

Kosmický odpad jako bezpečnostní riziko 21. století

Space Debris as a Security Risk of the 21st Century

Bc. Adam Kocián

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam KOCIÁN**
Osobní číslo: **A10454**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Kosmický odpad jako bezpečnostní riziko 21.století**

Zásady pro vypracování:

1. Definujte pojem kosmický odpad a zsystemizujte jej.
2. Původ kosmického odpadu.
3. Uvedte řešení tzv.vyčištění vesmíru a jeho náklady.
4. Řešte technické provedení.
5. Uvedte právní odpovědnost v rámci tzv.kosmického práva.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **KAMENÍK, Jiří a František BRABEC. Komerční bezpečnost: soukromá bezpečnostní činnost detektivních kanceláří a bezpečnostních agentur. Vyd. 1. Praha: ASPI, 2007, 338 s. ISBN 978-807-3573-096.**
2. **LAUCKÝ, Vladimír. Technologie komerční bezpečnosti I. Vyd. 3. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010, 81 s. ISBN 978-80-7318-889-4.**
3. **LAUCKÝ, Vladimír. Technologie komerční bezpečnosti II. Vyd. 2. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 123 s. ISBN 978-807-3186-319.**
4. **LAUCKÝ, Vladimír. Bezpečnostní futurologie. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 93 s. ISBN 978-807-3185-602.**
5. **REES, Martin. Naše poslední hodina: přežije lidstvo svůj úspěch?. 1. vyd. v českém jazyce. Překlad Aleš Drobek. Praha: Dokořán, Argo, 2005, 232 s. ISBN 80-736-3004-4.**
6. **REES, Martin. Náš neobvyčejný vesmír. 1. vyd. Praha: Dokořán, 2002, 199 s. ISBN 80-865-6917-9.**

Vedoucí diplomové práce:

JUDr. Vladimír Laucký

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

24. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zaměřuje na bezpečnostní riziko kosmického odpadu, které se rapidně zvýšilo po roce 2007. Konkrétně popisuje základní charakteristiky a vznik kosmického odpadu. Dále se zaměřuje na základní platné právní smlouvy, které jsou spojena s kosmickým odpadem. Popsána jsou rizika kosmického odpadu, která hrozí jak v kosmu, tak na Zemi. V neposlední řadě jsou také zmíněny způsoby ochrany a zmírnění následků kosmického odpadu a způsob možného odstranění.

Klíčová slova: kosmický odpad, riziko, odstranění, kosmický systém, Kesslerův syndrom

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis was to characterize the space debris, its origin and its safety risks for either space area and the Earth, which has rapidly increased since 2007. Furthermore, the thesis describes basic valid legal agreements which are connected with space debris and offers solutions for protection, mitigation of negative effects of space debris and also the suggestions for possible ways of its disposal.

Keywords: space debris, risk, removal, space system, Kessler syndrom

Chtěl bych poděkovat panu Vladimíru Lauckému za vedení mé práce. Také Michalu Václavíkovi z České kosmické kanceláře, Milanu Halouskovi z České kosmické kanceláře, Vladimíru Kopalovi, Vlastimilu Flajšingrovi, manželům Rushing z NASA, Philip Burley z NASA, John Doug Rusk z NASA a Thomas Henderson z NASA za cenné rady a pomoc.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POJMY A DEFINICE	12
1.1 KOSMICKÝ ODPAD.....	12
1.2 SYSTEMIZACE.....	12
1.3 KOSMICKÉ SYSTÉMY	12
1.3.1 Kosmické lodě.....	12
1.3.2 Nosné rakety.....	13
1.4 OPERAČNÍ FÁZE	14
1.4.1 Fáze vypuštění.....	14
1.4.2 Provozní fáze.....	14
1.4.3 Likvidační fáze.....	14
1.5 OBĚŽNÁ DRÁHA	14
1.5.1 Nízká oběžná dráha - LEO	14
1.5.2 Geostacionární oběžná dráha – GEO	14
1.5.3 Přechodová dráha ke geostacionární dráze - GTO	15
1.6 DALŠÍ POJMY	15
2 HISTORIE NAHROMADĚNÍ KOSMICKÉHO ODPADU	16
3 ZÁKLADNÍ ÚDAJE	20
3.1 SLOŽENÍ KOSMICKÉHO ODPADU.....	21
3.2 ROZMÍSTĚNÍ KOSMICKÉHO ODPADU.....	23
3.3 NEJVĚTŠÍ SVĚTOVÍ PODÍLNÍCI NA KOSMICKÉM ODPADU	23
4 DETEKCE KOSMICKÉHO ODPADU	25
5 FYZIKÁLNÍ PRINCIP	27
5.1 KOSMICKÉ RYCHLOSTI	27
5.2 NEPŘEDVÍDATELNÁ ATMOSFÉRA	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
6 PRÁVNÍ ASPEKTY	30
6.1 KOSMICKÝ PROSTOR.....	30
6.1.1 Řešení prostorové.....	31
6.1.2 Řešení funkční.....	32
6.1.3 Shrnutí	32
6.2 KOSMICKÁ SMLOUVA	33
6.2.1 Důležitá ujednání	33
6.3 ÚMLUVA O MEZINÁRODNÍ ODPOVĚDNOSTI ZA ŠKODY ZPŮSOBENÉ KOSMICKÝMI PŘEDMĚTY.....	34
6.3.1 Důležitá ujednání	34

6.4	ÚMLUVA O REGISTRACI OBJEKTŮ VYPUŠTĚNÝCH DO KOSMICKÉHO PROSTORU	36
6.4.1	Důležitá ujednání	36
7	CO NÁM HROZÍ OD KOSMICKÉHO ODPADU	37
7.1	KESSLERŮV SYNDROM	37
7.2	OHROŽENÍ OD SLUNCE	38
7.2.1	Nosné rakety.....	38
7.2.2	Sluneční elektromagnetická bouře	39
7.3	OHROŽENÍ SATELITŮ	40
7.4	VZÁJEMNÁ SRÁŽKA	41
7.4.1	Srážka Iridium 33 s Kosmos 2251	41
7.5	HROZBA NÁSLEDKŮ PROTISATELITNÍ RAKETY	43
7.5.1	Feng Yun 1C	43
7.6	OHROŽENÍ ISS.....	44
7.7	OHROŽENÍ KOSMICKÝCH LODÍ A JEHO POSÁDKY	46
7.7.1	Raketoplány a kosmické lodě.....	46
7.7.2	Ohrožení kosmonautů	46
7.8	OHROŽENÍ DOPADU NA ZEM	47
7.8.1	Průlet atmosférou	47
7.8.2	Dopad na zemský povrch a riziko střetu	48
8	PREVENCE PŘED KOSMICKÝM ODPADEM A JEHO NÁSLEDKY	54
8.1	IADC SPACE DEBRIS MITIGATION GUIDELINES	54
8.2	CHRÁNĚNÉ OBLASTI	54
8.3	OBEČNÉ POKYNY.....	55
8.4	ZMÍRŇUJÍCÍ OPATŘENÍ	56
8.4.1	Důležité pojmy	56
8.4.1.1	Pasivace	56
8.4.1.2	De-orbitace.....	56
8.4.1.3	Re-orbitace.....	56
8.4.1.4	Rozpad	56
8.4.2	Zmírnění odpadu během běžného provozu	57
8.4.3	Minimalizace potenciálních rozpadů na oběžné dráze.....	57
8.4.3.1	Minimalizace potenciálu rozpadu z nashromážděné energie po ukončení mise	58
8.4.3.2	Minimalizace potenciálu rozpadu během provozní fáze	59
8.4.3.3	Zabránění úmyslné destrukce a jiných škodlivých aktivit	59
8.4.4	Likvidace po ukončení mise.....	59
8.4.4.1	Geostacionární oblast.....	59
8.4.4.2	Oblast nízkých oběžných drah	60
8.4.4.3	Další oběžné dráhy.....	61
8.4.5	Prevence srážek na oběžné dráze	61
9	MOŽNOST VYUŽITÍ KOSMICKÉHO ODPADU.....	62
10	ZPŮSOBY ODSTRANĚNÍ KOSMICKÉHO ODPADU.....	63

10.1	ATMOSFÉRA	63
10.2	LASER	63
10.3	DAVIDŮV PRAK	64
10.4	SHRnutí.....	64
ZÁVĚR		65
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ		67
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		69
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		74
SEZNAM OBRÁZKŮ		75
SEZNAM TABULEK		77
SEZNAM PŘÍLOH		78

ÚVOD

Mnoho lidí se zabývá znečištěním oblohy, ale o vážnosti situace znečištění oběžné dráhy Země málokdo ví. Přitom by to mohl být ještě závažnější problém.

SSSR a USA se předháněli v počátcích dobývání vesmíru, každý chtěl být první v překonávání milníků a podpořit tak svou dominanci a ideologii. Na šetrnost vůči Zemi se nedbalo a tak se za 50 let oběžná dráha zanesla velkým množstvím kosmického odpadu. Na začátku nikoho kosmický odpad nezajímal, vesmír přeci poskytoval nekonečný prostor. Kosmický odpad se bral jako nutný vedlejší efekt dobývání vesmíru.

Dnes je situace ale poněkud jiná a kosmické agentury si začínají uvědomovat, že kosmický odpad začíná být velkým problémem. Lidé si v dnešní době zvykli na používání navigací, telekomunikací a berou je nyní automaticky jako součást života. Za to všechno vděčí satelitům, které obíhají kolem Země. Tyto satelity jsou ovšem ohrožovány nebezpečným kosmickým odpadem, který může velmi lehce tyto satelity vyřadit z provozu.

Někteří vědci tvrdí, že do 30 let budeme mít tak přeplněnou oběžnou dráhu, že bude velmi rizikové létat do kosmu, což by znamenalo konec letů do kosmu. Na situaci se velmi pomalu pracuje a bude zajímavé, jak se tato situace v budoucnu vyvine.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POJMY A DEFINICE

1.1 Kosmický odpad

Všechny uměle vyrobené objekty, včetně úlomků a jejich prvků na oběžné dráze Země nebo opětovně vstupující do atmosféry, které již nevykonávají svou funkci[17].

Pojem „kosmické smetí“ tudíž není vhodný.

1.2 Systemizace

Bezpečnostní futurologie → Kosmická bezpečnostní politika → Environmentální bezpečnost

1.3 Kosmické systémy

1.3.1 Kosmické lodě

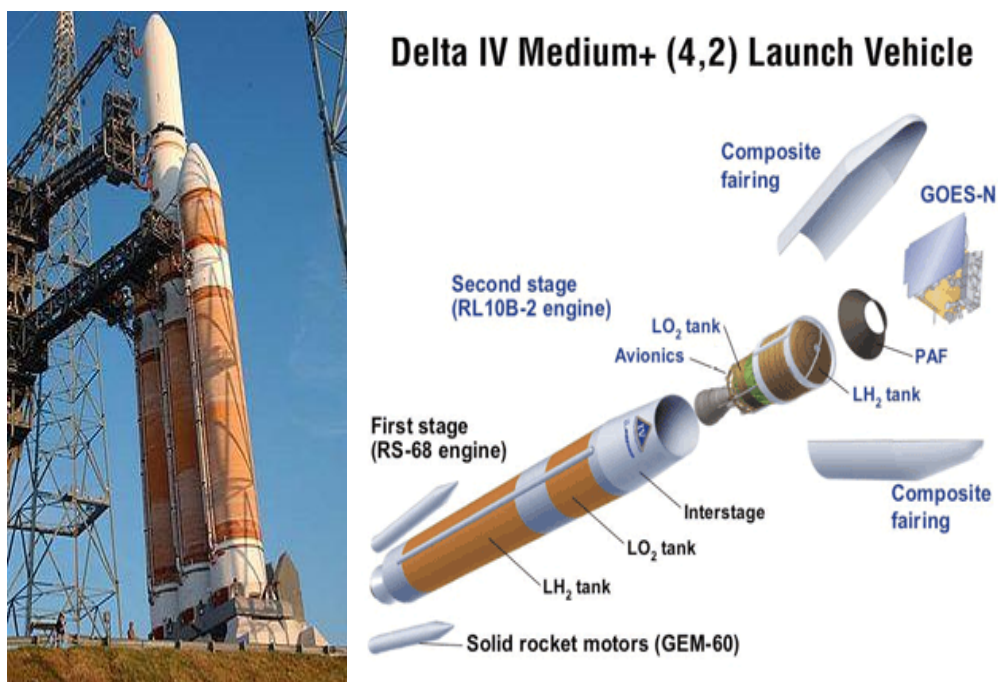
Obíhající objekt určen k výkonu zvláštních funkcí nebo posláním/misím (např. komunikace, navigace nebo pozorování Země). Kosmická loď, která již nemůže plnit své poslání je považována za nefunkční. Stává se tedy z ní kosmický odpad. Kosmická loď rezervní nebo v pohotovostním režimu, která čeká na reaktivaci, se považuje za funkční[17].



Obr. 1 Kosmická loď[18]

1.3.2 Nosné rakety

Jakýkoliv prostředek konstruovaný pro výstup do vesmíru, pro umístění jednoho či více objektů do vesmíru a pro balistické rakety. Aby se nosná raketa vymanila z účinků gravitace Země, musí dosáhnout 1. kosmické rychlosti. Z drtivé většiny nosných raket se ve vesmíru stává kosmický odpad[17].



Obr. 2 Nosná raketa a její rozbor[19; 20]

Nosné rakety, obsahující raketové motory a palivové nádrže, většinou slouží jen pro jeden vzlet. Na oběžné dráze se odpojí postupně všechny raketové motory a i celá nosná raketa se rozpojí na několik částí (viz. obrázek výše). Objekt, který potřebujeme tedy dostat na oběžnou dráhu, je až mnohonásobně menší jak nosná raketa. Můžeme také vidět, kolik a jak velké ve vesmíru poletují kusy kosmického odpadu. Nosné rakety mohou obsahovat nevyhořelé palivo, které může dále představovat velké riziko.

1.4 Operační fáze

1.4.1 Fáze vypuštění

Začíná ve chvíli, kdy nosná raketa není již ve fyzickém kontaktu s odpalovací rampou a vybavením (nebo když jsou nosné rakety spuštěny z nosného letadla) a pokračuje stále nahoru až do konce přiřazeného úkolu[17].

1.4.2 Provozní fáze

Fáze, kdy kosmický systém plní své poslání. Začíná na konci fáze vypouštění a končí na začátku fáze likvidační[17].

1.4.3 Likvidační fáze

Začíná na konci provozní fáze kosmického systému a končí ve chvíli, kdy jsou prováděny opatření ke snížení rizik pro ostatní kosmické systémy[17].

1.5 Oběžná dráha

Nebo-li orbita je dráha, po které se pohybují kosmické objekty.

1.5.1 Nízká oběžná dráha - LEO

Z angličtiny Low Earth Orbit. Je jedna z oběžných drah, které se nachází ve výškách od 160 km do 2000 km nad povrchem Země. Oběžná doba se pohybuje od 80 – 225 minut[21].

1.5.2 Geostacionární oběžná dráha – GEO

Z angličtiny Geostationary Earth Orbit. Zemská orbita má nulový sklon a nulovou excentricitu, doba oběhu se rovná době oběhu Země. Výška této oběžné dráhy je 35 786 km. Pozorovateli na Zemi se jeví objekt v GEO jakoby stál na místě. Oběžná doba je 23 hodin 56 minut[17].

1.5.3 Přejímová dráha ke geostacionární dráze - GTO

Z angličtiny Geostationary Transfer Orbit. Zemská orbita, která je nebo může být použita pro přenos kosmického systému z nižších oběžných drah do geostacionární oblasti. Takové dráhy mají typicky perigeum v LEO a apogeum v GEO[17].

