

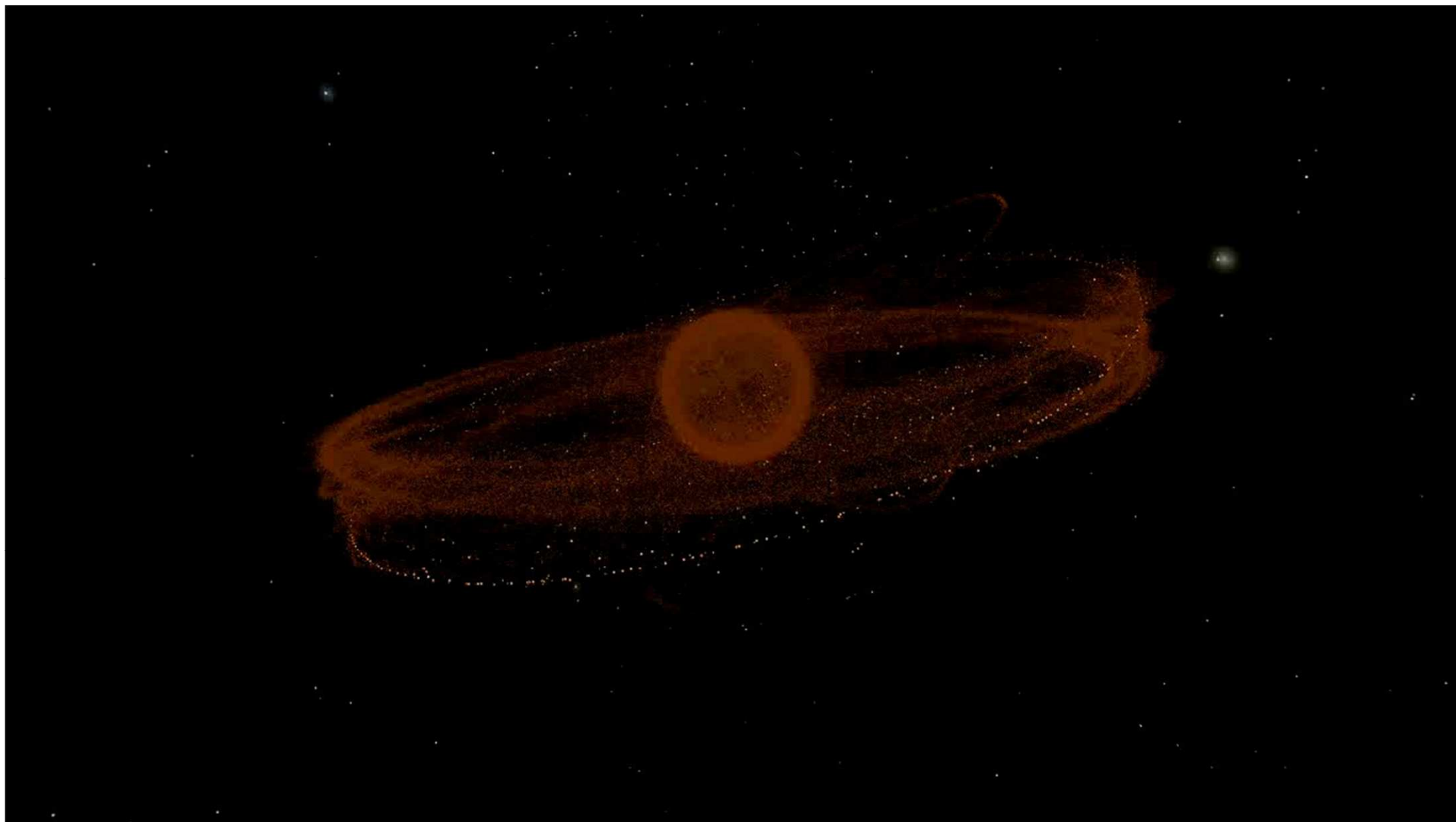
# Kozmické smetie

Mgr. Jiří Šilha  
KAFZM, FMFI UK



AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA

Praktická astronómia populárne  
LPP-0378-09



AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA



# Štruktúru prezentácie

- 1. Definícia
- 2. História
- 3. Delenie
- 4. Priestorové rozloženie
- 5. Vznik smetia
- 6. Sledovanie
- 7. Zánik smetia



AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA



## 1. Definícia

# Kozmické smetie:

„Telesá vyrobené človekom nachádzajúce sa na dráhe v okolí Zeme, ktoré neslúžia žiadnemu účelu.“

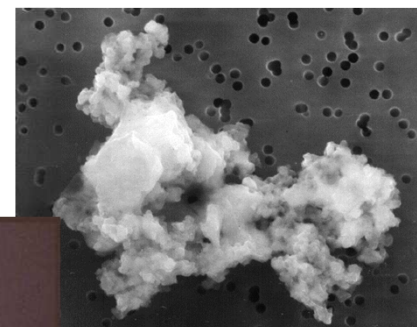
Telesá v blízkom okolí Zeme možno rozdeliť na **prirodzené** a **umelé**.



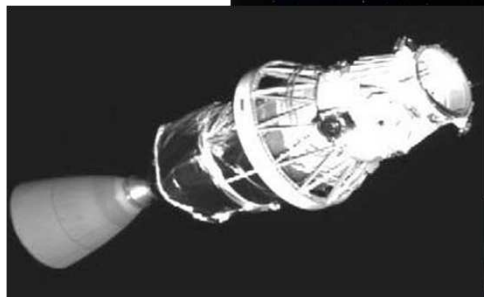
Satelit Astra



Asteroid Eros (NEAR)



Mikrometeoroid



Nosná raketa Delta



Škvara

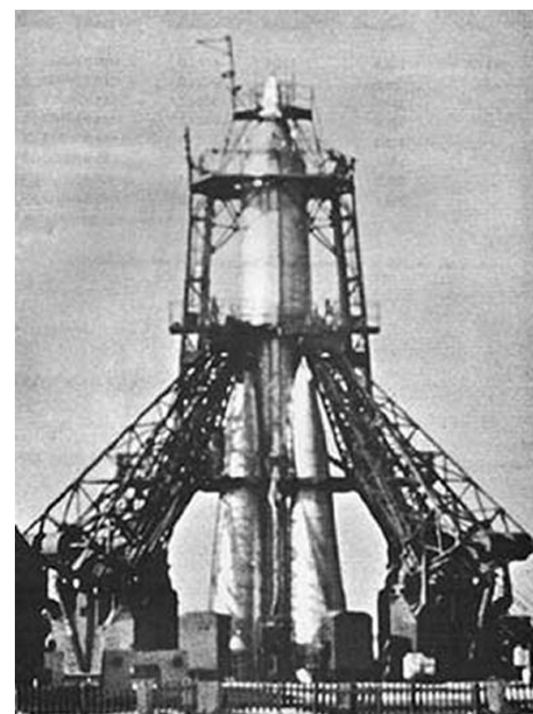
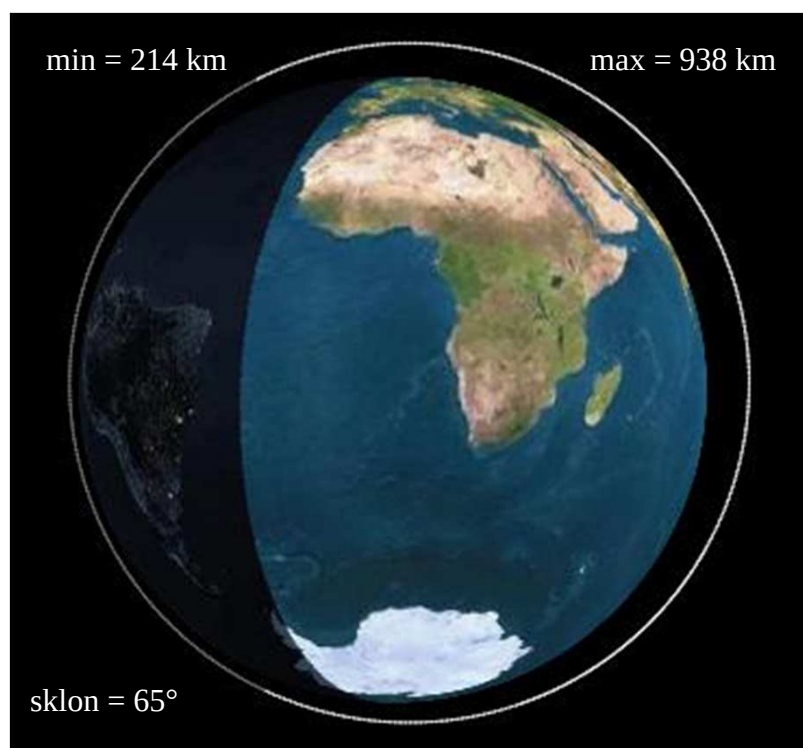
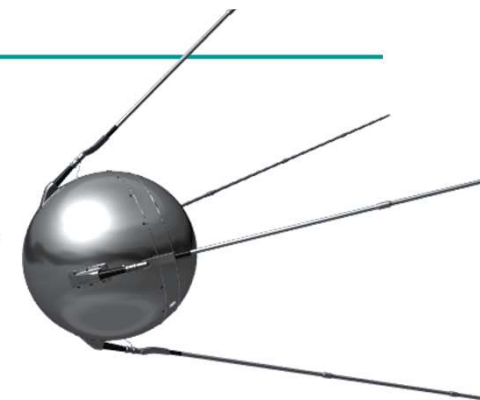


Halleyho kométa (GIOTTO)



## 2. História

- ❑ Umelé telesá na dráhe v okolí Zeme od 4. októbra 1957 - **Sputnik 1**,
- ❑ vedecká družica (šírenie EM v ionosfére),
- ❑ veľkosť ako basketbalová lopta, váha 83.6 kg,
- ❑ výška dráhy bola priemerne okolo 600 km,
- ❑ družica zhorela v atmosfére 31. januára 1958.



## 2. História

-više 6000 satelitov vynesných na obežnú dráhu



- od roku 1957 više 5100 štartov

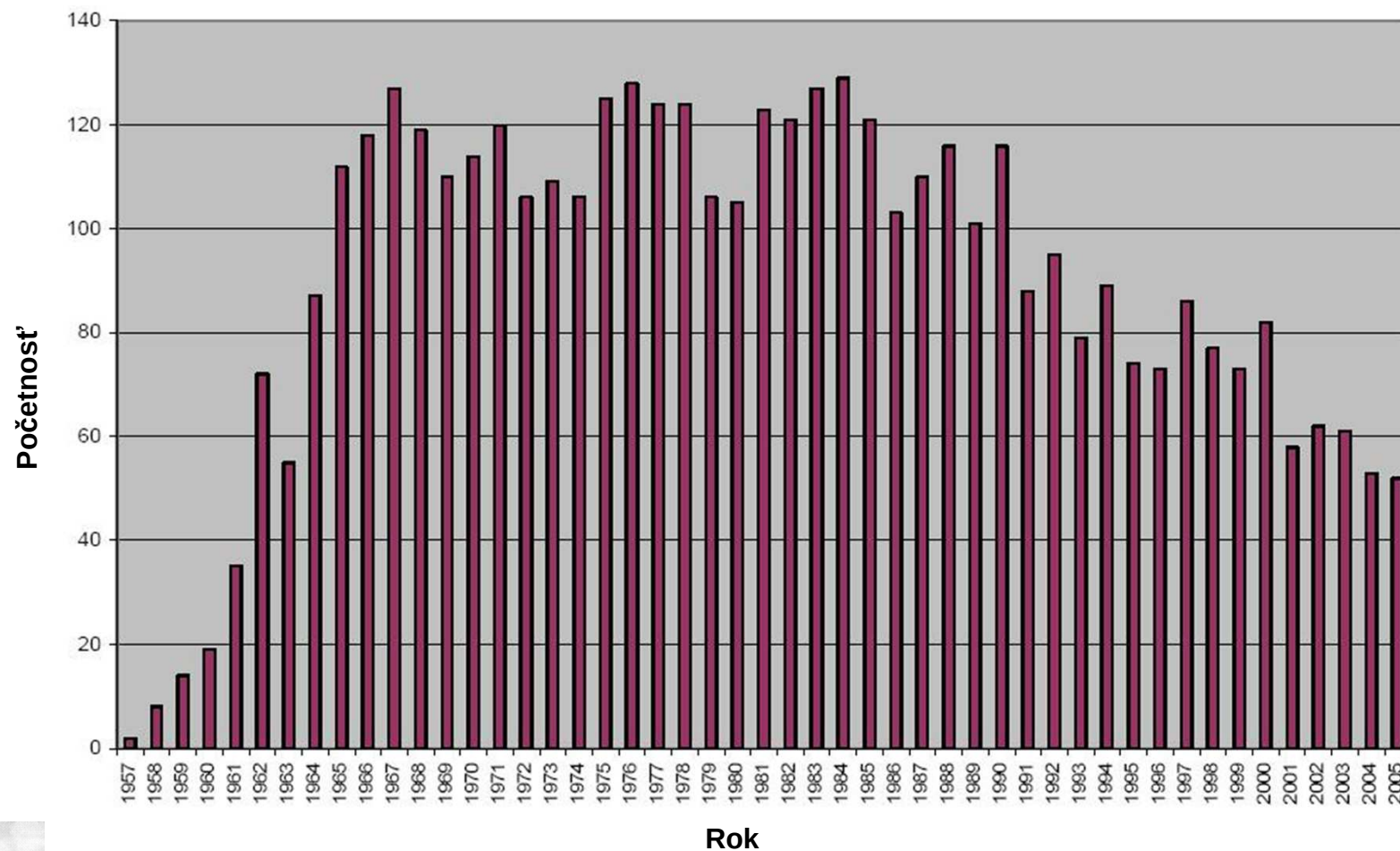


1958 – USA – Explorer 1  
1962 – GBR – Ariel 1  
1962 – CAN – Alouette 1  
1964 – ITA – San Marco 1  
1965 – FRA – Asterix  
...  
1978 – CSSR – Magion 1



## 2. História

- najviac štartov USA a ZSSR



Graf závislosti počtu štartov rakiet za jednotlivý rok.

