukemmat Ilmatieteen laitoksen raja-arvoihin nähden.

Austro Control:n verifiointimenetelmä tutkii TAF-ennustetta sen voimassaoloaikana tunnin aikaväleihin ja vertaa ennustetta METAR-havaintojen lisäksi myös SPECI-havaintoihin (Special Aviation Weather Report). Menetelmän idea on tarkastella jokaisen ennustetun tunnin aikana ennusteen sekä havaintojen maksimiarvojen osuvuutta ja muodostaa näistä arvoista ristiintaulukko. Vastaavasti myös ennusteen ja havaintojen minimiarvojen osuvuuksille muodostetaan oma ristiintaulukko. Näistä esimerkki Mahringerin (2008) julkaisun taulukossa 3 (ei näytetä tässä).

Maksimi- ja minimitalukot jo sellaisenaan kertovat TAF-ennusteen osuvuudesta, mutta niitä voidaan myös tuottaa useammalle ennustelle kerrallaan, jolloin esimerkiksi koko kuukauden TAF-ennusteet voidaan kuvata minimi- ja maksimiarvojen taulukoilla.

Tämän lisäksi maksimi- ja minimiarvojen taulukoista verifiointimenetelmällä lasketaan taulukon 3.1 kaltainen ristiintaulukko. Taulukosta nähdään lukumääräisesti kerran jolloin ennuste on osunut kohdalleen (a), ennustettua säätä ei ole havaittu (b), havaittua säätekijää ei ole ennustettu (c) ja säätekijä on jätetty ennustamatta eikä sitä ole havaittukaan.

Pääasialliset verifiointitulokset saadaan käyttämällä edellisen taulukon ristiintaulukoituja arvoja eri laskukaavoissa. Taulukossa 3.2 on Austro Control:n menetelmällä laskettavat verifiointitulokset sekä niiden laskukaavat. Tulokset ovat tilastollisia suureita, ja niiden käyttäytymisen tuntemiseen ja tulkintaan tarvitaan opettelua.

**Taulukko 3.1.** Ristiintaulukointimenetelmän taulukon rakenne. Merkitykset termeille: a) ennustettu sää on havaittu b) ennustettua säätä ei ole havaittu c) havaittua säätä ei ole ennustettu d) säätekijää ei ole ennustettu eikä havaittu. Taulukko on vastaava kuin Mahringerin (2008) taulukko 4.

	HAVAINTO			
		Kyllä	Ei	Yhteensä
ENNUSTE	Kyllä	a	b	a + b
	Ei	c	d	c + d
	Yhteensä	a + c	b + d	n = a + b + c + d

**Taulukko 3.2.** Austro Control:n käytössä olevat TAF-ennusteen verifiointisuureet ja niiden laskennalliset kaavat. Taulukko on vastaava kuin Mahringerin (2008) taulukko 5.

Verifiointisuureen nimi	Määritelmä
Säätilanteen todennäköisyys	$p(E) = (a + b) / n$
Harha (Bias)	$Bias = (a + b) / (a + c)$
Havaitun sään ennustettavuus (hit rate)	$H = a / (a + c)$
Oikeiden ennusteiden osuus	$PC = (a + d) / n$
Yliennustettavuuden osuus (False alarm ratio)	$FAR = b / (a + b)$
Yliennustettavuuden määrä (False alarm rate)	$F = b / (b + d)$
Ennustetun tapahtuman todennäköisyys	$p(E) = a / (a + b)$
Ennustamattoman tapahtuman todennäköisyys	$p(E) = c / (c + d)$
Heidke Skill Score	$HSS = (a + d - E) / (1 - E)$
	$E = ((a + b) \times (a + c) + (b + d) \times (c + d)) / n$
Peirce's Skill Score	$PSS = H - F = (a \times d - b \times c) / (a + c) \times (b + d)$
Kriittinen onnistumisen indeksi	$CSI = a / (a + b + c)$
Odds ratio skill score	$ORSS = (a \times d - b \times c) / (a \times d + b \times c)$

### **3.3 National Weather Service:n menetelmä**

Yhdysvaltojen Kansallinen sääpalvelu NWS (National Weather Service) käyttää myös omaa verifiointimenetelmää TAF-ennusteille. Se on yhtenä osana nk. "stats on demand" palvelua, josta myös muiden NWS:n sääennusteiden verifiointit ovat saatavilla. NWS (2011) on julkaissut laajan raportin verifioitavista ennusteista, josta tässä kappaleessa lyhyesti TAF-ennusteiden osuus.

Ennusteiden verifiointi tapahtuu 5 minuutin aikavälein ennusteen voimassaoloaikana, ja ennustetta verrataan tällöin aina lähimpään METAR- tai SPECI-havaintoon. Verifioitavat sääsuureet ovat näkyvyys, pilviryhmä, sääryhmä, tuuliryhmät sekä lentoluokka. Käytettävät luokkarajat suureille poikkeavat jonkin verran Ilmatieteen laitoksen ja Austro Control:n käyttämistä raja-arvoista. Näkyvyys ilmoitetaan mailleissa (Statute Mile, SM), jolloin yksi maili vastaa noin 1609 metriä (5280 jalkaa). Luokkarajat näkyvyydelle ovat: <0.5 mailia, 0.5-1 mailia, 1-2 mailia, 2-3 mailia, 3-5 mailia ja >5 mailia. Pilven alarajan korkeudelle luokkarajat ovat: <200 jalkaa, 200-400 jalkaa, 500-900 jalkaa, 1000-1900 jalkaa, 2000-3000 jalkaa ja >3000 jalkaa. Sääryhmän osalta on käytössä olevia ryhmiä on hieman enemmän kuin Ilmatieteen laitoksella, yhteensä 13 kappaletta, mutta periaate on sama eli samantyyppiset sääilmiöt verifioidaan omana ryhmänään. Tuuliryhmien osalta luokkarajat ovat myös hieman tiukemmat.

Lentoluokka on verifioitavista suureista ainut, jota ei ole Ilmatieteen laitoksen eikä myöskään Austro Control:n käytössä. Lentoluokka yhdistää näkyvyyden ja pilviryhmän ennusteen, ja sillä on viisi eri luokkaa, jotka kuvaavat lentokentällä vallitsevia oloja. Paras luokista kertoo näkyvyyden olevan yli 5 mailia ja pilvenkorkeuden olevan yli 3000 jalkaa. Huonoin puolestaan kertoo näkyvyyden olevan alle 0.5 mailia ja pilvenkorkeuden olevan alle 200 jalkaa.

Itse verifiointimenetelmää ei ole tarkasti kuvattu NWS:n raportissa, mutta siinä mainitaan sen perustuvan usean kertaluokan ristiintaulukointimenetelmään, joista myös lasketaan erilaisia tilastollisia suureita. Menetelmä vaikuttaa olevan Austro Control:n menetelmän kanssa hyvin samankaltainen, mutta käytettävien luokkarajojen suhteen erot ovat suuria.

## **4. VERIFIOINTITULOKSET**

### **4.1 Yleiskuva tuloksista**

Yleiskuva verifiointituloksista Suomen 27 lentokentälle tehtävistä TAF-ennusteista on esitetty kuvassa 4.1. Kuvan tulokset on saatu laskemalla kuukausittaiset keskiarvot kaikkien lentokenttien

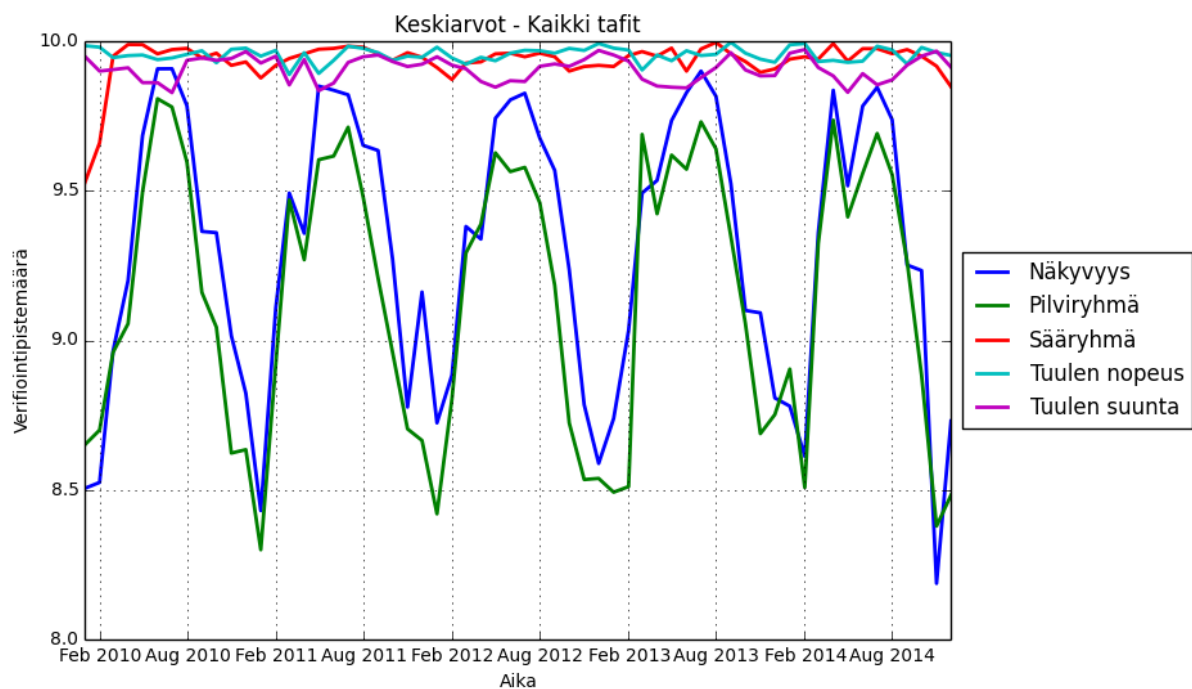


tehtyjen ennusteiden välille. Kuvasta nähdään, että sääryhmän ja tuuliryhmien tulokset ovat hyvällä tasolla ympäri vuoden, pysyen lähellä 10 pistettä.

Näkyvyyden ja pilviryhmän tuloksilla nähdään puolestaan merkittävää vuodenaikaisvaihtelua. Kummankin tulos on keskimäärin huonoimmillaan talvikuukausina, käyden 8.5 pisteen tienoilla alimmillaan. Kesäkuukausina tulokset ovat kummankin ryhmän osalta parhaimmillaan saaden yli 9.5 pistettä ylimmillään. Pilviryhmän tulos vaikuttaa keskimäärin olevan hieman heikompi näkyvyyden nähden, mutta ero on hyvin pieni.

Syksy ja talvi ovat lentosääennustamisen kannalta vaikeaa aikaa. Sumut ovat tällöin yleisempiä, ja pilvet pysyttelevät pitkiä aikoja matalalla muihin vuodenaikoihin nähden. Tämä selittää suurelta osin kuvassa 4.1 nähdyn notkahduksen talvikuukausina.

Dvorakova ym. (2014) löysivät tutkimuksessaan hyvin samankaltaisia tuloksia Tsekin viidelle eri lentokentälle. Sää- ja tuuliryhmän tulokset olivat myös heillä selvästi näkyvyyden ja pilviryhmän tuloksia parempia. Näkyvyyden ja pilviryhmän tulokset olivat heillä likimain yhtä huonoja keskenään, eikä niiden välillä voitu havaita samanlaista pientä paremmuutta näkyvyyden tuloksissa kuin kuvassa 4.1.

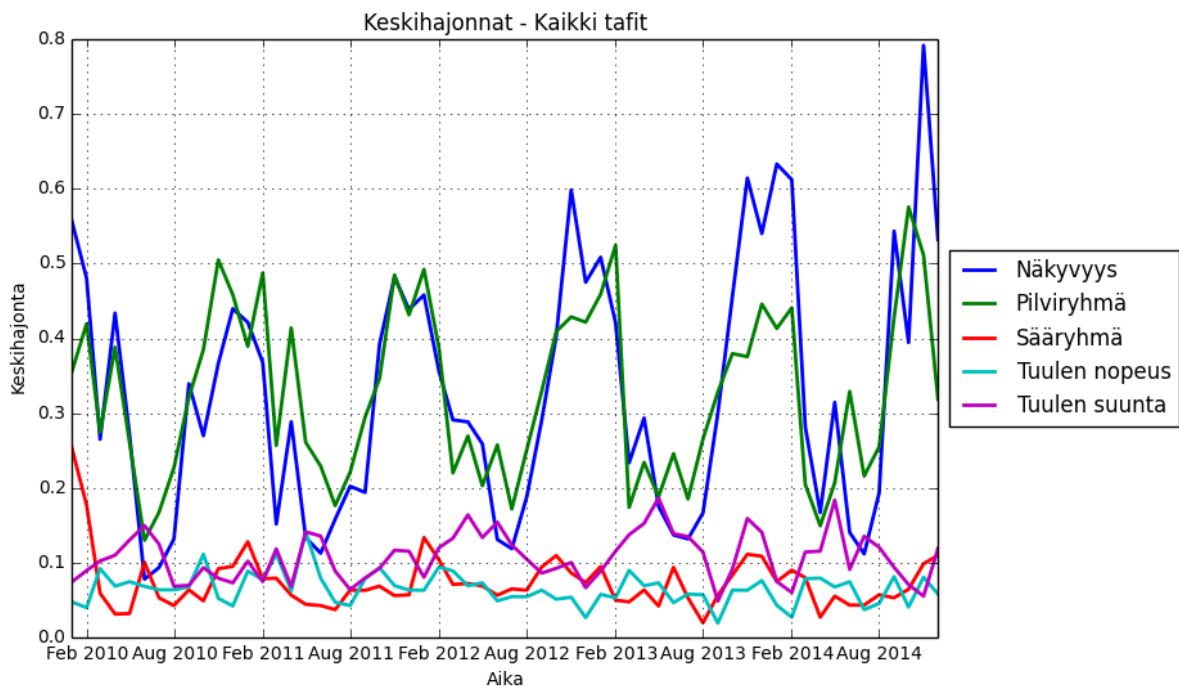


**Kuva 4.1.** Suomen 27 lentokentän TAF-verifiointitulokset kuukausikeskiarvoista laskettuna.

Eri lentokentille tehdyillä ennusteilla on eroja osuvuudessa, kuten kuva 4.2 paljastaa. Kuvaan on piirretty keskihajonnat kuvan 4.1 aineistolle. Vaihtelu on suurinta näkyvyyden ja pilviryhmän

ennusteiden osuvuudessa, ja nimenomaan talvikuukausien välillä, jolloin ennusteiden verifiointipisteetkin keskimäärin olivat huonoimmat. Syitä suureen vaihteluun talvikausina on monia. Muun muassa lentokenttien välillä on eroja ennustettavuudessa, ennusteita tehdään kentille eri aikoina (vrt. 9 tunnin ja 24 tunnin TAF-ennusteet), ja sään vaihtelu jo Suomenkin mittakaavassa vaikuttaa kenttien ennusteisiin ja osuvuuksiin kuukausien välillä jne.

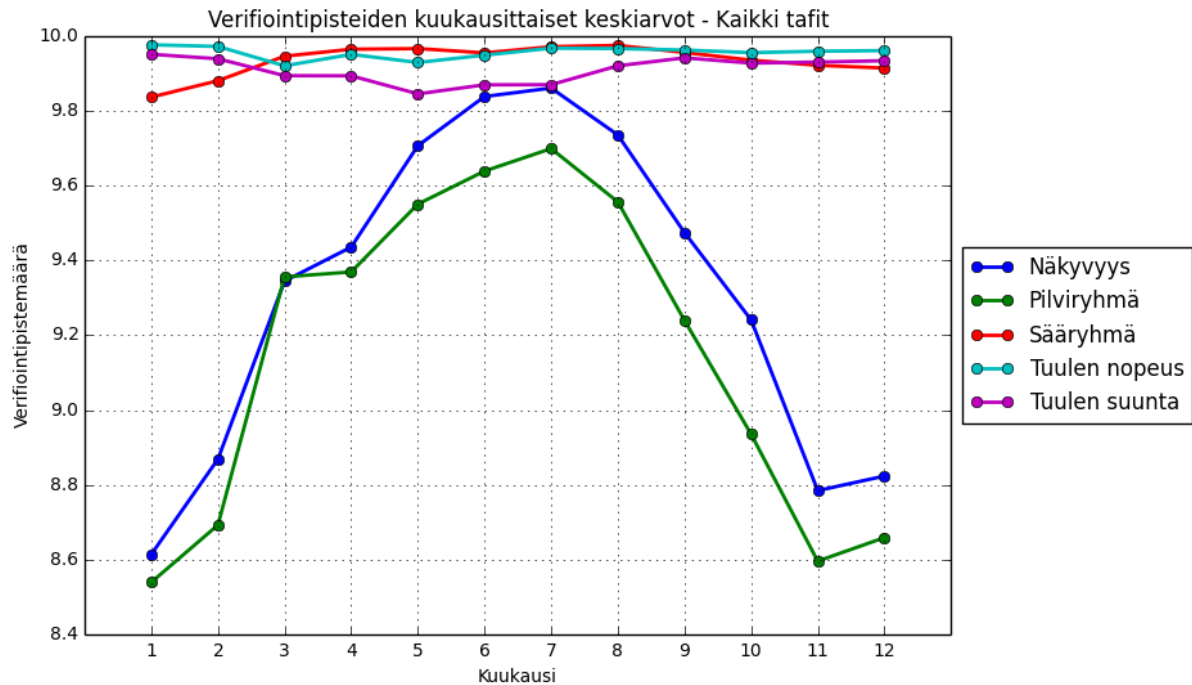
Sääryhmän ja tuuliryhmien keskihajonnat ovat vähäisempiä, ja mitään varsinaista vaihtelu- tai vuodenaikaisjaksoa ei ole nähtävissä. Tämä on hyvin loogista, sillä olivathan verifiointipisteetkin tasaisesti ja hyvin ennustettuja ympäri vuoden.



