



Komunikační technologie a oběžné dráhy Země

Jan Kramosil

srpen 2022

Úvod

Při detailním pohledu na problematiku komunikačních technologií se mimo jiné ukáže fakt, že pojmy Rádiový kmitočet a Oběžná dráha jsou ve vzájemné souvislosti zmiňovány jedním ze základních oborových mezinárodních dokumentů, kterým je Ústava ITU. Ve svém Článku 44 pojmenovaném „*Využití Rádiového spektra, geostacionárních a jiných oběžných drah*“ v odstavci 196/2 Ústava ITU definuje mimo jiné, že „....členské státy musí přihlížet k tomu, že rádiové kmitočty a související **oběžné dráhy** včetně geostacionárních **jsou omezeným přírodním zdrojem a musí být využívány racionálně, efektivně a hospodárně....**“.

Právě racionální, efektivní a hospodárné využívání oběžných drah zejména z pohledu mohutného a dynamického rozvoje komunikačních technologií se v současnosti stává velmi silným tématem. Jedná se ale o multidisciplinární problematiku, poměrně komplikovanou, kde se potkávají technologická řešení, ekonomická, geopolitická, vojenská a další témata. Cílem pojednání je přiblížit běžným zájemcům spíše poněkud populárnějším způsobem pojednávanou problematiku. Rozhodně není záměrem vytvoření „senzačních obav“ z další globální hrozby, kterou si lidstvo úspěšně vytváří. Dokument proto pomocí většího počtu odkazů na zdrojovou literaturu naznačuje cestu k podrobnějším a odborným informacím těm zájemcům, kteří stojí o hlubší pochopení načrtnutých problémů.

OBSAH

1.	Komunikační technologie a oběžné dráhy Země	4
2.	Rozvoj využívání oběžných drah Země – co se pohybuje kolem Země	7
3.	Jak se člověk chová ke kosmu v okolí Země	12
4.	Kosmické právo	21
5.	Kosmické smetí	23
6.	Globální riziko – řešení	25

Použité zkratky:

ARPA	Advanced Research Projects Agency
ARTEMIS	Program NASA, cílem je obnovení pilotovaných letů s lidskou posádkou na Měsíc
ASAT	Anti – satellite weapons, zbraně pro ničení satelitů
CERN	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, (Evropská organizace pro jaderný výzkum)
COPUOS.....	United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space
ČTÚ	Český Telekomunikační Úřad
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
ESA	European Space Agency
FCC	Federal Communications Commission
HAPS	High Altitude Platform Station / High Altitude Pseudo-Satellite
IADC	Inter-Agency Space Debris Coordination Committee
ITU.....	International Telecommunication Union
NASA	National Aeronautics and Space Administration
SSN.....	Space Surveillance Networks

Motto:

„Komunikační technologie jsou nezbytné, ale ne dostačující k tomu, aby spolu lidé vycházeli.“ (Arthur C. Clarke)

1. Komunikační technologie a oběžné dráhy Země.

S velkou mírou jistoty lze jako jeden z hlavních rysů prvních dvaceti let 21. století označit rozvoj univerzálních prostředků umožňující mnohohrstevnou vzájemnou komunikaci mezi lidmi obývajícími naši planetu.

Snaha o dosažení vyššího stupně možnosti a kvality komunikace mezi lidmi byla vždy výrazná. Lze zmínit jen začátek používání písma, pak vynález knihtisku, poté nalezení možností telegrafní komunikace či hlasové – telefonní komunikace a následně i videokomunikace. Od počátku dvacátého století začíná výrazně vstupovat na scénu obor radiokomunikací. Radiokomunikační technologie umožňují konstruovat komunikační kanály bez nutnosti využití metalických vodičů prostřednictvím využívání rádiových kmitočtů různých vlnových délek.

Ještě donedávna se hovořilo zejména o zemských radiokomunikacích, kterými rozumíme veškeré radiokomunikace jiné než kosmické radiokomunikace nebo radioastronomii. V současné době však stále většího významu a důležitosti při budování komunikačních systémů získávají i kosmické radiokomunikace, kterými se rozumí veškeré radiokomunikace zahrnující využití jedné nebo více kosmických stanic nebo jedné nebo více odrazných družic nebo jiných objektů v kosmickém prostoru.

Hlavní komunikační síť dnešní doby, která umožňuje neustále rozvíjet mnohohrstevnou vzájemnou komunikaci po celém světě, je síť internetu. Pro její konstrukci a provoz jsou využívány v první řadě zemské pevné kabelové metalické nebo optické sítě či rádiové sítě. Velký význam pro individuální přístup k internetu pak v současné době mají mobilní sítě, které jsou aplikací pohyblivé služby. Nicméně je však nezbytné zmínit i stále rostoucí význam a uplatnění družicových komunikačních sítí v pevné a pohyblivé družicové službě.

Všeobecná snaha pro zajištění přístupu k síti internetu kdekoli na zemi je obrovská. Stále je ale mnoho území, na kterých není internet běžně dostupný a pomocí zemských sítí jeho zpřístupnění není zatím ekonomicky reálné. Proto mimo jiné i z ekonomicko-obchodních důvodů je pořád častěji využívána idea zajišťování dostupnosti služby přístupu k internetu pro populaci v zatím nedostupných oblastech Země prostřednictvím družic/satelitů.

Je možno konstatovat, že vznik celosvětové komunikační sítě internetu velmi úzce souvisí se starty prvních oběžných družic tedy s počátkem tzv. „kosmické éry“. Tato skutečnost však není příliš známá.

V době, kdy již naplno probíhala „studená válka“ (1947–1991), ohlásily USA svůj záměr vypustit první vědeckou oběžnou družici Země. Mělo se tak stát v rámci Mezinárodního geofyzikálního roku 1957–1958. Díky opakovaným haváriím nosné rakety se však stal historicky prvním státem, který vypustil oběžnou družici, tehdejší Sovětský svaz. Dne 4. října 1957 byla na oběžnou dráhu vypuštěna družice Sputnik – 1. Tento den je také obecně považován za začátek tzv. kosmické éry. Baterie družice vydržely tři týdny, než se družice odmlčela a potom 4. ledna 1958 po třech měsících zanikla v atmosféře.

Měsíc po Sputniku 1 dne 3. listopadu 1957 byla vypuštěna druhá družice Sputnik 2 se zvířecí posádkou (pes Lajka). Družice zanikla v atmosféře po 162 dnech 14. dubna 1958.

Po počátečních potížích se podařilo i USA 1. února 1958 vypustit svojí první družici Explorer 1, celkově třetí v pořadí. Baterie družice vydržely 105 dnů. Družice celá však zanikla v atmosféře až po 12 letech 31. března 1980.

Svojí druhou družici Vanguard 1 celkově čtvrtou v pořadí vypustily USA 17. března 1958. Družice vydržela vysílat signály více než šest let. V současné době je již jako nefunkční stále na oběžné

dráze a její životnost je odhadována na cca 240 let.

V prostředí studené války tedy tehdy probíhala nevyhlášená soutěž o první průnik do kosmického prostoru, kterou překvapivě vyhrál Sovětský svaz. To se stalo jedním z hlavních důvodů, proč byla roku 1958 v USA založena agentura ARPA (DARPA), jejímž úkolem bylo udržet technologický náskok ozbrojených sil USA a předejít dalším překvapivým událostem podobným jako vypuštění družice Sputnik 1. Právě agentura ARPA dostala zadání na vývoj komunikační sítě pro počítače, která by neměla žádné uzly podobné telefonním ústřednám a místo toho by bylo řízení sítě decentralizováno, takže by zůstávala funkční i při výpadku některých jejích částí. Zadání tím reflektovalo některé hrozby studené války, které spočívaly v masivním ničení komunikační infrastruktury jadernými zbraněmi.

Takto je tedy spojen vznik moderní komunikační sítě (dnes Internet) s počátkem kosmické éry. Historii rozvoje internetu pak lze shrnout v krátkosti takto:

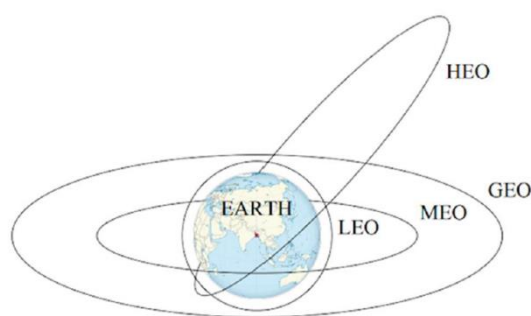
- 1962 – vzniká projekt počítačového výzkumu agentury ARPA
- 1969 – vytvořena experimentální síť ARPANET, první pokusy proběhly 2. září s přepojováním 4 uzlů.
- 1987 – vzniká pojem „Internet“
- 1990 – končí ARPANET
- 1991 – nasazení WWW v evropské laboratoři CERN
- 1996–55 milionů uživatelů
- 2000–250 milionů uživatelů
- 2005–900 milionů uživatelů
- 2010 – přes 2 miliardy uživatelů
- 2021 – přes 4,9 miliardy (3 miliardy, 37 % lidí bez internetu) viz ITU

Zdroj: [Facts and figures 2021 \(itu.int\)](https://www.itu.int/en/ITU-T/infocomms/Pages/factsandfigures2021.aspx)

Možnost poskytování služby přístupu k internetu prostřednictvím družic/satelitů začala být reálně zvažována v polovině 90. let minulého století. První společností, která začala vážně prosazovat nasazení této platformy byla v USA společnost Hughes Aircraft Co. v roce 1993. Nicméně regulační úřad FCC v roce 1995 vydal povolení pro využití družicového Ka kmitočtového pásma v rozsahu 17,7 – 31 GHz celkem 15 společnostem, aby mohly zahájit provoz komunikačních družic umožňujících poskytování služby přístupu k síti Internet.

Na tomto místě je vhodné uvést, který typ oběžných drah Země je většinou družicemi využíván a jak.

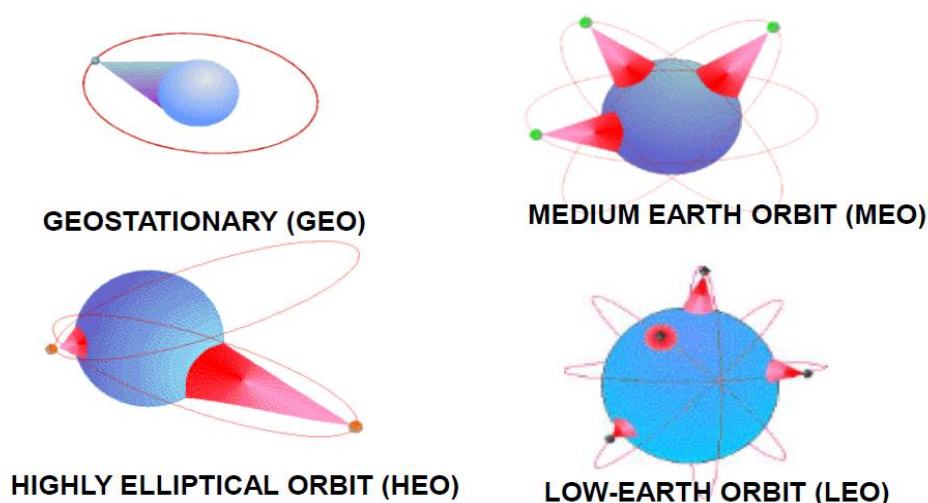
Obr. 1 – Oběžné dráhy podle vzdálenosti od Země.



Source: International Journal of Networks and Communications

HEO – High Elliptical Orbit	500 – 50 000 km – kvazi-geostacionární dráha (např. Molnija, délka spojení až 3,5 hod.)
GEO – Geosynchronous Orbit	35 786 km – na průmětu rovníku
MEO – Medium Earth Orbit	od 2 000 do 36 000 km (typicky 20 200 km, GPS, oběh 12 hod)
LEO – Low Earth Orbit	do 2 000 km

Obr. 2 – Možnosti pokrytí zemského povrchu signálem z komunikačních družic.



Pozn.: cca od roku 2018 NASA sleduje ještě pohyb na oběžných drahách nazývaných Super-GEO. Jedná se o oběžné dráhy o poloměru od 35 786 km do cca 600 000 km. Satelity na těchto drahách plní úkoly spojené s detailním průzkumem vesmíru.

