

AVARUUSLUOTAIN

Rymdsonden Spaceprobe
2/2011, vol. 46



**Suomen
Iso-Haisu lensi uuteen
ennätykseen**



Paksu kesännumero

Rakettitieteen jalanjäljillä

1. osa: Pöytälaatikosta mustiin kansiin

Sampo Niskanen

Syksyllä 2002 tähtitiedekerho Pollux järjesti ensimmäisen pienoisorakettien peruskurssinsa, ja vaikka olin ollut järjestelemässä sitä, istuin salissa kuulijoiden paikalla. Teknillisen fysiikan opiskelijana kiinnostuin luonnollisesti vakauden laskemisesta, ja heti ensimmäisen valmissarjani rakennettuani aloin tehdä vakauslaskelmia projektiomenetelmällä seuraavalle raketille. Pari vuotta myöhemmin löysin SATS:n kirjastosta kirjan Topics in Advanced Model Rocketry, joka on kuin taivaan lahja rakettien lennon teoreettisesta tarkastelusta kiinnostuneille. Jo tällöin aloin pohtia, miten hankalaa olisi kirjoittaa ohjelmistoa, joka suorittaisi nämä laskut ja simuloisi lennon. Kokonaisen graafisen ohjelmiston kirjoittaminen vaikutti kuitenkin liian isolta ja haastavalta urakalta.

Vuosia myöhemmin syksyllä 2007 ollessani Java-ohjelmointikurssillaassistenttina aloin pohtia, miten rakettien simulointi sopisi oliorakenteeseen. Rakettikomponentit asettuisivat luontaisesti oliohierarkiaan, muodostaisivat keskenään puun, oliorakennetta voisi käyttää hyödyksi kuvan piirtämisessä... Konkreettinen idea oli syntynyt, ja loppusyksystä aloin koemielessä koodailla siihen sopivia komponentteja ja sovitella niitä yhteen. En varsinaisesti pohtinut, kuinka iso urakka olisi edessä näiden kaikkien saattamiseksi toimintakuntoon. Syksyn ja kevään mittaan monia bussimatkoja ja luentoja kului perusrakenteita ohjelmoidessa ja käyttöliittymän osasia luodessa. Työ eteni, mutta kovin hitaasti.

Seuraavana keväänä kuitenkin käytettävissä olevat luennot alkoivat huolestuttavasti huveta. Aalto-yliopisto painoi kovasti päälle ja olin vakaasti päättänyt valmistua TKK:lta niin kauan kuin ehti. Valmistumiseen vaadittiin enää diplomityö, ja siitä syntyi ajatus ottaa harrastusprojekti diplomityöaiheeksi. Työstä ei saisi palkkaa, mutta minulla oli muutoinkin työpaikka jo tiedossa syksyllä. Siitä saisi myös vahvan perusteen tehdä projekti käyttökuntoon, ja olen varma, että muutoin ohjelma olisikin jäänyt ikuisiksi pöytälaatikkoprojektiiksi.

Simulaatio-ohjelmiston saaminen hyväksytyksi diplomityöaiheeksi ei kuitenkaan ollut mikään itsestäänselvyys. Pääaineeni materiaalfysiikka ei voisi juuri olla kauempana rakettien simuloinnista. Pelastukseksi nousi sivuaineeni laskennallinen tiede ja tekniikka, joka on laskennallisiin menetelmiin, malleihin ja algoritmeihin painottuva poikkitieteellinen sivuaine. Silti aiheen hyväksyttämiseksi riitti ongelmia. Ohjelmistotekniikan laboratoriolle projekti oli liikaa ohjelmistokehitystä, ja siitä olisi pitänyt valita jokin osa-alue jota tutkia; aerodynamiikan laboratoriolle puolestaan simulaation tavoitteet olivat melko yksinkertaiset. Vasta neljäs

