



58. SREČANJE MLADIH RAZISKOVALCEV SLOVENIJE 2024

Mestna občina Celje

Komisija Mladi za Celje

Raketometi: Razvoj, tehnologije in izzivi v raketarstvu

RAZISKOVALNA NALOGA
(Tehnika in tehnologija)

Avtor: Danijel Žuža



Mentorica: Nina Miklavžina, mag. prof. pouč. mat. in fiz.

Celje, 2024



Osnovna šola Franja Kranjca Celje

Raketometi: Razvoj, tehnologije in izzivi v raketarstvu

RAZISKOVALNA NALOGA

Avtor:

Danijel Žuža

Mentorica:

Nina Miklavžina, mag. prof. pouč. mat. in fiz.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, april 2024

POVZETEK

Odločili smo se, da bomo naredili operativen raketomet, pri katerem bomo poskusili uporabiti čim več sestavin iz »domače garaže«. Idejno smo izhajali iz ambicij in rezultatov skupine ljudi, ki je v sredini prejšnjega stoletja na območju Celja in okolice izvajala raketni program pri Aero klubu Celje. Pri načrtovanju in oblikovanju makete raketometa smo za programsko izdelavo rakete uporabili računalniški program Open Rockets Simulation.

Cilj raziskovalne naloge je izdelati učinkovit in zanesljiv raketomet ter izdelati rakete zanj.

Na začetku je bilo nekaj težav z izstrelitvijo, raketa se je namreč v tubi zataknila in popolnoma ustavila. Spremenili smo premer osnovne tube rakete in zavrgli obstranske dele.

Raketo nam je po dveh poskusih uspelo varno in uspešno izstreliti iz raketometa.

Ključne besede: raketomet, raketa, izstrelitev, Open Rockets Simulation

ABSTRACT

We have decided to create an operational rocket launcher, in which we will try to use as many components from 'the home garage' as possible. Conceptually, we drew inspiration from the ambitions and results of a group of people who, in the middle of the last century, conducted a rocket program in Celje area and its surroundings at the Aero Club Celje. For the planning and design of the model of the rocket launcher, we used the computer program Open Rockets Simulator for the software creation of the rocket launcher.

The aim of the research project is to create an effective and reliable rocket launcher and produce rockets for it.

At the beginning, there were some issues with the launch; the rocket got stuck in the tube and came to a complete stop. Then we changed the diameter of the rocket's main tube and discarded the side parts.

After two attempts, we managed to safely and successfully launch the rocket from the rocket launcher.

Key words: Rocket launcher, rocket, launch, Open Rockets Simulation

KAZALO VSEBINE

1. UVOD	1
1.1. NAMEN IN CILJI RAZISKOVALNE NALOGE	1
1.2. HIPOTEZE.....	1
1.3. OBLIKE IN METODE DELA	1
2. TEORETIČNI DEL.....	2
2.1. PRAVILA ZA MODELIRANJE	2
2.2. GRADNIKI.....	2
2.2.1. <i>PVC cev</i>	2
2.2.2. <i>PE cev</i>	3
2.2.3. <i>Modelarski raketni motor</i>	4
2.2.4. <i>Stirodur</i>	4
2.3. PROGRAMSKA OPREMA.....	5
2.3.1. <i>OpenRockets Simulator</i>	5
3. EKSPERIMENTALNI DEL	7
3.1. Načrt raketometa.....	7
3.2. Izdelava	7
3.2.1. <i>Izdelava raketometa</i>	7
3.2.2. <i>Izdelava raket</i>	9
3.3. Predstavitev eksperimentalnega dela.....	12
3.4. Rezultati eksperimentalnega dela.....	13
4. ZAKLJUČEK.....	14
LITERATURA	15

KAZALO SLIK

Slika 1: PVC cev	3
Slika 2: S PE cevi	3
Slika 3: Sestava modelarskega raketnega motorja	4
Slika 4: Izolacijska plošča Styrodur	5
Slika 5: Predstavitev programa OpenRockets Simulation	6
Slika 6: Predstavitev programa OpenRockets Simulation	6
Slika 7: Načrt rakete 2D	7
Slika 8: Načrt rakete 3D	7
Slika 9: Postopek izdelave raketometa	8
Slika 10: Izdelava sprožilca	9
Slika 11: Sestava rakete	10
Slika 12: Motor C6-4	11
Slika 13: Izvedba poskusa	12

1. UVOD

Pred pričetkom raziskovanja smo si zastavljali vprašanja, ki smo jih oblikovali v cilje naloge. Trend 21. stoletja je usmerjen v ponovno uporabo materialov. Vprašali smo se, zakaj se ne bi tega poslužili tudi pri izdelavi cenovno ugodnega delujočega raketometa. Pri tem pa smo upoštevali vpliv sodobnih materialov na okoljsko problematiko.

1.1. NAMEN IN CILJI RAZISKOVALNE NALOGE

Namen raziskovalne naloge je bil izdelati raketomet iz materiala, ki ga najdemo v garaži, ob predpostavki, da je čim preprostnejši, cenovno ugoden in delujoč.