## SATELLITE CENSUS

There are around 860 satellites in operation by more than 40 countries. The amount of material in orbit weighs 5000 tonnes, the vast majority of which is junk

### Who uses the satellites?



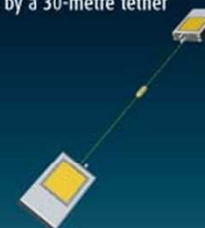
### The world's largest civil satellite

Held in a low Earth orbit, the Hubble Space Telescope was launched on 24 April 1990. It weighs 11,110 kg and is 13.2 metres long



### The world's smallest satellite

Launched in 2000, the Picosat 1 and 2 inspection satellites weighed just 250 grams each and were the size of a pack of playing cards. They were linked by a 30-metre tether



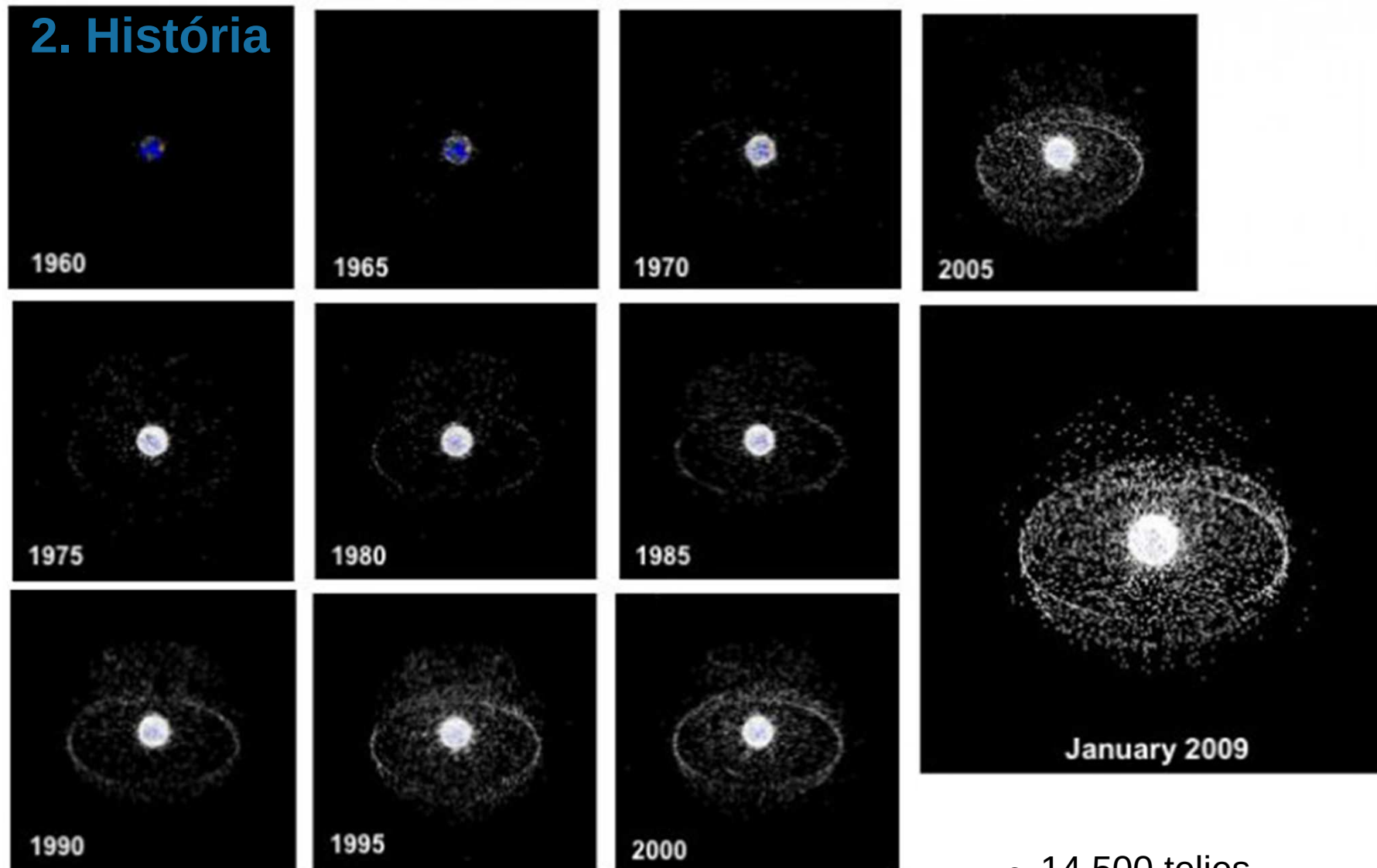
### Countries operating five or more satellites



SOURCE: UNION OF CONCERNED SCIENTISTS



## 2. História



~ 14 500 telies



AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA



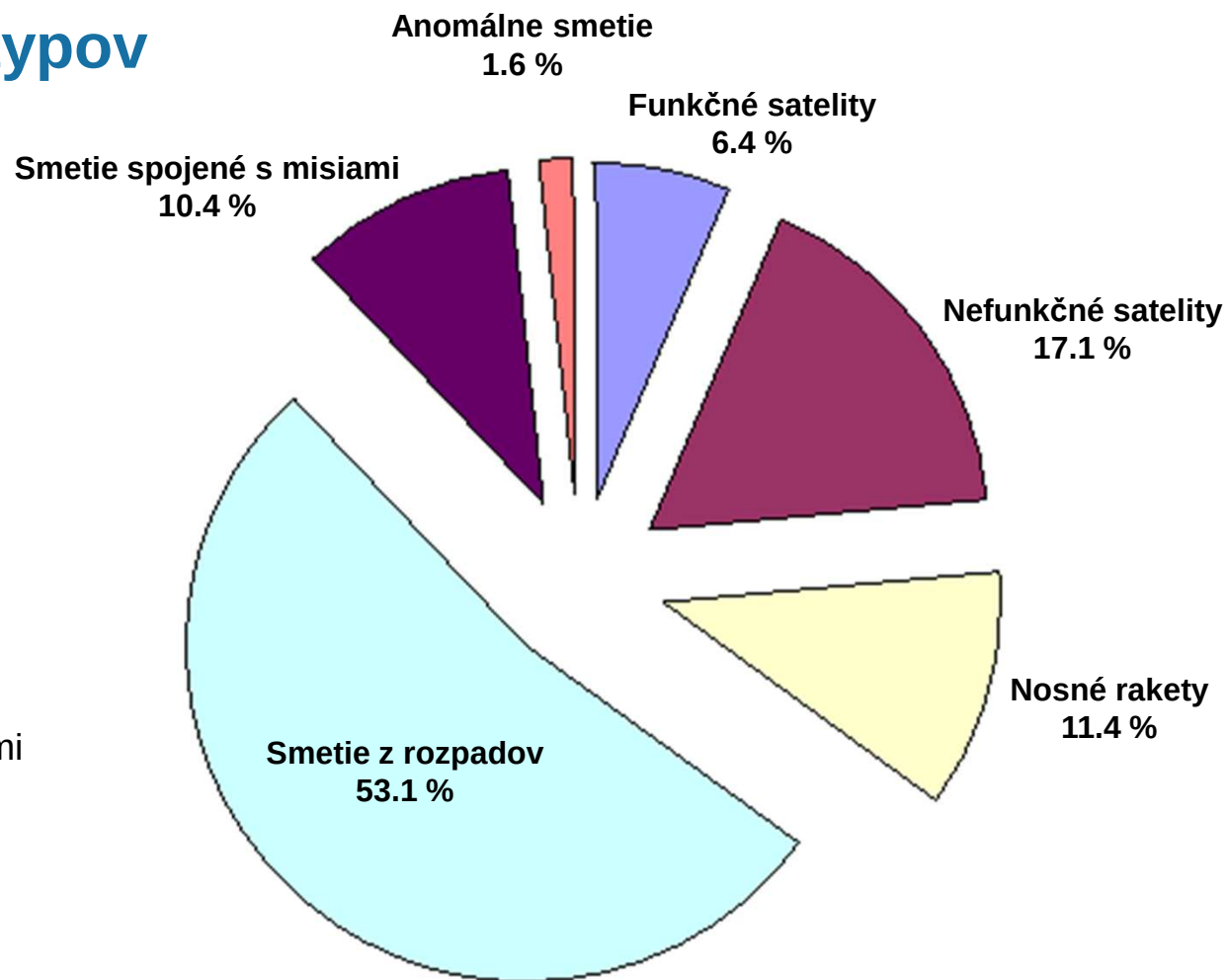
### 3. Delenie podľa typov

#### - satelity

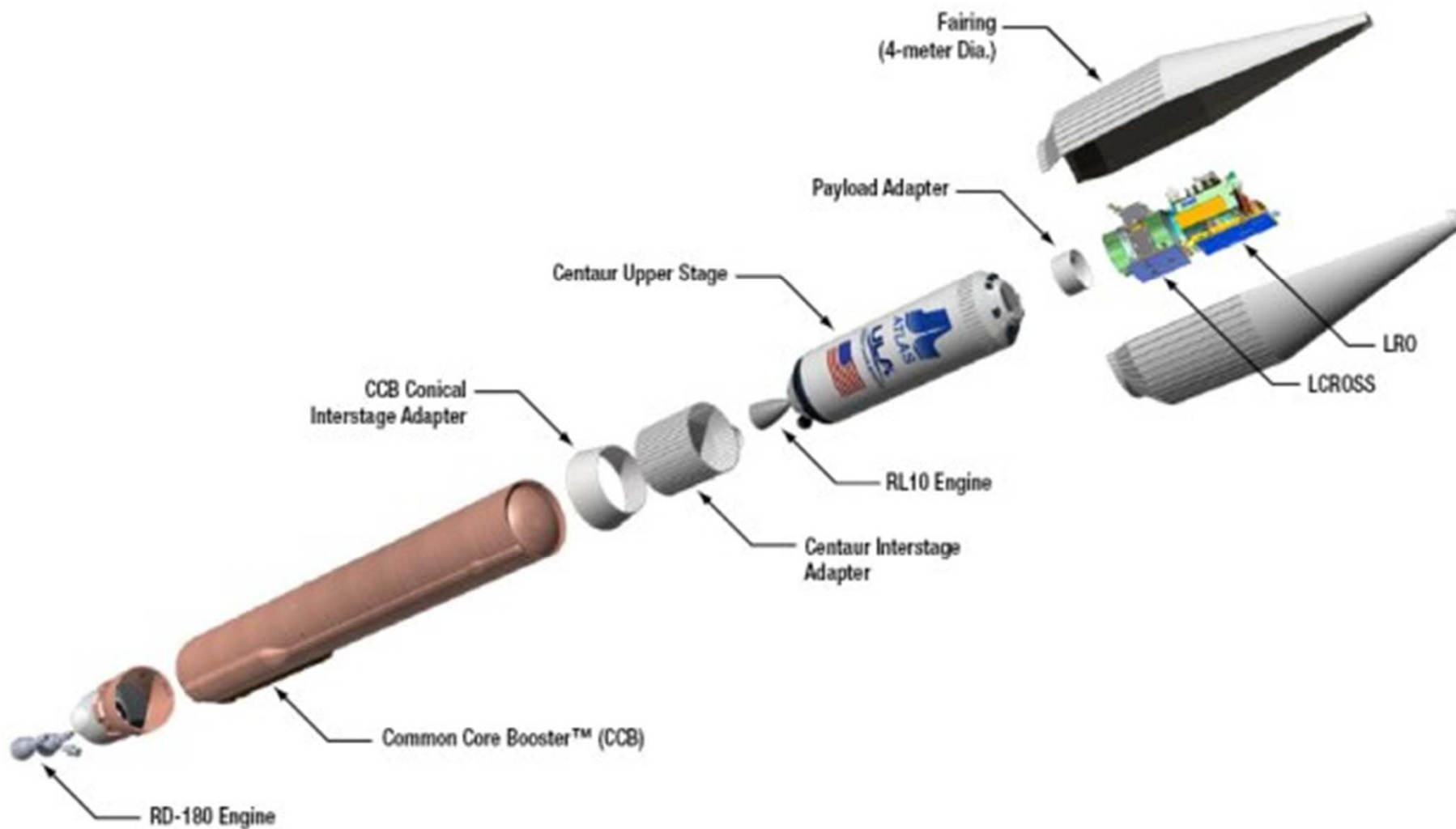
- funkčné (~900)
- nefunkčné

#### - kozmické smetie (nad 5 cm)

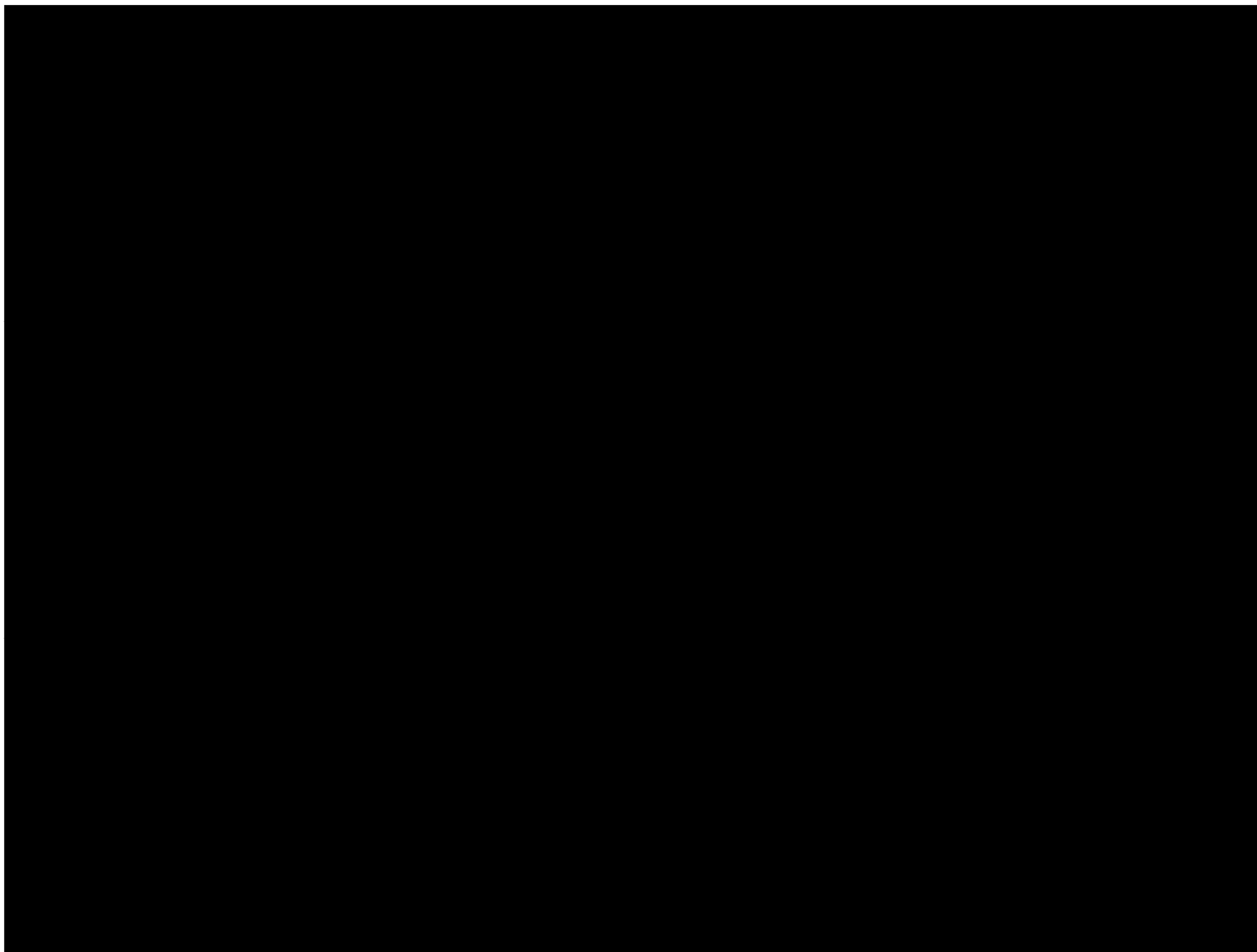
- nosné rakety
- smetie z rozpadov
- s vesmírnymi misiami spojené smetie
- anomálne smetie



