



Osnovna šola Pohorskega odreda
Slovenska Bistrica



RAZISKOVALNA NALOGA

»CUKER« REDI, ALI LAHKO TUDI LETI?

Raziskovalno področje: TEHNIKA IN TEHNOLOGIJA



Avtorji:

Marcel Barukčič
Patrik Flis
Gabrijel Reis

Mentorja:

Asja Perhoč,
prof. biologije in kemije
dipl. ekologinja naravovarstvenica (UN)

Miran Lovrenčič,
prof. tehnike in tehnologije in fizike

Slovenska Bistrica, 2025

Zahvala

Zahvalili bi se našima mentorjema, profesorici biologije in kemije, gospe Asji Perhoč, ter profesorju proizvodno-tehnične vzgoje in fizike, gospodu Miranu Lovrenčiču. Zahvaljujemo se tudi profesorici slovenščine in angleščine, gospe Nini Ančič, za prevod povzetka v angleški jezik in lektoriranje naloge.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	6
1.1	NAMEN.....	6
1.2	HIPOTEZE.....	6
1.3	CILJI.....	6
2	TEORETIČNI DEL.....	7
2.1	ZGODOVINA.....	7
2.1.1	ZAČETKI UPORABE RAKET.....	7
2.1.2	UPORABA RAKET KONEC 18. IN ZAČETEK 19. STOLETJA.....	7
2.1.3	UPORABA RAKET V 20. STOLETJU.....	7
2.1.4	RAKETE MED 2. SVETOVNO VOJNO.....	8
2.1.5	PRVI PRISTANEK NA LUNI.....	8
2.2	STABILNOST RAKETE.....	9
2.3	KARMANOVI ŽLEBOVI.....	9
2.4	SMER LETA RAKETE.....	10
2.5	DESTABILIZACIJSKA SILA RAKETE.....	10
2.6	DOLOČITEV STABILNOSTI RAKETE.....	10
2.7	VRSTE RAKET.....	11
2.7.1	RAKETNI MOTORJI NA TEKOČE GORIVO.....	11
2.7.1.1	DELOVANJE MOTORJA NA TEKOČE GORIVO.....	12
2.7.2	RAKETNI MOTORJI NA TRDO GORIVO.....	12
2.7.2.1	DELOVANJE MOTORJA NA TRDO GORIVO.....	12
2.8	KRILCA RAKETE.....	13
2.8.1	OBLIKA KRILC RAKETE.....	13
2.9	KAJ JE SREDIŠČE TLAKA NA RAKETI IN KAKO GA IZRAČUNATI?.....	15
2.9.1	POENOSTAVLJEN IZRAČUN CP.....	16
2.9.2	MEHANSKO DOLOČANJE CP.....	16
3	EMPIRIČNI DEL.....	17
3.1	POTEK DELA.....	17
3.1.1	LABORATORIJSKO DELO.....	17
3.1.2	IZDELAVA RAKETE.....	17
3.1.2.1	TEŽAVE PRI IZDELAVI RAKETE.....	18
3.1.3	TERENSKO DELO.....	20
3.1.3.1	SERIJA POSKUSOV ŠT. 1:.....	20
3.1.3.2	SERIJA POSKUSOV ŠT. 2:.....	20
3.1.3.3	SERIJA POSKUSOV ŠT. 3:.....	21
3.1.3.4	SERIJA POSKUSOV ŠT. 4:.....	21
3.1.3.5	SERIJA POSKUSOV ŠT. 5:.....	22
3.1.3.6	SERIJA POSKUSOV ŠT. 6:.....	23
3.1.3.7	SERIJA POSKUSOV ŠT. 7:.....	23
3.2	METODOLOGIJA DELA.....	24
3.2.1	METODE DELA.....	24
3.2.2	RAZISKOVALNI VZOREC.....	24
3.2.3	POSTOPKI ZBIRANJA IN OBDELAVE PODATKOV.....	24
3.3	REZULTATI IN INTERPRETACIJA.....	25
4	RAZPRAVA.....	26
5	ZAKLJUČEK.....	27
5.1	IZHODIŠČA ZA NADALJNO RAZISKAVO.....	27
6	VIRI IN LITERATURA.....	28
7	PRILOGE.....	29
7.1	PRILOGA 1: TEHNOLOŠKI LIST.....	29
7.2	PRILOGA 2: DELOVNI LIST.....	30
7.3	PRILOGA 3: NAČRTI ZA IZDELAVO RAKETE.....	31

KAZALO SLIK

Slika 1: Kitajski vojak s puščico na smodnik. (Benson T., 2021)	7
Slika 2: Stabilnost rakete (Hall N., 2023, Rocket Stability)	9
Slika 3: Raketa na tekoče gorivo. (Hall N., 2021, Liquid Rocket Engine)	11
Slika 4: Raketa na trdo gorivo. (Hall N., 2021, Solid Rocket Engine)	12
Slika 5: Razlaga oblike krilc. (Richard Nakka's Experimental Rocketry Web Site, 2024)	14
Slika 6: Izračun stabilnosti rakete (Hall N., 2023, Rocket Center of Pressure)	15
Slika 7: Določanje središča tlaka na raketi. (Hall N., 2023, Rocket Center of Pressure)	15
Slika 8: Dizajniranje krilc rakete TopSolid7 - levo. (osebni arhiv)	17
Slika 9: Dizajniranje špica rakete TopSolid7 - desno. (osebni arhiv)	17
Slika 10: Tehtanje sestavin za pogon – levo. (osebni arhiv)	18
Slika 11: Polnjenje raketnega motorja – sredina. (osebni arhiv)	18
Slika 12: Motorji rakete in pripomočki za delo – desno. (osebni arhiv)	18
Slika 13: Preizkušanje stabilnosti rakete. (osebni arhiv)	19
Slika 14: Prvi poskus motorja rakete. (osebni arhiv)	20
Slika 15: Drugi model rakete, pripravljen na vzlet. (osebni arhiv)	20
Slika 16: Eksplozija rakete. (osebni arhiv)	21
Slika 17: Prvi uspešen let rakete. (osebni arhiv)	22
Slika 18: Drugi uspešni polet. (osebni arhiv)	22
Slika 19: Polet rakete. (osebni arhiv)	23
Slika 20: Uspešen vzlet rakete. (osebni arhiv)	23

KAZALO TABEL

Tabela 1: Prikaz rezultatov meritev.	25
---	----

POVZETEK

Povod za našo raziskovalno nalogo je bil poskus v drugem razredu, ko smo iz embalaže šumečih tablet, s pomočjo papirja, izdelali raketo, ki je kot gorivo uporabljala reakcijo med šumečo tableto in vodo. Raketo smo oblikovali s tremi krili, da smo jo lahko postavili in je samostojno stala. V zrak je poletela različno visoko, najvišji polet pa je dosegla nekje 3 metre visoko. Sedaj, v devetem razredu, pa smo prišli na idejo, kako bi ta raketa lahko poletela višje. Po pregledu literature smo ugotovili, da bi za realizacijo naše zamisli potrebovali drug tip rakete ter drugo vrsto goriva. Za gorivo smo uporabili mešanico kalijevega nitrata (KNO_3) ter sladkorja ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) v različnih razmerjih, saj nas je zanimalo, katero je tisto, ki daje najboljše rezultate. Ker je reakcija med tema dvema snovema močno eksotermna, smo za material rakete uporabili trdo cev iz polivinil klorida (PVC), da se raketa ob vzletu ne bi uničila. Vprašali smo se tudi, kako na polet rakete vpliva oblika ter velikost kril, zato smo se lotili izdelave različnih oblik kril. Menimo, da nam bo naše raziskovanje dalo odgovor na številna vprašanja, ki smo si jih zastavili pred našim raziskovanjem.

ABSTRACT

Our research has been inspired by an experiment in the 2nd Grade, when we had used paper to make a rocket which used the reaction between an effervescent tablet and water as fuel. We had designed the rocket with three wings so that it could stand on its own. It had flown up in the air at different heights, reaching a maximum height of about 3 metres. Now, in the 9th Grade, we have come up with an idea of how this rocket could fly higher. After studying the literature, we have realised that we would need a different type of rocket as well as a different type of fuel to realise our plan. We have used a mixture of potassium nitrate (KNO_3) and sugar ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) in different proportions as the fuel, because we wanted to know which one would give the best results. As the reaction between these two substances is highly exothermic, we have used a rigid polyvinyl chloride (PVC) to prevent the rocket from being destroyed during the take-off. We also wanted to find out how the shape and size of the wings affect the rocket's flight, so we have made different wing shapes. We believe that our research will give us answers to many questions that we had asked ourselves before the research.

1 UVOD

Ideja za raziskovalno nalogo se nam je porodila ob misli, kako je možno, da inženirjem v vesoljski industriji uspe tako veliko in težko plovilo, kot je raketa, pripraviti do stabilnega in zanesljivega leta v Zemljini razmeroma gosti atmosferi. Ta tema nas je še dodatno navdušila, ko smo se spomnili, da smo v drugem razredu izdelovali majhne rakete, ki so letele s pomočjo šumečih tablet. Ko smo vse skupaj malce raziskali, smo ugotovili, da inženirji stabilnost leta v atmosferi dosežejo s krilci in pravo porazdelitvijo teže. To nas je navdihnilo, da smo pričeli z raziskovanjem, kako velikost in oblika krilc ter seveda tudi drugi dejavniki vplivajo na stabilnost leta rakete. Ker pa seveda nismo imeli časa in sredstev, da bi gradili pravo raketo, smo naše raziskave izvajali z modeli raket, ki smo jih sami naredili.

1.1 NAMEN

Zanimalo nas je, kako oblika in število krilc vplivata na let rakete v resničnem življenju, zato smo želeli to preizkusiti na modelu rakete. Ko smo ugotavljali, kako bi naredili čim enostavnejšo in čim cenejšo raketo, smo zasledili, da nekateri modelarji namesto dragih kupljenih raketnih modelarskih motorjev naredijo svojo mešanico goriva iz sladkorja in kalijevega nitrata, ki je približno enako učinkovita kot modelarski motorji. Ker so nam te sestavine bile dosegljive, smo tudi mi naredili model rakete po podobnem postopku.

1.2 HIPOTEZE

Pred raziskovanjem smo si zastavili naslednje hipoteze:

- Spletni posnetek rakete na sladkor in KNO_3 je verodostojen.
- Število krilc vpliva na stabilnost leta rakete.
- Bolj kot je center težnosti pomaknjen proti repu rakete, bolj stabilen bo let.
- Razmerje sladkorja in kalijevega nitrata vpliva na višino leta rakete.
- Premer luknje na motorju vpliva na silo potiska, ki jo ustvarijo izhajajoči plini ter na pritisk v cevi motorja.

1.3 CILJI

Naši cilji so:

- ugotoviti, ali so popularni posnetki na spletu o raketah na sladkor verodostojni.
- ugotoviti, ali mešanica sladkorja in kalijevega nitrata lahko deluje kot pogonsko gorivo in ali je dovolj močna, da ponese raketo v zrak.
- izdelati raketo, ki poleti v zrak in raketo, ki lahko poleti višje kot deset metrov.
- preizkusiti, ali so za boljši polet rakete uporabnejša tri ali štiri krilca.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 ZGODOVINA

2.1.1 ZAČETKI UPORABE RAKET

Začetki uporabe raket segajo med 13. do 16. stoletje. Prve so bile uporabljene kot orožje v bitki pri Kai-fung-fuju leta 1232, kjer sta se bojevala Kitajska proti Mongolskemu cesarstvu. Te rakete so bile pritrjene na palico, iz katere so po prižigu odletele proti sovražniku. Poletele so zaradi smodnika v cevi, ki je ob vžigu sprožil reakcijo s potisno silo skozi odprtino na dnu, da je raketa poletela.