1.2. HIPOTEZE

Pred izdelavo smo si postavili nekaj raziskovalnih vprašanja – hipotez. Te smo v razpravi, ki je zapisana v zaključku naloge, zavrnili oziroma jih potrdili. Napisali smo tri hipoteze:

- H1 – *Raketomet bo preprost za izdelavo.*
- H2 – *Raketomet bo zdržal pet izstrelitev.*
- H3 – *Izdelava raketometa bo cenovno ugodna (do 20 evrov).*

1.3. OBLIKE IN METODE DELA

- Zbiranje podatkov s pomočjo različnih virov in literature.
- Metoda praktičnega dela.

2. TEORETIČNI DEL

2.1. PRAVILA ZA MODELIRANJE

Raketarji morajo uporabljati samo lahke materiale in nekovinske dele za nos, telo in plavut.

Raketarji lahko uporabljajo samo certificirane, komercialno izdelane modele raketnih motorjev. Poleg tega jih ne morejo uporabiti iz razlogov, ki presegajo modele raket ali posegati v zasnov.

Raketarji morajo svojo raketo izstreliti z električnim izstrelitvenim sistemom in vžigalniki z električnim motorjem. Prepričajte se, da ima izstrelitveni sistem varnostno zaporo.

Če raketar doživi neuspešen vžig, mora po 60 sekundah odstraniti varnostno zaporo ali odklopiti akumulator.

Raketarji morajo odštevati, preden nadaljujejo z izstrelitvijo, in stati 15 čevljev stran za manjše rakete in 30 čevljev stran za večje. Prav tako morajo zagotoviti, da so vsi na mestu zelo pozorni 15[1].

2.2. GRADNIKI

Gradniki raketometa in raket so materiali, ki smo jih uporabili pri izdelavi. To so PVC cev, PE cev, modelarski raketni motor in izolacijska plošča (Styrodur) ter 12 V akumulator.

2.2.1. PVC cev

PVC je kratica, ki jo pogosto vidimo pri izdelkih, ki jih vsakodnevno uporabljamo, in pri raznih elektronskih napravah [8]. Predstavlja kratico za kemično spojino polivinil klorid. Je termoplastična umetna snov, katere osnovna surovina je klorovodikova kislina in etin [6]. To vrsto plastike uporabljamo v gradbeni industriji, elektrotehniki, pri izdelavi medicinskih pripomočkov in v tekstilni industriji [7]. Prednosti PVC cevi so predvsem v njihovi masi glede na premer in dobri korozjski odpornosti [5]. Odporen je namreč na vremenske vplive, korozijo, kemično gnitje, obrabo in udarce. Zato je najprimernejša izbira za številne izdelke, ki jim želimo podaljšati življenjsko dobo. PVC cevi so tudi cenovno ugodne in zahtevajo manj vzdrževanja. Kljub vsem prednostim pa vemo, da ima na okolje tudi negativne učinke. Da se le-ti vsaj nekoliko omilijo, danes uporabljamo mehansko recikliranje, pri katerem se PVC odpadki obdelajo z drobljenjem, mletjem in sejanjem. Po mehanskem ločevanju, pranju, obdelavi in mletju se odstranijo nečistoče in PVC se predela ter ponovno uporabi v proizvodnji. Reciklirani

PVC se lahko uporablja za izdelavo različnih vrst folij, embalaže, preprog, plastenk, kablov in drugih izdelkov [7].

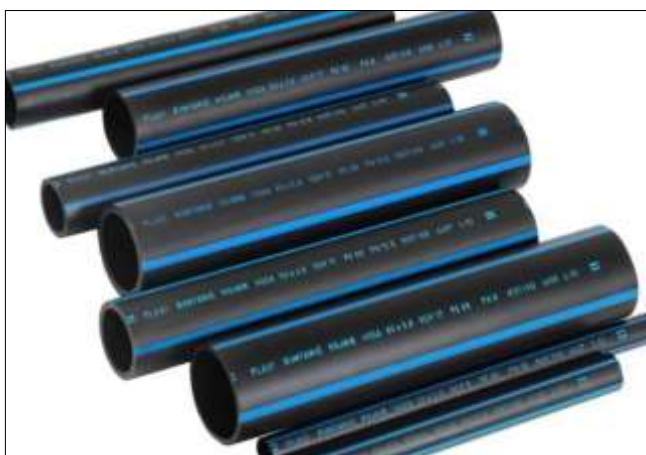


Slika 1: PVC cev¹

2.2.2. PE cev

PE cevi ali polietilenske cevi se uporabljajo v cevnih sistemih za oskrbo s pitno vodo. Za proizvodnjo PE cevi se uporabljajo termoplastični polietilenski materiali. Dolžino PE cevi lahko prilagodimo glede na zahteve, premer pa se giblje od nekaj milimetrov do nekaj metrov. Imajo pa to slabost, da je njihova tlačna trdnost razmeroma nizka, zlasti to velja za cevi velikega premera. Imajo tudi določene zahteve glede temperature okolja (med -40 stopinjami in 60 stopinjami Celzija) [4].

Prednosti cevi so fleksibilnost, majhna masa, korozjska obstojnost, ki omogoča dolgo dobo uporabe ter nizke stroške vzdrževanja. Je tudi enostavna za spajanje z varjenimi ali mehanskimi spoji ter odporna proti kislinam in topilom [9]. Z rednim vzdrževanjem je življenska doba cevi daljša, kar lahko prinese večje koristi in prispevke družbi [4].