### 3. Delenie podľa typov – s misiami spojené smetie



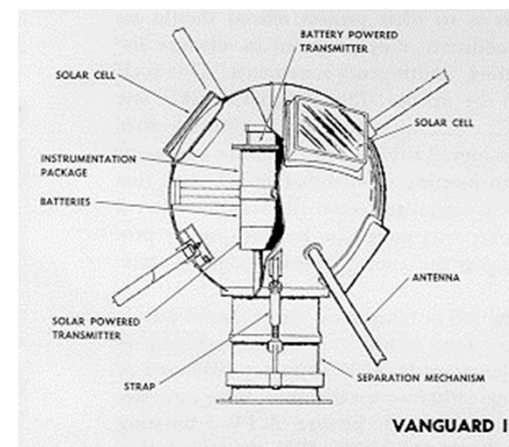
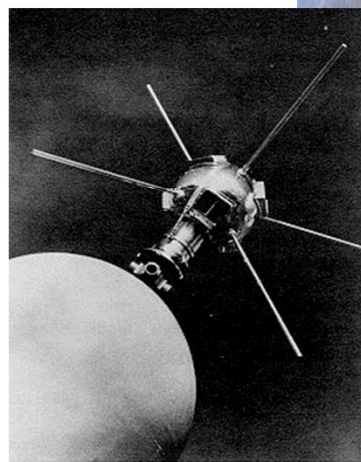
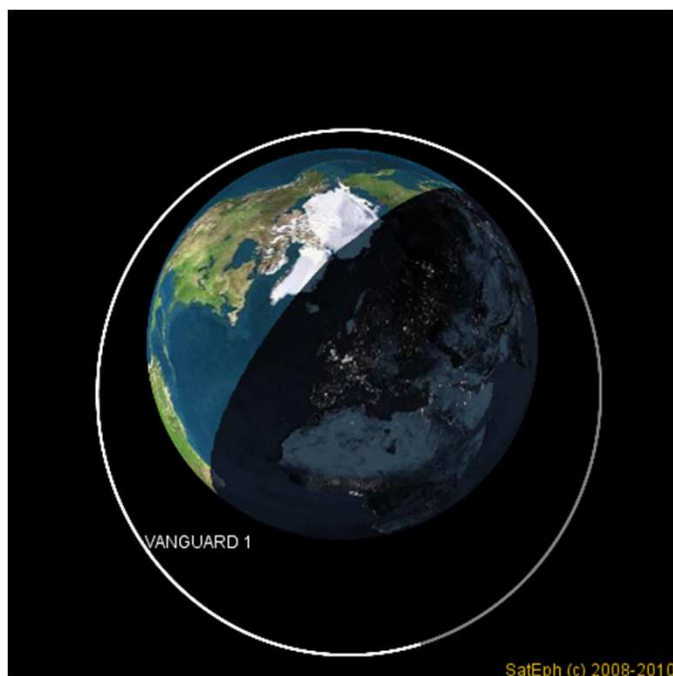
### 3. Delenie podľa typov – nosné rakety





### 3. Delenie podľa typov – nefunkčné satelity

- Druhý americký testovací satelit Vanguard 1, už nefunkčný.
- Vyše 50 rokov na obežnej dráhe Zeme.
- Okolo 200 000 obehov Zeme, vyše 10 mld km (~67 AU).

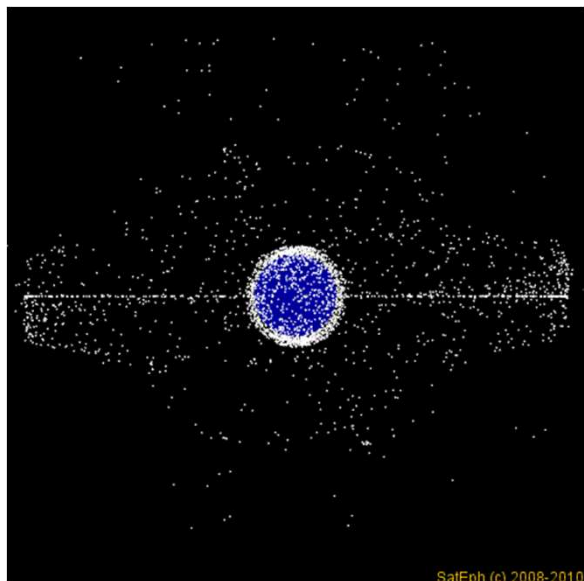


### 3. Delenie podľa typov – smetie z rozpadov

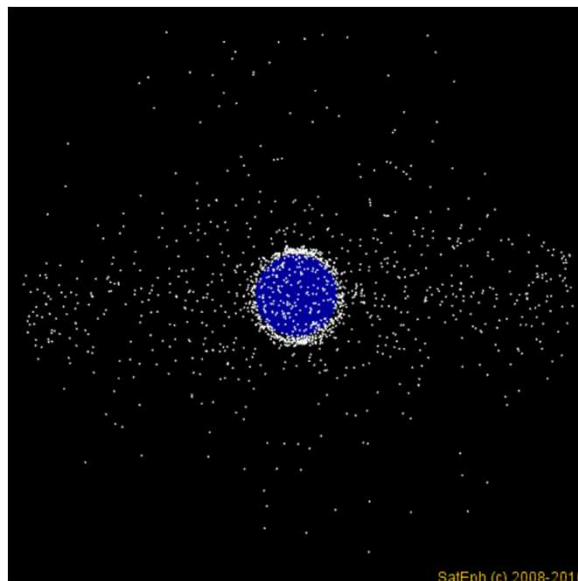


### 3. Delenie podľa typov – veľké smetie

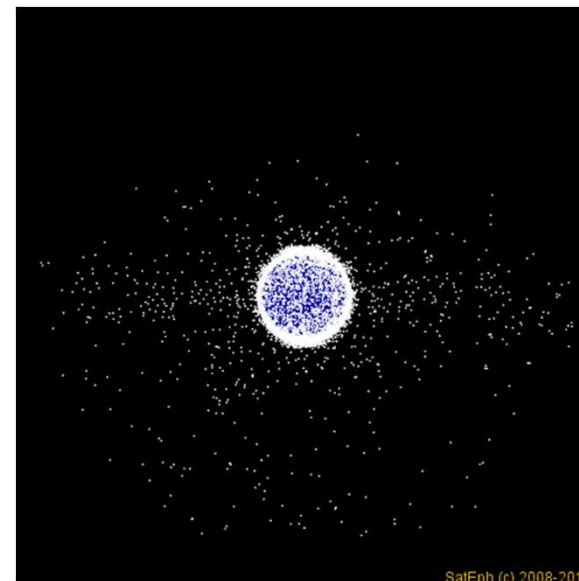
- V súčasnosti vyše 15000 katalogizovaných telies (ku 01.09.2011), ktoré majú verejne k dispozícii dráhové elementy. Sú aj tzv. nekatalogizované telesá - predbežne označené (~ ďalšie tisíc).
- Telesá väčšie ako 10 cm (skoro tenisová lopta), veľmi výnimočne aj od 5 cm.
- Hmotnosti sa pohybujú od menej ako 1 kg pre 5 cm telesá až po 450 ton pre ISS.



