

# RADIOASTRONOMIA HARRASTUKSENA

URSAN LAITEPÄIVÄT

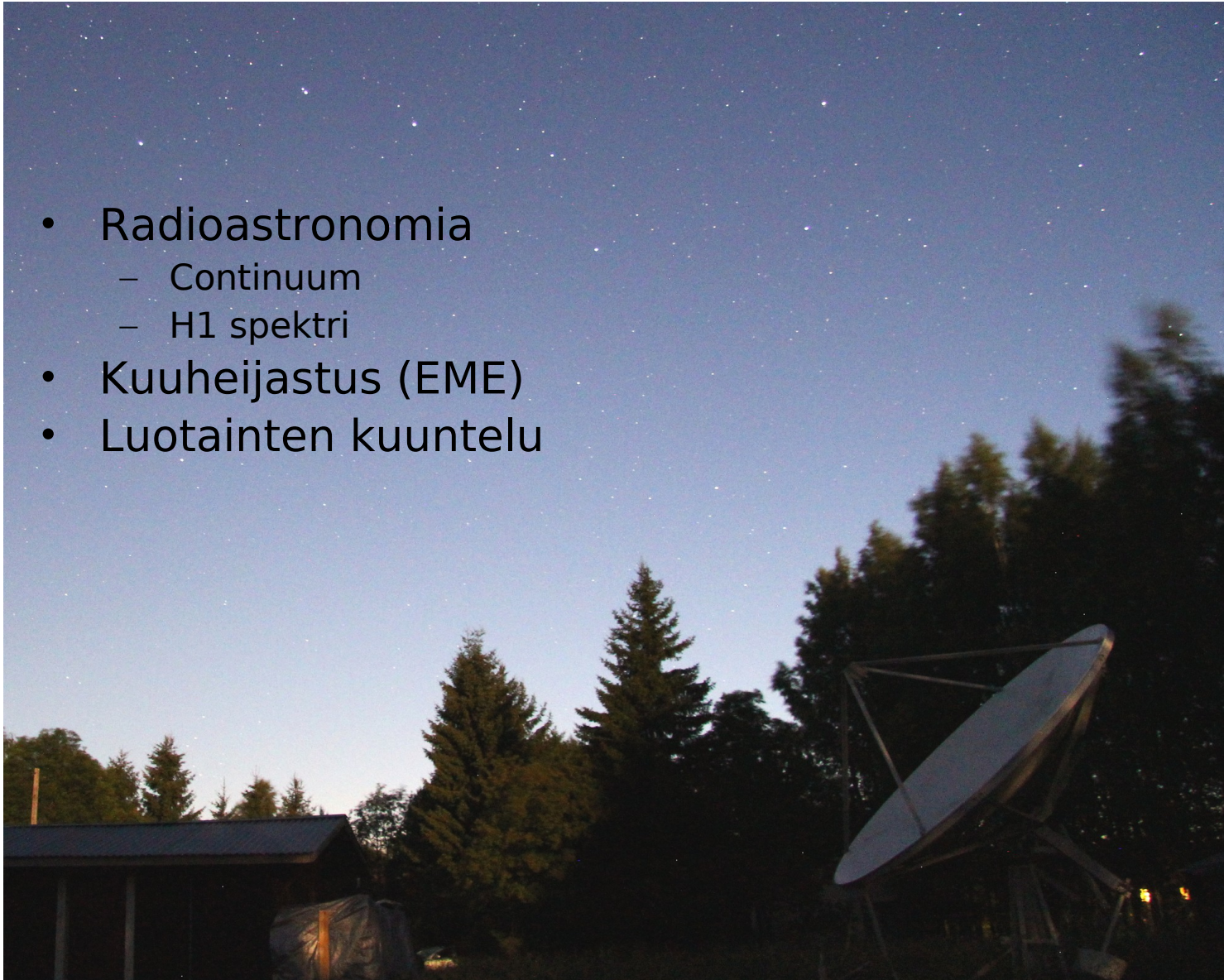
ARTJÄRVI

07.04.2018

Janne Peltonen

# SISÄLTÖ

- Radioastronomia
  - Continuum
  - H1 spektri
- Kuuheijastus (EME)
- Luotainten kuuntelu



# HAVAINTOVÄLINE

- Peilikärky
  - Hinattava laite
  - Tietokoneohjaus
  - Antenni: 4m peili



# PEILIKÄRRYN TEKNIikka

- Kolmivaihemoottorit kääntöä varten
  - AZ-EL -tyyppinen jalusta
  - Moottorin ohjaus taajuusmuuttajilla
- Antennin suunta mitataan inkrementtiantureilla
  - Anturit suoraan akseleilla
  - 7200 pulssia/kierros → 0.05 astetta/pulssi
  - Suuntalaskurit toteutettu Xilinx FPGA piirillä ja VHDL:llä
  - AZ-EL -laskurien nollaus (3. kanava)
- Kohteen paikan laskenta tietokoneella
  - Kääntötietokoneena nykyään Raspberry-PI
  - Ephem -ohjelma laskee kohteen paikan tiedostoon
  - Kääntöohjelma kääntää peilin tietokoneen laskemaan suuntaan
  - Kääntö voidaan tehdä esimerkiksi muutaman minuutin välein
  - Suunnan kalibrointi tapahtuu helpoiten Auringon avulla
  - Syötön varjo säädetään käsin keskelle peiliä ja offsetit nollataan

# PEILIKÄRRYN TEKNIikka

- Moottorit



# PEILIKÄRRYN TEKNIikka

- Suunta-anturit



AZ-anturi



EL-anturi

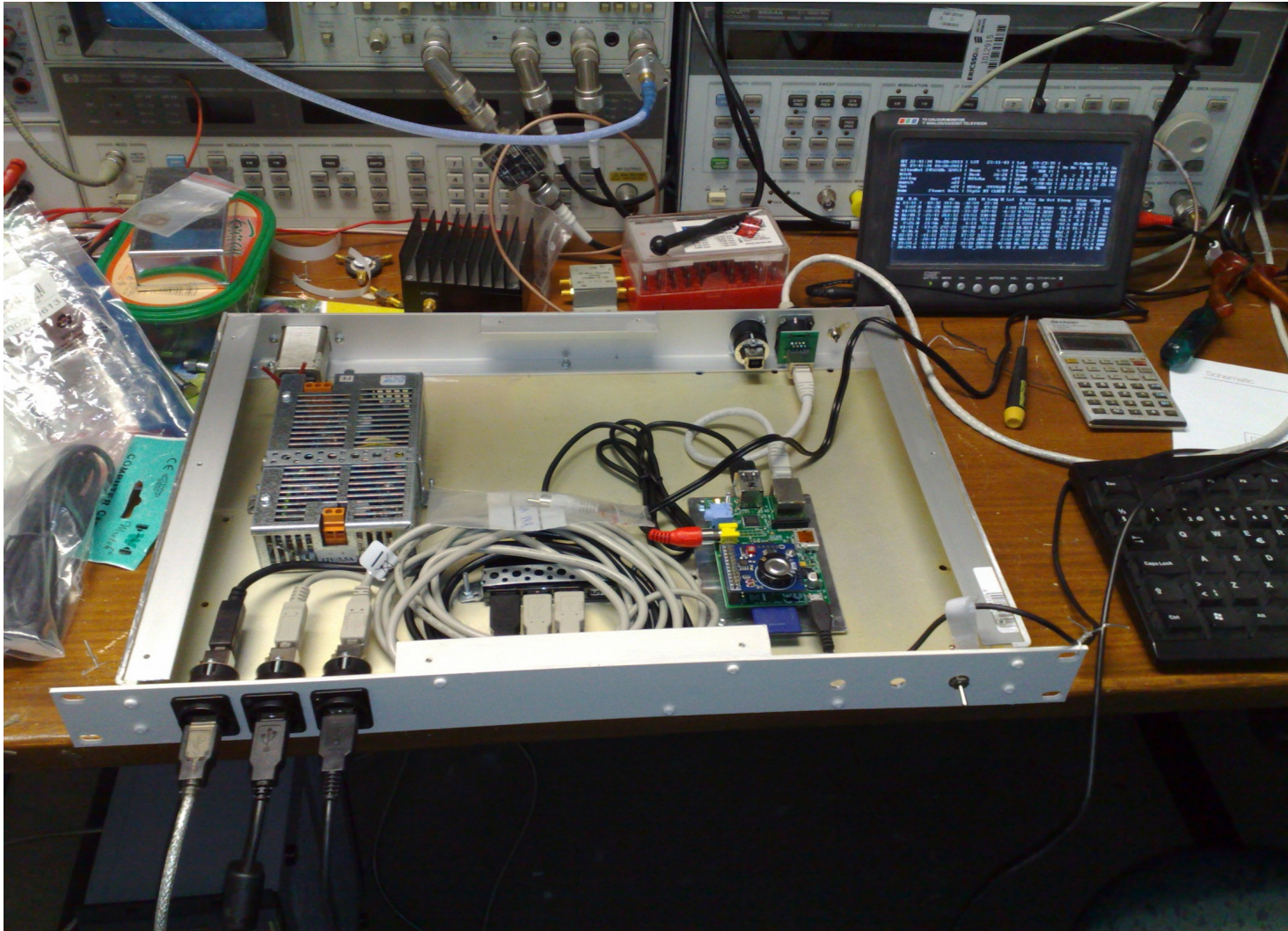
# PEILIKÄRRYN TEKNIikka

- Kääntötietokone (alkuperäinen systeemi)



# PEILIKÄRRYN TEKNIikka

- Kääntötietokone (Raspberry Pi)





# PEILIKÄRRYN TEKNIikka

- Peili 4m halkaisija
- Taajuusalue 1GHz..10GHz
- Vahvistus
  - 1.3GHz 33dBi =2000x
  - 2.3GHz 37.8dB
  - 3.4GHz 41.2dB
  - 5.6GHz 45.5dB =33000x
- Keilan leveys (-3dB)
  - 1.3GHz-->1.95 ast
  - 2.3Ghz-->1.1 ast
  - 3.4GHz-->0.74 ast
  - 5.6GHz-->0.45 ast