Slika 1: Kitajski vojak s puščico na smodnik. (Benson T., 2021)

Mongolci so po bitki začeli izdelovati lastne rakete ter jih začeli uvažati v Evropo. Roger Bacon iz Anglije je v 15. stoletju delal na izboljšavah dometa raket. Jean Froissart je v Franciji ugotovil, da je bolje izstreliti raketo iz cevi. Italijan Joanes de Fontana je zasnoval prvi torpedo za vžig sovražnikovih ladij, ki pa so v 16. stoletju postale neuporabne.

V 17. stoletju je angleški znanstvenik sir Isaac Newton svoje razumevanje fizičnega gibanja organiziral v tri znanstvene zakone, danes poznane pod imenom Newtonovi zakoni. Ti zakoni so bili ključni za načrtovanje nadaljnjih raket.

2.1.2 UPORABA RAKET KONEC 18. IN ZAČETEK 19. STOLETJA

V začetku 18. stoletja so rakete doživele preporod v vojne namene, ko so Britanci videli uspehe indijskih baraž leta 1792. Podobne rakete so po odločitvi polkovnika Williama Congreva začeli uporabljati tudi v britanski vojski, in sicer v napadih na Fort McHenry v vojni leta 1812.

Rakete do takrat še niso bile močne posamično, zato so jih morali izstreliti par tisoč, da so sovražniku naredili malo škode. (Benson T., 2021)

2.1.3 UPORABA RAKET V 20. STOLETJU

Konec 19. stoletja in začetek 20. stoletja sta Hermann Ganswindt in Konstantin E. Ciolkovski uporabila Newtonov zakon kot teoretično podlago za izdelavo raketnega motorja. Leta 1912 je

Robbert Goddard skonstruiral nove šobe za raketne motorje, s čimer bi povečali pretočno hitrost plinov. Medtem se je v Nemčiji mladi Oberth ukvarjal z enačbo, ki pravi, da je vzgon rakete enak zmnožku hitrosti izstopnih plinov ter naravne mase rakete. S to enačbo je postavil osnovo sodobne tehnike velikih raket. Ko so bile skonstruirane nove šobe za povečano hitrost izstopnih plinov, so morali razviti nova pogonska goriva, ki bi dala raketi možnost poleta izven atmosfere.

Gorivo raket so razvijali naslednji izumitelji:

- Goddard je razvil gorivo na podlagi bencina ter tekočega dušika.
- Walter je odkril, da je vodikov peroksid ustrezno oksidacijsko sredstvo.
- Zborovski pa je namesto peroksida uporabil koncentrirano dušikovo kislino.

Po rešenem vprašanju goriva se je bilo treba lotiti konstrukcije. Pomembni problemi so bili konstrukcija hladilnih plošč ter stabilnost, ki so jo rešili z žiroskopom ter krilci.

Po treh letih so pod vodstvom Warnerja von Brauna ustvarili raketo V2, ki je poletela 90 km visoko ter lahko preletela 190 km. Leta 1949 se je novo zasnovana raketa WAC Corporal povzpela 403 km visoko. Ta raketa je bila dvostopenjska, saj se je na višini 35 km ločila od V 2. Z večjimi raketami so te lahko v vesolje prenesle prve satelite, kot je sovjetski Sputnik ter ameriški Explorerji. Izvajali so tudi poskuse na živalih, da so videli, kako se odzovejo na breztežnost. Tehnološki razvoj je zelo pospešila tekma za Luno. Po pristanku na luni so začeli pošiljati v vesolje rakete s sateliti na Mars ter Venero, ki so raziskovali življenjske razmere na planetih. (Du Ray van Beest Holle idr.,1982)

2.1.4 RAKETE MED 2. SVETOVNO VOJNO

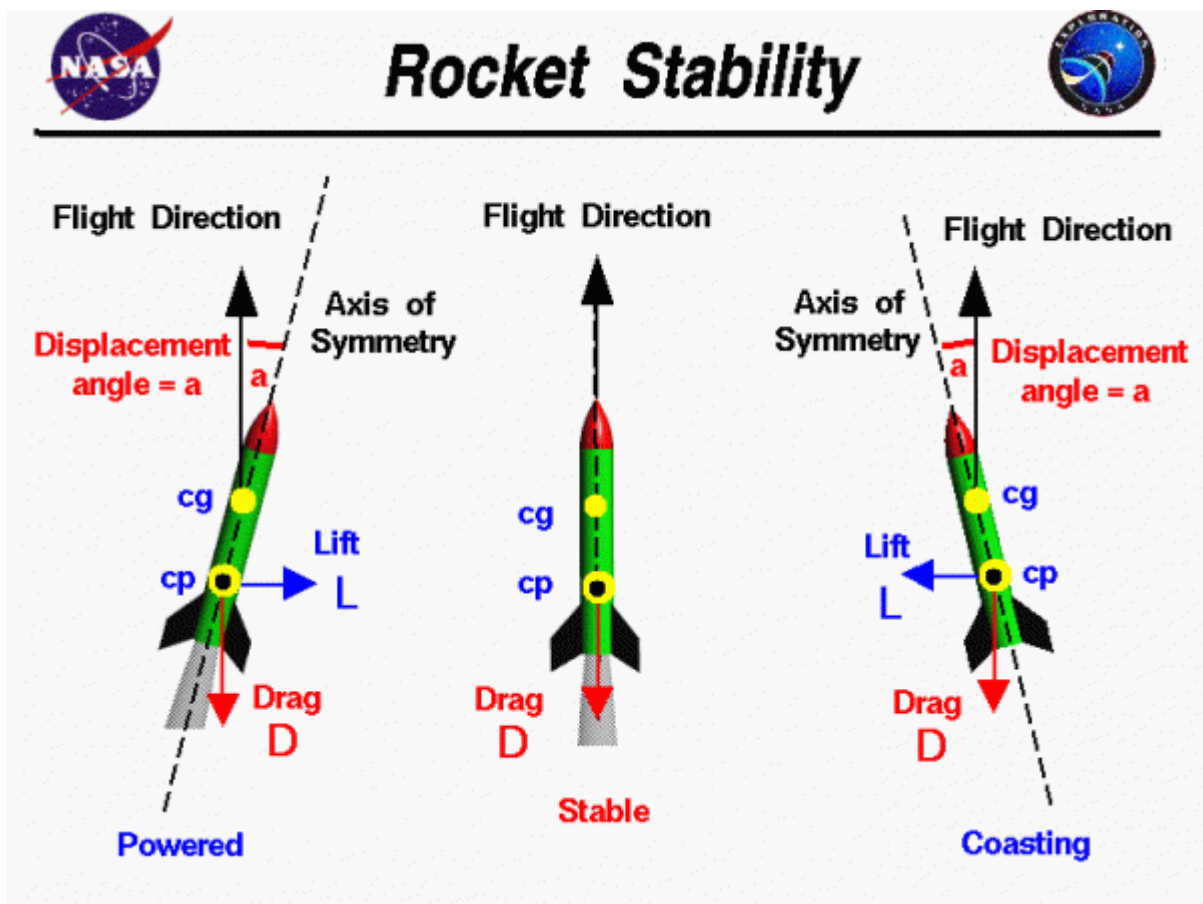
8. septembra leta 1944 med vojno so enote nemškega Wehrmachta z raketami V-2, ki so se sprožile zaradi reakcije na infra rdeče žarke iz izpušnih motorjev, prvič napadle zavezniška mesta, kot so Pariz, Haag ter London. Raketo so poimenovali kot "maščevalno orožje". Takšno ime so ji nadali zaradi želje po maščevanju kot vzrok za konstantno bombardiranje zavezniških letal na nemška mesta. Do konca vojne je bilo izstreljenih več kot tri tisoč takšnih raket. Rakete so izstreljevali predvsem na London ter ostala britanska mesta. Rakete so uporabljali do konca marca leta 1945 nad belgijskimi mesti Antwerpen in Liege, z njimi so osvajali cilje na Nizozemskem ter Franciji. V napadih je umrlo več kot 9000 civilistov, predvsem v Veliki Britaniji. (Osmanagić D., 2018 in Repe B., 1996)

2.1.5 PRVI PRISTANEK NA LUNI

Na Luno je prvi stopil Neil Armstrong ter z njim tudi Buzz Aldrin 21. julija 1969. S tem so ZDA močno prehiteli Sovjetsko zvezo v tekmi za vesolje. Po tem pristanku so se vrstili še številni drugi poizkusi na Mesec. Ciklus poletov se je končal julija 1975 s sovjetsko-ameriško operacijo. (Du Ray van Beest Holle idr., 1982 in Palumbo P., Zunazzi A. 1998).

2.2 STABILNOST RAKETE

Med letom modela rakete lahko majhni sunki vetra ali potisne nestabilnosti povzročijo, da se raketa "ziba" ali spremeni svoj položaj med letom. Kot vsak predmet v letu se model rakete vrti okoli težišča CG (Center of Gravity), prikazanega kot rumena pika na sliki. Vrtenje povzroči, da se spremeni smer leta rakete ali celo privede do tega, da raketa izgubi njeno stabilnost in strmoglavi. Kadarkoli je raketa usmerjena v pot leta, telo rakete in krilca ustvarjajo silo dviganja, aerodinamični upor pa ostaja dokaj konstanten pri majhnih naklonih. Dvig in upor delujeta skozi središče tlaka CP (Center of Pressure) rakete, ki je prikazano kot črna in rumena pika na sliki. (Hall N., 2023, Rocket Stability)



Slika 2: Stabilnost rakete (Hall N., 2023, Rocket Stability)

2.3 KARMANOVI ŽLEBOVI

Za stabilnost rakete v letu je pomembno tudi, kako jo zračni tokovi "oblivajo". Če se zrak ob trupu rakete preveč vrtinči, lahko povzroči veliko motenj v letu. Karmanovi žlebovi se nahajajo na prehodu trupa v krilca in povežejo zračni tok s trupa in krilca, na ta na način zmanjšajo turbulence. (Čuden J., Snoj R., 1991)

2.4 SMER LETA RAKETE

Na sliki 2 so prikazani trije primeri, zakaj je smer rakete navpična. V središču slike je raketa nemotena, os pa je poravnana s smerjo leta. Upor rakete je vzdolž osi in ni ustvarjenega dvigala. Na levi strani slike je raketa na pogon, ki je imela nos rakete moten na desni. Na desni strani slike je jadrna raketa imela nos rakete moten na levi. Kot v obeh primerih označimo s simbolom a . Glede na ohišje rakete na pogon vidimo, da se ustvari sila dviganja, ki je usmerjena proti desni ali vetrni strani rakete. Na ohišju jadrne rakete je dvigalo usmerjeno proti levi, tudi na vetrno stran rakete. Pri ohišju s pogonom tako dvig kot upor proizvajata navor ali zvijanje v nasprotni smeri urinega kazalca okoli težišča; rep rakete se bo pod delovanjem obeh sil zamahnil v desno, nos pa se bo premaknil v levo. Za jadri primer tako dvig kot upor proizvajata navor v smeri urinega kazalca okoli težišča; rep rakete se bo pod delovanjem obeh sil zamahnil v levo, nos pa se bo premaknil v desno. V obeh primerih sile dviga in upora premaknejo nos nazaj proti smeri leta. Inženirji to imenujejo obnovitvena sila, ker sile "obnovijo" vozilo v začetno stanje in raketa je stabilna. (Hall N., 2023, Rocket Stability)