1.6 Další pojmy

Apogeum – bod na dráze objektu, který obíhá okolo Země, kde je maximálně vzdálen od Země[23]

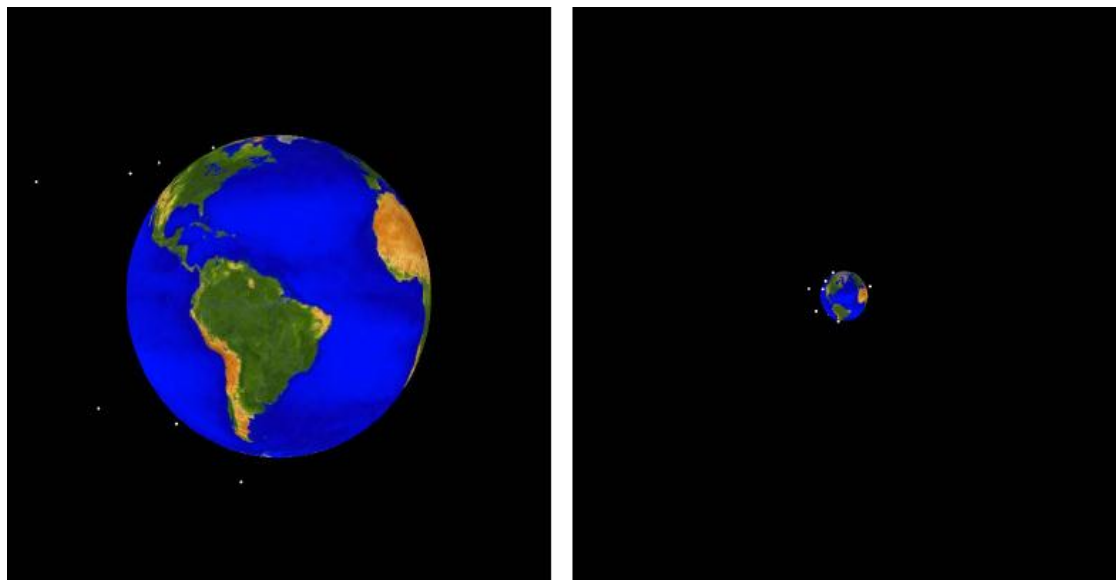
Perigeum – bod na dráze objektu, který obíhá okolo Země, kde je minimálně vzdálen od Země[23]



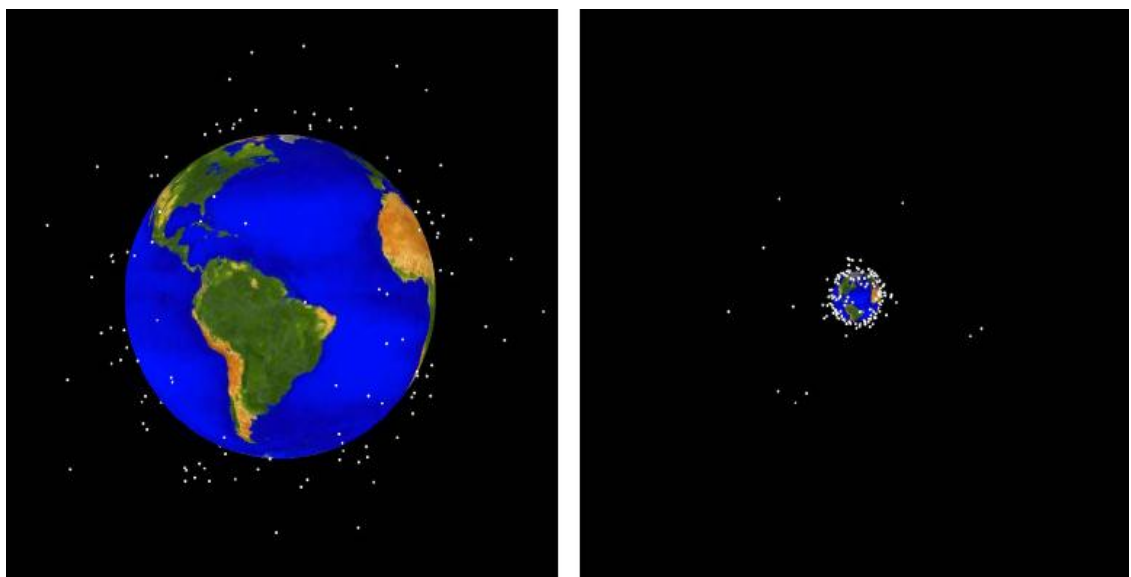
Obr. 3 Ničivá síla kosmického odpadu[51]

2 HISTORIE NAHROMADĚNÍ KOSMICKÉHO ODPADU

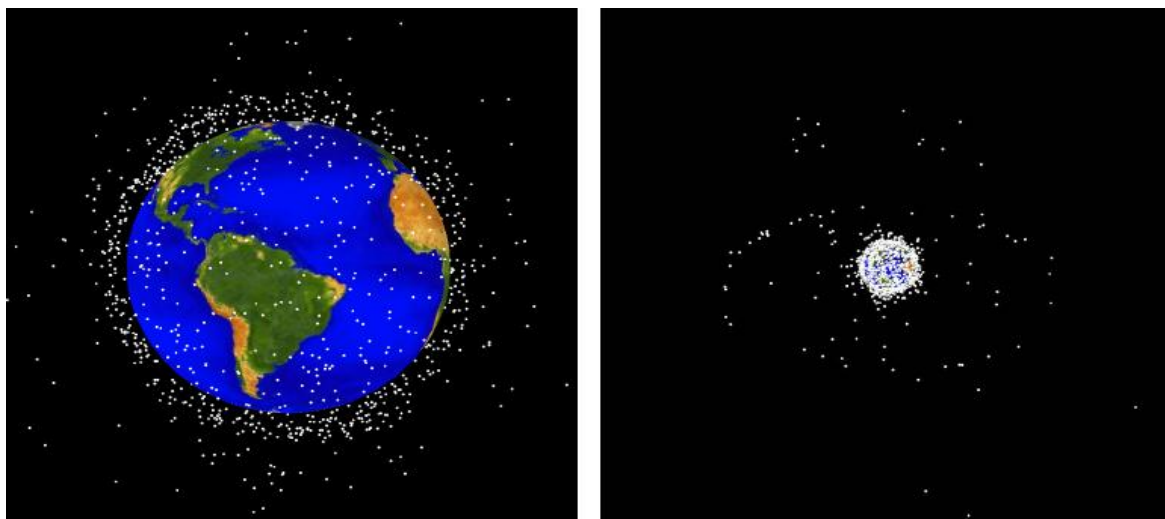
Za 50 let dobývání kosmu se na oběžné dráze Země usadilo mnoho tun kosmického odpadu, na následujících několika obrázcích můžeme pozorovat, jak v průběhu let enormně narůstal až do dnešní doby. Zobrazeny jsou pouze katalogizované objekty větší než 10 centimetrů (v průměru) v oblasti LEO a GEO.



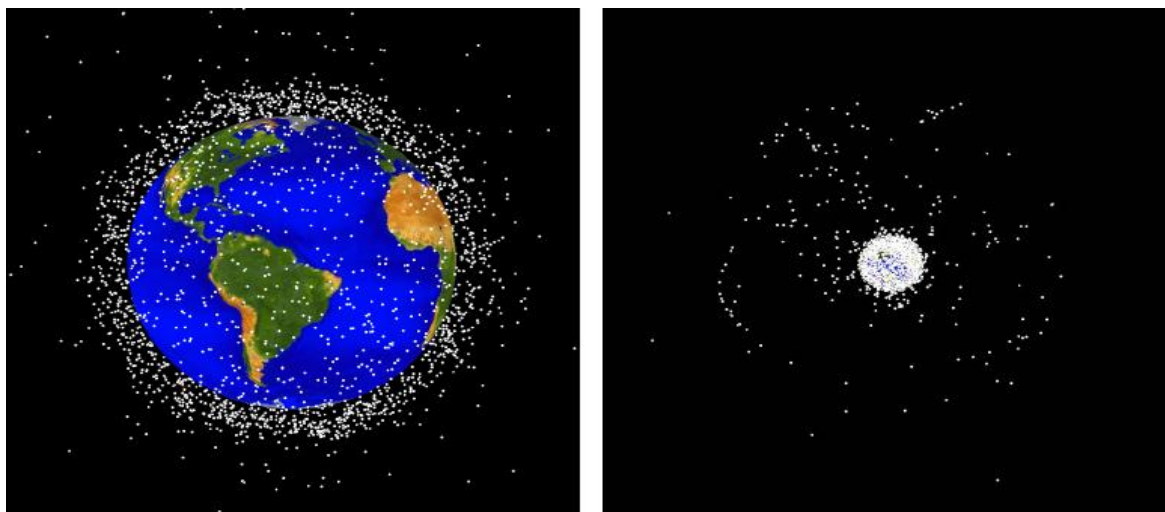
Obr. 4 Země roku 1960[27]



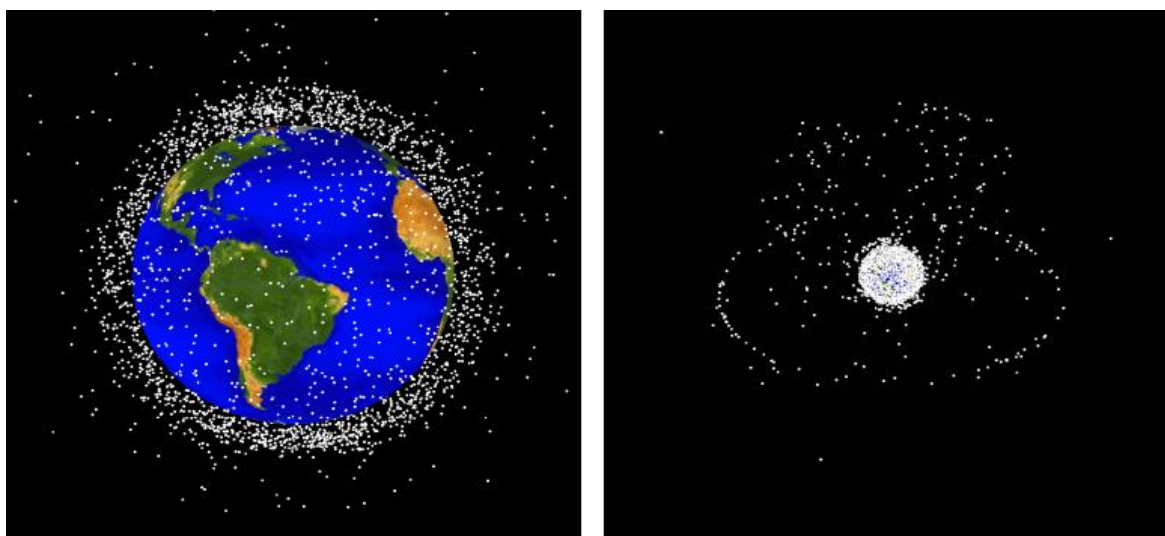
Obr. 5 Země roku 1965[27]



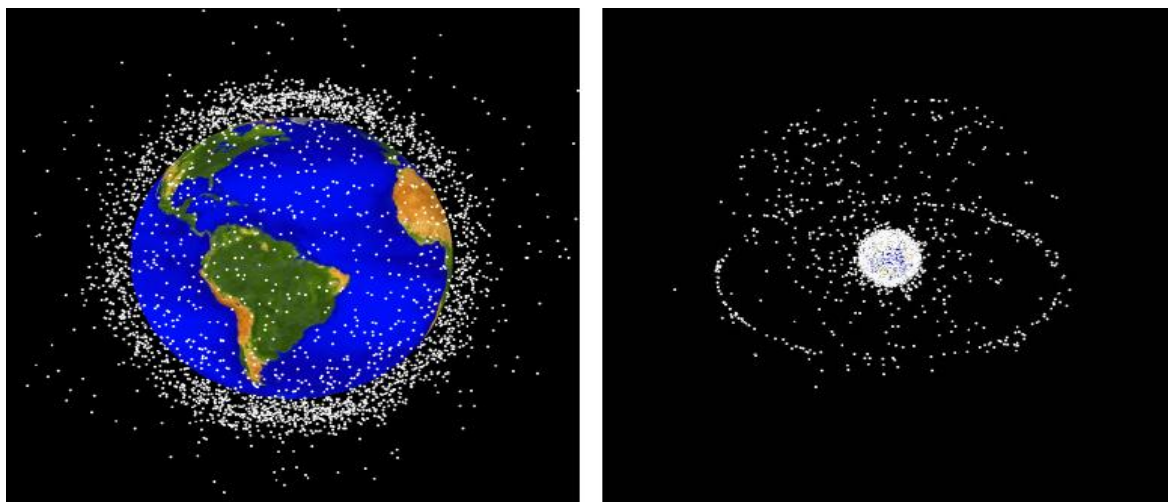
Obr. 6 Země roku 1970[27]



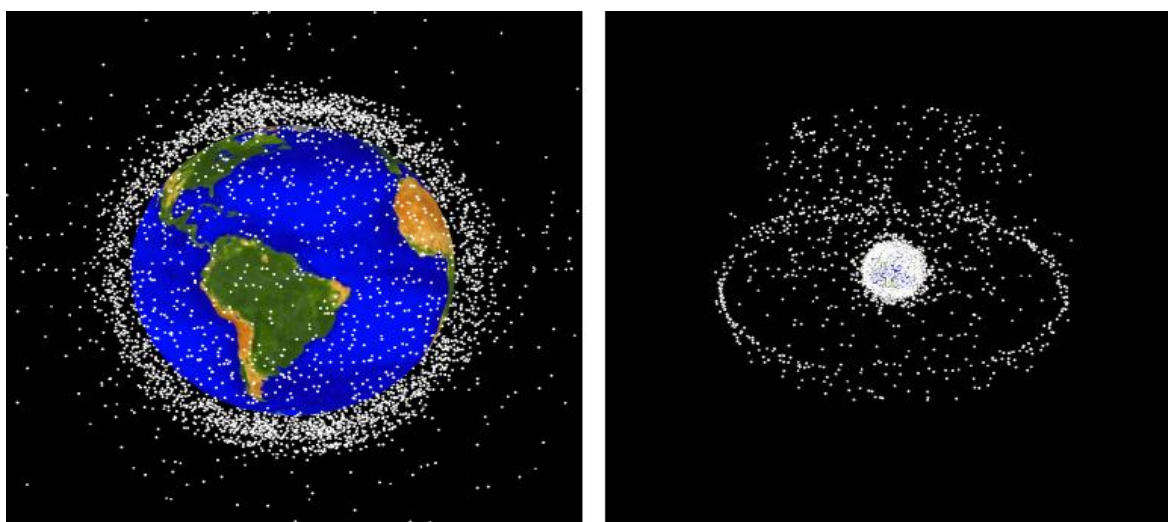
Obr. 7 Země roku 1975[27]



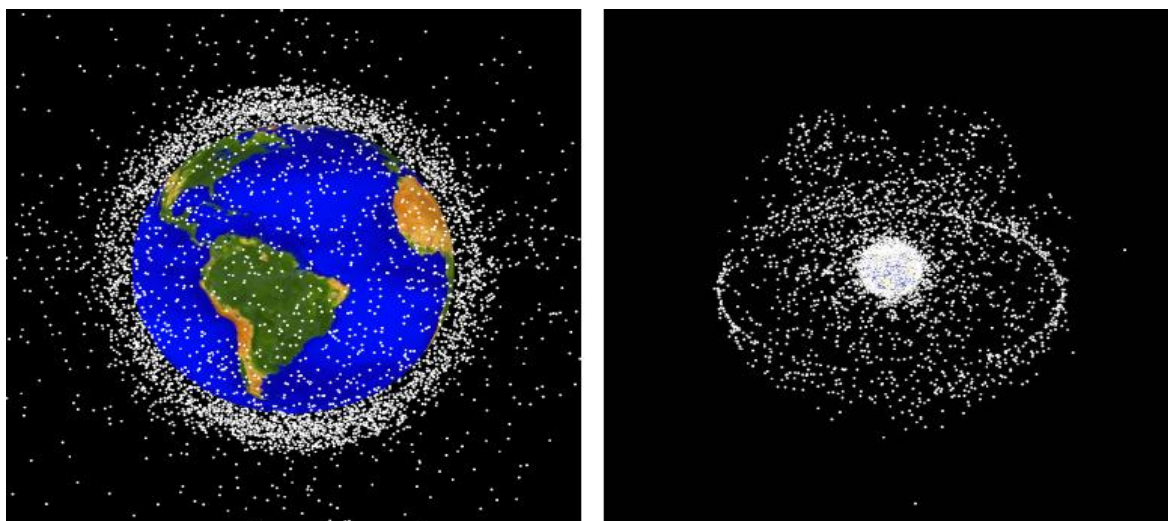
Obr. 8 Země roku 1980[27]



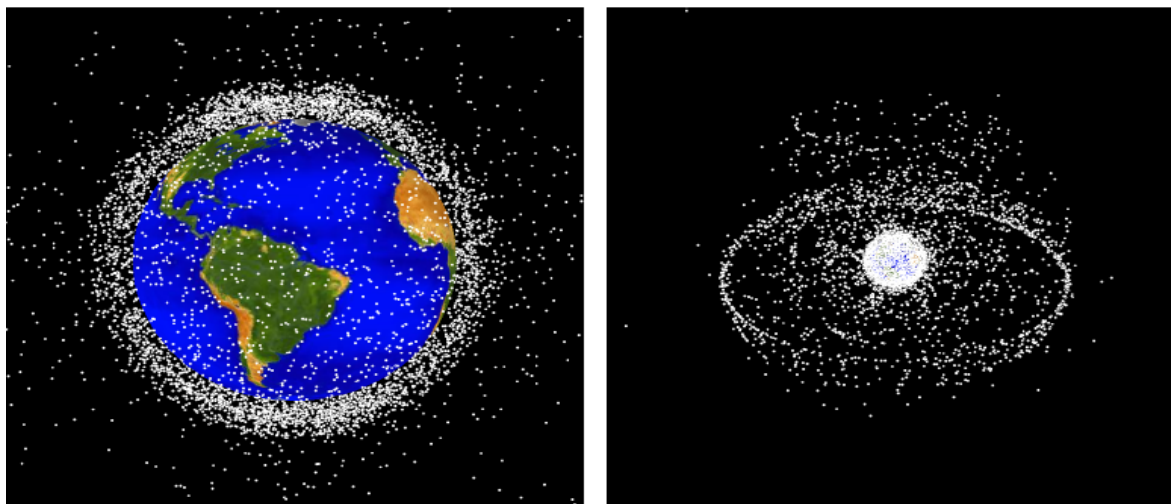
Obr. 9 Země roku 1985[27]



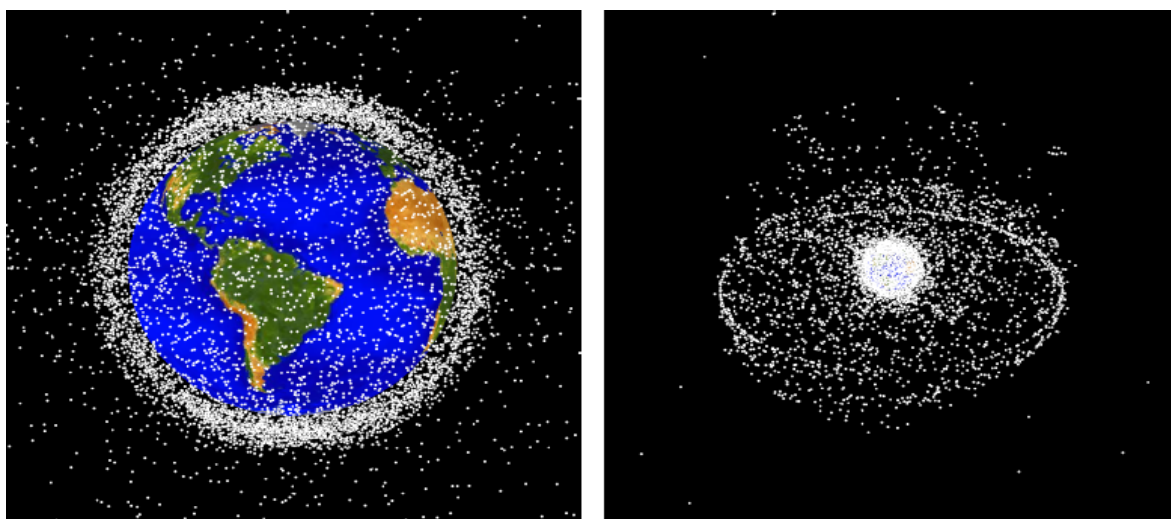
Obr. 10 Země roku 1990[27]



