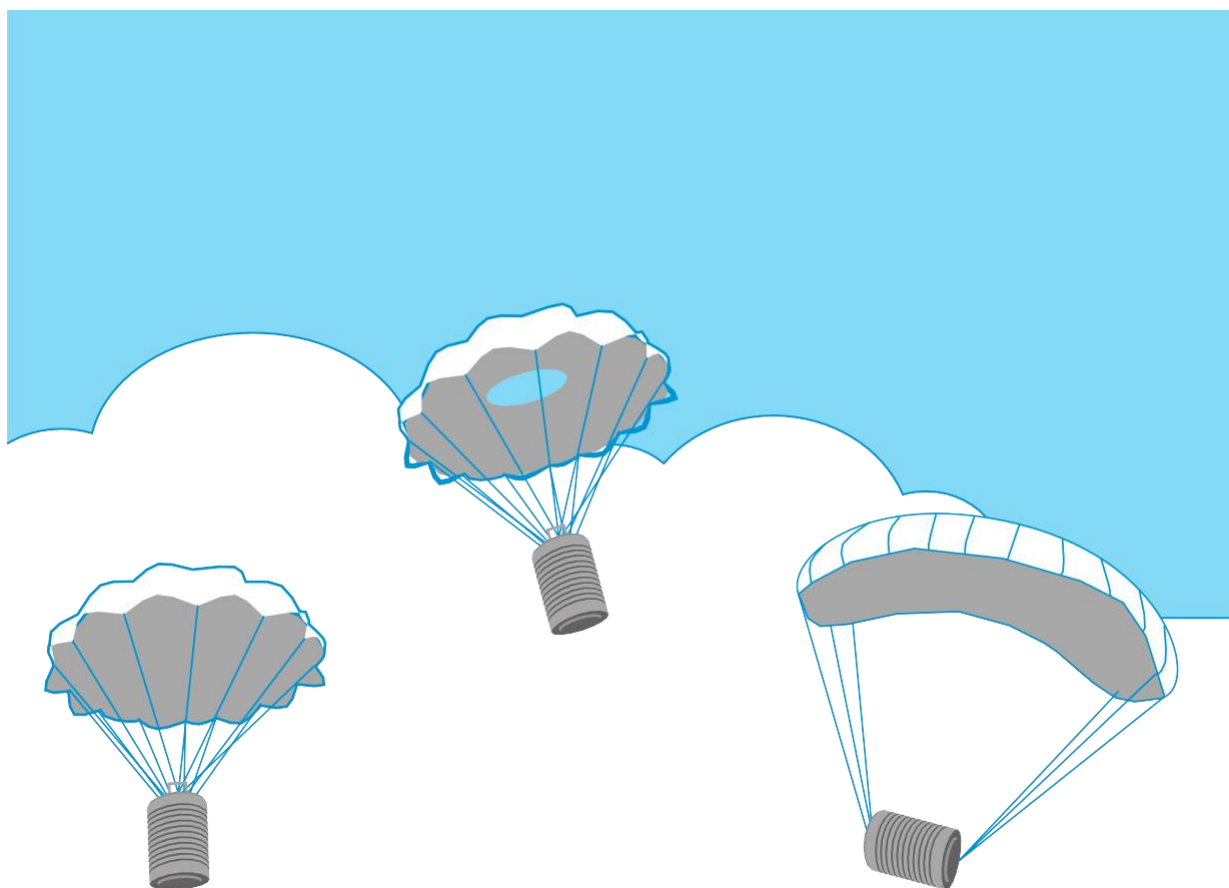
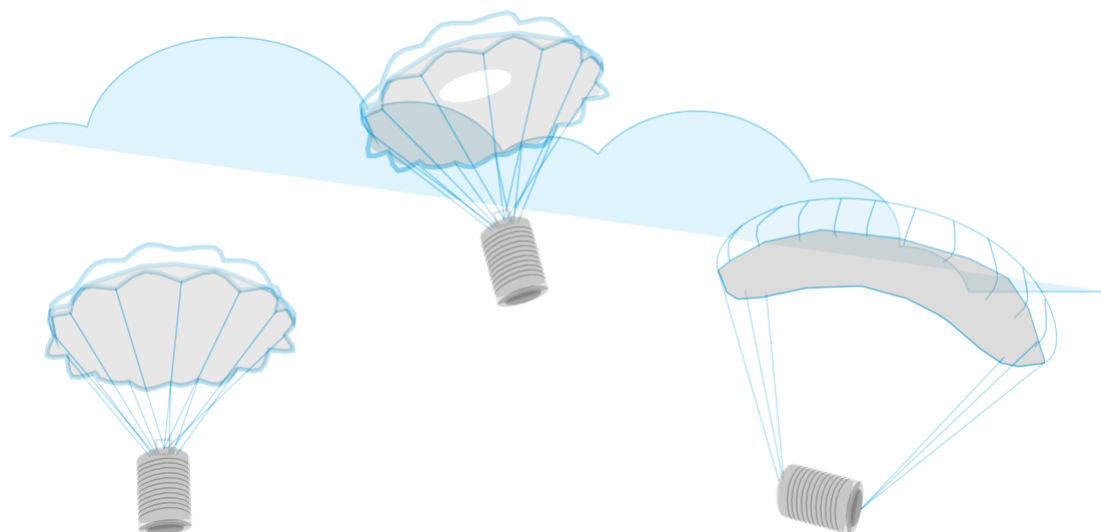


Kosmos on õpetlik

→ KUJUNDAGE OMA LANGEVARI

Juhend CanSati ohutuks maandumiseks





Õpetaja juhend

Huvitavad faktid	lk 3
Tegevuste kokkuvõte	lk 4
Tegevus 1: Vabalangemine	lk 5
Tegevus 2: Langevarjud: milline lohisemine!	lk 6
Tegevus 3: Pindala ja kuju tähtsus	lk 7
Tegevus 4: Võistluse võidab aeglane ja stabiilne	lk 9
Õpilase tööleht	lk 10
Lingid	lk 22

Õpetame kosmose abil – oma langevarju kujundamine | T10
www.esa.int/education

ESA Education Office võtab meeleldi vastu tagasisidet ja kommentaare
teachers@esa.int

Koostatud ESA Education-i poolt koostöös ESERO Iirimaaga
Autoriõigus 2018 © Euroopa Kosmoseagentuur

→ KUJUNDAGE OMA LANGEVARI

Juhend CanSati ohutuks maandumiseks

Huvitavad faktid

Vanusegrupp: 14-20 aastased
Seotud õppeained: Füüsika - Kiirus, kiirendus, raskuskiirendus, lõppkiirus
Keerukus: Keskmine
Tunni kestvus: 120 minutit
Seonduvad dokumendid: CanSati ehitamisega alustamine
Metoodika: Uurimuslik õpe
Võtmesõnad: Langevari, tõmbejõud, ohutakistus, gravitatsioon, kaal, CanSat

Ülevaade

See juhend annab õpilastele lühikese ülevaate erinevatest olemasolevatest võimalustest CanSati langevarju ehitamiseks. Õpilased õpivad tundma langevarjude põhifüüsikat ja nende disaini ning kuidas oma CanSati kiirust kontrollida

Õppe-eesmärgid

- Mõista kaalu ja massi erinevust.
- Tuvastada erinevaid langevarjutüüpe ning arutada nende disaini ja ehitust.
- Mõista, miks langevarju on oluline katsetada.
- Mõista lõppkiiruse mõistet.
- Esitada graafikuid õigete ühikute ja tähistega.

→ Tegevuste kokkuvõte

Tegevuste kokkuvõte					
	Pealkiri	Kirjeldus	Tulemus	Nõuded	Aeg
1	Vaba-langemine	Õpilased viivad lõpukiiruse mõiste uurimiseks läbi lihtsa katse.	Õpilased oskavad kirjeldada, mis lõppkiirus on.	Puuduvad	25 minutit
2	Langevarjud: milline lohisemine!	Selle tegevuse käigus tutvustatakse õpilastele langevarjude kujundamise aluseks olevat füüsikat.	Õpilased oskavad kirjeldada vaba langemise olulisi tegureid.	Varasemad tegevused	15 minutit
3	Pindala ja kuju olulisus	Arutatakse erinevaid langevarjude disaine ja millist mõju need kukkuvale kehale avaldavad.	Õpilased oskavad kindlaks teha oma CanSati jaoks sobiva langevarju kujunduse.	Varasemad tegevused	25 minutit
4	Võistluse võidab aeglane ja stabiilne	Uuritakse põhjalikumalt CanSati üleslennutamist ja laskumist ning õpilastel on võimalus oma langevarju katsetada.	Õpilased koostavad vahemaa ja aja ning kiiruse ja aja graafikud CanSati üleslennutamise ja laskumise kohta.	Varasemad tegevused. Langevari kukkumiskatse läbiviimiseks	25 minutit

→ Sissejuhatus

Langevarjud on iga CanSati missiooni oluline osa. Võiks andeks anda, et neid sageli tähelepanuta jäetakse, kuna need on sageli lihtsad kangast tükid, võrreldes CanSatis peituva keerulise elektroonikaga, kuid see oleks suur viga! Ilma hästi läbimõeldud langevarjuta ei pruugi teie CanSatil olla aega oma teaduslikke eesmärke täita või, mis veelgi hullem, see võib maandudes katki minna!