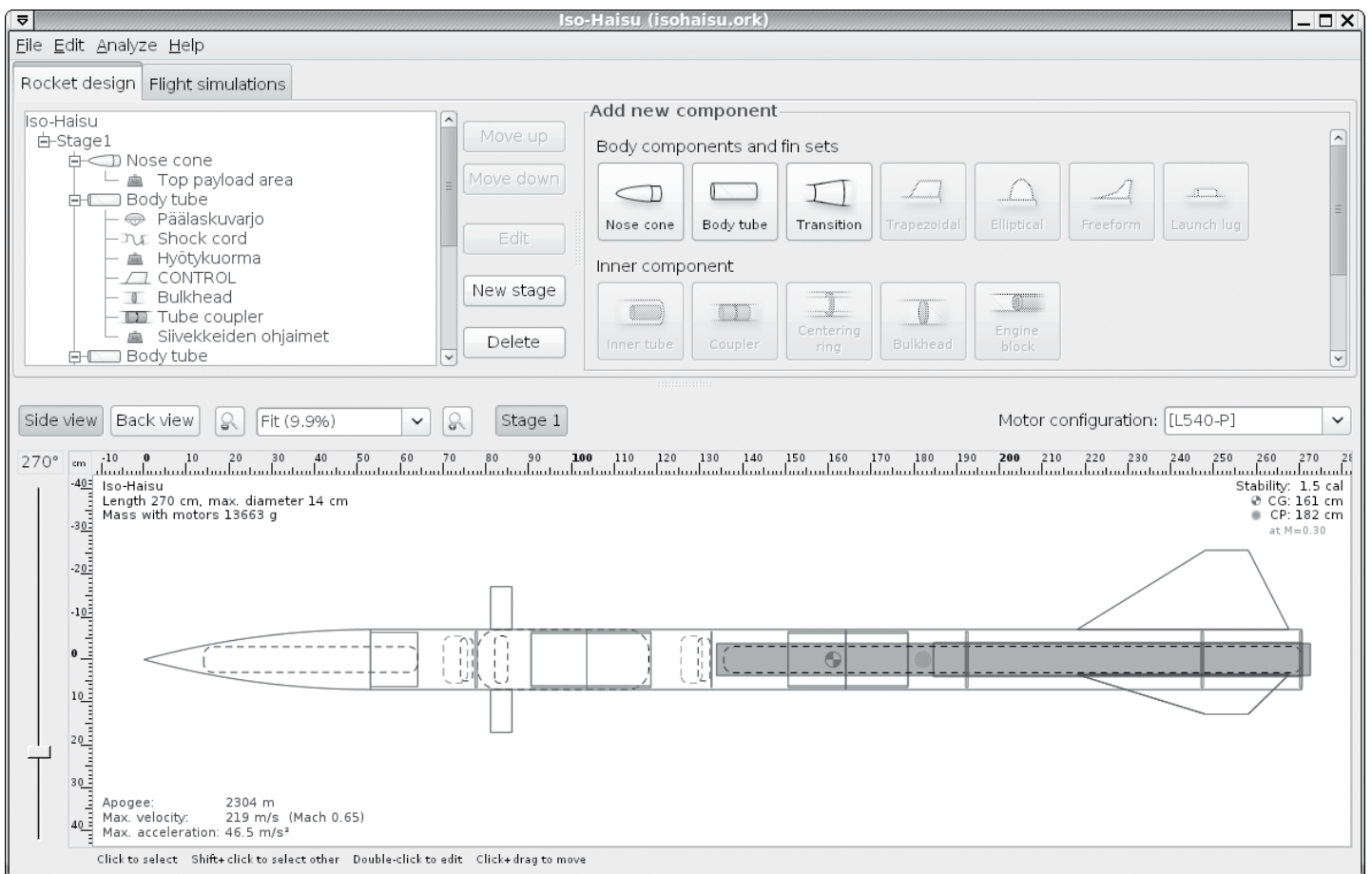


OpenRocketin logo. Kuva: <http://openrocket.sourceforge.net/>.

professori innostui projektista kokonaisuutena ja aihe oli valittu.

Kesä 2008 kului pitkälti koneella puurtaessa. Tässä hermojen pelastukseksi nousi tyttöstäväni mökki, jossa vietimme lähes koko kesän. Sain aitasta itselleni työhuoneen, jossa pohdin fysikaalisia malleja ja tutkin aerodynamiikkaa. Olin saanut aerodynamiikan laboratorion tutkija Timo Sailarannalta hyviä viitteitä simulaation toteuttamiseksi, mutta näiden ymmärtämisessä riitti työtä.