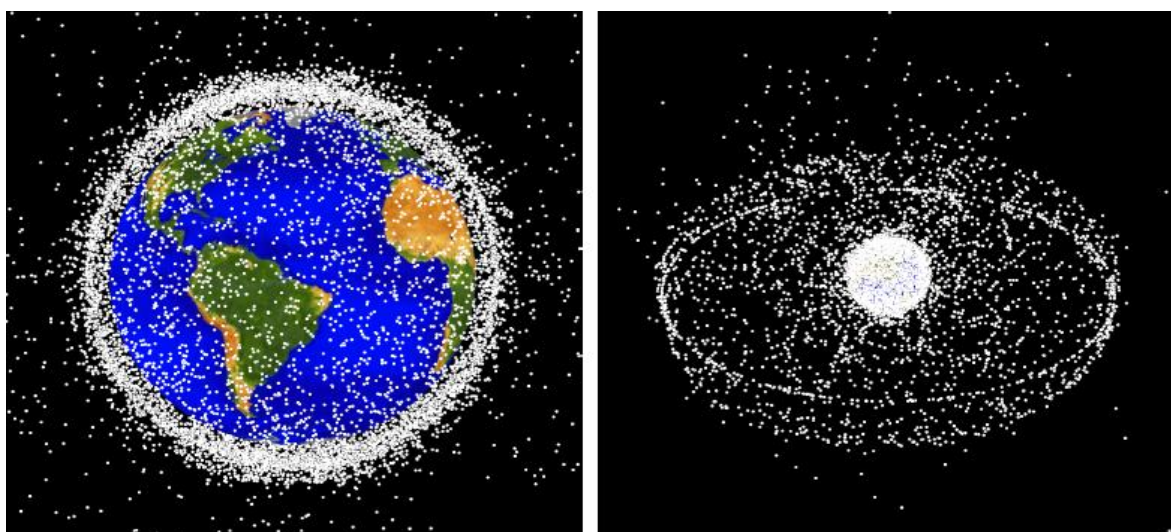
Obr. 11 Země roku 1995[27]



Obr. 12 Země roku 2000[27]



Obr. 13 Země roku 2005[27]



Obr. 14 Země roku 2009[27]

3 ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Celková hmotnost kosmického odpadu se odhaduje na 5 500 tun trosek, které jsou větší jak 10 centimetrů. NASA registruje skoro 20 000 takto velkých kusů na oběžné dráze Země. Těles větších jak 1 centimetr do 10 centimetrů je kolem 0,5 milionu a těles menších jak 1 centimetr se odhaduje až na 300 milionů! Za 50 let vzniklo kolem 35 000 registrovaných umělých objektů.

Nejstarším uměle vytvořeným kosmickým odpadem je, na oběžné dráze stále obíhající, americký nefunkční satelit VANGUARD 1, který byl vypuštěn v roce 1958. Předpokládá se, že cesta zpět do zemské atmosféry mu bude trvat dalších 240 let.

Na oběžnou dráhu bylo vysláno asi 6 000 satelitů, k dnešnímu dni je aktivní každý šestý. Což znamená, že z 5/6 se už stal kosmický odpad.

Satelity a kosmický odpad se minou na méně jak 8 kilometrů asi 1 000 krát za den.

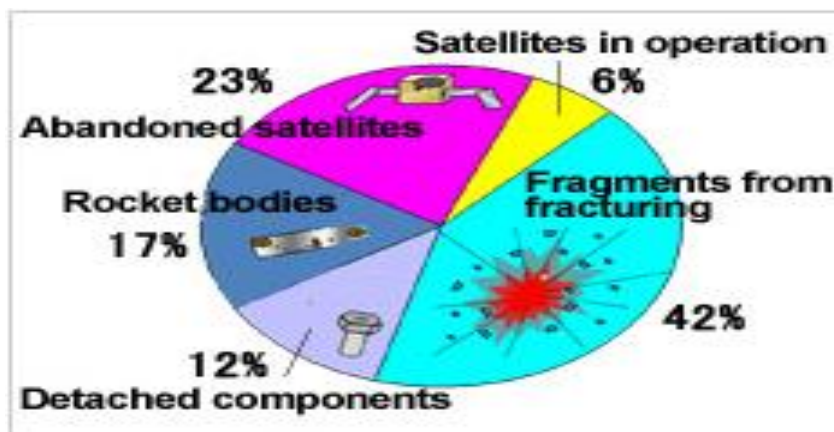
42% kosmického původu bylo vytvořeno umělým působením – sestřelení, rozpad, srážky (zkrátka veškeré úlomky a části).

Od ledna roku 2007 se zvýšil počet kosmického odpadu o 50% díky dvěma velkým nehodám – sestřelení čínské meteorologické stanice a srážkou amerického a ruského satelitu. 25% veškerého kosmického odpadu bylo vytvořeno právě při incidentu čínské stanice[24; 25; 26; 34].

Kosmický odpad se pohybuje v rychlostech od 1 - 8 km/s podle výšky, i z malého úlomku se tedy stává velmi nebezpečný šrapnel.

3.1 Složení kosmického odpadu

- Úlomky způsobené srážkami/výbuchy,
- zbytky palivových nádrží,
- vyhořelé stupně raket,
- vysloužilé sondy,
- vysloužilé satelity,
- prach z raketových motorů,
- kousky barvy a laku,
- součástky,
- nástroje,
- videokamera,
- brašna (v roce 2008 ji upustila americká astronautka) [24; 25; 26].



Obr. 15 Složení kosmického odpadu[29]

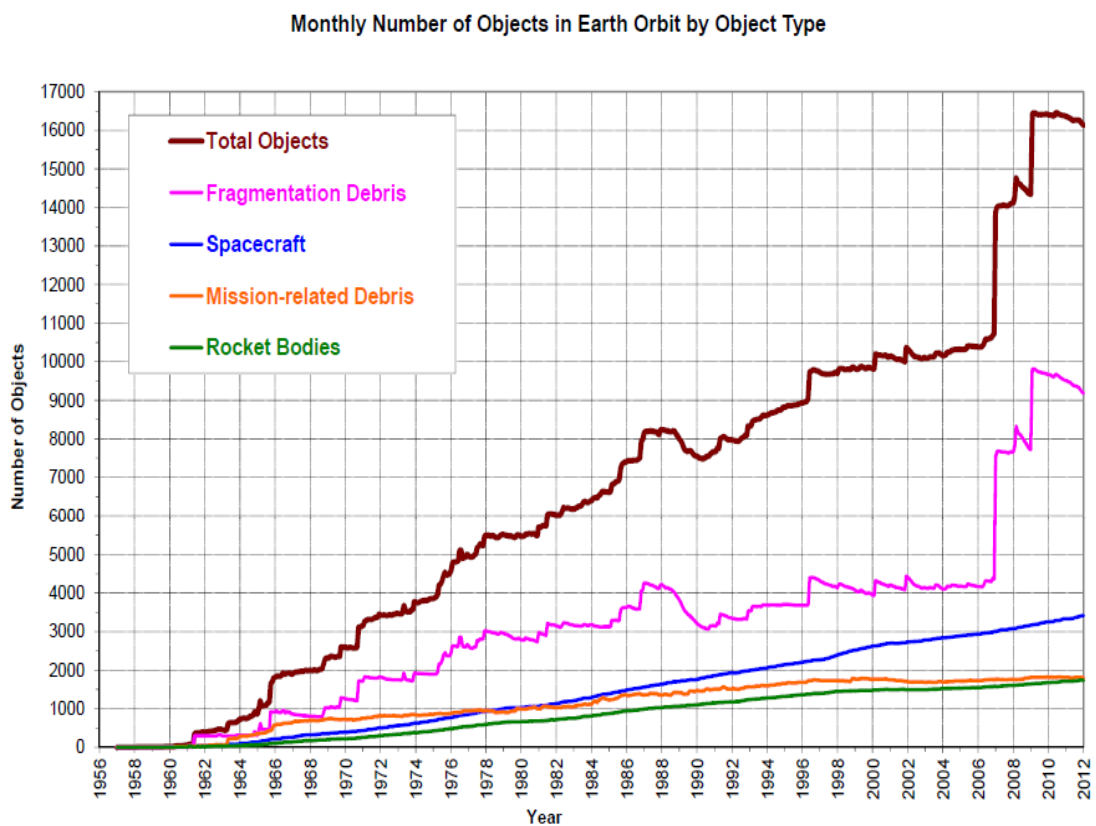
Kosmický odpad můžeme dělit také na explozivní a neexplozivní. Součástí explozivního kosmického opadu může být:

- zbytkové pohonné hmoty,
- baterie,

- vysokotlaké nádoby,
- sebedestruktivní zařízení,
- setrvačníky a hybná kola.

Množství kosmického odpadu, sledovaného US Space Surveillance Network, vzrostlo z 9 949 katalogizovaných objektů v prosinci 2006 na 16,094 v červnu 2011, představuje hrozbu pro družice a satelitní průmysl, který generoval výnosy 168 miliard dolarů v loňském roce. Na oběžné dráze je přibližně 1 000 operujících komerčních, vojenských a civilních satelitů[28].

Na následujícím obrázku můžeme vidět celkové počty jednotlivých druhů kosmického odpadu od počátků do letošního roku a také markantní nárůsty v letech 2007 a 2009.



Obr. 16 Počet kosmického odpadu k roku 2012[28]

3.2 Rozmístění kosmického odpadu

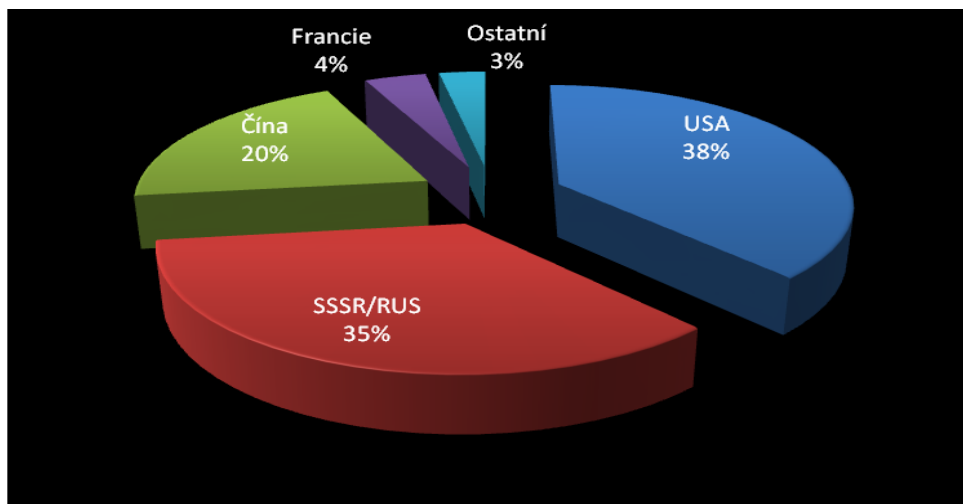
Jelikož je oblast ve výškách 600 – 800 km v LEO nejvíce využívána, nachází se zde nejvíce kosmického odpadu (rozptyl mezi 600 - 1 000 km). V LEO se nachází 73% veškerého kosmického odpadu. Pod touto oblastí, kolem 400 km, se nachází oblast velmi důležitá pro dlouhodobé přežití posádky ve vesmíru. Nachází se zde totiž velmi silné geomagnetické pole, které chrání před kosmickým zářením. Raketoplány létají nejčastěji do výšky 600 km – menší riziko. Ve výškách 800 – 1 000 km se nachází již velká koncentrace kosmického odpadu. Na následujícím obrázku můžeme vidět míru hustoty kosmického odpadu v daných výškách. Také jsou zaneseny obě nehody, které zvýšily objem kosmického odpadu téměř o 50%[24; 25; 26; 34].



Obr. 17 Poloha kosmického odpadu[28]

3.3 Největší světoví podílníci na kosmickém odpadu

USA a Rusko (bývalé SSSR) byli u dobývání kosmu od počátků, proto nashromáždili v kosmu nejvíce kosmického odpadu. Postupem času přibyli i další významní hráči jako ESA, ale hlavně Čína, která neslavně dohání Ameriku i Rusko.



Obr. 18 Státy a jejich podíl na kosmickém odpadu[26]

4 DETEKCE KOSMICKÉHO ODPADU

Jelikož je lidský život a veškerá kosmická technika velmi cenná, je třeba ji chránit. Kosmický odpad představuje v kosmickém prostoru největší hrozbu, mnohem větší než meteority. Naštěstí se dá monitorovat i ze Země a dá se mu tedy vyhnout změněním dráhy letu.

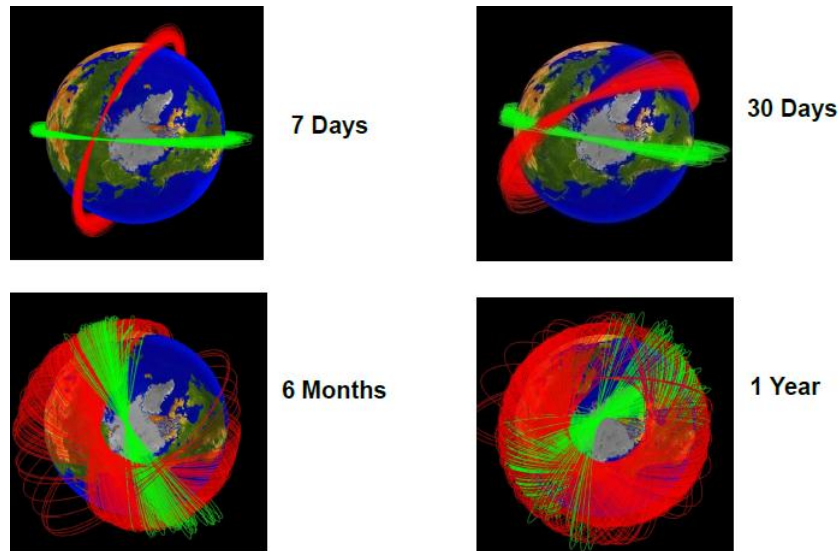
Používají se pozemní radary, optické teleskopy (i v kosmu). Rozsáhlé observatoře má USA, Rusko i ESA. Objekty větší jak 1 centimetr jdou detekovat, ale snadněji až od 5 centimetrů. Objekty menší jak 1 centimetr nelze registrovat.

Nejhustší síť satelitů po celém světě má americká Space Surveillance Network, 20 observatoří. Hlavním zdrojem dat je americký radar Haystack, který se nachází v MIT Lincoln Laboratory od roku 1990. Registruje objekty o velikosti 1 – 30 centimetrů. Registruje kosmický odpad včetně velikosti, výšky a sklonu. Operuje na vlnových délkách o velikosti 3 cm. Radary ovšem nemusí odhalit veškerý kosmický odpad kvůli vlivům Slunce, proto se používá i optických teleskopů. Využívají se tak obě varianty snímání. Teleskopy mohou snadněji odhalit kosmický odpad i ve velkých výškách, jako třeba v oblasti GEO[35].

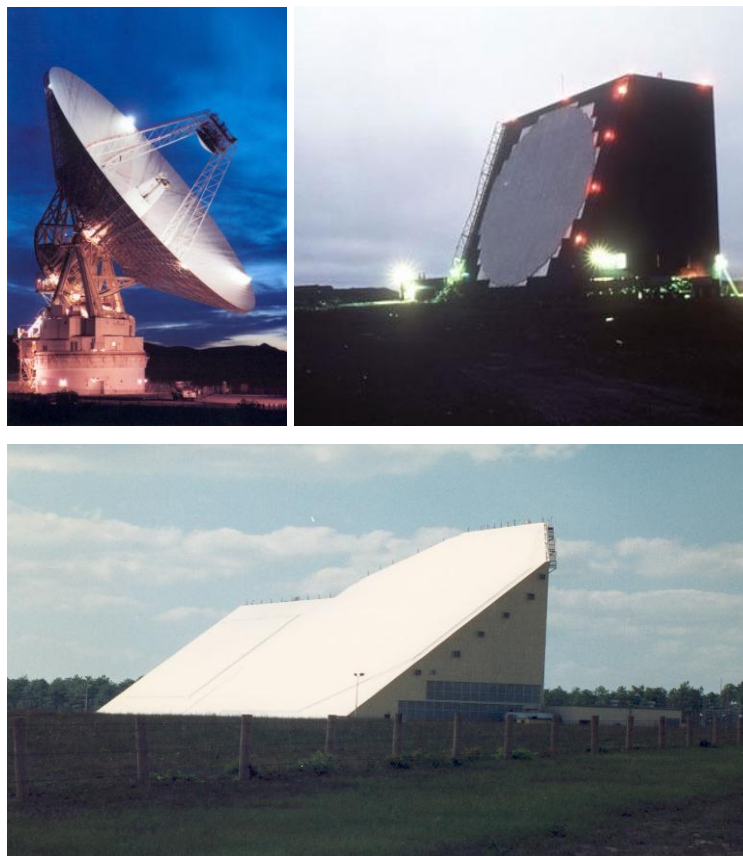


Obr. 19 Haystack[35]

Menší části kosmického odpadu mění oběžné dráhy tak rychle, že není v podstatě možné neustále sledovat tyto předměty. Toto demonstruje následující obrázek za 7 dní, 30 dní, 6 měsíců a 1 rok.



