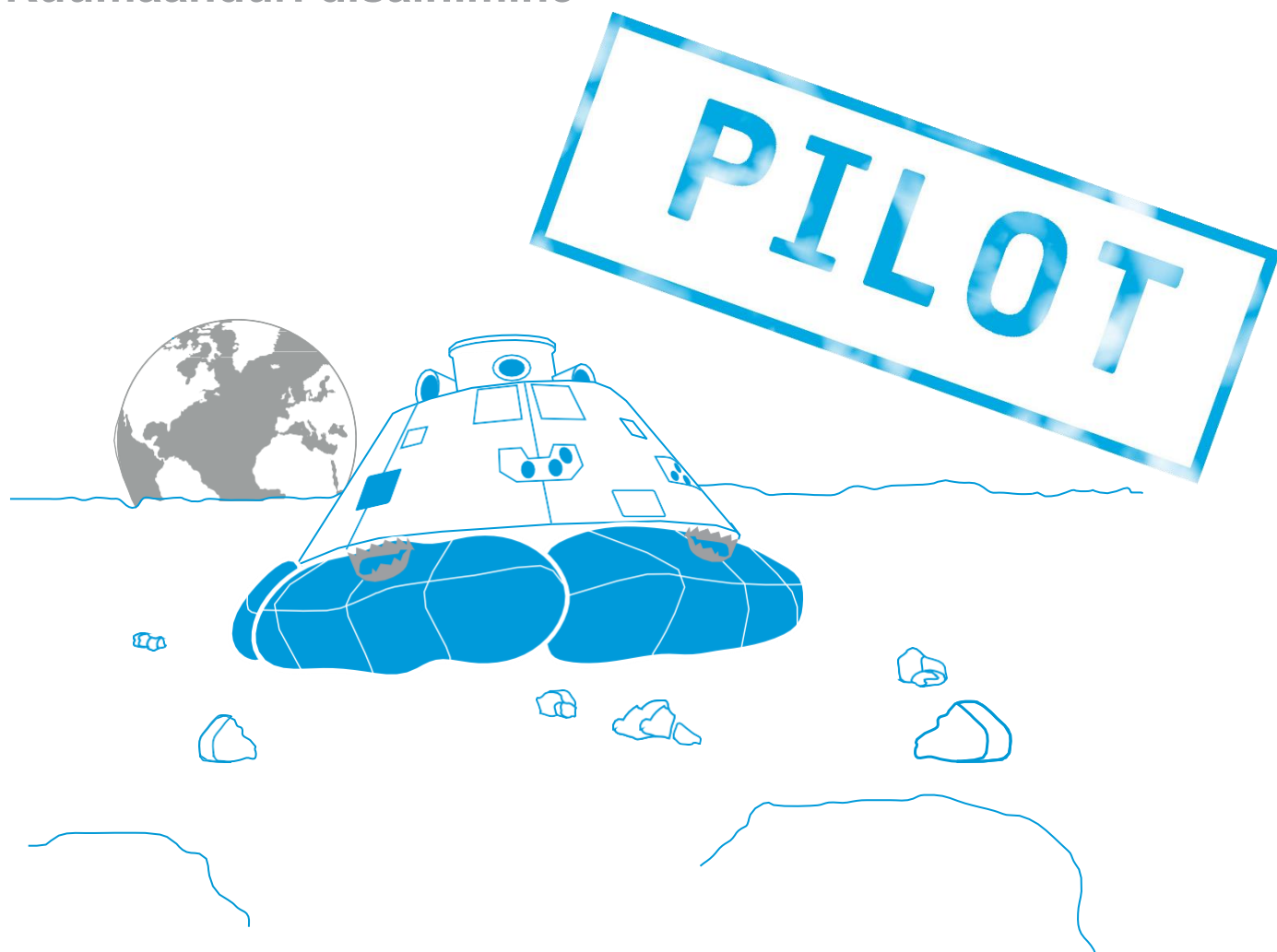
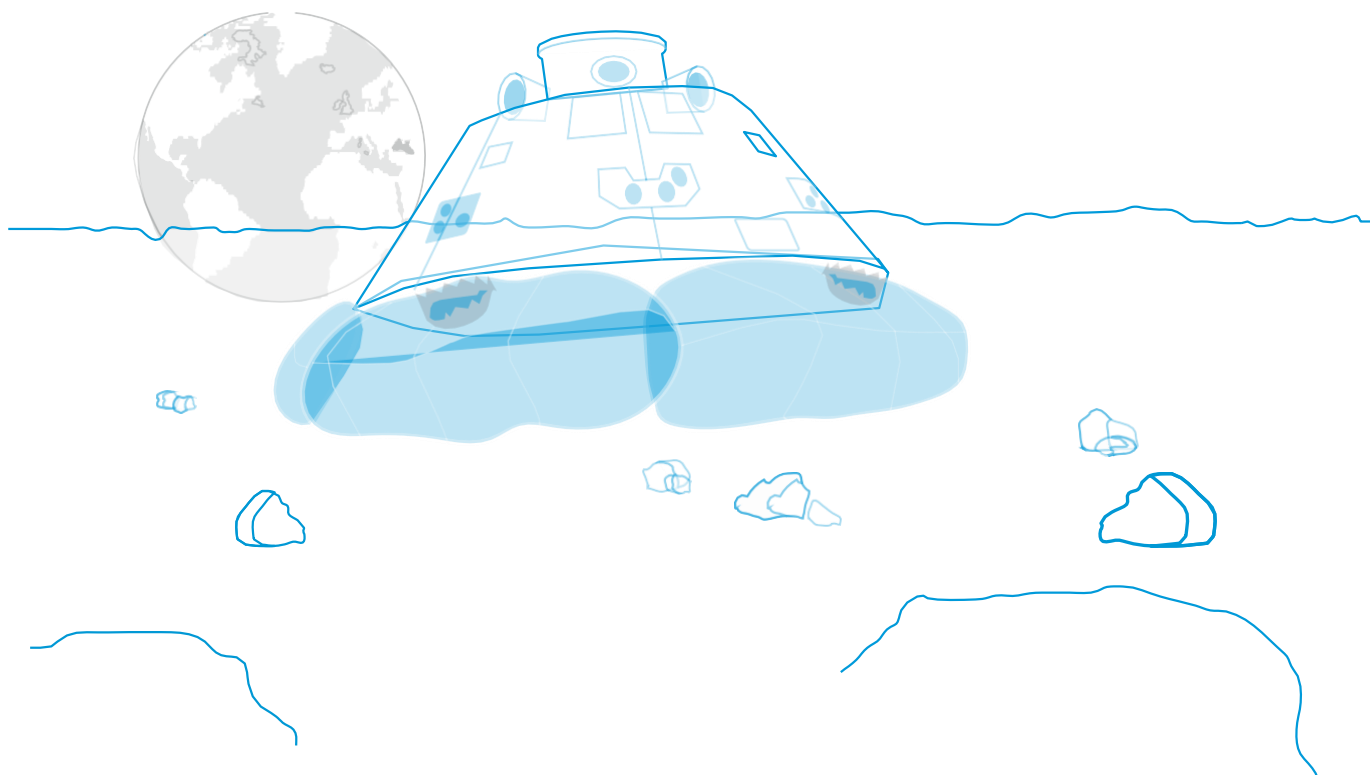


