

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Harej, H., 2014. Vloga satelitske geodezije pri spremljanju in evidentiranju vesoljskih odpadkov. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kuhar, M.): 110 str.

Datum arhiviranja: 03-09-2014

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Harej, H., 2014. Vloga satelitske geodezije pri spremljanju in evidentiranju vesoljskih odpadkov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kuhar, M.): 110 pp.

Archiving Date: 03-09-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GEODEZIJA
SMER GEODEZIJA

Kandidatka:

HELENA HAREJ

**VLOGA SATELITSKE GEODEZIJE PRI SPREMLJANJU
IN EVIDENTIRANJU VESOLJSKIH ODPADKOV**

Diplomska naloga št.: 963/G

**THE ROLE OF SATELLITE GEODESY IN
MONITORING AND CATALOGUING OF SPACE
DEBRIS**

Graduation thesis No.: 963/G

Mentor:

doc. dr. Miran Kuhar

Predsednik komisije:

prof. dr. Bojan Stopar

Član komisije:

doc. dr. Anka Lisec

Ljubljana, 02. 09. 2014

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana **HELENA HAREJ** izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom »**VLOGA SATELITSKE GEODEZIJE PRI SPREMLJANJU IN EVIDENTIRANJU VESOLJSKIH ODPADKOV**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 18. 8. 2014

Helena Harej

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 523.4:528(043.2)
Avtor: Helena Harej
Mentor: doc. dr. Miran Kuhar
Naslov: Vloga satelitske geodezije pri spremljanju in evidentiranju vesoljskih odpadkov
Tip dokumenta: Diplomaska naloga - univerzitetni študij
Obseg in oprema: 110 str., 3 pregl., 64 sl.
Ključne besede: vesoljski odpadki, satelit, atmosfera, Zemljina orbita, teleskop, vesolje, vesoljska agencija, odstranjevanje vesoljskih odpadkov, vesoljski objekti

Izvleček:

Vesoljski odpadki so vsi objekti, ki jih je v vesolje poslal človek in ne služijo več svojemu prvotnemu namenu. V vesolju se kopičijo že od leta 1957, ko je bil v vesolje izstreljen prvi umetni satelit. Med vesoljske odpadke štejemo odslužene satelite in njihove nefunkcionalne dele, raketne stopnje, druge ostanke raket, odkrušene delce barv, ostanke goriva, prah in pomožne motorje. Sem spadajo tudi izgubljeni predmeti ter vsi ostali delci, ki so nastali zaradi eksplozij in razpada umetnih objektov ter trkov objektov med seboj. Danes že lahko govorimo o prenasičenosti vesolja z vesoljskimi odpadki, ki jih je toliko, da konstantno trkajo med seboj in s tem nastaja vedno več novih odpadkov. Za nadaljnje misije v vesolje je pomembno, da poznamo območja, kjer se ti odpadki nahajajo, da se jim vesoljska plovila tako lahko izognejo, saj lahko ti resno ogrozijo samo misijo. V mojem diplomskem delu tako najprej temeljito opišem problematiko vesoljskih odpadkov, natančneje njihovo obnašanje ter probleme, ki nastanejo z njihovim kopičenjem. Nadaljujem z opisom metod opazovanja in beleženja, ki so posebej problematične pri majhnih odpadkih ter navedem ostale probleme povezane s tem. Zaključim s pregledom metod odstranjevanja, ki pa so šele v razvoju. Mnogo izmed njih je bilo tudi že preizkušenih, pa vendar še nobena izmed njih ni bila realizirana. Tako danes še vedno obstaja kot edina realna rešitve in možnost za zmanjšanje števila odpadkov v vesolju zmerna in odgovorna raba vesoljskega prostora.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 523.4:528(043.2)
Author: Helena Harej
Supervisor: Assist. Prof. Miran Kuhar, Ph.D.
Title: The role of satellite geodesy in monitoring and cataloguing of space debris
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 110 p., 3 tab., 64 fig.
Keywords: space debris, satellite, atmosphere, Earth orbit, telescope, space, space agency, removing space debris, space objects

Abstract:

Space debris is the collection of objects that were sent into space by man but no longer serve their initial purpose. They have been accumulating in space since 1957, when the first satellite was launched. More specifically, space debris includes defunct satellites and their defunct parts, rocket stages, other parts of the rockets, paint fragments, fuel residues, dust and auxiliary engines. In this category fall also other lost items and all other particles that were incurred as a result of explosions and decomposition of artificial objects and collisions with each other. Nowadays, we have already reached a critical density of space debris in the universe; they are constantly colliding, causing the emergence of even more space debris. For future space missions, it is important that we know the area where space debris are located, so that spacecraft can successfully avoid them. Otherwise they can seriously endanger the mission. In my graduation thesis I first present the problem of space debris, more specifically, their behaviour and problems related to their accumulation. Further, I describe methods of observation and data gathering, which are specifically problematic with small debris. I am also addressing other problems related to measurement. I conclude with the methods for removal, which are still in the development phase. Some of them were already tested, but none of the methods has yet been realised. Therefore, the sole current solution for the reduction of space debris remains moderate and responsible use of the space environment.

ZAHVALA

Za vso pomoč in podporo pri nastajanju diplomskega dela se najprej zahvaljujem mentorju doc. dr. Miranu Kuharju. Zahvaljujem se tudi vsem profesorjem ter zaposlenim na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, s katerimi sem tekom študija bila v stiku.

Za najlepša leta, v času študija, pa se posebej zahvaljujem vsem sošolkam in sošolcem, cimrom in cimram iz študentskega naselja ter prijateljem in znancem, ki so mi polepšali študentska leta. Za najbolj noro doživetje in najbolj nora leta, v dosedanjem življenju, pa gre zahvala moji SPOOT družinici.

Na koncu pa gre najbolj iskrena zahvala seveda še moji najožji družini, mami, bratu, sestri in seveda tatu, ki ga bom vedno nosila s seboj v mojem srcu in ki bi mu tale diplomska naloga lahko bila posvečena, čeprav ne vem če je ravno najboljše spisana.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
1.1 Opredelitev področja in opis problema	1
1.2 Vrste vesoljskih odpadkov.....	3
1.2.1 Odpadki v nizki Zemljini orbiti	4
1.2.2 Odpadki na večjih višinah	5
1.2.3 Druge vrste odpadkov.....	7
1.3 Organizacije in družbe, ki se ukvarjajo z opazovanjem vesolja.....	10
1.4 Kako se je vse skupaj začelo	14
1.5 Nadaljnja raziskovanja vesoljskih odpadkov.....	19
1.5.1 Vpliv vesoljskih odpadkov na vesoljska plovila in druge objekte v vesolju	23
1.5.2 Vpliv vesoljskih odpadkov na življenje na Zemlji	26
2 GIBANJE OBJEKTOV V VESOLJU	29
2.1 Nebesna mehanika.....	29
2.2 Problem dveh teles	31
2.3 Tirnice umetnih satelitov ali tako imenovane Keplerjeve elipse.....	32
2.4 Moteče sile pri gibanju satelitov okoli Zemlje	35
2.5 Izračun položaja satelita iz Keplerjevih elementov tirnice.....	36
2.6 Vrste tirnic glede na obhodni čas in višino leta.....	39
3 KATALOGIZIRANJE in BAZE PODATKOV	41
3.1 Katalogiziranje aktivnih plovil v vesolju.....	44
3.1.1 USSPACECOM in NORAD	45
3.1.1.1 NASA-2-LINE format zapisa Keplerjevih elementov za opis tirnice satelitov.....	46
3.1.2 UCS baza satelitov.....	49
3.1.3 DISCOS baza satelitov	50
3.2 Gabbard diagrami	51
4 OPAZOVANJE VESOLJA IN OBJEKTOV V VESOLJU	53
4.1 Teleskop	53
4.1.1 Zgodovina teleskopa in njegov razvoj.....	53
4.2 Obdobje velikih observatorijev	63

4.3	Spremljanje vesoljskih objektov in nadzor vesolja	64
4.3.1	Opazovanja iz Zemlje.....	65
4.3.1.1	Radarska merjenja	65
4.3.1.2	Optična merjenja	66
4.3.2	Sistemi za nadzor vesolja in spremljanje vesoljskih objektov	67
4.3.2.1	Evropski sistem za nadzor vesolja.....	68
4.3.2.2	Sistem Združenih držav Amerike za nadzor vesolja	80
4.3.3	Opazovanje vesoljskih odpadkov s pomočjo vplivov, ki jih ti pustijo na površinah vesoljskih plovil in drugih objektov	86
4.3.4	Opazovanje iz vesolja.....	87
4.3.4.1	Izpostavljene površine in detektorji učinka	88
4.3.4.2	Merjenja vesoljskih odpadkov v vesolju	89
5	ODSTRANJEVANJE VESOLJSKIH ODPADKOV.....	91
5.1	Samoodstranjevanje vesoljskih odpadkov.....	91
5.2	Ublažitev rasti	92
5.3	Vesoljski infrastrukturni servis	93
5.4	Laserske metle.....	94
5.5	Laserji z žarki ionov	95
5.6	Drugi predlogi za reševanje problema vesoljskih odpadkov	96
5.7	Novi prototipi za odstranjevanje vesoljskih odpadkov	96
5.7.1	Roboti (DARPA Phoenix program)	98
5.7.1.1	Podrobneje o DARPA Phoenix programu:	98
5.7.2	Uničevalni vesoljski hišniki (CleanSpace One projekt).....	100
5.7.2.1	Podrobneje o CleanSpace One projektu	100
5.7.3	Ribiške mreže.....	102
5.7.4	Solarno jadro	103
5.7.5	Cube sail, nanosatelit opremljen s solarnim jadrom.....	103
5.7.6	Galaktični tovornjaki za odstranjevanje odpadkov	104
5.7.7	Lovljenje vesoljskih odpadkov s harpuno	104
5.7.8	Uporaba laserja v vesolju	105
6	ZAKLJUČEK.....	106
VIRI.....		108

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Sile, ki učinkujejo na satelit.....	36
Preglednica 2: Vsebina vrstice 1 formata NASA-2-LINE	47
Preglednica 3: Vsebina vrstice 2 formata NASA-2-LINE	47

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz naraščanja števila objektov v vesolju, prikazan v petletnih obdobjih.....	3
Slika 2: Prikaz vesoljskih odpadkov v nizki Zemljini orbiti	5
Slika 3: Populacija vesoljskih odpadkov v geostacionarni Zemljini orbiti (dva primera pogledov od zunaj). Vidni sta dve območji, obroč objektov v geostacionarni Zemljini orbiti in obroč objektov v nizki Zemljini orbiti	7
Slika 4: Umetniška ilustracija trčenja satelita in vesoljskih odpadkov	9
Slika 5: Fragment meteorita (levo) in asteroid Matilda (desno).....	15
Slika 6: Kozmični prah.....	16
Slika 7: Sateliti Pegaz.....	16
Slika 8: Večplasten in dvoplasten Whipplev ščit.....	17
Slika 9: Asteroidni pas med orbito Marsa in Jupitra (označen z belo) ter Trojanski asteroidi (označeni z zeleno)	18
Slika 10: Prikaz Lagrangeovih točk	19
Slika 11: Kroglja zveržene kovine, ki naj bi pripadala vesoljskim odpadkom, na eni od farm v jugozahodnem delu Queenslanda, Avstralija (levo) in strmoglavljen PAM-D modula rakete Star 48, januarja 2011, v Saudski Arabiji (desno)	27
Slika 12: 1. Keplerjev zakon	29
Slika 13: 2. Keplerjev zakon	29
Slika 14: 3. Keplerjev zakon	30
Slika 15: Elementi tirnice nebesnega telesa glede na ekliptiko.....	34
Slika 16: Katalog objektov v orbiti, oktobra 2012	44
Slika 17: NASA-2-LINE format zapisa elementov tirnice satelita	46
Slika 18: Gabbardov diagram, primer 1	52
Slika 19: Gabbardov diagram, primer 2	52
Slika 20: Galilejev teleskop.....	54
Slika 21: Dvojniki drugega Newtonovega optičnega teleskopa (reflektorja).....	55
Slika 22: Herschelov teleskop	55
Slika 23: Rosse teleskop – "pošast iz Parsonstowna"	56
Slika 24: Hookerjev teleskop na gori Mount Wilson	56
Slika 25: Observatorij na gori Palomar (levo) in Halov teleskop (desno)	57
Slika 27: Observatorij na gori Cerro La Silla v Čilu	58
Slika 28: Radijski teleskop Westerbork Synthesis	59
Slika 29: VLA (Very Long Array) velik niz anten v Soccora v bližini Nove Mehike.....	59
Slika 30: ROSAT	60
Slika 31: ISO (infrardeči vesoljski observatorij).....	60
Slika 32: Vesoljski teleskop Hubble med prvo servisno odpravo leta 1993 (levo) in Vesoljski teleskop Hubble (desno).....	61
Slika 33: Oblika vesoljskega teleskopa Jamesa Webba	62
Slika 34: Observatorij Roque de los Muchachos na kanarskem otoku La Palma	63
Slika 35: Evropski zelo velik teleskop (VLT).....	63
Slika 36: Fazni radar Solid State Phased Array Radar (SSPAR) v Fylingdales (levo) in Radarji za sledenje v ohišju (desno).....	69
Slika 37: Globus II radar	70
Slika 38: Instalacija sprejemnih anten sistema GRAVES v Atp.....	70
Slika 39: Radar TIRA, pogled iz zraka (levo) in Radar TIRA, pogled v ohišje (fotomontaža) (desno).....	72
Slika 40: Ladja za sledenje Monge	73

Slika 41: 25 metrska antena Chilbolton observatorija (levo) in Chilbolton observatorij (desno)	74
Slika 42: EISCAT radar v Svalbardu, Norveška (levo) in EISCAT radar v Kiruni, Švedska (desno)..	74
Slika 43: EISCAT radar v Tromso, Norveška (levo) in EISCAT radar v Sodankyla, Finska (desno)..	75
Slika 44: ESA-in 1-metrski Zeiss-ov teleskop za opazovanje vesoljskih odpadkov	76
Slika 45: ROSACE teleskop (levo) in kupola teleskopa (desno)	77
Slika 46: Zimmerwald observatorij	78
Slika 47: Prerez MCAT teleskopa, ki prikazuje teleskop, montažo in kupolo	81
Slika 48: MODEST, Cerro Tololo Inter-American Observatory in Chile.....	82
Slika 49: Teleskop s tekočim ogledalom (levo) in kupola teleskopa s tekočim zrcalom (desno)	84
Slika 50: CCD teleskop za opazovanje vesoljskih odpadkov (CDT)	84
Slika 51: Haystack X-Band Radar - MIT Lincoln Laboratory	85
Slika 52: Kwajalein Radar Complex (levo) in Millstone Radar (desno).....	86
Slika 53: Long Duration Exposure Facility (LDEF)	87
Slika 54: Zbiralnik odpadkov v orbiti (Orbital Debris Collector (ODC))	87
Slika 55: Krater velikosti 4 mm, ki je nastal na sončnih celicah, ki so bile izpostavljene vplivom vesoljskega okolja (levo) in krater velikosti 1mm na površini prednjega okna vesoljskega plovila Challenger STS-7, ki ga je povzročil delček barve (desno)	89
Slika 56: Elektrodinamična vrstica	92
Slika 57: Servisno vozilo vesoljskega infrastrukturnega servisa (foto: DMA)	94
Slika 58: Umetniška predstavitev laserske metle	95
Slika 59: Umetniški prikaz koncepta DARPA Phoenix programa	99
Slika 60: Prikaz odstranjevanja odpadkov s CleanSpace One nanosatelitom	101
Slika 61: Koncept Evropske vesoljske agencije za odstranjevanje vesoljskih odpadkov v prihodnosti	102
Slika 62: Solarno jadro (levo) in delno razprto solarno jadro med testiranjem (desno)	103
Slika 63: Uporaba harpune v vesolju.....	105
Slika 64: Sistem harpune	105

KRATICE

AFRL	Air Force Research Laboratory
AIUB	Astronomisches Institut Universitat Bern
AMOS	Air Force Maui Optical and Supercomputing
ANR	Aljaska NORAD (North American Aerospace Defense Command)
ATV	Automated Transfer Vehicles
CANR	Kanada NORAD (North American Aerospace Defense Command)
CCD	Charge Coupled Device
CDT	CCD (Charge Coupled Device) Debris Telescope
CNES	Centre national d'études spatiales
CONR	Continental NORAD (North American Aerospace Defense Command)
COPUOS	United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space
COSPAR	Committee on Space Research
CSA	Canadian Space Agency
DARPA	The Defense Advanced Research Projects Agency
DELTA	Debris Environment Long-Term Analysis
DISCOS	Database and Information System Characterizing Objects in Space
EDDE	Electro Dynamic Debris Eliminator
E-ELT	European Extremely Large Telescope
EISCAT	The European Incoherent Scatter Radar
EPFL	Ecole polytechnique federale de Lausanne
ESA	European Space Agency
ESO	European Southern Observatory
EURECA	European Retrievable Carrier
GDSCC	Goldstone Deep Space Communications Complex
GEO	Geosynchronous orbit ali Geostationary Orbit
GEODSS	Ground Based-Electro-Optical Deep Space Surveillance
GMT	Giant Magellan Telescope
GORID	Geostationary Orbit Impact Detector
GPS	Global Positioning System
GRAVES	Grande R'eseau Adapt'e`a la Veille Spatial
GSO	Geostationary orbit
GTO	Geostationary transfer orbit
HAX	Haystack Auxiliary Radar
HEO	Highly Elliptical Orbit
HST	Hubble Space Satellite
IADC	Inter – Agency Space Debris Coordination Committee
IRAS	Infrardeči astronomski satelit
IRTF	Infrared Telescope Facility
ISO	Infrared Space Observatory
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JWST	James Webb Space Telescope
LDEF	Long Duration Exposure Facility
LEO	Low Earth Orbit
LMT	Liquid Mirror Telescope

LOFAR	Low Frequency Array
MASTER	Meteoroid and Space Debris Terrestrial Environment Reference
MCAT	Meter Class Autonomous Telescope
MDA	MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd.
MEEP	Mir Environmental Effects Payload
MEO	Medium Earth Orbit
MODEST	Michigan Orbital DEbris Survey Telescope
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NASDA	National Space Development Agency
NODO	Orbital Debris Observatory
NORAD	North American Aerospace Defense Command
ODC	Orbital Debris Collector
OMC	Optical Measurements Center
PARCS	Perimeter Acquisition Characterization Radar System
PAWS	Phased-Array Warning System
PIMS	Passive Imaging Metric Sensor
PODS	Payload Orbital Delivery System
RAL	Rutherford Appleton laboratorija
RCRU	Radio Communications Research Unit
RORSAT	Radar Ocean Reconnaissance SATellite
ROSAT	Roentgen Satellite
SAR	Synthetic-aperture radar
SARE	the Mir Solar Array Returned eksperimenta
SIS	Space Infrastructure Servicing
SPOC	Système Probatoire d'Observation du Ciel
SSC	Surrey Space Centre
SSN	Space Surveillance Network
SSO	Semi synchronous
SSS	Space Surveillance System
SSTL	Surrey Satellite Technology Ltd.
TIRA	Tracking and Imaging Radar
TMT	Thirty Meter Telescope
UCS	Union of Concerned Scientists
UHF	Ultra High Frequency
UKSA	The United Kingdom Space Agency
UN	United Nations
UPM	Universidad Politecnica de Madrid
US SSN	United States Space Surveillance Network
USAF	United States of Air Force
USAKA	United States of America Kwajalein Atoll
USNORTHCOM	United States Northern Commnad
USSPACECOM	United States Space Command
UTC	Coordinated Universal Time
VHF	Very High Frequency
VLA	Very Longe Array
VLBI	Very Long Baseline Interferommetry
ZDA	Združene države Amerike

1 UVOD

V moji diplomski nalogi bom obravnavala problem vesoljskih odpadkov, ki se od prve izstrelitve ruskega satelita Sputnik 1, leta 1957, kopičijo v vesolju. Danes že predstavljajo velik problem, ki se ga svetovna javnost premalo oziroma še ne zaveda in ki se zelo počasi rešuje. Prav tako lahko že danes govorimo o tem, da vesoljski odpadki ovirajo nadaljnje misije v vesolje in počasi bodo začeli ogrožati tudi življenje na Zemlji. Znanstveniki se problema še kako dobro zavedajo in zanj tudi že iščejo rešitve, saj je področje nizkih in geostacionarnih orbit prenasičeno z objekti, ki jih je v vesolje poslal človek in jih tam tudi pustil. Družbi pa se zdi, da problem ne obstaja, ker je očem navadnega človeka neviden in ker je prostranost vesolja in dogajanje v njem človeku tako težko predstavljiva in razumljiva. Pa vendar je problem še kako strah vzbujajoč in kar hitro se ga bomo morali zavedati in začeti pospešeno reševati, preden bo prepozno. Še bolj pa bi se problema morala zavedati politika in politiki, ki imajo v rokah vse niti za reševanje in preventivne ukrepe.

Kaj sploh so vesoljski odpadki? To so vsi objekti, ki jih je človek poslal v vesolje in jih tam tudi pustil. Med vesoljske odpadke štejemo odslužene satelite in njihove nefunkcionalne dele, raketne stopnje, druge ostanke raket, delce barv, s katerimi so bila prebarvana vesoljska plovila, ostanke goriva, prah, vijake, pomožne motorje. Sem spadajo tudi vsi izgubljeni predmeti ter vsi ostali delci, ki so nastali zaradi eksplozij in razpada umetnih objektov ter trkov objektov med seboj ter vsi drugi vesoljski odpadki, ki so ostali v vesolju po opravljenih misijah.

V svoji diplomski nalogi bom tako najprej obravnavala problem vesoljskih odpadkov, gibanje teh v vesolju, opazovanje in spremljanje vesoljskih odpadkov ter katalogiziranje. Na koncu pa bom predstavila še nekaj načinov njihovega odstranjevanja, ki jih razvijajo znanstvene institucije in raziskovalni centri po svetu, preko različnih projektov in financiranj.

S svojo diplomsko nalogo želim torej opozoriti na vedno bolj pereč problem kopičenja vesoljskih odpadkov in na problem prenasičenosti vesoljskega okolja z odpadki ter opozoriti na pomen odgovorne rabe vesolja.

1.1 Opredelitev področja in opis problema

Vesoljski odpadki, znani tudi kot orbitalne razbitine, vesoljske razbitine, vesoljske smeti, so kolekcija objektov v vesolju in orbiti okoli Zemlje, ki jih je tja poslal človek in dolgoročno niso več v uporabi ter že dolgo ne služijo več svojemu namenu, vendar jih človek iz vesolja ni odstranil. Med vesoljske odpadke štejemo dele odsluženih vesoljskih raket, raketne stopnje, nefunkcionalne satelite in njihove nefunkcionalne dele, vse delce, ki so nastali ob trkih različnih objektov med seboj, eksplozijah in eroziji. Orbite teh objektov, ki krožijo v vesolju, pogosto prekrivajo trajektorije novih, delujočih objektov v vesolju in zato predstavljajo potencialno nevarnost za trke z delujočimi, uporabnimi vesoljskimi plovili in lahko tako povzročijo veliko škode. Ocenjujejo, da je velika večina teh odpadkov (deset milijonov delcev) manjša kot en centimeter. V rangu velikosti enega centimetra je vključen tudi prah iz raketnih motorjev, odkruški barve, hladilna tekočina, ki se sprošča ob pošiljanju satelitov v vesolje na jedrski pogon in veliko drugih delcev, ki so nastali s trki. Ti delci ob stiku in trkih z drugimi objekti v vesolju povzročajo erozivno škodo, kot bi šlo za peskanje, ki jo lahko zmanjšamo z uporabo neke vrste odbijača oziroma ščita. Ta je splošno uporaben na večini vesoljskih objektov, ki so dlje časa izpostavljeni vplivom vesoljskega okolja. Misijam v vesolju pa nevarnost

predstavljajo tudi naravni objekti (meteoroidi, mikrometeoroidi in asteroidi), ki se nahajajo v vesolju. Največjo nevarnost misijam predstavljajo asteroidni pasovi, območja, kjer so asteroidi gosteje naseljeni v vesolju, ki se nahajajo v višjih Zemljinih orbitah in jih morajo misije, namenjene v višje Zemljine orbite, na svoji poti prečkati. Ta območja predstavljajo veliko nevarnost in večjo možnost trka in uničenja misij, zato vesoljska plovila nujno potrebujejo zaščito, kot je npr. Whipplov ščit, ki je opisan kasneje.

Trenutno je znanih in sledijo okoli 22.000 delcem odpadkov, ki so večji od pet centimetrov (NASA, 2014) in 300.000 delcem odpadkov, ki so manjši od enega centimetra, pod orbito na 2.000 km višine. Veliko manjše število pa je odpadkov, ki so večji od 10 cm. Edina zaščita pred velikimi odpadki (ranga 10 cm in več) je torej manevriranje vesoljskih plovil, z namenom da se izognejo trkom z odpadki. V primeru da pride do trka z večjimi odpadki nastanejo iz uničenih delov vesoljskih plovil še večji odpadki, ranga en kilogram. Ti predstavljajo dodatno tveganje za trke z drugimi plovili, saj, zaradi svoje teže in velikost, povzročijo še več škode (Wikipedia: Space debris, 2014).

Možnost trkov odpadkov z vesoljskimi plovili je odvisna od števila vesoljskih plovil, ki so trenutno v vesolju. Več kot je objektov v vesolju, več je tudi odpadkov in tako se poveča tudi možnost za trke. Trdimo lahko, da smo skoraj že dosegli kritično gostoto objektov v vesolju, zaradi katere odpadki nastajajo hitreje, kot so jih naravne sile zmožne same po sebi odstranjevati iz vesolja. Vemo, da nekateri objekti v atmosferi zgorijo, vendar če jih je preveč se na to ne moremo zanašati. Lahko pa se zgodi verižna reakcija in lahko pride do uničenja vseh objektov v vesolju, vključno z delujočimi sateliti v nekem obdobju (meseču ali letu). Ta možnost je znana kot Kesslerjev sindrom (Kessler Syndrome) in okrog tega med različnimi znanstveniki potekajo debate in ugotavljanja, ali je mogoče v kateri izmed orbit ali pasov v vesolju, že bila dosežena kritična gostota. V takem primeru se je Kesslerjev sindrom že zgodil (Wikipedia: Space debris, 2014).

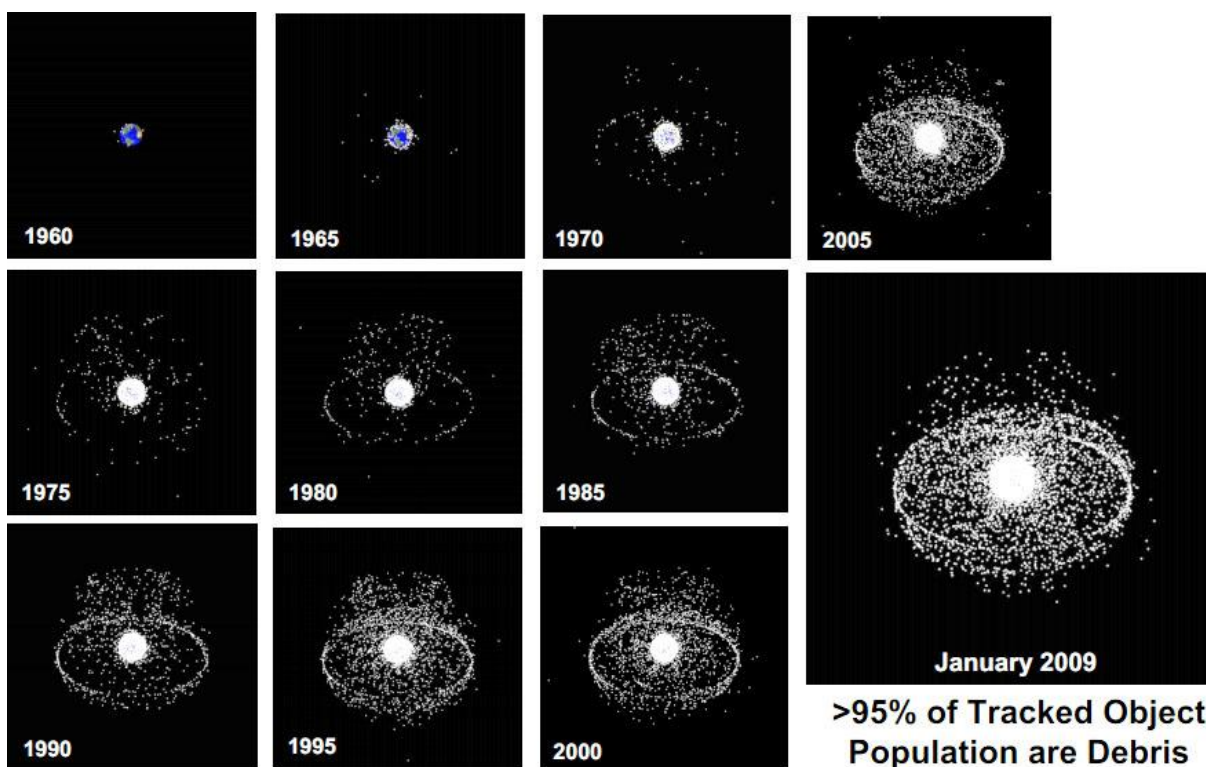
Kesslerjev sindrom predstavlja resno grožnjo. Pogosto ga imenuje tudi Kesslerjev efekt - uničenje s trkanjem. Imenuje se po NASA-inem, znanstveniku Donaldu J. Kesslerju, ki je bil ameriški astrofizik. NASA (National Aeronautics and Space Administration) je Nacionalna zrakoplovna in vesoljska uprava, ameriška vladna agencija, odgovorna za ameriški vesoljski program in dolgoročne vesoljske raziskave. Kesslerjev efekt je pojav pri katerem gostota objektov v vesolju doseže kritično mejo in posledično prihaja do konstantnih trkov med odpadki in tudi delujočimi še uporabnimi objekti v vesolju. Tako ti povzročajo konstantno uničenje, kjer nastajajo vedno novi odpadki in vedno več možnosti za trke med njimi in drugimi objekti, kar še povečuje število odpadkov. Ti lahko privedejo do verižne reakcije konstantnih trkov, ki spet konstantno povečujejo število odpadkov in še nadalje povečujejo možnost trkov med njimi. Te verižne reakcije se potem ne da ustaviti in posledično se lahko, ko se ta sproži, v določenem predelu orbite uničijo vsi tam obstoječi objekti, poleg odpadkov tudi delujoči sateliti, vesoljske postaje in druga plovila. Po Kesslerjevem sindromu se gostota odpadkov povečuje, četudi v vesolje ne pošljemo nobenega objekta več, saj je vesolje že prenasičeno z objekti, med katerimi prihaja do konstantnih trkov in novih odpadkov. Posledica je hitrejše generiranje odpadkov, kot jih je vesolje sposobno po naravni poti samo odstranjevati (z erozijo, izgorevanjem, eksplozijami). Drugače povedano, če se ti ne vrnejo nazaj v atmosfero, kjer izgorijo, se tako gostota objektov v vesolju sama od sebe povečuje (Wikipedia: Space debris, 2014).

Takšni pogoji bi bili precej nevarni za vse nadaljnje vesoljske misije. Ameriški raziskovalni svet je v letošnjem letu opozoril NASO, da je gostota vesoljskih ostankov v orbiti že presegla kritično maso. NASA je v letošnjem poročilu razkrila, da v orbiti sledijo že kar 22 tisočim vesoljskim ostankom. Še več pa je takšnih, ki jim ne morejo slediti. Ocenjujejo pa, da se je v vesolju nakopičilo več kot 5.500

ton razbitin, ki so posledica več kot 50 letnega nekontroliranega in neodgovornega pošiljanja objektov v vesolje in neodgovornega ravnanja z vesoljskim prostorom. Kopičenje smeti pa naj bi se vsako leto povečalo za 5%, kar predstavlja nepredstavljivo nevarnost tako za vesoljski promet, kot za življenje na Zemlji.

NASA, ESA (European Space Agency, Evropska vesoljska agencija) in druge vesoljske agencije tako v okviru svojih programov intenzivno razvijajo metode, s katerimi bodo lahko začele z odstranjevanjem odpadkov in drugih objektov iz vesolja.

NASA intenzivno razmišlja o uporabi laserja, enega od načinov za odbijanje vesoljskih odpadkov, s katerim lahko preprečuje njihove trke s sateliti. Podoben laser se uporablja v avtomobilski industriji za varjenje. Ti bi streljali skozi teleskop in dregali v kupe smeti, ki so ostali v orbiti in tako preprečevali trke s sateliti in drugimi objekti v vesolju ter posledično preprečevali nastajanje novih odpadkov, ki nastajajo zaradi trkov objektov med seboj. Z nežnimi premiki bi laser smetem preprečil, da bi prišlo do trka s komunikacijskimi sateliti in drugimi delujočimi sateliti ali Mednarodno vesoljsko postajo. NASA-ina ekipa, pod vodstvom vesoljskega znanstvenika Jamesa Masona, trdi, da je počasno in previdno odstranjevanje odpadkov iz vesolja odgovor na Kesslerjev sindrom.



Slika 1: Prikaz naraščanja števila objektov v vesolju, prikazan v petletnih obdobjih

1.2 Vrste vesoljskih odpadkov

V splošnem se vesoljski odpadki delijo na velike in majhne odpadke. Veliki odpadki niso definirani kot veliki zaradi svoje fizične velikosti, temveč zaradi trenutne sposobnosti odkrivanja objektov spodnje omejitve velikosti. Generalno se med velike objekte tako štejejo objekti velikosti premera 10 cm ali večji, s tipično maso 1 kg. Med manjše odpadke štejemo vse tiste, ki so manjši od 10 cm, čeprav se v praksi za majhne objekte štejejo objekti velikosti 1 cm ali manj. Odpadki med tema dvema mejama se lahko normalno obravnavajo kot veliki, pri čemer gre za težko izmerljive objekte, zaradi sposobnost instrumentov za sledenje, ki so nam trenutno na voljo.

Veliko večino odpadkov v vesolju sestavljajo majhni objekti, velikosti 1 cm ali manj. Sredi leta 2009 je NASA objavila posodobljene podatke o številu odpadkov in sicer navaja, da je velikih odpadnih predmetov, večjih od 10 cm, 19.000. Število odpadkov v velikosti od 1 do 10 cm ocenjuje na 500.000, število odpadnih predmetov manjših od 1 cm pa presega desetine milijonov. Glede na maso je velika večina celotne mase odpadkov skoncentrirana v velikih objektih - v okrog 2.000 objektih. Od teh, okrog 1.500 objektov tehta več kot 100 kg, kar predstavlja več kot 98% od 1.900 ton vse teže odpadkov, ki so poznani v nizki Zemljini orbiti. Tako večino mase vesoljskih odpadkov predstavljajo veliki objekti v vesolju, večina katerih je bila že dolgo nazaj odkritih in je znana. Kljub nešteto majhnim odpadkom celotna masa ostaja relativno konstantna. Če uporabimo ugotovitve iz leta 2008, ko je bilo znanih 8.500 odpadnih predmetov v vesolju, je tako celotna masa odpadnih predmetov v vesolju ocenjena na 5.500 ton (Wikipedia: Space debris, 2014).

1.2.1 Odpadki v nizki Zemljini orbiti

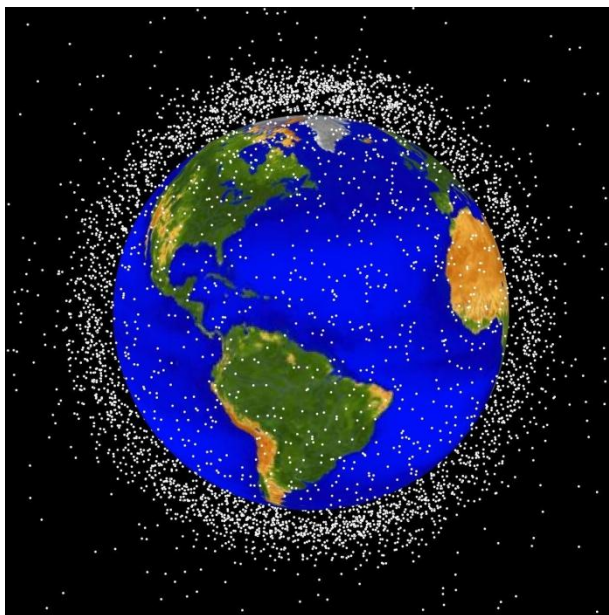
Vsak satelit, vesoljska sonda, kakršnokoli drugo vesoljsko plovilo ali misija s posadko so potencialni proizvajalci vesoljskih odpadkov. Vsak vpliv ali trk med dvema objektoma z veliko maso, kar vesoljska plovila tudi so, lahko povzroči razpad objekta na kovinske razbitine, torej odpadke. Vsak kos kovinskega dela objekta v vesolju ima potencial da povzroči nadaljnjo škodo in ustvari še več vesoljskih odpadkov. S katerimkoli trkom med dovolj velikimi objekti, kot so na primer trki med vesoljsko postajo in nefunkcionalnim satelitom, se število uničujočih odpadkov lahko drastično poveča, tako da bi lahko sčasoma nizka Zemljina orbita postala neuporabna za kakršnekoli druge misije v vesolje.

Problem prenasičenosti vesoljskih odpadkov v nizki Zemljini orbiti se zaostuje ob dejstvu, da je tu več splošnih orbit, ki držijo vesoljska plovila v obroču. To je v nasprotju z geostacionarno Zemljino orbito, ki je ena sama, vendar precej splošno uporabna orbita. Sateliti v nizki Zemljini orbiti krožijo v mnogo različnih orbitalnih ravninah z zagotavljanjem globalne pokritosti Zemlje. Vsaj 15 orbit na dan, tipičnih za nizko Zemljino orbito, je takih, kjer morajo sateliti prestopati in zato je nevarnost za trke med sateliti in odpadki toliko večja. Odkar obstajajo vesoljski odpadki v nizki Zemljini orbiti predstavljajo nevarnost tudi perturbacije (motnje) tirnic, kar pomeni, da se orbitalne planirane smeri spreminjajo skozi čas in tako se lahko trčenja pojavijo skoraj v vseh smereh. Trki se običajno dogajajo pri zelo visokih relativnih hitrostih, ki so tipično več kilometrov na sekundo in zato take vrste trki normalno ustvarijo veliko število novih objektov na kritično velikem območju. To se je lepo pokazalo v primeru trčenja leta 2009, ko sta trčila dva delujoča satelita med seboj. Zaradi omenjenega razloga je tudi Kesslerjev sindrom najpogosteje omenjen samo, ko je govora o nizki Zemljini orbiti. Trki v tej regiji lahko tako ustvarijo odpadke, ki bodo prečkali druge orbite in ta povečana populacija objektov lahko vodi v uničujoč kaskadni efekt.

Najpogosteje se nizke Zemljine orbite, ki so oddaljene največ 400 km ali manj, uporabljajo za človeške misije v vesolje, saj tu preostali zračni upor pomaga ohranjati cono čisto. Zato so trčenja, ki se pojavijo pod to višino manj vprašljiva in nevarna. Vedeti je namreč treba, da imajo delci, ki po trčenju nastanejo v orbiti, perigej¹ nad ali pod to višino, kar pomeni, da hitreje preidejo v atmosfero in zgorijo. Kritična višina se pogosto spremeni kot rezultat vesoljskega vremena, ki je vzrok višje

¹ **Apsidna točka** ali kar **apsida** je v astronomiji in astrodinamiki točka na eliptični tirnici nebesnega telesa, kjer je najbolj ali najmanj oddaljeno od središča kroženja. Točka najbližja središču se imenuje **pericenter**, **periapsida** (**perigej**), točka najdlje pa **apocenter**, **apoapsida** (**apogej**).

atmosfere, ki se širi in krči. Vesoljsko vreme je koncept spreminjanja okoljskih pogojev v prostoru blizu Zemlje ali v prostoru od Sončeve atmosfere do Zemljine atmosfere. Vesoljsko vreme je razloga za spremembe v okolici plazme, magnetnega polja, sevanja in drugih snovi v vesolju. Razširitev atmosfere privede do povečanega tlaka na delce, ki se pokaže v kratkem orbitalnem času. Razširjena atmosfera, ki se je zgodila v obdobju 1990-ih let je eden od razlogov da je gostota vesoljskih odpadkov postala nižja v tem časovnem obdobju. Drugi razlog za ta pojav, je bilo hitro zmanjšanje izstrelitev v vesolje s strani Rusije, saj je ta večino izstrelitev izvedla med 1970 in 1980-imi leti (Wikipedia: Space Debris, 2014).



Slika 2: Prikaz vesoljskih odpadkov v nizki Zemljini orbiti

1.2.2 Odpadki na večjih višinah

Na višjih višinah, kjer je atmosferski tlak manj pomemben in ima manjši vpliv, orbitalno upadanje traja dlje časa. Rahel atmosferski pritisk, lunina perturbacija (motnja) tirnice in pritisk sončnega sevanja lahko postopoma prineseta odpadke v nižjo Zemljino orbito, kjer ti razpadejo. Problematično je, da lahko na zelo visokih višinah ta proces traja tisočletja. Kljub temu, da so te orbite generalno manj uporabne kot nizka Zemljina orbita, in je problem trčenja med objekti manjši, število odpadkov pa zaradi tega narašča počasneje, pa številke napredujejo v smeri točke kritičnega praga mnogo hitreje, kot bi lahko pričakovali.

Vprašanje problema vesoljskih odpadkov je posebej problematično v dragoceni geostacionarni orbiti, kjer se sateliti pogosto nahajajo v gruclah nad njihovo primarno točko na Zemlji in si delijo isto orbitalno pot. Tako je tudi perturbacija (motnja) tirnice v geostacionarni orbiti zelo pomembna, saj povzročajo dolžinski premik vesoljskega plovila in premike plovil v orbitalni ravnini. Zaradi tega, da se izogonejo trkom, morajo vesoljska plovila na tej orbiti stalno manevrirati. Aktivne satelite morajo tako v orbiti vzdrževati s pomočjo njihovih motorjev, ki jih potiskajo. Vendar pa, če se ti pokvarijo, postanejo sateliti potencialni objekti za trke, kar predstavlja velik problem. Znan je primer komunikacijskega satelita Telstar 401 izstreljenega leta 1993, ki naj bi zamenjal Telstar 301, ampak ga

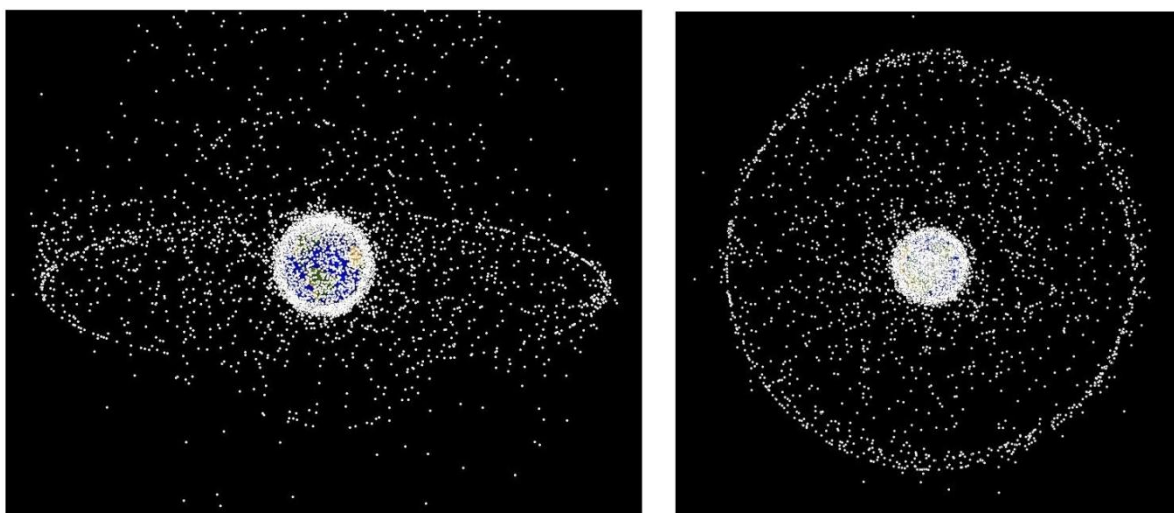
je magnetna nevihta² leta 1997 uničila. Satelit Telstar 401 je danes vesoljski odpadki, kot ostanek v geostacionarni orbiti in predstavlja nevarnost za ostale objekte v vesolju. Ocenjujejo, da se odsluženi objekti - po večini so to umetni sateliti iz geostacionarne orbite - vsako leto približajo Zemlji za približno 50 metrov (Wikipedia: Space debris, 2014).

Relativne hitrosti v geostacionarni orbiti so nizke, v primerjavi s hitrostmi objektov, ki krožijo v naključno izbranih nizkih Zemljinih orbitah. Največja hitrost objektov v geostacionarni orbiti je okrog 1,5 km/s, kar pomeni, da trki med temi odpadki ne predstavljajo enake vrste tveganja, kot trki v nizki Zemljini orbiti. Zagotovo pa lahko trk povzroči okvaro ali uničenje satelita. Večji potencial za trke v tej orbiti v zelo kratkem času predstavljajo veliki sistemi, kot je na primer v vesolju vzpostavljen satelit (Solar power satellites - Space-based solar power). Gre za objekt za zbiranje sončne energije v vesolju za uporabo le te na Zemlji.

V odgovor Mednarodni telekomunikacijski zvezi ITU (International Telecommunication Union) so bile vesoljske agencije dolžne zapisati stroge zahteve, ki so nujne v tej orbiti, za ohranjanje sposobnosti novih satelitov. Zahteve vsebujejo tudi določila, da morajo lastniki satelitov poskrbeti za varno odstranitev satelitov iz svojih orbit, ko se njihova življenjska doba izteče. Kljub vsemu študije vesoljskih odpadkov trdijo, da zapis obstoječih zahtev Mednarodne telekomunikacijske zveze ITU ni dovolj za zmanjšanje frekvence trkov in njihovo omejitev. Dodaten problem predstavlja oddaljenost geostacionarne orbite, ki jim onemogoča izvajanje točnih merjenj na obstoječih poljih odpadkov za objekte manjše od enega metra. Zato natančna narava obstoječega problema ni dovolj dobro poznana. Pojavili so se predlogi o tem, da bi lahko nedelujoče satelite premaknili na prazna mesta znotraj geostacionarne orbite, kar zahteva manj manevriranja in je potem lažje napovedati prihodnja premikanja teh odpadnih satelitov. Dodatna tveganja pa predstavljajo še sateliti v drugih orbitah na tej višini, zlasti sateliti ali ojačevalci, ki so obtičali v geostacionarni prenosni (prehodni) orbiti (orbita preko katere izstrelitve v vesolje v geostacionarno orbito dosežejo geostacionarno orbito). Ta je problematična zaradi tipično visokih hitrosti, ki jih dosežajo objekti poslani v vesolje, ki prečkajo to orbito.

Kljub prizadevanjem za zmanjšanje tveganja so trki še vedno prisotni oziroma se jim ni moč izogniti. Znani so primeri, ko je telekomunikacijski satelit Evropske vesoljske agencije ESA (European Space Agency) Olympus-1 11. avgusta 1993 zadel meteor in je bil izgubljen. 24. julija 1996 so Cerise, francoski mikrosatelit, v sončni sinhroni nizki Zemljini orbiti zadeli delci višje stopnje raketnega ojačevalca (pospeševalec rakete, ki nese satelite v vesolje) rakete Ariane-1 H-10, ki je eksplodirala novembra 1986. 29. marca 2006 je ruski komunikacijski satelit Express-AM11 zadel neznan objekt, ki je povzročil, da je satelit postal nefunkcionalen. Na srečo pa so v zadnjem primeru inženirji imeli dovolj časa, da so v kontaktu z vesoljskim plovilom nedelujoči satelit poslali in ga parkirali v orbito izven geostacionarne orbite (Wikipedia: Space debris, 2014).

² **Magnetna nevihta** je občasna motnja Zemljine magnetne sfere, ki jo povzročajo motnje v medplanetarnem mediju, ki je material, ki zapolnjuje sončni sistem in skozi katerega se gibljejo vsi večji objekti solarne sistema, kot so planeti, asteroidi in kometi. Geomagnetna nevihta je ena od glavnih komponent vesoljskega vremena, ki jo povzročijo udarni vali sončevega vetra ali oblak magnetnega polja, ki komunicira z Zemljinim magnetnim poljem.



Slika 3: Populacija vesoljskih odpadkov v geostacionarni Zemljini orbiti (dva primera pogledov od zunaj). Vidni sta dve območji, obroč objektov v geostacionarni Zemljini orbiti in obroč objektov v nizki Zemljini orbiti

1.2.3 Druge vrste odpadkov

Med druge vrste odpadkov spadajo nedelujoča vesoljska plovila, izgubljena oprema, raketne stopnje in ojačevalci, dodatni dinami, polnilci, baterije, motorji v več stopenjskih raketah, odpadki, ki so nastali v času hladne vojne in v času testiranja anti-satelitskega orožja in še mnogo drugih.

Združene države Amerike so leta 1958 v vesolje izstrelile satelit Vanguard I, ki je bil četrti umeten Zemljin satelit. Hkrati je bil prvi satelit, ki je deloval na sončno energijo. Povezavo z njim so izgubili že leta 1964, ampak ta še vedno ostaja v srednji Zemljini orbiti, kot najstarejši satelit, ki ga je izdelal in v vesolje poslal človek. V vesolju predstavlja kos najdlje preživelega vesoljskega odpadka in je od leta 2009 najstarejši kos smeti, ki je še vedno v vesolju (Wikipedia: Space debris, 2014).

V katalognem seznamu so zapisane znane izstrelitve v vesolje do julija 2009. Zveza zaskrbljenih znanstvenikov (Union of Concerned Scientists), neprofitna skupina znanstvenikov, s sedežem v Združenih državah Amerike, ki poleg poklicnih znanstvenikov združuje tudi veliko privatnih državljanov, je navedla, da sta v vesolju 902 delujoča satelita. Glede na to, da je danes znan podatek o populaciji 22.000 velikih objektov in okoli 30.000 vseh objektov, ki so bili kdaj izstreljeni v vesolje, tako delujoči sateliti predstavljajo manjšino populacije umetnih objektov v vesolju.

Zlasti ena serija satelitov predstavlja dodatno skrb. V 1970-ih in 1980-ih letih je Sovjetska zveza v vesolje izstrelila več pomorskih nadzornih satelitov, kot del njihovega RORSAT programa³. Ti sateliti so bili opremljeni z BES-5 nuklearnim reaktorjem, ki je zagotavljal dovolj energije za delovanje njihovega radarskega sistema. Sateliti so bili normalno izstreljeni kar v srednjo višino, tako imenovano orbito odpadkov (graveyard orbito) ali supersinhrono orbito, ki se nahaja nekaj sto kilometrov nad sinhrono orbito. Tu so vesoljska plovila namerno predstavljena pred koncem njihovega operativnega življenja. Ampak tekom premikanja je prišlo do več napak, ki so se odražale v radioaktivnem materialu, ki je dosegel Zemljo. Še posebej sta bila problematična satelita Kosmos 954 in Kosmos

³ **RORSAT program** (Radar Ocean Reconnaissance SATellite) je serija satelitov, ki so uporabljali aktivni radar za opazovanje Zemlje oziroma tudi komunikacijski sateliti, namenjeni so bili za vojaške obveščevalne namene in nadzor vesolja in so za pogon uporabljali jedrski reaktor.

1402. Kljub uspešni odstranitvi teh satelitov se sedaj soočajo s problemom smeti, natančneje z 8% preračunano verjetnostjo, da bo eden od teh satelitov, kadarkoli v 50 letnem obdobju, preluknjan. V tem primeru se bo sprostila njegova hladilna tekočina, ki je formirana v kapljicah, ki so velike okrog nekaj centimetrov in predstavljajo izvor zelo nevarnih odpadkov (Wikipedia: Space debris, 2014).

Sodeč po knjigi Edwarda Rolf Tufte⁴ *Envisioning Information* (Vizualizacija informacij), je med objekti, ki predstavljajo vesoljske odpadke, tudi:

- izgubljena rokavica astronavta Edwarda Whita - prvega Ameriškega astronavta, ki je hodil po vesolju,
- kamera Michaela Collinsa, ki jo je izgubil blizu vesoljskega plovila Genimi 10,
- vreča s smetmi, ki jo je odvrigel ruski kozmonavt iz vesoljske postaje in
- izvijač ter zobna pasta neznanega lastnika.

