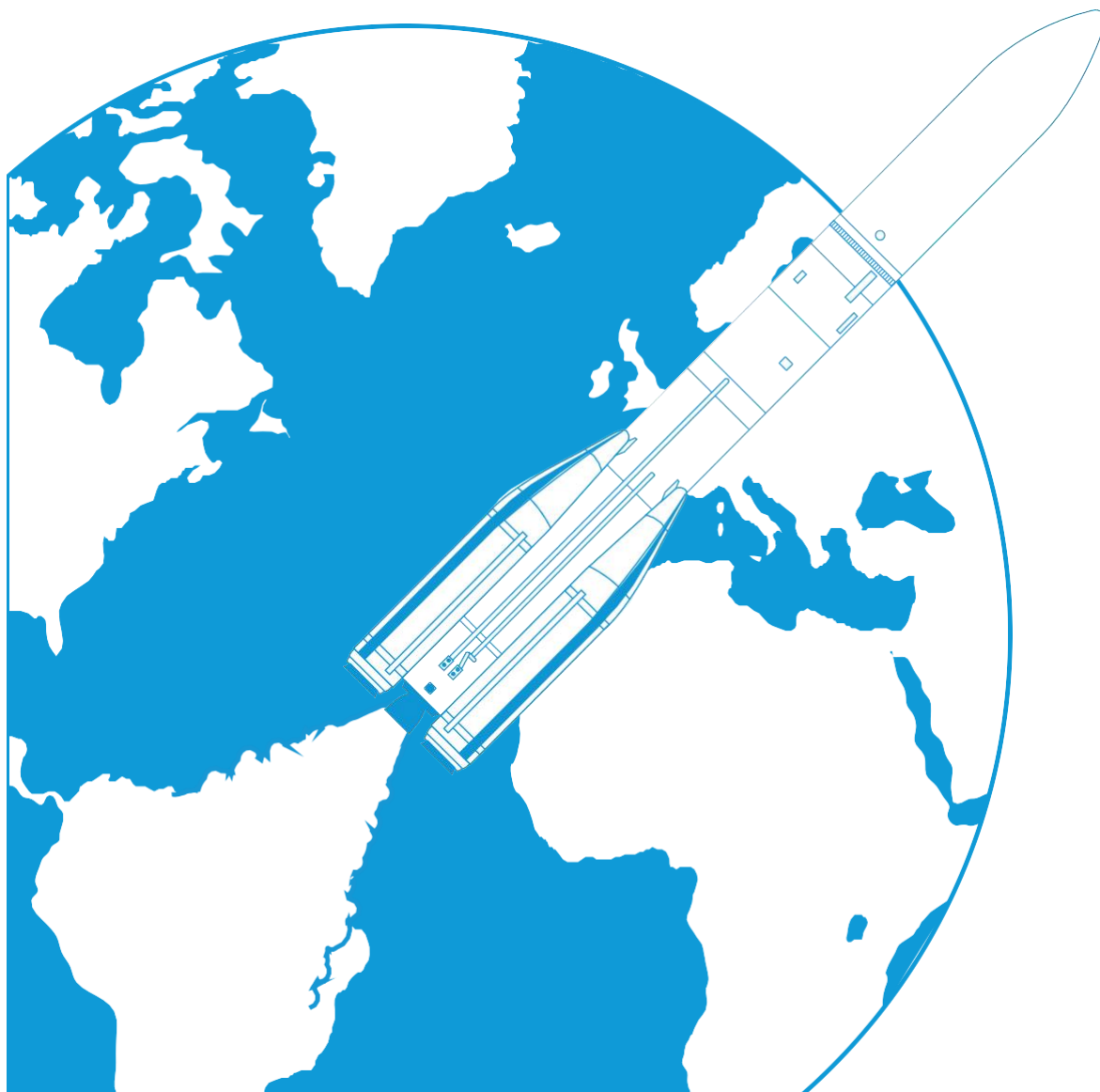


Tanítsunk a világűrrel!

→ **3...2...1...Felszállás!**

Készítsünk papírrakétát!





Tanári útmutató

Alapadatok

1. tevékenység: Készítsünk papírrakétát!	3. oldal
2. tevékenység: Kilövésre felkészülni!	6. oldal
3. tevékenység: Ember a fedélzeten	8. oldal
Tanulói munkalap	13. oldal
	14. oldal

Linkek

1. melléklet	24. oldal
2. melléklet	25. oldal
3. melléklet	26. oldal
4. melléklet	27. oldal
	28. oldal

tanítsunk a világűrrel! – 3...2...1 kilövés! | P17
www.esa.int/education

Az Európai Űrügynökség (ESA) Oktatási Irodája örömmel fogadja a visszajelzéseket és észrevételeket
teachers@esa.int

Az Európai Űrügynökség Oktatási Erőforrás Iroda (ESERO) Nordic és Lengyelország által kifejlesztett oktatási koncepció

Készült az Európai Űrügynökség oktatási programja keretében
Szerzői jogok 2019 © Európai Űrügynökség

→ 3...2...1 KILÖVÉS!

Készítsünk papírrakétát!

Alapadatok

Tantárgy: fizika

Korosztály: 14–16 év

Típus: tanulói tevékenység

Nehézségi fok: közepes

Tanítási idő: 2 óra

Költség: alacsony (5–10 euró)

Helyszín: tanterem és szabadtéri

Eszközök: saját építésű rakétakilövő rendszer
(lásd 1. és 2. melléklet)

Kulcsszavak: fizika, rakéták, parabola alakú
röppálya (ferde hajítás), aerodinamika,
tömegközéppont, nyomásközéppont, szökési
sebesség, első kozmikus sebesség
(körsebesség), sebesség, gyorsulás

Rövid ismertetés

Ebben a három tevékenységből álló sorozatban a tanulók megtervezik és megépítik saját papírrakétáikat, majd kilövik őket. Megtanulják, mitől lesz stabil a rakéta, és kiszámítják a röppályáját és a sebességét. Megtudják, mekkora sebességre van szüksége egy rakétának ahhoz, hogy elhagyja a Földet, és miért válhat a Hold további űrkutatási kezdeményezések kiindulópontjává. Végül kiszámítják a rakétájuk gyorsulását kilövéskor és összefüggésbe hozzák az űrhajósok által kilövéskor tapasztalt G-erővel.

Oktatási célok

- Megismerkedünk a tömegközéppont és a nyomásközéppont fogalmával.
- Tanulmányozzuk a parabola alakú röppályát és a görbéket.
- Gyakoroljuk a sebesség és a gyorsulás kiszámítását.
- Megértjük az erők működését.
- Fejlesztjük a tudományos gondolkodást és a csapatmunkára való képességet.

→ A tevékenységek összefoglalása

A tevékenységek összefoglalása					
	Cím	Leírás	Eredmény	Szükséges előzmények	Időtartam
1	Készítsünk papírrakétát!	A tanulók megterveznek és megépítenek egy papírrakétát.	Megismerkednek a rakétákkal, az aerodinamikával, a tömegközéppont és nyomásközéppont fogalmával, és megtanulják, mitől lesz stabil egy rakéta.	Nincs	30 perc
2	Kilövésre felkészülni!	A tanulók kilövik a rakétát, kiszámítják az indítási sebességet a kilövőállás elhagyásakor, és ezt összefüggésbe hozzák a Föld és a Hold elhagyásához szükséges szökési sebességgel.	Tanulnak az erőkről, a parabola alakú röppályáról, a sebességről és a szökési sebességről.	Az 1. tevékenység elvégzése. Rakétakilövő rendszer (az 1. vagy a 2. mellékletből). A kilövést nyitott térben, lehetőség szerint a szabadban kell elvégezni.	45 perc
3	Ember a fedélzeten	A tanulók kiszámolják a papírrakéta gyorsulását kilövéskor, és összefüggésbe hozzák az űrhajósok által tapasztalt G-erővel.	Tanulmányozzák a gyorsulást és a G-erőt.	A 2. tevékenység elvégzése	45 perc

→ Bevezetés

Az űrügynökségek rendszeresen használnak rakétákat: ezekkel szállítják az űrhajósokat a Nemzetközi Űrállomásra (ISS), szondákat a Naprendszerünk felfedezésére, és műholdakat állítanak velük Föld körüli pályára. A rakéták mérete, kialakítása és a felhasznált üzemanyag típusa a céljuktól függően változik.

Az Európai Űrügynökség hordozórakéta-családjának tagjai a Vega, a Vega-C és az Ariane 5, valamint egy, a műholdas küldetések és szondák indítására nemrégiben kifejlesztett új, hatékonyabb rakéta, az Ariane 6, amelynek két változata az Ariane 62 és az Ariane 64. Ezek a hordozórakéták űreszközök széles skáláját képesek az űrbe juttatni a kommunikációs műholdaktól kezdve a Naprendszer-küldetéseig. Nagy teljesítményű hajtóműveik biztosítják a Föld gravitációjából való kilépéshez szükséges energiát.



↑ Az Európai Űrügynökség hordozórakéta-családjá.

Az Európai Űrügynökség a rakétáit a dél-amerikai Francia Guyanában található űrrepülőtérrel indítja, amely mindössze 500 km-re fekszik az Egyenlítőtől északra. A Föld forgása az Egyenlítőnél a leggyorsabb. A rakéták ki tudják használni ezt a „csúzli” hatást, amely 460 m/s-mal növeli meg a sebességüket, ennek köszönhetően pedig üzemanyag és pénz takarítható meg. A helyszín a geostacionárius transzfer pályára történő állításokhoz is ideális, mert így a műhold pályáján csak kevés változtatást kell végrehajtani. Az indítási helyszínek kiválasztásánál biztonsági szempontokat is figyelembe vesznek. Francia Guyana gyéren lakott terület, az ország 90%-át trópusi esőerdők borítják, ráadásul nincs ciklon- vagy földrengésveszély. Mindezek a tényezők optimális kilövési helyszínné teszik.



↑ Az Orion és az European Service Modul.

