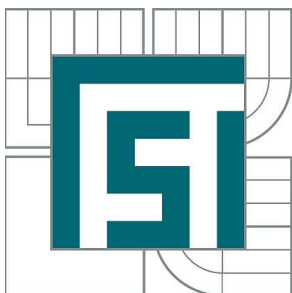


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

STUDIE NAKLÁDÁNÍ S KOSMICKÝM ODPADEM

SPACE DEBRIS TREATMENT STUDY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN BAUMANN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILAN RECMAN

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Baumann

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Studie nakládání s kosmickým odpadem

v anglickém jazyce:

Space Debris Treatment Study

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na oběžných drahách se pohybuje velké množství objektů, které mají svůj původ v lidské činnosti a nemají žádný účel. Tento odpad představuje vzhledem k vysokým rychlostem, kterými se objekty pohybují, velké potenciální nebezpečí pro kosmické lodě.

Cílem bakalářské práce je popis okolností vzniku kosmického odpadu a jeho základní charakteristiky. Zhodnocení současného stavu na oběžných drahách Země a návrh možností likvidace kosmického odpadu.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Popište způsoby měření množství drobných částic na oběžných drahách a sledování větších fragmentů z povrchu Země.
- 2) Uveďte nejrealnější možnosti likvidace kosmického odpadu vzhledem k současnému stupni technologického vývoje a možnosti, které by mohly být reálné v blízké i vzdálenější budoucnosti.

Seznam odborné literatury:

- 1) Technical Report on Space Debris. Scientific and Technical Subcommittee of the United Nations Committee on the Peaceful uses of Outer Space, New York 1999
- 2) The Orbital Debris Quarterly News. Johnson Space Center, Houston 1996 – 2009
- 3) Whitlock, D.: History of On-Orbit Satellite Fragmentations, Thirteenth Edition. Johnson Space Center, Houston 2004

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Recman

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 27.10.2009

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na popis okolností vedoucích ke vzniku kosmického odpadu. Popisuje jeho základní charakteristiky. Uvádí aktuální počet odpadu v kosmickém prostoru a vyhodnocuje další nárůst počtu objektů v blízké budoucnosti. Dále se zabývá způsoby měření množství těles na oběžných drahách Země. Analyzuje možnosti likvidace kosmického odpadu a celkově hodnotí možnosti řešení tohoto problému, které by mohly být reálné v blízké i vzdálenější budoucnosti.

Klíčová slova

Kosmický odpad, metody likvidace, sledovací observatoře a měřící zařízení, radary.

Abstract

Bachelor's thesis is describing the circumstances leading to an emergence of cosmic waste. It describes its basic characteristics and indicates the current number of waste in outer space and also analyzes further increase in the number of objects in the near future. It also deals with ways of measuring an amount of small particles on orbit and analyzes the possibility of cosmic waste disposal which could be realistic in the near and distant future.

Key words

Space waste, methods of waste disposal space, observatories and measuring devices, radar

Bibliografická citace práce

BAUMANN, M. Studie nakládání s kosmickým odpadem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Recman.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne

.....

Podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Milanovi Recmanovi za přínosnou spolupráci a poskytnutí potřebných informačních zdrojů.

Obsah

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD | 11 |
| 2 | CÍL | 12 |
| 3 | KOSMICKÝ ODPAD | 13 |
| 3.1 | Sledování kosmického odpadu | 14 |
| 3.1.1 | Oblasti největšího nebezpečí | 17 |
| 3.1.2 | Počet sledovaných objektů | 19 |
| 3.2 | Vliv odpadu na kosmické lodě | 20 |
| 3.3 | Odpad z vesmírných stanic..... | 21 |
| 3.4 | Srážky těles v kosmickém prostoru | 22 |
| 3.5 | Likvidace kosmického odpadu | 23 |
| 3.5.1 | Přirozené čištění odporem atmosféry | 23 |
| 3.5.2 | Davidův prak | 24 |
| 3.5.3 | Sluneční plachta a magnetická plachta | 25 |
| 3.5.4 | Likvidace odpadu pomocí tethers..... | 27 |
| 3.5.5 | Odstranění drobnějších částic pomocí desek z aerogelu | 29 |
| 3.5.6 | Likvidace odpadu servisním modulem..... | 30 |
| 3.5.7 | Likvidace odpadu raketoplánem..... | 31 |
| 3.5.8 | Likvidace odpadu laserem | 32 |
| 3.5.9 | Další způsoby likvidace kosmického odpadu..... | 33 |
| 3.6 | Mezinárodní spolupráce | 33 |
| 3.6.1 | Organizace spojených národů (OSN)..... | 34 |
| 3.7 | Radioaktivní odpad na oběžné dráze | 35 |
| 3.8 | Vojenská aktivita na oběžné dráze | 36 |
| 3.9 | Hranice mezi vzdušným prostorem a vesmírem..... | 38 |
| 3.10 | Registrace satelitů..... | 39 |
| 4 | ZÁVĚR | 40 |

| | | |
|----------|---------------------------------------|-----------|
| 5 | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 42 |
| 6 | SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK..... | 45 |
| 7 | SEZNAM ILUSTRACÍ | 46 |
| 8 | SEZNAM TABULEK..... | 47 |

1 ÚVOD

Hranice vesmírného prostoru byla pokořena již roku 1957, kdy se na oběžnou dráhu kolem Země dostala první umělá družice Sputnik 1. Lidstvo tímto činem poprvé nahlédlo do širého a nehostinného kosmického prostoru. Málokdo si uměl představit, že nám za pouhé půlstoletí bude nad hlavami kroužit prstenec sestávající z téměř jednoho tisíce aktivních družic a milionů dalších objektů, dohromady vážících více než 6 tisíc tun. Převážnou většinu z nich tvoří kosmické smetí neboli kosmický odpad či kosmická tříšť. S pokračující lidskou činností kosmického odpadu na oběžné dráze nadále přibývá. Současně se objekty z počátků kosmického věku srážejí a vznikají tak další úlomky a trosky.

V minulých desetiletích se kosmickému odpadu nevěnovala žádná zvláštní pozornost. V několika posledních letech se ale začaly výrazně projevovat důsledky jeho vzniku a hromadění na oběžné dráze. O kosmickém odpadu se stále častěji hovoří nejen v médiích, ale především na mezinárodních kongresech, shromážděních či konferencích. Lidstvo si již nyní uvědomuje, že situace začíná být neúnosná a výrazně rozvíjí svou činnost věnující se tomuto problému. Protože je ale kosmický odpad problémem novodobým, informace o něm nejsou příliš rozšířeny. Široká veřejnost se teprve pomalu dozvídá, jak výrazné důsledky může mít jeho vznik na život každého z nás.

V mé bakalářské práci jsem se proto zaměřil především na okolnosti vzniku kosmického odpadu, analýzu současného stavu na oběžných drahách a různé možnosti jeho odstranění. Zajímal jsem se také o současnou a budoucí činnost zainteresovaných organizací týkající se řešení tohoto problému.

2 CÍL

Jedním ze základních cílů mé bakalářské práce je zamyšlení se nad nově vznikajícím problémem, kterým je zvyšující se počet kosmického odpadu na oběžných drahách kolem Země. Dále pak zhodnocení závažnosti tohoto problému a určení jeho vlivu na lidskou kosmickou činnost v budoucnosti. Chtěl bych podat obecný přehled o současném stavu kosmického odpadu ve vesmíru, popsat okolnosti vzniku odpadu, způsoby měření a sledování množství částic. Dalším cílem je analyzovat a zhodnotit reálné i teoretické možnosti likvidace kosmického odpadu.

3 KOSMICKÝ ODPAD

Vznik kosmického odpadu byl nutný vedlejší efekt počátků dobývání vesmíru. Lidstvo se tehdy tímto problémem nezabývalo a upřednostňovalo především samotnou existenci aktivního umělého tělesa na oběžné dráze. V dnešní době vzniká kosmický odpad především v důsledku vlivů člověka, které jsou zcela záměrné. Je zřejmé, že se lidem podařilo velmi rychle zamořit i další oblast své existence.

Do kosmického odpadu zařazujeme všechny objekty vzniklé lidskou činností, které nejsou bezprostředně funkčním vesmírným umělým tělesem. [1] Objekty pohybující se na nejnižších oběžných drahách mají rychlost kolem 8 km/s. Se vzrůstající vzdáleností od zemského povrchu jejich rychlost klesá a ve vzdálenosti rovné vzdálenosti Měsíce od Země mají rychlost přibližně 1 km/s. [2] V kosmickém prostoru platí pravidlo, že rychlost potřebná k udržení objektu na oběžné dráze je nepřímo úměrná vzdálenosti od Země. Velikost jednotlivých segmentů tvořících kosmický odpad dosahuje od zlomků milimetru až po několik desítek metrů. [3]

Již první umělá družice Země - Sputnik 1, byla na oběžnou dráhu doprovázena posledním stupněm nosné rakety, mnohonásobně větším než samotná družice. To byla první ukázka toho, že do vesmíru budou vypouštěna nejen tělesa funkční, ale v mnohem větším měřítku i přidružený odpad. [3] Zatímco na Zemi se snažíme odpad recyklovat, ve vesmíru se většinou zbytky raket, družic a ostatních doslouživších těles ponechávají svému osudu. Působením gravitace Země ale mohou tyto objekty obíhat naší planetu i po nekonečně dlouhou dobu. Především na nízkých oběžných drahách (stovky kilometrů nad Zemí) se hromadí vyhořelé stupně raket, zbytky družic, úlomky náterů raketoplánů a předměty, které z různých důvodů vyhodily nebo poztrácely posádky kosmických lodí. [1] Záměrně přehánějící ilustrace Evropské vesmírné agentury varující před vznikem smetiště na oběžné dráze Země je znázorněna na obrázku 1.