Zdroj: US Patent 9,908,640 B2 [US000009908640B220180306 \(storage.googleapis.com\)](https://storage.googleapis.com)

Základními parametry [Tiskopis ČTÚ – značka (logo) ČTÚ (ctu.cz)] určujícími kvalitu sítí pro vysokorychlostní internetové připojení jsou rychlost připojení (maximální, minimální, inzerovaná a běžně dostupná [Mbit/s]) a dále zpoždění (latence, delay [ms]).

Pokud porovnáme kvalitu připojení v zemské síti a v síti využívající družice, jeví se pro hodnocení kvality připojení jako podstatné hodnoty zpoždění, kterých je možno dosahovat u sítí využívajících družice.

V rámci zemských sítí jsou běžně dosahovány hodnoty zpoždění, respektive času odezvy v řádu jednotek ms i méně. V případě sítí využívajících družice je tomu jinak vzhledem k délce dráhy rádiového signálu od země ke družici a zpět. Teoretická hodnota odezvy v případě GEO družice se pohybuje okolo 490 ms a více.

V případě využití družic LEO může teoretická hodnota odezvy dosahovat hodnot jednotek ms avšak v praxi se jedná o desítky ms a více.

První realizované družicové systémy pro zajištění přístupu k internetu v polovině 90. let minulého století a později využívaly komunikační družice umístěné na GEO dráze. Nicméně logickou snahou současných konstruktérů a provozovatelů družicových sítí je dosahovat s ohledem na stále náročnější provozované aplikace hodnot zpoždění srovnatelných se zemskými sítěmi. Důvodem je záměr provozovatelů dostat sítě využívající družice do role plnohodnotné náhrady zemských sítí. Proto se po roce 2015 jejich aktivity při přípravách návrhů sítí umožňujících poskytování připojení k internetu na téměř celé ploše zemského povrchu soustředily zejména na využití družic obíhajících Zemi na nízkých oběžných drahách (LEO).

2. Rozvoj využívání oběžných drah Země – co se pohybuje kolem Země.

Od 4. října 1957 se do využívání kosmického prostoru na oběžných drahách Země postupně začaly zapojovat další státy.

Obr. 3 – Zapojení států do využívání oběžných drah Země.

První umělé družice podle země schopné je vypustit vlastními silami

Stát	Rok startu	Kosmodrom	Nosná raketa	Družice
Sovětský svaz (resp. dnes Rusko)	1957 (1992)	Bajkonur (Pleseck)	Sputnik (Sojuz U)	<i>Sputnik 1</i> (<i>Kosmos 2175</i>)
Spojené státy	1958	Cape Canaveral	Juno I (Jupiter-C)	<i>Explorer 1</i>
Francie	1965	Hamaguir	Diamant A	<i>Asterix</i>
Japonsko	1970	Kagošima	Lambda 4S	<i>Ōsumi</i>
Čína	1970	Ťiou-čchuan	Čchang Čeng CZ-1	<i>Tung-fang-chung 1</i>
Spojené království	1971	Woomera	Black Arrow	<i>Prospero X-3</i>
Indie	1980	Šríharikota	SLV-03	<i>Rohini</i>
Izrael	1988	Palmachim	Šavit	<i>Ofek-1</i>
Ukrajina ^[pozn. 1]	1991 (1995)	Pleseck	Cyklon 3	<i>Strela 3</i> (<i>Sič 1</i>)
Írán	2009	Semnán	Safir 2	<i>Omid 1</i>
Severní Korea	2012	Sohae	Unha-3	<i>Kwangmyŏngsŏng-3</i>
Jižní Korea	2013	Naro Space Center	Naro-1	<i>STSAT-2C</i>
Nový Zéland	2018	Rocket Lab Launch Complex	Electron	<i>CubeSat</i>

Kosmická éra trvá již téměř 65 let. Za tuto dobu člověk svými aktivitami obsadil oběžné dráhy v okolí Země tak, jak je uvedeno na Obr. 4.

Obr. 4 – Situace na oběžných drahách téměř 65 let po začátku kosmické éry.

Počet raketových nosičů vypuštěných od začátku kosmické éry v roce 1957 (kromě neúspěšných startů)	cca 6 220
Počet družic vynesných těmito nosiči na oběžnou dráhu	cca 13 320
Z nich počet družic, které jsou stále nyní na oběžné dráze	cca 8 580
Z nich stále funkčních družic	cca 6 000
Počet objektů kosmického odpadu pravidelně sledovaných a zaznamenaných dohledovými sítěmi SSN (viz Obr. 5)	cca 31 550
Odhadovaný počet havárií, explozí, kolizí nebo zvláštních událostí vedoucích k fragmentaci oběžného tělesa od roku 1957	Více než 630
Celková hmotá všech objektů na oběžné dráze	Více než 9 900 tun
Počet objektů kosmického odpadu, které se nachází podle statistických modelů na oběžné dráze	
Objekty větší než 10 cm	36 500
Objekty od větších než 1 cm do 10 cm	1 000 000
Objekty od větších než 1 mm do 1 cm	130 000 000

Informace uvádí ESA k 11.7.2022, Zdroj: [ESA - Space debris by the numbers](#)

Obr. 5 - Nejznámější sítě SSN

Network Name	Nuber of sites	Number of telescopes	Ownership	Activity
GEODSS	3	8	United States	Space Debris
ISON	14	31	Russia/International	Space Debris
OWL-Net	5	5	Korea (South)	Space Debris
OGS	1	1	ESA	Space Debris
Pan-STARRS	1	2	United States	Asteroids
Catalina	1	3	United States	Asteroids
Las Cumbres	9	18	United States	Scientific Research
MASTER	9	18	Russia	Scientific Research
ROTSE III	4	4	Australia and Germany	Scientific Research
TAROT	4	4	France	Scientific Research
SuperWASP	2	2	UK and Spain	Scientific Research
HATNet	6	13	United States	Scientific Research
ZTF	1	1	United States	Scientific Research
AVALON	12	12	Italy	Space Debris

Zdroj: [Space Surveillance Network – SpaceWeather \(avalon-instruments-spaceweather.com\)](http://SpaceSurveillanceNetwork-SpaceWeather.com)

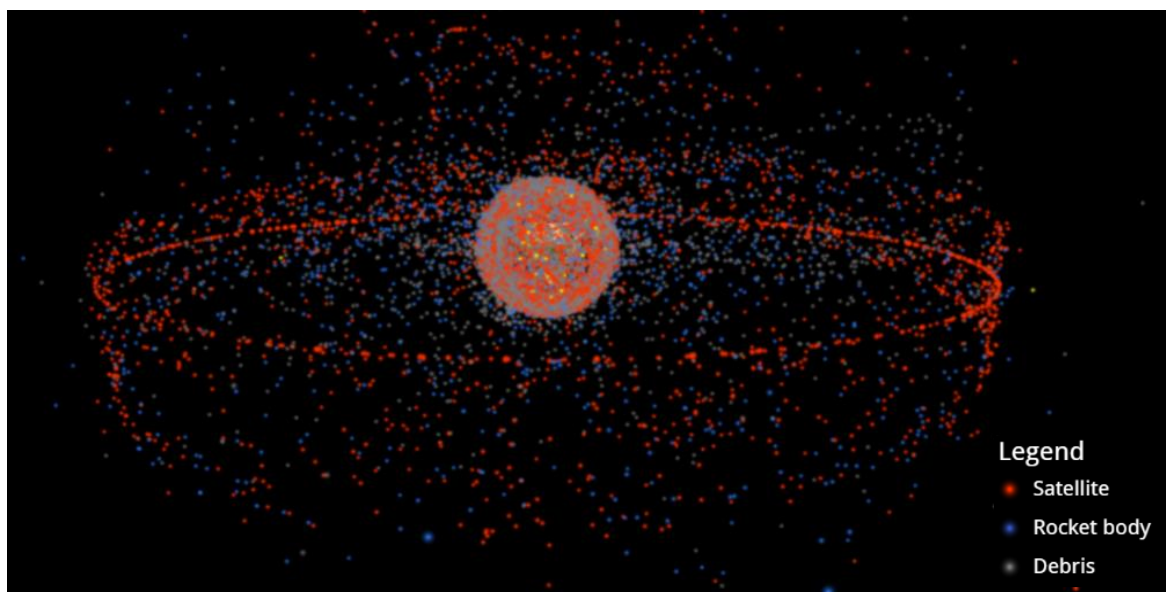
Vizuální model pro porovnání stavu oběžných drah a kosmického prostoru v okolí Země na začátku a konci posuzovaného 64-letého období je na Obr. 6 a, b, c.

Obr. 6 a – Pohled na kosmický prostor v okolí země do 4. října 1957



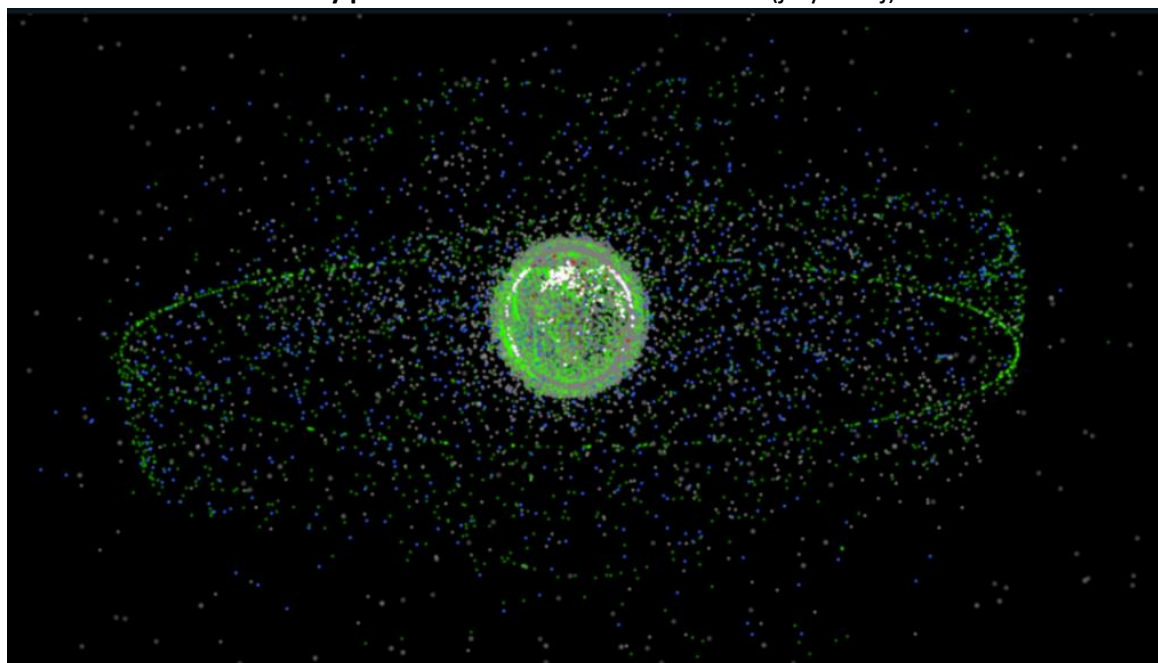
Zdroj: LeoLabs

Obr. 6 b – Pohled na kosmický prostor v okolí Země v lednu 2022



Zdroj: [Stuff in Space \(roque.space\)](http://StuffinSpace.roque.space)

Obr. 6c – Pohled na kosmický prostor v okolí Země v lednu 2022 (jiný zdroj)



