

THOR

Prima nava interplanetara

<http://dincolodemargini.wordpress.com>

[Proiect prezentat la Concursul international Odysseus 2013]



[Aceasta pagina este intentionat alba]

Cuprins

Cuvant inainte.....	3
Managementul proiectului si metodologia de cercetare	4
Stadiu actual al dezvoltarii tehnico stiintifice in domeniu	10
Cooperarea internationala pentru realizarea THOR	12
Obiectivele misiunii.....	14
Obiectiv principal	14
Obiective tehnologice.....	15
Obiective si echipamente stiintifice	16
Schita aspect general.....	17
Sisteme de Comanda, Control, Comunicatii si Astronavigatie	18
Alegerea traiectoriei si optimizarea	21
Roboti autonomi – solutia pentru o nava evolutiva	28
Propulsia navei.....	32
Surse energetice	36
Productia si asamblarea de echipamente si sonde la bordul navei.....	38
Concluzii	41
Bibliografia.....	42

Cuvant inainte

Misiunea Thor¹ este aceea de a explora marginea spatiului interstelar si de a incepe cucerirea sistemului nostru solar. Cat timp umanitatea ramane doar pe Terra, nu poate fi considerata o civilizatie spatiaala de tip I². Concentrarea resurselor internationale pentru a construi prima nava interplanetara (pana acum, omenirea a construit doar sonde interplanetare), este inceputul lungului drum spre un viitor independent de soarta planetei noastre de origine si de resursele energetice si minerale ale acesteia.

Fiecare drum, ori cat de lung, incepe cu un pas.

Haideti sa il facem impreuna!

The HelioTeam

¹ The Heliosphere Outskirts Researcher

²Kardashev, N. S. "Transmission of Information by Extraterrestrial Civilizations," Soviet Astronomy, 8, 217 (1964), pag. 201; [Kaku, Michio](#), Physics of the Future: How Science Will Shape Human Destiny And Our Daily Lives by the Year 2100.

Managementul proiectului si metodologia de cercetare

Echipa THOR este formata in totalitate din elevi ai claselor de performanta din cadrul Liceului International de Informatica Bucuresti si este condusa de profesorul de fizica Nuri Korganci.

Componenta echipei este urmatoarea:

Ana Georgescu - clasa a IX-a F , pasionata de astronomie, Olimpiada Nationala de Astronomie 2012 juniori, membru din 2009 al Cercului de Astronomie a PNC Bucuresti, membru din 2010 al Societatii Astronomice Romane de Meteori, membru din 2011 al International Meteor Organization³, membru din 2012 al echipei de teren – All-sky - proiect din Planul National de Cercetare PNII PCCA 2011.

Malin Stanescu - clasa a IX-a F, participant la fazele nationale ale olimpiadelor de matematica si fizica. Mentiune si argint la faza nationala a olimpiadei de matematica, calificat la lotul largit de matematica.

Maria Tudor clasa a IX-a F, pasionata de astronomie si astrofizica, robotica si sporturi. Calificata in lotul natinal - juniori de astronomie 2012 si medalie de argint la Concursul International de Robotica Robochallenge Vienna 2012.

Andreea Oncescu clasa IX-a F, premiul al II-lea la Olimpiada Nationala de Fizica 2011, etapa nationala 2010, Olimpiada Nationala de Fizica 2009.

Ileana Rugina clasa a X-a E, Premiul al III-lea si Medalie de aur la Olimpiada Nationala de Fizica 2012, Mentiune la Olimpiada Nationala de Matematica 2011, Medalia de argint la Olimpiada Nationala de Matematica 2011, Calificare in lotul largit pt Olimpiada balcanica de matematica 2011, Mentiune la Olimpiada Nationala de Fizica 2010, Mentiune la concursul national Evrika 2010, Premiul al III-lea la concursul national Nicolae Coculescu 2010, Medalie de bronz la concursul national Nicolae Coculescu 2010, Medalie de argint la concursul international de matematica Arhimede 2009.

In calitate de consultanti, echipa noastra a apelat la resurse nationale:

³ <http://www.imo.net/>

- Agentia Spatiala Romana(ROSA) - Claudiu Dragusanu
 - Institutul de Stiinte Spatiale
 - Universitatea Politehnica Bucuresti – dr. Cosmin K. Banica
 - Institutul Astronomic al Academiei Romane;
- dar si la experti internationali, membri ai IMO :
- dr. Mirel Birlan – Institut de mecanique celeste et de calcul des ephemerides din Paris
 - Francisco Ocaña González – Universitatea Madrid



Membrii echipei in vizita la ISS pentru discutii privind traiectoria THOR.

Echipa Thor a beneficiat de suportul logistic al ICHB⁴, pentru a organiza sedintele de proiect in laboratorul de IT. Consultarile cu ISS si ROSA au avut in vedere, in principal, traiectoria si stabilirea obiectivelor misiunii, iar UPB- Facultatea de Inginerie electrica⁵ si UPB- Facultatea de Electronica, Telecomunicações și Tehnologia Informatiei⁶ au furnizat

⁴ ICHB- Liceul International de Informatica Bucuresti, www.ichb.ro

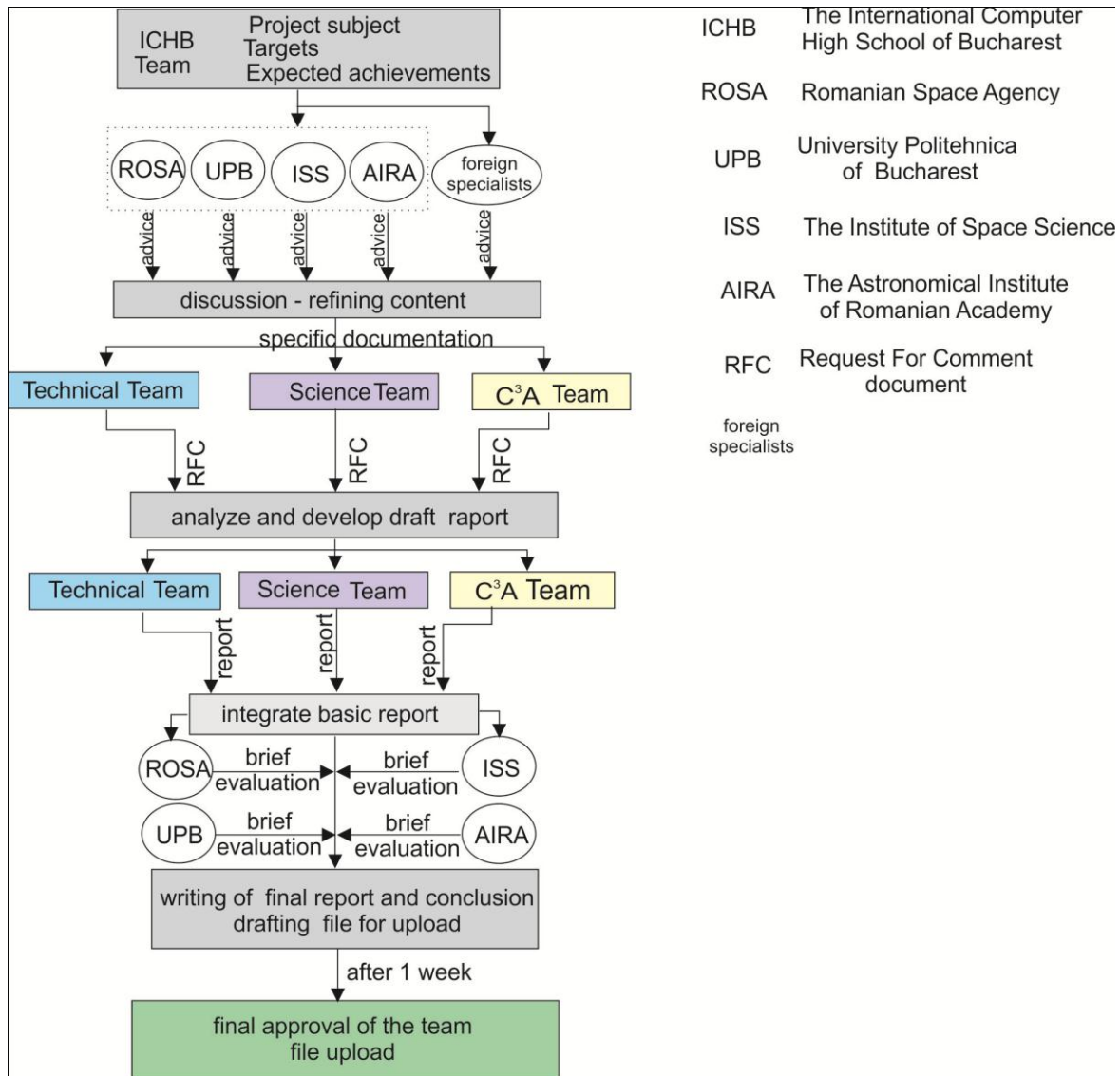
⁵ <http://www.electro.pub.ro/>

⁶ <http://www.electronica.pub.ro/>

consultanta privind gestiunea resurselor de energie electrica si a sistemelor de comunicatii interne si interplanetare.

Institutul Astronomic al Academiei Romane a oferit consultanta privind compozitia chimica a asteroizilor din zona transneptuniana si a posibilitatilor de explorare si inventariere cu ajutorul instrumentelor de bord a heliosferei.

Avand in vedere aceste resurse stiintifice si tehnologice, a fost elaborata urmatoarea schema de evolutie a proiectului:



Functiile de evaluare a parametrilor de dezvoltare a proiectului au generat un efort de documentare important pentru toti membrii echipei, pentru ca exigentele consilierilor au fost foarte ridicate.

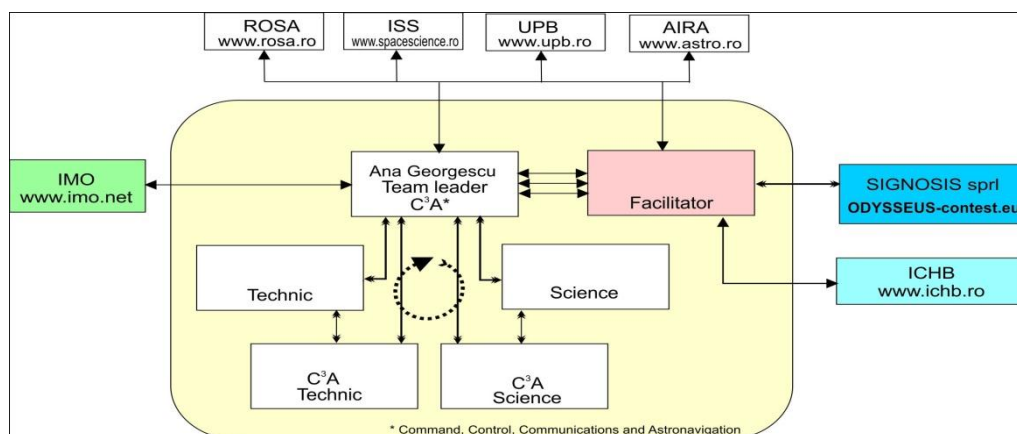
Eforturile de documentare se vad cel mai bine in directorul comun de fisiere documentare, care include peste 424 documente in format pdf si alte cateva sute de alte tipuri.

Pentru un management eficient al proiectului echipa a incercat initial sa utilizeze un software specializat – Freedcamp dar limitarile versiuni freeware s-au dovedit prea importante pentru a fi folosit in mod eficient.



In continuare, echipa a folosit o combinatie de Dropbox +Facebook, la care se adauga un blog (<http://dincolodemargini.wordpress.com>), ce a functionat ca o interfata publica si foarte accesibila pentru persoanele din afara echipei, inclusiv pentru cele aflate in strainatate. Pentru ca membrii echipei au programe zilnice foarte diferite, lucrul in mediul virtual a fost de departe cea mai buna solutie. Astfel, o sedinta saptamanala in laborator in care se discutau materiale citite deja de acasa, a fost mai mult decat suficienta.

Circulatia informatiilor in cadrul proiectului este prezentata in diagrama de mai jos:



Pentru realizarea unui management eficient, a fost elaborata o diagrama GANTT care sa ofere informatii condensate despre evolutia proiectului.