Typy odpadu lze podle vzniku zařadit do následujících kategorií:

- vysloužilé družice a nefunkční satelity
- horní stupně nosných raket
- adaptéry pro vícenásobné náklady
- objekty uvolněné od raket po startu či během činnosti družic
zplodiny z motorů
- trosky vzniklé při kolizích nebo explozích raket a družic
- úlomky barvy uvolněné tepelným napětím či při srážkách s malými částicemi
- provozní odpad kosmických stanic a kosmických lodí [2]



Obrázek 1: Aktuální stav odpadu na LEO, www.cheeju.wordpress.com

3.1 Sledování kosmického odpadu

Jedním z nejdůležitějších faktorů kosmického provozu, vzhledem k velmi vysokým cenám satelitů a ostatní funkční vesmírné techniky, je sledování počtu a polohy veškerých kosmických těles. [5]

Nejdůkladnější, i když nepříliš přesnou sledovací síť s názvem *Space Surveillance Network* mají Spojené státy americké. Tato síť využívá více než 20 observatoří. Zaznamenává objekty od 10 cm na nízké oběžné dráze a od 1 m na geostacionární dráze. [1; 3] Kromě této americké sítě, která je v současné době hlavním zdrojem informací o kosmickém odpadu, se během několika posledních let výrazně rozšířila i síť ruské akademie věd - *Keldyšův ústav aplikované matematiky*. Tato síť byla založena roku 2005. Její kapacitu tvoří 18 observatoří, 25 dalekohledů a více než 60 pozorovatelů. Je schopna zachytit objekty na geostacionární dráze od velikosti přibližně 30 cm. [1; 3] Je zajímavé, že *Space Surveillance Network* disponuje mnoha stanicemi v Severní Americe a menším počtem stanic v Asii. Oproti tomu *Keldyšův ústav aplikované matematiky* preferuje velký počet stanic na ruském území a pouze pár stanic na severoamerickém kontinentu. Proto se obě sítě výhodně doplňují, což zajistí povede k úspěšnému vývoji ve sledování kosmického prostoru. V souvislosti s těmito sledovacími sítěmi vydala v roce 2009 Evropská kosmická agentura již 11. ročník vysoce uznávané publikace „Classification of Geosynchronous Objects“. [3; 4; 6]

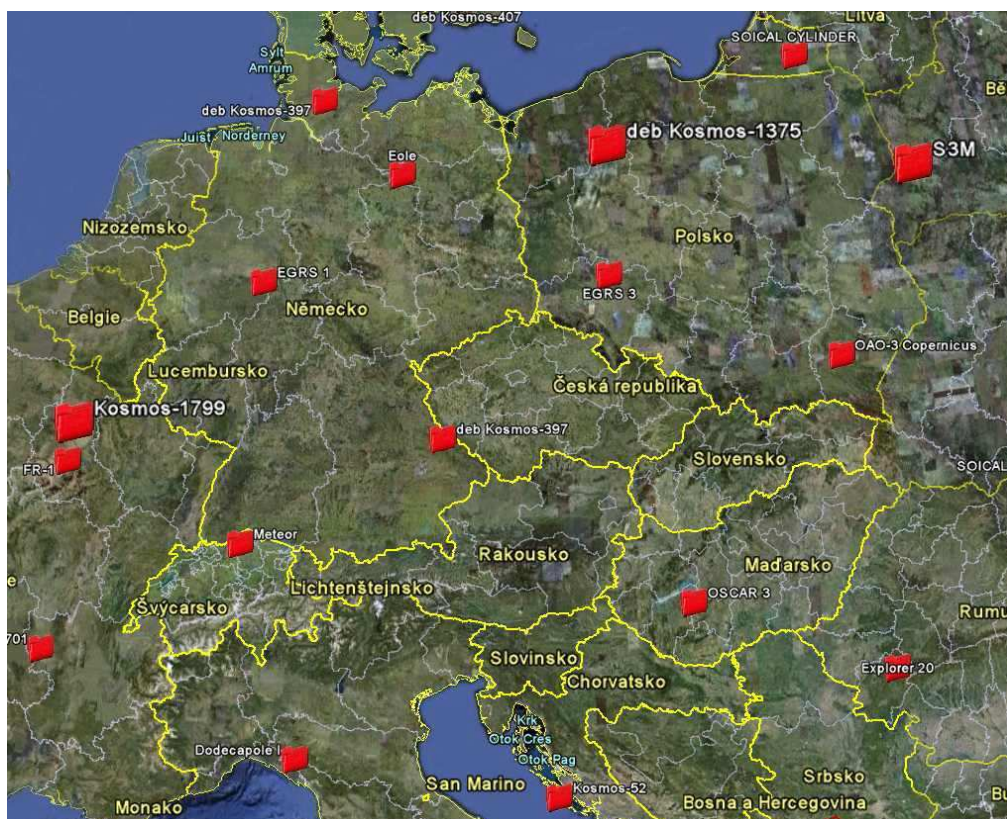
V posledních letech začala vytvářet kosmickou sledovací síť také Čína, která by rovněž měla v budoucnu pomoci k rozvoji mapování kosmického prostoru. [7] Vlastní sledovací síť s názvem „European Space Tracking“ si koncem minulého století vybudovala také Evropská kosmická agentura, jejímž členem je i Česká republika. Dnes se skládá z devíti stanic v Belgii, Španělsku, Švédsku, na portugalských Azorách, ve Francouzské Guyaně a v Austrálii.

Kromě toho s ní spolupracují základny v Norsku, Chile a Keni. [4] V německém městě Darmstadt provozuje Evropská kosmická agentura dva hlavní radary. První vyhledává objekty a zjišťuje jejich přesnou polohu, přičemž druhý tyto objekty zobrazuje. Jsou schopny zobrazit nejen fotografie, ale i videa těles různých velikostí a tvarů. [2]

Veřejnost se o jednotlivých vesmírných objektech může informovat z různých kosmických katalogů, které jsou pravidelně vydávány vesmírnými organizacemi. Jednou z mnoha veřejně dostupných databází kosmického odpadu je katalog společností Google Earth a Národního úřadu pro letectví a kosmonautiku, který sleduje a zaznamenává pohyb a informace u více než 17 000 objektů obíhajících naši planetu. [2] Podle mého názoru se jedná o jednu z nejpřehlednějších a nejsnáze ovladatelných databází tohoto druhu. Na obrázcích 2 a 3 jsou zobrazeny části tohoto katalogu. Je zde jasně zřetelný název a poloha každého sledovaného objektu. V České Republice je vyhledáván zejména *Velký katalog družic a kosmických sond* známý také pod označením Space 40. Katalog datuje sledovaná kosmická tělesa od roku 1957 do roku 2010. Je k nahlédnutí v knihovně AV ČR. Autorem je český astronom Antonín Vítek. [6]



Obrázek 2: Software Mashup, www.remixtheory.net



Obrázek 3: Software Mashup, www.remixtheory.net

3.1.1 Oblasti největšího nebezpečí

Kosmický prostor v bezprostředním okolí naší planety je možné rozdělit na několik specifických výškových pásem. Nejsledovanější z nich jsou uvedeny v následujícím stručném přehledu.

LEO - Nízká oběžná dráha (Low Earth Orbit). Je to výška mezi 160 km až 2000 km nad zemským povrchem. Nachází se zde největší počet objektů velikosti od 1 cm do 10 cm představujících pro kosmický provoz nejvážnější nebezpečí. Přibližně ve výšce 200 kilometrů nad povrchem Země se vyskytuje velmi hustá atmosféra, která způsobuje intenzivní pokles výšky tělesa a jeho následný zánik. Tento jev je však pozorovatelný i ve větších výškách nad zemským povrchem. [10]

Nízké orbity jsou hlavním působištěm lidské činnosti. Oběžná perioda LEO je obvykle 80 až 130 minut, může ale dosahovat maxima až 225 min. [9] Kromě několika misí k Měsíci směřovaly všechny kosmické lety s lidskou posádkou právě na LEO, přičemž většina směřovala na její dolní okraj (do 400 km). [9] Z pohledu letů s posádkou je nízká orbita velmi důležitá i z důvodu samotného přežití delší dobu ve vesmíru. Objekty na LEO jsou stále ve velmi silném geomagnetickém poli a jsou tak chráněny před účinky kosmického záření. Družice pohybující se po dráze LEO je použitelná zpravidla jen několik minut, než se při rychlosti téměř 8 km/s ztratí za horizontem. Doba životnosti satelitu je kolem šesti let. Hustota je přibližně jeden objekt větší než 10 cm na 100 milionů km krychlových (stejná jako na GEO). [10]

MEO – Střední oběžná dráha (Medium Earth Orbit). Nachází se v rozmezí výšek 2000 km až 20 000 km nad zemským povrchem. Největší část kosmického odpadu se nachází ve výšce přibližně do 5 500 km. Doba životnosti satelitu v této výšce je kolem deseti let. [9]

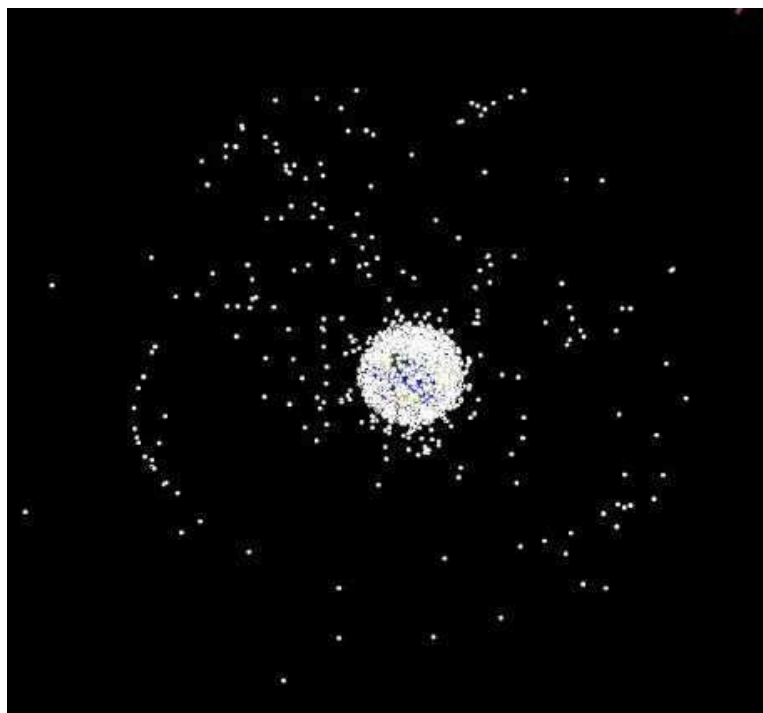
HEO – Vysoká oběžná dráha (High Earth Orbit) se nachází ve výšce nad 20 000 km nad povrchem Země. [11]

GEO - Geostacionární dráha (Geostationary Transfer Orbits) je dráha, na níž se družice pozorovatelům na Zemi jeví jako nehybná. Aby se družice nacházela na geostacionární dráze, musí se pohybovat kruhovou rychlostí v rovině rovníku a musí se otáčet vůči zemské ose stejnou úhlovou rychlostí jako jakýkoliv bod na Zemi. GEO se nachází přibližně ve výšce $35,788 \pm 300$ km nad zemským povrchem. Družice na takovéto dráze oběhne Zemi za 23 hodin a 56 minut. [9] Na geostacionárních oběžných drahách obíhajících ve směru rotace Země je umístěno nejvíce komerčních satelitů. Jedná se zejména o meteorologické a telekomunikační satelity. Každý rok je na nejpoužívanější geostacionární oběžnou dráhu umístěno 10 až 15 umělých satelitů s obvyklou dobou činnosti 15 let. [9]

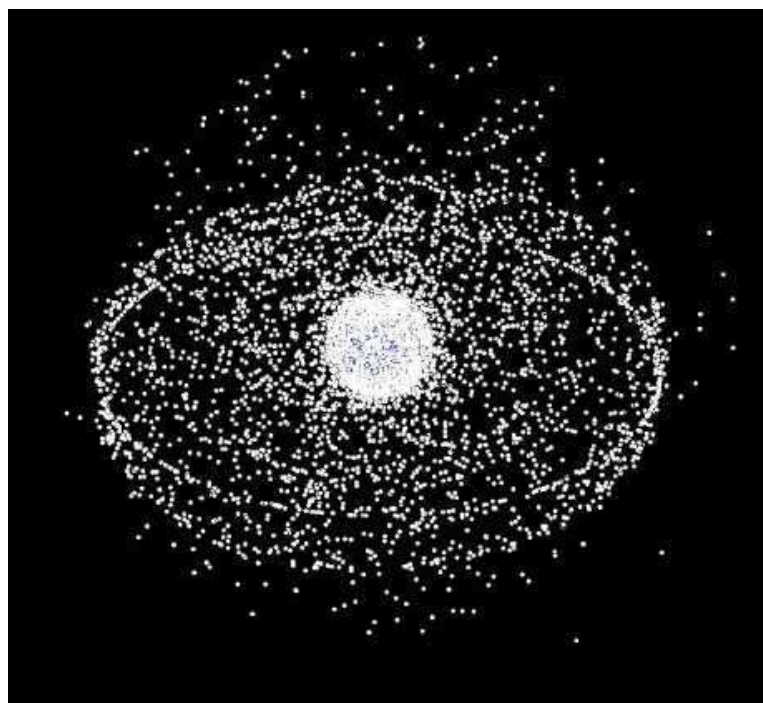
GTO - (Geostationary Transfer Orbits) začíná ve výškách 180-500 km a končí u GEO, vrcholy hustoty odpadu jsou ve výškách 850, 1 000, 1 500, 20 000 a 36 000 km nad povrchem Země. [11]