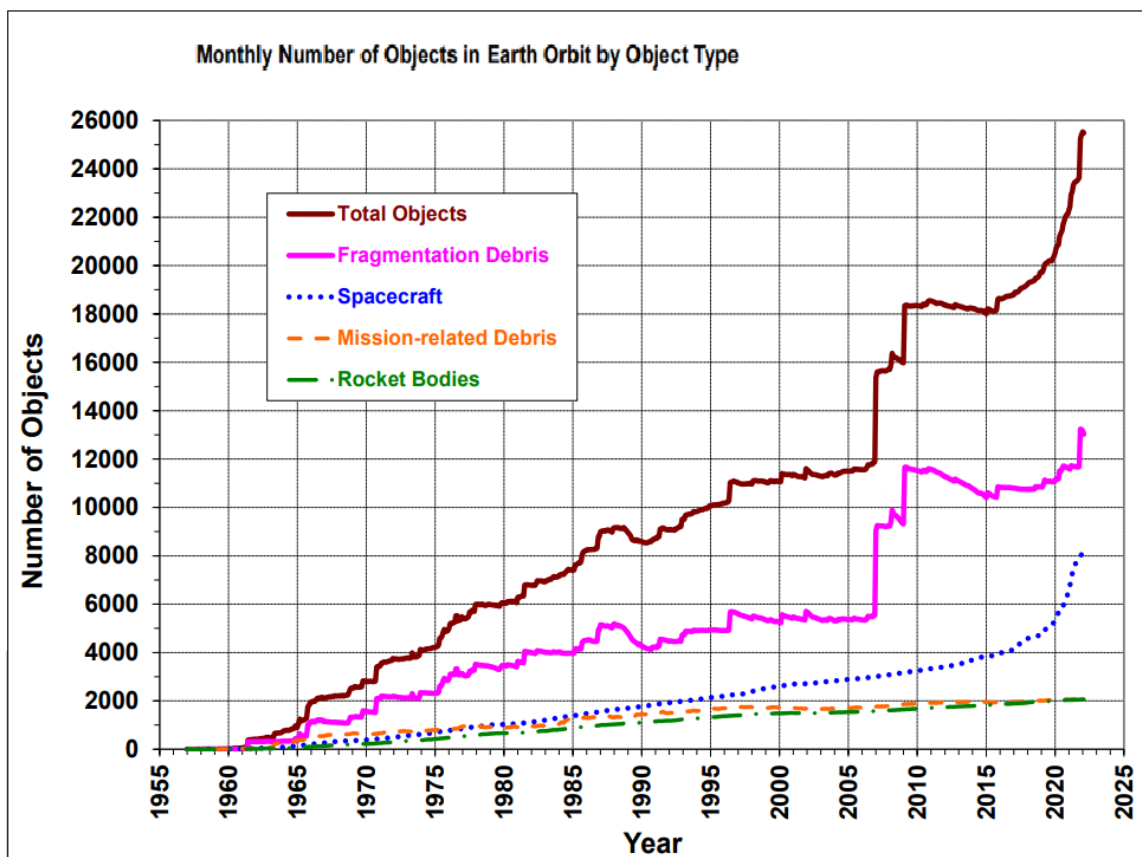
Zdroj: Keeptrack.space

Je tedy zřejmé, že v okolním prostoru Země se dnes pohybuje velký počet objektů různé velikosti. Objekty lze rozčlenit do několika hlavních kategorií:

- Kosmické těleso sloužící nějakému účelu (družice, sonda, aj., funkční i nefunkční) – **Spacecraft**
- Stupně nosných raket – **Rocket Bodies**
- Kosmický odpad (smetí) jako vypuštěné, oddělené nebo uvolněné části v souvislosti s některou z uskutečněných misí (vypuštění družice, sondy) – **Mission – related Debris**
- Kosmický odpad (smetí) jako částice, předměty nebo objekty vzniklé při destrukci družice, při mimořádných událostech v kosmu jako jsou srážky těles nebo exploze – **Fragmentation Debris**

Postupný nárůst objektů v uvedených kategoriích na oběžných drahách k datu 1. březnu 2022 je uveden na Obr. 7. Zdrojem dat je NASA, která využívá údaje US Space Surveillance Network (SSN) o sledovaných objektech registrovaných v katalogu SSN.

Obr. 7 – Měsíční počty objektů na oběžných drahách podle kategorie.



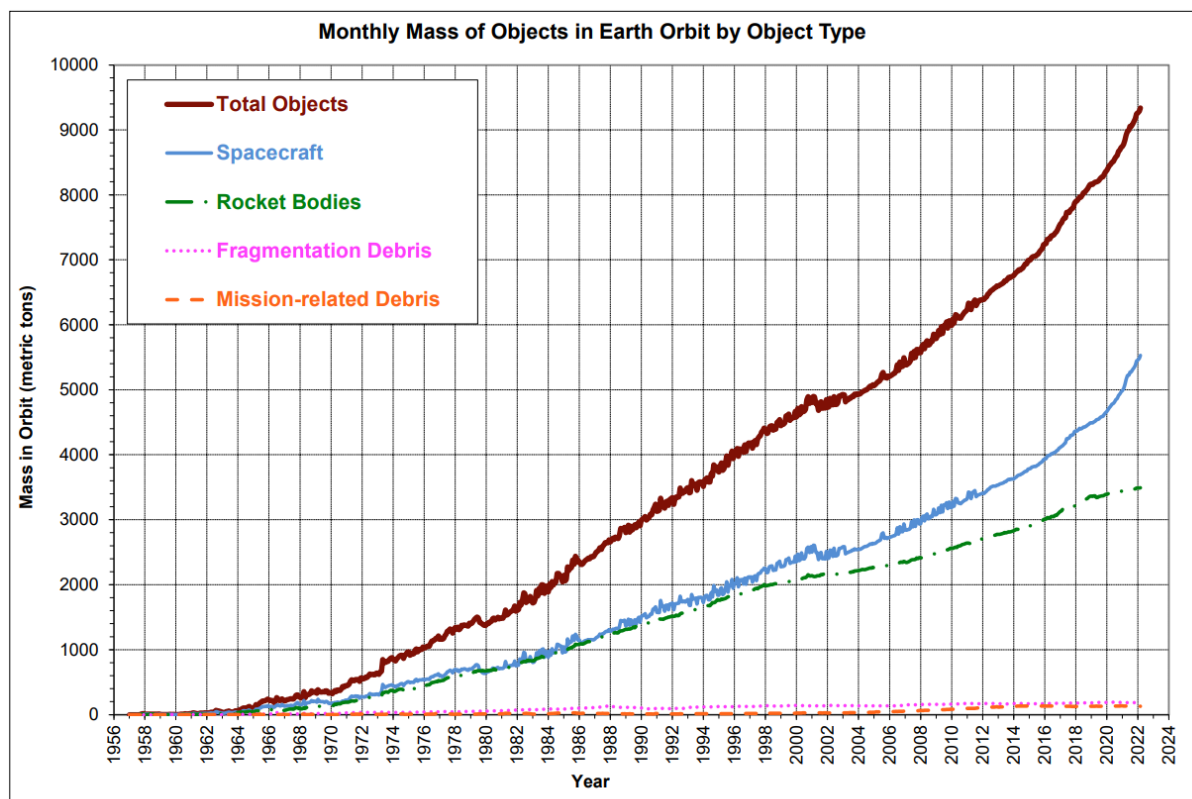
Historical increase of the cataloged objects based on data available on 1 March 2022.

This chart displays a summary of all objects in Earth orbit officially cataloged by the U.S. Space Surveillance Network. "Fragmentation debris" includes satellite breakup debris and anomalous event debris, while "mission-related debris" includes all objects dispensed, separated, or released as part of the planned mission.

Zdroj: [ARES | Orbital Debris Program Office | Quarterly News \(nasa.gov\)](https://ares.nasa.gov/orbital-debris-program-office/quarterly-news)

Kromě dnes již velkého počtu objektů na oběžných drahách je rovněž zajímavý údaj o stále rostoucím celkovém objemu jejich hmoty v prostoru, který je uveden na Obr. 8.

Obr. 8 – Objem hmoty na oběžných drahách podle kategorie (3. květen 2022).

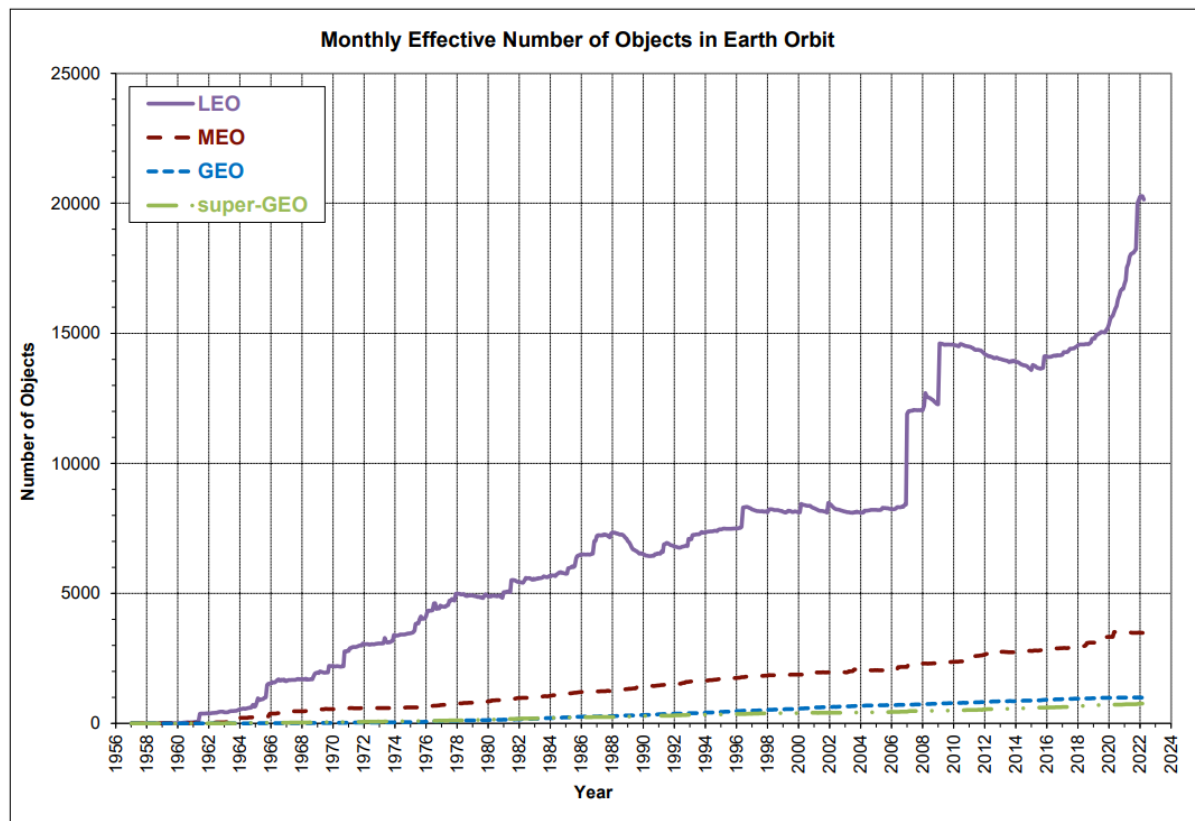


Monthly Mass of Objects in Earth Orbit by Object Type as of 3 May 2022. This chart displays the mass of all objects in Earth orbit officially cataloged by the U.S. Space Surveillance Network.

Zdroj: [ARES | Orbital Debris Program Office | Quarterly News \(nasa.gov\)](#)

Dalším zajímavým údajem je potom způsob rozdělení registrovaných a sledovaných objektů podle typu oběžných drah, který je uveden na Obr. 9.

Obr. 9 – Počty objektů na jednotlivých oběžných drahách (k červnu 2022).



Monthly Effective Number of Objects in Earth Orbit by Orbital Regime cataloged by the U.S. Space Surveillance Network, except those with SSN numbers of 80,000 and greater. This chart displays the number of all objects in Earth orbit officially cataloged by the U.S. Space Surveillance Network. Low Earth orbit (LEO) includes resident space objects (RSOs) with altitudes within or crossing below 2,000 km; medium Earth orbit (MEO) RSOs with altitudes within or crossing the range from 2,000 km to 35,586 km; geosynchronous orbit (GEO) RSOs with altitudes within or crossing the range from 35,586 km to 35,986 km; and the remainder with altitudes within or crossing the range from 35,986 km to 600,000 km, referred to as Super-GEO. "Effective" number sums the fraction of each orbit that falls within the specified ranges. Cataloged objects without available orbital elements are excluded.