2.5 DESTABILIZACIJSKA SILA RAKETE

Za model rakete, ki je na sliki 2, obstaja obnovitvena sila, ker je središče tlaka pod težiščem. Če je središče tlaka nad težiščem sile vzgona, raketa ne ohrani svoje smeri, smer navora, ki ga ustvarjajo sile, pa je obrnjena. To se imenuje destabilizacijska sila. Vsak majhen premik nosu ustvarja sile, ki povzročajo povečanje premika. Pogoji za stabilno raketo so, da mora biti središče tlaka pod težiščem. (Hall N., 2023, Rocket Stability)

2.6 DOLOČITEV STABILNOSTI RAKETE

Obstaja razmeroma preprost test, ki ga lahko uporabimo na modelu rakete za določitev stabilnosti. Zavezati moramo vrstico okoli telesa rakete na mestu težišča. Prepričati se je potrebno, da sta padalo in motor pravilno nameščena, saj mora biti model rakete enako težek, kot bo raketa težka ob poletu. Nato vrtimo raketo v krogu okoli sebe, medtem ko držimo drugi konec vrvice. Po nekaj vrtljajih, če je nos usmerjen v smeri vrtenja, je raketa stabilna, središče pritiska pa je pod težiščem. Če se raketa niha ali rep kaže v smer vrtenja, je raketa nestabilna. Stabilnost lahko povečamo tako, da znižamo središče pritiska, povečamo površino krilc ali dvignemo težišče, na primer z dodajanjem teže nosu.

Sodobne rakete v polnem obsegu se za stabilnost običajno ne zanašajo na aerodinamiko. Rakete v polnem obsegu vrtijo svoje izpušne šobe, da zagotovijo stabilnost in nadzor. Zato na ojačevalniku (booster) Delta, Titan ali Atlas krilca niso vidna. To so ojačevalniki, ki jih uporablja Nasa. (Hall N., 2023, Rocket Stability)

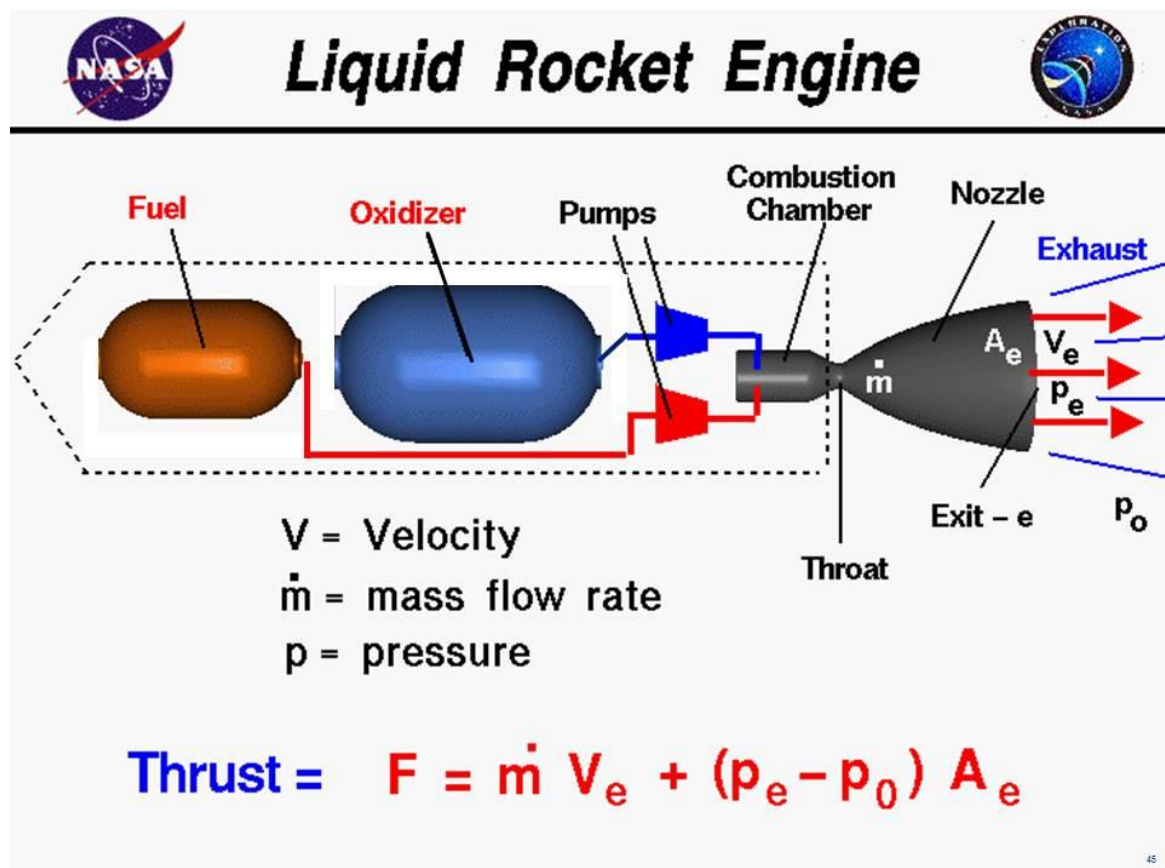
2.7 VRSTE RAKET

Rakete so plovila, namenjena doseganju višjih hitrosti in razdalj v krajšem času. Ker raketni motorji ne potrebujejo dodatnega dotoka kisika iz okolice, so primerni za plovila, ki letijo na višjih višinah in za vesoljska plovila.

Obstajata dve osnovni vrsti raketnih motorjev, glede na vrsto goriva: raketni motorji na trdo gorivo in raketni motorji na tekoče gorivo. (Hall N. 2023. Propulsion System)

2.7.1 RAKETNI MOTORJI NA TEKOČE GORIVO

Raketni motorji na tekoče gorivo se običajno uporabljajo pri raketah za polete v vesolje. Takšne motorje imajo vse večje rakete, ki jih izdelujejo v vesoljski industriji za komercialne namene. Vendar pa izraz »tekoče gorivo« ne pomeni fosilnega goriva oz. olja, kot je na primer dizel. Takšni motorji za gorivo uporabljajo pline, ki pa so v gorivnih rezervoarjih pod zelo visokim pritiskom, zato so v tekočem agregatnem stanju. Najpogosteje se za gorivo uporablja vodik, za oksidator pa kisik. Ena izmed prednosti pri tej vrsti motorjev je, da »tekoče« gorivo zasede manj prostora kot na primer trdo gorivo, saj je bolj stisljivo. (Hall N., 2021, Liquid Rocket Engine)



Slika 3: Raketa na tekoče gorivo. (Hall N., 2021, Liquid Rocket Engine)

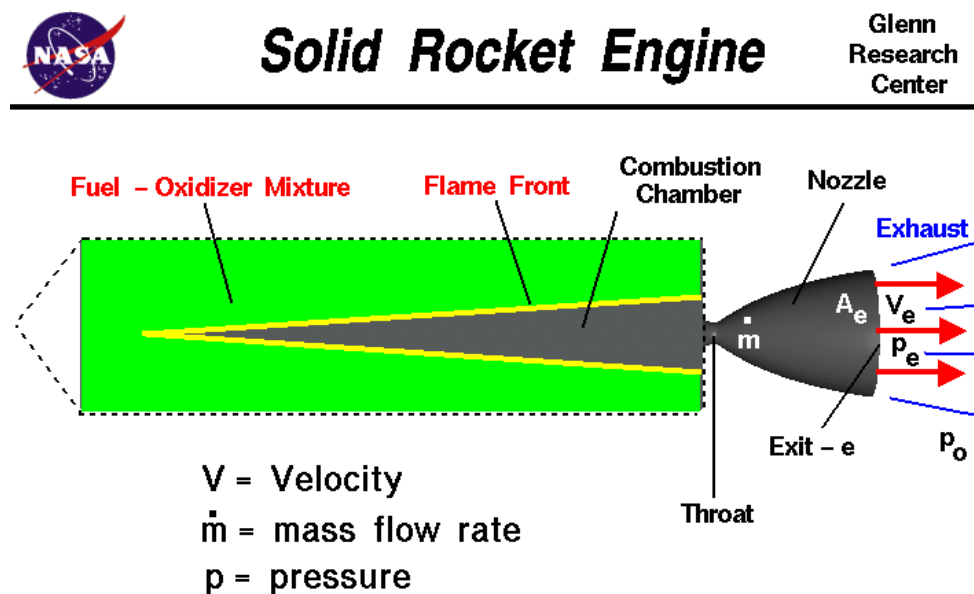
2.7.1.1 DELOVANJE MOTORJA NA TEKOČE GORIVO

Pri motorju na tekoče gorivo sta oksidator in gorivo shranjena v ločenih rezervoarjih. Ko motor obratuje, črpalke črpajo gorivo in oksidator v zgorevalno komoro, kjer se zmešata in poteče zgorevanje te mešanice. Vroči plini, ki nastajajo pri gorenju z visoko hitrostjo in pritiskom, uhajajo skozi šobo, kar zaradi *tretjega Newtonovega zakona** raketo premakne/dvigne v zrak. Oksidator je snov, ki omogoči oz. pospeši gorenje goriva, npr. kisik je nujno potreben za gorenje. Pri tem se ustvari veliko energije v obliki potiska, ki izhaja skozi šobo.

