Tudengisatelliidi **ESTCube-1** testimine

Agnes Vask, Sven Hüsson, Tõnis Uiboupin, Robert Valner, Hannes Haljaste, Hendrik Ehrpais, Jana Šubitidze, Erik Kulu
Tartu Ülikool

ESTCube-1 arenduse faasid

- Arendusmudel
  - Katsetatakse, kas pakutavad lahendused on töövõimelised
  - Tehakse muudatusi lõppdisainis
- Kvalifikatsioonimudel
  - Samane mudel, mis kosmosesse lähetatakse
  - Selle peal tehaks kõige karmimad testid
- Lennuvariant
  - Lennuvariant läheb kosmosesse
  - Testid, et mudelil ei oleks defekte
  - Kergema lavega testid

Iesüide liigid – järgnevad alapunktid omavahel tihedalt seotud

- Keskkonnataluvustestid – katsetatakse satelliiti tingimustes, millesse satelliit võib oma eluajal sattuda. Ühtatakse kindlustada satelliidi töövõime startdi ja avakosmoses.
- Funktsionaalsustestid – katsetatakse satelliidi töövõimet normaaltingimustel ja/või kosmose tingimustel

Keskkonnataluvustestide liigid

- Vibratsioonitestid
  - Raketi startdi üle elamiseks
- Radiatsioonitestid
  - Pohiliselt UV
- Termovaakumtestid
  - Järsud temperatuurikõikumised
  - Satelliidi valmistamisel materjalis tekkinud voimalike ohumullide likvideerimine

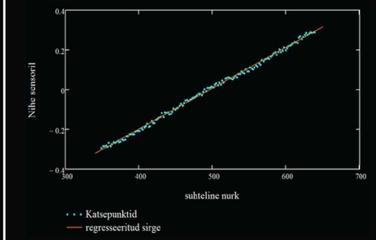
Temperatuuritestid

Temperatuuritestide eesmärk on teada saada, kuidas mõjutab temperatuur komponente. Orbiidil võib sensori temperatuur varieeruda 40 kraadist 100 kraadini. ADCS alasüsteem testib praegu väljavalitud paikesesensorit samade temperatuuri parameetrite järgi ja esialgsete tulemuste põhjal muutuvad erinevatel temperatuuridel tulemused oluliselt.

Testi ülesehitus on järgmine - kõigepealt fikseerime kindla valuqsalika ja sensori asukoha temperatuurikambris, et järgmiste testidega oleks võimalik tulemusi võrrelda, lja 3 kraadi tagant tehakse üks mõõtmiseeria valgusallika positsiooni leidmiseks, mis koosneb 1000 mõõtmisest 100 ms intervallidega, et erinevate vigade hulka vähendada.

Soojendamine ja seejärel jahutamine on vajalik , et teada saada, kas sensor on jõudnud ka vastavale temperatuurile testi kaigus, vaadates nende graafikute erinevust, mis teeb ka andmete analüüsi kergemaks ja efektiivsemaks. Esimese testi tulemused, mis on kujutatud järgmisel graafikul on tehtud temperatuurivahemikus 25 kraadist 100 kraadini.

Asukoha tulemus naitab reaalses olukorras paikese asukohta satelliidi suhtes. Testi tulemuste suur varieeruvus näitab, et täpsed testid ja algoritmid on vajalikud positsiooni täpseks määramiseks



Vigade sisestaja

Riistvarapõhiste vigade uurimiseks ESTCube-1 süsteemis hakatakse kasutama hetkel veel arendusjärgus olevat eraldiseisvat spetsiaalset seadet, mis lubab sisestada tahtlikke viqu uuritavasse süsteemi. Vigade sisestusseadmega analüüsitakse pohiliselt CDHS (*Command and Data Handling System*) ning kaameras kasutusel olevate järjestikliidéste pidi edastavate taktsig naali ja andmeside tõrkeid. Loodav seade aitab jälgida sisestatud vea kaitumist ning selle mõju süsteemi töole.

Vigade sisestaja abil saab uurida erinevaid veatüüpe:

- bitimuutused (*bit-flip*)
- sildamisvead (*bridging faults*)
- ajanihked
- ala- ja ülepingest tingitud rikked
- *stuck-at* vead

Samuti toetab seade vigade tekke asukohamaaramist ja nende ilmumisaja muutmist. Seadet saab kasutada erineva riist vara skeemi ja tarkvara ülesehitusega süsteemides.