Kosmos on õpetlik

→ MAANDUMINE KUULE

Kuumaanduri disainimine





Õpetaja juhend

Faktid lühidalt	lk 3
Tegevuste tabel	lk 4
Sissejuhatus	lk 5
Tegevus 1: Disaini ja ehita kuumaandur	lk 6
Tegevus 2: Kuumaanduri katsetamine	lk 9
Tegevus 3: Maandumine Kuule	lk 12
Lisad	lk 15
Õpilaste töölehed	lk 19
Viited	lk 26

Õpeta koos kosmosega – maandumine Kuule | P37
www.esa.int/education

Euroopa Kosmoseagentuurile (ESA) saab anda tagasisidet siin:
teachers@esa.int

ESA Hariduse koostöö ESERO Nordicuga
Copyright 2018 © European Space Agency

→ MAANDUMINE KUUL

Kuumaanduri disainimine

FAKTID LÜHIDALT

Valdkond: Füüsika, Matemaatika, Majandus

Vanus: 14 –16-aastased

Liik: õpilastele suunatud tegevus

Raskusaste: keskmine

Õpetaja ettevalmistusaeg: 1 tund

Õppetunnile kuluv aeg: kokku 2,5 tundi

Kulud: madalad (0-10 eurot)

Tegevuskoht: klassiruumis ja õues

Märksõnad: füüsika, matemaatika, majandus, maandumine Kuul, raskusjõud, hõõrdumine, jõud, kiirus, kiirendus, Newtoni seadused, eelarve koostamine, riskianalüüs

LÜHIKIRJELDUS

Selles tegevuste plokis õpilased disainivad ja ehitavad maandumise mooduli, et tagada meeskonna (*egg-naudi* vormis) 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.

Õppe eesmärgid

- Teha kindlaks jõud, mis kaasnevad Kuu ja Maa pinnale maandumisega.
- Mõista suhet massi ja raskusjõu vahel.
- Lahendada probleemi kasutades Newtoni teist liikumisseadust
- Arvestada projekti kavandamisel eelarve ning riskianalüüsiga.
- Töötada meeskonnas piiratud ajalises ja rahalistes tingimustes.

→ Tegevused

Tegevuste kokkuvõte					
	Tegevus	Kirjeldus	Tulemus	Nõuded	Aeg
1	Kuumaanduri disainimine ja ehitamine	Kuumaanduri disainimine ja ehitamine. Projekteerimine ja riskianalüüsi läbiviimine.	Oskus luua fikseeritud eelarve ning nõudmistega projekt, läbi viia projekteerimine ja riskianalüüs ning ehitada kuumaandur.	Pole	60 minutit
2	Maanduri katsetamine	Kuumaanduri katsetamine ja tulemuste analüüsimine	Kuumaanduri katsetamisest kogutud andmete alusel arvatud kiirus ja kiirendus maandumisel.	Eelnevalt läbitud tegevus nr 1	60 minutit
3	Maandumine Kuule	Maale ja Kuule maandumise võrdlus.	Teadmine Maa ja Kuu vahelistest erinevustest. Oskus arvutada raskuskiirendust ja raskusjõudu.	Eelnevalt läbitud tegevus nr 2	30 minutit

→ Sissejuhatus

Aastal 1969 toimus missioon Apollo 11, mis oli esimene mehitatud maandumine Kuu pinnale. Pärast neljapäevast reisi Maalt, eraldus kuumaandur nimega Kotkas (*Eagle*) kosmoselaevast Kuu orbiidile ning laskus Vaikuse merele (*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.

Teine mehitatud missioon Kuule, Apollo 12, kasutas täppismaandumist. Suurem osa laskumisest oli automaatne. Täppismaandumine oli väga oluline, sest see suurendas usaldust maandumise vastu konkreetsetes huvipakkuvates piirkondades.

Laskumine Kuu pinnale on maandumise üks kriitilisemaid ja raskemaid etappe. Kosmoselaev peab pehmeks maandumiseks vähendama kiirust 6000 km/h Kuu orbiidil mõne km/h enne maandumist. Maandumiskohad on ohtlikud, seal leidub kraatreid, orge ja nõlvu ning seetõttu on need raskesti ligipääsetavad.

Vaid 12 inimest on kõndinud Kuu pinnal ja viimane kord toimus see 1972. aastal. Euroopa Kosmoseagentuur (ESA) kavatab koostöös teiste partneritega naasta Kuule robotite ja mehitatud missioonidega järgmistel aastakümnetel.