**Tretji Newtonov zakon* pravi, da če deluje prvo telo na drugo telo z neko silo, deluje drugo telo na prvo telo z obratno enako silo. (Hall N., 2021, Liquid Rocket Engine)

2.7.2 RAKETNI MOTORJI NA TRDO GORIVO

Raketni motorji na trdo gorivo so pogosto uporabljeni pri modelarskih raketah, ki običajno nimajo dovolj potiska, da bi poletele v vesolje. Gorivo za takšne motorje je v trdnem agregatnem stanju, pogosto je gorivo zmes več različnih kemikalij. (Hall N., 2021, Solid Rocket Engine)



$$\text{Thrust} = F = \dot{m} V_e + (p_e - p_0) A_e$$

Slika 4: Raketa na trdo gorivo. (Hall N., 2021, Solid Rocket Engine)

2.7.2.1 DELOVANJE MOTORJA NA TRDO GORIVO

Pri motorju na trdo gorivo sta oksidator in gorivo že pomešana ter stisnjena (potlačena), zato da imata čim manjši volumen, kar povzroči hitrejšo in močnejšo reakcijo. Pri takšni vrsti raketnih motorjev gorivo zgore hitreje kot pri raketnih motorjih na tekoče gorivo. Manjše rakete na trdo gorivo se zanašajo tudi na njihovo majhno maso, kar pomeni, da ko gorivo zgore, lahko letijo nekaj sekund tudi brez potiska. (Hall N., 2021, Solid Rocket Engine)

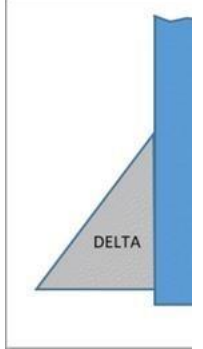
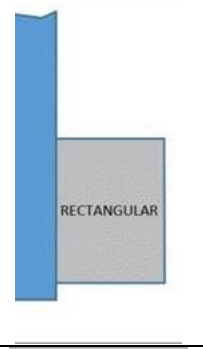
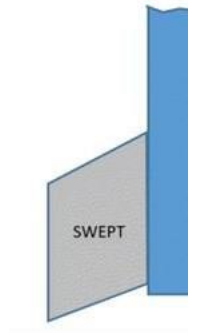
2.8 KRILCA RAKETE


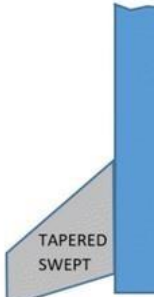
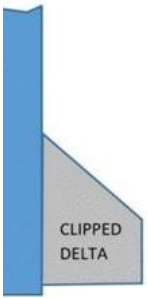
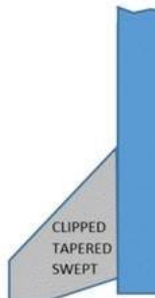
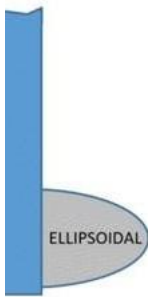
Niz krilc (običajno 3 ali 4, lahko pa tudi več) je znan kot krilca. Niz krilc, izdelanih kot ena sama enota, nameščenih na cilindrični tulec, ki drsi čez telo rakete, je znan kot *fincan*.

Stabilnost rakete, stabilizirane s krilci, je odvisna od *normalne sile krilc*, ki nastane, ko raketa teži k odklonu od ravne poti leta, z drugimi besedami, leti pod vpadnim kotom, ki ni enak nič. Ta sila, ki deluje normalno ali pravokotno na ravnino krilc, daje raketi rotacijski (korektivni) moment okoli njenega težišča (CG), ki poskuša preprečiti to odstopanje in obnoviti želeno ravno pot leta. Pri majhnem vpadnem kotu ne samo krilc, ampak tudi drugi sestavni deli rakete, kot so nosni konus, stožčasta ramena in rep čolnička, prav tako ustvarjajo normalno silo. (Richard Nakka's Experimental Rocketry Web Site, 2024)

2.8.1 OBLIKA KRILC RAKETE

Krilca rakete so lahko kakršne koli, samo da dosežejo cilj premikanja rakete CP nazaj na prvotno stanje. (Richard Nakka's Experimental Rocketry Web Site, 2024)

1	Trikotna krilca		<p>Prednost: Odporne na plapolanje in so dobra izbira za visokohitrostne rakete.</p> <p>Slabost: Ostra konjica je lahko razlog za poškodbe in je lahko nevarna pri rokovanju. Koeficient sil je nižji od drugih oblik.</p>
2	Kvadratna krilca		<p>Prednost: Enostavne za izdelavo, robustne, odporne na plapolanje.</p> <p>Slabosti: Lahko se poškodujejo pri pristanku.</p>
3	Nazaj pomaknjena krilca		<p>Prednost: Robustne, odporne na plapolanje.</p> <p>Slabost: Lahko se poškodujejo pri pristanku.</p>

4	Trapezasta krilca		<p>Prednost: Robustne, lahko so pristrižene, da se premakne center pritiska naprej, odporne na plapolanje.</p> <p>Slabosti: So manj aerodinamične.</p>
5	Zožena puščičasta krilca		<p>Prednosti: Dobra izbira za visoke hitrosti letenja, strukturno robustne ter odporne na nihanje. Lahko pomaknejo center pritiska naprej.</p> <p>Slabosti: Ob pristanku je večja možnost za poškodbo krilc, so občutljive na tresljaje.</p>
6	Pristrižena delta krilca		<p>Prednost: Strukturno robustne, primerne za pomik centra pritiska naprej.</p> <p>Slabost: Pri pristanku se hitro poškodujejo.</p>
7	Obrezana zožana puščičasta krilca		<p>Prednost: Aerodinamične, robustni, odporni na nihanje.</p> <p>Slabost: Težke za izdelavo, zaradi oblike je center pritiska težje izračunati.</p>
8	Elipsasta krilca		<p>Prednost: Pomakne center pritiska naprej.</p> <p>Slabosti: Ob pristanku je velika verjetnost za poškodbe krilc, zelo so občutljive na tresljaje.</p>

Slika 5: Razlaga oblike krilc. (Richard Nakka's Experimental Rocketry Web Site, 2024)

$$SM = \frac{x_{cp} - x_{cg}}{D} \quad \text{Eqn.1}$$

x_{cp} = distance from nose tip to **Centre of Pressure (C.P.)** of the rocket

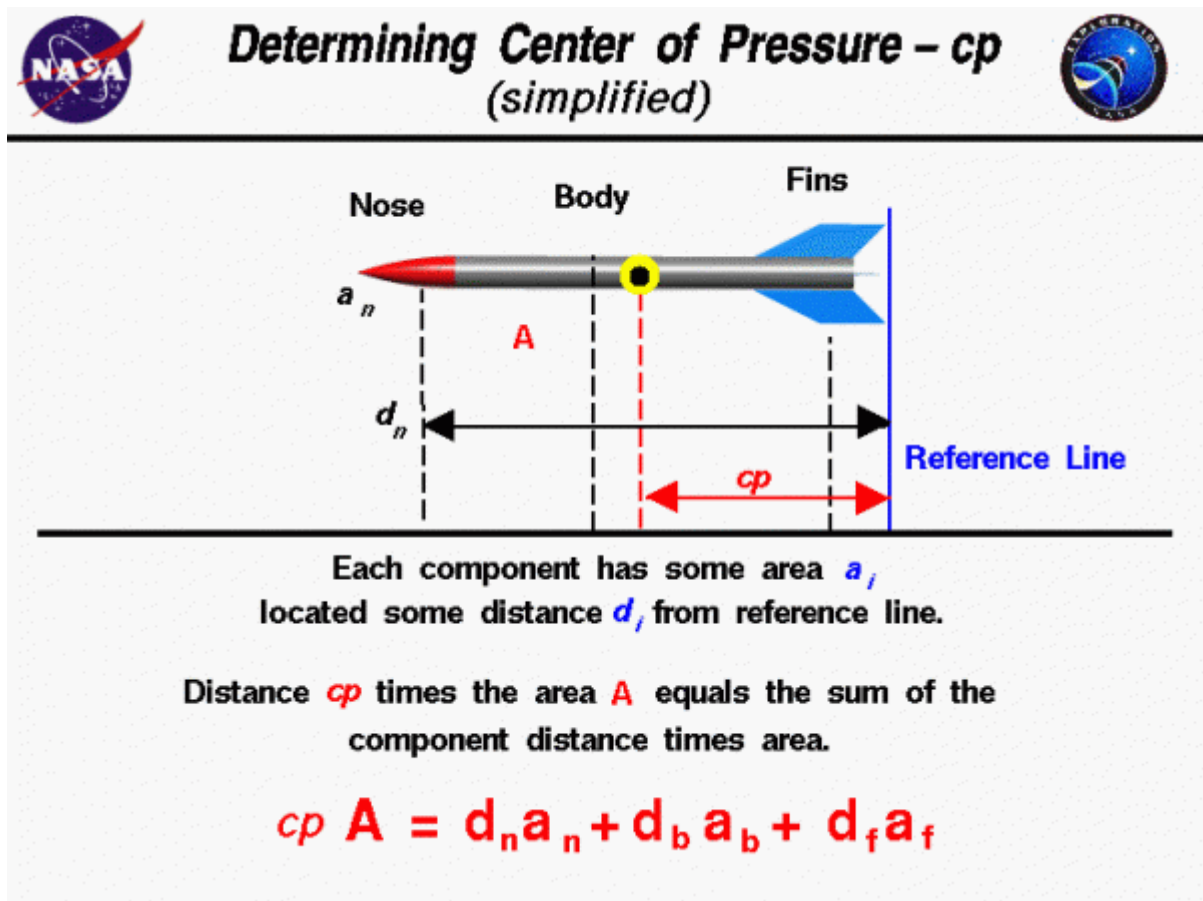
x_{cg} = distance from nose tip to **Centre of Gravity (C.G.)** of the rocket

D = Maximum diameter of rocket body (also referred to as "calibre")

Slika 6: Izračun stabilnosti rakete (Hall N., 2023, Rocket Center of Pressure)

2.9 KAJ JE SREDIŠČE TLAKA NA RAKETI IN KAKO GA IZRAČUNATI?

Ko model rakete leti po zraku, aerodinamične sile delujejo na vse dele rakete. Na enak način kot teža vseh komponent rakete deluje skozi težišče cg , aerodinamične sile delujejo skozi eno samo točko, imenovano središče tlaka cp .



Slika 7: Določanje središča tlaka na raketi. (Hall N., 2023, Rocket Center of Pressure)

Izračunamo lahko središče tlaka. Toda na splošno je to zapleten postopek, ki zahteva uporabo računa. Aerodinamične sile so posledica nihanj tlaka okoli površine rakete. Na splošno moramo določiti integral tlaka krat enota normalna, krat površina, krat razdalja od referenčne črte.

Modeli raket so precej simetrični glede osi rakete. To nam omogoča, da celoten tridimenzionalni problem zmanjšamo na preprost dvodimenzionalni rez skozi os rakete. Pri modelnih raketah je velikost nihanja tlaka precej majhna. Če predpostavimo, da je tlak skoraj konstanten, se iskanje povprečne lokacije tlaka krat porazdelitve površine zmanjša na iskanje povprečne lokacije predvidene porazdelitve površine. (Hall N., 2023, Rocket Center of Pressure)

2.9.1 POENOSTAVLJEN IZRAČUN CP

Slika prikazuje poenostavljeno različico postopka izračuna, ki jo lahko uporabite za izračun cp modela rakete. Predvidevamo, da že poznamo projicirano območje in lokacijo glede na neko referenčno lokacijo vsakega od glavnih delov rakete: nosu, telesne cevi in plavuti. Projicirana površina A rakete je vsota projicirane površine a komponent.

$$A = a(\text{nos}) + a(\text{cev}) + a(\text{plavuti})$$

Ker je središče tlaka povprečna lokacija projicirane površine, lahko rečemo, da je površina celotne rakete pomnožena z lokacijo središča tlaka cp enaka vsoti projicirane površine vsake komponente pomnoženi z razdaljo d te komponente od referenčne lokacije.

$$A \cdot cp = ad + ad + ad$$

"Lokacija" vsake komponente je razdalja središča pritiska vsake komponente od referenčne črte. Torej, moramo izračunati ali določiti središče tlaka vsake od komponent. Na primer, projicirana površina telesne cevi je pravokotnik. Središče pritiska je na osi, na pol poti med končnimi ravninami. (Hall N., 2023, Rocket Center of Pressure)

2.9.2 MEHANSKO DOLOČANJE CP

Za model rakete obstaja preprost mehanski način za določitev središča tlaka za vsako komponento ali za celotno raketo. Na kosu kartona naredimo dvodimenzionalno sledenje oblike sestavnega dela ali rakete in izrežemo obliko. Izrezano obliko obesimo z vrvico in določimo točko, na kateri se uravnoteži. To je tako, kot da bi uravnotežili svinčnik z vrvico! Točka, na kateri je komponenta ali raketa uravnotežena, je središče tlaka. Očitno tega postopka ne bi mogli uporabiti za zelo veliko raketo, kot je vesoljski raketoplan. Ampak za model deluje precej dobro. (Hall N., 2023, Rocket Center of Pressure)

3 EMPIRIČNI DEL

3.1 POTEK DELA

Potek dela smo razdelili na laboratorijsko delo, izdelavo rakete in terensko delo.