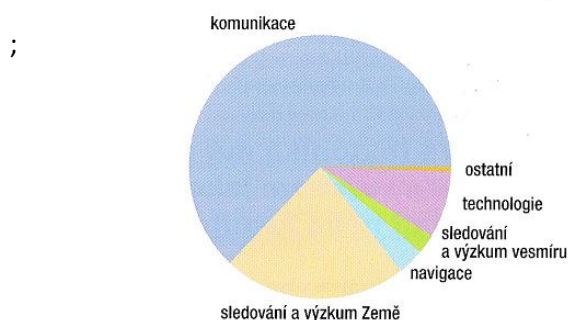
Zdroj: [ARES | Orbital Debris Program Office | Quarterly News \(nasa.gov\)](#)

3. Jak se člověk chová ke kosmu v okolí Země.

Jak bylo uvedeno, začal přibližně od roku 2017 dramaticky a téměř exponenciálně narůstat počet objektů, které se pohybují na oběžných drahách Země. Podle údajů ESA se v okolí Země dnes pohybuje cca 31 550 pravidelně sledovaných objektů. Z nich je sledováno cca 8 580 družic na oběžných drahách, ze kterých je v současnosti cca 6 000 funkčních. Počet sledovaných objektů však stále každý měsíc rychle roste.

Co se týká účelu jednotlivých funkčních družic je rozdělení uvedeno na Obr. 10.

Obr.10 - Typy družic podle svého hlavního poslání na oběžných drahách Země.



Zdroj: časopis Vesmír č.101, leden 2022, str.29

Je vidět, že převážná část družic byla vypuštěna se záměrem zajišťovat komunikační služby. V tomto případě se jedná o „komunikační družice“.

Jak se na současném počtu družic na oběžných drahách podílí zainteresované státy, je uvedeno na Obr. 11.

Obr. 11 – Podíl hlavních zainteresovaných států na obsazení oběžných drah družicemi.

SATELLITE BOX SCORE (as of 4 May 2022, cataloged by the U.S. SPACE SURVEILLANCE NETWORK)			
Country/ Organization	Spacecraft*	Spent Rocket Bodies & Other Cataloged Debris	Total
CHINA	529	3833	4362
CIS	1556	6707	8263
ESA	96	60	156
FRANCE	80	520	600
INDIA	107	115	222
JAPAN	207	111	318
UK	480	1	481
USA	4433	5209	9642
OTHER	1068	97	1165
TOTAL	8556	16653	25209

* active and defunct

Pozn.: CIS – The Commonwealth of Independent States, tedy Rusko

Zdroj: [Orbital Debris Quarterly News 26-2 \(nasa.gov\)](https://www.nasa.gov/orbital-debris/quarterly-news/26-2)

Jednotlivá čísla, která uvádí NASA se mohou částečně lišit od údajů zveřejňovaných ESA. Hlavními důvody je, že každá organizace používá jiné soustavy SSN, a navíc jsou často k dispozici výsledky zveřejňované k jiným časovým bodům. I to ukazuje, že změna počtu objektů na oběžných drahách je velmi dynamická. Ve své podstatě a pro účely tohoto typu úvah si však údaje o počtech neodporují.

Jednoznačně nejvíce obsazené kosmickými objekty jsou oběžné dráhy LEO. To je názorně ukázáno na modelu Obr. 6 a na grafu Obr. 9. Počet družic na oběžných drahách je však menší částí z celkového počtu objektů na oběžných drahách. Nejvýznamnější část objektů, které se pohybují kolem Země, a to zvláště na drahách LEO, představuje takzvané „Kosmické smetí“ nebo „Kosmický odpad“ (Space Debris). Kosmické smetí je tvořeno jak zbytky nosných raket, tak i částmi (zbytky) souvisejícími s procesem vypuštění umělého oběžného tělesa. Hlavně (viz Obr. 7) však je kosmické smetí tvořeno částicemi, které vznikají destrukcí družic či dalších objektů, explozích nebo jiných mimořádných událostech ve vesmíru a při neodvratných, avšak běžných vzájemných srážkách mezi jednotlivými

objekty. Počet objektů různých rozměrů se tak samovolně postupně zvětšuje, což je jednoznačně důsledkem stále četnější technické činnosti lidstva na oběžných drahách.

Některé z nejznámějších zaznamenaných mimořádných událostí na oběžných drahách jsou uvedeny na Obr. 12.

Obr. 12 – Významné mimořádné události na oběžných drahách Země.

Pořadí	Stát	Datum	Akce	Cíl
1	USA	13.9.1985	sestřelení	Družice Solwind-178
2	FRA	25.7.1996	srážka	Fragment Ariane-1 do družice Cerise (Fra)
3	Čína	11.1.2007	rozstřelení	Feng-yun-1C
4	USA	21.2.2008	sestřelení	USA-193 (NRO-L21)
5	Rusko/USA	10.2.2009	srážka	Nefunkční Kosmos-2251 a Iridium-33
6	Indie	3.2.2019	rozstřelení	Mikrosat-R
7	Rusko	15.11.2021	rozstřelení	Ikar-39L z programu Celina-D (krycí jméno Kosmos-1408) - test zbraně DA-ASAT

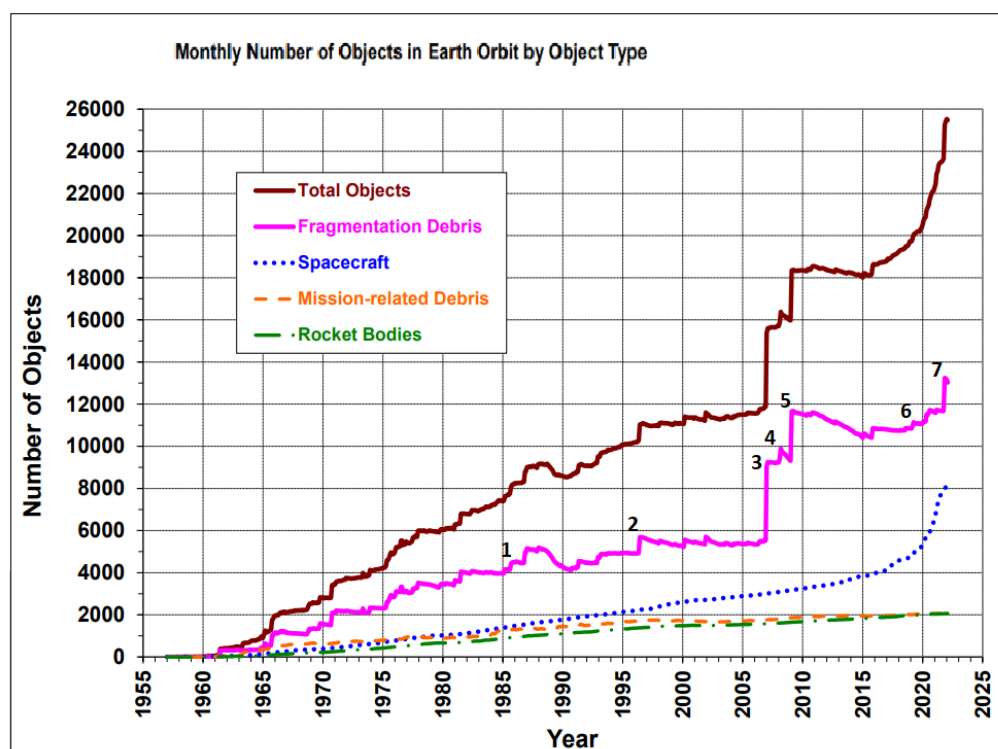
Pozn.: **sestřelení** – cílový objekt obdrží po zásahu impulz, který mu upraví dráhu a navede jej do atmosféry

rozstřelení – zásahem cílového objektu dojde k jeho neřízené fragmentaci na oběžné dráze

Jak se tyto mimořádné události projeví na celkovém nárůstu objemu kosmického smetí v průběhu času je uvedeno na Obr. 13.

Obr. 13 – Mimořádné události a nárůst objemu kosmického smetí.

j



Historical increase of the cataloged objects based on data available on 1 March 2022.

This chart displays a summary of all objects in Earth orbit officially cataloged by the U.S. Space Surveillance Network. "Fragmentation debris" includes satellite breakup debris and anomalous event debris, while "mission-related debris" includes all objects dispensed, separated, or released in part of the planned mission.

Obr. 12 a 13 ukazují, že zásadní podíl na růstu objemu kosmického smetí mají aktivity, které jsou označovány jako „ASAT“. Dnes se jedná o testy zbraní (tzv. Anti-SATellite weapons), na kterých se podílí zejména čtyři země USA, Rusko, Čína a Indie.

V posledních čtyřech letech strmě stoupá aktivita v oblasti komunikačních družic. Idea zajištění služby přístupu k internetu uchvátila mnoho hlavně soukromých společností. K vytvoření družicových komunikačních sítí jsou navrhovány tzv. „Družicové megakonstelace“. Tato řešení spočívají v tom, že každý z provozovatelů takové komunikační sítě postupně vytvoří soustavu tvořenou stovkami nebo tisíci komunikačních družic na nízké oběžné dráze LEO. Od roku 2019 se počet komunikačních družic v megakonstelacích na LEO drahách jen dvou komerčních firem SpaceX a OneWeb zvýšil na více než 2 260. To je 38 % z celkového počtu cca 6 000 aktivních družic na oběžných drahách.

Stále stoupající úroveň „znečištění“ oběžných drah zejména kosmickým smetím a sílí pochybnosti o potřebě použít pro konstrukci komunikačních sítí umožňujících přístup k internetu družicové megakonstelace na drahách LEO v současném objemu, který navíc se stále větší dynamikou roste, vedou ke vzniku stále častějších stížností, varovných signálů a doporučení. Tato varovná stanoviska s narůstajícím důrazem kladou otázku, zda je nezbytné použít pro zajištění přístupu k internetu tak velké počty komunikačních družic sdružených do většího počtu samostatných megakonstelací a zda tato technická řešení nemohou narušit dlouhodobou udržitelnost jedinečného přírodního zdroje, kterým oběžná dráha bezpochyby je.

Již nyní za současného stavu naplnění oběžných drah jsou pojmenovávána nejviditelnější rizika tohoto způsobu využívání oběžných drah v následujících hlavních kategoriích:

- **Astronomie** – kosmické smetí a oběžná tělesa vytvoří štít (krunýř), který podstatně zhorší či zásadně omezí schopnost podrobného zkoumání vesmíru. Mohlo by tak dojít i k přehlédnutí či nezaregistrování jevů, které mohou být životně důležité pro existenci života na zemi.

Příklad z oblasti optického pozorování vesmíru

Na místní obloze značně postižené světelným znečištěním a pro zachycení některých pozorovaných objektů např. slábnoucí komety je nezbytné použití metody snímání mnoha expozic. Výsledek v dnešní situaci zaplnění oběžných drah (konkrétně megakonstelace StarLink) a porovnání současných pozorování s nerušeným výhledem do kosmu ukazuje Obr. 14 a, b, c.

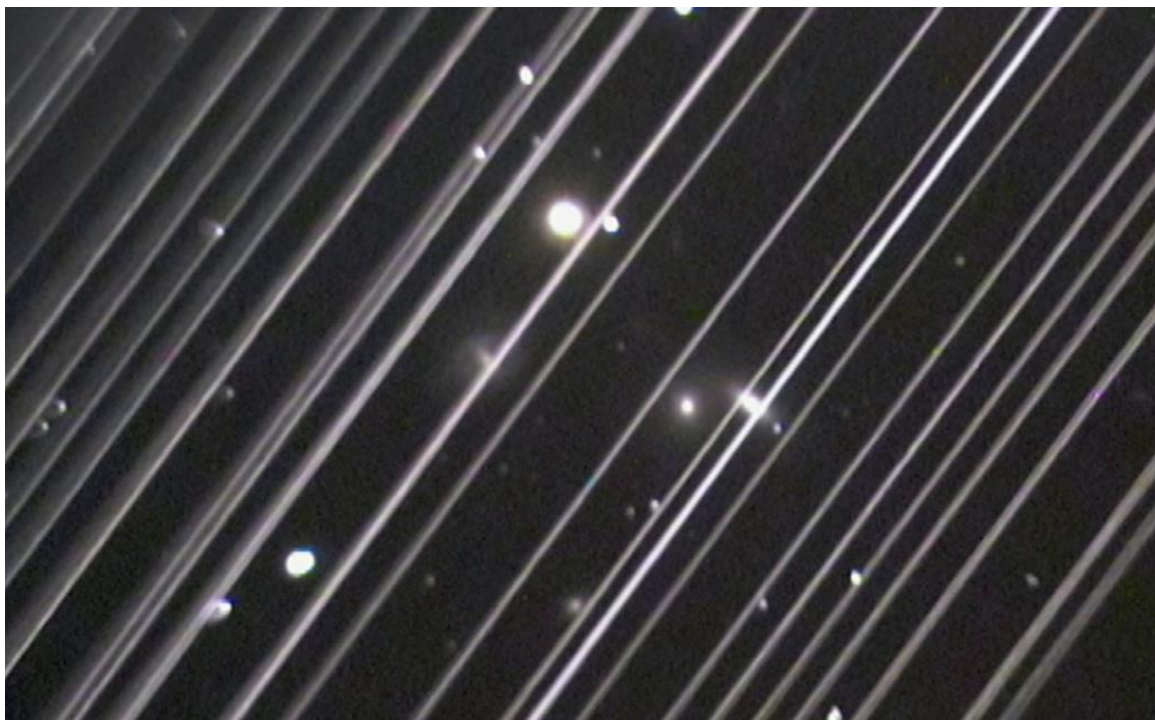
Obr. 14 a – Pozorování komety C2019/Y4 (ATLAS), 19.4.2020.