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



→ Tegevus 1: Kuumaanduri disainimine ja ehitamine

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

Vahendid

- Paber
- Õpilaste töölehed (prinditud igale grupile eraldi)
- Kõrred
- Vahukommid
- Vatipallid
- Pulgajäätise pulgad
- Kilekotid
- Nöör
- Kleeplint
- Käärid
- Õhupallid
- Muna – üks rühma kohta
- Kaal

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 ikkagi 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 üldse, täpne maandumine valitud maandumispaika, lähenemisnurk jne.

Andke õpilastele kätte materjalid ja info nende maksumuse kohta (Lisa 1). 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 *egg-nauti* koolituskulud (300 miljonit eurot), väljalendamise (*launch*) maksumus (1 miljon 1 grammi kohta) ja materjaliga seotud kulud. Materjalide hulka ja eelarve suurust võib ülasande raskusastme suurendamiseks või vähendamiseks muuta.

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 mudelile (ja *egg-nautil*) panna nimi. Lõpuks tuleb kuumaandur ning *egg-naut* üle kaaluda, et saada teada väljalendamise maksumus. Kogukulu peab jääba alla 1 miljardi ning see peab sisaldama ka *egg-nauti* 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	<i>Egg-naut</i> 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: *Egg-naut* ei jää ellu

Riskimaandamine: Ehitage mitmekülgne kuumaandur: ärge lootke ainult ühele maandumist turvavale mehhanismile. Katsetamisel tõstke järk-järgult kõrgusi. Katsetage maandurit kõigepealt ilma *egg-nautita*.

Risk 2: Mudeli paljukordne muutmine tõstab mudeli hinna liiga kõrgeks

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

Risk 3: Ootamatult muudetakse projekti tingimusi

Riskimaandamine: 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 *egg-nauti*“ kohta. Kas ühtegi mõra munas pole lubatud? Mis on eduka missiooni definitsioon?

→ Tegevus 2: Kuumaanduri katsetamine

Õpilased katsetavad kas *egg-naut* 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.

Vahendid

- Õpilaste töölehed (prinditud igale grupile eraldi)
- Iseehitatud kuumaandurid koos *egg-nautidega* (valmistatud 1. tegevuse all)
- (vabatahtlik) Kaamera/telefon ja kolmjalg (vt lisa 3)
- (vabatahtlik) Video töötlemise programm (vt lisa 3)
- (vabatahtlik) Arvuti või nutitelefon

Ülesanne 1

Enne katsetamise alustamist peaksid õpilased üles kirjutama tingimused maandumisel (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 kleplindiga põrandale risti või joonistada märklaua, kus kaugust keskkohast näitavad ringid. Pange kirja kõikide katsete tulemused (tabel lisa 2). Soovi korral võib teha katsetusi erinevatelt kõrgustelt. Maandurisse peaks planeerima *egg-nauti* jaoks kokkupõrget pehmendavaid mehhanisme, näiteks vooderduse jne, mis aitavad hajutada kokkupõrke energiat.

Võite valida kuumaandurite seast võitja järgmistele kriteeriumitele tuginedes:

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

Palu 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).

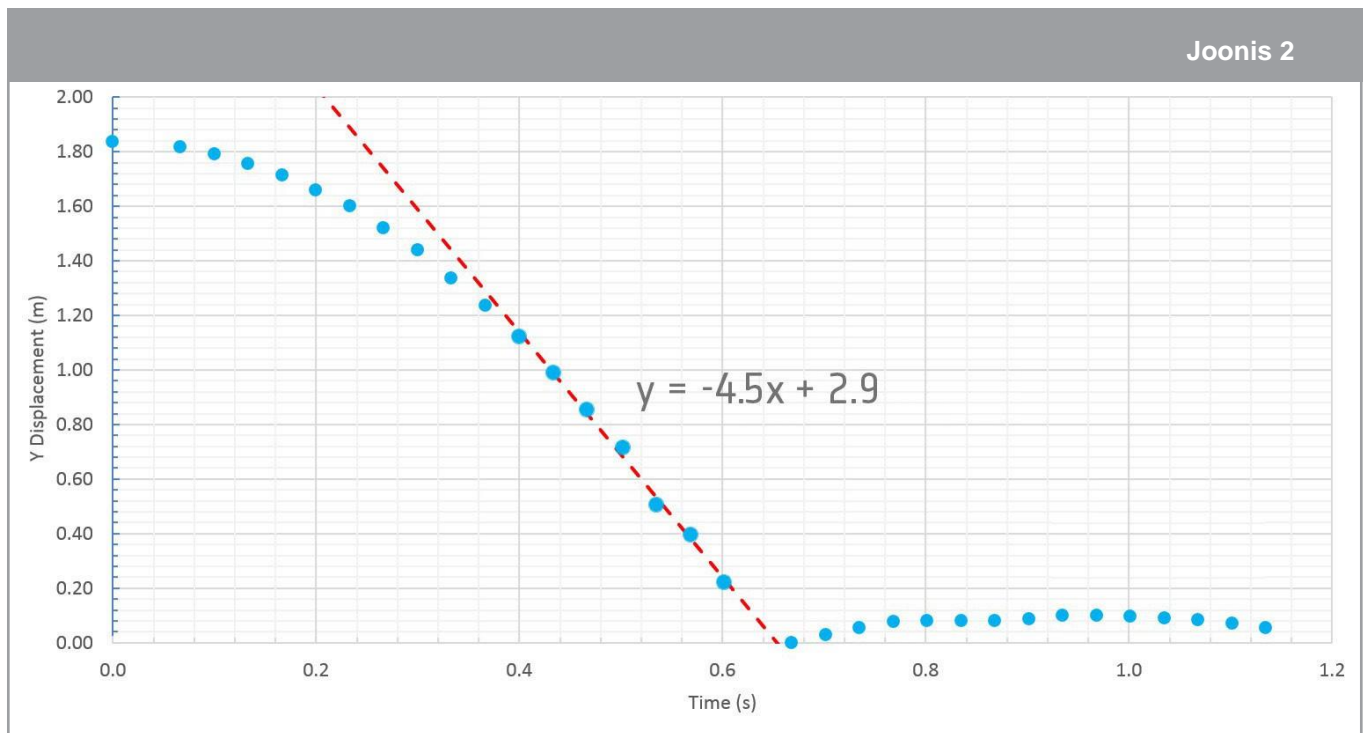
Ülesanne 2

Ülesande lahendamiseks läheb vaja maanduri kukkumise kõrgust ning kiirust funktsioonina ajast. Detailsema õpetuse nende parameetrite mõõtmiseks leiate lisast 3. Alternatiivina võib kasutada näiteandmeid, mis on antud tabelis 1 (lisa 3).

