

Kosmosetehnoloogia osakonna tegevused

Mihkel Pajusalu

Tartu observatooriumi kosmosetehnoloogia osakond tegeleb tehnoloogia arendamisega kosmoses kasutamiseks ja selle rakendustega nii kosmoses kui ka Maa peal. Siin räägime rohkem kosmoseinstrumentidest ja kosmosetehnoloogia rakendustest, kuigi kosmosetehnoloogia osakonna alla kuuluvad ka Tartu observatooriumi laborid.

Kosmosevaldkond areneb hetkel kiiresti, näiteks on lõpuks käima minemas programm Artemis, mille eesmärk on inimesed lähiaastatel uuesti Kuule viia, üldiselt on kosmosesse minek odavnemas ja lisaks on potentsiaalsete elu märkide tuvastamine Veenusel elavdanud astrobioloogia valdkonda.

Meie tegevused ja planeeritavad missioonid on seotud komeetide, asteroidide, Marsi, Kuu, Maa lähiorbiidi ja Veenusega. Räägime siin nendest liikudes Päikesesüsteemi äärealadelt Päikese poole. Joonis 1 kujutab projekte graafiliselt ja järgnevalt räägime neist detailsemalt.

2021. aastal osakond kasvas jõudsalt ja uusi projekte tuli üha juurde.

Komeedimissioonid

Tartu observatooriumis arendatakse alates 2019. aastast automatiseeritud komeedivaatluskaamerat OPIC (Optical Periscopic Imager for Comets), mis on nimetatud missiooni sihtmärkobjektide päritolu järgi: missiooni eesmärgiks on mööda lennata komeedist, mis on pärit Öpik-Oorti pilvest Päikesesüsteemi äärealadel (nimetatud Eesti astronoomi Ernst Öpiku ja Hollandi astronoomi Jan Oorti järgi). See on Eesti esimene osalus riistvaraga Euroopa Kosmoseagentuuri (ESA) kosmosemissioonis ja esimene Eestis arendatav instrument, mida hakatakse kasutama süvakosmoses. OPICu ehitus ja komponendid on näha joonisel 2 (lk 95).

Aeg-ajalt muudavad gravitatsioonilised häiritused Öpik-Oorti pilves olevate objektide trajektoore, mistõttu satuvad nad Päikesele lähemale, kus meil on võimalik neid ka lähedalt vaadata. Selliste objektide vaatlemiseks mõeldigi välja Komeedipüüduri (*Comet Interceptor*) missioon (Snodgrass jt, 2019). Kuna Päikesesüsteemi äärealadelt pärit objektid liiguvad Päikesesüsteemi sisemusse jõudes väga kiiresti, on praeguse tehnoloogia piires võimalik sellistest objektist ainult kiiresti mööda lennata ja selleks on ainult üks võimalus. Missiooni juhivad teadlased Geraint Jones ja Colin Snodgrass Ühendkuningriigist, kuid konsortsium hõlmab enamikku ESA liikmesriike.

Et ühe möödalennuga võimalikult palju andmeid koguda, koosneb Komeedipüüduri missioon kolmest kosmosesondist: kosmosesond A, kosmosesond B1 ja kosmosesond B2:

- Kosmosesond A on emalaev, mis kannab teised sondid kohale ja sellel on kõige suuremad ja raskemad instrumendid ning sidepidamise võimalus Maaga. Ku-

na kosmosesond A on kõige olulisem, riskeeritakse sellega kõige vähem ja see-
ga lendab see uuritavast objektist mööda ligikaudu 1000 km kauguselt. Sond
ehitatakse Euroopa Kosmoseagentuuri poolt.

- Kosmosesond B1 on väike, kuupsatelliidi tüüpi sond Jaapani kosmoseagen-
tuurilt JAXA ja sellel on erinevad kaamerad.
- Kosmosesond B2 on suurem kui B1, kuid väiksem kui A ja see lendab sihtmär-
gist kõige lähemalt mööda. Selle sondi pardal on ka Eestis arendatav instru-
ment OPIC.