THOR - Diagrama Gantt (saptamani)																
ETAPE	Activitati / Subactivitati	Actiuni specifice														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	PREGATIRE SUPORT	1.	Definirea echipei largite si a obiectivului general al proiectului													
		1.1.	Definirea echipei provizorii de lucru	Discutii intre initiatore si alti colegi interesati de proiect, formarea unei echipe largite												
		1.2.	Stabilirea preliminara a subiectului si estimarea resurselor necesare	Definitivarea schitei de subiect, estimarea resurselor materiale si de timp, alocate de membrii proiectului												
		1.3.	Obtinerea acordului liceului si a resurselor, desemnarea profesorului coordonator	Elaborarea si prezentarea unei propuneri de participare conducerii liceului. Obtinerea unui spatiu pentru sedinta si a unui profesor coordonator. Se definitiveaza echipa.												
2	Stabilirea subiectului proiectului	2.	Stabilirea categoriei de participare si a subiectului													
		2.1.	Stabilirea categoriei unde va fi inscris subiectul	Analiza cunostintelor teoretice necesare echipei, precum si a resurselor de timp necesare pentru finalizarea proiectului												
		2.2.	Stabilirea nivelului de abordare	Echipa a stabilit elaborarea unui proiect de nava care sa utilizeze cunostintele dobandite de membrii echipei in cadrul pregatirilor pentru concursurile nationale si internationale de astronomie, astrofizica, matematica, fizica si robotica												
		2.3.	Definirea subiectului, a numelui navei si a denumirii proiectului	Se analizeaza capacitatile echipei, precum si asteptarile membrilor acesteia; se alege un subiect care sa solicite munca in echipa si sa utilizeze eficient cunostintele extracuriculare acumulate.												
3	Documentarea generala	3.	Documentarea generala													
		3.1.	Documentarea vizand managementul proiectelor stiintifice	Se elaboreaza graficele cadru de lucru, precum si obiectivele conducatorului echipei. Se stabileste metodologia de lucru												
		3.2.	Documentarea privind obiectivele stiintifice in cercetarea sistemului solar in urmatorul deceniu	Se definesc obiectivele stiintifice generale ale misiunii												
		3.3.	Documentarea privind obiectivele tehnologice pentru urmatorii 10ani in explorarea spatiului	Se stabilesc obiectivele tehnologice generale ale misiunii THOR												
		3.4.	Documentare despre referintele nationale si internationale disponibile	Se fac vizite de documentare la Universitatea Politehnica Bucuresti, Agentia Spatiala Romana, Observatorul Astronomic al Academiei Romane, se discuta cu specialisti straini in domeniu.												
4	Elaborarea solutiilor pentru cele trei module (stiintific, tehnic, comanda)	4.	Elaborarea solutiilor specifice													
		4.1	Documentare asupra specificatiilor pentru aparatura stiintifica si elaborarea propunerilor de integrare	Documentarea grupei stiintifice asupra aparatelor necesare pentru indeplinirea obiectivelor si completarea RFC - ului (propunerea de discutat in echipa de proiect).												
		4.1.1	Elaborarea cerintelor tehnice a aparatelor stiintifice	Completarea unei fise de echipament cu cerintele minimale si cu caracteristicile preconizate in urmatorii 2 ani in domeniu												
		4.1.2	Evaluarea specificatiilor tehnice si a disponibilitatilor echipamentelor	Redactarea raportului cu observatiilor colegilor si definitivarea propuneri finale..												
		4.2	Documentarea specifica a cerintelor pentru echipamentele tehnice si caracteristicilor necesare functionarii in spatiu	Documentarea grupei tehnice asupra echipamentelor necesare pentru indeplinirea obiectivelor si completarea RFC - ului.												

Stadiu actual al dezvoltarii tehnico stiintifice in domeniu

La data redactarii acestui material, nu exista un program de constructie a unui santier orbital si nici a unei NAVE interplanetare. Tehnologiile necesare pentru pornirea imediata a unui program si realizarea intr-un timp foarte scurt a unui santier spatial, sunt insa deja disponibile, necesitand doar vointa politica pentru concentrarea resurselor materiale si stiintifice, si definirea unui acord international de exploatare a resurselor descoperite in cursul misiunii THOR.

Propulsia electrica⁷ a fost deja confirmata ca o solutie fiabila si economica in mai multe misiuni americane⁸, japoneze si rusesti. In aceste conditii, posibilitatea de a utiliza acest tip de propulsie pentru misiunile interplanetare este certificat de toate programele de dezvoltare a agentilor spatiale.

Resursele energetice de la bordul navei sunt factorul critic - si acest aspect este, de fapt, cheia dezvoltarii unui asemenea program interplanetar coerent. Solutia nucleara este singura viabila pentru misiunile interplanetare si va trebui folosita, in ciuda presiunilor politice excitate de organizatiile ecologiste si religioase. Solutia reactor nuclear-gaze-turbina de gaze este simpla si are posibilitatea de a face intretinerea facila pentru roboti. Varianta propusa de NASA⁹, prin care in locul turbogeneratorului electric se va folosi un motor Stirling, este putin mai greu de sustinut, din cauza lucrarilor de intretinere necesare functionarii pe perioade foarte mari de timp.

Pentru resurse energetice de rezerva, pentru releele spatiale de comunicatii si pentru sonde de explorare, se va folosi RTG(Radioisotope Thermoelectric Generator), care este dovedita ca o tehnologie foarte fiabila – functioneaza de 35 de ani pe sondele Voyager, - si este o solutie ieftina.

Pentru robotii de serviciu, vor fi folosite pachete de acumuloare de tip Lipo sau celule de combustibil (fuel cell), care sa permita perioade scurte de incarcare sau folosirea unor module interschimbabile de acumuloare. Toate aceste tehnologii sunt disponibile sub forma de produse comerciale si sunt utilizate si la bordul Statiei Spatiale Internationale.

⁷ Prashant Patel,* Daniel Scheeres,† and Alec Gallimore‡, Maximizing Payload Mass Fractions of Spacecraft for Interplanetary Electric Propulsion Missions, JOURNAL OF SPACECRAFT AND ROCKETS, Vol. 43, No. 4, July–August 2006

⁸ <http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/DLN/descriptions/presentations/systemsengineering/SystemsEngPart1.ppt>

⁹ http://www.nasa.gov/centers/glenn/news/pressrel/2012/12-059_fission.html

Sistemele autonome inteligente – sunt un alt element esential pentru succesul unei asemenea misiuni. Din pacate, la acest capitol nu avem solutii confirmate comercial, desi exista sisteme militare de roboti autonomi care utilizeaza principii colaborative pentru rezolvarea unor misiuni specifice¹⁰. Robotii autonomi care vor lucra pe THOR vor trebui sa colaboreze intre ei, ca sisteme autonome sau coordonati de sistemul de tip „Cloud” - care este format din totalitatea resurselor de calcul disponibile la un moment dat pe nava. Acest cuvant, „cloud”, este testat la mai toate universitatile din lume, fiind un „buzzword” in lumea stiintifica si este vandut in diverse ambalaje de majoritatea marilor corporatii de IT.

Imprimarea 3D este una din conditiile necesare, dar nu suficiente, pentru reusita acestui proiect, pentru ca permite reducere drastica a complexitatii sistemului de intretinere si mai ales, de evolutie a navei pe parcursul celor 35-40 de ani de serviciu. Fara aceasta tehnologie, un sistem de o foarte mare complexitatea ca o nava interplanetara, devenea de nesustinut din punct de vedere tehnologic si logistic, pe parcursul misiunii. Din fericire exista deja o oferta generoasa de produse in acest domeniu

¹⁰ http://www.irobot.com/us/cool_stuff/Research/Collaborative_Systems.aspx

Cooperarea internationala pentru realizarea THOR

Cooperarea internationala pentru indeplinirea unor deziderate stiintifice este, in general problematica, daca nu exista un substrat economic, care sa mobilizeze factorii politici.

Doua exemple celebre, de cooperare internationala sunt **LHC**(Large Hadron Collider)¹¹ – un efort de peste 10miliarde Euro, coordonat de CERN, dar efectuat de peste 30 de tari, iar celalalt este **ISS** –Statia Spatiala Internationala, care a costat peste 100miliarde de dolari, la ea participand peste 35 de tari (27 de membri EU)¹².

La nivel programatic EU, prin ESA, are aprobat - in *ESA Cosmic vision*¹³ cercetarea amanuntita a Heliopauzei si a marginilor sistemului solar.

Cadrul global de cooperare este furnizat de ONU prin **UNOOSA**¹⁴ si permite lansarea rapida a unei initiative in acest domeniu . La nivel international, acest organism are posibilitatea de a gestiona usor negocierile pentru semnarea unui tratat, care sa accelereze misiunea THOR.

Pentru proiectul nostru, excluzand motivatiile politice vizand gestiunea viitoarelor resurse minerale din spatiu, cooperarea internationala este importanta, datorita costurilor mari necesare pentru realizarea proiectului(in conditii de criza economica), intr-un interval scurt de timp, precum si pentru diversitatea necesarului de competente si resurse tehnologice, implicate in proiect.

Astfel, va fi nevoie de urmatorii furnizori de tehnologii si solutii tehnice:

Rusia – reactorul nuclear de 1MW pentru nave spatiale, lansatoare spatiale ieftine si mai ales disponibile;

SUA – echipamente autonome si sisteme de bord, lansatorul de 130tone –SLS, experienta in sonde interplanetare;

EU – senzori si echipamente de rafinare si selectie, imprimante 3D, tehnologii de analiza laser, lansatorul Ariane5;

Suedia – imprimanta cu fascicul de electroni, sisteme de separare de a materialelor la temperaturi foarte joase, microsisteme de rafinare;

¹¹ <http://cds.cern.ch/record/1165534/files/CERN-Brochure-2009-003-Eng.pdf>

¹² http://en.wikipedia.org/wiki/International_Space_Station#Program_cost_in_United_States_dollars

¹³ ESA Cosmic Vision – Space Science for Europe 2015 –2025”pag. 85.

¹⁴ <http://www.unoosa.org/oosa/en/OOSA/index.html>

China – cele mai ieftine lansatoare de medie putere, resurse financiare imense implicate intr-un program spatial propriu, si , in 2013 ,primul robot pe suprafata lunara, dupa 1973.

India – dispune de un program spatial propriu,construieste un robot autonom care va fi lansat in 2014 pe Luna;

Brazilia – dispune de program propriu de activitati spatiale si de cateva facilitati de lansare si cel mai important, dispune de rezerve financiare pentru a sustine o cooperare internationala;

Australia – este promotoarea motorului ionic cu DS4G, care este finantat partial de ESA, si este gazda uneia dintre cele trei antene de 70m, din reseaua DSN(Deep Space Network).

Obiectivele misiunii

Obiectiv principal

Inventarierea resurselor disponibile in zona transneptuniana, studierea planetelor pitice Sedna si Eris si a heliopauzei.

Obiective secundare:

1. inventarierea corpurilor aflate pe traseul dintre Eris si Sedna cu ajutorul telescopului aflat la bord;
2. studierea bowshock-ului si a intregii game de fenomene asociate heliopauzei;
3. studierea compozitiei chimice de pe o orbita joasa a corpurilor mari, aflate in afara orbitei transneptunice, cu ajutorul sondelor lansate de pe nava-mama;
4. prelevarea de mostre si studierea compozitiei si structurii interne a asteroizilor de mici dimensiuni, cu ajutorul sondelor-naveta, lansate de nava-mama si apoi recuperate;
5. instalarea unei retele de relee de comunicatii broadband, la nivelul intregului sistem solar, utilizabila si de misiuni ulterioare;
6. validarea solutiei electronucleare de fisiune controlata si a motoarelor ionice si perfectionarea conceptului;
7. validarea solutiei de nava autosustenabila, cu ajutorul robotilor autonomi, precum si a conceptului de nava fractionabila.

Obiective terciare:

1. intoarcerea sectiunii principale a navei, pe o orbita terestra, cu mostrele prelevate in timpul misiunii;
2. reutilizarea unor parti din sondele de explorare uzate, pentru constructia unor noi sonde, impreuna cu fabricarea de componente noi la fata locului;
3. fabricarea de componente din materialele (hidrocarburi) recoltate de pe asteroizii de mici dimensiuni, cu ajutorul microinstalatiei de rafinare si polimerizare de la bord;
4. folosirea materialelor locale prelevate de pe asteroizi, procesate sumar (in calitate de combustibil), pentru propulsia electrica, in motarele experimentale STARDUST.

Obiective tehnologice

Obiectivul principal, din punct de vedere tehnologic, este functionarea autonoma, cel putin 35 de ani, in parametri nominali, prin utilizarea resurselor locale.

Obiectivul secundar este dezvoltarea unor solutii inovatoare, de folosire a sistemelor autonome, pentru exploatarea resurselor de la marginea sistemului solar.

Tehnologii:

- 1) Echipamente tehnologice speciale la bordul navei – mama:
 - a) Modificarea unei imprimante 3D pt. metale¹⁵, care sa lucreze la gravitatie zero;
 - b) Imprimanta 3D multimaterial pt. plastic¹⁶, care sa lucreze in imponderabilitate;
 - c) Instalatie de separare in vid si concentrare materiale provenite din asteroizi;
 - d) Instalatie de rafinare, polimerizare si producere semifabricate;
 - e) Instalatie procesare praf -combustibil pt. motoare ionice;
- 2) Atelier montaj general si reciclare:
 - a) Roboti semiautonomi, specializati in lucrari de montaj-demontaj in atelier;
 - b) Linie speciala de transport si fixare la gravitatie zero.
- 3) Hangar sonde – pregatire misiune si reparatii curente:
 - a) Echipamente de alimentare cu combustibil;
 - b) Echiapamente de testare finala;
 - c) Roboti intretinere planificata si reparatii.

¹⁵ [1] <http://www.arcam.com/technology/additive-manufacturing.aspx>;
http://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/selective_melting.html

¹⁶ <http://objet.com/3d-printers/connex>

Obiective si echipamente stiintifice

1) Instrumente stiintifice la bordul navei - mama:

- a) Telescop multispectral reflector multisegment 6.4m(obs. Astro);
- b) Telescop INFRAROSU indepartat, reflector 2.6m (termoviziune) (obs. Astro);
- c) Radio telescop antena 9m (dubla utilizare - rezerva pt. antena de 18m) (obs. Astro);
- d) Magnetometru multisenzorial (obs. Astro);
- e) Detector multisensor de micrometeoriti (obs. Astro);
- f) Detector multisenzor de vant solar (obs. Astro);
- g) Spectrometru de inalta rezolutie pentru obiecte apropiate (obs. Astro);
- h) Spectrometru DeepSpace (obs. Astro);
- i) Detector de raze gama si neutrini (obs. Astro);
- j) Cromatograf in gaze (laboratorul de probe);
- k) Spectrometru quadrupolar de masa (laboratorul de probe);
- l) Spectrometru cu laser tunabil (laboratorul de probe).