**Kuva 4.2.** Keskihajonnat edellisen kuvan suureille.

Verifiointipisteiden keskimääräinen kuukausijakauma 2010 ja 2014 vuosien välillä käy selville kuvasta 4.3. Kesän ja talven erottaa hyvin selvästi näkyvyydessä ja pilviryhmässä. Heinäkuu on kummallakin suurella paras kuukausi, kesäkuu lähes yhtä hyvä. Touko- ja elokuu ovat tuloksissa vielä melko korkealla. Syyskuusta lähtien syksyn vaikutus ennustettavuuteen alkaa näkyä, ja pisteet lähtevät jyrkkään laskuun. Marras- ja helmikuun talvikuukaudet näkyvät tuloksellisesti huonoimpina kuukausina, tammikuun ollessa keskimäärin kaikista huonoin sekä näkyvyydessä että pilviryhmässä. Maaliskuussa pisteet taas alkavat kohota, jolloin nähdään vastaavanlainen käytös kuin syksyllä.

Tulokset kulkevat hyvin käsi kädessä, mutta pilviryhmällä on kuitenkin keskimäärin huonommat pisteet koko vuoden näkyvyyteen verrattuna. Sääryhmän ja tuuliryhmien osalta tulokset ovat suhteellisen tasaisia, kuten jo aiemmissakin kuvissa nähtiin.

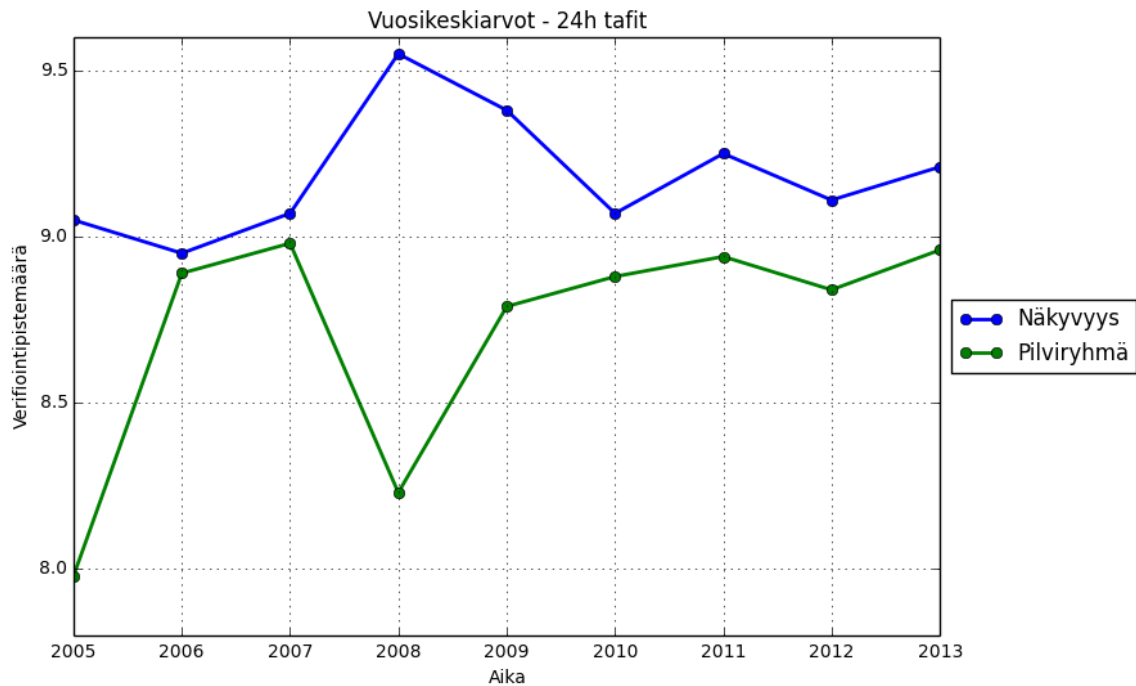


**Kuva 4.3.** TAF-verifointitulosten kuukausijakauma Suomen kaikille 27 lentokentälle keskiarvona laskettuna. Kesäkuukaudet erottuvat hyvinä tuloksina, tammikuussa näkyvyydellä ja pilviryhmällä minimi. Sää- ja tuuliryhmät hyvinä tuloksina läpi vuoden.

#### 4.1.1 Näkyvyyden ja pilviryhmän tulokset

Näkyvyyden ja pilviryhmän osalta aineistoa on saatavilla vuosikeskiarvojen osalta vuodesta 2005 alkaen, josta on esitys kuvassa 4.4. Ennen 2010 vuotta, tuloksissa näkyy vaihtelua enemmän vuosien välillä. Etenkin vuosi 2008 erottuu, tällöin näkyvyyden tulos on ollut erityisen korkealla tasolla, mutta pilviryhmän tulos on taas selvästi keskimääräistä huonompi. Ennen vuotta 2008, 9 tunnin TAF-ennusteet olivat pääasiallinen ennustemuoto, ja pitkiä 24 tunnin TAF-ennusteita tehtiin vähemmän.

2008 vuoden ja tätä edeltävien tulosten vaihtelua voi osittain selittää 24 tunnin ennusteiden vähäisempi määrä nykyisiin määriin verrattuna, mutta myös pitkien ennusteiden teko tuolloin ei ollut yhtä rutiininomaista kuin nykyään. 2009 vuodesta alkaen tulokset ovat tasaisempia, mikä kertoo osittain siitä, että opittiin tekemään pitkiä ennusteita paremmin. Toisaalta myös ennusteiden määrän kasvettua keskiarvon voi ajatella tasoittuvan.



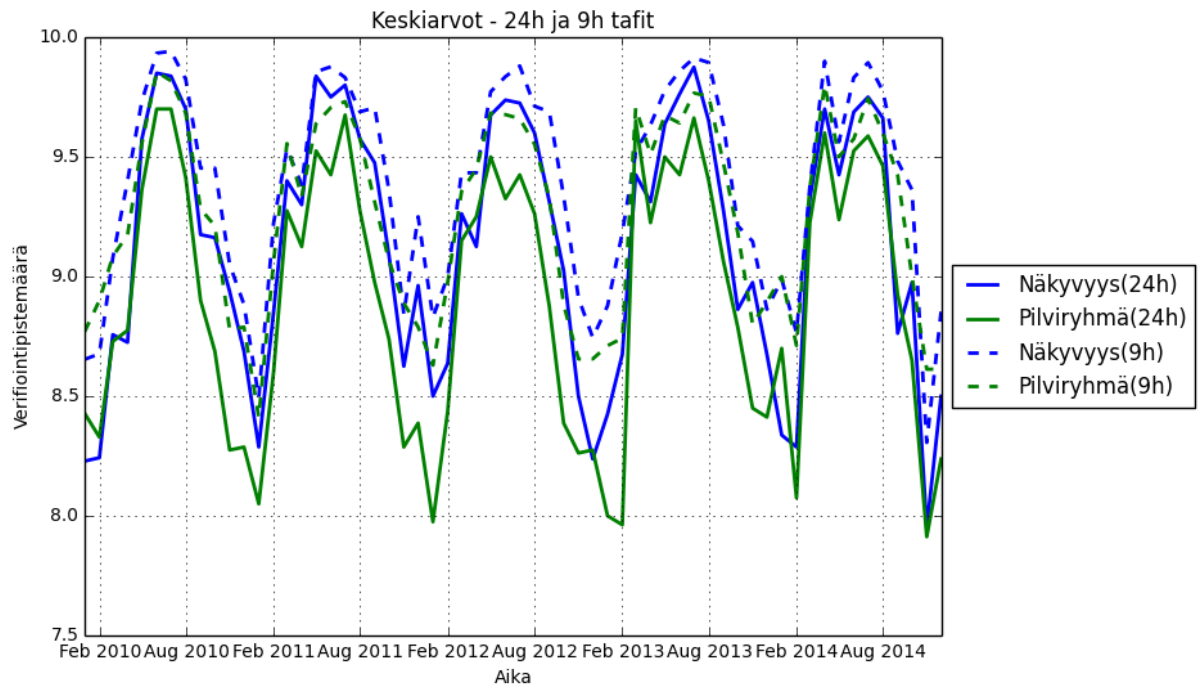
**Kuva 4.4.** 24 tunnin TAF-ennusteiden vuosikeskiarvot pilviryhmälle ja näkyvyydelle vuodesta 2005 alkaen.

24 ja 9 tunnin TAF-ennusteiden tulokset ovat esitettyinä kuvassa 4.5. Kuvasta nähdään, että 9 tunnin ennusteet saavat keskimäärin hieman parempia tuloksia kuin 24 tunnin ennusteet. Kummallakin ennustepituudella pilviryhmän tulos näyttäisi olevan näkyvyyden tulosta huonompi, vaikkei eroa kovin paljon olekaan.

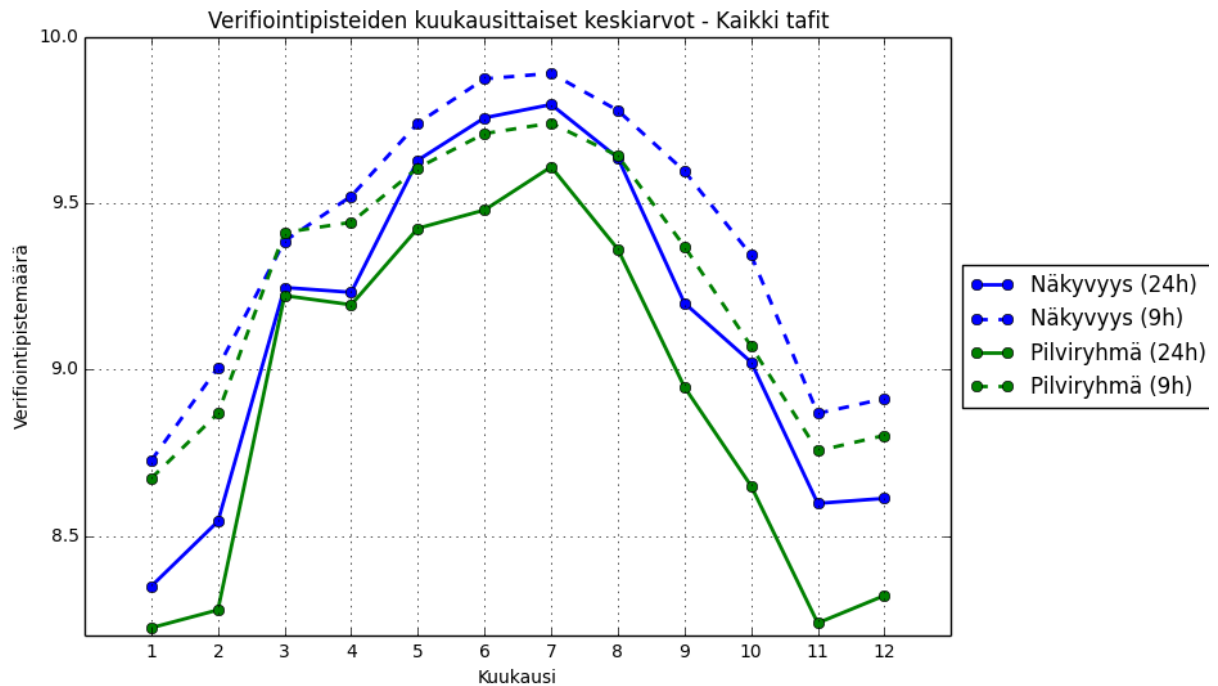
9 tunnin ennusteen voi olettaakin jo lähtökohtaisesti saavan paremmat pisteet pitempään 24 tunnin ennusteeseen verraten. Ennusteen pituuden ollessa yli puolet pitempi, jakson loppupään ennustaminen on vääjäämättä epävarmempaa. Tämän lisäksi 9 ja 24 tunnin TAF-ennusteiden tekoajat vaihtelevat. 24 tunnin ennusteita tehdään aina kolmen tunnin välein ympäri vuorokauden, jokaisena vuoden päivän. 9 tunnin ennusteita taas tehdään pääsääntöisesti vain lentokenttien aukioloaikoina, mikä tarkoittaa vähäisempää määrää ilta- ja yöaikaan tehtäviä ennusteita. Usein päivän ensimmäiset 9 tunnin ennusteet tehdään 03UTC ajanhetkestä alkaen (06.00 Suomen aikaan kesällä, 05.00 talvella), jolloin aamun ennustaminen helpottuu. Esimerkiksi aamuyön sumun ennustaminen voi helpottua, kun ennuste alkaa vasta aamusta, jolloin sumu saattaa olla jo kentällä havaittuna.

Kuvasta 4.6 nähdään tulosten kuukausijakaumat. Näkyvyyden ja pilviryhmän ero on hieman pienempi 9 tunnin kuin 24 tunnin ennusteilla. Kummankin ennustepituuden osalta huonoimmat kuukaudet ovat marraskuu, joulukuu ja tammikuu. Tällöin 9 tunnin ennusteet ovat keskimäärin

0.25-0.5 pistettä parempia 24 tunnin ennusteisiin nähden sekä näkyvyyden että pilviryhmän ennusteissa. Paras tulos puolestaan saavutetaan heinäkuussa, jolloin erot ennustepituuksien välillä ovat myös pienemmät.



**Kuva 4.5.** 24 ja 9 tunnin TAF-ennusteiden verifointitulosten kuukausikeskiarvokäyrät näkyvyydelle ja pilviryhmälle. Yhtenäiset viivat ovat 24 tunnin ennusteille ja katkoviivat ovat 9 tunnin ennusteille.



**Kuva 4.6.** 24 ja 9 tunnin TAF-ennusteiden verifointitulosten kuukausijakaumat näkyvyydelle ja pilviryhmälle. Yhtenäiset viivat ovat 24 tunnin ennusteille ja katkoviivat ovat 9 tunnin ennusteille.

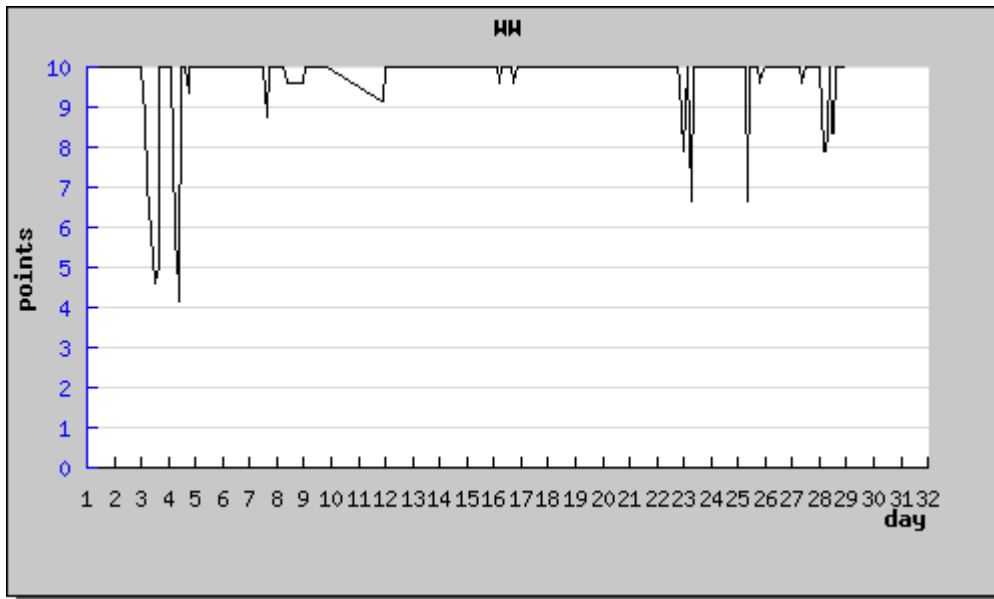
#### 4.1.2 Säyryhmän ja tuulen nopeuden sekä suunnan tulokset

Kuten jo aiemmista kuvista nähtiin, sää- ja tuuliryhmät osataan ennustaa hyvin verifointirajojen puitteissa. Sää- ja tuuliryhmien verifointirajat ovat näkyvyyden ja pilviryhmän verifointirajoihin nähden sallivampia ennusteen kannalta, mikä osaltaan johtaa hyviin tuloksiinkin.

Esimerkiksi tuulen nopeuden ennustamiseen riittää 10 solmun tarkkuus, mikä onnistuu suuressa osassa ennusteista ilman ainuttakaan muutosryhmää. Toisaalta verifointimenetelmä pohjautuu nimenomaan ennusteelle asetettuihin rajoihin joiden ylityksiä pyritään ennustamaan, joten ei olisi mielekästäkään verifioida ennusteita tarkemmin, kuin mitä niillä on tarkoitus ennustaa.