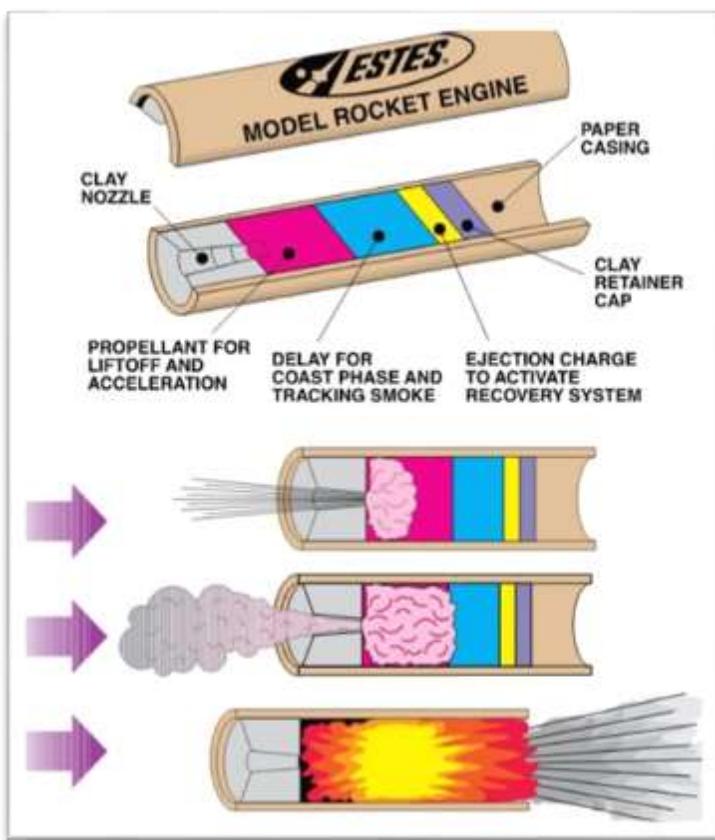
Slika 2: S PE cevi²

¹ <https://www.timcorubber.com/blog/archive/what-is-pvc-a-material-breakdown/>

² [Vodovodne cevi – PLAST KUNTARIČ, d.o.o. \(plastkuntaric.si\)](http://plastkuntaric.si)

2.2.3. Modelarski raketni motor

V raketi na trdno gorivo sta gorivo in oksidant zmešana skupaj in zapakirana v trdni valj. Pri normalnih temperaturnih pogojih gorivo in oksidant ne bosta gorela, ko pa bosta izpostavljena viru toplote, bosta zagorela. Posebna vrsta vžigalnika se uporablja za sprožitev gorenja raketnega motorja na trdno gorivo na koncu pogonskega goriva, ki je obrnjen proti šobi. Ko gorivo začne greti, nastane vroč izpušni plin, ki se uporablja za pogon rakete, in nastane »fronta plamena«, ki se premakne v pogonsko gorivo. Ko se gorenje začne, se bo nadaljevalo, dokler ne zgori ves pogonski plin [2].



Slika 3: Sestava modelarskega raketnega motorja ³

2.2.4. Stirodur

Stirodur je, podobno kot stiropor, polistiren, le da je ekstrudiran. To pomeni, da je bolj kompakten, gost. Tako je bolj primeren za izolacijo površin, ki so pod takim ali drugačnim pritiskom. Uporablja se za hidroizolacijo temeljev objektov, za izolacijo pohodnih površin (estrihov), še posebej pa je primeren za izolacijo ravne strehe [11].

³ [The Rocket N00b: Rocket Motor Basics - And Not So Basics \(For N00bs\)](#)

Zaradi specifičnih lastnosti je Styrodur eden izmed pomembnejših materialov v gradbeništvu (obodna – perimeter izolacija sten pod nivojem terena, izolacija ravnih streh, tal, stropov in poševnih streh, izolacija topotnih mostov, zaščita proti zmrzovanju pri gradnji železnic in cest ...) in industriji (nosilec in izolacija hladilniških panelov, polnilo vrat, različni prefabrikati ...) [3].