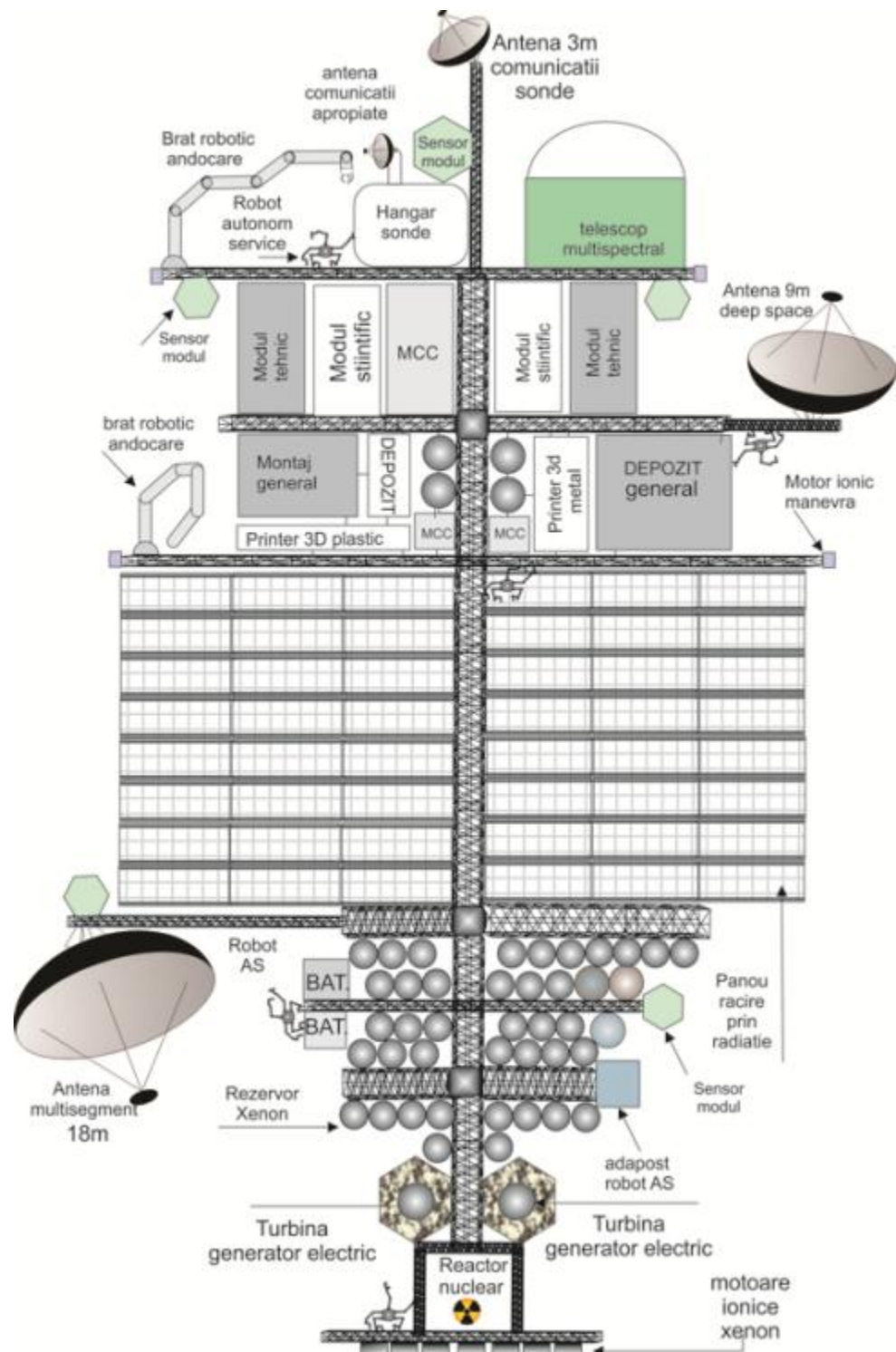
2) Instrumente stiintifice la bordul sondelor de cercetare:

- a) Camera multispectrala inalta rezolutie –(minitelescop 30cm);
- b) Magnetometru;
- c) Detector multisensor micrometeoriti;
- d) Gravimetru (accelerometru de inalta rezolutie);
- e) KIT de masurare 3D (Laser si Camere stereo de masurare).

3) Instrumente stiintifice la bordul statiilor releu:

- a) Telescop optic multispectral (reflector 1.2m);
- b) Camera IR indepartat (termoviziune);
- c) Detector raze game si neutrino;
- d) Magnetometru.

Schita aspect general



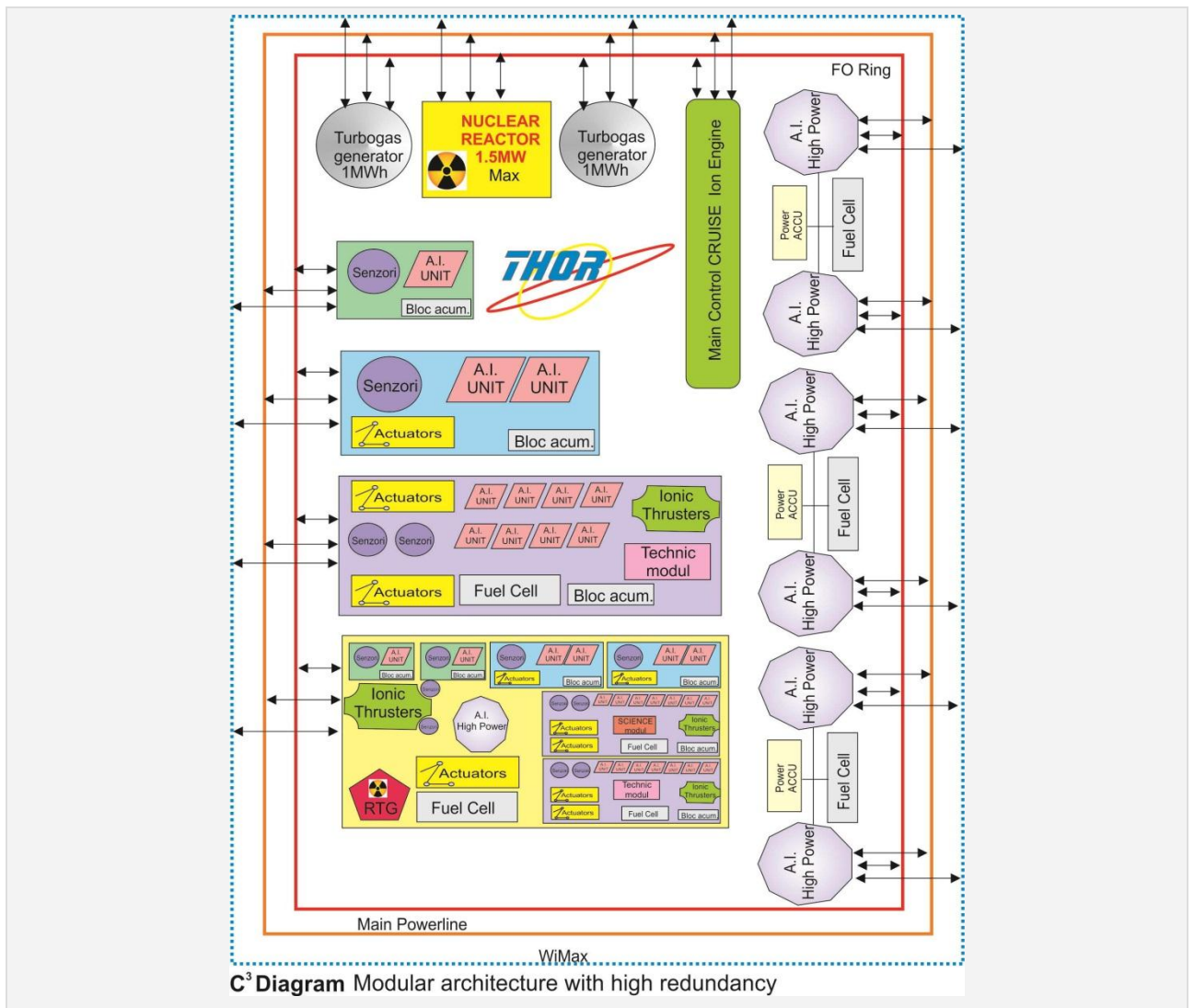
Masa estimata la plecarea de pe orbita terestra este de aprox. 300.000-380.000kg.
La intoarcere, dupa 35 de ani, va mai avea o masa de maxim 30.000kg.

Sisteme de Comanda, Control, Comunicatii si Astronavigatie

Sistemul de comanda si control este implementat intr-un sistem de tip distribuit si multilevel, la nivelul intregii arhitecturi multimodul a navei. La nivelul intregii structuri, exista trei retele independente de comunicatii si comanda interne care sunt redundante si mai ales, folosesc trei medii diferite de propagare (FO-Fibra optica, PLC¹⁷, WiMAX¹⁸).

Toate cele trei sisteme de comunicatii virtualizeaza o retea de tip HSR¹⁹ folosita de C3.

Reteaua de comunicatii interna, prin fibra optica, este reseaua principala si doar in cazul in care acesta cade, pana la reparare, pe segmentul cu probleme, este suplinita de reseaua PLC urmata de WiMAX.



¹⁷ Power line communication (PLC) solutie de comunicatii folosind conductorii de retea electrica de putere.

¹⁸ Worldwide Interoperability for Microwave Access-(WiMax) retea wireless structurata

¹⁹ <http://tissues.iec62439-3.com/default.msp>

Datorita distantei imense dintre nava si Terra, este imposibil sa fie implementata o solutie de "control de la distanta", singura solutie este folosirea unui sistem de "inteligenta artificiala", care va rula in mai multe instante pe cele trei nuclee duble distribuite in structura navei sub forma unei solutii "cloud". La sarcinile deosebite, care necesita putere foarte mare de calcul, arhitectura permite folosirea tuturor resurselor de calcul disponibile in nava. De mentionat, ca toti senzorii si sistemele de actionare (supape, motoare, blocuri de alimentare, brate robotizate, echipamente etc.) sunt inteligente, adica fiecare dispune de un sistem redundant de control, care comanda echipamentul si verifica daca acesta a functionat corect, raportand indeplinirea sarcinii²⁰.

Resursele de calcul distribuite la nivelul navei, permite acesteia continuarea misiunii, chiar daca toate cele 6 sisteme principale de calcul - desi sunt modulare - sunt distruse in totalitate.

Nava poate utiliza resursele energetice ale navelor-sonda si ale navelor-releu (care dispun de RTG²¹), care nu au fost lansate pentru a suplini reactorul nuclear principal, timp de aprox. un an. In acest timp, se presupune ca resursele interne si robotii autonomi de intretinere vor putea rezolva problema. Sistemul de **C³A** dispune de propriul generator RTG, care permite functionarea sistemului in regim de izolare fata de restul navei, in caz de probleme deosebite.

Datorita implementarii Wimax si a unei rezerve energetice individuale, la nivel de sistem de comanda si control, un motor electric obisnuit, de exemplu, va raporta prin wireless status-ul, chiar si dupa ce a fost demontat si se afla in lada cu piese defecte a atelierului de intretinere. Wimax asigura si comunicatiile cu robotii autonomi.

Comunicatiile cu Terra sunt un aspect foarte important pentru acesta misiune si de aceea, sunt prevazute patru solutii de comunicatii diferite, Thor fiind dotat cu echipamente de comunicatii specializate pentru Deep Space, astfel:

RL2E - o antena principala de 19m²² in banda X, care impreuna cu amplificatorul de 200W asigura rate de transfer de 2000 de ori mai mari decat navele din seria Voyager de la 40UA;

²⁰ Oricare din aceste echipamente dispune de calculatoare mai puternice decat calculatoarele principale instalate pe navetele americane la lansarea acestora.

²¹ Radioisotope Thermoelectric Generators (RTG)– generator nuclear de mica putere si foarte lunga durata

²² Antena de 19m va fi asamblata in spatiu, in santierul spatial aflat pe o orbita LEO, antenele de 9metri ale statiilor releu vor fi asamblate pe traseu de catre robotii autonomi.

RR2E – comunicatie prin releu la 10UA, antena principala, banda X – rata de transfer sustinuta de 1,2Mbs;

OL2E- comunicatie optica laser de putere (10W) direct pe orbita pamantului. Se estimeaza ca pot fi asigurate comunicatii de pana 192kb/s de la 60UA;

OR2E – comunicatie optica prin intermediul statiilor releu – minim 6Mb/s pentru un hop de 10UA.

Sistemul utilizeaza un protocol de comunicatii nou, denumit **DTN**²³, special dezvoltat pentru comunicatiile Deep Space, unde TCP-IP²⁴ nu poate functiona din cauza intarzierii prea mari a (ACK) confirmarii receptiei corecte a unui pachet de date²⁵.

Pentru calculul bugetului legaturilor radio am folosit urmatoarea serie de formule:

$$EIRP = P_t + G_t - L_t$$

unde: P_t -puterea emisie; G_t – castigul antenei; L_t pierderile prin cabluri; EIRP puterea aparenta;

$$P_r = EIRP + G_r - L_e - L_p - L_l - L_s:$$

unde: G_r castigul antenei, L_e pierderi de pozitionare, L_p pierderi de polarizare, L_r pierderi prin cabluri, L_s pierderi prin propagare in spatiu.

$$L_s = \left(\frac{C}{4F\pi S} \right)$$

unde: C viteza lumini, F frecventa emitatorului, S distanta dintre emitator si receptor.

Astronavigatia se va desfasura pe baza camerelor video de navigatie si a centralelor inertiiale (IMU), care vor permite sistemului de navigatie sa se orienteze, avand referinta Soarele, pozitia stelelor si datele efemeridelor incarcate in memoria softului de navigatie²⁶.

