

# Avaruusromu - avaruussympäristöongelma

Jussi Markkanen  
EISCAT

SGO 9. 11. 2007

# Avaruusaika oli 4.10. 2007 kestänyt 50 v.

## Ongelma

Mikä menee ylös, ei tule takaisin alas  
(ainakaan riittävän pian)

1

Tähän mennessä n. 4600  
laukaisua kiertoradalle  
(viime vuosina n. 60/vuosi),



Baikonur, 4.10.1957

2

joiden seurauksena kiertoradalle n. 30 000  
"luettelokokoista" (>10 cm) kappaletta,



Sputnik 1  
4.10.57- 4.1.58

3

joista n. 2/3 on tähän mennessä  
pala(n)nut ilmakehään.

# Avaruusromu eli (kierto-)rataromu

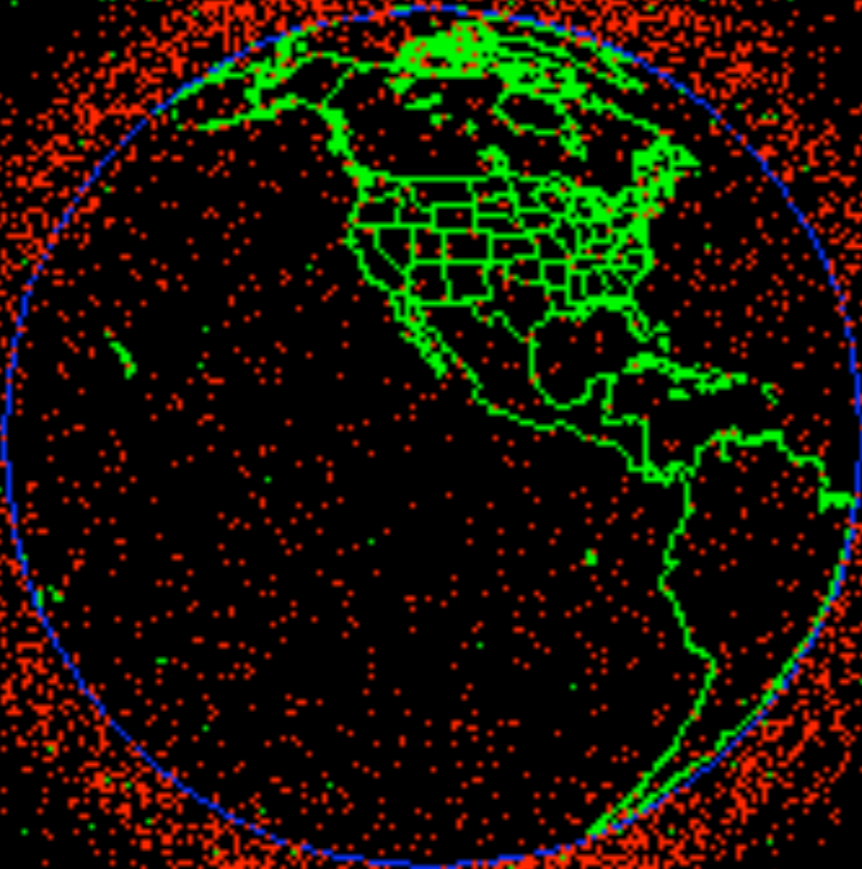
## Avaruusromu

Kiertoradalla oleva aines, joka ei enää ole hyötykäytössä.

n. 12 000 luetto-  
kokoista kappaletta,  
joista n. 600  
hyötykäytössä.

Dec-1997

# Maailmanlaajuinen ympäristöongelma



GOOGLE, englannin-  
kielinen haku:

Ydinjäte

$25 \times 10^6$

Avaruusromu

$2 \times 10^6$

Otsoniaukko

$1.7 \times 10^6$

***“Vaivaiset 50 vuotta sitten [ylhäällä] oli vain koskematon, pikimusta avaruus,***

***mutta nyt siellä on sotkuisempaa kuin opiskelijäkämpässä.”***

*Chris Kemp, CityBeat, Jun 2001*

# Romu sapettaa monia :-)

Pakoon päästettiin kolme astronauttia, vetävät avaruusasut päälleen ja säntäävät suin päin lähdössä olevaan avaruuskapseliin...

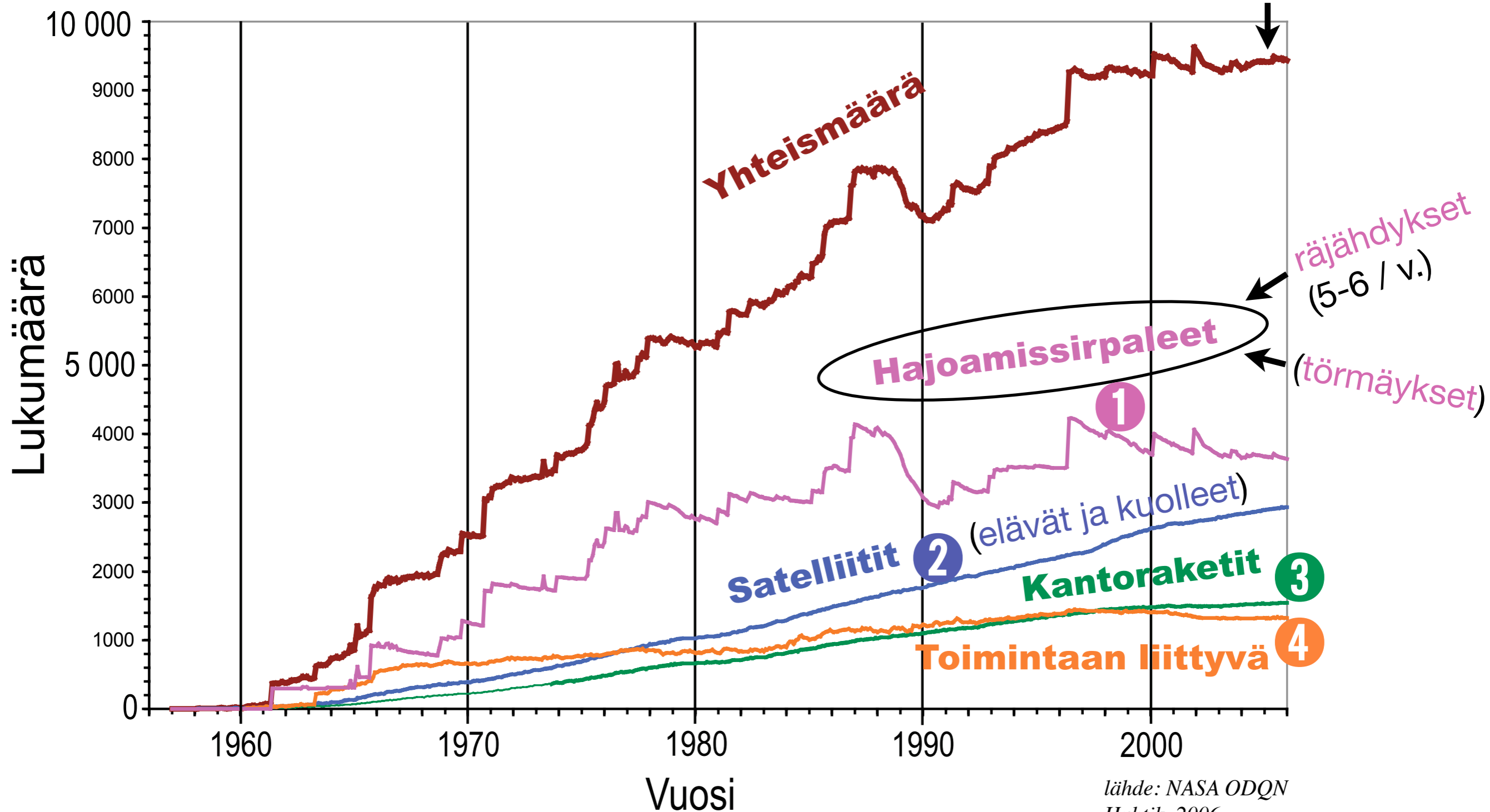
Mikä määrä avaruusromua! Maisema on pilalla!

Minua kiinnostaa enemmän, mikä tuo edessä oleva möhkäle on.

Hmm! Se näyttää aivan tahkojuustolta.

# Luettelokaman tyypit ja määrän kasvu

Kokonaismassa n. 5 000 tonnia.



# 50-vuotispäivänä kisaa johtaa ...

Ylös mennyttä, vaan ei alas tullutta

## ORBITAL BOX SCORE

(as of 03 October 2007 as cataloged by  
US SPACE SURVEILLANCE NETWORK)