Peilikärry kuljetuskunnossa

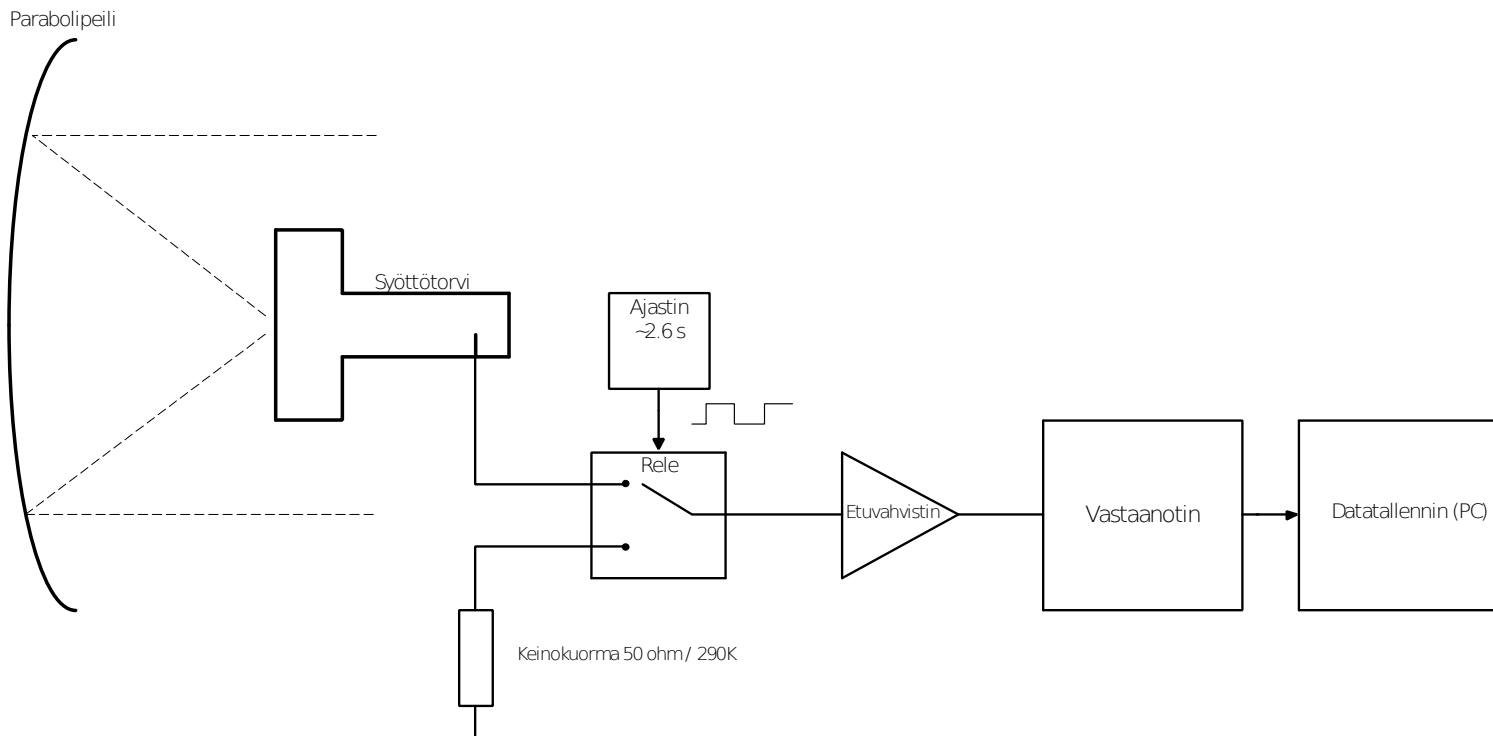


# RADIOMETRINEN MITTAUS AIKATASOSSA (CONTINUUM)

- Mitataan RF-tehoa sopivalla taajuuskaistalla,  $bw \sim 50\text{kHz}$
- Jatkuva mittaus
- Hyvin pitkät integrointiajat  $\rightarrow$  useita sekunteja tai minuutteja
- Hyvin pienet signaalit havaittavissa  $\rightarrow$  esim.  $0.025\text{dB}$ :n signaaleja voi mitata
- Signaalit voivat olla olennaisesti “pohjakohinan” alapuolella ( $P_{\text{sig}} \ll P_{\text{rx}}$ )
- Dicken radiometri
  - Verrataan taivaan kohinaa keinokuorman kohinaan

# DICKEN RADIOMETRI

- Keinokuoma referenssinä 290K
- Taivaan kohinalämpötila pienempi kuin referenssin ( $T_{\text{sky}}=5\text{K}@1296\text{MHz}$ )
- Y-kerroin noin 6 dB:tä
- Vastaanottimena edullinen USB-SDR-tikku (Funcube Dongle pro+)

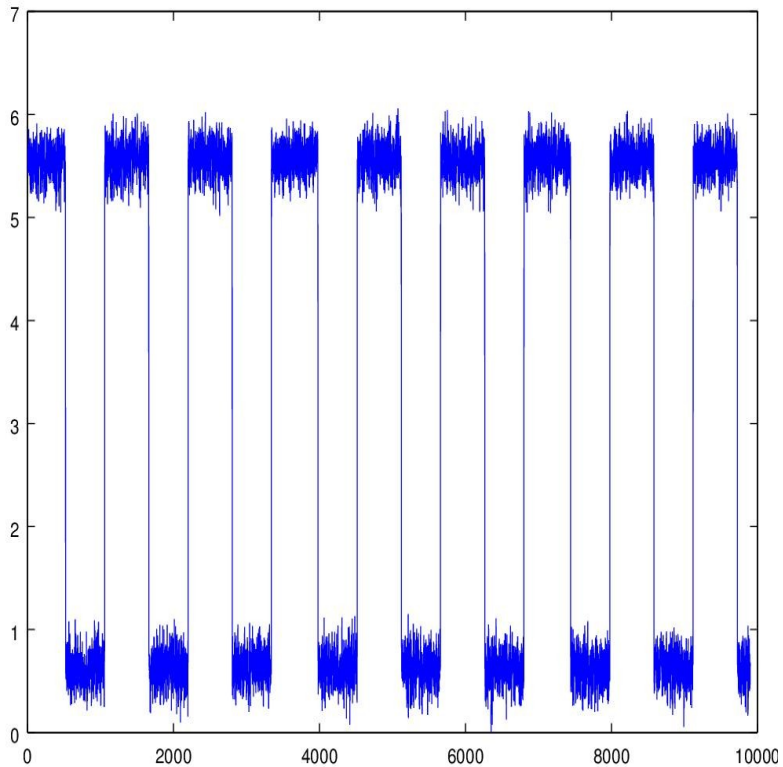


# CONTINUUM MITTAUS

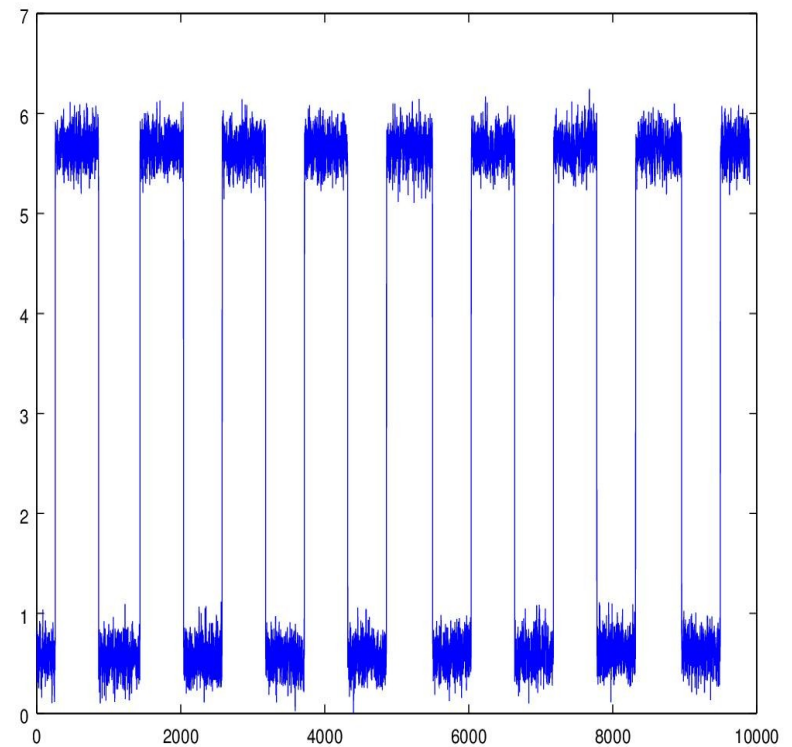
- Taajuus 1296MHz (optimi laitteistolle)
- Käytännössä kyseessä on kohinatehon mittaus aikatasossa
- Mittausaika noin 40min/mittaus
- Kohinatehoa mitattiin tiedostoon n. 2Gt
- Kohinasta lasketaan ns. Y-kerroin
- Y-kerroinmittaus vertaa referenssin kohinatehoa antennista tulevaan kohinatehoon
- Vahvistus voidaan säätää suureksi → iso herkkyys
- Tulosten laskenta jälkikäteen tietokoneella
- Kiinteä antennin suuntaus ennakkolla (~20 min ennakkoa)
- Maan pyöriminen tuo kohteen antennin keilaan mittauksen aikana (ns. transit mittaus)

# CONTINUUM MITTAUS

- Näytedata Dicken radiometristä



Kylmä taivas [dB]



Kohde [dB]

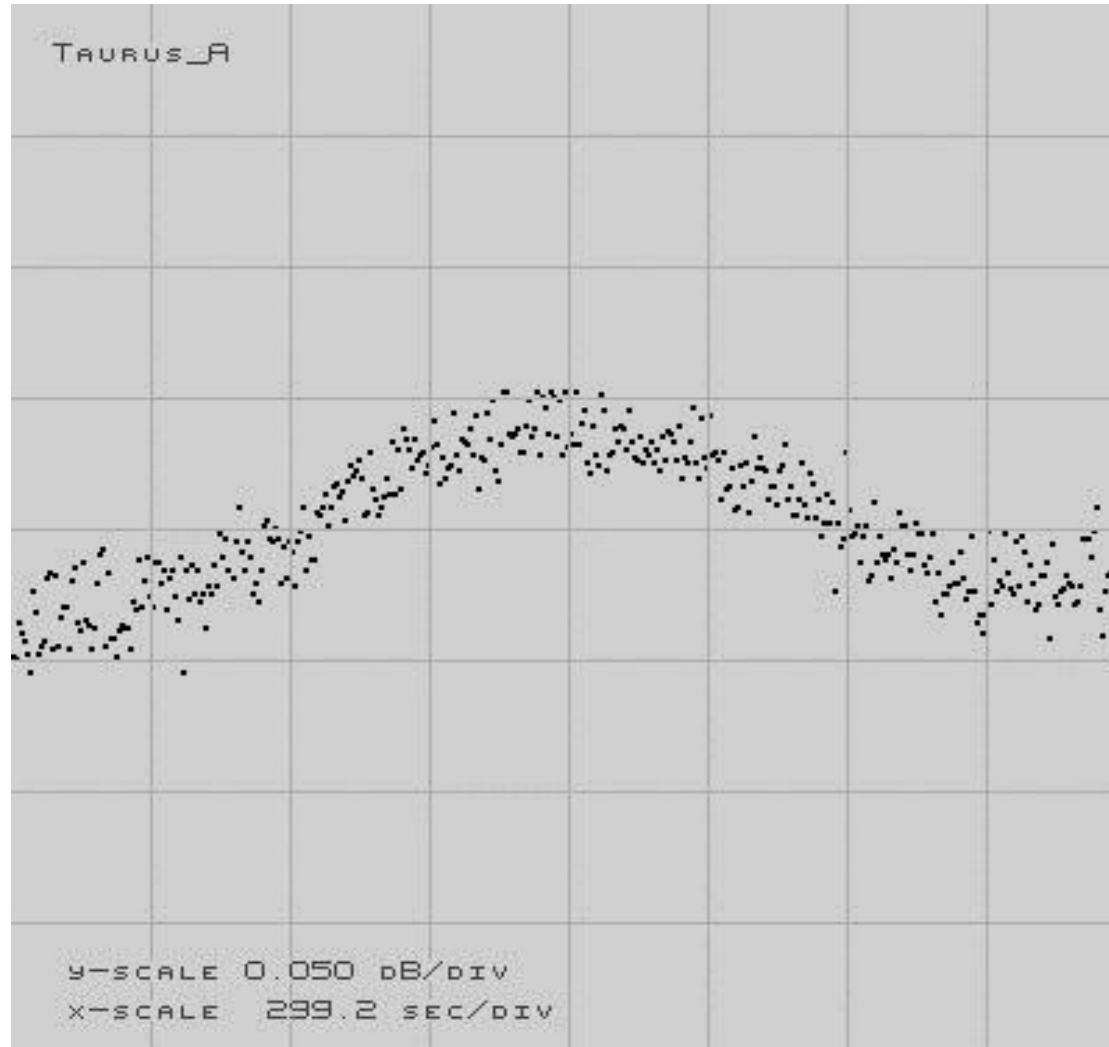
Delta  $y=0.11\text{dB}$

# TAIVAAN RADIOLÄHTEET

- Taivaankappaleet
  - Aurinko
  - Kuu
  - Jupiter
- Galaksin keskusta
  - Sagittarius\_A, musta aukko keskellä
- Supernovajäänteet
  - Cassiopeia\_A
  - Taurus\_A/Rapsumu
- Tähtien muodostumisalueet (star forming region)
  - Vetykaasupilvet
  - Linnunrata
- Radiogalaksit / kvasaarit
  - Säteileviä galaksin keskustoja
  - 3C273, Virgo
- Pulsarit
  - Nopeasti pyöriviä neutronitähtiä
  - Liian vaimeita ja haasteellisia harrastelijoille havaita
  - Havaitseminen vaatii ison antennin ~25m
- Kosminen taustasäteily
  - Mustan kappaleen spektri 2.73K