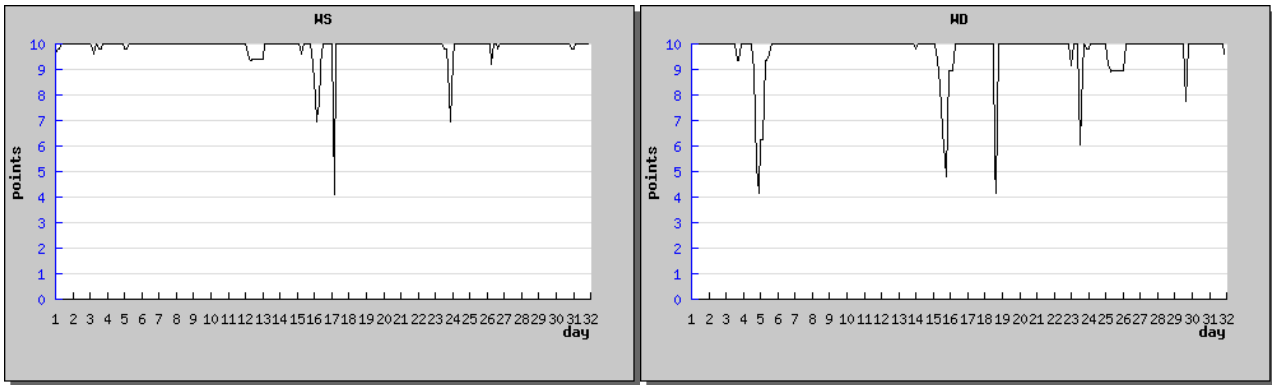
Kuukausien sisällä kuitenkin nähdään vaihtelua myös sää- ja tuuliryhmien osalta. Säyryhmän tyypillisestä kuukausivaihtelusta on esimerkki kuvassa 4.7. Suuren osan kuukaudesta päästään 10 pisteen tulokseen tai lähelle sitä, mutta välissä on yksittäisiä piikkejä huonoina päivinä, jolloin toteutunut sää on jäänyt ennustamatta tai ennustettua säätä ei ole tullutkaan. Huonoimmat piikit toteutuu edellä mainittujen olosuhteiden kestäessä pitkään. Muun muassa talvisin pitkään pakkaskelillä jatkunut jäätävä sumu voi yllättää, ja vaikka tilanteessa olisi ennustettu utua, saa ennuste silti 0 pistettä jokaiselta jäätävän sumun tunnilta, koska utu ja jäätävä sumu ovat eri verifointiryhmässä.

Toisaalta myös TAF-ennusteen kestolla on merkitystä. Säätiryhmää verifioitaessa tarkastellaan aina tunnin jaksoja kerrallaan, joten 24 tunnin pituisella ennusteella 12 tuntia ennustamatta oleva sää vastaa tulosta 0.5, mutta 9 tunnin pituisella ennusteella taas 5 tuntia vastaavaa tilannetta antaa tulokseksi jo alle 0.5. Useimmiten huonojen pisteiden ennusteita on suhteellisen vähän aikaa kuukaudesta, mikä johtaa kuukauden mittakaavassa hyviin pisteisiin keskimäärin, kuten on havaittakin.



**Kuva 4.7.** Esimerkitapaus Rovaniemen lentokentän sääryhmän verifiointipisteiden kuukausittaisesta vaihtelusta 2014 helmikuulta, x-akselilla on kuukauden päivä ja y-akselilla verifiointipisteet. Tilanne on hyvin tyypillinen sääryhmän verifiointissa: suuren osan ajasta pisteet pysyvät lähellä 10:tä pistettä, mutta tiettyinä päivinä verifiointipisteissä näkyy huonon pisteen piikkejä. Kyseisen kuun sääryhmän verifiointipisteiden keskiarvo oli 9.7 Kuva: Ilmatieteen laitos

Tuulen nopeuden ja suunnan tulokset osoittavat samantapaista käytöstä kuin sääryhmän. Kuvassa 4.8 on esitetty esimerkitapaukset kuukauden vaihteluista molemmille tuuliryhmille. Huonoja piikkejä löytyy kummastakin, mutta suurimmaksi osaksi tulos on lähellä kymmentä pistettä ja myös keskiarvot kuukaudelle täten nousevat korkeisiin lukemiin lähes aina.



**Kuva 4.8.** Vastaavanlainen esimerkkitapaus tuulen nopeuden (vasen kuva) ja suunnan (oikea kuva) verifiointipisteille kuten kuvassa X sääryhmälle. Vastaavanlainen käyttäytyminen näkyy myös tuulen verifiointinnissa, suurelta osin pisteet ovat 10 tai lähellä sitä, mutta yksittäisiä pükkejä näkyy huonoina pistemäärinä. Kyseessä Helsinki-Vantaan lentokentän 2013 joulukuu (vasen kuva) ja Tampere-Pirkkalan lentokentän 2012 lokakuu (oikea kuva), verifiointipisteet olivat 9.9 ja 9.7 vastaavasti. Kuva: Ilmatieteen laitos.

## 4.2 PROB-ryhmien verifiointitulokset

PROB-ryhmän verifiointitulos kertoo kuinka monta prosenttia havainnoista on osunut PROB-ryhmän ennustaman sään kanssa samaan luokkaan. Yksittäisestä TAF-ennusteesta tulos ei kerro paljoa, ennustetaanhan vain todennäköisyyttä ja tulos 0% on tällöin yhtä oikeassa kuin 100%. Pitemmän ajan keskiarvojen tarkastelu sen sijaan on järkevämpää, jolloin keskimääräinen tulos kertoo kuinka monta prosenttia esim. kuukauden aikana PROB-ryhmien aikaisista havainnoista on osunut ennustettuun ryhmään. Nyt, jos kuukauden keskimääräinen tulos osuu hyvin yhteen ennustetun todennäköisyyden kanssa, on todennäköisyys osattu ennustaa hyvin. Tuloksen ollessa ennustettua prosenttia pienempi, on selvästi yliennustettu ja toteutuneita havaintoja ei ole tullut tarpeeksi. Ennusteprosenttia isompi tulos taas viittaa päinvastaiseen tilanteeseen.

PROB-ryhmällä useimmiten ennustetaan näkyvyyttä tai pilviryhmää, jonka takia jätän tässä muut ennustesuureet tarkastelematta vähäisten verifiointimäärien johdosta. Säätiryhmän osalta PROB-ryhmää käytetään kyllä jossain määrin, mutta tuuliryhmille tehdyt PROB-ennusteet ovat jo harvinaisia.

Taulukossa 4.1 on esitetty näkyvyyden PROB30- ja PROB40-ryhmien vuosikeskiarvot Suomen 8 lentokentälle (24 tunnin TAF-ennusteiden lentokentät). Taulukoista nähdään, että tulokset ovat keskimäärin pieniä kummankin ryhmän osalta, 4 % luokkaa PROB30:lle ja 6 % ympärillä PROB40:lle. Kenttien välillä ei ole suurta vaihtelua nähtävissä, ja kaikissa tulos on alle



10 % joka vuonna. Myös vuosien välillä ei näyttäisi olevan merkittävää vaihtelua. Tuloksista voidaan päätellä, että näkyvyyttä yliennustetaan PROB-ryhmillä, sillä toteutuneita havaintoja on alle reilusti alle ennustetun 30 % ja 40 %.

Taulukossa 4.2 on vastaavat lukemat pilviryhmän PROB-ennusteille. Tulokset ovat selvästi näkyvyyden vastaavia korkeammat, mutta pääasiassa alemmat kuin ennustetut prosentit. 2014 vuoden korkeammat arvot selittynevät muuttuneella käytännöllä CB-pilvien osalta. 2014 vuoden jälkeen PROB-ryhmissä myös ennustetun CB-pilven alaraja otettiin huomioon. CB-pilviä havaitaan yleisimmin kesäkuukausina, jolloin myös pilven alarajan korkeudet ovat yleensä korkealla. PROB-ryhmän verifiointin kannalta tämä tarkoittaa, että jos on ennustettu esim. FEW030CB, verifiointi tulkitsee ennustettavan alarajaltaan yli 1500 jalan pilveä. Kesäpäivinä tämä toteutuu aika usein ja ennuste saattaa saada helposti 100 % pisteet. Aikaisempina vuosina CB-pilviä ei huomioitu PROB-ennusteissa, jolloin samankaltaisia korkean prosentin tuloksia ei tullut CB-pilvien ennusteista.

Näkyvyyden tuloksen alempaa prosenttimäärää pilviryhmään nähden selittää ainakin erot ennustettavien luokkarajojen välillä. Näkyvyydellä luokkarajoja on 9 ja pilviryhmälle 5 kappaletta, kuten taulukosta 1 nähtiin. Mitä enemmän luokkarajoja, sitä hankalampi ennusteella on osua juuri oikeaan luokkaan.

**Taulukko 4.1.** *PROB30 (vasemmalla) ja PROB40 (oikealla) ennusteiden verifiointitulokset näkyvyydelle 24 tunnin TAF-ennusteiden lentokentille vuosikeskiarvoina. Yksikkö on %.*

VIS30	2010	2011	2012	2013	2014
EFRO	5	9	3	4	4
EFHK	7	4	7	5	4
EFTP	5	4	4	4	4
EFKU	3	4	4	4	4
EFOU	4	3	2	2	2
EFTU	6	4	4	4	4
EFVA	4	4	3	2	3
EFJY	4	3	5	5	5
Keskiarvo	4.8	4.4	4.0	3.8	3.8

VIS40	2010	2011	2012	2013	2014
EFRO	6	8	4	6	8
EFHK	9	7	7	6	5
EFTP	9	7	7	9	7
EFKU	4	3	5	7	5
EFOU	8	8	4	5	4
EFTU	6	5	6	3	6
EFVA	7	7	6	4	6
EFJY	5	5	6	5	7
Keskiarvo	6.8	6.3	5.6	5.6	6.0

**Taulukko 4.2.** *PROB30 (vasemmalla) ja PROB40 (oikealla) ennusteiden verifiointitulokset pilviryhmälle 24 tunnin TAF-ennusteiden lentokentille vuosikeskiarvoina. Yksikkö on %.*

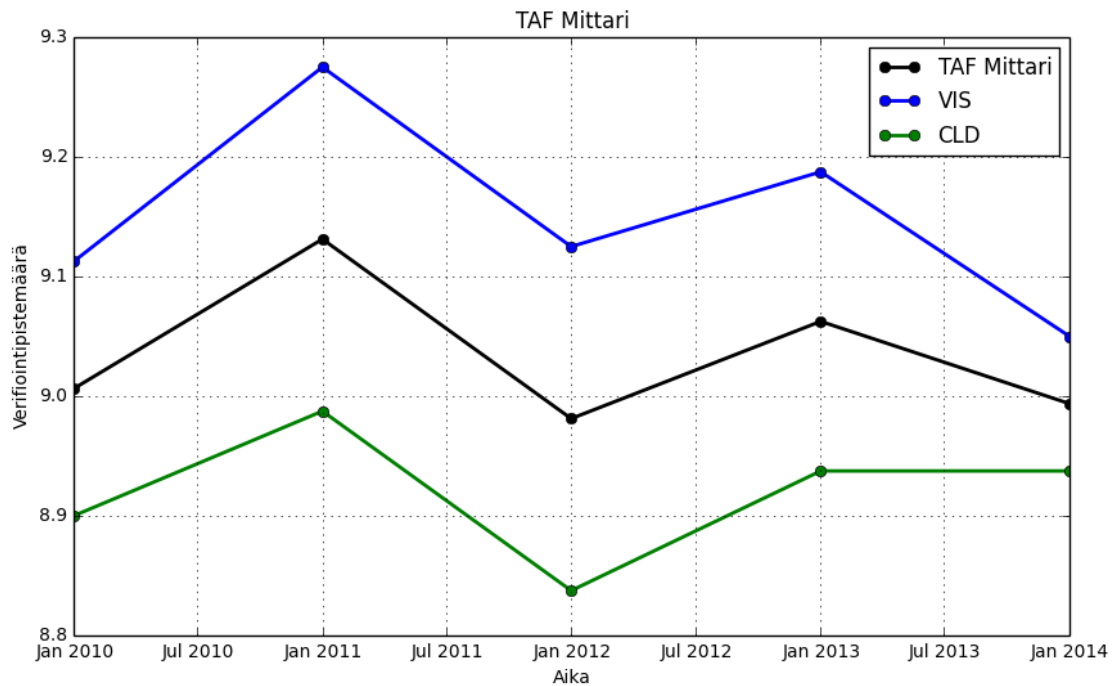
CLD30	2010	2011	2012	2013	2014
EFRO	12	12	9	12	36
EFHK	13	11	13	16	31
EFTP	12	18	13	16	35
EFKU	14	17	19	17	39
EFOU	15	14	11	9	33
EFTU	9	15	12	17	36
EFVA	12	16	15	12	33
EFJY	11	18	21	23	35
Keskiarvo	12.2	15.1	14.1	15.3	34.8

CLD40	2010	2011	2012	2013	2014
EFRO	15	17	17	20	29
EFHK	14	16	18	20	29
EFTP	21	22	21	21	33
EFKU	18	22	25	24	32
EFOU	16	12	17	15	30
EFTU	14	18	18	15	37
EFVA	17	20	21	24	31
EFJY	20	24	23	27	39
Keskiarvo	16.9	18.9	20.0	20.8	32.5

### 4.3 TAF mittari

Ilmatieteen laitos mittaa vuosittain sääennusteiden osuvuutta erilaisilla mittareilla, joiden avulla seurataan ennusteiden tasoa ja kehitystä. Lentosääennusteiden mittarina toimii nk. TAF mittari. TAF mittarin tulos saadaan vuosikeskiarvoistamalla näkyvyys- ja pilviryhmäennusteet Suomen isoimpien lentokenttien välillä. Näin saadaan yksi lukuarvo 0 ja 10 väliltä, joka kuvaa ennusteiden hyvyttä. Käytettävät lentokentät ovat Helsinki-Vantaa, Rovaniemi, Tampere, Kuopio, Turku, Vaasa, Oulu ja Jyväskylä.

Kuvassa 4.9 nähdään TAF mittarin tulos vuosien 2010 ja 2014 välillä. Mittarin tulos on ollut tasaisesti 9.0 tienoilla joka vuonna, ja tämän perusteella ennusteet ovat keskimäärin olleet hyviä. Vuosien välillä ei ole juurikaan vaihtelua, eikä ennusteiden kehittymistä parempaan tai huonompaan ole näkyvissä.



**Kuva 4.9.** TAF mittarin tulos vuosina 2010-2014 (musta viiva). Tulos on saatu laskemalla keskiarvo Suomen 8 suurimman lentokentän TAF-ennusteiden vuosittaisille pilviryhmän ja näkyvyyden verifiointituloksille. Vertailun vuoksi näkyvyyden (sininen viiva) ja pilviryhmän (vihreä viiva) tulokset esitetty myös erikseen.

## 5. NÄKYVYYDEN JA PILVIRYHMÄN EROT

Tästä eteenpäin keskitytään tulosten osalta tarkastelemaan ainoastaan näkyvyyttä ja pilviryhmää. Ne ovat TAF-ennusteen kannalta haastavimmat ennustettavat suureet, ja niiden avulla voidaan tutkia parhaiten meteorologista osaamista. Useimmissa esimerkeissä jatkossa keskityn tarkastelemaan Helsinki-Vantaan (EFHK), Rovaniemen (EFRO), Kuopion (EFKU) ja Tampere-Pirkkalan (EFTP) lentokenttien ennusteita. Näillä paikkakunnilla sijaitsevat myös Ilmatieteen laitoksen lentosäätötoimipisteet tarkastelemani ajanjakson aikana, minkä perusteella ne olivat sopivat kohteet tutkittavaksi. Joissain tapauksissa tarkastelen ainoastaan Rovaniemen lentokenttää, jonne itse olen tehnyt ennusteita tätä tutkielmaa tehdessäni. Myöhemmin vuonna 2015 Ilmatieteen laitoksen Tampereen toimipiste lakkautettiin.

## 5.1 Vuosien erot

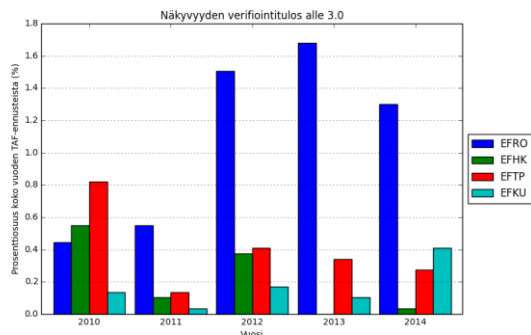
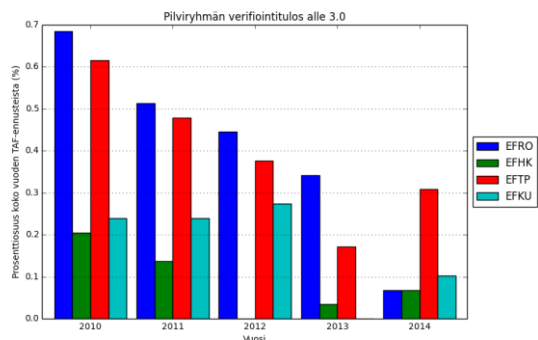
Huonoimpien verifiointipisteiden lukumäärän tarkasteleminen on yksi tapa katsoa, kuinka TAF-ennusteen ennustettavuus on kehittynyt. Kuvassa 5.1 nähdään alle 3.0 pistemäärän verifiointitulosten lukumäärät valituille kentillä vuosina 2010-2014. Huonoimmat pilviryhmän tulokset ovat etenkin Rovaniemen ja Tampere-Pirkkalan lentokentillä vähentyneet tasaisesti tarkastelujakson aikana. Helsinki-Vantaan ja Kuopion lentokentillä huonoimpia tuloksia on alkuaankin vähemmän, mutta myös niiden tuloksissa on nähtävissä laskua viimeisimpinä vuosina. Ennusteiden laatu on tältä osin siis selvästi parantunut pilviryhmän osalta.