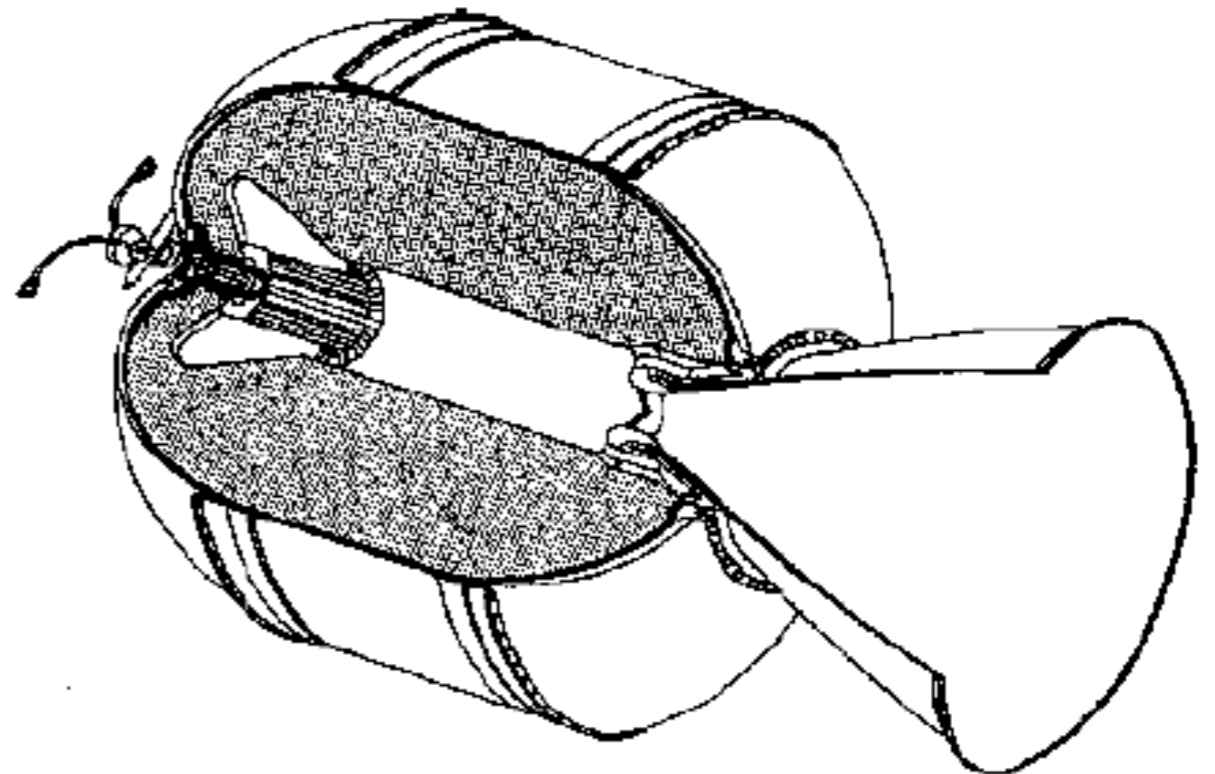
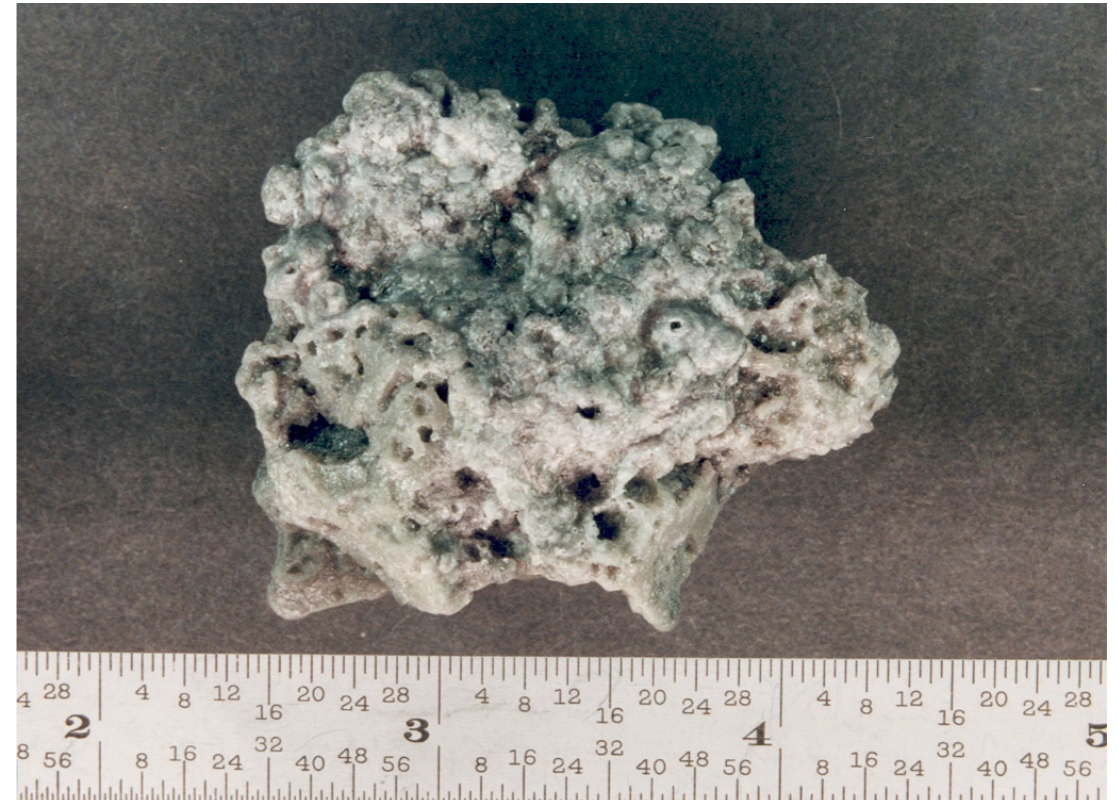
Country	Payloads	Rocket Bodies & Debris	Total
<b>CHINA</b>	63	2568	2631
<b>CIS</b>	1361	2949	4310
<b>ESA</b>	37	36	73
<b>FRANCE</b>	45	317	362
<b>INDIA</b>	34	107	141
<b>JAPAN</b>	102	70	172
<b>US</b>	1073	3115	4188
<b>OTHER</b>	386	88	474
<b>TOTAL</b>	3101	9250	12351

Lähde: NASA:n ODQN,  
Lokakuu 2007

<http://www.orbitaldebris.jsc.nasa.gov/newsletter/pdfs/ODQNv11i4.pdf>

# Pikkuruomu: alumiinipöly ja -kuona

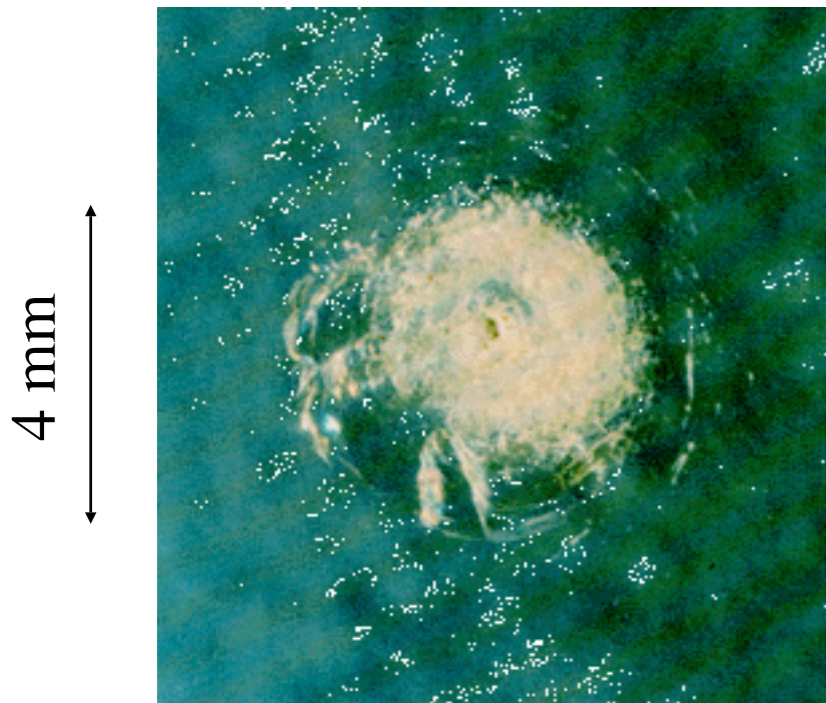
(kiinteää polttoainetta käyttävistä rakettimootoreista)





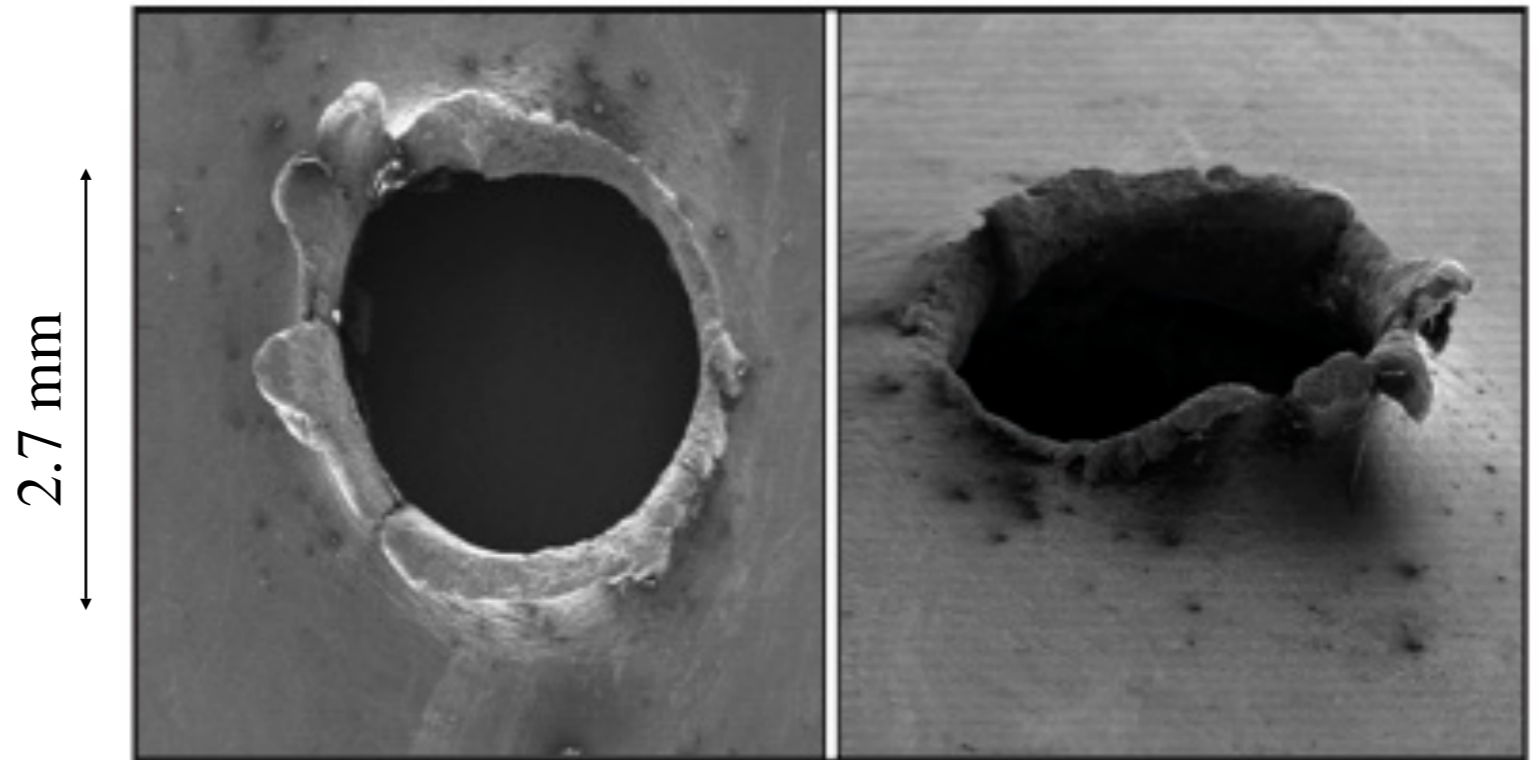
# Pikkuromu: maalihitukset, piirilevyjen palaset, ...