Õpilased analüüsivad maanduri langus(t)e kiirust ning kiirendust. Näitena kasutame andmeid tabelist 1 (lisa 3). Igal õpilasel on vaja kasutada programmi Excel või graafilist kalkulaatorit.

1. Ligikaudse kokkupõrkekiiruse mõju arvutamiseks maandurile võivad õpilased kõigepealt märkida maanduri läbitud teepikkuse y-suunas funktsioonina ajast. Seejärel viia läbi lineaarne regressioonanalüüs kaasates ainult kokkupõrkele eelnenud 5-10 andmepunkti. Selle lineaarregressiooni tõus vastab ligikaudsele kokkupõrkekiirusele. Kui maandur ei ole saavutanud ühtlast kiirust, siis liigub maandur kiirenevalt ja meetod annab ainult ligikaudse kiiruse.

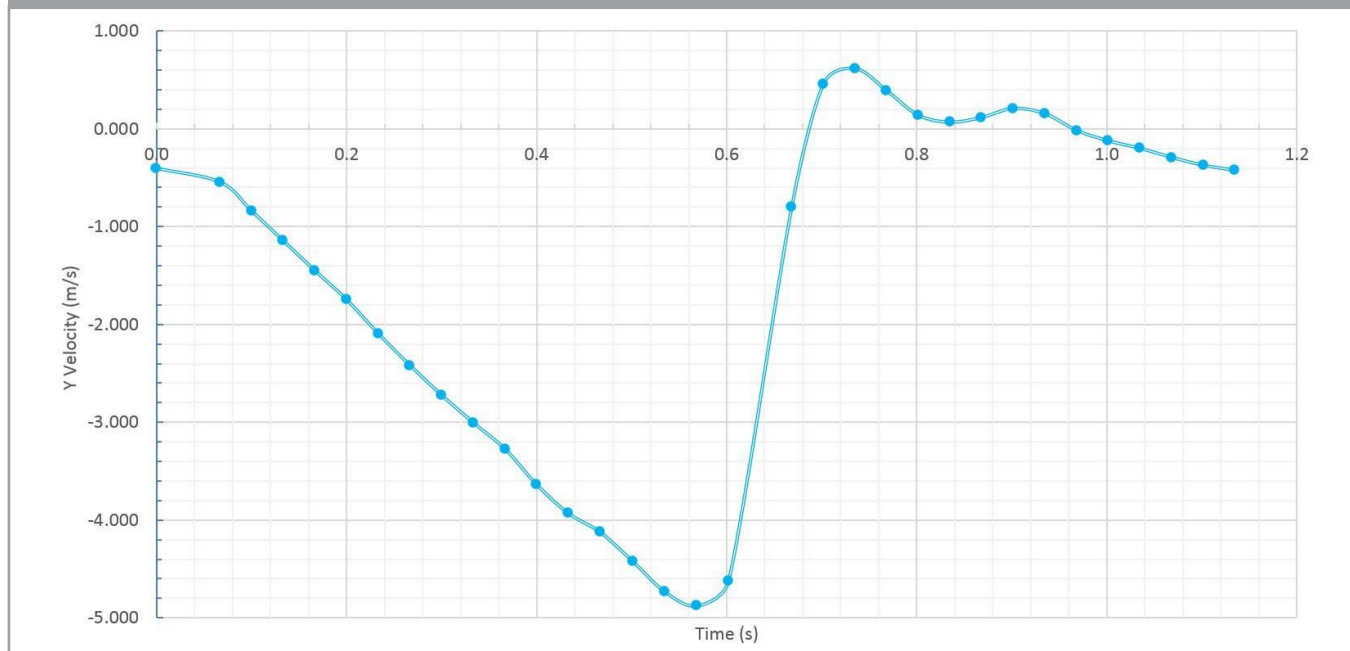
2. Näitejoonisel (Joonis 2) on kokkupõrkekiirus on umbes 4.5 m/s.



↑ Y-suunaline teepikkus funktsioonina ajast

3. Teine meetod kokkupõrkekiiruse leidmiseks on vaadata y-suunalist kiirust funktsioonina ajast. Ligikaudne kokkupõrkekiirus on kergesti nähtav graafikul kohas, kus kiirus muudab järsku suunda. Joonisel 3 näeme, et maanduri kokkupõrkekiirus maaga jääb 4,8 ja 4,9 m/s vahele. See on umbes sama kiirus, mille saime esimese küsimuse vastusena. Maanduri kiirus ei peaks enne maapinnani jõudmist vähenema (välja arvatud juhul kui kasutatakse langevarju, praegusel juhul see nii ei ole). Kiiruse andmete kõikumine enne kokkupõrget võib tuleneda mõõtemääramatusest.