Näkyvyyden tulokset ovat hieman eroavampia. Rovaniemellä viimeisenä kolmena vuotena huonoja tuloksia on selvästi enemmän kuin ensimmäisenä kahtena. Muilla lentokentillä kehitys vuosien välillä on pientä. Tampere-Pirkkalan ja Helsinki-Vantaan lentokentillä huonot tulokset ovat hieman vähentyneet. Kuopiossa puolestaan viimeisimpänä vuotena huonoimpia tuloksia on muita vuosia enemmän, mutta silti hyvin vähän.

Rovaniemi on yksi Suomen haastavimmista lentokentistä näkyvyyden kannalta, sillä sumu on lentokentällä hyvin yleistä syys- ja talvikuukausina, kuten Hyvärinen ym. (2007) mainitsevat. Lentokenttä sijaitsee ympäristöönsä nähden korkeammalla, vaaran päällä, jolloin orografiset vaikutukset edesauttavat sumuisten tilanteiden muodostumista. Tyypillisin sumutilanne lentokentällä vallitsee kostean luonaisvirtauksen yhteydessä. Lisäksi pohjoisen sijaintinsa tähden, lumisade huonontaa näkyvyyttä lentokentällä useammin kuin eteläisillä lentokentillä.

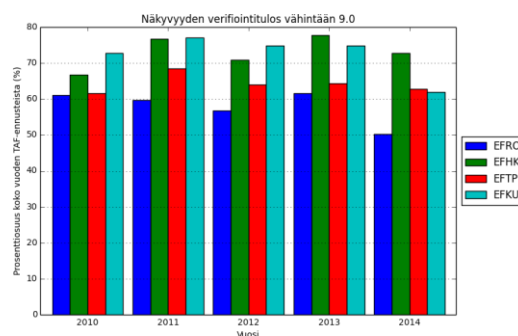
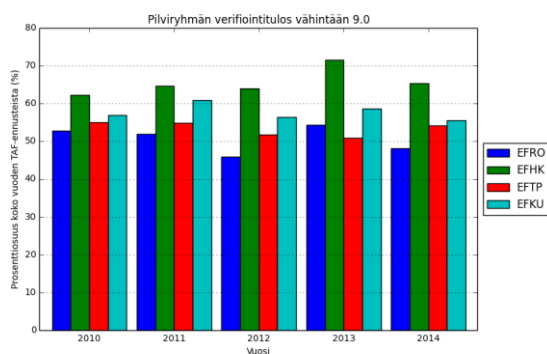
Minkä takia kolme viimeisintä vuotta ovat olleet muita selvästi huonompia, on vaikea sanoa. Mahdollisesti hankalasti ennustettavia olosuhteita on ollut erityisen paljon tai huolimattomuusvirheitä on tullut aiempaa useammin. Myöskään havaintovirheistä aiheutuvaa virhettä verifiointipisteisiin ei voi sulkea pois, sillä suurimman osan ajasta lentokentällä on automaattinen havaintojärjestelmä päällä, jonka havainnot eivät läheskään aina ole oikeassa.

Helsinki-Vantaan lentokenttä on Suomen ainoa lentokenttä, jossa havainnot tehdään edelleen manuaalisesti havainnontekijän toimesta ympäri vuorokauden. Se onkin tässä mielessä vertailukelpoisempi muihin lentokenttiin nähden. Joka tapauksessa, näkyvyyden tulokset viittaavat siihen, että niillä on enemmän vaihtelua vuosien välillä kuin pilviryhmällä, mutta ennustettavuus on jokseenkin pysynyt samalla tasolla vuosien välillä.



**Kuva 5.1.** Alle 3.0 pistemäärän saaneiden verifointitulosten määrä (yksikkö: %) pilviryhмälle vasemmalla ja näkyvyydelle oikealla vuosina 2010-2014. Valitut lentokentät ovat Rovaniemi (sininen), Helsinki-Vantaa (vihreä), Tampere-Pirkkala (punainen) ja Kuopio (vaalean sininen).

Vertailun vuoksi, kuvassa 5.2 on yli 9.0 pistemäärän saavuttaneiden tulosten osuudet vastaavasti kuin edellisessä kuvassa. Vuosien välillä ei ole juurikaan eroa kummankaan ennustesuureen osalta. Kuvasta kuitenkin nähdään että näkyvyyden hyviä tuloksia on hieman enemmän kuin pilviryhмällä, keskimäärin 5-10%. Huonoimpien tulosten osalta kuvassa 5.1 voidaan nähdä hieman samanlainen käytös päinvastaiseen suuntaan, joskin prosenttiosuudet ovat paljon pienemmät. Tämä viittaisi siihen, että näkyvyyden ja pilviryhмän ennusteissa on selkeästi eroa, ja tutkin tätä seikkaa seuraavaksi.



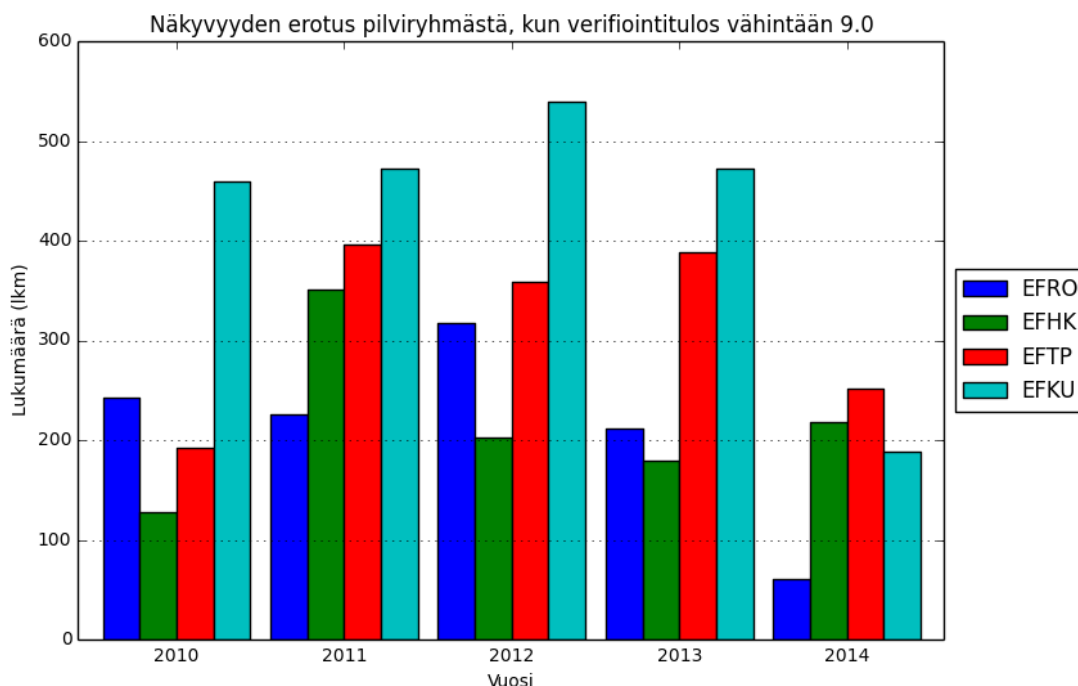
**Kuva 5.2.** Yli 9.0 pistemäärän saaneiden verifointitulosten määrä (yksikkö: %) pilviryhмälle vasemmalla ja näkyvyydelle oikealla vuosina 2010-2014, vastaavasti kuin kuvassa 6.1.

## 5.2 Erot ennustettavuudessa

Luvussa 4 nähtiin, että näkyvyyden ja pilviryhмän verifointituloksilla on hyvin samankaltainen vuodenaikaisvaihtelu. Pilviryhмän tulos kuitenkin näytti keskimäärin olevan

hieman huonompi näkyvyyteen nähden lähes ympäri vuoden. Edellisten kuvien perusteella näkyvyyden ja pilviryhmän ennustettavuudessa on eroja, ja niiden saamien verifointipisteiden jakauma saattaa erota keskenään toisistaan.

Tutkitaan ensin parhaita pisteitä. Kuvassa 5.3 on laskettu valituille neljälle lentokentälle ensin yli 9.0 pistemäärän saaneiden verifointitulosten lukumäärä näkyvyydelle ja pilviryhmälle, ja tämän jälkeen laskettu niiden erotus. Nyt positiiviset luvut tarkoittavat, että näkyvyydellä on ollut enemmän kyseisiä tuloksia. Nähdään, että jokaisella lentokentällä näkyvyys on saanut enemmän hyviä tuloksia, lentokentästä riippuen noin 100-500 kpl vuodessa.

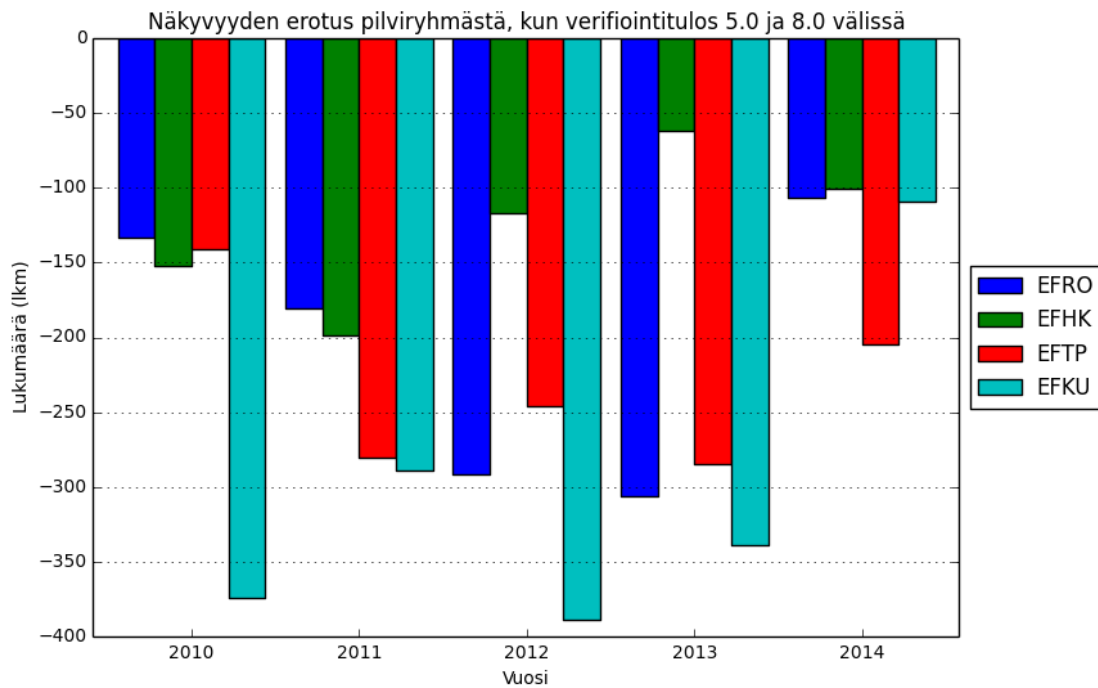


**Kuva 5.3.** Erotus pilviryhmän ja näkyvyyden verifointitulosten välille, jotka ovat saaneet yli 9.0 pistemäärän vuosina 2010-2014. Positiivinen lukumäärä tarkoittaa tässä näkyvyydellä olevan enemmän tuloksia. Valitut lentokentät ovat Rovaniemi (sininen), Helsinki-Vantaa (vihreä), Tampere-Pirkkala (punainen) ja Kuopio (vaalean sininen).

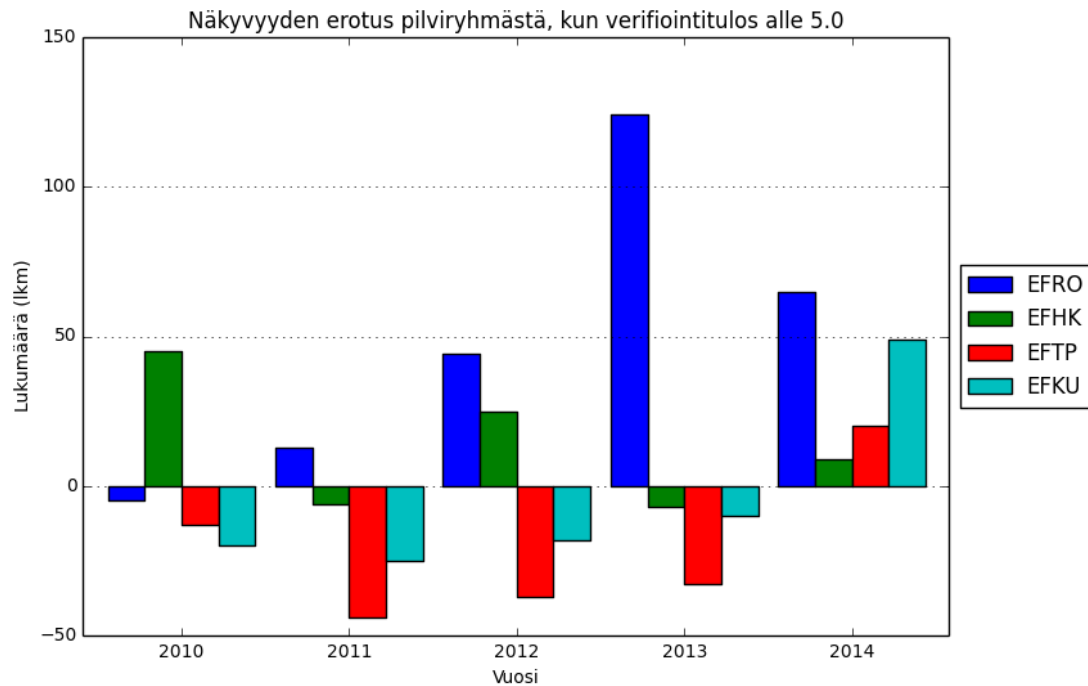
Seuraavaksi kuvassa 5.4 on esitetty vastaava erotus kuin edellä verifointipistemäärille, jotka ovat pistemäärien 5.0 ja 8.0 välillä. Kaikilla lentokentillä tulos on negatiivinen eli pilviryhmällä on enemmän verifointituloksia tällä pistealueella. Lukumääräisesti ero on hieman pienempi nyt, noin 100-400 kpl lentokentästä riippuen.

Kuvassa 5.5 on alle 3.0 pistemäärälle vastaava erotus kuin edeltävissä kuvissa. Nyt vaihtelua lentokenttien välillä on enemmän, mutta lukumääräisesti erot ovat pienempiä kuin aiemmissa

kuvissa. Keskimäärin voidaan kuitenkin nähdä, että näkyvyydellä on hieman enemmän huonoja huonoimpia tuloksia, ja erityisesti Rovaniemi erottuu viimeisinä vuosina muista lentokentistä.



**Kuva 5.4.** Erotus pilviryhmän ja näkyvyyden verifiointitulosten välille, jotka ovat saaneet pistemäärän 5.0 ja 8.0 väliltä vuosina 2010-2014, vastaavasti kuin kuvassa 5.3.



**Kuva 5.5.** Erotus pilviryhmän ja näkyvyyden verifiointitulosten välille, jotka ovat saaneet alle 5.0 pistemäärän vuosina 2010-2014, vastaavasti kuin kuvassa 5.3.

Pilviryhmän hieman heikompi tulos näkyvyyteen nähden selittynee näiden kolmen edeltävän kuvan avulla. Näkyvyyden kannalta helppoja päiviä näyttäisi olevan enemmän kuin pilviryhmällä. Toisaalta myös huonoimpia tuloksia on näkyvyydellä hieman enemmän, joskin lukumääräisesti ero ei ole kovin suuri. Pilviryhmä puolestaan dominoi näiden ääripäiden välillä. Näkyvyydellä vaikuttaisi siis tulevan hieman enemmän pahoja ennustusvirheitä, mutta useat hyvät ennusteet kompensoivat keskiarvoa ylöspäin. Pilviryhmällä taas pahoja virheitä on hieman vähemmän, mutta niitä ennusteita on paljon, jotka ovat pitkän aikaa hieman pielessä (vrt. verifiointitulos on 7.0 jos ennuste kokoajan yhden luokan pielessä).