Selles juhendis uurime langevarjuga laskumise aluseks olevat füüsikat ja hakkame mõistma, mida tuleks silmad pidada CanSati missiooniks sobiva langevarju valimisel. Käesoleva juhendi lõpuks peaksite olema kindel, et saate oma CanSati turvaliselt üles lennutada ja maanduda!

→ Tegevus 1: Vabalangemine

Selle tegevuse käigus uurivad õpilased lõppkiiruse ja vaba langemise kontseptsiooni ning viivad läbi lihtsa kvalitatiivse katse, mille käigus kuulid kukutatakse õlisse ja vette. Tänu sellele tegevusele hakkavad nad mõistma vedeliku tähtsust vaba langemise olukordades.

Ülesanne

1. Mis on CanSati lubatud kaal?

Lubatud **kaal** jääb vahemikku **2,9 - 3,4 N**. Levinud viga on see, et õpilased ajavad massi ja kaalu segamini ning vastavad 300 - 350 g!

2. Haamri ja sule katse tekitab huvitava küsimuse, kuidas erineks CanSati üleslennutamise, kui see viidaks läbi Kuul?

Kuul on gravitatsioonilised efektid oluliselt vähenenud, gravitatsioon on ligikaudu 1/8 tugevusest! See tähendab, et raketile mõjub palju väiksem jõud. Kanderaketiga võib Kuul üleslennutamise ajal palju asju juhtuda. Kui rakett on piisavalt võimas, on sellel piisavalt kiirust, et pääseda Kuu gravitatsioonijõust ja see võib orbiidile jõuda. Eeldusel, et see siis tagasi Kuu pinnale ei lange. Kuna Kuul on palju vähem õhku, on õhutakistus väiksem. See võib mõnevõrra kompenseerida vähenenud gravitatsioonijõudu ja põhjustada märkimisväärse laskumiskiiruse!

Selle küsimuse puhul ei tasu oodata üksikasjalikku kvantitatiivset analüüsi, kuna nõutav füüsika mõistmine on keeruline, kuid peaksite otsima põhjendatud mõtteprotsesse ja arusaamist Maa ja Kuu keskkondade peamistest erinevustest.

3. Kuidas muutub klaaskuuli kiirus, kui see liigub mööda silindrit alla?

Kui õpilaste poolt kasutatav silinder on piisavalt pikk, peaksid õpilased suutma tuvastada, et klaaskuulid saavutavad lõppkiiruse. Esialgu klaaskuulid kiirendavad, enne kui liiguvad korraks püsiva kiirusega, enne kui jõuavad silindri põhja.

Jällegi, siin on katse kavandatud nii, et seda saaks hinnata kvalitatiivsel tasandil, eesmärk on, et õpilased suudaksid visuaalselt tuvastada, kas laskumise ajal saavutatakse lõppkiirus või sellele hoopis lähenetakse.

4. Mis te arvate, et muutuks, kui asendaksite õli veega? Kirjutage oma ennustus üles ja proovige siis järele!

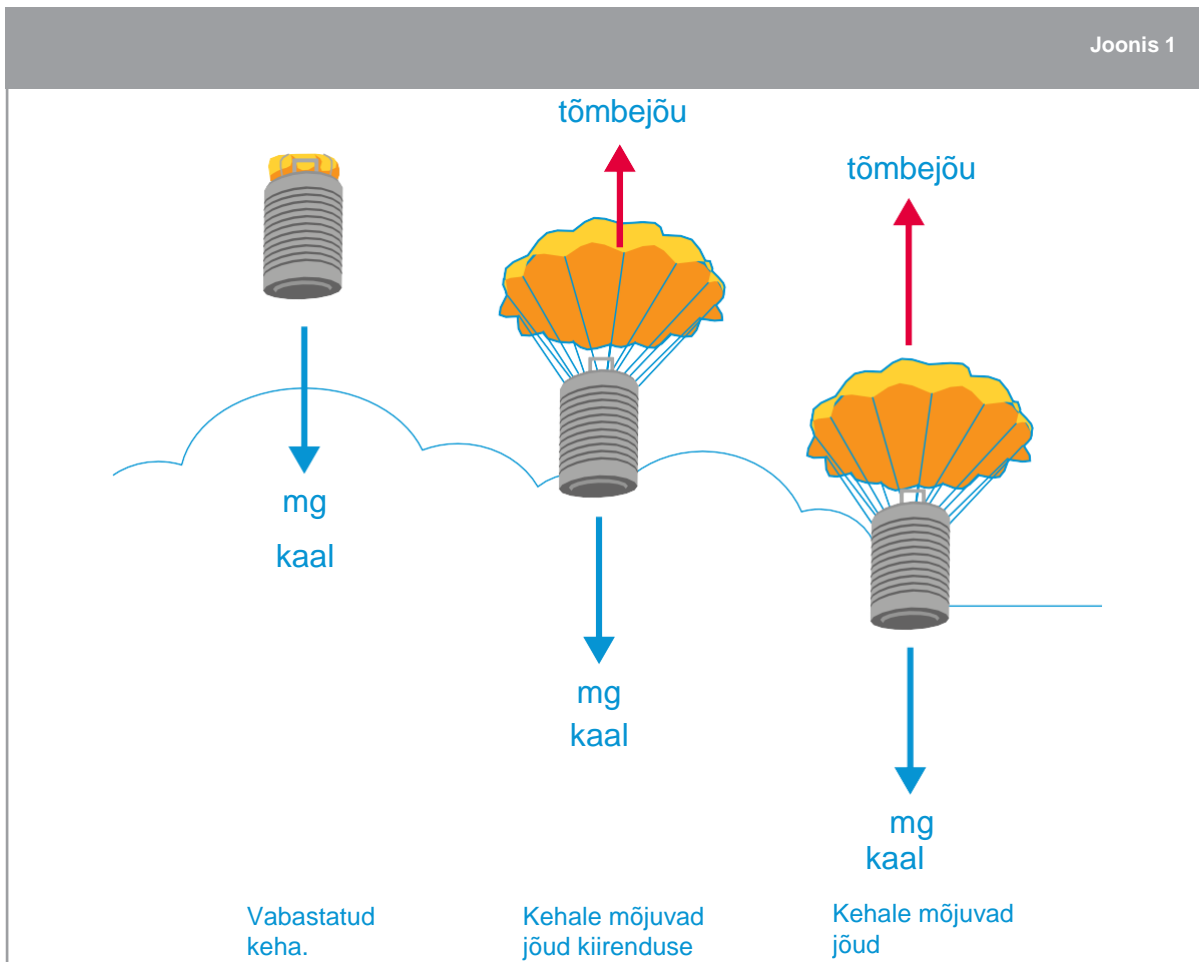
Veega katse kordamisel peaksid õpilased suutma tuvastada, et laskumiskiirus ja lõppkiirus suurenesid. Selle põhjuseks on õliga võrreldes veest tulenevad väiksemad takistusjõud.

→ Tegevus 2: Langevarjud – milline lohisemine!

Selle tegevuse käigus tutvustatakse õpilastele langevarjude aluseks olevat füüsikat. Õpilased õpivad, kuidas arvutada langevarjule mõjuvaid jõude ja kuidas otsustada, kui suure pindalaga langevarju nad vajavad. Seda saab arvutada, võttes arvesse Newtoni teine seadus ja tasakaalustades püsivas olekus toimivaid jõude. Oluline on arvestada selles arvutuses tehtud lihtsustustega.

Ülesanne

1. Rakendage klaaskuulide katses saadud teadmisi ja tähistage ning nimetage allolevatel piltidel jõud, mis teie CanSatile laskumise ajal mõjuvad. Peaksite näitama nende jõudude suhtelist suurust noole suuruse abil.



↑ CanSatile mõjuvad jõud lennu ajal.