Zdroj: Zdenek Bardon

Zdroj: https://tn.nova.cz/zpravodajstvi/clanek/409160-takto-vypada-nebe-pokryte-druzicemi-starlink-astronomie-zuri?campaignsrc=tn_clipboard

Obr. 14 b – Skupina galaxií NGC 5353/4.

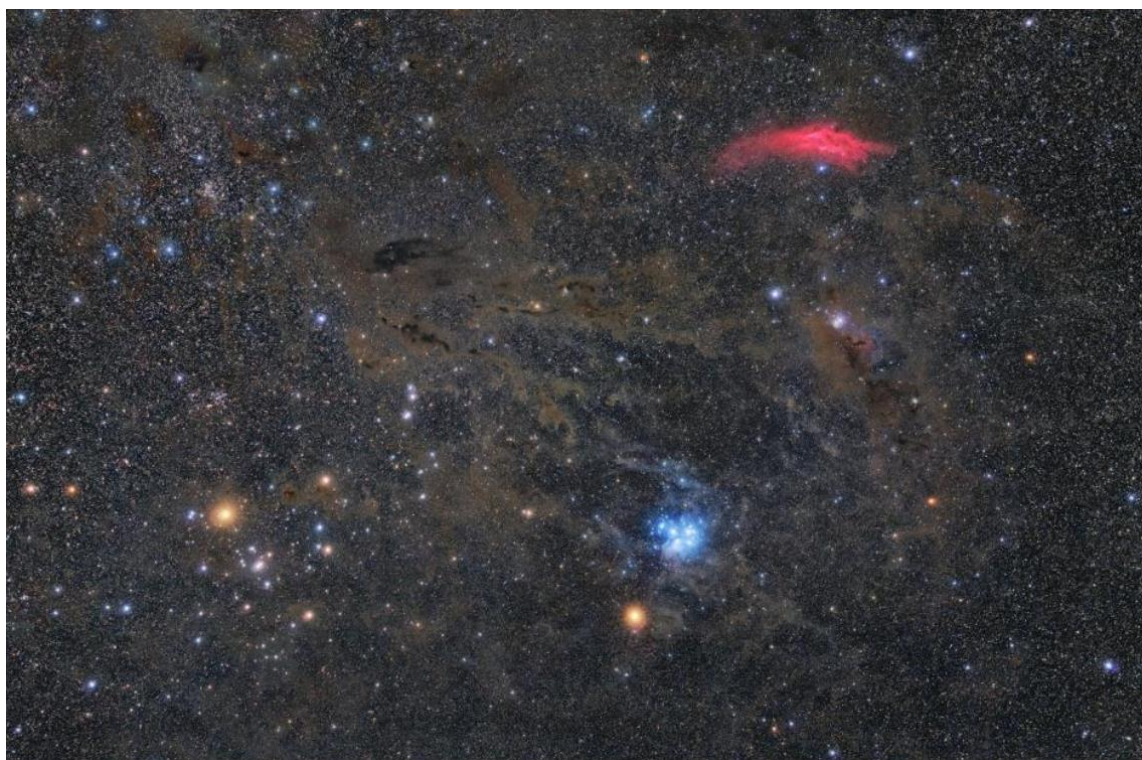


Skupina galaxií NGC 5353/4 na snímku z Lowell Observatory v Arizoně. Dlouhé světelné stopy na fotografii způsobilo 25 z 60 družic Starlinku.

Autor: Victoria Girgis/Lowell Observatory

Zdroj: [Už nejde jen o sténání amatérů. Zničíte vědu, varuje IAU před Starlinkem a dalšími konstelacemi - Exoplanety.cz](https://www.exoplanety.cz/uz-nejde-jen-o-stenani-amateru-znicite-vedu-varuje-iau-pred-starlinkem-a-dalsimi-konstelacemi), 3.6.2019

Obr. 14 c– Nerušený výhled do kosmu.



- **Radioastronomie a obecné rušení v oblasti rádiového spektra**

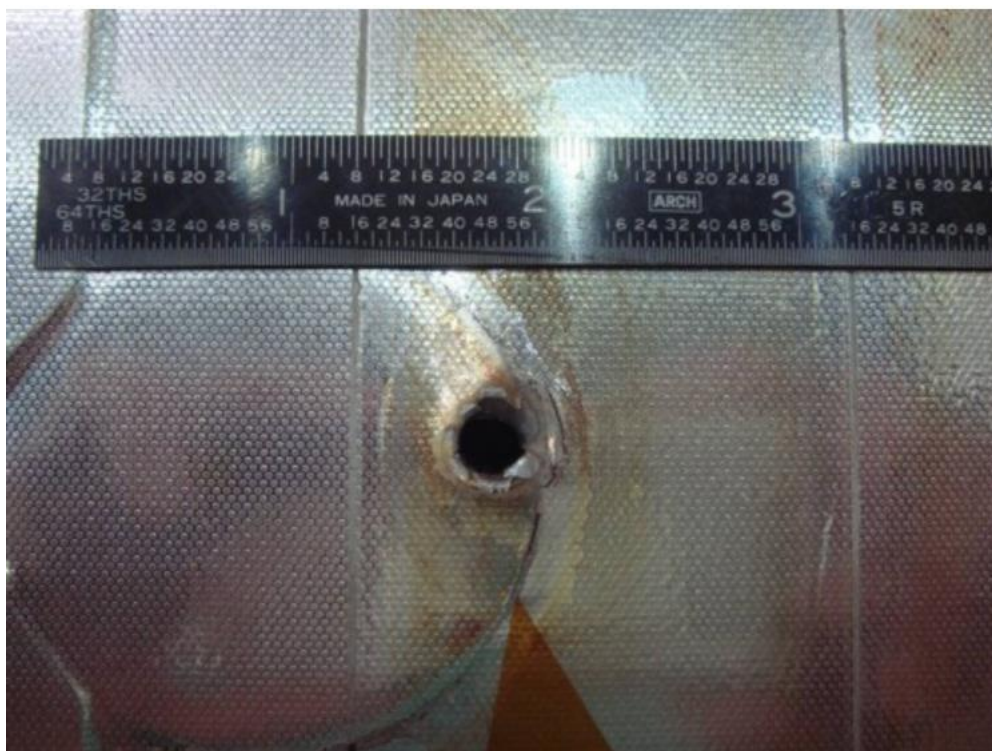
Radioastronomie je používána v důležitých oblastech výzkumu vesmíru jako je např. studium raného vesmíru, gravitačních vln, určení role skryté (temné) látky a temné energie na vývoj vesmíru nebo přímé „snímkování“ Zemi podobných exoplanet. Přesto, že pásma rádiových kmitočtů pro radioastronomii jsou striktně vymezena, existují obavy, že s dramaticky rostoucím počtem družic zejména na LEO oběžných drahách může postupně docházet k rušení těchto kmitočtů. Organizace zabývající se radioastronomií např. SKAO (Square Kilometre Array Organization) proto chtějí tento problém vyřešit a trvají na přijetí nápravných opatření, která umožní jejich observatořím nerušeně pozorovat vesmír.

Kromě toho je možno očekávat i problémy se vznikem rádiového rušení jak mezi družicemi různých LEO megakonstelací, tak je předpokládán i možný vznik vzájemného rádiového rušení systémů na LEO oběžných drahách a systémů na jiných oběžných drahách včetně GEO.

- **Kosmické smetí**

Část kosmického smetí díky svojí klesající oběžné rychlosti postupně zaniká v atmosféře. Díky stále většímu počtu vypouštěných družic a rostoucímu počtu mimořádných událostí včetně aktivit ASAT roste dynamicky i objem kosmického smetí. Jsou zaznamenávány stále častější případy poškození funkčních družic kosmickým smetím, viz Obr. 15.

Obr. 15 – Nebezpečí srážky s kosmickým smetím.



Na snímku je přes 1 cm veliký otvor na chladicím panelu, který vytvořil úlomek při srážce s raketoplánem Endeavour v roce 2007. Měřítka je v palcích.

Zdroj: NASA

S rostoucím objemem kosmického smetí roste i pravděpodobnost pádu i větších jeho částí, které nestačí zaniknout v atmosféře, na zemský povrch. To pochopitelně znamená i rostoucí míru ohrožení života a majetku na zemském povrchu, viz Obr. 16.

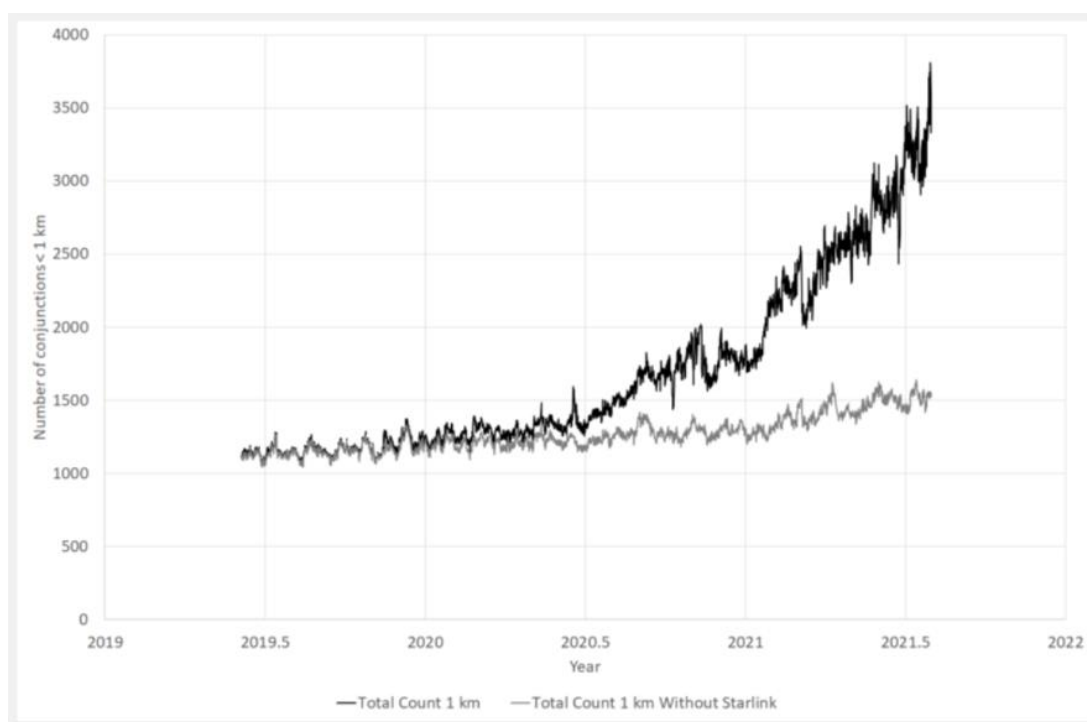
Obr. 16 – Část kosmického smetí na zemi.



Tato nezaniklá část kosmického smetí dopadla do pouště v Saudské Arábii 12. ledna 2001. Jde o horní stupeň pomocné rakety (tzv. boosteru), která vynášela na oběžnou dráhu GPS družici NAVSTAR 32 v roce 1993. Bohužel zdaleka nejde o ojedinělý případ dopadu kosmického smetí na povrch Země. Zdroj: JSC/NASA

Zajímavá data poskytla samotná společnost SpaceX, která v rámci svojí dnes zřejmě nejdiskutovanější družicové megakonstelace StarLink provozuje více než 1 870 družic viz Obr. 17.