Slika 4: Izolacijska plošča Styrodur⁴

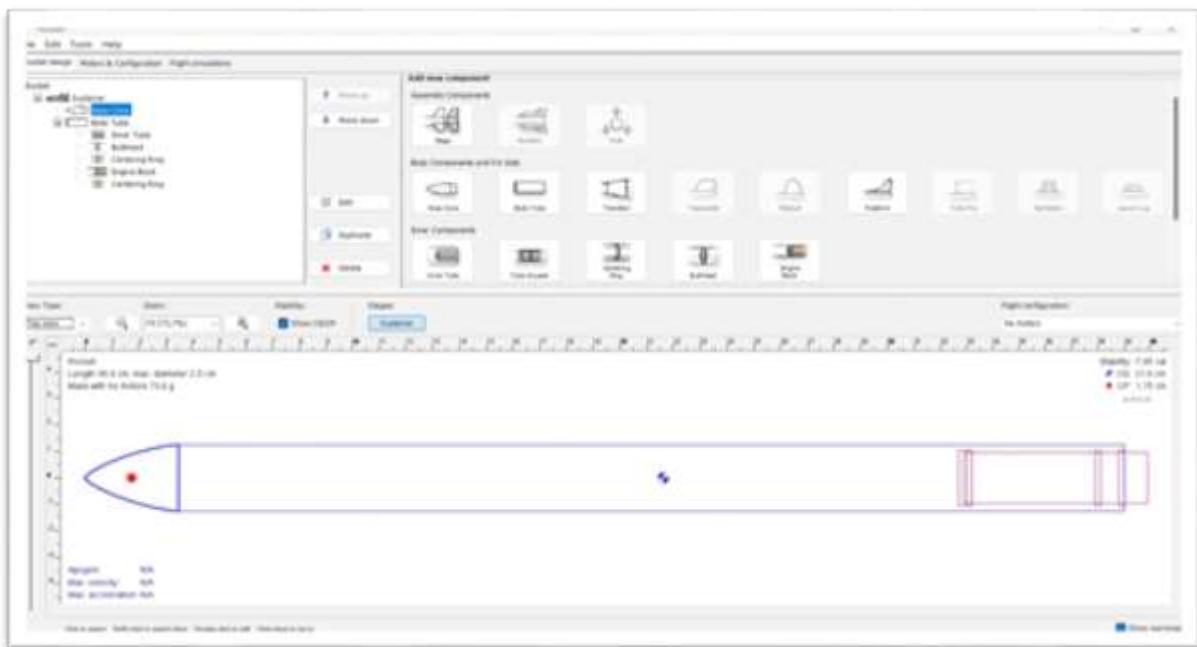
2.3. PROGRAMSKA OPREMA

V prvi fazi izdelave raketometa in raket smo za načrtovanje uporabili programsko opremo, ki je prosto dostopna na spletni strani <https://openrocket.info>. S pomočjo programa smo si pomagali pri izdelavi načrtov rakete.

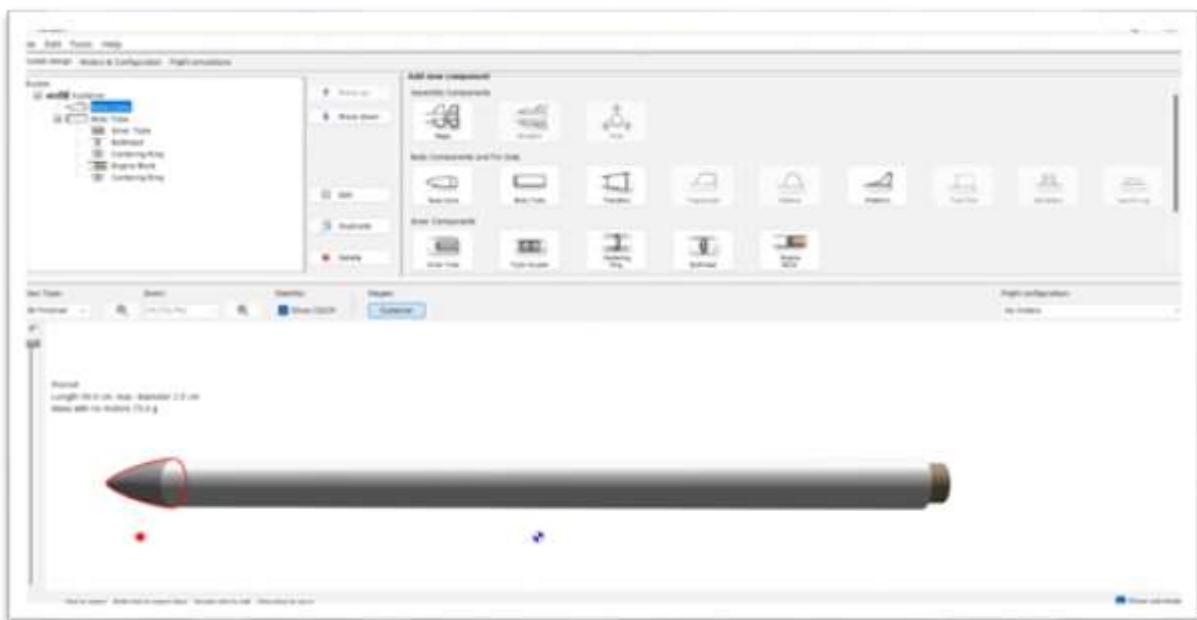
2.3.1. OpenRockets Simulator

Uporabili smo program OpenRockets Simulator. Gre za izvrsten program, ki je programsko orodje za izdelavo načrtov rakete ter simulacijo same izstrelitve. Je ameriški program, ki ga uporablja skoraj vsi raketarji po svetu. Omogoča simuliranje modela glede na različne oblike in uporabljeni materiale, pri čemer upošteva gostoto materialov in kakovost izdelave. Model je mogoče prilagajati in spremnjati glede na povratne informacije, ki jih program izračunava v realnem času. Tako program poda informacije o učinkovitosti delovanja, upoštevajoč tlačno središče, težišče, največjo nadmorsko višino, največjo hitrost in stabilnost. Program dostopa tudi do baze podatkov motorjev in predlaga najprimernejši motor za ustvarjani model rakete. Program je brezplačen in deluje na več napravah [10].