2. Kui eeldada, et rakett lennutab teie CanSati 1000 m kõrgusele, vastavalt CanSati juhistes nõutavale laskumiskiirusele, siis kui kaua peaks mööduma teie CanSati vabastamise ja maandumise vahel (ärge võtke kiirendusperioodi arvesse)?

Eeldades, et kõrgus on 1000 m ja CanSati juhendi järgi peab laskumiskiirus jääma kindlasse vahemikku ($8 - 11 \text{ ms}^{-1}$), on õpilastel võimalik arvutada eeldatav laskumisele kuluv aeg. **Märkus:** Lihtsuse huvides jätame tähelepanuta igasuguse kiirendusperioodi ja eeldame, et kiirus on ühtlane kogu 1000 m jooksul. Praktikas see muidugi päris nii ei lähe!

$$\text{Kui } t = s/v$$

$$t_{\min} = 1000/v_{\max} \\ = 1000/11$$

$$t_{\min} = \mathbf{90 \text{ s}}$$

$$t_{\max} = 1000/v_{\min} \\ = 1000/8$$

$$t_{\max} = \mathbf{125 \text{ s}}$$

→ Tegevus 3: Kuju tähtsus

Selle tegevuse käigus tutvustatakse õpilastele peamisi erinevaid langevarjutüüpe, mida CanSati projektides tavaliselt kasutatakse. Arutatakse disainikaalutlusi, samuti erinevate disainilahenduste positiivseid ja negatiivseid omadusi. Lisatud on lingid edasistele materjalidele, kus eri tüüpi lahendusi üksikasjalikumalt käsitletakse.

Ülesanne

1. Milliseid tegureid võrrandis 3 (õpilase töölehel) saab muuta CanSati kujunduse abil?

Langevarju kupli pindala saab muuta, kui muudate langevarju väiksemaks või suuremaks. Õhutakistustegurit saab muuta erinevat stiili langevarjuga.

2. Vaadates ülaltoodud õhutakistustegureid, milline langevarjutüüp tagab (õpilase töölehel tabel 1) kõige aeglasema laskumiskiiruse? Milline annab kiireima laskumiskiiruse?

Võrrandi 3 abil on õpilastel võimalik tuvastada, et õhutakistustegur on pöördvõrdeline kiirusega, st mida suurem on õhutakistustegur, seda väiksem on laskumiskiirus – see on mõistlik!

See tähendab, et poolkerakujuline langevari annab väikseima laskumiskiiruse, samas kui ristküjulised ja lamedad langevarjud annavad suurima laskumiskiiruse.

3. Ristikujulist disaini on lihtne valmistada, kuid selle laskumiskiirus on poolkerakujulise disainiga võrreldes liiga suur. Mida saaksite teha, et kiirust muuta?

Vaadates uuesti võrrandit 3 ja kasutades oma intuitsiooni, suudavad õpilased oletada, et nad võiksid selle probleemi lahendada langevarju pindala suurendades.

4. Tehke A võrrandi 3 muutujaks.

$$\text{Lisage } \frac{1}{2}C_D\rho Av^2: \quad mg - \frac{1}{2}C_D\rho Av^2 = 0$$

$$mg = \frac{1}{2}C_D\rho Av^2$$

$$\text{Korrutage 2-ga : } 2mg = C_D\rho Av^2$$

$$\text{Jagage } C_D\rho v^2: \quad A = \frac{2mg}{C_D\rho v^2}$$

Õpilased saavad seejärel kasutada seda võrrandit, et arvutada langevarju pindala, mis on vajalik etteantud laskumiskiiruse saavutamiseks.

5. Nüüd, kui teil on võrrand, mille muutujaks on pindala, arvutage välja siin käsitletud erinevat tüüpi langevarjude jaoks lubatud pindalade vahemik, eeldades, et CanSati mass on 350 g. Väärtused saate sisestada allolevasse tabelisse (õpilase töölehel tabel 2).

Pidage meeles: Lubatud kiirus peab jääma vahemikku 8-11 ms⁻¹.

Õpilased peaksid selle ülesande lahendamiseks kasutama 4. ülesandes leitud võrrandit. Minimaalse ja maksimaalse pindala arvutamiseks saavad nad kasutada laskumiskiirusele seatud piire.

Tabel 1			
Langevarju tüüp	Õhutakistustegur	Minimaalne pindala (m ²)	Maksimaalne pindala (m ²)
Poolkerakujuline	0,62	0,08	0,14
Ristikujuline	0,8	0,06	0,11
Lame, kuusnurkne	0,8	0,06	0,11

Oluline on märkida, et need joonised on meie võrrandite jaoks koostatud lihtsustatud kujutised, praktikas peaksid õpilased oma langevarju katsetama, et selgitada välja lubatud minimaalsed ja maksimaalsed pindalad.

6. **Kui vahetate ristikujulise langevarju poolkerakujulise langevarju vastu, siis kuidas peaksite muutma langevarju pindala, et see langeks sama kiirusega nagu varem?**

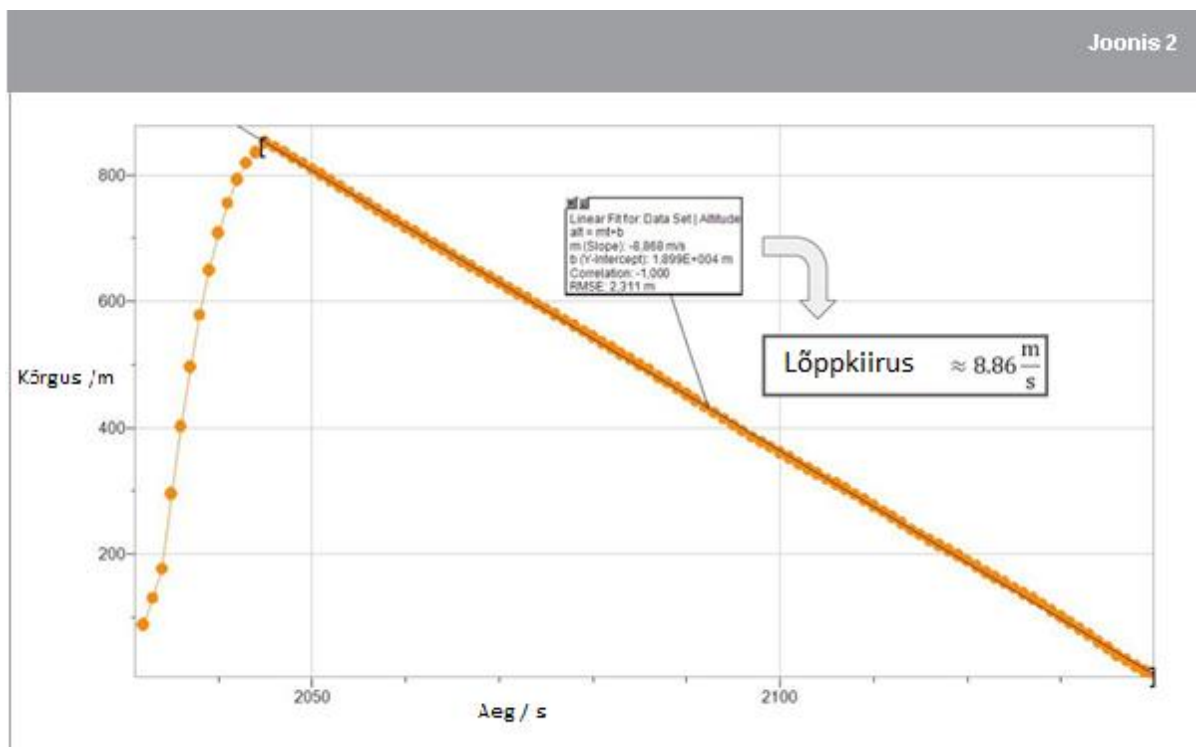
Selle tegevuse viimane ülesanne aitab õpilaste teadmisi veelgi enam täiendada. Nad peaksid suutma tuvastada, et üleminek ristikujuliselt langevarjult poolkerakujulisele langevarjule **suurendab** õhutakistustegurit ja seetõttu tuleb sama laskumiskiiruse säilitamiseks langevarju ala **vähendada**. Õpilased võivad sammu võrra kaugemale minna ja võrrandi abil vajaliku vähenemise välja arvutada, kuid see pole vajalik.

→ Tegevus 4: Võistluse võidab aeglane ja stabiilne

Selle tegevuse käigus antakse õpilastele juhiseid langevarju kukumiskatse tegemiseks. Langevarju katsetamisel on oluline järgida CanSati juhiseid, et tagada selle vastavus võistluse juhistele.