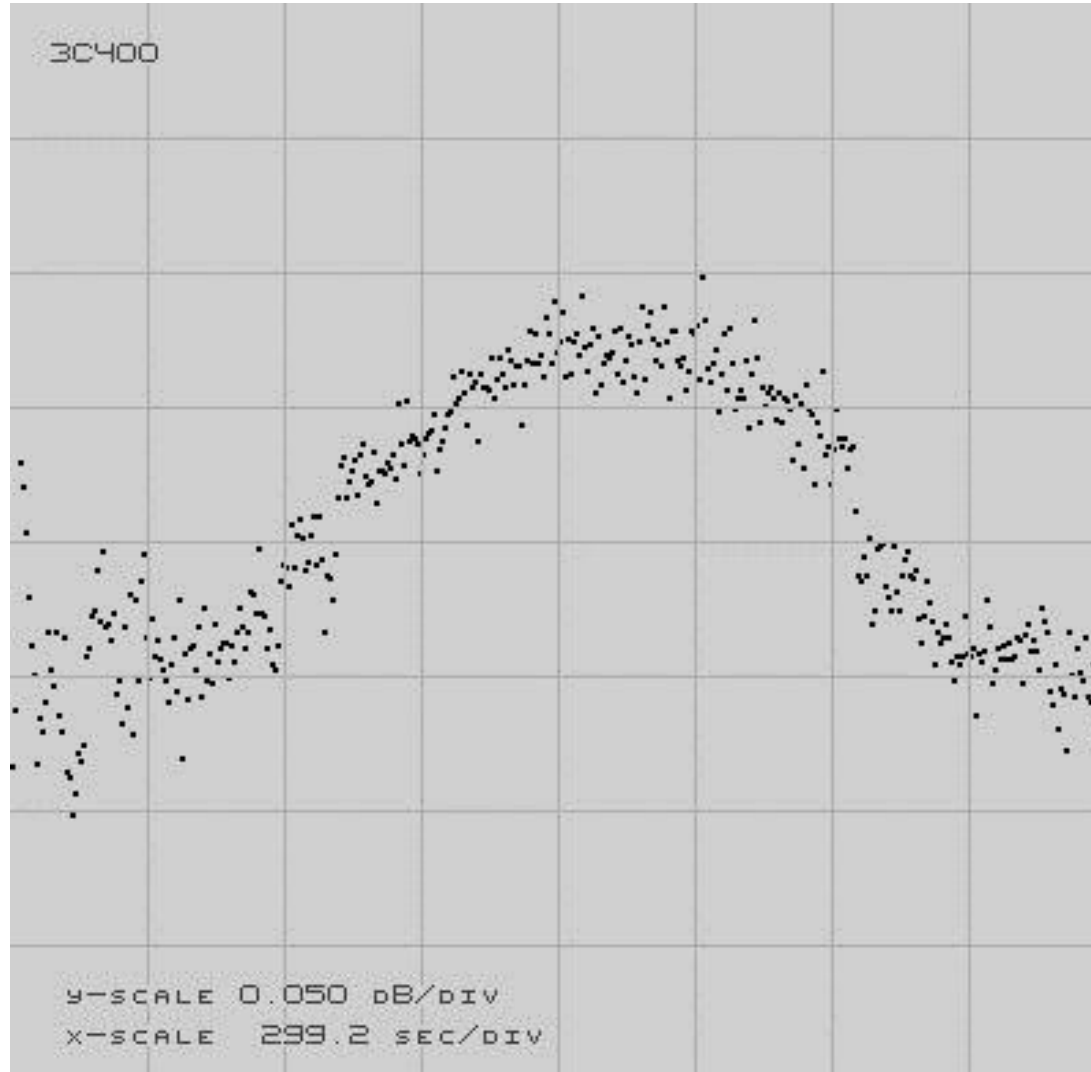
# CONTINUUM MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- Taurus\_A=Rapsumu=M1=NGC1952=3C144
- Supernovajäänne



# CONTINUUM MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

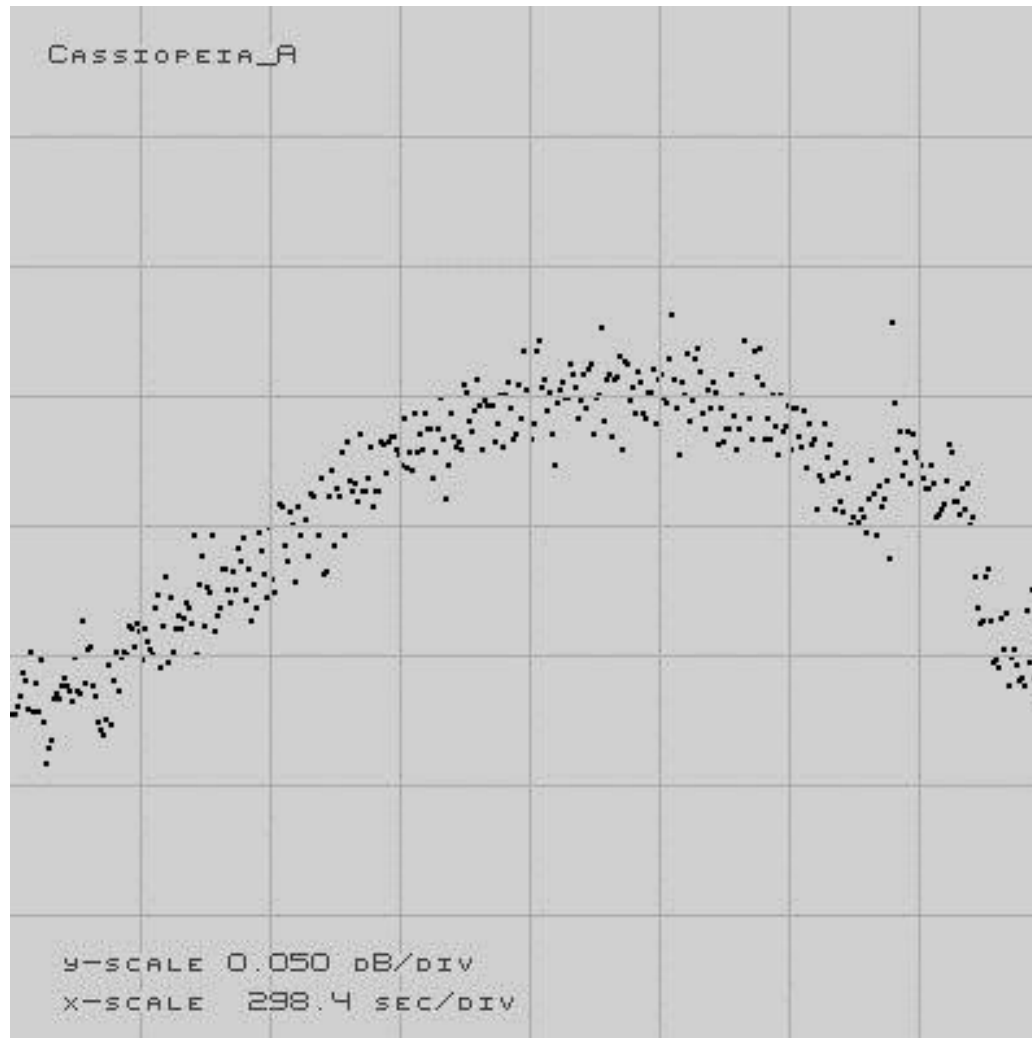
- 3C400 Radiogalaksi





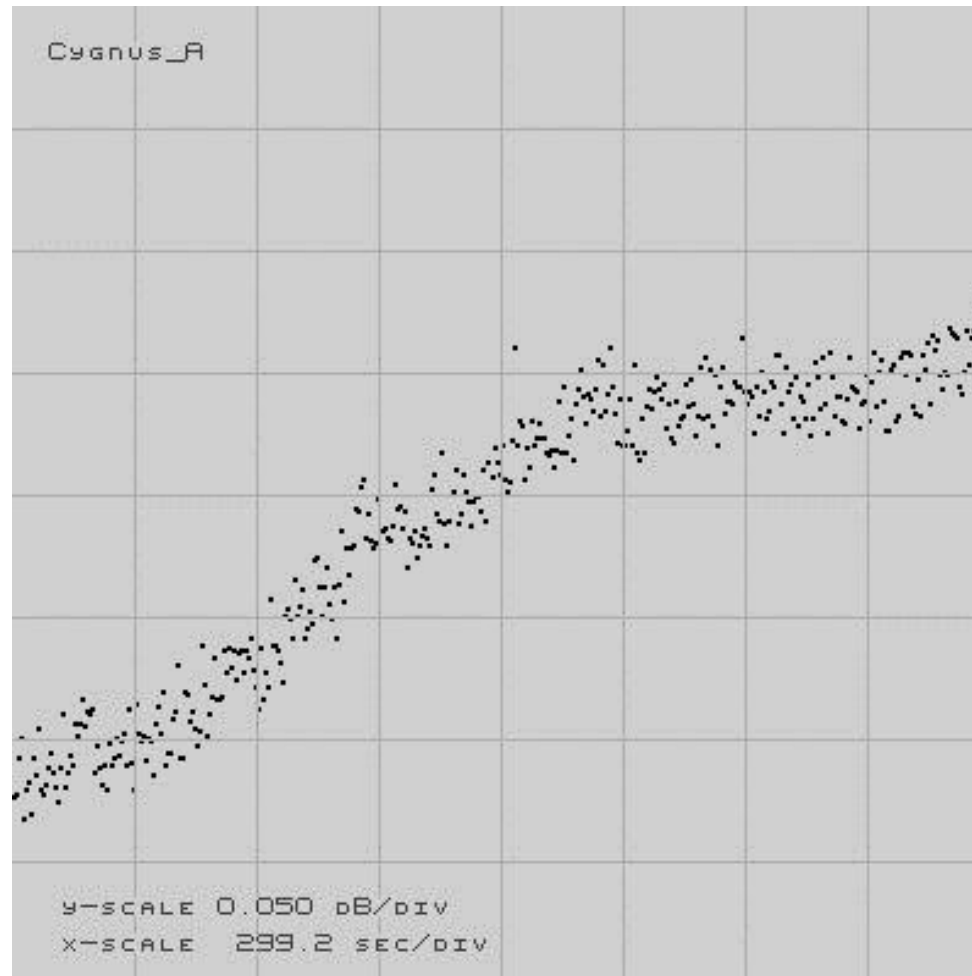
# CONTINUUM MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- Cassiopeia\_A=3C461