Obr. 17 – Graf nárůstu počtu případů přiblížení.



Obr. 17 ukazuje graf nárůstu počtu případů přiblížení dvou objektů na oběžné dráze na vzdálenost menší než 1 km během jednoho týdne. Černé hodnoty zahrnují objekty StarLink a šedé všechny ostatní.

Zdroj: Hugh Lewis a [Jak funguje antikolizní systém družic Starlink a jak SpaceX minimalizuje riziko vzniku odpadu na oběžné dráze – ElonX](#)

Přes takto indikovaná vážná rizika zazněly zejména v druhé polovině roku 2021 informace o tom, že počet umělých družic Země pravděpodobně bude v nadcházejících deseti letech s dále se zvyšující dynamikou narůstat a měl by se dramaticky zvýšit o vyšší desítky tisíc, a to zejména na oběžných drahách LEO do 2 000 km. Má tomu tak být proto, že zejména soukromé společnosti nacházejí v tomto obchodním segmentu klíčové příležitosti a projektují vlastní samostatné družicové megakonstelace, z nichž každá obsahuje tisíce jednotlivých družic, které budou sloužit k rozvoji rychlejších komunikačních online sítí a poskytování řady dalších služeb, jako je například monitorování klimatických změn. Společnou mantrou všech zúčastněných komerčních subjektů je „snaha o poskytování spolehlivých globálně dostupných komunikačních služeb“. V první řadě je pak zmiňována snaha o vytvoření celosvětové sítě internetu dostupné i v nejdlejších místech na planetě a za tzv. „přijatelnou“ cenu. Nicméně se dá předpokládat, že k průchodnosti navrhovaných projektů mohou přispívat i vojensko – geopolitické zájmy jednotlivých zemí či politických uskupení.

V letošním roce jsou k dispozici informace o tom, že soukromé subjekty v čele se společnostmi SpaceX, OneWeb, Amazon a StarNet/GW(GuoWang) navrhly vypuštění dohromady více než 75 000 družic, když započítáme všechny fáze jejich družicových programů, které by měly být realizovány v dalších deseti letech.

Obr. 18 – Projekty družicových megakonstelací v závěru roku 2021

	Počet družic	Výška [km]
StarLink 2020	11 927	336 - 1325
Starlink 5-2020	30 000	328 - 614
OneWeb 2021	6 372	1200
Amazon Kuiper	3 236	590 - 630
GuoWang (China)	12 992	?
Samsung(Korea)	4 700	2000
SatRevolution (Poland)	1 024	350
Lynx (USA)	1 000	?
GalaxySpace Yinhe (China)	1 000	?
Mangata Network (USA)	791	?
Hongyan CASC (China)	320	1100
China Lucky Star	156	1000
China Xinwei	32	600
Astrome Tech (India)	600	1400
Yaliny (USA,crowdfunding)	135	600
Telesat LEO (Canada)	117	1000
Roscosmos Sphera (Russia)	638	?
Iridium Next (USA)	75	?
Iridium original (USA)	66	780
CELKEM	75 181	

Zdroje:

Disability Predictions for Near-Future Satellite Megaconstellations: Latitudes near 50° will Experience the Worst Light Pollution, Samantha M. Lawler, Aaron C. Boley, and Hanno Rein (24.11.2021)

[2109.04328.pdf \(arxiv.org\)](#)

Large Satellite Constellations & their Impact on Astronomy, Olivier R. Hainaut (20.8.2021)

[Large Satellite Constellations and their Impact on Astronomy \(eso.org\)](#)

Tím ovšem výčet připravovaných komerčních aktivit na oběžných drahách Země zdaleka nekončí. 21. září 2021 podala Rwanda prostřednictvím svojí RSA (Rwanda Space Agency) žádost organizaci ITU o přidělení kmitočtů a oběžných drah pro projekt družicové megakonstelace v rámci projektů Cinnamon – 217 a Cinnamon – 937. Projekty se týkají umístění celkem **327 320** družic na oběžných drahách MEO a LEO, které by měly zajišťovat široké portfolio komunikačních a dalších služeb. Zatím není jasné, kdy by se tento projekt mohl stát skutečností, ale podle RSA je žádost a zahájení jednání s ITU prvním krokem k zabezpečení budoucího vypuštění družic. Tento proces je v souladu se záměrem Rwandské vlády definovat takto jeden z dalších cílů národního rozvoje. Podle dostupných informací je projekt připravován ve spolupráci se společností OneWeb (vlastnictví – od roku 2021 Britská vláda-38 %, Sunil Bharti Mittal – Indická Bharti Global – 38 % a Eutelsat – 24 %). Jedním z iniciátorů projektu na straně Rwandy je pak zřejmě Greg Wyler původní zakladatel společnosti OneWeb (2012).

Zdroj: [*Rwanda has submitted ITU filing for 27 orbital shells of 327,320 satellites – Space in Africa \(africanews.space\)*](#)

Další z komerčních zájemců o podnikání na oběžných drahách severoamerická společnost Astra Space Inc. (založena 2016) požádala 4. listopadu 2021 FCC o schválení provozu 13 620 družic na drahách LEO od 380 do 700 km. I tato družicová megakonstelace by měla zajišťovat vysokorychlostní komunikační služby.

Zdroj: [*Astra files FCC application for 13,600-satellite constellation - SpaceNews*](#)

Všechny doposud zmíněné převážně soukromé komerční projekty využití nízkých oběžných drah, které by měly být uskutečněny v příštích 15–20 letech představují pouze v prostém součtu navýšení počtu aktivních družic na oběžných drahách na hodnotu 416 121. To by znamenalo řádově téměř **sto násobné** navýšení hustoty družic na nízkých oběžných drahách oproti dnešnímu stavu.

Ale ani tento výčet předpokládaných komerčních aktivit na oběžných drahách však není kompletní. V úvodu roku 2019 zveřejnil ruský start-up StarRocket (Vladimir Sitnikov) svůj záměr použít oběžnou dráhu ve výšce 450 km pro kosmickou reklamu. Pro vytváření reklamních obrazců měly být využity shluky družic, každá o průměru cca 10 m. První praktická realizace se měla uskutečnit v roce 2021.

Obr.19– Vizualizace záměru ruské spol. StarRocket v oblasti reklamy (Space ads)



Zdroj: [*This Russian startup wants to put huge ads in space. Not everyone is on board with the idea. \(nbcnews.com\)*](#)

Stejná start-up společnost přišla dále v roce 2020 v létě s dalším nápadem, a to na čištění oběžné dráhy od kosmického odpadu pomocí pěny – Foam Debris Catcher. První realizace toho projektu byla plánována na rok 2023.

Zdroj: [Reaching Orbit – The Foam Debris Catcher - Apollo Mapping](#)

Pro úplnost je ještě nezbytné uvést, že obdobný záměr využít oběžnou dráhu Země pro vytváření reklam zveřejnil v srpnu 2021 i kanadský start-up Geometric Energy Corporation (GEC). První reálné předvedení záměru by se mělo uskutečnit v roce 2022.

4. Kosmické právo

Informace o téměř neřízeném nárůstu intenzivního využívání oběžných drah Země, a to zejména z konce roku 2021, mají určitě pro velkou část populace překvapivý charakter. Téměř by se mohlo zdát, že lidstvo si doposud nestanovilo pro využívání kosmického prostoru zejména v okolí Země jakákoliv pravidla. Ale není to pravda. V třicátých a čtyřicátých letech minulého století tedy ještě před rokem 1957 začal vznikat zcela specifický obor, který se později v šedesátých letech vyvinul do podoby, kterou lze pojmenovat jako „Kosmické právo“. Na jeho vzniku se výrazně podílelo i několik českých osobností jako Vladimír Mandl, prof. Vladimír Kopal nebo Luboš Perek.

Základem kosmického práva je pět mezinárodních dokumentů.

1. **Smlouva o zásadách činností států při výzkumu a využívání kosmického prostoru včetně Měsíce a jiných nebeských těles** (zkráceně **Kosmická smlouva**; angl. The Outer Space Treaty). Byla přijata Valným shromážděním OSN 27.1.1967 a 10.10. 1967 vstoupila v platnost. V právním řádu České republiky jde o Vyhlášku č. 40/1968 Sb. Doposud smlouvu ratifikovalo 111 států a podepsalo dalších 23. Z velké části smlouva vycházela z *Deklarace právních zásad činnosti států při výzkumu a využívání kosmického prostoru*, přijaté Valným shromážděním OSN v roce 1963.
2. **Dohoda o pomoci kosmonautům a jejich návratu a o vrácení předmětů vypuštěných do kosmického prostoru** (The Rescue Agreement). Byla přijata Valným shromážděním OSN 19.12.1967 a 3.12.1968 vstoupila v platnost. V právním řádu České republiky jde o Vyhlášku č. 114/1970 Sb. Doposud smlouvu ratifikovalo 98 států a podepsalo dalších 23.
3. **Úmluva o mezinárodní odpovědnosti za škody způsobené kosmickými objekty** (The Liability Convention). Byla přijata Valným shromážděním OSN 29.11.1971 a 1.9. 1972 vstoupila v platnost. V právním řádu České republiky jde o Vyhlášku č. 58/1977 Sb. Doposud smlouvu ratifikovalo 98 států a podepsalo dalších 19.
4. **Úmluva o registraci objektů vypuštěných do kosmického prostoru** (The Registration Convention). Byla přijata Valným shromážděním OSN 12.11.1974 a 15.9. 1976 vstoupila v platnost. V právním řádu České republiky jde o Vyhlášku č. 130/1978 Sb. Doposud smlouvu ratifikovalo 70 států a podepsalo dalších 3.
5. **Dohoda o činnosti států na Měsíci a jiných nebeských tělesech naší sluneční soustavy** (The Moon Agreement). Byla přijata Valným shromážděním OSN 5.12.1979 a 11.7. 1984 vstoupila v platnost. Dohoda o Měsíci není součástí právního řádu České republiky. Důvodem je to, že tehdejší SSSR, na který jsme byli v té době vázáni, Dohodu o Měsíci nepodepsal. Doposud smlouvu ratifikovalo 15 států a podepsalo dalších 4. Kromě Ruska (bývalé SSSR) nepodepsaly tuto dohodu ani USA.

Mimo zmíněných základních pěti dokumentů je součástí kosmického práva ještě dalších 11 mezinárodních dohod.

Zdroj: COPUOS k 1.1.2021, [AC105_C2_2021_CRP10E.pdf \(unoosa.org\)](#)

Celkem je v OSN registrováno 193 členských zemí. Z toho je patrné, že velká část členských států má zřejmě svoje důvody proč k dokumentům zatím nepřístupovat. Za jeden z důvodů lze určitě považovat i dosti vágní a na mezinárodní úrovni obtížně vymahatelná ustanovení, která se nicméně týkají klíčových otázek a problémů využívání kosmického prostoru a související mezinárodní spolupráce. Lze uvést několik příkladů s komentářem podle zdrojové literatury „*An Introduction To Space Law By Diederiks-Verschoor, I.H.Ph., Kopal, V. (Kluwer Law International, 2008)*“:

The Outer Space Treaty (1):

- Vesmír má být volný pro zkoumání a používání všemi státy na základě rovného přístupu. Vesmír a vesmírná tělesa nelze vlastnit. Aktivita při zkoumání a využívání vesmíru musí být v souladu s mezinárodním právem, včetně Charty OSN v zájmu udržení mezinárodního míru a bezpečnosti. Žádné nukleární zbraně nebo jakékoliv jiné zbraně hromadného ničení nesmějí být umístěné na oběžné dráze Země.

Komentář: Smlouva zmiňuje pouze zbraně hromadného ničení. Nevztahuje se to na balistické rakety.

- Měsíc a další vesmírná tělesa mohou být využívány smluvními stranami pouze k mírovým účelům.

Komentář: Smlouva explicitně limituje používání pro mírové účely jen na Měsíc a na ostatní planety. Zdá se tedy, že na oběžné dráze jsou povoleny nemírové aktivity, včetně možnosti umísťování zbraňových systémů. Obecně je termín „mírové účely“ problematický, neboť není nikde definován. Obvyklá interpretace je, že státy nemohou použít vesmír jako bojiště. Navádění raket, komunikace, rekognoskace atd. jsou považovány za mírové aktivity. Jinými slovy tato interpretace považuje za mírové aktivity ty, které nejsou agresivní.