Ülesanne

1. Lisage allolevale graafikule kõver, mis kirjeldab, kuidas te eeldate, et kõrgus ajas muutub, CanSati üles lennutamisest kuni maandumiseni, eeldades, et külgsuunalist kiirust tänu stabiilsusele ei esine. Et aidata teil kõverat joonistada, mõelge sellele, kuidas kiirus muutub ja milline on selle mõju kõvera kujule.

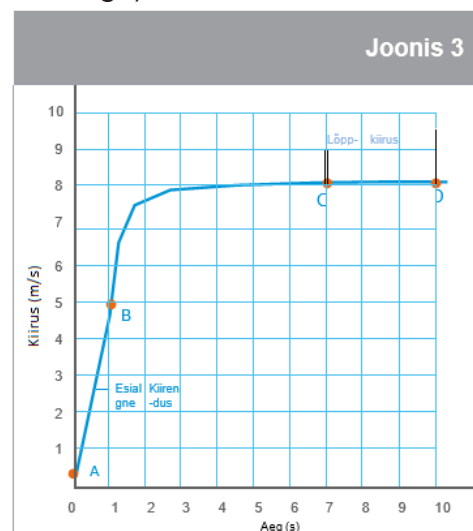


↑ Graafik, mis kujutab kõrguse sõltuvust ajas, mida esitles 2018. aasta Euroopa CanSati võistlusel meeskond AnaCan Skywalker Taanist

Kõvera esimene osa kirjeldab raketi tõusu. Umbes 800 m kõrgusel vabastatakse CanSat ja see langeb ligikaudu konstantse kiirusega (lõppkiirusega). Lõppkiiruse saab arvutada kukumise sirgjoone tõusust.

2. Nii nagu oleme teinud kõrguse puhul, joonistage allolevale graafikule kõver, mis näitab, kuidas CanSati kiirus laskumise ajal ajas muutub (kanderaketiga üleslennutamist me siin arvesse ei võta). Sellisel juhul oleks $t=0$ hetkel, mil CanSati eraldatakse raketist.

Pärast CanSati vabastamist maksimaalsel kõrgusel on CanSatil kaaluta oleku hetk, kus nii kiirus kui ka kiirendus on 0. Pärast seda hakkab CanSat kiirendama (A-B), kuni saavutab lõppkiiruse. Tänu langevarjule on kiirendusfaas äärmiselt lühike (kiiruse arvutamisel tühine). Ülejäänud langemisel on langevarjuga CanSatil konstantne lõppkiirus (B-C).



↑ Kiiruse-aja näidisgraafik CanSatist pärast selle vabastamist

→ KUJUNDAGE OMA LANGEVARI!

Juhend CanSati ohutuks maandumiseks

→ Ülevaade

Kui teie CanSat on üles lennutatud, on üks olulisemaid asju selle ohutu maandumine. Kui CanSat ohutult ei maandu, võib see pöördumatult kahjustada saada. Kõige mõistlikum viis oma CanSati ohutuks maandumiseks on sellele kinnitada langevari – seade, mis vähendab langevate objektide kiirust, mille tulemusena on maandumine pehmem. Langevarju kasutamisel on kaks eelist: CanSati kiirust vähendades on teil kauem aega andmete kogumiseks! Vaatame nüüd, kuidas langevari töötab ja arutame, mida peaksite langevarju kavandamisel ja valmistamisel arvesse võtma.

→ Tegevus 1: Vabalangemine

Lõppkiirus on üks olulisemaid mõisteid, mida peame mõistma, enne kui hakkame langevarju ehitamise peale mõtlema. Selle tegevuse käigus viime läbi lihtsa katse, mis aitab meil mõista, mis on lõppkiirus.

Mis lendab üles peab ka alla tulema

Kõik maa peal tõmbub allapoole gravitatsioonijõu tõttu, mille põhjustab Maa mass.

Millegi kaal on jõud, mida see kogeb selle massile mõjuva gravitatsiooni tõttu:

kaal = mass x gravitatsioon; ($w=mg$).

CanSati juhendi kohaselt peab CanSati **mass** jääma vahemikku 300 - 350 g ehk **0,3 - 0,35 kg**.

Ülesanne

1. Mis on CanSati lubatud kaal?

Kui objekt satub gravitatsioonivälja, suureneb selle kiirus, ehk see hakkab kiirendama. Maal on see $9,81 \text{ ms}^{-2}$. Kujutagem ette, et viskame kaks eset hoonest alla, mille sees on vaakum. Kuna takistusjõu avaldamiseks pole vedelikku, langevad mõlemad objektid sama suureneva kiirusega (isegi kui neil on täiesti erinevad massid)!

See asjaolu ei ole võib-olla intuiitiivne, kuna Maal avaldab õhk langevatele objektidele vastupanujõudu. Seetõttu langeb näiteks sulg aeglasemalt kui pall. Selle võtmeks on keskkond, millest objektid läbi kukuvad – olgu selleks õhk, õli või vaakum.

Kas te teadsite?

Astronaut David Scott demonstreeris seda põhimõtet, kui Apollo 15 maandus Kuule. Ta kukutas samalt kõrguselt Kuu pinnale geoloogilise haamri ja sule. Kuna Kuul on sisuliselt vaakum, on õhutakistus väike või puudub üldse ja seega langesid mõlemad objektid sama kiirusega! Siin näete Kuu pinnal esile tõstetud haamrit ja sulge.



2. Haamri ja sule eksperiment tekitab huvitava küsimuse, kuidas erineks CanSati üles lennutamine, kui see viidaks läbi Kuul?

Vedeliku mõju uurimine langevatele objektidele

Mis juhtub esemega vedeliku sisse kukkumisel? Selle väljaselgitamiseks kavandame väikese katse.

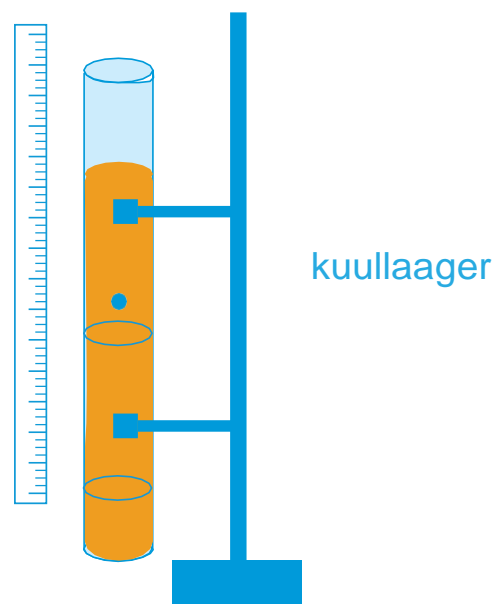
Katse

Selle katse jaoks vajate:

- Klambriga alust
- Mõõtesilindrit või klaastoru (mida kõrgem ja laiem, seda parem)
- Õli (glütserool töötab hästi) või tapeediliimi
- Joonlauda
- Kuullaagrit või erineva suurusega klaaskuule
- Kummipaelasid
- Stopperit (saate kasutada oma mobiiltelefoni taimerit)
- Magnetit (kui kasutate metallist kuullaagrit)
- Vett

Märkus: Kui kasutate klaasist mõõtesilindrit, on hea mõte panna silindri põhja kummist kork või vatitups, et kuullaager ega klaaskuul silindrisse pragusid ei tekitaks.

Magnet võib aidata kuullaagrit silindrist välja tõmmata, kui need on sinna sisse kukkunud.



Sammud:

a. Kui teil on iPhone:

1. Seadistage seadmed nii, nagu on näidatud ülaltoodud joonisel.
2. Laadige alla rakendus Vernier Video Physics:
<https://itunes.apple.com/us/app/vernier-video-physics/id389784247>
3. Lindistage klaaskuuli silindrisse kukutamine.
4. Kasutage rakenduse funktsioone klaaskuuli kiiruse arvutamiseks igas punktis.
5. Korrake katset!

b. Kui teil on Androidiga telefon:

1. Seadistage seadmed nii, nagu on näidatud ülaltoodud joonisel.
2. Laadige alla rakendus "VidAnalysis Free":
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vidanalysis.free>
3. Lindistage klaaskuuli silindrisse kukutamine.
4. Kasutage rakendust klaaskuuli kiiruse arvutamiseks igas punktis.
5. Korrake katset!

c. Vanamoodne viis!

1. Seadistage seadmed nii, nagu on näidatud ülaltoodud joonisel.
2. Käivitage stopper, kui viskate klaaskuuli silindrisse
3. Peatage stopper, kui klaaskuul on läbinud etteantud vahemaa – olenevalt klaaskuuli kiirusest peaks see olema võimalik iga 5 cm tagant. Tõenäoliselt peate te need mõõtmised lõpule viima mitme katsega.
4. Kasutage neid mõõtmisi klaaskuuli kiiruse arvutamiseks igas punktis.
5. Korrake katset!