Yhdeksi keskeiseksi ongelmakohtaksi nousi aerodynaamisten voimien laskeminen. Valtaosa kirjallisuudessa esiintyvistä malleista esimerkiksi ilmanvastuskertoimen määrittämiseksi teki huomattavia oletuksia raketin muodosta ja koostumuksesta. Halusin, että ohjelmiston menetelmä pystyy laskemaan jokseenkin järkeviä tai perusteltavissa olevia tuloksia melkein kaikille ohjelmiston sallimille raketin muodoille. Lopulta jouduinkin turvautumaan eri menetelmien yhdistelyyn, ja simulaation tarkkuus alkaa merkittävästi kärsiä suuremmilla ylisoonisilla nopeuksilla. Toinen huomattava pohdintakohde oli laajennus raketin vakautta laskevaan Barrowmanin menetelmään, koska



Iso-Haisu simuloituna OpenRocketilla. Kuva: Sampo Niskanen.

halusin sallia mielivaltaisen muotoiset siivekkeet enkä vain neliskanttisia.

Loppusyksystä olin saanut aerodynaamisten voimien laskennan sekä ohjelman perusrakenteet sen verran hyvään kuntoon, että aloin kirjoittaa siihen kuuden vapausasteen simulaatiota. Ajattelin tämän tarjoavan laajimmat mahdollisuudet erilaisten rakettien tutkimiseen. Barromanin omassa diplomityössä oli myös esitetty menetelmät vinoon kiinnitettyjen siivekkeiden pyörimismomenttien laskemiseksi, ja kuuden vapausasteen simulaatiossa pystyisi tällöin simuloimaan myös pyörimisellä vakautettuja raketteja – ominaisuus, jota muissa pienoISRakettien simulointiin tarkoitetuissa ohjelmissa ei ole.

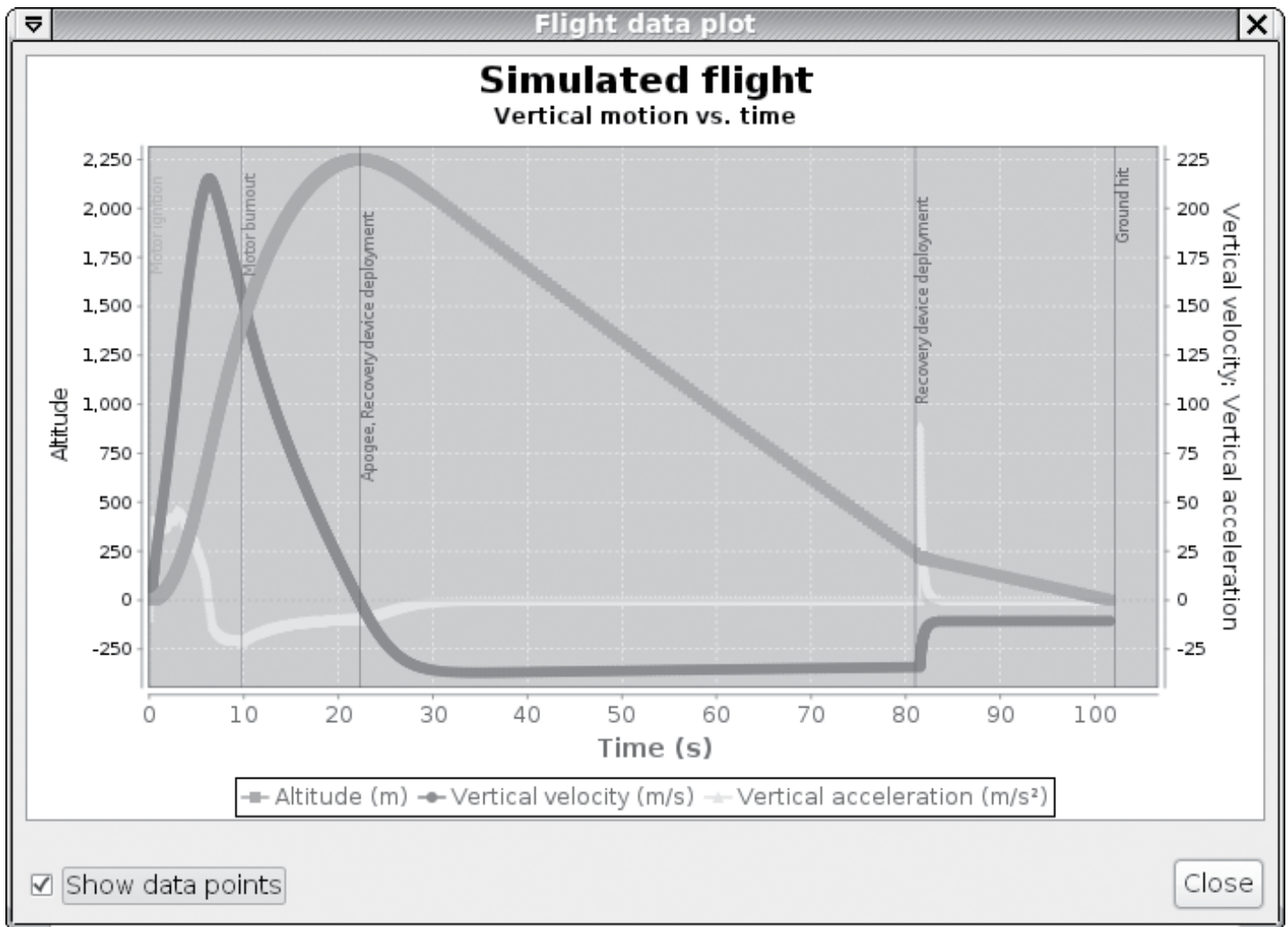
Simulaation toteuttaminen oli ehkä yllättävänkin helppoa sen jälkeen, kun olin tietyt perusosaset siitä sisäistänyt. Kvaternioiden – “neliulotteisten kompleksilukujen” – käyttäminen kolmiulotteisiin pyöryksiin helpotti vapaasti lentävän rakettin asennon määrittystä olennaisesti. Toteutin numeerisen integroinnin aluksi helpommalla Eulerin menetelmällä, joka oli myöhemmin suoraviivaista vaihtaa tarkempaan Runge-Kutta 4 -menetelmään. 2008 viettäessäni joulua mummolassa sain viimein ensimmäisen lentosimulaation ajettua ohjelmistollani. Tulokset olivat välittömästi lupaavia.