Obr. 20 Rozptyl kolizního odpadu[27]



Obr. 21 Radary sledující kosmický odpad[35]

5 FYZIKÁLNÍ PRINCIP

5.1 Kosmické rychlosti

První kosmická rychlost – rychlost, kterou je potřeba dosáhnout malým tělesem s malou hmotností, aby mohlo obíhat po kruhové dráze okolo planety Země, činí 7,9 km/s

Druhá kosmická rychlost – rychlost potřebná k úniku z povrchu planety Země, činí 11,2 km/s

Třetí kosmická rychlost – rychlost potřebná k opuštění oběžné dráhy Země, činí 42,1 km/s

Kruhová rychlost nezávisí na hmotnosti kosmického odpadu, ale na výšce, ve které se pohybuje. S rostoucí výškou klesá. Vypočítá se takto:

$$v_k = \sqrt{\frac{G \cdot M_z}{R_z}} \text{ [km/s]}$$

$M_z = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ - hmotnost Země

$R_z = 6378 \text{ km}$ – poloměr Země

$G = 6,67384 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \text{kg}^{-2}$ - gravitační konstanta[32; 33]

5.2 Nepředvídatelná atmosféra

Planeta Země se sama čistí od kosmického odpadu, díky své atmosféře, kde většina bezzbytku shoří. Atmosféra nutí kosmické objekty k sestupu. Ve výškách kolem 600 km a výše kosmický odpad klesá tak pomalu, že se zdá, jakoby neklesal. Kosmický odpad z takovýchto výšek klesá stovky až tisíce let. Ve výškách 10 – 20 000 km není ještě dokonalé vakuum, stále se zde nachází nepatrná část atmosféry. Kosmický odpad začíná znatelně brzdit ve výšce kolem 200 km. Atmosféra je hustá, klade odpor. Zpomaluje díky větší koncentraci molekul vzduchu, těleso tak začne ztrácet svou rychlost, asi tak o 100 m/s. Jak se rychlost objektu dostane pod 7,9 km/s, začne klesat směrem k povrchu. V hustším prostředí klesne víc. Rychlost sestupu nezáleží ani tak na hmotnosti, jako na

ploše. Rozměrnější objekt s velkou plochou klesá rychleji. Atmosféra je velmi nepředvídatelná ve svém stavu. Mění výšku i hustotu zcela nepravidelně. Ovlivňuje ji i Slunce – slunečními aktivitami[24; 25; 26].

Výška (km)	Životnost
200	3 dny
300	1 měsíc
400	1 rok
700	100 let
900	1 000 let
2 000	100 000 let
GEO	neomezená

Tab. 1 Životnost odpadu[30; 37]

Výška nad povrchem Země (km)	Kruhová rychlost (km/s)	Poznámka
0	7,905	
200	7,784	nejnižší dráhy družic
500	7,613	
1 000	7,350	
5 000	5,919	
10 000	4,933	
18 000	4,044	navigační družice GPS
36 000	3,067	stacionární družice
50 000	2,659	
100 000	1,936	
384 400	1,022	dráha Měsíce

Tab. 2 Rychlosti odpadu[31]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 PRÁVNÍ ASPEKTY

6.1 Kosmický prostor

Celá staletí si právníci nepokládali otázku suverenity jednotlivých států nad svým územím. Přímět určitý postoj členů mezinárodního společenství došlo až po rozmachu leteckého průmyslu, hlavně v oblasti vojenské sféry. Státy se musely postavit k obraně svého území při případném napadení ze vzduchu. Proto došlo k přijetí těchto stanovisek a začal se brát zřetel i na vzdušný prostor nad jednotlivými státy. Ovšem již se neřešila hranice, v jaké výšce svrchovanost států přestává platit.

Tato otázka ale přišla na řadu záhy po rozvoji kosmonautiky a prvních vesmírných letů. Někteří vědci se stavěli k tomuto problému tak, že suverenita států sahá do nekonečné výše. Žádná určující výše nebyla stanovena mezinárodním právem a tak se ani nebrala v potaz. Toto stanovisko se ale neseťkalo s širokým přijetím. V tomto případě by to totiž i dle pravidel letecké dopravy znamenalo, pro let kosmického objektu, neplánované porušování jednotlivých státních území a byl by tak vyžadován souhlas každého z nich, což by velmi zkomplikovalo či až zamezilo lety do vesmíru.

Uzavřely se mezinárodní smlouvy, které nakonec smetly ze stolu názor o nekonečné svrchovanosti států ve vertikální rovině. Kosmický prostor byl tímto deklarován za volný. Nemohl nikomu patřit. V dnešní době je prostor nad územím státu rozdělen na vzdušný prostor (jednoznačně patřící k danému státu) a kosmický prostor (patřící všem státům). Jelikož z právního hlediska jsou tyto dva prostory odlišné, bylo třeba určit striktní meze, kde končí vzdušný prostor (letecké právo) a začíná kosmický prostor (kosmické právo).

Toto rozdělení se ujalo a chopil se ho Výbor OSN pro mírové využívání kosmického prostoru. Některé státy toto ustanovení ovšem nechtěly připustit, namítaje možnost neřízeného letu při poruše kosmického objektu (bylo by tedy obtížné určit spodní mez) či využívání raketoplánů, kdy by se mez maximálně snížila. Z právního hlediska

došlo také k připomínce, že objekty na oběžné dráze nenarušují státní území pod nimi – toto je zaneseno v kosmickém právu. Nikdy se nenamítalo, že by umělá družice porušovala hranice států, tudíž se vytvořila právně závazná obyčejová norma. Jednotlivé státy se bály o svou bezpečnost, proto bylo pro ně důležité vytyčit veškeré hranice státu, ať již pozemní či nadzemské. Vznikly tak dvě řešení[8].

6.1.1 Řešení prostorové

S tímto řešením sympatizovali jak vědci tak také představitelé států. Nebyli ovšem jednotní co se určení meze mezi prostory týče.

Důraz byl kladen například na fyzikální jevy, jakožto určící prvek. Objevilo se tak několik tvrzení. Tam, kde se nenachází molekuly vzduchu, začíná kosmický prostor. Ovšem souvislý přechod z atmosféry do vakua znemožňuje přesné určení výšky. Dále byla brána v potaz výška – hranice, kdy nedochází k disperzi slunečního světla atmosférou, kde se tvoří polární záře, výskyt svítících meteoritů (při sestupu). Uvažovaly se také místa, kde je ještě člověk schopen přežít, či v místech, kde je gravitace rovna nule.

Poukazovalo se i na technická kritéria, hlavně co se aerodynamiky a konstrukce letadel týče. V místech, kde ještě mohou letadla létat, se nachází vzdušný prostor, tedy podléhá danému státu, řídí se mezinárodním právem. Postupem času z této myšlenky vznikla Karmánova linie. Řídí se poznatky z termodynamiky, fyziky a předpokládá hranici ve výšce 83 až 84 km, kde se údaj aerodynamického vztlaku blíží nule. Při letu objektu je v takovéto výšce udržován pouze odstředivou silou. Dále nad ni se již jedná o Keplerovy zákony. Například v Cooperově teorii zón byla porušena zásada svrchované rovnosti států. Tato teorie počítá s obsáhnutím dvou zón, svrchovanost státu sahá až do takové výše, kde může ještě prosazovat svou moc. Tímto by tedy ekonomicky silnější a technicky vyspělejší země neustále posunovali svou hranice výše[8].

6.1.2 Řešení funkční

Ti, kdo odmítali řešení prostorové, se přikláněli spíše k řešení funkčnímu. Toto řešení nespočívalo v určení výškové hranice, nýbrž se zabývali otázkou, co jsou to kosmické činnosti. Dle účelu a cíle mise by se pak určilo, zda-li je prostor omezen daným státem (činnosti na oběžné dráze), či zda má svobodu pohybu (lety na Měsíc atd.).

Argumenty proti prostorovému řešení se vedly v duchu absurdity řízení mise podléhající dvěma režimům v každém prostoru. Přirovnávali tuto situaci, jako chtít po letadle na ranveji dodržovat pravidla silničního provozu. V kosmické smlouvě se také kosmický prostor nedefinuje a zabývá se zásadami řízení činností států při výzkumu v tomto prostoru. Kladen je také důraz na bezpečnost států teoretickým ničením balistických střel daleko před hranicí ohroženého státu či nepovolené pozorovací činnosti geostacionárních družic a přísné nazírání na jejich přesnou polohu.

Za dob studené války bylo ovšem obtížné určit pravdivost tvrzení o účelu mise a nakládání s daty a dokumentací. To, že se určí hranice obou prostorů, ještě neznačí, že by stát nemohl být ohrožen. Prostor je ovšem vytyčen a stát si tuto svou hranici může kontrolovat dle svého uvážení a případně konat. Takový případ můžeme připodobnit k ohroženosti volných moří, hlavně ponorkami. Je tu jistá paralela mezi hranicí mezi vzdušným a kosmickým prostorem a hranicí moří. Hranice v moři je ovšem stálá, kdežto v kosmickém prostoru se dějí nepatrné fyzikální odlišnosti na rozdíl od vzdušného. V daných podmínkách a za dané situace bylo funkční řešení v podstatě nepoužitelné[8].

6.1.3 Shrnutí

Do dnešní doby nebyla stanovena výšková hranice mezi vzdušným a kosmickým prostorem. Prostorové ani funkční řešení tedy neměly dostatečně pádné důvody k jednoznačné identifikaci hranice obou prostorů. Za ta léta polemizování se do dnešní doby politická situace radikálně změnila a zklidnila. Vesmírné organizace jednotlivých států dnes spolupracují na společných vesmírných misích a tak otázka důležitosti vymezení hranic svrchovanosti států nad svým územím již není tak podstatná, ale je stále otevřena[8].

6.2 Kosmická smlouva

Neboli Smlouva o zásadách činnosti států při výzkumu a využívání kosmického prostoru včetně Měsíce a jiných nebeských těles. Je první a základní smlouvou. Vstoupila v platnost 10. října 1967 a byla podepsána vládami USA, Sovětského svazu a Velké Británie. 98 států tuto smlouvu ratifikovalo a dalších 27 států ji podepsalo. Obsahuje 17 článků[10; 11].

6.2.1 Důležitá ujednání

- Výzkum a užívání kosmického prostoru včetně Měsíce a jiných nebeských těles se vykonává ve prospěch všech zemí na jakémkoliv stupni vědecké či hospodářské úrovni, náleží veškerému lidstvu;
- státy si nesmějí přivlastnit jakýmkoliv způsobem kosmický prostor, Měsíc a nebeská tělesa;
- na oběžnou dráhu Země, nebeská tělesa či v kosmickém prostoru státy nebudou situovat zbraně hromadného ničení či jaderné zbraně, veškerý prostor je určen pro mírové účely;
- **odpovědnost za národní činnost** v kosmickém prostoru včetně Měsíce a jiných nebeských těles berou na sebe smluvní státy, ať se jedná o vládní či nevládní (povoluje a kontroluje stát) organizace;
- **odpovědnost za mezinárodní činnost** v kosmickém prostoru včetně Měsíce a jiných nebeských těles bere na sebe jak mezinárodní organizace, tak smluvní státy, které jsou členy;
- státy, které provádí (i podílejší se) vypouštění objektů do kosmického prostoru, státy z jehož území či zařízení se tyto činnosti provádí, **jsou mezinárodně odpovědné za škody způsobené těmito objekty**, ve vzdušném či kosmickém prostoru včetně Měsíce a nebeských těles, jiné smluvní straně anebo fyzickým či právnickým osobám na Zemi;
- stát, jehož vypuštěný objekt je zapsán v rejstříku, má kontrolu a jurisdikci po celou dobu, kdy se nachází v kosmickém prostoru[10; 11; 12; 15].

6.3 Úmluva o mezinárodní odpovědnosti za škody způsobené kosmickými předměty

Tato úmluva byla podepsána ve Washingtonu, Moskvě a Londýně dne 29. března 1972. 30. srpna 1972 vstoupila v platnost a obsahuje 28 článků[14].

6.3.1 Důležitá ujednání

- Pojem **škoda** – ztráta života, tělesné poškození či jiné ublížení na zdraví, nebo ztrátu či škodu na majetku států či osob právnických nebo fyzických, nebo majetku mezinárodních organizací;
- pojem kosmický objekt – patří sem součásti daného objektu **a také transportní prostředek a jeho části**;
- pojem vypouštějící stát – je stát, který vypouští a zajišťuje vypouštění kosmických objektů a také stát, na jehož území vypouštění probíhá;
- **vypouštějící stát je povinen uhradit újmu zapříčiněnou jeho kosmickým objektem** letadlům během letu či na zemském povrchu;
- pokud je újma způsobena kosmickým objektem jinému kosmickému objektu rozdílných vypouštějících států mimo zemský povrch, stát ručí za škody pouze v případě jeho viny či viny osob, za které zodpovídá;
- pokud dva vypouštějící státy způsobí újmu státu třetímu, náhradu škody hradí oba státy dle míry provinění, pokud nelze určit, náhrada se dělí stejným dílem;
- pokud se na vypouštění podílí více států, škoda se hradí vzájemně;
- ten stát, který danou škodu uhradil, má právo si nárokovat odškodnění od dalších účastníků vypouštění, účastníci mohou zakládat dohody o dělení financování dluhu;
- území či stát, na kterém vypouštění proběhlo je také spoluúčastníkem vypouštění;

- osvobození odpovědnosti vypouštějícího státu lze akceptovat, pokud se prokáže hrubá chyba a úmysl nárokujícího státu nebo zastupujících právnických či fyzických osob;
- nárok na škodu se nevztahuje na státy, kdy jsou vypuštěny objekty státním příslušníkem vypouštějícího státu či cizím státním příslušníkem;
- vypouštějícímu státu lze podat nárok na náhradu škody, pokud stát nebo jeho právnícké či fyzické osoby utrpěly újmu;
- vypouštějícímu státu lze podat nárok na náhradu škody, za újmu způsobenou na území státu nebo jeho právnických či fyzických osob, pokud výše jmenovaný stát nepodá nárok;
- vypouštějícímu státu lze podat nárok na náhradu škody, za újmu osobám s trvalým pobytem v daném státu, pokud oba výše jmenované státy, nepodají nárok;
- nárok za způsobenou újmu se vypouštějící stát žádá diplomatickou cestou a to do jednoho roku od vzniku události nebo do jednoho roku od zjištění události;
- náhrada dosahuje výše takového statusu, jakoby se daná škoda neodehrála;
- pokud se státy nedohodnou, vyplácí se nárok v měně státu, který návrh podal;
- při selhání dohody diplomatickou cestou se vytvoří tzv. komise pro zjištění nároků, která rozhodne o tomto nároku i v jaké výši;
- pokud újma způsobena kosmickým objektem má značný vliv na život obyvatel, prošetří smluvní státy a hlavně stát vypouštějící východiska poskytnutí pomoci[10; 14].

6.4 Úmluva o registraci objektů vypuštěných do kosmického prostoru

Tato úmluva vstoupila v platnost 15. září 1976 a byla podepsána v New Yorku. Tato úmluva má 12 článků a navázala na smlouvy předchozí[13].

6.4.1 Důležitá ujednání

- Objekty vypouštěné do kosmického prostoru se registrují do náležitého rejstříku státem, který tento objekt vypustil, tyto informace sdělí generálnímu tajemníkovi OSN;
- generální tajemník OSN bude spravovat Rejstřík, do kterého se všechny tyto informace od jednotlivých států budou zapisovat, bude volně přístupný;
- údaje budou obsahovat: jméno státu/států vypouštějící objekt, registrační číslo objektu, místo a datum vypuštění, údaje o oběžné dráze (včetně sklonu dráhy, doby oběhu, apogea a perigea), funkce daného objektu;
- státy musí také nahlásit generálnímu tajemníkovi OSN skutečnost, že daný objekt se již nenachází v kosmickém prostoru;
- pokud stát, nedokáže identifikovat kosmický objekt, který vyvolal škodu, či došlo k ohrožení bezpečí, může požádat o pomoc smluvní státy, které mají pozorovací a monitorovací technologie;
- tyto povinnosti se týkají také mezinárodních kosmických organizací[10; 13].

7 CO NÁM HROZÍ OD KOSMICKÉHO ODPADU

Problém kosmického odpadu není stále prioritou kosmických agentur a je z větší části přehlížen. Většina finančních prostředků směřuje úplně jinam. Odstraňování kosmického odpadu asi není dostatečně vzrušující. Jenže po roce 2009, kdy byl kosmický odpad téměř zdvojnásoben, to pro kosmický prostor a další budoucí počínání v něm nevypadá dobře. Díky frekventovaným srážkám je neustále generován kosmický odpad velmi rychle a situace začíná být kritická. Pokud se urychleně nenajde řešení problému, bude v budoucích letech velmi složitě operovat v kosmickém prostoru. Někteří vědci tvrdí, že do 300 let již nebude možno vypustit do kosmu kosmický systém, aniž by byl poškozen kosmickým odpadem. To by mohl být opravdu katastrofální scénář, jelikož v dnešní době jsme hodně závislí na satelitech v kosmu. Jednak by poškozené satelity nešli opravit, ale ani bychom nevyslali žádný nový. Problém by nepostihl jen komunikace.

7.1 Kesslerův syndrom

Nebo také Kesslerův efekt byl definován vědcem z NASA Donaldem J. Kesslerem v roce 1978. Jde o scénář, ve kterém hustota objektů v LEO bude tak vysoká, že srážka mezi dvěma tělesy může způsobit kaskádový efekt – každá kolize bude generovat další úlomky, které zvýší pravděpodobnost další srážky. Jedním z důsledků tohoto jevu je, že učiní průzkum vesmíru a používání satelitů nerealizovatelným po mnoho generací.

Každý satelit, každá družice má potenciál k vytvoření kosmického odpadu. Jak počet satelitů na oběžné dráze roste a staré satelity se stávají zastaralými a nefunkčními, možnost Kesslerova syndromu se stává větší a větší.

Naštěstí většina používaných se nachází v oblasti LEO, kde zbytkový odpor vzduchu pomáhá udržovat tuto zónu čistou. Kolize, ke kterým by mohlo dojít pod touto výškou, nejsou považovány za takový problém, protože směry do kterých úlomky směřují, se kříží se Zemí nebo mají perigeum pod touto výškou.

Ve výškách nad touto úrovní je čas potřebný na orbitální rozpad mnohem delší. Mírný atmosférický tlak a sluneční vítr může postupně stáhnout dolů kosmický odpad do nižších výšek, kde může vstoupit do atmosféry, ale ve vysokých výškách to může zabrat i celá tisíciletí.