In plus, sistemul dispune de date venite de la sistemul inertial de navigatie, de la ceasul de mare precizie cu rubidiu, precum si de la controlul misiunii care poate trimite date de corectie. Pentru coerenta in pregatirea acestei misiuni dupa lansare intregul sistem de referinta devine heliocentric.

²³ Delay- and Disruption-Tolerant Networking (**DTN**), Artemios G. Voyiatzis, JOURNAL OF INTERNET ENGINEERING, VOL. 5, NO. 1, JUNE 2012

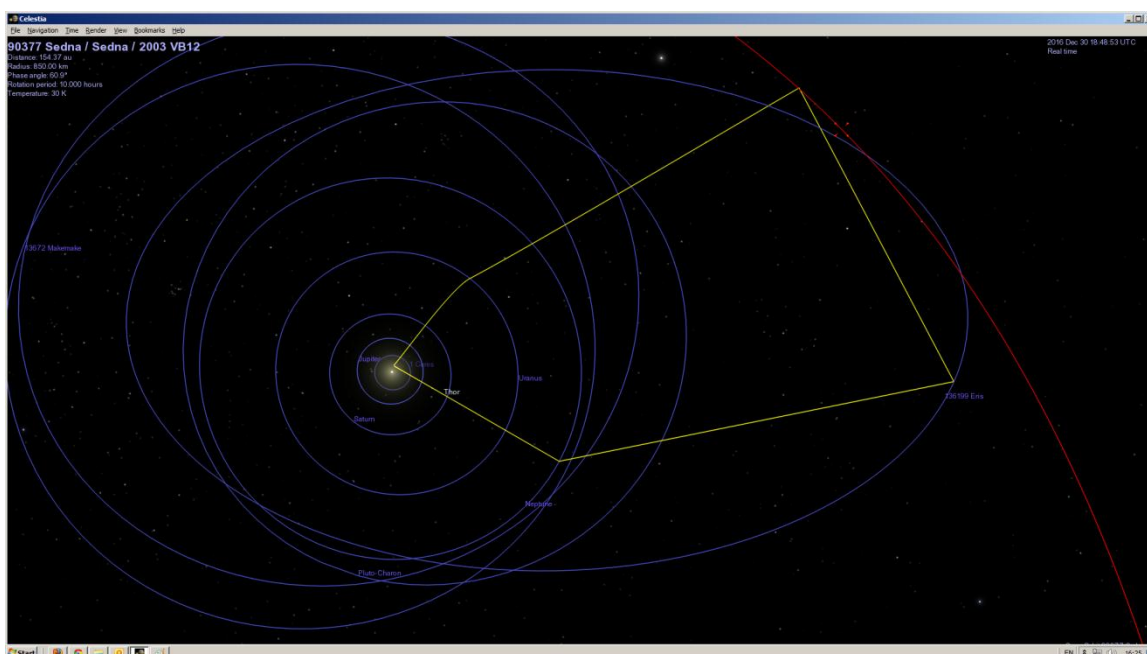
²⁴ TCP/IP (Protocol de control al transmisiei/Protocol Internet)

²⁵ De la marginea sistemului solar un "raspuns" ajunge pe Terra dupa aprox. 18ore

²⁶ John L. Crassidis, Jo Ryeong Yim, John L. Junkins, AUTONOMOUS ORBIT NAVIGATION OF INTERPLANETARY SPACECRAFT, AIAA-2000-3936.

Alegerea traiectoriei si optimizarea

Datorita tandemului **DS4G**²⁷ si **generator electronuclear**, Thor va fi prima nava care poate dezvolta un ΔV , suficient de mare pentru parasi sistemul solar , fara utilizarea efectului de prastie gravitacionala. De asemenea din ratiuni de timp am renuntat la "interplanetary highway"²⁸. Obiectivul misiunii este planeta pitica Eris si apoi, planeta pitica Sedna, care are cea mai mare orbita , iesind cu mult in afara heliosferei. Pe traiectoria spre Eris vom folosi , ca intermediar, planeta Neptun. Fara aceasta intermediere, unghiurile de abordare necesitau suplimente importante de combustibil si modificari in structura navei (in conditiile unei corectii care trebuie sa opereze un timp foarte scurt, motoarele cu plasma sunt ineficiente - se vor folosi motoarele racheta clasice) pentru a ajunge in fereastra optima²⁹. La inceput, era planificat ca Thor sa foloseasca doar propulsie ionica, dar manevrarea in jurul lui Eris si mai ales a lui Sedna, necesita o forta uriasa, care trebuie sa compenseze gravitatia destul de redusa a celor doua planete ,pentru modificarea traictoriei navei ,cu o masa de aprox.110 tone si cu o viteza de 396000km/h. Solutia : doua motoare rusesti de tip RD191 Energomash³⁰ si 23500 kg de combustibil (oxigen lighid- kerosen), care sunt cele mai puternice, la ora actuala.



²⁷ http://www.esa.int/gsp/ACT/newsroom/NewsArchive/New07_Jan06_DSG4Thruster.htm

²⁸ Shane D. Ross, The Interplanetary Transport Network, 2006 Sigma Xi, The Scientific Research Society

²⁹ <http://www2.jpl.nasa.gov/basics/bsf4-1.php>

³⁰ <http://www.npoenergomash.ru/eng/engines/rd191/>

In vederea determinarii unei traiectorii, care sa satisfaca toate cerintele misiunii noastre, au fost incercate foarte multe instrumente software, din care doar unele au corespuns cerintelor noastre :

- **GMAT**³¹ – software de analiza a misiunii utilizat de NASA, ESA si ROSCOMOS;
- **Celestia**³² – aplicatie pentru afisarea usoara a traiectoriilor 3D pe baza efemeridelor navei;
- **Trajectory optimization tool** ver. 1.1.2³³ – aplicatie pentru determinarea ferestrelor de intalnire a lui Thor cu Neptun, Eris ,Sedna si Saturn – foarte usor de folosit;
- **OMCT** –Open Mission Control Technologies³⁴ – un instrument interesant pentru a intelege fluxul de de date telemetrice primite in cursul unei misiuni;
- **JAT** – Java Astrodynamics Toolkit ³⁵- fiind scris in java necesita extrem de mult timp de rulare pentru o misiune ca THOR;
- **Orbit Determination Toolbox** ³⁶– ruleaza in Java, dar si in Matlab si permite simulari foarte elaborate;
- **Ample** ver.1.6 – este produs de Institutul de Astronomie aplicata a Academiei Ruse de Stiinta si furnizeaza efemeridele in format de timp normal, pentru planetele pitice ca Eris si Sedna;
- **TIPSOD** ³⁷ - software de vizualizare sustinut de GSFC-NASA si foarte interesant pentru ca permite simularea bowshock-ului;
- **PyKEP**³⁸ pachet software - interesant si folosit de echipa noastra.

O alta categorie de instrumente software, utilizate pe plan international pentru planificarea misiunilor spatiale , cu care insa echipa noastra nu a lucrat, pentru ca nu sunt gratuite, dar care trebuie, totusi, specificate ca posibile optiuni:

- Systems Tool Kit - de la Analytical Graphics, Inc
- AeroSpace Trajectory Optimization Software - Astos Solutions GmbH

³¹ <http://gmat.gsfc.nasa.gov/>

³² <http://sourceforge.net/projects/celestia/>

³³ <http://www.orbithangar.com/searchid.php?ID=5418>

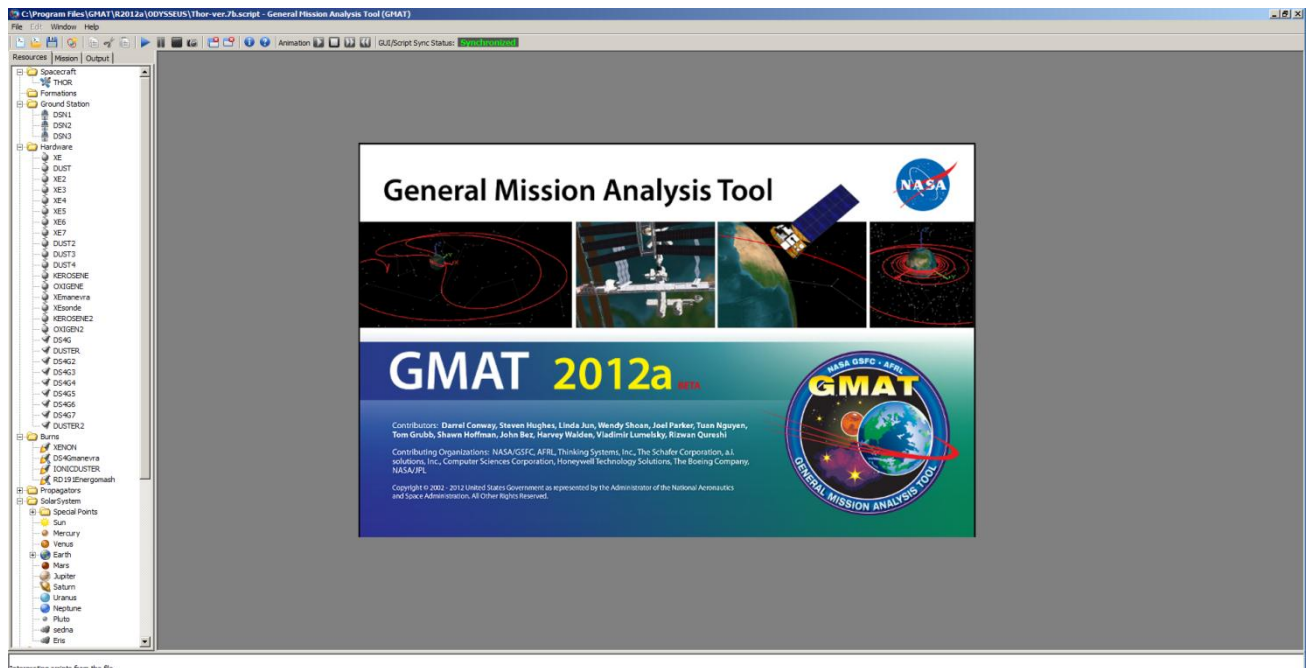
³⁴ <https://sites.google.com/site/openmct/develop>

³⁵ <http://jat.sourceforge.net/>

³⁶ <http://opensource.gsfc.nasa.gov/projects/ODTBX/index.php>

³⁷ <http://sscweb.gsfc.nasa.gov/tipsod/>

³⁸ <http://keptoolbox.sourceforge.net/>



Baza de lucru a reprezentat inasa, pachetul software GMAT de la NASA, care presupune multe instrumente auxiliare , dar din pacate , nu toate sunt puse la dispozitiei gratuit. GMAT este un instrument profesional , fiind folosit in mod curent de NASA si ESA in misiunile curente si in aceste conditii este foarte greu de configurat . Lucrul cu GMAT a solicitat mai multa documentare decat orice altceva si, in plus, a obligat la foarte multe optiuni, care nu faceau obiectul unui proiect de liceu.

Fiecare element necesar pentru a rula o iteratie simpla, necesita informatii amanuntite despre mase, forte, vectori, efemeride, unghiuri de intalnire, balante de energie si mai ales de masa, timp in format iulian (de exemplu data de 16 decembrie 2012 ora. 16:00:00 este exprimata ca 2456278.166667) .

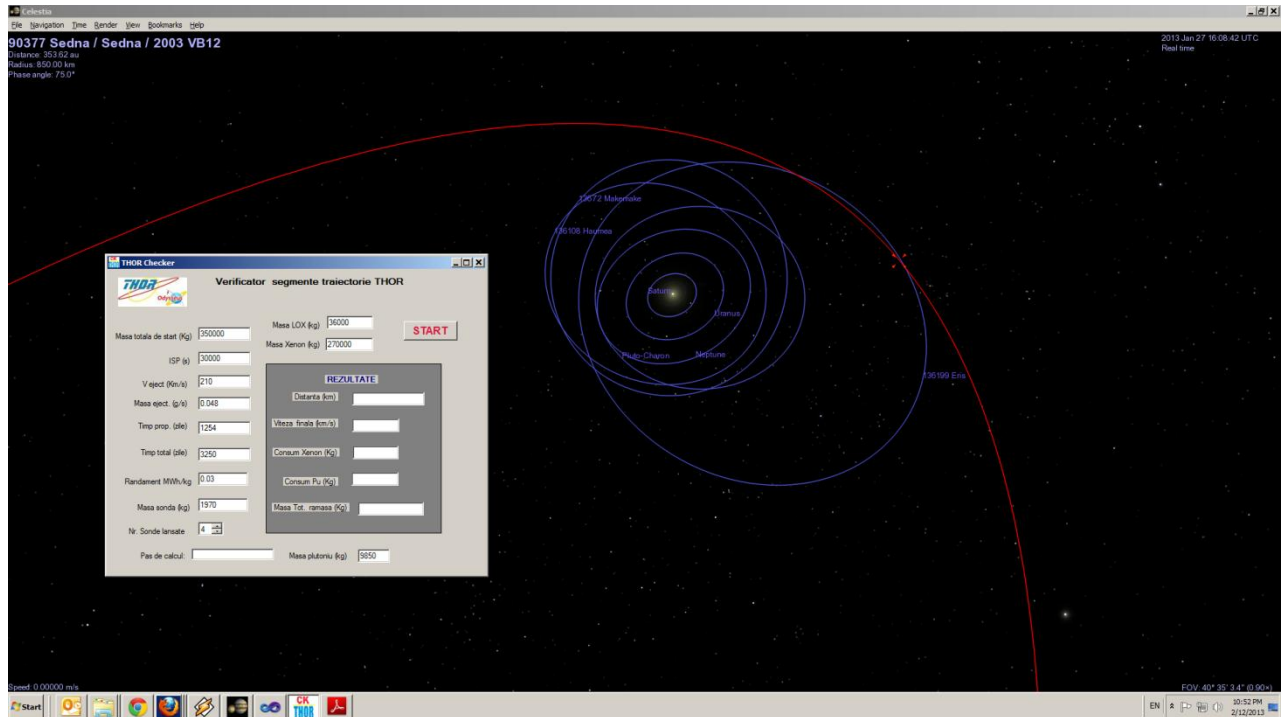
Pentru multe segmente de programare a misiunii, am folosit **PyKep** , care dispune de doua solutii de optimizare pentru nave cu reactoare nucleare si propulsie electrica – ambele , au participat la competitia internationala organizata NASA-ESA de optimizare a traiectoriei unei nave spatiale.