Avaruussukkulan ikkuna



Syylinen:  
maalihitunen (< 2 mm)

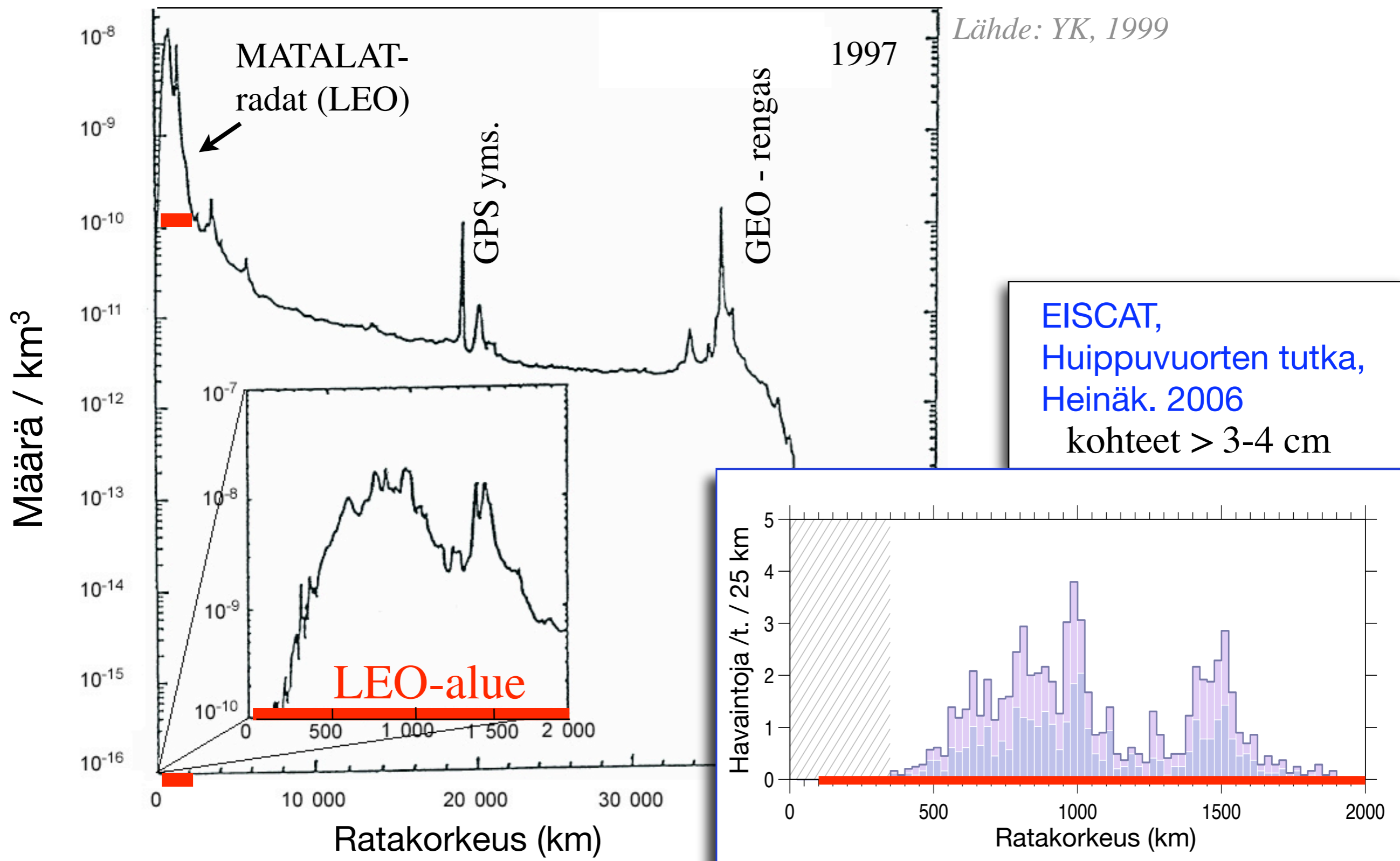
Avaruussukkulan rahtitilan luukku



Syylinen: Lasikuitujyvänen, 1.2 mm, 2 mg, nopeus 4 km/s.

*Lähde: NASA  
ODQN,  
Heinäk. 2007*

# Luettelokohteiden (>10 cm) määrä eri korkeuksilla



# Romuhitusia on aika harvassa ...

ESA:n avaruusromumallin ”MASTER 2001” mukaan yli 1 cm:n kokoisia romukappaleita, joita mallissa on kaikkiaan on n. 340 000 kpl, on eniten 800 km:n korkeudessa, mutta sielläkin vähemmän kuin yksi miljoonaa kuutiokilometriä kohti.

Millimetriluokan hiukkasia on n. 1000 kertaa tiheämmässä.

**Ennustettu romuosumien välinen aika** pallolle, jonka halkaisija on 3.5 m



Vaarallisin kokoluokka

Ratakorkeus	1 mm - 1 cm	1 cm - 10 cm	> 10 cm
500 km	10 - 100 v.	3 500 - 7 000 v.	150 000 v.
1,000 km	3 - 30 v.	700 - 1 400 v.	20 000 v.
1,500 km	7 - 70 v.	1 000 - 2 000 v.	30 000 v.

Lähde:  
YK, 1999

# mutta: romuhitu ↔ liike-energia-ase



7 km/s



70 km/h



Isolla hitusella  
(vrt. LOSAT)  
on hyvin paljon  
energiaa

$$4g + 10 \text{ km/s} = 50 \text{ kcal}$$

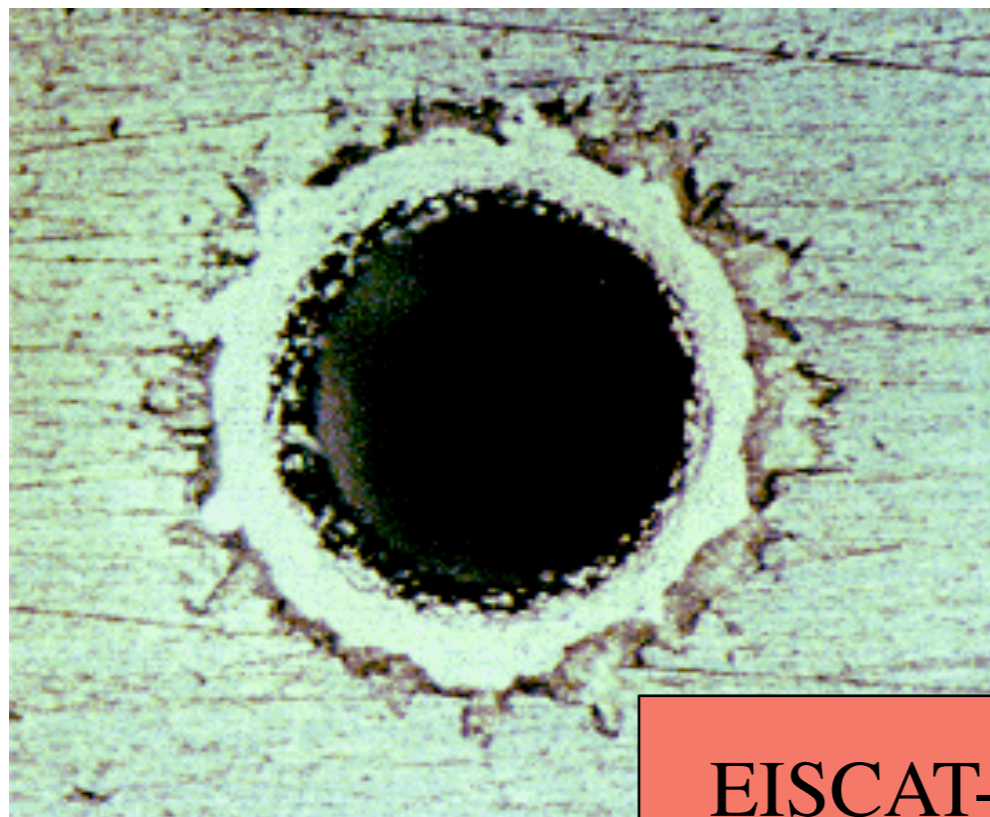
Tuhoamiskyky: iskuaalto räjäyttää tuusannuusaksi 5 kg:n kohteen.

# Kriittinen mittausongelma



## ❖ Pienet (< 1 cm)

hituset voidaan mitata  
“paikan päällä” tilastollisesti  
törmäysjälkien perusteella



## ❖ Keskisuuri romu

vaarallista satelliiteille,  
mutta vaikea mitata



## ❖ Suuret (> 10 cm)

kappaleet voidaan mitata  
ohjusvalvontatutkilla



EISCAT-tutkat ovat **ainoat**  
tutkat Euroopassa, jotka voivat mitata  
keskisuurta romua rutiininomaisesti.