Joonis 3

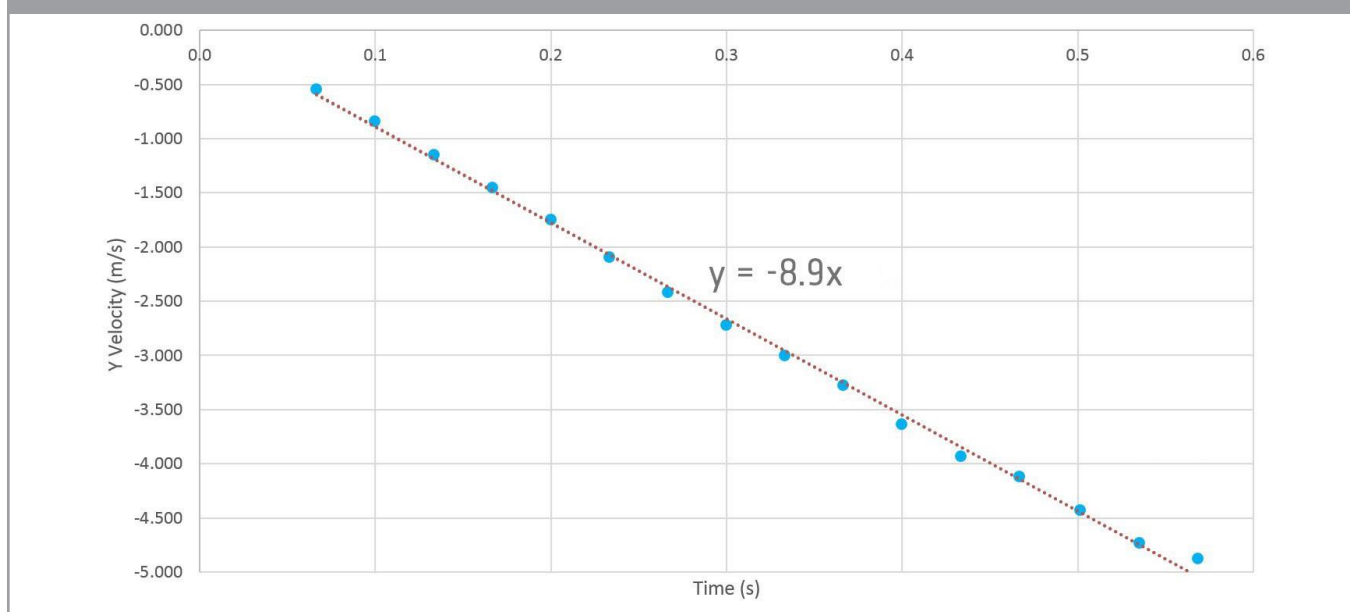


↑ Y-suunaline kiirus funktsioonina ajast

4. Maaduri kiirenduse arvutamiseks enne kokkupõrkamist võivad õpilased teha lineaarregressiooni y-suunalisest kiirusest funktsioonina ajast. Lineaarregressiooni tõus vastab maanduri kiirendusele. Näiteandmete põhjal on y-suunaline kiirendus $y = -8.9 \text{ x m/s}^2$ (Joonis 4).

↑ Lineaarregressioon (enne kokkupõrget) y-suunalise kiiruse ja aja vahel

Joonis 4



5. Hõõrdejõu mõju kiirendusele:

Atmosfääri olemasolu tõttu aeglustab hõõrdejõud maanduri kiirust. Hõõrdejõud on võrdeline kiiruse ruuduga. Kui maandur langeks palju kõrgemalt, siis õpilased näeksid mõõtes, et maandur jõuab konstantse kiiruseni hetkel kui hõõrdejõud võrdsustub raskusjõuga.

→ Tegevus 3: Kuule maandumine

Selles tegevuses õpilased võrdlevad maandumist Maale ja Kuule. Nad uurivad erinevaid tegureid, mis mõjutavad maandumist mõlemas sihtkohas ning kaasnevaid jõudiagramme. Lisaks parendavad õpilased oma maanduri disaini võttes arvesse katsetuse käigus saadud informatsiooni.

Ülesanne

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

1. 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. Lähenedamise nurk 5. Temperatuuri varieerumine

Arutlege õpilaste poolt välja toodud erinevate mõjude üle. Näiteks kuidas mõjutab maandumist asjaolu, et Kuul ei ole atmosfääri? Langevari ei töötaks Kuul maandumise korral – selle asemel saaks võib-olla kasutada mootorit või õhupatja? 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.

2. Teise küsimuse lahendamiseks tuleb õpilastel kasutada raskuskiirenduse valemit (g):

$$g = G \frac{m}{r}$$

Kus G on gravitatsioonikonstant, m on taevakeha mass ja r on taevakeha raadius.

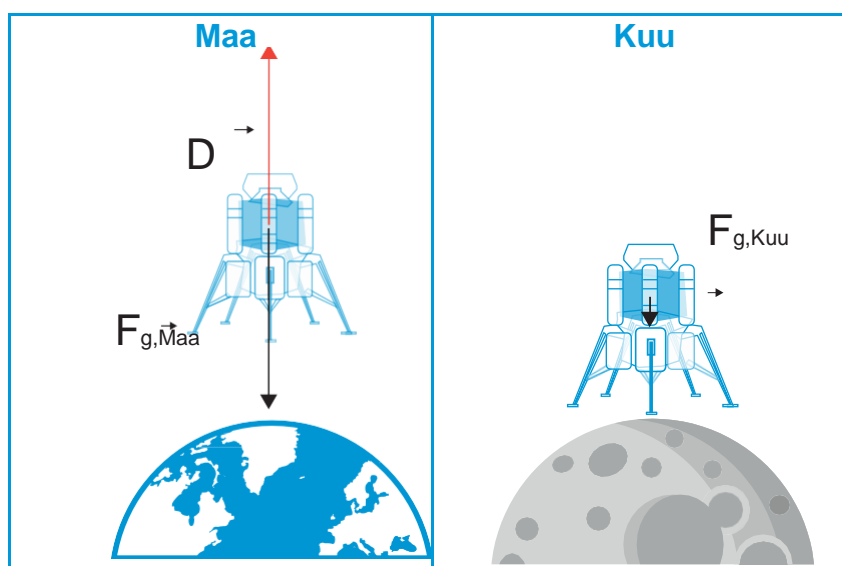
Ja Newtoni teist liikumisseadust:

$$F = m \cdot a$$

Kus F on kehale mõjuv jõud, m on keha mass ja a on kiirendus.