Simulaattorin “ensilento” tuotti varsin järkevän näköisen lentoradan, ja lentokorkeus oli hyvin lähellä mittaamaani kokeellista arvoa mallille. Ongelmiakin kuitenkin oli. Sen sijaan että raketti olisi lakipisteensä jälkeen tullut ballistisella radalla alaspäin, se mateli hyvin hitaalla vakionopeudella maata kohti. Tutkittuani tuloksia tarkemmin havaitsin, että lakipisteen saavutettuaan raketti alkoi kieppua

ja pyöriä ympäri holtittomasti, mikä jatkui koko laskeutumisen ajan. Lopulta syyksi selvisivät aerodynaamisen laskennan tekemät oletukset. Olin oletanut – kuten yleensä tehdään – että lennon aikana rakettin kohtauskulma ilmapirtaan nähden pysyy pienenä. Vähäisessä tuulessa lakipisteen saavutettuaan raketti kuitenkin alkaa pudota perä edellä ja saavuttaa helposti 180 asteen kohtauskulman. Aerodynaamista mallintamista piti siis laajentaa niin, että se tuottaa kaikissa olosuhteissa edes jokseenkin järveviä lukemia.

Simulaatioita testaillessa löytyi myös lukuisia muita ongelmakohtia sekä virheitä aerodynaamisessa mallinnuksessa. Näistä monet olivat sellaisia, ettei niitä staattisessa analyysissä havaitsisikaan eikä helposti tulisi ajatelleeksi. Oli myös tapauksia, joissa pitkään tutkittuani simulaation näennäisesti järjenvastaista käyttäytymistä tajusin ilmiön olevan todellinen fyysikaalinen ilmiö. Hämmäntävää kyllä, en löytänyt kuuden vapausasteen simulaatiosta itsestään yhtään virhettä – kaikki liittyivät aerodynaamisen mallinnuksen erikoisuuksiin sen yhteydessä.