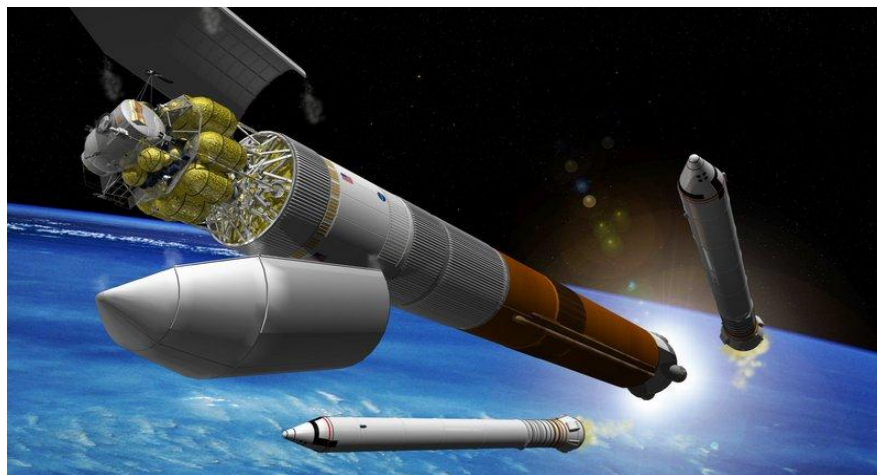
Kesslerův syndrom je zvláště nebezpečný z důvodu dominového efektu. Každá srážka mezi dvěma objekty vytvoří značný počet šrapnelů. Každý takový kus má potenciál způsobit další škodu, vytvořit ještě více kosmického odpadu. Při dostatečně velké kolizi či explozi (jako mezi vesmírnou stanicí a vyřazeným satelitem nebo nepřátelského útoku v kosmu) výše kaskádového efektu by mohla stačit k tomu, aby oblast LEO byla neprůchozí.

Chceme-li minimalizovat pravděpodobnost poškození dalších kosmických systémů, konstruktéři nových kosmických systémů musí prokázat, že na konci své životnosti jdou bezpečně zlikvidovat jako například systém kontrolovaného vstupu do zemské atmosféry[36].

7.2 Ohrožení od Slunce

7.2.1 Nosné rakety

Slunce může představovat důvod, proč by mohlo dojít k vytvoření dalšího kosmického odpadu. V tomto případě z nosných raket. Po odhození již nepotřebných nosných raket na oběžné dráze je stále přítomno zbytkové nevyhořelé palivo. Tak se z nosných raket stává explozivní kosmický odpad. Je to hodně individuální, ale v nosných raketách se může nacházet až 0,5 – 1 tona nevyhořelého paliva. Pokud je nosná raketa na oběžné dráze zahřívána Sluncem, může po čase explodovat. V přítomnosti tak velkého množství paliva dojde k mohutné explozi, která generuje velké množství kosmického odpadu ve formě úlomků. Tyto úlomky můžou představovat vážné nebezpečí v oblasti LEO.



Obr. 22 Odpojení nosných raket[38]

7.2.2 Sluneční elektromagnetická bouře

Sluneční erupce jsou běžným úkazem. Elektromagnetické záření, které je vrženo do vesmíru zasahuje i Zemi. Většinou nejde o nic až tak zásadního, jelikož tyto bouře díky vzdálenosti nejsou tak silné. Objevují se ovšem případy, kdy tyto bouře mají dopad na Zemi. Ohrožuje rozvodné sítě, telekomunikace, astronauty na ISS; ovlivňuje činnost satelitní navigace a dokonce může i poškodit družice.

Slunce pozorujeme teprve velmi krátkou dobu, za dobu jeho působení, došlo několikrát k mnohem silnějším elektromagnetickým bouřím, ale lidé o nich dříve nevěděli. Tento jev se nedá nijak ovlivnit ani se nedá proti němu výrazně bránit. Je možnost, že by Zemi zasáhla mohutná elektromagnetická vlna, která by nejenže měla katastrofální následky na elektroniku na Zemi, ale hlavně na oběžnou dráhu Země. Země je chráněna svými vrstvami, ale v kosmu je veškerá elektronika nechráněná. To by znamenalo vyřazení všech satelitů a všeobecně kosmických systémů na oběžné dráze Země. Nejenže by byla přerušena komunikace a navigace, ale ze satelitů by se stal neovladatelný kosmický odpad plující prostorem.



Obr. 23 Sluneční erupce[40]

7.3 Ohrožení satelitů

Satelity na oběžné dráze jsou velmi důležité pro život lidí na Zemi. Ovšem hrozba kosmického odpadu platí i pro ně. Satelity nacházející se v oblasti GEO nejsou více méně ohroženy, jelikož se nachází v oblasti s minimem kosmického odpadu. Satelity se nacházejí ale i v nižších výškách, kde už je pravděpodobnost srážky větší. Kosmický odpad léta v rychlostech až 7 krát vyšší jak rychlost kulky, proto i milimetrové úlomky můžou poškodit, či dokonce vyřadit satelit z funkce. Elektrické kabely mohou být dokonce přerušeny částicemi barvy či laku a vyřadit tak důležité funkce satelitu. Kosmický odpad o velikosti centimetrů již může satelit zcela zničit. Satelity totiž nejsou výrazně pevné a tak by neškodil zabudovaný manévrovací systém proti kosmickému odpadu. Satelity jsou totiž velice drahé technologie. Ovšem i technická závada může způsobit řetězovou reakci, která nakonec povede ke zničení satelitu.

V minulosti docházelo k častému ničení satelitů, hlavně ze strany SSSR, které nechtělo dopustit, aby se jeho špionážní družice dostala například do rukou tehdejšího nepřítele. Z těchto nesmyslných až paranoidních činů vzniklo velmi mnoho úlomků kosmického odpadu, které nyní ohrožují své okolí.

7.4 Vzájemná srážka

Případ vzájemných srážek je nejčastějším rizikem, které jsou na každodenním pořádku. Mluvíme tu o největší pravděpodobnosti střetu dvou objektů. Ke srážce dochází nejčastěji pod úhlem 90 stupňů. Při tak velkých rychlostech se při nárazu tyto rychlosti sčítají a uvolní se velké množství energie, které oba objekty roztříští na tisíce kusů.

Datum	Zasažené těleso	Důvod srážky	Výška (km)
23. 12. 1991	Kosmos 1934	Úlomek z Kosmosu 926	980
24. 07. 1996	Cerise	Úlomek rakety Ariane	685
1997	NOAA 7	Neznámý úlomek	
2002	Kosmos 539	Neznámý úlomek	
17. 01. 2005	Thor Burner 2A	Část čínské rakety	885
Červenec 2007	Meteosat 8	Neznámý úlomek	
11. 10. 2007	UARS	Neznámý úlomek	
01. 11. 2007	Feng Yun 1C	Úmyslně zničen raketou	865
21. 02. 2009	USA 193	Úmyslně zničen raketou	249
10. 02. 2009	Iridium 33	Kosmos 2251	790

Tab. 3 Vzájemné srážky[30]

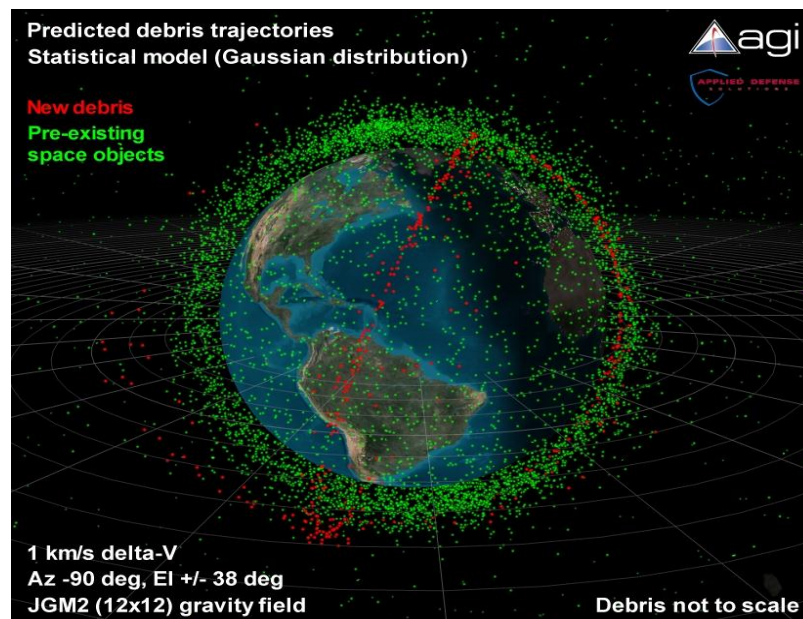
7.4.1 Srážka Iridium 33 s Kosmos 2251

10. února 2009 kolem 17. hodiny se nad Sibiří srazila americká telekomunikační družice Iridium 33 a nefunkční ruský satelit Kosmos 2251 ve výšce 790 km. Vzniklo

tisíce drobných úlomků (1 700 větších registrovaných), které ohrožují ISS a ostatní satelity. Byla to první zaznamenaná srážka dvou družic v historii. Ostatní byly pouze srážky s úlomky a nebyly významné. Začalo vzájemné osočování Ruska a USA. Rusko poukázalo, že Kosmos byl vyřazeným satelitem a tak nebyl schopen manévrování, byla to chyba Iridia, které se mělo vyvarovat kolizi. Rusko také zmínilo, že nemělo povinnost, dle mezinárodního práva, k likvidaci poté, co se stal vyřazeným. Američané zase tvrdili, že Iridium nemělo povinnost vyhnout se kolizi, ikdyž vědělo, že k ní může dojít. Nakonec se viník neurčil, USA a Rusko začalo vést dialog o takovýchto incidentech a jejím předcházení. Došlo tak k dohodě o sdílení dat z oběžné dráhy mezi vládními i nevládními organizacemi[41].

Hmotnost Iridium: 900 kg

Hmotnost Kosmos: 685 kg



Obr. 24 Přírůstek kosmického odpadu[41]

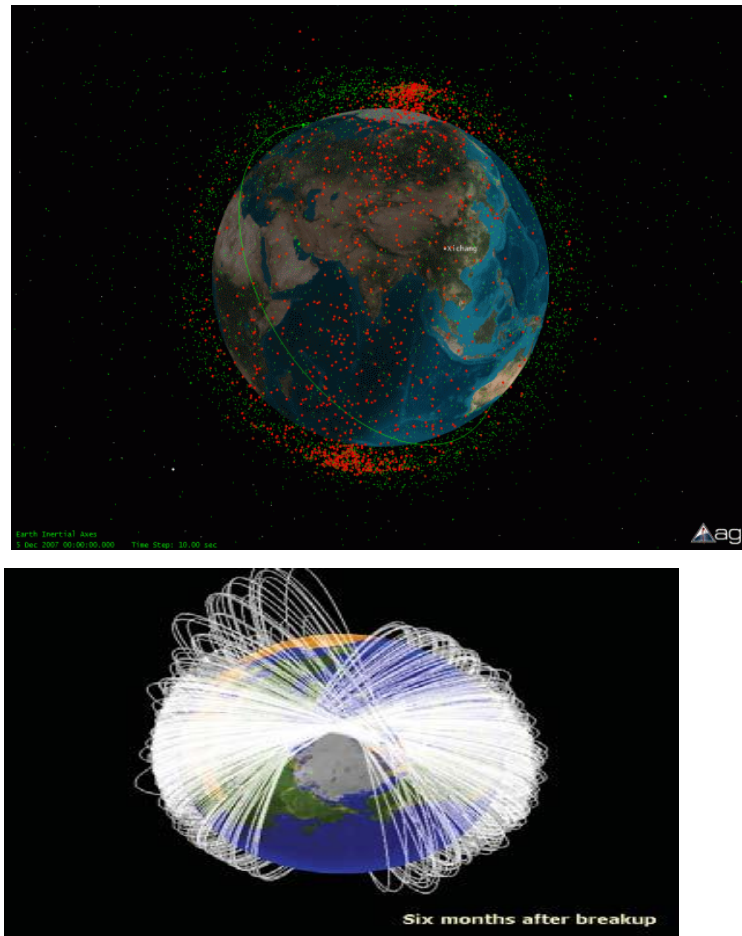
7.5 Hrozba následků protisatelitní rakety

Satelit na oběžné dráze Země může být sestřelen naváděnou raketou ze země nebo z válečné lodi. Většinou se tak děje, pokud je satelit příliš nízko a je riziko, že by nemusel být celý bezezbytku spálen v zemské atmosféře. V opačném případě ve vyšších výškách by se k takovému způsobu přistupovat nemělo, jelikož je velmi nebezpečný (kosmický odpad bude zůstat velmi dlouho na oběžné dráze). Podobně jako v případě srážky dojde k masivnímu výbuchu a vytvoření tisíců úlomků. Jeden takový katastrofický incident se stal v roce 2007, kdy spolu s následující srážkou satelitů v roce 2009, vytvořily o 50% více kosmického odpadu jako za celých 50 let.

7.5.1 Feng Yun 1C

Číňané v lednu roku 2007 sestřelili svou vlastní, 750 kg vážící, meteorologickou družici Feng Yun 1C ve výšce 865 km pomocí antisatelitní rakety. Z toho incidentu vzniklo na 2 317 kusů registrovaných objektů (velikosti golfového míčku a větších) a asi 150 000 úlomků, které budou na oběžné dráze až 100 let. Jedná se tak o největší nehodu generující kosmický odpad v historii. Dle vyjádření Číny šlo pouze o test, přitom tomu nebylo ani rok, co vydala prohlášení, že se musí pracovat na snížení kosmického odpadu. Někteří zástupci národů se vyjádřili o následcích militarizování vesmíru, to Čína vyvrátila slovy, že není čeho se obávat, že Čína nezbíjí ve vesmíru. Úlomky z tohoto incidentu již několikrát ohrozili ISS[42].

Na dalším obrázku můžeme vidět červenou barvou nově vzniklý kosmický odpad v roce 2007 z tohoto incidentu, zeleně je znázorněn již existující kosmický odpad. Ve spodní části je znázorněno, jak se tento kosmický odpad rozptýlil za 6 měsíců po rozpadu.



Obr. 25 Rozptyl a objem kosmického odpadu[43; 44]

7.6 Ohrožení ISS

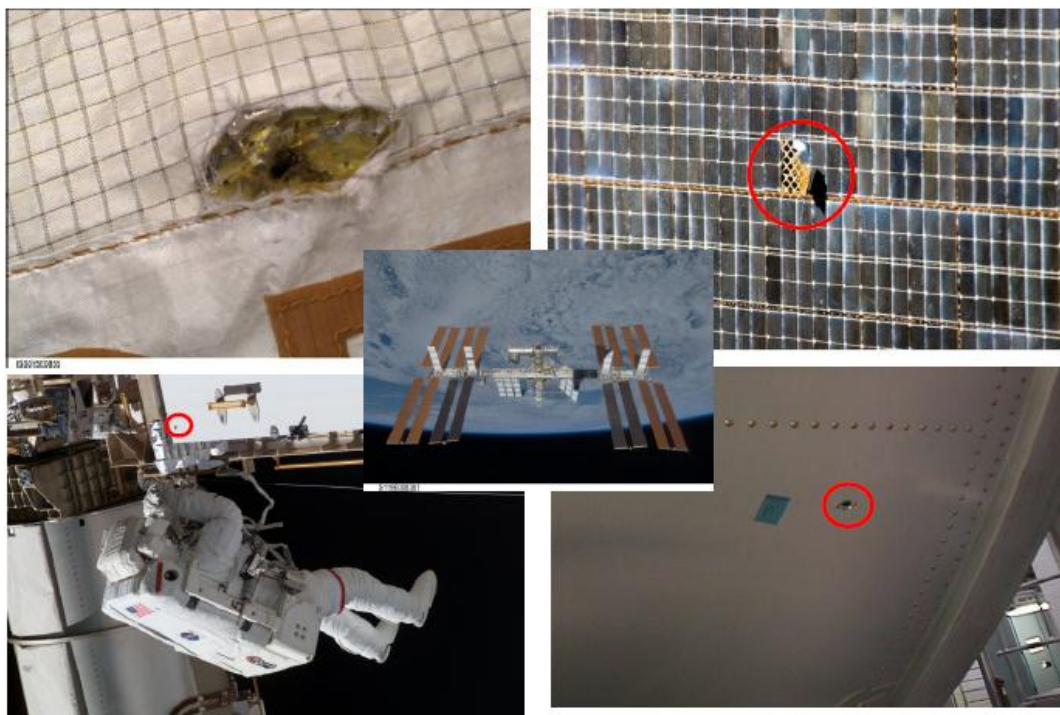
Mezinárodní kosmická stanice je taky častým terčem ohrožení ze strany kosmického odpadu. Jediným způsobem předcházení srážky je manévrování stanice v horizontální rovině. V průměru se vyhýbá 2 krát do roka. Stanice MIR měla například na konci své životnosti plášť porušen ze 40%. ISS uhýbá i v případě ohrožení 1: 10 000, objekt může minout ISS i o několik kilometrů. ISS se pohybuje v relativně bezpečné výšce okolo 400 km, což je výška, kde pomalu klesá k Zemi, takže čas od času musí opětovně zvýšit svou výšku[45].

Několik posledních incidentů znázorňuje následující tabulka:

Datum	Objekt ohrožení	Učiněná akce
2.dubna 2011	Úlomek z ruského Kosmos 2251	Kolizní manévr
28.června 2011	Úlomek z Protonu	Soyuz
29.září 2011	Ruská raketa Tsyklon	Kolizní manévr
13.ledna 2012	Úlomek z amerického Iridium 33	Kolizní manévr
28.ledna 2012	Úlomek z čínského Feng Yun 1C	Kolizní manévr
24.března 2012	Úlomek z ruského Kosmos 2251	Soyuz

Tab. 4 Situace ohrožení ISS[45]

Pokud není dostatek času na úhybný manévr, posádka se urychleně uchýlí do záchranné lodi Soyuz. Je to nejbezpečnější místo, kvůli malé ploše. Je tu tedy menší pravděpodobnost, že kosmický odpad zasáhne Soyuz. Pokud by přeci jen ISS dostala zásah, je velmi pravděpodobná penetrace trupu a s tím spojen únik vzduchu, či poškození systémů nebo v nejhorším případě zničení celé stanice. V takovémto případě jsou kosmonauti odděleni a mohou se v tomto záchranném modulu dostat zpět na Zem.