OPICu eesmärgiks on vaadata kosmosesondil B2 otse ette ja pildistada komeedi
tuuma, kui B2 sond sellele läheneb. B2 sondi ja komeedi tuuma omavaheline suht-
eline kiirus võib olla kuni 70 km/s ja sellepärast on ka väga väikesed tolmuterad
optikale ohtlikud. Riskide vähendamiseks on OPICul periskoop ja metallist peegel,
et kaitsta optikat maksimaalselt. B2 sond ise on ka ehitatud tolmutabamusi taluma:
sellel on spetsiaalne tolmuilp ja kogu sond pöörleb, et võimaldada güroskoopilist
stabilisatsiooni.



Joonis 3. Simuleeritud OPICu pilt komeedi
tuumast. Pildi autor: Mihkel Pajusalu

selle emalaevast eraldumist enam juhtida, peab kõik see olema täiesti automaatne.

Missiooni toetamisel on väga oluline realistlike piltide simuleerimine, et nende
põhjal saaks algoritme arendada ja katsetada. Selleks oleme välja töötanud pildi-
simulatsioonisüsteemi SISPO (Space Imaging Simulator for Proximity Operations).
Näidis simuleeritud OPICu pildist on joonisel 3.

Projekt ise sai alguse 2019. aastal ja
praeguseks just valmis esimene inse-
nerimudel sellest aparaadist, mille kat-
setamine algab 2021. aasta sügisel Tar-
tu observatooriumi laborites. Missioo-
ni enda start on plaanitud koos kosmo-
seteleskoobiga ARIEL 2029. aastal.

Instrumenti jaoks arendatakse ob-
servatooriumis välja vajalik mehaa-
niline struktuur, elektroonika, optika
ja tarkvara. Kõige suurem keerukus
seisneb instrumenti autonoomia taga-
mises. Nimelt peab instrument tegema
pilte komeedi tuumast, nendest kõi-
ge paremad välja valima ja need või-
malikult väikese andmemahuga Maa-
le saatma. Kuna B2 sondi ei saa pärast

Asteroidimissioonid

Asteroidide kontekstis on põhiliseks suunaks mitmete asteroidide korruga uuri-
miseks planeeritav missioon MAT (*Multi-Asteroid Touring*). Hetkel on see kont-
septsiooni faasis ja selle kohta on avaldatud mõningaid artikleid. Seda kontsept-
siooni arendatakse edasi Soome meteoroloogainstituudi (FMI) juhtimisel, kus
töötab ka elektrilise päikesetuulepurje autor Pekka Janhunen.

Missiooni kontseptsioon põhineb elektrilisel päikesetuulepurjel, mis võimal-
daks väga suuremahulist orbiidi muutust väikeste kosmosesondide jaoks. Selline
kosmoses liikumise tehnoloogia oleks kasutatav paljudel sama lennuga kosmoses-
se saadetavatel sondidel (praeguses plaanis 50 sondi korruga) ja sellised sondid

saaks saata paariaastasele missioonile asteroidivöösse, kus kokku saaks pildistada sadu asteroide.

2021. aastal suurt arengut selle missiooni kontekstis ei toimunud, kuid erinevad missioonid, mis elektrilist päikesetuulepurje arendavad, on jõudsalt arenenud ja loodetavasti katsetatakse seda tehnoloogiat orbiidil juba 2022. aastal ja see loodetavasti võimaldab ka suurema missiooni arenduse käima lükata.