⁴ [Stirodur izolacija \(stireks.si\)](http://stireks.si)



Slika 5: Predstavitev programa OpenRockets Simulation



Slika 6: Predstavitev programa OpenRockets Simulation

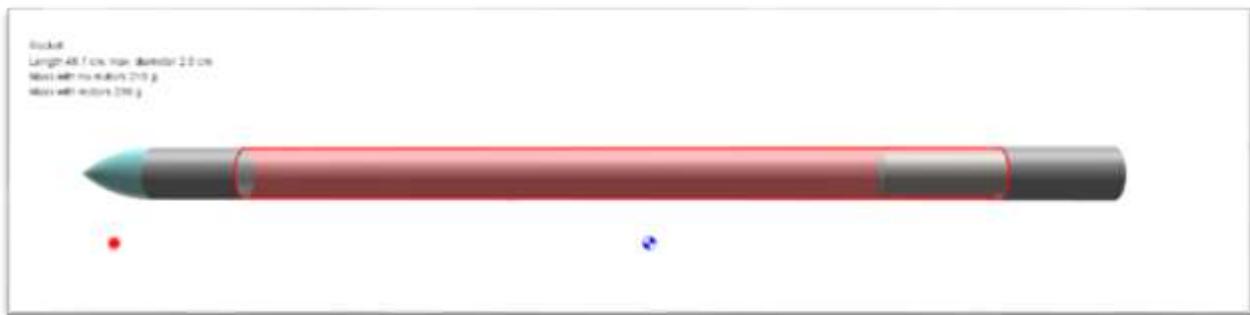
3. EKSPERIMENTALNI DEL

3.1. Načrt raketometa

Na slikah 7 in 8 je prikazan izdelek rakete, ki smo ga naredili s pomočjo brezplačnega programa OpenRockets Simulation. Prikazuje 2D načrt in 3D končen načrt. Pri načrtovanju smo izkoristili možnost programa ter zapisali realno dolžino (7 cm) in premer (2,5 cm) rakete, poleg tega pa tudi prikaz mase rakete z motorjem (236 g) in brez (215 g).