Z pohledu oběžných drah satelitů a družic je zajímavé, že sovětské družice byly v minulosti často umístovány na excentrické dráhy, aby strávily co nejvíce času nad svým územím. [18] Nebo že existují i takzvané polární dráhy, probíhající nad oběma zemskými póly, které jsou vhodné především pro satelity provádějící geologický průzkum a satelity dlouhodobě sledující změny ekosystému. [18]

Z obrázků 4 a 5 je zřejmý prudký nárůst počtu zaznamenaných objektů na oběžných drahách mezi roky 1975 a 2008. [4]



Obrázek 4: Rok 1975, www.learned.cz



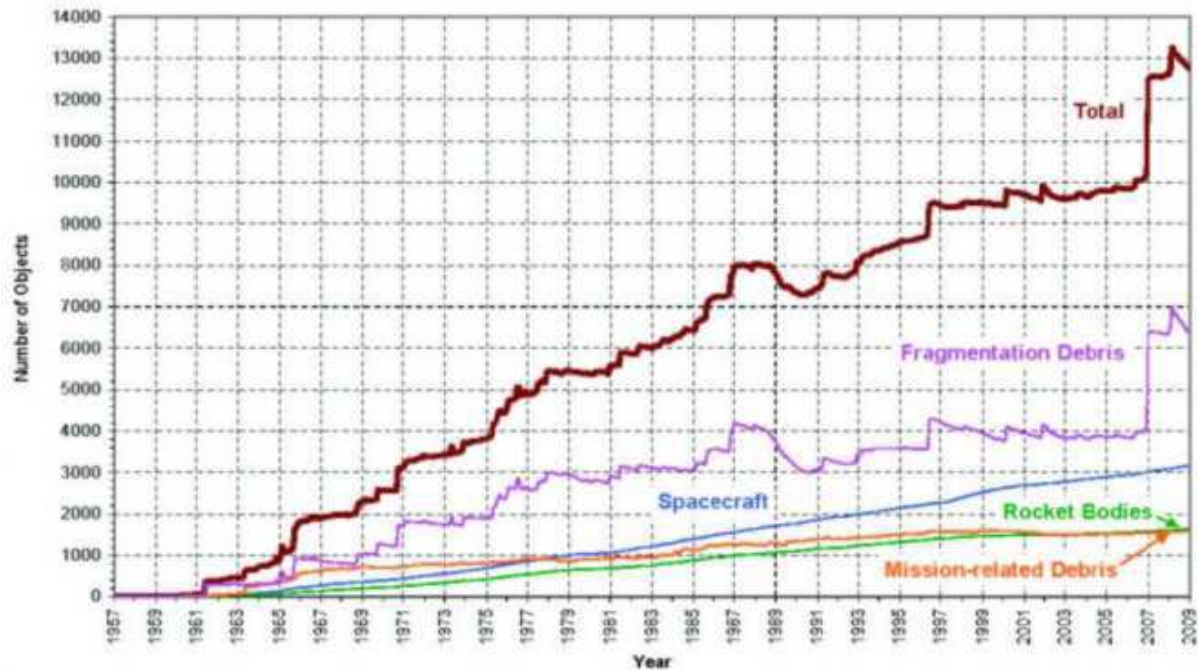
Obrázek 5: Rok 2008, www.learned.cz

3.1.2 Počet sledovaných objektů

V současné době stoupá množství kosmického odpadu každým rokem průměrně o 2 % až 5 %. [4] Zajímavostí je, že při maximu sluneční činnosti pravidelně dochází k poklesu počtu těles na nízkých oběžných drahách. Při tomto maximu se zvyšuje hustota slunečního větru a tedy i atmosféry v několikaset kilometrových vzdálenostech od zemského povrchu, čímž se životnost menších předmětů poklesem do atmosféry značně zkracuje. [3] Vědci jsou přesvědčeni, že pokud se bude množství částic kosmického odpadu v blízkosti Země zvyšovat dosavadním tempem, pak již kolem roku 2300 nebude možné realizovat jediný start do vesmírného prostoru, aniž by nebyly vypuštěné objekty ohroženy srážkami s částicemi kosmického odpadu, jedná se o tzv. "Kesslerův syndrom". [2] Příložená tabulka 1, kterou zveřejnil na konci loňského roku Doc. RNDr. Luboš Perek, DrSc. uvádí aktuální počet těles sledovaných v kosmickém prostoru.

| Tabulka 1, Kosmické objekty katalogizované do roku 2009 [4] | |
|---|------------|
| Sledované objekty | 13 897 |
| Počet zaznamenaných zaniklých objektů | 26 000 |
| Odhad počtu současných objektů mezi 1 a 10 cm | 200 000 |
| Odhad počtu současných objektů mezi 1mm a 1 cm | 35 000 000 |
| Nejhmotnější objekty | 20 tun |
| Nejhmotnější vyhořelá raketa | 9 tun |
| Počet objektů nad 1 tunu | 600 |
| Celková hmotnost kosmických objektů | 6 000 tun |
| Počet aktivních satelitů | 700 až 800 |
| z toho v GEO | 380 |
| Počet neaktivních objektů v GEO | 800 |

Dále je uveden graf 1 ze kterého je zřejmé, že počet sledovaných těles v kosmu roste již dlouhodobě rovnoměrně. Velký nárůst objektů v roce 2007 byl způsoben úmyslnou destrukcí čínského satelitu Feng Yun 1C, při které vzniklo více než 2 600 trosek, které je současnou technologií možné sledovat a statisíce menších fragmentů, které doposud zůstávají pro pozemské sledovací zařízení neviditelné. [7]



Graf 1: Počet kosmického smetí, www.kosmo.cz

3.2 Vliv odpadu na kosmické lodě

Nejvyšší prioritou je bezpochyby nutné věnovat prevenci před střetem kosmické lodě pilotované lidskou posádkou s jakýmkoliv kosmickým tělesem. Ztráty lidských životů by byly tou nejvyšší cenou za nedůsledný přístup všech států k čištění vesmírného prostoru.

Dle relativní rychlosti, jakou se objekty v kosmu pohybují, dělíme střety na nízkorychlostní a vysokorychlostní. [23] Na obrázku 6 je zobrazen výsledek pokusu, při kterém byla hliníková kulička o průměru 12 mm vypálena rychlostí 7,22 km/s proti hliníkové stěně. Experiment dokazuje nebezpečnost i takto malého tělíška pohybujícího se vysokou rychlostí. [2]



Obrázek 6: Hliníková kulička, www.ceskatelevize.cz

Vliv i toho nejmenšího kosmického odpadu na pilotované vesmírné lety tedy není možné zanedbat. Na oknech raketoplánů byly mnohokrát objeveny krátery o průměru několika

milimetrů, které vznikly po srážce s úlomkem kosmického odpadu. [2] Výhodou je, že pro pilotované lety je riziko střetu s odpadem menší než pro ostatní vesmírné mise. Raketoplány létají maximálně do výšky 600 km nad zemským povrchem, kdežto většina trosek se pohybuje ve výšce od 800 km do 1000 km. [2] Je také prokázáno, že při střetu vesmírné lodě s fragmentem větším než 1 cm je nejdůležitější konkrétní místo zásahu. [4] Dosud není známa havárie kosmické lodi, která by byla způsobena zásahem kosmickým odpadem. Ale vzhledem k rostoucímu počtu nefunkčních objektů ve vesmíru se s možností kolize musí počítat. [2]

Existují však možnosti prevence před zásahem aktivního tělesa kosmickým odpadem. Například raketoplány, vesmírné stanice a některé družice s rezervou paliva jsou vybaveny systémem, který je schopen provést protikolizní manévr. Tento systém vychází ze znalosti rychlosti a dráhy objektu, se kterým hrozí střet. Systém je schopen se změnou své vlastní dráhy tomuto objektu vyhnout. [3] V současné době je při každém letu raketoplánu registrováno několik potenciálních srážek. Také trasa Mezinárodní vesmírné stanice musela být několikrát změněna, z důvodu hrozícího nebezpečí střetu s větším tělesem. [2]

3.3 Odpad z vesmírných stanic

Během kosmických výstupů vyhazují kosmonauti některé předměty do volného kosmického prostoru úmyslně, protože na palubě stanice již nejsou potřebné a jejich navrácení na Zemi je příliš nákladné. Sledování těchto objektů ze Země není náročné a s jejich přítomností na oběžné dráze je předem počítáno. Odhozené objekty mají ve většině případů malou kompaktnost, značně podléhají brzdění atmosféry a rychle zanikají. Vzhledem k přesnému určení jejich polohy a krátké životní době tedy netvoří nebezpečí pro kosmické lety nebo funkční vesmírnou techniku. [3]

Problém ale nastává, pokud jsou tyto předměty příliš malé. Radiolokátory jsou schopny ve výšce, ve které se pohybuje Mezinárodní vesmírná stanice (kolem 350 km), zaregistrovat tělesa, která jsou větší než 5 cm. [1] Menší objekty mohou teoreticky zaznamenat také, ale jejich identifikace je velice obtížná. Čím je těleso pohybující se ve vesmíru menší, tím více podléhá vnějším vlivům, jakými jsou například odpor atmosféry či tlak slunečního záření. U těchto malých těles se za jeden oběh kolem Země změní oběžná dráha natolik, že nelze s jistotou určit, které těleso bylo vlastně původně sledováno. [1; 3]

Přiložená tabulka 2 uvádí průměrný počet objektů odhozených z vesmírných stanic do kosmického prostoru. Z tabulky vyplývá, že s rostoucím rozvojem technologie a kosmické činnosti, těchto objektů stabilně ubývá, což je příznivá informace.

| Tabulka 2, Počet objektů z vesmírných stanic [3] | |
|--|---------------|
| Název vesmírné stanice | Objektů ročně |
| Saljut 6 (1977-1982) | 30 |
| Saljut 7 (1982-1991) | 30 |
| Mir (1986-2001) | 22 |
| ISS* (1998-dosud) | 6 |

* například 300 kilogramová nádrž od kapalného amoniaku

3.4 Srážky těles v kosmickém prostoru

V důsledku zanedbání provozovatelů při odstraňování nefunkčních satelitů, začínají být oběžné dráhy přeplněny. Po několika srážkách aktivních či vysloužilých satelitů hrozí řetězová reakce, která znásobí množství kosmického odpadu na oběžných drahách a vysoce zvýší riziko pro budoucí satelity. [6] Srážkám komerčních i vědeckých družic se dá zabránit například instalováním korekčních motorů pro případnou změnu oběžné dráhy funkčního tělesa, jak již bylo zmíněno dříve. Lze předpokládat, že v budoucnu bude ke srážkám umělých těles docházet stále častěji, což může vést ke katastrofálním důsledkům pro budoucí kosmickou činnost. [6]