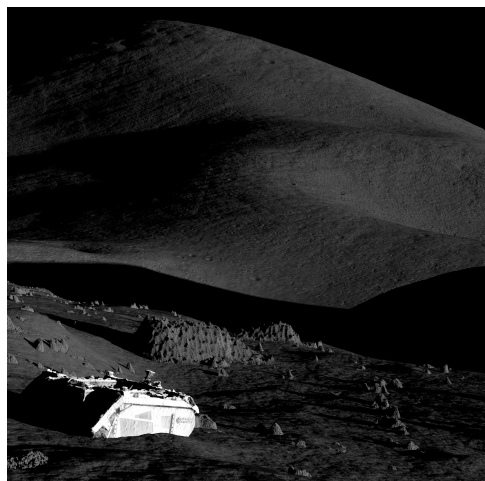
Marss

Marss on väga huvipakkuv taevakeha, sest see on samal ajal seotud elu mineviku tundmisega ja ka loodetavasti elu tulevikuga. Marss oli miljardeid aastaid tagasi soojem ja kaetud ookeanidega, kus võis leiduda elu. Samas on Marss ka Päikese-süsteemis inimkonna poolt koloniseerimiseks parim sihtkoht.

2021. aastal maandus Marsile Mars 2020 missiooni raames kulgur Perseverance, mis otsib Jezero kraatrist elu jälgi. Kraater on tõenäoliselt vana järve põhi ja seal on väga selge jõe delta, mis võiks sisaldada märke seal kunagi olnud elust. Ka käesoleva teksti autor käis kulgurile maandumiskoha valimise hääletusel 2016. aastal Los Angelese linna lähedal USAs koos töörühmaga MIT-ist (töörühm ka hääletas üldiselt Jezero kraatri poolt) ja samuti tegeles järel doktorantuuri raames MIT-is protsesside uurimisega, mis võimaldaks elu jälgede säilimist Marsil tänase päevani. See töörühm nüüd osaleb Perseverance kulguri töös proovide võtmiseks sihtmärkide valimisel.

Tartu observatooriumis hetkel aktiivset seost marsikulguritega pole, kuid 2021. aasta veebruaris esitasime taotluse ExoMars 2022 missioonis osalemiseks interdistsiplinaarse teadlasena. See võimaldaks ligipääsu missiooni andmetele ja nende kasutamisele tehnoloogiliste lahenduste leidmiseks Marsil efektiivsemalt liikumiseks. 2021. aasta lõpus peaks tulema otsus, kas taotlus võetakse vastu.

Kuu



Joonis 4. Milremi kuukulguri kujutus Kuul. Autor: Mihkel Pajusalu

sega. Kõrvalt ka tegeletakse simulaatorite loomisega Kuu missioonide jaoks. Selleks

Kuigi ametlikke projekte seoses marsikulguritega veel Tartu observatooriumis pole, alustati 2021. aastal esimest korda tööd kuukulgurite suunal. Täpsemalt sai Milrem Robotics lepingu ESAgaga, mille eesmärgiks on automatiseeritud tööriista loomine suuremahulisemate missioonide planeerimiseks (joonis 4). Praegu on missioonide planeerimine suuremalt jaolt käsitöö. Milrem Robotics valis selle projekti jaoks Tartu observatooriumi kosmosetehnoloogia osakonna, kellega koos süsteemi arendama hakati.

Töö ise algas pihta juunis 2021 ja praegu tegeletakse nõuete kogumisega ja ESAs olevate erinevate kulguritega tegelevate töörühmadega koostumiseks.

luuakse arvutisimulatsioone Kuul sõitmiseks ja samuti võeti 2021. aastal kasutusele Tartu observatooriumi suurima teleskoobitorni juures olevad keldriruumid, et nendes saaks väiksemate robotitega ringi liikuda.

Selle aasta jooksul peaks esialgne andmete kogumine läbi saama ja valmima kulgurite töö planeerimise tööriista kontseptsioon.

Uuringute eesmärgiks pole aga ainult mobiilsustööriista loomine, vaid ka üldiselt kuukulgurite arendamine Eestis. Selleks aga oli vaja antud projektiga “jalg ukse vahele saada”, mis paistab praegu edukas olevat.

Lisaks kuukulguri projektile valmisid 2021. aasta alguses NASA Artemis programmi osaks oleva SAMPLR eksperimendi jaoks kaamerad, mida arendasid CrystalSpace, Tartu observatoorium ja teised koostööpartnerid. Need kaamerad olid edasiarendused kosmosekaameratest, mille arendustee algas ESTCube-1-ga ja mille vahepealsed versioonid lendasid orbiidile ESEO (*European Student Earth Orbiter*) pardal.