Znano je, da je Sunita Williams, astronavtka in delavka v pisarni ameriške navigacije, iz vesoljske rakete STS 120 izgubila kamero med hojo po vesolju. Zanimivo je, da Sunita Williams drži rekord, kot ženska, ki je najdlje časa preživela v vesolju. Med hojo po vesolju so zaradi okrepitve sončnih celic, izgubili tudi par klešč. Heidemarie Stefanyshyn-Piper pa je v eni od misij hoje po vesolju izgubila kovček, velikosti škatle za orodje.

Vesoljske odpadke predstavljajo tudi raketne stopnje. Nizke raketne stopnje, kot so trdni raketni motorji na vesoljski raketi odpadejo preden dosežejo orbito in orbitalno hitrost ter izgorijo in tako ne prispevajo k skupni masi odpadkov v orbiti. Višjestopenjski motorji oziroma rakete, kot je na primer dvostopenjska raketa na trdo gorivo, ki so jo razvili Američani, za prenos tovora iz nižje v višjo Zemljino orbito, začnejo in končajo svoje produktivno življenje v orbiti. Motorji, ki ostajajo v orbiti predstavljajo resen problem. Enega od večjih poznanih vplivnih dogodkov, ki se je zgodil je povzročil motor ene od raket iz družine Ariane. Med začetnimi poskusi opredelitve problema z odpadki, se je pokazalo, da je dokaj velik delež vseh odpadkov posledica razpadanja in eksplozij raketnih stopenj. NASA in Zračne sile Združenih držav Amerike oz. USAF (United States of Air Force) sta si začeli prizadevati, da bi dokazali, da lahko njihovi motorji preživijo izstrelitev, da ne razpadejo in ne onesnažujejo vesoljskega okolja.

Znanih je več primerov dogodkov eksplozij raketnih stopenj, ki so povzročile velike oblake odpadkov in prispevale k povečanju števila objektov v vesolju. 11. marca 2000 je kitajska Long March 4's raketa CBERS-1/SACI-1, ki je visoko stopenjska raketa, eksplodirala v vesolju in ustvarila problematičen oblak odpadkov. Do dogodka podobnega obsega je prišlo tudi 19. februarja 2007, ko je na ruski raketi Briz-M stopnja motorja eksplodirala v orbiti nad Severno Avstralijo. Motor je bil izstreljen 28. februarja 2006 in je nosil Arabsat-4A komunikacijski satelit, ki je slabo funkcioniral še preden je sploh začel delovati v predvidenem obsegu. Omenjeno eksplozijo je na film posnelo več astronomov, ampak zaradi velikosti oblaka odpadkov ni bilo mogoče količinsko oceniti obsega katastrofe z uporabo radarja. Od 21. februarja 2007 je bilo identificiranih čez 1.000 delcev. Tretja eksplozija raketne stopnje se je zgodila 14. februarja 2007. Zabeležil ga je ameriški sistem za sledenje vesoljskim objektom in ga tudi katalogiziral v katalogu vesoljskih objektov. Do kar osmih razpadov je prišlo v letu 2006, kar je največ zabeleženih razpadov od leta 1993. Po seriji omenjenih dogodkov, ki se

⁴ **Edwarda Rolf Tufte** je Ameriški statistik in častni profesor univerze političnih znanosti, statistike in računalniških znanosti na Univerzi v Yale-u. Nase je opozoril s svojo knjigo, v kateri je pisal o infomacijskem oblikovanju in kot eden izmed prvih, ki je o tem pisal, veliko prispeval v polju vizualizacije podatkov.

dogajajo, je potrebno število in intenzivnost nastalih odpadkov še determinirati (Wikipedia: Space debris, 2014).



Slika 4: Umetniška ilustracija trčenja satelita in vesoljskih odpadkov

Eden od naj absurdnejših in prezira vrednih glavnih virov odpadkov v preteklosti pa je bilo testiranje anti-satelitskega orožja, ki so ga v 1960 - ih in 1970 - ih letih izvajale Združene države Amerike in Sovjetska zveza. NORAD-ove (North American Aerospace Defense Command) elementarne datoteke (opisane v enem od naslednjih poglavij), ki predstavljajo sistem za spremljanje in beleženje vesoljskih objektov, so najprej vsebovale samo podatke testov Sovjetske zveze. Mnogo kasneje, pa so bili identificirani tudi odpadki, ki so nastali s testi anti-satelitskega orožja Združenih držav Amerike. Šele mnogo kasneje, ko so se razširjena anti-satelitska testiranja že končala, je bilo število novo nastalih objektov v vesolju sploh razumljeno kot problem.

Testiranje anti-satelitskega programa je trajalo več desetletij. V 1980-ih letih so Združene države Amerike ponovno zagnale svoj anti-satelitski program z izstrelitvijo Vought ASM-135 večstopenjske rakete. 1985 je tale raketa uničila 1 tono težak satelit, ki je krožil v orbiti na višini 525 km in ustvarjenih je bilo na tisoče koščkov vesoljskih odpadkov večjih od 1 centimetra. Ker se je uničenje zgodilo na relativno nizki višini je atmosferski upor poskrbel, da je velika večina velikih odpadkov upadala skozi desetletja. Po omenjenem dogodku ameriških anti-satelitskih testov iz leta 1985 pa je končno sledil odlok o prepovedi take vrste testov.

Kitajska, ki je bila tudi ena izmed treh držav, ki je izvajala anti-satelitske teste, je pred izstrelitvijo svoje anti-satelitske rakete leta 2007, ki je imela vojaške posledice in je ustvarila veliko število vesoljskih odpadkov, dejanja anti-satelitskih testov močno obsojala. To je bil eden največjih incidentov s področja vesoljskih odpadkov v zgodovini, od kar so začeli objekte v vesolju drugače obravnavati in njihovo hitro naraščajoče število smatrati za problem. Ocenjujejo, da je v tej katastrofi nastalo več kot 2.300 kosov odpadkov v velikosti žoge za golf ali večjih. Poleg tega je nastalo čez 35.000 kosov v velikosti enega centimetra ali več in en milijon kosov v velikosti 1 milimetra ali več. Test se je zgodil v območju bližnjega vesolja, ki je najbolj gosto poseljeno s sateliti, saj so bili kot cilj razstrelitve sateliti v orbiti na višini med 850 in 882 kilometri. Na tej višini je atmosferski upor precej nizek, zato je manj verjetno, da se bodo odpadki vrnili na Zemljo. NASA-in raziskovalni satelit Terra environmental spacecraft, ki služi opazovanju Zemlje v sončni sinhroni orbiti, je junija 2007 bil prvi, ki je moral manevrirati, da bi se zaščitili pred vplivom teh odpadkov.

Razstreljevanje satelitov pa se po omenjeni katastrofi še vedno ni končalo. 20. februarja 2008 so tako Združene države Amerike izstrelile SM-3 raketo iz jahte USS Lake Erie, posebej zato, da bi uničili pokvarjene ameriške vohunske satelite. To so hoteli storiti, ker so mislili da ti nosijo 450 kg toksičnega pogonskega hidrazina, ki je zelo nevarna in strupena anorganska spojina, brezbarvna in

vnetljiva tekočina z vonjem podobnim amonijaku. Raketa je imela za cilj namerno zmanjšanje števila odpadkov kolikor je le bilo mogoče. Do tega dogodka je prišlo na približno 250 km višine in po poročanju državnih virov Združenih držav Amerike, so domnevno nastali objekti in razbitine razpadli v začetku leta 2008.

Vse tovrstne akcije in vse povzročitelje vesoljskih odpadkov je potrebno obsoditi in pričeti z intenzivnim razmišljanjem in razvojem tehnologije, ki bo te odpadke lahko odstranila in s tem zmanjšala problem kopičenja odpadkov v vesolju. Začeti se moramo obnašati odgovorno in poskrbeti za trajnostni razvoj in odgovorno rabo vesoljskega prostora (Wikipedia: Space debris, 2014).

1.3 Organizacije in družbe, ki se ukvarjajo z opazovanjem vesolja

Z opazovanjem in odkrivanjem ter nadzorom vesolja se ukvarja veliko organizacij, agencij in družb po celem svetu. Skoraj vsaka država ima svojo vesoljsko agencijo. Financerji in podporniki vesoljskih agencij in drugih organizacij, ki se ukvarjajo z raziskovanjem vesolja, pa so številna podjetja, bogati posamezniki in druge družbe. V podporo raziskovanju in razvoju astronomije pa je bilo ustanovljenih tudi že veliko komitejev, odborov, društev, zvez in drugih organizacij, ki jih prostranost vesolja zanima. Z razvojem vesoljske tehnologije pa se ukvarja tudi veliko univerz.

Bolj znane vesoljske agencije posameznih držav so:

NASA (National Aeronautics and Space Administration), ameriška vladna agencija, odgovorna za ameriški vesoljski program in dolgoročne vesoljske raziskave. Je civilna organizacija, vendar izvaja tudi vojaški vesoljski program. Ustanovljena je bila 1958 in ima sedež v Washingtonu.

NASA ima posebno pisarno, ki se ukvarja z vesoljskimi odpadki in svoj observatorij za vesoljske odpadke **NODO** (Orbital Debris Observatory) ter **MIT Lincoln Laboratorij**, ki zbira podatke o vesoljskih odpadkih od leta 1990, v skladu s sporazumom z Ministrstvom za obrambo Združenih držav Amerike.

V Združenih državah Amerike je Ministrstvo za obrambo odgovorno za nadzor zračnega prostora. V ta namen ima veliko oddelkov in podružnic. **Zračne sile Združenih držav Amerike**, USAF (United States of Air Force), so ena od sedmih ameriških uniformiranih služb, podružnica ameriške vojske, ki skrbi za nacionalno varnost v zraku in ena izmed tehnološko najnaprednejših letalskih sil na svetu. Pod okriljem ameriškega ministrstva za obrambo deluje tudi **USSC** (United States Strategic Command), ki je zadolžena za vesoljske operacije, obveščevalne dejavnosti in protiraketno obrambo. Poleg tega izvaja globalni nadzor in izvidništvo, pri čemer vzdržuje katalog z do sedaj znanimi orbitalnimi objekti. Eden od oddelkov Ministrstva za obrambo je tudi **USSPACECOM** (United States Space Command), ustanovljen leta 1985 za pomoč pri institucionalizaciji uporabe vesolja s strani oboroženih sil Združenih držav Amerike. Sedež organizacije je v bazi zračnih sil Peterson v občini El Paso v bližini Colorado Springs, v Coloradu, kjer ima sedež tudi **NORAD** (North American Aerospace Defense Command) - združenje organizacij za vesoljsko varnost in zaščito. Glavni poveljnik USSPACECOM je bil tudi glavni poveljnik NORAD in večino časa, odkar obstaja USSPACECOM, tudi poveljnik zračnih sil ZDA, pod katerega spadajo tudi zračne sile za nadzor vesolja.

Združene države Amerike imajo vzpostavljeno močno omrežje za vesoljski nadzor **SSN** (Space Surveillance Network), ki predstavlja omrežje elektro-optičnih in radarskih senzorjev za odkrivanje, sledenje in identifikacijo objektov, ki krožijo okoli Zemlje. Ti podatki se beležijo v katalogu

vesoljskih objektov in **DISCOS** podatkovni bazi (Database and Information System Characterizing Objects in Space).

S problemom vesoljskih odpadkov in razvojem tehnologij za njihovo odstranjevanje se v Ameriki ukvarja tudi Obrambni oddelek Agencije Združenih držav Amerike za napredne raziskave **DARPA** (The Defense Advanced Research Projects Agency), ki je razvijal sredstva uporabne tehnologije za vojsko in sedaj planira obnovo in reciklažo živih satelitov, ki krožijo okoli Zemlje z uporabo robotov.

ESA (European Space Agency) - Evropska vesoljska agencija, danes združenje 20 članic in 11 opazovalk, ki si želijo v agencijo vstopiti. Med opazovalkami je tudi Slovenija. ESA je zadolžena za evropski vesoljski program, ustanovljena je bila leta 1975, sedež pa ima v Parizu. Glavni cilji agencije so poleti s človeško posadko, projekt mednarodne vesoljske postaje, raziskovanje Zemlje, Lune, Marsa ter ostalega vesolja, številne raziskave na področju vesoljske znanosti in komercialne izstrelitve telekomunikacijskih satelitov. ESA ima ustanovljeno tudi **Ekipo za raziskovanje sodobnih konceptov** (Advanced Concepts Team), ki je del direktorata za Tehniko in kvalitetni management. Ekipa predstavlja kanal za preučevanje tehnologij in idej, ki so strateškega pomena pri dolgoročnem načrtovanju aktivnosti agencije. Gre za ekipo raziskovalcev in doktorskih študentov, ki nudijo podporo na področju raziskav nastajajočih tehnologij.

Ruska vesoljska agencija je ruska vladna agencija za vesoljske znanosti, s sedež v Moskvi, nastala po razpadu Sovjetske zveze, leta 1992. Rusija ima vzpostavljen svoj sistem satelitov **GLONASS** (Globalna Navigacionna Sputnikovaja Sistema), konstelacije orbit, ki se nahajajo blizu 20.000 km višine. GLONASS je satelitski sistem globalne navigacije, radijski satelitski navigacijski sistem, ruska različica ameriškega GPS. Za rusko vlado ga upravljajo Ruske vesoljske sile. Rusija, poleg Združenih držav Amerike, vodi svoj katalog vesoljskih objektov, s pomočjo vesoljskega nadzornega sistema SSS (Space Surveillance System).

UKSA (The United Kingdom Space Agency) je izvajalska agencija Vlade Velike Britanije, odgovorna za vesoljski program, ustanovljena leta 2010. UKSA je zamenjala britanski nacionalni vesoljski center in prevzela odgovornost za ključna raziskovanja v vesolju. Pod britanskim Ministrstvom za obrambo pa deluje tudi britanska **Agencija za obrambo vrednotenje in raziskovalno dejavnost** (Defence Evaluation and Research Agency). Ministrstvo za obrambo Velike Britanije upravlja tudi pasivni metričen senzor za slikanje PIMS (Passive Imaging Metric Sensor), ki je optičen sistem za nadzor geostacionarne Zemljine orbite in globokega vesolja. Z razvojem različnih vesoljskih tehnologij se ukvarja tudi Airbus, agencija za obrambo in vesolje iz Stevenage v Veliki Britaniji (**Airbus Defence and Space**).

CSA (Canadian Space Agency) Kanadska vesoljska agencija, ustanovljena 1989. Svoje aktivnosti usmerja v štiri ključne programe: opazovanje Zemlje, vesoljska znanost in raziskovanje, satelitske komunikacije ter ustvarjanje prostora za ozaveščanje in izobraževanje.

NASDA (National Space Development Agency) je japonska nacionalna vesoljska agencija za razvoj. Analizira in napoveduje poti po katerih odpadki vstopajo v Zemljino atmosfero. Veliko pa se ukvarja tudi z vprašanjem, kako se z novimi misijami v vesolje izogibati trkom z vesoljskimi odpadki. Odvisna je od USSPACECOM podatkov, ki so vir za njeno zbirko podatkov o vesoljskih odpadkih, dodaja pa svoje podatke, pridobljene iz svojih vesoljskih plovil skozi opazovanja, ki jih bo še izvajala s pomočjo Nacionalnega astronomskega observatorija.

CNES (Centre national d'études spatiales) Francoska vesoljska agencija, predstavlja nacionalni center za vesoljske študije, ustanovljena leta 1961. CNES ima vzpostavljen poskusni sistem za nadzor vesolja, dvo statično **GRAVES** instalacijo veliko omrežje za nadzor vesolja (Grande Réseau Adapté à la Veille Spatial). Pridobljeni podatki se beležijo v katalogu, ki je omejen z objekti velikosti 1 metra, in ki se nahajajo v nizki Zemljini orbiti. Skupaj ima zabeleženih okoli 2.500 vpisov.

Veliko držav ima vesoljske centre ali inštitute ter druge institucije, ki se ukvarjajo z opazovanjem vesolja in različnimi razvojnimi projekti, ki nadomeščajo oziroma opravljajo naloge vesoljskih agencij. Ti so povezani z različnimi univerzami ter podjetji, ki se ukvarjajo z razvojem na področju vesoljskih znanosti:

Švicarski vesoljski center skrbi za promocijo odličnosti in vesoljskih aktivnosti. Glavni cilj Švicarskega vesoljskega centra je spodbujanje razvoja vesoljskih aktivnosti, z vključevanjem različnih univerz, znanstvenih institucij in industrije. Nekateri od njegovih glavnih ciljev so spodbujanje sodelovanja s švicarskimi raziskovalnimi ustanovami in industrijo na nacionalni in mednarodni ravni, spodbuda za vesoljske raziskave in razvoj ter odpiranje novih raziskovalnih področji, pomoč pri ustanovitvi enot in laboratorijev za pripravo in uresničevanje vesoljskih projektov ter zagotavljanje izobraževanja, usposabljanja in vzbujanje zanimanja za vesoljsko znanost med učenci. Švicarski vesoljski center ima tako veliko članov in partnerjev. Ena od članic je tudi Tehnična univerza v Lausanni, Švica (EPFL).

EPFL (Ecole polytechnique federale de Lausanne), je partner in financer projekta CleanSpace One. EPFL je ena od mednarodno najbolj mešanih univerz v Evropi, ki združuje študente, profesorje in druge delavce več kot 120 različnih narodnosti. Usmerjena je k podpori čim večih projektov, raziskav in drugih razvojnih projektov, zato sodeluje z različnimi univerzami in inženirskimi šolami, srednjimi šolami, institucijami iz različnih držav, ki razvijajo različne projekte. Sodeluje tudi z industrijo in gospodarstvom ter se vključuje v politiko in širšo javnost.

Astronomski inštitut Univerze v Bernu (Švica) AIUB (Astronomisches Institut Universität Bern) ima svojo raziskovalno enoto, ki se osredotoča na raziskovanje astronomije. Tudi v učnem načrtu ponujajo module astronomije in astrofizike. Delajo tako na teoretičnem kot na praktičnem usposabljanju. Sodobna opazovanja izvajajo v observatoriju Zimmerwald, s katerim AIUB upravlja. Tu je postavljen tudi Cassegrain teleskop, opisan v nadaljevanju.

Nizozemski inštitut za vesoljska raziskovanja SRON (Netherlands Institute for Space Research) je nizozemski znanstveni inštitut, ustanovljen leta 1983. Je del Nizozemske organizacije za znanstvena raziskovanja, ki ima svoje observatorije v Utrechtu in Groningenu. Inštitut razvija in uporablja inovativne tehnologije za raziskovanje vesolja, s poudarkom na raziskavah povezanih z astrofiziko, znanostih o Zemlji in planetarnih raziskavah.

Center odličnosti Vesolje, znanost in tehnologije iz Slovenija, je bil ustanovljen z namenom združitve akademskih, znanstvenih in tehnoloških potencialov na področju Slovenije. Namen je slovenskim znanstvenikom in inženirjem ponuditi možnost sodelovanja pri vesoljskih raziskavah in misijah ter slovensko javnost povezati s temi, za celotno družbo izredno pomembnimi in dostikrat nevidnimi procesi. V centru deluje 46 raziskovalcev in inženirjev iz petih raziskovalnih institucij: Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, Znanstvenoraziskovalnega centra

SAZU in Instituta Jožef Stefan ter šestih visokotehnoloških podjetij: DEWESoft, Sinergise, TIC – LENS, Impol in Iskra TELA. Področja, ki jih pokrivajo, so: daljinsko zaznavanje, meteorologija, astrofizika, tehnologije mikro in nanosatelitov, sodelovanje v mednarodnih vesoljskih misijah, razvoj multidisciplinarnega laboratorija za testiranje vesoljskih tehnologij, satelitske komunikacije, hibridne antene in radarske tehnologije, prenos vesoljskih tehnologij na zemeljske aplikacije in razširjanje RTD rezultatov.

Univerzitetni vesoljski center Surrey ali Vesoljski center Surrey SSC (Surrey Space Centre) v Veliki Britaniji, je vodilni svetovni center odličnosti v vesoljskem inženirstvu. Strategija centra je podpora tehničnemu razvoju vesoljske industrije preko naprednih raziskovalnih programov. SSC je vodilni svetovni raziskovalni center za manjše misije v vesolje, z nizkimi stroški. So vodilni v svetu na področju raziskav in inovacij majhnih satelitskih aplikacij za razvoj naslednje generacije nizkocenovne majhne satelitske tehnologije. S svojo dejavnostjo so začeli leta 1979, kot akademska dejavnost na Univerzi v Surreyu, kar je kasneje vodilo do zelo uspešnega podjetja Surrey Satellite Technology Ltd (SSTL). Ko je Evropsko vesoljsko podjetje Astrium podprlo projekt nanosatelita, opremljenega s solarnim jadrom (Cube sail) za odstranjevanje vesoljskih odpadkov, so leta 2009 vzpostavili dolgoročno strateško partnerstvo z Univerzo, na področju nadaljnega razvoja vrhunske vesoljske raziskovalne dejavnosti.

Vesoljski center Surrey ponuja tudi možnost dodiplomskega in podiplomskega raziskovalnega študija, krajše tečaje ter druga usposabljanja bodočih znanstvenikov in inženirjev, s katerimi razvijajo nove inovativne tehnologije za vesoljsko industrijo.

Univerza v Southamptonu je ena od vodilnih raziskovalnih univerz v Veliki Britaniji, v okviru katere deluje Astronavtična raziskovalna skupina Dr Hugh G. Lewis (Astronautics Research Group, University of Southampton), ki raziskuje področje vesoljskih odpadkov.

V raziskovanje vesolja in razvoj novih inovativnih vesoljskih tehnologij pa je vključenih še veliko drugih univerz po svetu, kot je **Tehnična univerza v Madridu** UPM (Universidad Politecnica de Madrid), **Univerza v Michiganu** (University of Michigan) iz Združenih držav Amerike in mnoge druge. S problemom vesoljskih odpadkov in razvojem tehnologij za njihovo odstranjevanje se ukvarjajo tudi različne akademije znanosti, kot je Nacionalna akademija znanosti, ki deluje v Združenih državah Amerike, pa tudi Slovenska akademija znanosti in umetnosti SAZU. Z razvojem tehnologije, predvsem za opazovanje vesolja, pa se ukvarjajo v različnih observatorijih in njihovih laboratorijih, kot je na primer laboratorij za zrcala univerze v Arizoni, Evropski južni observatorij ESO (European Southern Observatory) in Harvardski observatorij.

Optični in računalniško visoko zmogljivi observatorij AMOS (Air Force Maui Optical and Supercomputing), ki se nahaja na Mauiu (Havaji), je del znanstveno raziskovalne organizacije Air Force Research Laboratory AFRL. Trudi se pridobivati boljše in natančnejše podatke z razvojem teleskopov za raziskovanje vesoljskih odpadkov.

V podporo raziskavam vesolja je bilo ustanovljenih več komitejev, odborov, zvez in drugih društev, ki se z vesoljem ukvarjajo profesionalno ali ljubiteljsko in opozarjajo na problem vesoljskih odpadkov.

Koordinacijski odbor internacionalne agencije za vesoljske odpadke IADC (Inter – Agency Space Debris Coordination Committee), je mednarodni vladni forum za koordinacijo aktivnosti po vsem svetu, povezanih z vprašanji človeških in naravnih odpadkov v vesolju. Prvotni namen IADC je

izmenjava informacij o raziskovanju vesoljskih odpadkov med vesoljskimi agencijami, članicami IADC-ja; lažšanje možnosti sodelovanja na področju raziskovanja vesoljskih odpadkov in pregled napredka pri skupnih dejavnostih ter ugotavljanje možnosti za zmanjševanje odpadkov v vesolju. Članice IADC so vesoljske agencije iz različnih držav: Italije, Francije, Kitajske, Kanade, Nemčije, Indije, Japonske, Rusije, Ukrajine, Velike Britanije. Zraven sta tudi Evropska vesoljska agencija ter Ameriška vesoljska agencija NASA.

Tu je tudi **komite Združenih narodov**, ki skrbi za zmerno uporabo zunanjega prostora COPUOS (United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space).

Oblikovala se je **Zveza zaskrbljenih znanstvenikov** (Union of Concerned Scientists), neprofitna skupina znanstvenikov, s sedežem v Združenih državah Amerike, ki poleg poklicnih znanstvenikov združuje tudi veliko privatnih državljanov. Združenje se je začelo kot sodelovanje med študenti in člani fakultete na Tehnološkem inštitutu v Massachusetts, leta 1969.

Mednarodna telekomunikacijska zveza ITU (International Telecommunication Union) je spisala priporočila za odgovorno rabo vesolja.

K reševanju omenjenega problema pa so pristopila, predvsem kot financerji in podporniki, tudi različna podjetja.

DFM Engineering, priznано podjetje za oblikovanje in proizvodnjo teleskopov. DFM je ponudnik vrhunskih teleskopov, elektro-optičnih mehanskih sistemov, merilnih naprav in LIDAR komponent.

Intelsat, vodilni ponudnik satelitskih storitev po vsem svetu.

Zračno podjetje iz Kanade MDA (MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd.), ki ponuja širok spekter storitev, trenutno pa pomaga pri razvoju vesoljskega infrastrukturnega servisa. To je tip vesoljskega plovila, ki bi deloval kot bencinsko skladišče za telekomunikacijske satelite v orbiti.

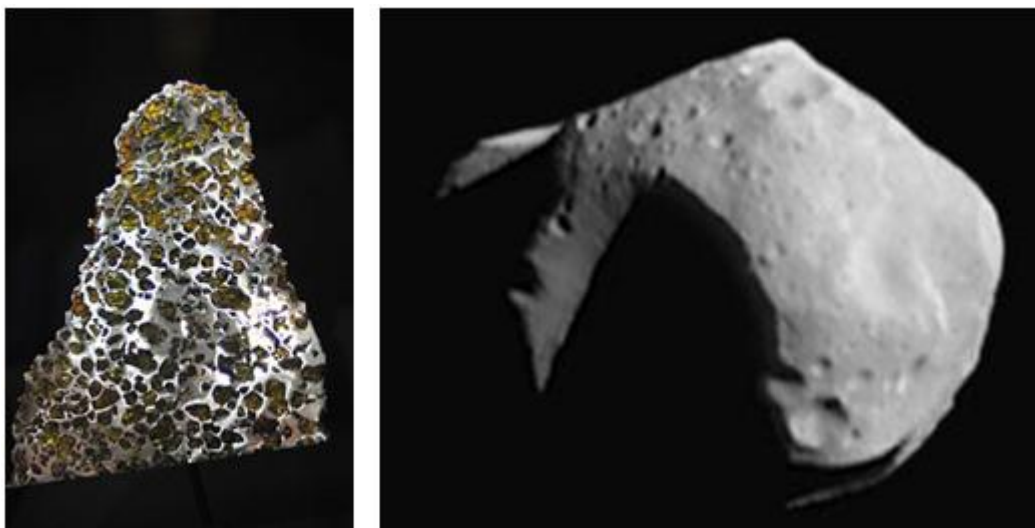
1.4 Kako se je vse skupaj začelo

Najprej so opazovali in preučevali meteorite⁵, mikrometeorite in asteroide⁶, ki povzročajo škodo vesoljskim plovilom ko vanje trkajo. Med meteoritnim dežjem, leta 1964, je Helmut Landsberg,

⁵ **METEOROIT** in **MIKROMETEOROIT** ter **METEOR** in **METEORIT** (ločevanje med imeni je ameriško poimenovanje, mi rečemo vsemu kar meteorit), je kovinski ali kamniti del snovi v našem osončju. Vidni žareči del meteorita, ko ta zgori ob vstopu v našo planetno atmosfero, se imenuje meteor. Če meteorit pade na Zemljo se imenuje meteorit. 1961 je Internacionalna astronomska unija določila, da je meteorit trden objekt, ki se giblje v medplanetarnem prostoru, po velikosti precej manjši od asteroida in precej večji od atoma. Mikrometeoriti so zelo majhni delci skal ali kovine, ki se odlomijo od večjim kosov skal meteoritov in drugih odpadkov, ki so najpogosteje nastali že ob samem rojstvu solarnega sistema. Mikrometeoriti so zelo pogosti v vesolju, nešteto jih je in pomembno prispevajo pri procesu vesoljskega preperevanja.

⁶ **ASTEROIDI** je majhno, trdno nebesno telo v našem Osončju, ki kroži okoli Sonca in je vrsta malega planeta oziroma planetoida (veliki asteroidi so planetoidi). Najpogosteje so iz kamna ali kovine. Za večino asteroidov verjamemo, da so ostanki protoplanetarnega diska, ki se pri nastanku Osončja niso razvili oziroma vključili v planete. Nekateri asteroidi imajo tudi lune. Večina se jih nahaja znotraj asteroidnega pasu z eliptičnimi tirnicami med Marsom in Jupitrom. Asteroidi se od meteoritov ločijo po velikosti, dogovorjeno je, da so asteroidi premera večjega od 50 m. Razlikujemo jih tudi po tem, da so asteroidi dovolj veliki, da lahko neovirano prečkajo Zemljino ozračje, medtem ko manjši meteoriti razpadejo visoko v ozračju in lahko povzročijo ogromno škode.

opazen in vpliven klimatolog, pomemben meteorolog in znanstvenik za atmosfero, rojen v Nemčiji. Zbiral je različne magnetne delce, ki so padli na Zemljo in jih nenamerno povezoval z meteoroitnim dežjem. Fred Whipple je menil, da je to spletkarjenje in je napisal dokument, v katerem je navedel, da se ne strinja z domnevanji, do katerih je Landsberg z zbiranjem teh delcev prišel. Bili naj bi namreč premajhni, da bi lahko bili posledica meteoroiškega dežja, in hkrati premajhni, da bi zaradi svoje velikosti in hitrosti, ki jo v vesolju dosegajo ob prehodu v nižjo atmosfero preživel in v taki obliki padli na Zemljo. Takrat niso še vedeli, da so mikrometeoroiiti majhni delci meteoroitov, ki so ponavadi lažji od enega grama. Gre namreč za delce skal v vesolju, ki preživijo prehod skozi Zemljino atmosfero in kot taki padejo na Zemljo. Whipple je v sodelovanju z Fletcher Watsonom v Harvardskem observatoriju vodil prizadevanja za izgradnjo observatorija, ki bo direktno meril hitrost meteorjev, ki jih lahko vidimo. Direktno merjenje v novem observatoriju je bilo uporabno za lociranje izvora meteoroitov in za dokazovanje, da je večina materiala ostanek repa od kometa. Mislili so, da bodo dokazali, da nič od tega ni narejeno iz originalnih ostankov iz časa nastajanja vesolja. Danes pa razumemo da so vse vrste meteoroitov ostanki materialov iz časa, ko se je formiral sončni sistem, sestavljeni iz delov iz oblaka planetarnega prahu ali ostalih objektov narejenih iz tega materiala, kot so kometi⁷ (Wikipedia: Space debris, 2014).

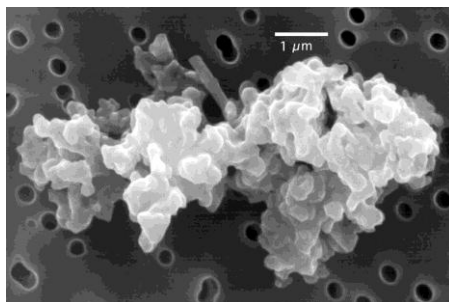


Slika 5: Fragment meteorita (levo) in asteroid Matilda (desno)

Zelo zgodnje študije temeljijo samo na optičnih merjenjih. Hans Pettersson je leta 1957 izvedel ene od prvih direktnih meritev vesoljskega prahu, ki je padel na Zemljo. Ocenjujejo, da ga je bilo 14.300.000 ton na leto. To jih je pripeljalo do ugotovitve, da je bil meteorski tok v vesolju mnogo višji kot številka, ki je temeljila na teleskopskih opazovanjih. Tako visok tok je predstavljal zelo resno tveganje za misije globlje v vesolje, še posebej za misije v višjih orbitah, npr. za kapsulo Apollo, ki se je nahajala visoko v orbiti nad Zemljo. Da bi ugotovili ali so bila direktna merjenja točna so izvajali dodatne študije, vključno s Pegaz (Pegasu) satelitskim programom. Ta je pokazal da je stopnja

⁷ **KOMET** je majhno astronomsko telo podobno asteroidu, vendar pretežno sestavljeno iz ledu. Skoraj vsa masa komete je v njegovem jedru, ki je sestavljeno iz kamena in nikljevega železa. Ti delci so med seboj povezani z ledom. Ko se komet približa Soncu, se led spremeni v plin, ki se razporedi okrog jedra komete in nastane koma, plinasta in prašna ovojnica jedra. Sončev veter potem odbija delce prahu iz kome in pojavi se rep, dolg tudi do 100.000 km, ki je usmerjen stran od Sonca. Kometi se razlikujejo od asteroidov po repu (komi), ki se nahaja za kometom ter po mestu nastanka. Kometi so nastali v zunanem delu Osončja, asteroidi pa v notranjem delu. Običajna velikost jeder kometov je od 100 m do 40 km. Komet z jedrom večjim od 40 km ni znan.

meteoritov, ki gredo skozi atmosfero, podobna stopnji, ki so jo pridobili z optičnim merjenjem, okoli 10.000 do 20.000 ton na leto.



Slika 6: Kozmični prah

Satelitski program Pegaz je bil serija treh Ameriških satelitov, ki so leta 1965 začeli meriti frekvenco vpliva mikrometeoritov na vesoljska plovila. Vsi trije sateliti Pegaz so bili poslani v vesolje z raketo Saturn I. Imenovali so se po krilatemu konju iz grške mitologije Pegazu, in bili prepoznavni po svojih "krilih", paru 29 m dolgih in 4,3 m širokih nizov 104 plošč. Te so bile opremljene s senzorji za zaznavanje lukenj, ki jih povzročijo mikrometeoriti v visokih orbitah, kamor so bili ti sateliti tudi poslani. Sateliti Pegaz so bili prvi umetni sateliti poslani tako visoko v vesolje (16. februarja 1965). Delovali so v podporo Apollo programu, ki je od leta 1970 na Luno pošiljal misije s človeškimi posadkami. Verjeli so, da mikrometeoriti predstavljajo potencialno nevarnost za Apollo posadke, ki so izvajale misije na Luno, v kolikor bi zadeli in preluknjali površino vesoljskih plovil. Senzorji satelitov Pegaz so uspešno merili gostoto, velikost, smer in prodornost vplivov mikrometeoritov, ko so ti zadevali vanje in podali oceno stopnje uničenja s strani mikrometeoriti, ko ti dejansko trčijo v objekte. Za njihovo vzpostavitev, dizajn, delovanje in produktivnost je odgovorna NASA.

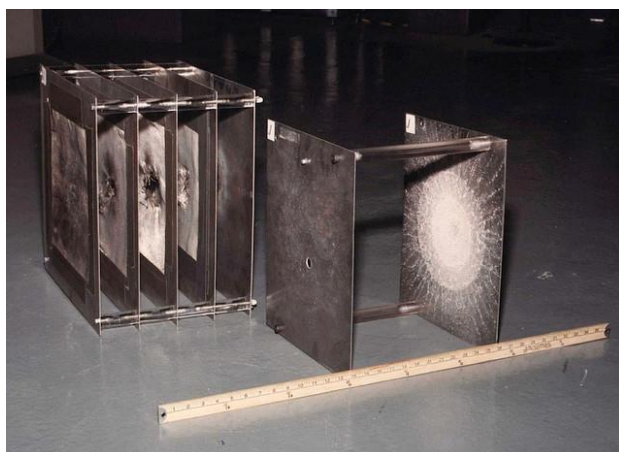


Slika 7: Sateliti Pegaz

Glede na to, da so ugotovili, da mikrometeoriti škodijo vesoljskim plovilom, ko jih zadenejo so začeli preučevati možnosti zaščite. Tako je Fred Whipple leta 1946 izumil rešitev za trke meteoritov v vesoljska plovila. Whipplov ščit oziroma v originalu meteorski odbijač, ki je predstavljal zaščito za vesoljska plovila in postaja, in se je kasneje izkazal za zelo uporabnega. Njegove študije so pokazale, da je sprememba, ki jo meteorit naredi na vesoljskem plovilu, ko ga zadene, posledica ekstremne razdalje iz katere meteorit prileti v plovilo in zaradi te pride do energijskega fleša ali eksplozije. Tako so vesoljska plovila v vesolju konstantno izpostavljena trkom in uničenju s strani vesoljskih objektov (mikrometeoritov) v velikosti zrna prahu. Zato je Whipple leta 1946 razvil rešitev za zaščito vesoljskih plovil pred uničenjem in trki meteoritov, ki se v originalu imenuje meteorski odbijač oziroma Whipplov ščit.

Najprej je ščit predstavljal tanka plast aluminijaste folije, ki je bila malce oddaljena od trupa plovila. Tanka folija je nameščena okrog vesoljske ladje tako, da je oddaljena od telesa ladje in se ga ne dotika. Ko mikrometeoriti zadenejo v ščit, izhlapijo v plazmo, ki obdaja prostor med vesoljsko ladjo in ščitom. Prostor se hitro razširi, plazma pa je tako hitro razpršljiva, da ni možno, da bi delci mikrometeoritov prišli pod strukturo ščita in poškodovali telo vesoljskega plovila. Zaradi ščita je tako telo plovila lahko zgrajeno iz zelo tanke plasti materiala, ki je potrebno za izgradnjo, da je to čim bolj lahko, medtem ko ščit minimalno prinese k dodatni teži plovila. Take vrste vesoljsko plovilo, zaščiteno s plastjo folije, je lažje od plovila zgrajenega iz plošč, pri čemer plošče direktno preprečijo uničenje s strani trkov meteoritov, ki zadevajo vanje. Danes v nekaterih primerih aluminijevo folijo zamenjujejo drugi materiali. Tak ščit uspešno ščiti plovila pred številnimi prašnimi delci v orbiti in manjšimi odpadki, medtem ko se uničenju s strani velikih kosov odpadkov možno izogniti le z manevriranjem.

Whipplov ščit (Whipple shield) je torej vrsta ščita, ki na podlagi povečanja pritiska ščiti vesoljska plovila s posadko ali brez pred trki z mikrometeoriti ali pred trki z vesoljskimi odpadki, katerih povprečna hitrost se giblje med 3 km/s in 18 km/s. Imenujemo ga tudi Whipplov odbijač meteorjev. Na splošno je problem odpadkov v tem, da se nekontrolirano in zelo hitro gibljejo po vesolju in zato ob trkih z vesoljskimi objekti zaradi svoje hitrosti povzročijo še večjo škodo kot bi jo sicer. Zato morajo biti vesoljska plovila zaščitena pred tovrstnim uničenjem. Za razliko od monolitnih zaščit, ki so jih včasih uporabljali za zaščito vesoljskih plovil, je Whipplov ščit narejen iz relativno tankega in s tem tudi lahkega zunanega odbijača, ki je nekoliko oddaljen od stene samega vesoljskega plovila. S tem se pomembno izboljša zaščita in zmanjša masa samega plovila, kar je zelo pomembno pri vesoljskih poletih. Obstaja več oblik Whipplovega ščita, ki se uporabljajo na različnih vesoljskih plovilih in postajah, odvisno od vrste vesoljskega plovila ter stopnje zaščite, ki jo želimo doseči. Vsa vesoljska plovila pa niso zaščitena na ta način. Nekaterih delov sploh ni moč zaščititi pred vplivi vesoljskega okolja. Sončni kolektorji, optične naprave in podobne komponente, ki so del vesoljskih plovil, so tako konstantno izpostavljene uničevanju s strani odpadkov, ki se zaletavajo vanje.

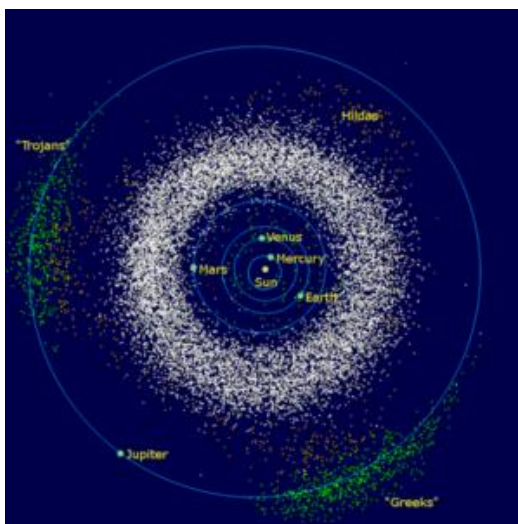


Slika 8: Večplasten in dvoplasten Whipplov ščit

Kasneje se je pojavilo še več različic Whipplovega ščita, ki so bile primerne za različne vrste vesoljskih plovil. Kasnejša raziskovanja so pokazala, da je ščit narejen iz keramičnih vlaken pogosto boljša zaščita pred veliko hitrostjo delcev (~7 km/h) kot aluminijast ščit, ki je enako težak. Drugi moderen uporaben dizajn ščita je večplastna fleksibilna tkanina, ki je uporabljena v NASA TransHab razširljivem bivalnem modulu. TransHab je koncept, ki ga je razvila NASA v 1990 letih za razširljiv življenjski prostor napolnjen z zrakom, za posadke v vesolju. TransHab je bil namenjen kot zamenjava

za že obstoječ tog bivalni prostor, ki so ga do sedaj uporabljali na mednarodni vesoljski postaji (Wikipedia: Space debris, 2014).

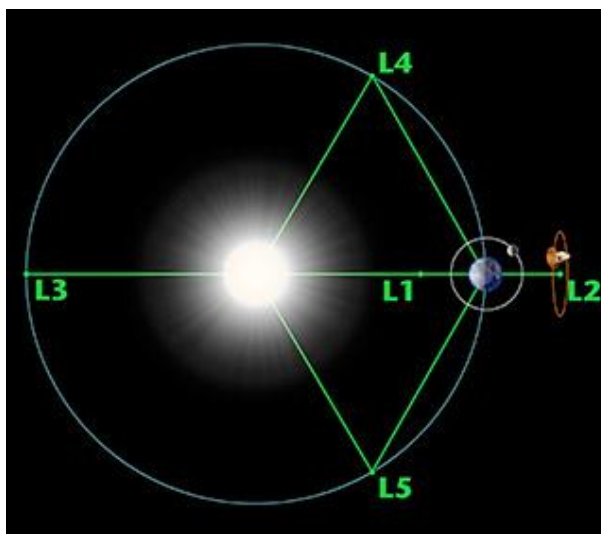
Kessler je preučeval asteroide, ki so tudi uničevali vesoljska plovila ob trkih z njimi. Ko so začeli misije pošiljati globlje v vesolje so se pojavila vprašanja v zvezi z asteroidnim pasom v vesolju in nevarnostmi, ki jih ta povzroča ob potovanju vesoljskih plovil skozenj, na poti v zunanji solarni sistem. Asteroidni pas je pas nešteto asteroidov nepravilnih oblik in mini planetov v solarnem sistemu, lociran nekje med orbito planeta Mars in Jupiter. Pogosto se ta pas imenuje tudi glavni pas asteroidov ali samo glavni pas, da se tako poimenovani asteroidi razlikujejo od drugih skupin asteroidov. Ti se nahajajo bližje Zemlji in jih imenujemo bližjezemeljski asteroidi, poznamo pa tudi trojanske asteroide. Gre za skupino asteroidov, ki se nahajajo v bližini planeta Jupiter, pred in za planetom ter vzdolž njegove orbite. Približno polovico mase asteroidnega pasu sestavljajo štirje največji asteroidi (Ceres, Vesta, Pallas in Hygiea). Ti imajo glavni premer večji od 400 km.



Slika 9: Asteroidni pas med orbito Marsa in Jupitra (označen z belo) ter Trojanski asteroidi (označeni z zeleno)

V astronomiji termin trojan označuje majhen planet ali naraven satelit⁸, ki si deli orbito s planetom ali večjo luno. Med njimi nikoli ne pride do trka, ker gredo njihove orbite okoli dveh stabilnih Lagrangeovih točk, tudi trojanskih točk (L4 in L5), ki ležijo približno 60° pred in za večjim telesom (glej sliko 9). Trojanski objekti so eden od tipov co-orbitalnih objektov. Co-orbitalni objekti so nebesni objekti (asteroidi, planeti, lune), katerih orbita je enaka ali zelo podobna orbiti njihovega matičnega planeta. Lagrangeovih točke je pet, določenih kot pozicije v orbiti (glej sliko 9), kjer so manjši objekti, na katere deluje samo gravitacija in bi teoretično lahko bili del (en vzorec ena oblika) z matičnim planetom, kot sta Luna in Zemlja. Lagrangeove točke se nahajajo kjer je kombinacija gravitacijske sile dveh velikih mas določena kot centripetalna sila, ki povzroča kroženje.

⁸ **NARAVNI SATELIT** ali luna je astronomsko telo, ki kroži okrog planeta. Tipičen predstavnik in ljudem tudi najbolj znan je Zemljin naravni satelit Luna. V osončju je vsaj 140 naravnih satelitov. Veliko jih kroži tudi okrog zunajsončnih planetov v sistemih drugih zvezd. Večina naravnih satelitov je verjetno nastala iz istega sesedajočega področja protoplanetnega diska. Nekaj naravnih satelitov je morda ujetih tujih teles, kosov večjih naravnih satelitov, ki so preostali od velikih trkov.



Slika 10: Prikaz Lagrangeovih točk

Nadaljnje študije in misije globoko v vesolje, so pokazale, da je potovanje skozi asteroidni pas možno in da se tveganje pri tranzitu skozi asteroidni pas da ublažiti. To sta dokazala misiji Pioneer⁹ in Voyager¹⁰, ko sta uspešno potovala skozi pas asteroidov.

1.5 Nadaljnja raziskovanja vesoljskih odpadkov

Pomanjkanje dobrih podatkov o problemu vesoljskih odpadkov je sprožilo serijo študij, s katerimi so opredeljevali okolje nižje Zemljine orbite. Oktobra 1979 je NASA Kesslerju ponudila dodatna finančna sredstva za preučevanje tega problema. Tako so bili uporabljeni različni pristopi pri preučevanju in reševanju tega problema.

Za natančnejša merjenja števila in velikosti objektov v vesolju so uporabljali optične teleskope ali kratkovalovne radarje. Ta merjenja so pokazala, da je število znanih podatkov o številu odpadkov v vesolju vsaj za 50% prenizko od prikazanega obstoječega stanja. Pred tem so verjeli, da je NORAD baza podatkov popolna in so si tako z njeno pomočjo predstavljali vsaj večino velikih objektov v orbiti. Nova opazovanja pa so pokazala, da so bili nekateri objekti, običajno ameriška vojaška vesoljska plovila, namerno izločena iz baze podatkov programa NORAD. Mnogo drugih pa ni bilo niti vključenih, ker so jih obravnavali kot nepomembne in tako seznam ni beležil objektov, ki so bili manjši od 20 cm. Taki so bili zlasti odpadki, ki so ostali od eksplozij raketnih stopenj in veliko ostankov testiranja anti-satelitskega orožja iz 1960-ih let. Ti so tako rekoč bili opaženi po naključni poti, s pomočjo glavne baze podatkov, ko so opazovali druge objekte v vesolju.

Problem vesoljskih odpadkov so preučevali tudi s pomočjo natančne analize vesoljskih objektov, ki so se vrnila na Zemljo. Tako so bila vesoljska plovila, ki so se vrnila na Zemljo, temeljito pregledana z mikroskopi, s katerimi so iskali vpliv vesoljskega okolja in odpadkov nanje. Na Skylab-u¹¹ in Apollo

⁹ **Pioneer** je program Združenih držav Amerike in je serija misij namenjenih za raziskovanje zunanega, oddaljenega vesolja. Najbolj znana sta Pioneer 10 in Pioneer 11, ki sta raziskovala oddaljene planete in ki sta prva, ki sta zapustila solarni sistem.

¹⁰ **Voyager** je ameriški znanstveni program, ki je v vesolje poslal dve misiji, ki sta bili posebej namenjeni raziskovanju planetarnega sistema Jupitra in Saturna, vendar sta kljub temu končala izven solarnega sistema.

¹¹ **Skylab** je bila prva ameriška vesoljska postaja, ki je krožila okrog Zemlje med letoma 1973 in 1979 in je vsebovala delavnico, sončni observatorij in druge sisteme.

Command / Service Modulu¹², ki sta bila v orbiti v 1960-ih in 1970-ih letih in sta se potem vrnila na Zemljo, so bile vidne močne jamice in druge poškodbe, ki so jih povzročili vesoljski odpadki, ko so trkali vanju. Vsaka od nadaljnjih študij objektov, ki so se vrnitvi na Zemljo je pokazala, da je tok odpadkov veliko višje, kot so pričakovali in da so odpadki primarni vir oziroma vzrok za trke v vesolju. Potrdili pa so se tudi dokazi in sklepanja, da v nizki Zemljini orbiti že poteka proces Kesslerjevega sindroma, ki so bili še dodatno podkrepljeni na podlagi natančnega pregleda vesoljskih plovil, ki so se vrnila na Zemljo. Najboljši prikaz vpliva vesoljskega okolja na vesoljska plovila sta bila NASA-in Solar Maximum Mission satelit, ki je bil namenjen opazovanju Sonca in sončnih pojavov ter Long Duration Exposure Facility. Oba sta se po več letih izpostavljanja vesoljskemu okolju vrnila na Zemljo in bila natančno pregledana. Solar Maximum Mission je pokazal kako vesoljski odpadki vplivajo in lahko poškodujejo sončne celice. Teh se ne da učinkovito zaščititi pred vplivi vesoljskega okolja, ker morajo, za zbiranje sončne energije, biti direktno izpostavljene Soncu in s tem tudi vesoljskim odpadkom. Long Duration Exposure Facility pa je predstavljal cilindrično vesoljsko eksperimentalno napravo v velikosti šolskega avtobusa, ki je bila v vesolje poslana z namenom zbiranja podatkov o vesoljskem okolju in njegovih učinkih na vesoljske sisteme in materiale iz katerih je bila narejena. Tako so preučevali vpliv vesoljskega okolja na različne materiale, iz katerih so narejena različna vesoljska plovila in vpliv na misije v vesolje.

Eno od odkritij, ki je popolnoma presenetilo znanstvenike pa je bilo, da je 42% celotnega kataloga vesoljskih odpadkov rezultat samo 19 dogodkov, ki so bili v večini primerov posledica eksplozij odsluženih raket in raketnih stopenj. Večina teh raket je pripadala ameriškim Delta raketam, ki so družina prilagodljivih, vsestranskih, potrošnih sistemov raket, ki so oskrbovale vesoljske zmogljivosti Združenih držav Amerike v 1960-ih letih s tovorom, ki so ga nosile v vesolje. Opaženih pa je bilo še nešteto drugih komponent teh raket v orbiti, ki niso še eksplodirale. Delta rakete pa še vedno ostajajo gonilna sila ameriškega vesoljskega programa in jih še danes množično uporabljajo pri misijah v vesolje.

Ena od študij, za preučevanje nastajanja vesoljskih odpadkov, je bil eksperimentalni program, ki so ga Ameriške zračne sile (United States Air Force)¹³ izvajale v 1980-ih letih, ki je preučeval in določeval kaj bi se zgodilo če bi odpadki trčili s sateliti ali drugimi odpadki. Študija je pokazala, da bi v tem primeru nastalo ogromno število velikih in manjših kosov odpadkov, ki bi kasneje sami sebi predstavljali grožnjo za trke med seboj in seveda nastanek še več novih odpadkov. Tako se gostota in število odpadkov, namesto s številom predmetov, ki so bili poslani v orbito, povečuje in meri še z vsemi novimi odpadki, ki nastanejo s trki in ki jih je, zaradi gostote objektov v vesolju, iz dneva v dan več.

Leta 1991 je Kessler objavil novo delo Collisional cascading: The limits of population growth in low Earth orbit (Kaskadno trčenje: Omejitve rasti populacije v nizki Zemljini orbiti), v katerem je navajal najboljše podatke, ki so bili do takrat na voljo, pridobljeni tudi s pomočjo njegovih študij. V delu je ugotavljal, da čeprav je velika večina razbitin objektov po številu zelo lahkih in majhnih, kot npr. barvni madeži, je bila večina mase, ki jo predstavljajo vesoljski odpadki, zbrana v težkih odpadkih (1 kg ali težji). Ti odpadki pa so dovolj težki za uničenje kateregakoli vesoljskega plovila, kar bi ustvarilo

¹² **Apollo Command/Service Modulu** je bil ena od dveh vesoljskih plovil, del Apollo programa Združenih držav Amerike, ki je ponesel astronavte na Luno.