**Satelity  
(3394)**



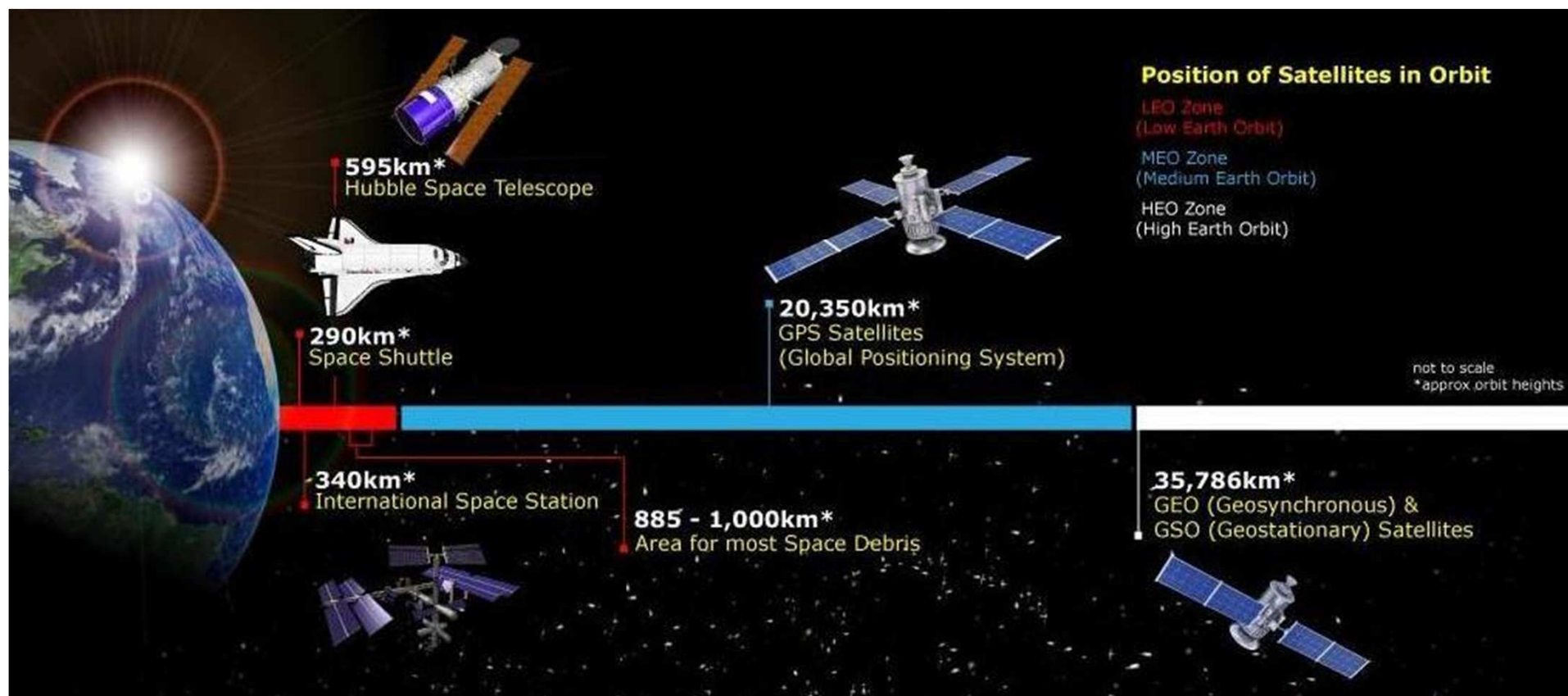
**Nosné rakety  
(1634)**



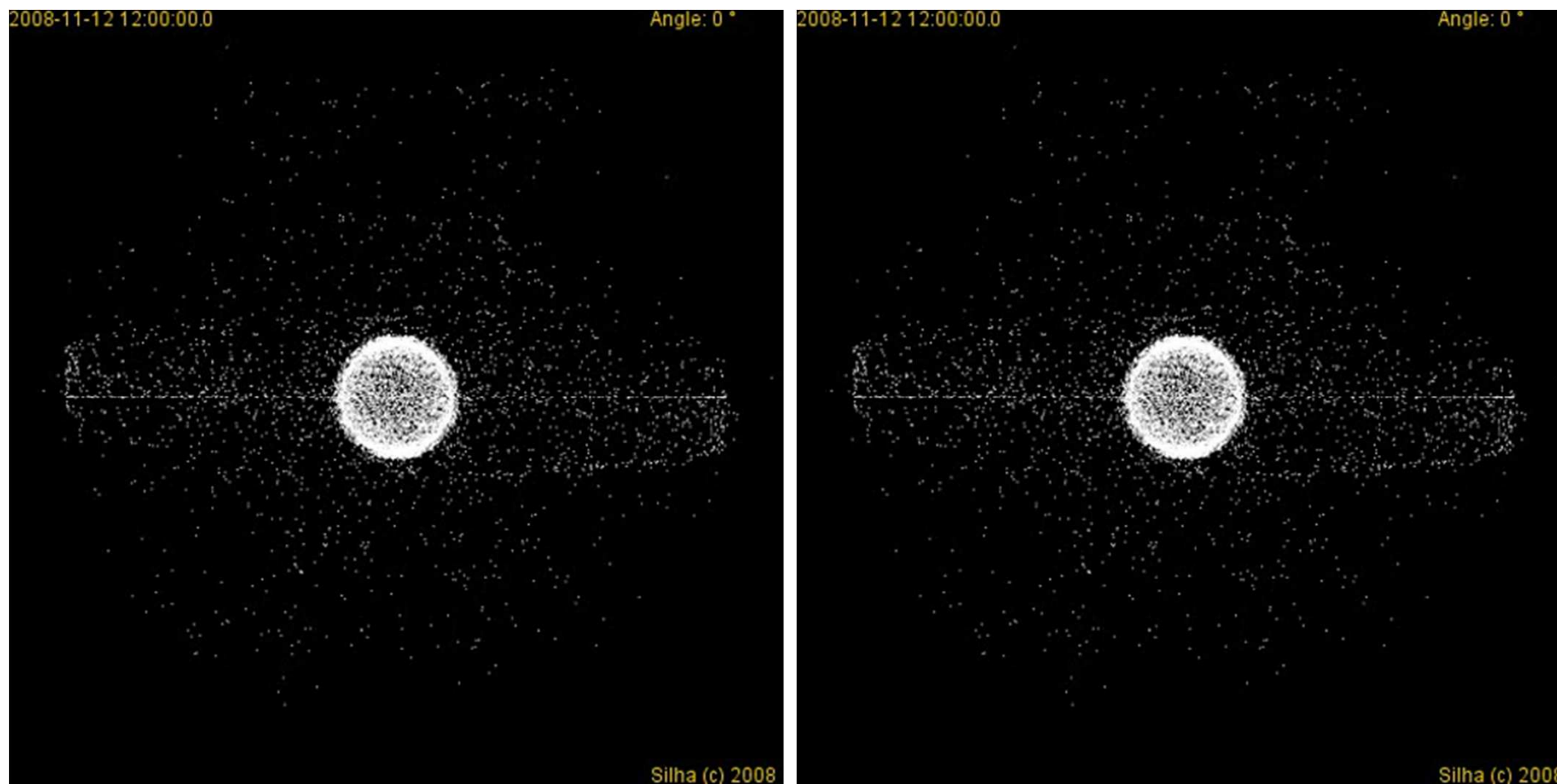
**Ostatné smetie  
(9525)**



### 3. Delenie dráh - rozloženie



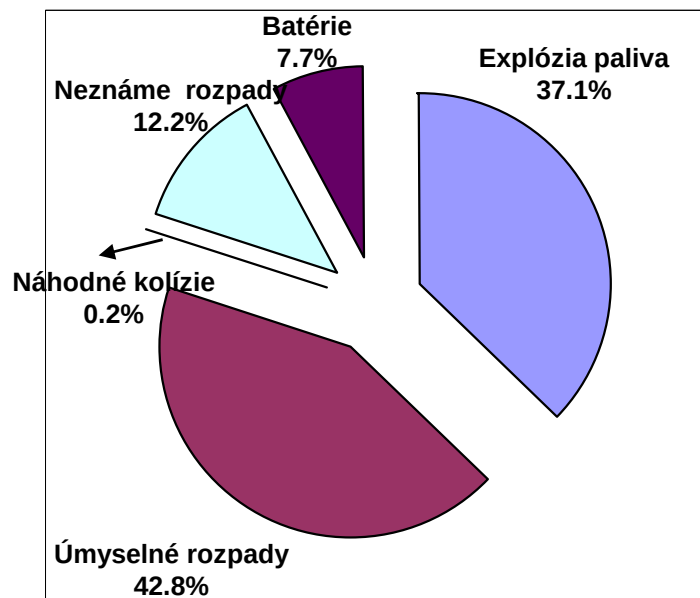
## 4. Priestorové rozloženie



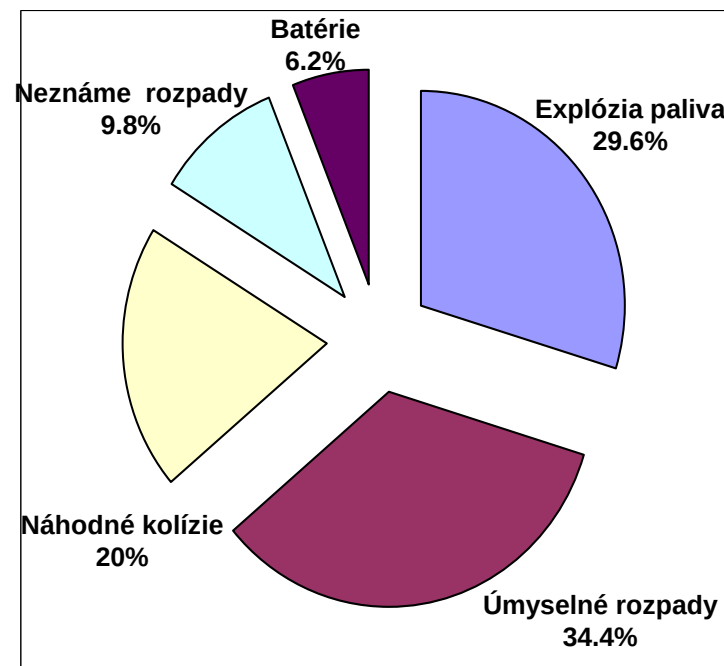


## 5. Vznik smetia - rozpady

- Tvoria najväčšiu populáciu umelých telies.
- Väčšinou samo deštrukcia.



Pomer jednotlivých typov rozpadov.  
Stav v roku 2008.



Pomer jednotlivých typov rozpadov.  
Stav v roku 2009 november.



- Rozpady spôsobené:
  - úmyselné
  - explóziou paliva
  - náhodné kolízie
  - neznámym spôsobom
  - batérie

## 5. Vznik smetia - rozpady

**Ausbreitung von Weltraumschrott  
wenige Stunden nach Entstehung**

**Spread of Space Debris within few  
hours after fragmentation**



AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA



## 5. Vznik smetia – 10 naj rozpadov na obežnej dráhe

**10. Nosná raketa Long March 4 tretí stupeň**  
(CBERS 1), 2000, 740 km, ~1000 kg, **343** úlomkov,  
náhodná explózia



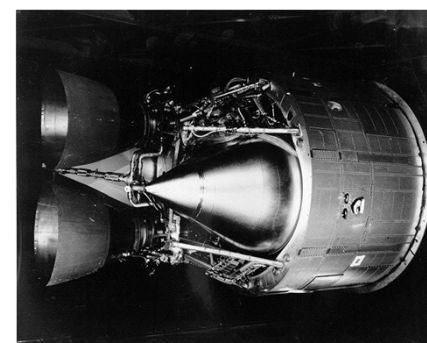
**09. Nosná raketa PSLV**  
**konečný stupeň (TES),**  
2001, 670 km, ~900 kg, **370**  
úlomkov, náhodná explózia



**08. Nosná raketa Agena D stupeň (Nimbus 4),**  
1970, 1075 km, ~600 kg, **374** úlomkov, náhodná  
explózia



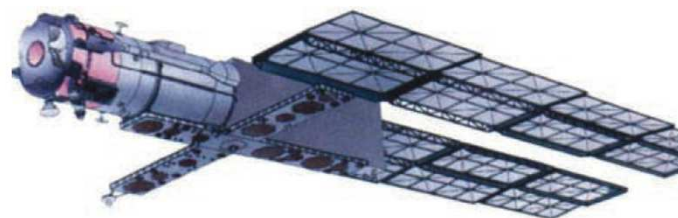
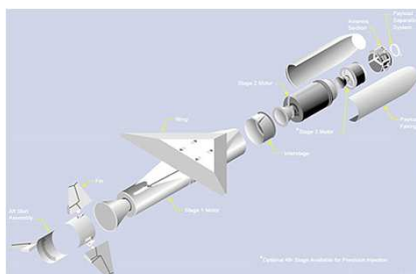
**07. Nosná raketa Titan 3C-4 stupeň (OV 2-1 /**  
LCS 2), 1965, 740 km, ~2500 kg, **473** úlomkov,  
náhodná explózia



**06. Nosná raketa Arian1 tretí stupeň (SPOT**  
1), 1986, 805 km, ~1400 kg, **492** úlomkov,  
náhodná explózia

## 5. Vznik smetia – 10 naj rozpadov na obežnej dráhe

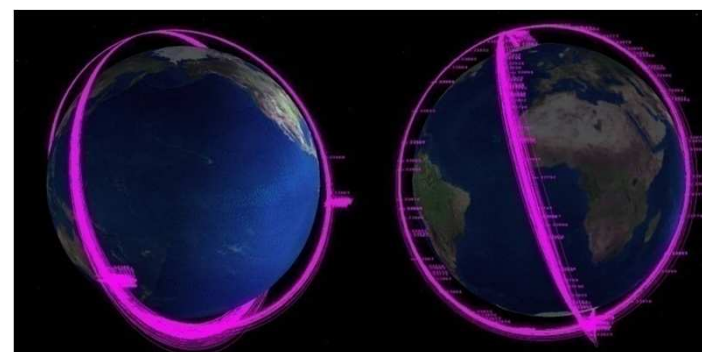
- 05. Kozmos 2421**, 2008, 410 km, ~3150 kg, **509** úlomkov, neznáma príčina  
- ruský vojenský satelit, zaznamenané až 3 rozpady, väčšina úlomkov už zanikla



- 03. Nosná raketa Pegasus HAPS (STEP II)**, 1996,  
625 km, ~97 kg, **713** úlomkov, náhodná explózia



- 04. a 02. Zrážka Iridium 33 a Kozmos 2251**, 2009,  
790 km, ~700/900 kg, **521/1267** úlomkov, náhodná kolízia



- 01. Zostrelenie satelitu Fengyun 1C**, 2007, 850 km, ~950 kg, **2841** úlomkov, úmyselné zostrelenie



## 5. Vznik smetia - úmyselné rozpady – FENGYUN 1C

# **ASAT TEST** **Xichang Space Center, China** **January 11, 2007**

**Visualization using the data tracks  
available on June 11, 2007**

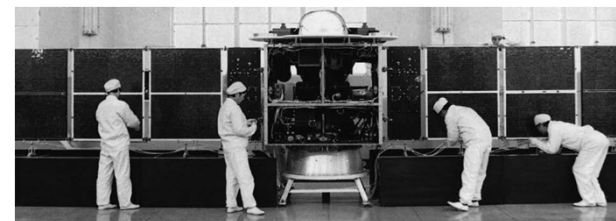


AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA

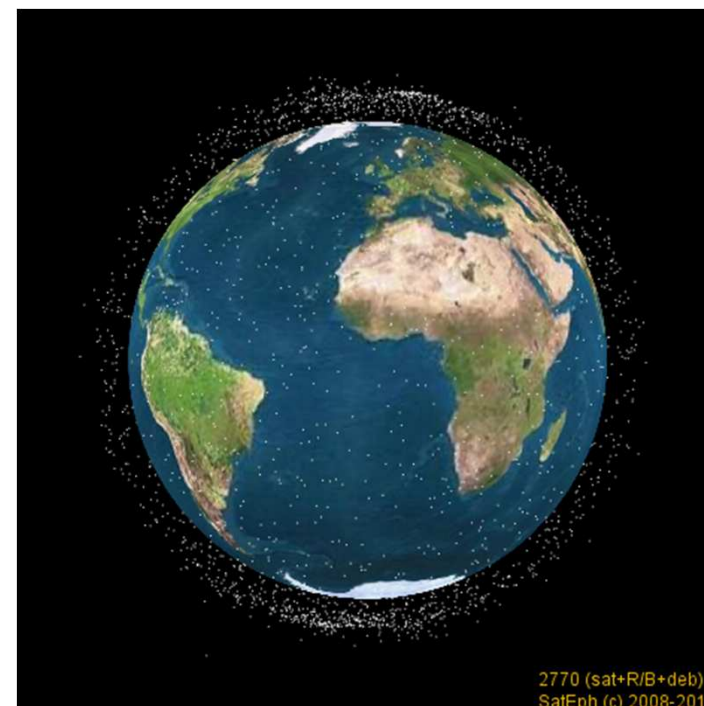
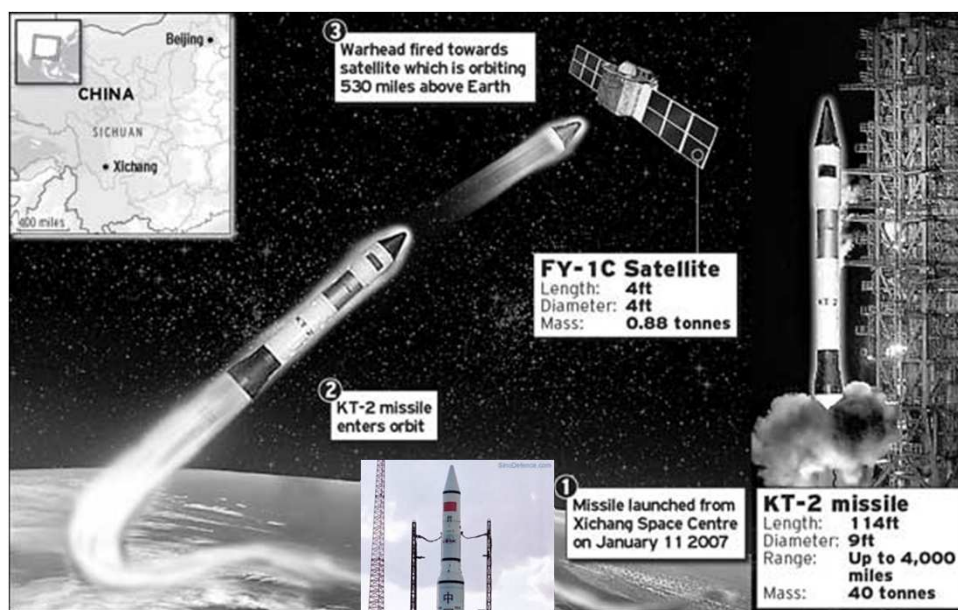