# Polaarivuoden avaruusromumittausta EISCAT:in Huippuvuorten tutkalla (ESR) voi seurata internetissä

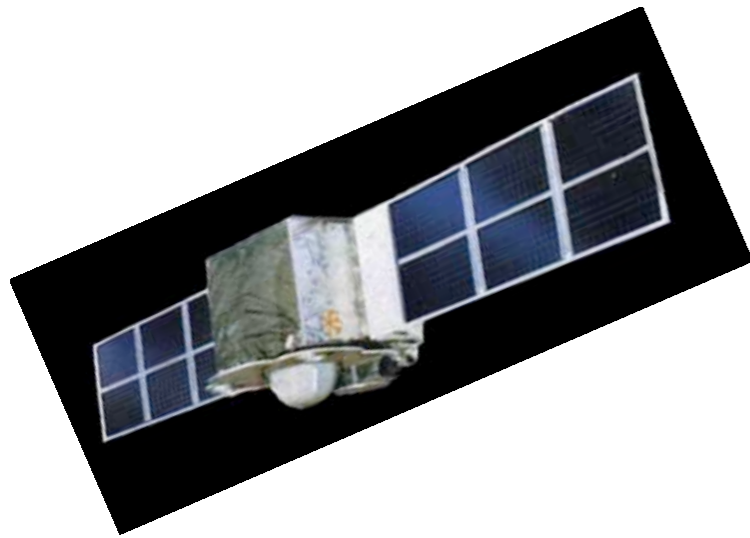
❖ <http://www.sgo.fi/~jussi/spade/ipy/>



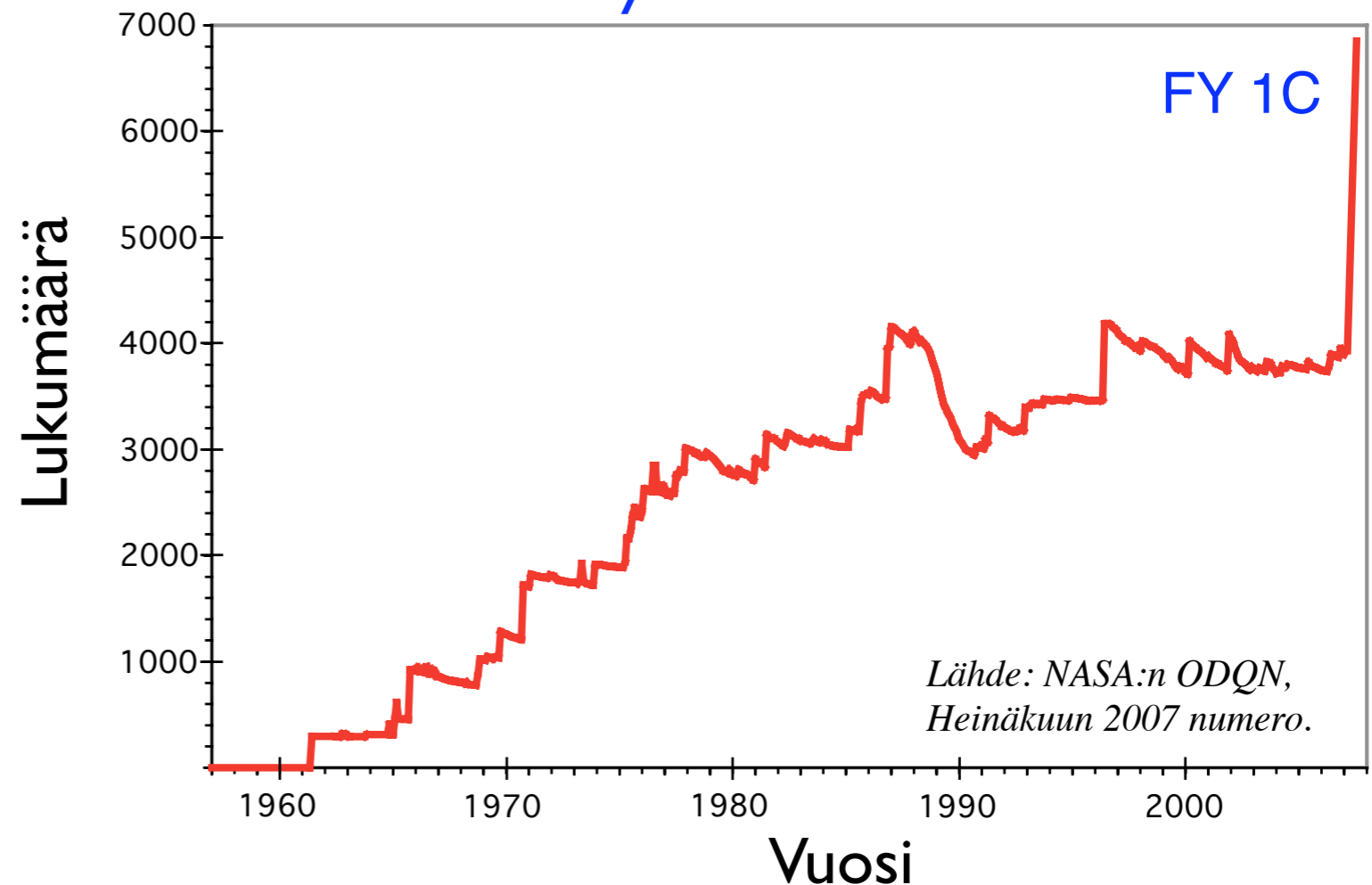
- ❖ Mittauskampanja alkoi 11. 3. 2007 ja jatkunee maaliskuulle 2008.
- ❖ Tutkimusaiheena mm. **FY1C-romurenkaan** hajaantuminen.

# Kiinan satelliitintorjuntakoe (ASAT) tammik. 2007

11.1. 2007 22:26 UT Kiina tuhosi maasta laukaistulla Dong Feng ohjuksella vanhan, n. tonnin painaneen Feng Yun 1C- sääsatelliittinsa 863 km:n korkeudessa. Seurauksena oli avaruusajan toistaiseksi vakavin avaruussympäristökatastrofi, n. 2300 uutta luettelosirpaletta (ja ehkä 40 000 - 50 000 cm-luokan sirua) vilkasliikenteiselle kiertorata-alueelle.

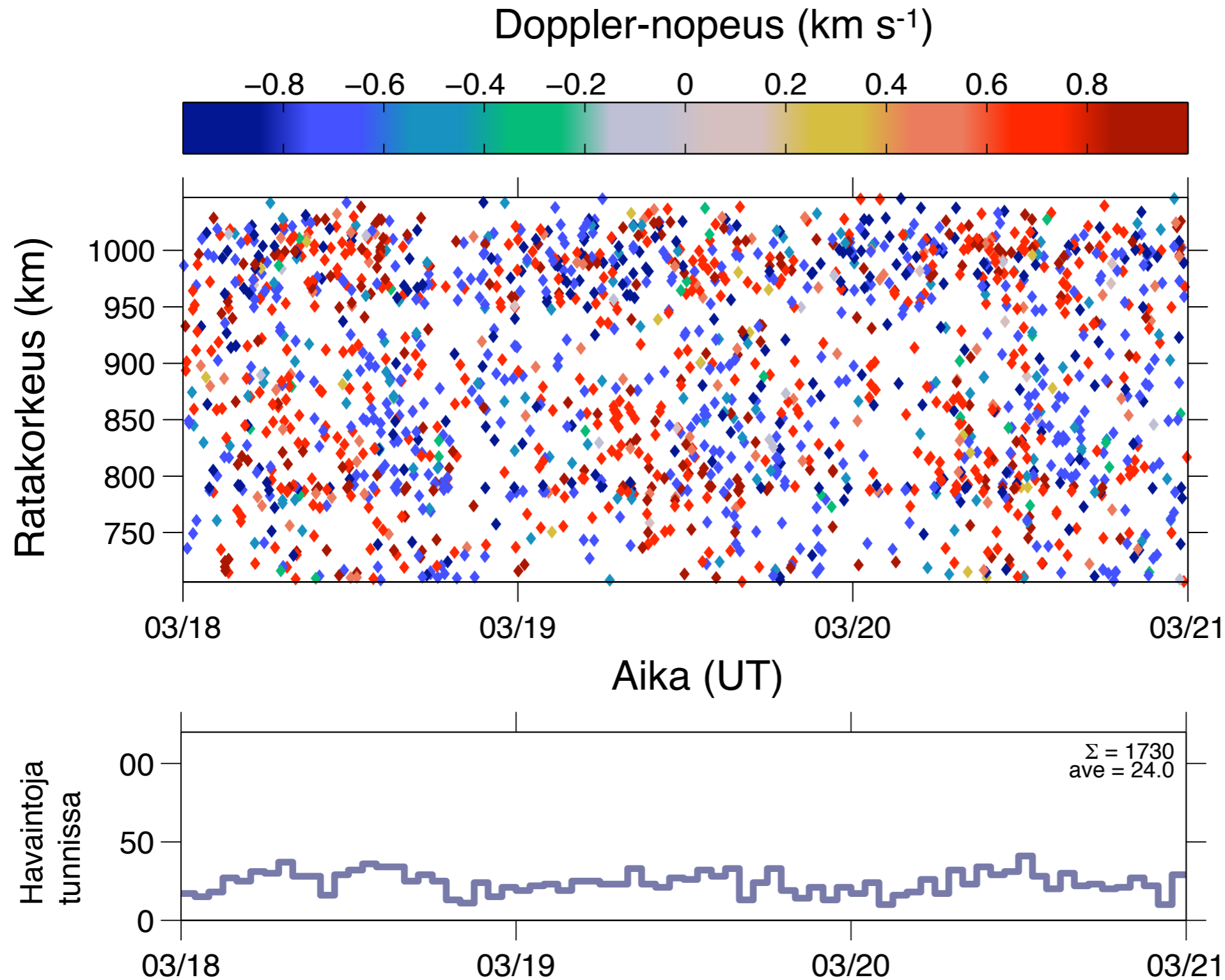


Luettelokokoisten hajoamissirpaleiden lukumäärän kehitys.



