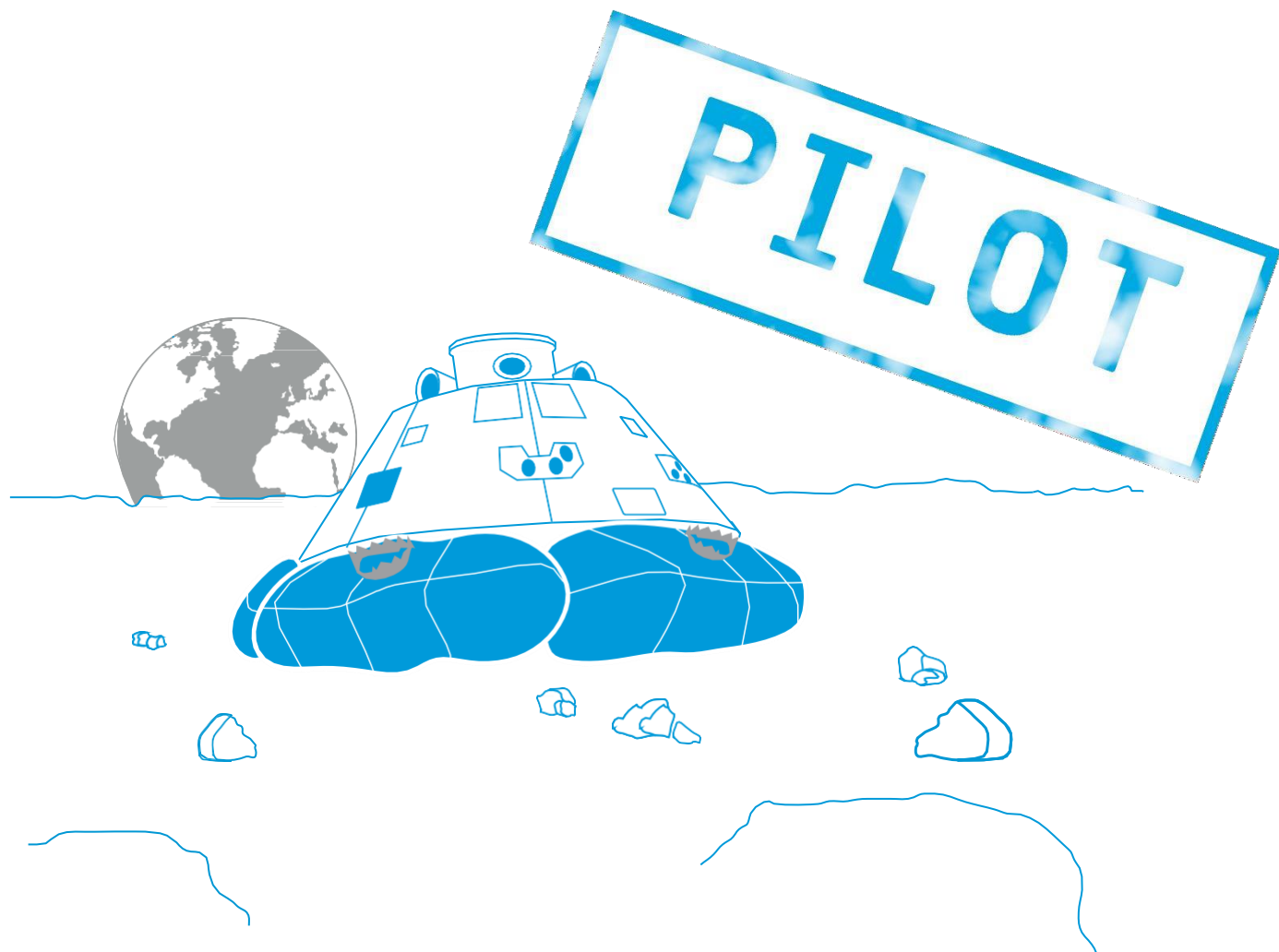


Kosmos on õpetlik

MAANDUMINE KUULE

Kuumaanduri disainimine



Ülevaade

Sihtrühm: II-III kooliaste.