## 5. Vznik smetia - úmyselné rozpady – FENGYUN 1C

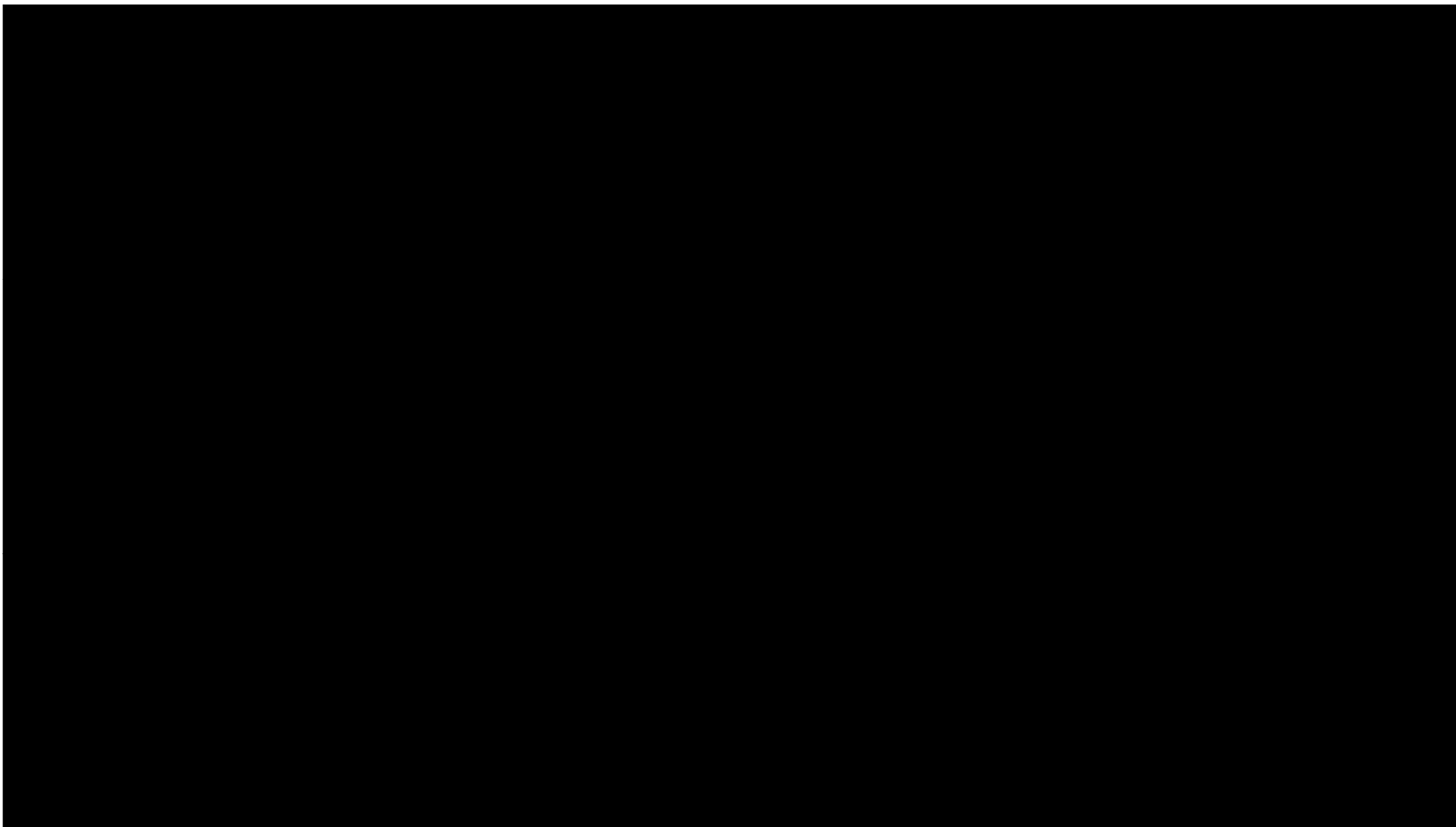
- 11. januára 2007 prvý úspešný test zostrelenia satelitu z povrchu. **ČĽR** uskutočnila antisatelitný test na meteorologickom satelite **FENGYUN 1C**, bol vo výške ~ 850 km.
- Vyše **2690** katalogizovaných objektov, z toho **2489** v súčasnosti na obežnej dráhe.
- Životnosť úlomkov je storočia.



Hmotnosť satelitu okolo ~ 1000 kg.



## 5. Vznik smetia - úmyselné rozpady – USA 193

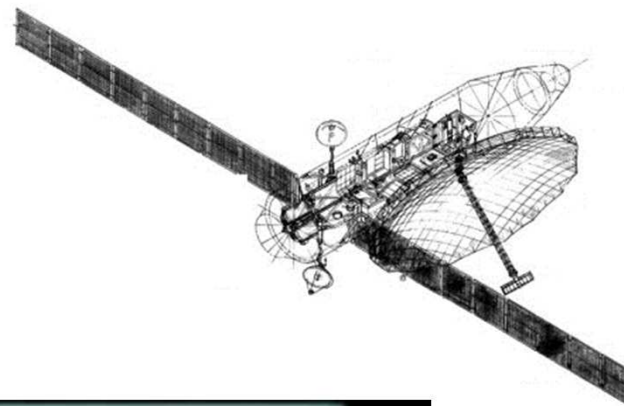


AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA



## 5. Vznik smetia - úmyselné rozpady – USA 193

- V roku 2008 **USA** úmyselne zostrelili svoj vojenský satelit **USA 193** vo výške ~ 250 km.
- Vzniklo **173** katalogizovaných objektov, všetky zanikli v atmosfére do niekoľkých mesiacov.





## 5. Vznik smetia - explózia paliva





## 5. Vznik smetia - explózia paliva

- Dochádza k prehriatiu palivovej nádrže z dôvodu slnečného žiarenia, resp. k jeho poškodeniu iným fyzikálnym mechanizmom.
- Príkladom je explózia jedného z motorov ruskej nosnej rakety **BREEZE-M** 19.februára 2007.
- MEO dráha, vo vzdialenosti 12000 km.



Zachytená explózia motoru nosnej rakety Breeze-M vo februári 2007.  
30 s expozícia.

- Okolo **90** úlomkov bolo katalogizovaných (~1000),  
dnes cca **50** stále na obežnej dráhe.

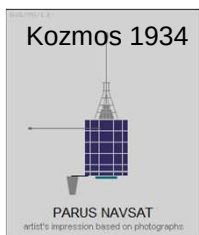
## 5. Vznik smetia - náhodné kolízie





## 5. Vznik smetia - náhodné kolízie

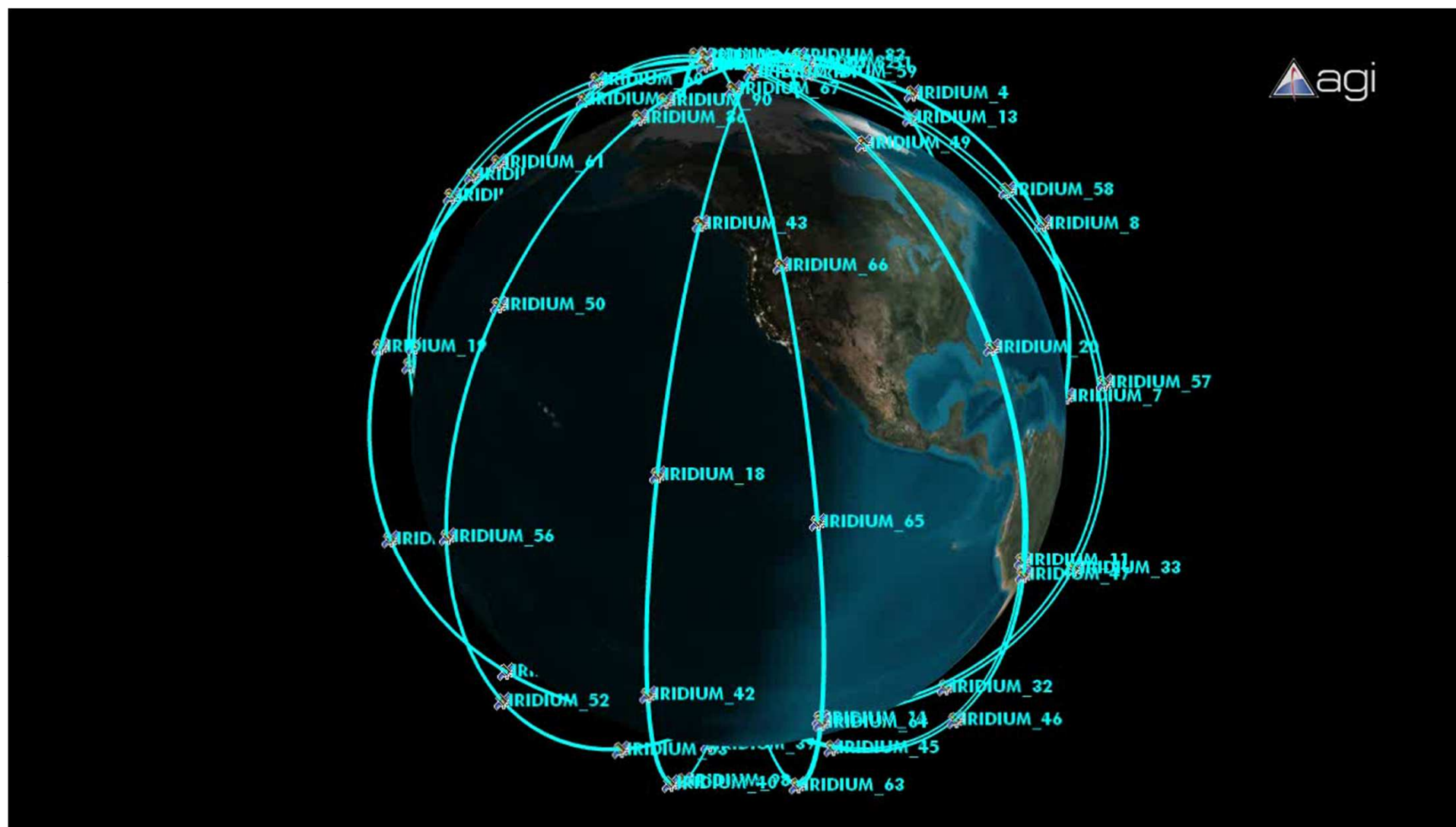
- Do súčasnosti zaznamenané 3 zrážky kompaktného telesa s kozmickým smetím:



- december **1991** zrážka sovietskej navigačnej družice **Kozmos 1934** - Parus (18985) s kozmickým smetím, vznikli **2** katalogizované objekty, zrážka identifikovaná len nedávno, teleso na LEO dráhe (980 km).
- 24. júl **1996** zrážka francúzskeho mikrosatelitu **Cerise** (23606) s kozmickým smetím z nosnej rakety, vznikol **1** katalogizovaný úlomok + pôvodné 2 telesá, LEO dráha (670 km).
- január **2005** zaznamenaná zrážka medzi americkou nosnou raketou (7219) a kozmickým smetím, vzniklo menej ako **10** katalogizovaných úlomkov, LEO dráha (817 km).



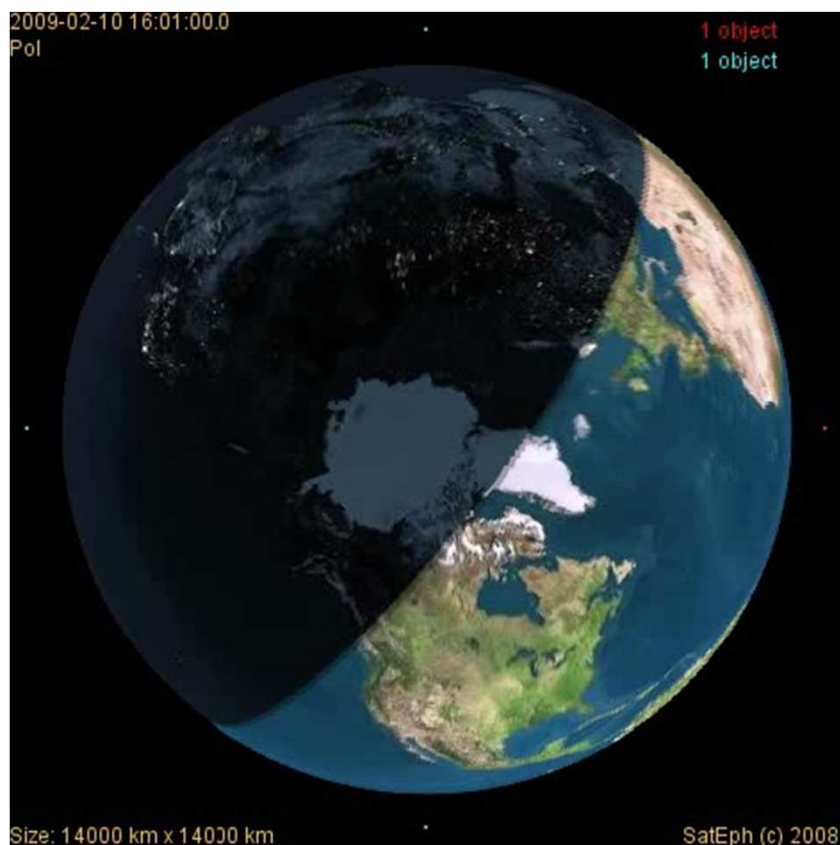
## 5. Vznik smetia - náhodné kolízie – Iridium - Cosmos



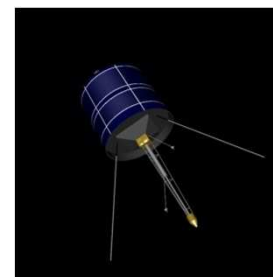


## 5. Vznik smetia - náhodné kolízie – Iridium - Cosmos

- 16:00 10. február **2009** bola zaznamenaná najväčšia zrážka satelitov na obežnej dráhe Zeme → **Kozmos 2251** a **Iridium 33**.
- Zrážka nastala nad severnou Sibírou vo výške 788 km nad povrchom, stretávacia rýchlosť približne 11.64 km/s (41 904 km/hod).