Ülesanne

3. Kuidas muutub klaaskuuli kiirus, kui see liigub mööda silindrit alla?
-

4. Mis te arvate, et muutuks, kui asendaksite õli veega? Kirjutage oma ennustus üles ja proovige siis järele!
-

Erinevalt vaakumist saavutab langev objekt vedelikus (lõpuks) **lõppkiiruse**. Lõppkiirus tekib siis, kui langevale objektile vastanduvad takistusjõud ehk tõmbejõud on võrdsed objekti massile mõjuva gravitatsioonijõuga.

Õhus langev objekt puutub ümbritsevate osakestega palju vähem kokku kui siis, kui see kukub läbi õli. Selle tõttu on selle liikumisele vähem vastupanu ja see suudab kiiremini kukkuda. Õhus nimetame seda takistust **õhutakistuseks**; ilmselt olete selle terminiga väga tuttav.

Takistusjõu suurus (või vastupanujõu suurus kukkumisel läbi muu vedeliku, näiteks õli) sõltub:

1. Vedeliku tihedus (ρ)
2. Objekti kiirus (V)
3. Ristlõike pindala (A)
4. Õhutakistustegur (C_d)

Järgmises jaotises uurime, kuidas kõik need muutujad CanSati laskumist mõjutavad.

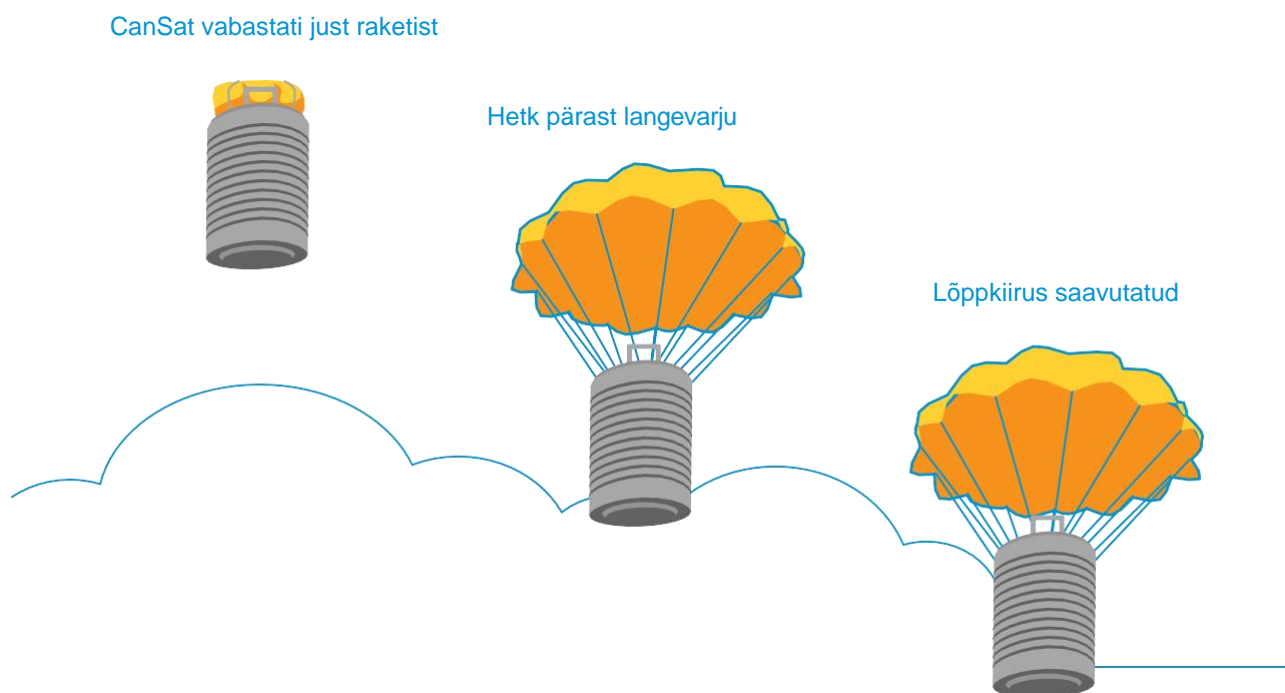
→ Tegevus 2: Langevarjud – milline lohisemine!

On viise, kuidas lõppkiirust vähendada vedelikus, mis ei ole eriti viskoosne. Näiteks õhus on võimalik lõppkiirust vähendada suurendades õhuga kokku puutuvat ala – kasutades langevarju.

Ülesanne

1. Kasutades klaaskuulide katsetest saadud teadmisi, tähistage ja nimetage allolevatel pildidel jõud, mis teie CanSatile laskumise ajal mõjuvad.

Peaksite näitama nende suhtelist suurust noole suuruse abil.



Olgu jõud teie langevarjuga

Analüüsime nüüd selles protsessis osalevaid jõude, valides jõu positiivseks suunaks CanSati suuna (alla). Esimene jõud, mis meile pähe tuleb, on CanSati kaal, jõud, mis on suunatud allapoole (kuna see on Maa gravitatsioonist tingitud).

$$F_{\text{grav}} = m g \hat{z} \quad \text{võrrand 1}$$

kus

m = CanSati mass (tavaliselt 0,35 kg)

g = raskuskiirendus = 9,81 m/s²

Kui CanSat läbi õhu laskub, kogeb see langevarju tõttu tõmbejõudu (mis mõjub vastassuunas):

$$F_{\text{Tõmbe}} = -\frac{1}{2} C_D \rho A v^2 \hat{z} \quad \text{võrrand 2}$$

A = langevarju kupli pindala

C_D = langevarju õhutakistustegur – see väärtus sõltub langevarju **kujust/geomeetriast**; näidisväärtused on loetletud järgmises jaotises.

ρ = õhu lokaalne tihedus, eeldatakse konstantseks 1,225 kg/m³.

v = CanSati laskumiskiirus m/s

Newtoni teine seadus ütleb:

$$F_{\text{resultant}} = \sum F = ma \hat{z}$$

Märkus: Langemisel ei ole resultantjõud mõne sekundi jooksul null (see kiireneb ja aeglustub lühikest aega), kuid me jätame selle nüüd tähelepanuta, kuna suurema osa langemisajast langeb CanSat lõppkiirusega.

Seda eeldades on $a = 0$, kui lõppkiirus on saavutatud, ja seega $F_{\text{resultant}} = 0$. See annab meile:

$$F_{\text{grav}} + F_{\text{tõmbe}} = 0$$

Seetõttu leiame z-telje jõudude tasakaalustamisel järgmise võrrandi:

$$mg - \frac{1}{2}C_D \rho Av^2 = 0 \quad \text{võrrand 3}$$

Hiljem, kui olete langevarju kujunduse ära otsustanud, saate selle võrrandi ümber korraldada ja kasutada langevarju jaoks vajaliku ala arvutamiseks laskumiskiiruse piiranguid. Pidage meeles, et oleme siin teinud mõningad ligikaudsed hinnangud; peate ikkagi katsetama ja mõõtma langevarju laskumiskiirust!

Kas te teadsite?

1976. aastal edukalt Marsi pinnale maanduri saatnud kosmoselaev Viking valmistati väga sarnaselt teie kavandatavatele langevarjudele. Marsi ainulaadne väljakutse oli selle atmosfäär. Marsi atmosfääri tihedus on alla 1% Maa atmosfääri tihedusest ja ühelikiiruse tõttu ei piisanud ainult langevarjust, et tagada aeglane ja stabiilne maandumine. Probleemi lahendamiseks kasutasid NASA insenerid maandumisel rakette – kahjuks ei saa te sama teha, seega peate oma langevarju disaini täiustama!

[Vikingi kosmoselaeva langevari katsetamise ajal](#)



CanSati võistlusjuhiste kohaselt peaks selle laskumiskiirus (lõppkiirus) mõni sekund pärast langevarju avanemist (st pärast starti) jääma vahemikku **8 – 11 m/s**. Mitte liiga aeglane, et see stardipaigast kaugemale triiviks, ega liiga kiires, et tal poleks aega andmeid koguda ja riskida keerulise maandumisega.

Märkus: Lennuväli võib kehtestada täiendavad kohustuslikud piirangud laskumiskiirusele

Ülesanne

- Kui eeldada, et rakett lennutab teie CanSati 1000 m kõrgusele, kui kaua aega peaks jääma CanSati vabastamise ja maandumise vahele, kui laskumiskiirus vastab CanSati juhistes nõutavale kiirusele (kiirendusperioodi ei ole vaja arvestada)?