Slika 7: Načrt rakete 2D



Slika 8: Načrt rakete 3D

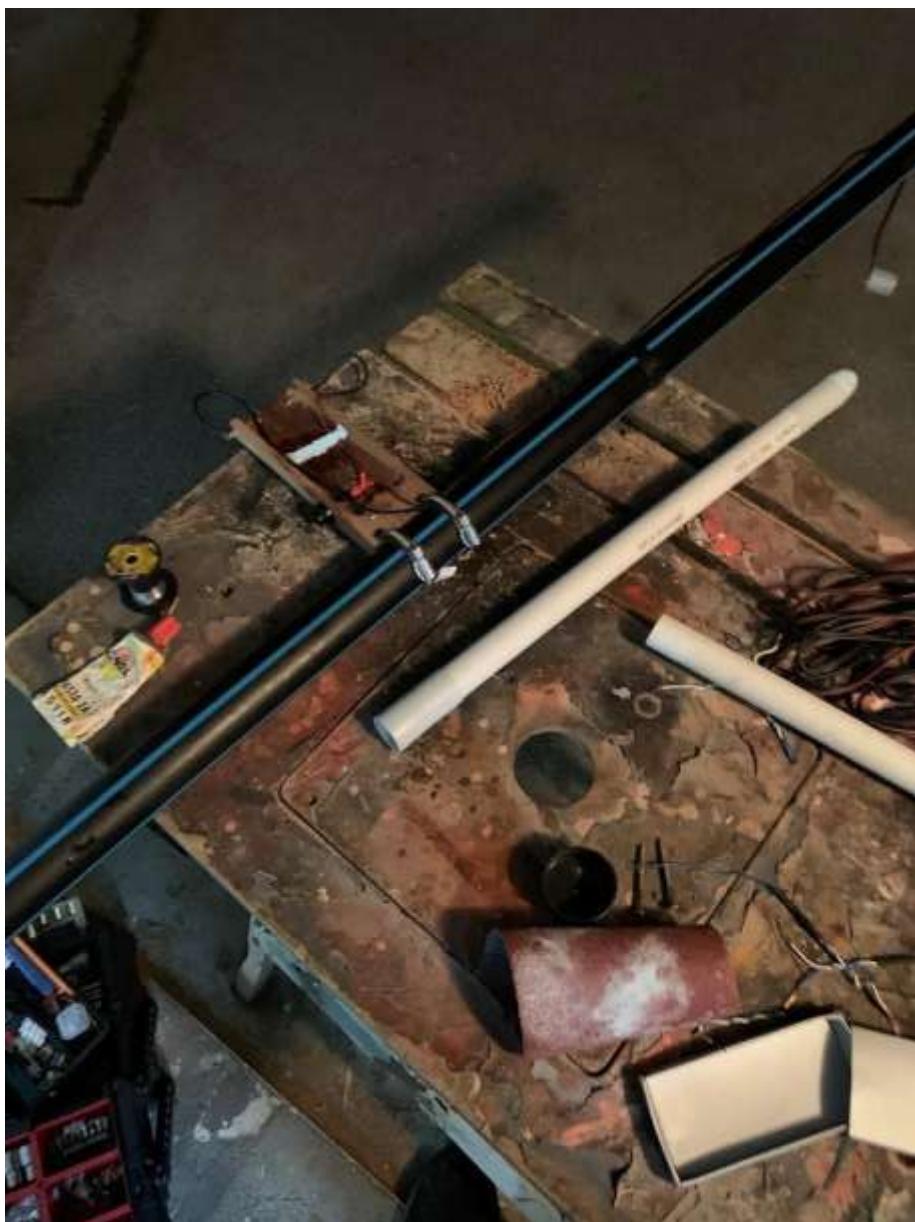
3.2. Izdelava

3.2.1. Izdelava raketometa

Raketomet smo izdelali iz PE cevi premera 4 cm ter dolžine 165 cm. Uporabili smo jo, ker ima debelejše stene (debelostenska PE cev) in prenese večji tlak. Zaradi varnosti smo vanjo prilepili manjšo PVC tubo (slika 9). Glavni del je elektronski sprožilec. Sprožilec je narejen iz gumba, ki je preko žic povezan na dva vijaka. Na ta dva vijaka priključimo 12V akumulator. Žice se združijo na koncu raketometa, kjer jih priklopimo na elektronski vžigalec, ki je ključ za prižig motorja (slika 10).