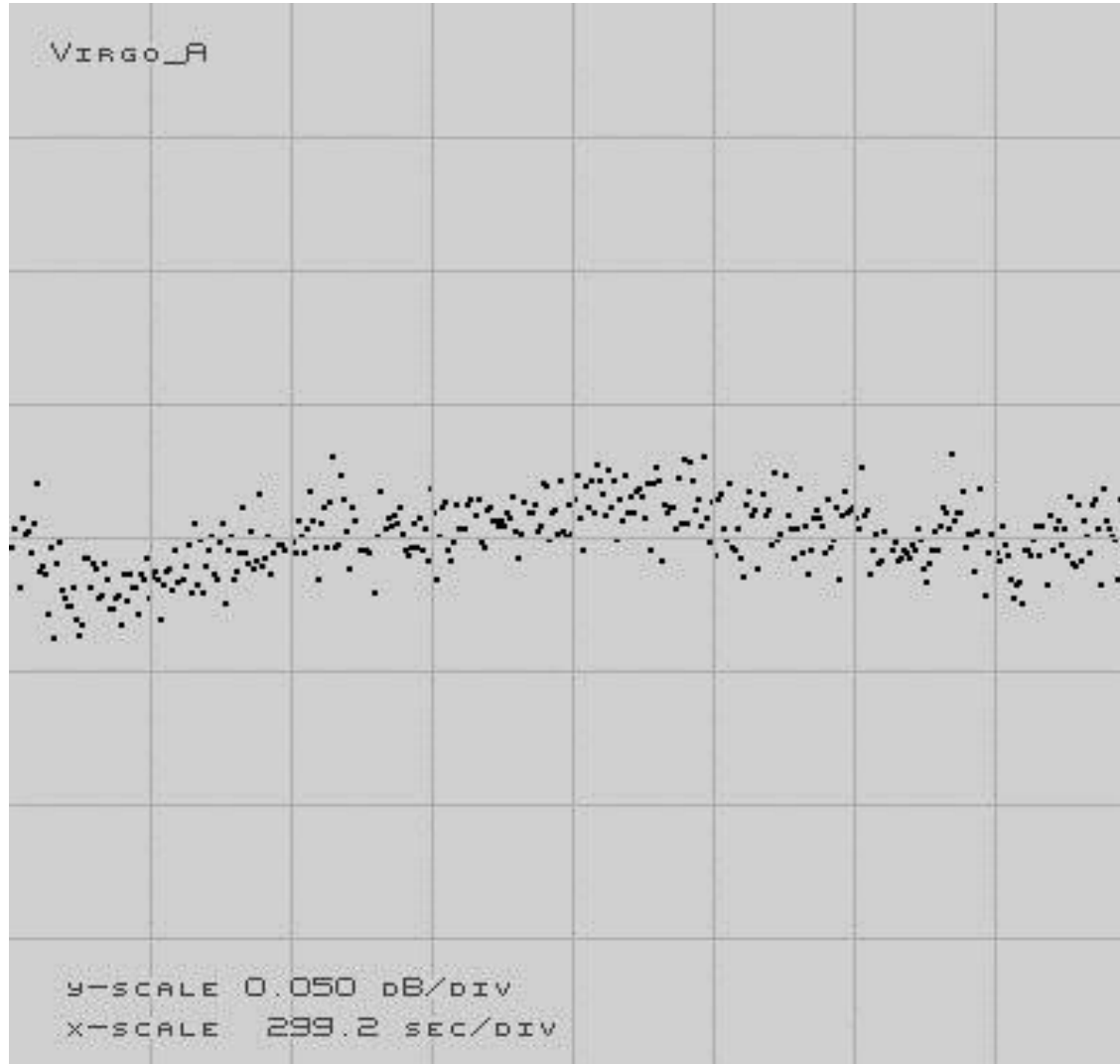
# CONTINUUM MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- Cygnus\_A=3C405
- Ryömintä johtunee lämpösuojaamattomasta etuvahvistimesta



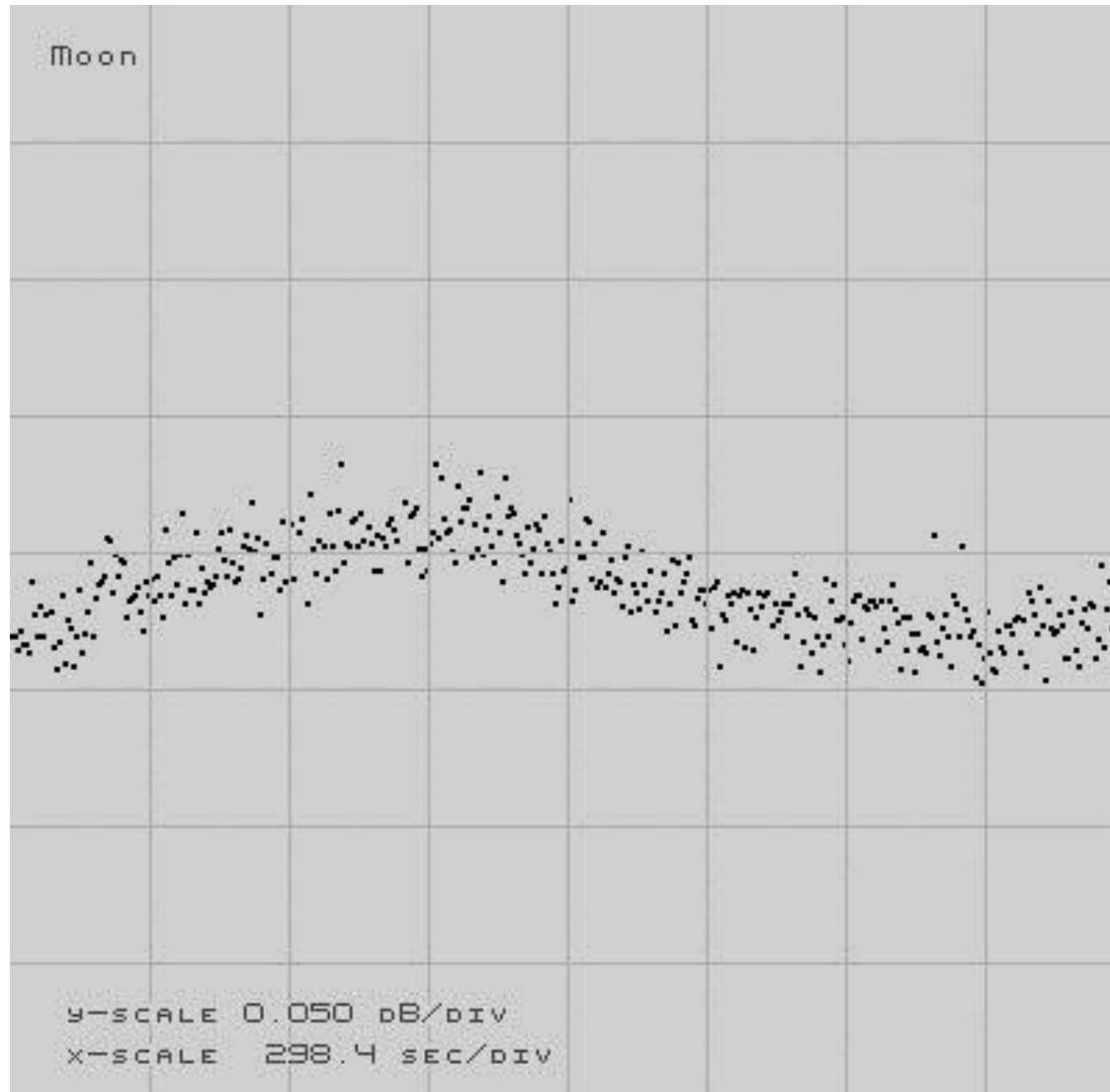
# CONTINUUM MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- Virgo\_A=M87



# CONTINUUM MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- Kuun kohina @ 1296MHz



# CONTINUUM MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

```
k=1.38*1e-23;      %Boltzmann's constant
To=290;           %Temp in K
NF_system=1.4;    %System noise figure [dB]
N=power(10,(NF/10)); %rx noise factor
r=2.0;           %4m dish
A=pi*power(r,2)*0.5; %ant eff area & 50% eff
Jy=1e-26;        %Jansky [W/(m2*Bw)] 1 Jansky is equivalent to -260 dBW/m2/Hz
```

```
%Flux table for 1420MHz
```

```
Flux=875;         %Taurus_A=Crab_Nebula=M1=NGC1952=3C144
Flux=576;         %3C400
Flux=2477;        %Cassiopeia_A
Flux=1495;        %Cygnus_A
Flux=560;         %Virgo_A
Flux=[875 576 2477 1495 560];
```

```
T_noise_rx=To*(power(10,NF_system/10)-1)+5 %RX noise temp in K +sky noise@23cm
Ta=(A*Flux*Jy)/(2*k)                       %Detected power in K from antenna
```

```
Y_factor_calculated=(T_noise_rx+Ta)/(T_noise_rx)
Y_dB_calculated=10*log10(Y_factor_calculated)
```

```
%Approximate measured Y-factors in dB
Y_meas_dB=[0.075 0.125 0.200 0.100 0.05]
```

# CONTINUUM MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

Mittaustulosten vertailu laskennalliseen (Mittaukset 1296MHz, Flux lukemat 1420MHz)

Kohde	Taurus_A	3C400	Cassiopeia	Cygnus_A	Virgo_A
Flux [Jy]	875	576	2477	1495	560
dY-laskennallinen [dB]	0.0744	0.0491	0.2073	0.1263	0.0478
dY-mitattu [dB]	0.0750	0.1250**	0.2000	0.1000	0.0500

\* dY on Y-kertoimen muutos suhteessa kylmän taivaan Y-kertoimeen kohteen ollessa antennin keilassa. Eli Y-kertoimen keskiarvo on vähennetty mitatusta Y-kertoimesta, joka on noin 6dB:tä.

\*\* Kohteen takana oleva avaruus on normaalia kuumempi. Tämä voi selittää eron.