¹³ **United States Air Force** je ena od sedmih ameriških uniformiranih služb, podružnica ameriške vojske, ki skrbi za nacionalno varnost v zraku in je ena izmed tehnološko najnaprednejših letalskih sil na svetu.

še več objektov v kritičnem območju, kjer se ti odpadki po večini nahajajo. Tudi Nacionalna akademija znanosti je ugotavljala, da lahko objekti težki 1 kg, s hitrostjo 10 km/s, ki jo ti dosega, povzročijo katastrofalno uničenje tudi 1.000 kg težkega vesoljskega plovila, sploh če ga zadenejo v predelu, kjer ima ta visoko gostoto. Ob takem uničenju pa nastane nešteto delcev, vesoljskih odpadkov, tudi večjih od enega kilograma.

Kessler je po analizi prišel do zaključka, da lahko vesoljske odpadke in njihov vpliv razvrsti v tri kategorije:

1. V prvo kategorijo spada skupina odpadkov z dovolj nizko gostoto, zaradi katere je njihov vpliv v vesoljskem okolju počasnejši, kot njihova stopnja upadanja in zato problem, ki ga povzročajo ni tako velik in problematičen.
2. Drugo kategorijo predstavljajo skupine odpadkov s tako imenovano kritično gostoto, ki jih predstavljajo razbitine, ki povzročajo dodatne trke in s tem prispevajo k večanju števila odpadkov.
3. V tretjo kategorijo pa sodi skupina odpadkov gostote večje od omenjene kritične gostote odpadkov iz druge kategorije, kjer je stopnja proizvodnje novih delcev večja, kot stopnja gostote že obstoječih objektov v tem območju. To lahko vodi v uničenje in povzroči več verižnih reakcij.

Večanje populacije odpadkov s trki in razpadom objektov na manjše objekte, reda velikosti centimetra, dela kakršnekoli vesoljske aktivnosti zelo tvegane. Tretja kategorija odpadkov, kjer prihaja do verižnih reakcij je nova uporaba termina Kesslerjev sindrom.

V zgodovinskem pregledu, ki ga je Kessler zapisal v začetku leta 2009, je iskreno povzel situacijo z dejstvom, da lahko agresivne vesoljske aktivnosti brez ustrezne zaščite znatno skrajšajo čas med trki in privedejo do nesprejemljivo nevarne prihodnosti vesoljskih plovil. Nekatere okolju najbolj nevarne aktivnosti v vesolju vključujejo sisteme za anti-satelitsko bojevanje, ki so jih testirale Sovjetska Zveza (Rusija, od leta 1990), Združene države Amerike in Kitajska v zadnjih 30 letih. Tako agresivne aktivnosti lahko vzpostavijo stanje, kjer posamezni sateliti odpovedo, kar lahko vodi do kaskadnega uničenja ali okvare mnogo satelitov v manj kot enem letu.

S scenarijem hitrega porasta vesoljskih objektov so se soočili že v 1980-ih letih, zato so NASA in druge skupine znanstvenikov, z različnimi programi, poskušale omejiti rast odpadkov. McDonnell Douglas, ki je bil glavni ameriški proizvajalec vesoljskih letal in obrambni dobavitelj, ki je proizvedel številna znana komercialna in vojaška letala, je predstavil eno bolj učinkovitih rešitev. Predlagal je, da bi na Delta raketah dodali dodatni dinamo, ki bi se pomikal proč od njihovega odloženega tovora in bi skozi odvodno odprtino iz cisterne izpustil preostali plin. S tem bi zmanjšali pritisk preostalega plina v cisterni, zaradi katerega so v preteklosti te cisterne eksplodirale in s tem ustvarile dodatne odpadke v vesolju. Vendar ostale države niso bile dovolj dovzetne za sprejetje predlagane rešitve in problem naraščanja odpadkov se je nadaljeval skozi celotna 1980-ta leta, zlasti zaradi visoke številke izstrelitev v vesolje s strani Sovjetske zveze.

Sledile so nove študije NASA-e, NORAD-a in nekaj poskusov drugih institucij, z namenom, da bi boljše razumeli kakšno je sploh v resnici vesoljsko okolje in objekti, ki se v njem nahajajo ter dobili boljše sliko o številu odpadkov v vesolju. Vsaka od teh študij je podala malce drugačno, prilagojeno naraščajočo številko odpadkov v kritični masni coni, ki jo je obravnavala. 1981 je bilo znanih 5.000 objektov, ampak nove študije in odkritja detektorjev za odkrivanje in sledenje objektom v vesolju, ki so imeli precej izboljšano resolucijo, so našle nove, do sedaj neznane objekte, tako da se je omenjena

številka znanih objektov v vesolju hitro povečevala. Eden od detektorjev za sledenje vesoljskim objektom, z izboljšano resolucije, je bil zemeljski elektro-optični nadzornik oddaljenega vesolja (Ground-based Electro-Optical Deep Space Surveillance). Ground-based Electro-Optical Deep Space Surveillance je optični sistem za zaznavanje, ki uporablja teleskope in televizijske kamere z nizko ravnijo osvetljenosti, kar dovoljuje vidljivost objektov v ekstremno šibki svetlobi, ki s prostim očesom niso vidni. Običajno so to CCD kamere, občutljive na valovne dolžine nad normalno vidljivostjo (0,4 – 0,7 mikrometrov) in na kratke valovne dolžine – infrardečo svetlobo, valovnih dolžin približno 1,0 do 1,1 mikrometrov. Te kamere so ponavadi cenovno bolj dostopne kot infrardeče kamere.

V poznih 1990-ih so mislili da je večina od 28.000 do sedaj izstreljenih objektov v vesolje že razpadla in da jih je v orbiti ostalo le okrog 8.500. Leta 2005 pa so omenjeno število ostalih izstreljenih objektov v vesolje že popravili na 13.000, leta 2006 pa še povečali na 19.000 ostalih objektov, ki so jih pripisovali trkom med sateliti in ostankom testiranja anti-satelitskega orožja. To je bilo namenjeno onesposobitvi ali uničenju satelitov v strateške vojaške namene in so ga uporabljale Združene države Amerike, nekdanja Sovjetska zveza in Republika Kitajska. Povzročilo pa je veliko škode in nastanek nešteto novih objektov v vesolju. Za anti-satelitsko orožje civilna družba ni vedela. O uporabi tega so bili seznanjeni zgolj ljudje, ki so ga razvijali in uporabljali iz državah, ki so anti-satelitsko orožje razvijale in testirale. Leta 2011 pa je NASA izjavila, da sledijo že več, 22.000 različnim objektom v vesolju. Hitra rast števila objektov, ki je bila ugotovljena na podlagi omenjenih novih študij je pripeljala do napete razprave znotraj vesoljske skupnosti zaradi narave problema, ki so se ga vedno bolj zavedali in zaradi zgodnjih strašljivih opozorili.

Po Kesslerjevih ugotovitvah iz leta 1991 in po dopolnitvah iz leta 2001, bi lahko bila nizka Zemljina orbita, v območju višine 1.000 km, potencialna regija za kaskadno uničenje, ki pa se na srečo še ni zgodilo. Pravzaprav se je do danes zgodila samo ena velika nesreča, trk med satelitoma Iridium 33 in Cosmos 2251, leta 2009. Omenjeno trčenje satelitov je bilo prvo naključno hitrostno trčenje dveh nepoškodovanih umetnih satelitov v Zemljini orbiti. Zgodilo se je ob 16:56 po svetovnem času (UTC)¹⁴, 19. februarja 2009, na 789 km višine, nad Taymyr otokom (severna Rusija - Sibirija). Satelita sta trčila s hitrostjo 11,7 km/s (približno 42,120 km/h).

Ker do očitnega kaskadnega uničenja, ki je bilo napovedano za nizko Zemljino orbito, ni prišlo, je v kratkem času prišlo do številnih pritožb glede vprašanja o precenjenem številu odpadkov v vesolju in precenjeni nevarnosti, ki naj bi jo ti predstavljali. Kessler pa je vseeno poudaril, da začetek kaskadnega uničenja ni nujen in preden do njega pride lahko traja več let. Dokler pa bo število odpadkov naraščalo in se bodo ti še vedno kopičili v vesolju, obstaja veliko možnosti, da do uničenja enkrat vselej pride.

NASA je leta 2006 objavila šokanten podatek o tem, da četudi ne bi bilo več novih izstrelitev v vesolje, bi do takrat znana populacija odpadkov v vesolju ostala do približno leta 2055. Takrat je Richard Crowther dejal, da verjame, da se bo kaskadno uničenje pričelo nekje okrog leta 2015. Richard Crowther je glavni inženir pri britanski vesoljski agenciji in specialist za bližnje objekte, iz britanske Agencije za obrambo vrednotenje in raziskovalno dejavnost (Defence Evaluation and Research Agency), ki je del britanskega Ministrstva za obrambo. Nacionalna akademija znanosti je takrat povzela različne poglede različnih znanstvenikov, med katerimi se je razširilo mnenje, da sta

¹⁴ UTC (Coordinated Universal Time) je univerzalni koordinatni čas, mednarodno sprejet standardni čas, vezan na definicijo sekunde, s sevalnimi prehodi cezijevega atoma.

dva pasova v nizki Zemljini orbiti, med 900 in 1000 km višine ter na 1.500 km višine že preseгла kritično gostoto. Leta 2009 je na evropski konferenci o zračnem in vesoljskem prostoru, raziskovalec H. L. iz Univerze v Southamptonu, napovedal, da bo ogroženost, ki jo predstavljajo vesoljski odpadki v prihajajočem desetletju zrasla za 50 %, v naslednjih 50 letih pa se bo celo povečala za štiri krat.

Že leta 2011 je Nacionalni raziskovalni svet iz Združenih držav Amerike opozoril NASO. V svojem poročilu je navedel, da je število vesoljskih odpadkov, ki krožijo v Zemljini orbiti, doseglo kritično točko. To so pokazali tudi nekateri računalniški modeli, saj je trenutno v orbiti toliko odpadkov, da ti med seboj stalno trkajo in tako ustvarjajo še več odpadkov, ki povečujejo tveganje za napake na vesoljskih plovilih. Omenjeno poročilo je pomenilo znak za začetek mednarodnih predpisov o omejevanju števila objektov v vesolju in začetek raziskav o možnostih za odstranjevanje objektov iz vesolja.

1.5.1 Vpliv vesoljskih odpadkov na vesoljska plovila in druge objekte v vesolju

Vesoljskih odpadkov je toliko, da ti vplivajo na delujoče vesoljske sisteme, kar predstavlja velik problem, hkrati pa predstavljajo tudi možnosti za iskanje rešitev. Kako vesoljski odpadki vplivajo na delujoče vesoljske sisteme določajo štirje faktorji: čas v orbiti, površina, višina orbite in inklinacija. Razen inklinacije so ostali trije faktorji prevladujoči. Veliki problem za misije v vesolje predstavljajo veliki vesoljski objekti, večji od 10 cm. Tem objektom so sposobni slediti in tako tudi vzdrževati podatke o njihovih orbitalnih elementih. Med raketno misijo v vesolju tako upravljavci izvršujejo manevre, s katerimi se izogibajo trkom z velikimi vesoljskimi odpadki, ki bi lahko povzročili katastrofalne posledice. Beležijo pa tudi manevre delujočih satelitov, brez človeške posadke, ki krožijo v orbiti. Znana sta dva primera satelitov, ki sta morala izvesti manever, da sta se izognila trku z vesoljskimi odpadki. Evropski satelit za daljinsko zaznavanje (ERS-1) je v juniju 1997 in v marcu 1998 izvedel dva manevra ter Satelit za opazovanje Zemlje (SPOT-2), ki je v juliju 1997 izvedel en manever. Kasneje je obdelava orbitalnih podatkov pokazala, da do nobenega od predvidenih trkov ne bi prišlo. Vendar pa so vesoljske agencije, ki so odgovorne za vesoljska plovila, hotele povečati varnostno razdaljo med objekti, zaradi negotovosti, ki se bodo v prihodnosti najverjetneje nadaljevale oziroma še stopnjevale. V letu 1996 pa je bil že zabeležen prvi naravni trk med dvema objektoma, ki sta vodena v katalogu. Do trka je prišlo med delujočim satelitom Cerise in med delcem, ki je nastal z eksplozijo višje stopnje rakete Ariane (Wikipedia: Space debris, 2014).

Škode in nevarnosti v vesolju pa ne predstavljajo zgolj veliki vesoljski odpadki, tudi majhni odpadki (manjši od premera nekaj milimetrov) so že povzročili nekaj škode na delujočih vesoljskih sistemih, ampak ti vplivi niso imeli še nobenega znanega efekta na uspešnost misije. Škoda, ki jo povzročajo majhni vesoljski odpadki se deli v dve kategoriji. V prvo kategorijo štejemo škodo, ki jo povzročijo na površini ali na podsistemih, med katero štejemo poškodbe na oknih raket in na antenah satelitov, poškodbe povodcev in poškodbe na drugih izpostavljenih mestih površin raket. V drugo kategorijo pa spada škoda, ki vpliva na izvedbo operacije.

Z namenom zaščite posadke pred vesoljskimi odpadki, med misijo v vesolju, so bili sprejeti nekateri operativni postopki. Pri vesoljski ladji (vesoljska ladja je vesoljsko plovilo s človeško posadko) mora biti tako orbiter (simulator letenja) med letom obrnjen v smeri hitrosti, kar zaščiti posadko in občutljiv sistem pred škodo, ki bi jo povzročili trki z majhnimi vesoljskimi odpadki. Operativne omejitve so bile sprejete tudi za strateško pomembne misije v vesolje. Če je le mogoče se tudi te aktivnosti izvedejo na način, da se zagotovi najboljšo možno zaščito pred vplivom vesoljskih odpadkov. Astronomi, ki izdelujejo slike v vesolju, so v širokem območju slikanja opazili naraščajoče število motečih poti, ki

jih povzročajo vesoljski odpadki. Te poti poslabšajo kakovost opazovanj in bodo v prihodnje popolnoma izničile fotometrična opazovanja, s tem ko bodo prečkala fotometrična polja.

Vesoljska plovila so tako v območju odpadkov predmet nenehne obrabe, zaradi posledic vpliva majhnih odpadkov nanje. Najbolj izpostavljena in kritična območja vesoljskih plovil so tako zaščitena z Whipplovim ščitom, ki odpravi večino škode. Ne glede na to pa ima škoda, ki jo majhni odpadki povzročijo vesoljskim plovilom, direkten vpliv na življenjsko dobo misij v vesolju. Še posebej problematični so pri vesoljskih plovilih, ki se napajajo s sončnimi celicami. Te sončne celice je težko zaščititi, ker mora biti njihova sprednja stran direktno izpostavljena soncu, zato so pogostokrat preluknjane in močno poškodovane, kar skrajša njihovo življenjsko dobo. Ko odpadki zadenejo plošče te običajno proizvedejo oblak plina v velikosti delcev, da v primerjavi z odpadki ne predstavljajo večjega tveganja za ostala vesoljska plovila. Ta plin je po večini plazma, ki se ustvari in posledično predstavlja električno tveganje za same plošče.

Zelo škodljivih učinkov množice majhnih odpadkov je bil dobro viden na vesoljski postaji Sovjetske zveze Mir, saj je bila ta vesoljskemu okolju izpostavljena zelo dolgo časovno obdobje. Predvsem so bile poškodovane plošče - sončne celice, ki so bile prvotno izstreljene na svojih različnih modulih.

Vesoljskih plovil se pred večjimi odpadki načeloma ne da zaščititi. Vpliv velikih odpadkov ponavadi uniči vesoljsko plovilo in znanih je kar nekaj takih dogodkov. Najzgodnejši zapis je izguba satelita Kosmos 1275, ki je izginil 24. julija 1982, samo en mesec po izstrelitvi. Izkazalo se je, da je utrpel neke vrste razpad z nastankom 300 novih objektov. Ker Kosmos ni vseboval nobenih hlapljivih tekočin, predpostavljajo, da je utrpel trčenje z majhnimi objekti. Najverjetneje je šlo za eksplozijo električne baterije, ki se je pokazala kot ena od možnih posledic uničenja omenjenega satelita, vendar pa je premalo dokazov, da bi ugotovili dejanski razlog za razpad Kosmosa 1275. Podobno skrivnostno uničenje je 18. oktobra 1993 utrpel Kosmos 1484 (Wikipedia: Space debris, 2014).

Od takrat se je zgodilo več potrjenih uničenj vesoljskih plovil, zaradi vpliva zunanjih objektov, ki sem jih že omenjala. Olympus-1 je bil izgubljen zaradi trka z meteorjem 11. avgusta 1993. 24. julija 1996 je francoski mikrosatelit Cerise zadel kos večstopenjskega motorja Ariane -1 H-10 rakete. 29. marca 2006 je v ruski komunikacijski satelit Express-AM11 udaril neznani objekt in ga onesposobil ter mnogo drugih (Wikipedia: Space debris, 2014).

Prvi veliki trk med dvema delujočima satelitoma, ki je ustvaril ogromne odpadke, se je zgodil 10. februarja 2009 ob 16:56 po srednjem evropskem času. Trčila sta deaktiviran satelit Kosmos 2251 težak 950 kg in delujoč 560 kg težak satelit Iridium 33, in sicer 800 km nad severno Sibirijo. Relativna hitrost trčenja je bila okrog 11,7 km/s ali približno 42,120 km/h. Oba satelita sta bila uničena in trčenje je ustvarilo veliko velikih odpadkov, ki so se razpršili po vesolju in danes predstavljajo povišano tveganje za vesoljska plovila. Trk je ustvaril oblak odpadkov, čeprav točne ocene števila kosov, ki so ob tem nastali, še ni na voljo (Wikipedia: Space debris, 2014).

Z vidika Kesslerjevega sindroma in kaskadnega uničenja, bi morali življenjsko dobo satelitov skrajšati na nekaj let. Novi sateliti bi lahko bili izstreljeni skozi območje odpadkov v višjo orbito ali pa bi bili pozicionirani v eno izmed nižjih orbit, kjer se zaradi naravnega procesa razpadanja odpadki odstranjuje sami. Ampak ravno zaradi koristnosti orbit med 800 in 1.500 km je ta regija tako prepolna z odpadki.

Že od prvih misij vesoljskih ladij (vesoljska ladje je plovilo s človeško posadko) v vesolje, se je izkazalo, da morajo NASA iz NORAD-ove baze podatkov konstantno spremljati pot ladje po orbiti, po

kateri je ta potovala, da bi se tako lahko izognila vplivom znanih odpadkov v vesolju. Tekom 1980-ih let so te simulacije zahtevale precejšnje zmogljivosti NORAD sledilnega sistema. Prvi uradno znan primer, ko se je vesoljska ladja z manevriranjem morala izogniti trku z odpadki, je bil med misijo vesoljske ladje STS-48 septembra 1991. Sedem sekundna reakcija kontrolnega sistema za reagiranje (Reaction control system) je bila zaslužna za izognitev trku z odpadkom iz satelita Cosmos 955. Podobni manevri so sledili tudi na kasnejših misijah Cosmosa 52, 72 in 82.

Kontrolni sistem za reagiranje (Reaction control system) je podsistem na vesoljski ladji, ki je namenjen kontroli višine in krmiljenju z uporabo neke vrste potisnikov. Ta sistem omogoča zagotavljanje majhnega števila potiskov v katerikoli želeni smeri ali kombinaciji smeri, tako da se lahko vesoljska ladja dovolj hitro in učinkovito izmika odpadkom v vesolju, mimo katerih potuje. Sistem prav tako omogoča rotacijo plovila, v nasprotju z glavnim motorjem, ki je resda zmožen zagotavljati močan potisk, vendar zgolj v eno smer.

Eden od prvih dogodkov vpliva vesoljskih odpadkov na misijo s človeško posadko, ki je bil tudi splošno oglaševan, je bil prvi polet NASA-ine vesoljske ladje Challenger STS-7, med katero je ta vesoljska ladja razporedila mnogo satelitov v orbito. V tem primeru je majhen madež barve zadel Challengerjevo sprednje okno in naredil luknjo širšo od enega milimetra. Podoben vpliv na misiji STS-59 leta 1994 je utrpel Endeavour, kjer je odpadek zadel okno in naredil luknjo velikosti polovice debeline stekla in s tem povzročil veliko večjo skrb. Pregled objavljenih poletov v vesolje je opozoril na izrazito povečanje števila majhnih odpadkov, ki so poškodovali vesoljske ladje od leta 1998 naprej.

Škoda, ki jo povzročajo majhni odpadki je danes narasla in sama po sebi postala pomemben problem. Poškodbe oken, ki so se dogajale v 1990-ih letih, so skupaj z manjšimi poškodbami, do katerih je privedel vpliv odpadkov, pripeljale do razvoja sistema zaščite s termalnimi ploščicami (thermal protection system tiles). Sistem zaščite s termalnimi ploščicami za vesoljske ladje predstavlja neke vrste ograjo, ki zaščiti vesoljsko ladjo med prodiranjem skozi žgočo atmosfero, kjer je temperatura okrog 1.650°C. Drugi namen tega zaščitnega sistema je zaščita vesoljske ladje pred vročim in mrzlim vesoljem, ko je ta v orbiti in potuje skozi vesolje. Da bi ublažili vpliv teh dogodkov, vesoljska ladja, potem ko enkrat doseže orbito, namerno leti z repom naprej in poskuša prestreči kar se da največ ostankov tovora na motorjih in v prtljažnem delu. Ta metoda je uporabna zgolj v primeru, ko je vesoljska ladja že nameščena v orbiti in je ni mogoče uporabiti med vtiranjem ali spustom, zato ni bila preveč dobro sprejeta. Ko izvajajo polete na mednarodno vesoljsko postajo, je vesoljska ladja locirana tako, da ji vesoljska postaja nudi kar se da največ zaščite.

Nenadno povečanje števila vesoljskih odpadkov je vodilo v ponovno študijo vprašanja o vesoljskih odpadkih in njihovem katastrofalnem vplivu. Veliki odpadki so bili tako obravnavani kot primarna nevarnost za delovanje vesoljske ladje in uspeh na vsaki misiji. Danes planiranje misije zahteva poglobljeno diskusijo o nevarnosti odpadkov in tveganju ter terja odločitve o izvršitvi in nadaljevanju misije, glede na ocenjeno tveganje. Če je ugotovljeno tveganje, da bo raketa uničena, večje kot 1 proti 200, se misija lahko nadaljuje. Na normalnih misijah v nizko orbito, kjer se nahaja tudi mednarodna vesoljska postaja, je tveganje ocenjeno na 1 proti 300. Kot zanimivost navajam primer misije STS-125, ki je bila namenjena v vesolje, da popravi vesoljski teleskop Hubble (Hubble space telescope), lociran na višini 560 km. Sprva je bilo tveganje preračunano na 1 proti 185, vendar je bila zaradi trka satelitov leta 2009 ogrožena in bi lahko bila preklicana. Ponovna izboljšana analiza o številu odpadkov je zredcirala tveganje misije na 1 proti 221, in misija je dobila dovoljenje da se nadaljuje.

Kljub najboljšim prizadevanjem in natančno planiranim misijam s človeško posadko v vesolje, sta se zgodili dve resni nesreči povezani z odpadki v nedavnih misijah raket. Leta 2006 je vesoljsko raketo Atlantis, med misijo STS-115, zadel majhen delec nekega vezja. Naredil je majhno luknjo skozi termalne plošče v prtljažnem delu ladje in ko so bile vrata odprta, so bili vidni veliki objekti zlate barve. Podobna nesreča je sledila na misiji STS-118, leta 2007, ko je vesoljsko raketo Endeavour zadel neznani odpadki, na podobno lokacijo kot raketo Atlantis. Ta je povzročil nastanek luknje premera več centimetrov na plošči, kamor jo je zadel.

Mednarodna vesoljska postaja za zaščito pred nevarnostjo majhnih odpadkov uporablja obsežen Whipplejev ščit. Velika večina delov mednarodne vesoljske postaje pa ne more biti zaščitenih, zlasti njene velike površine solarnih celic ne. S pomočjo celic se postaja napaja, zato so te izpostavljene uničenju. Leta 1989 so tako napovedali, da bi sončne celice mednarodne vesoljske postaje lahko utrpeli okoli 0,23% uničenje v naslednji štirih letih, kar pa je bilo v skladu z načrtovanim oblikovanjem plošč, saj so takrat predvidevali uničenje do 1%, kar posledično ni prinašalo večjih problemov. Tako je edina uspešna zaščita misij s človeško posadko na Mednarodni vesoljski postaji, pred velikimi odpadki, izogibanje le tem. Znana sta dva primera, ko je posadka bila prisiljena zapustiti delo in se umakniti v zavetišče v kapsulo Soyuz, dokler ni nevarnost minila. Kapsula Soyuz je eden najvarnejših, stroškovno najbolj učinkovitih sistemov za zaščito človeških poletov v vesolje. Soyuz vesoljsko plovilo so uporabljali za prevoz sovjetskih astronautov na sovjetske vesoljske postaje, danes pa se uporablja za prevoz delavcev na mednarodno vesoljsko postajo. Tako je vedno vsaj eno vesoljsko plovilo Soyuz zasidrano poleg mednarodne vesoljske postaje za pobeg, v primeru izrednih razmer.

Tale in podobni primeri vzbujajo strah pred pojavom Kesslerjevega sindroma, ki ima velik potencial da se uresniči. V tem primeru, bo ogroženost misij v vesolje s posadkami tako velika, da bo treba premisliti o izvedbi operacij v nizki Zemljini orbiti. Res da se večina aktivnosti v vesolju, ki vsebujejo posadko, odvija pod kritično višino, ki je območje med 800 in 1.500 km, ampak kaskadna uničenja nad tem območjem bi vseeno imela vpliv tudi na nižje orbite. Za posledico bi namreč imela konstanten dež odpadkov, ki bi padali v nižje orbite in bi tako motili misije, ki se izvajajo nižje od kritične višini. Ne glede na vse, je narava propadanja vesoljskih odpadkov takšna, da je zaradi odpadkov okolje verjetno preveč sovražno za prihodnjo uporabo vesolja (Wikipedia: Space debris, 2014).

1.5.2 Vpliv vesoljskih odpadkov na življenje na Zemlji

Večina odpadkov izgore v atmosferi, nekateri večji objekti pa lahko vseeno nedotaknjeni dosežejo Zemljo in tako predstavljajo tveganje in nevarnost za življenje na Zemlji.



Slika 11: Kroglja zveržene kovine, ki naj bi pripadala vesoljskim odpadkom, na eni od farm v jugozahodnem delu Queenslanda, Avstralija (levo) in strmoglavljen PAM-D modula rakete Star 48, januarja 2011, v Saudski Arabiji (desno)

Znanstvene institucije in njihovi znanstveniki si zaradi možnosti raziskovanja in odkrivanja vesolja ter dogajanja v njem, preko objektov poslanih v vesolje, ki bi se lahko na Zemljo vrnili dokaj nepoškodovani, prizadevajo in načrtujejo njihovo varno vrnitev na Zemljo. Deli objektov, ki se vrnejo nazaj na Zemljo predstavljajo pomemben vir informacij o dogajanju v vesolju. Vrnitev objektov na Zemljo oziroma načrtovanje njihove odstranitve iz vesolja, po končanem služenju, pa bi lahko znatno zmanjšala problem vesoljskih odpadkov. Večina vrnitev odpadkov, ki danes doseže Zemljo, je nekontroliranih in zato tudi zelo nevarnih. Pri objektih, za katere obstaja možnost, da se vrnejo na Zemljo, mora obstajati načrt za to. Tako so imeli izdelan plan vrnitve vesoljske postaje Skylab, ki bi lahko s seboj prinesla veliko koristnih in pomembnih informacij o vesolju. Zahtevan prvoten plan za vrnitev vesoljske postaje Skylab je bil, da ta ostane v vesolju še 8–10 let po njeni zadnji misiji v februarju 1974. Nepričakovano visoka sončna aktivnost pa je razširila svoje delovanje v visoki atmosferi višje, kot je bilo pričakovano in je tako povleklo postajo bližje Zemlji. Zaradi tega se je 11. julija 1979 postaja Skylab vrnila v Zemljino atmosfero in razpadla. Nastal je dež neškodljivih odpadkov vzdolž poti, ki se je podaljšala čez Indijski ocean in redko poseljeno območje Vzhodne Avstralije.

Star 48 (PAM-D), tip rakete za prevoz tovora, ki uporablja motor na trdo gorivo in se uporablja za prenos satelitov iz nizke Zemljine orbite v geostacionarno prenosno orbito, se je 12. januarja 2001, po katastrofalnem razpadu v orbiti vrnila v atmosfero. Del te rakete je strmoglavilo v redko poseljeno puščavo v Savdski Arabiji. Identificirana je bila kot zgornje stopenjska raketa za GPS, s pomočjo satelita, ki ga je v vesolje ponesla leta 1993 (Wikipedia: Space debris, 2014).

Katastrofa ladje Kolumbija, leta 2003, je primer tveganja, ki se je končal tragično za človeško posadko. Pokazala je tudi, kako lahko veliki deli vesoljske ladje doseže Zemljo. Katastrofa ladje Kolumbija se je zgodila 1. februarja 2003, tik preden je raketa STS-107 imela namen zaključiti svojo 28 misijo. Vesoljska ladja Kolumbija je razpadla nad Teksasom in Louisiano, medtem ko je vstopala v Zemljino atmosfero. Umrlo je vseh sedem članov posadke. Odpadki te rakete so padli na Zemljo v Teksasu. Polje odpadkov se je raztezalo vzdolž poti od juga Forth Wortha do Hempilla, območje Teksasa in del Louisiane. Izguba rakete Columbia je bila posledica trajnega uničenja koščka izolacijske pene v velikosti kovčka, ki se je odlomil od dela raketnega zunanega rezervoarja in je nato ob vstopu rakete v atmosfero luknja povzročila uničenje levega krila rakete, kar je povzročilo

nestabilnost rakete in njen razpad. Po tej katastrofi so prekinili misije v vesolje s človeško posadko za več kot dve leti, podobno kot so to storili po nesreči vesoljske ladje Challenger. Ta se je zgodila 28. januarja 1986, ko je plovilo eksplodiralo takoj po vzletu. Takrat je prav tako umrlo vseh sedem članov posadke (Wikipedia: Space debris, 2014).

Znanih je več primerov, ko so vesoljski odpadki ogrozili človeška življenja in bi se dogodki lahko končali katastrofalno. Letalska družba Južne Amerike Lan Chile je na letalu Airbus A340 z 270 potniki, ki je potovalo med Santiagom, Čile in Aucklandom, Nova Zelandija, 27. marca 2007 opazila razbitine iz ruskega vohunskega satelita. Pilot tega letala je ocenil, da so odpadki leteli 8 km od letala in poročal o tem, da je slišal zvok prebitja zvočnega zidu, ko je šel mimo. Letalo je takrat letelo čez Tihi ocean, ki se smatra kot enega najvarnejših območij na svetu za prihod satelitov na Zemljo, saj gre za eno največjih nenaseljenih območij (Wikipedia: Space debris, 2014).

Leta 1969 je pet mornarjev na Japonski ladji poškodoval ostanek satelita. Šlo je za vesoljski odpadek, najverjetneje ruskega porekla. 1997 pa je žensko po imenu Lottie Williams v Oklahomi v ramo zadel odpadek, velikosti 10 x 13 cm, del črnila, torej tkan kovinski material. Ta je bil kasneje potrjen kot del pogonskega tanka Delta II rakete, ki je bila v vesolje izstreljena kot nosilka satelita U.S. Air Force 1996. Ženska na srečo ni bila poškodovana (Wikipedia: Space debris, 2014).

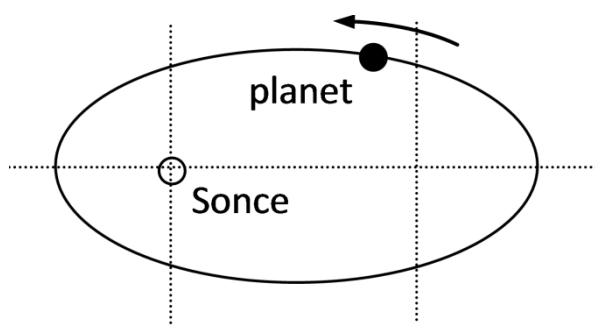
V spletni različici revije Znanost in tehnika, 16. oktobra 2009, je bil objavljen članek, ki povzema Daily Telegraph, in govori o tem kako so vesoljski odpadki razbili streho britanskega upokojenskega para. Daily Telegraph je poročal, da je skozi streho bungalova v Forester Wayu priletela dvokilogramska kepa zveržene kovine. Britansko letalstvo je po preiskavi ugotovilo, da je bila kovina dejansko del vesoljskih odpadkov, ki so dosegli Zemljo. Kos kovine je uničil streho, hiša pa se je ob trku močno stresla. Kovinski kos je v dolžino meril 12 cm, širok je bil 7 cm in debel 4 cm. Videti je bil kot del, ki se je oddrobil od celote. Na srečo v dogodku ni bil nihče poškodovan.

2 GIBANJE OBJEKTOV V VESOLJU

2.1 Nebesna mehanika

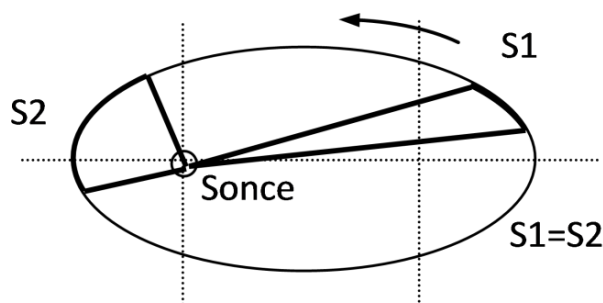
Nebesna mehanika, ki se ukvarja z gibanjem objektov (Zemlje, drugih planetov, Sonca in ostalih objektov, ki so bili vidni iz Zemlje) v vesolju, je bila tisočletja ena največjih ugank. Tekom zgodovine so se pojavljala številna ugibanja o tem ali se Zemlja in planeti resnično gibljejo okoli Sonca in ali je Zemlja središče vesolja in se mogoče vse vrte okoli nje. Prepričanje o tem, da je Zemlja v središču vesolja je veljalo vse do 16. stoletja, ko je Kopernik znova obudil idejo o tem, da planeti krožijo okrog Sonca. Skoraj 100 let pozneje je Kepler ugotovil, da planeti v resnici opisujejo elipse, da radij vektor Sonce – planet v enakih časih opisuje enake ploščine in da je tretja potenca razmerij velikih osi planetnih elips deljena z razmerjem kvadratov ustreznih obhodnih časov za vse pare planetov enaka. Gibanje planetov okrog Sonca je Kepler tako opisal s tremi zakoni, ki jih danes poznamo pod imenom Keplerjevi zakoni (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

1. Keplerjev zakon določa obliko tirnice. Pravi, da se planet okoli Sonca giblje po elipsi, tako da je Sonce v enem od gorišč elipse.



Slika 12: 1. Keplerjev zakon

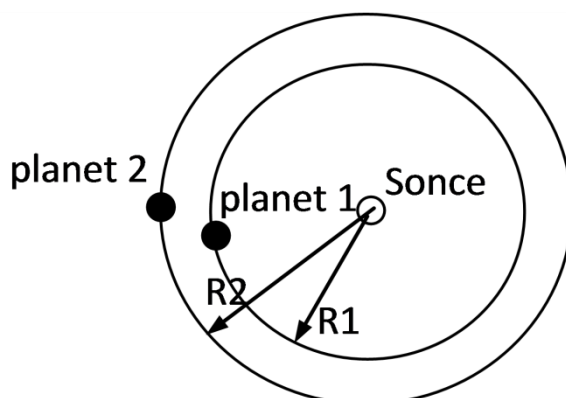
2. Keplerjev zakon pravi, da zveznica med Soncem in planetom opiše v enakih časih enake ploščine. Planet se v bližini Sonca giblje hitreje. Zakon je znan tudi kot izrek o ploščinski hitrosti in velja na splošno za vsa centralna gibanja.



Slika 13: 2. Keplerjev zakon

3. Keplerjev zakon pa pravi, da je tretja potenca dolžine polosi tirnice sorazmerna s kvadratom obhodnega časa: $\frac{T^2}{a^3} = konstanta$ (Keplerjeva konstanta, kjer je T...obdhodni čas planeta in a...velika

polos eliptičnega tira planeta). Velja, da imajo vsa telesa na tirnicah z enako veliko polosjo enak obhodni čas, ne glede na njihovo ekscentričnost¹⁵.



Slika 14: 3. Keplerjev zakon

Keplerjevi zakoni natančno opisujejo kako se gibljejo planeti, ne povedo pa zakaj se tako gibljejo. Tretji Keplerjev zakon sili k nekakšnem razmisleku, o nekakšni zvezi in vzroku, o neki sili, ki sili planete da se gibljejo. Zakone gibanja, s katerimi je opredelil sile in zvezo med silami ter pospešek je postavil Newton. Zapisal je tudi gravitacijsko silo, ki naj bi delovala med poljubnima dvema masama. Gravitacijski zakon, kot ga je zapisal Newton pravi: Med dvema točkastima masama (masi, katerih velikost je v primerjavi z razdaljo med njima zelo majhna) deluje gravitacijska privlačna sila v smeri veznice obeh mas. Velikost sile je sorazmerna produktu obeh mas in obratno sorazmerna s kvadratom razdalje med njima. Keplerjevi zakoni so tako postali razumljivi in jih je tako, v okviru Newtonove mehanike, mogoče razumeti kot gibanje dveh teles okrog skupnega težišča. Newtonovi zakoni mehanike se glasijo:

1. Newtonov zakon (zakon inercije – vztrajnosti): če na telo deluje sila ali če je rezultanta vseh sil, ki učinkujejo na telo enaka nič, se telo giblje enakomerno in premočrtno. Vsebuje prikrito definicijo inercialnega referenčnega sistema (koordinatni sistem, ki miruje ali se enakomerno giblje, glede na oddaljene zvezde) in zagotavlja, da taki sistemi obstajajo. Samo v inercialnem sistemu telo miruje ali se giblje premo enakomerno, če je vsota vseh zunanjih sile enaka nič.

2. Newtonov zakon, zakon gibanja (osnovni zakon dinamike): pospešek telesa je premosorazmeren s silo, ki učinkuje na telo in obratno sorazmeren z njegovo maso, torej je sila enaka produktu mase in pospeška: $F = m \cdot a$. Newton je pri formulaciji tega zakona pisal o spremembi gibanja in o pojmu, ki ga je poimenoval količina gibanja, ki jo je definiriral kot produkt mase in hitrosti. Produkt danes imenujemo gibalna količina ali impulz G : $G = m \cdot v$ in 2. Newtonov zakon zapišemo kot: $F = \frac{dG}{dt}$. Produkt sile in časovnega intervala, v katerem sila učinkuje pa se imenuje sunek sile, ki je enak spremembi gibalne količine.

3. Newtonov zakon (zakon akcije in reakcije): sili medsebojnega učinkovanja teles sta enako veliki, a nasprotno usmerjeni. Ni mogoče, da bi eno telo delovalo na drugo, ne da bi tudi drugo telo delovalo nazaj na prvo.

¹⁵ **Ekscentričnost elipse** je razmerje med polosema elipse. Pri opisovanju orbit planetov vedno upoštevamo linearno ekscentričnost e ; $e = \frac{c}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$. Poznamo pa tudi numerično ekscentričnost ε ; $\varepsilon = \frac{e}{a} < 1$.

Keplerjeve zakone je torej v okviru Newtonove mehanike mogoče razumeti kot gibanje dveh teles okrog skupnega težišča. Vendar sončni sistem ni sistem dveh teles, pa vendar tudi zanj veljajo Keplerjevi zakoni. Delovanje Keplerjevih zakonov v kompliciranem sistemu večih teles je mogoče razumeti na podlagi ocene sil, s katerimi deluje Sonce na planete in planeti med seboj. Planeti v našem Osončju imajo v primerjavi s Soncem zelo majhno maso, zato je sila med planeti veliko manjša, kot sila med planeti in Soncem, okoli katerega krožijo. Majhen vpliv planetov, v primerjavi z vplivom Sonca, je torej razlog zakaj Keplerjevi zakoni, ki veljajo strogo samo za gibanje dveh teles v skupnem gravitacijskem polju, tako dobro veljajo tudi za planete Osončja. Tako poglobitveni problem nebesne mehanike ostaja problem dveh teles (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

Newtonovi zakoni mehanike veljajo samo za inercialne referenčne sisteme, ki so sistemi v katerih na nobeno telo znotraj sistema ne deluje sila, ki bi imela izvor v samem gibanju sistema, kar pomeni, da na sistem v celoti ne deluje nobena zunanja sila. Za inercialne sisteme velja Galilejevo načelo relativnosti, ki ga štejemo med simetrijska načela, ki skupaj z zakoni mehanike tvorijo osnovne zakone narave. Za nas so pomembna tri geometrijska simetrijska načela:

1. Načelo o homogenosti časa pravi, da dajo enako pripravljene merilne naprave v enem trenutku in naslednjem trenutku enake rezultate, če se ne spremenijo zunanje okoliščine. To kaže, da veljajo enake zveze med količinami, na primer zakoni mehanike, v tem trenutku in v vsakem drugem trenutku. Morebitne spremenjene okoliščine upoštevamo s spremenjenimi podatki v zvezah. Po tej ugotovitvi lahko poljubno izberemo izhodišče časa.

2. Načelo o homogenosti prostora pravi, da dajo enako pripravljene merilne naprave v tej točki in v bližnji točki enake rezultate, če se ne spremenijo zunanje okoliščine. Morebitne spremenjene okoliščine upoštevamo s spremenjenimi podatki v zvezah. Po tej ugotovitvi lahko poljubno izberemo izhodišče koordinatnega sistema.

3. Načelo o izotropnosti prostora pravi, da dajo enako pripravljene merilne naprave v tej smeri in nekoliko drugačni smeri enake rezultate, če se ne spremenijo zunanje okoliščine. To kaže, da veljajo enake zveze med količinami, na primer zakoni mehanike, v tej smeri in vseh drugih smereh. Morebitne spremenjene okoliščine upoštevamo s spremenjenimi podatki v zvezah. Po tej ugotovitvi lahko poljubno usmerimo osi koordinatnega sistema.

Iz simetrijskih načel sledijo trije zelo pomembni ohranitveni zakoni fizike. Ti so bistvenega pomena za preučevanje gibanja v nebesni mehaniki. Iz načela homogenosti časa sledi zakon o ohranitvi energije, iz načela homogenosti prostora sledi zakon o ohranitvi gibalne količine in iz načela o izotropnosti prostora sledi zakon o ohranitvi vrtilne količine. Tako ima ohranitveni zakon obliko; skupna polna energija ali gibalna količina ali vrtilna količina sistema teles, ki je popolnoma neodvisen od okolice, ostane nespremenjena (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

2.2 Problem dveh teles

Gibanje umetnih Zemljinih satelitov v gravitacijskem polju Zemlje določamo najlažje z reševanjem tako imenovanega problema dveh teles. Vprašanje, ki ga predstavlja problem dveh teles, je kako se gibljeta dve nebesni telesi, ki se medsebojno privlačita po gravitacijskem zakonu in med katerima deluje samo medsebojna gravitacijska sila. Pri reševanju problema dveh teles imamo v dveh časovnih trenutkih podani položaj in hitrost dveh teles, ki se gibljeta v polju medsebojnega privlačanja. Masi teh dveh teles sta znani, izračunati je potrebno položaj in hitrost v poljubnem časovnem trenutku. Gibanje

satelitov obravnavamo kot nemoteno oziroma Keplerjevo gibanje, pri katerem predpostavljamo da je Zemlja okrogla, sestavljena iz homogenih, koncentričnih lupin in jo obravnavamo kot masno točko. Masa satelita je zanemarljivo majhna glede na maso Zemlje, Zemlja nima atmosfere in pri gibanju satelitov ne upoštevamo privlačnega učinka Lune in Sonca oziroma dodatnih vplivov okolice. Tako se obravnavano gibanje satelita spremeni v obravnavo gibanja točke v polju centralne sile. Z upoštevanjem Newtonovih zakonov in zgornjih predpostavk, lahko enačbo gibanja za satelit zapišemo:

$$\ddot{r} = - \frac{G \cdot M}{r^3} r$$

r je geocentrični krajevni vektor satelita, kar pomeni, da smo izhodišče inercialnega koordinatnega sistema prestavili v središče Zemlje. Produkt mase Zemlje M in gravitacijske konstante G ($G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$) imenujemo geocentrična gravitacijska konstanta μ , zato lahko zgornjo enačbo zapišemo kot:

$$\ddot{r} + \frac{\mu}{r^3} r = 0$$

To je vektorska diferencialna enačba drugega reda. Za rešitev sistema šestih enačb moramo poznati šest integracijskih konstant, ki določajo gibanje satelita okoli Zemlje. Potrebno je poznati položaj in hitrost satelita v nekem poljubnem časovnem trenutku. Zgornja enačba tako pravi, da ima gibanje satelita, glede na drugo centralno telo v polju delujočih gravitacijskih sil šest prostostnih stopenj, ki predstavljajo šest elementov satelitovega tira ali tako imenovanih Keplerjevih elementov (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

Pri obravnavi gibanja satelitov upoštevamo konstante gibanja (ohranitvene zakone). Preden poiščemo rešitev enačbe gibanja v obliki satelitove tirnice, moramo poznati koristne lastnosti orbitalnega gibanja satelitov. Gravitacijsko polje Zemlje, kot polje centralne sile, je konservativno, kar pomeni, da gibajoči se satelit ne izgublja in ne pridobiva mehanske energije. Prihaja samo do spreminjanja oblik energije, kinetične v potencialno in obratno. Za vsako spremembo energije vesoljske sonde morajo namreč poskrbeti motorji, ki porabljajo energijo, ki določa tirnice, ki jih dosežajo z danim tovorom. Polna energija sistema dveh teles, sestavljena iz kinetične energije in gravitacijske potencialne energije, se med gibanjem dveh teles ohranja. Pri gibanju satelita se ohranja tudi vrtilna količina satelita, saj je gravitacijska sila kot centralna sila usmerjena proti središču privlačenja. Ohranitveni zakoni mehanske energije in vrtilne količine satelita sledijo neposredno iz simetrijskih načel. V primeru satelitskega sistema imamo izoliran sistem, neodvisen od okolice, na katerega ne deluje nobena zunanja sila. Tako na gibanje satelita deluje le polje konzervativne gravitacijske sile (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

2.3 Tirnice umetnih satelitov ali tako imenovane Keplerjeve elipse

Nebesna mehanika obravnava gibanje poljubnega števila teles, s poljubnimi masami v skoraj praznem prostoru. Pri obravnavi gibanja Zemljinih umetnih satelitov lahko nebesno mehaniko precej poenostavimo, saj je masa umetnih satelitov zanemarljivo majhna v primerjavi z maso Zemlje ali drugih nebesnih teles. Tako praktično ne dobimo nobene razlike v rezultatu, če maso satelita zanemarimo. Problem dveh poljubnih teles lahko, s primerno zamenjavo spremenljivk, tako obravnavamo kot problem, pri katerem se premika samo eno telo. Ker je masa satelita veliko manjša

od mase Zemlje, lahko privzamemo, da Zemlja miruje. Satelit se potem premika v težnostnem polju Zemlje. Ker je večina umetnih satelitov zelo blizu Zemlje, so vse druge sile na satelite majhne in tako lahko gibanje umetnih satelitov okoli Zemlje obravnavamo kot problem dveh teles, vse druge sile pa obravnavamo kot motnje. Krivulja, po kateri se giblje satelit, je stožnica, ki je presek plašča stožca in ravnine. Vrsto stožnice lahko ugotovimo iz mehanske energije satelita in vektorja vrtilne količine, ki sta v problemu dveh teles konstanti, kar pomeni, da leži tirnica satelita v ravnini in da je ploščinska hitrost satelita konstanta (Keplerjev zakon). Velikost in oblika eliptične tirnice satelita sta tesno povezani z mehansko energijo, ki je definirana kot vsota kinetične in potencialne energije, in vrtilno količino satelita. Povezave med njimi so:

$$r_0 = \frac{|\vec{l}|^2}{\mu m^2} \quad \varepsilon = \sqrt{1 + \frac{2W|\vec{l}|^2}{\mu^3 m^3}} \quad a = -\frac{\mu m}{2W}$$

ε ...ekscentričnost elipse, ki jo določa vrtilna količina, v povezavi z mehansko energijo

a...velika polos elipse, ki jo določa le mehanska energija satelita

W...mehanska energija satelita

μ ...težnostna konstanta za Zemljo, ki je produkt gravitacijske konstante G in mase Zemlje M_{zem} :

$$\mu = GM_{zem} = 3,986005 \cdot 10^{14} \frac{m^3}{s^2}$$

\vec{l} ...vektor vrtilne količine: $\vec{l} = \vec{r} \times \vec{v} m$, izražen z vektorjem položaja satelita \vec{r} in vektorjem hitrosti satelita \vec{v} .

Gibanje umetnega satelita okoli Zemlje ali drugega nebesnega telesa ni enostaven pojav, lahko pa z ustreznim računom natančno določimo tirnico in položaj satelita na njej ob danem času. Tirnico satelita je mogoče opisati z zelo majhno količino začetnih podatkov. Gibanje satelita lahko tako natančno določimo, če poznamo začetni vektor položaja satelita v prostoru in začetni vektor hitrosti satelita, oba v znanem trenutku časa. Računski problem tirnice satelita ima tako poleg začetnega časa še šest neodvisnih vhodnih spremenljivk. Vektor položaja in vektor hitrosti, ki ju skupaj imenujemo tudi vektorja stanja satelita ("orbital state vectors"), ni najenostavnejši niti najpreglednejši opis tirnice satelita. Iz podatkov o vektorju stanja satelita je težko razbrati za kakšne vrste tirnico gre, sprememba katerekoli od komponent vektorja običajno pomeni veliko spremembo v tirnici satelita (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

Bolj naraven opis periodične eliptične tirnice satelita so tako imenovani Keplerjevi elementi, ki poleg začetnega časa vsebujejo še šest neodvisnih spremenljivk:

i = naklon tirnice

Ω = rektascenzija dvižnega vozla

ω = argument perigeja

M = srednja anomalija

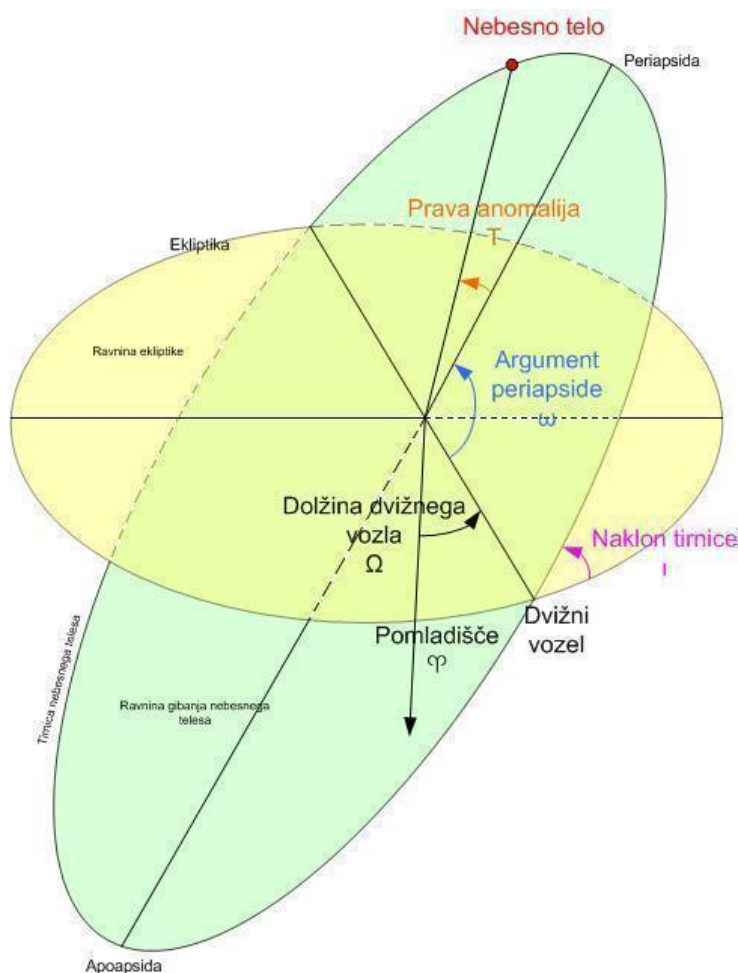
ε = ekscentričnost

a = velika polos

Vsak od Keplerjevih elementov opisuje le določeno lastnost tirnice satelita, ki je razmeroma neodvisna od drugih veličin tirnice in se s časom ne spreminja. Velika polos a in ekscentričnost elipse ε opisujeta obliko tirnice satelita, medtem ko preostali Keplerjevi elementi opisujejo lego elipse v prostoru, v izbranem koordinatnem sistemu. Navadno je izbrani koordinatni sistem mirujoči koordinatni sistem, pri katerem os z sovpada z osjo vrtenja Zemlje, osi x in y pa ležita v ekvatorialni ravnini. Os x

izberemo tako, da kaže proti pomladišču, to je točki na nebu, na kateri je Sonce ob pomladanskem enakonočju, os y pa postavimo tako, da skupaj z osoma x in z tvori desnosučni koordinatni sistem. Če pa izberemo vrteči koordinatni sistem, potem os x pritrđimo na začetni poldnevnik (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

Tirnica satelita navadno prebada ekvatorialno ravnino v dveh točkah. Točko, v kateri pride satelit iz južnega polprostora v severni polprostor, imenujemo dvižni voz, katerega položaj opisuje rektascenzija dvižnega vozla ω , v mirujočem koordinatnem sistemu oziroma zemljepisna dolžina dvižnega vozla v vrtečem koordinatnem sistemu. Naklon tirnice i opisuje nesovpadanje ravnine tirnice z ekvatorialno ravnino, ki se lahko spreminja od 0° do 180° . Vrednosti nad 90° pomenijo, da se satelit vrti v nasprotni smeri od vrtenja Zemlje. Argument perigeja ω opisuje lego velike polosi in je kot, ki ga merimo od dvižnega vozla do perigeja v smeri premikanja satelita po tirnici. Če je argument perigeja pod 180° , je perigej nad severno poloblo, če pa je večji od 180° , pa je perigej nad južno zemeljsko poloblo (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).