De mentionat, ca jocul-simulare al ESA <http://thespacegame.org/>, a reprezentat un punct de flexiune important pentru echipa noastra, in modul in care a fost asimilata problema optimizarii traiectoriei.

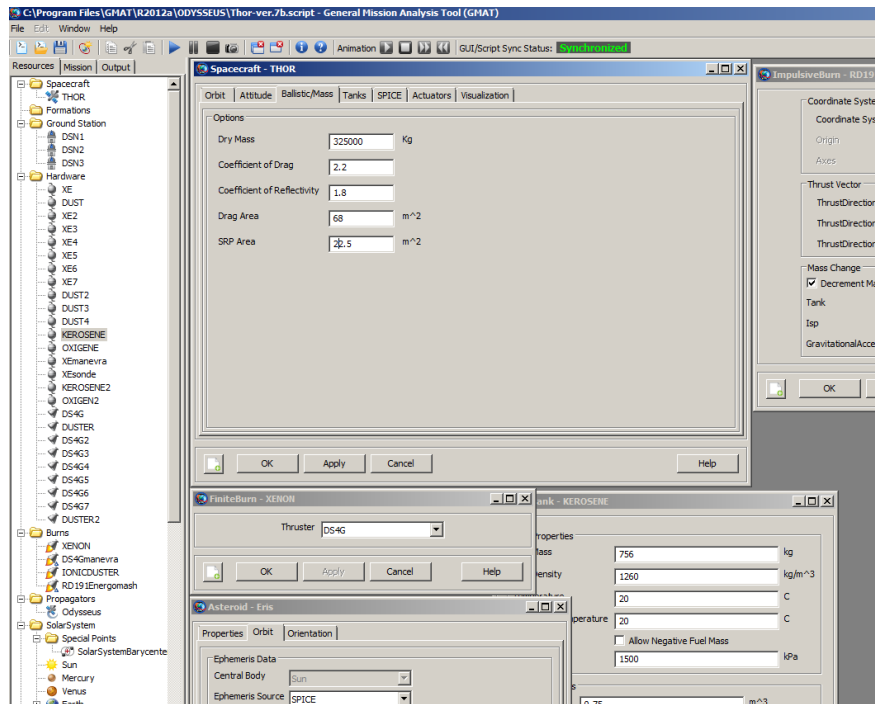
In plus, in cadrul echipei, a fost scris un mic program de calcul simplificat (denumit Thor-CK), pentru determinarea ΔV , vitezei finale, distantei parcurse - necesar la evaluarea rapida a datelor pentru orbitele navei-mama si a sondelor, folosind acest set de formule:

$$\Delta V = C * \text{Ln}\left(\frac{M_s}{M_s - M_f}\right)$$

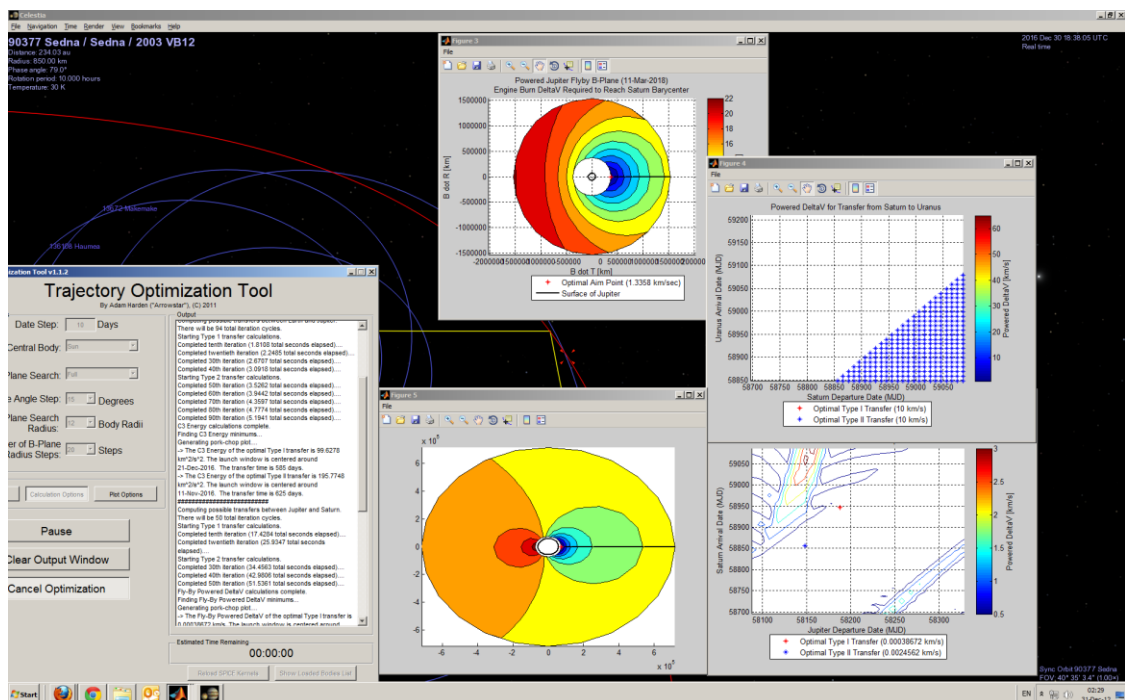
unde ΔV – variatia vitezei; c-viteza masei de ejectie, Ms-masa de start a navei, Mf-masa navei cand sunt oprite motoarele.



Integrarea datelor pentru validarea intregii misiuni s-a putut face doar in GMAT, care este , de departe , cel mai complet sistem de planificare a unei misiuni spatiale, iar faptul ca este opensource este extraordinar.



Masa de start din LEO a lui THOR fost stabilita la 325000kg. Din acesta masa, peste 202.000kg este combustibil, necesar pentru a furniza recordul de viteza pentru o nava construita de om (peste 110km/s fata de soare) si inca 50000kg pentru a frana si a se putea inscrie pe o orbita terestra, dupa aproximativ 27de ani.



Verificarea traiectoriei cu TOT (Trajectory Optimization Tool) ne permite sa analizam graficul cu culoarul optim de intrare pe orbita planetei, folosita ca punct de sprijin gravitacional, pentru a schimba directia de deplasare a navei.

Spre exemplu pentru Sedna efemeridele in fereastra de intalnire initiala arta astfel:

```

*****
Ephemeris / WWW_USER Sun Jan 27 08:06:03 2013 Pasadena, USA / Horizons
*****
Target body name: 90377 Sedna (2003 VB12) {source: JPL#19}
Center body name: Solar System Barycenter (0) {source: DE405}
Center-site name: BODY CENTER
*****
Start time : A.D. 2025-Jan-27 00:00:00.0000 CT
Stop time : A.D. 2030-Dec-26 00:00:00.0000 CT
Step-size : 1440 minutes
*****
Center geodetic : 0.00000000,0.00000000,0.00000000 {E-lon(deg),Lat(deg),Alt(km)}
Center cylindric: 0.00000000,0.00000000,0.00000000 {E-lon(deg),Dxy(km),Dz(km)}
Center radii : (undefined)
Small perturbers: Ceres, Pallas, Vesta {source: SB405-CPV-2}
Small body GMS : 6.32E+01, 1.43E+01, 1.78E+01 km^3/s^2
Output units : KM-S
Output format : 02
Reference frame : ICRF/J2000.0
Output type : GEOMETRIC cartesian states
Coordinate systm: Ecliptic and Mean Equinox of Reference Epoch
*****
Initial FK5/J2000.0 heliocentric ecliptic osculating elements (AU, DAYS, DEG):
EPOCH= 2453614.5 ! 2005-Sep-01.00 (CT) Residual RMS= .51583
EC= .8468849702002696 QR= 76.02129901012596 TP= 2479540.207856507
OM= 144.5074202169889 W= 311.5491925188072 IN= 11.9310046487108
Asteroid physical parameters (KM, SEC, rotational period in hours):
GM= n.a. RAD= n.a. ROTPER= 10.273
H= 1.5458 G= .150 B-V= n.a.
ALBEDO= n.a. STYP= n.a.
*****
JDCT
X Y Z
VX VY VZ
*****
$$SOE
2460702.500000000 = A.D. 2025-Jan-27 00:00:00.0000 (CT)
6.019294995267671E+09 1.060059806610745E+10 -2.561079157917223E+09
-4.281907439224711E+00 1.062732033873835E+00 3.440327587954996E-01
2460703.500000000 = A.D. 2025-Jan-28 00:00:00.0000 (CT)
6.018925036920226E+09 1.060068988343470E+10 -2.561049432829592E+09
-4.281943195846710E+00 1.062669059462611E+00 3.440479734340495E-01
2460704.500000000 = A.D. 2025-Jan-29 00:00:00.0000 (CT)
6.018555075483465E+09 1.060078169532086E+10 -2.561019706427407E+09
-4.281978951190326E+00 1.062606082885144E+00 3.440631882869374E-01
2460705.500000000 = A.D. 2025-Jan-30 00:00:00.0000 (CT)
6.018185110957498E+09 1.060087350176576E+10 -2.560989978710649E+09
-4.282014705255314E+00 1.062543104147260E+00 3.440784033541340E-01
2460706.500000000 = A.D. 2025-Jan-31 00:00:00.0000 (CT)
6.017815143342434E+09 1.060096530276920E+10 -2.560960249679301E+09
-4.282050458041643E+00 1.062480123243139E+00 3.440936186356278E-01
2460707.500000000 = A.D. 2025-Feb-01 00:00:00.0000 (CT)

```

Pe langa traiectoria navei-mama, au trebuit calculate orbitele sondelor-releu si a sondelor de explorare, astfel incat sa se poata castiga din punct de vedere stiintific, din posibilitatea de a lansa mai multe sonde de explorare si, eventual, de recoltare de probe de pe asteroizi mici sau medii in zona heliopauzei. O parte din sondele de exploare vor aprofunda explorarea, continuand drumul in afara sistemului solar, eventual, in functie de disponibilitatile de combustibil, una din ele putand chiar accelera pana la 150km/s, adica la aprox. 0,0005 din viteza luminii.

Posibilitatea de a asambla la marginea sistemului solar o sonda de explorare, conform necesitatilor de moment, si apoi de a lansa sonda spre orice tinta aparuta in timpul

misiunii - pe o traiectorie aleasa in functie de datele de plecare (masa, ISP, cant. de combustibil, sursa de energie) , este unul dintre obiectivele tehnologice principale ale misiunii. Optimizarea traiectoriei unei asemenea sonde, care dispune deja de o viteza considerabila ($V_{Thor} > 100 \text{ km/s}$) inca de la lansare, a fost o provocare interesanta pentru echipa noastra.

Roboti autonomi – solutia pentru o nava evolutiva

Elementul definitoriu al misiunii THOR este faptul ca aceasta nava este un sistem care dispune de facilitati de intretinere si modernizare, desi este fara echipaj uman. Din acest punct de vedere, vom beneficia de avantajele executarii unor operatiuni de reparatii si intretinere curenta, fara sa avem problemele impuse de sistemele de suport ale vietii , care sunt necesare oamenilor. Echipajul uman, fragil si pretentios, a fost inlocuit cu mai multi roboti autonomi de serviciu (dotati cu sisteme de calcul neuronal) , care pot sta nemiscati 10 ani, practic fara sa consume energie, intr-un adapost simplu(cutie-dulap), care ii protejeaza doar de micrometeoriti si radiatiile foarte puternice. In vremea cand un robot-aspirator³⁹ dotat cu "inteligenta artificiala", care face curat prin casa (fara sa fie nevoie de atentia cuiva), poate fi cumparat pe internet si livrat prin posta, era normal ca un robot de service sa patrunda in zona activitatilor spatiale. Conceptul de robot de service in spatiu cosmic are deja o vechime – NASA are deja o directie intreaga⁴⁰ care se ocupa de acest lucru. Ideea de baza este ca nu trebuie sa arunci la gunoi un autoturism cand a ramas fara benzina sau nu mai franeaza, din cauza uzurii placutelor de frana. Este mai simplu sa faci o realimentare si eventual, sa repari masina schimband placutele de frana. Insa, acest principiu nu putea fi aplicat la cutiile cu senzori aruncate in spatiu, care au constituit pana de curand "cele mai avansate echipamente din punct de vedere tehnologic , pe care le putea produce Terra".



³⁹ <http://www.irobot.ro/>

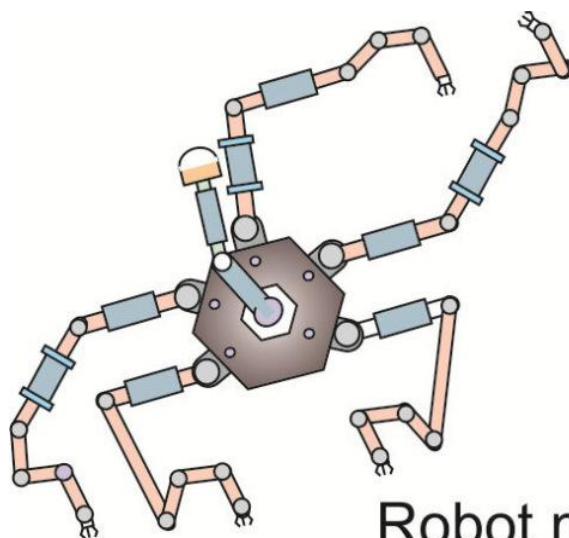
⁴⁰ http://ssco.gsfc.nasa.gov/robotic_servicing_mission.html

Inceputul a fost facut. Deja la bordul Statiei Spatiale Internationale lucreaza primul robot humanoid (NU are insa picioare), fiind folosit pentru lucrari repetitive sau de mare precizie (vezi imaginea de mai sus).