MAA	KUU
$g_{\text{Maa}} = \frac{5.97 \cdot 10^{22} \text{ kg} \cdot 6.67408 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}}{(6\,371\,000 \text{ m})^2}$ $g_{\text{Maa}} = 9.81 \text{ ms}^{-2}$	$g_{\text{Kuu}} = \frac{7.35 \cdot 10^{22} \text{ kg} \cdot 6.67408 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}}{(1\,737\,000 \text{ m})^2}$ $g_{\text{Kuu}} = 1.62 \text{ ms}^{-2}$
Eeldame, et maanduri mass on 250 g: $F_{g,\text{Maa}} = 9.81 \text{ ms}^{-2} \cdot 0.25 \text{ kg}$ $F_{g,\text{Maa}} = 2.45 \text{ N}$	$F_{g,\text{Kuu}} = 1.62 \text{ ms}^{-2} \cdot 0.25 \text{ kg}$ $F_{g,\text{Kuu}} = 0.41 \text{ N}$

3. Palu õpilastel joonistada maandurile mõjuvate jõudude diagramm Maal ja Kuul. Te võite näiteks alustada faktiga, et raskuskiirendus on Kuul 6 korda väiksem kui Maal. Või lasta õpilastel arutleda oma arvutatud tulemuste üle.



Kuu ümber on vaakum, seepärast mõjutab maandurit ainult raskusjõud ($F_{g,\text{Kuu}}$). Nagu arvutatud teise küsimuse all, raskusjõud on Kuul 6 korda väiksem kui Maal.

Maa on ümbritsetud atmosfääriga, seepärast peame arvestama aerodünaamilise hõõrdejõuga. Hõõrdejõud D on võrdeline maanduri kiiruse ruuduga. Kiiruse kasvades kasvab ka hõõrdejõud kuni see ühtlustub raskusjõuga. Kui hõõrdejõud on ühtlustunud raskusjõuga, siis kehale mõjuvad välised jõud on tasakaalus ning keha langemine jätkab ühtlase kiirusega.

4. Eelmistes küsimustes tehtud analüüside abil peaksid õpilased nüüd teadma mõningaid peamisi erinevusi kuu- ja maamaanduri vahel. Arutlege rühmadega kas langevarju kasutamine oleks mõttekas. Samuti arutlege maandumise jaoks mootori või õhupadja kasutamise eeliste ja puuduste üle. Küsige õpilastelt, kas nad oleksid kujundanud oma maanduri teisiti, kui nad ei oleks pidanud muretsema *egg-nauti* ellujäämise pärast. Seostage see reaalseste kosmoseuuringutega ning mehitatud ja mehitamata missioonide teemaga.

→ 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.

→ MAANDUMINE KUULE

Kuumaanduri disainimine

→ Tegevus 1: Kuumaanduri disainimine ja ehitamine

Euroopa Kosmoseagentuur(ESA) on teinud teile ülesandeks disainida kuumaandur, mis suudab *egg-nauti* turvaliselt Kuu pinnale maandada.

Ülesanne

Nagu tõelises kosmose tööstuses võistled ja/või teed koostööd teiste organisatsioonidega (oma klassikaaslastega), et võita leping Euroopa Kosmoseagentuuriga.

Sinu ülesandeks on:

- Disainida ja ehitada kuumaandur, et maandada *egg-naut* turvaliselt Kuu pinnale.

Tingimused:

- kuumaandur peab läbima kukkumise katse Maal ning selle käigus peab *egg-naut* ellu jääma;
- võite kasutada ainult olemasolevaid materjale;
- maandur tuleb ehitada väljatöötatud eelarve piires (mitte rohkem kui 1 miljard eurot);
- maandur peab olema võimeline maanduma täpselt maandumispaika;
- teil tuleb esitada riskianalüüs ja mudeli projekt;
- teil tuleb lõpetada disainiprotsess ja ehitamine etteantud 60 min jooksul.

Kas sa teadsid?

Apollo kosmoseprogrammi kogumaksumus, mis viis inimesed Kuule läks maksma 25,4 miljardit dollarit – see on tänapäeva väärtusesse ümberarvestatuna rohkem kui 200 miljardit dollarit. Aastal 2018 oli Euroopa Kosmoseagentuuri eelarve 5,6 miljardit eurot. Nüüdsel ajal töötavad kosmoseagentuur ja kosmose tööstus säästlikuma Kuu uurimise programmi kallal. Osaliselt kasutatakse ikka veel 1960ndatel loodud infrastruktuuri: katsekambreid, stardiplatvorme, missiooni juhtimiskeskuseid, maapealseid jaamu, tehnoloogiat, materjale ja seega on Kuu uurimise programmid algusest peale jätkusuutlikumad (odavamad).

Buzz Aldrin töötamas Kuu pinnal kuumaanduriga nimega *Kotkas* (*Eagle*). →



Riskianalüüs

Kosmosemissiooni disainimisel on kõige olulisemad kaks tegurit: risk ja maksumus. Sinu missioonil on kõige olulisem, et *egg-naut* maanduks turvaliselt ja sa mahuksid eelarve piiridesse.

Aseta paremal pool olevad riskid riskianalüüsi maatriksisse (vasakul) vastavalt nende toimumise tõenäosusele ning tagajärgedele.