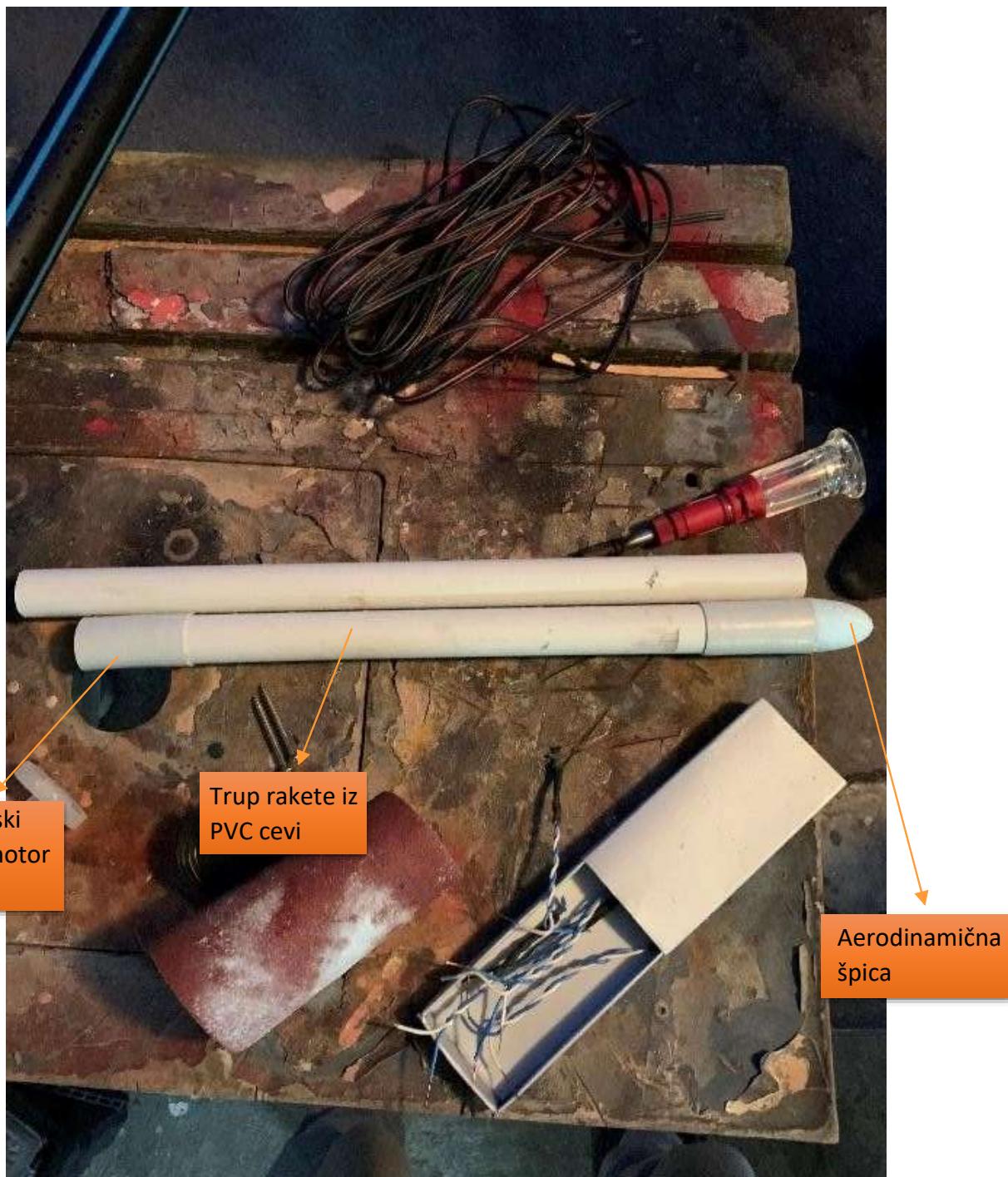
Slika 9: Postopek izdelave raketometa



Slika 10: Izdelava sprožilca

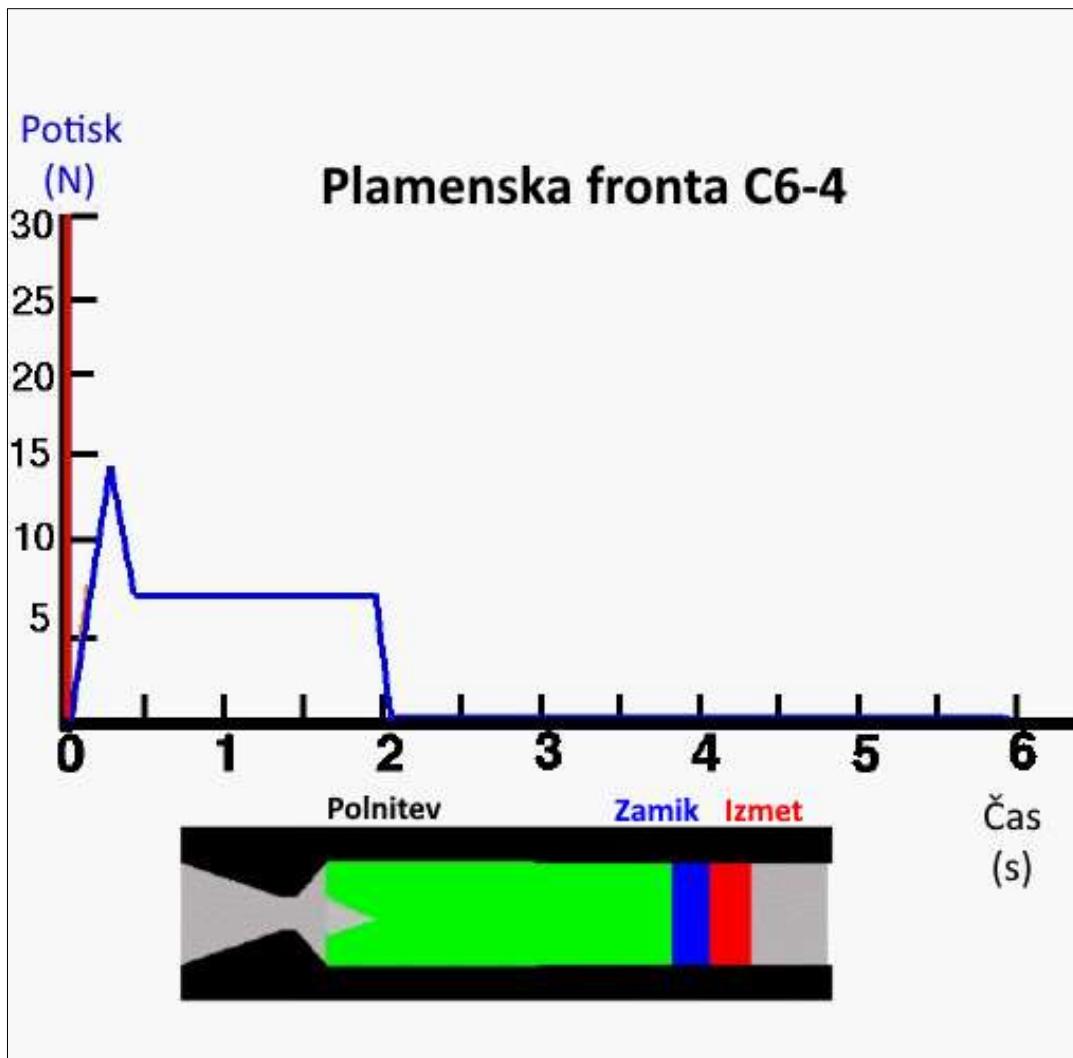
3.2.2. Izdelava raket

Pri izdelavi raket smo uporabili PVC cev premera 2,5 cm ter dolžine 48,5 cm. Aerodinamično špico rakete smo izdelali iz izolacijske plošče styrodur, saj je njena masa zanemarljiva in omogoči, da je raketa dovolj lahka, da se le-ta izstreli iz raketometa. Sestava rakete je prikazana na sliki 12.



Slika 11: Sestava rakete

V rakete smo dodali modelarski raketni motor C6-4. Potek je prikazan na sliki 11.



Slika 12: Motor C6-4 ⁵

Slika 12 prikazuje delovanje modelarskega motorja C6-4. Prikazuje graf potiska – sile (Newton) in časa (sekunda). Pove nam, da gorenje traja malo čez 2 s in pri 6 s se pokrov izstreli.

⁵ [Rocket Engine Performance \(nasa.gov\)](https://www.nasa.gov/centers/glenn/research/propulsion/rocket-engine-performance)

3.3. Predstavitev eksperimentalnega dela

Vsi poskusi so bili izvedeni na istem kraju (okolica Celja – travnik), ob približno istem času in pod podobnimi vremenskimi pogoji.

Pri izvedbi poskusa smo poskrbeli za varnost ter zavarovali območje. Spoštovali smo zakone in predpise, prav tako smo opozorili okoliške domačine, da se bo v bližini njihovih domov v okviru raziskovalne naloge izvajal poskus izstrelitve rakete. Pri izvajanju poskusov so bile prisotne odrasle osebe. Pred vsako izstrelitvijo smo na glas odštevali. Ker se zavedamo, da je poskus nevaren, smo pri testiranju uporabljali tudi zaščitna sredstva.

Raketomet je bil pri vseh poskusih enak, prav tako je bil enak kot (20 stopinj) izstrelitve rakete.

Izboljševali smo obliko rakete, s tem da smo spremenili premer osnovne tube rakete ter zavrgli obstranske dele. Prav tako smo spremenili modelarski raketni motor.