Egy emberes küldetésnek a Holdra jutáshoz nagy teljesítményű rakétára van szüksége az indulásnál. A valaha indított egyik legerősebb rakéta a Saturn V, amely a 60-as és 70-es években az Apollo-program részeként szállított űrhajósokat a Holdra. Azóta nem járt ember a Holdon.

A NASA Orion nevű űrhajóját és annak az Európai Űrügynökség által kifejlesztett műszaki-hajtómű egységét (European Service Modul) már új generációs rakétákkal indították, amelyek lehetővé teszik, hogy az űrhajósok még messzebbre jussanak az űrben, a Holdon túl az aszteroidákig, sőt akár a Marsig is.

A tevékenység során a tanulók rakétatudósokká avanszáva megtervezik és elindítják saját rakétájukat. Irány a Hold!

→ 1. tevékenység: Készítsünk papírrakétát!

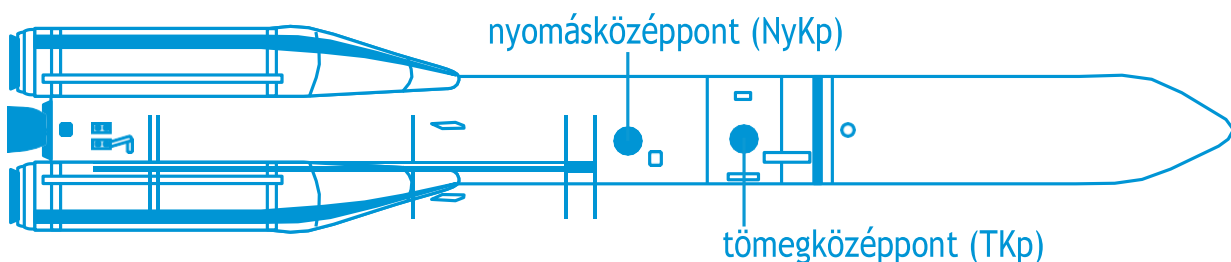
A tevékenység során a tanulók készítenek egy papírrakétát, majd megkeresik annak tömeg-, illetve nyomásközéppontját, és megpróbálják azt minél aerodinamikusabbá tenni. Megvizsgálják továbbá a rakétájuk stabilitását, és a kialakítás kapcsán számba veszik azokat a változókat, amelyek befolyásolják a rakéta teljesítményét.

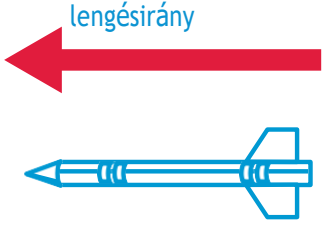
Eszközök csoportonként

- kinyomtatott tanulói munkalapok
- 2 db A4-es papírlap
- ollók
- ragasztószalag
- gyurma
- kartonpapír
- szárny- és orrkúpsablont (opcionális) a 3. mellékletből

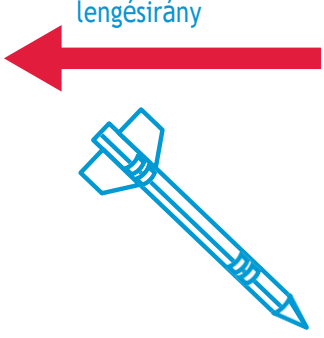
Gyakorlat

1. Alakítsunk az osztályból legfeljebb háromfős csoportokat, és kérjük meg őket, hogy építsenek rakétát a rendelkezésükre bocsátott anyagokból. Fontos hangsúlyozni, hogy a rakétatestnek el kell férnie az előre elkészített kilövőrendszeren. A rakéta megtervezésénél a tanulók szabadon használhatják a fantáziájukat, és dönthetnek a szárnyak méretéről és számáról. Inspirációként használhatják a 3. mellékletben található szárny- és orrkúpsablont.
2. Kérjük meg a tanulókat, hogy keressék meg a rakétájuk tömegközéppontját (TKp). A tömegközéppont a rendszerben lévő összes tömeg átlagos helyzete, amit a rakétájukat egy zsinóron egyensúlyozva találhatnak meg. Megjegyzés: egyes források a tömegközéppont és a súlypont kifejezéseket azonos értelemben használják.
3. Kérjük meg a tanulókat, hogy keressék meg a rakétájuk nyomásközéppontját (NyKp). A nyomásközéppont a rakéta geometriai középpontja, ahol az összes aerodinamikai erő hat. Ha a rakéta belül homogén lenne, a tömeg- és a nyomásközéppont egybeesne. A nyomásközéppontot a szárnyakra, a farokfelületekre, a légellenállásra stb. ható egyes erők összeadásával találhatjuk meg, de ezt nehéz kiszámítani. Egyszerűbb, ha kartonpapírból kivágjuk a rakéta sziluettjét, és egy tárgy (pl. vonalzó) élén egyensúlyozunk vele.
4. A tanulók jelöljék be a rakétájukon a tömeg- és a nyomásközéppontot, és gondolkodjanak el azon, milyen kapcsolat áll fenn a kettő között. Végezzenek lengésteztet, és mérjék fel, hogy a tömeg- és nyomásközéppont helyzete és viszonya hogyan befolyásolja a rakéta stabilitását.
5. Így kell meghatározni a tömeg- és nyomásközéppont helyzetét ahhoz, hogy a papírrakéta stabil legyen:

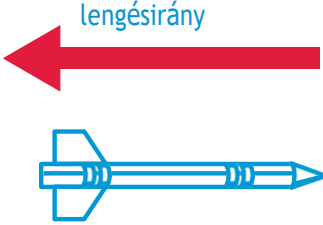


- 1.
- 

Stabilan repül, orral előre. A Tkp a NyKp előtt helyezkedik el. Ideális felépítés.



Megpördül. A Tkp túl közel esik a NyKp-hoz.



Hátrafelé repül. A NyKp a Tkp előtt helyezkedik el.

2. A táblázat bemutat néhány változót, ami a rakéta tervezésénél és kilövésénél módosítható.

Változó	Hogyan befolyásolja a rakéta teljesítményét a változó módosítása?
Szárnyak száma	A szárnyak számának növelése befolyásolja a tömegközéppont elhelyezkedését, mivel a rakéta hátsó része nehezebb lesz. A felület módosulása miatt a nyomásközéppont helye is változhat. A szárnyak aszimmetrikussága hatással lehet a stabilitásra és a légellenállásra is.
Szárnyak mérete és formája	Nagyobb szárnyak esetén a nyomásközéppont hátrébb fog elhelyezkedni.
Időjárási körülmények	A különböző időjárási viszonyok a tervezéstől függően lehetnek előnyösek vagy hátrányosak a kilövésnél. Egy nagy szárnyakkal rendelkező rakéta például jobban ki lesz téve az erős szélnek. A papírrakéták általában rosszul teljesítenek szélben és különösen esőben.
A rakéta hossza	A rakéta hossza befolyásolja a nyomásközéppont elhelyezkedését. Ha a rakéta túl rövid, az aerodinamikai képességei elvesznek, ha viszont túl hosszú, a szerkezet nem tudja megtartani magát (mivel papírból készült).
A rakéta súlya	A rakéta súlyeloszlása meghatározza a tömegközéppont elhelyezkedését. Ha az orrkúpot nehezítjük (pl. gyurmát teszünk bele), a tömegközéppont előrébb csúszik.

Megjegyzés: ha van számítógép-hozzáférése, letölthetjük a <http://openrocket.info/> ingyenes rakétaszimulációs eszközt. Ebben a tanulók játszhatnak a rakétájuk méreteivel és kialakításával, és tanulmányozhatják a tömegközéppont és a nyomásközéppont közötti kapcsolatot.

→ 2. tevékenység: Kilövésre felkészülni!

A tevékenység rávilágít arra, hogy a matematika a rakétatudomány szerves része. A tanulók megismerkednek az erők működésével, és szabadtest-ábrákat rajzolnak. Megfigyelik a rakéta röppályáját kilövés előtt és után, és sebességgel kapcsolatos számításokat végeznek.

Eszközök

- kinyomtatott tanulói munkalap minden csoportnak
- rakétakilövő rendszer (lásd 1. és 2. melléklet)
- elkészült papírrakéták
- hosszú mérőszalag
- szögmérő (opcionális)

Egészségügyi és biztonsági szabályok

A rakéták kilövésére használt területen senki sem tartózkodhat. A rakétát nem szabad ráirányítani senkire. Ajánlatos szemvédőt használni.

Gyakorlat

A rakéták kilövéséhez tágas tér és sík terep szükséges (pl. egy futballpálya). A 2. mellékletben található kilövőkarról a rakéták akár 100 méternél is messzebbre repülhetnek! Jelezzük a tanulóknak, hogy a maximális nyomás 7 bar lehet.

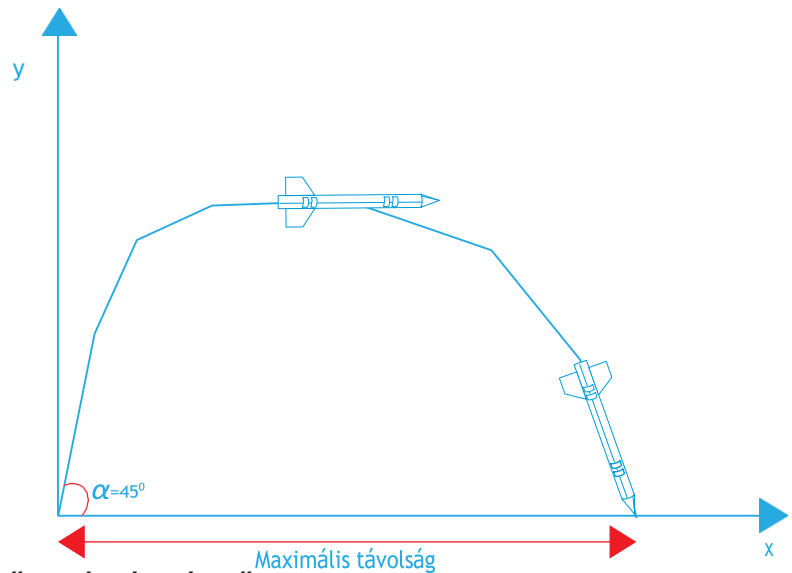
Adjunk lehetőséget a tanulóknak, hogy megvitassák a kilövés ideális szögét. Később, a megbeszélés során visszatérhetünk rá, hogy milyen szöggel lehet maximális távolságot elérni. A csoportok indíthatnak azonos szögből, hogy összehasonlíthassák a rakétaikat, de kipróbálhatnak többféle szöget is, megfigyelve, melyik az optimális.