V minulosti již k takovýmto srážkám na oběžné dráze došlo mnohokrát. Při srážce menších těles obvykle dojde k proražení otvoru ve větším z nich, přičemž obě tělesa zůstávají kompaktní. Dochází ale také ke srážkám, při kterých se tělesa vlivem zásahu roztříští na obrovský počet menších částí. Právě tyto srážky tvoří pro funkční kosmické objekty největší nebezpečí. [6] V následující tabulce 3 je uveden stručný přehled dosavadních zaznamenaných srážek v kosmickém prostoru.

| Tabulka 3, Srážky v kosmickém prostoru [6] | | | |
|--|-------------------|----------------|------------|
| Datum | Zasažené těleso | Proti-těleso | Výška [km] |
| 23.12.1991 | Kosmos 1934 | Kosmos 926 | 980 |
| 24.7.1966 | Cerise | Ariane | 685 |
| 1997 | NOAA 7 | neznámý úlomek | |
| 2002 | Kosmos 539 | neznámý úlomek | |
| 17.1.2005 | US Thor Burner 2A | čínská raketa | 885 |
| 2007 | Meteosat 8 | neznámý úlomek | |
| 11.10.2007 | NASA UARS | neznámý úlomek | |
| 1.11.2007 | Feng Yun 1C | úmyslně zničen | 865 |
| 21.2.2009 | USA 193 | úmyslně zničen | 249 |
| 10.2.2009 | Iridium 33 | Kosmos 2251 | 790 |

3.5 Likvidace kosmického odpadu

Důležitým krokem, který musí v blízké budoucnosti lidstvo podniknout, by měla být snaha vyčistit oběžnou dráhu od současného odpadu. Řešení by nemělo být příliš nákladné a také nesmí způsobit více problémů než užitku. [13]

Obecně známé návrhy likvidace kosmického odpadu:

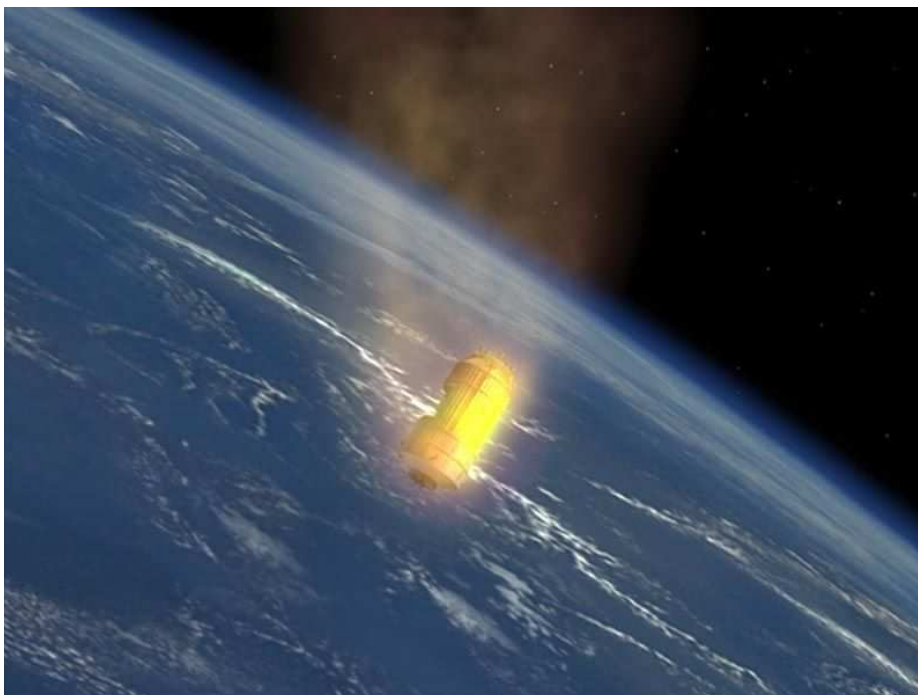
- přirozené čištění odporem atmosféry, zvýšení odporu prostředí
- Davidův prak
- použití sluneční plachty, nebo magnetické plachty
- pomoci tetheru
- odstranění drobnějších částic pomocí desek z aerogelu
- servisním modulem
- raketoplánem
- laserem s vysokou energií
- další teoretické způsoby

Existuje tedy již mnoho teoretických metod, které by bylo možné k vyčištění oběžné dráhy použít. Žádná z nich, kromě přirozeného čištění vlivem tření těles o atmosféru, dosud nebyla v praxi opakovaně uskutečněna. A to především z finančních a technologických důvodů. [18]

V současné době neexistuje osvědčená metoda, jak oběžnou dráhu bezpečně vyčistit. Vzhledem k prudkému růstu počtu odpadu je ale nalezení přijatelné a v blízké budoucnosti aplikovatelné metody nevyhnutelné. [2] Pozitivní informací je, že americká Agentura pro výzkum pokročilých obranných projektů, která má v Pentagonu na starosti rozvoj novátorských technologií, připravuje v letošním roce rozsáhlou studii o odstraňování odpadu, který se hromadí na oběžných drahách kolem Země. [21] Při jejím zpracování tedy bude možná nalezena reálná, finančně dostupná metoda, kterou by bylo možné k odstranění odpadu použít.

3.5.1 *Přirozené čištění odporem atmosféry*

V prostoru kolem Země, ve kterém se běžně pohybují družice, je stále zemská atmosféra. Ta je tvořena mnohem dokonalejším vakuem, než jsme v současné době schopni vyrobit v pozemských laboratořích, ale vzhledem k vysokým rychlostem pohybujících se těles (mezi 1 km/s až 8 km/s viz. výše), má ale i tato řídká atmosféra zásadní vliv na délku setrvání tělesa v kosmu. Jeho pohyb je zemskou atmosférou neustále brzděn. Velikost vlivu sil na těleso závisí primárně na rychlosti objektu, na jeho velikosti, hmotnosti a dalších faktorech. Životní doba tělesa je závislá na výšce a tedy na hustotě atmosféry (zbytku atmosféry). S klesající rychlostí klesá i výška tělesa, až dojde k jeho shoření a vypaření, tuto skutečnost zobrazuje obrázek 7. Výjimečně dochází k dopadu tělesa na zemský povrch nebo do oceánu. Určení času a místa dopadu odpadu je prakticky nemožné. Lze určit den, kdy dojde ke střetu monitorovaného kosmického odpadu se Zemí, ovšem odchylka pouhých 5 minut představuje vzdálenost 2000 km. [1; 2; 6]



Obrázek 7: Shoření kosmického odpadu, www.sciencemuseum.org.uk

Následující tabulka 4 uvádí přehled o průměrné životní době kosmických těles pohybujících se po kruhových oběžných drahách, než dojde k jejich shoření v zemské atmosféře. [6] Je zřejmé že se životnost tělesa s rostoucí vzdáleností od zemského povrchu výrazně prodlužuje a v určitém případě může trvat i neomezeně dlouhou dobu.

| Tabulka 4, Průměrná životní doba [6] | |
|--------------------------------------|-------------|
| Výška [km] | Životnost |
| 300 | 1 měsíc |
| 350 | 1 rok |
| 700 | 100 let |
| 900 | 1000 let |
| 2000 | 100 000 let |
| geostacionární | neomezená |

3.5.2 Davidův prak

Další možností jak odstranit kosmický odpad z oběžné dráhy Země je použití Davidova praku. Metoda byla vyvinuta k odstranění odpadu s využitím spojení dvou objektů buď vláknem, nebo podobným funkčním způsobem. [6] Návrh konstrukce tohoto zařízení je zobrazen na obrázku 8. Tělesa se uvedou do vzájemného pohybu a v určitém přesně určeném okamžiku dojde k přerušení vlákna. Tím se určí směr i rychlost jednotlivých částí. Ty by měli směřovat do atmosféry, kde dojde k jejich vypaření, případně po průletu atmosférou k dopadu na mořskou hladinu. Mechanismus Davidova praku musí provést velice složitý manévr, proto se ho dosud nepodařilo uskutečnit. Teoreticky je to však způsob možný a zřejmě v budoucnu dojde k jeho využití. [6]



Obrázek 8: Davidův prak, www.feww.wordpress.com

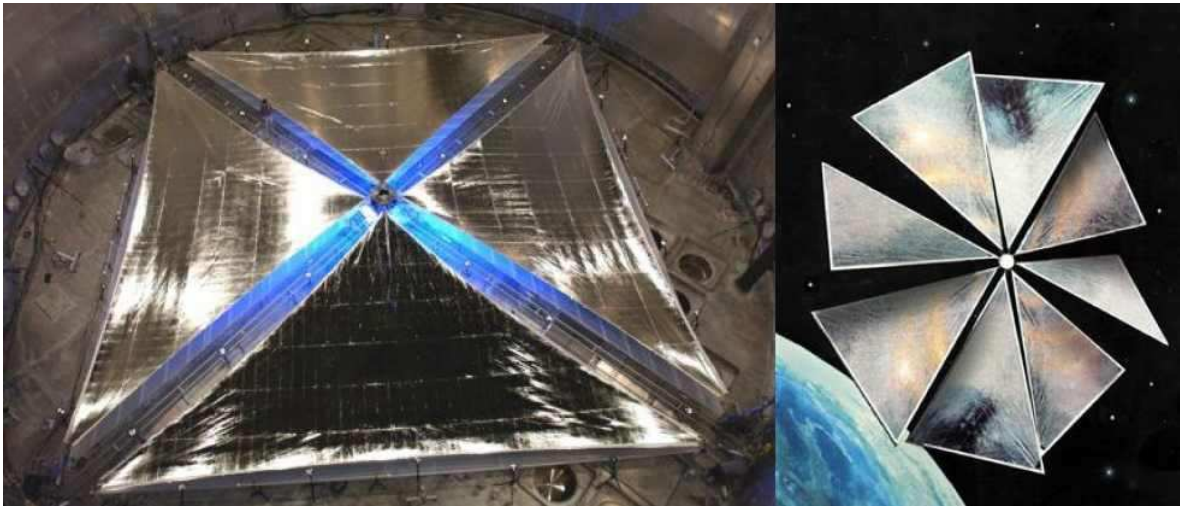
3.5.3 *Sluneční plachta a magnetická plachta*

Jako jedna z nejreálnějších možností odstranění odpadu se jeví metoda použití plachet. Sluneční a magnetická plachta jsou jako součást orbitálních těles určeny ke koordinaci pohybů a případně po ukončení životnosti tělesa, k jeho navedení na hřbitovní dráhu (300 km nad GEO), nebo na dráhu na níž dojde ke shoření tělesa v atmosféře. [14; 18]

Sluneční plachta (Solar Sail)

Na obrázku 9 je zobrazena sluneční plachta, která je použita jako sekundární typ pohonu. Plachta k pohánění družice, satelitu, či jiného objektu na oběžné dráze, využívá sluneční vítr. Vyznačuje se velkou odrazivou plochou a minimální hmotností. Tato plachta se dosud používá jen u malých kosmických těles a pro účinnější využití je nutno vyvinout co nejlehčí odrazivé fólie. Konstrukčně jde o malou fólii obvykle z Mylaru, nesenou pevnými, ale pružnými nosníky z kompozitních materiálů. [14; 15; 16]