3.1.1 LABORATORIJSKO DELO

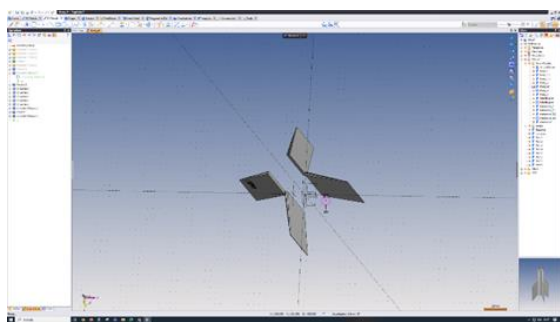
Pred izdelavo rakete smo želeli preizkusiti, če gorivna mešanica sladkorja in kalijevega nitrata v resnici reagira eksplozivno. Odšli smo v kemijsko učilnico, kjer smo pod učiteljičinim nadzorom poiskali potrebne sestavine za izdelavo goriva. Zmešali smo 130 gramov kalijevega nitrata in 70 gramov sladkorja, kar je v razmerju predstavljalo 65% proti 35%. Prvič smo sladkor in kalijev nitrat drobili v terilnici. Predvidevamo, da zmes ni bila drobno zmleta in zato reakcija ni bila dovolj burna. Naslednjič smo mešanico drobili s paličnim mešalnikom, tako da smo dobili bolj fino mešanico. Seveda smo pri delu v laboratoriju uporabljali primerno zaščito, torej zaščitna očala, laboratorijske halje in rokavice.

Kemijska reakcija gorenja našega goriva za raketo:

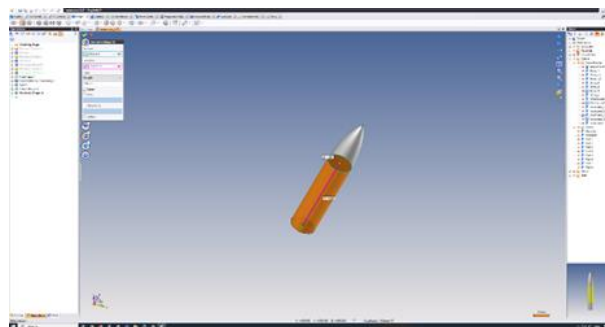


3.1.2 IZDELAVA RAKETE

Ker smo na šoli v tem šolskem letu kupili 3D tiskalnik, smo se vprašali, ali bi ga lahko uporabili za izdelavo rakete. Najprej smo ugotovili, kateri materiali zdržijo temperaturo, ki jo mešanica kalijevega nitrata in sladkorja doseže ob reakciji. Nato smo ta material poiskali v obliki cevi in ohišje razrezali na dolžino 115 mm. Nato smo s programom za 3D tiskalnik narisali špic, krilca ter trup od rakete ter raketo dali tiskati.



Slika 8: Dizajniranje krilc rakete TopSolid7 - levo. (osebni arhiv)



Slika 9: Dizajniranje špica rakete TopSolid7 - desno. (osebni arhiv)

V narezane polipropilenske cevi smo potlačili 40 gramov mešanice 65% kalijevega nitrata ter 35% sladkorja. Nato smo spodnji del cevi napolnili s približno 1cm debelim mavca in nekaj milimetrov mačjega peska. Mačji pesek smo uporabili zato, da je vpil vlago. Bali smo se, da se vlaga ne bi prenesla na mešanico kalijevega nitrata in sladkorja, saj potem pogonsko gorivo ne bi delovalo, ker bi bila reakcija, ki bi potekla, preblaga.

Cev smo z gorivno mešanico napolnili do približno 1,5 cm pod vrhom. Dodajali smo jo počasi in jo sproti močno tlačili. Na mešanico goriva smo nato nasuli mačji pesek in na vrhu ponovno prekrili z mavcem. To je predstavljalo »motor« rakete. Ovili smo ga z izolirnim trakom, da po raketi ne bi drsel. Ker smo ugotovili, da ima cev manjši premer kot pa telo rakete, smo od ene večje cevi odrezali del in ga dali na naš pogonski del. To se je kasneje izkazalo kot zelo uporabno, saj smo tako lažje nameščali in snemali pogonski del rakete.



Slika 10: Tehtanje sestavin za pogon – levo. (osebni arhiv)

Slika 11: Polnjenje raketnega motorja – sredina. (osebni arhiv)

Slika 12: Motorji rakete in pripomočki za delo – desno. (osebni arhiv)

Za polet rakete smo izbrali velik, neobljuden travnik brez okoliških hiš ali druge infrastrukture. Ko smo prišli na mesto, kjer smo spuščali rakete, smo telo rakete sestavili, zvrtili luknjo v pogonski del, vstavili "motorček" v raketo, vanj vstavili vžigalno vrstico in raketo prižgali. Ko smo prižgali vžigalno vrstico, smo se seveda umaknili na varno razdaljo.

3.1.2.1 TEŽAVE PRI IZDELAVI RAKETE

Pri izdelavi rakete smo naleteli na veliko težav. Slednje bomo opisali v naslednjih odstavkih.

Izbira materiala:

Ko smo prvič izdelali mešanico in jo prižgali, smo uporabili različne materiale, ki so bili uporabljeni kot cev, v katero smo dali mešanico. Največkrat smo uporabili posodice za filmski trak. Hitro smo ugotovili, da niso vsi materiali odporni na temperaturo, ki jo je mešanica ob vžigu proizvedla in so se stalili. Zato smo se odločili za uporabo PVC-ja oz. polivinilklorida (poli-1-kloroeten), saj je bil edini material, ki smo ga uporabili in se pri reakciji ni stalil.

Vžig rakete:

Najprej smo za vžig rakete uporabljali stenj za sveče, a smo ugotovili, da prepočasi gori in ga veter ugasne, zato smo se zanesli na vžigalne vrstice, ki smo jih kupili pri legalnem prodajalcu.

Material rakete:

Najprej smo razmišljali, da bi naredili rakete s kartonastim ohišjem, a smo našli razloge, zakaj to ni preveč pametno. Kot prvo je karton vnetljiv in v primeru, da pri reakciji gre kaj narobe, bi se lahko vnel. Kot drugo pa tudi ni tako stabilen in bi se pri pristanku zlomil oziroma raztrgal in s tem uničil telo rakete. Iz teh razlogov smo se odločili za uporabo plastike (gembird vrvica PLA PLUS 1,75 mm), oziroma uporabe 3D-tiskalnika, s pomočjo katerega smo naredili dizajn za raketo in jo tudi natisnili.

Center težnosti in center tlaka:

V literaturi, ki smo jo pregledali, je pisalo, kako zelo sta pomembna center težnosti in center tlaka na raketi. A smo mislili, da to vseeno ni tako pomembno, saj naša želja ni bila spuščati rakete več 100 ali celo 1000 m v zrak. A smo se hitro naučili lekcije, ko nam je pri prvem poletu raketa dejansko vzletela, vendar takoj tudi strmoglavila, saj se je začela v zraku vrteti. Ko se je to zgodilo, smo začeli preučevati, kaj je šlo narobe in ugotovili smo, da je bil problem v centru težnosti in tlaka.



Slika 13: Preizkušanje stabilnosti rakete. (osebni arhiv)

Vlaga:

Veliko težav smo imeli z vlago, saj smo naredili mavec premoker in mačji pesek ni mogel vpiti dovolj vlage. Mačji pesek smo uporabljali samo zato, da je vpil vlago. S tem smo želeli preprečiti, da bi vlaga prišla do zmesi kalijevega nitrata in sladkorja, in nato le-ta ne bi delovala. To se nam je tudi zgodilo in v teh primerih se je iz motorja zelo kadilo, ni pa proizvedla dovolj potisne sile, da bi raketa poletela.

Veter:

Kot zadnje pa je bil problem, s katerim smo imeli največ težav, veter. Ta nam je vsakič otežil prižig vžigalne vrvice na raketi.

3.1.3 TERENSKO DELO

3.1.3.1 SERIJA POSKUSOV ŠT. 1:

Naš 1. poskus leta rakete je bil uspešen. Raketo, ki smo jo imeli v PVC-cevi s premerom približno 2 cm, smo prižgali v cevi, ki je ležala vodoravno na tleh. Rakete nismo nameravali izstreliti v zrak, ampak smo hoteli le dokazati, da je mešanica kalijevega nitrata in sladkorja sposobna premakniti raketo. Raketi dolgi 12 ter 14 centimetrov sta poleteli iz cevi, ki je ležala vodoravno na tleh, ter se začeli vrteti po tleh okoli svoje osi. Ob vžigu mešanice je nastalo veliko dima ter močan zvok. Menimo, da na hitrost in potisno moč rakete vpliva več stvari. Nekatere od teh so manjša masa ter več kisika. Ugotoviti smo morali način, kako zmanjšati telesno maso rakete, da dobimo maksimalno potisno moč iz mešanice, ki bo v raketi. V tem poskusu smo raketo sestavili tako, da smo najprej eno stran rakete napolnili z mavcem ter mačjim peskom, kar je bilo debelo skupaj približno 1,5 cm, nato smo raketo napolnili z našo mešanico ter jo močno potlačili, da smo v cev lahko dodali čim več mešanice. Nato smo raketo zaprli z zgornjim delom, kar je ponovno predstavljala mešanica mačjega peska in mavca, debela približno 1,5 cm.



Slika 14: Prvi poskus motorja rakete. (osebni arhiv)

3.1.3.2 SERIJA POSKUSOV ŠT. 2:

Pri drugem poskusu smo uporabili enako velike motorčke kot pri prvem poskusu. Raketa je bila visoka približno 25 cm in je bila sestavljena iz PVC-cevi premera 3 cm in s 3D-tiskalnikom natisnjene konice in krilc, ki smo jih pritrdili na cev. V raketo smo vstavili motor in zaradi varnosti uporabili približno 10 cm dolgo vžigalno vrstico. Za vzletno palico smo vzeli trdno, približno 8 mm debelo kovinsko palico, ki smo jo zapičili v tla. Ko je raketni motor gorel, se je sprostilo veliko plina in dima ter toplote, vendar raketa ni imela dovolj potiska, da bi se odlepila od tal. Ta raketa je utrpela tudi nekaj škode – krilca so se namreč ob vročini stalila, zato smo jih morali pozneje zamenjati. Preizkusili smo tudi malo manjšo raketo, vendar se je zgodilo enako kot pri večji. Odločili smo se, da bomo zato uporabljali večji model rakete. Kasneje smo tudi ugotovili, da je bila gorivna mešanica, s katero smo polnili motor, stara že en teden, saj smo jo zmešali vnaprej in se je v tem času očitno navzela vlage. Zato reakcija tudi ni bila optimalna. Prav tako zmes ni



Slika 15: Drugi model rakete, pripravljen na vzlet. (osebni arhiv)

bila dovolj fino zmleta, saj smo v tem poskusu za mletje uporabljali terilnico s pestilom. Ugotovili smo, da ima velikost delcev v zmesi velik vpliv na burnost reakcije.