# H1 SPEKTRIMITTAUKSIA

- Spektrimittauksia taajuustasossa (H-line)
  - Vedyn 1. spektriviiva on taajuudella noin 1420.405MHz
  - RF:n näytteistys IQ-dataksi (kompleksinen signaalidata)
  - FFT:n (Fourierin muunnoksen) laskenta tietokoneessa → aikatasosta taajuustasoon
  - FFT voidaan laskea reaaliajassa nykyisillä koneilla laajakaistaisesti  
~Bw=40MHz reaaliajassa
  - Tavoitteena on saada vedyn spektriviiva näkyviin
  - Spektriinkin paikasta (=taajuus) voi päätellä kohteen suhteellisen nopeuden (doppler)

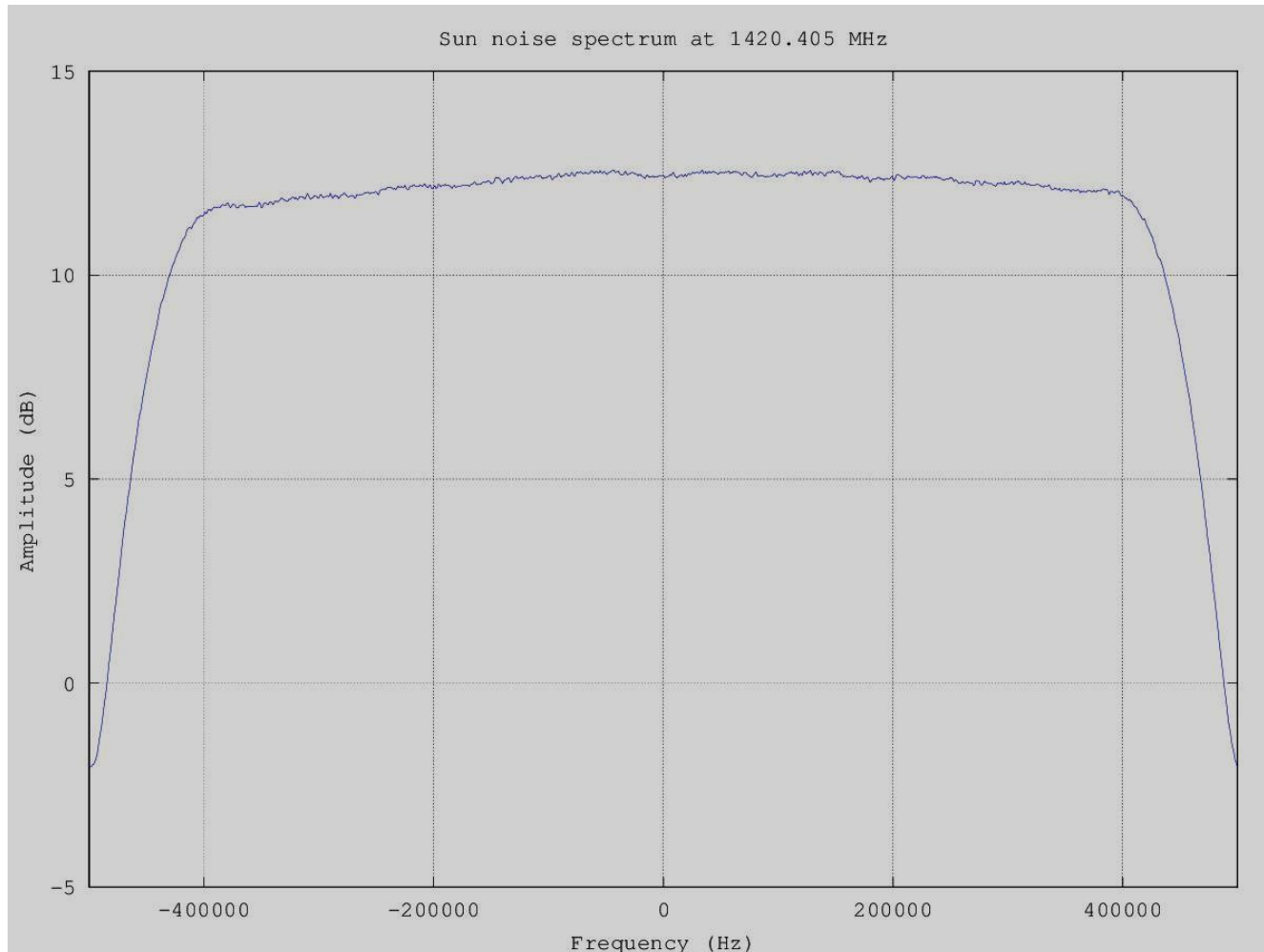
# H1 SPEKTRIMITTAUKSIA

- Keskitäajuus 1420.405 MHz
- Mittausaika muutama minuutti / spektrikuva
- Vastaanottimena SDR (Perseus softaradio)
  - Samplerate 1Ms/s -->kaistanleveys noin +/-400kHz
  - Tiedoston koko noin 200Mt
- Etuvahvistimen kohinaluku noin 0.6dB:tä
- Kuvien laskenta Matlab/Octave-scriptillä
  - FFT
  - Keskiarvotus
  - Plottaus