Pentru ca schita originala nu este destul de aratoasa, in cursul documentarii, echipa noastra a gasit o imagine (figura de mai sus) si o referinta intersanta⁴¹, pentru eforturile prilejuite de introducerea in activitatile spatiale ale unor roboti autonomi.

Coordonarea sistemelor de comanda si control, care include si trasarea sarcinilor pentru robotii autonomi, este un domeniu care va trebui dezvoltat special pentru o nava spatiaala, lipsa gravitatiei fiind un element foarte important in modul de deplasare a robotilor pe nava si prin nava.

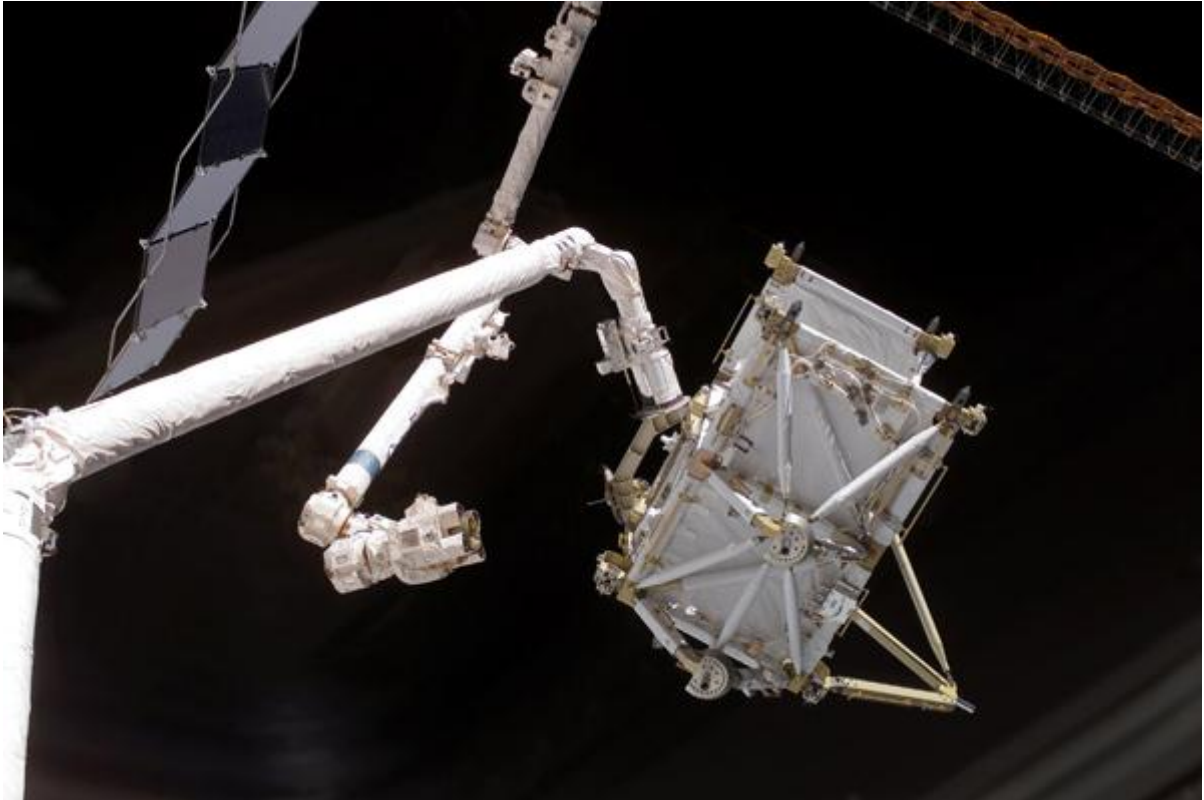


Robot multiarm
Thor mission

⁴¹<http://robotik.dfki-bremen.de/en/research/projects/db/Project/show/limes-1.html>

Solutia noastra (desenul de mai sus) este ca robotul sa dispuna doar de multe "maini" si sa se deplaseze "agatandu-se" de diverse "manere", montate in interior , dar si pe exteriorul navei.

Folosirea acestei solutii asigura o deplasare sigura si in afara navei, neexistand riscul desprinderii si apoi pierderii robotului.



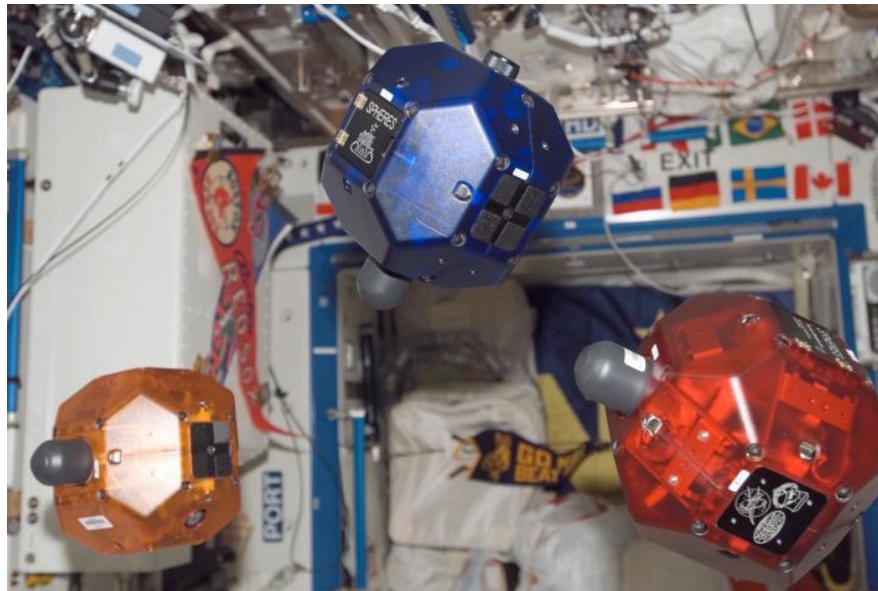
Pentru andocare sau lansare de sonde, se poate folosi experinta de pe ISS⁴², unde sunt deja montate mai multe brate robotice de mari dimensiuni, precum cele din imaginea de mai sus.

Un element foarte important este ca THOR va trebui proiectat astfel incat sa poata fi reparat. Vor trebui proiectate spatii de acces pentru robotii autonomi la toate elementele functionale si structurale, pentru a face reparatii sau inlocuiri de componente etc.... Mai mult, modul in care se va face manipularea componentelor, trebuie avut in vedere inca de la faza de proiectare.

Din cauza lipsei unei proiectari specifice in interiorul Statiei Spatiale Internationale, pot fi folositi doar roboti umanoizi – pentru ca totul a fost proiectat sa fie utilizat de oameni.

Pentru THOR , proiectarea va trebui sa aiba in vedere crearea unor cai de acces , care sa permita deplasarea mai multor roboti, cu diverse incarcaturi pe culoarele navei, posibilitatea de a tracta si depana alti roboti autonomi, precum si montarea si demontarea elementelor voluminoase in exteriorul navei.

⁴² <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/canadarm/robotic.asp>



Pentru partea de inspectie si monitorizare locala a navei, un grup mare de roboti ieftini de tip SPHERE⁴³ (imaginea de mai sus) in configuratie de SWARM⁴⁴ poate executa, cel mai bine si cu minimum de costuri, majoritatea sarcinilor de inspectie, monitorizare si verificare a statusului navei.

Prima Nava interplanetara, construita de populatia de pe Terra, va fi proiectata pentru entitati inteligente, cu comportament social si posibilitatea de a lua decizii in comun, dar NON-UMANE.

⁴³ http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/SPHERES.html

⁴⁴ http://www.swarmanoid.org/project_description.php

Propulsia navei

Propulsia navei-mama este asigurata de un cluster de 48 de motoare ionice de tip DS4G⁴⁵, montate pe o platforma care permite lucrari de service in timpul functionarii sistemului. In regim de croaziera, sunt folosite doar 18-24 dintre ele, restul fiind rezerva, dar putand fi utilizate in regim de urgenta (sistemul energetic al navei poate suporta consumul tuturor motoarelor doar perioade mici de timp).

Propulsia Principala:

48 motoare DS4G;

4 motoare STARDUST (Optional).

Propulsie manevra:

24 motoare DS4G;

2 motoare racheta RD191.

Propulsia electrica, ca solutie principala pentru o nava spatiala, a fost utilizata cu succes de misiunile Hayabusa⁴⁶ si Deep Space⁴⁷ si este in acest moment solutia de baza pentru viitoarele misiunile interplanetare.

Motorul ionic de tip DS4G a fost dezvoltat de ESA impreuna cu ANU⁴⁸, pentru a fi utilizat ca motor principal si, in principiu, are structura functionala prezentata in fig.1⁴⁹

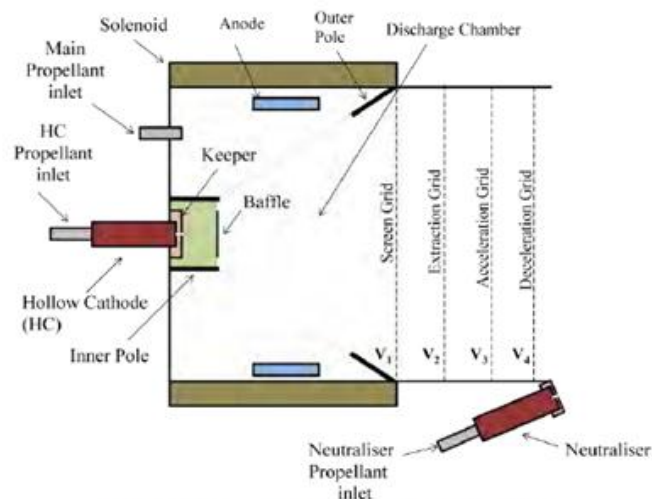


Figure 1: Dual-Stage Four Grid (DS4G) ion thruster

⁴⁵ <http://www.esa.int/gsp/ACT/pro/pp/DS4G/background.htm>

⁴⁶ <http://www.nec.com/en/global/ad/hayabusa/story/03/>

⁴⁷ <http://nmp.jpl.nasa.gov/ds1/tech/sep.html>

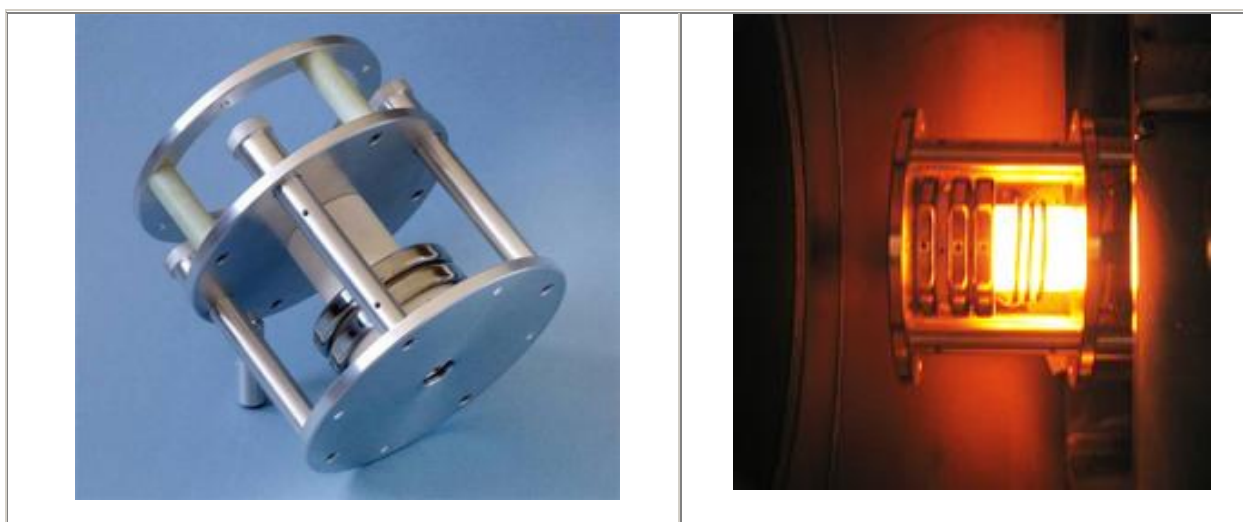
⁴⁸ Australian National University – Universitatea Nationala Australiana

⁴⁹ R. Intini Marques, S.B. Gabriel, Dual Stage Four Grid (DS4G) Ion Engine for Very High Velocity Change Missions, 31st International Electric Propulsion Conference, 2009

Pentru Thor properlantul este Xenon-ul, un gaz nobil, rar pe Terra, dar destul de raspandit in univers – locul 56 - fiind preferat datorita masei atomice mari (asiguradu-se astfel, un volum mai mic pentru rezervoare).

Prin catodul tubular (HC), se introduce gaz (Xenon) in camera de plasma (camera descarcare), prin incalzire RF sau descarcare Anod –Catod se produce plasma, care este completata apoi prin difuzorul principal. Cele patru grile extrag ionii, ii accelereaza, franeza pentru focalizare jet, iar un surplus de xenon injectat din lateral descarca electrostatic nava fata de jet.