Kaamerad arendati vastu pidama Kuul ja neid katsetati põhjalikult Tartu observatooriumi laborites Tõraveres. Tartu observatooriumi teadlased osalesid selle kavandamisel ja katsetamisel.

Maa lähiorbiit



Joonis 5. CrystalSpace kaamerate kujutus Kuul. Autor: Mihkel Pajusalu

2021. aastal hakkas valmima Tartu observatooriumi teine satelliit ESTCube-2, mida arendatakse tudengite juhtimisel. Sellel aastal alustati ka kanderaketi kokkuleppe ettevalmistamist, et satelliit orbiidile saata 2022. aasta teisel poolel.

Satelliidi pardal on mitmeid eksperimente, kuid põhiliseks eesmärgiks on elektrilise päikesetuulepurje katsetamine Maa lähiorbiidil.

Lisaks ESTCube-2-le on Tartu observatooriumis valmimas maavaatluskaamera Theia, mille eesmärgiks on tõestada, et fotomeetriliselt kalibreeritavad pildid on tehtavad ka väikesatelliidiga. Ka see instrument peaks kosmosesse jõudma 2022. aastal GOMX-5 missiooni pardal.

ESTCube programm

Kuigi Eesti tudengisatelliidi programm on enamasti autonoomne, toimuvad sellega seotud tegevused valdavalt kosmosetehnoloogia osakonnas. Juba ESTCube-1 arenduse ajal planeeriti järgmist satelliiti ESTCube-2, mis oleks esimesest satelliidist veelgi võimekam. Satelliidi arendus algas 2012. aasta kandis, kuid hakkas konkretiseeruma pärast ESTCube-1 missiooni lõppu aastal 2015. Praeguseks on satelliit jõudnud seisu, kus käivad läbirääkimised raketifirmaga Ariespace ja koostöös nende ning Euroopa Komisjoni ja Euroopa Kosmoseagentuuriga peaks satelliit jõudma orbiidile 2022. aasta teisel poolel.

Satelliidi põhimissiooniks on elektrilise päikesetuulepurje edasine katsetamine. ESTCube-1 pardal katsetati purje varasemat versiooni. Kuigi satelliit lõi optimaal-

sed tingimused purje katsetamiseks, selgus katsetuste käigus, et päikesetuulepurje väljakerimine ei õnnestu ja vastavas moodulis on rike. Tõenäoliselt oli viga päikesetuulepurje väljakerivas mootoris. Samas suudeti päikesetuulepurje tööks vajalikud elektronkahurid tööle saada, kuid ilma lahti keritud purjeta nendega palju teha ei saanud.

Hetkel käib insenerimudelite kokkupanek ja tarkvaraarendus ning 2022. aasta alguses jõuab kätte katsetuskampaania.

Maa pind

2021. aastal oli kosmosetehnoloogia osakonna suurimaks projektiks Nutikas Metsarobot. Seda rahastab Riigi Tugiteenuste Keskus ja Euroopa Liidu regionaalarengu fond. Projekti eesmärgiks on arendada metsandusrobot, mis võimaldaks metsade uuendamist automatiseerida ja kiirendada. Metsade taastamine on väga oluline aspekt näiteks kliimaprobleemide lahendamisel.

Tartu observatooriumi eesmärgiks on välja arendada autonoomialahendused, mis võimaldaks mehitamata sõidukitel Eesti metsas ohutult ringi liikuda. Probleemideks, mis selleks vaja lahendada, on näiteks:

1. Kuidas metsas oma asukohta teada?
2. Kuidas metsas ohte vältida?
3. Kuidas metsas läbi viia täppismanöövreid?
4. Kuidas hallata andmeid, mis metsas liikuva roboti töö käigus tekivad ja kuidas nende abil sõiduki eesmärke täita?