→ Tegevus 3: Pindala ja kuju olulisus

Selles tegevuses vaatleme mõningaid langevarjude disainimise põhiprintsiipe. Arutame ka peamisi langevarjutüüpe, millega enda langevarju disainimisel kokku puutute, ning vaatleme igaühe plusse ja miinuseid.

Materjalide valimine oma langevarju jaoks

Langevarju avamine on suhteliselt jõuline tegevus, seega peavad teie poolt kasutatav kangas ja nõörid olema tugevad. Võtke arvesse, et langevarjule mõjuv jõud (ja ka kandevõime, mille külge see on kinnitatud) võib olla kuni kaks korda suurem kui lõppkiirusel mõjuv jõud!

Selles analüüsis keskendume sellele, millist mõju teie langevari lõppkiirusele avaldab. Siiski peaksite teadma, et oluline pole mitte ainult lõppkiirus (mida mõistetakse vertikaalse liikumiskiirusena): erinevad langevarjude on erineva stabiilsusega ja me peame arvestama ka külgsuunalise kiirusega. Üldiselt, mida suurem on takistus, seda vähem stabiilne on langevari.

Sobivateks materjalideks on nailonnöör ja **ripstop kangas**, mida saab osta kangapoest.

Need materjalid sobivad ideaalselt langevarjude jaoks. Peamiseks nõrgaks kohaks on nõöri ja langevarju kanga kinnituskohad. Ärge kasutage tamiili.

Kanga lõikamisel tuleks arvestada sellega, et osa kangast tuleb õmblemiseks kahekordistada.

Langevarju disaini valimine

Vaatame meie CanSati laskumise võrrandit:

$$mg - \frac{1}{2}C_D \rho Av^2 = 0 \quad \text{võrrand 3}$$

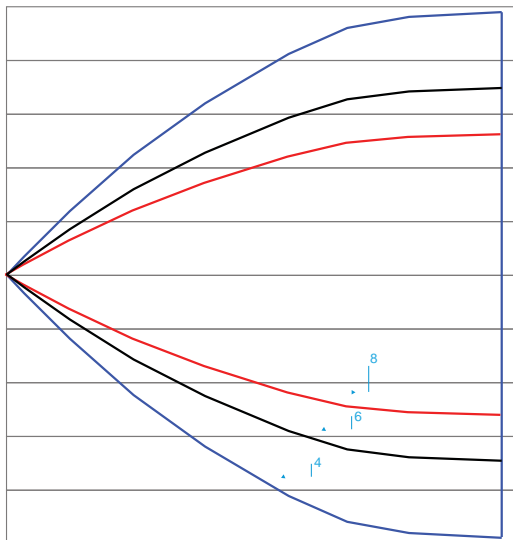
Ülesanne

1. Milliseid tegureid võrrandis 3 saate muuta oma CanSati kujunduse muutmisega?

Langevarju kujud

Lihtsaimateks langevarjutüüpideks on ümmargune langevari ja poolkerakujuline langevari. Nende konstruktsioonide probleemiks on see, et need täituvad õhuga ja kalduvad ühele küljele ja õhk voolab sealt välja. Mõnikord võib auk aidata langevarju stabiliseerida. Urime veidi lähemalt erinevat tüüpi langevarjusid, mida saate oma CanSati jaoks kujundada.

Poolkerakujuline langevari



Poolkerakujuline langevari on tõenäoliselt see disain, mis kohe pähe tuleb, kui teil palutakse langevarjule mõelda. Kangas moodustab õhuga täidetuna poolkera. See on valmistatud seksioonidest, mida nimetatakse „gores“. Iga seksioon on kokku õmmeldud, et moodustada täielik poolkera kuju. Mida rohkem seksioone kasutatakse, seda rohkem meenutab langevari poolkera kuju, kuid seda keerulisem on selle valmistamine.

Kahe sisemise külje vaheline nurk väheneb, mida rohkem seksioone te lisate. Nurga saab arvutada järgmise valemi abil:

Siin näete kolme tüüpilist poolkerakujulist langevarju, mis aitavad Orioni moodulil laskuda. Pöörake tähelepanu erinevatele värvidele. Te näete, kuidas eraldiseisvad osad kokku sobivad ja poolkera kuju moodustavad.



Poolkerakujulise langevarju ehitamise protseduur on järgmine:

- Kõigepealt joonistage välja materjalile seksioonide kuju ja lõigake need välja. Jätke ääristamise jaoks serva umbes 2 cm varu.
- Õmmelge servad kokku, et moodustada langevarju kuju.
- Lõpetuseks õmmelge juhtnöörid/kööied langevarju* külge, et selle saaks CanSati külge kinnitada.

*Pange tähele, et tavaliselt jooksevad nöörid seksioonidest läbi: koormusele (õhust) ei pea langevarju seksioon vastu pidama, vaid just nöörid. Tavaliselt kinnitatakse üks nöör liitumiskohta ja see läbib ühe seksiooni läbi vastasseksiooni ja jõuab tagasi liitumiskohta.

Ristikujuline langevari

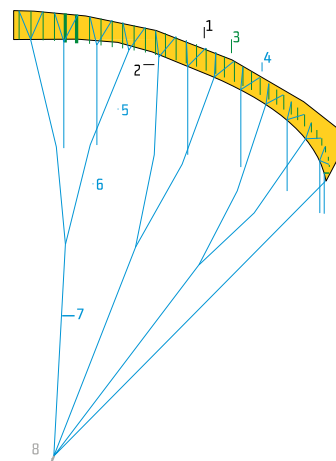


Ristikujulist langevarju on lihtsam õmmelda kui poolkerakujulist langevarju, kuna sellist kuju on lihtsam käsitsi luua.

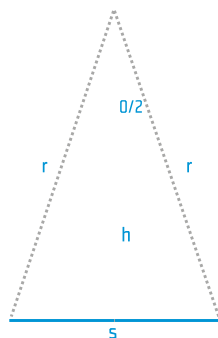
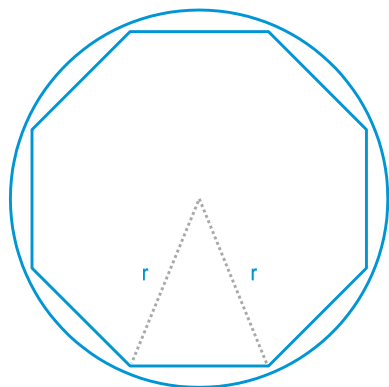
Infot ristikujulise langevarju valmistamise kohta leiab siit: <http://www.nakka-rocketry.net/xchute1.html>

Tiibvari

Võib-olla olete tiibvarju disainiga varem kokku puutunud, kui tunnete huvi tiibvarjuga lendamise vastu. Tiibvarju suurimaks eeliseks on see, et seda on võimalik juhtida. Siiski on seda keerulisem kujundada ja teha, võrreldes ülaltoodud lihtsamate kujundustega.



Lame langevari



Lamedad langevarjud on kõige sagedamini kasutatavad langevarjud, mis on valmistatud lamedatest geomeetrilistest kujunditest, nagu kuusnurgad või kaheksanurgad. Joonisel on näha, et kaheksanurkne langevari on valmistatud 8 võrdsest kolmnurgast.

Need on mõned CanSati jaoks sobivad langevarjud. Kõikide kujude/geomeetriate õhutakistustegurid on esitatud allolevas tabelis. Kui te soovite õhutakistustegurite kohta rohkem uurida, vt I lisa.

Tabel 1

Langevarju tüüp	Õhutakistustegur C_D	Kommentaariid
Poolkerakujuline	0,62-0,77	Väga levinud; valmistamine aeganõudev
Ristikujuline	0,6-0,8	Lihtne valmistada; levinud CanSatides
Tiibvari	0,75 - 1,10	Keeruline disain; Juhitud maandumine võimalik
Lame, kuusnurkne	0,75 - 0,8	Lihtne valmistada; levinud CanSatides

Kui soovite ise lamedat langevarju valmistada, vajate:

- Sobivat materjali – ripstop kangas on kõige parem
- Trossid/nöörid CanSati ühendamiseks langevarjuga
- Niiti langevarju äärste ja servade ning nööride õblemiseks

Protsess on üsna lihtne, lihtsalt võtke kangas ja lõigake sellest šabloonil abil soovitud suuruse ja kujuga tükk välja. Paremini on lõigata paar sentimeetrit suurem osa, et saaksite serva tugevdamiseks selle kokku voltida. Lõigake ühendusnöörid pikkuselt sobivaks ja õmmelge need langevarju külge ning oletegi katsetamiseks valmis!