Při startu je plachta i s nosníky složena v těle družice. Pokud je družice vynesena na dráhu ve výšce nad cca 700km, silové působení plachty převyší aerodynamický odpor atmosféry a družice může aktivně měnit svou dráhu. V nižších výškách bude působení slunečního záření překryto odporem atmosféry, ale lze sledovat dynamiku plachty a případně ji využít pro rychlejší deorbitaci družice. Plachta může být využita jen v blízkosti hvězd a její hlavní nevýhodou je, že může těleso pohánět pouze směrem od hvězdy. [14; 15; 16]



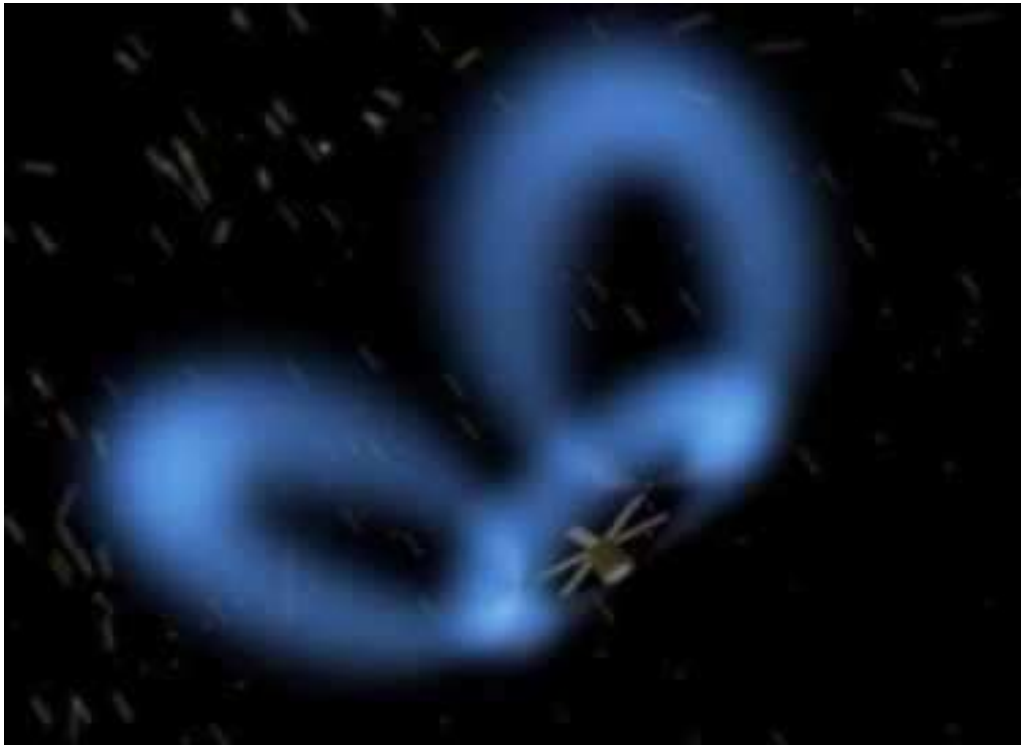
Obrázek 9: Sluneční plachta, www.slunecni-plachetnice.navajo.cz

Magnetická plachta (Magnetic Sail)

Magnetická plachta zobrazená na obrázku 9 bývá použita jako sekundární typ pohonu (podobně jako sluneční plachta), který k pohánění objektu využívá odrazení nabitých částic vyzařovaných Sluncem. Těmito částicemi může být například plazmový vítr. [14]

Je tvořena smyčkou supravodivého lana, přičemž plachta samotná je magnetickým polem generovaným okolo tohoto lana. Výhodou je, že magnetická plachta umožňuje prostorově měnit magnetické pole. Sluneční vítr je tedy vychýlen pouze magnetickým polem místo fyzickou plachtou, což výrazně snižuje její rozměry. Může být umístěna před tělesem, jako obrovský nehmotný padák, nebo po jeho bocích jako velká nehmotná křídla. [20; 14; 19]

Plachta byla vyvinuta k pohonu vesmírných plavidel v blízkosti hvězd a planet. Její důležitou vlastností je, že může pohánět objekt i směrem k danému zdroji. Princip magnetické plachty poháněné pomocí plazmového větru je analogický s principem sluneční plachty poháněné pomocí tlaku záření fotonů vyzařovaných Sluncem. Přestože klidová hmotnost fotonu je nulová, kdežto částice slunečního větru mají klidovou hmotnost, sluneční světlo má tisíckrát větší impuls než sluneční vítr. [14; 19; 20]



Obrázek 10: Magnetická plachta, www.centauri-dreams.org

3.5.4 *Likvidace odpadu pomoci tethers*

Jednoduchou možností k odklizení vysloužilých družic z jejich oběžných drah je využití magnetického pole Země za pomoci mnohakilometrových srolovaných lan připojených k plášti tělesa. [14]

Gravitační tether

Na obrázku 11 je znázorněn gravitační tether, který je založen na principu předávání momentu hybnosti mezi objekty na opačných koncích lana. Tether využívá rozdílů oběžných rychlostí na různých oběžných drahách. Dochází k postupnému zpomalování tělesa, přičemž ztráta této rychlosti je důvodem blízkého setkání objektu se zemskou atmosférou a jeho následného zániku. Hlavní nevýhodou tohoto systému je skutečnost, že pro efektivní využití vyžaduje desítky kilometrů dlouhá lana. [2; 14]



Obrázek 11: Gravitační tether, www.sciencemaster.com

Elektromagnetické tether

Elektromagnetický tether zobrazený na obrázku 12 pracuje na principu orbitálního elektromotoru či dynama přeneseného do kosmického prostoru. Hlavní část tvoří vodivé lano, které se pohybuje v magnetickém poli Země po oběžné dráze vysokou rychlostí. Tento vodič generuje elektrický proud. Může tedy buď čerpat energii na úkor oběžné rychlosti, nebo naopak. [2; 14; 15] Magnetickým polem je na oběžných drahách kolem Země drženo mnoho částic, které tvoří *ionosféru*. Nutnou podmínkou je přes tuto ionosféru tzv. uzavřít obvod. Pro jeho funkčnost jsou tedy nezbytné nabitě částice, které jsou v atmosféře zachyceny ze slunečního větru nebo kosmického záření. [14] Elektromagnetický tether byl již v praxi mnohokrát ověřen. Například proběhlo několik úspěšných rozvinutí tetheru s pomocí japonských a kanadských výškových raket. [18]

Pro své velice jednoduché konstrukční řešení lze předpokládat, že budou tethery v blízké budoucnosti hromadně využívány buď pro navádění vysloužilých družic do atmosféry, nebo ovládání jejich pohybu po oběžné dráze. [2; 17].



Obrázek 12: Elektromagnetický tether, www.sciencemaster.com

3.5.5 *Odstranění drobnějších částic pomocí desek z aerogelu*

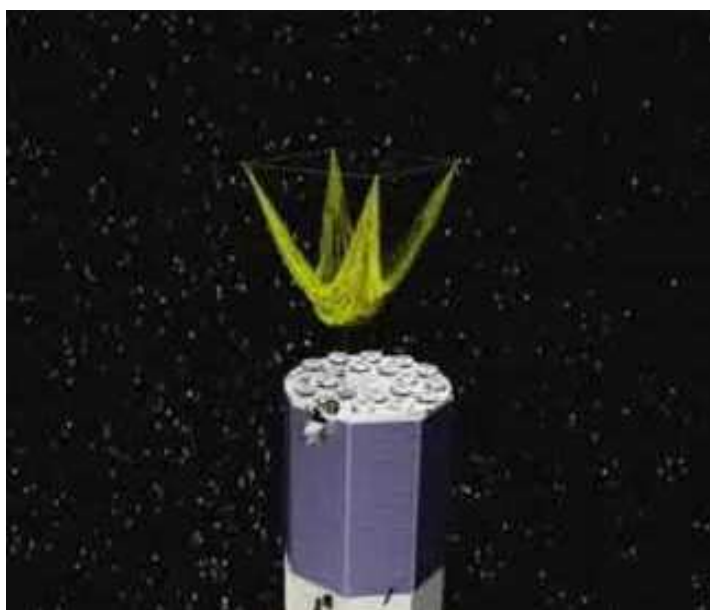
Nejnovější, v posledních letech značně vyvíjenou možností odstranění odpadu, je použití masy aerogelu, která by po vypuštění do kosmického prostoru zachytávala menší částice a drobné úlomky kosmického smetí (zejména na nízkých oběžných drahách) a po splnění svého účelu shořela v zemské atmosféře. Musí se ale nejprve vyřešit ovládání pohybu desky, její bezpečné navedení do atmosféry a mnoho dalších faktorů, které by vyloučily srážku s aktivním tělesem. Aerogel je vysoce porézní látka vyrobená z kapalného gelu odpařením kapalných složek za nadkritické teploty a tlaku. Na obrázku 13 je zřetelný postup zachycení drobných částic v desce z aerogelu. [22; 23]



Obrázek 13: Částice v desce aerogelu, www.aldebaran.cz

3.5.6 *Likvidace odpadu servisním modulem*

Doposud neuskutečněnou variantou, která by mohla zabránit dalšímu hromadění kosmického odpadu, může být použití servisního odklízecího modulu. Tento modul byl vyvinut na žádost Evropské kosmické agentury. Byl nazván *Robotic Geostationary Orbit Restorer* a jeho úkolem bude zachytit do sítě vysloužilý satelit a dopravit ho na tzv. hřbitovní dráhu (Grave Yard Orbit) asi 300 kilometrů nad geostacionární oběžnou dráhu. Zda a kdy ROGER úklidovou činnost ve vesmíru zahájí zatím není upřesněno. Primárním problémem vývoje a využití modulu je nedostatek financí, neboť první prototyp s dvaceti sítěmi by měl stát téměř sto milionů eur. [24]



Obrázek 14: Servisní modul, www.esa.int

3.5.7 Likvidace odpadu raketoplánem

Další stále pouze teoretickou možností jak odstranit odpad z oběžné dráhy je zachytit větší fragmenty pohyblivým ramenem raketoplánu a následně je přivést zpět na Zemi v nákladovém prostoru lodě. [25] Raketoplán je kosmický dopravní prostředek, spojující v sobě výhody letecké a raketové techniky. Jeho základní části tvoří orbitální stupeň, vnější nádrž a dva pomocné raketové motory na pevné palivo. Skládá se z 2,5 milionů dílů a jeho nosnost je více než 30 tun nákladu. Přídavné raketové motory raketoplánu spotřebují 10 tun paliva za sekundu. [25; 26]

Problémem ovšem zůstává, že na podzim roku 2010 z důvodu provozního opotřebení lodí a tedy bezpečnosti posádky veškerá činnost raketoplánů končí. Jejich prioritní funkcí je zabezpečit spojení s Mezinárodní vesmírnou stanicí a uskutečnit poslední výzkumné mise. [27] Od raketoplánu byla očekávána velká úspora nákladů, která se ovšem ve výsledku nedostavila. Do konce roku 2010 budou uskutečněny poslední tři lety amerických vesmírných lodí Space Shuttle, tato loď je zobrazena na obrázku 15 při opravě Hubblova teleskopu. [25] Na jejich místo nastoupí nové jednorázové rakety, které budou schopné vynášet i kosmické lodě s lidskou posádkou, tak jako kdysi rakety Saturn vynášely pilotované lodě Apollo. Také další země se zaměřují spíše na tuto koncepci. Skutečně výhodným opakovaně použitelným nosičem patrně může být jen prostředek kategorie *Single Stage To Orbit*, tedy jednostupňový systém, který vynese náklad na oběžnou dráhu a poté se vrátí na zem s tím, že spotřebuje pouze palivo a neodhazuje žádné nádrže, urychlovací motory či jiná přídavná zařízení. Američané předpokládají, že by takový prostředek mohli mít v provozu do roku 2030. [25; 28]