Tämä vastaa myös hyvin omaa kokemustani näkyvyyden ja pilviryhmän ennustamisesta. Näkyvyys on näistä kahdesta hankalampi ennustaa täysin kohdilleen, ja näkyvyydessä on usein myös paljon vaihtelua ennusteen aikana. Suomen lentokentillä näkyvyyttä huonontaa yleisimmin sumun ja udun lisäksi lumisade. Varsinkin lumisateessa näkyvyys vaihtelee paljon eri luokkarajojen yli, ja ennusteella on vaikea saada hyviä pisteitä, jos sade on pitkäkestoista. Pahimmat töppäykset ennusteissa tapahtuvat todennäköisesti, kun pitkäkestoinen sumu tai lumisade jää ennustamatta. Tai vaihtoehtoisesti, kun ennustettua sumua tai lumisadetta ei tullutkaan.

Näkyvyyteen verrattuna, pilviryhmä on mielestäni sääsuureista vakaampi ennustettava. Pilvisyyden määrä on yleensä hyvin ennustettavissa, ja myös pilven korkeuden vaihtelut ovat



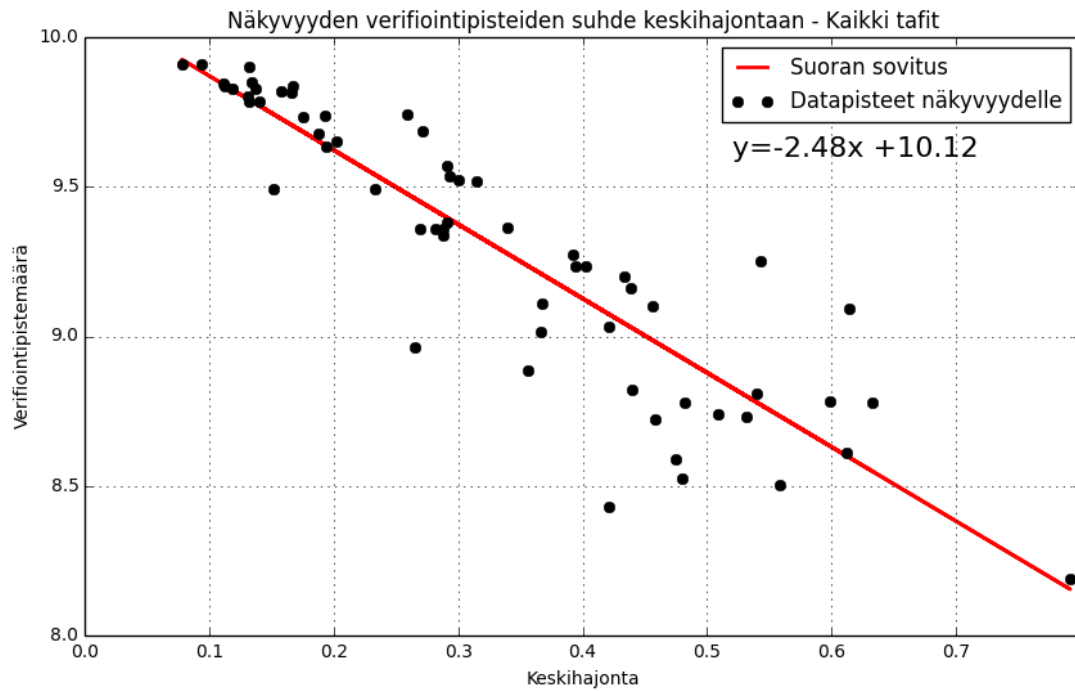
vähäisempiä kuin näkyvyydellä. Pilviryhmällä on myös vähemmän ennustettavia raja-arvo luokkia, kuten taulukosta 1 nähtiin.

Yli 1500 jalan pilvenkorkeudet ovat yleensä ottaen hyvin ennustettavissa. Alle tämän korkeuden, ennustaminen hankaloituu. Ennustemalleilla on hankaluuksia matalan, stabiilin rajakerroksen kosteuden ennustamisessa, kuten mm. Vihma (2009) mainitsee. Käytännössä tämä tarkoittaa juuri 1500 jalan alapuolella sijaitsevia pilviä. Muun muassa tästä syystä pilviryhmä on vaikea ennustaa kovin pitkälle tulevaisuuteen tilanteissa joissa pilvenkorkeus pysyy pitkään matalalla. Tällöin yhden tai kahden luokkarajan virheitä tulee helposti etenkin pitemmissä ennusteissa.

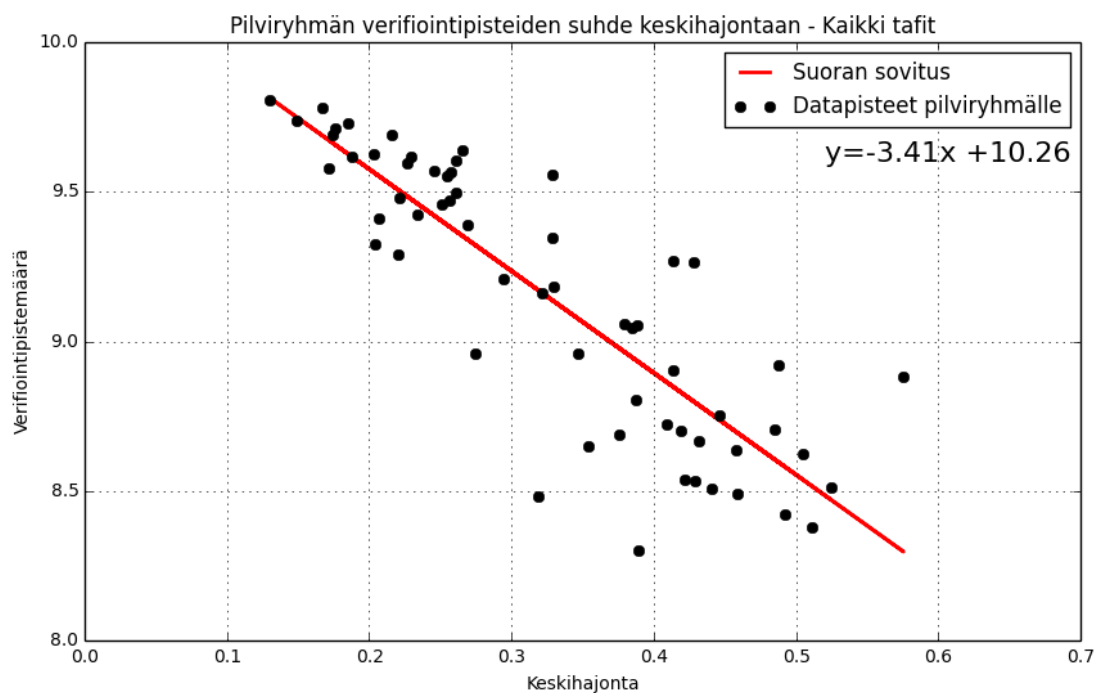
### **5.3 Tulosten hajonta**

Kuvissa 5.6 ja 5.7 on verifiointitulosten suhde keskihajontaan näkyvyydelle ja pilviryhmälle kaikkien TAF-ennusteiden keskiarvoista laskettuna. Kummankin suureen kuvista huomataan, että keskihajonnan laskiessa myös keskimääräinen verifiointitulos laskee. Tällöin siis hyvinä kuukausina, jolloin pisteet ovat korkeita, hajontaa on vähän. Pisteiden laskiessa lentokenttien väliset erot ennustettavuudessa korostuvat ja hajonta kasvaa. Datapisteisiin sovitettu lineaarinen suora kuvaa hyvin pisteiden välistä yhteyttä.

Näkyvyydelle sovitetun suoran kulmakerroin on pienempi kuin pilviryhmällä. Näkyvyydellä myös hajonta huonoimmilla verifiointipisteillä on suurempaa. Tämä kertoo siitä, että näkyvyyden ennusteissa on selvästi enemmän eroa eri lentokenttien välillä kuin pilviryhmässä, varsinkin huonoilla pisteillä. Toisaalta parhaimmilla pisteillä hajonta on hieman pienempää näkyvyyden tuloksissa.



**Kuva 5.6.** Keskimääräisten verifointipisteiden suhde keskihajontaan näkyvyydelle. Kuvassa on mukana kaikkien kenttien kuukausikeskiarvona lasketut verifointipisteet ja niille lasketut keskihajonnat. Punainen viiva on arvoille laskettu lineaarinen sovitus, ja oikeassa yläkulmassa suoran yhtälö.

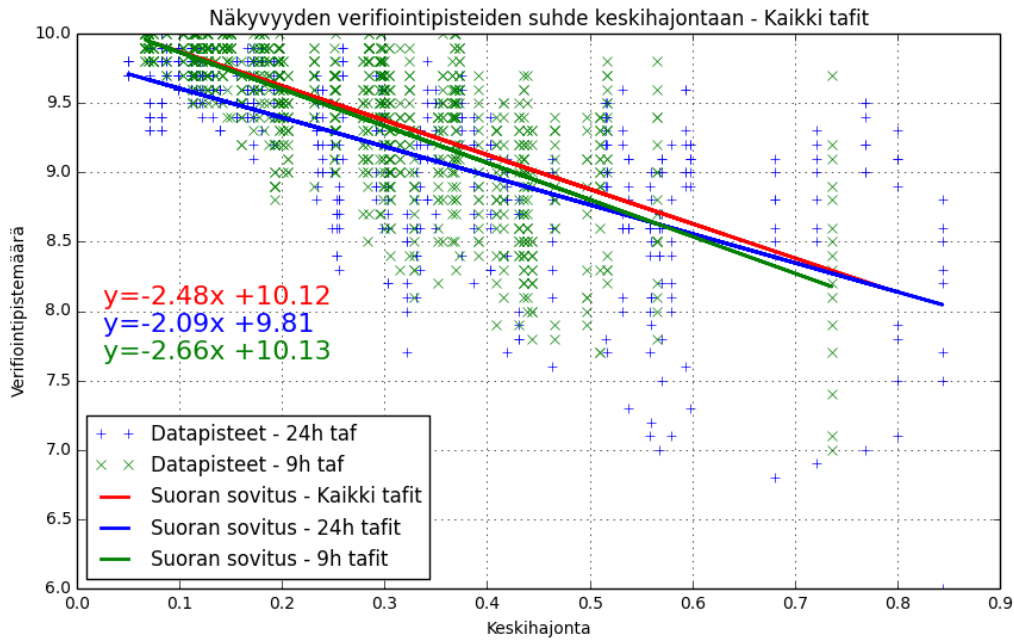


**Kuva 5.7.** Vastaava kuva pilviryhmällä, kuten kuvassa 5.6 näkyvyydelle.

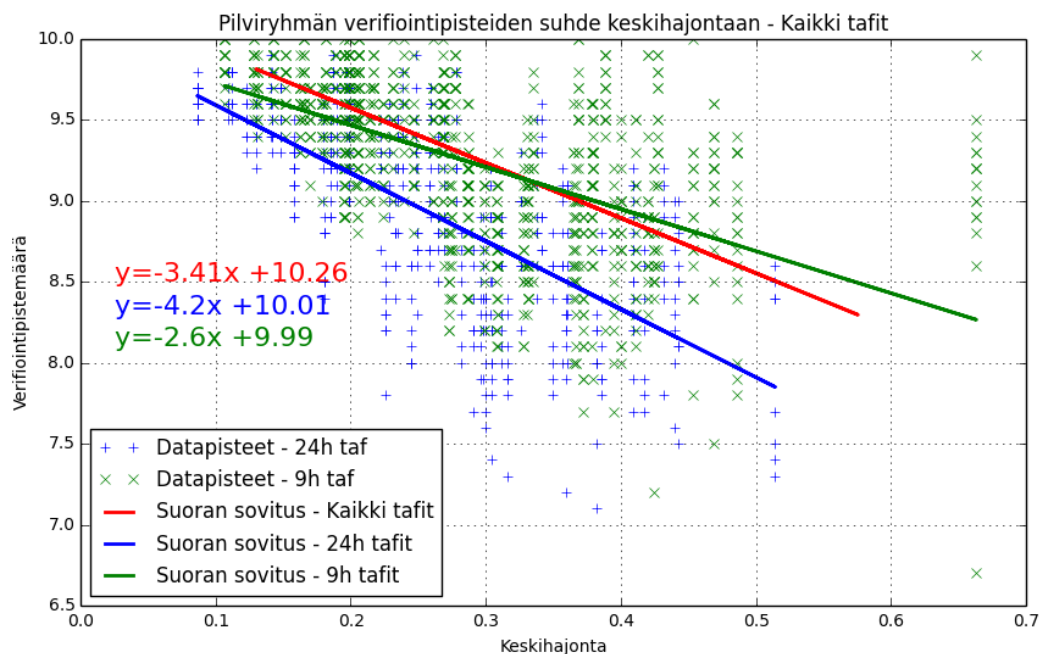
Kuvissa 5.8 ja 5.9 on verifiointipisteiden suhde keskihajontaan esitettyinä erikseen 9 ja 24 tunnin ennusteille sekä näkyvyydelle että pilviryhmälle. Näkyvyydellä selvästi erot ovat pienempiä, ja hajonta kasvaa melko lineaarisesti verifiointipisteiden huonontuessa riippumatta ennusteen pituudesta. 9 tunnin ennusteilla hajonta kasvaa jopa hieman jyrkemmin kuin 24 tunnin ennusteilla. Suoransovitususten kulmakertoimet ovat kuitenkin lähellä toisiaan.

Pilviryhmällä eroa on hieman enemmän. 24 tunnin ennusteiden hajonta kasvaa selvästi jyrkemmin 9 tunnin ennusteisiin nähden. Tällöin samoilla pistemäärillä, 9 tunnin ennusteilla hajonta on keskimäärin suurempaa. Selitys tämän kaltaiselle käytökselle löytyy ainakin osittain 9 tunnin ennusteiden lyhemmästä ennusteajasta, joka laajentaa pisteiden jakaumaa eri kenttien välillä herkemmin. 9 tunnin ennusteet ovat maksimissaan 9 tunnin mittaisia, mutta aina vähintään 2 tunnin mittaisia, jolloin hyviä pisteitä on selvästi helpompi saada vaikeassakin säätilanteessa. Toisaalta huonot pisteet korostuvat herkästi lyhemmän ennusteajan myötä, jolloin tulosten kirjo kasvaa. Tämä näkyy hyvin kuvassa 5.9, 9 tunnin ennusteiden kohdalla. Hajonnan kasvaessa myös verifiointipisteiden jakauma kasvaa. Vielä huonoillakin hajonnoilla ja pisteillä mukaan mahtuu hyviä lähellä 10 olevia tuloksia, ja toisaalta heikkoja pisteitä, jotka sitten kasvattavat hajontaa. Samaa käytöstä ei näy 24 tunnin ennusteilla. Tulosten ollessa heikkoja myös pisteet ovat heikkoja, eikä 10 pisteen tuloksia ja suurta hajontaa niinkään löydy. Hajonta on myös 24 tunnin ennusteilla suurempaa huonoilla tuloksilla.

Sama käytös ei kuitenkaan toteudu näkyvyydellä. Tämä kertoo siitä, että näkyvyyden ennusteissa on enemmän hajontaa ennustepituudesta riippumatta, ja ennustamisen hankaluus ei niin hyvin poistu lyhemmän ennusteajan myötä kuin pilviryhmällä.



**Kuva 5.8.** Keskimääräisten verifointipisteiden suhde keskihajontaan näkyvyydelle. Kuvassa on nyt eroteltu 24 ja 9 tunnin TAF-ennusteet sinisillä ja vihreillä merkinnöillä vastaavasti. Lisäksi punaisella sovitus koko datalle vertailukohtana, kuten kuvassa 5.6.



**Kuva 5.8.** Keskimääräisten verifointipisteiden suhde keskihajontaan pilviryhmälle. Kuvassa on nyt eroteltuna 24 tunnin ja 9 tunnin TAF-ennusteet sinisillä ja vihreillä merkinnöillä vastaavasti. Lisäksi punaisella sovitus koko datalle vertailukohtana, kuten kuvassa 5.7.