Nende ülesannete lahendamiseks arendatakse erinevaid masinõppe meetodeid, süsteeme keskkonna kaardistamiseks droonide, mehitamata maismaasõidukite ja isegi satelliitidega, sensorite info filtreerimise süsteeme ning erinevaid masinõppe algoritme.

2021. aastal sai läbi projekti esimene aasta, kuid projekt jätkub kuni aastani 2023. 2021. aasta lõpus hakatakse projekti kaasama manipulaatoreid, näiteks robotkäsi, mis võimaldaks robotiga reaalseid metsa istutamise ja harvendamise operatsioone läbi viia.

Veenus

2020. aastal avastati Veenuse atmosfäärist fosfaani jälgi, mis võiks viidata elule seal. Et aga elu olemasolu tõestada, on vaja rohkem andmeid. Veenuse pind on teadaolevalt eluks kõlbmatu, kuid Veenuse pilved võivad teoreetiliselt lubada elu eksisteerimist. Täpsed tingimused Veenuse pilvedes pole aga teada. Näiteks on suureks küsimuseks Veenuse pilvede happelisus ehk kui suur on väävelhappe kontsentratsioon seal. Tartu observatoorium osaleb pH sensori ja hapnikusensori arendamisel Veenuse missioonide jaoks, kuid praegu ei saa selle kohta rohkem infot avaldada.

Kaugem astrobioloogia

Lisaks Päikesesüsteemis toimuvale käib taustal ka üldisema astrobioloogia arendamine. Hetkel on näiteks käigus uuring, milles kasutatakse masinõpet, et jälgida äädikakärbestel lendamist heeliumis, et paremini mõista seost atmosfääri tiheduse ja lendavate elusorganismide vahel, sest lendamine võib olla vajalik elu pikaajaliseks säilimiseks.

Kokkuvõte

Kokkuvõttes osakond areneb hästi ja viimased aastad on olnud väga head. Töötajate arv järjest kasvab ja projekte tuleb juurde. Samas kogume rahvusvahelist tuntuust ja saame ligi üha uhkematele missioonidele.

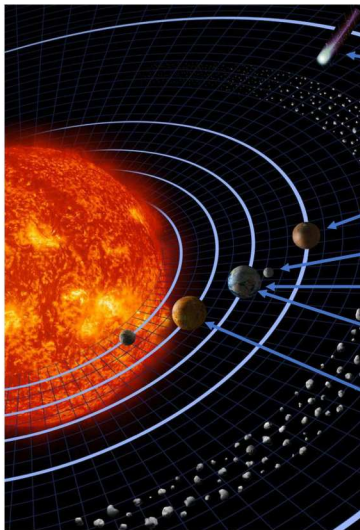
Suures plaanis on eesmärgiks aga veel ambitsioonikamad missioonid, mis võiks viia inimasustuseni Kuul ja Marsil ning ka mujal kosmoses. See aga vajab suurt arendustööd tehnoloogia valdkonnas ja eriti autonoomseid süsteeme kosmoses, mis suudaksid seal teha tööd inimesest sõltumata ja teha ettevalmistusi inimeste saabumiseks.

Lühemas plaanis soovime aidata Eesti tööstust ja eriti kosmosetööstust, et see valdkond siin järjest laieneks ja üha rohkem ka Eesti elu edendaks.

Eks näis, mida lähiaastad toovad.

Kasutatud kirjandus

Snodgrass, C. jt The European Space Agency's Comet Interceptor lies in wait. NatCommun, (2019); 10: 5418.
SISPO. <https://github.com/SISPO-developers/sispo>



Pika perioodiga komeetid: Komeedipüüduuri ESA F-klassi missioon (Eesti esimene süvakosmose instrument)