- Kozmos 2251 - ruský vojenský komunikačný satelit, hm. ~ 900 kg

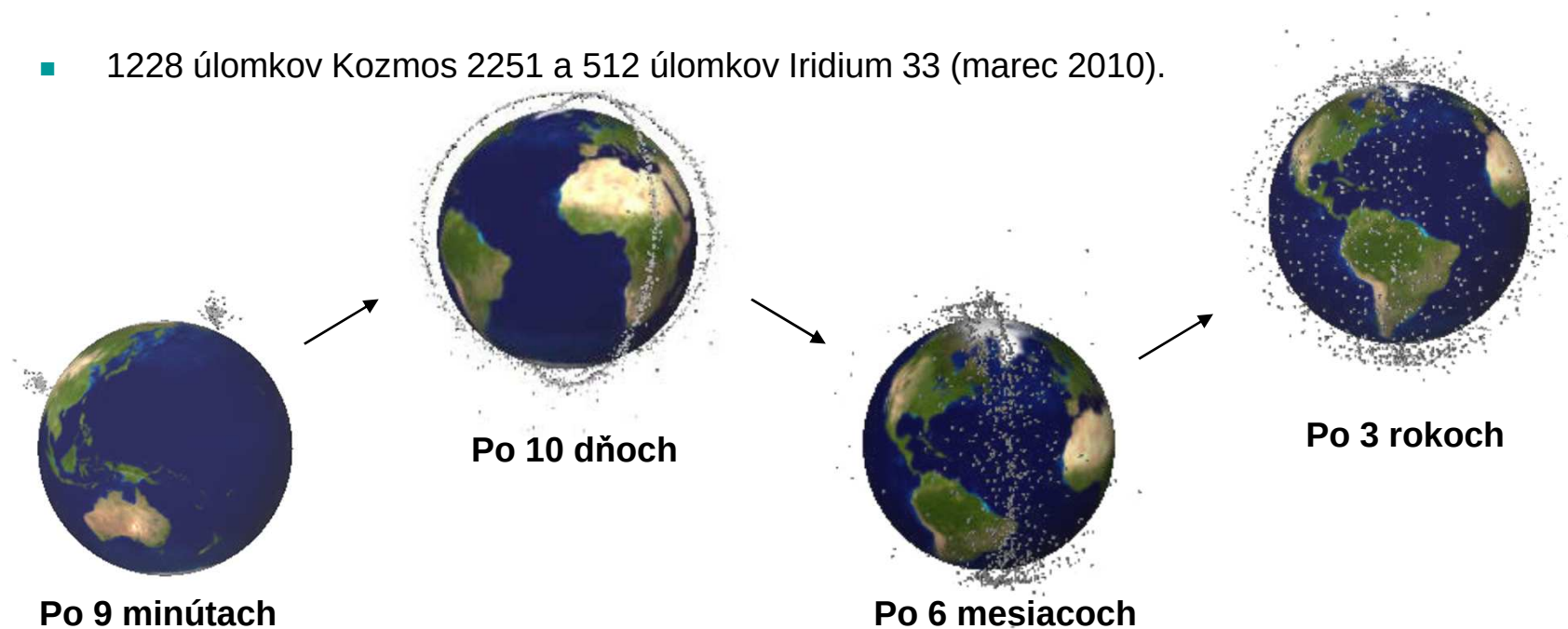


-Iridium 33 - americký telekomunikačný satelit, súčasť konštalácie, hm. ~ 700 kg



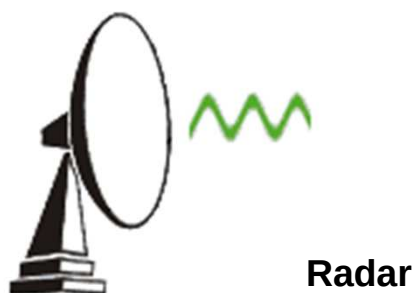
## 5. Vznik smetia - náhodné kolízie

- V súčasnosti po zrážke Kozmos - Iridium okolo 1600 úlomkov katalogizovaných, ~ 100 už zaniklo v atmosfére,
- úlomky z Kozmosu 2251 majú väčší rozptyl dráh - výšky od 200 - 1600 km, úlomky z Iridia 33 výšky od 500 - 1300 km,
- počet úlomkov z Kozmosu 2251 2x viac ako úlomkov z Iridia 33,
- 1228 úlomkov Kozmos 2251 a 512 úlomkov Iridium 33 (marec 2010).



## 6. Sledovanie

- Potrebné kvôli bezpečnosti vesmírnych misií.
- Americká SSN (vesmírna obranná sieť) katalogizuje objekty, alternatíva je ruská SSS sieť.
- SSN sieť funkčná už 2 dni pred Sputnikom 1.
- Hlavnou úlohou je katalogizovať umelé telesá na dráhe v okolí Zeme, zistiť krajinu pôvodu telesa, zistenie dráhy a predpovedať, kedy by dané teleso malo zaniknúť v atmosfére.
- Pozorovania radarom a ďalekohľadmi.



Hlavný ďalekohľad na AGO, GEO región



## 6. Sledovanie - radary

Goldstone radar (USA)



Haystack LRIR a HAX radar (USA)



Cobra dane radar (USA)



TIRA radar (DEU)



TIRA/Effelsberg radar (DEU)



EISCAT radar (FIN)



AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA

- Radary používané na detekciu telies na LEO dráhach (IADC).





## 6. Sledovanie - ďalekohľady

ESA SD teleskop (ESA)



TAROT teleskop (FRA)



CAT teleskop (ITA)



MODEST teleskop (USA)



PIMS teleskop (UK)

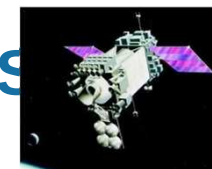


Bisei teleskop (JAP)

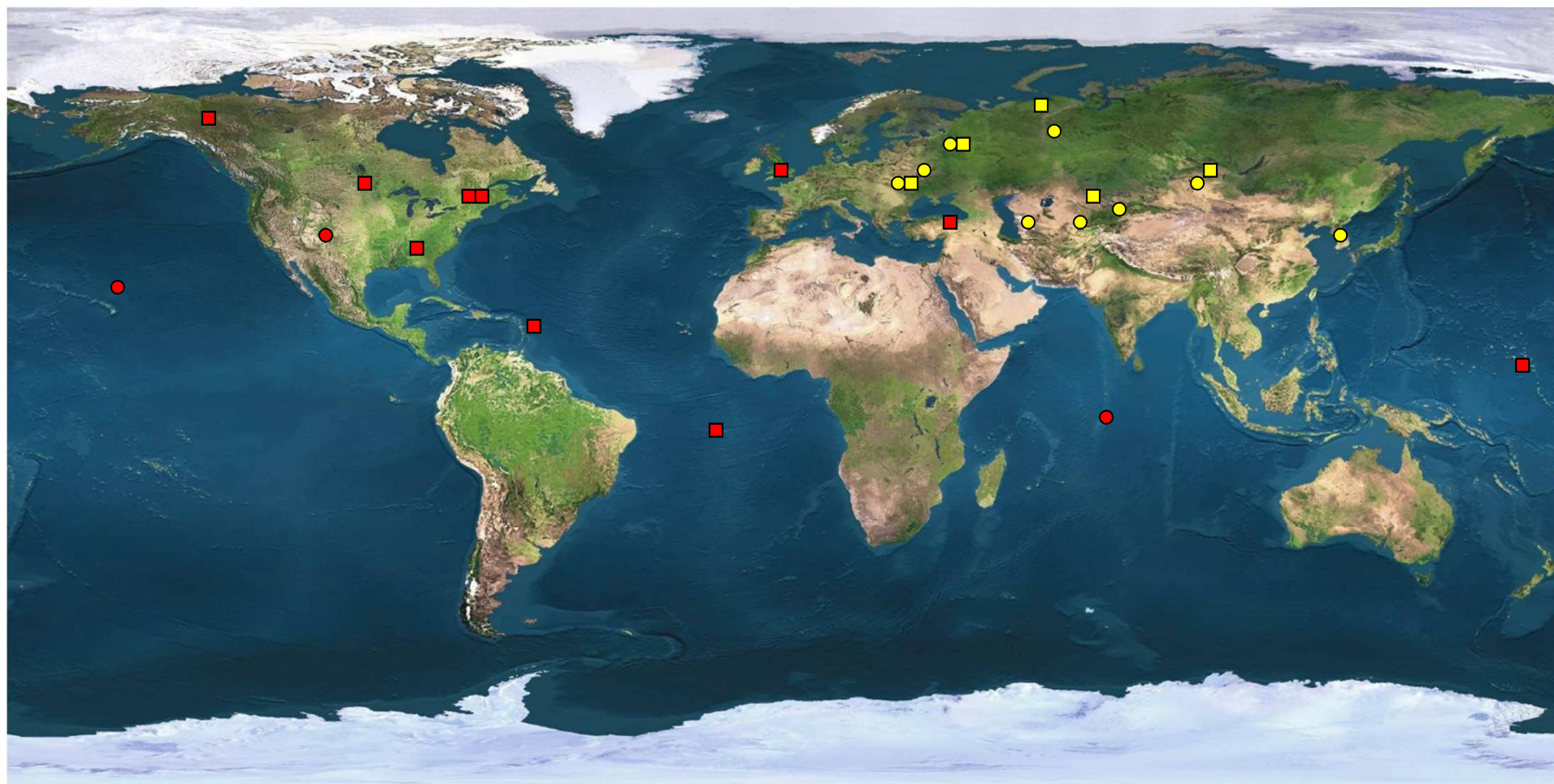


## 6. Sledovanie – americká SSN a ruská SSS

- SSN sieť vyše 100 000 pozorovaní za deň, 37000 telies.



SBV satelit



● SSN radar

■ SSN ďalekohľad

● SSS radar

■ SSS ďalekohľad



AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA





network)

network)



## 7. Zánik smetia

- Teleso vytvorené z rôznych zliatin kovov, nenastáva „samorozklad“.

- Zániky telies na dráhe v okolí Zeme:

- Explózia materského telesa → vznik úlomkov,



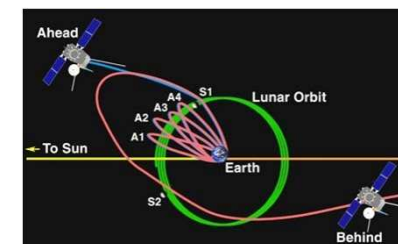
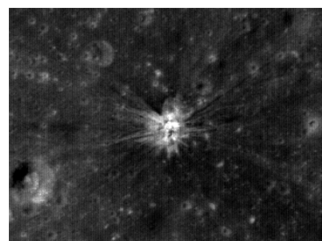
- zánik telesa v atmosfére (aj úmyselné),

- pád na zemský povrch,



- vyhodenie z geocentrickej dráhy pôsobením gravitačných, alebo negravitačných síl,

- prípadne pád na povrch Mesiaca .





## 7. Zánik smetia - zánik v atmosfére

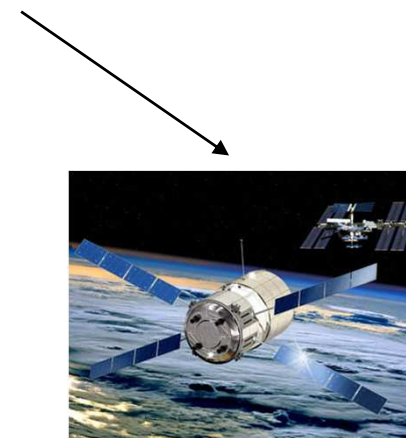
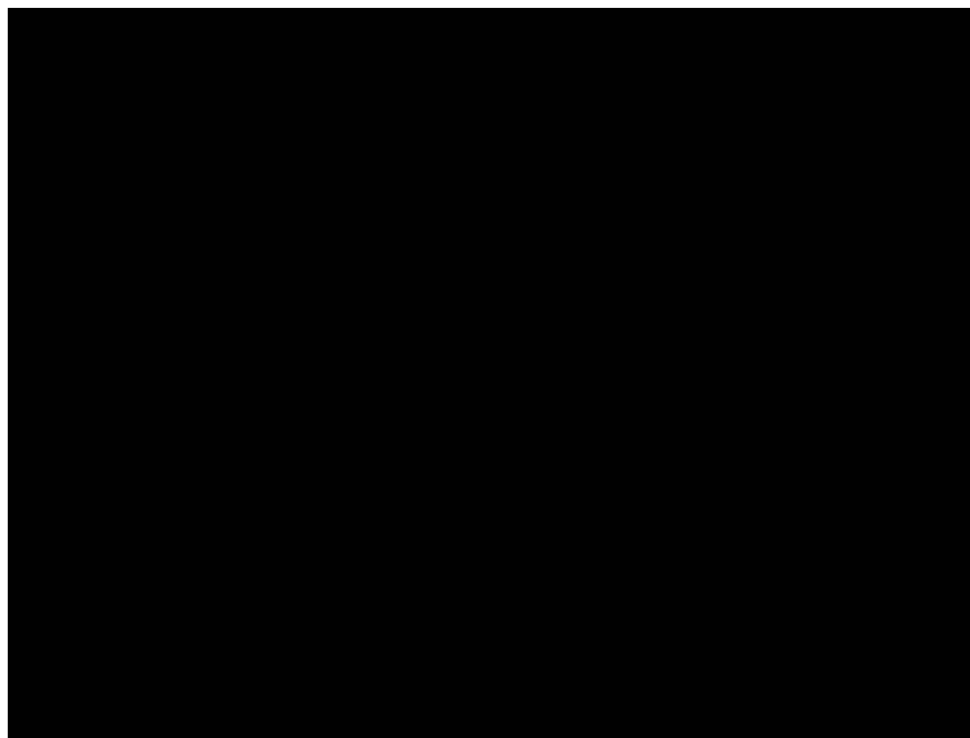
- Trením s atmosférou teleso stráca energiu, klesá stredný denný pohyb.
- Životnosti z dôvodu zániku v atmosfére:
  - Telesá s výškou perigea od X - 400 km majú životnosť niekoľko mesiacov,
  - 400 - 900 km životnosť roky až storočia,
  - telesá na MEO a GEO výškach životnosť nezávislá od trenia s atmosférou.



Apollo 13.



Mir.



## 7. Zánik smetia - pád na povrch Zeme

- Niekedy väčšie telesá (nosné rakety) dopadnú až na povrch.
- Do roku 2008 vyše 80 dopadov bolo hlásených. Väčšinou nosné rakety.
- V roku 1960 jedna krava usmrtená kozmickým smetím.

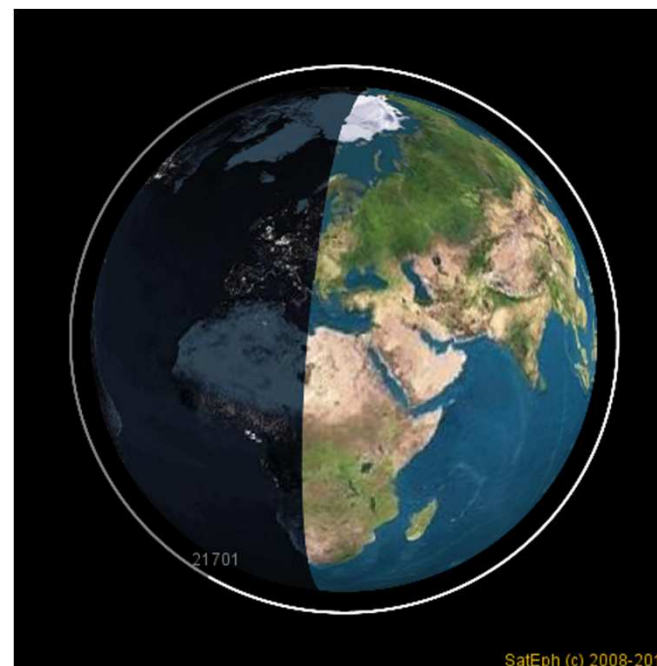


Delta raketa



## 7. Zánik smetia – zánik satelitu UARS

- Upper Atmosphere Research Satellite – UARS.
- Štart v roku september 1991, STS 48 (Discovery), NASA.
- Výzkum chemického zloženia v atmosfére Zeme, štúdium množstva svetla prichádzajúce od Slnka vo V a UV oblasti.
- Hmotnosť 5900 kg, veľkosť 11 m x 4.6 m.
- Stredná výška nad povrchom Zeme počas funkčného obdobia bola ~ 600 km.