A kilövésből rendezhetünk versenyt is, és megjutalmazhatjuk a legtávolabbra jutó rakéta csapatát. A 3. melléklet táblázatában feljegyezhetjük a rakéták által elért távolságot (erre az információra később még szükség lehet).

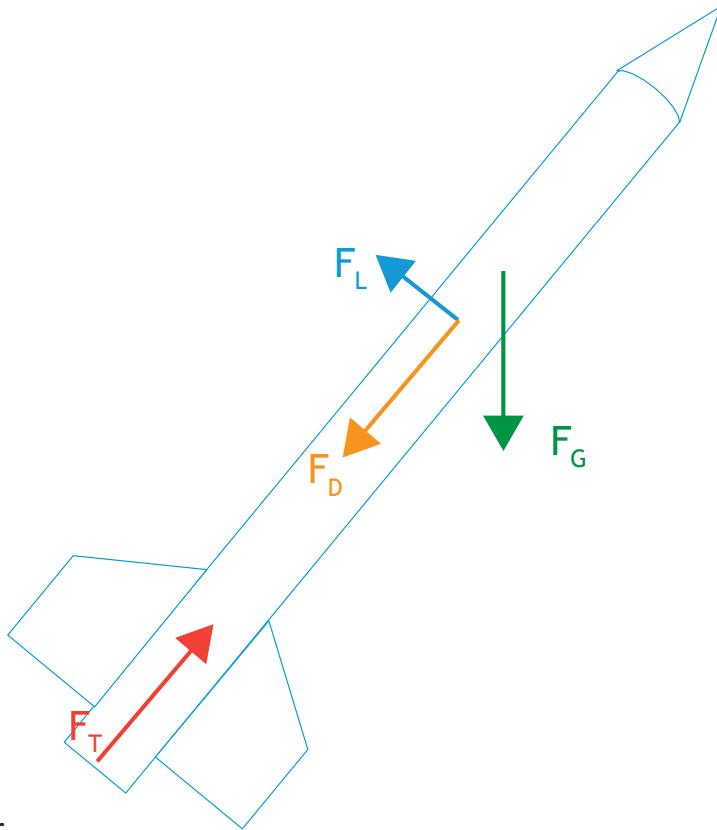
A kilövés után beszéljük meg, hogyan gyorsulnak felfelé a rakéták, és miért követnek parabola alakú pályát. Ismertetjük a tanulókkal Newton három mozgástörvényét és a gravitációs erő fogalmát. Magyarázzuk el nekik a szökési sebesség és az első kozmikus sebesség (körsebesség) fogalmát, és hasonlítsuk össze a papírrakéták kilövését egy valódi holdrakéta elindításával.

Eredmények

1. A rakéta röppályájának rajza.
2. A távolság maximalizálása érdekében a kilövést 45°-os szögből kell végrehajtani.
4. A rakéta pályáját befolyásoló tényezők:
 - szél
 - kiindulási sebesség
 - kilövési szög



5. A rakétára a tolóerő fázisban ható erőket ábrázoló erődiagram:



$F_T = \text{Tolóerő}$

Csak nagyon rövid ideig hat a kilövés során: lökést ad a rakétának és repülésre készíti.

$F_G = \text{Gravitációs erő}$

A repülés teljes tartama alatt nagyjából állandó.

$F_D = \text{Légellenállás}$

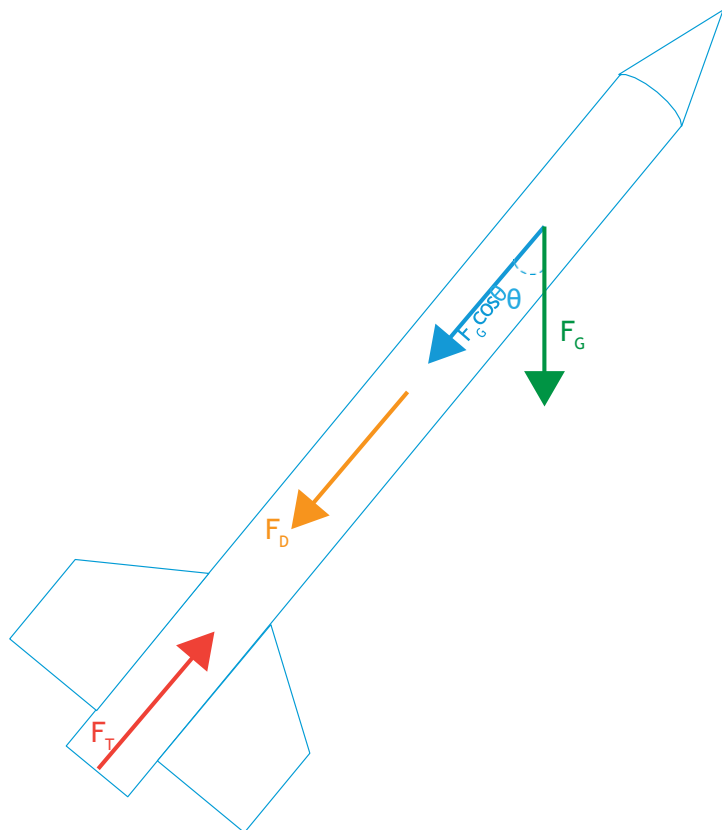
A levegő sűrűségétől, viszkozitásától és kompresszibilitásától, valamint a rakéta sebességétől, alakjától és dőlésszögétől függ.

$F_L = \text{Felhajtóerő}$

A levegő sűrűségétől, viszkozitásától és kompresszibilitásától, valamint a rakéta sebességétől, alakjától és dőlésszögétől függ. Ennél a tevékenységnél a felhajtóerőt elhanyagolhatónak tekintjük.

6.
 - a. Egy valódi rakéta (pl. az Ariane 5) esetében ez a fázis néhány percre tart, míg a papírrakétánk kilövésénél alig egy másodpercig.
 - b. A mozgás irányában az erők eredője, F , a következő:

$$F = -F_D + F_T - F_G \cos\theta$$



Ahol:

$F=ma$ (m a tömeg, a pedig a gyorsulás).

$F_T = -u_e \frac{dm}{dt}$ (u_e a rakétát elhagyó gázsugár sebessége a rakétához képest, $\frac{dm}{dt}$ pedig a rakéta tömegének változási sebessége).

$F_G \cos\theta$ a gravitációs erő a rakéta mozgásának irányában.

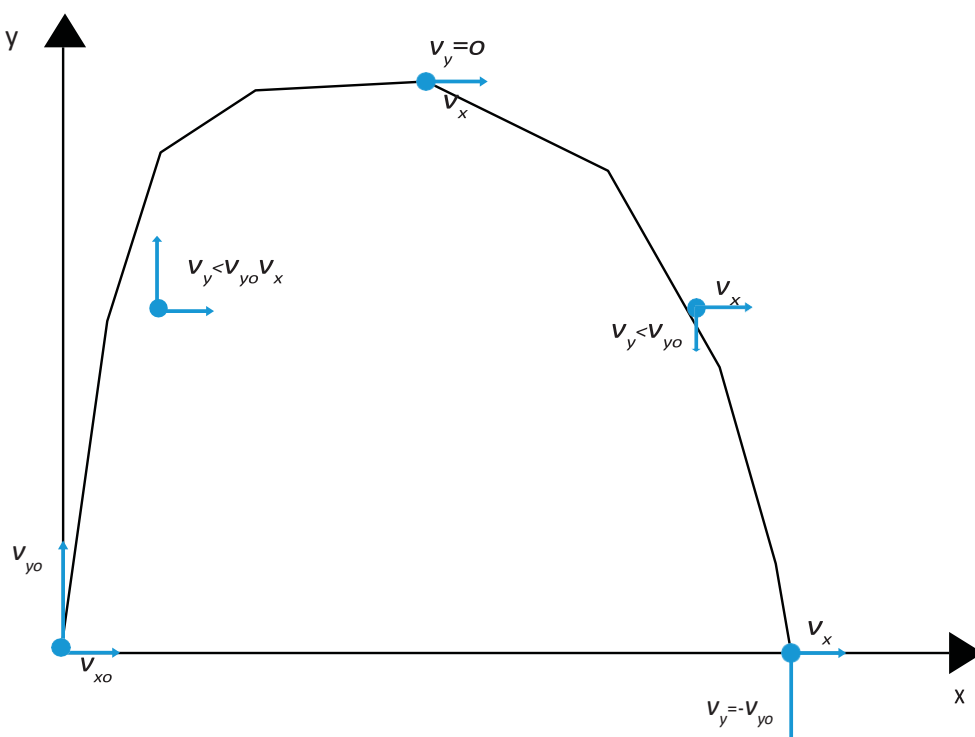
$F_G = mg$, m a tömeg, g a gravitációs gyorsulás, pedig a rakéta mozgásának iránya és a F_G iránya által bezárt szög.

F_D a légellenállás.

- c. Ha ezeket a kifejezéseket behelyettesítjük és elosztjuk m -mel, megkapjuk a gyorsulást:

$$a = -\frac{F_D}{m} - \frac{u_e}{m} \frac{dm}{dt} - g \cos(\vartheta)$$

7. a. A vízszintes és függőleges sebességkomponenseket ábrázoló grafikon. Ösztönözzük a tanulókat arra, hogy átgondolják, milyen erők hatnak a rakétára az egyes pontokban, és miért eredményezi ez a grafikonon kirajzolódó parabola alakú röppályát.