Ülesanne

2. Milline langevarjutüüp tagab ülaltoodud õhutakistustegurite põhjal kõige aeglasema laskumiskiiruse? Milline annab kiireima laskumiskiiruse?

3. Ristikujulist disaini on lihtne valmistada, kuid selle laskumiskiirus on poolkerakujulise disainiga võrreldes liiga suur. Mida saaksite teha, et kiirust muuta?

Pindala määramine

Nüüd, kus meil on teada eri tüüpi langevarjude maksimaalne ja minimaalne kiirus (8-11 m/s) ning erinevad õhutakistustegurid, saame arvutada oma langevarju vajaliku pindala.

Ülesanne

4. Tehke A võrrandi 3 muutujaks:

5. Nüüd, kui teil on võrrand, mille muutujaks on pindala, arvutage välja siin käsitletud erinevat tüüpi langevarjude jaoks lubatud pindalade vahemik, eeldades, et CanSati mass on 350 g. Väärtused saate kirjutada allolevasse tabelisse.

Pidage meeles: Lubatud kiiruste vahemik on 8-11 ms⁻¹

Tabel 2			
Langevarju tüüp	Õhutakistustegur	Minimaalne pindala	Maksimaalne pindala
Poolkerakujuline	0,62		
Ristikujuline	0,8		
Tiibvari	0,8		
Lame, kuusnurkne	0,8		

6. Kui vahetate ristikujulise langevarju poolkerakujulise langevarju vastu, siis kuidas peaksite muutma langevarju pindala, et see langeks sama kiirusega nagu varem?

→ Tegevus 4: Võistluse võidab aeglane ja stabiilne

Kui olete otsustanud, mis kujuga teie langevari tuleb, on oluline seda katsetada. Kuigi ülaltoodud võrrandid võivad anda teile aimu sellest, mida oodata, peaksite alati oma kujundusi pärismaailmas katsetama. Enne katsetamist peaksite mõtlema, milline teie CanSati lend saab olema ja kuidas sellele mõjuvad jõud aja jooksul muutuvad.

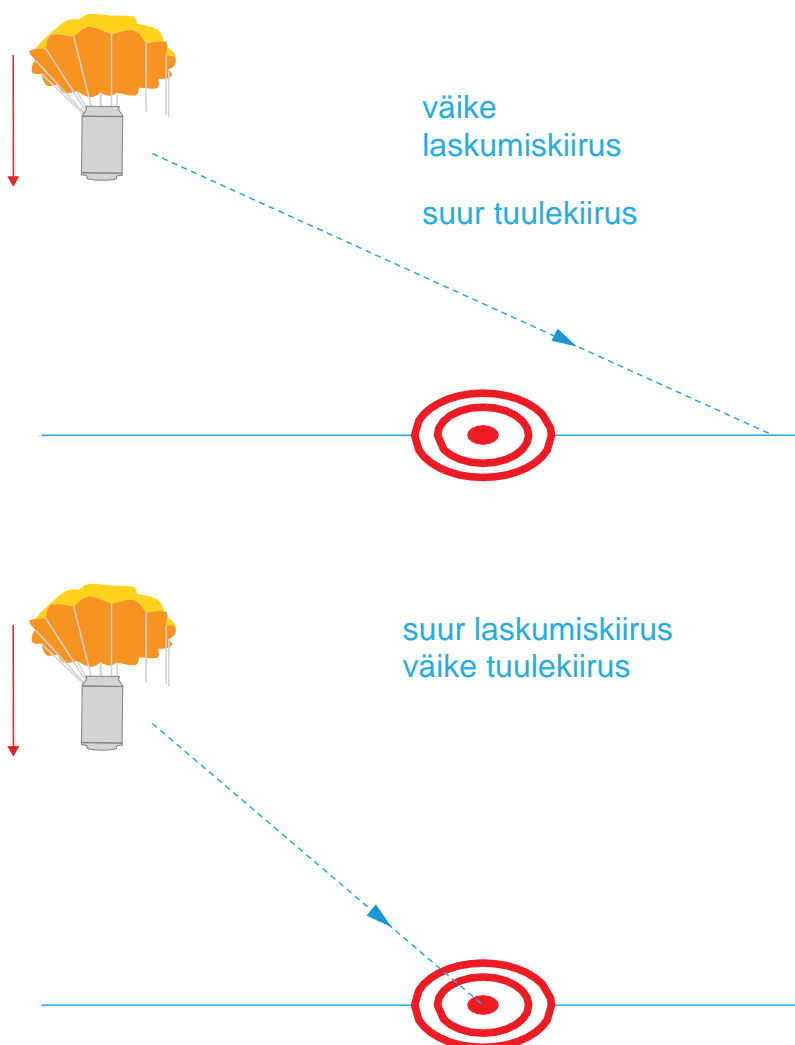
Mis lendab üles, peab ka alla tulema

Mõtleme esmalt sellele, kuidas teie CanSati kõrgus ja kiirus üleslennutamise ajal muutuvad. Kui see on tehtud, rakendame kõiki saadud teadmisi, et oleksite valmis oma langevarju ehitama ja katsetama!

CanSati laskumisele mõeldes tuleb arvestada sellega, kuidas tuul võib selle lennutrajektoori mõjutada. Kuna CanSat langeb vertikaalselt, võib horisontaalne tuul CanSati horisontaalsuunas puhuda. Lisaks arvestage, et isegi ilma tuuleta võivad mõned langevarjutüübid (nt ristikujulised) oma stabiilsuse tõttu saada suure külgiiruse.

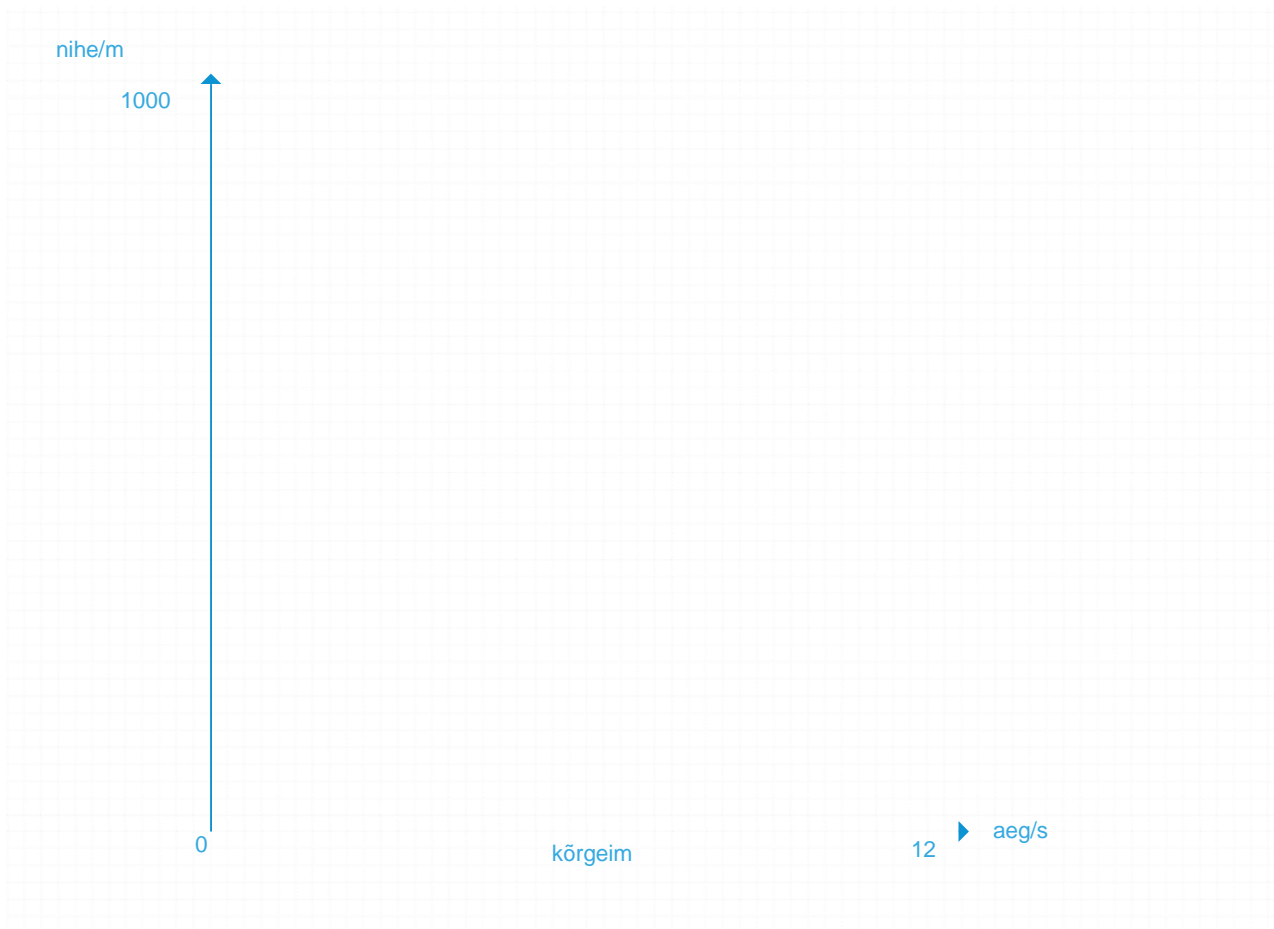
Olenevalt laskumiskiirusest ja tuule kiirusest võib see tähendada, et CanSat maandub maapinnal stardikohast oluliselt kaugemale – see on üks põhjusi, miks laskumiskiirus nii oluline on. Kui teie CanSat laskub liiga aeglaselt, võib see üleslennutamise kohast eemale lennata ja seda võib olla raske üles leida!