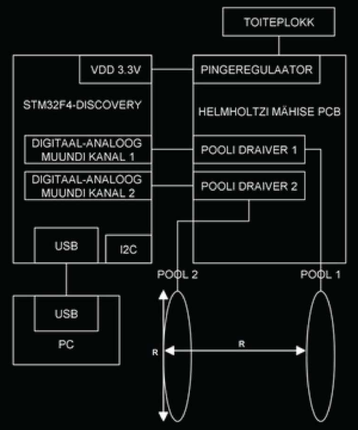
Elektromagnetid

ESTCube-1 satelliidil on ümbritsevas magnetväljas asendi ning orientatsiooni aktiivseks kontrollimiseks kasutusel elektromagnetid. Parima kontrolli saavutamiseks on vajalik, kolmel teljel olevate elektromagnetite poolt genereeritud magneitline moment m=NAI oleks voimalikult vaikeste erinevustega.

Testimaks kerituid elektromagnetite omadusi, viiakse läbi järgnevad protseduurid:

- Lühisvoolukeerdude vältimine – Kerimisel võib juhtuda, et traati kattev isolatsioonikiht saab kannatada, voi on see juba eelnevalt nikutud. See võib põhjustada keerdude lühistumist, mille tulemusena väheneb keerdude koguarv (N).
- Elektromagneti mõõtmed – Liigne liim voi mõõtud osakesed traadikeerdude vahel elektromagneti poolt kaetavat pindala (A), keskmist ümbermõõtu (C) ning läbiloike pindala (aw).
- Takistuse mõõtmine – Toitepingest oodatava väärtusega voolutugevuse saavutamiseks on oluline eeldatavaie takistusele voimalikult lähedane reaalne takistus (R = NCρT/aw).

Lisaks sobivate poolide leidmisele, on antud testide läbiviimise tulemusena voimalik hinnata elektromagnetite kerimiseks kasutatud automaatseeritud kerimismasina töö kvaliteeti ning leida parim meetod poolide parameetrite lähendamiseks arvutuslikele parameetritele.



UV

Elektromagnetlainete UV lainepikkuse diapasooni mõju ainele, ermevalt teistest piirkondadest, on teatud juhtudel usna märkimisvaarne. Naitena võib tuua akrüülmaalid, mis UV kiirguse toimel tõhmuvad, moranevad või lagunevad täielikult.
Tuues konkreetseks näiteks paikesesensorid, mille abil saab määrata satelliidi paikenemist paikese suhtes, tuleb kosmiliste tingimuste taluvuse suhtes läbida ridamisi teste, kaasaarvatud ka UV test
Iesti läbiviimine:

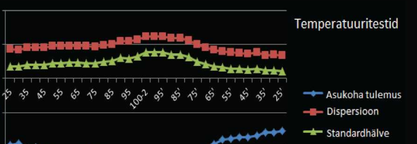
- Sensori ühe piirkonna kiiritamine ning selle ajalise kaigu jälgimine.
- Pärast kiiritamist sensori sujuv pooramine tavavalgusallika ees ning arvutustest saadud nihke registreerimine.

Oodatavad tulemused:

- Esimese testi mõte on saada ülevaade sellest, kuidas ühte piirkonda pidevalt kiiritades muutub arvutusliku nihke tulemus.
- Teine test annab konkreetselt ülevaate pinna muutustest. Kui sensorit sujuvalt valgusallika ees keerata sedasi, et valgusvihk liigub sensori ühest äärealast teise, saame ideaalsetes tingimustes moonutuste puudumisel lineaarse graafiku.

Reaalsed tulemused:

- Kiirgustesti graafikult nähtus, et keskmistatuna pole nihe pärast 7 päeva pidevat ki iritamist muutunud, küll aga on toimunud intensiivsuse muutused, mis on arvatavasti seotud ruumi- ja valisvalgusega, samuti ka UV lambi enda pidevusega.
- Teisest graafikust nähtub, antud tingimusi arvesse võttes, et sensor on jäänud töökorda, kuid lõplikuks veen dumiseks tuleb teste korrata ka teiste sensorite peal.



Vibratsioon

Vibratsiooni testimise eesmark on naidata kosmoselaeva voimet taluda vibratsiooniga kokkupuudet nt stardi ajal voi teiste tugevate vibratsioonide esinemisel.
Kvalifikatsiooni/kõlblikkuse testimise eesmärgiks on tagada töökindlus vajalikus keskkonnas piisavate varudega, testimisel peab tase ületama ennustatud taset varuteguriga et tagada toote kõlblikkus ka ekstreemses olukorras.