Obrázek 15: Americký raketoplán Space shuttle, www.nevadaspacegrant.com

3.5.8 Likvidace odpadu laserem

Tato možnost likvidace kosmického odpadu patří z hlediska možného uskutečnění k nejreálnějším. Jedná se o takzvané odstřelování fragmentů odpadu na oběžné dráze laserovými paprsky. Tuto možnost lze aplikovat dvěma základními způsoby. [29; 30]

Prvním je metoda *Deluge* znázorněná na obrázku 16. Tato metoda je založena na odstřelování různých kusů odpadu vysokoenergetickým laserem. Laser musí být namířen na západ, odkud se odpad přibližuje a během jeho přeletu mezi horizonty jej odstřelovat. Teoreticky stačí menší počet pulsů, přičemž každé ozáření laserem ionizuje tenkou vrstvu na povrchu částice a způsobuje vypaření malého množství látky. To způsobí vychýlení tělesa z oběžné dráhy směrem do atmosféry a tím zkrácení jeho životní doby. [30]

Druhým způsobem použití laseru je metoda *Steady Rain*. Výhoda této metody spočívá ve využití laseru s menším výkonem, který je v současnosti dostupnější. Na rozdíl od metody *Deluxe* je zapotřebí většího počtu pulsů, což použití této metody značně omezuje. Princip *Steady Rain* je založen na snižování oběžné dráhy vesmírného odpadu po jednotlivých výškových pásmech na dráhu nižší než 200 km nad zemským povrchem, kde dojde k jeho shoření v atmosféře Země. [30]

Metoda odstranění vesmírného odpadu laserem má i své politické zabarvení. Při testování musel být použit pouze laser s nízkou energií, aby nedošlo k porušení Kosmické smlouvy. Naskytá se zde podezření, že laser může být zároveň velmi nebezpečnou zbraní, a proto si tento způsob likvidace kosmického smetí vyžádá dostatek mezinárodní důvěry. [29; 30]



Obrázek 16: Likvidace odpadu laserem, www.sydney.edu.au

3.5.9 *Další způsoby likvidace kosmického odpadu*

Bylo navrženo i několik způsobů odstranění kosmického odpadu, které podle mého názoru spadají spíše do oblasti kuriozit. Například vybudovat obrovské sítě s magnety, které by ve svém okolí vytvářely magnetické pole a s jeho pomocí zachytávaly kosmický odpad. Zůstává ale otázkou jak toto zařízení ovládat a navigovat. Jako největší problém se ale jeví, že by tento projekt byl určen pouze na magnetické materiály. Ovšem velké množství odpadu na oběžných drahách je antimagnetické. [31] Další z doposud pouze teoretických návrhů počítá s tím, že nejméně nákladný způsob je využití vodních paprsků. V tomto případě by byly použity klasické rakety naplněny vodou. Vynesení na oběžnou dráhu by se z nich stal takzvaný „vodní granát“, kdy by po jeho explozi uvolněný proud vody vychýlil jednotlivé trosky z jejich drah. Ty by poté zamířily k Zemi a následně zanikly v atmosféře i s troskami nosné vodní rakety. Tato možnost je v současné době nereálná pro nepředvídatelné chování trosk a velké nebezpečí pro ostatní funkční vesmírné objekty. [32]

Poměrně odlišnou možností od všech ostatních je vypnout dosluhující satelit nad jedním ze dvou takzvaných rovnovážných bodů nad Galapágami a nad Srí Lankou. Kolem nich se vlivem gravitace hromadí odpad nejsnáze. Je to dáno tím, že rovník není přesná kružnice, ale jeho kolmé průměry se liší zhruba o 70 metrů. Vypnout satelit v blízkosti tohoto bodu tedy zajistí, že kolem něj začne kroužit a nebude již nekontrolovatelně poletovat kolem celé zeměkoule. Odpad sice nezmizí, ale aspoň zůstane jako by zametený na protilehlých stranách naší planety a pro funkční družice nepředstavuje tak velkou hrozbu. [33]

3.6 Mezinárodní spolupráce

V této kapitole jsem se věnoval kosmickému odpadu z pohledu práva a smluv bezprostředně se odpadu týkajících. Odpad byl v posledních letech značně projednáván, zabývaly se jím především mezinárodní konference, jejichž stručný přehled je uveden v následující tabulce 5. [4; 6]

| Datum konání | Název | Místo |
|---------------|--|-----------|
| Únor 2009 | Vědecko-technický podvýbor OSN COPUOS | Vídeň |
| Duben 2009 | Pátá evropská konference o kosmické tříšti | Darmstadt |
| Květen 2009 | Kongres o kosmické tříšti | Montreal |
| Červen 2009 | Výbor OSN pro mírové využití kosmu | Vídeň |
| Říjen 2009 | Mezinárodní astronautický kongres | Korea |
| Listopad 2009 | Valné shromáždění OSN | New York |
| Červenec 2010 | 38. Vědecké shromáždění COSPAR | Brémy |
| Květen 2010 | Kongres o kosmické tříšti | Montreal |
| Září 2010 | Mezinárodní astronautický kongres | Praha |

Základ vesmírné spolupráce mezi státy tvoří „Výbor pro mírové využití vesmíru“. Byl zřízen roku 1959 s úkolem napomáhat mezinárodní spolupráci a vytvářet mezinárodní kosmické právo. [4] Následně roku 1963 byly Valným shromážděním schváleny „Principy řídicí činnosti států ve výzkumu a využívání vesmíru“. V té době ještě nebylo kosmické smetí považováno za problém. Od roku 1979 jsou v této souvislosti vydávána pouze nezávazná doporučení. [4]

Principy řídicí činnosti států ve výzkumu a využívání vesmíru, deklarují závazně například tyto skutečnosti:

- Využití měsíce jen pro mírové účely.
- Zákaz jaderných zbraní a jiných zbraní hromadného ničení.
- Registrace vypuštění satelitů. [4]

Dále principy deklarují i některá nezávazná doporučení, jako například tyto:

- Veškerá činnost se bude provádět ve prospěch a v zájmu lidstva.
- Všechny státy mohou zkoumat a využívat vesmír a nebeská tělesa na základě rovnosti a v souladu s mezinárodním právem.
- Veškerá činnost podléhá mezinárodnímu právu včetně Charty OSN. [4]

Výše uvedené principy mají vysokou etickou hodnotu. Chrání vesmírné prostředí, Spojeným státům i Rusku dávají dostatečnou volnost a ostatním zemím patříčnou ochranu. [4; 6]

3.6.1 Organizace spojených národů (OSN)

Velký význam v přístupu ke kosmickému odpadu mají i základní „Směrnice OSN pro zmírnění rizika srážek“, které byly vypracovány zástupci 11 kosmických agentur. Tyto směrnice jsou *dobrovolné*. Nejsou tedy právně závazné a výjimky mohou být oprávněné. Mezinárodní smlouvy o kosmu by měly být v dnešní době respektovány každým státem. [4]

Směrnice OSN pro zmírnění rizika srážek vyjadřují například tato pravidla:

- Omezit vznik úlomků během normální činnosti.
- Snížit pravděpodobnost srážky na oběžné dráze.
- Neničit satelity úmyslně. [4]

Většině opatření státy nevěnují pozornost, proto by pravděpodobně bylo účinnější vytvořit alespoň z některých dobrovolných směrnic směrnice právně závazné. Souhlasím s obecně známým názorem, že OSN udělala chybu především tím, že směrnici zakazující úmyslné ničení satelitů nechala v dobrovolných směrnicích technického rázu a že nedošlo k přímému zákazu ničení vesmírných těles. Právní opatření, ať dobrovolná nebo závazná, budou efektivní jen tehdy, pokud budou v souladu se skutečnou situací v kosmu. [4; 6]

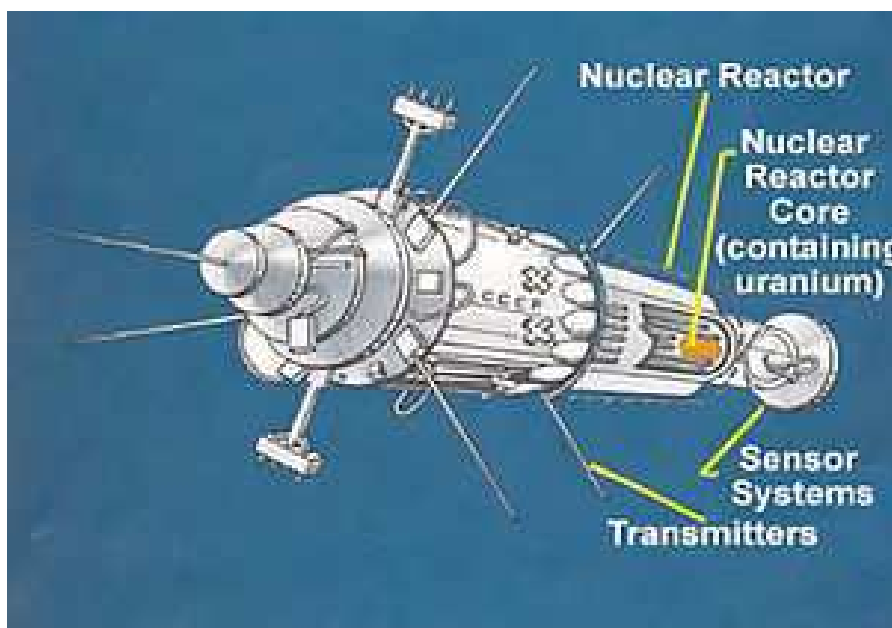
3.7 Radioaktivní odpad na oběžné dráze

Rusko v 60. a 70. letech experimentálně provozovalo v kosmu malé jaderné reaktory. Pohánělo tedy své špionážní družice jadernou energií, zatímco ostatním země používali jako zdroj energie solární panely. Hlavním důvodem byla skutečnost, že solární panely o potřebné ploše by při tehdejší nízké účinnosti výrazně zkrátily životnost těchto družic třením o atmosféru. Družice používaly reaktor namísto radioizotopových článků, které v současné době používají sondy NASA. [34; 36]

V dubnu 1964 zanikla v atmosféře americká navigační družice Transit-SB a nad Indickým oceánem se rozptýlil asi kilogram plutonia Pu-238. NASA od té doby používá plutoniové generátory pouze na meziplanetárních sondách a to jen tehdy, pokud jiná alternativa neexistuje. [35] Problémem je odstranění toxických látek z oběžné dráhy po ukončení činnosti družice. Možností by bylo po ukončení životnosti družice jádro reaktoru vystřelit na vyšší oběžnou dráhu. Radioaktivní odpad z reaktoru by byl uskladněn na dostatečně dlouhou dobu. Jeho radioaktivita by podstatně klesla a snížilo by se riziko zamoření atmosféry a povrchu země. Od roku 1988 se od vysílání jaderných reaktorů do kosmického prostoru v okolí Země upustilo, nicméně problém přetrvává. Díky odporu atmosféry se postupně k naší planetě přibližuje množství satelitů s nebezpečným materiálem. Dlouhá životnost satelitu navíc vede k vyšší celkové pravděpodobnosti kolize přímo na oběžné dráze. [34; 35]

Výsledkem je, že člověk dokázal zamořit těmi nejrůznějšími druhy nebezpečného odpadu prakticky jakékoliv prostředí, ve kterém se zatím vyskytl. Vzhledem k jiným prioritám kosmických velmocí se s vyčištěním oběžné dráhy od radioaktivního odpadu v nejbližší budoucnosti nepočítá. Zajímavé ale je, že znovuzavedení jaderné technologie do blízkého vesmírného prostoru je vzhledem k budoucím výzkumným a vědeckým misím zřejmě nevyhnutelné. [34; 35; 36]

Na obrázku 17 je znázorněn ruský špionážní satelit Kosmos 954, který měl na palubě jaderný reaktor a jehož trosky dopadly do kanadské Arktidy.