7. b. A kilövőálláson álló rakéta a tolóerő fázisban hirtelen gyorsul. Amint a rakéta elhagyja a kilövőállást, már nem hat rá a tolóerő. A légellenállást figyelmen kívül hagyva ez azt jelenti, hogy a rakétára az x-tengelyen nem hat erő, így Newton első törvénye alapján az x-sebességkomponens (v_x) állandó. Az y-tengelyen a rakétára a gravitációs erő hat a Föld középpontja irányában (a felszínre merőlegesen), ezért az y-sebességkomponens (v_y) változik.

8. A sebességet kiemeljük az egyenletben:

$$v = \frac{d g}{\sin(2\alpha)}$$

9. Ha a sebesség $d = 40 \text{ m}$, a szög $\alpha = 45^\circ$:

$$v = \frac{40 \times 9.81}{\sin(2 \times 45^\circ)}$$

$$v = \frac{9.81 \times 40}{1} = 392.4 \text{ m/s}$$

10.

$$v = \left(\frac{392.4}{1000} \right) \times 60 \times 60 = 1411.2 \text{ km/h}$$

11. A Föld estében a szökési sebességet így számíthatjuk ki:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6.65 \times 10^{-11} \times 5.97 \times 10^{24}}{6.37 \times 10^6}} = 11.2 \times 10^3 \text{ m/s} = 40320 \text{ km/h}$$

12. Egy űrhajó Föld körüli pályára állításához szükséges sebesség a Föld felszíne felett 300 km magasságban.

$$v_{\text{orbital}} = \sqrt{\frac{6.65 \times 10^{-11} \times 5.97 \times 10^{24}}{6.37 \times 10^6 + 300 \times 10^3}} = 7.68 \times 10^3 \text{ m/s} = 27648 \text{ km/h}$$

Ahol r a pálya sugara (a Föld középpontjától számítva), tehát $6371 \text{ km} + 300 \text{ km}$.

13. A 9. kérdésben szereplő példával összehasonlítva ez $2.78 \times 10^4 / 71.3 = 390$ -szer gyorsabb, mint a saját készítésű rakétáink sebessége.

14. A Hold esetében a szökési sebesség sokkal kisebb, mivel a Hold tömege a sugarához képest jóval kisebb, mint a Földé.

15. A Hold esetében a szökési sebességet így számíthatjuk ki:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6.65 \times 10^{-11} \times 7.35 \times 10^{22}}{1.74 \times 10^6}} = 2.38 \times 10^3 \text{ m/s} = 8568 \text{ km/h}$$

16. Mivel a Hold esetében a szökési sebesség kisebb, sokkal kevesebb energia (és ezáltal üzemanyag) szükséges egy űrhajó Holdról történő indításához, így nagyobb rakományokat könnyebb a Hold felszínéről indítani.

Megbeszélés

Foglaljuk össze az eredményeket az osztállyal közösen. Hogyan próbálták az egyes csoportok maximalizálni a röptávolságot? Milyen módszerek működtek, és melyek nem?

Kérdezzük meg a tanulókat, hogy szerintük miért lenne célszerűbb a rakétákat a Holdról indítani egy nagyobb távú (pl. a Marsra irányuló) űrutazás esetén? Magyarázzuk el, hogy mivel a Hold esetében mind az első kozmikus sebesség (körsebesség), mind a szökési sebesség sokkal kisebb, mint a Föld esetében, kevesebb üzemanyagra lenne szükség, ami azt jelenti, hogy sokkal kevesebbe kerülne a kilövés. A bevezetőben leírtak alapján azt is megvitathatjuk, miért indítanak rakétákat az Egyenlítőhöz közeli helyszínekről.

Beszélgünk a számítások során alkalmazott egyszerűsítésekről és feltételezésekről. Például nem vettük figyelembe a légellenállás miatti lassulást. A légellenállás a sebesség növekedésével nő. Beszélgünk meg, szerintük mikor és hol hat legerősebben a légellenállás a rakétára. A szükséges szökési sebesség és az első kozmikus sebesség (körsebesség) a Föld esetében nagyobb, mint amit kiszámítottunk. Térjünk ki arra is, hogy a Hold esetében az is előny, hogy légkör hiányában nincs légellenállás, ezért a szökési sebesség is kisebb lesz.

→ 3. tevékenység: Ember a fedélzeten

A tevékenység során a tanulók tanulmányozzák a gyorsulást, valamint a különböző erők és a G-erő hatását. Megvizsgálják, miért van szükség extra óvintézkedésekre az emberes rakéták indításakor.

Gyakorlat

Bevezetésként kérdezzük meg az osztályt, hogyan gyorsulnak felfelé a rakéták. Ragadjuk meg az alkalmat, hogy beszéljünk Newton bolygómozgással kapcsolatos három törvényéről és a gravitációs erőről.

Eredmények

1. Ha az (1) és (2) egyenleteket átrendezzük az időre (**t**), a következőket kapjuk:

$$\frac{zs}{u+v} = \frac{v-u}{a}$$

Ha pedig átrendezzük **a**-ra:

$$a = \frac{v^2 - u^2}{zs}$$

2. A rakéta kiindulási sebessége $u = 0$ m/s. Ha a 2. tevékenység 9. kérdésében kiszámított kilövési sebességet használjuk, akkor a következőt kapjuk:

$$a = \frac{1g \cdot 81^2 - 0^2}{2 \times 0.5} = \frac{5gz \cdot q}{0.6} = 65g \text{ m/s}^2$$

3. Kérjük meg a tanulókat, hogy számítsák ki a G-erőt kilövésnél. A G-erő valójában nem erő, hanem a tárgyra ható teljes gyorsulás és a Föld gravitációjából eredő gyorsulás hányadosa. A fenti válasz alapján a következőt kapjuk:

$$G_{erő} = \frac{65g}{9.81} = 65$$

Ez a Föld gravitációs erejének 67-szerese.

Megbeszélés

Kérdezzük meg az osztályt, szerintük hogyan lehetséges, hogy egy űrhajós általában legfeljebb 3–6 G-t tapasztal, miközben a rakétájuk esetében ugyanez az érték jóval magasabb?

Az emberi szervezet nem lenne képes elviselni 67 G-t. Az, hogy mennyit bír ki, attól is függ, mennyi ideig van kitéve az erőnek: csupán néhány másodpercig vagy percekig. Emlékeztessük a tanulókat, hogy ez a gyorsulástól függ, nem pedig a sebességtől. A gyorsulás a sebesség időarányos változása. Az emberes küldetéseknél kisebb a gyorsulás, és az űrhajók sokkal hosszabb idő alatt érik el a szükséges sebességet.

A tevékenységek elvégzése után megkérhetjük a tanulókat, hogy írjanak egyéni beszámolót a kísérletükről. Használják fel a tevékenységek során szerzett ismereteiket, értékeljék, hogyan sikerült a kísérlet, és min változtatnának, ha megismételnék.

→ 3...2...1 KILÖVÉS!

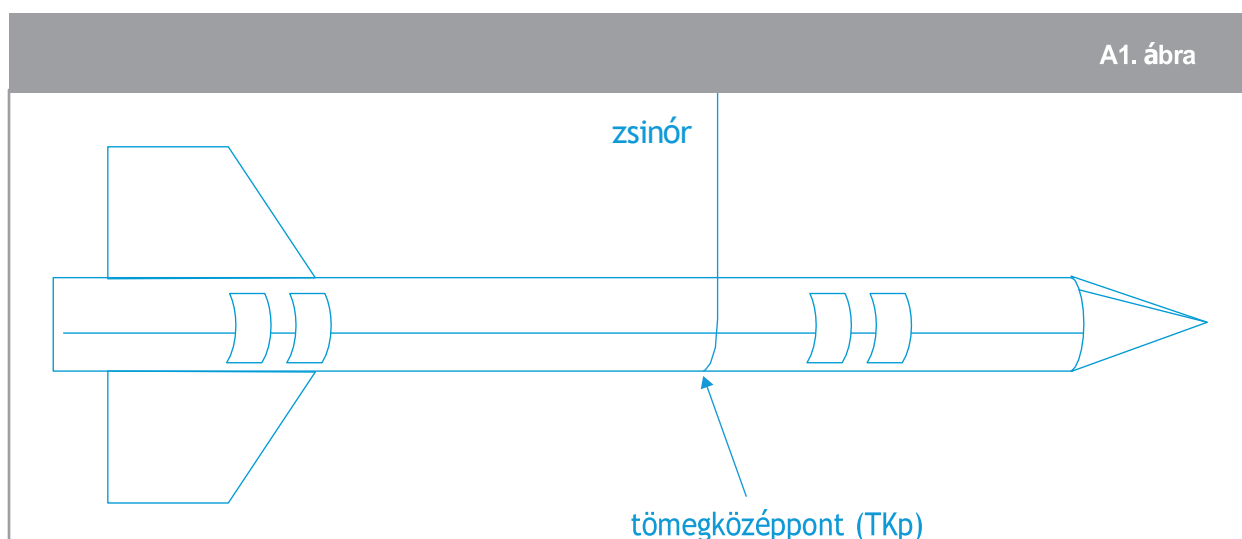
Készítsük papírrakétát!

→ 1. tevékenység: Készítsünk papírrakétát!

Legyen szó akár egy egyszerű papírrakétáról, akár igazi űrrakétáról, a rakétatechnika alapelvei ugyanazok. A tevékenység során megtervezitek és megépítitek saját papírrakétáitokat, és a kivitelezés kapcsán megvizsgáltok néhány olyan változót, amelyek befolyásolhatják a rakéta stabilitását és teljesítményét.