Slika 15: Elementi tirnice nebesnega telesa glede na ekliptiko

Pet Keplerjevih elementov (velika polos a , ekscentričnost ϵ , rektascenzija dvižnega vozla Ω , naklon tirnice i in argument perigeja ω) natančno opisuje položaj elipse v prostoru in so konstante, ki naj bi veljale ob katerem koli času in ne samo ob danem začetnem času, saj se položaj in oblika elipse v problemu dveh teles ne spreminjata s časom. Za točno določitev položaja satelita v prostoru pa potrebujemo še podatek, ki nam pove, kje je satelit vzdolž dane tirnice ob danem začetnem času. Položaj satelita vzdolž krivulje tirnice preprosto opišemo s srednjo anomalijo M ob danem začetnem

času. Temu dodatnemu podatku bi se lahko izognili, če bi si za začetni čas izbrali znano točko tirnice, na primer perigej ali apogej (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

Keplerjevi elementi postanejo za določene vrste tirnic singularni. Pri krožni tirnici lahko tako definiramo le vsoto argumenta perigeja in srednje anomalije. Pri tirnici v ekvatorialni ravnini je dvižni vozle nedefiniran, zato lahko definiramo le vsoto rektascenzije dvižnega vozla in argumenta perigeja. Singularnosti Keplerjevih elementov se pojavljajo, kadar več različnih količin opisujemo s koti. Nekatere izmed njih lahko odpravimo z uvedbo novih spremenljivk. Je pa res, da vektor stanja satelita, podan kot šest komponent v kartezičnem koordinatnem sistemu, nikoli ne more biti singularen. Vektor stanja ima pri zelo natančnem računanju tirnic še eno pomembno prednost: za razliko od Keplerjevih elementov je vedno definiran povsem neodvisno od modela motenj, ki ga uporabljamo v naših računih (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

Ne glede na pomanjkljivosti so Keplerjevi elementi danes standardna oblika, v kateri opišemo tirnico satelita. Najbolj znana oblika zapisa Keplerjevih elementov je format NASA-2-LINE, ki ga uporablja večina računalniških programov, tudi NORAD (oddelek ameriškega obrambnega ministrstva, ki nadzoruje vesolje) in NASA. Format NASA-2-LINE je opisan v enem od naslednjih poglavij (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

2.4 Moteče sile pri gibanju satelitov okoli Zemlje

Keplerjevo gibanje satelita okoli Zemlje smo do sedaj obravnavali kot gibanje masne točke okoli točkaste Zemlje, v privlačnem polju Zemlje. Zemljo smo v tem primeru obravnavali kot kroglo, sestavljeno iz homogenih, koncentričnih lupin. V resnici pa Keplerjevo gibanje ni tako preprosto in ni povsem enako pravemu gibanju satelita, saj Zemlja ni idealna krogla in razporeditev njenih mas ni sferno simetrična ter zaradi vpliva drugih sil na satelit, ki smo jih pri idealnem Keplerjevem gibanju zanemarili. Satelit kroži okoli Zemlje pod vplivom privlačne sile Zemlje (centralne sile), ki povzroča idealizirano gibanje satelita po tako imenovani Keplerjevi elipsi. Vendar so poleg privlačne sile Zemlje pri gibanju satelita prisotne še druge sile, vendar so te mnogo manjše in jih zato obravnavamo kot motnje, saj povzročajo da tirnica odstopa od idealne elipse (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

Vse moteče sile lahko razdelimo na konzervativne in nekonzervativne. Konzervativne sile lahko izpeljemo iz potencialne funkcije, na primer gravitacijskega potenciala bodisi Zemlje, bodisi drugih nebesnih teles. Nekonvencionalnih sil ne moremo izpeljati iz potencialne funkcije. Med te sodijo na primer sila trenja atmosfere in sile, ki so rezultat delovanja pritiska sončeve svetlobe (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

Pomembno je, da poznamo velikostni razred posameznih motečih sil. Če vzamemo satelit v nizki Zemljini orbiti na 800 km višine, ki kroži v skoraj krožni tirnici in gravitacijsko centralno silo kot enoto, imajo motnje tako naslednji velikostni razred:

- 10^{-3} motnje zaradi sploščenosti Zemlje
- 10^{-6} motnje zaradi drugih nepravilnosti Zemljinega težnostnega polja
- 10^{-7} motnje zaradi privlačnega vpliva Lune
- 10^{-8} motnje zaradi privlačnega vpliva Sonca

Vse ostale moteče sile (konzervativne in nekonzervativne) v splošnem ne presegajo velikosti 10^{-8} . Obravnavamo jih kot količine, ki ostajajo majhne v primerjavi s centralno gravitacijsko silo. Zaradi prisotnosti motečih sil, se enačba gibanja satelita glasi:

$$\ddot{r} = -\frac{\mu}{r^3}r + a_m$$

kjer je a_m skupni pospešek, ki ga povzročajo moteče sile (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

Preglednica 1: Sile, ki učinkujejo na satelit

VRSTA SILE	OZNAKA	SILA
Konzervativne sile	C	Privlačna sila Zemlje:
	CC	centralni del $\mu = GM$
	NC	necentralni del
	L	Privlačna sila Lune
	S	Privlačna sila Sonca
	P	Privlačna sila planetov
	Pl	Plimovanje čvrste Zemlje in oceanov
	Re	Relativistični vpliv
Nekonzervativne sile	T	Sila trenja atmosfere
	P	Sila pritiska sončeve svetlobe
	A	Albedo učinek

Vse sile iz tabele lahko zapišemo v obliki pospeškov:

$$\ddot{r} = \ddot{r}_{CC} + \ddot{r}_{NC} + \ddot{r}_L + \ddot{r}_S + \ddot{r}_P + \ddot{r}_{Pl} + \ddot{r}_{Re} + \ddot{r}_T + \ddot{r}_P + \ddot{r}_A$$

Vodilni člen v zgornji enačbi je centralni del Zemljine gravitacijske sile. V primerjavi z njim so vsi ostali pospeški zelo majhni, zato lahko enačbo gibanja satelita zapišemo kot:

$$\ddot{r}_{CC} = -\frac{\mu}{r^3}r$$

(Čadež, 1996; Vidmar, 1996)

2.5 Izračun položaja satelita iz Keplerjevih elementov tirnice

Točen položaj satelita potrebujemo pri satelitski navigaciji. Če želimo na meter natančno izmeriti neznan položaj uporabnika, moramo položaj vesoljskih radijskih svetilnikov poznati vsaj na 10 cm natančno. Da dosežemo zahtevano natančnost moramo uporabiti sveže podatke o tirnicah navigacijskih satelitov, saj ti poleg Keplerjevih elementov vsebujejo še vrsto členov za popravke kratkoročnih motenj tirnice. Natančna določitev položaja satelita je zelo zakompliciran proces. Z

natančnostjo v razredu 10 km oziroma z natančnostjo nekaj sekund, ko napovedujemo čas preleta satelita, pa lahko položaj satelita določimo z uporabo Keplerjevih elementov tirnice, na primer tistih, ki so zapisani v formatu NASA-2-LINE. Pri tem pa moramo upoštevati največje izvore motenj tirnice, to je sploščenost Zemlje in trenje z ozračjem (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

Osnovni izračun položaja satelita, ki vsebuje le rešitev problema dveh teles obsega naslednje korake:

1. Najprej moramo prilagoditi vse merske enote, navadno moramo kotne stopinje pretvoriti v radiane, dneve in leta v sekunde,...
2. Če imamo podane Keplerjeve elemente za čas t_0 , mi pa računamo položaj satelita v času t , moramo najprej izračunati srednjo anomalijo M ob času t :

$$M = M(t_0) + n(t - t_0)$$

3. Iz srednje anomalije M preko Keplerjeve enačbe $M = E - \varepsilon \cdot \sin E$ poiščemo ekscentrično anomalijo E . Keplerjeva enačba je v tej smeri računanja transcendentna enačba, zato moramo rešitev poiskati numerično. Pri iskanju rešitve uporabimo Newtonovo metodo iskanja ničle funkcije: $f(E) = E - \varepsilon \cdot \sin E - M$, saj tudi pri velikih vrednostih ekscentričnosti zelo hitro konvertira. Kot začetni približek postavimo $E = M$, ker je zelo blizu prave rešitve za skoraj krožne tirnice z malo ekscentričnostjo. Popravek ekscentričnosti v vsakem koraku je:

$$\Delta E = -\frac{f(E)}{\frac{df(E)}{dE}} = -\frac{E - \varepsilon \sin E - M}{1 - \varepsilon \cos E}$$

izboljšani približek pa: $E = E_{\text{stari}} + \Delta E$ ter ocena pogreška ΔE .

4. Iz izračunane ekscentrične anomalije E določimo položaj satelita na elipsi, to je r in pravo anomalijo φ , še prej pa izračunamo veliko polos elipse a iz dane krožne frekvence tirnice:

$$r = a(1 - \varepsilon \cos E); \quad a = \sqrt[3]{\frac{\mu}{n^2}}$$

$$\varphi = \arctan \left[\frac{\sin E \sqrt{1 - \varepsilon^2}}{\cos E - \varepsilon} \right]$$

Pri izračunu prave anomalije pazimo, da postavimo rešitev v pravo področje, saj je rezultat funkcije arctan omejen na dva kvadranta.

5. V zadnjem koraku upoštevamo lego tirnice v prostoru in iz štirih kotov, prave anomalije, argumenta perigeja, naklona tirnice in rektascenzije dvižnega vozla, izračunamo zemljepisno širino:

$$\varnothing = \arcsin[\sin i \sin(\omega + \varphi)]$$

in zemljepisno dolžino satelita:

$$\lambda = \Omega + \arctan[\cos i \tan(\omega + \varphi)] - \omega_Z(t - t_0) - \alpha_0$$

Pri tem je $\omega_Z = 7,2921151467 \cdot 10^{-5}$ rd/s kotna hitrost Zemlje in α_0 rektascenzija poldnevnik 0 ob času t_0 . Tudi pri zemljepisni dolžini pazimo na področje rešitve. Ker vsebuje ta pretvorba le različno obračanje tirnice ostane oddaljenost r od izhodišča (središča Zemlje) nespremenjena. Ta zadnji korak, izračun zemljepisne dolžine iz rektascenzije je hkrati prehod iz mirujočega na vrteči koordinatni sistem. Da dobimo zemljepisno dolžino moramo od izračunane rektascenzije satelita odšteti rektascenzijo začetnega poldnevnik ob času t . Če poznamo rektascenzijo začetnega poldnevnik ob času t_0 , ki ni nujno isti t_0 , kot v Keplerjevih elementih, ji preprosto prištejemo vrtenje Zemlje v času do trenutka t (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

Opisan postopek je zaradi veliko kotnih funkcij in inverznih kotnih funkcij počasen, neroden in netočen, zato je položaj satelita bolj smiselno računati v kartezičnih koordinatah, saj se tako izognemo omenjenim težavam. Izognemo pa se tudi spremenljivki pravi anomaliji. Postopek je sledeč, zapisan v matrični obliki:

1. Najprej zapišemo položaj satelita v ravnini elipse, v dveh dimenzijah:

$$\vec{r}_e = \begin{bmatrix} a (\cos E - \varepsilon) \\ a \sqrt{(1 - \varepsilon^2)} \sin E \end{bmatrix}$$

2. Nato še vedno v dveh dimenzijah zasučemo dobljeni rezultat za argument perigeja:

$$\vec{r}_\omega = \begin{bmatrix} \cos \omega & -\sin \omega \\ \sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \cdot \vec{r}_e$$

3. Rezultat preide v tri dimenzije, ko tirnico nagnemo za dani naklonski kot:

$$\vec{r}_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \cos i \\ 0 & \sin i \end{bmatrix} \cdot \vec{r}_\omega$$

4. Dobljeni rezultat zasučemo za razliko rektascenzij dvižnega vozla tirnice in začetnega poldnevnik, da tudi tu preidemo na vrteči koordinatni sistem:

$$\vec{r} = \begin{bmatrix} \cos(\Omega - \Omega_Z) & -\sin(\Omega - \Omega_Z) & 0 \\ \sin(\Omega - \Omega_Z) & \cos(\Omega - \Omega_Z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \vec{r}_i$$

Pri tem je $\Omega_Z = \omega_Z (t - t_0) + \alpha_0$ rektascenzija poldnevnik 0.

Ob upoštevanju največjih izvorov motenj (v nizki tirnici okoli Zemlje) je razmeroma preprosto. Dolgoročne motnje zaradi sploščenosti Zemlje, precesije perigeja in dvižnega vozla upoštevamo tako, da izračunamo odvod precesije perigeja in precesije dvižnega vozla po času iz izrazov:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{3}{4} n \left(\frac{a_Z}{a}\right)^2 \frac{5 \cos^2 i - 1}{(1 - \varepsilon^2)^2} J_2 \quad \text{in} \quad \frac{d\Omega}{dt} = -\frac{3}{2} n \left(\frac{a_Z}{a}\right)^2 \frac{\cos i}{(1 - \varepsilon^2)^2} J_2$$

kjer je $J_2 = 1,08263 \cdot 10^{-3}$, največje odstopanje Zemljine oblike od krogle, zato je eno od največjih motenj težnostnega polja (drugi člen razvoja Zemljinega gravitacijskega potenciala v vrsto po sfernih funkcijah).

Argument perigeja in rektascenzija dvižnega vozla zato naraščata oziroma upadata sorazmerno s časovno razliko, pomnoženo z ustreznima časovnima odvodoma:

$$\omega = \omega_0 + \frac{d\omega}{dt} (t - t_0) \qquad \Omega = \Omega_0 + \frac{d\Omega}{dt} (t - t_0)$$

Popravljen krožni frekvenco zaradi trenja z ozračjem dobimo s smiselno uporabo koeficienta zaviranja iz Keplerjevih elementov v obliki NASA-2-LINE. Koeficient vsebuje časovni odvod frekvence tirnice in je že deljen z 2. Pri uporabi tega koeficienta se moramo zavedati, da je to le ocena trenja, saj natančna napoved sončne aktivnosti in s tem gostote vrhnje plasti ozračja ni mogoča.

$$M = M_0 + n (t - t_0) + \frac{1}{2} \frac{dn}{dt} (t - t_0)^2$$

Podobno kot položaj satelita lahko izračunamo tudi vektor hitrosti satelita, ker je ta le časovni odvod vektorja položaja satelita in ga dobimo z odvajanjem ustreznih enačb po času. Iz izračunanega položaja satelita pa lahko, iz razlike vektorjev položaja, izračunamo azimut in elevacijo (višinski kot) satelita na nebu, če poznamo vektor položaja opazovalca in orientacijo njegovega lokalnega koordinatnega sistema ter oddaljenost satelita od opazovalca, iz razlike vektorjev hitrosti pa tudi relativno hitrost satelita glede na opazovalca (Čadež, 1996; Vidmar, 1996).

2.6 Vrste tirnic glede na obhodni čas in višino leta

Tirnice se glede na obhodni čas satelita delijo na:

- geosinhrono tirnico (Geosynchronous orbit, GEO), pri kateri je obhodni čas satelita enak času enega vrtiljaja Zemlje, 24 ur, satelit se tako nahaja vedno nad isto točko na Zemljinem površju (subsatelitska točka na Zemlji) in kroži na višini približno 35.786 km, vendar pa mora biti tirnica ekvatorialna ter mora imeti elementa i in e različna od nič,
- geostacionarne tirnice (Geostationary orbit, GSO) so geosinhronne orbite z inklinacijo 0° . Geostacionarne tirnice se imenujejo tudi Clarke tirnice (Clarke orbit), poimenovane po pisatelju Arthurju C. Clarke,
- semisinhronne tirnice (Semi synchronous, SSO), ki imajo obhodni čas 12 ur, kot na primer satelit GPS, in se nahajajo na višini približno 20.200 km,
- prenosne ali prehodne tirnice (Graveyard orbit), ki se nahajajo nekaj kilometrov nad geosinhrono orbito, kamor se premaknejo sateliti, ko prenehajo delovati. Te tirnice se pogosto imenujejo tudi supersinhronne orbite ali orbite za odstranjevanje. Namenjene so umiku nedelujočih satelitov iz prenasičenih orbit in s tem zmanjšanju možnosti trkov med njimi in delujočimi vesoljskimi plovili.

Poleg teh ločimo še supersinhronne, subsinhronne in nekatere druge, manj pogoste tirnice.

Tirnice se glede na višino leta delijo na:

- Nizke Zemljine tirnice (Low Earth Orbit, LEO), ki se nahajajo na višinah od 500 km do okoli 2.000 km. Na njihovo gibanje vpliva predvsem sila trenja v atmosferi. Zemljo obkrožijo v približno 2h, s hitrostjo med 20.000 in 25.000 km/h. V teh tirnicah se nahajajo sateliti, ki so namenjeni posredovanju geoloških podatkov o Zemlji, meteoroloških podatkov, za daljinsko zaznavanje, prostorske raziskave, sateliti, ki skrbijo za varnost ljudi na Zemlji in sateliti uporabni za telefonsko industrijo.

- Srednje Zemljine tirnice (Medium Earth Orbit, MEO), na višinah od 1.000 km do 30.000 km, na katere ima največji vpliv pritisk sončeve svetlobe in moteči vpliv tretjega telesa (Luna, Sonce, planeti). Na njih se nahajajo komunikacijski in navigacijski sateliti, sateliti za opazovanje vesolja. Obhodni čas teh satelitov je približno 6 ur.
- Zelo visoke eliptične tirnice (Highly Elliptical Orbit, HEO). Tirnice satelitov v teh orbitah so eliptične. V njih se nahajajo sateliti za kartiranje površine Zemlje, saj zajemajo širok kot vidnosti Zemlje. Perigej teh tirnic je okrog 500 km, apogej pa okrog 50.000 km. Obhodni čas je nekje med 8 in 24 urami. HEO tirnice so uporabne za komunikacijske satelite in satelite za raziskovanje vesolja. Eden od tipov HEO tirnic so tudi Molnija tirnice, ki jih uporabljajo v Rusiji in imajo naklon $63,4^\circ$, periodo pa približno 12 ur.
- Geostacionarne tirnice (Geostationary Orbit, GEO), se nahajajo na fiksnih višinah približno 36.000 km, na katere imajo največji vpliv že omenjene sile pri MEO orbitah. Hitrost satelitov v GEO tirnicah je enaka hitrosti vrtenja Zemlje, kar pomeni, da se ti sateliti nahajajo vedno nad isto točko nad Zemljo.

Ločimo pa še nešteto drugih, manj pogostih tirnic, ki se delijo glede na različne kriterije (druge sinhronne orbite, npr. sončno sinhrona orbita, polarna orbita, hiperbolična, parabolična orbita in mnoge druge).

Ene od bolj znanih so Molnija (Molniya) orbite, ki so tip visoko eliptičnih orbit z inklinacijo $63,4$ stopinj in perigejem 90 stopinj ter orbitalno periodo polovico zvezdnega dneva. Molniya orbite so poimenovane po vrsti ruskih komunikacijskih Molniya satelitov, ki so uporabljali ta tip orbite od sredine 1960-ih let.

Posebej ločimo tudi Pokopališčne orbite (Graveyard orbit), velikokrat imenovana tudi junk orbit, disposal orbit ali supersinhrona orbita. Pokopališčna orbita je orbita, ki se nahaja znatno nad geosinhrono orbito, kjer so vesoljske rakete namerno locirane ob koncu njihovega operativnega življenja. Umik vesoljskih objektov v pokopališčno orbito je ukrep, s katerim zmanjšajo verjetnost trkov med operativnimi vesoljskimi plovili in s tem pridobivanje novih vesoljskih odpadkov.

3 KATALOGIZIRANJE in BAZE PODATKOV

Katalog je evidenca in zapis značilnosti populacije v orbiti in vključuje zbirko orbitalnih elementov, ki jo pridobimo s pomočjo merjenj in opazovanj ali evidence, ki jo vodimo o izstreljenih objektih v vesolje. Namen kataloga je seznanitev s trenutnim stanjem objektov v orbiti, ki so uporabni za načrtovanje orbitalnih gibanj in misij v vesolje in za zagotavljanje povezave med opazovanimi objekti, ki krožijo v orbiti. Katalog deluje kot zgodovinski zapis dejavnosti v orbiti, za namene spremljanja okolja, in nam daje podatke, s pomočjo katerih lahko predvidimo obnašanje objektov v orbiti. Ti so nam v pomoč pri načrtovanju prihodnjih misij v vesolje (Technical Report on Space Debris, 1999).

V katalogu se redno posodablja stanje vektorjev, značilnosti orbite objektov, pridobljene v določenem času, masa objektov, ki krožijo v orbiti. Navedene so tri vrste mas: masa ob izstrelitvi, masa ob začetku delovanja in masa ob koncu delovanja. V katalogu se beležijo tudi podatki o objektih, ko ti prestopijo radar, ki spremlja vesoljske objekte in tako dobi povratno informacijo o objektu v orbiti, njegovo obliko, orientacijo in velikost. V katalogu se zabeleži tudi albedo, ki je merilo za odbojnost objekta (ta je značilna za optično prepoznavnost), dimenzija objekta, orientacija, sestava materiala ter balistični koeficient. Slednji je merilo za aerodinamične in masne karakteristike objekta, ki vplivajo na njegovo življenjsko dobo, dokler ta ne vstopi v območje zgornje Zemljine atmosfere. V katalogu so zabeleženi tudi podatki o izstrelitvi, ki vključujejo izstrelitveno vozilo, datum izstrelitve ter smer izstrelitve (Technical Report on Space Debris, 1999).

Od zgodnjih let vesoljske tekme, ki je potekala med Združenimi državami Amerike in Sovjetsko zvezo, NORAD vodi bazo podatkov o vseh znanih raketah in o različnih objektih, ki so dosegli orbito. V bazi so poleg podatkov o satelitih hranili tudi podatke o aerodinamičnih ščitih, ki so nudili zaščito satelitom ob njihovem potovanju do orbite, kjer so se ustalili. Hranili so tudi podatke o dodatnih dinamih za rakete, ki so jih ponesle v orbito in so jih nato te zapustil ter mnogo drugih podatkov. Ta baza podatkov je znana kot Katalog vesoljskih objektov, ki se je začela z vpisom prvega satelita Sputnika 1, ki je bil prvi umetni zemeljski satelit izstreljen v vesolje leta 1957. Sputnik je imel 4 zunanje radijske antene, ki so oddajale radijske signale. V vesolje ga je leta 1957 izstrelila takratna Sovjetska zveza. Videl je okrog celotne zemeljske oble in njegove signale je bilo moč zaznati kjerkoli na Zemlji. Uspeh Sovjetske zveze s prvim satelitom v vesolju je pri Američanih sprožil reakcijo, ki je vodila do tako imenovane Sputnikove krize. Ta je naprej vodila v vesoljsko tekmo med ZDA in Rusijo, ki je bila del hladne vojne (Wikipedia: Space debris, 2014).

V zgodnjih 1980 - ih letih je NASA publicirala spremenjeno verzijo baze podatkov, ki se sedaj vodi v skupnem formatu, v obliki dvo-linijskega niza elementov (two-line element set), ki predstavlja podatkovni format uporaben za posredovanje orbitalnih elementov za predstavitev orbit satelitov. Računalniški program preračunava pozicijo satelitov v vsakem času. Ta program je specifičen za NORAD in ga uporablja tudi NASA. Sledilci vesoljskim objektom tako polnijo bazo podatkov, ob zavedanju da je število objektov v vesolju zelo veliko in da jih je mnogo izmed njih nastalo kot posledica eksplozij v vesolju. Nekatere izmed teh so bile namerno povzročene, v 1960 - ih letih, v času razstreljevanja satelitov, ki so bila posledica testiranja anti-satelitskega orožja v strateške vojaške namene, ki so ga izvajali Američani, Rusija in Republika Kitajska. Medtem ko so drugi nastali kot posledica raketnih stopenj, ki jih je razneslo v orbiti ter kot ostanki pogonskega goriva, ki se je razširil in spremenil v plin ter povzročil eksplozijo tankov, v katerih se je nahajal. Tem objektom so naključno sledili z NORAD raziskovalci, kot je bil John Gabbard, ki si je prizadeval za to, da bi vodili ločeno bazo podatkov in da bi zajemali kar se da največ teh objektov. S preučevanjem rezultatov teh eksplozij

je Gabbard izumil novo tehniko napovedovanja poti, po katerih se gibljejo ti produkti, t.i. Gabbardove diagrame oz. "Gabbard diagrams", ki so kasneje postali splošno uporabni. Dokazal je, da skupine vesoljskih odpadkov izhajajo iz razpadlih satelitov, ki so bile prikazane s pomočjo uporabe raztresenih diagramov, znanih kot Gabbardovi diagrami. V Gabbardovih diagramih sta točki perigej (točka, ko je objekt najbližje telesu okoli katerega kroži) in apogej (točka, ko je objekt najbolj oddaljen od telesa, okoli katerega kroži) posameznega delca odpadka, ki izhaja iz trčenja, grafično prikazani z upoštevanjem orbitalne periode vsakega delca odpadka. Razporeditev v diagramu je odvisna od sklepanja v katero smer se bodo delci gibali in od smeri vpliva, ki ga imajo eden na drugega. Te študije so bile kasneje uporabljene za prikaz orbitalnega razvoja in propada (Wikipedia: Space debris, 2014).

Ko je NORAD podatkovna baza postala prva javno dostopna baza podatkov znanih objektov, v 1970-ih letih, je Kessler, ko je ustvarjal bazo podatkov znanih objektov, uporabljal enako tehniko, z enakimi osnovami, kot jih je razvil pri preučevanju asteroidnega pasu. 1978 sta Kessler in Burton Cour-Palais (soavtor prvega članka Gostota trkov umetnih satelitov: ustvarjanje pasa odpadkov), pokazala da lahko enak proces, ki kontrolira razvoj asteroidov, povzroči podoben proces s trkanjem v nizki Zemljini orbiti, pri čemer namesto milijarde let traja samo nekaj desetletjih. V dokumentu ugotovljata, da bo okrog leta 2000 število odpadkov, ki nastajajo s procesom trkanja med objekti, preseгло število mikrometeoritov v vesolju in bo predstavljajo primarno nevarnost za vesoljska plovila v orbitah, kar se je delno tudi uresničilo. Takrat pa tale podatek ni povzročal večjih skrbi, ker je bilo na splošno znano da zaradi gravitacijske sile odpadki padajo proti Zemlji, saj jih proti Zemlji vleče izven orbite v nižjo atmosfero, kjer uničenje odpadkov z izgorevanjem poteka hitreje kot pač njihovo nastajanje. Kakorkoli Gabbard je bil že takrat zaskrbljen zaradi števila objektov v vesolju. Z NORAD programom beleženja števila podatkov takrat ni bilo prikazano realno število, temveč je bilo to premajhno, glede na njegove ugotovitve. Po objavi Kesslerjevega članka (Gostota trkov umetnih satelitov: ustvarjanje pasa odpadkov) je Gabbard v enem od intervjujev uvedel termin oziroma pojav Kesslerjev sindrom. Pri definiciji se je skliceval na regije v nekaterih orbitah, kjer so odpadki, zaradi svoje gostote in količine, postali pomembno vprašanje in problem. Ko je novinar ob objavi članka v priljubljeni reviji Popular science (Popularna znanost) 1982 uporabil enak termin (Kesslerjev sindrom) je ta postal splošno uporaben (Wikipedia: Space debris, 2014).

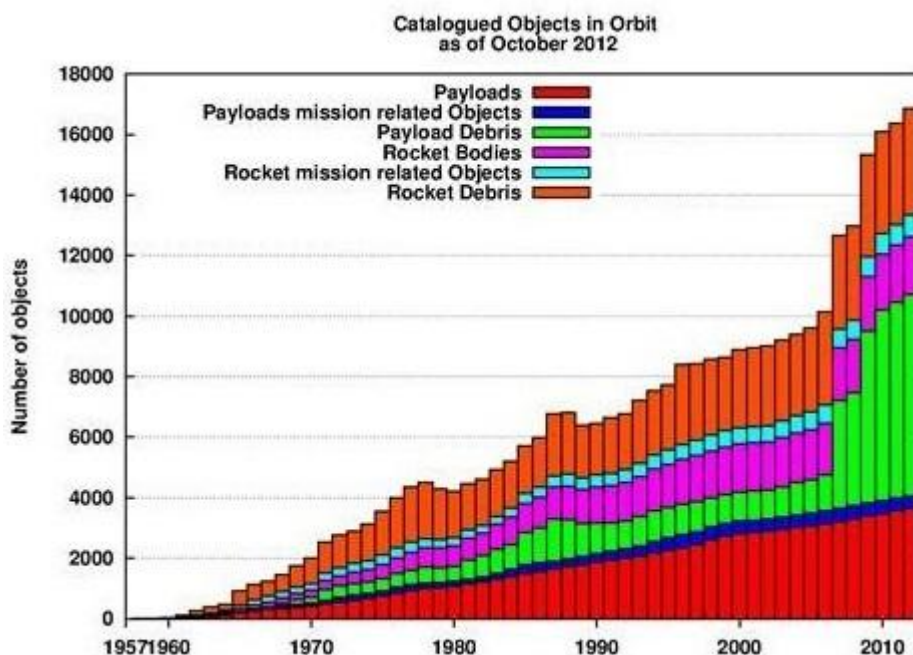
Trenutno edini državi z zmožnostjo operativnega nadzora vesolja in z rutinskim posodabljanjem kataloga vesoljskih objektov sta Združene države Amerike in Rusija. Tako poznamo dva kataloga vesoljskih odpadkov, ki se nadgrajujeta z opazovanji: Vesoljski katalog Združenih držav Amerike (USSPACECOM – United States Space Command catalogue) in ruski katalog vesoljskih odpadkov. Število vesoljskih objektov ki jih spremlja USSPACECOM do geostacionarnih višin je reda 10.000. Ti objekti morajo biti večji od 10 – 30 cm da so operativno sledljivi in identificirani. Tudi Evropska vesoljska agencija in druge nacionalne vesoljske agencije iz držav Evrope spremljajo vesoljske odpadke in nadzirajo vesolje, ampak so še vedno v veliki meri odvisne od podatkov USSPACECOM, ki jim velikokrat predstavljajo osnovo za lastne evidence objektov v vesolju. Podatki o vesoljskih odpadkih so pogosto arhivirani tudi v podatkovnem in informacijskem sistemu označevanja objektov v vesolju Evropske vesoljske agencije (DISCOS – Database and Information System Characterizing Objects in Space), ki pa temelji na prej omenjenih USSPACECOM in ruskem katalogu. Japonska Nacionalna vesoljska agencija za razvoj (NASDA – National Space Development Agency) preučuje zbirko podatkov o vesoljskih odpadkih, ki lahko zagotavlja podatke za skupno internacionalno zbirko podatkov o vesoljskih odpadkih IADC (Inter – Agency Space Debris Coordination Committee). IADC, koordinacijski odbor internacionalne agencije za vesoljske odpadke je mednarodni vladni forum za koordinacijo aktivnosti po vsem svetu, povezanih z vprašanji človeških in naravnih

odpadkov v vesolju. Prvotni namen IADC je izmenjava informacij o raziskovanju vesoljskih odpadkov med vesoljskimi agencijami, članicami IADC-ja, lajšanje možnosti sodelovanja na področju raziskovanja vesoljskih odpadkov in pregled napredka pri skupnih dejavnostih ter ugotavljanje možnosti za zmanjševanje odpadkov v vesolju. Članice IADC so vesoljske agencije iz različnih držav Italije, Francije, Kitajske, Kanade, Nemčije, Indije, Japonske, Rusije, Ukrajine, Velike Britanije ter Evropska vesoljska agencija ESA ter Ameriška vesoljska agencija NASA (Technical Report on Space Debris, 1999).

NASDA prav tako analizira in napoveduje poti po katerih odpadki vstopajo v Zemljino atmosfero. Veliko pa se ukvarja tudi z vprašanjem, kako se z novimi misijami v vesolje izogibati trkom z vesoljskimi odpadki. Odvisna je od USSPACECOM podatkov, ki so vir za njeno zbirko podatkov o vesoljskih odpadkih, dodaja pa svoje podatke. Te pridobi iz svojih vesoljskih plovil skozi opazovanja, ki jih bo izvajala s pomočjo Nacionalnega astronomskega observatorija (Technical Report on Space Debris, 1999).

Katalogni zapisi so shranjeni na številnih elektronskih medijih, saj papir ni najbolj primeren način za zapisovanje dinamične narave populacije v orbiti. Uporablja se elektronski format, ki je bolj primeren za upravljanje s podatki, zapis teh informacij, ki se stalno spreminjajo in posodablajo ter primerjavo. To prispeva k boljšemu modelu in dostopu do podatkov preko omrežja tudi za druge uporabnike, ki želijo zgolj poizvedovati po teh podatkih. Trenutni katalog vsebuje informacije o satelitih in odpadkih premera 10 – 30 cm. Združene države Amerike so delale na izboljšanju občutljivosti svojega kataloga, da bi lahko zaznavali odpadke manjše od 5 cm na višinah nižjih od 600 km. Nekatere študije pa so želele izboljšave za zagotavljanje zaznavanja objektov manjših od 1 cm. Kakorkoli, v tehničnem poročilu o vesoljskih odpadkih Združenih narodov iz leta 1999 zaključujejo, da izboljšave kataloga, ki bi vseboval podatke o odpadkih manjših od 5 cm verjetno ne bodo še možne v bližnji prihodnosti (Technical Report on Space Debris, 1999).

Ena od programskih oprem, ki se uporablja za zapis podatkov o vesoljskih objektih je tudi MASTER (Meteoroid and Space Debris Terrestrial Environment Reference) Evropske vesoljske agencije, ki je uporabna za analizo toka vesoljskih odpadkov in prostorske gostote odpadkov na določenem območju v vesolju. Za analizo se upoštevajo naslednji viri o objektih: podatki o izstrelitvi in namenu misije, eksplozijah in delcih, ki so nastali ob trku, trdnost motorja, žlindra in prah, poškodbe na površini, izbruhi in meteoroidi. MASTER program lahko zagotavlja tok in analizo gostote odpadkov za vsa obdobja med 1957 do 2060. Prag velikosti odpadkov, ki jih analizira, je en mikron za vsa obdobja. Analiza okolja vesoljskih odpadkov preteklega obdobja temelji na treh različnih prihodnjih scenarijih: poslovni vidik, kot običajno, srednje zmanjšanje odpadkov in popolna ublažitev odpadkov. MASTER 2009 je dosegljiv na DVD-ju, skupaj z obsežno dokumentacijo o osnovnih modelih in deluje na Windows, Linux, Solaris in MacOS X.



Slika 16: Katalog objektov v orbiti, oktobra 2012

3.1 Katalogiziranje aktivnih plovil v vesolju

Posebej se vodi evidenca aktivnih plovil v vesolju, ki zajema različne podatke o vseh izstrelitvah v vesolje od samega začetka, leta 1957. Katalog aktivnih plovil v vesolju vsebuje tudi podatke o vrstah satelitov, ki se glede na velikost delijo na:

- velike satelite težje od 1.000 kg,
- srednje velike satelite, težke med 500 in 1.000 kg ter
- majhne satelite, ki se delijo na:
 - minisatelite (100 – 500 kg),
 - mikrosatelite, težke od 10 – 100 kg,
 - nanosatelite, 1 – 10 kg,
 - pikosatelite, 0,1 – 1 kg in
 - femtosatelite, ki so lažji od 100 g.

Glede na nalogo, ki jo sateliti opravljajo razvrščamo satelite med raziskovalne, komunikacijske, navigacijske in opazovalne. Glede na karakter so sateliti lahko vojaški, civilni ali mešani, glede na orbitalno višino pa ločimo nizko tirne, LEO satelite, geostacionarne satelite, GEO satelite, srednje visoke, MEO satelite in HEO satelite visokih tirnic.

Vsak objekt, ki kroži ali potuje po vesolju ima svojo številko v katalogu vesoljskih objektov. Ta številka je pet mestna in se vodi od izstrelitve prvega satelita v vesolje Sputnik 1, leta 1957, ki so ga izstrelili Rusi, in ima številko 00001. Dodeljena je s strani USSPACECOM, ki vzdržuje katalog vesoljskih objektov. Pred tem je katalog vesoljskih odpadkov vzdrževal NORAD in zato se identifikacijska številka objektov v vesolju, zabeleženih v katalogu, še vedno imenuje NORAD ID. Od leta 1957 do danes je v katalogu zabeleženih 7521 satelitov, 5669 v LEO, 371 v MEO, 861 v GEO in 620 v drugih orbitah, vseh objektov skupaj pa je zabeleženih 40.096. Največ satelitov je v vesolje poslala Rusija, kar 4.000, sledijo ji Združene države Amerike s 2.072 sateliti, nato sledi Kitajska z 222 sateliti in Japonska z 185 sateliti. Evropska vesoljska agencija ima 66 satelitov in je na devetem mestu. Kataloge vesoljskih objektov vzdržujejo predvsem Američani (USSPACECOM in NORAD) ter Rusi, med katerimi je tudi veliko neprikazanih podatkov, saj gre za vojaške skrivnosti in so zato ti podatki

težje dostopni oziroma nedostopni javnosti. Satelite pa spremljajo tudi nekatere amaterske organizacije, kot sta AMSAT in Heavens Above ter mnoge druge.

3.1.1 USSPACECOM in NORAD

USSPACECOM (United States Space Command) je oddelek Ministrstva za obrambo Združenih držav Amerike, ustanovljen leta 1985 za pomoč pri institucionalizaciji uporabe vesolja s strani oboroženih sil Združenih držav Amerike. Sedež organizacije je v bazi zračnih sil Peterson v občini El Paso v bližini Colorado Springs, v Coloradu, kjer ima sedež tudi NORAD. Glavni poveljnik USSPACECOM je bil tudi glavni poveljnik NORAD in večino časa, odkar obstaja USSPACECOM, tudi poveljnik zračnih sil ZDA, pod katerega spada tudi zračne sile za nadzor vesolja (Wikipedia: United States Space Command, 2014).

NORAD (North American Aerospace Defence Command) je organizacija Severne Amerike, združenje Združenih držav Amerike in Kanade, za nadzor vesolja in varnost Severne Amerike, ustanovljena v letu 1958, po podpisu sporazuma o sodelovanju med Kanado in Združenimi državami Amerike, in od takrat tudi že večkrat prenovljena. Sodelovanje na področju zaščite in obrambe med Združenimi državami Amerike in Kanado pa je potekalo že prej. Močna potreba po ustanovitvi centra za zaščito in obrambo pred nevarnostjo iz zraka, se je pojavila z začetkom hladne vojne, v 1950-ih letih in še prej. Razlog so bili morebitni bombni napadi Sovjetske zveze, potreba pa se je dodatno krepila v naslednjih letih, ko se je Sovjetska zveza osredotočila na razvoj balističnih raket in anti-satelitskega orožja. Ameriške zračne sile so takrat zgradile radarski sistem za nadzor zračnega prostora in opozarjanje pred nevarnostmi, ki je preventivno zaznaval in opozarjal na nevarnost iz zraka in sledil ter posledično klasificiral zaznane objekte. Tako so lahko prestrezali letala in druga zračna plovila, ki so predstavljala nevarnost (A brief history of NORAD, 2012).

NORAD deluje pod nadzorom USNORTHCOM (United States Northern Command) in služi kot centralna zbirka in koordinacijska enota za svetovni sistem senzorjev, namenjenih zagotavljanju natančne slike, za potrebe nadzora morebitnih groženj iz zraka ali morja. NORAD se deli v tri regije: Aljaska NORAD (ANR), Kanada NORAD (CANR) in kontinentalno regijo ZDA (CONR). Kanadska in kontinentalna ZDA regija se delita na vzhodni in zahodni sektor (A brief history of NORAD, 2012).

Aljaska NORAD neprestano sledi in opozarja na nevarnosti, ki prežijo iz zraka v območju, ki ga pokriva s svojim regionalnim operacijskim kontrolnim centrom. Ta se nahaja v bazi zračnih sil v Elmendorfu na Aljaski in s tem zagotavlja zračno varnost nad Severno Ameriko. Aljaska NORAD je tudi v nenehni pripravljenosti za izvajanje misij za nadzor vesoljskih plovil, kar vključuje dnevno spremljanje zraka in aktivno obrambo pred morebitnimi nevarnostmi iz zraka (A brief history of NORAD, 2012).

Kanada NORAD ima sedež v centralni zračni bazi Winnipeg v Manitobi in je odgovorna za spremljanje in nadzor kanadskega zračnega prostora. Kanadska NORAD regija je razdeljena na vzhodni in zahodni sektor, ki sta zadolžena za nadzor ozračja na območju, ki ga pokrivata. Kanadske letalske obrambne sile, ki jih upravlja NORAD, vsebujejo več letalskih enot, za nadzor zračnega prostora. Kanada NORAD nadzoruje tudi trgovino z mamili in v sodelovanju s konjeniško enoto kanadske policije in agencijo Združenih držav Amerike za pregon na področju drog, spremlja tudi ves zračni promet, ki se približuje obali Kanade (A brief history of NORAD, 2012).

Kontinentalna regija ZDA je del NORAD in zagotavlja zračni nadzor nad območjem Združenih držav Amerike. Sedež ima v Tyndall zračnem baznem centru na Floridi. Načrtuje, vodi, usklajuje in zagotavlja pregled nad ozračjem nad Združenimi državami Amerike ter zagotavlja nadzor ter obrambo pred grožnjami iz zraka. Nadzor zagotavlja s kombinacijo več delujočih sektorjev, ki so locirani na Floridi, v Rimu in New Yorku, s katerimi izvaja stalen nadzor zračnega prostora (A brief history of NORAD, 2012).

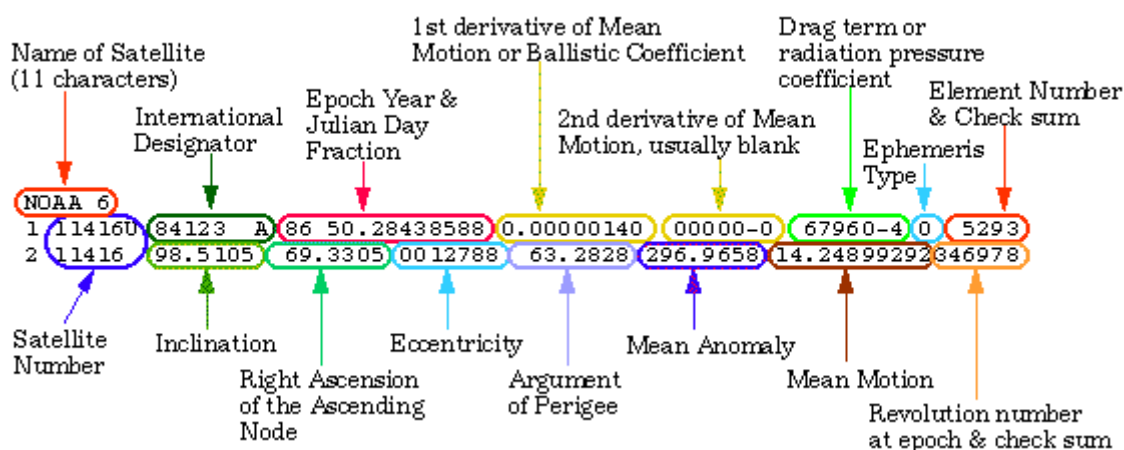
NORAD danes, pod vodstvom USSPACECOM, vzdržuje katalog vseh vesoljskih objektov (satelitov vseh vrst, raket,...). Za zapis podatkov NORAD uporablja NASA-2-LINE format, kjer so podani elementi in podatki o tirnicah satelitov in drugih objektov v vesolju, ki jih organizacija NORAD spremlja.

3.1.1.1 NASA-2-LINE format zapisa Keplerjevih elementov za opis tirnice satelitov

NASA-2-LINE format je ena najbolj znanih oblik zapisa Keplerjevih elementov, ki ga uporablja večina računalniških programov. Ključ za uporabo podatkov, kjer je A = črka in N = številka:

AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA

1 NNNNNU NNNNNAAA NNNNN.NNNNNNNNN +.NNNNNNNN +NNNNN-N +NNNNN-N N NNNNN
2 NNNNN NNN.NNNN NNN.NNNN NNNNNNNN NNN.NNNN NNN.NNNN NN.NNNNNNNNNNNNNNN



Slika 17: NASA-2-LINE format zapisa elementov tirnice satelita

Primer zapisa Keplerjevih elementov tirnice v obliki NASA-2-LINE formata:
<http://www.amsat.org/amsat/ftp/keps/current/nasa.all> (Pridobljeno 1.8.2014).

@ AMSAT \$ORB14205.N
2Line Orbital Elements 14205.AMSAT

HR AMSAT ORBITAL ELEMENTS FOR AMATEUR SATELLITES IN NASA FORMAT
FROM WA5QGD FORT WORTH, TX July 24, 2014
BID: ORB14205.N

DECODE 2-LINE ELSETS WITH THE FOLLOWING KEY:

1 AAAAAU 00 0 0 BBBB.BBBBBBBB .CCCCCCC 00000-0 00000-0 0 DDDZ
2 AAAAA EEE.EEEE FFF.FFFF GGGGGGG HHH.HHHH III.IIII JJ.JJJJJJJKKKKZ
KEY: A-CATALOGNUM B-EPOCHTIME C-DECAY D-ELSETNUM E-INCLINATION F-RAAN
G-ECCENTRICITY H-ARGPERIGEE I-MNANOM J-MNMOTION K-ORBITNUM Z-CHECKSUM

TO ALL RADIO AMATEURS BT

AO-07

1 07530U 74089B 14204.77900644 -.00000049 00000-0 -37898-4 0 211
2 07530 101.4745 185.4096 0011567 221.8763 259.6192 12.53606149816108

FO-29

1 24278U 96046B 14205.28316326 -.00000012 00000-0 24228-4 0 4273
2 24278 098.5123 214.0249 0350329 201.2212 281.9975 13.53026390885685

SO-33

1 25509U 98061B 14205.49711369 .00000279 00000-0 44578-4 0 8008
2 25509 031.4315 308.9815 0349331 081.2826 005.5287 14.29558530822498

Vrstica 0 vsebuje ime satelita (npr.: AO-07, FO-29 in SO-33). Imenu satelita lahko sledijo eno, dve ali tri števila, ki opisujejo velikost predmeta v obliki krogle (premer), valja (premer in dolžina) oziroma kvadra (dolžina, širina in višina). Vse izmere so podane v metrih. Vrstici 1 in 2 vsebujeta podatke o tirnici predmeta:

Preglednica 2: Vsebina vrstice 1 formata NASA-2-LINE

STOLPEC	PRIMERI	OPIS VSEBINE
01-01	1	Število vrstice
03-07	07530; 24278; 25509	NORAD število predmeta (satelita)
08-08	U; U; U	Klasifikacija (razvrstitev) (U = unclassified – neklasificiran)
10-11	74; 96; 98	Mednarodna oznaka, letnica izstrelitve (zadnji dve številki)
12-14	089; 046; 061	Mednarodna oznaka, zaporedna številka izstrelitve v letu
15-17	B; B; B	Mednarodna oznaka, kos izstrelitve
19-20	14; 14; 14	Leto podatkov (zadnji dve številki)
21-32	204.77900644; 205.28316326; 205.49711369	Dan v letu in decimalni del dneva podatkov
34-43	-.00000049; -.00000012; .00000279	Prvi odvod MM (povprečna kotna hitrost, krožna frekvenca), deljen z 2 ali balistični koeficient, odvisno od vrste podatkov
45-52	00000-0; 00000-0; 00000-0	Drugi odvod MM, deljen s 6 (dodati decimalno piko spredaj!)
54-61	-37898-4; 24228-4; 44578-4	BSTAR koeficient, v primeru uporabe teorije motenj GP4, sicer koeficient pritiska sončne svetlobe (decimalna pika spredaj!)
63-63	0; 0; 0	Vrsta podatkov
65-68	21; 427; 800	Zaporedno število nabora podatkov
69-69	1; 3; 8	Kontrolna vsota (modulo 10)

Preglednica 3: Vsebina vrstice 2 formata NASA-2-LINE

STOLPEC	PRIMERI	OPIS VSEBINE
01-01	2	Število vrstice
03-07	07530; 24278; 25509	NORAD število predmeta (satelita) – enako, kot v vrstici 1
09-16	101.4745; 098.5123; 031.4315	i, naklon tirnice v stopinjah
18-25	185.4096; 214.0249; 308.9815	Ω , rektascenzija dvižnega vozla v stopinjah

se nadaljuje...

27-33	0011567; 0350329; 0349331	e, ekscentričnost (decimalna pika spredaj)
35-42	221.8763; 201.2212; 081.2826	ω , argument perigeja v stopinjah
44-51	259.6192; 281.9975; 005.5287	M, srednja anomalija v stopinjah
53-63	12.53606149; 13.53026390; 14.29558530	n, frekvenca tirnice (Mean Motion ali MM), to je število obhodov v enem dnevu
64-68	81610; 88568; 82249	Zaporedno število tirnice
69-69	8; 5; 8	Kontrolna vsota (modulo 10)

Pri izračunu kontrolne vsote se seštejejo vse številke v dani vrstici. Minus znak šteje kot 1, vsi preostali znaki štejejo kot 0, vključno s presledki, decimalnimi pikami in črkami (Vidmar, 1996).

Poleg čistih Keplerjevih elementov vsebuje format NASA-2-LINE še nekaj dodatnih števil, ki opisujejo nekatere vrste motenj tirnice. Seveda vsebuje tudi natančno opredelitev, za kateri predmet od danes več kot 20.000 znanih umetnih satelitov, ostankov raketnih stopenj in drugih vesoljskih razbitin, sploh gre (Vidmar, 1996).

Kljub imenu, format NASA-2-LINE sestavljajo tri vrstice podatkov. Vsebina prve vrstice, označena tudi kot vrstica 0, je neformalna in vsebuje neuradno ime satelita. Temu lahko sledi izmera satelita ali drugi podatki, ki jih ne uporabljamo pri računanju tirnice, niti pri točni opredelitvi satelita ali drugega predmeta. V vrsticah 1 in 2 so Keplerjevi elementi in uradna identifikacija satelita. Obe vrstici se začneta s številko vrstice, ki ji sledi NORAD zaporedno število predmeta. V prvi vrstici je še mednarodna oznaka satelita, sestavljena iz letnice izstrelitve (zadnji dve številki), zaporedna števila izstreljene nosilne rakete v tekočem letu in kos izstrelitve, označen z zaporednimi črkami A, B, C, itd., saj lahko ena raketa v vesolje ponese več neodvisnih predmetov (satelitov). Čas Keplerjevih elementov je podan kot leto (zadnji dve številki), ki mu sledi zaporedna številka dneva v letu. Osnovna časovna enota v formatu NASA-2-LINE je en dan (86400 s), zato zaporedni številki dneva sledi še decimalni zapis dela dneva. En dan je časovna enota tudi v vseh podatkih, ki vsebujejo časovne odvode. Naklon tirnice, rektascenzija dvižnega vozla, argument perigeja in srednja anomalija so podani v stopinjah. Pri količinah, ki so vedno manjše od 1, je potrebno, pred niz števil, dodati decimalno piko (Vidmar, 1996).