## 7. Zánik smetia – zánik satelitu UARS



AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA





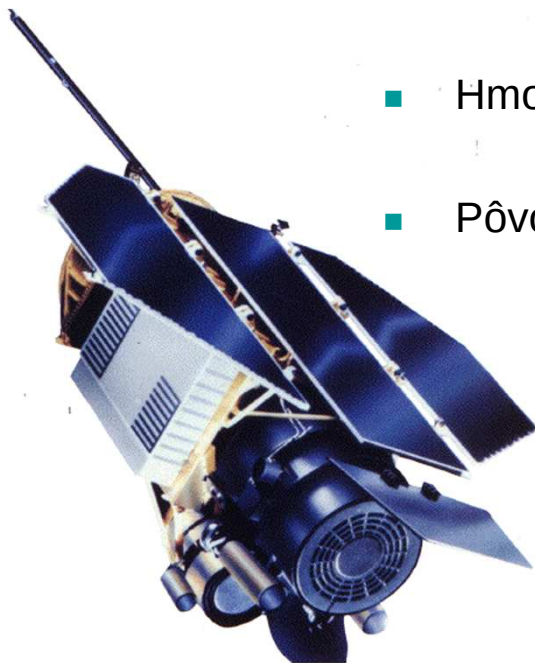
## 7. Zánik smetia – zánik satelitu UARS

- Plánovaná životnosť tri roky, ešte 14 rokov po štarte 10 prístrojov stále funkčných.
- Najväčší NASA satelit za 30 rokov, ktorý nekontrolovateľne vstúpil do atmosféry Zeme.
- Prvé informácie o dopade do oblastí v Kanade.
- Dopad blízko Vianočných ostrovov.
- Pravdepodobne desiatky úlomkov dopadli do oceánu.
- Zatiaľ žiadny očitý svedkovia udalosti.
- Pravdepodobnosť zasiahnutia človeka 1:3200.



## 7. Zánik smetia – budúci zánik satelitu ROSAT

- Röntgen Satellite – ROSAT
- Medzinárodný projekt – Nemecko (Inštitút Maxa Plancka), USA a UK
- Štart v roku 1990 a ukončenie misie v roku 1999.
  - Hmotnosť 2400 kg, veľkosť 2.5 m x 0.8 m.
  - Pôvodná výška dráhy ~ 580 km.
- Predpokladaný vstup do atmosféry 11. októbra 2011.
- Predpokad, že satelit nezhorí celý pri vstupe do atmosféry, ~ 400 kg materiálu dopadne na zemský povrch.



## 7. Zánik smetia – 10 naj zánikov a dopadov

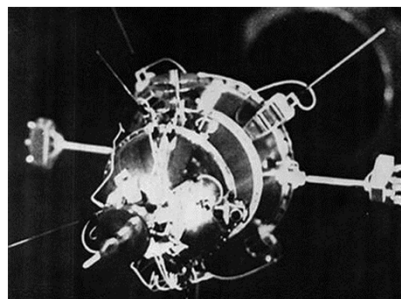
### 10. Zostrelenie USA 193 (2008).



### 09. Prvý a jediný známy zásah človeka kozmickým smetím (1997).

Lottie Williams, časť z Delta 2 nosnej rakety.

### 07. Pád satelitu Kozmos 954 (1978), najväčšie ohrozenie obyvateľstva na povrchu. Padol na neobývané územie Kanady, satelit s nukleárnym reaktorom.



### 08. Niekoľko záhadných sfér dopadlo do územie Austrálie, spájanie s UFO (60te roky). Jednalo sa o pomocné nádrže misí Gemini.



### 06. Dopad častí tretieho dielu nosnej rakety Delta 2 (2001). Dopad na povrch v Saudskej Arábii a dve časti v Texase, USA.



## 7. Zánik smetia – 10. naj zánikov a dopadov

**05. V Brazílii nájdené veľké množstvo malých úlomkov (1966).**  
Jednalo sa o úlomky z testovacej nosnej rakety Saturn.



**04. Explózia raketoplánu Columbia počas pristávania (2003).** Sedem astronautov zahynulo. Úlomky na takmer 73 000 km<sup>2</sup>.



**03. Satelit CGRO (Compton Gamma Ray Observatory) počas zániku v atmosfére vytvoril obrovskú zvukovú šou.**  
Rotoval, vzniklo veľké množstvo úlomkov (~6 ton), ktoré následne dopadli do Tichého oceánu blízko Havaii.

**02. Zánik americkej vesmírnej stanice Skylab (1973).**  
77 tonová stanica, 6 rokov na dráhe. Úlomky „pršali“ niekoľko 1000 km.

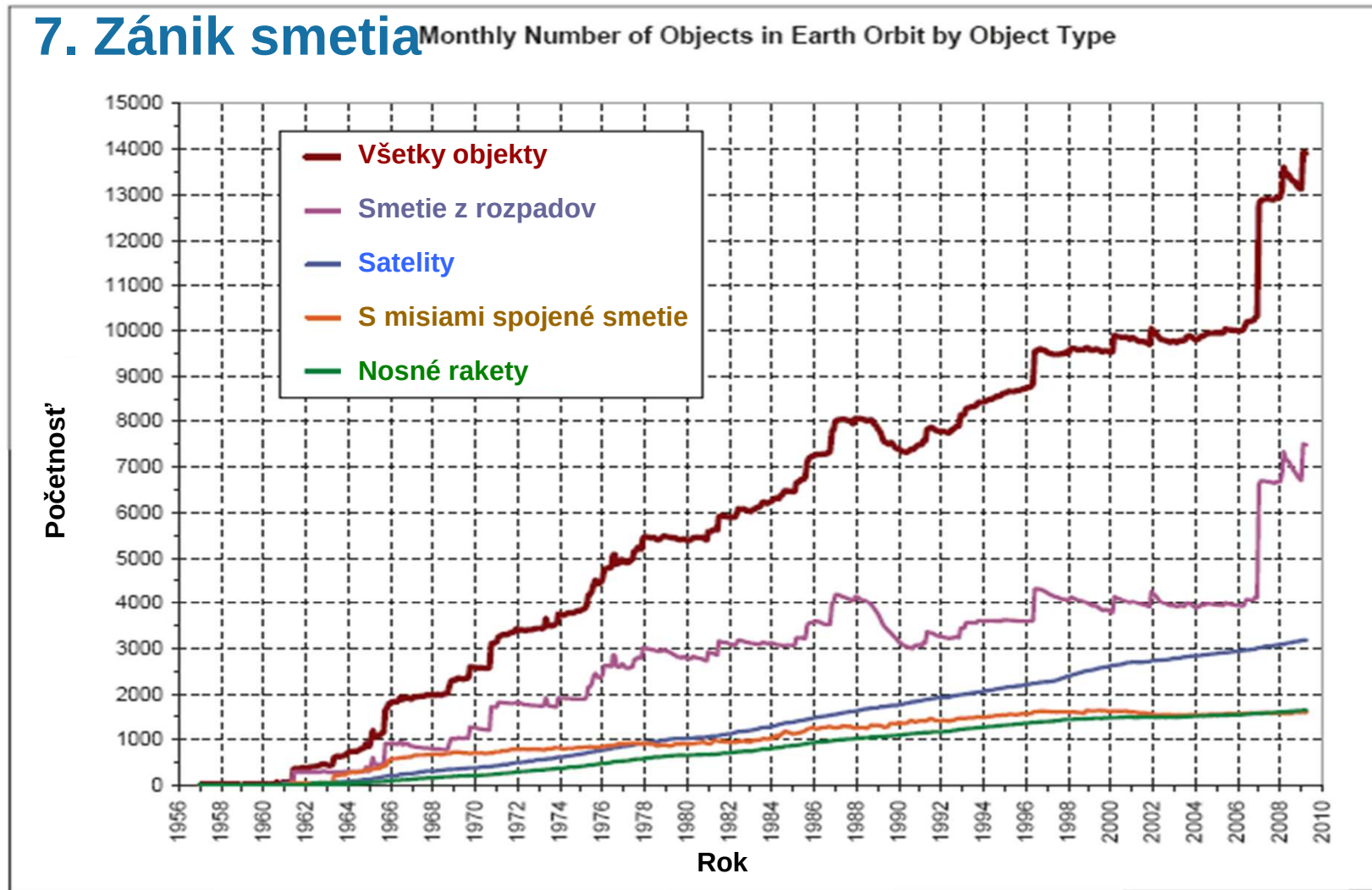


**01. Zánik ruskej vesmírnej stanice MIR (2001).** Najťažšie teleso (130 ton). Okolo 1500 úlomkov dopadlo do Tichého oceánu. Veľa očitých svedkov na Nadi a Fiji. Silné zvukové dunenie.





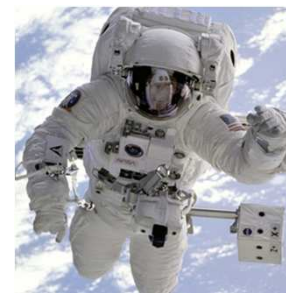
## 7. Zánik smetia



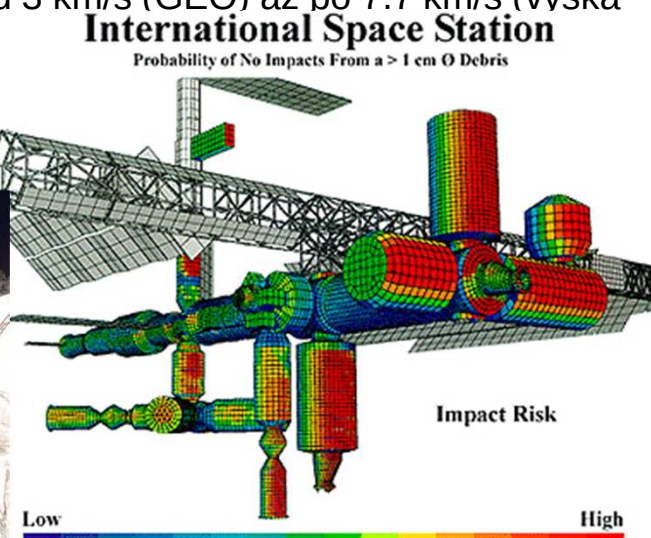
Graf rastu populácie katalogizovaných umelých telies na dráhe v okolí Zeme v závislosti od času.

## 7. ISS bezpečnosť

- Štíty ISS schopné odolať < 1 cm telesám, skafandre vôbec.
- V roku 2006 zaznamenaných 1951 impaktov.
- 28. júna 2011 evakuácia ISS z dôvodu zrážky s kozmickým smetím neznámeho pôvodu, najbližšia vzdialenosť ~ 400 m, 12. marca 2009 evakuácia ISS z dôvodu ohrozenia kolízie s kozmickým smetím z americkej nosnej rakety.
- Telesá sa pohybujú od 3 km/s (GEO) až po 7.7 km/s (výška ~ 240 km), ISS výška ~ 380 km.



Lod' Soyuz



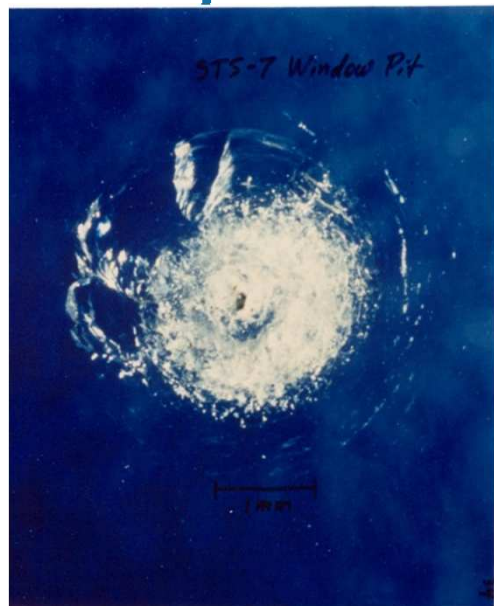
Pravdepodobnosť kolízie  
jednotlivých častí ISS  
s kozmickým smetím > 1 cm

Kompletná stanica ISS

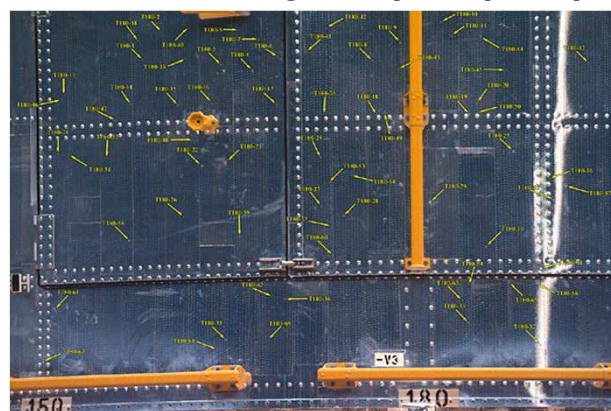




## 7. Bezpečnosť a impakty



STS Challenger impakt (1983)

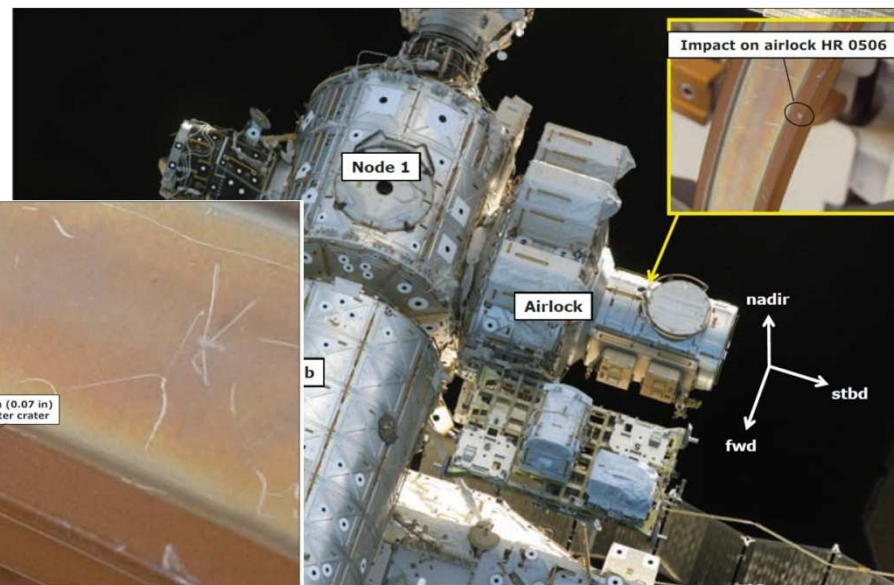


HST impakty (1990-2009)



Figure 2. Detail of MMOD impact on airlock hand rail.