# Avaruusromunäkymä Huippuvuorilla maalisk. 2006.

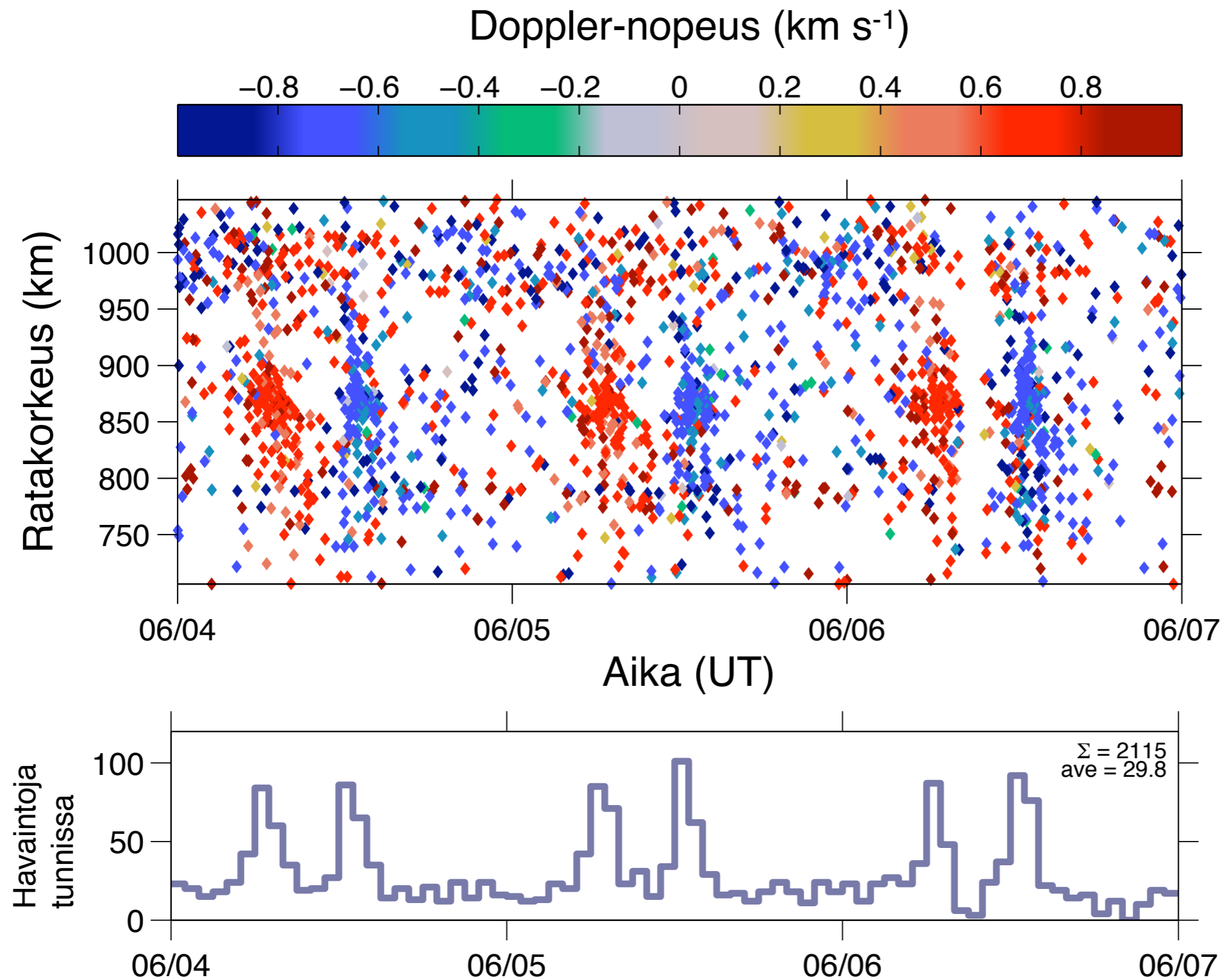
(Kohteiden ratakorkeus ja Doppler-nopeus kolmen vuorokauden aikana)



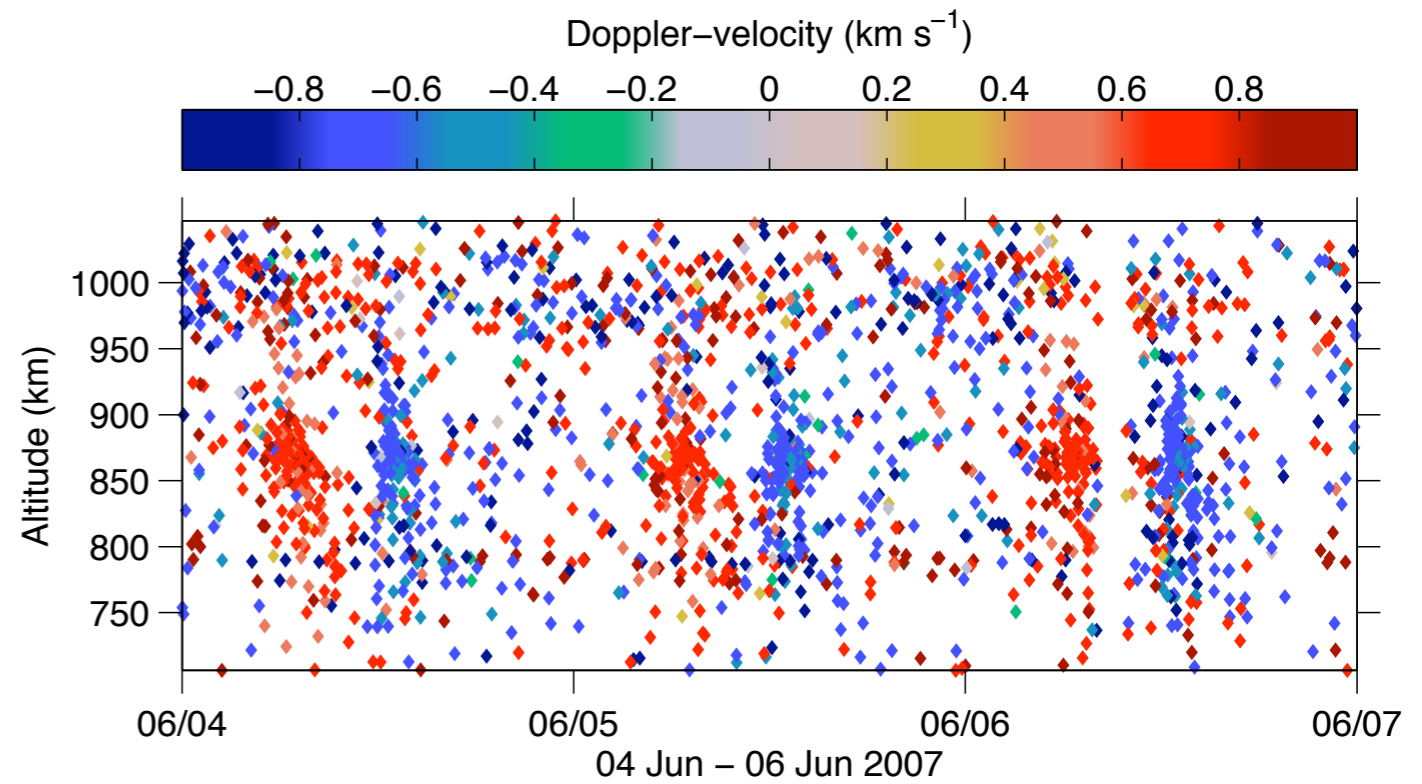
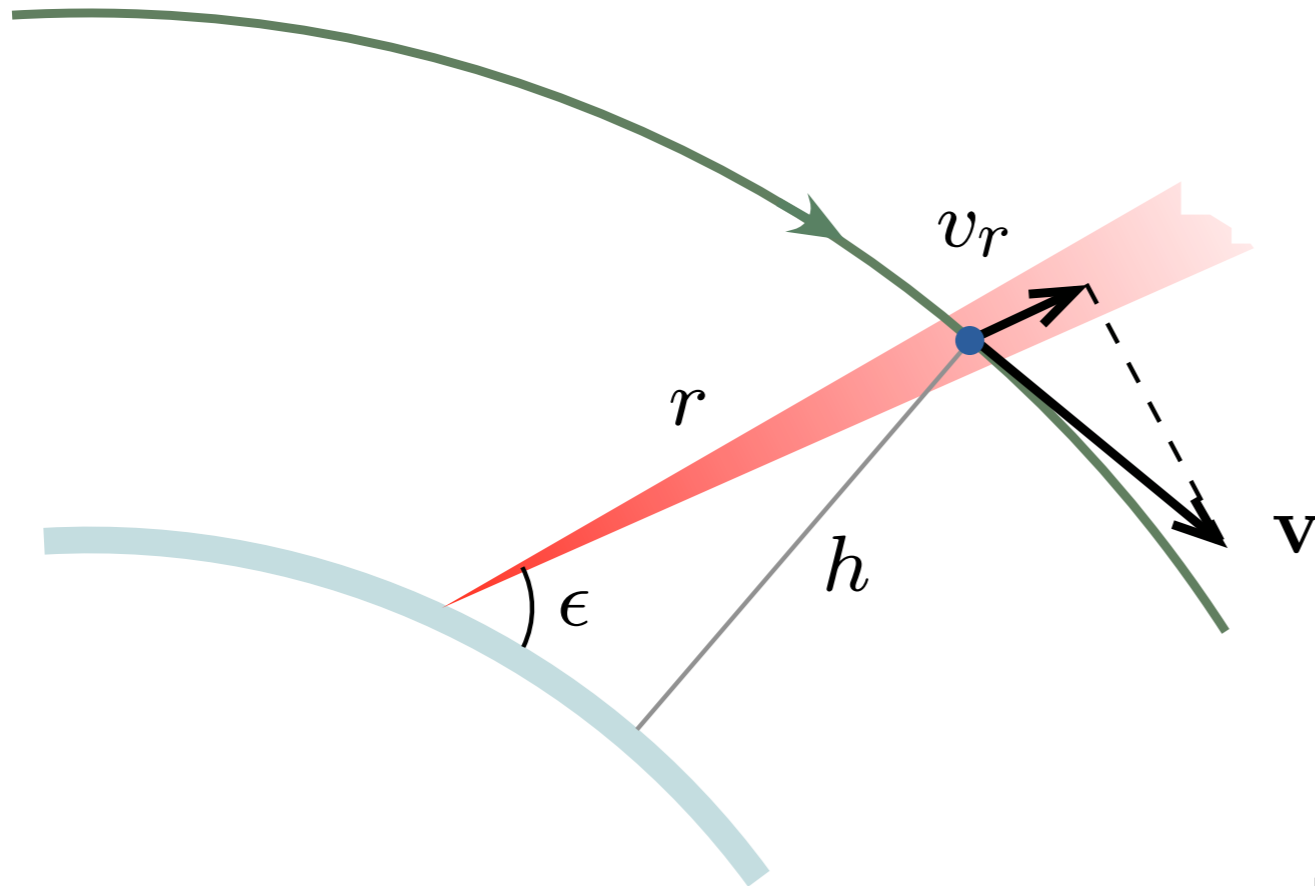