Format NASA-2-LINE ne vsebuje velike polosi elipse a. Namesto tega je podana anomalistična frekvenca tirnice, to je število obhodov, štetih od perigeja do naslednjega perigeja, v enem dnevu. Razlog za takšno izbiro je dejstvo, da je ob upoštevanju motenj povezava med veliko polosjo elipse in frekvenco tirnice dosti bolj zapletena od preprostega Keplerjevega zakona v problemu dveh teles (Vidmar, 1996).

Izračun položaja satelita je občutljiv predvsem na napake frekvence tirnice, saj je učinek le teh kumulativen. Paziti je potrebno na različne merske enote, frekvenca je tu podana v številu obhodov na dan, za izračun pa potrebujemo krožno frekvenco v radianih na sekundo. Napaka v veliki polosi elipse povzroči dosti manjšo napako v končnem rezultatu, zato je bolje izračunati veliko polos iz frekvence, kot pa nasprotno (Vidmar, 1996).

Trenje satelita z vrhnjimi plastmi ozračja opisuje koeficient zaviranja, ki je podan kot prvi odvod frekvence tirnice, deljen z 2. Drugi odvod frekvence tirnice je deljen s 6, ker je tudi ta mišljen kot koeficient v potenčni vrsti za izračun srednje anomalije. Drugi odvod pogosto ni znan, zato so ustrezna mesta zapolnjena z ničlami. Poleg še nekaj drugih zaporedni števil vsebujeta vrstici 1 in 2 tudi kontrolno vsoto, s katero lahko ugotovimo ali je morda prišlo do napake pri prenosu podatkov (Vidmar, 1996).

3.1.2 UCS baza satelitov

UCS (Union of Concerned Scientists), Zveza zaskrbljenih znanstvenikov vodi svojo UCS bazo podatkov o aktivnih satelitih (UCS Satellite Database), ki predstavlja katalog aktivnih satelitov, ki krožijo v orbitah okoli Zemlje. Zveza zaskrbljenih znanstvenikov se ukvarja z različnimi temami, različnih znanosti in rešuje najbolj pereče probleme našega planeta. Predstavlja združenje različnih državljanov, ki se združujejo z namenom analiziranja in preučevanja problemov in zagovarjajo ustvarjanje inovativnih, praktičnih rešitev za zdravo, varno in trajnostno naravnano prihodnost. Združenje se je začelo kot sodelovanje med študenti in člani fakultete na Tehnološkem inštitutu v Massachusetts, leta 1969. Danes pa predstavlja zavezništvo več kot 400.000 državljanov in znanstvenikov iz vseh družbenih slojev, ki razumejo, da so potrebne znanstvene analize za odgovorne spremembe na bolje v vladni politiki in svetu in ne politične kalkulacije.

UCS baza satelitov vključuje samo aktivne satelite, ki trenutno krožijo okrog Zemlje. Podatki so na spletu dostopni v različnih formatih in vsebujejo tudi informacije o vrsti satelitov (vojaški sateliti, komercialni in civilni sateliti), pa vendar nekateri podatki o satelitih Ameriške vojske niso javni, zato tudi ne morejo biti prikazani v javno dostopni bazi podatkov. Baza o aktivnih satelitih se posodablja približno enkrat na četrletje. Namen zveze je izdelava baze podatkov, kot orodje za raziskovanje z zbiranjem dostopnih virov informacij o aktivnih satelitih in predstavitev podatkov v formatih, ki so lahki za obdelavo, raziskovanja in izdelavo različnih analiz. Baza podatkov vsebuje osnovne informacije o satelitih in njihovih orbitah, brez detajlnih informacij, ki so potrebne za lociranje posameznih satelitov v vesolju.

Baza podatkov je prosto dostopna na spletu in se jo lahko neomejeno uporablja, ob predpostavki, da navedemo vir pridobljenih podatkov. Trudi se vključevati vse trenutno aktivne satelite v vesolju, ampak ker se ti podatki stalno spreminjajo, lahko seznam nehoti vsebuje podatke o satelitih, ki niso več aktivni in o katerih nimajo še svežih informacij. Informacije v bazi podatkov, še posebno podatki o orbitah in parametrih satelitov, se obravnavajo in uporabljajo kot približni podatki in smernice za nadaljnja raziskovanja.

Informacije, ki jih baza vsebuje so javno dostopne in zastonj. Zbrane so s pomočjo podjetij, znanstvenikov, vlade, vojske, neprofitnih organizacij in iz akademskih spletni strani, ki so odprte za javnost. Veliko informacij pridobijo kar od lastnikov satelitov samih, nekaj podatkov o tajnih satelitih pa je bilo zbranih tudi iz revij in časopisov ter nevladnih organizacij in iz različnih spletnih strani.

UCS baza satelitov vsebuje ime satelita, tudi nadomestno ime satelita, državo operaterja, podatke o lastniku, uporabo in namen satelita, vrsto in tip orbite satelita, zemljepisno dolžino položaja v geostacionarni Zemljini orbiti, perigej in apogej, ekscentriciteto, inklinacijo, obhodni čas, satelitovo maso ob izstrelitvi ter maso brez goriva, moč, pridobljeno iz satelita, datum izstrelitve, pričakovano življenjsko dobo, podatke o izvajalcu, podatke o kraju izstrelitve ter raketi, ki je satelit ponesla v

vesolje, COSPAR (Committee on Space Research) in NORAD številko, splošno predstavitev satelita, vir uporabe orbitalnih podatkov ter podatke o drugih virih.

3.1.3 DISCOS baza satelitov

ESA-ina pisarna za vesoljske odpadke prav tako vodi evidenco objektov v vesolju, ki je temelj njenih operativnih podpornih dejavnosti v zvezi z vesoljskimi odpadki. Baza znanih objektov v vesolju se vodi v bazi podatkov imenovani DISCOS (Database and Information System Characterising Objects in Space). Ta se napaja preko USSPACECOM baze podatkov, ki zagotavlja konstanten tok informacij o orbitah objektov v vesolju, ki jim sledi. DISCOS vsebuje podatke o izstrelitvah, zgodovini objektov, fizikalnih lastnostih, z opisi misij, za približno 38.700 objektov, od Sputnika 1 naprej, vključno s skoraj 10 milijoni orbitalnih zapisov v celoti. DISCOS danes predstavlja priznan in zanesljiv vir informacij o vesoljskih objektih, ki jih redno uporablja skoraj 40 kupcev po vsem svetu. Poleg uporabe za standardne poizvedbe po bazi podatkov, DISCOS zagotavlja tudi več drugih uporabnih izdelkov, kot je dnevnik vpisov in poročilo o kakovosti vpisanih podatkov.

Za zapis podatkov ESA uporablja MASTER (Meteoroid and Space Debris Terrestrial Environment Reference) model programske opreme, ki zajema vse odpadke in meteoroite večje od enega mikrometra in napovedi, kako se bo vesoljsko okolje spreminjalo do leta 2050. ESA vzdržuje in razpolaga z več modeli za opredelitev lastnosti okolja vesoljskih odpadkov in njegovega razvoja, med katerimi je najpomembnejši model že omenjeni MASTER, ki je bil prvič izdan leta 1995, vendar se nenehno izboljšuje. MASTER uporablja prefinjene matematične tehnike za določanje informacij o tokih vpliva vesoljskih odpadkov, z visoko prostorsko ločljivostjo o populaciji objektov, ki izhaja iz vseh znanih dogodkov, ki so se zgodili v preteklosti. Ti obsegajo več kot 250 dogodkov, ki so imeli za posledico nastanek več vesoljskih odpadkov, več kot 1.000 eksplozij raket na trdo gorivo in 16 odpadlih reaktorskih jeder RORSAT satelitov. Model MASTER se uporablja tudi za oceno vpliva odpadkov in meteoroitov na vesoljska plovila, saj zajema vse odpadke in meteoroite večje od enega mikrometra.

Za preučitev učinkovitosti ukrepov za zmanjševanja populacije vesoljskih odpadkov in za določanje akcij, ki jih bodo v prihodnje izvajali za ublažitev rasti vesoljskih odpadkov, so potrebne dolgoročne napovedi rasti objektov v vesolju ter analize vesoljskega okolja, ki se lahko izvajajo z ESA DELTA orodjem (Debris Environment Long-Term Analysis).

DELTA je 2-3 dimenzionalni, časovno odvisen dinamični model, z detajlnim modelom vesoljskega prometa in z javnimi podatki o dogodkih v vesolju. Model je narejen na podlagi statistično pridobljenih možnosti za trke, ki temeljijo na podatkih o gostoti prometa in ocenjenih možnostih za trke med objekti. Zgrajen je na matematičnih načelih MASTER modela. Izhajajoč iz podatkov o populaciji objektov v vesolju, ki jo vodi MASTER, DELTA analizira prihodnji razvoj in stabilnost vesoljskega okolja do geostacionarnih višin. Analize izvaja na podlagi nihanja prometa v vesolju ter zmanjševanje vesoljskih odpadkov (preprečevanje eksplozij, odstranjevanje satelitov iz orbit ob koncu misije, zmanjševanje življenjske dobe satelitom in njihovo odstranjevanje ob koncu delovanja,...). Časovni presledki, zajeti v teh projekcijah so ponavadi 100 do 200 let. Delci, ki jih DELTA upošteva so večji od 1 mm, saj so ti edini pomembni za ocenjevanje tveganja. Osnovni statistični model prikaza prometa v vesolju upošteva različne režime izstrelitev v vesolje, eksplozije in izgorevanje motorjev na trdo gorivo, v različnih Zemljinih orbitah. Tveganje za trke dinamično določi na podlagi dejanskega stanja v posamezni orbiti. Tako je prikazan trk in v okolju se dodajo odpadki, ki bi ob tem nastali. Tako imenovani običajni scenarij, ki bi se zgodil ob nespremenjenem stanju v vesolju, je osnova za

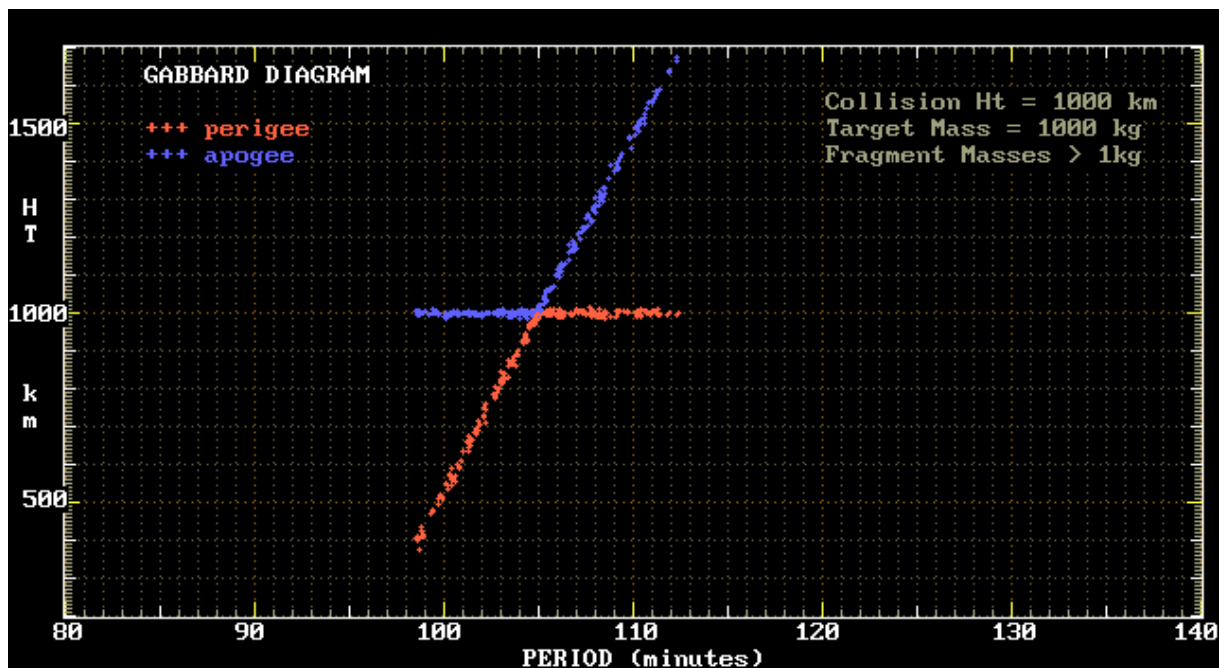
primerjavo, kaj bi se zgodilo, če bi se stanje v vesolju spremenilo (npr. načrtno zmanjšalo število objektov). Aplikacija lahko pokaže, da vesoljske dejavnosti lahko privedejo do postopne, nenadzorovane rasti vesoljskih odpadkov, kot posledica trkov med objekti v vesolju, ki so danes glavni vir nastajanja smeti v vesolju. Najbolj učinkovit način za preprečevanje kaskadnih uničenj s trki, je odstranjevanje odpadkov iz vesolja oziroma zmanjševanje mase objektov v vesolju.

Za učinkovitejšo načrtovanje in izvedbo misij v vesolje je ESA svoje analize objavila v priročniku. Gre za celovit dokument, ki vsebuje pregled vseh večjih odpadkov, z velikim številom tabel in grafikonov, ki prikazujejo lastnosti okolja vesoljskih odpadkov, za določitev tveganj in določitev učinkovite zaščite in ublažitve rasti vesoljskih odpadkov.

3.2 Gabbard diagrami

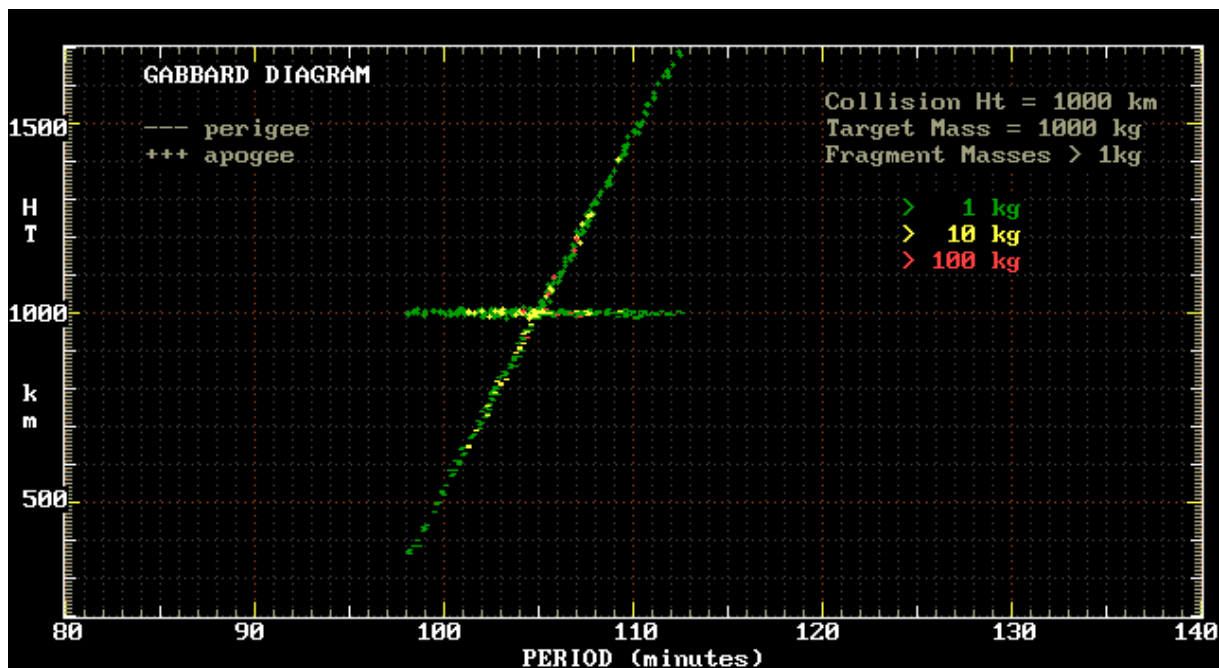
Vesoljski odpadki izhajajo iz razpadlih satelitov in so pogosto obravnavani s pomočjo raztresenih diagramov, znanih kot Gabbardovi diagrami. Gabbardove diagrame je izumil John Gabbard, po katerem se tudi imenujejo, in se uporabljajo za prikaz orbitalnih sprememb. V Gabbardovih diagramih sta prikazani perigej in apogej altitude posameznih delčkov odpadkov, ki so rezultat trkov in so grafično prikazani kot orbitalna (krožna) perioda vsakega posameznega delca. Razporeditev je uporabna za sklepanje o informacijah glede gibanja odpadkov in vpliva odpadkov na vesoljsko okolje. Gabbardovi diagrami se velikokrat uporabljajo za prikaz razpada vesoljskih objektov in nastalih delcev po trkih.

Na spodnjih primerih Gabbardovih diagramov sta kot točke v raztresenih diagramih prikazana apogej in perigej, glede na periodo, odvisno od višine. Rezultat je diagram, v obliki dveh asimetričnih bumerangov, ki se dotikata v svojih vrhovih. Uporabljeni podatki za izdelavo spodnjega diagrama so bili pridobljeni z opazovanjem 1.000 kg cilja (objekta), ki je zaradi trka razpadel na manjše dele, ki so razpršeni okrog prvotne orbite. Za izdelavo diagrama so bili uporabljeni delci težji od 1 kg. Sklepajo, da je do omenjenega katastrofalnega trka prišlo na višini 1.000 km, kar nakazuje točka, kjer se omenjena bumeranga sekata. Ta prikazuje izvorno orbito in se nahaja na višini 1.000 km, s periodo 105 minut. Točke desno od mesta stika predstavljajo delce, ki so razpršeni v smeri gibanja, medtem ko so na levi strani prikazani delci, ki so razpršeni nasproti prvotni smeri gibanja opazovanega cilja.



Slika 18: Gabbardov diagram, primer 1

Naslednji diagram pa prikazuje kako so manjši delci razpršeni v večjih in manjših orbitah, kot drugi masivnejši delci. V tem primeru sta apogej in perigee prikazana z različnimi simboli, različne barve točk pa prikazujejo različne mase delcev. Iz diagrama je razvidno, da so največje mase relativno blizu prvotni orbiti, medtem ko so delci z manjšo maso bolj razpršeni naokrog.



Slika 19: Gabbardov diagram, primer 2

4 OPAZOVANJE VESOLJA IN OBJEKTOV V VESOLJU

Če želimo razumeti kako opazujejo vesoljske odpadke in nadzorujejo vesolje, je prav da pogledamo v sam začetek opazovanja neba in začetek izgradnje instrumentov, teleskopov, kot jih poznamo in uporabljamo danes in s katerimi odkrivamo razsežnosti vesolja (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

Stvari, ki jih zaznavamo s prostim očesom in drugimi našimi čutili, ne prepoznamo takšnih, kot so v resnici. Gre zgolj za našo zaznavo in predstavo o svetu in vesolju. Svet si predstavljamo takšnega, kakršnega z našimi čutili lahko zaznamo, naša čutila pa so skrajno omejena. Zato si za zaznavanje in spoznavanje sveta, predvsem pa vesolja, da bi ga spoznali takšnega kot v resnici je, pomagamo z različnimi instrumenti, teleskopi (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

"Teleskop je čudodelec astronomije. Odkriva nam šibke zvezde in meglice ter poveča oddaljena telesa. Teleskopi popeljejo astronome na potovanje v oddaljene predele vesolja, kjer svetlikajoče se galaksije krasijo temo praznine. Služijo pa tudi kot časovni stroj, saj omogočajo znanstvenikom pogled v najzgodnejše dobe vesolja. Nobena druga naprava ni tako veliko naredila za naš pogled na položaj človeštva v času in prostoru. Če ne bi bilo teleskopov, bi astronomija danes komajda štela za znanost. Pred štiristo leti so pionirji na področju teleskopov začeli potovanje, ki je vodilo od naključne poravnave dveh preprostih leč do današnjih kompleksnih observatorijev v vesolju in do masivnih zrcal na vrhu gora." (Schilling, Lindberg Christensen, 2011, str. 9).

4.1 Teleskop

Teleskop je optični instrument, s katerim opazujemo oddaljene predmete, od katerih prihaja razmeroma šibka svetloba pod majhnim zornim kotom, ki jo ta s svojo glavno lečo ali zrcalom (objektivom) zbira v ozek snop, ki vstopi v oko preko druge leče (okularja) pod povečanim zornim kotom, kot bi ga videlo oko samo. Čim večja je leča ali zrcalo teleskopa tem temnejša telesa lahko vidimo in večja je njihova ločljivost, kar pomeni, da lahko z večjo lečo ali zrcalom vidimo manjše podrobnosti, zato so astronomi vedno težili k velikim instrumentom. Pa vendar imajo tudi teleskopi omejitve v velikosti. Ti ne smejo biti preveliki, saj se prevelika in pretežka leča, ki jo lahko podpremo samo na robovih, saj mora svetloba prehajati skozi, zaradi lastne teže krivi. Zrcalo, ki pa ga lahko podpremo tudi od zadaj, je lahko zato veliko večje. Teleskope delimo na refraktorje, ki za zbiranje svetlobe uporabljajo leče (lečni teleskopi) in reflektorje, ki za zbiranje svetlobe uporabljajo zrcala (zrcalni teleskopi). Danes so praktično skoraj vsi veliki teleskopi reflektorji, ker je njihova izdelava preprostejša in ker je pri velikih zrcalih lažje odpraviti napake zaradi deformacije kot pri lečah, pa tudi napake leč pridejo pri velikih lečah bolj do izraza kot pri velikih zrcalih, saj vsak mehurček ali nečistoča v steklu kvari sliko (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

4.1.1 Zgodovina teleskopa in njegov razvoj

Za zaznavanje in opazovanje vesolja tako že več kot 400 let uporabljamo predvsem teleskope. Vse skupaj se je začelo, ko je leta 1609 toskanski fizik in astronom, Galileo Galilej, tako imenovani izumitelj moderne astronomije, svoj doma izdelan teleskop obrnili proti nebu in tako začel znanstveno revolucijo vesoljskih razsežnosti. Galilejev pripomoček je lahko zbral stokrat več svetlobe nekega oddaljenega predmeta kot prosto oko in kaj hitro je spoznal, da je njegov daljnogled naprava, s katero bodo preverjali pravilnost astronomskih spoznanj takratnega časa. Galilej je bil največji znanstvenik

tistega časa. Študiral je padajoča telesa, zakone gibanja, izpodbija stare nazore grškega filozofa Aristotela in postavil temelje sodobne znanstvene metode. Zagovarjal je pogled na svet Nikolaja Kopernika, ki je menil, da se Zemlja vrti okoli Sonca, in ne obratno (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).



Slika 20: Galilejev teleskop

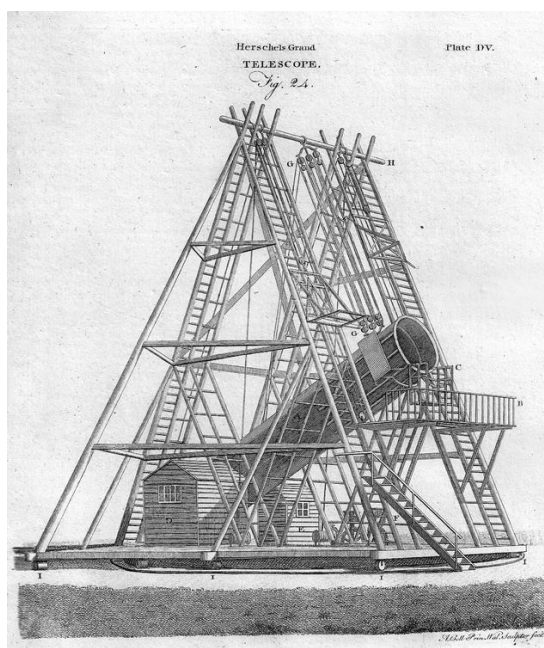
Znanstveniki astronomi so v tistem času sami doma izdelovali teleskope, s katerimi so opazovali oddaljene predmete. Najprej so jih uporabljali v vojaške namene ter za plovbo po morju. Galileo ni iznašel teleskopa, njegov izvor ni znan, vendar pa velja za prvega, ki je teleskop obrnil proti nebu (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

Leto dni po Galilejevi smrti, leta 1643, se je v Angliji rodil Issac Newton, ki je vidno pripomogel k povezavi takratnih odkritij. Povezal je Galilejeve zakone o gibanju teles, Galilejeva opazovanja in obstoječe zakone gibanja planetov, ki jih je že petdeset let prej izdelal astronom Johannes Kepler. Newton je razvil splošne zakone gravitacije in privlačne sile med nebesnimi telesi. Newton se je tudi sam ukvarjal z opazovanji. Že kot petindvajset letnik si je sam izdelal svoj prvi teleskop, ki ga je tri leta kasneje zamenjal z boljšim, v katerega je prihajajoča svetloba prišla najprej na konkavno zrcalo, ki je žarke v eni točki združilo. Ta točka je ležala točno na manjšem poševno postavljenem zrcalu, ki je svetlobni žarek vodil naprej k močni povečevalni leči, ki je bila v okularju. Newtonova nova zasnova teleskopa je minimizirala težave z barvno aberacijo, ki je običajna barvna napaka refraktorskih teleskopov. Pomanjkljivost Newtonovega teleskopa pa je bila, da svetloba, ki je padala na konkavno zrcalo, ni bila v celoti odbita nazaj, del svetlobe je konkavno zrcalo zadržalo, zato je bila slika popačena. Za odpravo te pomanjkljivosti bi bilo potrebno zrcalo neprestano loščiti, pripomoček pred vsako uporabo razstaviti, kar pa je bilo praktično nemogoče, zato je bilo potrebno izumiti novo mešanico kovin, katere sij bo obstojen več časa. Prvi zrcalni teleskop, ki ga je izdelal Newton, je bil dolg le 15 cm in je lahko povečal štiridesetkrat, kar je bilo več od povečave dva metra dolgega refraktorskega teleskopa tistega časa (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).



Slika 21: Dvojnik drugega Newtonovega optičnega teleskopa (reflektorja)

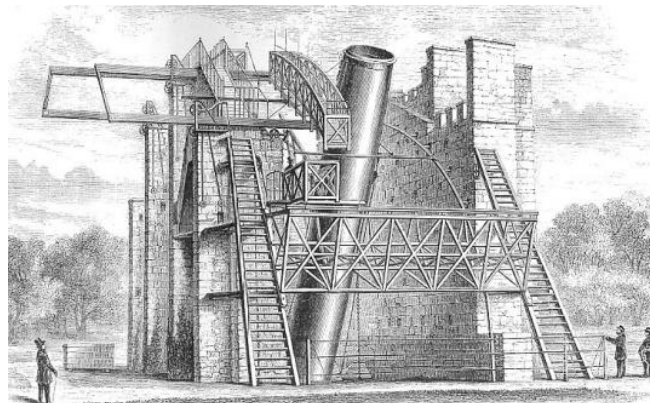
Resnično uporaben teleskop, ki je pripomogel k napredku astronomskega opazovanja, je po Newtonovem sistemu, z uporabo zelo dobrega zrcala iz mešanice bakra in kositra, ki je imelo goriščno razdaljo okrog dveh metrov, izdelal Wilhelm Herschel, ki se je z astronomijo ukvarjal le za zabavo. Herschel je imel doma svojo talilnico, kjer je ulival kovinska zrcala in s teleskopom, v katerega je to zrcalo vgradil je marca 1781 odkril nov planet Uran. Največji Herschelov lesen teleskop, s premerom zrcala 1,2 m, je bil tako ogromen, da je potreboval štiri služabnike, da so obvladovali različne vrvi, kolesa in škripce, da so lahko tako sledili navideznemu gibanju zvezd (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).



Slika 22: Herschelov teleskop

V sredini štiridesetih let 19. stoletja je William Parsons, tretji grof Rosse zgradil največji teleskop "pošast iz Parsonstowna", ki je imel 3,5 tonsko kovinsko zrcalo z 1,8 metrskim premerom. Njegova 18 metrska cev pa je bila postavljena med dva več kot dvajset metrov visoka zidova. Sicer pa v 19. stoletju astronomija ni bistveno napredovala, v skladu s stagniranjem teleskopske tehnike. V začetku 20. stoletja pa je bilo glavno zanimanje astronomov, vesolje kot celota in s tem pogled čim globlje vanj, za kar so bili potrebni čedalje boljši in večji teleskopi. V iskanju vedno temnejših objektov in

vedno manjših podrobnosti so astronomi potrebovali vedno večje teleskope. Znanstvena vizija, tehnična drznost in osebna vztrajnost so pripeljale do velikih observatorijev, ki so jih začeli postavljati na oddaljenih vrhovih v začetku dvajsetega stoletja (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).



Slika 23: Rosse teleskop – "pošast iz Parsonstowna"

Leta 1893 so na razstavi v Chicagu predstavili največji refraktor v zgodovini, katerega leča je imela premer nekaj več kot en meter, cev pa je bila dolga 18 m, in ga štiri leta pozneje postavili na observatoriju Yerkes v Williams Bayu, pri ustanovitvi katerega je sodeloval ameriški konstruktor teleskopov George Ellery Hale. S teleskopom Yerkes so graditelji refraktorskih teleskopov za tisti čas dosegli njihovo mejo in začelo se je obdobje gradnje zrcalnih teleskopov. Hale je nato prepričal lokalnega poslovnega Johna Hookerja, da je financiral gradnjo 2,5 metrskega instrumenta, z zrcali narejenimi iz posebnega stekla, ki so ga v letu 1917 postavili na hrib Mount Wilson na jugu Kalifornije (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).



Slika 24: Hookerjev teleskop na gori Mount Wilson

Hookerjev teleskop je bil največji teleskop na svetu naslednjih trideset let. Že leta 1928 pa je George E. Hale pripravil načrt za teleskop s pet metrskim premerom, ki so ga komaj čez 20 let 1948 postavili na Mount Palomar v južni Kaliforniji. Tako je 10 let po Halovi smrti zrasel pet metrski Halov teleskop, ki je bil do leta 1994 največji tehnično uporaben teleskop na svetu. Sestavljen je iz več kot petsto ton premikajočih se delov, njegovo zrcalo pa tehta 40 ton in lahko odkriva zvezde, ki so 40-milijonkrat šibkejše, kot jih lahko vidi oko (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).



Slika 25: Observatorij na gori Palomar (levo) in Halov teleskop (desno)

V poznih 70. letih prejšnjega stoletja so ruski astronomi visoko v Kavkaškem gorovju zgradili Veliki azimutni teleskop, z zrcalom premera šest metrov, ki pa ni nikoli prinesel zelenih rezultatov. Videti je bilo, da so graditelji teleskopov dosegli meje tehnologije, začeti so morali razmišljati o novi tehnologiji, ki jo je prinesla digitalna revolucija (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

Zmogljivi računalniki so omogočili pravo bogastvo novih tehnologij, ki so pripeljale do gradnje velikanskih teleskopov visoko na vrhovih gora z monolitnimi ali segmentnimi zrcali, ki so velika kot plavalni bazeni. Našli so rešitve za odpravo motečih vplivov atmosferskih turbulenc in posamezne teleskope povezali v virtualne velikane 21. stoletja, ki so nas popeljali v popolnoma novo dobo astronomskih odkritij z zemeljskimi teleskopi. Konstrukcije novodobnih teleskopov so manjše. Nastavitev ima dve pravokotni osi, okoli katerih se neprestano vrti, v navpični in vodoravni smeri z različnima hitrostma, da lahko usmerijo teleskop kamorkoli na nebu in da lahko tako sledijo navideznemu gibanju neba, saj so z računalniki ti lahko natančno vodeni (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

V opazovalnici Keck na Havajih so nato postavili prvi teleskop nove generacije teleskopov, ki je sestavljen iz dveh zrcal z 10-metrskim premerom, ki so podobna očesu žuželke. Vsako od zrcal je zgrajeno iz 36 šesterokotnih kosov, posameznih zrcal, od katerih ima vsako premer en meter. Še večji pa je Very Large Telescope (VLT), ki so ga zgradili na gori Cerro La Silla v severnem Čilu in ima štiri zrcala, od katerih ima vsako premer skoraj deset metrov. Računalniško vodeni podporni sistem nenehno uravnava ukrivljanje zrcal, ki nastajajo zaradi lastne teže, dodatni računalniški sistem pa uravnava popačenja slik, ki jih povzročajo gibanje zraka. VLT ima tako ostrino, da bi lahko razločno videli na Luni stoječe terensko vozilo odprave Apollo, saj lahko današnji veliki teleskopi, ki so nameščeni na Zemlji, zaznajo telesa v vesolju, ki svetijo tako šibko kot svetloba 50.000 km oddaljenega plamena sveče. Ostrina teleskopov je odvisna od velikosti zrcala ter od motenj, ki jih povzročajo plasti zraka v Zemljini atmosferi, ki jih omejimo tako, da teleskope zgradimo na najvišjih možnih hribih in na območjih, ki jih odlikuje posebno jasen, to je suh zrak. Kljub temu ostajajo netočnosti, ki jih povzročajo gibanje v zračnih plasteh. Še posebej problematična je onesnažena atmosfera in učinek tople grede, zaradi katere se večja tudi oblačnost sorazmerno s povečanim izhlapevanjem vode nad morji. Če se bo ozračje tako pospešeno spreminjalo in onesnaževalo, lahko pričakujemo da sploh ne bo več možno opazovati neba in gledati v vesolje iz Zemlje, saj v naslednjih trideset do štirideset letih ne bo skoraj nobene noči z jasnimi zvezdnimi nebom več. Zato znanstveniki

razmišljajo in razvijajo teleskope, ki bi opravljali svojo nalogo izven Zemljine atmosfere. Prednost teh teleskopov bi bila tudi v tem, da bi lahko zaznavali delež ultravijolične svetlobe, ki jo Zemljina atmosfera v veliki meri ne prepušča (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).



Slika 26: Observatorij na gori Cerro La Silla v Čilu

Svetlobo oziroma elektromagnetno valovanje oddaja snov. Odvisno od izgradnje snovi ta oddaja elektromagnetno sevanje, ki ima različno energijo. Vesolje oddaja valovanje vseh valovnih dolžin, zato obstaja tudi nevidno sevanje, ki prihaja iz globin vesolja, ki ga optični teleskopi ne morejo zaznati. Različne vrste svetlobo oziroma sevanje tako zaznavamo z različni teleskopi. Poleg optičnih, za zaznavanje vidne svetlobe, je tako izum radarja med drugo svetovno vojno omogočil razvoj zmogljivih radarskih teleskopov, ki morajo zaradi dolžine radarskih valov biti zelo veliki. Največji radarski teleskopi našega časa imajo premer do tristo metrov. S pomočjo teh tako imenovanih ogromnih posod se radijski valovi prav tako, kot pri teleskopih za vidno svetlobo, zberejo v gorišču in nato prispejo do rogaste antene, ki jih usmeri k ojačevalcu radijskega teleskopa. Načeloma ti teleskopi delujejo podobno, kot satelitske antene, ki si jih ljudje pritrdijo na streho, da lahko na televiziji gledajo satelitske programe. Slaba stran radijskih teleskopov, v primerjavi z optičnimi, je njihova majhna sposobnost razlikovanja. Vire radijskih valov v vesolju je težko točno določiti, kar pomeni, da težko določimo njihovo lego in fizikalne lastnosti. Daljši kot so prihajajoči radijski valovi, težja je analiza signalov. Velike izboljšave pri razlikovanju lahko dosežemo s postavitvijo več radarskih teleskopov, ki jih lahko premikamo drugega proti drugemu. Radijske teleskope lahko uporabljamo na dva načina, pasivno, kjer prestrežemo oziroma zaznavamo radijsko sevanje in aktivno, kjer sami odpošiljamo radijske signale in jih ob povratku vrednotimo. Signali se namreč od teles, na katera naletijo, odbijejo in se vrnejo nazaj. S to metodo lahko zelo natančno določimo razdalje bližnjih teles. Na podlagi načina spremembe odbitega signala pa lahko pridobimo spoznanja o gibanju teles ali o sestavi njegovega površja (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

Na severozahodu Nizozemske stoji radijski teleskop Westerbork Synthesis, ki ga sestavlja niz štirinajstih 25 m radijskih anten, postavljenih v skoraj tri kilometre dolgi ravni črti. Sistem je bil dokončan leta 1970, leta 2000 pa precej prenovljen in se uporablja skupaj z drugimi radijskimi teleskopi po svetu (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).



Slika 27: Radijski teleskop Westerbork Synthesis

Avstralski kompaktni sistem teleskopov, ki je postavljen v avstralski divjini okrog 500 km severozahodno od Sydneyja, je sestavljen iz šestih 22 metrskih radijskih anten in predstavlja glavni radijski interferometer na južni polobli.

VLA (Very Long Array), eden od prvih svetovno znanih radijskih observatorijev je sestavljen iz zelo velike mreže 27 radarskih anten, v obliki črke Y, kjer ima vsaka od anten premer 25 metrov in tehta okoli 230 ton. Postavljen je v bližini Socorro v Novi Mehiki, na ravninah San Agustina, 80 km zahodno od Socorra.



Slika 28: VLA (Very Long Array) velik niz anten v Soccora v bližini Nove Mehike

Pri radijskih valovnih dolžinah je veliko lažje delati interferometrijo, kjer se več manjših radarskih teleskopov poveže med seboj v velik radijski interferometer in se tako ulovljeno združeno valovanje z različnih teleskopov poveže v eno in tako dobimo izjemno bolj izostreno sliko. Radijski astronomi lahko združijo tudi opazovanja s posameznih teleskopov, ki so razporejeni čez cele kontinente. Ta tehnika, znana tudi kot interferometrija z zelo dolgo bazo VLBI (Very Long Baseline Interferometry), je dala nekatere od najpodrobnejših opazovanj v zgodovini astronomije. Ti dve tehniki VLA in VLBI sta del radio astronomije, vendar ju s pridom uporabljajo tudi geodeti.

Merilne naprave, posebne teleskope, za zaznavanje elektromagnetnih žarkov, ki ne morejo prodreti do Zemljinega površja in jih je preprosto nemogoče opazovati iz tal (rentgenski žarki, žarki gama, ultravijolični in infrardeči žarki), so zgradili šele z razvojem vesoljskih poletov, ki so jih v vesolje prepeljali s pomočjo raket. Najboljši kraj za opazovanje vesolja je vesolje samo, kjer opazovanj ne kvari migotanje ozračja, zato so teleskopski posnetki lahko zelo ostri. Instrumenti v vesolju lahko delujejo 24 ur na dan in dosežejo lahko vsak del neba, za razliko od zemeljskih teleskopov, ki začnejo

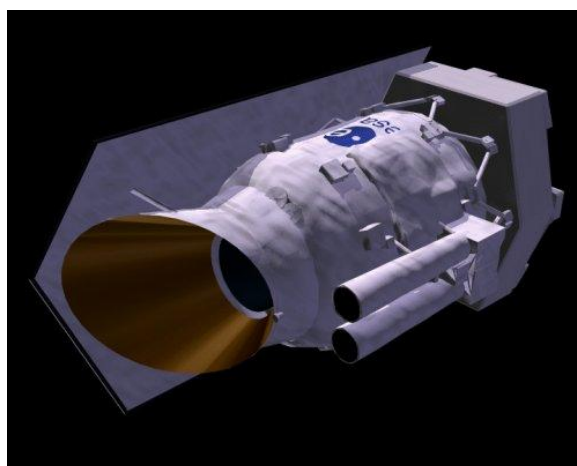
delovati ponoči in imajo majhno vidno polje usmerjeno v nebo. Tako je bilo od 60-ih letih prejšnjega stoletja v vesolje izstreljenih več kot sto vesoljskih observatorijev.

Pri opazovanju rentgenskega sevanja v vesolju je bil najbolj uspešen nemški satelit ROSAT (ROentgen SATellite), ki so ga na tir okoli Zemlje namestili leta 1990. Odkar je ROSAT začel delovati v vesolju, je dnevno odkril na stotine novih virov rentgenskega sevanja, ki ga oddaja snov segreta na več milijonov stopinj. ROSAT je zaznal telesa, ki so oddaljena od ene svetlobne sekunde (toliko je oddaljena Luna), do preko deset milijard svetlobnih let, kjer gre za galaksije, ki so na robu vesolja, ki je danes še dosegljiv našim očem. V vesolju je aktivno deloval več kot osem let in leta 2011, kot odpadek, vstopil v Zemljino atmosfero, kjer ga je del zgorelo, del pa padlo na Zemljo.



Slika 29: ROSAT

V vesolju so nameščeni tudi sateliti za opazovanje sevanja gama in infrardečega sevanja, s katerimi so odkrili precej virov sevanj gama, ki jih oddajajo močno oddaljene galaksije. Infrardeče sevanje, valovnih dolžin od 2,5 do 240 mikrometrov, je med leti 1995 in 1998 meril evropski satelit ISO (Infrared Space Observatory). Merilne naprave satelita so bile nameščene v nekakšni predimenzionirani termovki, v kateri je bila s pomočjo tekočega helija stalna temperatura 270 stopinj pod ničlo, ki je zagotavljala hlajenje naprave, ki bi drugače zaradi lastne toplote šibko infrardeče sevanje iz vesolja prekrilo. Znanstveniki so iz podatkov satelita ISO dobili vpogled v dogajanja v vesolju pri zelo nizkih temperaturah, kot na primer v rojstvo zvezd in planetov iz gostih oblakov prahu in plina.



Slika 30: ISO (infrardeči vesoljski observatorij)

Pravo vznemirjenje med znanstveniki in ljubiteljskimi astronomi pa je povzročil Hubblov vesoljski teleskop (HST), ki ga je leta 1990 ameriško vesoljsko plovilo Discovery pripeljal na Zemljin tir v

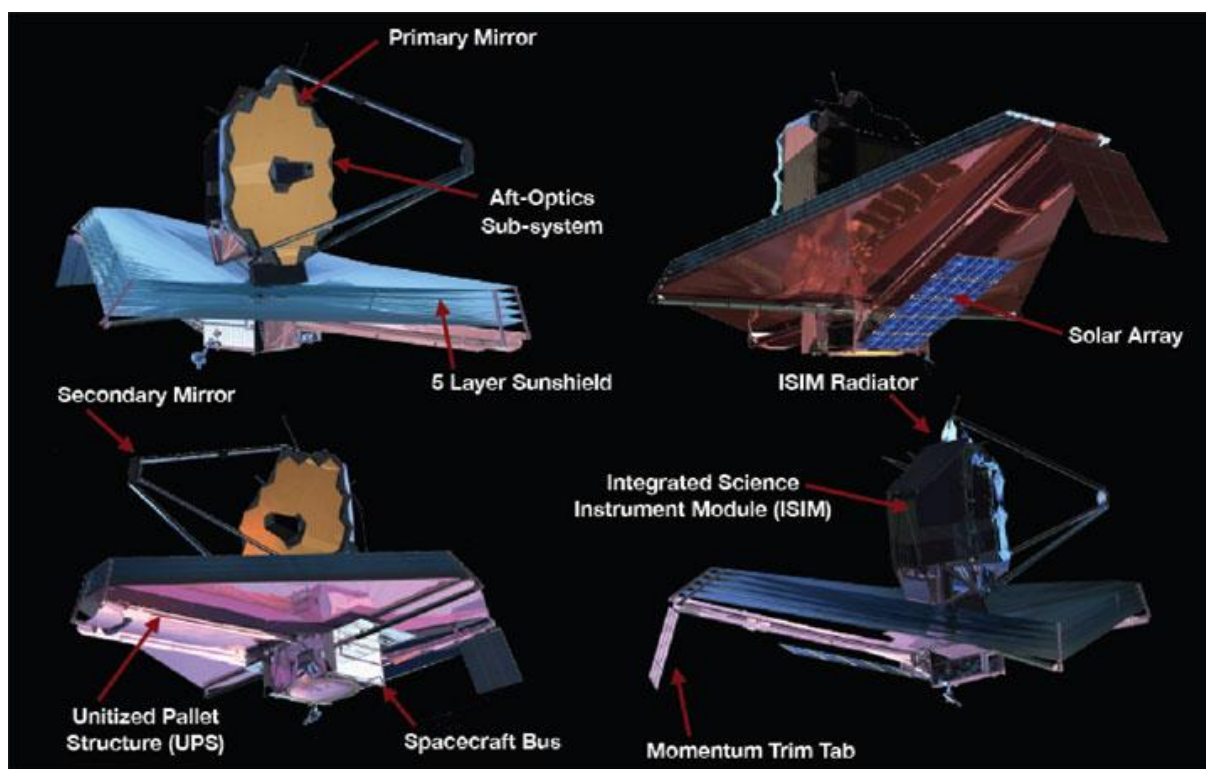
višino okoli petsto kilometrov. Hubble je projekt ameriške NASA in Evropske vesoljske agencije ESA, imenovan po ameriškem astronomu Edwinu Powllu Hubblu. Vesoljski teleskop Hubble, ki mu pravimo tudi Hubblov vesoljski daljnogled, je zrcalni optični daljnogled, nameščen v tirnici okrog Zemlje. Njegova lega zunaj Zemljinega ozračja omogoča, da lahko z njim posnamejo izredno ostre slike, saj vidi vesolje veliko ostreje in globlje, kot največji teleskopi na Zemlji, ker ni motenj, ki jih povzročata Zemljina atmosfera, čeprav ima v primerjavi z njimi zrcalo premera samo 2,4 metra. Slike, ki jih pošilja na Zemljo Hubblov vesoljski teleskop, so popolnoma jasne in ostre z mnogo več podrobnostmi. Od njegove izstrelitve in utirjenja je postal eden najpomembnejših daljnogledov v zgodovini astronomije. HTS je bil razvit za opravljanje opazovanj na bližnjih planetih in kometih, kot tudi v jatah galaksij z veliko maso na robu vesolja. Z njim so opravili nekaj izjemnih opazovanj, astronomom pa je pomagal pri boljšem razumevanju mnogih osnovnih problemov v astrofiziki. Višek opazovanj so bili trki kometov v planet Jupiter leta 1994, kot tudi dvotedensko raziskovanje neke temne točke v ozvezdju Velikega voza. Hubble lahko vidi tudi ultravijolično in bližnjo infrardečo svetlobo, s štirimi različnimi barvnimi filtri (ultravijoličnim, modro zelenim, rdečim in infrardečim), na podlagi katerih je nastalo 342 posameznih posnetkov in šest kvadratnih metrov velika fotografija, ki kaže približno 1.500 galaksij v oddaljenosti do dvanajst milijard svetlobnih let. To je bil najgloblji pogled kakšne optične naprave v vesolje doslej. Že leta 2008 so izstrelili zadnjo servisno odpravo na Hubble in mu tako podaljšali življenjsko dobo do leta 2013. Brez tega posredovanja bi plovilo skupaj z daljnogledom po letu 2010 vstopilo v Zemljino ozračje. Po prenehanju delovanja Hubblovega teleskopa naj bi izstrelili njegovega naslednika, infrardeči Vesoljski daljnogled Jamesa Webba (JWST) (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

Hubble pa ni edini NASA-in teleskop v vesolju. Vesoljski teleskop Spitzer, ki je bil izstreljen 2003, je infrardeči teleskop, z zrcalom premera 85 cm, skrit za toplotnim ščitom, ki ga varuje pred soncem. Spitzer lahko tako vidi skozi oblake prahu in opazuje mlade zvezde, območja nastajanja novih zvezd in atmosfere planetov v drugih osončjih. NASA pa ima v vesolju nameščene tudi različne teleskope za opazovanje ultravijolične svetlobe, rentgenskih žarkov in sevanja gama (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).



Slika 31: Vesoljski teleskop Hubble med prvo servisno odpravo leta 1993 (levo) in Vesoljski teleskop Hubble (desno)

Vesoljski teleskop Jamesa Webba (James Webb Space Telescope – JWST), naslednik Hubblovega teleskopa, bo velik infrardeči teleskop s 6,5 metrskim primarnim zrcalom, zaključen in izstreljen predvidoma leta 2018. Parkiran bo 1,5 milijona km od našega planeta v svoji orbiti okoli Sonca. Webbov teleskop bo tako glaven observatorij v naslednjem desetletju, ki bo služil na tisoče astronomom po vsem svetu. JWST bo preučil vsako fazo v zgodovini našega vesolja, od prvih svetlobnih žarkov do velikega poka in formacije sončnih sistemov, ki podpirajo življenje na planetih kot je Zemlja, pa do evolucije našega Sončnega sistema. Webb je bil prej znan kot "Vesoljski teleskop naslednjih generacij", v JWST je bil preimenovan v septembru 2002, po nekdanjemu NASA-inemu administratorju Jamesu Webbu, ki je od februarja 1961 do oktobra 1968 vodil NASA. Webb je plod mednarodnega sodelovanja med NASA, Evropsko vesoljsko agencijo (ESA) in Kanadsko vesoljsko agencijo (CSA). Za potrebe teleskopa Webb bo razvitih več inovativnih tehnologij, ki vključujejo zložljivo, segmentirano primarno ogledalo prilagodljive oblike, ultra lahko berilijevo optiko, detektorje, ki bodo sposobni zaznati šibke signale, mikro okna, ki bodo omogočala programabilno izbiro predmeta za spektroskop in kriolit za hlajenje infrardečih detektorjev. Na teleskopu Webb bodo štirje znanstveni instrumenti: infrardeča kamera, infrardeči spektroskop, srednje infrardeči instrument in natančen senzor za sledenje infrardečim žarkom in spektroskop. Instrumenti na Webb teleskopu bodo primarno narejeni za delo v infrardečem območju elektromagnetnega spektra, z nekaterimi sposobnostmi zaznavanja tudi vidnega spektra svetlobe. Občutljivi bodo za svetlobo valovne dolžine od 0,6 do 28 mikrometrov. Webb bo imel štiri glavne naloge in sicer: konec temnih let – pogled globoko v vesolje, pogled do prve svetlobe, pogled v galaksije, rojstvo zvezd in protoplanetarnega in planetarnega sistema ter izvor življenja. V primerjavi s Hubbлом bo Webb veliko večji, narejen za zaznavanje infrardeče svetlobe, za razliko od Hubbla, ki je zaznaval vidno svetlobo, veliko bolj občutljiv, saj bo imel veliko večja ogledala in se bo nahajal veliko globlje v vesolju kot Hubble in tako bo videl veliko dlje in globlje v vesolje (do njegovega samega začetka).



Slika 32: Oblika vesoljskega teleskopa Jamesa Webba

4.2 Obdobje velikih observatorijev

Teleskop je naše plovilo za raziskovanje vesolja. Danes s teleskopi in velikanskimi zrcali, ki so postavljeni na vrhu gora, astronomi skozi tanke plasti najmirnejše in najčistejše atmosfere lovijo najšibkejše signale iz vesolja od najbolj oddaljenih in najstarejših objektov. Uporabljajo jih za zaznavanje in sledenje objektom v vesolju, med katerimi so tudi vesoljski odpadki. Kot sem že omenila so teleskope namestili tudi v vesolju, nad motečimi vplivi naše atmosfere od koder prinašajo osupljiv pogled na vesolje in ga razkrivajo v vsej svoji veličini, ki nam še danes ni povsem znana.

S hitrim razvojem digitalne tehnologije in zmogljivih računalniških sistemov ter razvojem tehnologije, ključne za razvoj teleskopov, se pospešeno gradijo tudi ogromni observatoriji in drugi astronomski stroji. Po Keckovih teleskopih, ki sta bila prva sestavljena iz več sestavljenih zrcal, so nedavno španski astronomi končali Veliki kanarski teleskop na kanarskem otoku La Palma, postavljen na observatoriju Roque de los Muchachos na nadmorski višini 2.400 m, ki je z 10,4 metrskim premerom zrcala, za zdaj, največji optični teleskop na svetu (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).



Slika 33: Observatorij Roque de los Muchachos na kanarskem otoku La Palma

Evropski Zelo velik teleskop (VLT – Very Large Telescope), ki stoji na 2.635 metrskem vrhu Cerro Paranal v puščavi Atacama v Čilu (najbolj suhem kraju na Zemlji), je daleč največji astronomski stroj, kar jih je bilo kdaj zgrajenih. Sestavljen je iz štirih teleskopov v enem, vsak z 8,2 metrskim zrcalom, ki ga upravlja Evropski južni observatorij (ESO – European Southern Observatory) (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).