Õppetööks vajalik aeg: kokku 1,5 tundi (90 minutit), koos lisaülesannetega kauem.

Ülesande lahendamiseks sobilik koht: klassiruum, õu.

Vajalikud vahendid: paber, õpilaste töölehed (prinditud igale grupile eraldi), kõrrid, vahukommid, vatipallid, pulgajäätise pulgad, kilekotid, nõör, kleeplint, käärid, õhupallid, toores muna (üks rühma kohta), kaal. Kuumaanduri ehitamiseks mõeldud materjalide asemel võib kasutada alternatiive. Sellisel juhul on vaja teha ka korrekture õpilaste töölehel olevas hinnakirjas. Lisategevuseks saab kasutada kaamera/telefon + statiiv, arvuti (vt Lisa 2).

Õppetöö eesmärgid

- Teha kindlaks jõud, mis kaasnevad Kuu ja Maa pinnale maandumisega.
- Arvestada projekti kavandamisel eelarve ning riskianalüüsiga.
- Töötada meeskonnas piiratud ajalisel ja rahalistes tingimustes.

Seos kosmosega

Apollo 11 missiooni käigus toimus esimene mehitatud maandumine Kuu pinnale. Reis Maalt Kuu orbiidile kestis 72 tundi. Kuu pinnale maandumine kosmoselaevast toimus 20. juulil 1969. aastal kuumaanduriga *Kotkas (Eagle)*, mis laskus Vaikuse mere (*Mare Tranquillitatis*) suhteliselt siledale ja tasasele pinnale. Kuumaandurit juhiti käsitsi, et vältida kaljurünki ning kraatreid. „Houston! Siin Vaikuse meri. *Kotkas* on maandunud!“ Need sõnad märkisid inimeste avastuste uut ajajärku.

Laskumine Kuu pinnale on üks kriitilisemaid ja keerulisemaid faase Kuule maandumisel. Kosmoselaeva kiirus on Kuu orbiidil umbes 6000 km/h ning pehmeks maandumiseks peab kiirus vähenema mõne kilomeetrini tunnis. Uurimiseks huvipakkuvad maandumispaid on sageli ohtlikud, kuna seal leidub kraatreid, kive ja järske nõlvu, mistõttu on neile juurdepääs keeruline.

Vaid 12 inimest on kõndinud Kuu pinnal ja viimane kord toimus see 1972. aastal. Lähitulevikus on plaan NASA-l koostöös teiste kosmosesagentuuridega naasta Kuule.

Käesoleva juhendi läbimisel kujundavad õpilased kuumaanduri ja saavad teada mõningatest probleemidest, mis kosmosesuurijatel tuleb lahendada.

Sissejuhatus

Õpilased disainivad ja ehitavad Kuule maandumise mooduli, et tagada meeskonna (Kosmomuna kehas) turvaline saabumine Kuule. Nad uurivad, milliseid erinevaid tegureid (võrreldes Maaga) tuleks Kuule maandumisel arvesse võtta. Kuumaanduri projekteerimisel peavad õpilased võtma arvesse riskitegureid ja koostama eelarve.

Tegevus 1. Kuumaanduri disainimine ja ehitamine

Selle tegevuse käigus õpilased disainivad ja ehitavad lihtsatest materjalidest kuumaanduri. Eesmärgiks on disainida kuumaandur, millega saavad Kosmomunad turvaliselt Kuu pinnale maanduda. Õpilased peavad arvestama Kuule maandumise riskidega ja esitama lisaks projektile ka riskianalüüsi.