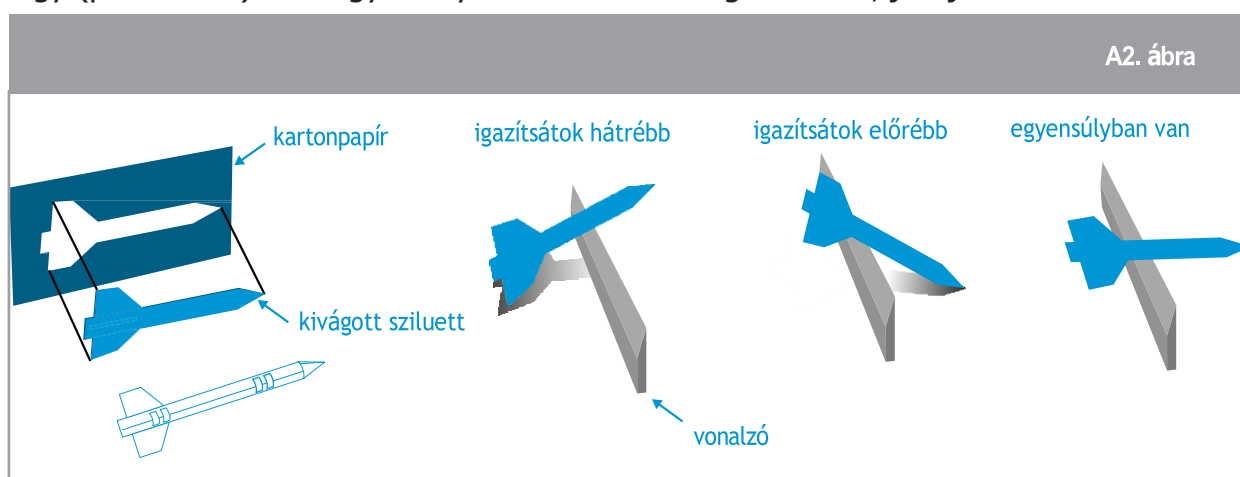
Gyakorlat

1. Építsetek egy tetszőleges papírrakétát a rendelkezésekre bocsátott eszközökkel. Bátran használjátok a fantáziátokat, csupán az a megkötés, hogy a rakéta beférjen a kilövőrendszerbe.
2. Keressétek meg a rakéta tömegközéppontját (TKp). Ez a pont képviseli a tömeg átlagos helyzetét egy testben vagy rendszerben. Ugy találhatjátok meg, hogy a képen látható módon egy zsinórt köttök a rakéta köré, és azzal egyensúlyozzátok. Jelöljétek be ceruzával.



↑ Így azonosíthatjátok a papírrakéta tömegközéppontját: egy zsinóron lógatva állítátok egyensúlyi helyzetbe. A tömegközéppont ott lesz, ahol a zsinórt megkötöttétek.

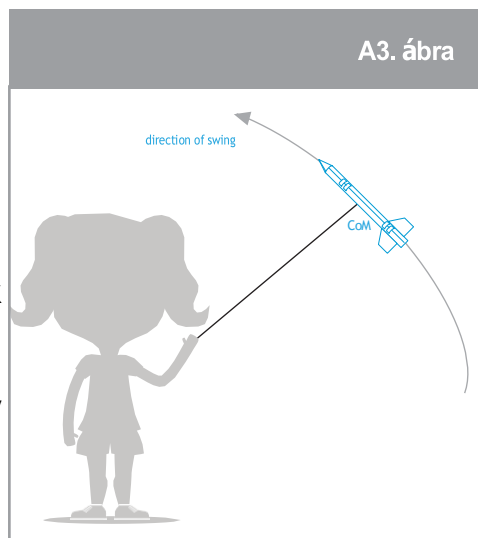
3. Keressétek meg a rakéta nyomásközéppontját (NyKp). Ez a pont a rakétára ható nyomás átlagos helye, és ebben az esetben úgy találhatjátok meg, hogy azonosítjátok a rakéta vetületének egyensúlyi helyét. Ehhez vágjátok ki a rakéta sziluettjét kartonpapírból, és egy tárgy (pl. vonalzó) élén egyensúlyozzátok ki. Ha megtaláltátok, jelöljétek be ceruzával.



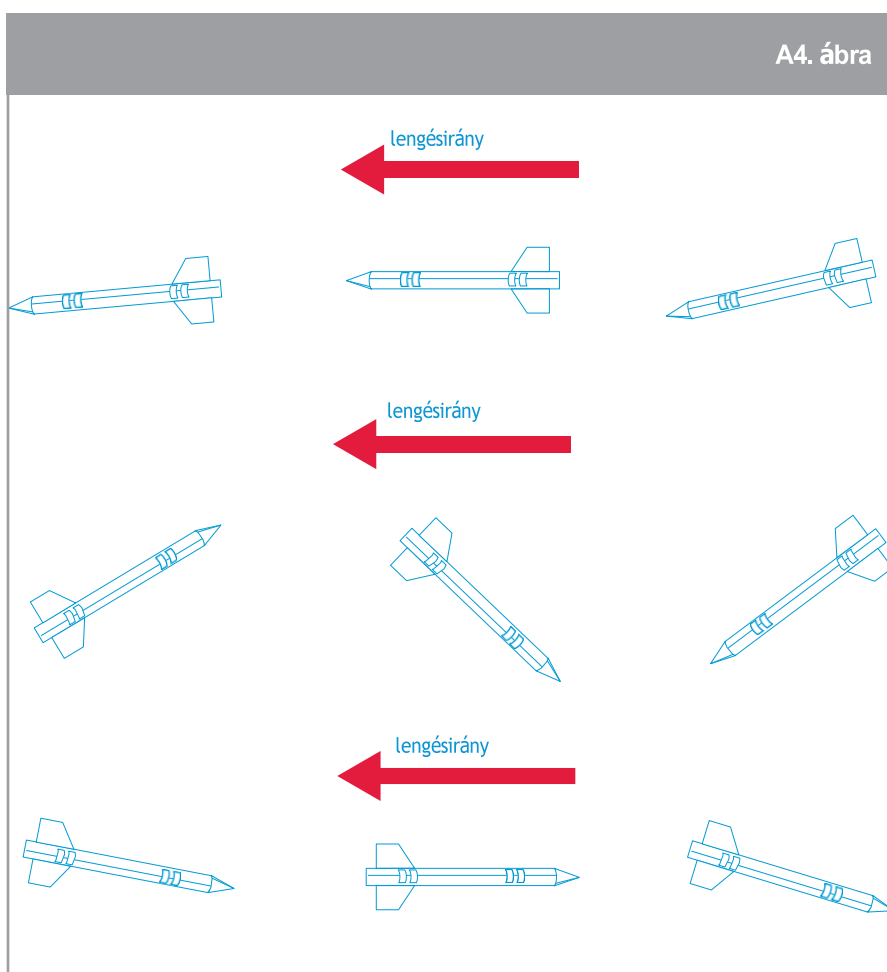
↑ Így azonosíthatjátok a rakéta nyomásközéppontját: egy vonalzó élén állítátok egyensúlyi helyzetbe a rakéta kartonból kivágott sziluettjét.

4. Mekkora a tömeg- és nyomásközéppont közötti távolság? _____ cm
5. A nyomásközéppont a tömegközéppont előtt helyezkedik el? Igen / Nem
6. A szélcsatornatesztet szimulálhatjátok egy lengéstezzttel: kössetek zsinórt a rakéta tömegközéppontjához, és lendítsétek körbe az ábrán látható módon:

Elemezzétek a saját és a többi csoport rakétáinak stabilitását. Próbáljátok meg játszani a tömegközépponttal úgy, hogy az orrkúpba vagy a hátsó részbe tesztek némi súlyt. Mit gondoltok, mi a tömegközéppont (TKp) relatív helyzete a nyomásközépponthoz (NyKp) képest az alábbi három példában?



↑ Így végezhetek lengéstezztet: kössetek zsinórt a rakéta tömegközéppontjához, és lendítsétek körbe.



A TKp helyzete a NyKp-hoz képest:

A TKp helyzete a NyKp-hoz képest:

A TKp helyzete a NyKp-hoz képest:

↑ Így mozoghatnak a rakéták a lengéstezzt során.

7. Végig menetirányban haladt a rakétátok a lengésteeszt során? Ha nem, szerintetek min kellene változtatni?

8. Adjatok hozzá további változókat a táblázathoz, és gondoljátok át, hogyan tudnátok módosítani a változókat annak érdekében, hogy a rakétátok stabilabb legyen.

A1. táblázat	
Változó	Leírás
Szárnyak száma	
Szárnyak mérete és formája	

↑ A rakéta kialakításának változói és azok hatása a stabilitásra.

9. Adjatok a rakétának egy ütős nevet:

Tudtad?

Egy rakéta több kisebb rakétára (úgynevezett fokozatra) oszlik. Minden kisebb rakéta saját hajtóművel és üzemanyagtartálékkal rendelkezik. A rakéta eleje, az úgynevezett orrkúp szállítja a rakományt, általában műholdakat vagy űrhajósokat.