		Tagajärjed				
		Ebaoluline	Vähene	Keskmine	Oluline	Katastroofiline
Tõenäosus	Peaaegu kindel					
	Üsna tõenäoline					
	Võimalik					
	Ebatõenäoline					
	Harv					

1. Ei õnnestu maanduda täpselt planeeritud kohta
2. Ootamatult muudetakse projekti tingimusi
3. *Egg-naut* ei jää ellu
4. Eelarves on ootamatuid muudatusi
5. Mõned materjalid muutuvad kättesaamatuks
6. Mõned materjalid muutuvad liiga kalliks
7. Maandur muutub kokkuvõttes väga raskeks
8. Mõnel teisel ettevõttel (rühmal) on efektiivsem ja/või odavam mudel
9. Mudeli paljukordne muutmine tõstab mudeli hinna liiga kõrgeks
10. Ei õnnestu valmis saada õigeaegselt
11. Maandur saab katsetuse ajal kannatada
12. Maandur saab transpordi käigus kannatada
13. Maandur saab viimase maandumise ajal kannatada

Valige kolm olulisemat riski ning kirjutage kuidas te maandate neid riske:

- 1) Risk #: _____ Riskimaandamise plaan: _____

- 2) Risk #: _____ Riskimaandamise plaan: _____

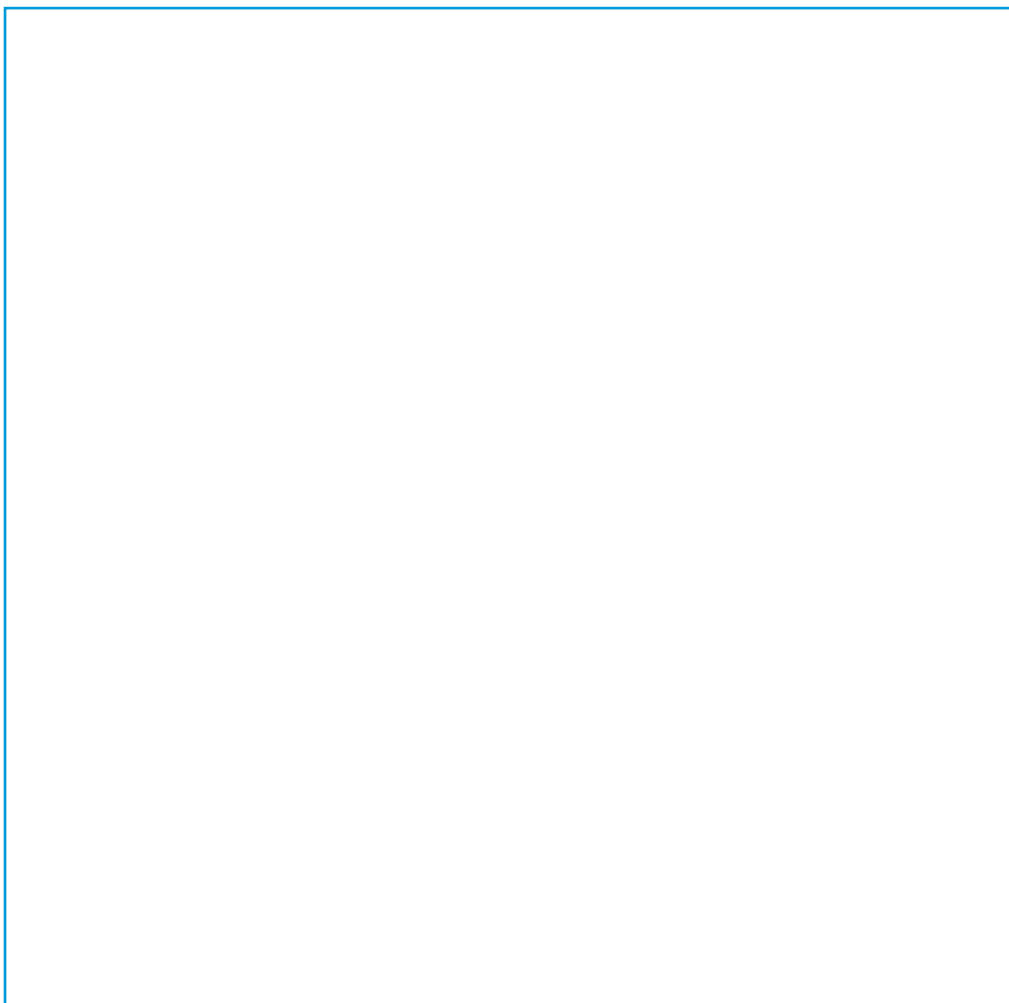
- 3) Risk #: _____ Riskimaandamise plaan: _____

Mudeli projekt

Kuumaanduri nimi _____

Egg-nauti nimi _____

Vaadake koos õpetajaga läbi võimalikud materjalid ja nende hinnad. Tehke täpne joonis oma maandurist. Arutage kuidas erinevad osad ja erinevad materjalid kaitsevad *egg-nauti*. Koostage eelarve, arvestage selle juures materjalide hindadega, väljalendamise ning *egg-nauti* treeningu kuludega.



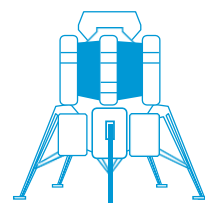
Materjal	Hind ühiku kohta	Hulk	Maksumus

Maanduri maksumus	
Kogumass (<i>egg-naut</i> + maandur)	
Väljalendamise (<i>launch</i>) maksumus	
<i>Egg-nauti</i> treeningu maksumus	
Kogumaksumus (maandur + väljalendamine + treening)	

→ Tegevus 2: Kuumaanduri katsetamine

Ülesanne 1

1. Enne väljalendamist (*launch*) kirjutage üles maandumise olud (tuul, vihm, maandumispaiiga tüüp).



Kontrollige, kas teie *egg-nautil* on turvaline olla. Valmistuge katseks.

Valmis! Hoia stabiilsena! Lase lahti!

2. Kas *egg-naut* elas kukkumise üle? **Jah** _____ **Ei** _____

3. Kui kaugel maandumispaiiga keskmest teie maandur peatus? _____ **cm**

4. Kui hästi teie planeering töötas? Kas teeksite teist korda midagi teisiti?

5. Kõikide rühmade tööde peale mõeldes – kas märkasite mingeid korduvaid disaini elemente, mis esinesid nendel maanduritel, kus *egg-naut* jäi ellu?