Ülesanne

Jagage klass 3–4-liikmelistesse rühmadesse. Jagage igale rühmale õpilaste töölehed. Selgitage õpilastele missiooni tagapõhja ja projekti tingimusi. Paluge igal rühmal kavandada Euroopa Kosmoseagentuuri (ESA) jaoks üks mehitatud kuumaandur. Õpilased võivad oma disainilahendust hoida teiste rühmade eest saladuses või teha teiste rühmadega koostööd ja üksteist aidata. Igalt rühmalt oodatakse oma unikaalse kujunduse esitamist.

Enne kui õpilased oma tööd alustavad, pöörake nende tähelepanu põhiküsimustele, millega nad peaksid arvestama. Küsige õpilastelt, millele tuleb mõelda, kui kavandada maandumist teisele taevakehale. Näiteks tuleks mõelda järgmistele teemadele: vahemaa, atmosfääri koostis või atmosfääri puudumine, täpne maandumine valitud maandumisaega, lähenemisnurk jne.

Õpilaste töölehel on hinnakiri materjalide kohta. Juhul kui teha valikus olevate materjalide hulgas muutusi, siis tuleks seda kajastada ka hinnakirjas. Selleks, et parendada efektiivset planeerimist, maksavad peale esialgset planeerimist hiljem juurde küsitud materjalid 10% rohkem. Iga rühma eelarve on 1 miljard eurot. See eelarve peaks katma Kosmomuna koolituskulud (300 miljonit eurot), välja lendamise (*launch*) maksumuse (1 miljon 1 grammi kohta) ja materjaliga seotud kulud. Materjalide hulka ja eelarve suurus võib ülesande raskusastme suurendamiseks või vähendamiseks muuta.

HINNAKIRI

Kohustuslikud kulud

Kosmomuna treenimine: 300 miljonit €

Väljalennu maksumus: 1 miljon € grammi kohta

Materjal

1 leht A4 paberit	50 miljonit €
1 kõrs	100 miljonit €
1 vahukomm	150 miljonit €
1 jäätisepulk	100 miljonit €
1 kilekott	200 miljonit €
1 m nööri	100 miljonit €
1 m kleeplinti	200 miljonit €
1 õhupall	200 miljonit €

Disainimine

Enne ehitamise alustamist tuleb õpilastel täita tööjuhendil olev riskianalüüsi vorm. Riski hindamisel tuleb arvesse võtta nii riski esinemise tõenäosust kui riski mõju. Riskidega tuleb arvestada kõikides etappides – planeerimisel, ehitamisel, transpordil ning meeskonna väljaõppel. Õpilaste töölehel on olemas riskianalüüsi vorm ja potentsiaalsete missiooni puudutavate riskide loetelu. Sellist riskianalüüsi vormi kasutatakse paljudel elualadel. Õpilastel tuleb omavahel arutleda selle üle, kas ikka kõik riskid on arvesse võetud. Kolme kõige olulisema riski jaoks tuleb välja töötada riskimaandamise strateegiad.

Õpilased peaksid ajurünnaku tulemusena välja valima kõige ohutuma kuumaanduri, mis on võimalik nende eelarve piires ehitada. Õpilastel tuleb töölehtedele joonistada võimalikult täpne visand oma mudelist ning lisada sellele juurde eelarve. Õpetajal tuleks selgitada, et mudeli planeerimise protsess on sarnane reaalse kosmose missiooni planeerimisega, kõik materjali kulu tuleb täpselt välja arvestada, põhjendada ning siduda eelarvega.

Ehitamine

Nüüd peavad õpilased ehitama oma kuumaanduri. Tõenäoliselt märkavad nad, et kõik ei lähe päris plaani kohaselt. Hiljem juurde küsitud materjali eest tuleb maksta 10% rohkem.

Õpilastel tuleb oma kuumaandurile panna nimi. Lõpuks tuleb kuumaandur ning Kosmomuna üle kaaluda, et saada teada väljalendamise maksumus. Kogukulu peab jääma alla 1 miljardi euro ning see peab sisaldama ka Kosmomuna treeningukuluseid, väljalendamise maksumust ja materjalide maksumust.