# Avaruusromunäkymä Huippuvuorilla kesäk. 2007.

(Kohteiden ratakorkeus ja Doppler-nopeus kolmen vuorokauden aikana)



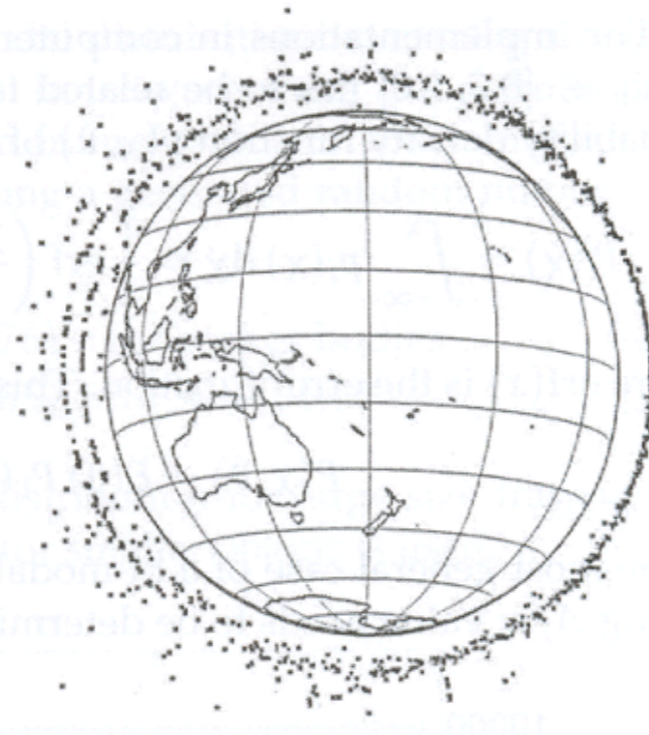
# EISCAT-mittausgeometria Huippuvuorilla



# Romupilven leviäminen (mallilasku)



1:n ratakierron jälkeen

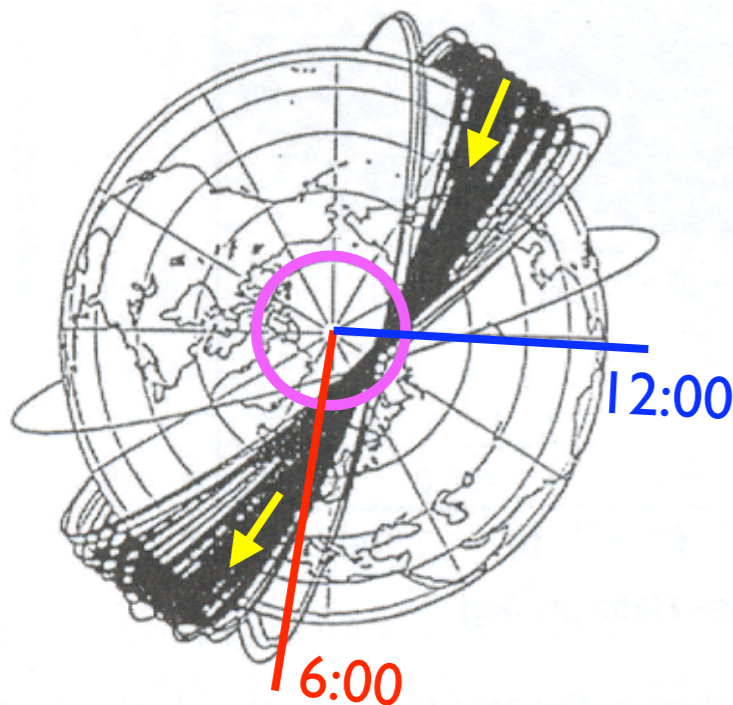


20:n kierroksen jälkeen

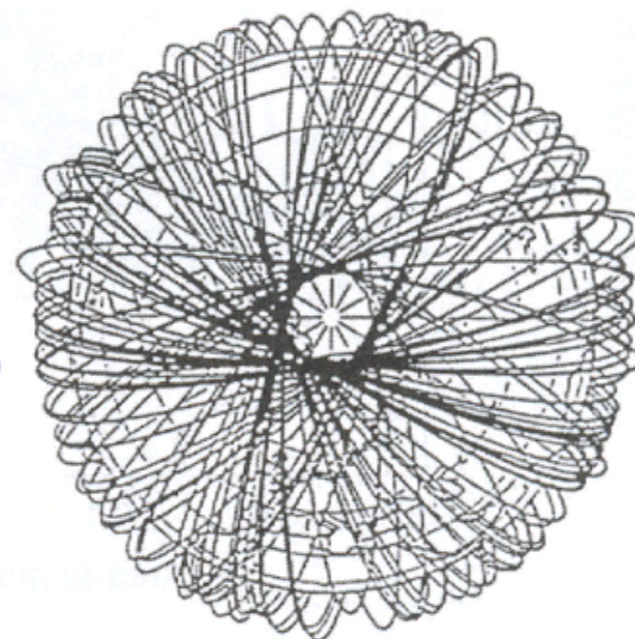
Pallosymmetrinen hajoaminen 800 km:n korkeudessa radalla, jonka kaltevuus on  $98.7^\circ$ .

Kirjasta H.Klinkrad,  
Space debris, Models and Risk Analysis, s. 72,  
Springer, 2006.

(Vrt. FY 860 km,  $98.65^\circ$ )