Maksimaalne lubatud testimise tolerant

Parameetrid	Tolerants
Juhuslik vibratsioon: Sagedus	+-2% 10Hz kuni 2000Hz
Juhuslik vibratsioon: Amplituud	+-10%
Juhuslik vibratsioon: Vähemaa/Ulatus	+-5 %
Juhuslik vibratsioon: Sagedus	+- 5% (või 1 Hz üksköik kumb on suurem)
Juhuslik vibratsioon: PSD from 20Hz to 500 Hz (filter bandwith 25 Hz or less)	-1/ +3 dB for qualification
Juhuslik vibratsioon: PSD from 500Hz to 2000 Hz (filter bandwith 50 Hz or less)	-3/ +1.5 dB for Acceptance
Random overall g r.m.a.	+- 10%

1. Juhuslik vibratsiooni eesmärk on näidata varustuse/seadmete võimet hoida juhuslikkr arritust mis tekib kanderaketi poolt, võimet suurendada kvalifikatsiooni varu ning edastada akustilise müra arritust
   - spekter peab jaama spektraaltiheduse sagedusalasse -1/+3 dB nivoost (määratletud kvalifikatsiooni testis)
   - testi edu määrab nivoo vähemikus –/-10%
   - testi kestvus on 2 min/telje kohta
2. Sinusvibratsiooni eesmärk on demonstreerida varustuse/seadmete võimet hoida madalat sagedust kanderaketi arrituse korral.
   - nivoo on piiritletud madalal sagedusel
   - sinusvibratsioon toimub sagedusalas 4 Hz – 150 Hz voi 5Hz – 100 Hz
   - madalal sagedusel vähemikus 5 – 2000 Hz

Acceptance testi eesmärk on näidata vastavust spetsifikatsioonile, tegutseda kvalitseedikontrollina avastamaks tootmise- ja tööveed, käivitamise ebaõnnestumised ja muud anomaaliaid. Teostatakse ainult juhusliku vibratsiooni test, sinusvibratsiooni testi ei ole vaja. Test toimub samaselt kvalifikatsiooni testile, erinevus on võimsusspektri tihedusos mis määratakse kanderaketi järgi (kui pole määratud, siis võetakse kvalifikatsiooni testi järgi – 6dB).

Sobivuse testimine

Tase, nivoo	Tase/nivoo	KESTVUS	KESTVUS
Varustus, seadmed	Space element	Varustus, seadmed	Space element
Juhuslik vibratsioon: spekter kujuneb maksimumist ja miinimumist	Juhuslik: Spekter kujuneb maksimumist ja miinimumist	Juhuslik: 2 min külje kohta	Juhuslik: 1 min külje kohta

Vibratsioonitestimise kvalifikatsiooni tasemed ja kestvused:

LEVEL	LEVEL	KESTVUS	KESTVUS
Varustus, seadmed	space element	Varustus, seadmed	Space element
Random/Sine: +4dB	Random/Sine +3dB	Random: 2,5min per axis Sine; 2 octave/min 1 sweep up and down (5Hz - 100Hx)	Random: 2 min per axis Sine: 2 octave/min (5Hz-100Hz)

Magnetvälja simulaator

Attitude determination and control system'i uurimiseks maakera pinnal on vaja tekitada kontrolltud magnetvälja. Magnetvali peab olema piisavalt tugev, et oleks voimalik teste läbi viia ilma segavate korvalnojudeta: Maa magnetvali, mootmisvaheniitte, arvutite ja muu elektroonilise seadmeie poolt tekitutud magnetväljad. Eesmärgiks on tekkitada magnetvälja, millle tugevus on vähemalt 3 gaussi ning selles satelliit liikuma panna.

Magnetvälja simuleerimiseks kasutab Helmholtzi mähist, mis koosneb kahest keritud poolist, millel on sama arv keerde ja raadius. Nende poolide vahel tekkinud magnetvali on keskpunktiümbruses homogeenne ja selle tugevust on voimalik leida valemiga

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_0 n I}{r}$$

Mähise juhtimist voimaldatakse arvuti vahendusel USB juhtme kaudu.

Helmholtzi mähise omadused:

- Keerdude arv n – 150
- Raadius r – 73 cm
- Magnetvälja tugevus - ±0.3 mT

Allikad:

[illegible]