Seda mõju on selgemalt allolevas diagrammis näha.



Ülesanne

1. Lisage allolevale graafikule kõver, mis kirjeldab, kuidas te eeldate, et kõrgus ajas muutub, CanSati üleslennutamisel kuni maandumiseni, eeldades, et külgsuunalist kiirust tänu stabiilsusele ei esine. Et aidata teil kõverat joonistada, mõelge sellele, kuidas kiirus muutub ja milline on selle mõju kõvera kujule.



Pidage meeles: Euroopa CanSati võistlusel lennutatakse CanSatid 1000 m kõrgusele!

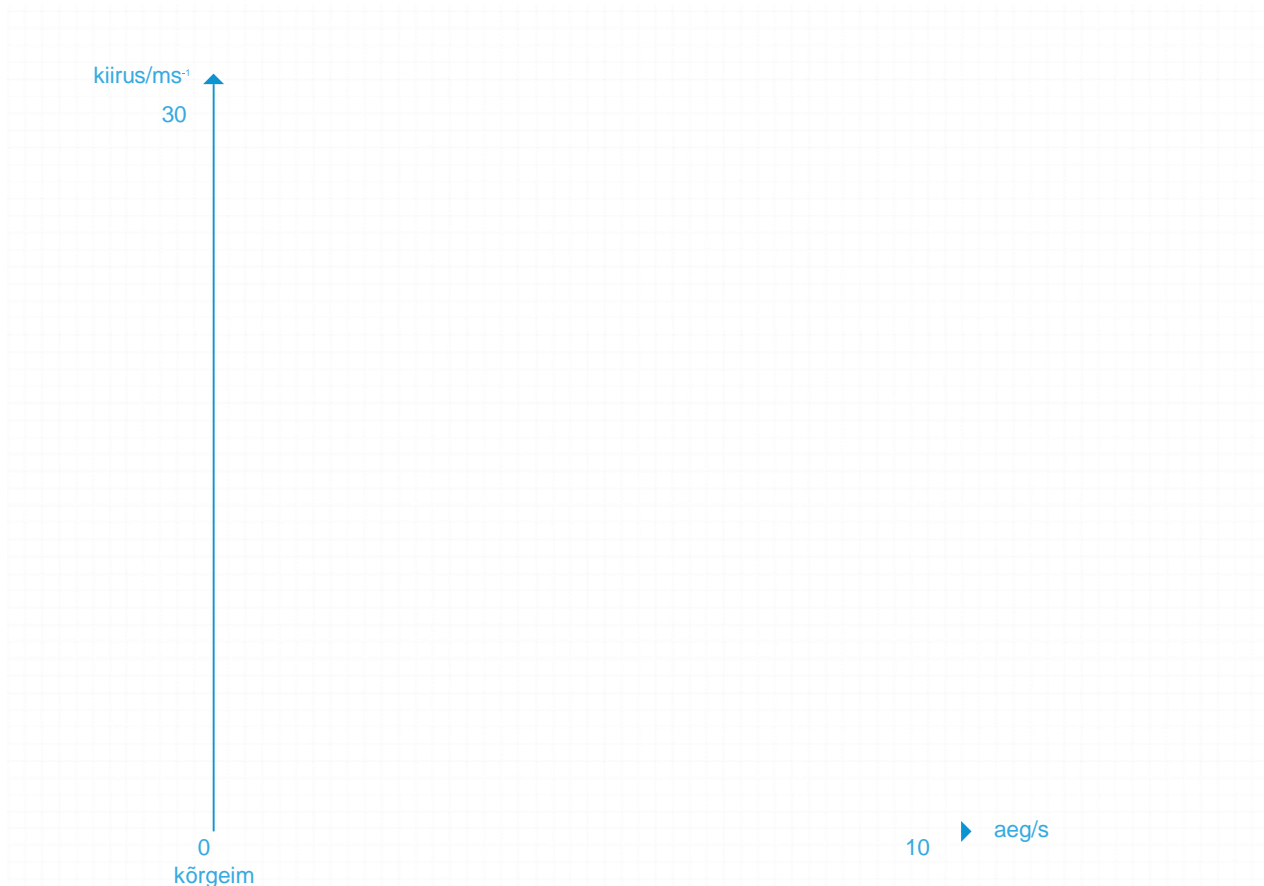
Meie jaoks on stardi kõige olulisem osa praegu laskumine kõrgeimast punktist kuni maapinna tabamiseni, sest just siis tuleb mängu langevari.

Peame mõtlema sellele, kuidas CanSati kiirus laskumise ajal ajas muutub.

2. Nii nagu oleme teinud kõrguse puhul, joonistage allolevale graafikule kõver, mis näitab, kuidas CanSati kiirus laskumise ajal ajas muutub (kanderaketiga üleslennutamist me siin arvesse ei võta). Sellisel juhul oleks $t=0$ hetkel, mil CanSati eraldatakse raketist.

Enne kõvera visandamist mõelge järgmistele küsimustele:

- Kui suur on CanSati kiirus eraldamise hetkel?
- Kui kiiresti CanSat Maa suunas liigub?
- Mis juhtub, kui langevari avaneb?



Katsetamise aeg?

Nüüd, kui te mõistate hästi CanSati käitumist üleslennutamise ajal ja sellele mõjuvatest jõududest, peaksite mõtlema langevarju katsetamisele. Et ei esineks ohtu, et CanSati ehitamiseks kulutatud jõupingutused lähevad raisku, peaksite esmalt katsetama langevarju esemega, mis on umbes sama suur ja sama kaaluga nagu CanSat!

Tervis ja ohutus

Enne katsetamisega alustamist peaksite veenduma, et olete oma õpetaja järelevalve all. Langevarju ja purgi kukutamine näiteks 2. või 3. korruse aknast on langevarju esmaseks katsetamiseks väga sobiv, kuid peate veenduma, et allpool oleval alal ei oleks möödujaid või esemeid, mis võivad kahjustada saada!

Järjestikuste katsete abil saate täiustada oma langevarju disaini, uurida langevarju iga aspekti mõju. See peaks hõlmama järgmist:

- Kasutatud materjal
- Kuidas see CanSati külge on kinnitatud
- Langevarju pindala
- Kuidas langevari on kokku volditud

Kui olete oma langevarju lõplikule kujundusele lähedal, peate veenduma, et teie testitav koormus vastaks täpselt teie tegeliku CanSati kaalu ja mõõtmetega.

Kui kõik on kooskõlas CanSati juhendiga, on teie langevari valmis!

→ Lingid

Fruitychutesi veebisaidilt saab leida lisateavet langevarju kujundamise kohta:
https://fruitychutes.com/help_for_parachutes/how_to_make_a_parachute.htm

Teave ristikujulise langevarju kujundamisest:
<http://www.nakka-rocketry.net/xchute1.html>

Lamedate langevarjude matemaatikat käsitletakse siin:
[https://www.sunward1.com/imagespara/The%20Mathematics%20of%20Parachutes\(Rev2\).pdf](https://www.sunward1.com/imagespara/The%20Mathematics%20of%20Parachutes(Rev2).pdf)

Lisateavet eri tüüpi langevarjude disaini kohta: <http://www.hsl.org.au/articles/parachutes.pdf>

Wikipedia taustteave langevarjude kohta: <https://en.wikipedia.org/wiki/Parachute>