Slika 34: Evropski zelo velik teleskop (VLT)

Velike teleskope lahko danes najdemo po vsej zemeljski obli. Na Cerro Las Campanas v Čilu stojita dvojčka Magellan, s 6,5 metrskima zrcaloma, na Mauna Kei japonski teleskop Subaru z 8,3 metrskim

zrcalom, opremljen z občutljivimi spektrografi in kamerami ter prav tako na Mauna Kei stoji mednarodni teleskop Gemini North, z 8,1 metrskim zrcalom. Veliki binokularni teleskop na gori Graham v Arizoni je najnovejši revolucionaren teleskop z dvema monolitnima zrcaloma, 8,4 metra premera, ki imata skupaj svetlobno zbiralno moč 11,8 metrskega zrcala, z uporabo interferometrije pa lahko vidita podrobnosti, kot virtualni 22,8 metrski teleskop (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

Inovativne tehnologije velikanskih in tankih zrcal, prilagodljive optike in interferometrije omogočajo nova odkritja in vznemirljive poglede globoko v vesolje (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

Tako imajo v načrtih izgradnjo še večjih zemeljskih teleskopov, s še večjimi zrcali, kot obstajajo danes. V laboratoriju za zrcala univerze v Arizoni izdelujejo zrcala za Velikanski Magellanov teleskop (GMT – Giant Magellan Telescope), ki ga bodo postavili na observatoriju Las Campanas v Čilu, kjer sta že postavljena Magellanova dvojčka 6,6 metrska teleskopa. GMT bo imel sedem zrcal, razporejenih v obliki cvetnih listov, vsako s premerom več kot 8 m. Pričakujejo, da bo GMT končan leta 2016 (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

Prav tako leta 2016 naj bi bil končan kalifornijski Tridesetmetrski teleskop (TMT – Thirty Meter Telescope), katerega eno orjaško zrcalo bo sestavljeno iz skoraj 500 kosov, visoko kot 7 nadstropna stavba. Sekundarno zrcalo teleskopa, veliko 3,1 m bo popolnoma prilagodljivo za odpravljanje atmosferskih motenj (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

V Evropi pripravljajo načrte za Evropski izjemno velik teleskop (E-ELT – European Extremely Large Telescope), ki ga vodi Evropski južni observatorij, ki bo prav tako imel sestavljeno zrcalo s skupnimi 42 metri premera. Delovati naj bi začel okrog leta 2017 na Cerro Amazones v puščavi Atacama v Čilu (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

V gradnji pa so tudi veliki sistemi radijskih teleskopov. Eden takih je Nizkofrekvenčni niz (Low Frequency Array) ali LOFAR na Nizozemskem, z nizom 30.000 nevpadljivih anten, zbranih v stotinah postaj. Tehnologijo LOFAR pa bodo uporabili tudi pri Mreži s površino kvadratnega kilometra (Square Kilometre Array), kjer bo do velike skledaste antene in majhni sprejemniki s skupnimi močmi omogočili neverjetno natančen pogled na radijsko nebo (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

Želje astronomov gredo še dlje, na Luno. Radijski astronomi si želijo postaviti mrežo majhnih anten na površju Lune, kolikor daleč je le mogoče od motečih zemeljskih izvorov. Verjamem, da bo nekega dne celo velik optični teleskop stal na drugi strani Lune, predvidoma najboljšem kraju za optično astronomijo v notranjem delu Osončja. Eno najglobljih vprašanj v astronomiji pa še vedno obstaja vprašanje o obstoju zunajzemeljskega življenja (Schilling, Lindberg Christensen, 2011).

4.3 Spremljanje vesoljskih objektov in nadzor vesolja

Radarji in optični detektorji, kot je LIDAR, ki je tehnologija daljinskega zaznavanja, ki meri razdaljo do cilja, ki jo osvetli z laserjem in nato analizira odbito svetlobo, so glavno orodje, ki se uporablja za sledenje vesoljskim odpadkom. Vendar je določanje orbit in sledenje vesoljskim odpadkom, predvsem tistim, ki so manjši od 10 cm, problematično, zaradi njihovega majhnega preseka in zmanjšanja orbitalne stabilnosti, kar pomeni, da ti ne krožijo po ustaljeni orbiti.

4.3.1 Opazovanja iz Zemlje

Tako kot za razkrivanje vesolja tudi za opazovanje objektov v vesolju, ki jih je tja poslal človek uporabljamo teleskope. Vesoljske objekte lahko iz Zemlje prav tako opazujemo z radarskimi ali optičnimi teleskopi. Radarske meritve se več uporabljajo za merjenja v nizki Zemljini orbiti, medtem ko se optična merjenja uporabljajo za opazovanje objektov v visokih Zemljinih orbitah. Za pasivna optična merjenja je intenzivnost povratnega signala obratno sorazmerna kvadratu razdalje ali višine objekta, saj je sončna osvetlitev v bistvu odvisna od višine. Za radarska merjenja pa je intenzivnost povratnega signala obratno sorazmerna z razdaljo na četrto potenco, saj mora radar sam zagotavljati osvetlitev. Tako dokaj majhni optični teleskopi prekašajo večino radarskih, za zaznavanje vesoljskih odpadkov na višjih višinah. Narejenih je že bilo nekaj merjenj majhnih vesoljskih odpadkov v nizki Zemljini orbiti z optičnimi teleskopi, ampak na splošno radarji prekašajo teleskope za merjenja v nizki Zemljini orbiti.

4.3.1.1 Radarska merjenja

Radarji stacionirani na Zemlji so primerni za opazovanje vesoljskih objektov, ker lahko uspešno izvajamo meritve noč in dan, ne glede na vreme. Omejitvena faktorja za zaznavanje majhnih objektov na dolgih razdaljah sta moč radarskih valov ter delovna valovna dolžina. Za opazovanje vesoljskih objektov se uporabljata dva tipa radarjev:

- a) Radar z mehanično kontrolirano smerjo žarka, ki uporablja parabolično reflektorsko anteno. Tako lahko zaznava samo objekte, ki so v aktualnem vidnem polju, ustvarjenem z mehansko smerjo parabolične reflektorske antene. Ta tip radarja se večino uporablja za sledenje in slikanje satelitov.
- b) Radarji z elektronsko kontrolirano smerjo žarka, ki uporabljajo fazne antene. Tako lahko opazujemo več objektov v različnih smereh hkrati. Večino se ta tip radarja uporablja za slednje in iskanje objektov v vesolju.

Za opazovanje vesoljskih odpadkov se uporablja več načinov: način sledenja (tracking mode), način ustvarjenega parka žarkov (beam-park mode), kjer so ti nepremično usmerjeni v eno smer in zaznavajo objekte, ki pridejo mimo in mešani način (mixed mode), včasih imenovan tudi kot stremenje in lovljenje (stare-and-chase). Pri načinu sledenja radarji sledijo objektom nekaj minut in pridobivajo podatke o kotni smeri, območju, višini in fazi radarskih odbojev. Orbitalni elementi so tako pridobljeni po vrednotenju smeri in hitrosti (kotni hitrosti in hitrosti, odvisni od časa), kot funkciji časa (Technical Report on Space Debris, 1999).

Pri načinu parka žarkov, kjer so žarki pri miru imamo fiksno anteno usmerjeno v dano smer, ki sprejema odboje od objektov, ki gredo skozi vidno polje (park žarkov). Ta način nam da statične informacije o številu in velikosti zaznanih objektov, ne dobimo pa natančnih podatkov o njihovih orbitah (Technical Report on Space Debris, 1999).

Pri mešanem načinu pa začne radar opazovati v stacionarnem načinu parka žarkov, kjer miruje in potem ko pridejo objekti mimo spremeni način in začne slediti objektom, s čimer pridobimo bolj natančne podatke o orbitah objektov. Ko so enkrat ti podatki zbrani, se radar vrne spet v mirujoče stanje, način parka žarkov (Technical Report on Space Debris, 1999).

Radarji imajo lahko konfiguracijo ene antene, kjer ta opravlja funkcijo oddajanja in sprejemanja signalov ali dveh anten, kjer ena antena oddaja signale, druga pa sprejema. Pri konfiguraciji dveh anten so ti ločeni, kar omogoča večjo občutljivost in s tem zaznavanje manjših objektov in

prilagodljivost za povezovanje različnih anten med seboj. Iz radarskih merjenj pridobimo predvsem naslednje podatke o vesoljskih objektih (vsi ti pridobljeni parametri imajo neko stopnjo negotovosti):

- a.) orbitalne elemente, ki opisujejo gibanje centra objekta okoli Zemlje,
- b.) parametre, ki opisuje gibanje objekta okoli svoje osi,
- c.) velikost in obliko objekta,
- d.) orbitalno življenjsko dobo,
- e.) balistični koeficient, ki je merilo za aerodinamične in masne karakteristike objekta, ki vplivajo na življenjsko dobo objekta, dokler ta ne vstopi v območje zgornje Zemljine atmosfere, ki določa stopnjo orbitalne osi pri kateri objekt razpade,
- f.) maso objekta in
- g.) lastnosti materiala iz katerega je objekt sestavljen.

Ti deterministični podatki lahko gredo v katalog vesoljskih objektov, kot statistične informacije o številu zaznanih objektov določene velikosti, v določenem območju, v določenem času. Tako Rusija, kot Združene države Amerike operirajo z mrežo radarjev in optičnih teleskopov za zaznavanje, sledenje in beleženje vesoljskih objektov, vse od izstrelitve prvega umetnega satelita v vesolje leta 1957, in vključujejo vesoljske odpadke od velikosti 10 – 30 cm premera. Radarska merjenja populacije vesoljskih odpadkov manjših od 30 cm, kar je nominalna omejitev za ruski in ameriški katalog, ki jih opravljajo z različnimi instrumenti, nam dajejo sliko populacije odpadkov v nizki Zemljini orbiti, ki so manjši od 0,5 cm, z nekaterimi podatki o objektih, ki so manjši od 0,2 cm, ki presegajo populacijo naravnih meteoroidov vseh velikosti. Podatek je precej zaskrbljujoč, saj so ti podatki vzeti iz poročila o vesoljskih odpadkih, o katerih so debatirali na seji znanstvenega in tehničnega pododbora za zmerno uporabo vesolja komiteja združenih narodov v letu 1999, kar pomeni da je danes populacija odpadkov v vesolju mnogo večja, saj jih do danes niso še odstranjevali (Technical Report on Space Debris, 1999).

4.3.1.2 Optična merjenja

Optična merjenja vesoljskih objektov lahko izvajamo ko so odpadki osončeni in je ozadje temno. Za objekte v nizki Zemljini orbiti je to obdobje omejeno na eno ali dve uri po sončnem zahodu ali pred sončnim vzhodom. Za objekte v visoki Zemljini orbiti, kot so ti v geosinhroni orbiti, se lahko pogosto opazovanja izvajajo skozi celo noč, če je zagotovljeno čisto in temno nebo (Technical Report on Space Debris, 1999).

V splošnem se USSPACECOM in ruski geostacionarni katalogi ukvarjajo z nepoškodovanimi vesoljskimi plovili in telesi raket. Tudi v geostacionarni orbiti obstaja nešteto odpadkov, ki so posledica eksplozij. Ruski satelit Ekran je bil opažen, kako je eksplodiral v geostacionarni orbiti leta 1978. Mnogo nekatalogiziranih objektov je bilo opaženih v visokih ekliptičnih orbitah, na inklinaciji 7 stopinj, ki so najverjetneje posledica razpada geotransfernih (prenosnih) raketnih stopenj. USSPACECOM teleskop na Maui na Havajih je po naključju opazoval razpad višjih stopenj Titanovih raket februarja 1992. V geostacionarni orbiti pa je še veliko raketnih stopenj, ki imajo še vedno možnost, da eksplodirajo. Za opazovanje majhnih vesoljskih odpadkov, ki obstajajo v geostacionarni orbiti je potrebna izjemna kombinacija občutljivih teleskopov in vidnega polja. Zato da lahko zaznamo vesoljske odpadke manjše od enega metra, ki so blizu geosinhrone orbite, morajo ti imeti navidezni sij

(navidezno magnitudo)¹⁶ vsaj 17 ali več in kar se da široko vidno polje, da je omogočena hitra izmera velikih območij. Večina teleskopov, ki so dovolj občutljivi imajo majhno vidno polje. To je uporabno za točno določitev položaja satelitov, ko je enkrat njihova približna lokacija znana, ne pa tudi za zaznavanje velikih območij neba (Technical Report on Space Debris, 1999).

Nekaj predhodnih merenj za opazovanje odpadkov manjših od enega metra na območju geostacionarne orbite je bilo narejenih. Za to je NASA uporabila majhen teleskop, ki je sposoben zaznati objekte s šibko 17,1 navidezno magnitudo, z vidnim poljem okrog 1,5 stopinj. Rezultati so pokazali da obstaja precejšnja populacija odpadkov blizu teh višin in je tako opravičila nadaljnja opazovanja (Technical Report on Space Debris, 1999).

4.3.2 Sistemi za nadzor vesolja in spremljanje vesoljskih objektov

Večina podatkov o vesoljskih odpadkih je danes zbranih v katalogu Združenih držav Amerike United States Space Command (USSPACECOM), ki so jih pridobili s pomočjo uporabe njihovega omrežja za vesoljski nadzor (Space Surveillance Network – SSN). To omrežje elektro-optičnih in radarskih senzorjev odkriva, sledi in identificira objekte, ki krožijo okoli Zemlje, katerih podatki se vodijo v katalogu vesoljskih objektov in so objavljeni v različnih formatih. Zgodovina podatkov o izstreljenih in izvršenih dogodkih in o statusu vesoljskih objektov ter njihovih orbitah so zbrani tudi v NASA Satellite Situation Report (NASA-inem poročilu o satelitski situaciji) v RAE tabeli zemeljskih satelitov od 1989 in v ESA-inem DISCOS podatkovni bazi (Database and Information System Characterizing Objects in Space) (Klinkrad, 2002).

USSPACECOM zaznava nove objekte, jih okarakterizira, jih poveže z izstreljenimi ali izvršenimi dogodki, določi njihove orbite in določi naloge za SSN senzorje za nadaljnje sledenje, spremljanje in opazovanje. Po uspešni identifikaciji in korelaciji objektov z izvršenimi dogodki v vesolju, ti kot povezani podatki vstopijo v katalog. USSPACECOM katalog vsebuje podatek o objektih, ki so večji od 10 – 30 cm v nizki Zemljini orbiti in večji od okrog 1 m v geostacionarni Zemljini orbiti. Zaznani in zabeleženi objekti so v 6% operativna vesoljska plovila, v 25,6% neoperativna vesoljska plovila, telesa raket v 17,7%, objekti za izvedbo misij in potovanj v vesolje v 10,8% ter veliki odpadki iz razdrobljenih in izvršenih dogodkov v 39,9% (Klinkrad, 2002).

Vse naprave za opazovanje in spremljanje objektov v vesolju, s kombiniranimi nalogami zaznavanja, karakterizacije, povezovanja in orbitalnega določanja vesoljskih objektov, predstavljajo sistem za nadzor vesolja, pri katerem so najbolj uspešne Združene države Amerike in Rusija, za vzpostavitev nadzora nad vesoljem pa si prizadeva tudi Evropa ter druge svetovne velesile. Sistem Združenih držav Amerike je podprt z njihovim omrežjem za nadzor vesolja SSN. Podobne operativne zmogljivosti poleg ZDA ima samo Rusija, ki so podprte s strani njihovega vesoljskega nadzornega sistema SSS (Space Surveillance System). S pomočjo svojega sistema za nadzor vesolja Rusija vodi tudi svoj katalog vesoljskih objektov, ki obsega podatke o orbitah in karakteristikah le od okrog 6.000 objektov, zaradi pomanjkanja SSS senzorjev na nižjih višinah (Klinkrad, 2002).

¹⁶ **NAVIDEZNI SIJ ali NAVIDEZNA MAGNITUDA** z oznako m zvezde, planeta ali drugega nebesnega telesa je v astronomiji sij (izsev), kot ga vidimo iz Zemlje. Označuje jakost svetlobe, ki jo vidimo s prostim očesom oziroma svetlobni tok na dani razdalji astronomske enote v fizikalnem merilu.

Poskusni sistem nadzora vesolja ima Francija, dvo statično GRAVES instalacijo, veliko omrežje za nadzor vesolja (Grande Réseau Adapté à la Veille Spatial), kjer se pridobljeni podatki beležijo v katalogu, ki je omejen z objekti velikosti 1 metra, ki se nahajajo v nizki Zemljini orbiti, s skupaj zabeleženimi okoli 2.500 vpisi. Poleg senzorjev, ki so vključeni v rutinsko vesoljsko opazovanje in merjenje (SSN in SSS), so v uporabi še senzori, ki sledijo znanim objektom z večjo natančnostjo. Ti so na primer FGAN/TIRA in Monge / ARMOR senzori ter senzori, ki pridobivajo detajlne statistične informacije o manjših objektih (na primer EISCAT), ki so opisani v nadaljevanju (Klinkrad, 2002).

Vse objekte, ki jih zasledijo senzori je težko natančno okarakterizirati in jih pravilno klasificirati, zaradi zmanjšane občutljivosti različnih senzorjev za opazovanje objektov na različnih višinah. V USSPACECOM katalogu je bilo tako novembra 2002 neklasificiranih okrog 9.400 objektov, po večini večjih od 10 cm, ki se nahajajo v nizki Zemljini orbiti ter večji od 1 metra v geostacionarni orbiti. Velika večina, 75,7% vseh objektov, ki se vodijo v USSPACECOM katalogu, se nahaja v območju nizke Zemljine orbite, pod 2.000 km višine, 8,7% objektov, zapisanih v katalogu, pa je iz območja geostacionarne Zemljine orbite in njene okolice, ki krožijo na višini 35.786 km (Klinkrad, 2002).

Precej manjše gruče objektov, ki zajemajo približno 3,8% kataloga, se nahajajo v geostacionarnih prenosnih (prehodnih) orbitah, geostacionarnih transfernih orbitah in orbitah tipa Molnija. Preostanek objektov v katalogu pripada območju srednje Zemljine orbite, ki vsebuje tudi (pol) semi-sinhrono GPS in GLONASS (Globalna Navigaciona Sputnikovaja Sistema) konstelacije orbit, ki se nahajajo blizu 20.000 km višine. GLONASS je satelitski sistem globalne navigacije, radijski satelitski navigacijski sistem, ruska različica ameriškega GPS. Za rusko vlado ga upravljajo Ruske vesoljske sile (Klinkrad, 2002).

4.3.2.1 Evropski sistem za nadzor vesolja

Opazovanja evropskih radarskih senzorjev

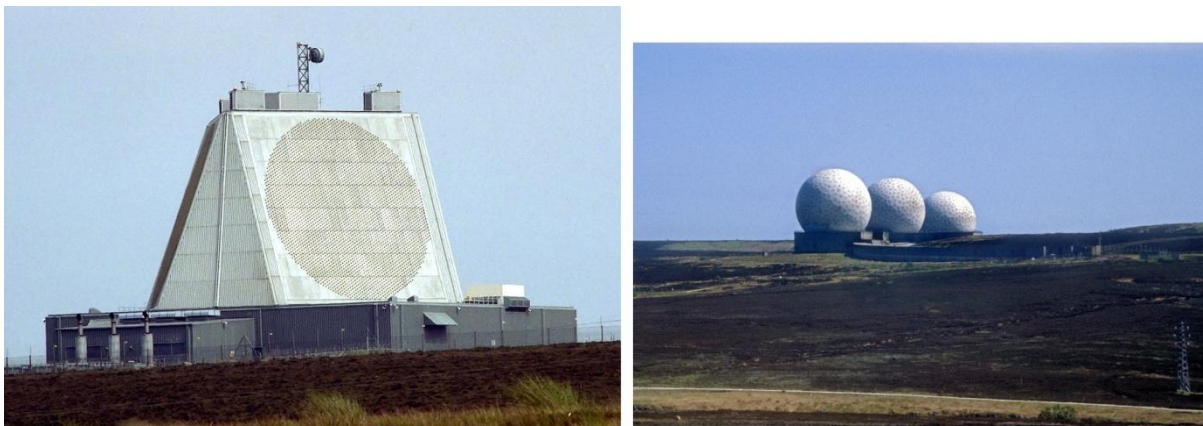
V Evropi je bil začetni razvoj in uvajanje sledilnih in nadzornih senzorjev za vesoljske odpadke predvsem posledica zahtev po nacionalni varnosti, v večini državah financiran s strani ministrstev za obrambo različnih držav Evrope. V nekaterih primerih so bili senzori razviti pod posebnimi sporazumi z USSPACECOM, saj sami niso uspeli zagotavljati dovolj natančnih in zanesljivih podatkov o vesoljskih objektih (Klinkrad, 2002).

1) Pomožni senzor Fylingdales (Velika Britanija) in Globus II

Najbolj močan vesoljski nadzorni senzor v Evropi je lociran v Fylingdales (Velika Britanija), ki ga upravlja Britanska vojska. Večina aktivnosti je usmerjena v zgodnje opozarjanje in v vesoljske nadzorne misije ter povezana z omrežjem za vesoljski nadzor Združenih držav Amerike US SSN (United States Space Surveillance Network). Fylingdales kompleks (v Fylingdales v Veliki Britaniji) sestavljajo trije tradicionalni radarji za sledenje s 25 m antenami, montiranimi v ohišju za radarje (radome)¹⁷, in visoko zmogljivimi tremi stranskimi faznimi radarji. Sistem deluje v pasu ultra visoke

¹⁷ **Radome** je skrčena beseda, sestavljena iz besede radar in dome, ki pomeni kupola, je strukturno, vodoodporno ohišje, ki varuje mikrovalovne (npr. radarske) antene pred vremenskimi vplivi ali prikriva elektronsko opremo anten pred pogledom javnosti. Ščiti pa tudi osebe, ki so v bližini anten pred poškodbami, ki jih lahko povzroči hitro vrteča se antena. Radom je zgrajen iz materiala, ki minimalno duši posredovane (oddane) elektromagnetne signale ali signale sprejete iz anten, je propusten za radarske ali radio valove. Zgrajen v različnih oblikah (sferična, geodetska, ravninska,...) in iz različnih gradbenih materialov (steklena vlakna, PTFE prevlečena tkanina,...). Pogosto se uporablja za preprečevanje ledu in

frekvence radijskih valov (frekvenca 300–3000 MHz in valovna dolžina 1 m – 100 mm), UHF (Ultra High Frequency) pasu, z aktivnimi odprtinami premera 22 metrov (Klinkrad, 2002).



Slika 35: Fazni radar Solid State Phased Array Radar (SSPAR) v Fylingdales (levo) in Radarji za sledenje v ohišju (desno)

Sistem deluje podobno kot ameriški fazni opozorilni sistem PAWS (Phased-Array Warning System), ki je sistem radarjev, postavljenih na petih različnih lokacijah. Namenjen je splošnemu nadzoru vesolja ter sledenju satelitom, sposoben pa je tudi odkrivati in opozarjati na raketne napade in raketne izstrelke. Radarji so sposobni odkrivati in slediti grožnjam raketnih napadov tako iz celine, kot tudi iz morja. Ključno je zgodnje pridobivanje podatkov o napadih, ki jih pošiljajo ameriškemu centru za opozarjanje na napade ter centru za nadzor vesolja v nadaljnjo obdelavo (Klinkrad, 2002).

Drugi objekt, ki je povezan z US SSN je norveški Globus II radar. Lociran je v Vardo na skrajnem severu Norveške na 70.3671° severno in 31.1271° vzhodno, blizu ruske meje, ki ga upravlja norveška obveščevalna služba pod sporazumom z USSPACECOM. Namenjen je nadzoru vesolja, nadzoru področij, ki so v nacionalnem interesu ter zbiranju informacij za nadaljnji razvoj in raziskave. Globus II ima 27 m parabolične antene v obliki krožnika, ki so nastanjene v ohišju za radarje premera 35 m. Radar lahko deluje v smeri iskanja ali sledenja tirnicam objektov, z uporabo različnih pasovnih širin, ki ustrezajo območju ločljivosti pod ravno enega metra. Globus II trenutno vstopa v svojo rutinsko fazo operacije (Klinkrad, 2002).

zmrznjenega dežja, ki se nabira in akumulira direktno na kovinski površini anten. V primeru vrtečih se radarskih anten, v obliki krožnika, radome prav tako ščiti antene pred odpadki in nepravilno rotacijo, ki bi nastala zaradi vetra.



Slika 36: Globus II radar

2) GRAVES poskusni vesoljski nadzorni sistem

Francoski GRAVES (Grande Réseau Adapté à la Veille Spatial) sistem, veliko omrežje za nadzor vesolja, je trenutno edina evropska instalacija zunaj US SSN, ki je sposobna opravljati vesoljski nadzor v svojem klasičnem smislu. GRAVES je v lasti Francoskega oddelka za obrambo. Koncept GRAVES temelji na VHF (Very High Frequency), visoko frekvenčnih oddajnikih z ravninskimi faznimi antenami velikosti 15 x 6 m vsaka, ki so locirane blizu Dijon-a v Franciji. Objekti, ki grede skozi območje zaznave, ki je sestavljeno iz posameznih zaznavnih ventilatorjev, ki odražajo moč oddajnika, so potem sprejeti s strani ravninskih faznih Yagi anten, lociranih v Apt (Francija), 380 km južno od oddajnikov. Sprejemne antene so razporejene v krožnem območju premera 60 m. Ideja GRAVES neprekinjenih valov bi statičnega radarja ima korenine v 1930-ih letih, ko so se podobni sistemi uporabljali za elektronske ograje za zaznavanje letal. GRAVES sistem je bil razvit sredi 1990-ih let in je testno začel delovati v letu 2001. S sistemom je možno določati smeri kotov (azimut in višino), Dopplerjev pojav in vrednost Dopplerjevega pojava za veliko število istočasnih ciljev. Iz pridobljenih podatkov, ki jih programska oprema obdela, lahko določimo komplet orbitalnih elementov, katerih začetna ocena je dovolj točna, da preda nalogo drugim senzorjem in naknadno korelira zaznavo in določitev nekaterih objektov. Kot tak GRAVES proizvede svoj začetni katalog, ki je lahko avtonomno zgrajen in vzdrževan. Sistem lahko zazna objekte velikosti reda 1 m, do višine 1.000 km. V enomesečnem eksperimentalnem katalogu, v katerega so se beležili podatki v letu, je bilo zabeleženih več kot 2.200 zapisov (Klinkrad, 2002).



Slika 37: Instalacija sprejemnih anten sistema GRAVES v Atp

3) FGAN sledilni radar in radar za slikanje (TIRA – Tracking and Imaging Radar)

Nemški FGAN radar pripada raziskovalni ustanovi uporabnih znanosti v Wachtbergu, Nemčija. FGAN radar je mnogo fazni sledilni radar in radar za slikanje TIRA (Tracking and Imaging Radar), s paraboličnimi antenami v obliki krožnika premera 34 m, ki so montirane v ohišju za radarje, kupolaste oblike premera 49 m. Prilagodljiva antena se lahko znotraj kupole obrača za 360° po horizontali in za 90° po vertikali. Obrača se lahko s hitrostjo 24° na sekundo, čeprav premikajoči se del tehta 240 ton. Sistem TIRA, kot že samo ime pove, obsega radar za slikanje in radar za sledenje. Sistem primarno služi kot centralni eksperimentalni sistem za raziskovanje in razvoj radarskih tehnik za odkrivanje in poizvedovanje za objekti v vesolju. TIRA radar zagotavlja tudi podporo vesoljskim misijam različnih vesoljskih agencij, ki uporabljajo sposobnosti tega sistema in sposobnosti znanstvenikov, ki sistem razvijajo. TIRA sistem določi azimut in višinske kote, območje cilja in Dopplerjevo število¹⁸ za eno tarčo in v skoraj realnem času programska oprema predela podatke iz katerih lahko določijo orbito, ki je kompatibilna z US SSN – evim dvo-linijskim elementarnim formatom kataloga. Prag zaznavanja za TIRA radar je mnogo večji od 2 cm na 1.000 km območju. Ta občutljivost je lahko še okrepljena, ko istočasno deluje TIRA radar in 21 km oddaljeni 100 m radio teleskop v bližini Effelsberga v Nemčiji (Klinkrad, 2002).

TIRA radar je edinstven sistem, ki vesoljskim agencijam ponuja možnost za merjenje orbit objektov z visoko natančnostjo ali izdelavo slik z visoko ločljivostjo objektov, kot so sateliti. Sistem se zato lahko uporablja za pridobivanje natančnih podatkov o vesoljskih odpadkih, za preprečevanje manevrov umikanja operativnih satelitov in ustvarjanje slik predmetov, ki so ušli izpod nadzora, zaradi tehničnih napak ali nenadzorovanih vstopov satelitov v Zemljino atmosfero. Radarski podatki o vesoljskih objektih, pridobljeni s pomočjo TIRA radarjev in tehnologije, ki so bile razvite, se uporabljajo za določitev značilnih lastnosti objektov, kot so orbitalni elementi, parametri gibanja, orbitalna življenjska doba, oblika in velikost balističnega koeficienta ter masa in material, iz katerega so objekti narejeni (Klinkrad, 2002).

V preteklosti je TIRA omogočal hiter dostop do kritičnih informacij, za katere je pomembno da so pravočasno podane, o orbitah nevarnih objektov ter informacije o potencialnih trkih s sateliti Evropske vesoljske agencije ESA (na primer ERS-1). Te informacije so bile uporabne za izboljšanje ocene stopenj tveganja in za izdajo opozoril (Klinkrad, 2002).

¹⁸ **Dopplerjev pojav** je fizikalen pojav, kjer zaradi gibanja vira, opazovalca ali obeh nastane navidezna razlika v valovni dolžini zvoka ali svetlobe. Značilen je za vsako valovanje, pri katerem se opazovalec ali vir valovanja gibljeta drug glede na drugega. Pojavi se sprememba frekvence oziroma valovne dolžine.



Slika 38: Radar TIRA, pogled iz zraka (levo) in Radar TIRA, pogled v ohišje (fotomontaža) (desno)

4) Ladja Monge - ARMOR in DGA radarji Generalnega direktorata za orožitev francoskega Ministrstva za obrambo DGA (La direction générale de l'Armement)

Generalni direktorat za oborožitev francoskega ministrstva za obrambo (DGA), katerega naloga je oblikovanje, ocenjevanje in nakup orožja za uporabo v francoski vojski, operira z več radarji in optičnimi sistemi po vseh Franciji. Njihovi radarski senzorji so štirih različnih tipov:

- ARMOR: C – pasovi (C-band), je ime za nekatere dele elektromagnetnega spektra, ki vključujejo tudi valovne dolžine mikrovalov, ki se uporabljajo za radio komunikacijo na dolgih razdaljah. Valovi imajo frekvenco od 500 – 1000 MHz, z valovno dolžino 60 – 30 cm. C pasovi so povezani s pasovi z ultra visoko frekvenco UHF (Ultra high Frequency), kamor spadajo ITU in IEEE in se tako imenujejo IEEE C – pasovi, ki imajo frekvenco 4 – 8 GHz in valovno dolžino 7,5 – 3,75 cm. Sistem ima dve taki enoti z 10 m antenami v obliki krožnika locirani na ladji Monge, ki je ladja za sledenje, na kateri so različni instrumenti, radarji in antene.
- B'earn (provinca v Franciji): Sistem, ki deluje v C – pasovih in je sistem za skeniranje, s štiri metriskimi antenami v obliki krožnika, tremi enotami lociranimi na Toulonu (mesto in občina v jugovzhodni francoski regiji Provansa-Alpe-Azurna obala), dvema na Quimper (mesto in občina v severozahodni francoski regiji Bretanji) in štirimi na Cazaux (občina na jugozahodu Francije).
- Provence (Provansa, regija na jugovzhodu Francije ob Sredozemskem morju): Sistem, ki deluje v C – pasovih, s štiri metriskimi antenami v obliki krožnika in eno enoto locirano na Toulonu
- Gascogne (zgodovinska pokrajina v jugozahodni Franciji): Sistem, ki deluje v C – pasovih, s štiri metriskimi antenami v obliki krožnika in eno enoto locirano na ladji Monge.

Najbolj močan od teh sistemov je ARMOR sistem, ki je lociran na ladji za sledenje Monge, ki tehta 21.040 ton in je velika 230 m x 25 m ter v glavnem podpira francoske balistične teste z izstrelki, ki se jih da usmerjati in voditi na daljavo. Ko ladja Monge ne izvaja testiranj in podpornih kampanj je stacionirana v Brestu (mesto in občina v severozahodni francoski regiji Bretanija). Dva ARMOR radarja na ladji Monge sta namenjena sledenju. Z njihovimi glavnimi žarki lahko opazujeta do 3 objekte hkrati do območja 4.000 km višine. ARMOR sledilni radarji ustvarijo visoko ločljivost podatkov o kotih (azimut in višinski kot) in podatkov območja. Kvaliteta ARMOR in TIRA podatkov je bila primerjana z visoko natančnimi efemeridami SPOT – 4. V on-line (po liniji) načinu so podatki iz Monge lahko obdelani in lahko generirajo TLE (two-line element set) sete podatkov. TLE je način

zapisa podatkov, ki se uporablja za prenos setov orbitalnih elementov, ki opisujejo orbite satelitov, ki krožijo okoli Zemlje. ARMOR sledenje podatkom in določanje orbit je bilo v preteklosti uporabno za podobne aplikacije podatkov kot so podatki TIRA, ki nudijo podporo za vstop tveganih objektov in napoved konjunkcije objektov. TIRA in ARMOR podatke lahko obdelujemo tudi za ustvarjanje SAR slik vesoljskih plovil. SAR (Synthetic-aperture radar) je oblika radarja, ki se uporablja za izdelavo slik objektov, kot je pokrajina. Antena SAR radarja se giblje čez območje cilja, katerega sliko izdeluje, tako, da zagotovi kar se da dobro prostorsko ločljivost. SAR antene so običajno nameščene na premični platformi, kot so letala in vesoljska plovila. SAR slike so nastale kot stranski produkt tega, kar radar zaznava (Klinkrad, 2002).



Slika 39: Ladja za sledenje Monge

5) Chilbolton radar

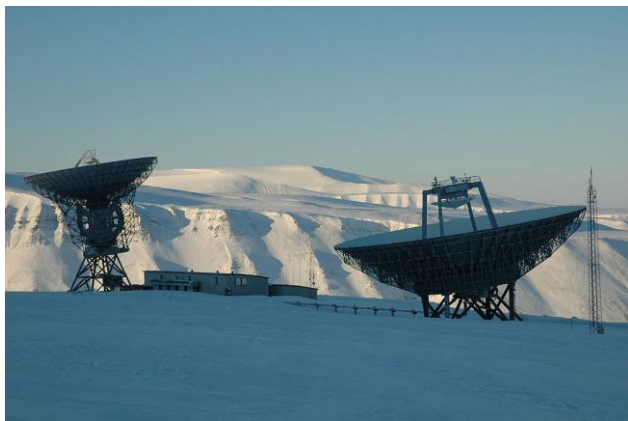
Chilbolton radar je lociran v Winchester v Veliki Britaniji in ga upravlja Raziskovalna enota za radijske komunikacije RCRU (Radio Communications Research Unit) Rutherford Appleton laboratorija (RAL). Ta eno pulzni radar, ki deluje v sistemu S – pasov (3GHz), ki imajo frekvenco od 2 – 4 GHz in valovno dolžino 1,5 dm – 7,5 cm, se trenutno v glavnem uporabljajo za atmosfersko / ionosferske raziskave in za radio komunikacijske raziskave. Radar ima 25 metrsko parabolično anteno, v obliki krožnika. Trenutni magnetronski oddajnik je bil zamenjan s potujočimi valovi z 120 kW, kar naredi radar bolj primeren za sledenje objektom v nizki Zemljini orbiti, s pričakovanim pragom zaznavanja objektov premera 10 cm na 600 km višine. V tej nadgradnji konstelacije Chilbolton radarja lahko sedaj ta prispeva kot sledilni senzor v evropski nadzorni sistem (Klinkrad, 2002).



Slika 40: 25 metrska antena Chilbolton observatorija (levo) in Chilbolton observatorij (desno)

6) The European Incoherent Scatter Radar (EISCAT) – evropski nepovezani (medsebojno neodvisni) raztreseni radar

EISCAT je kratica za evropsko nepovezan, raztresen sistem radarjev, znanstveno združenje omrežja nepovezanih raztresenih radarjev, ki so locirani v Tromso, Norveška (UHF oddajnik in sprejemnik), Kiruna, Švedska (UHF sprejemnik), Sodankylä, Finska (UHF sprejemnik) in Longyearbyen, Svalbard Norveška (UHF oddajnik in sprejemnik). EISCAT sistem se v glavnem uporablja za visoke širine atmosfere in ionosferskega raziskovanja ter za preučevanje interakcije med Soncem in Zemljo. Njegovi podatki kakorkoli vedno vsebujejo informacije o objektih v nizki Zemljini orbiti. Po nadgradnji sistema v Tromso na Norveškem in oddajnika z 32 m anteno, je ta sočasno s sprejemnikom izvedel kampanjo, ko je v 4,5 urah zaznal 56 objektov velikosti od 0,5 m do 1,9 cm premera, na višinah do 490 km. Ta poskus EISCAT izmere odpadkov ni bil dovolj, za določanje popolnih orbit objektov, pa vendar je med rutinskim raziskovanjem atmosfere pridobil dragocene podatke za potrjevanje za modela kataloga in delcev (Klinkrad, 2002).



Slika 41: EISCAT radar v Svalbardu, Norveška (levo) in EISCAT radar v Kiruni, Švedska (desno)



Slika 42: EISCAT radar v Tromso, Norveška (levo) in EISCAT radar v Sodankyla, Finska (desno)

Raziskovanja evropskih optičnih sistemov

Optični senzorji so v večini primerov uporabni za opazovanje objektov, ki presegajo višine nizke Zemljine orbite in so blizu pomembnega obroča geostacionarne Zemljine orbite. Optični teleskopi so bolj občutljivi od radarskih, zato so primernejši za opazovanje bolj oddaljenih objektov v vesolju. Razlog je enosmerna moč redčenja (cilj – teleskop) za optične sisteme, zaradi osvetlitve s strani Sonca, v nasprotju z dvosmerno močjo redčenja (radar – cilj – radar) za aktivno osvetljene cilje v primeru radarjev. Kot pomanjkljivost v primerjavi z radarji, je optično opazovanje omejeno s časom, primernim za opazovanje: (1) cilj mora biti osvetljen s strani Sonca, opazovalec pa mora biti v Zemljini senci, (2) izogibati se je potrebno nočem okrog polne Lune in (3) meteorološki pogoji morajo biti sprejemljivi. Zelo kvalitetni teleskopi imajo CCD detektorje (računalniško povezane naprave), ki so pogosto ohlajene za redukcijo termalnih šumov (šumov zaradi toplote) in imajo pogosto GPS časovno sinhronizirano elektroniko za odčitavanje. Evropa ima več optičnih sistemov, ki tvorijo del omrežja za nadzor in sledenje (Klinkrad, 2002).

1) ESA-in teleskop za vesoljske odpadke

ESA upravlja Zeiss-ovim teleskopom z eno metrsko odprtino, ki je lociran v Teide observatoriju na Tenerifih v Španiji. Teleskop je namenjen zaznavanju neznanih objektov v vesolju, med katere sodijo predvsem vesoljski odpadki in se tako ukvarja z raziskovanjem in karakterizacijo objektov v bližini geostacionarnega obroča. Teleskop je opremljen z Ritchey-Chrétien optiko, s pomočjo katere lahko zaznava in sledi objektom v bližini geostacionarne Zemljine orbite, velikosti pod 15 cm. ESA-in teleskop je tako eden boljših na svetu.

Med kampanjo v letu 1999, z 49 urnim obsevanjem brez prekinitve, je bilo mogoče identificirati 206 edinstvenih objektov, od katerih je bilo samo 27% povezanih s katalogom USSPACECOM. Med običajnimi kampanjami, ki jih izvajajo s tem teleskopom in med katerimi opazujejo obroč v bližini geostacionarne orbite, je običajno 75 % vseh odkritih objektov novih in niso zapisani v ameriškem katalogu vesoljskih objektov USSPACECOM (Klinkrad, 2002).

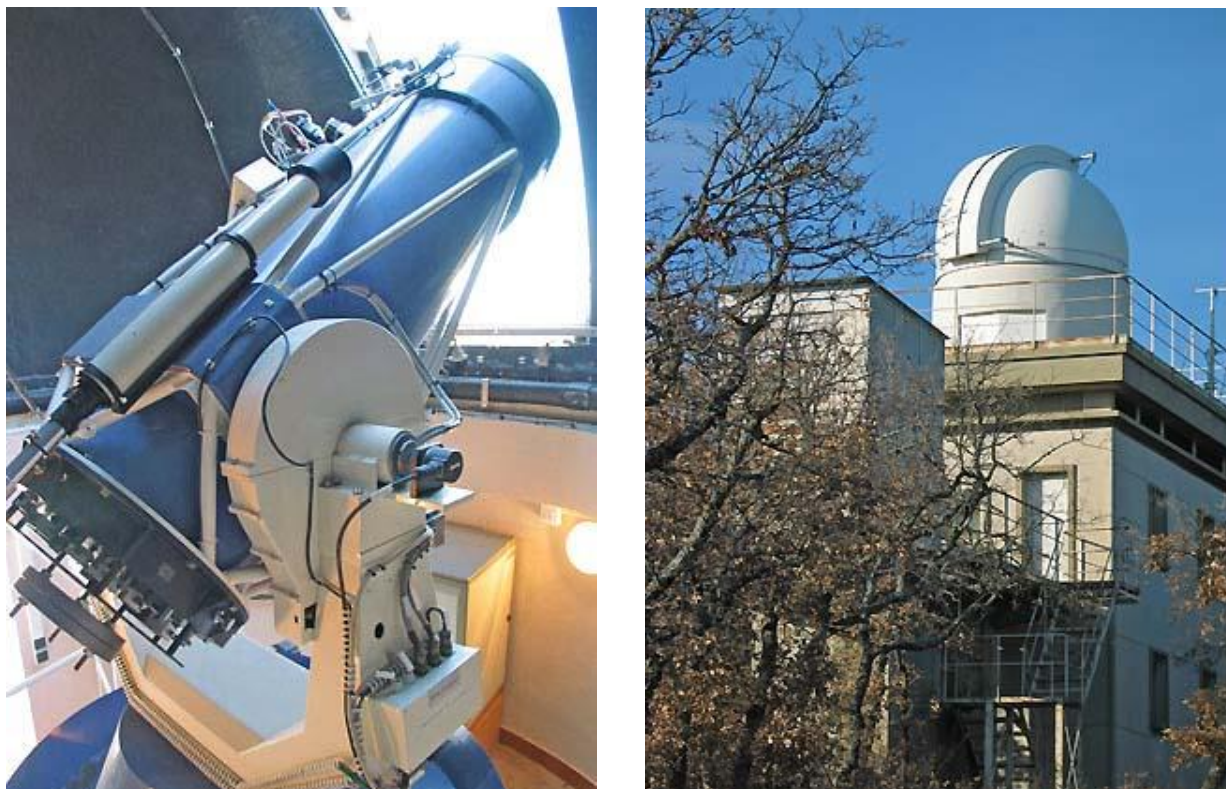


Slika 43: ESA-in 1-metrski Zeiss-ov teleskop za opazovanje vesoljskih odpadkov

2) SPOC in ROSACE teleskopi

Poskusni sistem za opazovanje neba SPOC (Système Probatoire d'Observation du Ciel) je optični vesoljski sistem za opazovanje in je del omrežja, ki sledi objektom francoskega DGA radarja, z lokacijami za opazovanje v Toulonu in Odeillo v Franciji. Vsaka od trenutnih dveh postaj ima 4 kamere, obrnjene proti zahodu, severu, vzhodu in vertikalno. Kamere so opremljene s CCD senzorji, kar v jasnih nočeh omogoča zaznavo 100 do 400 objektov, ki so tipično v 80 do 90% skladni s katalogom. Pridobljene podatke o izmerjenem azimutu in višinskem kotu pa lahko obdelamo tako, da dobimo začetne orbite (Klinkrad, 2002).

Francoska vesoljska agencija CNES (Centre national d'études spatiales), je uporabljala ROSACE Newton tip teleskopa za opazovanja počasi se premikajočih objektov v bližini geostacionarne orbite in določitev orbit geostacionarnih telekomunikacijskih satelitov. Lahko pa se uporablja tudi za odkrivanje drugih manjših delcev v geostacionarne pasu. Teleskop ROSACE je nameščen na strehi objekta in ima 50 cm odprtine ter CCD kamero. Z njim določajo orbite, na bazi preciznega azimuta in smeri višinskega kota. V letu 2001 je bilo izvedenih 53 testnih kampanj za potrditev določitve geostacionarnih orbit proti merjenim francoskim T2A in T2D satelitov. Francoska vesoljska agencija CNES namerava združiti uspešnost ROSACE teleskopa s fleksibilnostjo TAROT teleskopa, ki je lociran na Calern Plateau (Francija). TAROT ima 25 cm odprtino in je opremljen s CCD senzorji ter hitrim odčitavalnim časom 2 sekund. CNES namerava uporabiti TAROT kot instrument za odkrivanje, ki potem posreduje ključne informacije do ROSACE teleskopa za nadaljnje meritve in naknadno izven linijsko določitev orbit objektov v in blizu območja geostacionarne orbite (Klinkrad, 2002).



Slika 44: ROSACE teleskop (levo) in kupola teleskopa (desno)

3) PIMS teleskop

Pasivni metričen senzor za slikanje PIMS (Passive Imaging Metric Sensor), je optičen sistem za nadzor geostacionarne Zemljine orbite in globokega vesolja, ki ga upravlja Ministrstvo za obrambo Velike Britanije. PIMS teleskop je lociran v Herstmonceux (Velika Britanija), na Gibraltarju in na Cipru. Trije senzori pokrivajo obroč 65° zahodno do 100° vzhodno geostacionarne orbite. Višinski azimut nameščen na Cassegrain tipu teleskopa ima zaslonke 40 cm in vidno polje 40 arcmin x 40 arcmin. Slike so zajete na CCD senzorjih velikosti 1024 x 1024 pikslov, ki se lahko odčitajo v manj kot 5 sekundah. PIMS sistem lahko odkriva in zaznava objekte v geostacionarni Zemljini orbiti do premera enega metra, z natančnostjo pozicije boljšo od 10 μ rad (Klinkrad, 2002).

4) Zimmerwald teleskop

Astronomski inštitut Univerze v Bernu AIUB (Astronomisches Institut Universitat Bern), v Švici, upravlja Cassegrain teleskop, z Ritchey Chrétien optiko z odprtino 1 m in širokim vidnim poljem. Teleskop ima nameščen azimut in višinski kot, kar pomeni da se vrti po horizontali in vertikali, in je nameščen v hemisferični, zložljivi kupoli. Iz njegove lokacije lahko senzori pokrijejo sektor večji od $\pm 100^\circ$ obroča geostacionarne Zemljine orbite. Slike so narejene s CCD senzorji z velikostjo 2048 x 2048 pikslov. Zimmerwald teleskop je bil uporabljen kot test za potrjevanje postopkov in predelave algoritmov ESA – inih teleskopov. Med dvema kratkima opazovalnima kampanjama v letu 2000 je instrument zaznal 75 nepovezanih objektov v geostacionarni Zemljini orbiti (Klinkrad, 2002).



Slika 45: Zimmerwald observatorij

Nadaljnji razvoj evropskega sistema za nadzor vesolja

V preteklosti sta samo nemški FGAN/TIRA radar in francoski ARMOR radar bila sposobna zagotoviti dodatne orbitalne informacije o nepovezanih ciljnih, ki sta jih opazovala. Vsi ostali instrumenti so bili odvisni od začetnih USSPACECOM podatkov, ki prispevajo 94% vseh objektov, ki so v katalogu. Situacija se je nato izboljšala s francoskim GRAVES sistemom, ki je razvil elektronsko ograjo v vesolju, s pomočjo katere je zaznavanje objektov lažje in učinkovitejše. Ta zazna in določi začetne orbite objektov, ki so manjši od enega metra in gredo skozi omenjeno ograjo. Te informacije so uporabne za dodatne naloge senzorjev. GRAVES sistem je trenutno edini senzor za opazovanja v nizki Zemljini orbiti, ki opravlja pravi nadzor vesolja, s tem, da je sam začel graditi katalog z začetnim procesom določanja orbit in povezovanjem znanih objektov z znanimi objekti. S svoje lokacije lahko GRAVES opazuje do 85% sedanjih objektov USSPACECOM kataloga. Z uvajanjem več oddajnikov, trenutno sta dva, in več sprejemnikov, trenutno je eden, bi lahko tako podaljšali zmožnosti in zmogljivosti sistema ter njegovo občutljivost. Eksperimenti v parku žarkov, združevanje učinkovitih oddajnikov (FGAN oddajnikov) z veliko sprejemno anteno (Effelsberg anteno) in drugimi meritvami v kontekstu z atmosferskimi raziskovalnimi radarji (EISCAT radarji), bi dodali statistično vedenje o centimetrsko velikih objektih v nizki Zemljini orbiti (Klinkrad, 2002).

Zaradi omejitve obsega radarjev, ki so primernejši za opazovanje objektov v nizkih Zemljinih orbitah, se za opazovanje objektov na velikih razdaljah, zlasti na geostacionarnih višinah, uporabljajo teleskopi. ESA-in 1 metrski Zeissov teleskop na Tenerifih je že pokazal svoje zmogljivosti pri zaznavanju neznanih vesoljskih objektov v višjih Zemljinih orbitah. Z vzpostavitvijo več drugih inštrumentov, v Veliki Britaniji, Franciji in Švici pa si lahko obetamo podobne, primerljive predstave (Klinkrad, 2002).

Eksperimentalne kampanje v parku žarkov FGAN radarjev, ki opazujejo objekte premera pod 10 cm, v povezavi z Effelsberg 100 metrskim radio teleskopom in povratnim radarskim signalom, ki so ga opazovali z EISCAT sistemom, lahko zaznavajo objekte, ki so manjši od premera 1 cm. Trenutni status zmožnosti Evropskih radarjev in optičnih sistemov ter njihove zmožnosti prispevati k Evropskemu nadzoru in spremljanju vesoljskega sistema so predstavljene zgoraj. Njihove že opravljene raziskave in težnja po izboljšanjem Evropskem nadzornem sistemu, predvsem s

povezovanjem instrumentov med seboj, pa jasno izkazujejo pomemben napredek in težnjo po izboljšanju in nadgradnji. Obstoječi eksperimentalni in operativni radarji in optični senzorji v povezavi z ustrežno strojno in programsko opremo za obdelavo merjenih podatkov kažejo njihovo ustreznost za nadaljnji razvoj in usklajevanje programa evropskega vesoljskega nadzornega sistema (Klinkrad, 2002).

Evropske države preko svojih nacionalnih vesoljskih agencij ali ministrstev za obrambo ter Evropska vesoljska agencija, z nabavo več novosti in nadgradnjo obstoječih objektov in observatorijev, gredo z opazovanjem objektov preko Zemljinega orbitalnega okolja, do in preko višine geostacionarne Zemljine orbite in vedno boljši podatki, ki jih z instrumenti lahko pridobivamo, vodijo do samostojnega operativnega statusa sistema (Klinkrad, 2002).

ESA-in teleskop za opazovanje vesoljskih odpadkov, francoski ROSACE / TAROT sistem in PIMS senzorji Velike Britanije, v kombinaciji s povezano strojno in programsko opremo za obdelavo, so dokazali da lahko odkrivajo objekte v geostacionarni Zemljini orbiti, precej pod navedenim pragom velikosti USSPACECOM kataloga, ki je 1 m premera. Vsi ti sistemi lahko korelirajo opazovanja z znanimi objekti ali identificirajo nove, z dobro natančnostjo določitve orbite in fotometričnimi prstnimi odtisi zaznanih predmetov. Za opazovanje območij višine med nizko in geostacionarno Zemljino orbito, pa bo morda potrebno obstoječe tehnike optičnega opazovanja prilagoditi tako, da bodo sprejela večje povprečno gibanje vesoljskih objektov, ki se tam gibljejo, zato da jim bo moč slediti (Klinkrad, 2002).