3.1.3.3 SERIJA POSKUSOV ŠT. 3:

Na naše nadaljnje poskuse smo prišli opremljeni z več izkušnjami, vendar kot kaže ne dovolj. Našo raketo smo opremili podobno kot zadnjič, vendar smo sestavine goriva tokrat zmleli zelo fino, z električnim kavnim mlinčkom. Zaradi tega smo pričakovali veliko boljši rezultat. Izstrelitveno palico smo tokrat zaradi varnostnih razlogov nagnili za pribl. 10 stopinj od pravokotnice na tla (seveda v nasprotno smer kot smo stali). Tokrat smo prišli opremljeni s štirimi motorčki in našo raketo za večkratno uporabo (če bi šlo vse po sreči seveda). Pri vžigu smo imeli zaradi malce vetra in slabega vžigalnika nekaj težav, vendar smo na koncu vse dobro izpeljali. Prvi polet je dosegel skoraj 5 m v višino, vendar raketa ni bila dobro stabilizirana (razmerje $cg - cp$), zato se je med letom trikrat obrnila naprej za poln krog (popoln trojni salto). V naslednjih treh poskusih smo bili priča manjši eksploziji naše rakete in še več podobnim nesrečam. Za vse smo sicer našli pojasnilo. Raketo je "razneslo" zaradi tega, ker plast mavca in mačjega peska ni bila dobro zatesnjena/pritrjena v cev in je zato pod velikim pritiskom odletela skozi notranjost rakete do konice, spoj med deli rakete pa ni zdržal sile, kar je povzročilo, da se je raketa v zraku razstavila. Na srečo pa ni utrpela večje fizične škode. Pri drugi nezgodi pa kot kaže nismo dobro pritrdili motorja v raketo, zato ga je njegova lastna potisna sila premaknila nekaj centimetrov proti nosu rakete. V nobenem od poskusov pa raketa ni letela stabilno naravnost, zato, če izključimo ostale tehnične težave, pridemo do sklepa, da je center pritiska najbrž pomaknjen preblizu centru teže.



Slika 16: Eksplozija rakete. (osebni arhiv)

3.1.3.4 SERIJA POSKUSOV ŠT. 4:

Tokrat smo v raketo vložili vse svoje znanje in izkušnje. Raketo smo naredili daljšo, dolga je bila 35 cm, saj smo predvidevali, da bo daljša raketa stabilnejša. Za konico in krilca smo uporabili isti dizajn kot pri poskusu številka 3. Bili smo mnenja, da se dizajn konice in krilca rakete dobro obnese, pa tudi preveriti smo želeli, zaradi česa je bila raketa zadnjič nestabilna. Uporabili smo enake motorje kot zadnjič, ker so sicer dali dovolj potiska. Raketa je poletela približno 50 metrov visoko. Kljub vetru, zaradi

katerega je letela malo postrani, je letela gladko in brez turbulenc. Raketa pa ni imela padala, zato se je razletela ob trdem pristanku nekaj deset metrov stran od mesta vzleta. S tem poletom smo dokazali, da dolžina rakete vpliva na njeno stabilnost med letom. Raketo, ki je bila sicer polomljena, smo za silo popravili in jo preizkusili še dvakrat, vendar zaradi fizične preobrazbe ni bila več uporabna. Letela je približno tako kot pri 3. seriji poskusov.

Slika 17: Prvi uspešen let rakete. (osebni arhiv)



3.1.3.5 SERIJA POSKUSOV ŠT. 5:

Kar se tiče petega poskusa poleta raket, smo se nadejali odličnih rezultatov. Mislili smo, da smo pripravljene na vse, vendar smo se krepko zmotili. Uporabili smo seveda naš utečeni in preverjeni vžigalni sistem, ki smo ga še dodatno nadgradili z zaščito pregrado iz pleksi stekla. Prva raketa je letela naravnost, približno 10 metrov visoko, se pravi niti približno tako visoko kot prejšnjič. V letu smo sicer opazili manjše nepravilnosti – raketa se je nagibala, kar bi lahko bila posledica vetra ali manjših mehanskih sprememb, ki bi se lahko pojavile pri obnavljanju rakete iz starejših, že uporabljenih kosov. Naslednja dva poleta pa sta dokazala, da smo naredili tudi veliko napako pri izdelovanju motorčkov. Uporabili smo namreč preredek mavec, zaradi česar se je mešanica navzela vlage. Raketa zato sploh ni vzletela, je pa ustvarila veliko dima.



Slika 18: Drugi uspešni polet. (osebni arhiv)

3.1.3.6 SERIJA POSKUSOV ŠT. 6:

Pri tej seriji poskusov smo preizkusili več različnih mešanic goriva. Prva je bila 65% kalijevega nitrata in 35% sladkorja, druga 60% kalijevega nitrata in 40% sladkorja ter tretja 70% kalijevega nitrata in 30% sladkorja. Ugotovili smo, da najboljše deluje mešanica 65% kalijevega nitrata in 35% sladkorja, saj ustvari optimalno reakcijo, ker je v njej ravno toliko kisika, kot ga sladkor lahko porabi.



Slika 19: Polet rakete. (osebni arhiv)

3.1.3.7 SERIJA POSKUSOV ŠT. 7:

Pri tej seriji poskusov smo ugotovili nekaj pomembnih stvari glede motorja. Najpomembnejša je to, da mora biti luknja v motorju širša (približno 5.5 mm do 6 mm) saj na tak način ne nastane prevelik pritisk v cevi in motor raznese. Druga stvar pa je tudi, to da mora biti luknja večja, da pride iz cevi dovolj velika sila, da ponese raketo nekaj metrov v zrak.



Slika 20: Uspešen vzlet rakete. (osebni arhiv)

3.2 METODOLOGIJA DELA

Metodologija dela je predstavljala izbiro metod raziskovalnega dela, izbiro raziskovalnega vzorca ter načine zbiranja in obdelave podatkov.

3.2.1 METODE DELA

Pri raziskovalni nalogi smo uporabili različne metode dela:

- metodo laboratorijskega dela,
- metodo eksperimentalnega dela,
- metodo terenskega dela,
- metodo zbiranja in obdelave podatkov.

3.2.2 RAZISKOVALNI VZOREC

Raziskovalni vzorec zajema dva tipa raket (s tremi in štirimi krilci), tri različne količine mešanice goriva (65 % KNO_3 in 35 % sladkorja, 70 % KNO_3 in 30 % sladkorja ter 60 % KNO_3 in 40 % sladkorja) in štiri različne premere izvrtin lukenj v motorju (4–7 mm).

3.2.3 POSTOPKI ZBIRANJA IN OBDELAVE PODATKOV

Podatke smo pridobili z eksperimentalnim in s terenskim delom.

3.3 REZULTATI IN INTERPRETACIJA

Tabela 1: Prikaz rezultatov meritev.

Številka Poskusa leta	Uspešnost vzleta	Čas leta	Stabilen ali nenadzorovan let	Približna višina leta	Število krilc	Mešanica zmesi
1	NE	/	/	/	4	65%:35%
2	NE	/	/	/	4	65%:35%
3	DA	3 s	Nenadzorovan	6 m	4	65%:35%
4	DA	1 s	Nenadzorovan	2 m	4	65%:35%
5	DA	1 s	Nenadzorovan	2 m	4	65%:35%
6	DA	2 s	Nenadzorovan	5 m	4	65%:35%
7	DA	6 s	Stabilen	50 m	4	65%:35%
8	NE	/	/	/	4	65%:35%
9	DA	3 s	Nenadzorovan	4 m	4	65%:35%
10	DA	5 s	Stabilen	12 m	4	65%:35%
11	NE	/	/	/	4	65%:35%
12	NE	/	/	/	4	60%:40%
13	DA	2 s	Nenadzorovan	3 m	4	65%:35%
14	NE	/	/	/	4	70%:30%
15	DA	2 s	Stabilen	1,5 m	3	65%:35%
16	DA	3 s	Stabilen	7,5 m	3	65%:35%
17	DA	1 s	Stabilen	1 m	4	65%:35%
18	DA	3 s	Nenadzorovan	4 m	4	65%:35%
19	NE	/	/	/	3	65%:35%
20	DA	3 s	Nenadzorovan	3 m	3	65%:35%

Izmed 20 poletov raket je 5 poletov bilo stabilnih in 8 nenadzorovanih. Preostalih 7 raket ni poletelo. Povprečna višina stabilnega poleta je 14,4 m, nenadzorovanih pa 3,6 m. Oba najvišja leta sta imela gorivo v razmerju 65 % KNO₃ in 35 % sladkorja.

4 RAZPRAVA

Pred raziskovanjem smo si zastavili naslednje hipoteze, ki jih ob našem raziskovanju tekom pisanja raziskovalne naloge lahko komentiramo tako:

- **Spletni posnetek rakete na sladkor in KNO_3 je verodostojen.**

Ta hipoteza drži. Posnetek je verodostojen, saj smo mešanico večkrat preizkusili in je delovala kot na posnetku, raketa je poletela.

- **Število krilc vpliva na stabilnost leta rakete.**

Ta hipoteza ne drži. Število krilc ni pomembno, pomembna je samo površina krilc.

- **Bolj kot je center težnosti pomaknjen proti repu rakete, bolj stabilen bo let.**

Ta hipoteza ne drži. Za stabilen let rakete mora biti center težnosti pred centrom zračnega pritiska glede na dolžino rakete od vrha proti repu, ker se raketa sicer lahko začne vrteti okoli svoje osi. Če je na repu večja površina, le-ta prepreči vrtenje rakete.

- **Razmerje sladkorja in kalijevega nitrata vpliva na višino leta rakete.**

Ta hipoteza drži. Zmes sladkorja in kalijevega nitrata mora biti v razmerju 65%:35%, saj je v tem razmerju izgorevanje najboljše. Pomembno je tudi, da je zmes čim bolj fino mleta ter skupaj potlačena. Zmes ne sme biti vlažna, saj potem nima dovolj potisne sile in pri reakciji nastane samo dim.

- **Premer luknje za motor je pomembna.**

Ta hipoteza drži. Preizkusili smo različne premere lukenj za motor (4 mm, 5,5 mm, 6 mm, 7 mm). Ugotovili smo, da je optimalni premer luknje 5,5 mm, saj je s takim premerom luknje ustvarjena ravno pravi količina potiska, da raketa vzleti in nekaj časa ostane v zraku (torej da zmes ne zgore prehitro kot v luknjah z večjim premerom). V kolikor je pritisk v motorju prevelik, reakcija povzroči eksplozijo motorja.