Tulemused

Siin on näide riskianalüüsi vormi täitmise kohta. Tõenäoliselt hindavad erinevad õpilased riskide olulisust erinevalt.

		Tagajärjed				
		Ebaoluline	Vähene	Keskmine	Oluline	Katastroofiline
Tõenäosus	Peaaegu kindel		Maandur saab katsetuse ajal kannatada	Ei õnnestu maanduda täpselt planeeritud kohta		
	Üsna Tõenäoline		Mõnel teisel ettevõttel (rühmal) on efektiivsem ja /või odavam mudel	Ei õnnestu valmis saada õigeaegselt	Ootamatult muudetakse projekti tingimusi	Kosmomuna ei jää ellu
	Võimalik		Maandur saab transpordi käigus kannatada	Maandur muutub kokkuvõttes väga raskeks	Eelarves on ootamatuid muutusi	Maandur saab viimase maandumise ajal kannatada
	Ebatõenäoline				Mõned materjalid muutuvad liiga kalliks	Mudeli paljukordne muutmine tõstab mudeli hinna liiga kõrgeks
	Harv				Mõned materjalid muutuvad kättesaamatuks	

Risk 1: Kosmomuna ei jää ellu.

Riski maandamine: Ehitage mitmekülgne kuumaandur: ärge lootke ainult ühele maandumist turvavale mehhanismile. Katsetamisel tõstke järk-järgult kõrgusi. Katsetage maandurit kõigepealt ilma Kosmomunata.

Risk 2: Mudeli paljukordne muutmine tõstab mudeli hinna liiga kõrgeks.

Riski maandamine: Disainige maandur eelarve piires enne ehitama hakkamist. Leia lisarahastus mõnest teisest allikast.

Risk 3: Ootamatult muudetakse projekti tingimusi.

Riski maandamine: Kasutage kohandatavat disaini ning vajadusel vähendage materjalikulu. Ärge lootke ainult ühe tehnoloogia või mehhanismi peale. Disainige maandur eelarve piires enne ehitama hakkamist.

Arutelu

Eelnevad tegevused peaksid suurendama teadlikkust riskide kindlakstegemise ja hindamise olulisusest ja nende tagajärgedest. Õpilased peaksid mõistma kui oluline on (kosmose)projekti juures planeerimine ja eelarvega arvestamine.

Võib arutleda ohtude üle, mis kaasnevad kosmoseuuringutega. Arutlege klassis, kuidas hinnata riski astronauti elule võrrelduna maanduri maksumusega. Kas tulevikus peaks kosmoseuuringuid läbi viima ainult robotid?

Enne järgmise tegevuse juurde minemist pange kindlasti paika definitsioon „ellujäänud Kosmomuna“ kohta. Kas ühtegi mõra munas pole lubatud? Mis on eduka missiooni definitsioon?

Tegevus 2. Kuumaanduri katsetamine

Õpilased katsetavad, kas Kosmomuna elab nende maanduris vertikaalse kukkumise üle. Õpilased kirjeldavad maandumise tingimusi ja pööravad tähelepanu teistele teguritele, mis võivad tulemust mõjutada. Kiirenduse uurimiseks võib vertikaalset kukkumist filmida.

Ülesanne 1

Enne katsetamise alustamist peaksid õpilased üles kirjutama tingimused maandumiseks (pinnase kõvadus, ilmastikutingimused jne). Oluline on, et iga katse toimuks samades tingimustes. Arutlege õpilastega, miks on oluline muuta muutujate väärtusi ükshaaval.

Märkige maha maandumisplats. Te võite teha kleeplindiga põrandale risti või joonistada märklaua, kus kaugust keskkohast näitavad ringid. **Pange kirja kõikide katsete tulemused iga meeskonna kohta** (tabel Lisa 1). Soovi korral võib teha katsetusi erinevatelt kõrgustelt.

Leppige õpilastega kokku „Kosmomuna jääb terveks“ tähendus!