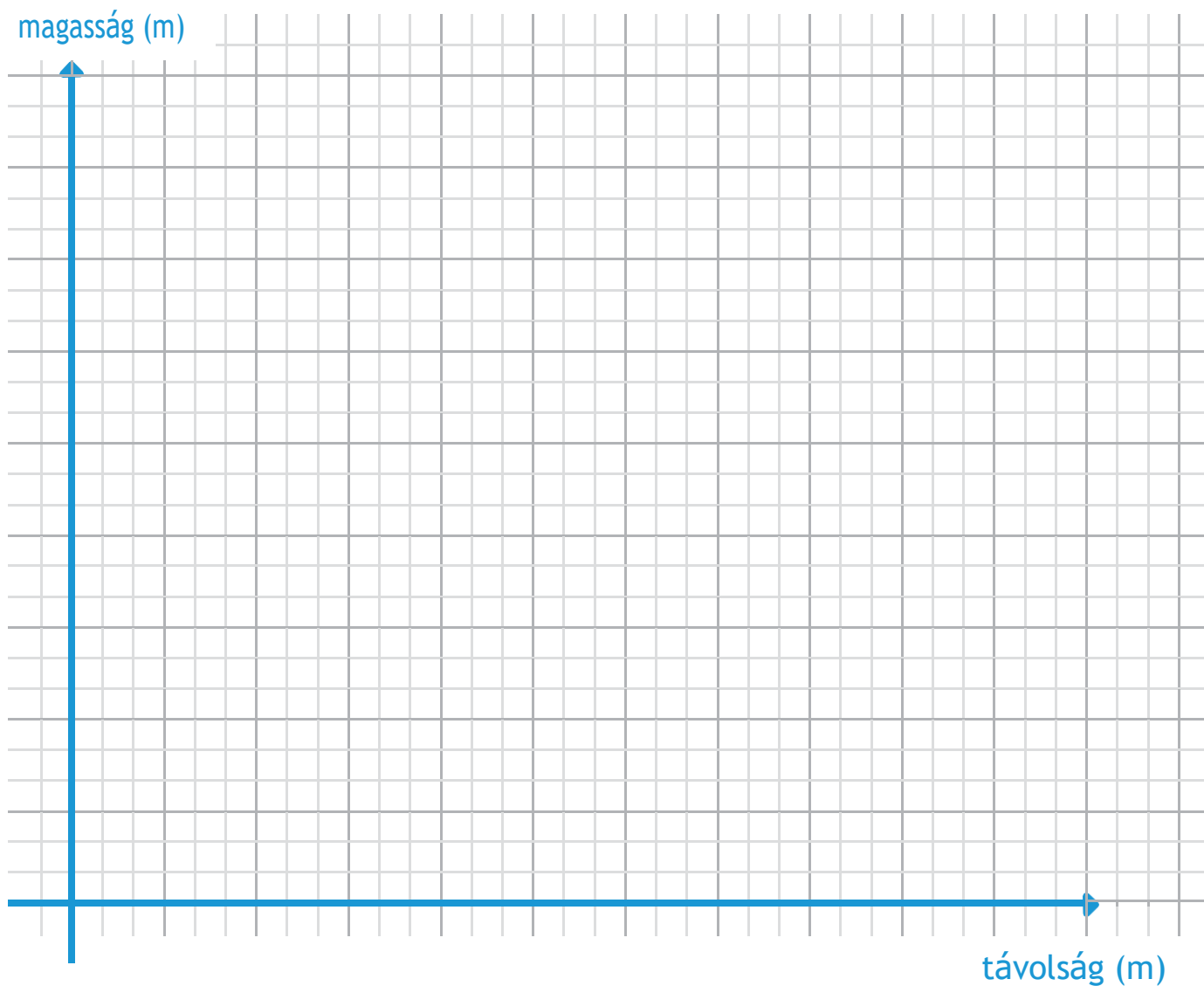


→ 2. tevékenység: Kilövésre felkészülni!

Készen álltok a rakéta kilövésére? Egy jól megépített papírrakéta akár 30 m-nél is messzebb juthat! A tevékenység során a kilövési adatok alapján kiszámítjátok a rakéta sebességét, és kiderítitek, milyen gyorsan kellene repülnie ahhoz, hogy eljusson a Holdra.

Gyakorlat

1. Kilövés előtt rajzoljátok meg a rakéta várható röppályát, földről történő indítás esetén.



2. A földről milyen szögben kell kilőni a rakétát ahhoz, hogy a lehető legmesszebb jusson?

3. Hány méter távolságra ért földet a rakéta a kilövőállástól?

4. A rakéta a várt pályát követte? **Igen / Nem**

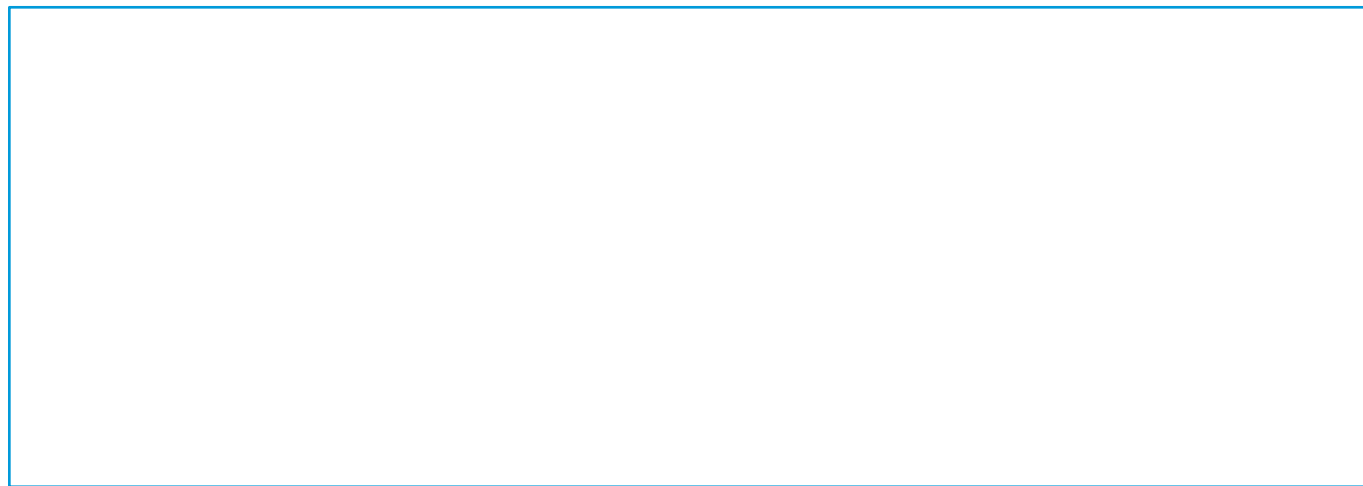
Az eredményeitek alapján soroljatok fel három lehetséges feltételt, amelyek a kilövésnél befolyásolták a rakéta röppályáját.

a. _____

b. _____

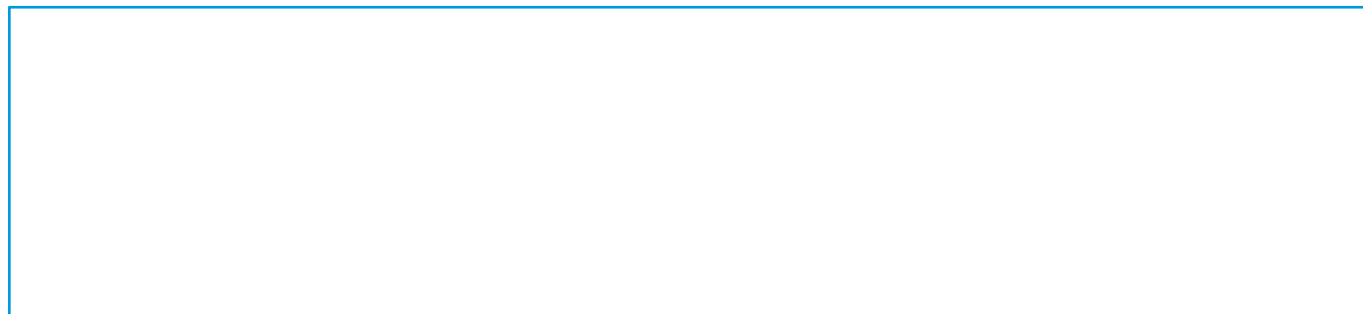
c. _____

5. Rajzoljatok egy erődiagramot, amely ábrázolja azokat az erőket, amelyek szerintetek egy hajtóművel működő rakétára hatnak a kilövés pillanatában.



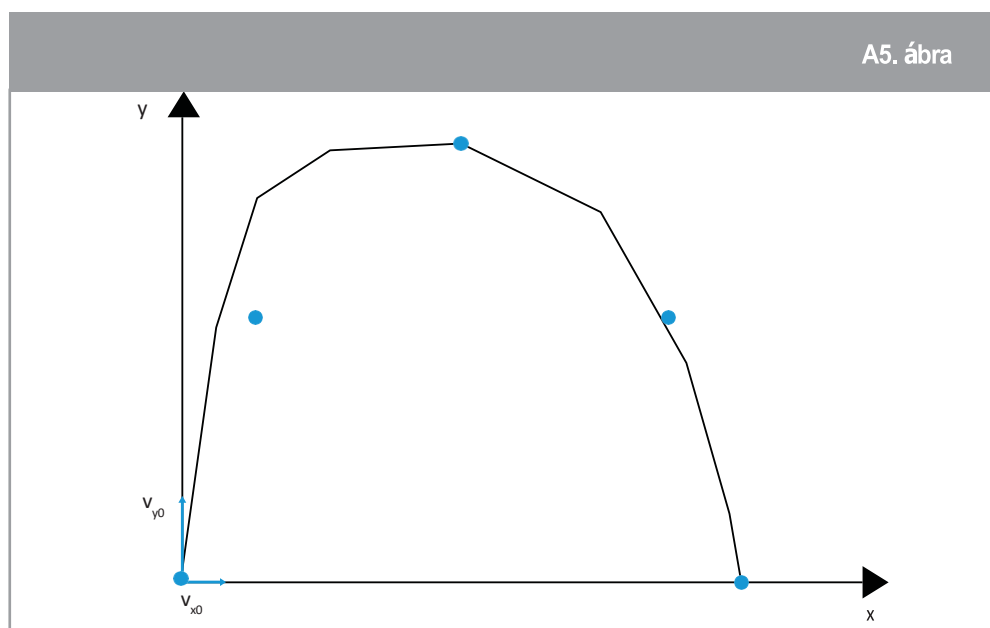
6. a. Szerintetek meddig tart egy valódi, hajtóművel működő rakéta esetében a kilövés fázisa? És a papírrakéta esetében?

b. Írjátok le a rakétára ható erőrendszer eredőjének egyenletét (csak a rakéta mozgásirányába ható erőket vegyétek figyelembe).



c. Fejezzétek ki a rakéta gyorsulását.

7. a. Egészítsétek ki a grafikont a rakéta vízszintes sebességkomponensével (v_x) és függőleges sebességkomponensével (v_y) az alábbi parabolán jelölt pontokban. Segítségképp megrajzoltuk a v_{x0} és v_{y0} kiindulási sebesség vektorokat. Vegyétek számításba a rakétára a repülés során ható erőket is, és gondolkodjatok el azon, hogy miért az adott röppályát követi a rakéta. A légellenállás hatását ebben a példában figyelmen kívül hagyjuk.