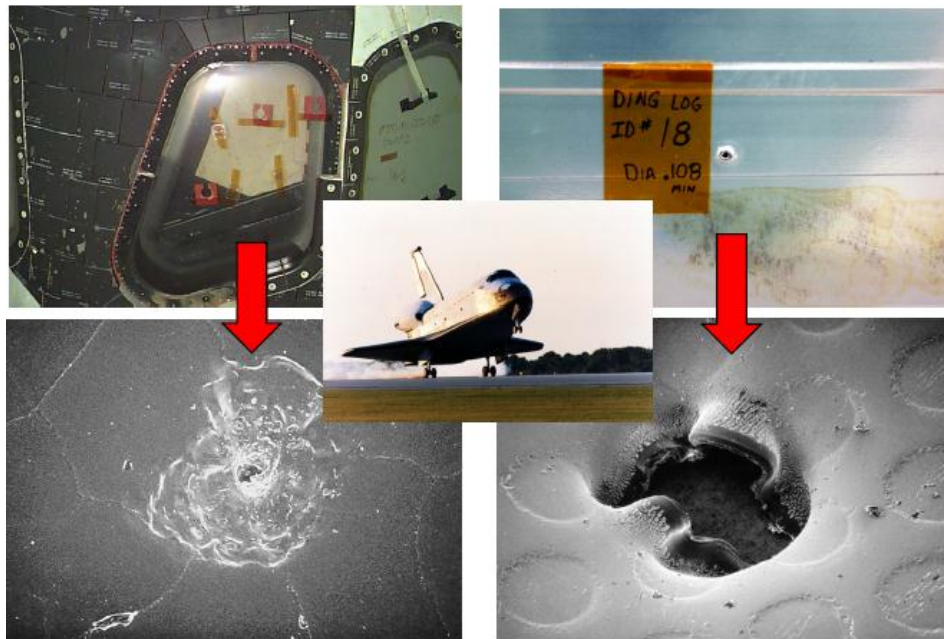


Obr. 26 Poškození ISS[27]

7.7 Ohrožení kosmických lodí a jeho posádky

7.7.1 Raketoplány a kosmické lodě

Ač 98% letů do kosmu je bez lidské posádky, v raketoplánech se lidé nachází a je třeba je chránit ještě důkladněji. Jelikož se raketoplány po splnění mise vracejí zpátky na Zem, jakákoliv porucha způsobená střením s kosmickým odpadem by mohla znamenat fatální následky při přistávacích manévrech, jelikož jsou přítomny obrovské teploty. Zatím se naštěstí nic vážného nestalo, ale již několikrát bylo poškrábáno okénko. Celkově bylo vyměněno na 80 oken.



Obr. 27 Poškození raketoplánů[27]

7.7.2 Ohrožení kosmonautů

Kosmonauti jsou v kosmu nechráněni proti kolizi s kosmickým odpadem. Skafandr chrání jen před účinky kosmu, nikoli nárazům kosmického odpadu nebo meteoritů. Srážka i s milimetrovými úlomky (např. částičky barvy) by vyústila v okamžitou smrt, i pokud by úlomek jen narušil skafandr. Kosmonauti proto musí být při své práci ve volném kosmu velmi opatrní a obezřetní. Je velmi důležitá rekognoskace aktuálního stavu.



Obr. 28 Nechráněný kosmonaut[39]

7.8 Ohrožení dopadu na Zem

7.8.1 Průlet atmosférou

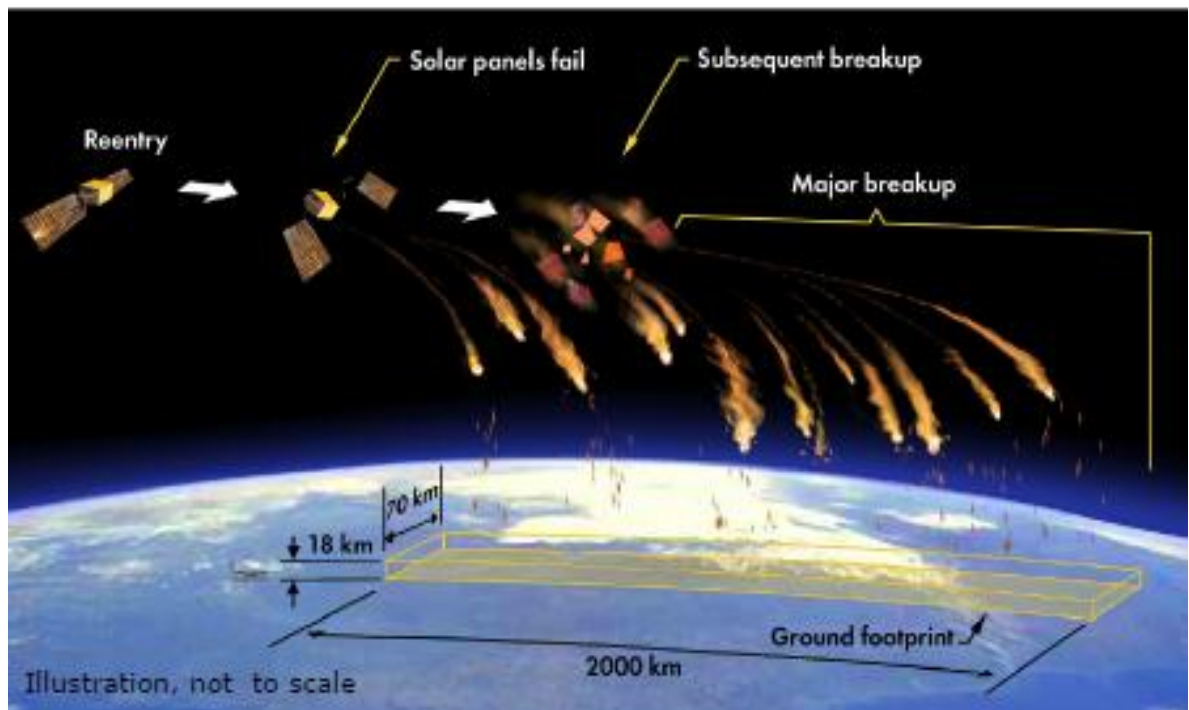
Většina kosmického odpadu se bezzbytku spálí v atmosféře a jen velmi malá část dosáhne země. Je to zhruba 100 vstupů za rok. Kosmický odpad má nižší rychlost, než třeba meteorit, který padá přímo. Kosmický odpad stále obíhá a velmi pozvolna klesá dolů. Až v dolních vrstvách atmosféry, pod 200 km začne razantně brzdit. Určit za jak dlouho dané těleso spadne je velmi obtížné, jelikož se nachází v atmosféře, která není stálá a velmi ovlivňuje samotný let. Záleží na aktuálních podmínkách a Slunci, zda je v oblasti atmosféra hustší či řidší. Poté klesá buď rychleji, nebo pomaleji. Záleží také na tvaru objektu. Pokud má lepší aerodynamické vlastnosti a má například optimální válcovitý tvar, prochází prostorem sice pomalu, ale lépe snáší obrovské teploty, které mohou být na špici 1600 – 1800 °C, pro nepravidelné tělesa i několik tisíc °C, kde se vytváří skupenství rozžhavené plazmy. Aerodynamické tvary, například nádrže, mají větší šanci, že se nespálí v atmosféře a dopadnou na zem. Naopak objekty s větší plochou zpomalují velmi rychle a většinou se spálí v atmosféře, jelikož nemají takovou tepelnou odolnost. Například stanice MIR klesala natočenou největší plochou. Velmi důležitým faktorem není ani velikost ani hmotnost, ale pevnost objektu. Čím pevnější

konstrukci dané těleso má, tím má větší šanci atmosférou proletět. Dalším faktorem je i ztráta hmotnosti při průletu, objekt se může rozpadnout, zase získá nové trajektorie, jinou hmotnost, působí na ně jiné odporové síly.

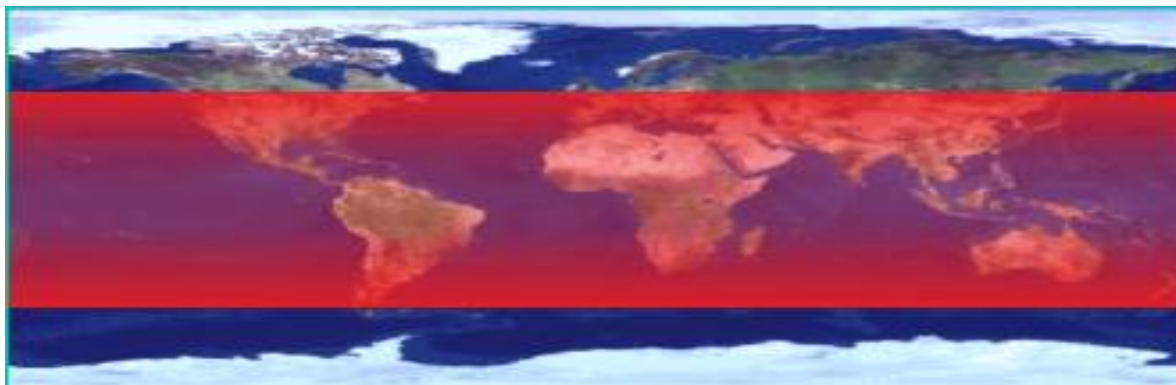
Až ve stabilnějších částech atmosféry se dá udělat propočít. Ovšem jen v řádu hodin před dopadem. Tyto výpočty mají na starost počítače, které počítají velmi složité rovnice s mnoha faktory, které daný propočít velmi komplikují. Tyto výpočty tudíž nejsou velmi přesné. Případné varování obyvatel je tedy velmi neurčité.

7.8.2 Dopad na zemský povrch a riziko střetu

Na zem dopadá v průběhu roku asi 40 velkých objektů > 800 kg. Objekty vstupují pod úhlem < 1 stupeň. Hlavní rozpady probíhají ve výšce asi 78 km. 10 – 40% neshoří a dopadne na zem – představuje riziko pro lidi a majetek. Trosky se rozptýlí v oblasti velmi úzké (několik desítek kilometrů) a dlouhé 800 – 2 000 km. Dopadne v šířce pásma definovaném sklonem dráhy k ekliptice.



Obr. 29 Rozpad a předpokládaná plocha dopadu[46]



Obr. 30 Ohrožená oblast dopadu[46]

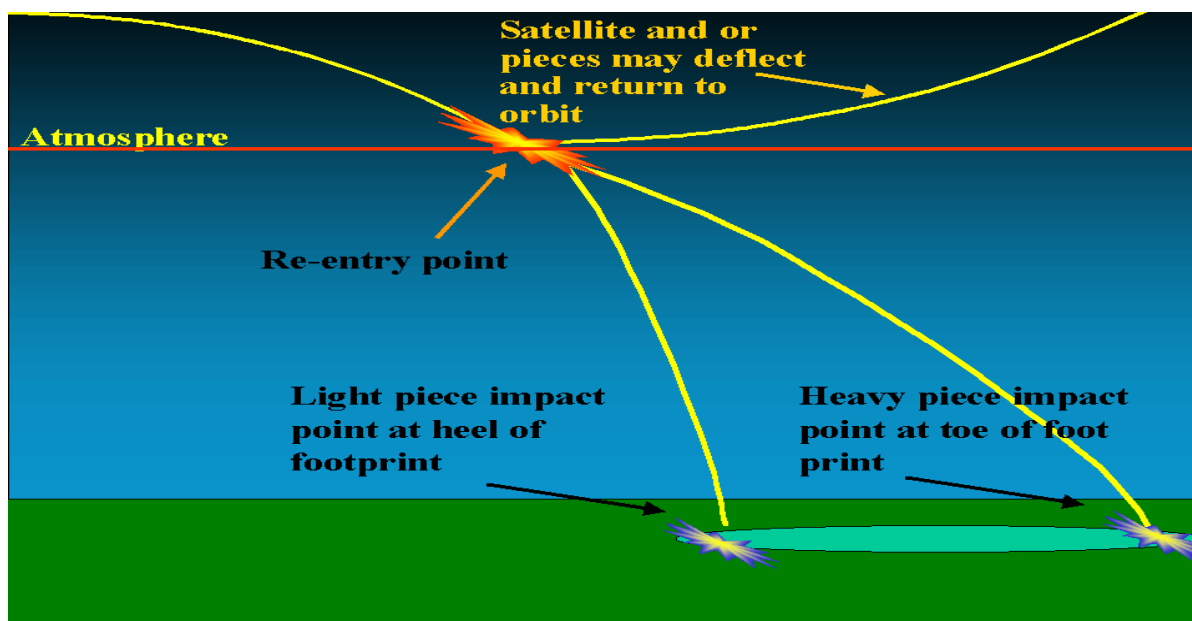
Riziko, aby způsobilo zranění či smrt musí mít dostatečnou kinetickou energii větší jak 15 J. V tomto je započítán člověk stojící, krycí se a tak dále. Riziko se odhaduje na populaci v dané šířce pásma. NASA se snaží přiblížit pravděpodobnosti 1:10 000 na jeden vstup. Určit místo dopadu je nemožné. Předpokládá se $\pm 10 - 25\%$ chybb v čase vstupu díky atmosféře a nejistotám.

Příklad:

Předpokládejme, že jeden oběh bude trvat 90 minut ze vstupu má ± 9 minutovou chybu.

Objekt se pohybuje rychlostí 7,5 km/s x 9 minut $\rightarrow \pm 4\,050$ km nejistoty v místě vstupu.

Místo dopadu úlomků je také nemožné předpovídat. Záleží, kde se úlomky rozdělily a na letu každého zvlášť. Místní vítr může být důležitým faktorem.



Obr. 31 Místo dopadu lehkých a těžkých úlomků[48]

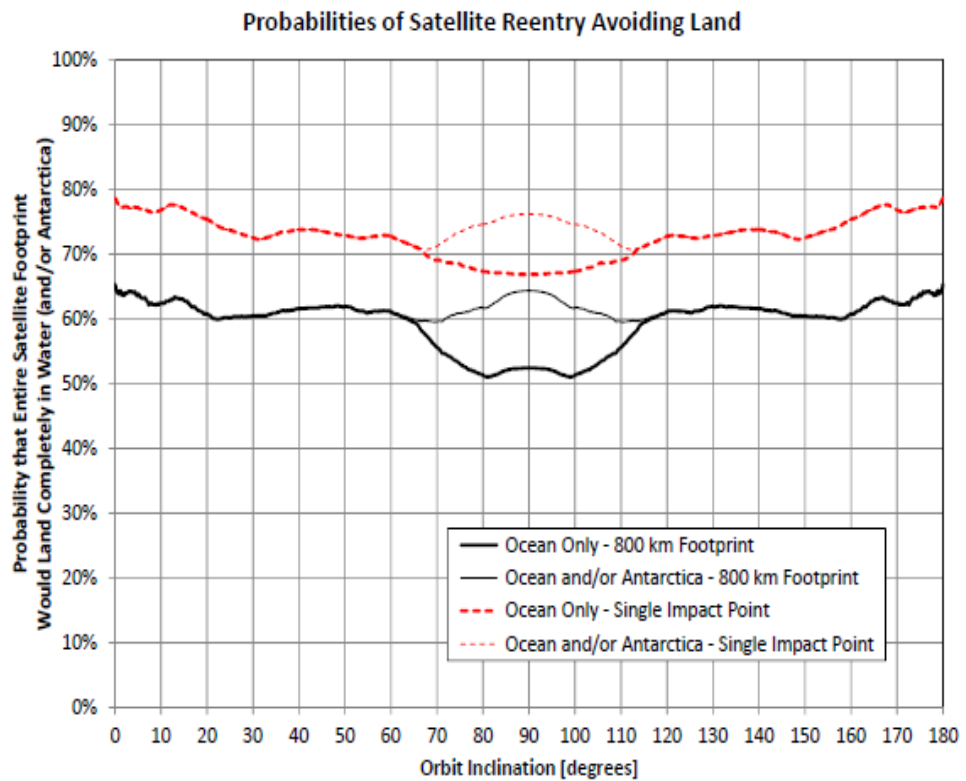
	Předpokládaný počet denních nehod
Přírodní katastrofa	813 smrtí celosvětově, 2010
Přírodní katastrofa	29 smrtí celosvětově, 2009
Pracovní úrazy	12 smrtí, USA, 2009
Automobilové nehody	99 smrtí, USA, 2009
Neúmyslné otravy	84 smrtí, USA, 2009
Přepadení/vraždy	45 smrtí, USA, 2009
Pády	68 smrtí, USA, 2009
Chřipka	8 smrtí, USA, 2009
Pád meteoritu	$1,1 \cdot 10^{-4}$ smrtí nebo zranění, celosvětově 1800 - 1995
Pád kosmického odpadu	$2,7 \cdot 10^{-5}$ smrtí nebo zranění, celosvětově

Tab. 5 Pravděpodobnost střetu kosmického odpadu[46]

Pravděpodobnost: Předpokládejme 100 vstupů ročně, každý s pravděpodobností

$$1 \cdot 10^{-4} \rightarrow (100 \cdot 0,0001 / 365 = 2,7 \cdot 10^{-5})$$

Jediný zaznamenaný případ zásahu člověka je z roku 1997 v Oklahomě – odražený úlomek z rakety Delta 2. Většina planety je pokryta oceány, ze 70%, takže kosmický odpad skončí na dně moří nebo v neobydlených oblastech jako Sibiř, Kanadská tundra, Australské vnitrozemí.



Obr. 32 Pravděpodobnost pádu do oceánů[28]

Již existují přístroje, které zaznamenávají co se děje během rozpadu a předkládají informace o místě dopadu úlomků. Popisuje zeměpisnou šířku a délku. V budoucnu tyto přístroje pomůžou k minimalizaci rizik při vstupu[46].