Võite valida kuumaandurite seast võitja järgmistele kriteeriumitele tuginedes:

- suurim kõrgus, kust alla kukkudes maandur suudab turvata Kosmomuna;
- kaugus maandumispäiga keskkohast;
- kuumaanduri maksumus;
- kui hästi järgiti planeeringut ja eelarvet;
- üldine grupitöö, planeerimine ja suhtlus rühmas.

Paluge õpilastel esitleda oma projekti klassile. Nad peaksid analüüsima, kui hästi nende esialgne plaan töötas ja mida nad teeksid nüüd juba oma tulemust teades teisiti. Õpilased peaksid arutlema, millised välised tegurid mõjutavad katset, nt ilmastikutingimused (tugev tuul, vihm jne) või pinnase materjal (asfalt, liiv, muru jne).

Tegevus 3. Kuule maandumine

Maal ja Kuul on erinevad tingimused, mida tuleb maandumisel arvestada.

Ülesanne

Arutlege õpilastega Maa ja Kuu erinevuste üle. Millised tegurid mõjutavad maandumist Maal ja millised Kuul. Utsitage õpilasi arutlema maandumiskoha tüübi olulisuse ja laskumisnurga üle.

Paluge õpilastel nimetada 3 tegurit, mis võivad mõjutada maandumist Maal ja maandumist Kuul. Tabelis on toodud mõned näited.

Maandumine Maal	Maandumine Kuul
1. Atmosfäär 2. Maandumiskoht 3. Taassisenemise kiirus 4. Taassisenemise nurk 5. Ilmastikuolud	1. Maandumiskoht 2. Piirkond Kuul 3. Maandumise kiirus 4. Lähenemise nurk 5. Temperatuuri varieerumine

Kuidas mõjutab maandumist asjaolu, et Kuul ei ole atmosfääri? Kas langevari töötaks Kuule maandumise korral? Kas langevarju asemel saaks kasutada mootorit või õhupatja?

Kuule maandumiseks ei saa kasutada langevarju, kuna Kuul puudub atmosfäär. Langevarjud vajavad õhu- või gaasikeskkonda, et tekiks õhutakistus, mis aeglustaks kosmoseaparaadi kiirust. Kuna Kuul ei ole atmosfääri, ei ole seal ka midagi, mis langevarju toimima paneks.

Kuule maandumiseks kasutatakse mootoreid. Need töötavad sarnaselt piduritega ja tagavad pehme maandumise. Samuti on oluline kiiruse täpne reguleerimine, et vältida liiga kiiret kokkupõrget pinnaga. Lisaks on maandumisel suureks abiks stabiliseerivad maandumisjalad, mis aitavad nõlvadel ja ebatasasel pinnal tasakaalustada väikesed kallakuid.

Maale naastes tuleb atmosfääri hõõrdejõu vastu kasutada kuumuskilpe, Kuule maandudes pole neid vaja. Vastupidiselt on temperatuurimuutused Kuul oluliselt ekstreemsemad kui Maal ning sellega tuleb Kuule maandumisel arvestada.

Kokkuvõte

Õpilased peaksid järelutama, et kuumaanduri maandumine on keeruline ülesanne, mis hõlmab enne selle teostamist palju planeerimist ja katsetamist. Õpilased peaksid järelutama, et sellised oskused nagu kindla eelarvega projekti väljatöötamine, riskianalüüs, disainimine, katsetamine ja meeskonnatöö on mistahes kosmosemissiooni jaoks üliolulised. Mehitatud missiooni puhul tuleb oluliselt rohkem arvestada erinevate asjaolude ja kaasnevate riskidega kui robotmissiooni korral.

Õpilased peaksid ka järelutama, et Maal tehtud katsed ei suuda täielikult asendada Kuule maandumise keskkonda ja tingimusi, seepärast tuleb katsetusi täiendada teooriaga, et arvestada erinevusi Maal ja Kuul.