↑ A papírrakéták parabola alakú röppályája.

b. Írjátok le a sebesség változását a grafikonon.

8. Ha egy tárgy a Föld felszíne közelében (ahol feltételezhetjük, hogy a gravitációs mező egyenletes) parabola alakú pályát követ, esetében a távolság, a sebesség és az indítás szöge a következőképpen függ egymástól:

$$d = \frac{v^2 \sin(2\alpha)}{g}$$

ahol:
 d = távolság [m]
 v = sebesség [m/s]
 α = indítási szög
 g = gravitációs gyorsulás [m/s^2]

Rendezzétek át a fenti egyenletet a sebességre:

9. Használjátok a rakéta röptávolságára vonatkozó mérési eredményt (m) az előző feladatból. A 8. kérdésben szereplő egyenlet segítségével számítsátok ki a rakéta sebességét a kilövőállás elhagyásának pillanatában. Használjátok a $g=9,81 \text{ m/s}^2$ egyenletet.

10. Számítsátok át az eredményt km/h-ra: _____
11. Most, hogy megkaptátok a rakéták sebességét, vizsgáljátok meg, hogyan juthattok el a Holdra! Ehhez el kell érnetek a **szökési sebességet**, amelyet a következőképpen határozzunk meg:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

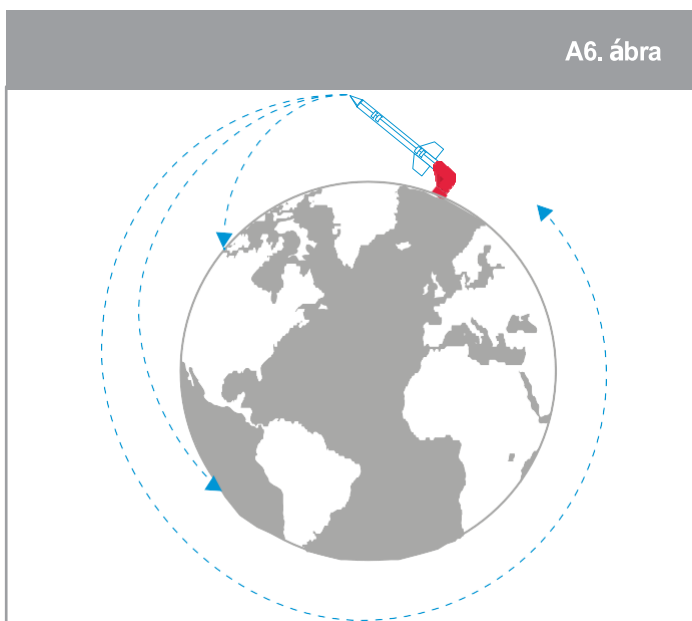
G a gravitációs állandó, $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$,

M a Föld tömege, $M = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$,

r a Föld sugara, $r = 6371 \text{ km}$.

Számítsátok ki a szökési sebességet a Föld esetében.

Mivel a Föld esetében a szökési sebesség nagy, a rakétákat pályára állítjuk, mielőtt végrehajtanánk velük az űrben való továbbutazáshoz szükséges manővereket. Ha a rakétákat egyenesen felfelé lőnénk ki, hamar visszaesnének a Földre. Ehelyett nagy tangenciális (érintőirányú, azaz a Föld felszínével párhuzamos) sebességgel kell elindítani őket.



↑ Nagy tangenciális (érintőirányú, azaz a Föld felszínével párhuzamos) sebességgel kilőtt rakéta pályája. A kellő sebességgel indított rakéta képes Föld körüli pályára állni.

12. Minél nagyobb a rakéta sebessége, annál messzebbre jut, mielőtt visszazuhanna a Földre. Egy bizonyos sebességet elérve azonban már nem esik vissza, hanem Föld körüli pályára áll. Ezt a sebességet nevezzük első kozmikus sebességnek (körsebesség), amely a következő egyenlettel számítható ki:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

G = gravitációs állandó

r = a pálya sugara (a Föld sugara hozzáadva a keringési pálya magasságához)

M = a Föld tömege

Számítsátok ki, mekkora sebességre van szükség egy űrhajó Föld körüli pályára állításához 300 km magasságban.

13. Hányszorosa ez a sebesség a rakéták sebességének?

14. Képzeljük azt, hogy a Holdra szállást követően vissza szeretnénk térni a Földre, vagy a Holdról tovább akarunk utazni az űrbe. Ehhez el kell tudnunk hagyni a Holdat. A szökési sebesség egyenesen arányos az objektum tömegével és fordítottan arányos az objektum sugarával.

$$M_{\text{Hold}} = 7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$$

$$r_{\text{Hold}} = 1737 \text{ km}$$

A Hold vagy a Föld esetében nagyobb a szökési sebesség? _____

15. Számítsátok ki a szökési sebességet a Hold esetében:

16. Vitassátok meg, miért jó kiindulópont a Hold az űrben való továbbutazáshoz.

Tudtad?

Európa űrrepülőtere a dél-amerikai Francia Guyanában található, közel az Egyenlítőhöz. A Föld forgása az Egyenlítőnél a leggyorsabb. A rakéták ki tudják használni ezt a „csúzli” hatást, amely 460 m/s-mal növeli meg a sebességüket, ennek köszönhetően pedig üzemanyag és pénz takarítható meg. A helyszín a geostacionárius transzfer pályára történő állításokhoz is ideális, mert így a műhold pályáján csak kevés változtatást kell végrehajtani.



→ 3. tevékenység: Ember a fedélzeten

A tevékenység során azt vizsgáljuk, milyen fontos tényezők a gyorsulás és az erőhatások az emberes küldetések szempontjából.

Gyakorlat

Elemezzük tovább a papírrakéta kilövését. A 2. tevékenység 9. kérdésében kiszámítottuk a rakéta sebességét (v) a kilövőállás elhagyásának pillanatában. A kilövés előtt a rakéta a kilövőcsőben volt, a kiindulási sebessége (u) tehát 0 m/s. Becsüljük meg a rakéta gyorsulását e rendkívül rövid idő alatt.

$$(1) \quad a = \frac{v - u}{t}$$

ahol

u = kiindulási sebesség

v = kilövési sebesség

a = gyorsulás

t = idő

Nehéz azonban megmérni azt az időtartamot, ami alatt a rakéta elhagyja a csövet.

Írjuk át ezért az egyenletet úgy, hogy kihagyjuk az időt. Használhatjuk azt a közelítést, hogy a megtett távolság (s , ami ebben az esetben a kilövőcső hossza) egyenlő az átlagsebesség és az idő szorzatával:

$$(2) \quad s = \frac{(u + v)}{2} t$$

1. Az (1) és (2) egyenletek segítségével fejezzük ki a gyorsulást (a).

2. Állandó gyorsulást feltételezve számítsuk ki az egyenlet segítségével a rakéta gyorsulását közvetlenül a kilövőállvány elhagyása előtt. Legyen a kilövőcső hossza (s) 30 cm, és használjuk a 2. tevékenységben kiszámított sebességet (ha nem számoltunk sebességet, legyen ez az érték $19,81 \text{ ms}^{-1}$).

Tudtad?

A G-erő valójában nem egy erő, hanem egy tárgy teljes gyorsulásának a Föld gravitációjából eredő gyorsuláshoz viszonyított aránya. A nagy G-erőknek való kitettség különböző módon hathat ránk. Például egy arcra adott pofon kis időre több száz G-t fejthet ki helyileg, mégis viszonylag kevés kárt okoz. A 16 G erőhatásnak egy percen keresztül való folyamatos kitettség viszont halálos lehet. Az űrhajósok a kilövés során általában 3–6 G-hatást tapasztalnak. Ezt azért képesek elviselni, mert a képen látható módon centrifugában edzik őket.



3. Számítsátok ki, hogy egy űrhajós a papírrakétákban mekkora G-erőt tapasztalna a kilövés során. Ehhez a 2. kérdésben kiszámított gyorsulást osszátok el a következő értékkel: $g = 9,81\text{m/s}^2$.

→ **Linkek**

Az Európai Űrügynökség segédanyagai

Egy egyszerű, 3D nyomtatással elkészíthető kilövőkar modellje

<https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/1PBL.zip>

Holdtábor-kihívás

esa.int/Education/Moon_Camp

Animációk a Holdra szállásról

esa.int/Education/Teach_with_the_Moon/Travelling_to_the_Moon

Oktatási segédanyagok

esa.int/Education/Classroom_resources

Hogyan működnek a rakéták?

esa.int/kids/en/learn/Technology/Rockets/How_does_a_rocket_work

Az Európai Űrügynökség űrprogramjai

Orion

esa.int/Our_Activities/Human_and_Robotic_Exploration/Orion

ESA hordozórakéták

esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Launch_vehicles/Europe_s_launchers

ESA űrszállítás

esa.int/Our_Activities/Space_Transportation

Ariane 6

ariane6.esa.int

Európa űrrepülőtere

blogs.esa.int/spaceport

További információk

Open rocket – ingyenes rakétaszimulációs eszköz

<http://openrocket.info>

Irány az űr! De melyik rakétával?

esa.int/spaceimages/Images/2019/06/To_space!_But_on_which_rocket

→ 1. melléklet: Egyszerű rakétakilövő rendszer készítése

Egy műanyag palack és egy 3D nyomtatott kilövőkar segítségével készítsünk kilövőállványt, amellyel a tanulók kilőhetik a papírrakétáikat. A kilövőkar (<https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/1PBL.zip>) 3D kinyomtatásához használhatunk saját 3D nyomtatót, egy MakerSpace (vagy azzal egyenértékű) 3D nyomtatót, vagy pedig egy tárgyak fájlból történő kinyomtatására alkalmas online szolgáltatást. 3D nyomtatás helyett barkácsolhatunk is kilövőkart kartonpapírból vagy műanyag könyökcsőből.