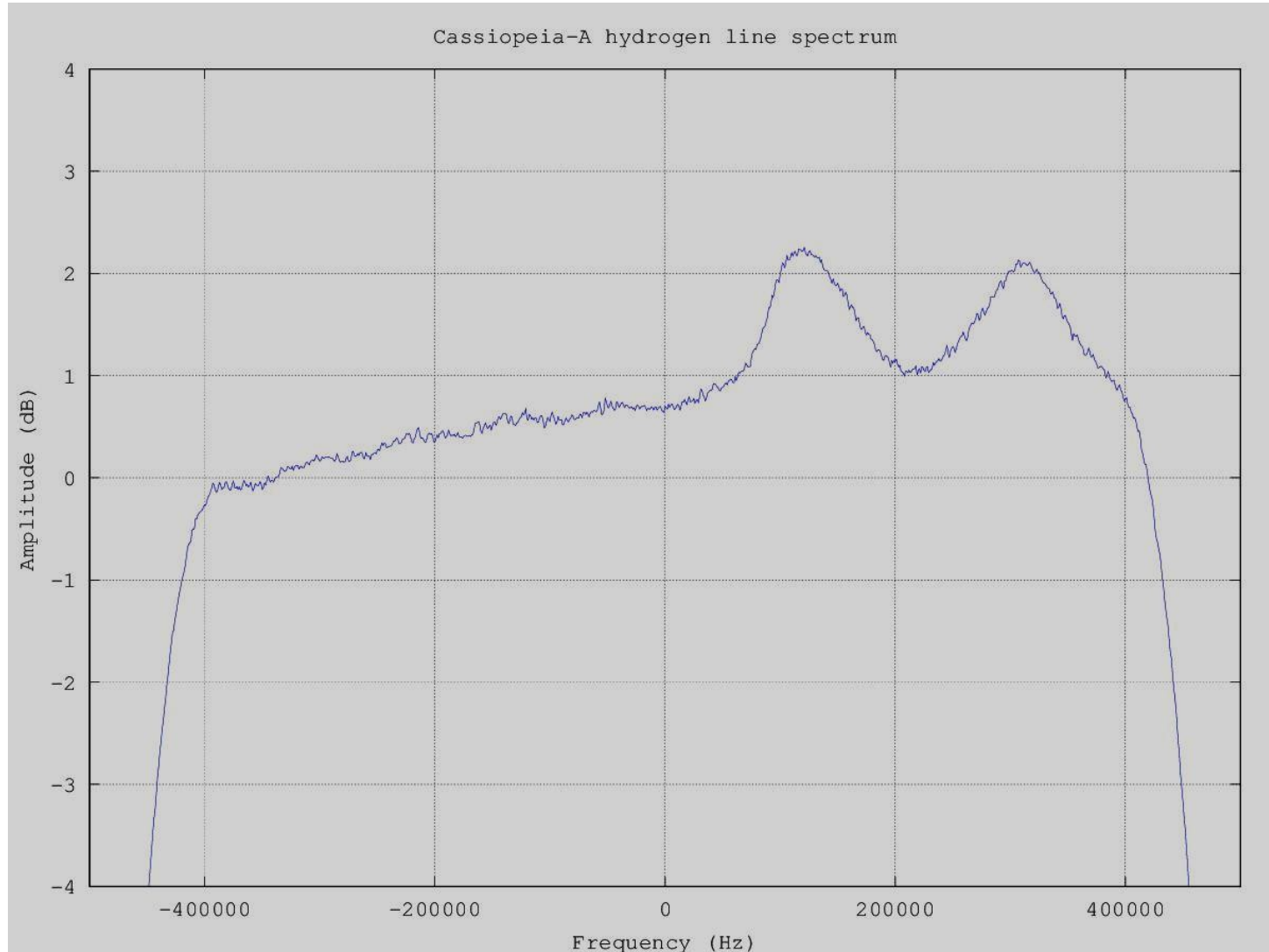
# H1 SPEKTRIMITTAUKSIA

Aurinko



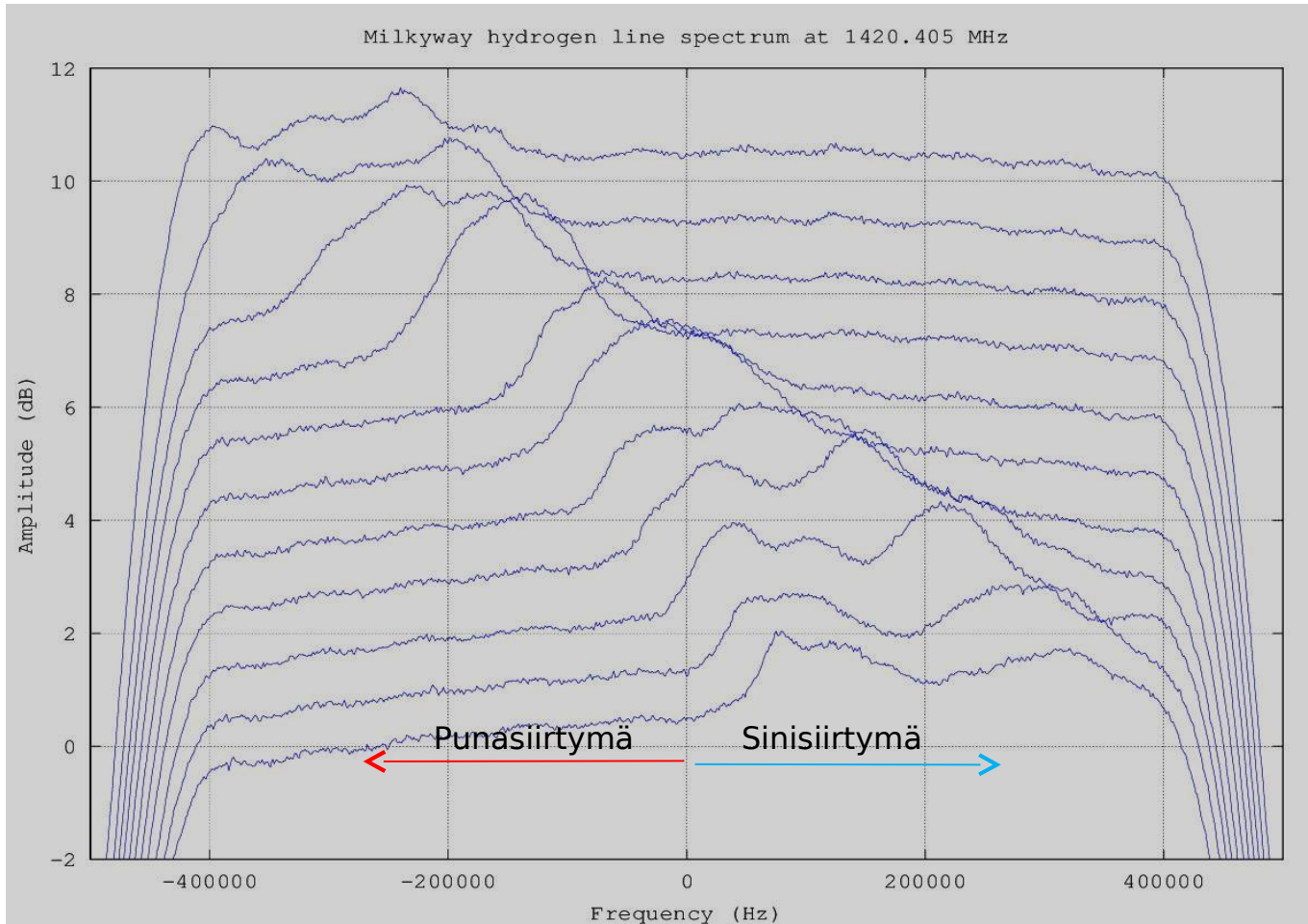
Auringon kohina noin +13.5dB:tä

# H1 SPEKTRIMITTAUKSIA



# H1 SPEKTRIMITTAUKSIA

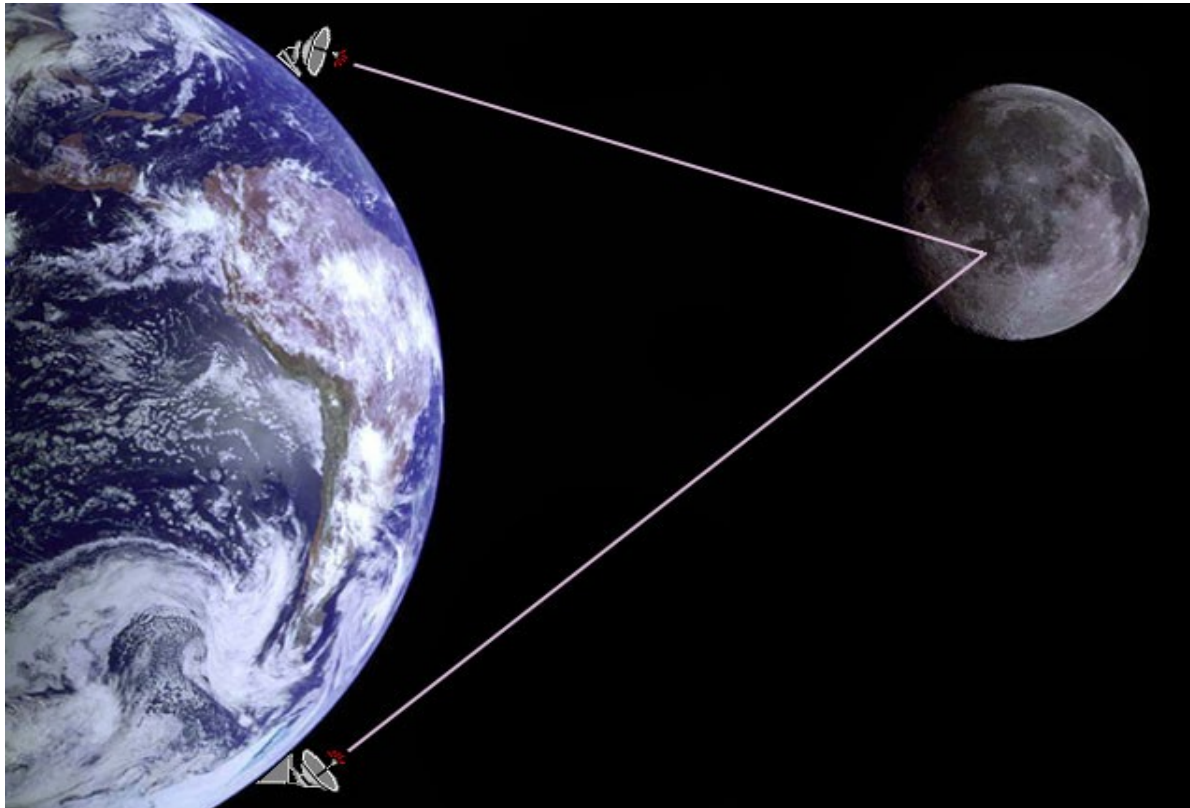
Useita mittauksia pitkin Linnunrataa 10 asteen välein  
+1dB offset/mittaus, jotta erottuvat toisistaan



Dopplersiirtymä noin 300kHz → noin 63km/s  
**Eli Maa liikkuu galaksiin nähden!!**

# KUUHEIJASTUSYHTEYDET (EME)

- Peilikärryn varsinainen käyttötarkoitus on kuuheijastusyhteyksien pitäminen radioamatööritaajuuksilla
- Signaalin kaiku Kuusta on itse kuultavissa
- Yhteyden pito Kuun kautta mahdollista alueelle, jossa Kuu näkyy samaan aikaan (=noin puolet Maasta kerrallaan)

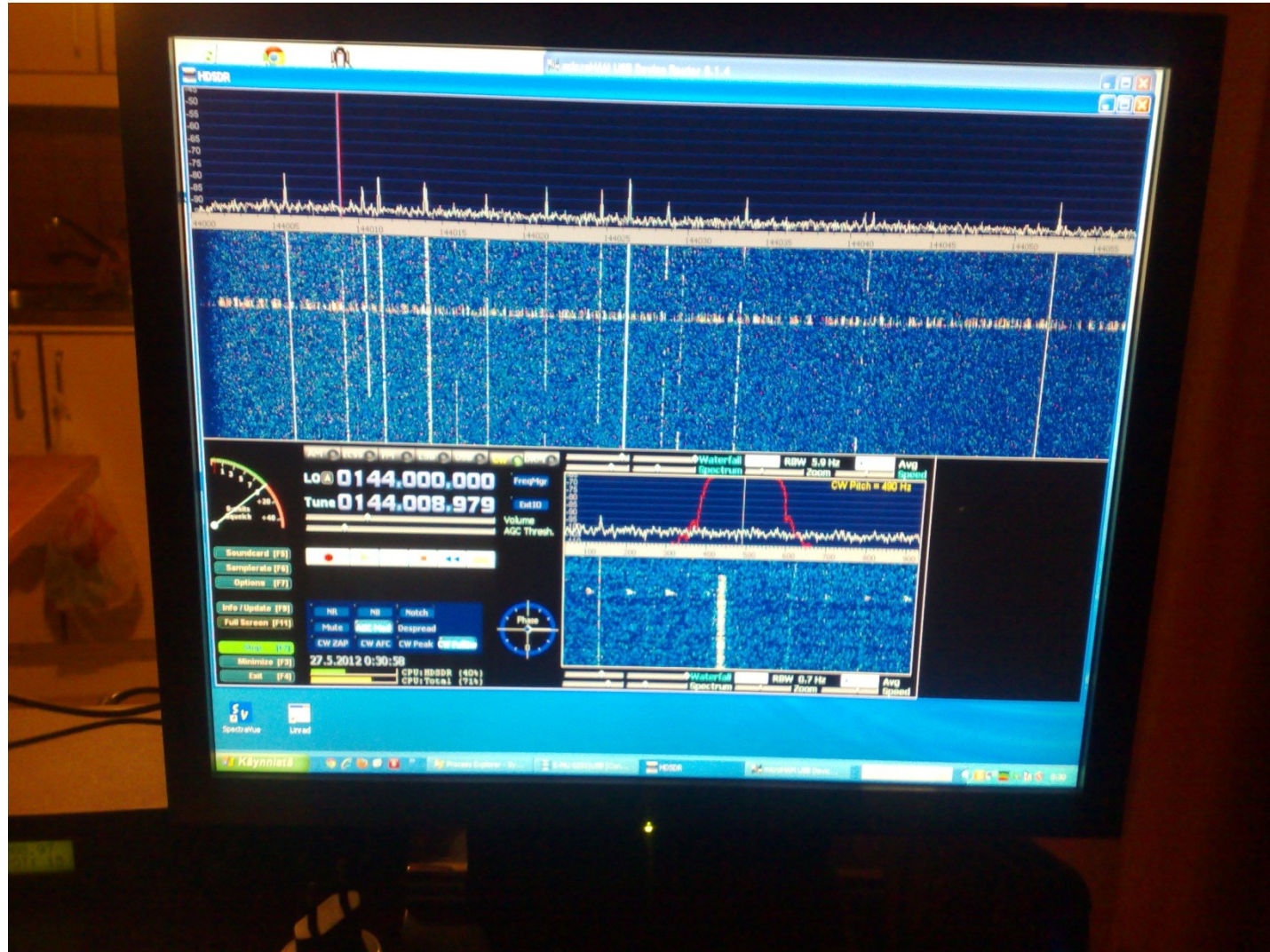


# KUUHEIJASTUSYHTEYDET (EME)

- Taajuudet (Peilikärryssä käytetyt)
  - 1296 MHz (23cm)
  - 2304 MHz, 2320MHz (13cm)
  - 3400 MHz (9cm)
  - 5670 MHz
- Lähetytshot noin 150W → Säteilystehoa yli 1MW (3.4GHz)
- Signaalin viive noin 2.8 sekuntia → oman kaiun ehtii hyvin kuulla (TX-RX -vaihto aika)
- Suuntauksen on oltava tarkka
  - 23cm keilan leveys +/- 2 astetta (-3dB)
  - 13 cm keilan leveys +/- 1.1 astetta (-3dB)
  - 9cm keilan leveys +/-0.75 astetta (-3dB)
- Dopplerkorjaus on tarpeellinen
  - Kuusta heijastunut signaali on eri taajuudella kuin Maasta lähetetty
  - Tietokone laskee dopplerin
  - Dopplerin määrä voi olla luokkaa 10kHz

# KUUHEIJASTUS YHTEYDET (EME)

- EME -signaaleja ruudulla (1.3GHz/23cm)



# KUUHEIJASTUSYHTEYDET (EME)

- Logi EME -yhteyksistä

26.5.2012  
OHØ/OH3TR

KÄRINGSUND  
RESORT & CONFERENCE

OK1DFC	U2 ES	OK2DL	
	37B	VJ SV1BTR	
1107	SV1BTR	559	549
22	OK2DL	R559	559
10/40	LZLus	R559	559R
1214	PA3CS9	559	559
1210	OK1DFC	559	559 <sup>1</sup>
1225	SP7dca	559	569
1240	DL3EBJ	539	559
1257	UA3PTW	559	569
1259	JAGAHB	559	569
1304	RA3YF	559	559
1312	PA3DZL	539	0/559
1321	PA3FXD M	559	
1335	RA3AUB	569	579
1404	I1NDP	579	579
1424	F5SE/P	559	569
1432	SM7FWZ	559	559
1437	G4CEH	579	569
1442	OK1KIR	559	559
1448	SP6JLW	579	569

Käringsundsv. 194  
FIN 22270 ECKERÖ  
ÅLAND

+ 358 18 38 000  
info@karingsund.ax  
www.karingsund.ax

ÅAB: 660100-1032564  
PG: 2 3902-0  
FO-nummer: 2017542-2

OHØ/OH3TR  
26.5.2012

KÄRINGSUND  
RESORT & CONFERENCE

1453	HB9SV	579	579
1500	SM6FHZ	539	559
1517	SD3F	559	569
1523	OK1CS	539	559
	HB9S		
1548	UA3PTW	569	559
2028	K2UYH	559	559
2044	N2UO	559	559
2105	N4PZ	559	569
2126	G3LTF	559	559
2140	ES5PK	539	559