LISA 1

Tegevus 2 – Kuumaanduri katsetamine

Maanduri nimi	Kukkumise kõrgus (m)	Kaugus maandumispaiga keskosast (cm)	Maksumus (miljonit €)

LISA 2

Tegevus 2 - Kuumaanduri katsetamine

Tegevuse saab läbi viia kas demonstratsioonina või rühmatööde jätkuna sõltuvalt arvutite või nutitelefonide kättesaadavusest klassiruumis.

Maandumise jälgimiseks kasutage video liikumise analüüsi. Internetis on saadaval mitmed videoanalüüsi programmid. Järgnevalt paar programmi soovitus:

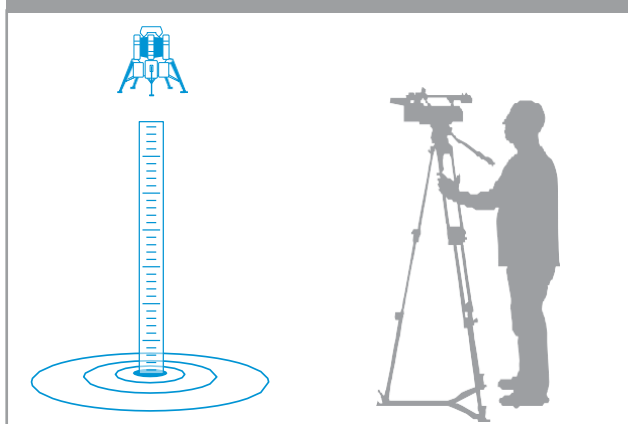
- arvutitele sobiva programmi „Tracker program” saate tasuta alla laadida siit: <http://physlets.org/tracker/> ;
- nutitelefonidele või tahvlitele sobib hästi rakendus „Video Physics” koos “Graphical”-iga (mõlemad sobivad nii Androidile kui iOSile).

Te võite anda õpilastele demonstratsiooni käigus saadud andmed või õpilased võivad mõõta oma maandurite andmeid rühmades.

Plaan

1. Kinnitage meetrine pulk (või joonlaud) maandumisala kõrvale.
2. Asetage kaamera nii, et kaadrisse mahuvad nii mõõtepulk kui ka maanduri stardipaik.
3. Hoidke kaamerat filmimise ajal stabiilsena, võimalusel kasutage kolmjalga.
4. Maandurit kukkuda lastes veenduge, et see asuks kaamerast mõõtepulgaga samal kaugusel.

Joonis A5



↑ Katselanguse filmimine

Joonis A6



↑ Näide video liikumise analüüsist, kus on katselanguse kõrgus umbes 2 meetrit.

5. Jälgige valitud programmis maandurit määrates jälgimise punktid käsitsi.
6. Salvestage andmed.

Näidisandmed maandurite kukkumise jaoks.

aeg (s)	y-suunaline teepikkus (m)	y-suunaline kiirus (m/s)
0.000	1.84	-0.406
0.067	1.82	-0.547
0.100	1.79	-0.843
0.133	1.76	-1.148
0.167	1.71	-1.453
0.200	1.66	-1.748
0.233	1.60	-2.096
0.267	1.52	-2.420
0.300	1.44	-2.725
0.333	1.34	-3.006
0.367	1.24	-3.274
0.400	1.12	-3.638
0.433	0.99	-3.931
0.467	0.86	-4.123
0.502	0.71	-4.428
0.535	0.51	-4.734
0.568	0.40	-4.877
0.602	0.22	-4.623
0.668	0.00	-0.798
0.702	0.03	0.457
0.735	0.06	0.614
0.768	0.08	0.386
0.802	0.08	0.135
0.835	0.08	0.066
0.868	0.08	0.115
0.902	0.09	0.207
0.935	0.10	0.151
0.968	0.10	-0.019
1.002	0.10	-0.125
1.035	0.09	-0.201
1.068	0.08	-0.294
1.102	0.07	-0.375
1.135	0.06	-0.426