Asteroidivöö: Multi-Asteroid Touring kontseptsioon

Marss: taotlemisel ExoMars 2022 osalus

Kuu: kuukulgur Milremiga, kaamerad CrystalSpacega

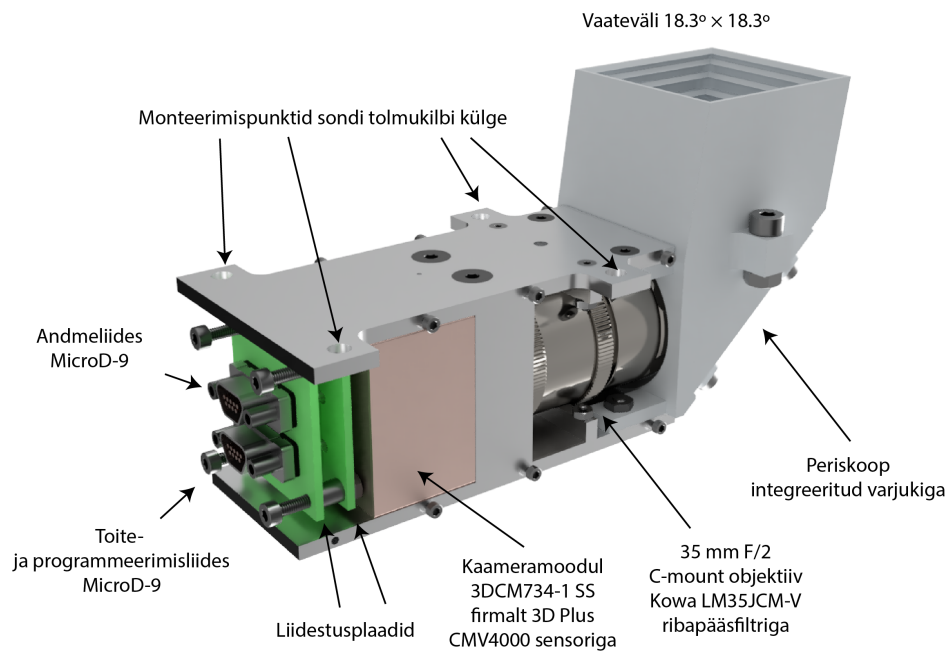
Maa lähiorbiidid: ESTCube-1, lisaks ESTCube-2 ja Theia minemas 2022

Maa pind: tööstusrobotika, haridus ja muud valdkonnad

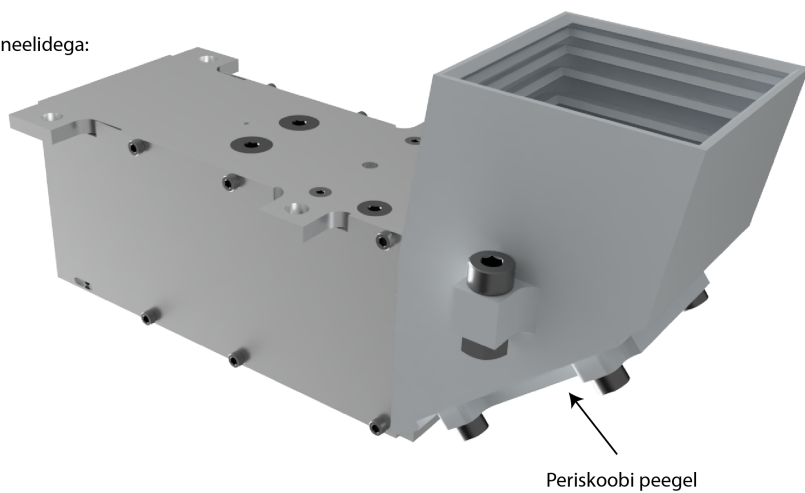
Veenus: Venus Life Finder eeluuring

Kaugemal: eksoplaneetidega seotud astrobioloogia

M. Pajusalu: Joonis 1. Kosmosetehnoloogia osakonna aktiivsed projektid. Pilt vasakul on NASA/JPL poolt loodud, muu Mihkel Pajusalu.



Kõigi küljepaneelidega:



M. Pajusalu: Joonis 2. OPICu sisemine ehitus. Autor: Mihkel Pajusalu, visualisatsiooni autor Iaroslav Iakubivskiy.