V posledním stupni zůstane v nosné raketě až 0,5 - 1 tuna paliva. Pokud taková raketa proletí atmosférou s poškozeným trupem, může dojít k vyprázdnění rakety a tím k ekologické havárii.



Obr. 33 Mrtvé krávy otrávené palivem[49]

V roce 1978 v neobydlené oblasti Austrálie spadl 90 tunová americká stanice – byla udělena pokuta Americe od Austrálie ve výši 400 dolarů za neoprávněné skladování odpadu.



Obr. 34 Nedaleko Kapského města, duben 2000[49]

24.9. 2011 se u Kanady zřítil americký satelit UARS – nemohli ho navádět řízeně, došlo palivo, 2h před dopadem určili místo až po vstupu do atmosféry byla uděla pokuta ve výši 400 dolarů.



Obr. 35 Kosmický odpad ze světa[49]

8 PREVENCE PŘED KOSMICKÝM ODPADEM A JEHO NÁSLEDKY

8.1 IADC Space Debris Mitigation Guidelines

IADC (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee) je mezinárodní vládní fórum k celosvětové koordinaci činností souvisejících s problematikou umělého a přírodního odpadu ve vesmíru. Prvořadým cílem IADC je vzájemné vyměňování informací o výzkumu kosmického odpadu mezi členy vesmírných agentur k usnadnění možnosti spolupráce v oblasti výzkumu kosmického odpadu, aby zhodnotilo pokrok probíhající spolupráce a identifikace možností zmírnění kosmického odpadu. IADC tvoří řídicí skupina a čtyři specifické pracovní skupiny zahrnující: měření, životní prostředí a databáze, ochrana, zmírnění následků.

Kosmický odpad jako takový zatím není upraven žádným zvláštním ustanovením. Neustále se pracuje na návrhu rezoluce, za níž by stála OSN. Zatím se kosmický odpad může řídit tzv. Space Debris Mitigation Guidelines neboli pokyny pro zmírnění kosmického odpadu, které IADC vydala. Jsou ovšem právně nezávazné[16].

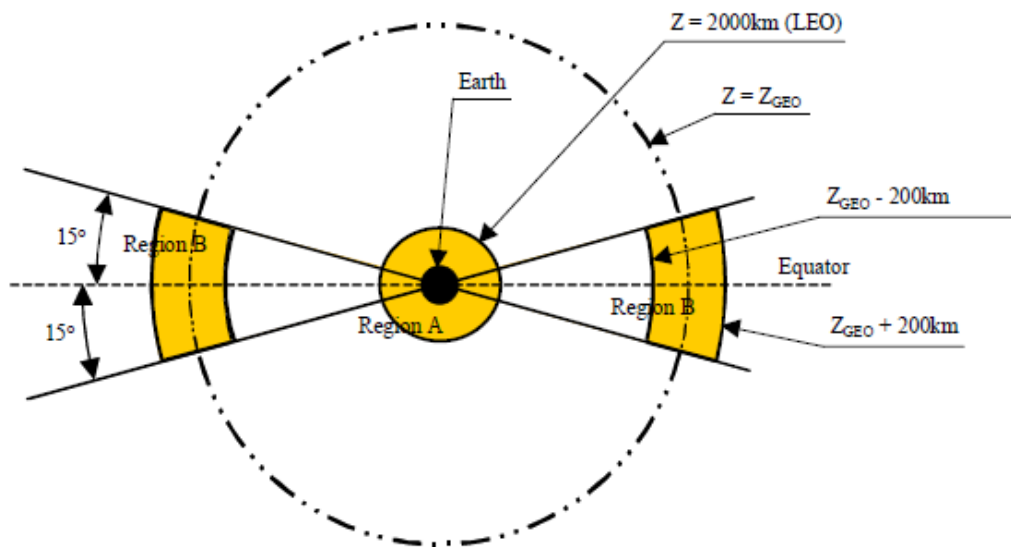
8.2 Chráněné oblasti

Chráněné oblasti – jakákoliv činnost, která se koná v kosmickém prostoru by měla respektovat charakter chráněných oblastí A a B, aby bylo udrženo jejich budoucí využívání. Tyto oblasti by měly být chráněny před kosmickým odpadem.

Region A se nachází v LEO, tedy kulová plocha od zemského povrchu do výše 2000km

Region B se nachází 200 kilometrů pod GEO a 200 kilometrů nad GEO v rozsahu + 15° a - 15 °[17]

Regiony A a B můžeme názorně vidět na následujícím obrázku:



Obr. 36 Chráněné oblasti[17]

8.3 Obecné pokyny

Během organizace a plánování provozu kosmického systému by se mělo dbát na systematické kroky ke snížení nepříznivých účinků na kosmické prostředí oběžné dráhy. Aby bylo možno řídit provádění opatření pokynů pro zmírnění kosmického odpadu, musí být stanoven a zdokumentován pro každý program a projekt.

Měl by obsahovat následující:

- plán řízení zaměřený na aktivitu zmírnění kosmického odpadu;
- plán pro posouzení a zmírnění rizik spojených s vesmírným odpadem, včetně platných norem;
- opatření k minimalizaci nebezpečí týkající se poruch vedoucímu k vytváření kosmického odpadu;
- plán k likvidaci kosmických systémů na konci jejich mise;
- odůvodnění volby a možnost výběru pokud existuje více možností;

- dodržování matice řešení doporučení těchto pokynů[17].

8.4 Zmírňující opatření

8.4.1 Důležité pojmy

8.4.1.1 Pasivace

Odstranění veškeré akumulované energie v kosmickém systému a tím snížení pravděpodobnosti rozpadu. Typické pasivační opatření zahrnují odvětrávání, pálení přebytečného pohonu, vybití baterií a odlehčení tlakových nádob[17].

8.4.1.2 De-orbitace

Úmyslná změna oběžné dráhy pro opětovné vstoupení do zemské atmosféry kvůli eliminaci rizika pro ostatní kosmické systémy použitím brzdící síly obvykle prostřednictvím pohonného systému[17].

8.4.1.3 Re-orbitace

Úmyslné střídání oběžné dráhy kosmického systému[17].

8.4.1.4 Rozpad

Jakákoliv událost, při níž se vytváří úlomky, které jsou uvolňovány na oběžnou dráhu Země. Toto zahrnuje:

1. Explozi způsobenou chemicky nebo tepelnou energií z paliva.
2. Protrhnutí způsobenou nárůstem vnitřního tlaku.
3. Rozpad způsobený energií z kolize s jinými objekty.

Následující události jsou vyloučeny z této definice:

- rozpad během fáze opětovného vstupu způsobenou aerodynamickými silami;
- vytváření úlomků jakými jsou například kousky laku, které vyplývají ze stárnutí a degradace kosmických systémů[17].



Obr. 37 Rozpad[22]

8.4.2 Zmírnění odpadu během běžného provozu

Ve všech provozních režimech na oběžné dráze by měly být kosmické systémy konstruovány tak, aby nedocházelo k uvolňování kosmického odpadu během běžného provozu. Pokud to z jakéhokoliv důvodu není možné, kosmický odpad by měl být uvolňován v co nejmenší míře a prostoru. Každý program, projekt nebo experiment, který bude uvolňovat objekty na oběžnou dráhu, by neměly být plánovány, leda-že odpovídající posouzení může ověřit, že dopad na prostředí oběžné dráhy a rizika pro jiné operující kosmické systémy jsou přijatelně nízké v dlouhodobém horizontu. Potenciální nebezpečí ohrožených systémů by měly být analyzovány tím, že je považujeme jako nedotčené a oddělené systémy[17].

8.4.3 Minimalizace potenciálních rozpadů na oběžné dráze

Rozpady na oběžné dráze způsobeny následujícími faktory, je třeba zabránit pomocí opatření popsaných v následujících třech podkapitolách.

- Potenciál rozpadu v průběhu mise by měl být minimalizován;
- všechny kosmické systémy by měly být konstruovány a provozovány tak, aby se zabránilo náhodnému výbuchu a trhlinám na konci mise;

- úmyslné zničení, které bude vytvářet trvanlivý kosmický odpad na oběžné dráze, by neměl být plánovaný ani prováděný[17].

8.4.3.1 Minimalizace potenciálu rozpadu z nashromážděné energie po ukončení mise

Aby se omezilo riziko pro ostatní kosmické systémy v případě nechtěného rozpadu po dokončení mise, všechny uložené palubní zdroje energie kosmického systému, jako zbytkové pohonné hmoty, baterie, vysokotlaké nádoby, sebedestruktivní zařízení, setrvačníky a hybná kola, musí být vyčerpány nebo odejmuty ve chvíli, kdy již pro misi nejsou potřebné nebo v případě likvidace po misi. K vyčerpání by mělo dojít, jakmile operace nepředstavuje nepřijatelné riziko pro náklad. Zmírňující opatření by měla být pečlivě navržena tak, aby nevytvořila jiná rizika.

- 1) Odpadní pohonné hmoty a jiné tekutiny, jako třeba tlaková kapalina by měla být tak důkladně vyčerpána, jak je to jen možné a to buď vyčerpáním hořením, nebo odvodušněním, aby se zabránilo náhodnému rozpadu přetlakem nebo chemickou reakcí.
- 2) Baterie by měly být přiměřeně navrženy a vyrobeny tak (konstrukčně a elektricky), aby se zabránilo rozpadu. Zvýšení tlaku v člancích baterií a sestavách lze předcházet mechanickým opatřením. Na konci mise by nabíjení baterií mělo být deaktivováno.
- 3) Vysokotlaké nádoby by měly být odvětrány na úroveň, která zaručí, že nemůže dojít k žádnému rozpadu. Návrhy úniku před vzplanutím jsou prospěšné, ale ne dostatečné pro doporučení pasivace pohonů a přetlakových systémů. Tepelné trubice mohou zůstat pod tlakem, pokud se prokáže, že pravděpodobnost prasknutí je velmi nízká.
- 4) Autodestrukční systémy by měly být navrženy tak, aby nedošlo k neúmyslné destrukci důsledkem nechtěného příkazu, vysokofrekvenčním rušením či tepelným vytápěním.
- 5) Napájení setrvačnicků a hybných kol by mělo být ukončeno během likvidační fáze.

- 6) Pro odstranění jiné formy uskladněné energie by měly být posouzeny vhodná opatření[17].

8.4.3.2 Minimalizace potenciálu rozpadu během provozní fáze

Během návrhu kosmického systému by měl každý program nebo projekt prokázat, použitím režimu selhání a analýzy dopadů, že se nevyskytuje pravděpodobná porucha, která by mohla vést k náhodnému rozpadu. Pokud taková selhání nelze vyloučit, měla by být pravděpodobnost výskytu snížena na minimum konstrukčními nebo provozními postupy. Během provozní fáze by měl být kosmický systém pravidelně monitorován, aby byly zjištěny poruchy, které by mohly vést k rozpadu nebo ztráty řídicí funkce. V případě, že bude tato závada zjištěna, budou naplánována a provedena adekvátní opatření. V opačném případě bude naplánována a provedena likvidace a pasivační opatření systému[17].

8.4.3.3 Zabránění úmyslné destrukce a jiných škodlivých aktivit

Je třeba se vyhnout úmyslné destrukci kosmického systému (autodestrukce, úmyslná kolize, atd.) a jiným škodlivým činnostem, které mohou značně zvýšit riziko kolize s jiným systémem. Například úmyslný rozpad by měl probíhat v dostatečně nízkých výškách tak, aby se úlomky co nejdříve spálily v atmosféře[17].

8.4.4 Likvidace po ukončení mise

8.4.4.1 Geostacionární oblast

Kosmická loď, která ukončí svou misi, by měla manévrovat dostatečně daleko od GEO tak, aby nedošlo ke srážce s kosmickými systémy, které se nacházejí v GEO. Minimální doporučené zvýšení výšky perigea na hranici re-orbitace, která bere v úvahu všechny orbitální odchylky je:

$$235km + (1000 \cdot C_R \cdot A / m)$$

kde: C_R je koeficient tlaku slunečního záření (typické hodnoty se pohybují mezi 1 a 2),

A/m je poměr plochy a hmotnosti [m^2 / kg],

235km je součet horní výšky GEO chráněné oblasti (200km) a maximálního sestupu re-orbitujícího kosmického systému díky luni-solárním a geopotenciálním odchylkám (35km).

Pohonný systém pro kosmickou loď, operující v prostoru GEO, by měl být navržen tak, aby nebyl oddělen od kosmické lodi. Pokud dojde z nevyhnutelného důvodu k případu, že bude nutno přistoupit k oddělení, pohonný systém by měl zůstat na oběžné dráze, která je a zůstane, mimo chráněnou geostacionární oblast. Bez ohledu na to, jestli je oddělený nebo ne, pohonný systém by měl být určen pro pasivaci. Operátoři v geostacionární oblasti by se měli vyhnout dlouhodobé přítomnosti nosných raket[17].

8.4.4.2 Oblast nízkých oběžných drah

Kdykoliv je to možné, kosmické systémy, které ukončí svou provozní fázi procházející oblasti LEO (nebo do ní zasahují), by měli de-orbitovat (přednost se dává přímému vstupu) nebo případně manévrovat na oběžnou dráhu s omezenou životností. Návrat je taky možností.

Kosmický systém by měl zůstat na orbitě, ve které sluneční aktivita a atmosférický proud sníží orbitální životnost po ukončení mise. Dle několika studií bylo stanoveno, že 25 let se považuje za rozumné a odpovídající pro hranici životnosti. Je-li třeba kosmický systém zlikvidovat opětovným vstupem do atmosféry, trosky, které dorazí až k zemskému povrchu by neměli představovat nepřijatelné riziko pro lidi nebo majetek. To může být dosaženo omezením zbytkových trosků nebo svod trosků do neobydlených

oblastí, jako jsou oceány. Také by se mělo předcházet, či alespoň minimalizovat do přípustné míry, znečištění životního prostředí radioaktivními látkami, toxickými látkami nebo jinými látkami. V případě řízeného vstupu kosmického systému do atmosféry by operátor měl informovat letecký provoz, orgány námořní dopravy o času sestupu, trajektorii a předpokládanou přistávací plochu[17].

8.4.4.3 Další oběžné dráhy

Kosmické systémy, které ukončily své operační fáze v jiných orbitálních oblastech, by měly být řízeny ke snížení jejich orbitální životnosti, odpovídající požadavkům v LEO nebo přemístěny, pokud by zasahovaly do vysoce využívaných, orbitálních oblastí[17].

8.4.5 Prevence srážek na oběžné dráze

Při vypracování návrhu a profilu mise kosmického systému by měl program či projekt odhadnout a omezit pravděpodobnost náhodné kolize se známými objekty během životnosti systému. Pokud jsou k dispozici spolehlivé orbitální data, úhybné manévry pro kosmické lodě a koordinace vypouštění jsou považována za rizika, která by neměla být zanedbána. Kosmické lodě by měly být navrhnuty tak, aby minimalizovaly pravděpodobnost kolize s drobnými úlomky, které by mohly způsobit ztrátu kontroly a zabránit tak likvidaci po ukončení mise[17].

9 MOŽNOST VYUŽITÍ KOSMICKÉHO ODPADU

Dá se kosmický odpad dále využívat? Zdá se, že ano, vojenská agentura DARPA přišla s projektem Phoenix. Na již vysloužilých družicích jsou stále funkční části, které by se mohli využít při konstrukci nových systémů.

Bude sestrojen robot, který se bude pohybovat v oblasti GEO. Tam bude vyhledávat vyřazené satelity a bude demontovat stále funkční antény, které bude instalovat na jiné satelity v provozu. Tento robot bude disponovat dvěma mechanickými pažemi a také vzdáleným systémem monitorování.

Tímto způsobem se může ušetřit několik miliard dolarů. Nejde jen o cenu antény, ale také o vývoz těchto antén do kosmu, které jsou velmi rozměrné. Vysílání satelitů na oběžnou dráhu bez antén je také méně nákladné. Tím se výrazně sníží cena nového kosmického systému.

Tento systém má velký potenciál, zatím je ve formě projektu, ale pracuje na něm nyní mnoho vědců, aby mohl být v roce 2015 demonstrován[50].

10 ZPŮSOBY ODSTRANĚNÍ KOSMICKÉHO ODPADU

10.1 Atmosféra

Zemská atmosféra nabízí svou přírodní sílu v likvidaci kosmického odpadu velmi šetrně. Jde jen o to, jak kosmický odpad dopravit i z větších výšek. To by řešili přídavné trysky, které by stahovaly vyřazené kosmické systémy zpátky do atmosféry. Ovšem je nutné brát zřetel i na spodní vrstvu a zbavovat se stejně například i nosných raket, jelikož představují riziko exploze a vytvoření mnoha úlomků. Tento způsob není ani moc finančně náročný, je jen třeba vyřešit navádění do atmosféry a dodání potřebné energie na cestě k ní.

10.2 Laser

Jeden z reálnějších návrhů. Použitím vysoce výkonného laseru se odstřeluje kosmický odpad a to lze dvěma metodami.

Deluge – díky využití vysoce výkonného laseru ostřelujeme kosmický odpad, nejčastěji ze západního směru, kdy se nachází nad horizontem. Úplně postačí několik výstřelů, které způsobuje odpařování látky v tenké vrstvě. To zapříčiní změnu oběžné dráhy objektu, který bude nasměrován do atmosféry. Objekt bude stále obíhat, ale zkrátí se jeho životnost a časem zanikne v atmosféře.

Steady Rain – v tomto případě se používá méně výkonný laser, což ušetří na nákladech. Zde již potřebujeme kvůli menšímu výkonu zahřívat objekt déle. Tím se bude postupně snižovat oběžná dráha objektu, snažíme se ho dostat pod hranici 200 km, kde pak samovolně shoří v atmosféře.

Tuto metodu ovšem zakazuje Kosmická smlouva, která říká, že se v kosmu nesmí používat zbraně. Proto je použití vysokoenergetického laseru bez úpravy této smlouvy

neuskutečnitelné. Při použití nízkoenergetického laseru se k tomuto řešení přistoupit dá[52].