DS4G inainte de montaj si in test este prezentat in imaginile alaturate⁵⁰:



Testele finale ale acestui tip de motor au fost facute in cea mai mare incinta vidata a ESA, in Olanda, si a fost folosit un DS4G de 25kW⁵¹. De mentionat, ca este prevazuta dezvoltarea si a unui model de 50kW.

Caracteristicile tehnice:

DS4G – 25 (Date preliminare)	
Putere nominala	25(kW)
ISP	30000s
Forta	0.45N
Tensiune G1	8120V
Tensiune electrod extractie	6120V
Tensiune electrod acceleratie	-120V
Masa ejectata	0.000048kg/s
Viteza masa ejectata	210km/s

⁵⁰ Cristina Bramanti, Roger Walker, Orson Sutherland, Rod Boswell, Christine Charles, David Fearn, Jose Gonzalez Del Amo, Marika Orlandi, THE INNOVATIVE DUAL-STAGE 4-GRID ION THRUSTER CONCEPT –THEORY AND EXPERIMENTAL RESULTS, I.A.C. 2006

⁵¹ C. Casaregola, G. Cesaretti and M. Andrenucci, HiPER: a European Programme to Develop Electric Propulsion Technologies for Future Space Exploration, Space Propulsion 2010, 3 - 6 May 2010, San Sebastian, Spain

Avantajul major al structurii de cluster, folosit pentru Thor, este faptul ca obtinem o plaja mare de valori a tractiunii si asigura redundanta necesara pentru a sustine timp de aproximativ 3 ani functionarea permanenta a unui numar minim de 18 DS4G.

Motoarele de manevra sunt de acelasi tip cu cele principale, beneficiind de faptul ca la acest tip de motoare, se poate doza foarte precis intensitatea impulsului, precum si durata acestuia.

Un alt avantaj, este posibilitatea de a repara sau inlocui un motor defect cu componente de la alt motor sau chiar, un motor integral cu un altul aflat in rezerva, toate motoarele ionice fiind de acelasi tip.

Propulsia optionala- cu motoare STARDUST

Motoarele electrostatice cu praf⁵² se bazeaza pe ideea folosirii prafului foarte fin, de tipul regolit-ului, ca masa de ejectie, "fluidizarea" lui facandu-se tot cu ajutorul Xenonului. Avantajul acestui tip de motor, este ca poate folosi reziduurile ramase in urma procesului de separare si rafinare a materialelor, obtinute din actiunile de minerit pe asteroizi mici.

Propulsia de manevra



Motoarele de manevra RD191 vor fi folosite la corectarea traiectoriei navei, in timpul "flyby" ERIS si SEDNA, deoarece campul gravitational al acestora nu este suficient de puternic, pentru a schimba intr-un mod convenabil traiectoria navei spre urmatoarea destinatie.

Forta	212,6TF
ISP	337.5s
Presiune camera comb.	262.6 kgf/cm ²
Masa proprie	2000(kg)

Aceste doua motoare vor fi montate pe un suport care permite rotatii de +/-6⁰.

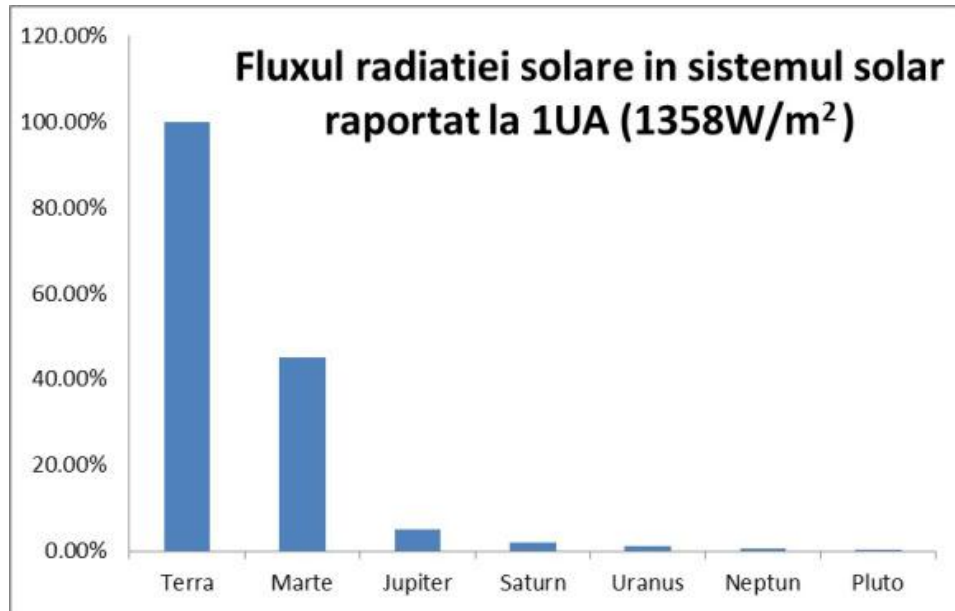
⁵² Herbert, F.; Kendall, K. R., Development of an electrostatic propulsion engine using sub-micron powders as the reaction mass, NASA,1991

Posibilitatea de a aplica o forta uriasa timp de cateva secunde, face ca aceste motoare sa fie solutia perfecta pentru manevrarea unei nave, care are o masa de aprox. 100t si o viteza de 110Km/s

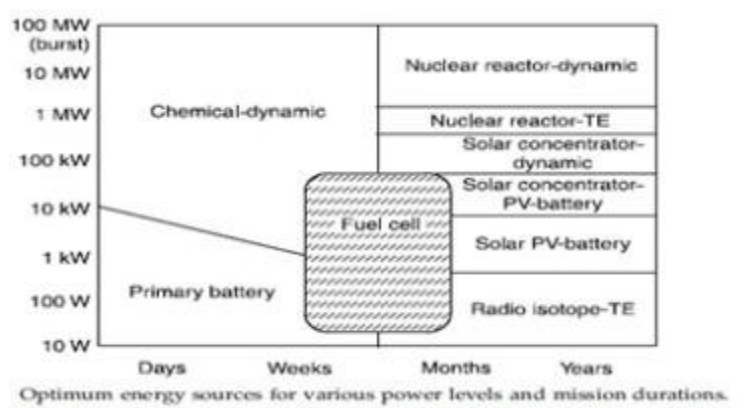
Datorita faptului, ca la ora redactarii acestui material, masa si diametrul celor doua planete pitice era inca subiect de controverse, timpul de functionare al acestor motoare de manevra va fi stabilit de sistemul de navigatie in timpul operatiei de asistenta gravitacionala.

Surse energetice

Principala problema a resurselor energetice pentru zborurile interplanetare, este durata foarte mare a unui misiuni - intre 5-40 de ani. Navele care vor trece dincolo de orbita lui Marte, nu mai pot folosi in mod eficient panourile fotovoltaice, pentru ca densitatea energetica devine prea mica. vezi graficul de mai jos.



Pentru selectia tipurilor de resurse energetice necesare in acesta misiune, foarte complexa, au fost folosite mai multe lucrari de referinta, dar figura de mai jos este elocventa pentru majoritatea acestora⁵³.

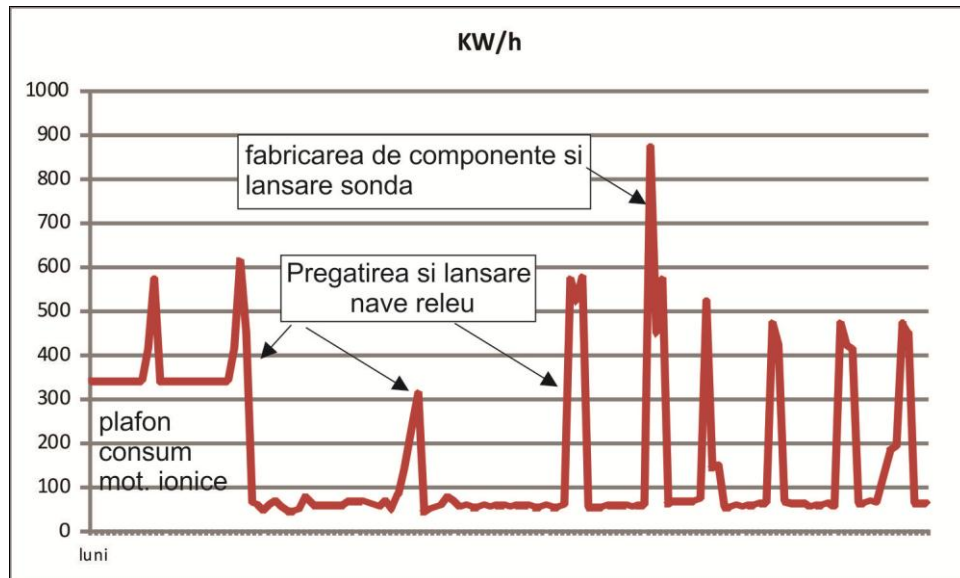


Din acest figura, rezulta clar, ca singura solutie este reactorul nuclear, in rol de sursa principala si pila cu radioizotopi, ca sursa secundara pentru modulele navei. Evident, aceste surse vor fi asistate de sisteme de acumuloare si celule de combustie, care vor

⁵³ Mukund R. Patel, Spacecraft Power Systems, pag.41, CRC Press 2004

prelua varfurile de sarcina si vor asigura o functionare optima, intregului sistem energetic al sistemului.

Dimensionarea surselor energetice s-a facut in urma unor iteratii multiple, ce au incercat sa acopere diverse scenarii de evolutii a nevoilor energetice, pe parcursul intregii misiuni. Pentru o corecta imagine a variatiilor de consum vezi graficul de mai jos:



Pentru un reactor nuclear, exista doi furnizori de incredere: Rusia - care finanteaza un program special, pentru reactoare spatiale cu racire pe gaz si actionare de turbine clasice si SUA - care vor un program nuclear ce va utiliza un motor Stirling⁵⁴, pentru conversia energiei termice in energie electrica. Din pacate, NASA are mari probleme cu finantarea si nu poate finaliza, pana in 2017, acest tip de reactor. Raman doar rusii, care au finantare asigurata pana in 2014, cand vor finaliza proiectul.

Combustibilul nuclear folosit, va fi U235 imbogatit, in urma "arderii" acestuia rezultand un deșeu radioactiv, care contine mari cantitati de materiale radioactive – acest deșeu poate fi refolosit in RTG sondelor si a generatoarelor de rezerva. Obținem astfel, inca un element de exploatare rationala a resurselor aflate la bord, crescand eficienta totala a sistemului.

⁵⁴ Lee Mason, Chad Carmichael, Small Fission Power System With Stirling Power Conversion for NASA Science Missions, NASA/TM—2011-217204

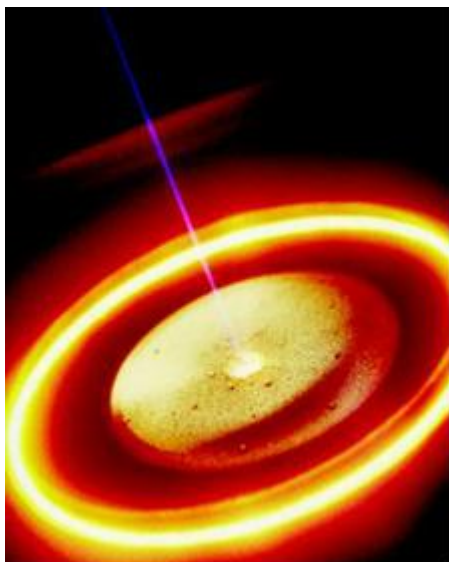
Productia si asamblarea de echipamente si sonde la bordul navei

Diferenta majora dintre o nava interplanetara si o sonda interplanetara este nu numai de dimensiune. In principal, o nava are mult mai multe resurse (energetice, tehnice si stiintifice) pe care le poate folosi pentru a atinge obiectivele misiunii, si mai ales, are posibilitatea de a se adapta la multele situatii neprevazute, care apar pe parcursul celor 30-40 de ani, cat dureaza o misiune.

Introducerea posibilitatii de a produce o componenta - care din diverse motive a cedat la bordul navei, si mai ales, posibilitatea de a dispune de un agent de service, care sa permita schimbarea componentei, creste, cu cel putin un ordin de marime, sansele de a indeplini toate obiectivele misiunii.

Cele doua sisteme de productie multimaterial, care se vor afla la bordul navei, impreuna cu atelierele de montaj subansamble si montaj general, sunt inima sistemului, care face din nava noastra primul sistem spatial regenerativ din istoria civilizatiei tehnologice a Terrei.

Pentru a putea produce aproape oricare din componentele constituente ale navei-mama sau a sondelor, vor fi folosite doua sisteme multimaterial de printare 3D. Solutia printer 3D⁵⁵ este deja folosita (in programele NASA la sol) pentru componente metalice complicate, iar imprimantele 3D cu monomateriale plastice au fost deja testate in zboruri suborbitale (in conditii de microgravitatie) - tot cu finantare NASA, incepand cu 2011⁵⁶.



Deja in anul 2012, au fost dezvoltate solutii de imprimare 3D pentru componente voluminoase, cu dimensiuni de ordinul metrilor⁵⁷.

Pentru componentele metalice, echipa noastra a ales o solutie mai eficienta in spatiu, decat cea folosita de NASA la sol.