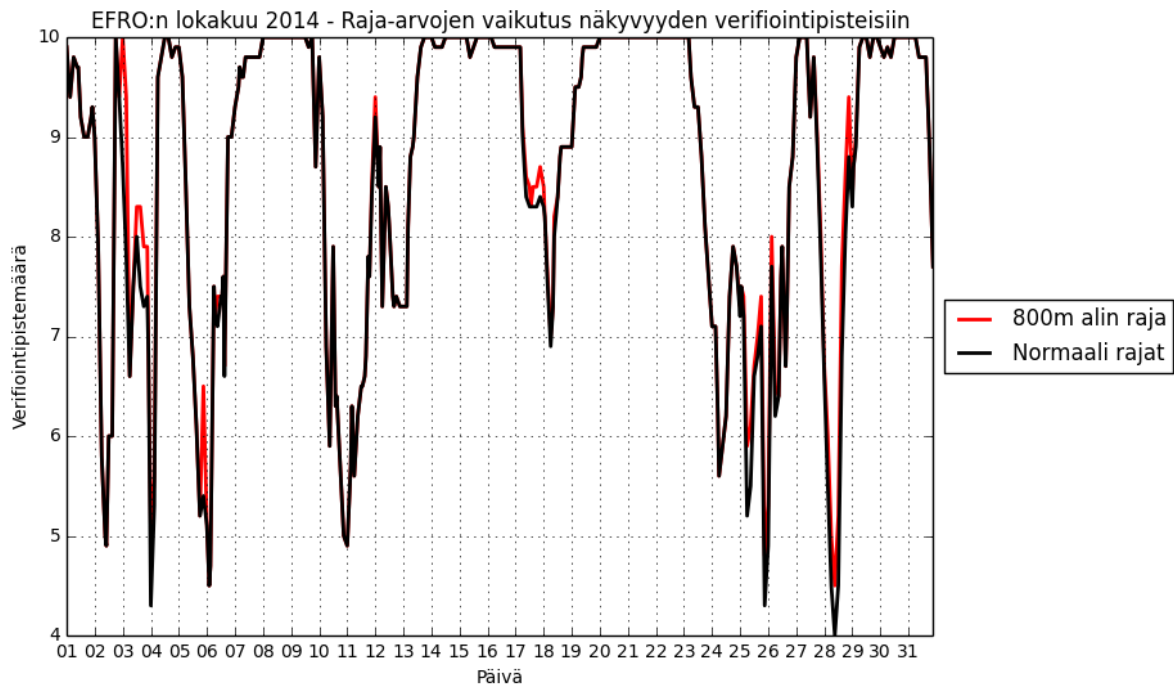
## 6. ENNUSTETTAVUUDEN ERITYISPIIRTEITÄ

### 6.1 Rajojen vaikutus pisteisiin

Näkyvyys ja pilviryhmä käyttäytyvät verifiointituloksissa hieman eri tavalla, kuten on nähty. Myös niiden verifiointi on hieman toisistaan poikkeavaa, vaikka itse menetelmä on sama. Näkyvyydellä raja-arvoja on enemmän, yhteensä 9 raja-arvoluokkaa. Pilviryhmällä vastaavasti luokkia on 5 kappaletta. Tässä kappaleessa on tarkoitus tutkia, minkälainen vaikutus raja-arvojen valinnalla on käyttäen näkyvyyttä tutkittavana suurena. Kuvassa 6.1 on esillä Rovaniemen lentokentän lokakuun 2014 verifiointipisteet näkyvyydelle käyttäen normaaleja raja-arvoja mustalla käyrällä, sekä käyttäen alimpana raja-arvona 0-800m luokkaa punaisella käyrällä. Tällöin raja-arvoluokkia on yhteensä 5 kappaletta, kun alimmat 4 luokkaa on yhdistetty yhdeksi luokaksi. Musta käyrä on piirretty päällimmäiseksi kuvaan, jolloin punainen käyrä erottuu sen alta vain kohdissa joissa raja-arvon valinnalla on ollut muutosta verifiointipisteisiin.

Yleiskuvaltaan kuukausi vaikuttaa vaihtelevalla. Muutaman päivän mittaisten hyvien 10 pisteen jaksojen välissä on notkahduksia vaihtelevilla pistemäärillä, alle 5.0 tuloksia muutamaan otteeseen. Näyttäisi siltä, että suuren osan ajasta raja-arvon muutoksella ei kuitenkaan olisi suurta vaikutusta pisteisiin. Mustan käyrän alta paljastuva punainen erottuu paikoin huonojen piikkien kohdilla parantaen tuloksia hieman. Pääasiassa parannusta yksittäiseen TAF-ennusteeseen näyttäisi tulevan alle yhden verifiointipisteen verran. Esimerkiksi 10. ja 14. päivän välisen huonon jakson aikana rajojen valinta ei juuri ollenkaan paranna verifiointipisteitä.

Koko kuukauden keskiarvo normaalirajoilla oli 8.59, ja raja-arvojen muutoksen jälkeen 8.65. Eli parannusta koko kuukauden keskiarvoon tuli vain 0.06 pistettä. Tämän perusteella rajojen valinta näkyvyyden osalta ei muuta tuloksia juurikaan parempaan suuntaan, vaan huonon näkyvyyden ennustaminen on silti yhtä haastavaa. Yhden kuukauden ajan tehty arvio on varmasti liian lyhyt, ja useamman kuukauden arviointi olisi hyvä asian tarkemman tutkimisen kannalta. Käsin laskettavana työmäärää on kuitenkin tätä työtä varten liikaa, ja asian tarkempi selvitys jää tuonnemmaksi mahdollisesti verifiointikoodin sisällytettäväksi.



**Kuva 6.1.** Rovaniemen lentokentän lokakuun 2014 näkyvyyden verifointipisteet ajan funktiona. X-akselilla on kuukauden päivämäärä. Mustalla käyrällä tulokset normaaleja raja-arvoja käyttäen, ja punaisella käyrällä alimpana raja-arvona on käytetty 0-800m luokkaa (0-150m ... 600-800m sijaan). Punainen käyrä tulee esiin vain kohdissa, joissa raja-arvon muutoksesta on ollut vaikutusta. Kohdissa joissa vain musta käyrä näkyy, on tulos ollut sama raja-arvon muutoksesta huolimatta.

## 6.2 Pisteet ajan funktiona

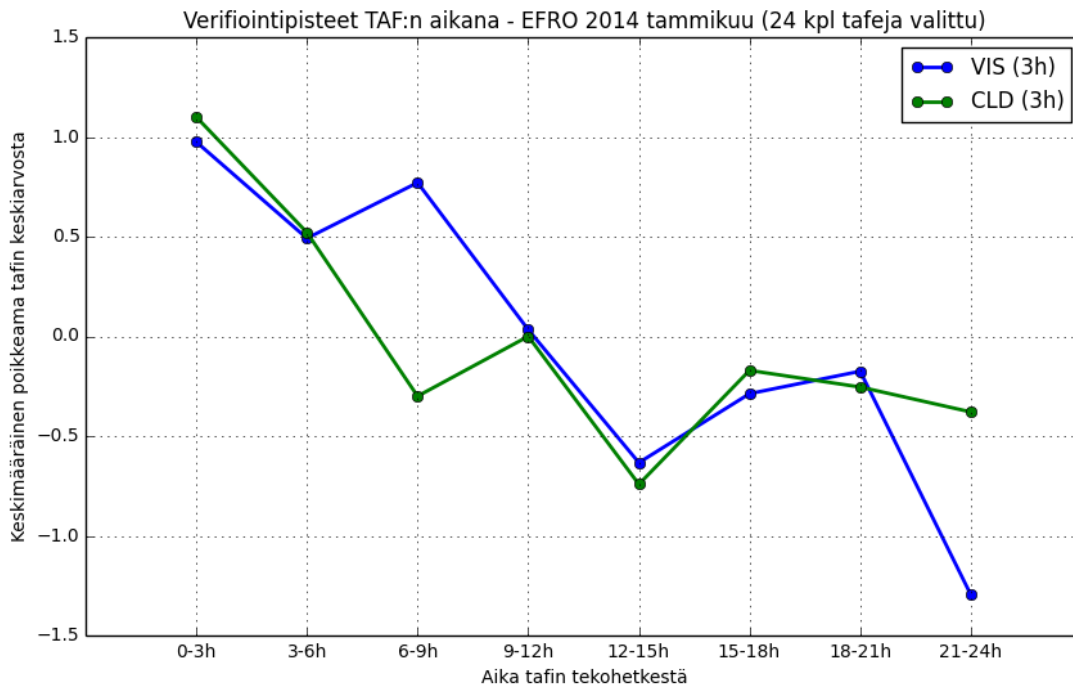
Verifointipisteiden kehitys TAF-ennusteen aikana on myös mielenkiintoinen kysymys, johon tässä kappaleessa paneudutaan. Asian tutkimista varten, lasketaan TAF-ennusteen saamat pisteet kolmen ja kuuden tunnin jaksoihin alkuhetkestä lähtien. Kuten edellisessä kappaleessa, työ on toteutettu käsin laskemalla. Tästä johtuen valituksi dataksi on valittu ainoastaan Rovaniemen lentokentän tammikuu 2014, josta yhteensä 24 kappaletta TAF-ennusteita on laskettu mukaan. Valitut ennusteet on otettu järjestelmällisesti, niin että ennusteiden tekoaikojen välillä on aikaa 1 päivä ja 9 tuntia. Eli ensimmäinen laskettu ennuste on 1.1.2014 00UTC aikaan tehty, seuraava 2.1.2014 09UTC aikaan tehty jne. Tällöin ennusteiden välillä ei ole päällekkäisyyksiä, ja otos on mahdollisimman edustava.

Kuvassa 6.2 on kolmen tunnin jaksoihin jaettuna keskimääräinen poikkeama TAF-ennusteen saamasta pistemäärästä. Positiiviset arvot tarkoittavat nyt, että kyseinen jakso saa keskimäärin paremmat pisteet kuin koko TAF-ennusteen saama pistemäärä, ja negatiiviset arvot päinvastoin. Parhaat pisteet saadaan ensimmäisen kolmen tunnin aikana. Sekä näkyvyys (sininen käyrä), että pilviryhmä (vihreä käyrä) ovat ensimmäisen kolmen tunnin aikana noin pisteen verran parempia kuin TAF-ennusteen saama tulos.

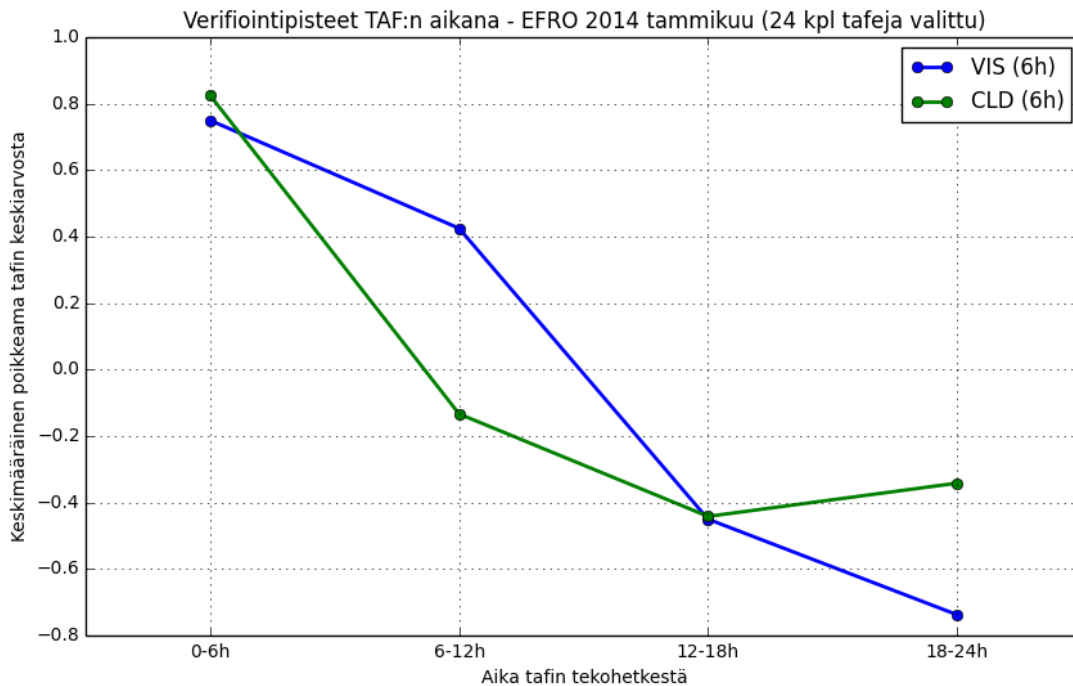
Kehitys ennusteen edetessä on kuitenkin hieman poikkeavaa suureilla. Näkyvyyden poikkeama laskee hieman tasaisemmin saavuttaen huonoimmat arvot yleensä aivan ennusteen voimassaoloajan lopulla, ollen yli pisteen verran miinuksella. Ennusteen alkupuoliskolla poikkeama on keskimäärin positiivinen, ja puolivälin jälkeen negatiivinen.

Pilviryhmällä alun jälkeen pisteet laskevat näkyvyyteen verrattuna nopeammin, ja jo ensimmäisen kuuden tunnin jälkeen poikkeama on negatiivinen. Tästä kehitys voimassaoloajan loppua kohti tasoittuu, ja poikkeama on keskimäärin pistemäärien 0 ja -0.7 välillä. Tämä kertoo myös näkyvyyden ja pilviryhmän ennustamisen eroista, vastaavasti kuin edellä jo nähtiin. Pilviryhmän tulos on vaikeampi saada osumaan tarkalleen oikeaan luokkaan, ja pitkään voidaan olla TAF-ennusteen loppupuolella yhden luokan verran pielessä. Pitkässä juoksussa, tämä sitten laskee keskiarvoja tasaisesti. Näkyvyydellä taas huonoimmat arvot voivat olla vieläkin vaikeampi saada täysin oikeaan luokkaan, mutta useammin kuitenkin näkyvyyttä on yli ylimmän 8 kilometrin rajan, joka yleensä osataan kyllä ennustaa. Näkyvyyttä on selkeästi helpompi ennustaa lyhyen ajan päähän kuin TAF-ennusteen lopulle.

Kuuden tunnin jaksoihin jaettuna keskiarvot tasoittuvat, ja tilanne korostuu, kuten kuvasta 7.3 nähdään. Nyt näkyvyyden käyrä on entistä suoraviivaisempi ja tasaisesti huononeva. Pilviryhmän alun huonot arvot heikkenevät nopeasti, ja loppupuoliskon tasoittuminen on selvempi. Pilviryhmän ennustamisessa voisi ollakin tulevaisuudessa helpommin parannettavaa. Etenkin pitkään luokan tai pari pielessä olevat pilviryhmän ennusteet huonontavat ennusteen osuvuutta.



**Kuva 6.2.** Verifiointipisteet ajan funktiona. X-akselilla on aika TAF-ennusteen alkuhetkestä eteenpäin kolmen tunnin jaksoissa. Y-akselilla on keskimääräinen poikkeama ennusteen saamasta verifiointipistemäärästä. Sinisellä värillä on näkyvyys ja vihreällä pilviryhmä. Aineistona on käytetty Rovaniemen lentokentän ennusteita tammikuulta 2014, yhteensä 24 kappaletta.



**Kuva 6.3.** Vastaavasti kuten kuva 6.2, nyt kuuden tunnin jaksoitus.



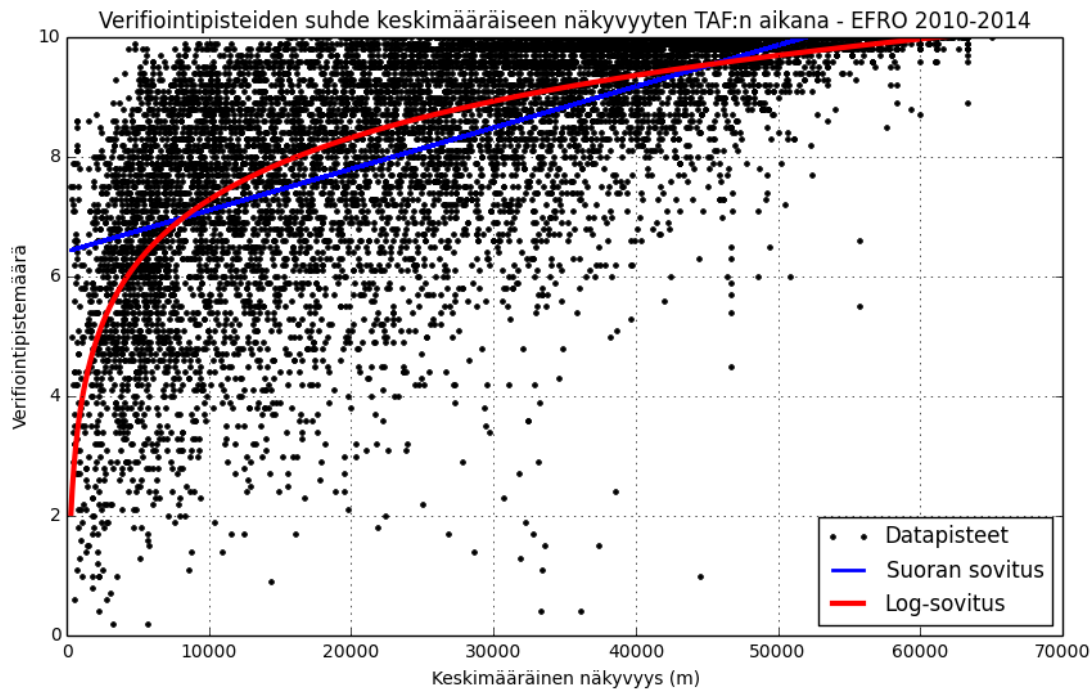
### 6.3 Pisteet näkyvyyden funktiona

Näkyvyyden verifiointituloksia voidaan tutkia tarkemmin tarkastelemalla niiden suhdetta näkyvyyden arvoihin ennusteen aikana. Tutkin asiaa käyttämällä ennusteen aikana havaittua keskimääräistä näkyvyyttä Rovaniemen lentokentän ennusteille. Näkyvyyden havaintoainestona käytin synop-havaintoja, joita on saatavilla joka kolmas tunti lentokentältä.

Kuvasta 6.4 nähdään, että keskimääräisen näkyvyyden ollessa suuri, myös verifiointipisteet ovat korkeat. Keskimääräisen näkyvyyden pienentyessä, pisteiden jakauma laajenee huomattavasti. Jo 10 kilometrin kohdalla pisteitä on laajasti 4.0 ja 10.0 pistemäärän välillä. Jo 10 kilometrin keskimääräinen näkyvyys tarkoittaa, että ennusteen aikana on todennäköisesti ollut näkyvyydessä paljon vaihtelua. Esimerkiksi pitkään kestänyt lumisade tai sumujakso jossain kohtaa ennustetta. Kun ennusteen aikana säässä on paljon vaihtelua, ennustettavuus heikkenee väistämättä. Toisaalta huonontunutta näkyvyyttäkin selvästi osataan ennustaa, sillä yli 8.0 pistemäärän tuloksia on runsaasti vielä alle 10 kilometrin keskimääräisillä näkyvyyksillä.