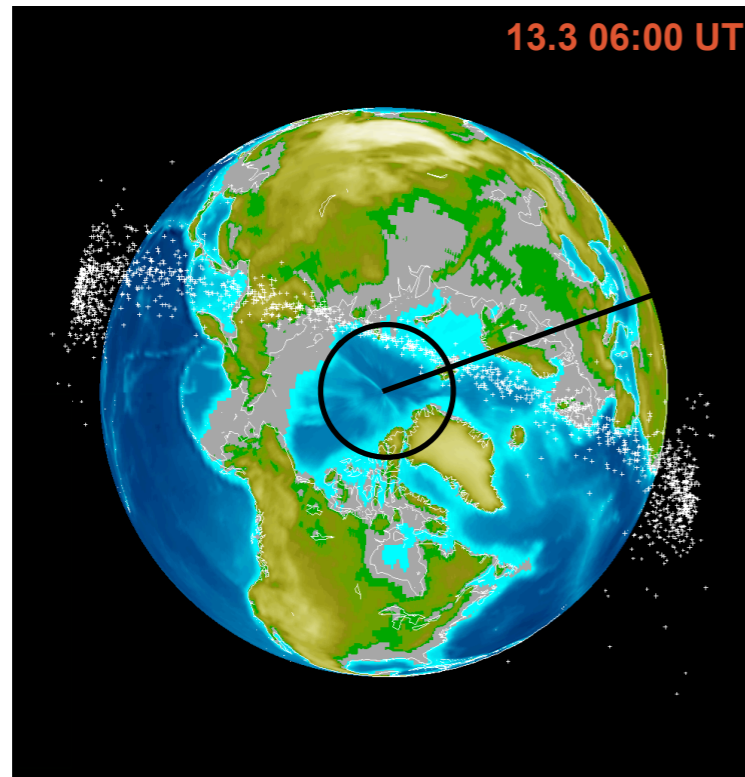
3 kk:n jälkeen



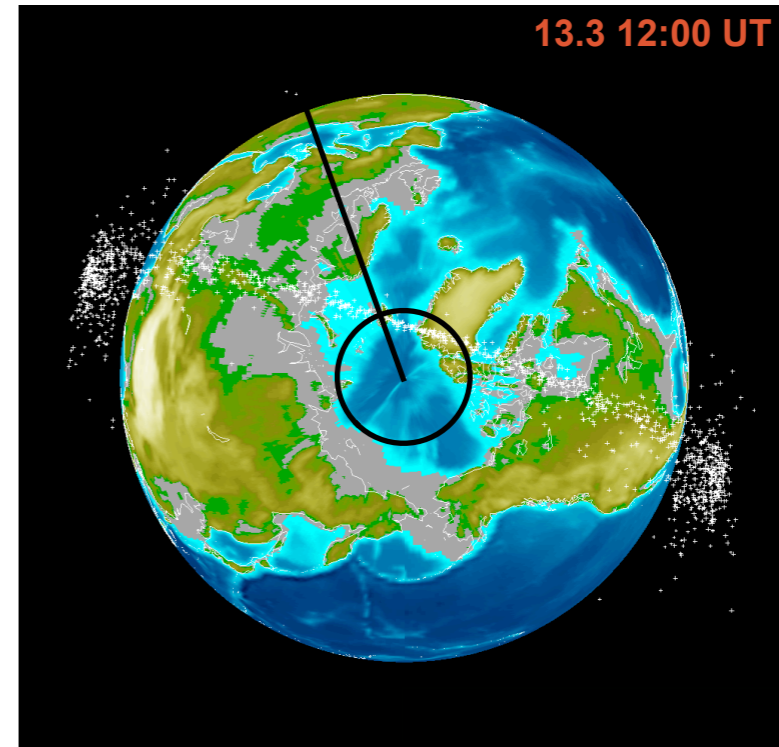
4:n vuoden jälkeen

# FY 1C romurengas 13.3. 2007

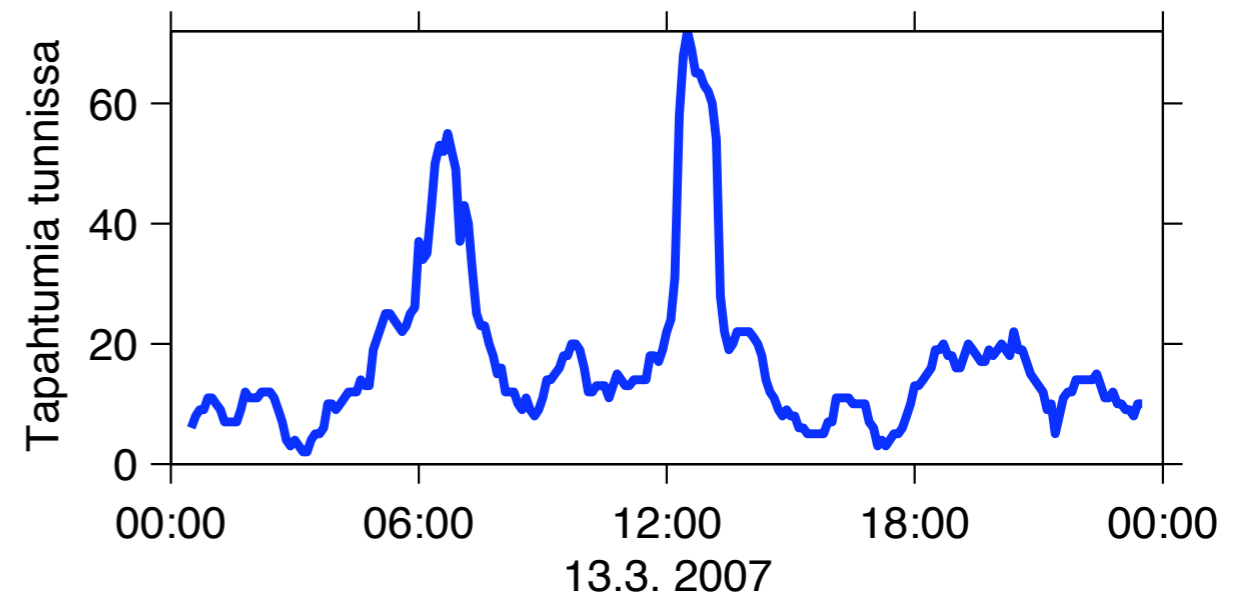
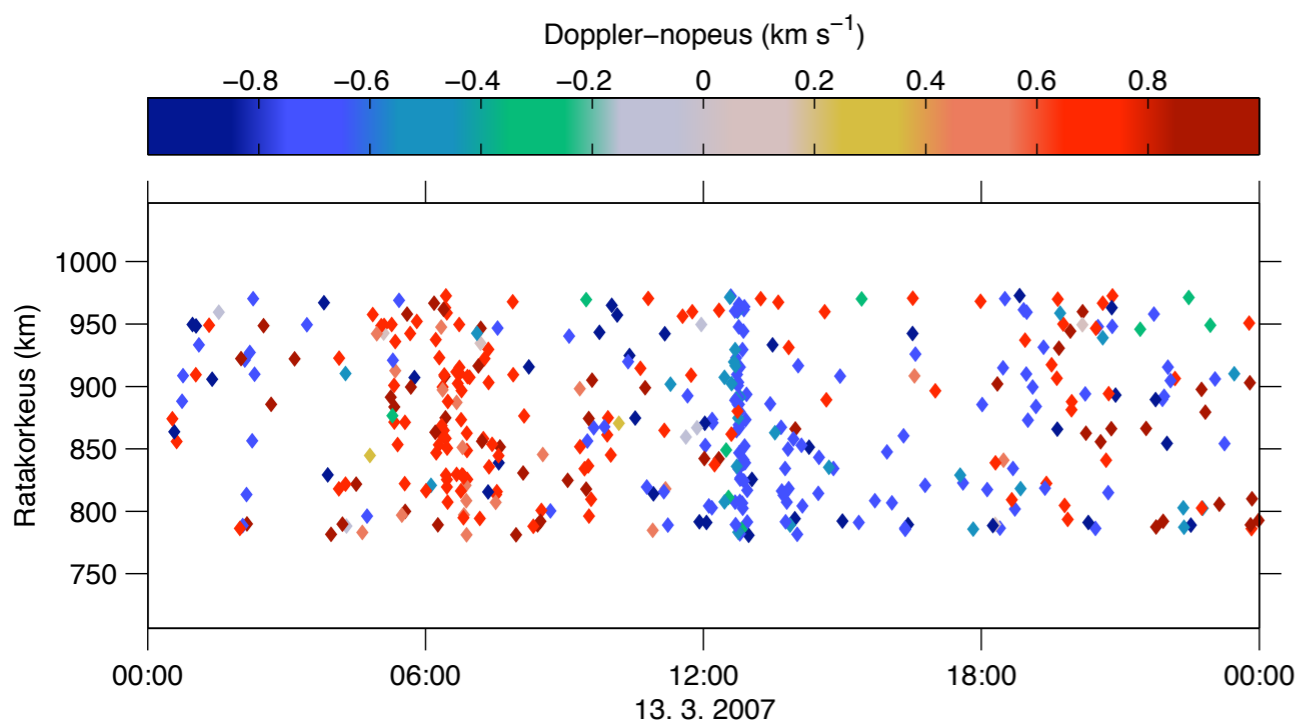
Suunta aurinkoon