5 ZAKLJUČEK

Z raziskovalno nalogo smo si odprli vrata v zapleten svet raketne znanosti. Raziskali smo delovanje aerodinamik raket, kako so rakete zgrajene, kako delujejo, kdaj so jih začeli uporabljati in za katere namene se uporabljajo. Ugotavljamo, da zgolj narejena mešanica kalijevega nitrata in sladkorja ni tako preprost dejavnik, s katerim bi lahko omogočali polete raket, temveč na let vpliva mnogo ostalih, preišljenih dejavnikov. Pri vsem tem je seveda izrednega pomena varnost oseb, ki vse to izvajajo. V našem primeru se je izkazalo, da je torej najbolje poletela raketa v poletu št. 7. Poletela je kar 50 m visoko. Raketa je imela 4 krilca, razmerje med KNO₃ in sladkorjem je bilo 65 %:35 %.

5.1 IZHODIŠČA ZA NADALJNO RAZISKAVO

Našo nalogo bi si želeli nadaljevati in nadgraditi. Zanimala bi nas namreč izdelava rakete v večjem obsegu, z močnejšimi motorji, mogoče iz dveh stopenj, in s padalom. Zanimivo bi bilo tudi uporabiti altimeter, s katerim bi lahko dobili bolj natančne podatke o višini, hitrosti, dolžini leta in pospešku rakete med letom. Za izhodišča bomo zagotovo uporabili podatke ter znanje, ki smo ga pridobili v letošnjem letu, nikakor pa ne bomo pozabili na varnost, ki smo jo pri delu upoštevali tudi letos.

6 VIRI IN LITERATURA

Benson T. (2021). Brief History of Rockets. Nasa Aeronautics and space administration. Dostopno na: https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/TRC/Rockets/history_of_rockets.html (januar, 2025).

Čuden J., Snoj R. (1991). Raketno modelarstvo. Tehniška založba Slovenije. Ljubljana.

Du Ray van Beest Holle idr. (1982). Zgodovina v slikah. DZS. Ljubljana.

Hall N. (2021). Liquid Rocket Engine. Nasa Aeronautics and space administration. Dostopno na: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/rockth.html> (december, 2024).

Hall N. (2023). Propulsion system. Nasa Aeronautics and space administration. Dostopno na: <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/propulsion-system/> (december, 2024).

Hall N. (2023). Rocket Center of Pressure. Nasa Glenn Research Center. Dostopno na: <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/rocket-center-of-pressure/> (december, 2024).

Hall N. (2023). Rocket Stability. Nasa Glenn Research Center. Dostopno na: <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/rocket-stability> (december, 2024).

Hall N. (2021). Solid Rocket Engine. Nasa Aeronautics and space administration. Dostopno na: <https://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/srockth.html> (december, 2024).

Osmanagić D. (2018). 1944 – Prvi napad z raketo V-2. Zgodovina na dlani (2018), dostopno na: <https://zgodovinanadlani.si/1944-prvi-napad-z-raketo-v-2/> (december, 2024).

Palumbo P., Zunazzi A. (1998). Človek in čas. Založba mladinska knjiga. Ljubljana.

Repe B. (1996). Naša doba. DZS Ljubljana.

Richard Nakka's Experimental Rocketry Web Site (2024), dostopno na: https://www.nakka-rocketry.net/RD_fin.htm (december, 2024).

Benson T. (2021). Brief History of Rockets. Nasa Aeronautics and space administration. Dostopno na: https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/TRC/Rockets/history_of_rockets.html (januar, 2025).

7 PRILOGE

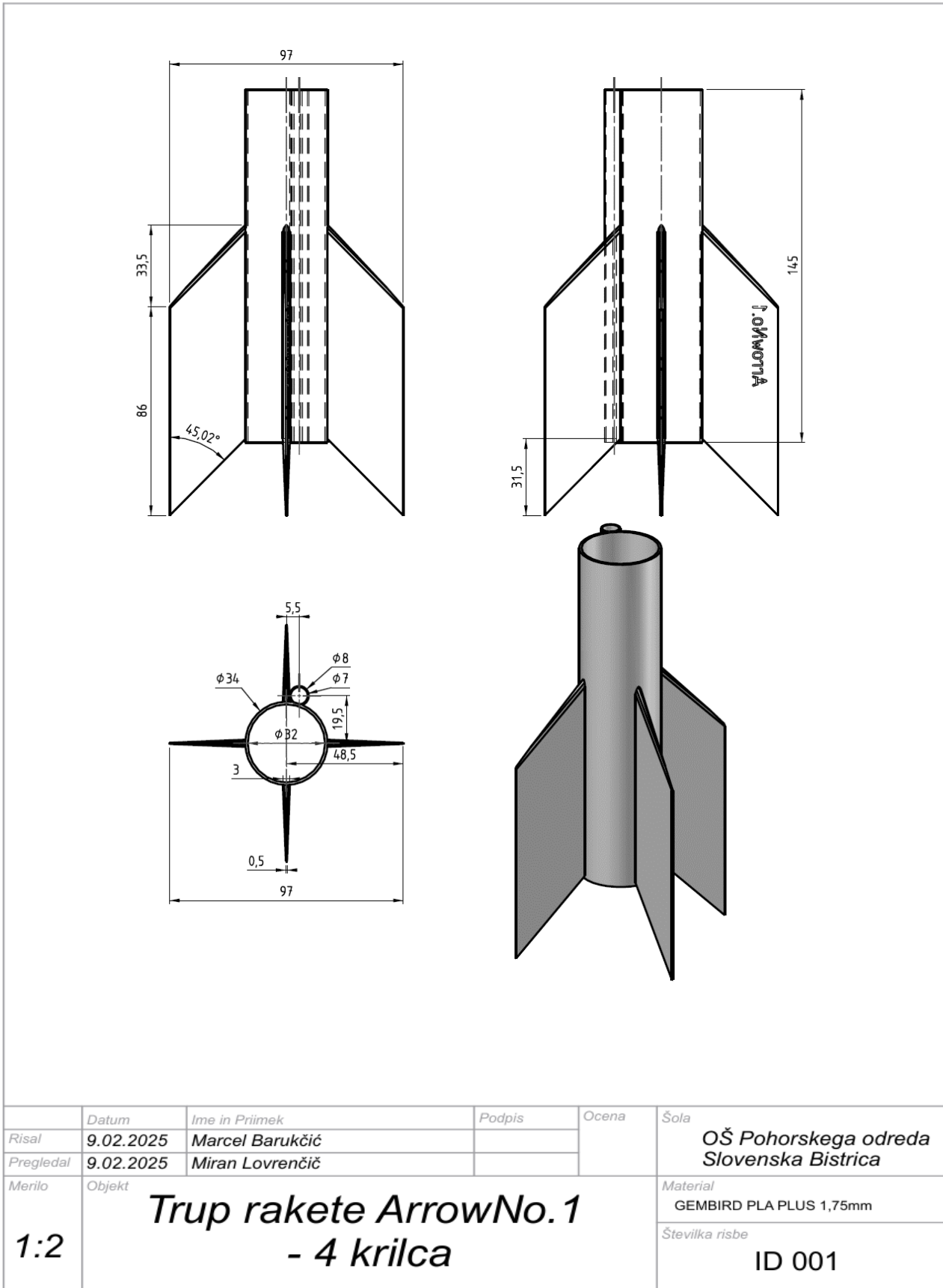
7.1 PRILOGA 1: TEHNOLOŠKI LIST

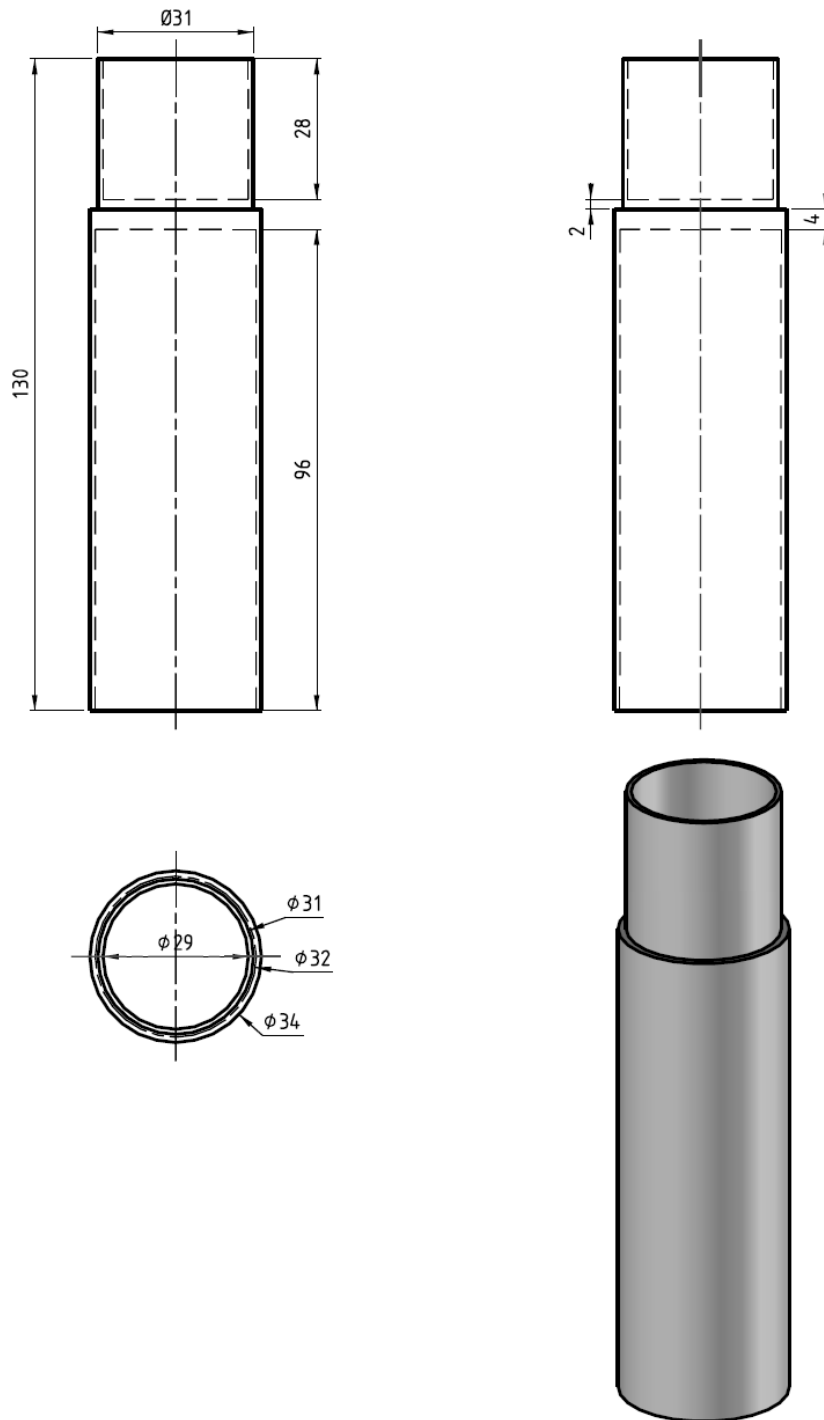
TEHNOLOŠKI LIST					
Izdelek: Raketa ArrowNo.1					
Učenec: Marcel Barukčić, Patrik Flis, Gabrijel Reis					
Poz.	Kos	Delovna operacija	Orodja in pripomočki	Material	Varstvo pri delu
1		Načrtovanje izdelka	Svinčnik, kreda	papir	
2		Priprava materiala in orodja	Tehtnica, posoda, kladivo, leseni bat	Kalijev nitrat, sladkor, PPR cevi (polipropilenske cevi)	Predpasnik, rokavice, zaščitna očala
3	1	Izdelava načrta	Računalniški program: TopSolid7, QCAD		
4	1	Izdelava rakete	3D-printer	Gembird vrvica PLA PLUS 1,75 mm	
5	1	Priprava gorivne mešanice	Tehtnica, posoda, mešalnik	Kalijev nitrat, sladkor	Predpasnik, rokavice, zaščitna očala
6	1	Polnjenje cevi - motorja	Kladivo, leseni bat, posoda	Gorivna mešanica, PPR cevi, mavec, mačji pesek	Predpasnik, rokavice, zaščitna očala
7	1	Vrtanje	Vrtalni stroj, sveder Φ 6–8 mm	PPR cev, napolnjena z gorivno mešanico	Predpasnik, rokavice, zaščitna očala
7	1	Sestavljanje			Rokavice, predpasnik
8	1	Pospravljanje			Rokavice, predpasnik