Nabízí se ale i jiná interpretace, která „mírové účely“ spojuje s nevojenskými aktivitami. Tuto interpretaci např. prosazoval SSSR ohledně Měsíce a možnosti umísťování zbraní na něm.

Princip mírového využití vesmíru by měl být ve vzájemném vztahu s jedním z vedoucích principů mezinárodního práva jako celku. Tímto principem je předpokládán princip odzbrojení. V současném stavu tak mírové využívání vesmíru neimplikuje kompletní zákaz vojenských aktivit, ale dává státům za povinnost aktivně pracovat na vynětí vojenských aktivit z oblasti vesmíru.

- Je zakázáno na Měsíci zakládat vojenské základny, umísťovat zde vojenské instalace, testovat jakékoliv zbraně nebo provádět vojenské manévry. Smluvní strany mají mezinárodní odpovědnost za národní aktivity ve vesmíru.

Komentář: Není rozhodující, zda aktivity pocházejí z vládního nebo komerčního sektoru. Stát má povinnost zajistit, aby komerční instituce a občané dodržovaly principy stanovené smlouvou.

The Liability Convention (3)

- Úmluva zakládá odpovědnostní vztah států za aktivity ve vesmíru. Úmluva rozeznává dva typy odpovědnostních vztahů. Jednak hovoří o odpovědnosti za škodu způsobenou na povrchu Země a odpovědnosti za škodu způsobenou jinde než na zemském povrchu. V druhém případě hovoří o odpovědnosti za škodu na jiném vesmírném objektu. První typ odpovědnosti je

absolutní, tzn. že státy budou odpovědné vždy, dokonce i v případech „vyšší moci“. Druhý typ odpovědnosti nastupuje pouze ve chvíli, kdy je možné dokázat zavinění. Odškodnění v těchto případech je ale velmi složité dosáhnout. Úmluva je navíc v mnoha bodech poměrně nejasná. Není třeba zřejmé, zda se týká i tzv. vesmírného odpadu a škody, které tento odpad způsobí. Například jde-li o odpad, který vznikne po testu ASAT systému (Anti Satellite weapons, rakety vypouštěné ze země, jejichž cílem je zničit družici). Bylo by nutné prokázat, že konkrétní odpad, který by hypoteticky poškodil majetek druhého státu, pochází z aktivit státu prvního. Konkrétní přesná identifikace objektů v kategorii kosmického odpadu (debris) je velmi obtížná. I z těchto důvodů byla Úmluva v historii zatím aplikována pouze jednou.

Komentář: Jednalo se o případ, kdy Kanada dostala kompenzaci 3 milióny dolarů za škodu způsobenou pádem družice Kosmos 954 se zabudovaným nukleárním reaktorem na její území. 24. ledna 1978, Zdroj: [Družici se marně snažili dostat pod kontrolu. Jaderný reaktor zasáhl Kanadu - iDNES.cz](#)

Problematická ustanovení se ale netýkají pouze bezpečnostní problematiky. Kosmická smlouva například ve svém čl. II stanoví: „*Kosmický prostor včetně Měsíce a jiných nebeských těles si jednotlivé státy nemohou přivlastnit prohlášením suverenity, užíváním, okupací nebo jakýmkoli jiným způsobem.*“ Tato formulace připoutala pozornost mladého obchodníka z Kalifornie pana Denise Hope. Použil svůj výklad ustanovení, kdy sice stát nemůže vlastnit kosmický prostor, měsíc ani jiné nebeské těleso, ale konkrétní člověk se vlastníkem stát může. Nechal se tedy v roce 1980 na místním úřadu federální vlády v San Francisku registrovat jako vlastník celého měsíčního povrchu stejně jako povrchu dalších devíti planet sluneční soustavy včetně jejich povrchu, kromě Slunce.

Zdroj: [Who Owns the Moon | Dennis Hope | Lunar Embassy](#)

I když tento postup naprosto nerespektuje pojem „*res omnium communis – věc společná všem*“, který je jedním z východisek Kosmického práva, a přestože to někteří označují za podvod, prodává D. Hope od té doby pozemky na povrchu Měsíce. Alespoň jeden akr už má ve světě víc než osm milionů lidí a z toho dokonce asi 15 tisíc Čechů. Po čtyřiceti letech se s odkazem na některé specialisty v oboru kosmického práva dá říci, že pokud by se lidské aktivity na povrchu Měsíce staly systematickými (např. smlouva Artemis, říjen 2020 [Artemis-Accords-signed-13Oct2020.pdf \(nasa.gov\)](#)) dojde pravděpodobně k unikátnímu právnímu sporu, kdy na jedné straně bude stát evidentně chybný výklad Kosmické smlouvy, která definuje, že stát ale ani jedinec nemohou vlastnit části nebeských těles, a na druhé straně relativně vysoký objem investic obyvatel Země do fiktivního vlastnictví částí Měsíčního povrchu.

5. Kosmické smetí.

Převážná část doposud vypuštěných družic na oběžné dráhy Země má za úkol zajišťovat komunikační kanály (viz Obr.10) tak, aby svým dosahem pokrývaly celý zemský povrch a dále aby svým charakterem umožnily rozvoj klasických komunikačních služeb jako je internet, hlasové služby a rovněž i další komunikaci v oblasti navigace, sledování a výzkumu vesmíru včetně oblasti vojenské.

Díky neustále se zvyšujícímu počtu startů raketových nosičů, a proto stále se zvyšujícímu počtu aktivních či neaktivních oběžných družic či zbytků nosných raket na zejména nízkých oběžných drahách (LEO), ale dále hlavně díky velmi problematickým aktivitám a tzv. „testům“ ASAT, se již od osmdesátých let začal stále výrazněji uplatňovat fenomén vzniku kosmického smetí.

Generování a pohyb kosmického smetí na oběžných drahách byl samostatným tématem již od roku 1957. Avšak poprvé vážně na nebezpečnou možnost neúnosného naplnění oběžných drah kosmickým smetím upozornil v roce 1978 Donald J. Kessler (nar. 1940), odborník NASA.

Kesslerův teoretický scénář (rovněž Kesslerův syndrom, efekt, kolizní anebo ablační kaskáda) říká, že jednou bude kvůli znečištění vesmíru hustota objektů na nízké oběžné dráze Země (LEO – Low Earth Orbit) dostatečně vysoká na to, aby mohly jejich vzájemné srážky způsobit celou srážkovou kaskádu. Kesslerův syndrom lze podle autora shrnout i takto „V minulosti bylo generováno kosmické smetí rychlostí přímo úměrnou počtu objektů na oběžných drahách, zatímco budoucí četnost kolizí bude generovat kosmické smetí rychlostí rovnou druhé mocnině počtu objektů na oběžných drahách.“ Tedy jinak a krátce: „Čím více letů, tím více odpadu, čím více odpadu, tím méně letů.“

Vývoj situace, další vlivy a vědecká zjištění (Kesslerův syndrom) vedly mimo jiné k tomu, že v roce 1993 byl založen Meziagenturní koordinační výbor pro kosmický odpad (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee; IADC) a ten zveřejnil 15.10.2002 **Pokyny pro zmírňování kosmického smetí** (Space Debris Mitigation Guidelines). Tyto pokyny byly následně ve spolupráci s pracovní skupinou Výboru OSN pro mírové využití vesmíru (Working Group of the United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space; WG UN COPUOS) aktualizovány k datu 1.9.2007 a 1. 3. 2020.

Zdroj: [IADC Space Debris Mitigation Guidelines \(nasa.gov\)](https://www.nasa.gov/debris/guidelines/)

V zásadě se však bohužel jedná pouze o nezávazné pokyny pro státy, které se zúčastňují aktivit v kosmu a na oběžných drahách. Vymahatelnost dodržování těchto nezávazných pokynů na mezinárodní úrovni je proto nulová. Nicméně dodržování několika základních principů definovaných v pokynech by ale s nejvyšší pravděpodobností mohlo zásadně přispět k odvrácení hrozeb, které jsou stále patrnější. V souvislosti s dramatickým nárůstem počtu těles pohybujících se na LEO drahách je nejvážnější hrozbou stále pravděpodobnější uplatnění Kesslerova scénáře. Některé národní a mezinárodní organizace zemí aktivních v kosmu proto vytvořili svoje vlastní standardy nebo pokyny ke zmírnění dopadu existence kosmického smetí, aby ukázaly vlastní snahu při řešení problémů spojených s kosmickým smetím.

Obsah i navrhované postupy se vzájemně mohou do určité míry lišit, avšak jejich společný základ je identický a lze jej formulovat v několika bodech takto:

- Zamezení možných kolizí a destrukcí na oběžných drahách
- Odstranění kosmických objektů, které již ukončily svoje poslání či jim uplynula životnost z nejvíce přetížených oběžných drah zejména z nízkých oběžných drah jako je LEO
- Omezení vzniku volně se pohybujících částí těles v souvislosti s běžným provozem kosmických objektů (družic, stanic)

I Česká republika zveřejnila dokument s názvem Národní kosmický plán 2020-2025 ze 14.10.2019. Tento dokument však problematiku Kosmického smetí a stále větší obsazení oběžných drah Země zmiňuje zatím pouze okrajově.

Zdroj: [TABLE OF CONTENTS \(czechspaceportal.cz\)](https://www.czechspaceportal.cz/)

Již zmíněné pokyny IADC popisují potřebnou činnost, kterou by bylo potřebné vyvíjet pro omezování vzniku kosmického smetí se zaměřením hlavně na:

- 1) Omezování vzniku kosmického smetí během běžného provozu na oběžných drahách
- 2) Minimalizaci potenciálu pro vznik destrukčních událostí na oběžných drahách
- 3) Odstraňování objektů po ukončení jejich mise na oběžných drahách
- 4) Prevence vzniku kolizních situací na oběžných drahách

Konkrétně by bylo možno interpretovat některé z pokynů např. i takto:

- Družice provozované na nízké oběžné dráze (LEO) musí vstoupit do atmosféry maximálně do 25 let po ukončení činnosti.
- Družice provozované na vyšších drahách musí být po ukončení činnosti navedeny na odkladní dráhu GYO (Graveyard Orbit) s výškou nad 36 100 km.
- Nepotřebné díly, krytky a odpad nesmí být záměrně vypouštěny do vesmírného prostoru

Za pozitivní vývoj při potlačování negativních efektů vznikajících se stále intenzivnějším zaplňováním oběžných drah rozličnými tělesy včetně kosmického smetí, lze považovat stále výraznější existenci projektů, jejichž cílem je odstraňování kosmického smetí z oběžných drah. Převážná většina projektů je zaměřena na návrh co nejefektivnější metody navedení kosmického smetí do zemské atmosféry, kde přirozeně zaniká. V rámci projektů v současné době již probíhají praktické testy, mezi nimi např.:

- japonská firma Astroscale, projekt ELSA-d
- Space Safety Program agentury ESA
- Drag Augmentation Deorbiting Subsystem (ADEO) - ESA

Mezi další řešení, která by mohla přispět k významnému poklesu využívání oběžných drah za účelem zajišťování rozličných globálních komunikačních projektů, by mohla patřit realizace stále čtenějších projektů na využití technologií pojmenovaných akronymem HAPS (High Altitude Platform Station nebo i High Altitude Pseudo-Satellite). Jedná se o komunikační stanice (uzly) umístěné nikoliv na oběžných drahách ale stabilizované ve stratosféře ve výšce cca 20 km jako jsou solární letouny, balony či jiná bezpilotní zařízení. Tyto stanice by pak zajišťovaly komunikační funkce obdobně jako komunikační družice, ale daleko blíže k povrchu Země. Bohužel doposud žádná ze společností, které o HAPS dnes hovoří zatím komerčně tento systém nenabízí.