Käringsundsv. 194  
FIN 22270 ECKERÖ  
ÅLAND

+ 358 18 38 000  
info@karingsund.ax  
www.karingsund.ax

ÅAB: 660100-1032564  
PG: 2 3902-0  
FO-nummer: 2017542-2

# KUUHEIJASTUSYHTEYDET (EME)

- 3.4GHz/9cm syöttötorvi ja pääteaste





# KUUHEIJASTUSYHTEYDET (EME)

- 5.6GHz/6cm syöttötorvi ja TX/RX-konverttteri



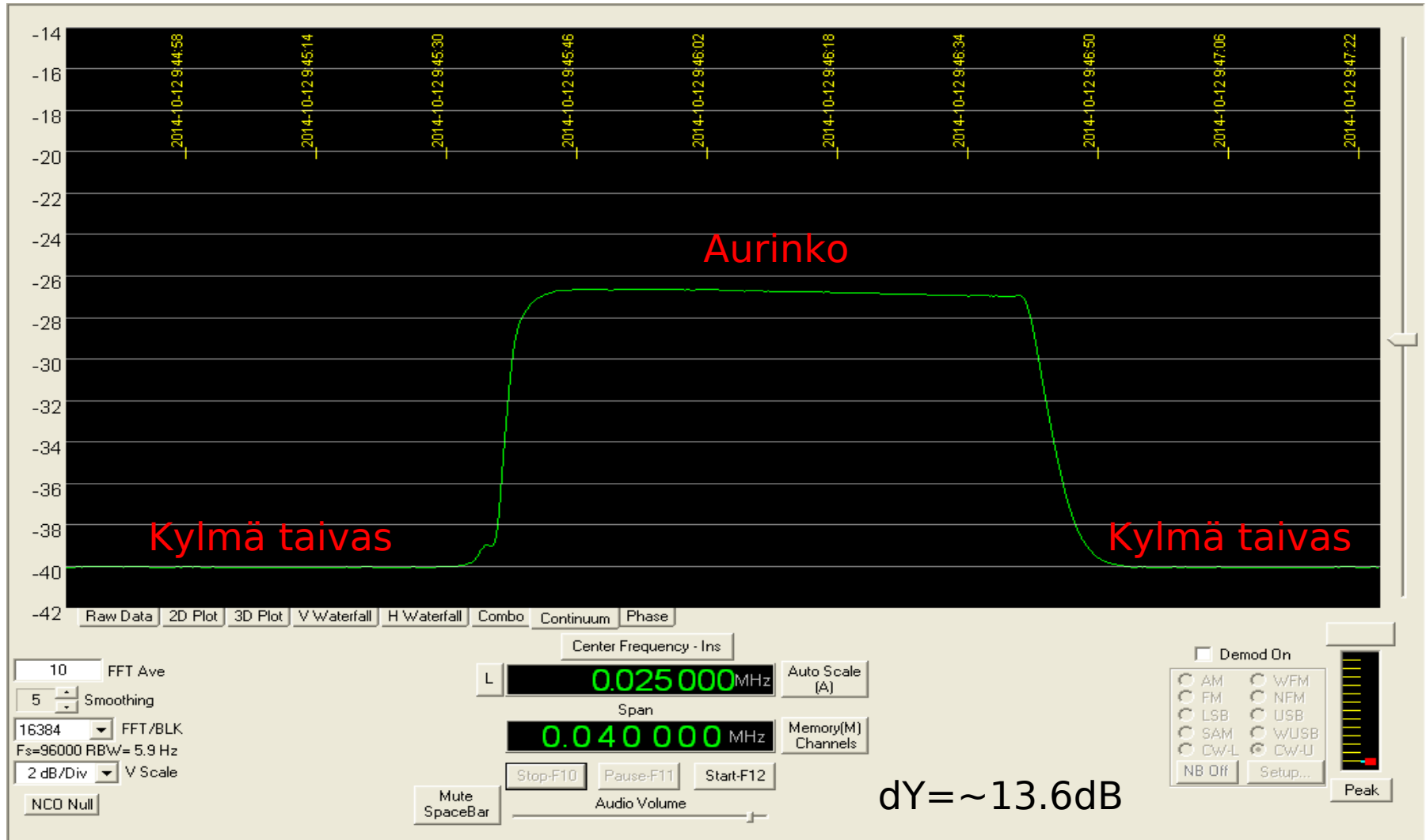
# KUUHEIJASTUSYHTEYDET (EME)

- EME-asema



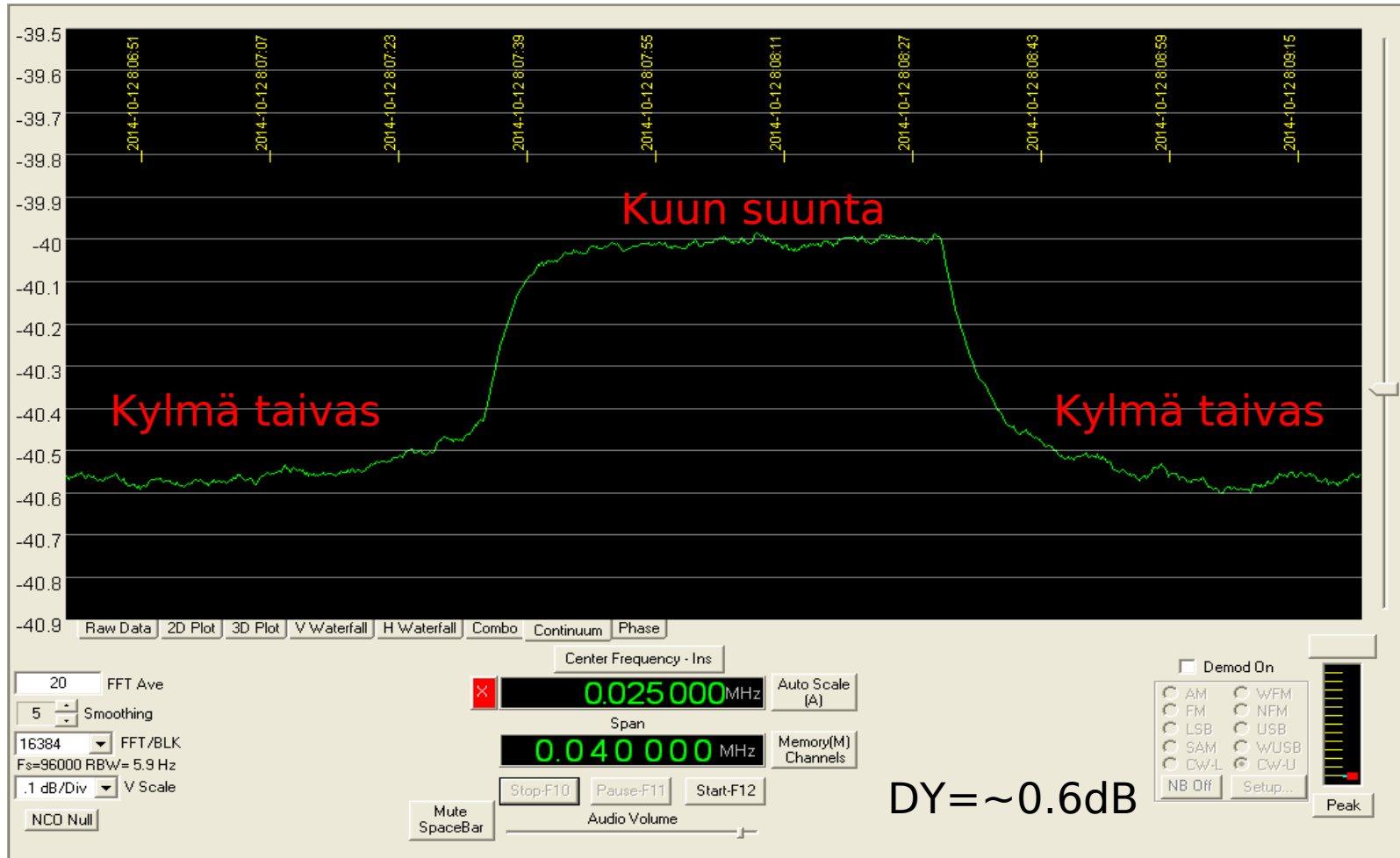
# KUUHEIJASTUSYHTEYDET (EME)

- 3.4GHz Auringon kohina (laitteiden ja suunnan tarkistus)



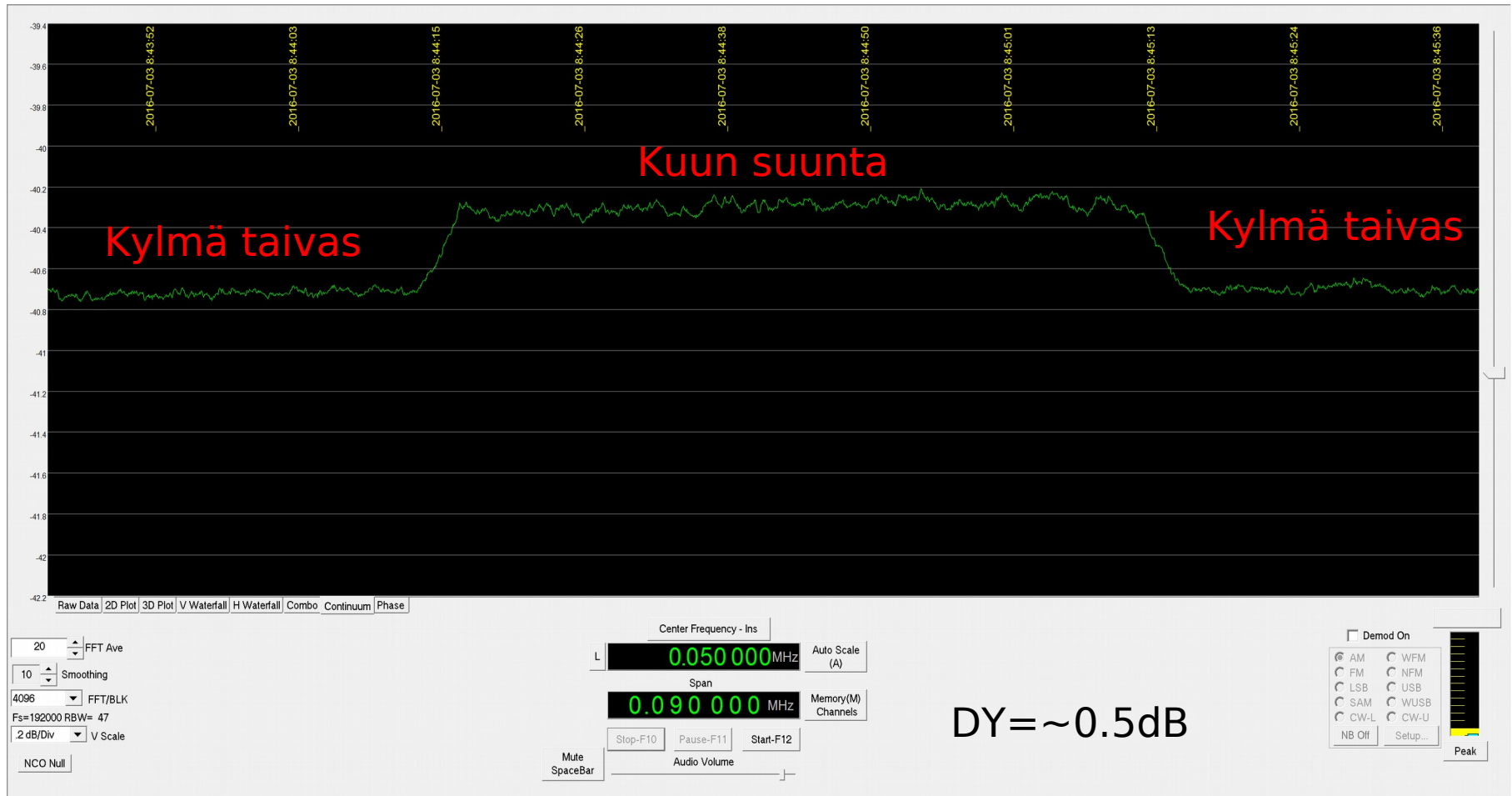
# KUUHEIJASTUSYHTEYDET (EME)