Kuva:  
H. Krag,  
ESA

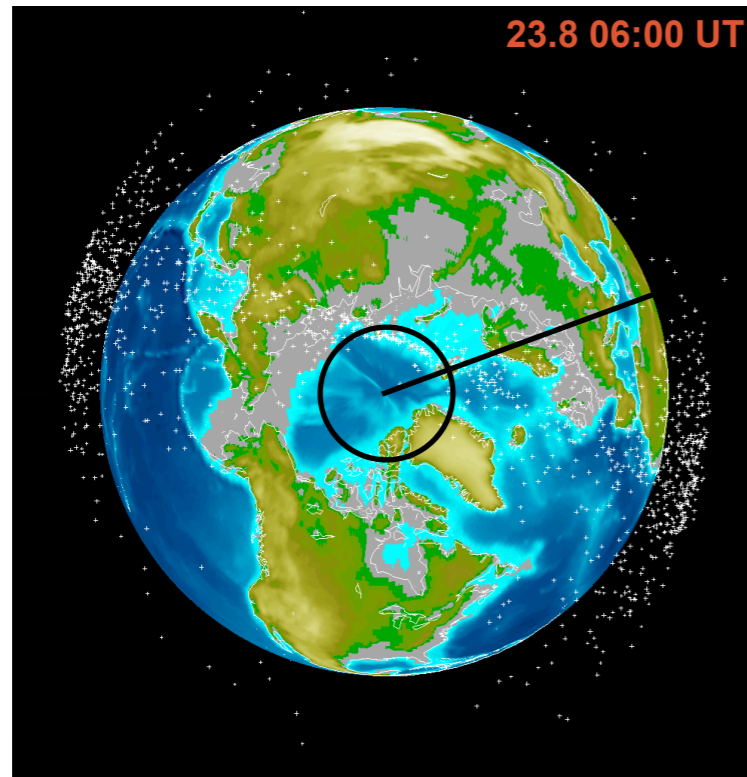


Kuva:  
H. Krag,  
ESA

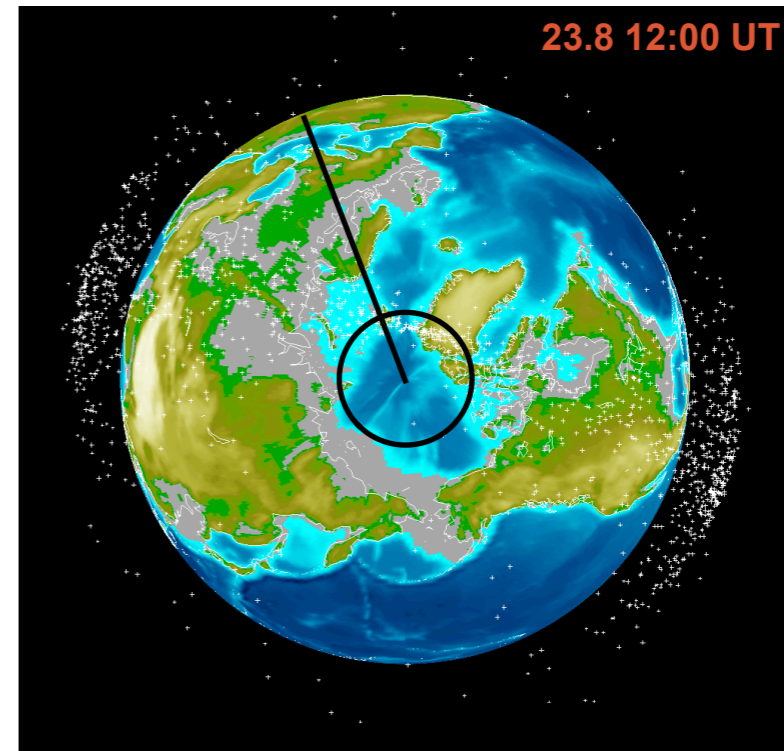


# FY 1C romurengas 23.8. 2007

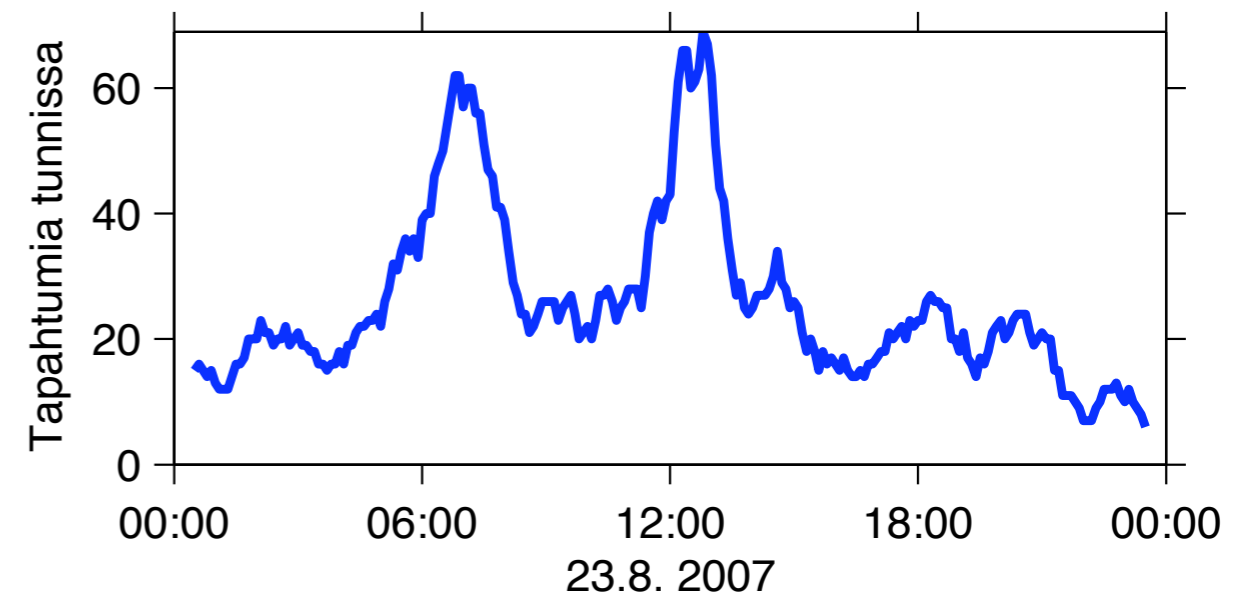
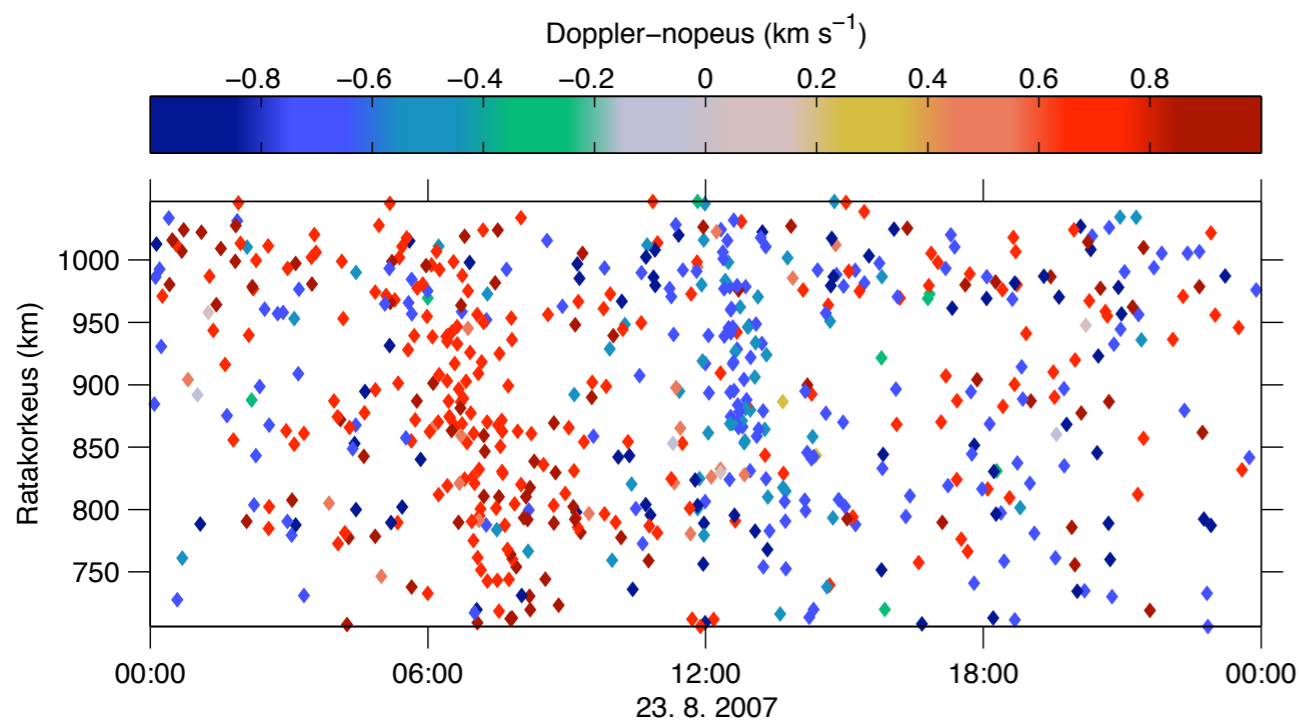
Suunta aurinkoon



Kuva:  
H. Krag,  
ESA



Kuva:  
H. Krag,  
ESA



# Kokousesitelmä lokakuussa 2007

## Detection of Small-Size Space Debris with the FGAN and EISCAT Radars

7<sup>th</sup> US-Russian Space Surveillance Conference,

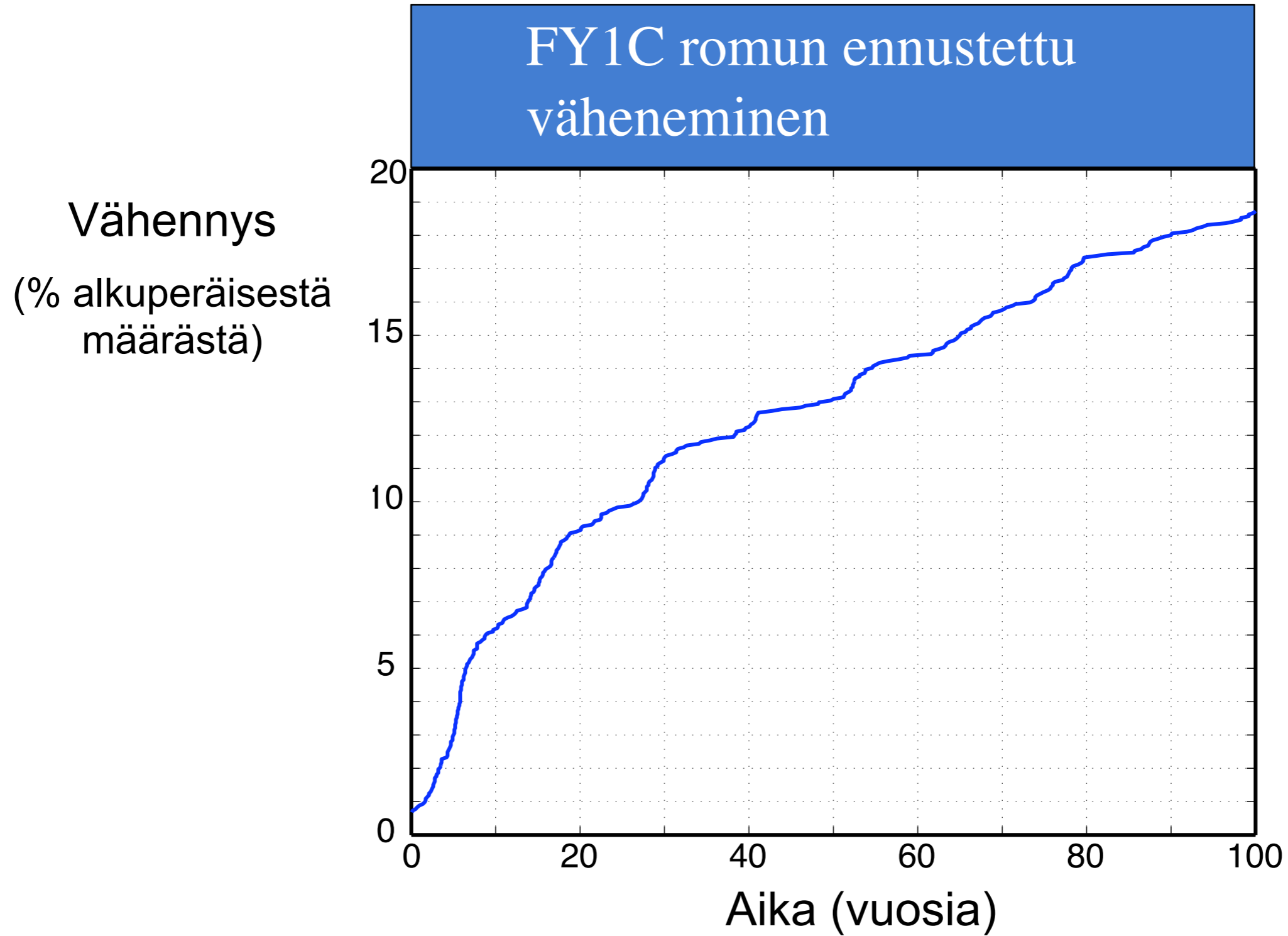
Holger Krag<sup>1</sup>, Heiner Klinkrad<sup>1</sup>, Rüdiger Jehn<sup>1</sup>, Jussi Markkanen<sup>2</sup> and Ludger Leushacke<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ESA Space Debris Office, <sup>2</sup>EISCAT Scientific Association, <sup>3</sup>FGAN-FHR

### Johtopäätös

- From first rough calibration the extend of this ASAT event can be characterised as follows (at epoch August 23<sup>rd</sup>, 2007):
    - # of objects > 1m: 14 (according to SSR)
    - # of objects > 10cm: 1,862 (according to SSR)
    - # of objects > 1cm: 55,000 (according to EISCAT/PROOF)
    - # of objects > 1mm: 2,700,000 (according to MASTER/NBU)
- ⇒ This fragmentation event is the most severe that ever occurred

# FY1C-rengas levenee ja harvenee, mutta alas romu tulee verkalleen



Lähde: Celestrak/CSSI (<http://celestrak.com/events/FY1C-Lifetime.pdf>)

# Lisälukemista

Ks. linkit avaruusromusivullani osoitteessa

<http://www.sgo.fi/~jussi/spade/index.html>

Paras tietämäni yliopistotason kirja on ESA:n avaruusromuasiantuntijan Heiner Klinkradin tuore, varsin kattava teos

[Space Debris: Models and Risk Analysis](#) (Springer Praxis Books, 2006)