Zdroje např.: [ESA - HAPS – missions to the edge of space to watch over Earth](#)
[Družice ve velkých výškách atmosféry – Kosmonautix.cz](#)
[HAPS-Towers-in-the-skies-draft-v-2.1-clean.pdf \(gsma.com\)](#)
[High Altitude Long Endurance \(Pseudo Satellite\) Platform Market Share 2022-2026 With Top Countries Data and Covid-19 Impact Analysis Research Reports, Industry Size, In-Depth Qualitative Insights, Explosive Growth Opportunity, Regional Analysis - MarketWatch](#)

6. Globální riziko – řešení.

Současná velmi omezená až nulová vymahatelnost či případně vágní, a ne zcela optimální formulace umožňující nejednoznačný výklad ustanovení úmluv a dohod, které jsou součástí „kosmického práva“ a dalších nezávazných pokynů na národní či mezinárodní úrovni, je důvodem, že stále se zhoršující situaci na oběžných drahách a v oblasti dalších lidských aktivit ve vesmíru se nedaří prozatím zvrátit. Oběžné dráhy jsou nesporně jedním z dalších cenných přírodních zdrojů, které stejně jako voda, vzduch či světlo spadají do kategorie „věci společné všem“, které si nikdo nemůže přisvojit pro svůj vlastní užitek. Zcela zásadní vliv na růst objemu kosmického smetí až o 60%, jak ukazují Obr. č. 12 a 13, mají provedené testy ASAT (testování antisatelitních zbraní ASAT jako jsou balistické rakety, hypersonické střely, laserové zbraně). Tyto pro oběžné dráhy zcela devastující aktivity (sestřelení, rozstřelení), které ve svojí podstatě odporují smyslu mnoha ustanovení kosmického práva, mají svůj původ ve zřetelně rostoucí intenzitě soupeření hlavních aktérů jako jsou Rusko, Čína, USA nebo Indie o získání vlivu v oblasti využití kosmu. Dalším fenoménem, který rovněž způsobuje postupně stále větší zaplňování oběžných drah funkčními či nefunkčními kosmickými tělesy (včetně stupňů nosných raket a dalších částí uvolněných v souvislosti s konkrétní kosmickou misí), je evidentně málo koordinovaný nástup soukromých komerčních megakonstelací komunikačních družic společností SpaceX (StarLink), Kuiper, OneWeb, GuoWang, Samsung a dalších.

Kritické hodnocení vývoje situace na oběžných obecně postoupilo do té míry, že například Světové ekonomické fórum (WEF – World Economic Forum) jako mezinárodní nezávislá organizace

zařadila v letošním roce poprvé stav rozvoje vesmírných aktivit lidstva mezi šest klíčových globálních rizik, a to takto:

1. Rozdělování zemské populace na různé znepřátelené tábory.
2. Nepravidelné změny klimatu.
3. **Tlačení a konkurence ve vesmíru.**
4. Digitální závislosti a „kyber-zranitelnost“.
5. Migrační bariéry.
6. Neschopnost obnovení pružné reakce na další hrozby (např. Covid-19)

Zdroj: [WEF The Global Risks Report 2022.pdf \(weforum.org\)](https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2022)

Zmíněné globální riziko č.3 vyplývající ze stavu rozvoje vesmírných aktivit je daleko více komplexní a netýká se pouze kosmického smetí a stále větší přeplněnosti oběžných drah. Je možné totiž vyslovit například následující otázku:

„Co když intenzivní sluneční činnost a vyvolané geomagnetické bouře naruší funkce družic na oběžných drahách a tím i jimi poskytované služby a způsobí tak masivní a kaskádovitě řazené efekty způsobující vážné problémy v ekonomické a sociální sféře?“

Zdroje:

Khodairy, S., Sharaf, M., Awad, M., Hamed, R.A. and Hussein, M. 2020. "Impact of solar activity on Low Earth Orbiting satellites". Journal of Physics: Conference Series 1523 (1): 012010. IOP Publishing.

Nedávná aktuální událost:

https://www.seznamzpravy.cz/clanek/zahranicni-ctyricitka-muskovych-satelitu-shori-v-atmosfere-187906#dop_ab_variant=0&dop_source_zone_name=hpfeed.sznhp.box&dop_req_id=urVJu6zivEu-202202091731&dop_id=15375387&utm_source=www.seznam.cz&utm_medium=sekce-z-internetu

Stejně tak lze vyslovit i další otázku spojenou s vesmírnými aktivitami lidstva:

„Co když nedodržování Kosmického práva, kdy například snaha získávat suroviny těžbou v rámci „Měsíční zlaté horečky“, nebude vedena způsobem, který by zajišťoval udržitelnost rozvoje využívání vesmíru?“

Současné soupeření USA (Program Artemis, smlouva Artemis Accords) a Číny spíše ukazuje na opětovný střet komerčních a geopolitických zájmů.

Zdroj např.: [Boj o hvězdný prach: Jak USA ve vesmíru zavádí právo silnějšího. - VOXPOT](https://www.voxpot.cz/clanek/boj-o-hvezdny-prach-jak-usa-ve-vesmiru-zavadi-pravo-silnejsiho)

Nicméně jako naprosto aktuální a prioritní se v dnešní době jeví globální hrozba vzniku kolapsu oběžných drah Země v důsledku uplatnění Kesslerova syndromu. Opět lze vyslovit otázku: **„Co když kaskádový vznik kolizí mezi objekty na nízkých oběžných drahách (LEO) a mezi kosmickým smetím způsobí kritickou saturaci LEO drah v takové míře, že jejich další komerční využití již nebude možné?“**

Navíc lze předpokládat, že v této situaci by byla kriticky ohrožena i ochrana Země před mimořádnými událostmi způsobenými kolizemi s dalšími vesmírnými tělesy stejně jako by byly ohroženy radioastronomie a dálkový průzkum vesmíru.

Současné stále častější aktivity, které souvisí hlavně se snahou o zajištění dominantní pozice některých států ve využívání vesmíru (zejména testy ASAT zbraní), způsobují vznik stále většího objemu kosmického smetí. Ve spojení s dalšími stále intenzivnějšími komerčními aktivitami v okolí Země se tak oběžná dráha Země mění v místo, které se stává stále nebezpečnějším a nepoužitelnějším pro družice. Je stále zřetelnější, že pokud lidstvo jako mezinárodní společenství nepodnikne kolektivní kroky ke zlepšení situace, bude nakonec nemožné umístit nové družice na oběžnou dráhu Země. Mantra, často používaná i na mezinárodní platformě OSN, že „vypouštění oběžných těles není nutno příliš regulovat, neboť na oběžných drahách je místa dost a klíčové aktivní velmoci se vždy nějak dohodnou, skutečně neplatí. S vývojem současné geopolitické situace se zmíněná neplatnost stále více potvrzuje.

J. Kessler před lety napsal, že 25leté pravidlo pro odstraňování kosmického smetí po skončení životnosti vesmírného předmětu na LEO oběžné dráze spolu s právně nezávaznými pokyny přijatými COPUOS nestačí. Vyjádřil názor, že objem kosmického smetí bude vzrůstat už jen kvůli kolizím mezi stávajícím kosmickým smetím. Spustila-li by se tak řetězová reakce Kesslerova syndromu, uvěznili bychom se na Zemi do doby, než bychom našli způsob, jak uklidit miliardy kousků vesmírného smetí. Kesslerem predikovaný exponenciální efekt staví problém kosmického smetí do pozice globální hrozby, které lidstvo dnes již aktuálně skutečně čelí.

Pokud se ale nepodaří nastavit funkční mechanismy globální regulace a kontroly, může se oběžná dráha jako „*věc společná všem*“ stát obětí přivlastňování soukromými aktéry. I proto je ochrana a udržitelnost kosmického prostoru otázkou ochrany a udržitelnosti životního prostředí, kterou by neměly definovat silové ani komerční zájmy. Agresivní a v podstatě nikým neřízené chování států stále opakujících testy ASAT, a to nikoliv pouze z výzkumných důvodů, a některých soukromých společností podnikajících v oblasti komunikací bohužel naznačuje, že právě tímto směrem se v tuto chvíli ubíráme.

Závažnost takto lidstvem vytvořené globální hrozby by měla vyvolat systematickou odpověď mezinárodního společenství. Multilaterální cestou mezinárodní spolupráce by světové společenství mělo směřovat k vyvinutí závazného a vymahatelného právního nástroje založeného na předpokladu, že větší odpovědnost za dodržování stanovených pravidel pro využívání oběžných drah a za minimalizaci objemu kosmického smetí by měly nést státy, které většinou využívají kapacitu oběžných drah a nesou tak zodpovědnost za proliferaci kosmického smetí než státy, které za znečištění orbity nesou zodpovědnost malou či žádnou. Tento přístup by pak chránil práva všech států objevovat a využívat vesmír.

Oběžné dráhy jsou cenným a omezeným přírodním zdrojem stejně jako rádiové spektrum. Od počátku komerčního využívání rádiového spektra uplynulo zhruba 47 let, když v roce 1947 byl vytvořen první Řád radiokomunikací (tzv. Atlantic City 1947), který stanovil první závazná pravidla pro využívání rádiového spektra v rámci ITU. Tato pravidla se postupně vyvíjela v souladu s vývojem segmentu radiokomunikací a dnes jsou shrnuta v Radiokomunikačním řádu ITU. Dodržování stanovených pravidel členskými státy ITU vcelku spolehlivě zajišťuje udržitelnost omezeného přírodního zdroje, kterým rádiové spektrum je stejně jako oběžné dráhy.

V případě oběžných drah jako cenného a omezeného přírodního zdroje a obecně kosmického práva obecně je situace rozdílná. Od počátku lidských aktivit ve vesmíru v roce 1957 tedy po 65 letech stále silícího využívání oběžných drah stále nejsou uzavřeny dostatečně silné a účinné mezinárodní dohody, které by stanovovaly jasná a vymahatelná pravidla zajišťující udržitelnost využívání oběžných drah. Kosmická smlouva (The Outer Space Treaty) nebyla za téměř 55 let svého trvání potřebně modifikována a různá doplňková opatření a doporučení (IADC, COPUOS) jsou naprosto neúčinná díky svojí naprosté nevymahatelnosti. Rok 2022 se proto zapisuje do historie tím, že využívání oběžných drah se stává globálním rizikem.

Nezbývá než věřit, že multilaterální cestou mezinárodní spolupráce světové společenství dokáže nalézt řešení vedoucí k odstranění globálního rizika, které doposud neřízené využívání oběžných drah představuje. Kosmické právo bude muset jistě doznat jistých změn v podobě všeobecně respektovaných a vymahatelných úprav. Současně by se však všechny zainteresované země měly intenzivně snažit ve shodě nalézt účinné a efektivní nástroje použitelné pro postupné vyčištění oběžných drah od kosmického smetí a pro jejich následnou údržbu. Proto by měla být nalezena cesta k přísné a závazné regulaci užití zařízení a zbraní ASAT, jejichž používání je zásadním zdrojem vzniku kosmického smetí. Umístění komunikačních satelitů na nízkých oběžných drahách LEO má bezesporu zásadní význam pro zajištění celosvětové komunikační sítě, a to zvláště při vědomí současných bezpečnostních rizik. Silný tlak na zaplnění oběžných drah družicemi v rámci soukromých komerčních aktivit by při vědomí omezené kapacity oběžných drah měl být ale kompenzován a mírněn souběžně s již zmíněnými dalšími nástroji i podporou dalších komunikačních platforem.

Poznatky a zkušenosti již získané během stále probíhajících řešení jiných globálních rizik jako jsou například nepravidelné změny klimatu nebo vznik migračních bariér, vedou jednak ke skepsi z existence lidské hlouposti ale současně i k naději a víře v možná nalezení řešení. A tak se nabízí v souvislosti s tématem zcela logická otázka:

„Je-li skutečně posláním člověka pochopit vesmír a tím i sebe, jak chce člověk své poslání splnit, když svojí hloupostí se od vesmíru izoluje?“

A co o hlouposti říká klasik?

Pouze dvě věci jsou nekonečné – Vesmír a Lidská hloupost. U té první si tím však nejsem jist.

(Albert Einstein)

„Humor je boj s lidskou hloupostí. V tomto boji nemůžeme nikdy vyhrát. Ale nikdy v něm nesmíme ustát. Ovšem pozor na zmýlenou. Ten, koho považujeme za blbce, považuje za blbce nás. Jde o to se nevyvraždit.“

(Jan Werich)

Největší životní lekcí je, že i blbci mají někdy pravdu

(Sir Winston Leonard Spencer-Churchil)