10.3 Davidův prak

Tato metoda využívá k likvidaci kosmického odpadu tzv. Davidova praku, což je zařízení fungující na principu propojení 2 objektů například vláknem. Zařízení se přiblíží k vyřazenému objektu, nainstaluje vlákno a obě tělesa jsou fyzicky spojena. Zařízení se uvede do chodu a tím také objekt likvidace. V přesně vypočítaném okamžiku se toto fyzické propojení přeruší a objekt likvidace směřuje odstředivou silou dále po vytyčené dráze. Takto můžeme objekt likvidace poslat směrem do atmosféry, kde jej necháme spálit. Největší výzva této teorie je realizace samotného pohybu zařízení[30].

10.4 Shrnutí

Vše je zatím stále jen v teoretické rovině, od praktické realizace je zatím hodně daleko. Ještě se nenašlo technicky a ekonomicky přijatelné řešení, které by řešilo nebo alespoň zmírnilo dopad působení kosmického odpadu na oběžnou dráhu Země. Zatím se stále jeví nejlepší a nejpřirozenější využívat sílu zemské atmosféry. Bohužel lety do vesmíru zatím nejsou tak jednoduché, jako ve sci-fi snímcích a tak jakékoliv budoucí řešení stejně znamená opětovně zanést oběžnou dráhu odpadem.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byla analýza rizik spojená s nahromaděním kosmického odpadu a jeho důsledků na Zemi, definování kosmického odpadu, jeho systemizace, původu, řešení odstranění, včetně právní odpovědnosti.

Z této diplomové práce vyplývá, že problém kosmického odpadu začíná být vážný. Ani ne tak pro bezpečnost lidí na Zemi, ale pro veškerou techniku v kosmu, na které jsou lidé závislí. Proto by se měly agentury dohodnout mezi sebou na společném řešení problému.

Kosmické systémy jsou velmi finančně náročné a tak by mělo být v zájmu všech, chránit své investice a taky bezpečnost ostatních. Problém vidím v neochotě a laxním přístupu všech zúčastněných. Kdyby kosmický odpad byl problém jedné země, budou další požadovat sankce a vyřešení daného problému. Takto je to problém všech zúčastněných zemí a nikomu se nechce tento problém důrazněji řešit. Rozpočet pro kosmické aktivity není nekonečný a tak se raději peníze přerozdělují na jiná, mnohem zajímavější místa. Koho by přece zajímalo odstraňování starého poletujícího “ železa“? To přeci není vzrušující.

Státy se k tomuto musí postavit zodpovědně a uklidit společný nepořádek. Ne, že budou doufat, že vše projde, na všechno je času dost a že to, co je doporučeno se dodržovat nemusí. Čas je právě to důležité. Je třeba konečně přijmout závazný právní předpis týkající se omezení a odstraňování kosmického odpadu, který by vnesl do této problematiky pravidla a řád. Nikdo by zajisté nechtěl, aby se scénář Kesslerova syndromu stal skutečností. To by znamenalo konec všem kosmickým aktivitám na několik staletí a samozřejmě by to mělo závažné dopady na život na naší planetě Zemi. Stále se nenašel technologicky proveditelný a ekonomicky přijatelný způsob odstranění kosmického odpadu. Dokud vědci nepřijdou s vhodnou metodou, je třeba se zaměřit na omezení vývozu odpadu do kosmu na co nejmenší míru a co možná nejvíce kosmických systémů směřovat k zániku do atmosféry.

Dle emailové korespondence a telefonických rozhovorů s pracovníky NASA a českými odborníky na tuto problematiku se nedomnívám, že by situace byla neřešitelná. Pokud se budou organizace náležitě řídit popsányými metodami v této práci pro zmírnění následků a prevenci před generováním dalšího kosmického odpadu, můžeme tento problém snížit na únosnou míru, kdy bude čas na předložení technologicky a ekonomicky přijatelného řešení odstranění kosmického odpadu z oběžné dráhy Země. Také se vyhnout hloupým a neuváženým experimentům. Doufám, že tato práce bude přínosná pro svou informovanost základních bodů tohoto komplexního tématu a pomůže tak v jasné orientaci v něm.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this diploma thesis was to analyze the risks connected with congested space debris, the consequences for the Earth, definition of space debris, its systemization, origin and the ways of disposal, including the legal responsibility.

The conclusion of the thesis is that the hazard, connected with space debris, has become very serious, mostly for the technical equipments in the space. And, subsequently, also for the people on the Earth, who are dependent on these equipments. That is why the agencies should agree on the solution of this problem.

Space systems are financially very demanding. It is in everyone's behalf to protect their finances and also the safety of other people. The obstacles are reluctance and lax approach of all participating. If the space debris was problem of only one state, other states would require sanctions and solution of the problem. But now it is problem of all participating states and none of them wants to solve it. The budget for space activities is not bottomless and so money is invested into more interesting and more popular activities. Who would be interested in removal of old scrap-iron? That is not exciting at all.

All involved states should take responsibility and remove the mess. Time is what matters the most. It is necessary to accept legal obligations and restrictions about space debris, which would bring the rules into this issue. No one would like the Kessler syndrom scenario to become the truth. That would be the end of space activities for centuries and also would have some crucial consequences for the life on the Earth. Up to this day, technologically feasible solution of space debris disposal has not been created. Until it happens so, it is vital to restrict the exportation of space debris to the lowest rate and to direct the space systems to their downfall in atmosphere as much as possible.

According to the correspondence with NASA and Czech specialists it is obvious, that this issue is not insoluble. In the case that the organizations accept the methods for mitigation of consequences and for prevention of new space debris generation described in

this thesis, the problem can be hold at the tolerable level and in the meantime, technologically and economically suitable solution can be submitted. Hopefully, this thesis would be beneficial for the awareness of the basic points of this complex subject and will lead to comprehensible orientation in it.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KAMENÍK, Jiří a František BRABEC. *Komerční bezpečnost: soukromá bezpečnostní činnost detektivních kanceláří a bezpečnostních agentur*. Vyd. 1. Praha: ASPI, 2007, 338 s. ISBN 978-807-3573-096.
- [2] LAUCKÝ, Vladimír. *Technologie komerční bezpečnosti I*. Vyd. 3. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010, 81 s. ISBN 978-80-7318-889-4.
- [3] LAUCKÝ, Vladimír. *Technologie komerční bezpečnosti II*. Vyd. 2. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 123 s. ISBN 978-807-3186-319.
- [4] LAUCKÝ, Vladimír. *Bezpečnostní futurologie*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 93 s. ISBN 978-807-3185-602.
- [5] REES, Martin. *Naše poslední hodina: přežije lidstvo svůj úspěch?*. 1. vyd. v českém jazyce. Překlad Aleš Drobek. Praha: Dokořán, Argo, 2005, 232 s. ISBN 80-736-3004-4.
- [6] REES, Martin. *Náš neobyčejný vesmír*. 1. vyd. Praha: Dokořán, 2002, 199 s. ISBN 80-865-6917-9.
- [7] UNGERMANN, Zdeněk a Ivo VOLF. *Pohyb tělesa v radiálním gravitačním poli*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n. p., 1985, 208 s. ISBN 14-542-85.
- [8] MALENOVSKÝ, Jiří. *Otazníky kosmického práva: Kosmický prostor*. [online]. 1978 [cit.2012-04-21]. Dostupné z:
<http://mek.kosmo.cz/zaklady/pravo/malen78.htm>
- [9] MALENOVSKÝ, Jiří. *Otazníky kosmického práva: Kosmické objekty*. [online]. 1981 [cit.2012-04-21]. Dostupné z:
<http://mek.kosmo.cz/zaklady/pravo/malen81.htm>
- [10] *United Nations treaties and principles on outer space text of treaties and principles governing the activities of states in the exploration and use of outer space, adopted by the United Nations General Assembly*. New York: United Nations, 2002. [online] ISBN 92-110-0900-6. [cit. 2012-04-16] Dostupné z:
<http://www.oosa.unvienna.org/pdf/publications/STSPACE11E.pdf>.

- [11] Kosmická smlouva. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Kosmick%C3%A1_smlouva
- [12] Kosmická smlouva. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: http://cs.wikisource.org/wiki/Kosmick%C3%A1_smlouva
- [13] Vyhláška ministra zahraničních věcí o Úmluvě o registraci objektů vypuštěných do kosmického prostoru. *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/1978-130>
- [14] Vyhláška ministra zahraničních věcí o Úmluvě o mezinárodní odpovědnosti za škody způsobené kosmickými objekty. *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/1977-58>
- [15] Vyhláška ministra zahraničních věcí o Smlouvě o zásadách činnosti států při výzkumu a využívání kosmického prostoru včetně Měsíce a jiných nebeských těles. *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/1968-40>
- [16] Inter-Agency Space Debris Coordination Committee. [online]. [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://www.iadc-online.org/index.cgi>
- [17] *IADC Space Mitigation Guidelines*. 2002, 10 s. Dostupné z: http://stage.tksc.jaxa.jp/spacelaw/kokusai_utyu/space_debris2/IADC.pdf
- [18] *Kosmická loď* [online]. 2006 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/mission_pages/constellation/main/work_assign.html
- [19] *Rozbor nosné rakety* [online]. [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/mission_pages/goes-n/spacecraft/index.html
- [20] *Nosná raketa* [online]. 2012 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Nosn%C3%A1_raketa
- [21] *Nízká oběžná dráha Země* [online]. 2012 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/LEO>

- [22] *Rozpad* [online]. 2011 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z:
http://www.msnbc.msn.com/id/42417430/ns/technology_and_science-space/t/europe-creating-space-debris-tracker-its-own/#.T6l7HMXLKrE
- [23] *Apogeum, perigeum* [online]. 2012 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: <http://slovník-cizich-slov.abz.cz/>
- [24] NOVA. *Střepiny 25.9.2011*. [online]. 2011, [cit. 2012-04-12] Dostupné z:
<http://voyo.nova.cz/product/porady/25499-strepiny-25-9-2011#>
- [25] NOVA. *Víkend - Vesmírný odpad*. [online]. [cit. 2012-04-12] Dostupné z:
<http://www.youtube.com/watch?v=zLXUhPIM5hs>
- [26] Česká televize. *Milénium*. [online]. 2008, [cit. 2012-04-12] Dostupné z:
<http://www.ceskatelevize.cz/porady/10159875412-milenium/208411058030306/>
- [27] NASA. *Preserving the Near-Earth Space Environment with Green Engineering and Operations* [online]. 2009, [cit. 2012-04-13] Dostupné z:
http://www.nasa.gov/pdf/395957main_johnson.pdf
- [28] NASA. *Orbital Debris Quarterly News* [online]. 2012, [cit. 2012-04-18]
Dostupné z: <http://www.orbitaldebris.jsc.nasa.gov>
- [29] JAXA. *Removing Space Debris* [online]. 2012, [cit. 2012-04-14] Dostupné z:
http://www.jaxa.jp/article/interview/vol67/index_e.html
- [30] *Pravidla silničního provozu v kosmu* [online]. 2009 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z:
http://www.learned.cz/userfiles/pdf/prednasky-cleny-odborne/lubos.perek_0509.pdf
- [31] *Kruhová rychlost* [online]. 2012, [cit. 2012-04-14] Dostupné z:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Kruhov%C3%A1_rychlost
- [32] *Gravitační konstanta* [online]. 2012, [cit. 2012-04-14] Dostupné z:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Gravita%C4%8Dn%C3%AD_konstanta
- [33] *První a druhá kosmická rychlost* [online]. 2012, [cit. 2012-04-14] Dostupné z:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/70-prvni-a-druha-kosmicka-rychlost>

- [34] *Waste in space* [online]. 2011, [cit. 2012-04-17] Dostupné z: http://www.newlaunches.com/archives/space_debris_an_interesting_infographic.php
- [35] *Nasa Orbital Debris Program Office* [online]. 2012, [cit. 2012-04-19] Dostupné z: <http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/index.html>
- [36] *Kessler syndrome* [online]. 2012, [cit. 2012-05-06] Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Kessler_syndrome
- [37] *50 let ve vesmíru aneb spolupráce astronomie a mezinárodního práva* [online]. [cit. 2012-05-07] Dostupné z: http://www.learned.cz/userfiles/pdf/prednasky-cleny-odborne/lubos.perek_0407.pdf
- [38] *A Space Elevator in 7* [online]. [cit. 2012-05-06] Dostupné z: http://keithcu.com/wordpress/?page_id=417
- [39] *Vesmír ve fotografiích NASA* [online]. [cit. 2012-05-06] Dostupné z: <http://aktualne.centrum.cz/zahranici/fotogalerie/2011/06/28/vesmir-ve-fotografiich-nasa-vyrony-na-slunci/foto/384647/?cid=736235>
- [40] *K Zemi směřuje od Slunce silná elektromagnetická bouře* [online]. 2012, [cit. 2012-05-06] Dostupné z: http://www.ceskenoviny.cz/svet/zpravy/k-zemi-smeruje-od-slunce-silna-elektromagneticka-boure/765390&id_seznam=
- [41] *Iridium 33 and Cosmos 2251 three years later* [online]. 2012, [cit. 2012-05-10] Dostupné z: <http://www.thespacereview.com/article/2023/1>
- [42] *2007 Chinese anti-satellite missile test* [online]. 2012, [cit. 2012-05-10] Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/2007_Chinese_anti-satellite_missile_test
- [43] *Chinese ASAT test* [online]. [cit. 2012-05-10] Dostupné z: <http://www.centerforspace.com/asat/>
- [44] *Feng Yun 1C Debris Update* [online]. 2007, [cit. 2012-05-10] Dostupné z: <http://mt-milcom.blogspot.com/2007/07/feng-yun-1c-debris-update-over-2000.html>
- [45] *ISS Collision Avoidance* [online]. [cit. 2012-05-10] Dostupné z: <http://www.spacesafetymagazine.com/2012/05/07/iss-collision-avoidance/>

- [46] *Space Debris Reentry Hazard* [online]. 20012, [cit. 2012-05-11] Dostupné z:
<http://www.oosa.unvienna.org/pdf/pres/stsc2012/tech-39E.pdf>
- [47] *Active Debris Removal* [online]. 20012, [cit. 2012-05-11] Dostupné z:
<http://www.oosa.unvienna.org/pdf/pres/stsc2012/tech-21E.pdf>
- [48] *USSTRATCOM* [online]. 20011, [cit. 2012-05-11] Dostupné z:
http://www.stratcom.mil/factsheets/USSTRATCOM_Space_Control_and_Space_Surveillance/
- [49] *The number of space debris reach a critical point* [online]. 20012, [cit. 2012-05-11] Dostupné z: <http://orbiterchspacenews.blogspot.com/2011/09/number-of-space-debris-reached-critical.html>
- [50] *Phoenix* [online]. 20012, [cit. 2012-05-11] Dostupné z:
http://www.darpa.mil/Our_Work/TTO/Programs/Phoenix.aspx
- [51] *Space Debris: Assessing the Risk* [online]. 2005, [cit. 2012-05-12] Dostupné z:
http://www.redorbit.com/news/space/137328/space_debris_assessing_the_risk/
- [52] *National Aeronautics and Space Administration* [online]. 2010, [cit. 2012-05-13] Dostupné z: <http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/goddard-features.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ESA	European Space Agency.
GEO	Geostationary Earth Orbit.
GTO	Geostationary Transfer Orbit.
IADC	Inter-Agency Space Debris Coordination Committee.
ISS	International Space Station.
LEO	Low Earth Orbit.
OSN	Organizace spojených národů.
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik.
USA	United States of America.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Kosmická loď[18].....	12
Obr. 2 Nosná raketa a její rozbor[19; 20]	13
Obr. 3 Ničivá síla kosmického odpadu[51]	15
Obr. 4 Země roku 1960[27]	16
Obr. 5 Země roku 1965[27]	16
Obr. 6 Země roku 1970[27]	17
Obr. 7 Země roku 1975[27]	17
Obr. 8 Země roku 1980[27]	17
Obr. 9 Země roku 1985[27]	18
Obr. 10 Země roku 1990[27]	18
Obr. 11 Země roku 1995[27]	18
Obr. 12 Země roku 2000[27]	19
Obr. 13 Země roku 2005[27]	19
Obr. 14 Země roku 2009[27]	19
Obr. 15 Složení kosmického odpadu[29]	21
Obr. 16 Počet kosmického odpadu k roku 2012[28]	22
Obr. 17 Poloha kosmického odpadu[28]	23
Obr. 18 Státy a jejich podíl na kosmickém odpadu[26].....	24
Obr. 19 Haystack[35].....	25
Obr. 20 Rozptyl kolizního odpadu[27]	26
Obr. 21 Radary sledující kosmický odpad[35]	26
Obr. 22 Odpojení nosných raket[38]	39
Obr. 23 Sluneční erupce[40]	40
Obr. 24 Přírůstek kosmického odpadu[41]	42
Obr. 25 Rozptyl a objem kosmického odpadu[43; 44]	44
Obr. 26 Poškození ISS[27]	45
Obr. 27 Poškození raketoplánů[27]	46
Obr. 28 Nechráněný kosmonaut[39].....	47
Obr. 29 Rozpad a předpokládaná plocha dopadu[46].....	48
Obr. 30 Ohrožená oblast dopadu[46].....	49
Obr. 31 Místo dopadu lehkých a těžkých úlomků[48].....	49

Obr. 32 Pravděpodobnost pádu do oceánů[28].....	51
Obr. 33 Mrtvé krávy otrávené palivem[49]	52
Obr. 34 Nedaleko Kapského města, duben 2000[49]	52
Obr. 35 Kosmický odpad ze světa[49].....	53
Obr. 36 Chráněné oblasti[17].....	55
Obr. 37 Rozpad[22]	57

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Životnost odpadu[30; 37]	28
Tab. 2 Rychlosti odpadu[31].....	28
Tab. 3 Vzájemné srážky[30]	41
Tab. 4 Situace ohrožení ISS[45]	45
Tab. 5 Pravděpodobnost střetu kosmického odpadu[46].....	50

SEZNAM PŘÍLOH

CD-ROM