Obrázek 17: Kosmos 954, www.commonswikimedia.org

3.8 Vojenská aktivita na oběžné dráze

Nosné rakety transportují do vesmíru nejrůznější druhy satelitů, které mají především vojenský charakter. Některé sledují viditelnou a infračervenou oblast spektra, další jsou radarové a jiné se starají o elektronickou a signálovou rozvědku. Zvláštní podskupinu tvoří špionážní satelity s mimořádně vysokým rozlišením, které mohou produkovat snímky, jejichž kvalita údajně stačí na identifikaci osoby z oběžné dráhy Země podle obličeje. [37; 22]

Vojenský význam vesmíru, respektive vojenských družic ovšem vede ke snaze vyvíjet i prostředky schopné vyřadit protivníka z činnosti. Tak vznikly protidružicové systémy, jejichž vývoj začal již koncem 50. let. Takové zbraně dokázaly vyvinout nejméně tři země, a to Rusko, USA a Čína. Všechny tři uskutečnily jejich úspěšné testy. Je také téměř jisté, že kapacity postačující ke zničení vesmírného objektu má Japonsko, které má rozsáhlý kosmický program, nebo Indie či Izrael. [37] Obecně se soudí, že Čína vlastní velké balistické rakety známé pod názvem „kill-vehicles“ schopné zasáhnout objekty až na geostacionární dráze. [37; 22] Simulace útoku čínské balistické rakety kill-vehicle na americkou družici je zobrazena na obrázku 18.

V dnešní době státy intenzivně vyvíjejí obrané prostředky různých typů. Nejznámějším je malý vojenský raketoplán Space Maneuver Vehicle (SMV), který má operovat s lidskou posádkou i bez ní a má sloužit pro inspekce a údržbu vlastních satelitů či pro zajímání a ničení těch nepřátelských. Nosný stupeň vesmírného plavidla SMV při svém prvním letu je zobrazen na obrázku 19. [37] Dalším takovým prostředkem je kosmický kluzák Common Aero Vehicle (CAV), ten má být výslovně bojovým prostředkem, jenž má nést také zbraně proti pozemním cílům. Pravděpodobně to budou takzvané God's Rods (Boží hole), neboli naváděná tělesa ze žáruvzdorné hmoty, která budou shazována z orbitální dráhy a na zemském povrchu způsobí obrovské škody jen nárazovou energií dopadu. Neoficiálně se také hovoří o projektech orbitálních stanic nesoucích lasery, nebo rakety. [37]

Oproti značně rozšířené představě neexistuje žádná všeobecně závazná smlouva, která by omezovala kosmickou instalaci veškerých zbraní. Ve vesmíru nelze rozmisťovat pouze zbraně hromadného ničení, jak ukládají výše zmínění Směrnice OSN. Je nevyhnutelné, aby se také kosmické zbraně staly předmětem smlouvy podobné těm, jaké dnes omezují nebo zakazují jaderné, chemické či biologické zbraně. Absence této smlouvy by v extrémním případě mohla odstartovat nové, velmi nebezpečné závody ve zbrojení, do kterých by se kromě supervelmocí mohly zapojit další země i nestátní subjekty. [37]



Obrázek 18: Útok rakety kill-vehicle, www.aviationweek.com



Obrázek 19: Nosný stupeň SMV, www.hitechweb.genezis.eu

3.9 Hranice mezi vzdušným prostorem a vesmírem

V následující kapitole jsem se zaměřil na další poněkud opomíjený problém současné kosmonautiky. Dosud se nenalezlo jednoznačné řešení zajímavé otázky „Kde se nalézá hranice mezi vzdušným prostorem a vesmírem?“. Důležité je, že ve vzdušném prostoru platí jiné zákony než ve vesmíru. Hlavní rozdíl vyplývá z faktu, že ve vesmíru se objekty pohybují převážně podle zákonů kosmické mechaniky, kdežto ve vzdušném prostoru převážně podle zákonů raketového letu v odporujícím prostředí řídkého ovzduší. V pásu širokém 20-40 km kolem výšky 100 km nad zemským povrchem se režim provozu postupně a spojitě mění. [4; 6]

V OSN zastává delegace Spojených států amerických názor, že stanovení horní hranice vzdušného prostoru není nutné, protože se dosud nevyskytl případ, který by to vyžadoval. Roku 1967 prohlásil Vědecko-technický podvýbor, že neexistují vědecká kritéria k přesnému určení této hranice. [4] V Roce 1979 navrhl Sovětský svaz, aby byla hranice položena do výšky 110 km nad povrchem Země. A to z toho důvodu, že satelity na kruhových oběžných drahách nemohou přežít jeden celý oběh ve výšce pod 100 km nad zemským povrchem a zároveň pro satelity na výstředních drahách je výška kolem 100 km také vhodná. COPUOS však tento návrh zamítl s tím, že v současné době není možné najít vědecká, či technická kritéria, která by vedla k přesné a trvalé definici kosmického prostoru, což vědecký svět odsoudil pouze jako záminku k zamítnutí. [4; 6]

Místo geometrické hranice se tedy zkouší možnost definovat režim vztažený pro „raketo-aeroplány“ (aerospace objects), které mohou létat ve vesmíru, avšak i delší dobu setrvat v ovzduší. Nyní tedy zůstává tato hranice na pořadu jednání Právního podvýboru, ale její nalezení se v brzké době neočekává. [4; 6]

3.10 Registrace satelitů

V této kapitole jsem vycházel především z přednášek, které vydal roku 2007 pro Učenou společnost Doc. RNDr. Luboš Perek, DrSc.

Zajímavým problémem novodobé kosmické činnosti jsou také tzv. papírové satelity. Od roku 1961 Rusko i Spojené státy americké a s nimi dalších 50 členských států pravidelně registrují všechny vypuštěné objekty u OSN. Vyskytují se však i situace, při kterých některé státy na registraci zapomínají. Dokonce některé prestižní organizace, jako je například Intelsat, neregistrují satelity vůbec. [4] Doc. Luboš Perek ve svých přednáškách uvádí, že začátkem 80. let byl počet neregistrovaných objektů pod 2%, v 90. letech dosáhl 10% a v současné době je kolem 20%. [4] Velký problém je, že každý stát používá svá označení i čísla satelitů a termíny podání registrace značně kolísají. Registr OSN tedy pozůstává ze stovek listin, v nichž je velice obtížné se orientovat. Proto česká delegace předložila v roce 2000 návrh, aby sekretariát ponechal oficiální registr OSN, avšak aby pořídil index vypuštěných objektů v časovém pořadí, s mezinárodním i národním označením, s údajem o registraci u OSN a především s údaji o zániku, či přistání. Česká delegace obhájila tento návrh i na zasedání COPUOS a roku 2001 byl tento index úspěšně vydán. [4]

Druhou organizací, která registruje objekty ve vesmíru je Mezinárodní telekomunikační unie (ITU). Je to jedna ze speciálních agentur OSN. ITU ovšem zaznamenává údaje převážně o radiových stanicích instalovaných na satelitech a sondách. V roce 2008 registrovala ITU přibližně 880 radiových stanic oprávněných vysílat, v roce 2009 je to už kolem 1000 stanic. [6] Satelit však může mít na palubě víc než jedno rádio, nebo naopak, několik satelitů může fungovat jako jedna radiová stanice. Na geostacionární dráze je registrováno více než 4000 radiových stanic, skutečných satelitů je ale pouze kolem 300. [4] Jeden satelit by tedy musel obsahovat více než 10 radiových stanic, což je nereálné. Proto se hovoří o papírových satelitech, i když správně jde o papírové radiové stanice. Papírové registrace znesnadňují, nebo znemožňují přidělit frekvence novým uchazečům. Již se prokázalo, že asi 20% schválených radiových stanic je na řadě nominálních pozic, ale na pozici se nevyskytuje žádný funkční satelit, který by vysílal. Dráhy tedy nejsou tak obsazeny, jak seznam radiových stanic ukazuje. [4] Vyskytl se ale i opačný problém, u 23 satelitů na orbitálních pozicích není žádná schválená radiová stanice, nemají tedy souhlas ITU. Je nepravděpodobné, že by byl satelit, který musí vydat značné množství energie pro udržení své pozice v rovníkové rovině nefunkční a nevysílal. [4; 6]

Většinu těchto problémů je možné řešit pomocí srovnání seznamu satelitů v registru OSN se seznamem radiových stanic ITU. Tím by vyšlo najevo, které položky jsou jen papírovými požadavky. Toto srovnání je ovšem obtížné a časově náročné. Objektů je velké množství, údaje musejí být získány z mnoha nesourodých pramenů a formulářů, které se rychle mění. Vzhledem k tomu, že se OSN zabývá převážně satelity a ITU pouze radiovými stanicemi, tento problém se zřejmě v nejbližší době nepodaří vyřešit. [4; 6]

4 ZÁVĚR

Na základě mé bakalářské práce jsem došel k výsledkům, které jednoznačně nejsou pro budoucí lidskou výzkumnou, ani komerční kosmickou činnost příznivé. Vesmírného odpadu kolem naší planety je již v dnešní době kritické množství. Se stále rostoucím počtem těles obíhajících kolem Země budou v následujících desetiletích veškeré vesmírné mise či jiné vesmírné činnosti stále obtížněji realizovatelné. Je zřejmě nevyhnutelný kolaps celého vesmírného programu, ke kterému dojde pravděpodobně během následujících dvou až tří století, kdy již nebude možné realizovat jediný start do vesmírného prostoru, aniž by nebyly vypuštěné objekty ohroženy srážkami s částicemi kosmického odpadu.

V dnešní době se výrazně rozšiřují a modernizují sledovací sítě po celém světě, s jejichž využitím v krátké budoucnosti získáme podrobný přehled o veškerém kosmickém odpadu poletujícím kolem naší planety na nízkých i vysokých oběžných drahách.

Velkým problémem již 50 let zůstává odstranění vesmírného odpadu z oběžné dráhy Země. V současnosti není lidstvo schopné realizovat jakoukoli činnost, kterou by bylo možné stávající odpad odstranit. Provizorním řešením je například instalování korekčních motorů na budoucí aktivní tělesa, které by sloužili k jeho případné deorbitaci či navedení na hřbitovní dráhu.