Simulaatioilla ei luonnollisesti ole paljoa arvoa, jos ne eivät vastaa todellisuutta. Tätä varten tein sarjan koelentoja hieman vaihtelevilla rakettin kokoonpanoilla. Kaiken kaikkiaan tulokset sopivat ennusteisiin hyvin, kutakuinkin yhtä hyvin kuin kaupallisella RockSim-ohjelmistolla. Ainoa huomattava poikkeavuus oli rakettin pyörimisnopeus vinoilla siivekkeillä. Todellisen rakettin pyörimisnopeus on noin kaksinkertainen ennustettuun verrattuna. Syytä tähän en ole saanut selville, ja asian tutkiminen vaatisi lisää koelentoja erilaisilla raketeilla.



Iso-Haisun lento . Kuva: Sampo Niskanen.

Kun olin saanut simuloinnin toimivaksi, jäljellä oli vielä runsaasti viimeistelyä ohjelmistossa sekä diplomityön kirjallisen osuuden loppuun saattaminen. Viimeistelyssä kului vielä seuraava kevät. Lisäksi ohjelmalle piti keksiä nimi. Muutaman päivän pohdittuani päätin nimeksi "OpenRocket" kuvastamaan ohjelman avointa luonnetta. Loppukeväästä annoin esiversion ohjelmistosta Haisunäättä-tiimin jäsenille testailuun, ja toukokuussa 2009 julkaisin ohjelmistosta ensimmäisen version samalla kun jätin diplomityöni tarkistettavaksi. Diplomityö hyväksyttiin kiitettävällä arvosanalla.

Versionumeroksi ensimmäiselle julkiselle versiolle annoin 0.9.0, koska ohjelmisto ei vielä kattanut ihan kaikkia ominaisuuksia joita olin alun perin halunnut. Jatkokehittelyssä ohjelmisto sai mm. mahdollisuuden tallentaa simulaation tulokset jatkotutkintaa varten, lisää uusia ominaisuuksia komponentteihin sekä paljon virhekorjauksia. Maaliskuussa 2010 koin ohjelmiston tarpeeksi kypsäksi "1.0"-versiota varten. Tällöin ohjelma oli jo hyvin käyttökelpoinen ja varsin vakaa.

Ohjelma on saanut paljon kiinnostusta osakseen maailmalla. Kilpaileva kaupallinen RockSim-ohjelmisto on edelleen tietyiltä osilta monipuolisempi, mutta ilmaisuuden vuoksi OpenRocketilla on helppo alkaa testilla rakettisimulaatioita.

Olen ohjelmiston sekä Iso-Haisun ohjausjärjestelmän myötä päätenyt myös kirjeenvaihtoon monenlaisten ihmisten kanssa. Yhteydenpidossa ovat olleet mukana mm. australialainen tiimi, joka on myös toteuttanut aktiivista

pyörimisvakautusta rakettiin, toinen australialainen raketiharrastaja joka on alkujaan Suomesta, sekä amerikkalaisen harrastaja, joka piti OpenRocketista esitelmän NAR:n vuosittaisessa raketitapaamisessa NARCON 2010:ssä. Olen saanut myös laajennuksia ohjelmistoon, muun muassa RockSim:n tiedostomuodon lukemista ja tulostamista varten. Kiinnostus ei ole rajoittunut ainoastaan harrastelijoihin, vaan olen ollut sähköpostivaihdossa mm. englantilaisen tutkijan kanssa, joka on itsekin toteuttanut omaa raketisimulaatiota.

OpenRocketin kehittäminen jatkuu edelleen vaihtelevalla nopeudella. Vaikka ohjelmoin myös työkseni, on oman ohjelmiston kehittäminen hyvää vaihtelua työrutiineille, ja sillä saa ajatukset irti työasioista. Tällä hetkellä kehityksen alla on automaattiset menetelmät raketin rakenteen optimoimiseksi. Käyttäjä voisi määrittellä muuttujia, kuten siivekkeiden muodon, rungon pituuden tai kärkikartion painon, sekä tavoitteen, kuten lentonopeuden tai -korkeuden maksimoinnin, ja ohjelmisto etsisi automaattisesti optimaalisen rakenteen rajoitusehtojen puitteissa. Nähtäväksi jää, miten nopea ja tarkka järjestelmästä tulee.

Artikkelisarjan myöhemmissä osissa käsittelen tarkemmin raketin aerodynaamisten ominaisuuksien laskentaa, kuuden vapausasteen simulointia, optimointia ja muita aiheita.

OpenRocket-ohjelmiston sekä diplomityön saa ladattua osoitteesta <http://openrocket.sourceforge.net/> □