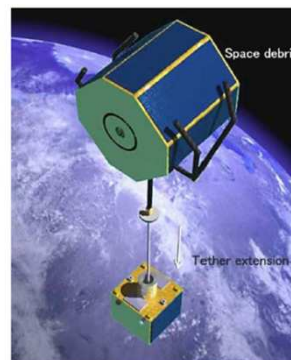
ISS impakty (2008)



STS Endeavour impakt (2008)

# Čo so vzniknutým smetím?

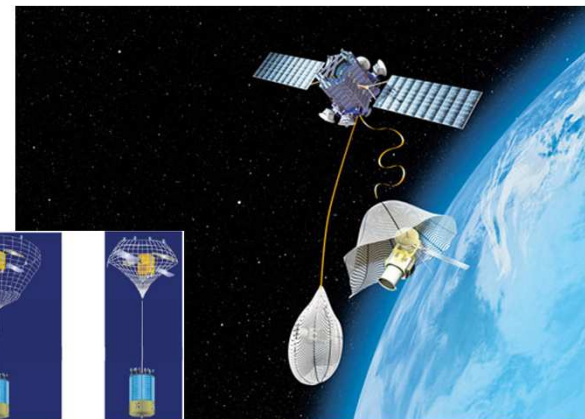
1. Pre veľké telesá (satelity, nosné rakety) viacero konceptov (sieť, harpúna, robotické rameno atď.)



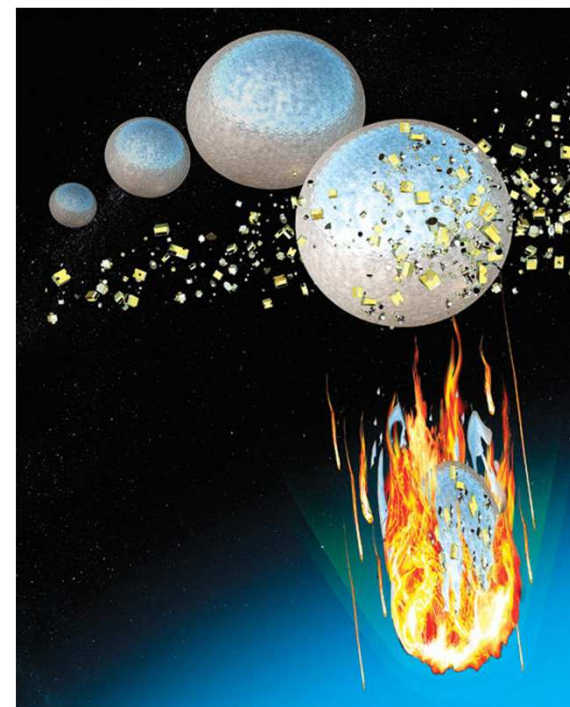
Micro Remover tether-extensible gripper with foldable arms, JAXA.



ROGER net-based capture concept, EADS Astrium.



3. Vytvorenie obrovských aerogelov na nízkyh dráhach, ktoré by zachytávali menšie čiastočky.



2. Nekontrolovateľné telesá (všetko smetie okrem nosných rakiet) by mohli pomocou impulzu (napr. laserom) nadobudnúť zánikovú dráhu. Možné použiť len na katalogizované objekty (>10 cm)!

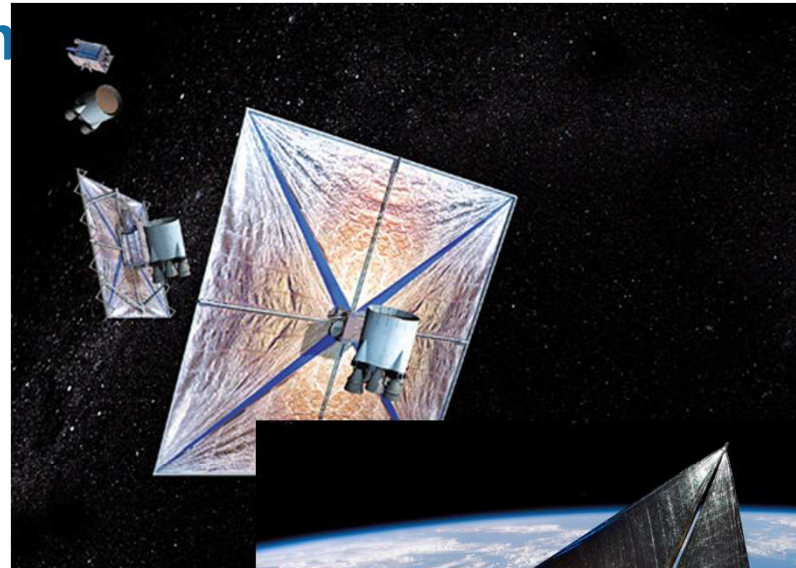


# Čo so vzniknutým smetím

4. Vypustenie plynného prachu, ktorý objekty pribrzdí (veľké aj malé).



6. Materiál na dráhe Zeme by sa spracoval na obežnej dráhe, kde by sa aj následne ďalej využil.



5. Veľké solárne plachty ktoré by zachytávali malé čiastočky smetia. NASA satellite NanoSail-D, január 2011 (obr. dole)

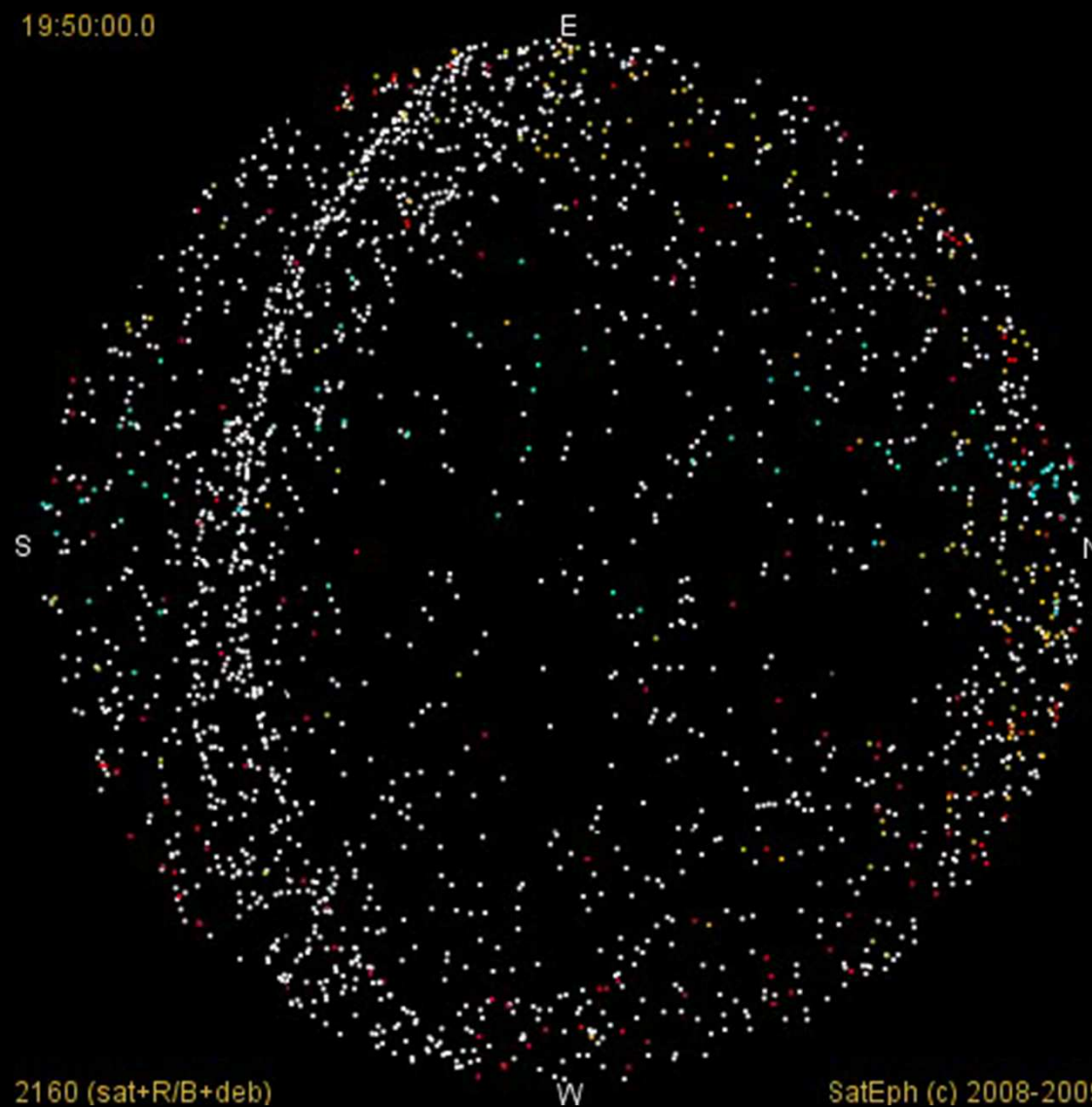
# 10 minút nad Bratislavou

19:50:00.0

FENGYUN 1C smetie

COSMOS 2251 smetie

IRIDIUM 33 smetie

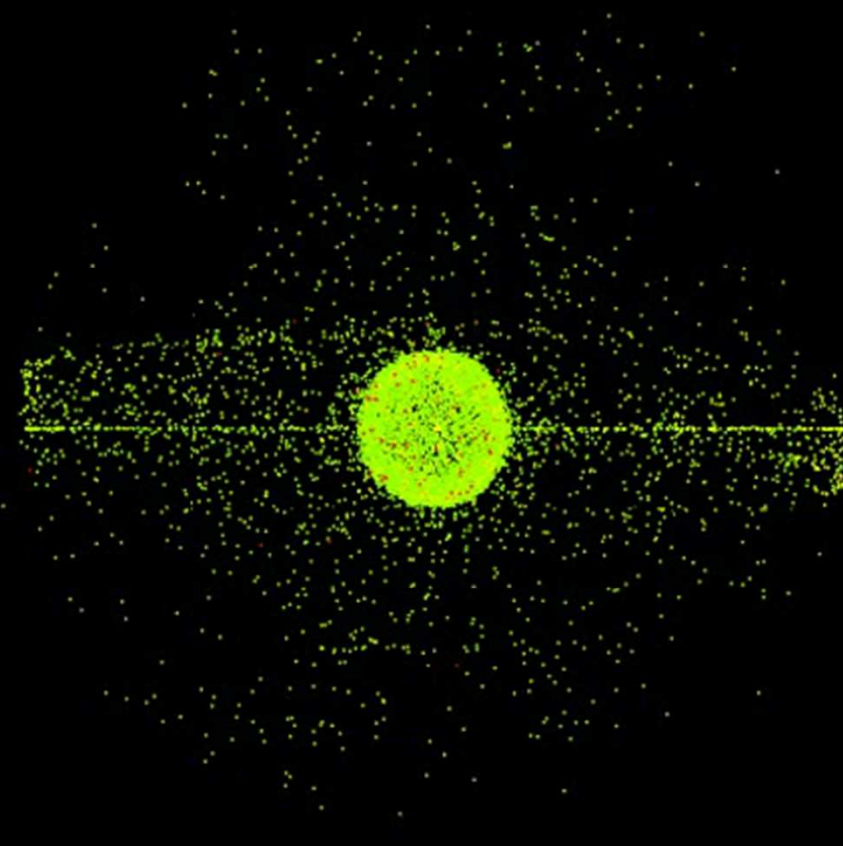
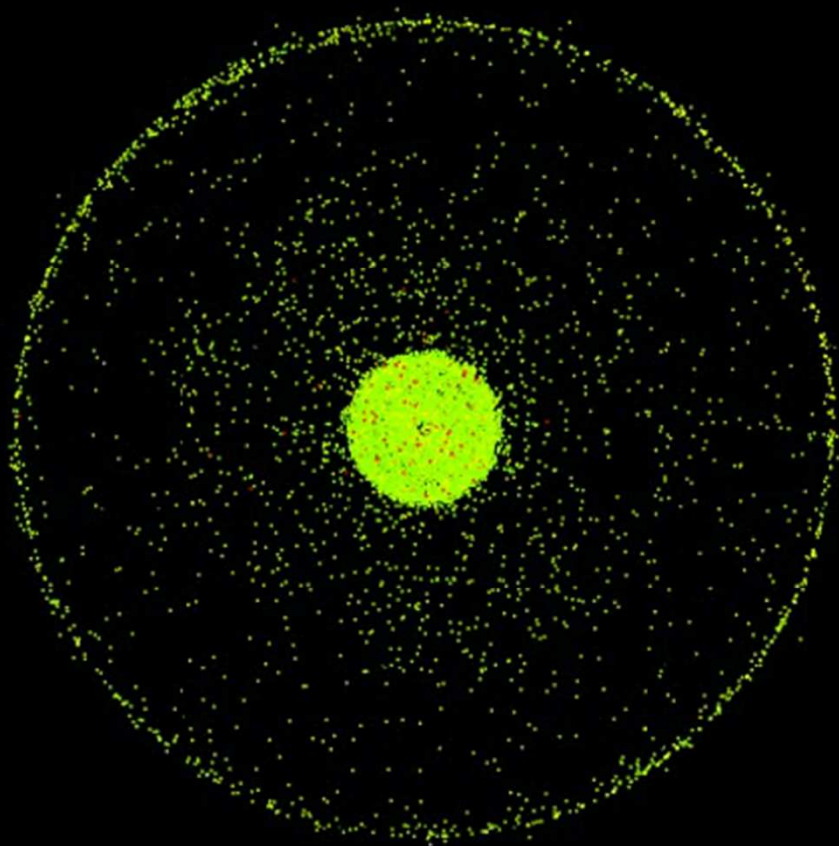


2160 (sat+R/B+deb)

SatEph (c) 2008-2009

# Ďakujem za pozornosť!

2008-11-08 00:00:00.0



Silha (c) 2008

<http://www.daa.fmph.uniba.sk>