- 3.4GHz Kuunkohina



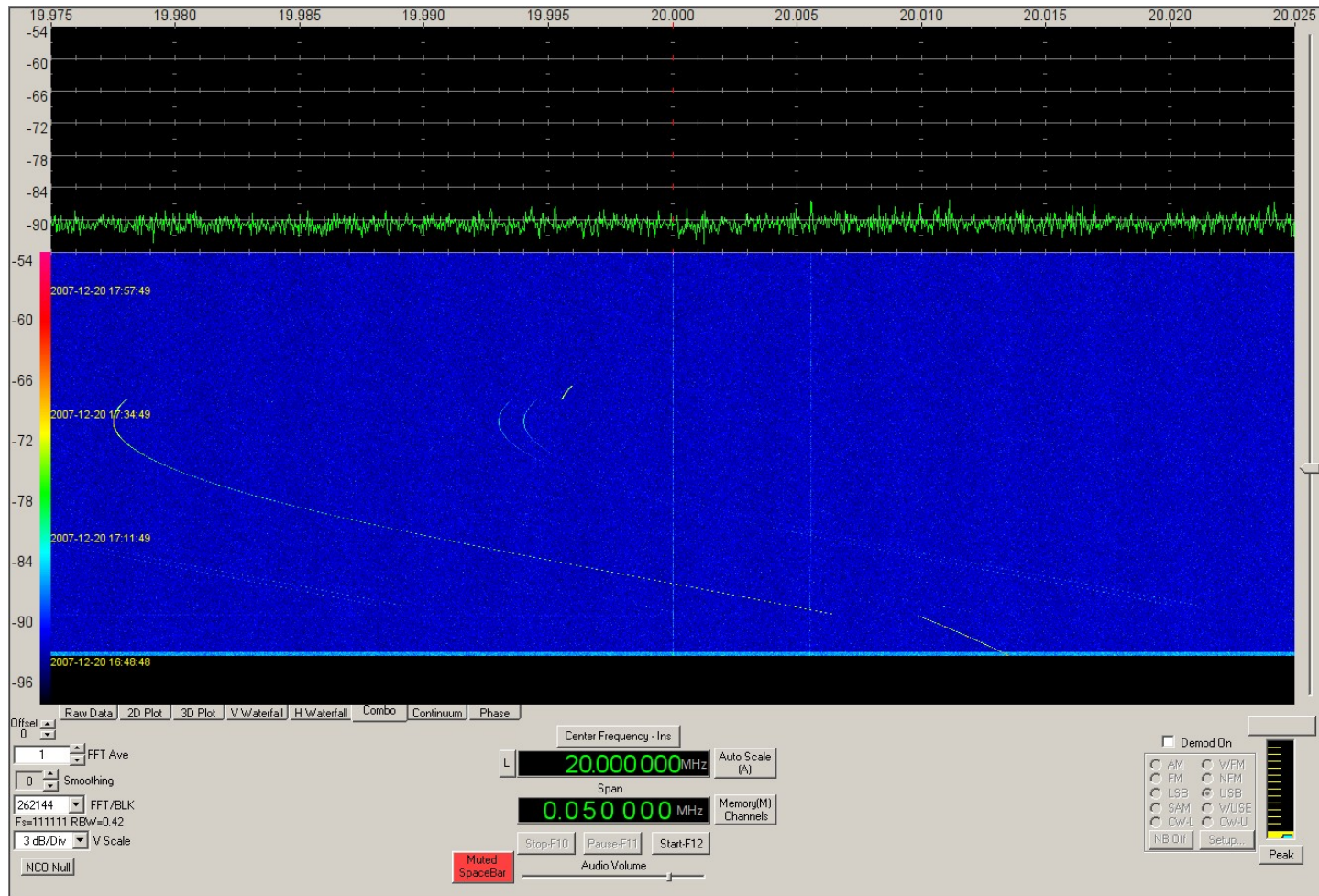
# KUUHEIJASTUSYHTEYDET (EME)

- 5.6GHz Kuun kohina



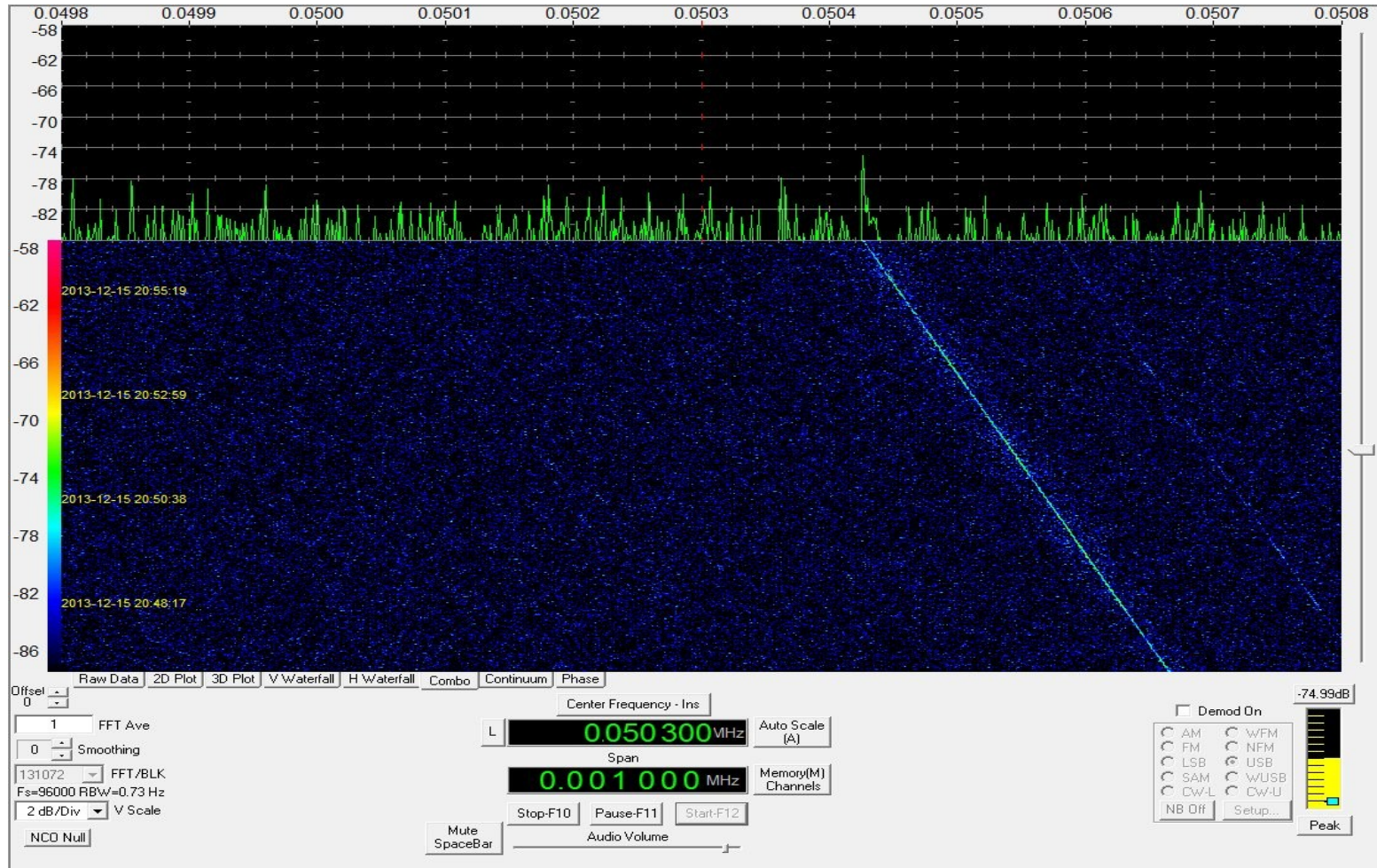
# AVARUUSLUOTAINTEN KUUNTELU

- Kaguya 2363.6 MHz Kuun kiertoradalta (20.12.2007)
- 120cm peilillä



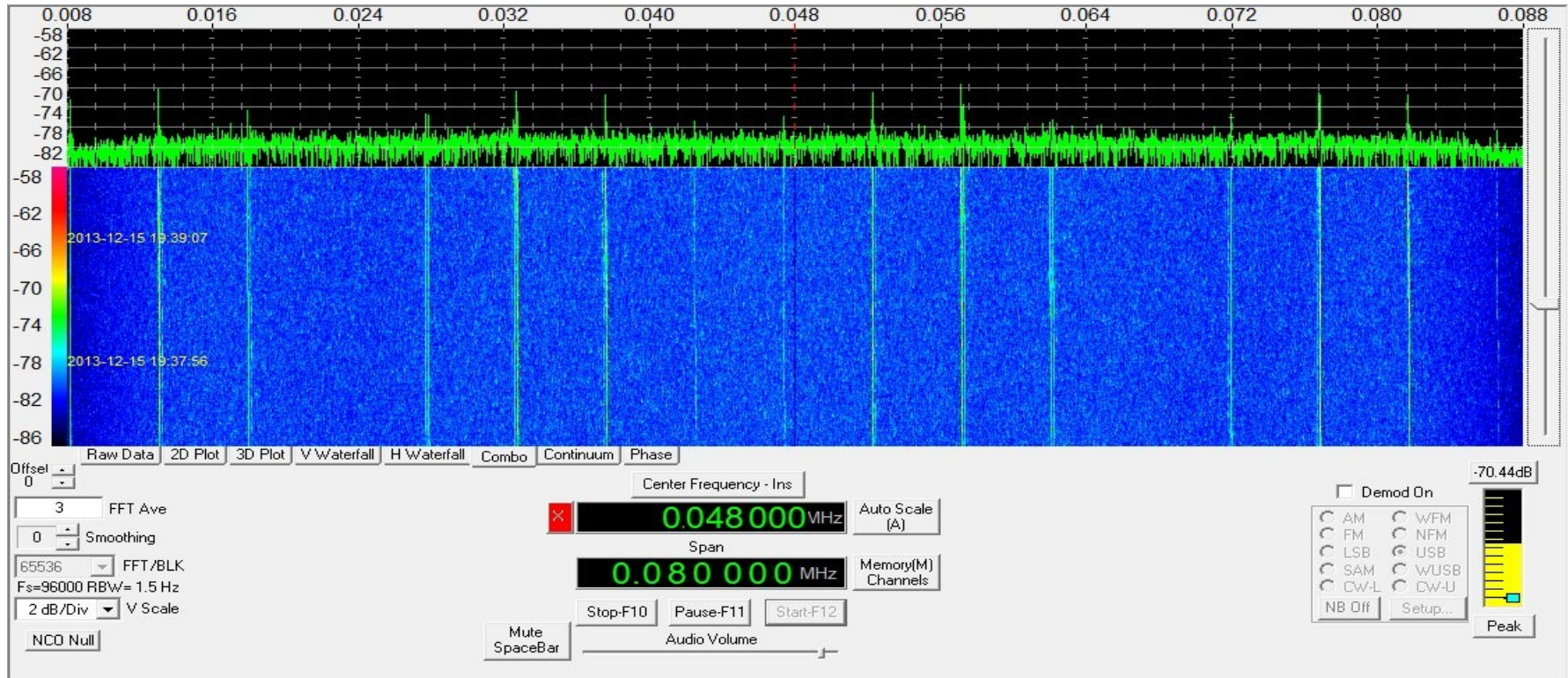
# AVARUUSLUOTAINTEN KUUNTELU

- Yotu/Jade Rabbit 8496MHz Kuun pinnalta (15.12.2013)
- 180cm peilillä



# AVARUUSLUOTAINTEN KUUNTELU

- Yotu/Jade Rabbit 8496 MHz (15.12.2013)
- Laajempi spektri





**THE END**

**Kiitos!!!**