Nadgradnja in posodobitev Nemškega FGAN / TIRA radarja in Francoskega ARMOR radarja za sledenje in slikanje znanih objektov v nizki Zemljini orbiti, je sledilo visokim mednarodnim standardom v zvezi z občutljivostjo in natančnostjo. Nadaljnji radarski senzorji francoskih DGA radarjev in nadgrajeni velikobritanski Chilbolton radar bi se lahko uporabili za kritje dodatnih nalog sledenja, z nižjimi zahtevami glede občutljivosti. Vsi ti radarski senzorji bi lahko opravljali naloge nadgrajenega GRAVES sistema ali novega namenskega sistema z izboljšanimi zmogljivostmi, s čimer bi se lahko izognili trenutni odvisnosti od USSPACECOM sistema (Klinkrad, 2002).

V konzorciju nekaterih najbolj izkušenih razvijalcev v Evropi se študira katere korake je potrebno sprejeti, da bi prišli do neodvisnega evropskega vesoljskega nadzornega sistema. V izdelavi so alternativni predlogi sistemov z različnimi leveli stroškov, kompleksnostjo in zmožnostmi (Klinkrad, 2002).

ESA in evropske države, z zmožnostmi nadzora vesolja, delajo vse v smeri neodvisnosti od začetnih objektov in orbitalnih informacij, ki jih daje USSPACECOM, od katerih so odvisne danes. Ta odvisnost se lahko zmanjša in na koncu reši z instalacijo operativnega evropskega omrežja za vesoljski nadzor, na katerem se trenutno pospešeno dela. Industrijska raziskava, sponzorirana s strani ESA, trenutno analizira kako se lahko obstoječa sredstva najučinkoviteje uporabijo in kateri nov razvoj dogodkov bi bilo potrebno izvesti, da bi dosegli avtonomen zmožen evropski nadzor, da bi odpravili številne ovire in predvsem omogočili povezovanje ter izmenjavo informacij med vesoljskimi agencijami, ministrstvi za obrambo ter drugimi institucijami, ki v različnih državah upravljajo z instrumenti za nadzor vesolja, v skladu s skupno evropsko odgovornostjo. Drugo vprašanje, ki ga je

potrebno rešiti pa je cena uvajanja in obratovanja evropskega vesoljskega nadzornega omrežja. Oba, tehnični administrativni in finančni vidik bo potreboval programatične odločitve na visoki ravni na evropskem nivoju, da bomo dosegli enoten, neodvisen evropski sistem za nadzor vesolja (Klinkrad, 2002).

4.3.2.2 Sistem Združenih držav Amerike za nadzor vesolja

United States Strategic Command, je ena od devetih enot ameriškega ministrstva za obrambo, zadolžena za vesoljske operacije, obveščevalne dejavnosti, protiraketno obrambo, za globalni nadzor in izvidništvo, ki vzdržuje katalog z do sedaj znanimi orbitalnimi objekti. Seznam objektov je bil sprva pripravljen za preprečitev napačnih razlag o sovražnih raketah. Ta verzija seznama je bila sestavljena leta 2009, v katerem je bilo zabeleženih 19.000 objektov. Opazovani podatki so bili zbrani s številno zemeljsko radarsko opremo in teleskopi ter, kolikor je bilo mogoče, tudi z vesoljskimi teleskopi, ki se uporabljajo za vzdrževanje tega kataloga. Kljub razviti tehnologiji in opremi večina pričakovanih odpadnih objektov na žalost ostane neopaženih. V orbiti je več kot 600.000 objektov večjih kot en centimeter.

Sistem Združenih držav Amerike za nadzor vesoljskih odpadkov

Gre za NASA – in program za vesoljske odpadke.

Opazovanje vesoljskih odpadkov v bližnji Zemljini orbiti se opravlja s pomočjo zemeljskih in vesoljskih instrumentov za opazovanje vesoljskih odpadkov. Za pridobivanje podatkov se uporabljajo zemeljski optični in radarski sistemi, vesoljski teleskopi in analize objektov, ki se vrnejo na Zemljo in so bili izpostavljeni vesoljskemu okolju. Nekateri viri pomembnih podatkov so tudi Mreža za nadzor vesolja Združenih držav Amerike, Haystack X – Band radar in vrnjeni deli Solar Max, Long Duration Exposure Facility (LDEF), neke vrste teleskop, sestavljen iz več različnih materialov, ki so bili izpostavljeni vesoljskim vplivom, z namenom preučevanja vesoljskega okolja, Hubblov vesoljski teleskop in vesoljsko plovilo Space Shuttle.

1) Optična merjenja vesoljskih odpadkov

Optični teleskopi in radarji so instrumenti, ki se uporabljajo za pridobivanje bolj kompleksnih slik o okolju vesoljskih odpadkov. Vsak od uporabljenih instrumentov vidi nekoliko drugačno sliko vesoljskih odpadkov. Nekateri vesoljski objekti so bolj vidni z radarskimi teleskopi, nekateri pa z optičnimi, zato za pridobitev celotne slike o vesoljskih odpadkih uporabljamo kombinacijo obeh. O prednosti enih in drugih smo že govorili.

Za opazovanje vesoljskih odpadkov NASA uporablja dva optična teleskopa: 3 metrski tranzitni teleskop s tekočim ogledalom. To je teleskop, ki ima ogledala narejena iz odsevne tekočine, opremljen s CCD kamero, poimenovan tudi kot CCD teleskop za vesoljske odpadke. Trenutno optična merjenja vesoljskih odpadkov potekajo z MODEST, MCAT in NASS projekti in OMC Laboratorijem, ki so predstavljeni v nadaljevanju.

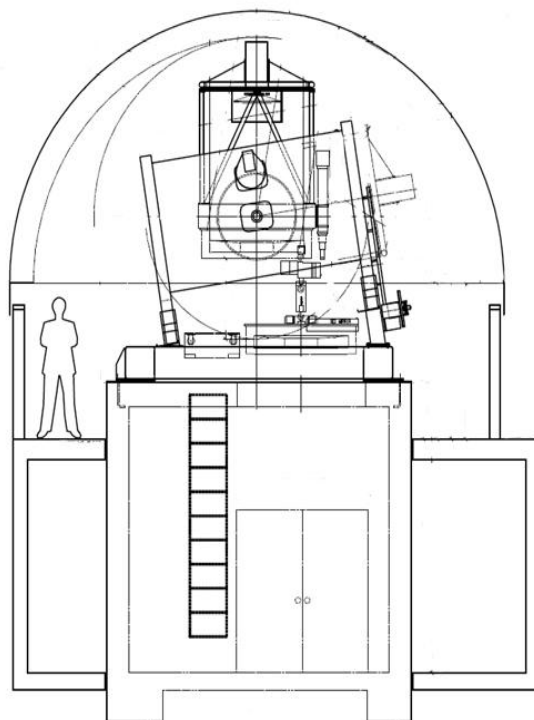
1.1) MCAT

NASA sodeluje z Observatorijem na Mauiu (Havaji), ki je optični in računalniško visoko zmogljivi observatorij AMOS (Air Force Maui Optical and Supercomputing), ki je del znanstveno raziskovalne organizacije Air Force Research Laboratory, AFRL, z namenom pridobivanja boljših in natančnejših podatkov ter z namenom razširitve vidnega polja, z 1,3 metrskim teleskopom za raziskovanje vesoljskih odpadkov na Ascension otoku, v Južnem Atlantiku. Sistem teleskopov imenovan MCAT,

Meter Class Autonomous Telescope, je bil dizajniran in konstruiran s pomočjo inženirjev podjetja DFM Engineering in se bo začel uporabljati leta 2014.

Ascension otok je britanski teritorij lociran v Atlantskem oceanu, med Brazilijo in Afriko. MCAT bo lociran v bazi Ameriškega oddelka za zračni nadzor (US Air Force). Ta otok je bil izbran zaradi lege na nizki geografski širini, ki zagotavlja nizko inklinacijo nizke Zemljine orbite, geostacionarne Zemljine orbite in geostacionarne prenosne (prehodne) orbite, kot ciljnih orbit. Zagotavlja vidnost geostacionarnega pasu, ki ni viden z nobenimi drugimi obstoječimi zemeljskimi senzorji znotraj Zemeljskega elektro-optičnega omrežja za nadzor globokega vesolja GEODSS (Ground Based-Electro-Optical Deep Space Surveillance). Lega na tem oddaljenem otoku zagotavlja tudi temnost neba za astronomska opazovanja, ki je posebno pomembna za opazovanje majhnih in šibkih odpadkov ter ima odlično infrastrukturo in osebe za dolgoročno logistično podporo in vzdrževanje.

Uporaben 15 μm piksel, osvetljen od zadaj, spektralni CCD instrument MCAT bo imel diagonalno vidno polje blizu ene stopinje in bo operativen v različnih avtonomnih modulih. V času polteme bo primeren za opazovanje vesoljskih odpadkov v nizki Zemljini orbiti, v času noči pa bo opravljal običajno raziskovanje geostacionarne Zemljine orbite. Možna bodo tudi usmerjena iskanja. Glede na svojo občutljivost lahko zazna odpadke velikosti od 10 do 15 cm v geostacionarni Zemljini orbiti in do 1 cm v nizki Zemljini orbiti. Pričakuje se, da bo MCAT pomembno prispeval k razumevanju okolja vesoljskih odpadkov okrog naše Zemlje.



Slika 46: Prerez MCAT teleskopa, ki prikazuje teleskop, montažo in kupolo

1.2) MODEST

Observatorij za odpadke v geosinhroni Zemljini orbiti izvaja opazovanja skozi celo leto, z uporabo Curtis Schmidt teleskopa Univerze v Michiganu, ki je lociran v med ameriškim observatorijem Cerro Tololo v Čilu. Sistem MODEST (Michigan Orbital DEbris Survey Telescope) vsebuje 0,61 metrski

Schmidtov klasični teleskop, z vidnim poljem 1,3 x 1,3 stopinje, s standardnim časom osvetlitve 5 sekund. Za opazovanje zanimivim vesoljskim odpadkom se MODEST pogosto uporablja v povezavi z 0,9 metrskim SMARTS teleskopom. Po začetnem odkritju z MODEST teleskopom se za nadaljnja opazovanja uporablja SMARTS teleskop, kar ima pogosto za posledico pridobljenih nešteto podatkov o nekatalogiziranih, vedno novih vesoljskih odpadkih.



Slika 47: MODEST, Cerro Tololo Inter-American Observatory in Chile

1.3) NASS

NASS sistem se pri preučevanju okolja vesoljskih odpadkov ukvarja predvsem z ugotavljanjem materialov iz katerih so vesoljski odpadki narejeni. Pri karakterizaciji vesoljskega okolja tako upoštevata fizikalne lastnosti vesoljskih odpadkov. Te lastnosti so upoštevane v trenutnem modelu vesoljskega okolja in pri izgradnji zaščite za vesoljska plovila, kot tudi pri vseh nadaljnjih študijah vesoljskega okolja. O nekaterih od teh lastnosti, vključno s tipom materiala, lahko samo sklepamo. Vsaka vrsta materiala prikazuje drugačen spekter, ki temelji na njihovi sestavi. Z uporabo spektroskopije in primerjavo lastnosti absorpcije ter celotno obliko spektra, je mogoče ugotoviti vrsto materiala, iz katerega so narejeni odpadki, ki krožijo tako v nizki Zemljini orbiti, kot tudi v geosinhroni Zemljini orbiti.

NASS je začel izvajati opazovanja v maju 2001, z zbiranjem podatkov v 23 nočeh. Trenutno ima zbrane podatke o več kot 60 raketah in vesoljskih plovilih, z uporabo 1,6 metrskega teleskopa v observatoriju na Mauiu (Havaji), Air Force Maui Optical Supercomputing (AMOS). Ustvarili so bazo podatkov, ki vsebuje podatke o materialih iz katerih so narejeni odpadni deli raket in drugih vesoljskih plovil, ki so del vesoljskega okolja in predstavljajo nevarnost za delujoče objekte v vesolju. Pri opazovanjih in dopolnjevanju baze podatkov si pomagajo tudi z infrardečim teleskopom za opazovanje objektov IRTF (Infrared Telescope Facility), lociranim na otoku Mauna Kea na Havajih.

1.4) Center za optična merjenja OMC (Optical Measurements Center)

Optična opazovanja vesoljskih odpadkov kažejo, da radarska merjenja prinašajo celovitejši opis posameznih kosov odpadkov in vesoljskega okolja kot celote. Ampak odkar se optična merjenja

izvajajo v različnih delih elektromagnetnega spektra z valovno dolžino veliko manjšo kot so dostopni vesoljski odpadki, je z njimi možno raziskovati fizikalne lastnosti, ki jih običajno z radarskimi merjenji ni mogoče zaznati.

Na primer, časovno odvisna fotometrična merjenja, pridobljena z več pasovnimi podatkih, pomagajo pri identifikaciji materiala in oceni periode pri orientaciji objekta. Ti podatki so lahko prav tako uporabni za identifikacijo oblike in optičnih lastnosti pri večfaznih kotih. Izkoristek optičnih podatkov in njihova uporaba za ustvarjanje bolj celovitega razumevanja orbitalnih vesoljskih objektov je ključni cilj NASA–inega programa optičnih merjenj (Optical Measurement Program) in glavni dejavnik za ustanovitev Centra za optična merjenja OMC. Center za optična merjenja poskuša posnemati vesoljske pogoje osvetlitve z uporabo opreme in tehnologije, z uporabo vzporednih teleskopskih opazovanj in orientacijo izvirno ciljnih senzorjev. Center za optična merjenja uporablja 75 vatno Xenon arc vzporedno svetilo, kot sončni simulator in CCD kamero za zaznavanje valovnih dolžin med 350 in 1100 nm, s konvencionalnim astronomskim barvnim filtrom in robotsko roko za vrtenje objektov, s katero simulira vrtenje objektov v orbiti. Visoka resolucija, visoka pasovna dolžina (350 – 2500 nm) in analitične spektralne naprave, spektrometri, ki služijo tudi za izhodiščno določitev tipov različnih materialov, iz katerih so objekti, so zanesljiva referenca za filtriranje fotometričnih ocen teh materialov.

Laboratorijski podatki so direktno primerljivi z fotometričnimi podatki zbranimi v Cerro Tololo medameriškem observatoriju z 0,9 metrskim SMART in 0,6 metrskim MODEST teleskopom za boljše razumevanje okolja vesoljskih odpadkov v geosinhroni zemeljski orbiti. Do sedaj so raziskovali znane materiale, sestavljene iz aluminijeve zlitine, ki se nahajajo v vesolju. To so materiali iz vesoljskih plovil, materiali z izvedenimi testi na poskusnih satelitih, ki nastanejo ob trkih z visoko in nizko hitrostjo in odpadki s poskusnega Arian 4 tanka. Ti materiali sestavljajo več plastno izolacijo, sončne celice, plastiko, ogljikova vlakna ojačene plastike, plastiko ojačeno s steklenimi vlakni in različne vrste kovin in vplivajo na obliko in velikost objektov.

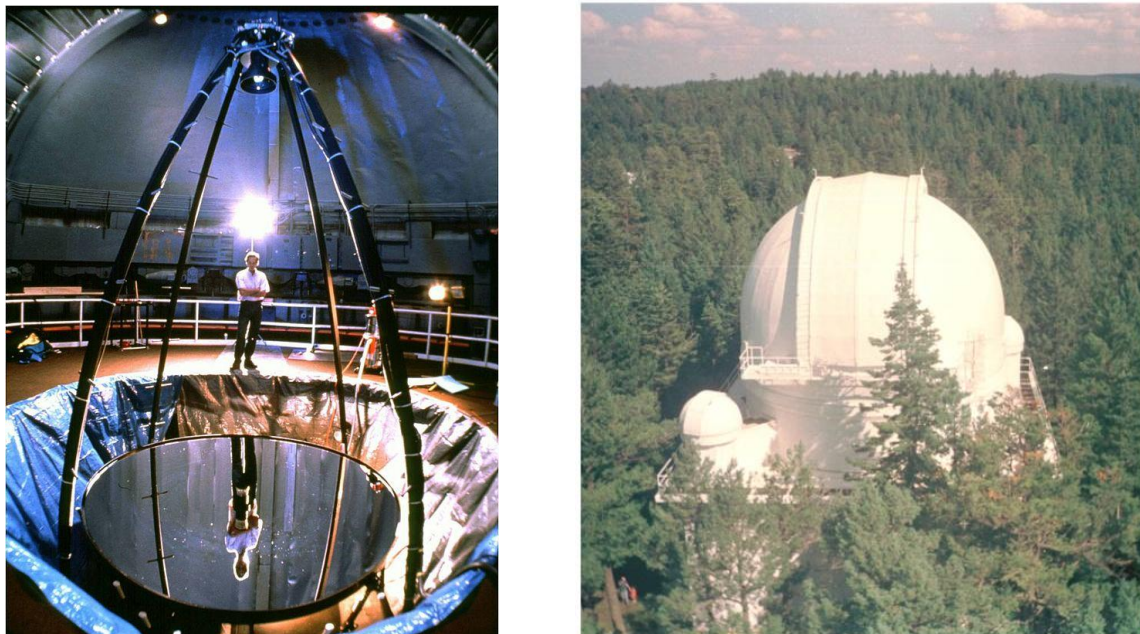
Namen Centra za optična merjenja je proizvodnja svetlobne krivulje, ki predstavlja okolje vesoljskih odpadkov z namenom boljšega razumevanja njihovih lastnosti in s tem boljše ocenitve potencialnega tveganja, ki ga ti odpadki predstavljajo.

1.5) Teleskop s tekočim zrcalom (Liquid Mirror Telescope (LMT))

Teleskop s tekočim zrcalom je iznašla NASA in ga je nato predstavila v Cloudcroft v Novi Mehiki, z namenom izmeriti populacijo majhnih vesoljskih odpadkov. Teleskop s tekočim zrcalom ima obliko tri metrskega paraboličnega krožnika, ki drži 4 litre tekočega predelanega živega srebra. Centrifugalna sila in gravitacija povzročita, da se živo srebro v tanki plasti dvigne nad posodo, v kateri je, in ustvari odsevno, parabolično površino, katerega optična kakovost je primerljiva s konvencionalnimi poliranimi steklenimi zrcali. Za zagotavljanje zahtevane stabilnosti, je ogledalo nameščeno na precizen ležaj v zraku. S stremenjem naravnost navzgor, je teleskop sposoben opazovati vesoljske odpadke in nebesne objekte, ki gredo nad njim. Sistem video kamere za slikanje je uporaben za opazovanja odpadkov in odkritja objektov velikosti 1 cm premera, v nizki Zemljini orbiti.

Teleskop je postal del NASA–inega observatorija za vesoljske odpadke NODO (Orbital Debris Observatory), ob začetku rednega obratovanja v letu 1995. Ta observatorij, s 50 metrsko kupolo je zgradil Ameriški oddelek za zračni nadzor (US Air Force), za satelitska opazovanja in študije raketnih izstrelitev. V tej 50 metrski kupoli je prej, od 1965 do 1982, deloval 1,2 metrski teleskop Cassegrain, in nato je kupola postala dom za NASA – in teleskop s tekočim zrcalom. Kupola je locirana v bližini

Cloudcroft v Novi Mehiki, na 2.770 metrih višine, ki zagotavlja odličen pogled v nebo. Opazovanja se izvajajo vsako jasno noč, od leta 2001. Narejenih je bilo že več kot 1.300 ur opazovanj vesoljskih odpadkov in nastala je baza podatkov enega najbolj celovitih optičnih setov opazovanj vesoljskih odpadkov do danes.



Slika 48: Teleskop s tekočim ogledalom (levo) in kupola teleskopa s tekočim zrcalom (desno)

1.6) CCD teleskop za opazovanje vesoljskih odpadkov (CCD Debris Telescope (CDT))

CCD teleskop za opazovanje vesoljskih odpadkov je prenosni 32 centimetrski Schmidtov teleskop, ki je bil razvit za merjenje optičnih lastnosti znanih vesoljskih odpadkov. Uporabljal se je v mnogo kampanjah, vključno z Novo Zelandijo 1989 leta, dvema poletjema 1990 in 1991 na Rattlesnake Mountain Observatory v Washington State, kot tudi na pol stalni instalaciji na Maui na Havajih od 1992 – 1995 leta, kje je opravljal opazovanja v geostacionarni Zemljini orbiti. Leta 1997 je bil CCD teleskop prenesen v NASA – in observatorij za opazovanje vesoljskih odpadkov NODO, v Cloudcroft v Novi Mehiki, kjer se je pridružil teleskopu s tekočim zrcalom. Z obstoječimi senzorji lahko CCD teleskop vidi zelo šibke objekte. Zazna lahko objekte velikosti 0,8 m premera v geosinhronih orbitah.

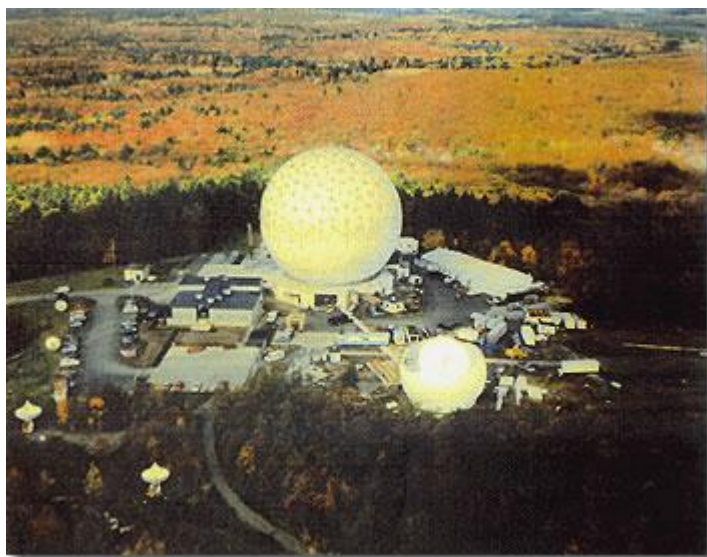


Slika 49: CCD teleskop za opazovanje vesoljskih odpadkov (CDT)

2) Radarska merjenja vesoljskih odpadkov

Glavni NASA - in instrument za opazovanje vesoljskih odpadkov velikosti od 1 do 30 cm je Haystack radar. Haystack radar upravlja MIT Lincoln Laboratorij, ki zbira podatke o vesoljskih odpadkih za NASA–o od leta 1990, v skladu s sporazumom z Ministrstvom za obrambo Združenih držav Amerike. Haystack opazovalnica je astronomski observatorij, lociran v Westfordu, Massachusettsu v Združenih državah Amerike. Njegov prvotni namen je raziskovanje in opazovanje objektov na podlagi zaznavanja mikrovalov, s pomočjo zelo velike sprejemne antene. Haystack zbira vzorce vesoljskih odpadkov usmerjen v izbrano smer in zaznava objekte, ki letijo skozi njegovo vidno polje. Podatki, ki jih na ta način pridobi, so uporabni za karakterizacijo populacije vesoljskih odpadkov po velikosti, višini in naklonu. Znanstveniki so iz teh merjenj ugotovili, da obstaja več kot 500.000 delcev odpadkov velikosti pod enim centimetrom.

NASA prav tako zbira podatke s pomočjo Haystack pomožnega radarja HAX (Haystack Auxiliary Radar), lociranega zraven glavne Haystack antene. Čeprav je HAX manj občutljiv od Haystack radarja, delujeta v različnih valovnih dolžinah (HAX 1.8 cm in Haystack 3 cm) in ima širše vidno polje.



Slika 50: Haystack X-Band Radar - MIT Lincoln Laboratory

NASA uporablja tudi druge radarske sisteme za opazovanje vesoljskih odpadkov in z njimi sodeluje pri različnih kampanjah. Goldenstone radar GDSCC (Goldstone Deep Space Communications Complex) ali Goldstone observatorij je lociran v Združenih državah Amerike v puščavi Mojave v Kaliforniji, namen je sledenju in komuniciranju z vesoljskimi misijami. Eden od radarskih sistemov se nahaja na Floridi, Kwajalein Atoll kompleks ameriške vojske USAKA in Millstone radarski sistem v Massachusetts ter Perimeter Acquisition Characterization Radar System, PARCS, v Severni Dakoti.

NASA je sodelovala tudi pri odkrivanju vesoljskih odpadkov s FGAN radarjem lociranim v Nemčiji.



Slika 51: Kwajalein Radar Complex (levo) in Millstone Radar (desno)

4.3.3 Opazovanje vesoljskih odpadkov s pomočjo vplivov, ki jih ti pustijo na površinah vesoljskih plovil in drugih objektov

Vesoljske odpadke manjše od enega milimetra ni lahko zasledovati z zemeljskimi radarji ali optičnimi teleskopi. Vesoljske meritve, preučevanje površin objektov, ki so bili izpostavljeni vesoljskim vplivom in so se vrnili na Zemljo, so edini način za opis podmilimetre populacije vesoljskih odpadkov. Trki vesoljskih plovil z zelo majhnimi delci vesoljskih odpadkov in meteoriti pustijo na površini pomembne informacije o vesoljskem okolju. Deli vesoljskih plovil, ki se vrnejo na Zemljo, so pokazali, da so vesoljska plovila izpostavljena trkom z majhnimi delci v vesolju in so zato imela nešteto majhnih kraterjev, ki so posledica trka pod zelo velikimi hitrostmi, s katerimi se gibljejo majhni odpadki v vesolju. V veliki večini primerov so ti kraterji tako zelo majhni, da nimajo nikakršnega vpliva na delovanje vesoljskega plovila. Kakorkoli z njihovo obravnavo dobimo pomembne podatke o virih vesoljskih odpadkov in stopnji, s katero se ti spreminjajo. Poleg tega, delci materiala, ki ostanejo od odpadkov, v nastalem kraterju na površini objektov, ki se vrnejo na Zemljo, prinašajo pomembne informacije o kemični sestavi delcev v vesolju.

NASA ima dolgo tradicijo z izvajanjem eksperimentov v vesolju, za preučevanje mikrometeoritov in vesoljskih odpadkov. Eden od takih eksperimentov sta bila Explorer in Pegazu satelita v zgodnjih 1960 – ih letih. Najpomembnejši pa je Long Duration Exposure Facility (LDEF), objekt, ki je bil več let izpostavljen vesoljskim vplivom, z namenom preučevanja vesoljskega okolja in njegovih vplivov na različne materiale. Long Duration Exposure Facility je bil vesoljsko plovilo v velikosti avtobusa, ki se je po 5,7 letih iz nizke Zemljine orbite vrnil na Zemljo. Po analizi vrnjenega objekta so na njem našli več kot 20.000 zadetkov, od katerih je bilo 1.000 kemično analiziranih, z namenom ugotovitve originalnega izvora delca, ki je za seboj na objektu pustil sled. Ta merjenja so NASA–inim znanstvenikom prinesla pomembne informacije, ne samo o mikrometeoritih in populaciji vesoljskih odpadkov, ampak tudi o njihovi razporeditvi v orbiti.

Kritične površine vesoljskih plovil, kot so okna na vesoljskih ladjah, se po vsakem povratku na Zemljo temeljito preučijo. Ostale izpostavljene površine vesoljskih objektov, ki so jih še preučevali in so prispevale pomembne informacije o obnašanju in populaciji vesoljskih odpadkov, so iz Solar Max satelita in Hubblovega vesoljskega satelita, ko sta se vrnila na Zemljo. V povprečju zamenjajo dve okni na vesoljski ladji na misijo, zaradi poškodb, ki jih povzročijo mikrometeoriti in vesoljski odpadki. Vplivi, ki jih na oknih in motorjih vesoljskih ladij pustijo delci vesoljskih objektov, se pregledajo po vsaki vrnjeni misiji. Analizirani rezultati so del baze podatkov NASA–inim znanstvenikov, ki jih uporabljajo za preučevanje okolja vesoljskih odpadkov in mikrometeoritov, velikosti manjših od milimetra.



Slika 52: Long Duration Exposure Facility (LDEF)

Drugi pomemben poskus, ki se je izvajal v vesolju, po katerem so preučevali izpostavljene površine vplivom vesoljskega okolja, je vključeval Zbiralnik odpadkov v orbiti ODC (Orbital Debris Collector), ki je bil del Mir Environmental Effects Payload (MEEP) eksperimenta in the Mir Solar Array Returned eksperimenta (SARE).



Slika 53: Zbiralnik odpadkov v orbiti (Orbital Debris Collector (ODC))

4.3.4 Opazovanje iz vesolja

Objekti v vesolju se spremljajo in opazujejo tudi iz vesolja, z instrumenti, ki so bili s tem namenom poslani v vesolje ter preko analize objektov, ki v vesolju opravljajo druge naloge ali, ki so se iz misije vrnili na Zemljo, in so tako bili izpostavljeni vplivom vesoljskih objektov, v tem primeru odpadkom, s katerimi vedno bolj pogosteje trkajo. Vesoljski odpadki, ki padejo na Zemljo, so dragocen vir informacij o okolju in obnašanju vesoljskih odpadkov. Ti podatki so pomembni predvsem za analizo manjših naplavin v vesolju, ki jih z Zemeljskimi instrumenti ne moremo zaznati, pa vendar so v vesolju še kako prisotni.

4.3.4.1 Izpostavljene površine in detektorji učinka

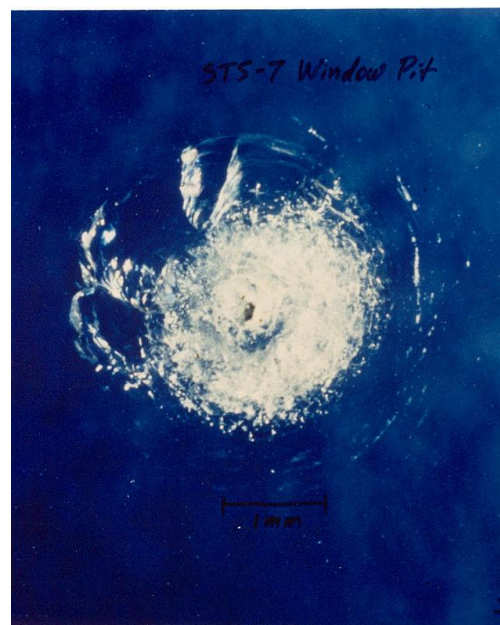
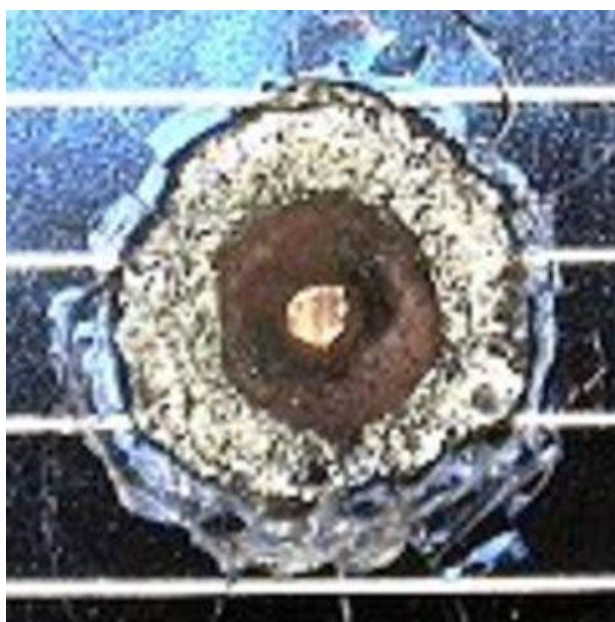
Informacije o odpadkih manjših od milimetra lahko pridobimo z analizo površin vesoljskih plovil, po vrnitvi objektov in misij na Zemljo, ki so bile v vesolju izpostavljene vplivom vesoljskega okolja. Podobne informacije lahko pridobimo tudi s pomočjo namenskih odpadkov in detektorjev prahu, ki so namensko narejeni tako, da lovijo delce, ki vplivajo nanje za nadaljnjo analizo. Večina od njih po tem na svoji površini vsebuje ključne elemente za nadaljnjo analizo in preučevanje vpliva vesoljskih odpadkov. Zaradi velikih stroškov, so ti namenski objekti za analizo vesoljskih odpadkov vzpostavljeni samo v nizki Zemljini orbiti. Po izpostavljenosti vesoljskemu okolju je površina vesoljskega plovila prekrita z velikim številom kraterjev, ki so jih naredili meteoroidi in odpadki v vesolju. Velikost posameznega kraterja in razponi lukenj so velikosti od mikrometra do nekaj milimetrov. Glavni problem predstavlja vprašanje kako razlikovati vplive, ki so jih povzročili meteoroidi od vplivov, ki so jih povzročili odpadki, ki jih je v vesolje poslal človek. Ena od zanesljivih metod za ugotavljanje povzročiteljev kraterjev in lukenj je kemična analiza. Vendar pa obstajajo težave povezane s to metodo. Zaradi velikih hitrosti, s katero delci priletijo v vesoljsko plovilo, material ostane nespremenjen, zato v veliko primerih ne moremo enolično določiti kakšen je bil delec, ki je povzročil poškodbo na površini vesoljskega plovila. Tako je bilo narejenih veliko poskusov za različne materiale, kjer so ugotavljali povezavo med velikostjo delca in velikostjo poškodbe, ki jo je ta povzročil ob trku z vesoljskim plovilom. Iz statistike vplivov in kalibracijskih testov je bil tok meteoroidov in vesoljskih odpadkov določen kot funkcija velikosti delcev, kjer je bilo potrebno upoštevati sekundaren vpliv, katerega nepravilna obdelava lahko pripelje do precenjenih vrednosti pridobljenega toka objektov v vesolju. Objekti, ki so bili dolgotrajno izpostavljeni vesoljskim vplivom so bili prekriti z več kot 30.000 vidnimi kraterji, od katerih je bilo 5.000 kraterjev večjih od 0,5 mm premera. Večje kraterje, 5 mm premera, so najverjetneje povzročili delci velikosti 1mm (Wikipedia: Space debris, 2014).

Vesoljska plovila, ki so bila dolgo izpostavljena vesoljskim vplivom so pokazala, da so odpadki v gruclah v določenem času, prav tako pa so opozorila tudi na problem obstoja podmilimetrskih odpadkov v ekliptični orbiti, ki so prav tako nevarni. Na Evropskem dostopnem prevozniku EURECA (European Retrievable Carrier) so opazili največjo luknjo premera 6,4 mm. EURECA je bil 4,5 tone težak satelit s 15 eksperimenti. Bil je ESA-ina misija. Imel je majhne avtomatične znanstvene celice iz materiala, kot jih imajo teleskopi za opazovanje Sonca. Izstreljen je bil 31. julija 1992 z raketo STS-46 Atlantis in postavljen v orbito na višino 508 km. Na Zemljo so ga vrnilo 1. julija 1993 z raketo STS-57 Endeavour. Uporabljali so ga za preučevanje odpadkov v vesolju. EURECA je eden od mnogih satelitov brez človeške posadke, ki so ga vrnilo na Zemljo nepoškodovanega. Solarni nizi, ki so jih spremljali s pomočjo vesoljskega teleskopa Hubble, ki se je na Zemljo vrnil med misijo STS-61 Endeavour in STS-109 Columbia so pomemben vir informacij o okolju odpadkov. Vplivi kraterjev, ki so jih našli na površini teleskopa so bili prešteti in klasificirani s strani ESA agencije, da bi zagotovili sredstva za potrjevanje modelov okolja odpadkov. Podobni materiali so se vrnilo na Zemljo s postaje Mir, kjer so naredili obsežne študije, zlasti na Mir Environmental Effects Payload, na katerem so preučevali okolje okoli postaje Mir. Mir Environmental Effects Payload je bil set štirih eksperimentov, ki so jih namestili na ruski vesoljski postaji Mir od 1996 do 1997, za preučevanje učinkov vplivov vesoljskih odpadkov in izpostavljenost različnih materialov vesoljskemu okolju. Na sončnih celicah Hubblovega vesoljskega teleskopa, ki so jih prinesli na Zemljo in so bile vzpostavljene vesoljskim vplivom v orbiti z najvišjo višino, so našli da je bil vpliv tokov delcev s precej višjim faktorjem kot na EURECA, za luknjo velikosti 200 – 300 μm (Wikipedia: Space debris, 2014).

LDEF (Long Duration Exposure Facility) satelit v velikosti šolskega avtobusa, v obliki cilindra je bil namenjen preučevanju vesoljskih odpadkov in poslan v vesolje z namenom, da se različni vzorci materiala, iz katerega je bil narejen, izpostavi zunanjemu prostoru oziroma vesolju. Deloval je 5,7 let in je pregledal 32.422 Zemljinih orbit. Natančen pregled njegove površine ob vrnitvi na Zemljo je omogočil analizo smeri porazdelitve in sestavo toka odpadkov, ki so ga zadevali.

Ti primeri so dokaz o učinkih delcev na vesoljska plovila v orbiti. V vseh primerih pa ni bilo zaznane nobene funkcionalne degradacije vesoljskih plovil. Informacije, ki so na voljo o odpadkih manjših od milimetra so omejene na višine pod 600 km. Manjkajo pa zlasti informacije o populaciji v nizki Zemljini orbiti, na višini okrog 800 – 1.000 km, z najvišjo gostoto vesoljskih odpadkov in prav tako v geostacionarni orbiti.

Od leta 1971 se izvajajo redne meritve meteoritov pod milimetrskimi velikostmi in delcev odpadkov na ruskih vesoljskih postajah Salyut 1, 2, 3, 4, 6 in 7 ter Mir. Merjenja so bila izvedena s pomočjo senzorjev, ki so bili razporejeni po celotni skupni izpostavljeni površini okrog 3 m², kot tudi spremenljive kasete, ki so se vrstile na Zemljo, z izpostavljenim površjem velikosti okrog 0,1 m² vsaka.



Slika 54: Krater velikosti 4 mm, ki je nastal na sončnih celicah, ki so bile izpostavljene vplivom vesoljskega okolja (levo) in krater velikosti 1mm na površini prednjega okna vesoljskega plovila Challenger STS-7, ki ga je povzročil delček barve (desno)

4.3.4.2 Merjenja vesoljskih odpadkov v vesolju

Merjenja, ki se izvajajo v vesolju, imajo prednost zaradi večje ločljivosti, ker je med njimi in objekti manjša razdalja. Prav tako tu ni motečih vplivov atmosfere, vendar so stroški opazovanja v vesolju večji, kot stroški merjenj, ki jih izvajamo iz Zemlje. Tako moramo, ko se odločamo za način merjenja, sprejemati kompromise glede na pozitivne in negativne lastnosti obeh merjenj.

Infrardeči astronomski satelit IRAS za raziskovanje neba, izstreljen leta 1983, je 10 mesecev deloval v sončni sinhroni orbiti na višini okrog 900 km in je skeniral nebesno sfero, usmerjen stran od Zemlje. Celoten set podatkov, ki jih je zbral je analizirala nizozemska organizacija za raziskovanje vesolja iz Groningena, da bi preverila infrardeče emisije vesoljskih odpadkov in da bi naredila celovit povzetek

nabora opaženih odpadkov. Satelit je zabeležil 200.000 opažanj, morebitnih vesoljskih odpadkov, od katerih lahko 10.000 opažanj zagotovo pripišemo realnim objektom.

Leta 1996 so Združene države Amerike izstrelile MSX vesoljsko plovilo v 900 km oddaljeno orbito, katerega infrardeči in vidni senzor se je uporabljal za opazovanje bližnjih majhnih odpadkov.

Tudi Rusi so v septembru 1996 v vesolje, preko telekomunikacijskega satelita Express 12, poslali v vesolje geostacionarni detektor za zaznavanje vplivov GORID (Geostationary Orbit Impact Detector), ki je bil stacioniran v geostacionarni orbiti, na 80 stopinjah vzhodne dolžine in je meril meteoroite manjše od milimetra ter populacijo vesoljskih odpadkov.

Za redno merjenje, spremljanje in opazovanje populacije majhnih trdnih delcev v vesolju, v različnih orbitah, so v razvoju različni instrumenti, ki bodo poleteli v vesolje.

5 ODSTRANJEVANJE VESOLJSKIH ODPADKOV

Zaradi vse večje težnje in pritiska s strani znanstvenikov ter nekaterih drugih organizacij in institucij, ki se ukvarjajo z raziskovanjem vesolja, po zmanjšanju vesoljskih odpadkov, so bile v preteklosti predlagane že številne rešitve, od katerih pa še nobena ni bila realizirana. Nekaj izmed njih je opisanih v nadaljevanju diplomske naloge. Obstajajo pa realne rešitve in možnosti za zmanjšanje števila odpadkov v vesolju, predvsem z zmerno in odgovorno rabo vesoljskega prostora, s strani vseh uporabnikov. Veliko vesoljskih agencij si je za svoj strateški cilj v prihodnosti postavilo razvoj inovativnih tehnologij za odstranitev vesoljskih odpadkov.

Prvo analizo stabilnosti vesoljskega okolja je leta 2009 naredila NASA, ki je preučila prihodnji scenarij dogajanja v vesolju, ki je pokazal da bi število vesoljskih odpadkov še vedno naraščalo, četudi človek ne bi več izvajal nobenih misij v vesolje. Rezultati analize so bili potrjeni tudi s strani simulacij, ki jih je izvajala ESA. To je jasen znak, da je populacija objektov v vesolju dosegla kritično točko, kar pomeni, da se mora število masivnih objektov v vesolju nujno in v najkrajšem možnem času zmanjšati.

Edina možnost za odstranitev velikih odpadkov iz vesolja, ki bi prinesla tudi precej prednosti in zmanjšala možnost za nastanek novih odpadkov, ki jih povzročajo trki med objekti v vesolju, je aktivno odstranjevanje najprej najbolj kritičnih objektov, ki jih je potrebno najprej odstraniti, nato odstranitev nedelujočih in večjih kosov razpadlih satelitov ter postopoma, z razvojem tehnologije, odstranitev še vseh ostalih manjših delcev. Študija, ki sta jo opravila NASA in ESA, je pokazala, da bi lahko s kontroliranim in načrtovanim deorbitiranjem odpadkov, odstranili do 10 velikih odpadkov na leto. Vsi predlogi različnih načinov odstranjevanja vesoljskih odpadkov so še v povojih in se ne bodo še tako kmalu začeli aktivno odvijati, zato pa so najbolj učinkovite metode za zmanjšanje števila objektov v vesolju še vedno ublažitev rasti vesoljskih odpadkov in samoodstranjevanje ter odgovorna raba vesolja. Vsi objekti, ki pa še bodo poslani v vesolje pa morajo imeti načrt, kako se bodo iz njega tudi varno vrnil.

5.1 Samoodstranjevanje vesoljskih odpadkov

Nedelujoči sateliti in drugi objekti, ki so bili poslani v vesolje, se slej kot prej vrnejo v Zemljino atmosfero, kjer izgorijo. Ampak glede na zasičenost vesoljskega prostora z različnimi objekti lahko samoočiščenje traja več stoletij. V preteklih 50 letih so vesoljski odpadki zapustili orbito v povprečju okrog en odpadek na dan. Zaradi različnih vplivov delovanja sonca in drugih planetov v vesolju pa lahko pride tudi do hitrejših reakcij in različnih vplivov na objekte v vesolju. Znatne razlike v povprečni stopnji so se zgodile kot rezultat 11 letnega cikla sončne aktivnosti, ki so v povprečju dosegle tri objekte na dan, ki so izstopili iz orbite, v času ko je bila sončna aktivnost maksimalna, zaradi ogrevanja in nastale širitve Zemljine atmosfere. V času minimalne sončne aktivnosti, pet in pol let pozneje, je bila povprečna stopnja števila objektov, ki so izstopili iz orbite eden na vsake tri dni.

Zahteva Mednarodne telekomunikacijske zveze ITU (International Telecommunication Union) je, da bi se geostacionarni sateliti morali sami od sebe umakniti v tako imenovano pokopališčno orbito, na koncu svoje življenjske dobe. Čeprav je dokazano, da izbrana orbitalna območja ne zagotavljajo zadostne zaščite geostacionarne orbite pred vplivom vesoljskih odpadkov. Raketne stopnje ali sateliti, ki ohranijo dovolj goriva lahko sami sebe vrnejo v odstranjevalno orbito, v orbito kjer razpadejo. V primerih, ko pa sateliti direktno in nekontrolirano izstopijo iz svoje orbite, lahko ti predstavljajo resen

problem. Vrnitev teh satelitov v pokopališčno orbito bi lahko zahtevala preveč goriva in do tega tako ne more priti tako enostavno. Sateliti so lahko prineseni v orbito, kjer lahko atmosferski tlak povzroči, da so ti deorbitirani po nekaj letih. Tak premik je bil uspešno izveden s francoskim satelitom Spot-1, ki je bil visoko ločljiv, optični satelit za opazovanje in slikanje Zemlje, ki je bil prinesen v orbito nižje, iz 830 km na približno 550 km, zaradi česar se je znižal njegov čas razkroja iz napovedanih 200 let na 15 let.

Ena od možnih rešitev za samoodstranitev nedelujočih satelitov in njihovo deorbitiranje so tudi roboti, ki bi te satelite oskrbeli z gorivom, da bi se ti tako lahko odstranili iz orbite oziroma iz vesolja. Saj zapuščeni, nedelujoči oziroma zanemarjeni sateliti, ki še vedno krožijo v orbiti, predstavljajo največji problem ter povečujejo možnost za trke med njimi in delujočimi sateliti ali z drugimi objekti v vesolju in tako nastanek vedno večjega števila vesoljskih odpadkov.

Ena od rešitev samoodstranjevanja odpadkov iz vesolja je namestitev elektrodinamičnih vrvic na vesoljska plovila ob izstrelitvi, namesto sedaj uporabljenih raket. Tako bi se na koncu njihove življenjske dobe te razvile in počasi spustile vesoljsko plovilo navzdol iz prvotne orbite, v orbito, kjer bi plovila razpadla. Čeprav so te vrvice za do 30 km visoko v orbiti že bile uspešno uvedene, pa njihov razvoj ni še do potankosti razvit in tehnologija še ni popolnoma dozorela. Kot alternativa vrvicam so bile predlagane motorne stopnje, ki vsebujejo jadra, kot dodatek, da dosežejo isti cilj, kot pri uvedbi vrvic (Dugan, 2013).



Slika 55: Elektrodinamična vrvica

5.2 Ublažitev rasti

Ublažitev rasti je tudi ena od učinkovitih rešitev, ki se pojavlja, kot možnost za zmanjšanje števila odpadkov v vesolju. Da bi ublažili generacijo dodatnih vesoljskih odpadkov, so bili predlagani številni ukrepi. Eden od ukrepov je pasivacija uporabljenih višjih raketnih stopenj, ki odpadejo, pri izstrelitvi rakete v vesolje, s sprostitvijo preostalih pogonskih plinov v odpadli stopnji rakete, s ciljem reducirati tveganje za eksplozije v orbiti, ki lahko generirajo na tisoče dodatnih odpadnih objektov. Pasivacija vesoljskih raket pomeni odstranitev vseh notranjih povzročiteljev dodatnih energij iz vozila ob koncu

njegove misije ali ob koncu dobe koristnosti vozila. Porabljene višje stopnje rakete so v splošnem pasivirane, ko je njihova izstrelitev vozila zaključena, medtem ko se pri satelitih pasivizacija začne, ko ti niso več v uporabi za njihov prvoten namen. Za satelite v geosinhroni Zemljini orbiti tako Mednarodna telekomunikacijska zveza in Združeni narodi priporočajo, da so geostacionarni sateliti dizajnirani tako, da se lahko ob koncu svojega življenja sami umaknejo v orbito namenjeno odstranjevanju, nekaj 350 km nad geostacionarnim pasom in nato pasivirajo sami sebe z odstranjevanjem kakršnekoli interne shranjene energije, ki je ostala po zaključeni misiji. Največje komponente te notranje energije so v splošnem neuporabni motorji in baterije, ki prav tako zahtevajo pasivizacijo. Raziskave v zgodovini so pokazale, da je neporabljen energija, ki se ni razpršila velikokrat vzrok za notranje eksplozije, ob katerih nastane množica odpadkov, razdrobljenih po vesolju, ki povzročajo nevarnost.

V času, ko je problem z odpadki prvič postal razviden, so spremenili motorje Delta raket in so tako v bistvu eliminirali njihov nadaljnji prispevek k problemu naraščanja odpadkov.

Vesoljske agencije in drugi proizvajalci vesoljskih odpadkov nimajo podpisane nobene mednarodne pogodbe o tem, kako naj bi se obnašali, da bi zmanjšali vesoljske odpadke, ampak je komite Združenih narodov COPUOS (United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space), ki skrbi za zmerno uporabo zunanjega prostora, vesolja, leta 2007 izdal prostovoljne smernice, ki jih vsak lahko upošteva ali pač ne. Leta 2008 pa je komite sprožil mednarodno diskusijo o pravilih na poti v vesolje, da bi zaščitil trke med sateliti. NASA je izvajala svoje lastne postopke, da bi omejila proizvodnjo odpadkov, kot so to storile tudi nekatere druge vesoljske agencije in ESA. Z začetkom v letu 2007 pa je ISO (International Organization for Standardization) pripravil nov standard, ki se ukvarja z zmanjševanjem vesoljskih odpadkov.

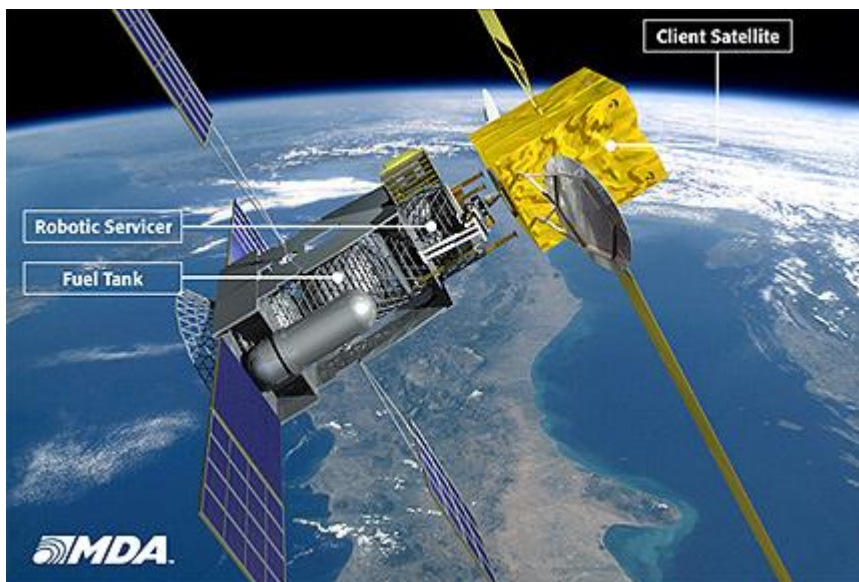
Ena od alternativ, ki je bila predvidena, za zagotovitev absorpcije dela odpadkov in s tem zmanjševanje le teh, je izvedba metode "ena gor/ena dol", ki je dajala dovoljenje za izstrelitev v Zemljino orbito, in s katero se je začela politika Zemljine orbite. Operaterji vozil bi tako morali plačati del stroškov za blaženje posledic, ki jih povzroča prenasičenost vesolja z odpadki. Pri tem konceptu bi ti morali zgraditi tudi dodatne kapacitete pri njihovih vozilih, ki bi jih poslali v vesolje, ki bi razširile trajanje misije in bi po prenehanju delovanja satelita oziroma plovila nato robotsko navigirale vozilo v varno upokojitev oziroma odstranitev iz vesolja ali umik iz primarne orbite v pokopališčno orbito.

Druga možna tehnologija, ki bi pomagala zmanjšati vesoljske odpadke pa je robot z gorivom v satelitu, ki bi ob koncu delovanja satelita le tega prinesel nazaj na Zemljo. V tem primeru bi lahko dele odsluženega satelita reciklirali in jih ponovno uporabili.

5.3 Vesoljski infrastrukturni servis

Ena od dobro preučenih rešitev je uporaba vozil kontroliranih na daljavo, ki se srečujejo z odpadki, jih zajemajo in vrnejo nazaj v centralno postajo ali deorbitirajo v pokopališčno orbito. Eno od teh vozil je komercialno razvit vesoljski infrastrukturni servis SIS (Space Infrastructure Servicing), vesoljsko plovilo, ki ga razvija Intelsat, vodilni ponudnik satelitskih storitev po vsem svetu, s pomočjo zračnega podjetja iz Kanade MDA (MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd.), ustanovljenega leta 1969, na pobudo Johna MacDonalda and Wernerja Dettwilerja, dveh britansko kolumbijskih podjetnikov. Podjetje ponuja širok spekter storitev, trenutno pa pomaga pri razvoju vesoljskega infrastrukturnega servisa, tip vesoljskega plovila, ki bi deloval kot bencinsko skladišče za telekomunikacijske satelite v

orbiti. Vozilo deluje kot majhna ploščica iz skrilja v vesolju, ki toči gorivo telekomunikacijskim satelitom v geosinhroni orbiti in deluje kot servisno plovilo, ki bo izstreljeno predvidoma v letu 2015. Vesoljski infrastrukturni servis vključuje vozilo s kapacitetami, ki prenesejo mrtve satelite v pokopališčno orbito, lahko pa sistem, z dovajanjem goriva, satelitom podaljša njihovo življenjsko dobo. Vozilo bo s svojo prefinjeno robotiko uporabno tudi za opravljanje nujnih vzdrževalnih del na satelitih ter nalog, kot so premeščanje in stabilizacija satelitov ter vleka manjših vesoljskih objektov.