7.2 PRILOGA 2: DELOVNI LIST

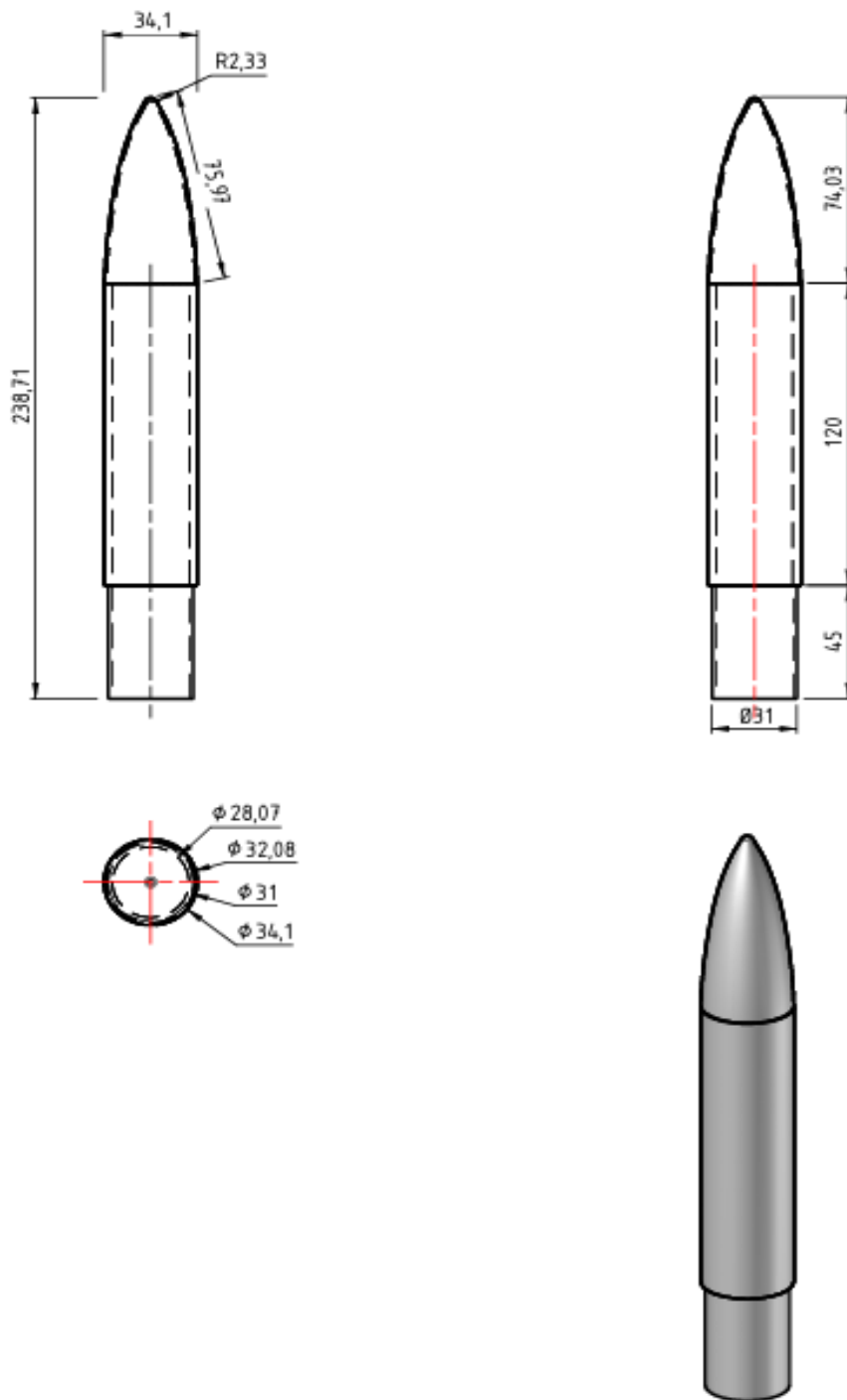
DELOVNI LIST					
Izdelek: Raketa ArrowNo.1					
Učenec: Marcel Barukčić, Patrik Flis, Gabrijel Reis					
Del. mesto	Poz.	Kos	Delovna operacija	Učenec	Predviden čas
1		1	Izdelava načrta	Marcel	120 minut
1		1	Izdelava programa za 3D-tiskalnik	Marcel	120 minut
1		2	Izdelava rakete 3D-tiskalnik		180 minut
1		1	Priprava gorivne mešanice	Patrik, Gabrijel	60 minut
2		2	Polnjenje cevi z gorivno mešanico, vrtanje luknje	Patrik, Gabrijel	60 minut
3		1	Sestavljanje	Patrik, Gabrijel	30 minut
4		1	Izdelava tehnične dokumentacije	Marcel	120 minut
5			Preizkušanje vzleta rakete	Gabrijel, Marcel, Patrik	120 minut

7.3 PRILOGA 3: NAČRTI ZA IZDELAVO RAKETE

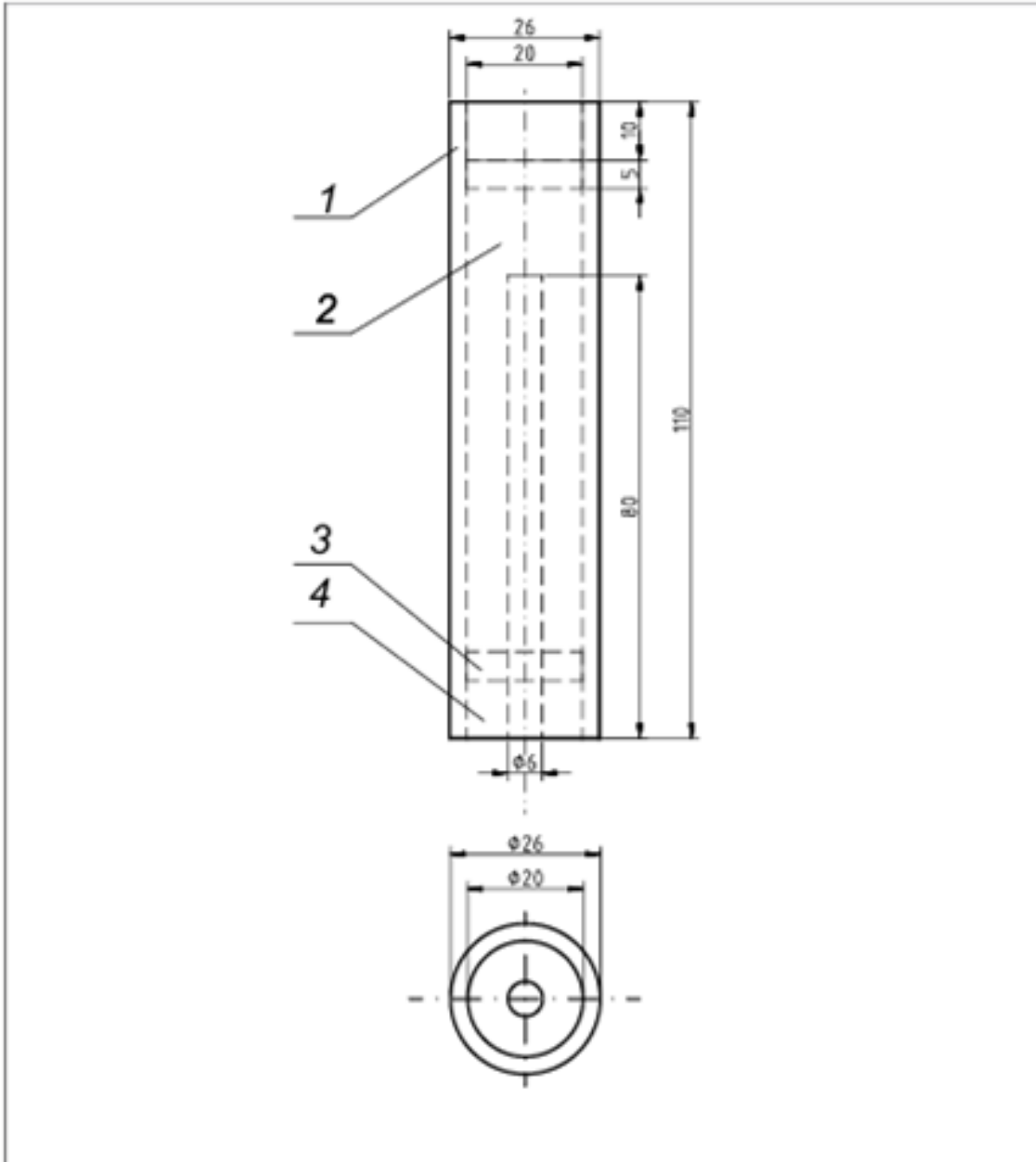




	Datum	Ime in Priimek	Podpis	Ocena	Šola
Risal	9.02.2025	Marcel Barukčič			OŠ Pohorskega odreda Slovenska Bistrica
Pregledal	9.02.2025	Miran Lovrenčič			
Merilo	Objekt				Material
1:2	Vmesni del rakete ArrowNo.1				GEMBIRD PLA PLUS 1,75mm
					Številka risbe ID 002



	Datum	Izdel in Priloge	Podpis	Ocena	Šola
Risal	9.02.2025	Marcel Barukčić			OŠ Pohorskega odreda Slovenska Bistrica
Prejelci	9.02.2025	Miran Lovrenčič			
Merilo	Objekt				Material GEMBIRD PLA PLUS 1,75mm
1:2	Konica rakete ArrowNo.1				Številka risbe ID 003



2	ČEP	4	MAVEC	ø 20 x 10	
2	LOVILEC VLAGE	3	MAČJI PESEK	ø 20 x 5	
1	MEŠANICA GORIVA	2	KALIEV NITRAT + SLADKOR	ø 20 x 80	
1	CEV MOTORJA	1	POLIPROPILEN	ø 26 x 110	
KOS	PREDMET		POZ	GRADIVO	MERE
	Datum		Ime in Priimek		Podpis
Risal	9.02.2025		Marcel Barukčič		
Pregledal	9.02.2025		Miran LOVRENČIČ		
Merilo	Objekt			Materiale	
1:1	MOTOR RAKETE			Številka risbe	
				ID 004	