Ülesanne 2

1. Arvuta maanduri kokkupõrkekiirus y-suunalise teepikkuse ja aja graafiku põhjal.

2. Märkige graafikule y-suunaline kiirus aja funktsioonina. Andke graafiku abil hinnang kokkupõrkekiirusele. Kas see hinnang vastab eelmise küsimuse all leitud tulemusele? Kui hinnang on erinev, siis mis võib olla selle põhjuseks?

3. Arvutage y-suunalise kiiruse graafiku alusel maanduri y-suunaline kiirendus.

4. Raskuskiirendus on 9.8 m/s^2 . Selgitage miks te selle väärtuseni ei jõua.

→ Tegevus 3: Kuule maandumine

Aeg on hakata tegema ettevalmistusi Kuule maandumiseks. Te olete oma maandurit katsetanud Maal, aga mis juhtub kui teie maandur peab maanduma Kuul?

- Maale ja Kuule maandumise vahel on mitmeid erinevusi. Nimeta 3 tegurit, mis võivad mõjutada maandumist Maale ning 3 tegurit, mis võivad mõjutada maandumist Kuule.

Maandumine Maal	Maandumine Kuul
1. _____	1. _____
2. _____	2. _____
3. _____	3. _____

- Raskuskiirendus (g) mingi taevakeha kohta võib väljendada valemiga:

$$g = G \frac{m}{r}$$

Kus m on taevakeha mass, G on gravitatsiooni konstant ja r on taevakeha raadius. Kasutage allpool toodud väärtusi, et vastata küsimustele a) ja b).

$G = 6.67408 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$	
$r_{\text{Kuu}} = 1737 \text{ km}$	$m_{\text{Kuu}} = 7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$
$r_{\text{Maa}} = 6371 \text{ km}$	$m_{\text{Maa}} = 5.97 \times 10^{24}$

- Arvutage raskuskiirendus Maal ja raskuskiirendus Kuul

$$g_{\text{Maa}} =$$

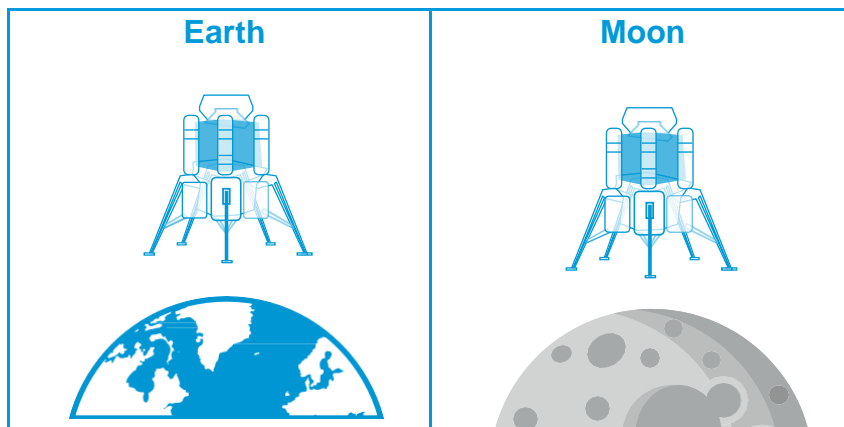
$$g_{\text{Kuu}} =$$

- Kasutades Newtoni teist liikumisseadust $F = m \cdot a$, arvutage oma maanduri raskusjõud Maal ja Kuul.

$$F_{g, \text{Maa}} =$$

$$F_{g, \text{Kuu}} =$$

3. a) Joonistage maandurile mõjuvad jõud Maal ja Kuul.



b) Selgitage teie poolt joonistatud jõudude diagrammi.

4. Milliseid muudatusi te peaksite tegema, et teie maandur vastaks paremini Kuu peale maandumise vajadustele? Selgitage.

Euroopa kosmoseagentuuri (ESA) materjalid

ESA klassiruumi materjalid:
esa.int/Education/Classroom_resources

ESA kosmose projektid

SMART-1
<http://sci.esa.int/smart-1>

HERACLES
esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Exploration/Landing_on_the_Moon_and_returning_home_Heracles

Lisainformatsioon

ESA interaktiivne teejuht Kuule
<http://lunarexploration.esa.int/#/intro>

Kuidas kasutada *Tracker* programmi (videoliikumise analüüsimiseks)?

Tutorial 1
youtube.com/watch?v=Jhl-_glsE6o

Tutorial 2
youtube.com/watch?v=ibY1ASDOD8Y

→ LISA 1

Tegevus 1 – Kuumaanduri disainimine ja ehitamine

Kohustuslikud kulud:

<i>Egg-nauti</i> treenimine	300 miljonit €
Väljalendamise 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 €

Tegevus 2 - Kuumaanduri katsetamine

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

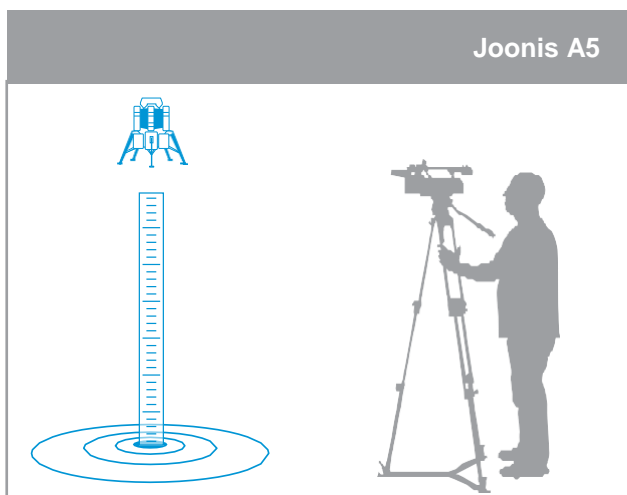
Maandumise jälgimiseks kasutage video liikumise analüüsi. Internetis on saadaval mitmed videoanalüüsi programmid. Järgnevalt paar programmi soovitus:

- arvutitele sobiva programmi „Tracker program” saate tasuta alla laadida siit: <http://physlets.org/tracker/> ;
- nutitelefoni 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 kolmjalg.
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