Slika 56: Servisno vozilo vesoljskega infrastrukturnega servisa (foto: DMA)

5.4 Laserske metle

Druga možnost za odstranjevanje vesoljskih odpadkov so laserske metle. To so na Zemlji stacionirani laserji s sistemom svetlobne moči in pogona, katerih namen je, da pometejo vesoljske odpadke s poti drugih umetnih satelitov ali na primer strateško zelo pomembne Mednarodne vesoljske postaje. Te naprave uporabljajo močne laserje, ki so stacionirani na Zemlji, za odstranitev sprednje strani vesoljskih odpadkov, s čimer povzročijo raketni potisk, s katerim upočasnijo predmet. Tako na koncu vesoljski odpadki dovolj zmanjšajo svojo višino in preidejo v območje atmosfere, kjer izgorijo. Gonilna sila fotonov v laserskem žarku je uporabna za širjenje potiska vesoljskim odpadkom direktno. Čeprav bi bil ta potisk majhen, bi mogoče lahko zadoščal za premik majhnih odpadkov v nove orbite, ki ne sekajo orbit delujočih satelitov. NASA – ina raziskovanja iz leta 2011 dokazujejo, da ožganina laserskega žarka na kosu vesoljskega odpadka lahko da impulz moči 1 mm/s. Laserski žarek, usmerjen v vesoljski odpadki nekaj ur na dan, lahko tako zmanjša njegovo višino za 200 m na dan. Ena od slabosti te metode je nevarnost, da odpadki, ki ga obstreljujejo z laserjem, razpade in tako nastane še več novih odpadkov.

Danes je uporaba laserjev v vesolju prepovedana.



Slika 57: Umetniška predstavitev laserske metle

V poznih 1990-ih je ameriška zračna sila USAF (United States Air Force) delala na dizajnu laserskih metel, ki so stacionirane na Zemlji, pod imenom Projekt Orion. To je bila testna naprava, predvidena za izstrelitev z vesoljsko raketo leta 2003, vendar ni bila nikoli izvedena. Na podlagi mednarodnega sporazuma so prepovedali testiranje močnih laserjev v vesolju, kar je povzročilo omejitve Projekta Orion, ki je bil namenjen uporabi laserjev, kot merilnih naprav. Projekt je bil prestavljen, ugotovljenih pa je bilo tudi veliko napak in ovir pri uresničitvi omenjenega projekta, tudi zato projekt leži v predalu že več kot desetletje.

5.5 Laserji z žarki ionov

Podoben predlog za odstranjevanje vesoljskih odpadkov, kot laserske metle, je zamenjava laserjev z žarki ionov. Ionski žarki so koncept, kjer je obnašanje vesoljske ladje ali splošnega telesa v orbiti spremenjeno z vplivom žarkov s kvazi nevtralno plazmo, ki ustvarja vzvod na površini objekta in s tem ustvarja silo ali navor na cilju, ki ga obstreljuje. Ionske ali plazma lovce običajno uporabljajo za pogon vesoljskih plovil, ki se lahko uporabljajo za izdelavo vzporednih ionskih žarkov, usmerjenih proti cilju. Dejstvo, da so ti žarki lahko ustvarjeni kot neke vrste pastirji vesoljskemu plovilu v njegovi bližini, brez fizičnega kontakta z njimi, ponuja zanimive rešitve za vesoljske aplikacije, kot so odstranjevanje vesoljskih odpadkov, asteroidna deformacija in vesoljski prevoz na splošno.

Tehnična univerza v Madridu UPM (Universidad Politecnica de Madrid) je raziskovala ta koncept z razvojem analitičnih in numeričnih kontrolnih modelov v sodelovanju z Ekipo za raziskovanje sodobnih konceptov (Advanced Concepts Team) Evropske vesoljske agencije. Tale koncept je bil samostojno predlagan tudi s strani Japonske vesoljske agencije JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) in Nacionalnega centra za vesoljske študije CNES (National Centre for Space Studies).

5.6 Drugi predlogi za reševanje problema vesoljskih odpadkov

Številni drugi predlogi za odstranjevanje vesoljskih odpadkov uporabljajo več novih predlogov rešitev problema, od penastih žog iz aerogela¹⁹, do sprejev vode, napihljivih balonov, elektrodinamičnih vrvi, boom elektro prijema, ki je elektrostatičen efekt stiska dveh površin subjektov med električno polje, namenske prestrezne satelite,...

Elektrodinamične vrvi so dolge vodene žice, kot na primer žice napotene iz vrvnega satelita (tether satellite), ki lahko delujejo na elektromagnetnem principu, kot generatorji, s pretvorbo njihove kinetične energije v električno energijo ali kot motorji, ki pretvarjajo električno energijo v kinetično energijo. Električni potencial se ustvarja okrog prevodne vrvi s svojim gibanjem skozi Zemljino električno polje.

Začele so se tudi nove študije in razvoj novih tehnologij za odstranjevanje vesoljskih odpadkov. Začela se je študija aplikacije elektrodinamičnega odstranjevalca odpadkov EDDE (Electro Dynamic Debris Eliminator) in študija projekta, Švicarskega vesoljskega centra, ki je napovedal razvoj projekta CleanSpace One. Izvedel je že demonstracijo lovilca, nanosatelita CleanSpace One, s katerim bi najprej dosegli orbito z nedelujočim švicarskim nanosatelitom, ki bi ga nato ujeli in deorbitirali skupaj z lovilcem CleanSpace One nanosatelitom ter popeljali v atmosfero, kjer bi zgorela.

Organizirana so bila številna srečanja znanstvenikov ter številne konference na temo problema vesoljskih odpadkov, ki so pripeljale do ugotovitev, da bo slej kot prej aktivno odstranjevanje najbolj masivnih kosov odpadkov nujno, za preprečevanje tveganj za vesoljska plovila s posadko ali brez, saj kopičenje in ustvarjanje vedno novih odpadkov postaja nesprejemljivo v bližnji prihodnosti. Tudi brez kakršnih koli dodatnih izstrelitev v vesolje, je to že sedaj prenasičeno z nedelujočimi vesoljskimi plovili, ki se nahajajo predvsem v nizki zemeljski orbiti, ki je z vesoljskimi odpadki najbolj zasičena.

Tudi odstranjevanje odpadkov, predvsem pa razvoj novih tehnologij, veliko stane. Stroški izstrelitve katerekoli od teh rešitev so približno enaki kot izstrelitev kateregakoli drugega vesoljskega plovila, zato so se pojavile navedbe, da nobena od obstoječih rešitev trenutno ni stroškovno učinkovita. Poleg finančnih težav, pa se pri reševanju problema soočajo še s pravnimi vprašanji, ki zadevajo lastninske pravice in pravno zakonodajo, zato je odstranjevanje nedelujočih satelitov še toliko bolj oteženo.

Ena od najučinkovitejših rešitev za zmanjšanje vesoljskih odpadkov je še vedno zmerna in predvsem odgovorna raba vesoljskega prostora in težnja k varovanju vesoljskega okolja.

5.7 Novi prototipi za odstranjevanje vesoljskih odpadkov

Okoli Zemlje kroži več kot 16.000 objektov večjih od 10 cm premera in več sto milijonov manjših koščkov, s hitrostjo več km/s. Od začetka vesoljskih let, leta 1957, je Zemljin obod vedno bolj in bolj obremenjen z vsemi vrstami odpadkov, ki so primarno koncentrirani v nizki Zemljini orbiti, na višini manj kot 2.000 km, kjer kroži in je usidrana tudi Mednarodna vesoljska postaja. Vedno bolj pa je z objekti zasičena tudi geostacionarna Zemljina orbita, na višini 35.786 km. Velika večina od teh

¹⁹ **Aerogel** je trda snov, podobna gelu, v kateri tekočinsko sestavino zamenja plin, kar nastane, je trdnina z zelo majhno gostoto, ki ima več izrednih sposobnosti, od katerih je najpomembnejša njena učinkovitost kot izolator. Imenovali so jo tudi zmrznjeni dim, trdi dim ali modri dim zaradi njene polprosojne narave. Na dotik pa je sicer bolj podobna peni.

odpadkov so odslužene stopnje raket ali nedelujoči in razpadli sateliti, ki so se uničili v orbiti. Če bi trčili z drugimi objekti, ki krožijo v orbiti, recimo z delujočimi sateliti, bi lahko povzročili veliko škodo ali celo uničili satelit. Eden od takih primerov se je zgodil 10. februarja 2009, ko je Ameriški satelit Iridium 33 eksplodiral ob trku z nedelujočim ruskim satelitom Cosmos 2251. Finančne posledice tega trka so bile nepredstavljivo ogromne, predvsem za zavarovalnice, vključene v vesoljski sektor. Vsota je trenutno ocenjena na 20 bilijonov dolarjev za zavarovanje obstoječih satelitov in verjetno je, da bo ta vsota vsako leto višja, saj je možnost trka med vesoljskimi plovili in s tem uničenja, vedno večja. V letu 2011 je Švicarska zavarovalnica objavila študijo, ki je pokazala, da je vsako leto skoraj 10.000 možnosti da bo 10 m² velik satelit, ki potuje po sončno sinhroni orbiti na 600 – 1000 km višine trčil s koščkom vesoljskega odpadka večjega od 1 cm.

Primeri kot je ta, so vezani na nekontrolirano povečevanje števila vesoljskih odpadkov. Tudi v brezmejnem odprtem vesolju, naraščajoča gostota človeškega generiranja odpadkov postaja problem. Ti se širijo oziroma naraščajo eksponentno, ker se z vsakim trkom, ki jih ni malo, generira več tisoč novih delcev ki, čeprav so majhni, niso nič manj nevarni kot veliki odpadki, ki jih predstavljajo nedelujoči sateliti. NASA, ki sledi 16.000 objektom, lahko kontrolira samo večje objekte, polmera od 10 cm. Ampak pri neverjetnih hitrostih, ki jih objekti dosegajo v vesolju, četudi so velikosti enostavnega koščka barve, lahko resno poškoduje sončne celice ali okno na vesoljski ladji. Edini način za izognitev trkom z velikimi odpadki je manevriranje in izmikanje. Tako Mednarodna vesoljska postaja, pa tudi druga vesoljska plovila in objekti, ki so dolgo časa izpostavljeni vesoljskemu okolju, konstantno spreminjati svojo orbito.

Odkar so Rusi leta 1957 v vesolje poslali prvi umetni satelit Sputnik 1, prvi iz niza sovjetskih satelitov Sputnik, ki je predstavljal veliko količino težkih vesoljskih odpadkov, se je pričelo onesnaževanje orbite okoli Zemlje. Do februarja 2011 je bilo v vesolju že 10 milijonov delcev smeti človeškega izvora. Kopičenje vesoljskih odpadkov in njihovo neodstranjevanje danes predstavlja veliko nevarnost, posebej zaradi pojava Kesslerjevega sindroma. Nizka Zemljina orbita je tako zasičena z umetnimi sateliti in ostalimi smetmi, da konstantno prihaja do trkov, ki generirajo vedno več delcev smeti, ki hkrati povzročajo še več trkov in ustvarja se efekt domine, kjer se sproži reakcija, ko ena domina podere naslednjo, isto kot prejšnji trk sproži naslednjega in se to ne konča ter tako ustvarja na milijone novih delcev odpadkov, ki bi lahko ovirali nadaljnje raziskovanje vesolja in slej kot prej tudi samo življenje na Zemlji.

Velikim odpadkom je mogoče slediti in se jim včasih izogniti, ali jih obiti. Majhni delci pa predstavljajo večjo nevarnost, zaradi velikih hitrosti, s katerimi se gibljejo v vesolju. Vedno večkrat je slišati o poročanjih, kot je tale, da je drobec barve, ki je nekoč pripadal enemu od objektov, ki so bili poslani v vesolje in se je gibal s hiper hitrostjo preluknjal enega od satelitov, v katerem je naredil luknjo nezanemarljive velikosti.

Znanstveniki vedno pogosteje opažajo dokazljive znake pojava Kesslerjevega sindroma. Odpadki so zaradi tega na dobri poti, da se do leta 2030 njihov število potroji. Tako so številne vesoljske agencije na lovu za rešitvijo problema vesoljskih odpadkov. Različne države so predložile plane za očiščenje vesolja, ki segajo od praktičnih do ravni Star trek ambicij. V nadaljevanju je predstavljenih nekaj idej.

5.7.1 Roboti (DARPA Phoenix program)

Obrambni oddelek Agencije Združenih držav Amerike za napredne raziskave DARPA (The Defense Advanced Research Projects Agency), ki je razvijal sredstva uporabne tehnologije za vojsko, planira obnovo in reciklažo živih satelitov, ki krožijo okoli Zemlje z uporabo robotov. Pod imenom DARPA Phoenix program tako razvija tehnologijo, s katero bi lahko pomagali očistiti vesoljske odpadke z uporabo robotov, ki bi se privesili na komercialni satelit in bi bili tako skupaj z njim izstreljeni v vesolje, kjer bi se nato pritrdili na nefunkcionalen satelit. Od tu bi roboti zbirali posamezne dele nedelujočega satelita, ki bi lahko bili ponovno uporabljeni za komunikacijsko omrežje za vojsko, po nižji ceni.

Roboti bi bili v obliki nanosatelitov, znani tudi kot satlets, v vesolje prineseni v tovoru dostavnega sistema na večjem komercialnem satelitu. Ko bi bil ta enkrat v vesolju, se bi povezal z drugo vrsto izstreljenega reševalnega vozila, kjer bi tvoril nekakšen skupek, ki mu NASA pravi tudi tender²⁰, ki bi ga potem usmerjal do mrtvega satelita. Od takrat naprej bi tender in sistem za dostavo PODS (Payload Orbital Delivery System) ostala skupaj in šla na delo, kjer bi robot uporabil svoje robotske roke, s katerimi bi odstranil anteno in namestil nanosatelit v anteno, kar bi ustvarilo novo komunikacijsko omrežje.

Agencija načrtuje prvo Phoenix misijo v vesolje v letu 2015 in si želi doseči 140 mrtvih satelitov ter jih spraviti nazaj v uporabo.

5.7.1.1 Podrobneje o DARPA Phoenix programu:

Komunikacijski sateliti v geosinhroni orbiti, približno 22.000 milj (približno 35.500 km) nad Zemljo, nudijo komunikacijske informacije, ki so ključnega pomena za vojsko. Danes, ko komunikacijski satelit umre, to pogosto pomeni zelo drago možnost, da bi morali v vesolje poslati čisto nov nadomestni komunikacijski satelit. Velika večina satelitov, ki so zastareli ali pa so padli ima še vedno uporabne antene, solarne nize in druge komponente, ki pričakovano delujejo dlje časa, kot je življenjska doba celotnega satelita, ampak trenutno ni možnosti, da bi jih ponovno uporabili.

Namen Phoenix programa je torej razvoj tehnologije, ki bi omogočala ponovno uporabo dragocenih sestavin nedelujočih satelitov, ki ostajajo v geosinhroni Zemljini orbiti, in prikaz sposobnost za ustvarjanje novih vesoljskih sistemov po dobro znižani ceni. Torej je glavni namen Phoenix programa prikaz ekonomično učinkovitejše, globalno obstojne komunikacijske sposobnosti satelitov, ki so namenjeni predvsem za uporabo v vojski, preko robotskega odstranjevanja in ponovne uporabe aparatov satelitov, stacioniranih v geostacionarnih orbitah in anten preko pre naročenih satelitov v pokopališčni oziroma odstranjevalni orbiti.

Phoenix program tako razvija nove, zelo majhne nanosatelite (satlets), ki bi jih poslali v geostacionarno regijo, kar bi predstavljajo bolj ekonomičen pristop, kot planirana vožnja teh nanosatelitov vzdolž komercialnega satelita, ki bi bil izstreljen v vesolje. Ti nanosateliti bi bili potem robotsko vstavljeni v anteno izbranega nefunkcionalnega satelita, z namenom oživitve izbranega satelita in ustvarjanje novih vesoljskih sistemov delujočih satelitov. Tovorni sistem za dostavljanje

²⁰ **Tender** je ladjica za dovoz živeža in zalog večji ladji; ladjica, ki opravlja promet med obalo in večjo ladjo.

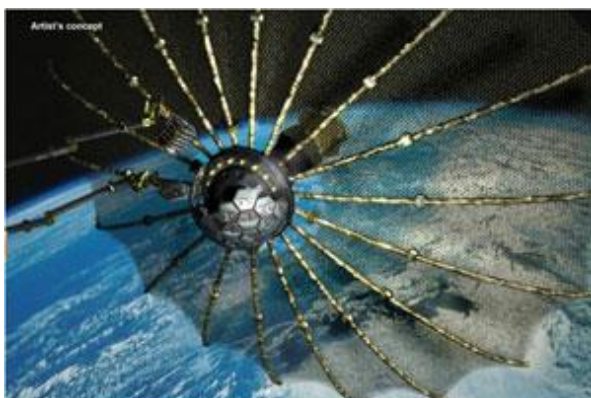
(PODS) bi bil dizajniran tako, da bi predstavljal varen način za dostavo nanosatelita na cilj. Ločeno bi potem bil poslan v geostacionarno orbito tender ali satelit za servisiranje satelitov. Ko bi enkrat tender prišel v orbito, se bi PODS sprostil iz njegovega prevoznega sredstva in bi se povezal s tenderjem ter postal del orodja postaje servisnega satelita. V planu je, da bi bil tender opremljen z oprijemalno mehanično roko za odstranjevanje nanosatelitov in komponent iz PODS, ki bi uporabljal enako vesoljsko orodje, ki bi bilo razvito v programu.

Tradicionalen proces oblikovanja, razvoja, izgradnje in uporabe vesoljskih tehnologij je dolgotrajen in drag. Preko Phoenix DARPA programa pa želijo pospešiti vstavev nastajajočih tehnologij v razvoj vesoljskega sistema kar se da poceni.

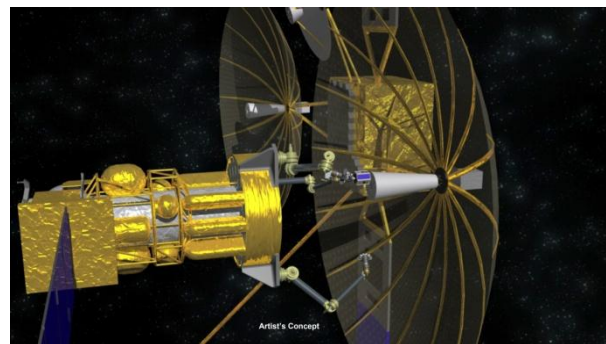
Kritična za uspeh Phoenix programa je aktivna udeležba tradicionalnih in netradicionalnih vesoljskih skupnostih, ki sodelujejo pri pomembnih tehničnih področjih, kot so:

- mikro elektronika neobčutljiva na sevanje in pomnilniki za shranjevanje,
- porazdeljena brezžična platforma mobilnih rešitev za ta primer ter povezave in kontrole industrijskega elektronskega nadzornega sistema,
- zemeljski mikro miniaturni sistemi za vodenje in nadzor merilnih enot,
- končni efekti industrijskih robotov in orodja, ki bi preuredili mehanizme in tehniko,
- računalniško podprta medicinska robotika, mikro kirurško na daljavo prisotno orodje in slikanje,
- tehnologija za podvodno daljinsko slikanje, ki se uporabljajo na odprtem morju za odkrivanje vrtin nafte in zemeljskih plinov, v naftni industriji,
- proizvodnja velikega obsega mikro - elektronskega in računalniškega shranjevanja podatkov,
- tehnologija upravljanja toplotnih elektronskih naprav in sistemov,
- poceni industrijska proizvodnja pločevine in drugih sestavnih materialov v velikem obsegu in
- dodatna proizvodnja različnih sestavnih materialov.

Prva ključna misija Phoenix programa v letu 2015 planira demonstracijo žetve obstoječe, skupne, aparature upokojenih satelitov, tako da bi jih fizično ločili od gostiteljskega nedelujočega satelita, z uporabo v orbiti oprijemalnega orodja, kontroliranega na daljavo iz Zemlje. Odprtina bi bila nato preurejena v nov prosto leteči vesoljski sistem in bi delovala neodvisno, s čimer bi dokazali koncepte ponovne uporabe v vesolju.



DARPA artist concept



Slika 58: Umetniški prikaz koncepta DARPA Phoenix programa

5.7.2 Uničevalni vesoljski hišniki (CleanSpace One projekt)

Projekt CleanSpace One, Očistimo vesolje, predlagani nanosateliti, s strani Švicarskih znanstvenikov, bi odšli na misijo v vesolje kot samostojni lovilci in bi zgrabili odpadek ter ga usmerili nazaj proti Zemljini atmosferi, kjer bi oba, CleanSpace One in njegov ulov, zgorela ob vstopu v atmosfero. Švicarji bi zgradili veliko CleanSpace One satelitov in jih poslali v vesolje enega za drugim. Prva misija nanosatelita pa bi bila ena od nostalgичnih: Vesoljski hišnik bi nazaj pridobil prvi švicarski satelit, ki je bil kadarkoli izstreljen v vesolje, Swisscube (švicarska kocka).

Direktor švicarskega vesoljskega centra, Volker Gass, je dejal: "Velika količina vesoljskih odpadkov uhaja izpod nadzora in nujno mora biti nekaj storjeno glede tega problema. Trke med sateliti in odpadki moramo omejiti, drugače se bo zgodil poplavni efekt in uničenih bo še več satelitov."

Švicarji so nanosatelit, ki bi odstranjeval odpadke razvili v okviru projekta Clean-mE (očisti me), ki je del razvoja tehnologije nanosatelitov, ki bi lahko odstranjevali odpadke v orbiti okrog Zemlje. Ta projekt se je začel v okviru Švicarskega vesoljskega centra in bi lahko vodil satelite CleanSpace One v letih 2017 in 2018.

5.7.2.1 Podrobneje o CleanSpace One projektu

Širjenje odpadkov, ki jih predstavljajo predvsem odvržene rakete in satelitske komponente, ki krožijo okrog Zemlje, je vse bolj pereč problem za vesoljska vozila in druge misije v vesolje. Za boj proti tej nadlogi je Švicarski vesoljski center na tehnični univerzi v Lausanne EPFL (Ecole polytechnique federale de Lausanne), ki je partner in financer tega projekta, napovedal začetek CleanSpace One satelitov. To je projekt, v okviru katerega bo razvita in izgrajena prva serija družine nanosatelitov posebej dizajniranih za čiščenje vesoljskih odpadkov (Richard et al, 2013).

Zemljina orbita je polna raznovrstnih letečih odpadkov: naraščajoča množica zapuščenih satelitov, izrabljenih raketnih stopenj, koščkov zdrobljenih raket in delcev od trkov, ki krožijo okoli planeta, z dihamajajočo hitrostjo. NASA ohranja zaprto tabelo na vsaj 16.000 teh objektov, ki so večji od 10 cm premera. Ko se operativno vesoljsko plovilo, kot je satelit, zaleti z enim od njih, lahko nastane kot rezultat zelo draga škoda, pogosto pa je ob tem satelit popolnoma uničen in sam trk povzroči nastanek tisočih novih delcev, kar še dodatno zaostruje problem (Richard et al, 2013).

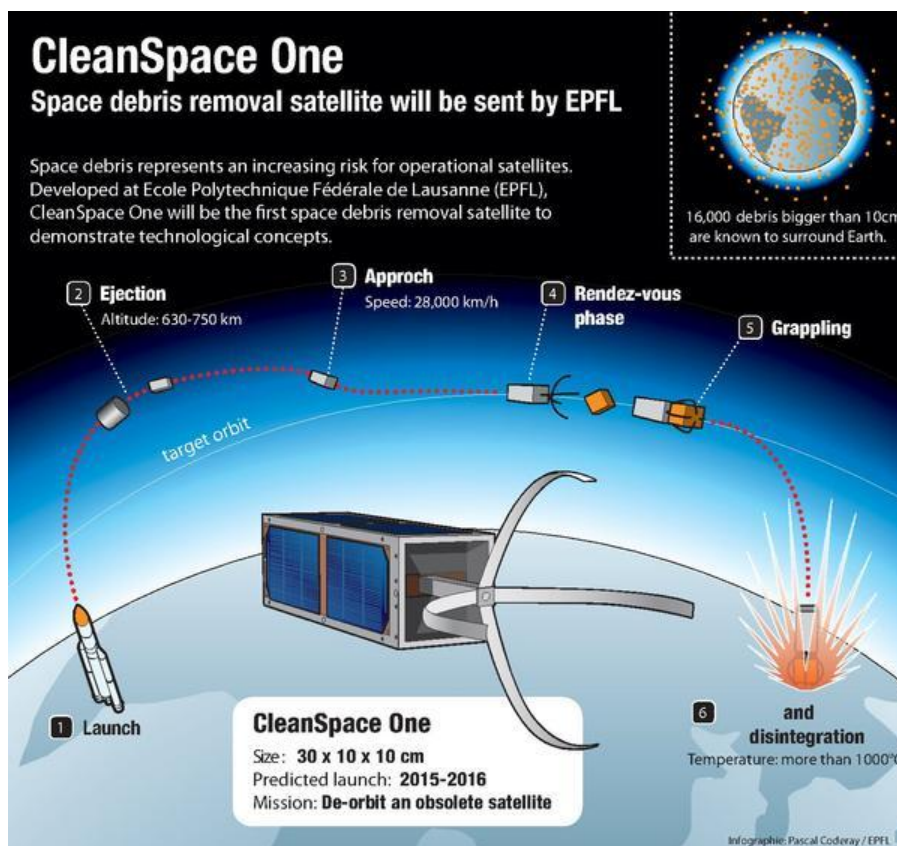
"Bistvenega pomena je postalo, da smo pozorni in se zavedamo obstoja teh odpadkov in tveganja, ki jih prinaša njihovo širjenje," je rekel Claude Nicollier, astronom in profesor na EPFL. Da se preseže zgolj govoričenje in nakladanje in se nemudoma začne z akcijo, za odstranitev teh smeti iz orbite, Švicarski vesoljski center na EPFL začne CleanSpace One projekt za izgradnjo prvega prototipa v družini satelitov za odstranjevanje stvari iz orbite.

Raziskovalci, ki delujejo na tem projektu, so simbolično za prvi cilj začetnega satelit CleanSpace One, ki ga bodo prvega izstrelili v vesolje, izbrali prvi Švicarski objekt v orbiti, Švicarski satelit Swisscube, pikosatelit, ki je bil nameščen v orbito v letu 2009 ali njegovega bratranca Tlsat, ki je bil v orbito izstreljen julija 2010. Čiščenje satelitov ima tri glavne ovire, ki jih je potrebno premagati. Za premagovanje vsake od njih pa bo potrebno razviti nove tehnologije, ki bodo lahko uporabne tudi pri drugih aplikacijah (Richard et al, 2013).

Pred izstrelitvijo očiščevalnega satelita bodo morali prilagoditi svojo tirnico z ukazom kako ujeti svoj cilj v orbitalni ravnini. Da bo to lahko dosegel, bo moral uporabiti novo vrsto ultra kompaktnih motorjev dizajniranih za vesoljske aplikacije, ki se razvijajo v EPFL laboratorijih. Ko bo prešel v območje svojega cilja, ki potuje s hitrostjo 28.000 km/h, na višini 630 – 750 km, ga bo CleanSpace One zgrabil in stabiliziral. Misija, ki je ekstremno tvegana pri teh velikih hitrostih, posebej še če se satelit vrtil. Za izpolnitev naloge znanstveniki načrtujejo razvoj oprijemalnega mehanizma, za katerega so dobili navdih iz rastlinskega ali živalskega primera. Satelit CleanSpace One bo iz orbite odstranil nezaželene satelite, tako da jih bo vrnil nazaj v Zemljino atmosfero, kjer bosta oba, CleanSpace One in satelit izgorela ob vstopu v atmosfero (Richard et al, 2013).

Čeprav je njihov prvi model namenjen za uničenje, CleanSpace One pustolovščina ne bo enkraten posel. "Mi hočemo ponuditi in prodati celotno družino končnih izdelkov sistema, dizajniranih trajno, kot je le mogoče, ki so sposobni iz orbite odstraniti različne vrste satelitov," je pojasnil direktor Švicarskega vesoljskega centra, Volker Gass. "Vesoljske agencije, ki so v intenzivnem iskanju, je nujno, da premislijo in se pripravijo na odstranitev stvari, ki jih v vesolje pošljejo. Želimo biti pionirji na tem področju."

Dizajn in konstrukcija CleanSpace One satelita, kot tudi njegovo krstno potovanje v vesolje, bo stala približno 10 milijonov Švicarskih frankov. Odvisno od investicij industrijskih partnerjev, bo prva krstna izstrelitev lahko zaživela v letih 2015 – 2017 (Richard et al, 2013).



Slika 59: Prikaz odstranjevanja odpadkov s CleanSpace One nanosatelitom

5.7.3 Ribiške mreže

V letu 2011 so poročali, da se je Japonska vesoljska agencija JAXA združila z Nitto Seimo, proizvajalcem ribiških mrež, da bi razvila in zgradila velikansko mrežo, s katero bi lovila vesoljske odpadke v Zemljini orbiti (Dugan, 2013).

Ta naj bi prinašala smeti iz vesolja nazaj na Zemljo. V planu je raztegnitev tanke kovinske mreže v vesolju, ki bi po njem potovala več tednov in zbirala odpadke. Po zaključenem potovanju bi električni naboj na mreži potegnil odpadke skupaj z mrežo proti Zemlji, kjer bi vstopili v atmosfero in izgoreli. Podrobnosti kako bi bila ta mreža vodena in kako natančno bi zbirala smeti in kako bi se izogibala trkom z drugimi objekti v orbiti, niso na voljo. Nitto Seimo že šest let razvija omenjen mrežo za lovljenje vesoljskih odpadkov, ki zveni kot znanstvena fantastika (Dugan, 2013).

Podoben koncept odstranjevanje vesoljskih odpadkov z nekakšnimi mrežami razvija Evropska vesoljska agencija, ki teži k temu, da morajo biti prihodnje misije v vesolje trajnostne in morajo vključevati varno odstranitev iz vesolja, ko se te končajo. Odstranitev vesoljskih odpadkov je okoljski problem globalnih razsežnosti, ki ga je potrebno oceniti in nemudoma začeti reševati, z združenimi močmi in skupaj z Združenimi narodi UN (United Nations), ker predstavlja resno grožnjo. Poleg zagotavljanja dnevnih prednosti in ugodnosti za prebivalstvo Zemlje in gospodarstvo, ima današnja infrastruktura satelitov ogromno vrednost. Stroški zamenjave za približno 1.000 aktivnih satelitov v orbiti so ocenjeni na približno 100 milijard Evrov. Izguba teh satelitov bi imela za posledico veliko večje finančne izgube v gospodarstvu in družba bi bila resnično poškodovana. Za zaščito vesoljskega prostora tako ni druge možnosti, kot aktivno odstranjevanje odpadkov, ki pa je tehnično zahtevno in precej drago. Zato se ESA in druge vesoljske agencije pospešeno ukvarjajo z nadzorom vesoljskih odpadkov in pospešujejo raziskave ter razvoj novih tehnologij za odstranjevanje vesoljskih odpadkov.

Na 6. Evropski konferenci o vesoljskih odpadkih, ki je potekala 25. aprila 2013, je bila podana nova pobuda Čisto vesolje, ki vključuje raziskave in razvoj novih tehnologij za odstranjevanje vesoljskih odpadkov in ublažitev problema kopičenja objektov v vesolju. Nacionalne vesoljske agencije in ESA so opredelile razvoj aktivnih tehnologij za odstranjevanje objektov iz vesolja za svoj strateški cilj.



Slika 60: Koncept Evropske vesoljske agencije za odstranjevanje vesoljskih odpadkov v prihodnosti

5.7.4 Solarno jadro

Gre za nov način vodenja satelitov, ko dosežejo konec svoje delovne dobe, v varno upokojitev, saj ti predstavljajo največjo nevarnost v vesolju za druga vesoljska plovila. Nov način deorbitiranja starih satelitov se bliža preizkusu v vesolju. Gre za koncept, kjer bi v prihodnosti sateliti nosili s seboj ultra lahko, tanko jadro (Gossamer sail), ki bi se odprlo ob koncu njihovega delovanja in jih popeljalo v upokojitev. Povečan aerodinamični upor bi tako satelit potegnil iz orbite, ki bi izgorel v zgornji atmosferi in bi tako zmanjšal tveganje za prihodnje trke med njim in drugimi objekti v vesolju ter zagotovil trajnostni razvoj vesoljskega okolja za prihodnje generacije.

Solarno jadro bi bilo izredno kompaktno, velikosti 15x15x25 cm in težko 2 kg. Razprlo bi se v nekaj minutah do velikosti 5x5 m, kar je dovolj za deorbitiranje satelita do 700 kg. Okvir bi bil narejen iz izredno lahkih ogljikovih vlaken, ki bi podpiral jadro iz aluminiziranega Kaptona, le nekaj tisočink mm debelega.

Jadro je bilo razvito na Univerzi vesoljskega centra Surrey, financirano s pomočjo naprednih raziskav Evropske vesoljske agencije v programu telekomunikacijskih sistemov. Namenjeno je satelitom v nizkih orbitah, nekaj 700 km višine, ki bi lahko brez takšnega jadra v orbiti ostali še stoletje dolgo. Čeprav lahko tudi z uporabo teh jader traja več let, tudi do 25, preden se satelit deorbitira in izgorel v atmosferi, kjer pri nizkih orbitah še vedno obstaja zadostna atmosfera za ustvarjanje potrebnega upora, predvsem zaradi velikosti jadra. Za doseg istega cilja, bi potrebovali gorivo z vsaj desetkrat večjo maso, kot je masa jadra, da bi satelit popeljali v varno upokojitev.

Za satelite v višjih orbitah, izven atmosfere, bi jadro načeloma lahko uporabili in izkoristili pritisk sončnega sevanja za spust satelita, ki bi s pomočjo kontrolnega sistema tako satelit pripeljal v varno upokojitev.

Jadro je že bilo podvrženo strogim testiranjem in upajo, da bo do konca leta 2014 že lahko preizkušeno tudi v vesolju in bo tako pomenilo pomemben korak pri zagotavljanju trajnostnega izkoriščanja vesoljskega prostora v prihodnosti.



Slika 61: Solarno jadro (levo) in delno razprto solarno jadro med testiranjem (desno)

5.7.5 Cube sail, nanosatelit opremljen s solarnim jadrom

Tudi Vesoljski center Surrey SSC (Surrey Space Centre), raziskovalni center Fakultete za elektroniko in fiziko Univerze v Surrey v Veliki Britaniji, razvija Cube sail (jadro v nanosatelitu, v obliki kocke), nanosatelit, opremljen s solarnim jadrom, ki bo odstranjeval vesoljske odpadke. Znanstveniki iz Vesoljskega centra Surrey, ki delajo na projektu, financiranem s strani Evropskega vesoljskega

podjetja Astrium, so oblikovali 3 kg nanosatelit, opremljen s sončnim jadrom, imenovan Cube sail (A mission to clear dangerous debris from space, 2010).

Cube sail je naprava, ki se lahko najprej vgradi v satelit ali zgornjo stopnjo izstreljene rakete v orbiti, ki so opravile svojo misijo in niso več v uporabi ter so postale predstavniki odpadkov v vesolju, in nato poskrbi za varno deorbitiranje in odstranitev odpadka iz vesolja. Jadro zloženo v nanosatelitu je veliko 10x10x30 cm in težko 3 kg, ko pa se raztegne doseže velikost 5x5 m. Leta 2011 so že začeli s testiranjem in uvajanjem jadra in če bo to uspešno je lahko to dokaj poceni, množična rešitev, ki se bo v prihodnosti uporabljala kot sistem za deorbitiranje za satelite nizkih Zemljinih orbit, z maso manjšo od 500 kg, ter za zgornje stopnje nosilnih raket. Cube sail naj bi bil na izstrelitev pripravljen v letu 2015 (A mission to clear dangerous debris from space, 2010).

5.7.6 Galaktični tovornjaki za odstranjevanje odpadkov

Evropska vesoljska agencija ima v planu razvoj več prototipov za odstranjevanje vesoljskih odpadkov in njene inovacije sploh niso tako nerealne, kot druge.

Po teorijah Evropske vesoljske agencije se je število vesoljskih odpadkov v zadnjih petih letih povečalo za 50% in bojijo se prihodnjih trkov med samimi odpadki in trkov delujočih satelitov z odpadki ter trkov odpadkov z drugimi misijami v vesolje. Agencija želi reševati omenjen problem direktno, s pošiljanjem misij v vesolje, ki bodo namenjene odstranjevanju odpadkov.

Leta 2015 ima Evropska vesoljska agencija v planu začetek Avtomatskih prenosnih vozil ATV (Automated Transfer Vehicles), ki so zračna plovila brez posadke, opremljena s senzorji za sledenje in zaznavanje vesoljskih odpadkov, ki bi jih nato obkrožili, zgrabili in vrnil nazaj na Zemljo oziroma v atmosfero, kjer bi izgoreli (Dugan 2013).

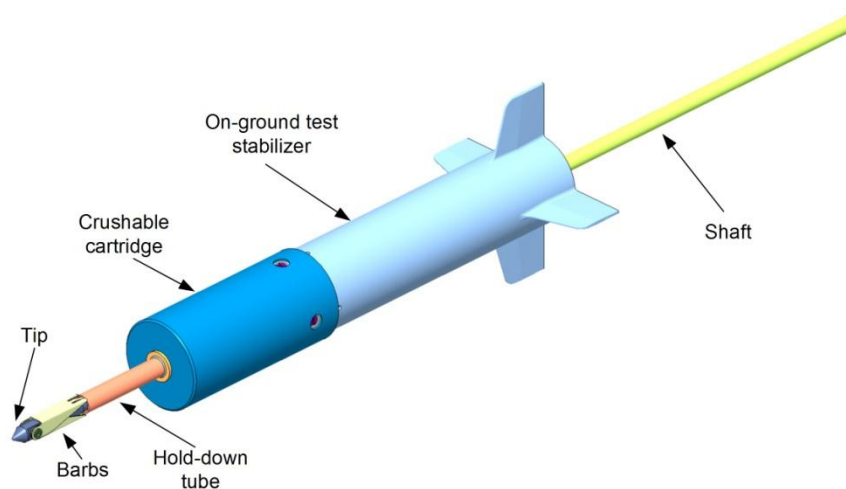
5.7.7 Lovljenje vesoljskih odpadkov s harpuno

Še ena od metod odstranjevanja vesoljskih odpadkov Evropske vesoljske agencije v razvoju, ki je del pobude Čisto vesolje. Še ena od metod soočanja z izzivom zajemanja vesoljskih odpadkov, ki predvideva lov nanje s harpuno. Lov vesoljskih odpadkov s harpuno je del več poskusov zajema vesoljskih odpadkov, katerih del so tudi robotske roke, mreže in druge podobne rešitve, ki so že bile predlagane in delno tudi preučene.

Koncept lovljenja vesoljskih odpadkov s harpuno je že začela preučevati tudi Airbus agencija za obrambo in vesolje iz Stevenage v Veliki Britaniji (Airbus Defence and Space). Harpune se zanašajo na tri fizične ukrepe, za zagotovitev varnega in čistega prijema vesoljskega odpadka: najprej pritisk visoke energije v izbrani cilj, nato zajem cilja (nabadanje na harpuno) in nazadnje privijanje oziroma vlečenje proti sebi. Prototip s harpuno je že bil testiran na materialih, iz katerih so narejeni sateliti v orbiti, tako, da so preverili, če se ta lahko zapiči vanje in če je nato dovolj močna, da jih potegne k sebi. Preizkušena je bila tudi nevarnost ustvarjanja novih delcev, ob morebitnem razpadu cilja, ko ga harpuna ulovi. V naslednjem koraku ESA predvideva izgradnjo makete in testiranje harpune v vesolju.



Slika 62: Uporaba harpune v vesolju



Slika 63: Sistem harpune

5.7.8 Uporaba laserja v vesolju

Tudi NASA razvija različne prototipe za odstranjevanje vesoljskih odpadkov.

NASA želi z uporabo laserja v vesolju dregniti vesoljske odpadke in jih spraviti s poti, ne pa zgrabiti in uničiti. Vesoljski odpadki se v vesolju gibljejo z neverjetno hitrostjo in so ekstremno nevarni za vesoljska plovila, vesoljsko postajo in satelite. NASA se želi izogniti uporabi laserja, ki bi razstreljeval vesoljske objekte, saj bi to povzročilo nastanek velike količine novih majhnih odpadkov. V idealnem primeru bi bil ta laser precej poceni in bi stal milijon dolarjev. Nameščen bi bil na enem od zemeljskih polov, kjer je atmosfera tanjša. Med izstrelitvijo v vesolje ali za preprečitev trkov med objekti bi tako NASA v vesolje pošiljala foto pulze, ki bi nežno potiskali objekte s poti.

Ideja za uporabo laserja v vesolju na zgoraj predstavljen način je še precej v zraku, za dejansko izvedbo in izgradnjo laserja bi bilo potrebno mednarodno sodelovanje.

Poleg vseh naštetih prototipov za odstranjevanje vesoljskih odpadkov obstaja še mnogo drugih predlogov, raziskav in novih tehnologij v razvoj, drugih vesoljskih agencij.

6 ZAKLJUČEK

Uporaba vesoljskih tehnologij v prvi vrsti omogoča lažje življenje (večina vseh izumov je bilo izumljenih zaradi človeške lenobe), predvsem pa hitrejše življenje. V nekaterih primerih ta omogoča tudi naše preživetje oziroma daljše življenje. Vendar pa moramo biti glede na njen hiter razvoj previdni in preudarni ter pri njeni uporabi odgovorni. V nasprotnem primeru nas bo ljudi, družabna bitja, uničila, pripeljala do konca, če se ne bomo začeli zavedati in jo uporabljati zmerno ter odgovorno, vse prej, kot nas bo naredila nesmrtna.

Hiter razvoj tehnologije in vseh znanosti je v zadnjih desetletjih doživel neverjeten razcvet in prehitro poletel v nebo, čemur navaden človek težko sledi. Prav tako je v zadnjih nekaj desetletjih razcvet doživela vesoljska tehnologija in s prvim poletom v vesolje, leta 1957, odprla nove možnosti in vesolje je postalo veliko dostopnejše. Ob enem pa so se s tem začeli v vesolju nabirati tudi vesoljski odpadki. Ti se v vesolju kopičijo že od samega začetka, od prvega vstopa človeka v vesolje, torej več kot pet desetletij človek že onesnažuje, poleg planeta Zemlja, tudi vesolje. Množično in predvsem nekontrolirano se je v vesolju nakopičilo nešteto odpadkov v času hladne vojne in v času testiranja anti-satelitskega orožja. Ob vse več misijah v vesolje, pa danes ti že motijo vesoljski promet in predstavljajo nevarnost. Zaradi prenasičenosti ti konstantno trkajo med seboj, kar povzroča nastajanje vedno več in vedno novih odpadkov.

Znanstveniki in znanstvene institucije se tako soočajo s problemom njihovega spremljanja in nadzora, pri čemer si pomagajo z instrumenti in metodami, ki jih uporablja satelitska geodezija. Z vsemi vrstami teleskopov, s katerimi so prvotno raziskovali vesolje, so sedaj začeli odkrivati in slediti tudi objektom, ki jih je v vesolje poslal človek. Z namenom spremljanja in beleženja vesoljskih objektov se uporabljajo tehnike zasledovanja in beleženja vesoljskih objektov, enake, kot se uporabljajo za sledenje satelitom. Prav tako se enakih metod poslužujejo pri identifikaciji in beleženju vesoljskih objektov, ki se, skupaj s svojimi karakteristikami zapisujejo v Katalog vesoljskih objektov. Ta poleg delujočih satelitov beleži tudi vse ostale izstrelitve v vesolje ter poskuša vzpostaviti nadzor nad vsemi delci, ki so v vesolju prisotni in poznavanje katerih je pomembno za planiranje nadaljnjih misij v vesolje. Za številne vesoljske agencije in vesoljske centre je nujno, da poznajo naravo vesoljskih objektov, da se jim tako lahko na misijah v vesolju izognejo, saj lahko srečanje z njimi povzroči veliko škode ali celo katastrofalno uničenje. In prav ta uničenja, ki se zaradi prenasičenosti vesolja konstantno odvijajo, povzročajo nastajanje vedno več in več novih odpadkov, ki vzbujajo skrb. Identificirali so skrb vzbujajoče število 22.000 objektov, ki jim lahko sledijo in so zabeleženi v katalogu. Obstaja pa še nešteto manjših odpadkov in drugih delcev v vesolju, ki jim z današnjo tehnologijo za opazovanje in nadzor vesolja ni moč slediti.

Zaskrbljujoč podatek o številu odpadkov v vesolju tako sili k ukrepanju. Številni znanstveniki se še kako dobro zavedajo problema in katastrofalnih posledic, ki jih ta prinaša in jih kopičenja odpadkov v vesolju skrbi. Bolj pa bi se morali problema zavedati politiki, ki odločajo o smernicah razvoja in o tem kje se bo porabljal denar in imajo tako v rokah vse niti, za začetek uspešnega reševanja omenjenega problema. Še vedno se raje vloga v viden napredek, ki prinaša oblasti moč in zadovoljstvo. Pa vendar ni vse tako črno. Različne institucije že razvijajo različne tehnologije in preizkušajo nove prototipe za odstranjevanje vesoljskih odpadkov. Tako se razvijajo nove tehnologije in testirajo prototipi, ki bodo v bližnji prihodnosti poskrbeli za čistejše vesoljsko okolje in njegov trajnostni razvoj. Nekatere izmed njih so tudi že bile preizkušene, vendar v praksi ni še nobena popolnoma zaživela in bila realizirana.

Tako današnje učinkovito in edino rešitev za reševanje problema vesoljskih odpadkov še vedno predstavlja odgovorna raba vesoljskega prostora in odgovorno ravnanje ter misel na trajnostni razvoj.

In zaključujem z besedami Roberta Baden Powella, ustanovitelja skavtskega gibanja: "Poskusimo pustiti svet za seboj malo boljši, kot smo ga dobili."

"Try and leave this world a little better than you found it."

VIRI

Uporabljeni viri

A brief history of NORAD. 2012.

<http://www.norad.mil/Portals/29/Documents/History/A%20Brief%20History%20of%20NORAD.pdf>
(Pridobljeno junij 2014.)

A mission to clear dangerous debris from space. 2010.

http://www2.surrey.ac.uk/mediacentre/press/2010/26099_a_mission_to_clear_dangerous_debris_from_space.htm (Pridobljeno 6. 8. 2014.)

Čadež, A. 1996. Gibanje vesoljskih sond in fizikalne. V: Matko, D. (ur.). Uporaba vesoljskih tehnologij, Radovljica: Didakta: str. 1-30.

Dugan, B. 2013. 5 Bold Proposals For Cleaning Up Space Junk.

<http://mentalfloss.com/article/48606/5-bold-proposals-cleaning-space-junk> (Pridobljeno marec 2014.)

Klinkrad, H. (2002, November). Monitoring Space—Efforts Made by European Countries.

International Colloquium on Europe and Space Debris, sponsored by the Académie National de l’Air et de l’Espace, Toulouse, France (27. – 28. november 2002).

<http://www.fas.org/spp/military/program/track/klinkrad.pdf> (Pridobljeno 12. 7. 2014.)

Richard, M., Kronig, L., Belloni, F., Rossi, S., Gass, V., Paccolat, C., ... & Shea, H. 2013.

Uncooperative Rendezvous and Docking for MicroSats1. V: 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies, RAST 2013, (No. EPFL-CONF-187720).

Schilling, G., Lindberg Christensen, L. 2011. Oči, zadržte v nebo: 400 let odkritij s teleskopi. 1. natis. Ljubljana, DMFA-založništvo: 132 str.

Technical Report on Space Debris: Text of the Report adopted by the Scientific and Technical Subcommittee of the United Nations Committee on the Peaceful uses of Outer Space. 1999.

http://www.oosa.unvienna.org/pdf/reports/ac105/AC105_720E.pdf (Pridobljeno 12. 7. 2014.)

Vidmar, M. 1996. Tirnice umetnih satelitov. V: Matko, D. (ur.). Uporaba vesoljskih tehnologij, Radovljica: Didakta: str. 31-52.

Wikipedia: Space debris. 2014.

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_debris (Pridobljeno marec 2014.)

Wikipedia: United States Space Command. 2014.

http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_Space_Command (Pridobljeno junij 2014.)

Ostali viri

Canadian Space Agency. 2014.

http://www.asc-csa.gc.ca/eng/about/csa_organization.asp (Pridobljeno 11. 8. 2014.)

Campbell, J. W. 2000. Using Lasers in Space: Laser Orbital Debris Removal and Asteroid Deflection.
www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ada425477 (Pridobljeno marec 2014.)

Capderou, M. 2005. Satellites: Orbits and missions. Springer Science & Business Media: 544 str.

Center odličnosti Vesolje-SI. 2014.

<http://www.space.si> (Pridobljeno 12. 8. 2014.)

DARPA Phoenix Program. 2014.

http://www.darpa.mil/our_work/tto/programs/phoenix.aspx (Pridobljeno maj 2014.)

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE EPFL. 2014.

<http://www.epfl.ch/>. (Pridobljeno 12. 8. 2014.)

Gibanje satelita v težnostnem polju Zemlje: seminarska naloga. 2013. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 12 str.

ESA: Space Debris. 2014.

http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Debris (Pridobljeno marec 2014.)

Estrella P., C. M. 2013. Space debris: Seminar.

http://aulavirtual.ig.conae.gov.ar/moodle/pluginfile.php/513/mod_page/content/72/SPACEDEBRIS_FIN1%20-%20ENGLISH.pdf (Pridobljeno marec 2014.)

Kuhar, M. 2012. Osnove satelitske geodezije: študijski pripomoček. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 65 str.

Madi, M. 2012. Cleaning up Earth's orbit: A Swiss satellite tackles space debris.

<http://actu.epfl.ch/news/cleaning-up-earth-s-orbit-a-swiss-satellite-tack-2/> (Pridobljeno marec 2014.)

MASTER. 2012.

<http://www.master-model.de/> (Pridobljeno junij 2014.)

NASA: James Webb Space Telescope. 2014.

<http://jwst.nasa.gov/about.html> (Pridobljeno marec 2014.)

NASA: Orbital Debris. 2014.

<http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov> (Pridobljeno marec 2014.)

NORAD Catalog. 2014.

<http://satellitedebris.net/Database/index.php> (Pridobljeno 1. 8. 2014.)

Oltrogge, D. (2011). Getting to know our space population from the public catalog.
<http://www.agi.com/resources/user-resources/downloads/white-paper.aspx?id=148> (Pridobljeno marec 2014.)

Satellite breakup analysis. 2014.
<http://www.spaceacademy.net.au/watch/debris/collision.htm> (Pridobljeno 6. 8. 2014.)

Staguhn, G. 2002. Skrivnosti vesolja. Tržič, Učila International: 190 str.

UCS Satellite Database User's Manual: The UCS Satellite Database. 2009.
<http://www.ucsusa.org/assets/documents/nwgs/User-Guide-w-appendix-1-21-09.pdf> (Pridobljeno marec 2014.)

Union of Concerned Scientists. 2014.
http://www.ucsusa.org/nuclear_weapons_and_global_security/solutions/space-weapons/ucs-satellite-database.html (Pridobljeno junij 2014.)

University of Surrey. 2014.
<http://www.surrey.ac.uk/> (Pridobljeno 12. 8. 2014.)

Venturelli, P., & Velasco, A. M. 2011. A method for addressing the danger of space debris.
V: Aerospace Conference, 2011 IEEE (pp. 1-10). IEEE.

Wikipedia: Netherlands Institute for Space Research. 2014.
http://en.wikipedia.org/wiki/Netherlands_Institute_for_Space_Research (Pridobljeno 12. 8. 2014.)