Z dostupných informací je tedy zřejmé, že pokud se problém, který kosmický odpad představuje, nebude intenzivně řešit již dnes, budou mít jeho důsledky v nedaleké budoucnosti fatální vliv na veškerou lidskou kosmickou činnost.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Radiožurnál [online]. 08.06.2007 [cit. 2010-03-05]. Třetí dimenze. Dostupné z WWW: <www.rozhlas.cz/default/default/rnp-player.php?id=00556833&br=64&s=>.
- [2] Milénium. Česká televize: Videoarchiv [online]. 2008, 0, [cit. 2010-03-16]. Dostupný z WWW: <www.ceskatelevize.cz/program/10159875412-06.03.2008-11:35-24-milenium.html?from=50&online=1>.
- [3] Radiožurnál [online]. 21.12.2008 [cit. 2010-03-09]. Planetárium. Dostupné z WWW: <www.rozhlas.cz/default/default/rnp-player.php?id=00836680&br=64&s=>.
- [4] PEREK, Luboš. Učená Společnost České Republiky [online]. 17. 4. 2007 [cit. 2010-02-16]. Padesát let ve vesmíru, aneb spolupráce astronomie s mezinárodním právem. Dostupné z WWW: <www.learned.cz/files/prednasky/lubos.perek_0407.txt.pdf>.
- [5] POLÁK, Michal. Reálně o kosmickém smetí a nedávné srážce satelitů. ITBIZ [online]. 19.2.2009, [cit. 2010-04-06]. Dostupný z WWW: <www.itbiz.cz/kosmicke-smeti-srazka>. ISSN 1802-1581.
- [6] PEREK, Luboš. Učená Společnost České Republiky [online]. 18.5.2009 [cit. 2010-03-16]. Pravidla "silničního" provozu v kosmu. Dostupné z WWW: <www.learned.cz/files/prednasky/lubos.perek_0509.pdf>.
- [7] PACNER, Karel. TechnetCZ [online]. 20.2.2009 [cit. 2010-05-16]. Ve vesmíru začíná být tlačnice. Jak uhlídat 3 000 družic a miliony úlomků smetí?. Dostupné z WWW: <technet.idnes.cz/ve-vesmiru-zacina-byt-tlacnice-jak-uhlidat-3-000-druzic-a-miliony-ulomku-smeti-1v8-/tec_vesmir.asp?c=A090217_140054_tec_vesmir_mbo>
- [8] JANDA, Martin. Vyloví kosmické smetí obří vysavač?. 21. století [online]. 19. 05. 2009, [cit. 2010-05-16]. Dostupný z WWW: <www.21stoleti.cz/view.php?cisloclanku=2009051929>.
- [9] RICHTER, Tomáš. Technologie pro moderní komunikaci [online]. 2009 [cit. 2010-04-10]. Oběžné dráhy družic. Dostupné z WWW: <tomas.richtr.cz/mobil/sateo.htm>.
- [10] Www.wikipedia.cz [online]. 2008 [cit. 2010-03-16]. Umělá družice. Dostupné z WWW: <cs.wikipedia.org/wiki/Um%C4%9BI%C3%A1_dru%C5%BEice>.
- [11] ZUMBÁLEK, Z. Access server [online]. 08. 02. 2010 [cit. 2010-02-16]. Družicové telekomunikační spoje. Dostupné z WWW: <access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010020002>. ISBN 1214-9675.
- [12] MACDONALD, Bruce W. UNIDIR [online]. 2009 [cit. 2010-04-16]. Steps to strategic security and stability in space: a view from the United States. Dostupné z WWW: <www.unidir.org/pdf/articles/pdf-art2907.pdf>.
- [13] EnviWeb [online]. 2008 [cit. 2010-04-10]. Vědci hledají cesty jak uklidit kosmické smetí. Dostupné z WWW: <www.enviweb.cz/clanek/archiv/41247/vedci-hledaji-cesty-jak-uklidit-kosmicke-smeti>.

- [14] KOUSAL, Jaroslav. Základy kosmonautiky [online]. 2007 [cit. 2010-02-16]. Kosmické pohony. Dostupné z WWW: <predmet.kosmo.cz/files/prednaska06.pdf>.
- [15] SolarSail Wiki [online]. 2009 [cit. 2010-01-16]. Solar Sailing. Dostupné z WWW: <wiki.solarsails.info/index.php?title=Main_Page>.
- [16] Mutant Chronicles [online]. 2008 [cit. 2010-03-16]. Pohony vesmírných plavidel. Dostupné z WWW: <mutantchronicles.110mb.com/Project%20Heretics/Pohony%20space.htm>.
- [17] Tethers Unlimited [online]. 2009 [cit. 2010-03-30]. About Space Tethers. Dostupné z WWW: <www.tethers.com/TethersGeneral.html>.
- [18] Kosmo.cz [online]. 2009 [cit. 2010-01-16]. Discovery STS-132 / ULF4. Dostupné z WWW: <wikipedia.infostar.cz/m/ma/magnetic_sail.html>.
- [19] Wikipedia [online]. 2001 [cit. 2010-05-16]. Magnetická plachta. Dostupné z WWW: <www.centauri-dreams.org/?p=1272>.
- [20] Centauri Dreams [online]. 2007 [cit. 2010-01-16]. Helium: Speed Brake for the Solar Wind?. Dostupné z WWW: <www.kosmo.cz/modules.php?op=modload&name=XForum&file=post&action=reply&fid=3&tid=309&repquote=r|1512>.
- [21] Kosmonautika [online]. 2002 [cit. 2010-02-11]. O kosmonautice. Dostupné z WWW: <www.space.com/news/aerogel_record_020510.html>.
- [22] SPARKS, Heather. SPACE.com [online]. 10.5.2002 [cit. 2009-12-16]. JPL's Aerogel Makes Record Books As Lightest Solid . Dostupné z WWW: <www.nasa.gov/mission_pages/stardust/spacecraft/aerogel-index.html>.
- [23] National Aeronautics and Space Administration [online]. 2008 [cit. 2009-12-16]. Catching Comet Dust With Aerogel . Dostupné z WWW: <translate.google.cz/translate?js=y&prev=_t&hl=cs&ie=UTF-8&layout=1&eotf=1&u=http%3A%2F%2Fwww.esa.int%2FTEC%2FRobotics%2FSEMTW_LKKKSE_0.html&sl=en&tl=cs>.
- [24] ESA [online]. 2006 [cit. 2010-02-16]. Robotic Geostationary orbit Restorer. Dostupné z WWW: <www.nasa.gov/mission_pages/shuttle/main/index.html>.
- [25] National Aeronautics and Space Administration [online]. 16.5.2010 [cit. 2010-05-16]. Space Shuttle. Dostupné z WWW: <en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle>.
- [26] Wikipedia [online]. 2010 [cit. 2010-03-18]. Space Shuttle. Dostupné z WWW: <www.trekkies.cz/view.php?cislocclanku=2010050009>.
- [27] TREKKIES [online]. 07. 05. 2010 [cit. 2010-05-10]. Raketoplány končí a co dál?. Dostupné z WWW: <www.militarybox.cz/news/stane-se-vesmir-bojistem-budoucnosti-/>.
- [28] Militarybox [online]. 22.03.2010 [cit. 2010-03-11]. Vesmír - bojiště budoucnosti. Dostupné z WWW: <www.vesmir.cz/clanek/mozaika-%2810%29>.

- [29] BUDIL, Ivo. Vesmír [online]. 2000 [cit. 2009-12-18]. Mozaika. Dostupné z WWW: <[www.vesmir.cz/clanek/mozaika-\(10\)](http://www.vesmir.cz/clanek/mozaika-(10))>.
- [30] National Aeronautics and Space Administration [online]. 2010 [cit. 2010-03-09]. News and Media Resources. Dostupné z WWW: <www.nasa.gov/centers/goddard/news/goddard-features.html>.
- [31] Hvězdárna a planetárium Plzeň [online]. duben 2009 [cit. 2010-01-18]. Zpravodaj. Dostupné z WWW: <hvezdarna.plzen.eu/zpravodaje/2009/zpravodaj_2009_04.pdf>.
- [32] Novinky.cz [online]. 13.3.2009 [cit. 2010-01-11]. S vesmírným smetím si mají poradit laserová děla nebo vodní granáty. Dostupné z WWW: <www.novinky.cz/zahranicni/163810-s-vesmirnym-smetim-si-maji-poradit-laserova-dela-nebo-vodni-granaty.html>.
- [33] VLČKOVÁ, Eva. EUROCHEM [online]. 12.1.2009 [cit. 2010-01-12]. Skládka na oběžné dráze. Dostupné z WWW: <www.eurochem.cz/index.php?LA=CS&MN=Sk1%Edka+na+ob%EC%9En%E9+dr%E1ze&ProdID=00021F06D8EDF5860002E8C9&DT=4097&TXTID=1857&PHPSESSID=fa...>.
- [34] TečkaCZ [online]. 5.12.2009 [cit. 2010-03-18]. Letadlem na solární pohon kolem světa. Dostupné z WWW: <teckacz.cz>.
- [35] The Space Review [online]. 22.8.2006 [cit. 2010-05-18]. Nuclear waste in space?. Dostupné z WWW: <www.thespacereview.com/article/437/1>.
- [36] National Aeronautics and Space Administration [online]. 2007 [cit. 2010-05-18]. Search NTRS. Dostupné z WWW: <ntrs.nasa.gov/search.jsp?Ntt=%28Radioactive+Waste+Management%29&Ntk=all&Ntx=mode+matchall&N=0&Ns=HarvestDate|1&as=false>.
- [37] Militarybox [online]. 22.03.2010 [cit. 2010-03-11]. Vesmír. Dostupné z WWW: <www.militarybox.cz/news/stane-se-vesmir-bojistem-budoucnosti/>.

6 SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

| | |
|--------|--|
| CAV | Common Aero Vehicle |
| COPUOS | The United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space |
| ITU | International Telecommunication Union |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| OSN | Organizace spojených národů |
| ROGER | Robotic Geostationary Orbit Restorer |
| SMV | Space Maneuver Vehicle |

7 SEZNAM ILUSTRACÍ

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Aktuální stav odpadu na LEO | 14 |
| Obrázek 2: Software Mashup..... | 16 |
| Obrázek 3: Software Mashup..... | 16 |
| Obrázek 4: Rok 1975 | 18 |
| Obrázek 5: Rok 2008 | 18 |
| Obrázek 6: Hliníková kulička | 20 |
| Obrázek 7: Shoření kosmického odpadu | 24 |
| Obrázek 8: Davidův prak | 25 |
| Obrázek 9: Sluneční plachta | 26 |
| Obrázek 10: Magnetická plachta..... | 27 |
| Obrázek 11: Gravitační tether | 28 |
| Obrázek 12: Elektromagnetický tether | 29 |
| Obrázek 13: Částice v desce aerogelu..... | 30 |
| Obrázek 14: Servisní modul..... | 30 |
| Obrázek 15: Americký raketoplán Space shuttle..... | 31 |
| Obrázek 16: Likvidace odpadu laserem..... | 32 |
| Obrázek 17: Kosmos 954..... | 35 |
| Obrázek 18: Útok rakety kill-vehicle..... | 37 |
| Obrázek 19: Nosný stupeň SMV | 37 |

8 SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 1, Kosmické objekty katalogizované do roku 2009 | 19 |
| Tabulka 2, Počet objektů z vesmírných stanic | 21 |
| Tabulka 3, Srážky v kosmickém prostoru | 22 |
| Tabulka 4, Průměrná životní doba..... | 24 |
| Tabulka 5, Mezinárodní konference | 33 |