Noin 3-4 kilometriä huonoimmilla keskimääräisillä näkyvyyksillä ei havaita enää yli 9.0 pistemääriä, vaan suurin osa tuloksista on 3.0 ja 8.0 pistemäärän välillä. Tällöin ennusteen aikana on todennäköisimmin ollut hyvin pitkään kestävä sumujakso tai lumimyräkki. Näissä tapauksissa usein näkyvyys vaihtelee alimman parin kilometrin välillä paljon, jolloin näkyvyyden ennusteraajat ylittyvät useaan otteeseen (vrt. taulukko 1, näkyvyydellä on 5 eri ennusteluokkaa 1500m alapuolella). Tällöin täydellistä ennustetta on mahdotonta tehdä käytettävissä olevilla TAF-ennusteen muutosryhmillä, mikä näkyy yli 9.0 pistemäärän tulosten puuttumisella. Silti 8.0 pistemäärän ympäristössä on tuloksia, viitaten siihen että osuviakin ennusteita tehdään vaikka näkyvyys olisi pitkään keho. Dvorakova ym. (2014) arvelivat myös työssään huonoimpien näkyvyysluokkien erittäin huonon ennustettavuuden johtuvan osin runsaasta määrästä luokkarajoja, kun ennustetaan pienimpiä näkyvyyksiä.

Oli miten oli, pienimmät keskimääräiset näkyvyydet ovat aina vaikeita tapauksia ennustaa. Tämä näkyy kuvassa suurena vaihteluna, huonoimpien tulosten alittaessa 2.0 pistemäärän. Aineistoon sovitettu logaritminen sovitus näyttäisi kuvaavan tuloksia hieman lineaarisesta suoran sovitusta paremmin. Tosin pienimmillä keskimääräisillä näkyvyyksillä logaritminen sovitus laskee turhankin jyrkästi, ja osuvampi sovitus lienisi jossain lineaarisen ja logaritmisen sovituksen välissä.

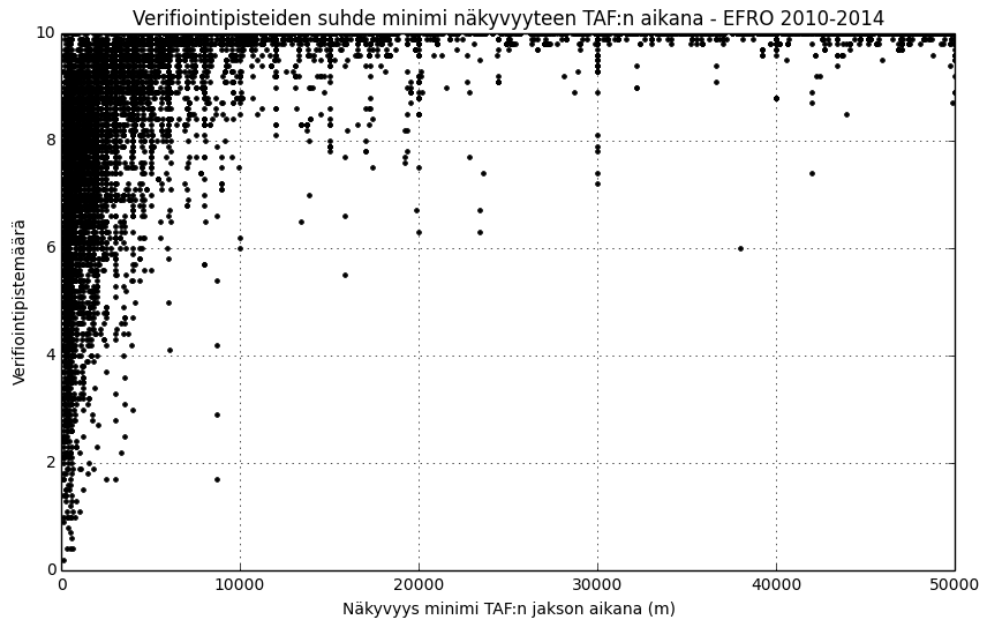


**Kuva 6.4.** Keskimääräisen näkyvyyden suhde TAF-ennusteen saamaan verifiointipistemäärään Rovaniemen lentokentällä. Näkyvyyden aineistona käytetty synop-havaintoja. Jakauma noudattaa paremmin logaritmista sovitusta (punainen viiva) kuin lineaarista suoran sovitusta (sininen viiva).

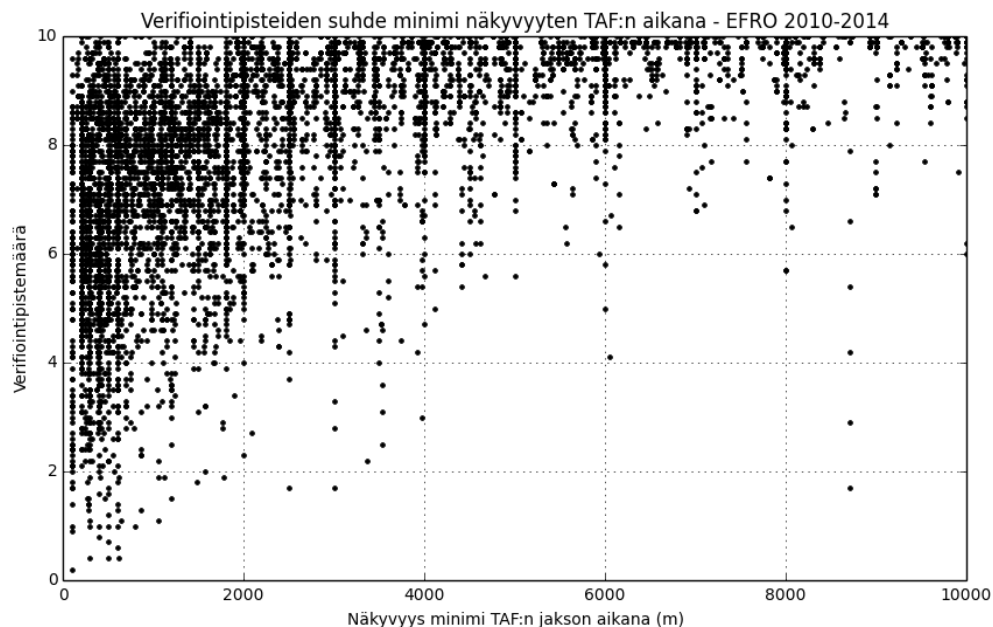
TAF-ennusteen aikaisen miniminäkyvyyden suhde verifiointipisteisiin on esitetty kuvassa 6.5. Huomataan, että yli 10 kilometrin miniminäkyvyksillä verifiointipisteet ovat hyvin lähellä 10.0 pistemäärää, yksittäisiä alle 8.0 pisteitä lukuunottamatta. Miniminäkyvyyden ollessa alle 10 kilometriä, verifiointipistemäärät alkavat laskea nopeasti.

Kuvassa 6.6 on esitetty alle 10 kilometrin miniminäkyvyksille vastaava kuva kuin kuvassa 7.5. Kun miniminäkyvyys on yli 4 kilometriä, verifiointipisteet pysyvät suurelta osin yli 8.0 pistemäärän. 2 ja 4 kilometrin välillä tulokset huonontuvat hieman, mutta pysyvät pääosin yli 6.0 pistemäärän. Kun miniminäkyvyys on alle 2 kilometriä, verifiointipisteet laskevat nopeasti ja pisteiden jakauma on hyvin laaja 10.0 ja 2.0 pistemäärän välillä. Hyviä tuloksia on mukana myös paljon, johtuen siitä, että miniminäkyvyys voi olla alle 2 kilometriä vain hetkellisesti ennusteen aikana, ja lopun ajan yli 10 kilometriä, jolloin ennustettavuus on todennäköisesti hyvä.

Alle 2 kilometrin jälkeen nähty nopea huononeminen verifiointipisteissä vahvistaa kuvan 6.4 päättelyä, jossa samankaltainen tulos johtui osittain ennusteluokkien suuresta lukumäärästä, kun näkyvyys on alle 1.5 kilometriä. Siitä huolimatta, tulos kertoo ennustettavuuden olevan huonointa sumussa tai sitä lähellä olevissa näkyvyyksissä.



**Kuva 6.5.** TAF-ennusteen aikaisen miniminäkyvyyden suhde verifointipistemäärään Rovaniemen lentokentällä. Näkyvyyden aineistona käytetty synop-havaintoja. Kun miniminäkyvyys on yli 10 kilometriä, verifointipisteet ovat lähellä 10 pistettä. Alle 10 kilometrin näkyvyyksissä huonoja tuloksia alkaa tulla enemmän, ja jakauma laajenee nopeasti.



**Kuva 6.6.** Vastaava kuva kuin kuvassa 3.5, mutta nyt x-akselin asteikko on rajoitettu 10 kilometriin asti. Yli 2 kilometrin miniminäkyvyksillä, verifointipisteet pysyvät pääosin yli 6.0 pistemäärän. Kun miniminäkyvyys alittaa 2 kilometriä, pisteiden jakauma laajenee nopeasti hyvin laajaksi.

## 7. ENNUSTETTAVUUDEN PARANTAMINEN

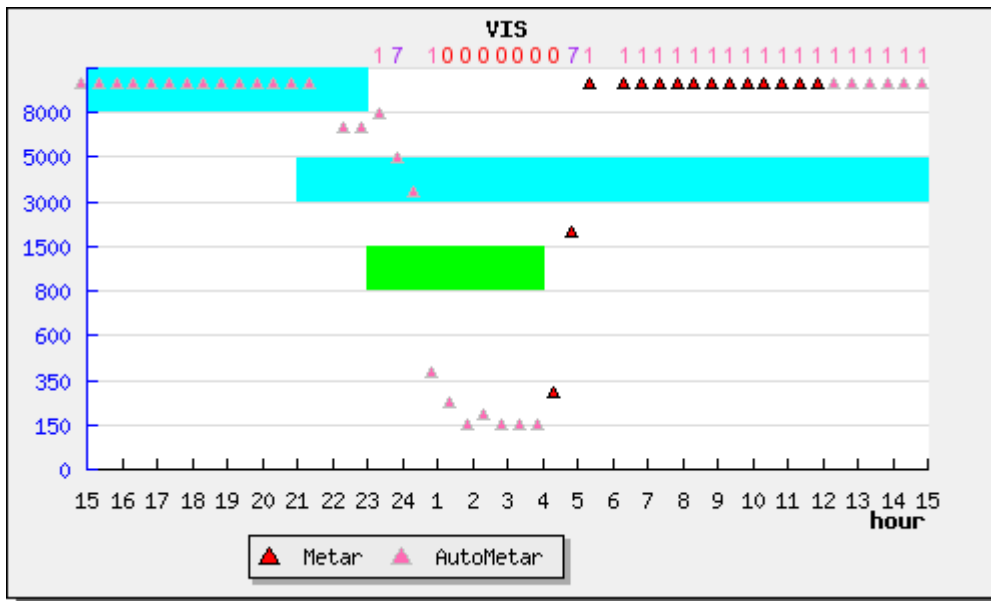
Leigh ym. (1998) tutkivat TAF-ennusteiden rahallista arvoa Sydneyn lentokentälle. Heidän tietokonemallin laskelmien perusteella 1 prosentin parannus TAF-ennusteiden ennustettavuudessa vastaisi noin 1.2 miljoonan dollarin vuotuista säästöä Sydneyn lentokentällä operoiville lentoyhtiöille. Summa on valtavan suuri ja antaa hyvän motivaation ennustettavuuden parantamiselle. Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan muutamia parannuskeinoja, joilla mielestäni ennusteita voidaan parantaa.

### 7.1 Inhimilliset virheet

Yksi väistämätön virhelähde TAF-ennusteissa, kuten missä tahansa muussakin ennustamisessa, on inhimilliset virheet. TAF-ennustetta kirjoittaessa, Ilmatieteen laitoksella käytössä oleva ohjelma tarkistaa kirjoitusvirheet, eikä muodollisesti virheellisiä ennusteita pääse syntymään. Ohjelma ei kuitenkaan tarkista kirjoitetun ennusteen sisältöä tämän tarkemmin, jolloin ennusteesta saattaa unohtua jokin ennustesuure esimerkiksi muutosryhmästä pois. Yksi yleinen esimerkki tästä nähdään kuvassa 7.1. Kuvaan liittyvä TAF-ennuste oli seuraavanlainen:

```
EFRO 091425Z 0915/1015 23007KT 9999 FEW020 BECMG 0921/0923 3000 BR NSC TEMPO  
0923/1004 0900 FG VV001 BECMG 1004/1006 BKN008 BECMG 1008/1010 SCT015=
```

Tässä ennusteessa inhimillinen erehdys on tapahtunut toiseksi viimeisen BECMG-ryhmän kohdalla, jossa on unohdettu parantaa näkyvyyttä samalla kun pilvenkorkeutta on ennustettu nousevaksi. Ennuste on helppo tulkita huolimattomuusvirheeksi, sillä on hyvin loogista, että näkyvyys paranisi samalla, kun ennustetaan pilven nousevan. Ennusteessa on sinänsä osattu ajoittaa huonon näkyvyyden tulo hyvin kohdilleen, mutta näkyvyys on tippunut reilusti huonommaksi kuin oletettu. Ennuste sai näkyvyyden osalta tuloksen 4.4 ja pilviryhmän osalta 8.9. Jos huolimattomuusvirhettä ei olisi tapahtunut, pisteet olisivat todennäköisesti näkyvyydelläkin olleet yli 8.0.



**Kuva 7.1.** Esimerkki inhimillisestä virheestä näkyvyyden ennusteessa. X-akselilla on aika (UTC) ja y-akselilla näkyvyys luokkarajoihin jaoteltuna. Vaaleansininen alue kuvaa perusryhmän ja vihreä alue TEMPO-ryhmän näkyvyys ennustetta. Punaiset kolmiot kuvaavat näkyvyyshavaintoja. Kuvaa vastaava TAF-ennuste lukee tekstiosuudessa ennen kuvaa. TAF-ennusteen toiseksi viimeisestä BECMG-ryhmästä on unohtunut 9999 (näkyvyys yli 10 km) lukema pois, jolloin ennusteen loppuosa saa joka havainnosta vain yhden pisteen, koska perusryhmän ennusteeksi jää 3000 metrin näkyvyys. Kuva: Ilmatieteen laitos.

## 7.2 Havaintovirheet

Lentokentillä tehtävistä havainnoista, suurin osa on nykyään automaattisia. Automaattihavainnot eivät ole virheettömiä, ja varsinkin näkyvyyden havainnot ovat usein kyseenalaisia, kun näkyvyys on alle 10 kilometrin luokkaa. Automaattiseen näkyvyyshavainnointiin käytetään lentokentillä tyypillisesti sirontamittareita. Waas (2008) tutki Saksan lentokentillä käytettäviä sirontamittareita ja niiden toimivuutta eri näkyvyysoloissa. Sirontamittarit toimivat parhaiten, kun näkyvyysolosuhde on tasainen ja erityisesti sumussa. Kun näkyvyystilanne muuttuu vaihtelevammaksi, sirontamittareiden osuvuus alkaa heiketä. Tällöin myös eri sirontamittareiden välillä oli suurta vaihtelua, kuten Waas (2008) mainitsee. Tämä vastaa hyvin myös omia havaintojani automaattisista näkyvyyshavainnoista. Ongelmallisimmat tilanteet havaitaan noin 1 ja 5 kilometrin näkyvyysalueella.

Automaattihavaintoja käytetään kuitenkin verifioinnin pohjana yhtä lailla kuin manuaalisiakin havaintoja, joten väistämättä tuloksiin tulee jonkin verran harhaa tästä johtuen. Tälle asialle ei

ennustajana minun mielestä paljoakaan voi tehdä. Varsinkaan virheellisen havainnon takia ei pitäisi myös ennustaa virheellistä säätilannetta parempien verifiointipisteiden saavuttamiseksi. Toisaalta havaintovirheitä on usein vaikea varmuudella todeta ilman, että todellista tilannetta itse näkisi lentokentällä esimerkiksi kamerakuvan perusteella.

Paremman automaattisen havainnointijärjestelmän kehittäminen todennäköisesti olisi paras tapa vähentää havaintovirheistä johtuvaa virhettä verifiointituloksissa. Manuaalisten havaintojen lisääminen olisi vieläkin ihanteellisempi tilanne, sillä ihmisen tekemää havaintoa voidaan oletuksena pitää virheettömänä.

### **7.3 Muutosryhmien käyttö**

Muutosryhmien parempi hyödyntäminen on yksi tapa parantaa TAF-ennusteiden osuvuutta ja verifiointituloksia. Liian suurten ennustevälien käyttö huonontaa verifiointituloksia nopeasti. Jos esimerkiksi ennustetaan perusryhmässä näkyvyydeksi yli 10 kilometriä ja TEMPO-ryhmällä 500 metrin sumua pitemmäksi aikaa, ylittyy useita ennusterajoja ja pisteet todennäköisemmin heikkenevät tämän seurauksena. Parempi tapa olisikin pyrkiä ennustamaan tarkemmin vallitseva sää, jolloin TEMPO-ryhmän ja perusryhmän välillä ei ylity montaa ennusterajaa, ja käyttää mieluummin BECMG- tai FM-ryhmää kun sää todella muuttuu alkuperäisen ennusteen jompaan kumpaan ääripäähän.