Eszközök

- 1 db A4-es papírlap
- 3D nyomtatott kilövőkar
- fél literes műanyag palack

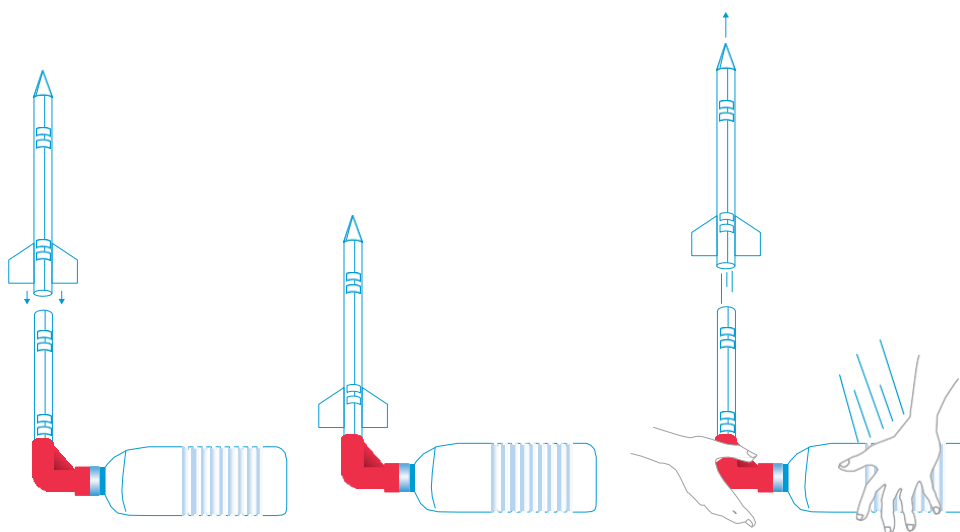
Elkészítés

1. Szorosan tekerjük fel a papírlapot.
2. Helyezzük a feltekert lapot a kilövőkar nyílásába, és engedjük el, hogy felvehesse a nyílás méretét.
3. A műanyag palackot tekerjük bele a kilövőkar másik nyílásába.
4. Kész is a rakétakilövő rendszer.



Használat

1. Csúsztassuk a rakétát a kilövőkarhoz csatlakoztatott papírcsőre.
2. Helyezzük a földre rakétakilövő rendszert a rakétával együtt.
3. A kilövéshez lépünk rá a palackra, vagy erősen nyomjuk meg.



→ 2. melléklet: Nyomás alatt álló kilövőállvány készítése

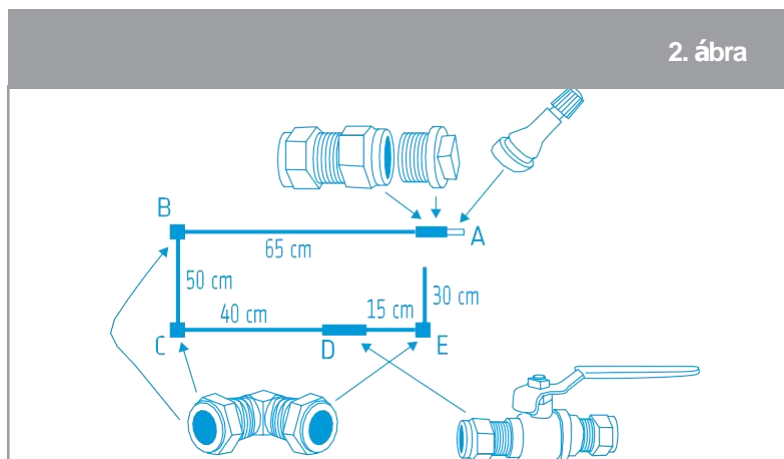
Útmutató egy sűrített levegővel működő rakétakilövő állvány elkészítéséhez.

Eszközök

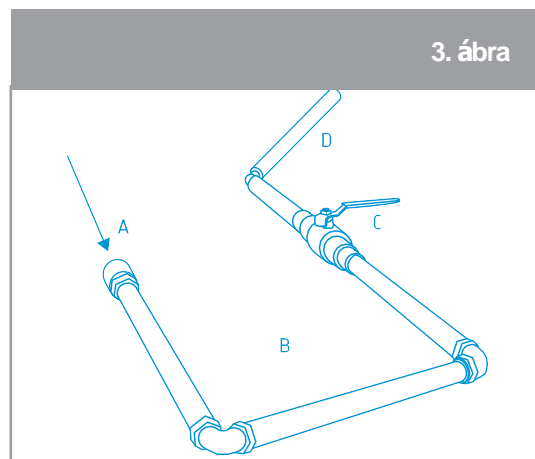
- rézcsövek (átmérő: 22 mm, hosszúság: 65 cm, 50 cm, 40 cm, 30 cm, 15 cm)
- 3 könyök csatlakozó
- 1 csőcsatlakozó (az egyik végén normál csatlakozóval, a másikon belső csatlakozóval)
- 1 csődugó
- 1 golyóscsap
- 1 légszelep
- légszivattyú vagy légkompresszor

Elkészítés

1. Fúrjunk lyukat a csődugóba, és helyezzük be a szelepet.
2. Csatlakoztassuk a szelepet a csőcsatlakozóhoz.
3. Nem szabad túlságosan meghúzni a harmadik könyök csatlakozót, mert ezzel tudjuk változtatni a kilövési szöget.
4. Csatlakoztassuk a többi csövet és csőcsatlakozót az alábbiak szerint:



↑ Így készül a rakétakilövő rendszer. A – az egyenes szerelvény, a csődugó és a szelep csatlakozása; B – könyök csatlakozó; C – könyök csatlakozó; D – golyóscsap a rakétakilövő rendszeren belüli nyomás levezetésére; E – harmadik könyök csatlakozó



↑ Az elkészült rakétakilövő rendszer.

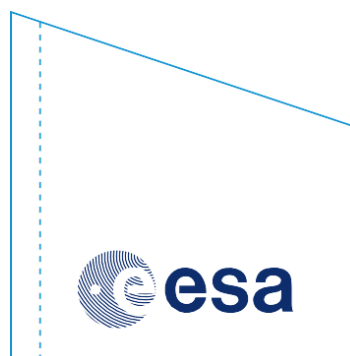
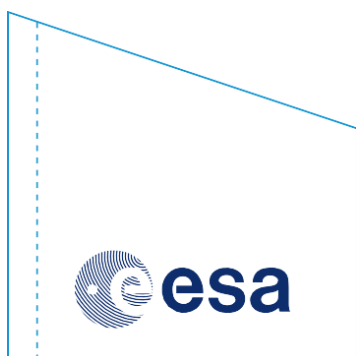
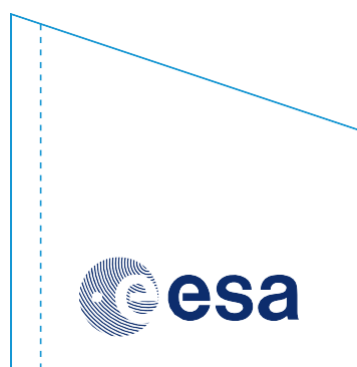
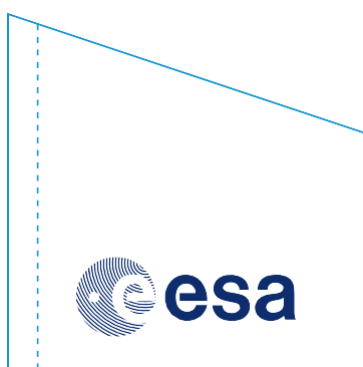
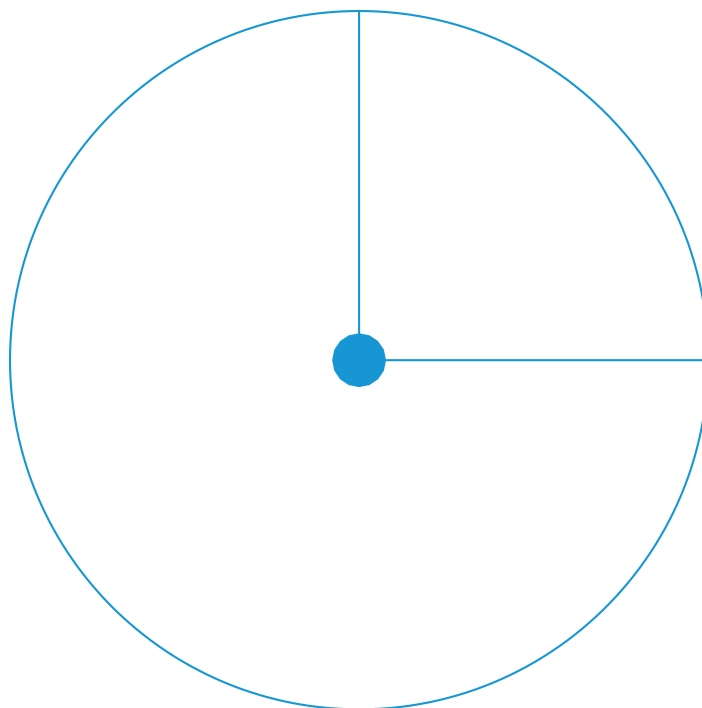
Használat

1. Állítsuk be a rakétakilövő rendszer szögét.
2. Zárjuk el a szelepet, hogy a levegő ne tudjon távozni.
3. Egy biciklipumpával pumpáljuk a rendszert maximum 7 bar nyomásig.
4. Nyissuk ki a szelepet, és engedjük be a sűrített levegőt a rendszerbe (ez lövi ki a rakétát).

Egészségügyi és biztonsági szabályok

- Rendszeresen ellenőrizzük és húzzuk meg a csőcsatlakozásokat, mert a használat során meglazulhatnak.
- Tartsuk a lábunkat a rakétakilövő rendszeren, hogy el ne mozduljon.
- Tilos a nyomás alatt álló rakétakilövő rendszer elé állni.
- A maximális nyomás 7 bar vagy 101 psi.

→ 3. melléklet: Szárny- és orrkúpsablon az 1. tevékenységhez



→ 4. melléklet: Táblázat a rakéták által megtett távolság feljegyzéséhez

[illegible]