Tehnologia "Electron Beam Melting" topeste pudra de metal cu un fascicul de electroni de foarte mare putere (3-10kW) in vid si asigura cele mai bune rezultate pentru sistemele 3D, pentru metale refractare (se pot folosi aliaje de titan)⁵⁸. La sol, este dezavantajata de faptul ca, nu poate functiona decat in vid, dar pe nava noastra acesta

⁵⁵ http://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/selective_melting.html

⁵⁶ <https://flightopportunities.nasa.gov/media/technology/4/4-pentachart.pdf>

⁵⁷ <http://www.3ders.org/articles/20130118-3-meter-long-titanium-airplane-part-3d-printed-in-one-piece.html>

devine un avantaj major. Functionarea in vid permite evitarea microbulelor de gaze, care raman captive in produsul final, la tehnologiile ce functioneaza in atmosfera.

Elementul esential este ca, aceasta tehnologie permite folosirea a mai multor fascicule de electroni, astfel incat "viteza de crestere" a obiectului poate ajunge la valori foarte mari, mai ales daca este vorba de obiecte mari de ordinul metrilor.

In plus, fata de solutia cu laser, acest sistem este foarte stabil in timp si permite viteze de lucru foarte mari, pastrand precizia la nivel maxim.

Este interesant de vazut daca cele doua tehnologii, laser si fascicul de electroni, nu se pot combina pentru a dispune de mai multe facilitati.

Imprimantele 3D pentru materiale plastice sunt mult mai raspandite. La sfarsitul anului 2012, pretul pentru un printer 3D, de nivel Hobby, era de doar 350USD⁵⁹, adica mai ieftin decat un smartphone.



Imprimanta 3D de mari dimensiuni

Pentru imprimantele de precizie si pentru modele mari, care sa poata folosi mai multe materiale concomitent, costurile devin foarte ridicate⁶⁰. Dar , ce este cu adevarat important, este ca posibilitatea de a produce obiecte din materiale variate - foarte rigide, flexibile, sau chiar din polimer asemanator cauciucului, va permite realizarea tuturor componentelor necesare pentru reparatii sau pentru modele noi de sonde de explorare,

⁵⁸ <http://www.arcam.com/products/arcam-a2/index.aspx>

⁵⁹ <http://www.3ders.org/3d-printer/3d-printer-price.html>

⁶⁰ <http://objet.com/3d-printers/connex/objet1000>

dupa specificatii noi, **imbunatatite continuu, conform evolutiei tehnologice de pe Terra.**

Pentru ca, procesele tehnologice de obtinere a componentelor electronice sunt foarte complexe si nu pot fi utilizate pe nava, este necesara creerea unui stoc din acestea, pentru a asigura activitatile de productie si service.

Din fericire, aceste tipuri de componente nu sunt nici voluminoase si nici grele, asa ca un stoc important nu va afecta misiunea.

De precizat, ca exploatarea resurselor din materialele recoltate de pe asteroizi poate genera materiale plastice, pentru imprimantele multimaterial precum si praf metalic, pentru imprimantele metalice.

Includerea unei instalatii miniaturale de separare si rafinare a hidrocarburilor, precum si a unei instalatii de polimerizare, poate transforma hidrocarburile - prezente in cantitati foarte mari in corpurile de gheata din centura Kuiper - in material plastic.

Concluzii

Misiunea Thor este, la aceasta ora, un vis de adolescent avizat. Transformarea in realitate a acestui vis va fi, in mod sigur, unul dintre obiectivele generatiei noastre.

Tehnologiile implicate in acest proiect sunt deja prezente in viata cotidiana a cetatenilor Terreii, combinarea lor si mai ales, rafinarea rezultatelor acestor tehnologii, poate genera saltul spre o noua platforma a civilizatiei noastre. Cert este faptul ca, deocamdata o asemenea nava, daca va fi, ea nu poate fi populata decat de agenti inteligenti autonomi si colaborativi – o definitie care, pana de curand se referea doar la oameni , dar care incet, incet, acopera si cel mai important instrument al omlui de la piatra pana in prezent – robotul. Pentru societatea actuala, robotul este o prelungire care ne permite sa „atingem” Sedna, asa cum sulita cu varf de piatra cioplita era prelungirea bratului unui vanator din Paleolitic.

O alta concluzie este ca energia nucleara este singura solutie pentru acest proiect. Demonizarea ei in mass-media, si mai ales in randul tinerilor, ne poate condamna sa ramanem pe Terra, fara sa ne ofere alternative - eventual sa ne inghesuim si pe Luna putin. Fara o sursa energetica suficient de densa incat sa ne permita sa navigam pana la marginea sistemului solar si inapoi, vom ramane dependenti strict de resursele planetei noastre din ce in ce mai mici.

Posibilitatea de evolutiei a NAVEI insasi este un argument esential pentru acest proiect. Producerea pieselor metalice si din plastic, de orice forma si aproape orice complexitate, la bordul navei precum si comunicatiile de banda larga, vor permite transformarea din mers a navei si a robotilor care o deservesc, conform evolutiei tehnologiei de pe Terra, in decursul celor 35 de ani cat va dura misiunea.

Pentru echipa noastra, acest proiect a reprezentat un motiv de a vedea dincolo de obiectivele imediate ale fiecaruia dintre membri, de a cauta raspunsuri, de a evalua optiunile generatiei parintilor nostri, si mai ales, de a aprecia posibilitatea noastra, ca indivizi, de a ne implica in efortul de a „impinge” societatea umana in afara Terreii, de a permite noi orizonturi tehnologice si de ce nu, etice.

Echipa noastra, formata din elevi ai claselor de performanta ale ICHB, se pregateste deja pentru THOR sau pentru o alta misiune asemantoare, pentru ca suntem convinsi ca acest proiect este o solutie posibila pentru generatia noastra.

Bibliografia

1. Alexander G. Hayes, HYDROCARBON LAKES ON TITAN AND THEIR ROLE IN THE METHANE CYCLE, Thesis California Institute of Technology
2. Ali Javed Hashmi, Ali Asghar Eftekhar, Ali Adibi, Farid Amoozegar, ANALYSIS OF TELESCOPE ARRAY RECEIVERS FOR DEEP-SPACE INTER-PLANETARY OPTICAL COMMUNICATION LINK BETWEEN EARTH AND MARS, Optics Communications 283.
3. Amer Fezjic, DEVELOPMENT OF CONTROL AND AUTONOMY ALGORITHMS FOR DOCKING TO COMPLEX TUMBLING SATELLITES, MIT degree.
4. Artemios G. Voyiatzis, Delay- and Disruption-Tolerant Networking (**DTN**), JOURNAL OF INTERNET ENGINEERING, VOL. 5, NO. 1, JUNE 2012
5. **Brown Charles D.**, ELEMENTS OF SPACECRAFT DESIGN, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2002.
6. Brown Owen C., Eremenko Paul, Collopy Paul D, VALUE-CENTRIC DESIGN METHODOLOGIES FOR FRACTIONATED SPACECRAFT: PROGRESS SUMMARY FROM PHASE 1 OF THE DARPA SYSTEM F6 PROGRAM, AIAA SPACE 2009 CONFERENCE.
7. C. Casaregola, G. Cesaretti and M. Andrenucci, HiPER: a European Programme to Develop Electric Propulsion Technologies for Future Space Exploration, Space Propulsion 2010, 3 - 6 May 2010, San Sebastian, Spain
8. Campbell Bruce A, McCandless Samuel Walter, Jr, INTRODUCTION TO SPACE SCIENCES AND SPACECRAFT APPLICATIONS, Gulf Publishing Company , 2008.
9. **John L. Crassidis**, Jo Ryeong Yim, John L. Junkins, AUTONOMOUS ORBIT NAVIGATION OF INTERPLANETARY SPACECRAFT, AIAA-2000-3936
10. Chit Hong Yam, McConaghy Troy T., Chen Joseph K., Longuski James M., DESIGN OF LOW-THRUST GRAVITY-ASSIST TRAJECTORIES TO THE OUTER PLANETS.
11. Cristina Bramanti, Roger Walker, Orson Sutherland, Rod Boswell, Christine Charles, David Fearn, Jose Gonzalez Del Amo, Marika Orlandi, THE INNOVATIVE DUAL-STAGE 4-GRID ION THRUSTER CONCEPT –THEORY AND EXPERIMENTAL RESULTS, I.A.C. 2006

12. Crow Carolyn, THE MAIN ASTEROID BELT, oct 25, 2009.
13. Czysz Paul A., Bruno Claudio, FUTURE SPACECRAFT PROPULSION SYSTEM, Springer, 2009.
14. Darin Alan Ragozzine, ORBITAL DYNAMICS OF KUIPER BELT OBJECT SATELLITES, A KUIPER BELT FAMILY, AND EXTRA-SOLAR PLANET INTERIORS, Thesis California Institute of Technology.
15. Detwiler C. Robert, SPACE POWER SYSTEMS, ATI course.
16. **Doody Dave**, BASICS OF SPACE FLIGHT, National Aeronautics and Space Administration, 2011.
17. **Doody Dave**, DEEP SPACE CRAFT, Springer, 2009
18. **Herbert, F.**; Kendall, K. R., Development of an electrostatic propulsion engine using sub-micron powders as the reaction mass, NASA,1991
19. Edwards C. D. Jr, Stelzried C.T., Deutsch L.J., Swanson L, NASA'S DEEP-SPACE TELECOMMUNICATIONS ROAD MAP, TMO Progress Report 42-136 February 15, 1999.
20. Eremenko Paul, Brown Owen, APPLICATION OF VALUE-CENTRIC DESIGN TO SPACE ARCHITECTURES THE CASE OF FRACTIONATED SPACECRAFT, AIAA-2008.
21. Eremenko Paul, Brown Owen, THE VALUE PROPOSITION FOR FRACTIONATED SPACE ARCHITECTURES, AIAA-2006.
22. **Feddema John, Schoenwald David**, DECENTRALIZED CONTROL OF COOPERATIVE ROBOTIC VEHICLES, Proceedings of SPIE Vol. 4364, AeroSense, Orlando, Florida, April 16, 2001.
23. Gary Dale E., Keller U. Christoph, SOLAR AND SPACE WEATHER RADIOPHYSICS, Kluwer Academic Publishers, 2004.
24. Geoffrey G. Wawrzyniak, Kathleen C. Howell, TRAJECTORY CONTROL FOR A SOLAR SAIL SPACECRAFT IN AN OFFSET LUNAR ORBIT, 61st International Astronautical Congress.
25. **Haque Samudra E.**, A BROADBAND MULTI-HOP NETWORK FOR EARTH-MARS COMMUNICATION USING MULTI-PURPOSE INTERPLANETARY RELAY SATELLITES AND LINEAR-CIRCULAR COMMUTATING CHAIN TOPOLOGY, AIAA 2011.

26. Hitoshi Kuninaka, Kazutaka Nishiyama, Yukio Shimizu, Ikko Funaki, Hiroyuki Koizumi, HAYABUSA ASTEROID EXPLORER POWERED BY ION ENGINES ON THE WAY TO EARTH, 31st International Electric Propulsion Conference.
27. Karabeyoglu Arif, Stevens Jose, Geyzel Dmitriy, Cantwell Brian, Micheletti Dave, HIGH PERFORMANCE HYBRID UPPER STAGE MOTOR,
28. **Kardashev**, N. S. "Transmission of Information by Extraterrestrial Civilizations," Soviet Astronomy, 8, 217 (1964), pag. 201;
29. Kaku Michio , Physics of the Future: How Science Will Shape Human Destiny And Our Daily Lives by the Year 2100.
30. Lee Mason, Chad Carmichael, Small Fission Power System With Stirling Power Conversion for NASA Science Missions, NASA/TM—2011-217204
31. Marshall George C., SPACE LAUNCH SYSTEM A NEW NATIONAL CAPABILITY, National Aeronautics and Space Administration.
32. **Mukund R. Patel**, Spacecraft Power Systems, pag.41, CRC Press 2004
33. Prashant Patel,* Daniel Scheeres,† and Alec Gallimore‡, Maximizing Payload Mass Fractions of Spacecraft for Interplanetary Electric Propulsion Missions, JOURNAL OF SPACECRAFT AND ROCKETS, Vol. 43, No. 4, July–August 2006
34. R. Intini Marques, S.B. Gabriel, Dual Stage Four Grid (DS4G) Ion Engine for Very High Velocity Change Missions, 31st International Electric Propulsion Conference, 2009
35. Newton David E, CHEMISTRY OF SPACE, Facts On File, 2007.
36. Shane D. Ross, The Interplanetary Transport Network, 2006 Sigma Xi, The Scientific Research Society
37. Scott James R. *High-Speed Solution of Spacecraft Trajectory Problems Using Taylor Series Integration, JOURNAL OF SPACECRAFT AND ROCKETS Vol. 47, No. 1, January–February 2010
38. **Scott A. DeLoach, Eric T. Matson, Yonghua Li**, APPLYING AGENT ORIENTED SOFTWARE ENGINEERING TO COOPERATIVE ROBOTICS, 15th International FLAIRS Conference (2002)
39. **Sheehan Michael**, THE INTERNATIONAL POLITICS OF SPACE, Routledge, 2007.

40. Tamio Arai, Pagello Enrico, Parher Lynne E., EDITORIAL: ADVANCES IN MULTI-ROBOT SYSTEMS, IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION, VOL. 18, NO. 5, OCTOBER 2002.
41. U.S Department of Energy Office of Nuclear Energy, Science and Technology, NUCLEAR ENERGY.
42. Voyiatzis Artemios G., A SURVEY OF DELAY- AND DISRUPTION-TOLERANT NETWORKING APPLICATIONS, Journal of Internet Engineering June 2012.
43. Wijkers Jacob Job, SPACECRAFT STRUCTURES, Springer, 2008.
44. Wilson J.W., Cloudsley M. S., Cucinotta, F. A., Tripathi R.K., Nealy J.E., De angelis G, DEEP SPACE ENVIRONMENTS FOR HUMAN EXPLORATION, Advances in Space Research, oct 2003.