Pitkät TEMPO-ryhmät erityisesti pilviryhmän ennusteissa usein heikentävät pistemääriä, jos niissä ennustettu pilvi pysyykin pitkään lentokentällä. Ne eivät myöskään usein kuvaa vallitsevaa säätilannetta kovin hyvin. Parempi tapa mielestäni yleensäottaen on miettiä pilven keskimääräinen käyttäytyminen ennusteen aikana, ja käyttää mieluummin useampia BECMG- tai FM-ryhmiä kuvaamaan näitä muutoksia. Kuten aiemmin nähtiin, pilviryhmän ongelma ei niinkään ole kaikista huonoimmat tulokset, vaan pikemminkin runsas määrä tuloksia parhaiden ja kaikista huonoimpien pisteiden välimaastossa.

Kolmas merkittävä tekijä muutosryhmien käytössä on perusryhmän sään valitseminen. Useasti sää vaihtelee jonkin verran ennusterajojen ympärillä, jolloin väistämättä joudutaan käyttämään TEMPO-ryhmää perusryhmän sään rinnalla. Tärkeää kuitenkin olisi valita perusryhmän sääksi se säätila jossa pysytään suuremman osan ajasta. Jos sää nimittäin pysyykin pitkää TEMPO-ryhmän ennustamassa säätilassa, verifiointitulos kärsii koska TEMPO-ryhmään voidaan verrata korkeintaan puolet havainnoista, kuten luvussa 3.1.1 todettiin.

## 7.4 Paikallinen tuntemus

Mielestäni lentosäämeteorologin yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on jokaisen lentokentän erityspiirteiden tunnistaminen, mm. orografiset vaikutukset lentokentän ympäristössä, tyypilliset säätyypit eri virtauksista riippuen, kuinka herkästi lentokentälle tulee sumu missäkin tilanteessa jne. Samaa mieltä ovat myös Hyvärinen ym. (2007) tekstissään. Paikallisen tuntemisen oppii jokainen meteorologi ajan myötä työtä tehdessään, mutta erilaiset kuvaajat tai muut muistilaput ovat hyviä apuvälineitä olla esillä, samalla kun miettii TAF-ennusteen tilannetta. Hyvä esimerkki tällaisesta työkalusta on Hyvärisen ym. (2007) kuvassa 3, jossa on esitetty vuosittaiset sumuklimatologiat kolmelle eri lentokentälle.

## 8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkielman keskeisin tavoite oli tutkia Suomessa tehtävien TAF-ennusteiden osuvuuksia ja ennustettavuutta vuosien 2010 ja 2014 aikana, käyttäen hyväksi Ilmatieteen laitoksen verifiointimenetelmää. Minulle aiheen valinta oli luonteva, sillä olen ollut töissä lentosäämeteorologina Ilmatieteen laitoksella, Rovaniemen lentokentällä vuodesta 2014 alkaen. Näin ollen tutkielman tarkastelutapa on myös hyvin vahvasti ennusteita tekevän meteorologin näkökulmasta.

Tuuliryhmien ja sääryhmän ennusteet ovat verifiointitulosten kannalta erinomaisia kaikkina vuodenaikoina. Tästä johtuen niiden tarkastelu jäi hyvin pieneen rooliin tutkielmassa, ja keskityin tulosten tarkastelussa näkyvyyden ja pilviryhmän ennusteisiin. Näkyvyys ja pilviryhmä ovat TAF-ennusteen haastavimmat sääsuureet ennustamisen kannalta, ja tämä näkyy myös verifiointituloksissa. Kummankin ryhmän tuloksista nähdään selvä vuodenaikaisvaihtelu. Kesäkuukausina ennustettavuus on hyvä, mutta syksyllä tulokset alkavat heiketä, ja talvikuukausina pistemäärät ovat kummankin suureen osalta heikoimmat. Keväällä ennustettavuus alkaa taas parantua.

Vaikka näkyvyyden ja pilviryhmän tulokset käyttäytyvät hyvin samankaltaisesti, myös eroavuuksia löytyi. Ensinnäkin pilviryhmän tulokset olivat kaikkina vuodenaikoina keskimäärin näkyvyyttä hieman heikommat. Eron syynä oli näkyvyyden runsaampi määrä erinomaisia tuloksia, ja toisaalta pilviryhmän runsaampi määrä keskinkertaisia tuloksia. Tulosten varjolla näkyvyyttä osataan suuremman osaa aikaa ennustaa hyvin, mutta karkeita ennustevirheitäkin tulee pilviryhmää

enemmän. Pilviryhmillä taas karkeita ennustevirheitä on hieman vähemmän, mutta ennuste on luokkarajan tai pari pielessä useammin kuin näkyvyyden ennusteissa.

Tulosten hajonnan huomattiin kummallakin suurella kasvavan tasaisesti eri lentokenttien välillä, kun verifiointipisteet huononivat. Näkyvyyden osalta kuitenkin hajontaa oli enemmän eri lentokenttien välillä huonoimmilla pisteillä. Tästä voidaan päätellä, että näkyvyyden ennustettavuudessa on enemmän eroa lentokenttien välillä kuin pilviryhmillä.

Verifiointipisteet kummankin suureen osalta heikkenivät TAF-ennusteen loppua kohti. Pilviryhmillä kuitenkin ennusteen loppupuolella huononeminen tasoittui näkyvyyteen verrattuna. Tämä vahvistaa päätelmää, että pilviryhmän ennustaminen on vaikeampaa saada täysin oikein, mutta pitkään saatetaan olla luokkarajan verran vain pielessä. Näkyvyys puolestaan ennustetaan ennusteen alkupäässä paremmin, mutta lopussa voi tulla isoja virheitä. Näkyvyyden useat luokkarajat etenkin pienimmillä näkyvyyksillä huomattiin hankaliksi verifiointitulosten kannalta. Kun rajoja on oikein tiheässä, myös pistemäärät vääjäämättä tippuvat.

Ennustettavuuden parantamiseksi mietittiin muutamia konsteja, joista tärkeimpinä olivat muutosryhmien parempi hyödyntäminen ennustetta laadittaessa sekä lentokenttien paikallisten piirteiden tunteminen. Automaattisten havaintojen ongelmat vaikuttavat myös TAF-ennusteiden verifiointituloksiin, eikä niistä aiheutuvaa virhettä voida jättää huomiotta.

## **KIITOKSET**

Kiitokset perheelleni, Jonnamarille ja Pinjalle kaikesta tuesta tutkielman teon aikana. Kiitos Alberto Blanco Sequeirosille ammattimaisesta ohjauksesta, ja lukemattomista ideoista tutkielmaan liittyen. Kiitos Heikki Juntille tutkimuksen aiheesta, ja tuesta tutkielman teossa. Kiitos myös Ilmatieteen laitokselle tutkimuksen tekoon osoitetusta työajasta.



## KIRJALLISUUSLUETTELO

Blanco Sequeiros, A., M. Astevirta, T. Erkkilä, M. Heinonen, M. Jokimäki, T. Lassila, I. Snellman, R. Pukkila ja K. Österberg. New TAF verification. Version 1.41 Nordic. Saatavilla osoitteesta: <[http://lentosaa.fmi.fi/nordictafverif/tafverif/New\\_TAF\\_verification\\_scheme\\_nordic\\_version.pdf](http://lentosaa.fmi.fi/nordictafverif/tafverif/New_TAF_verification_scheme_nordic_version.pdf)>

Dvorakova, Z., K. Dejmal, J. Novotny, 2014: Assessment optimization of weather forecast - Terminal aerodrome forecast (TAF) - for 24 hours. Computer applications in environmental sciences and renewable energy. ISBN: 978-960-474-370-4

Ebert, E., L. Wilson, A. Weigel, M. Mittermaier, P. Nurmi, P. Gill, M. Göber, S. Joslyn, B. Brown, T. Fowler, A. Watkins, 2013: Progress and challenges in forecast verification. Meteorol. Appl. **20**, p. 130-139.

Hyvärinen, O., J. Julkunen, V. Nietosvaara, 2007: Climatological tools for low visibility forecasting. Pure appl. geophys., **164**, p. 1383-1396.

International Civil Aviation Organization (ICAO). 2010. Meteorological services for international air navigation. Annex 3 to the convention on international civil aviation, 17th edition ICAO: Montreal.

Leigh, R. J., L. Drake, D. J. Thampapillai, 1998: An economic analysis of terminal aerodrome forecasts with special reference to Sydney airport. Journal of Transport Economics and Policy. **32**, p 377-392.

Lentosääpalvelut Suomessa. Ilmatieteen laitos, 2015. Saatavilla osoitteesta: <[https://www.ilmailusaa.fi/pdf/lentosaapalvelut\\_2015.pdf](https://www.ilmailusaa.fi/pdf/lentosaapalvelut_2015.pdf) >

Mahringer, G., 2008: Terminal aerodrome forecast verification in Austro Control using time windows and ranges of forecast conditions. Meteorological applications Vol. 15 p. 113-123.

Murphy, A. H., 1996: The Finley Affair: A Signal Event in the History of Forecast Verification. Weather and forecasting, **11**, p. 3-20.

National weather service, 2015: National weather service instruction 10-1601, Verification.  
Saatavilla osoitteesta: <<http://www.nws.noaa.gov/directives/sym/pd01016001curr.pdf>>

Vihma, T., 2009: Rajakerroksen fysiikka II. s. 7-23.

Waas, S., 2008: Field test of forward scatter visibility sensors at German airports. WMO, IMOP projektin tekninen raportti.

LIITE 1. Suomen Finavian valvonnassa olevien 27 lentokentän icao-tunnukset ja paikannimet.

EFET = Enontekiö

EFHA = Halli

EFHF = Helsinki-Malmi

EFHK = Helsinki-Vantaa

EFIV = Ivalo

EFJO = Joensuu

EFJY = Jyväskylä

EFKA = Kauhava

EFKE = Kemi

EFKI = Kajaani

EFKK = Kokkola-Pietarsaari

EFKS = Kuusamo

EFKT = Kittilä

EFKU = Kuopio

EFLP = Lappeenranta

EFMA = Mariehamn (Maarianhamina)

EFMI = Mikkeli

EFOU = Oulu

EFPO = Pori

EFRO = Rovaniemi

EFSA = Savonlinna

EFSI = Seinäjoki

EFTP = Tampere-Pirkkala

EFTU = Turku

EFUT = Utti

EFVA = Vaasa

EFVR = Varkaus

Taulukko 1. **Vallitseva sää (+ edellisen METARin jälkeen havaittu sää)**

Määre tai tarkenne		Säailmiö		
1 Intensiteetti ja tarkenteet	2 Luonne	3 Sadeilmiöt	4 Näkyvyyttä heikentävät ilmiöt	5 Muut ilmiöt
- heikko	<b>MI (&lt; 2 m)</b> matalaa	<b>DZ</b> tihkusadetta	<b>BR (1-5 km)</b> utua	<b>PO</b> pölypyörteitä
kohtalainen (ei etumerkkiä)	<b>BC</b> hattaroita	<b>RA</b> vesisadetta	<b>FG (&lt; 1 km)</b> sumua	<b>SQ</b> äkillisiä tuulenpuuskia
+ voimakas	<b>PR</b> osittain, (kattaa osan kentästä)	<b>SN</b> lumisadetta	<b>FU (≤ 5 km)</b> savua	<b>FC</b> suppilopilvi (trombi)
<b>VC</b> kentän läheisyydessä (noin 8-16 km)	<b>DR (&lt; 2 m)</b> matalalla ajelehti- vaa tai tuiskuavaa	<b>SG</b> lumijyväsiä	<b>VA</b> vulkanista tuhkaa	<b>SS</b> hiekkamyrsky
	<b>BL (≥ 2m)</b> korkealla kulkeutuvaa	<b>IC</b> jääneulasia "timanttipölyä"	<b>DU (≤ 5 km)</b> laaja-alaista pölyä, tomua	<b>DS</b> pölymyrsky
	<b>SH</b> kuuroittaista	<b>PL</b> jäajyväsiä	<b>SA</b> hiekkaa	
<b>RE</b> edellisen METARin jälkeen havaittu sää	<b>TS</b> ukkosta	<b>GR (≥ 5 mm)</b> rakeita	<b>HZ (≤ 5 km)</b> auerta	
	<b>FZ</b> jäätävää, alijäähtynyttä	<b>GS (&lt; 5 mm)</b> pikkurakeita/ lumirakeita		
		<b>UP</b> vain AUTO-havainnossa: "sateen tyyppi määrittelemätön"		

LIITE 3. Sääryhmän verifiointissa käytettävät ryhmät (Blanco Sequeiros ym.). Lyhenteiden selitykset löytyvät liitteestä 2.

Lumisade: -SN, SN, +SN, SNRA, +SNRA, RASN, +RASN, SHRASN, +SHRASN, BLSN, +BLSN, SG ja +SG. Lisäksi kaikki säätilat, jotka sisältävät SHSN tai +SHSN (esim. SHSNRA).

Vesisade: RA, +RA, SHRA, +SHRA, SNRA, +SNRA, RASN, +RASN, SHSNRA, +SHSNRA DZ ja +DZ. Lisäksi kaikki säätilat, jotka sisältävät SHRA tai +SHRA (esim. SHRASN).

Jäätävät ilmiöt: -FZDZ, FZDZ, +FZDZ, -FZRA, FZRA, +FZRA, FZFG ja +FZFG.

Ukkonen: TS, +TS, -TSRA, TSRA, +TSRA, TSGR, +TSGR.

Rakeet: GR, +GR, GS, +GS, PL ja +PL.

Muut harvinaisemmat ryhmät: -(+)DRDU, (+)DRSA, (+)BLSA, (+)DS, (+)SS, (+)SQ, (+)FC, (+)VA ja (+)PO. Lisäksi jos näkyvyys alle 5000m, myös seuraavat ryhmät: -(+)FU, (+)SA, (+)DU ja (+)HZ.

Kaikki muut säätyypit verifioidaan NSW-ryhmä, eli ei merkittävää säätä.

#### LIITE 4. Näkyvyyden ja pilviryhmän verifiointisäännöt muutosryhmille (Blanco Sequeiros ym.).

##### FM-ryhmä:

- FM-ryhmä katsotaan muuttuvan sen alkuketken jälkeen vallitsevaksi perussääksi, jolloin se verifioidaan kuten perussään osa. FM-ryhmän alkuketkeä edeltävä sekä jälkeinen havainto saavat kuulua joko aikaisempaan perusryhmään tai muuttuvaan FM-ryhmään.

##### BECMG-ryhmä:

- BECMG-ryhmän muutosajan välillä ennuste tulkitaan oikeaksi, kunhan havainto on edeltävän perusryhmän ja muuttuvan BECMG-ryhmän välillä. Jos havainto kuitenkin on edellä mainittujen rajojen ulkopuolella, havaintoa verrataan lähimpänä havaintoa olevaan ryhmään (perus- tai BECMG-ryhmä). Muutosajan jälkeen sään tulkitaan muuttuneen BECMG-ryhmän tilaan ja se verifioidaan uutena perusryhmän sääinä.

##### TEMPO-ryhmä:

- TEMPO-ryhmä jaetaan kolmen tunnin jaksoihin sen voimassaoloaikana. Jaottelu alkaa ryhmän alusta, ja viimeiset ryhmät voivat olla myös yhden tai kahden tunnin pituisia.
- Ennustetta verrataan joko TEMPO-ryhmään tai perusryhmään riippuen kumpaa lähempänä havainto on. TEMPO-ryhmään verrataan korkeintaan 2 peräkkäistä havaintoa ja maksimissaan puolet kolmen tunnin jakson kaikista havainnoista. Kuitenkin aina vähintään yhtä havaintoa verrataan TEMPO-ryhmään, vaikka kaikki havainnot osuisivatkin lähemmäksi perusryhmän ennustetta.
- Pisteytys on sama kuin perusryhmälläkin, jos ennustetta verrataan TEMPO-ryhmään. Eli samassa luokassa oleva havainto saa 10 pistettä, 1 luokan erotus antaa 7 pistettä, 2 luokan erotus antaa vielä 1 pisteen, mutta yli kahden luokan erotus antaa aina 0 pistettä.
- Jos TEMPO-ryhmä on pitempi kuin kolme tuntia, kahden peräkkäisen vertauksen sääntö pätee myös eri kolmen tunnin jaksojen välillä eli kolmatta peräkkäistä havaintoa ei saa verrata TEMPO-ryhmään vaikka kolmen tunnin vertailujakso vaihtuisikin havaintojen välissä.
- Jos TEMPO-ryhmä ei ole kolmella tunnilla jaollinen, jolloin kolmen tunnin jaottelulla viimeinen vertailuryhmä on alle 3 tunnin pituinen, tällöin yhtä vertausta kyseiseen ryhmään ei tarvitse tehdä, jos perusryhmän sää osuu paremmin oikeaan koko ajalla. Muut säännöt pätevät lyhemmille vertailuryhmille.