Slika 13: Izvedba poskusa

3.4. Rezultati eksperimentalnega dela

Meritve smo večkrat ponovili. Z zadnjimi poskusi, kjer smo popravili konstrukcijo raketometa, smo hipotezo (H2) zavrnili.

1. POSKUS (20. 2. 2024)

Raketomet smo obrnili pod kotom 20 stopinj vertikalno. Raketa zaradi napake v konstrukciji ni bila uspešno izstreljena. Raketa se je zataknila in motor rakete je še naprej gorel, zato smo raketomet odvrgli in stekli stran. Motor je pogorel v celoti in pri tem vžgal tubo. Na srečo ni prišlo do nobenih deformacij.

2. POSKUS (25. 2. 2024)

Raketomet smo ponovno obrnili kot pri prvem poskusu. Raketni smo v drugem poskusu spremenili premer osnovne tube ter zavrgli obstranske dele. Ta je uspešno poletela skozi cev raketometa. V dolžino je letela okoli 30 m in 15 m visoko, kjer je dosegla vrh krivulje leta, nato pa se je obrnila in zapičila v tla.

3. POSKUS (25. 2. 2024)

Pri enakih pogojih kot v prejšnjem poskusu se je raketa uspešno izstrelila skozi tubo in poletela. Letela je približno 50 m daleč in 15 m visoko, a je izgubila kontrolo in se sunkovito obrnila, kar je pomenilo uničenje rakete.

4. POSKUS (25. 2. 2024)

Raketomet smo kot pri ostalih poskusih obrnili enako. Nova raketa, enaka prejšnji, se je pri izstrelitvi iz šobe raketometa nekontrolirano zavrtela in zapičila v tla.

5. POSKUS (25. 2. 2024)

Raketomet smo obrnili pod enakim kotom kot v prejšnjih poskusih. Raketa je uspešno poletela in zapustila šobo raketometa. Letela je približno 30 m daleč in 10 m visoko. Izstrelitev je uspela in raketni smo lahko uporabili v 6. poskusu.

6. POSKUS (4. 3. 2024)

Raketomet smo obrnili pod našim standardnim kotom. Raketa je kmalu po zapustitvi šobe postala nestabilna in je treščila v tla okoli 10 m od mesta izstrelitve.

7. POSKUS (4. 3. 2024)

Pred izstrelitvijo smo raketomet obrnili pod kotom 20 stopinj. Ob izstrelitvi je bil viden napredek na preciznosti rakete. Poletela je približno 30 m daleč z najvišjo višino okoli 15 m. Pri tem poskusu smo konico rakete modernizirali z utežjo, ki naj bi pomagala pri kontroli in stabilnosti rakete.

4. ZAKLJUČEK

Pri izvedbi poskusa se je pri raketi pojavila težava zaradi CG ali gravitacijskega centra. CG je bil preveč odmaknjen od težišča rakete, zato je bila le-ta nestabilna in nenatančna. To smo poskusili rešiti z utežjo v aerodinamični špici rakete, ki je prinesla nekoliko boljši rezultat. Uporabili smo vijak manjše mase, ki smo ga našli v garaži.

Za izboljšavo izstrelitve bi lahko spremenili konstrukcijo rakete in jo bolj primerno obtežili.

Postavili smo tri hipoteze. Dve hipotezi smo uspešno potrdili eno pa zavnili.

Hipotezo (H1) lahko potrdimo, raketomet je bil relativno enostaven za izdelavo.

Hipotezo (H2) smo zavnili, saj je raketomet zdržal več kot pet izstrelitev.

Izdelava raketometa je bila cenovno ugodna (pod 20 €). Stroški izdelave raketometa so znašali 18 €, zato lahko zadnjo hipotezo (H3) potrdimo.

Pri delu smo se veliko naučili o izdelavi raketometa. Delo nam je bilo v veliko veselje, zato si želimo z nadgrajevanjem naše raziskovalne naloge nadaljevati. Naš cilj je, da se drugo leto prijavimo na tekmovanje iz raketnega modelarstva, ki ga organizira Zveza za tehnično kulturo Slovenije.

Naloga je jezikovno pregledana.

LITERATURA

- [1] *AC Supply* (b. l.). Pridobljeno 13. januarja 2024 s
[The Complete Guide To Model Rocket Launch Rules \(acsupplyco.com\)](https://acsupplyco.com/the-complete-guide-to-model-rocket-launch-rules)
- [2] *Model Solid Rocket Engine* (b. l.). Pridobljeno 7. februarja 2024 s
<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/rktengine.html>
- [3] *Norik – Podatki in kratek opis lastnosti* (b. l.). Pridobljeno 11. februarja 2024 s
<https://www.norik.si/styrodur-podatki>
- [4] *Nova vrsta PE cevi – Ustvarjanje Okolju Prijaznejšega Cevnega sistema* (b. l.). Pridobljeno 25. januarja 2024 s
[Nova vrsta PE cevi – ustvarjanje okolju prijaznejšega cevnega sistema – Znanje \(oneplusplastic.net\)](https://oneplusplastic.net/nova-vrsta-pe-cevi-ustvarjanje-okolju-prijaznejsga-cevnega-sistema-znanje)
- [5] *PE cevi* (b. l.). Pridobljeno 25. januarja 2024 s [PVC tlačne cevi - Coma Commerce d.o.o.](https://www.pvc-tlacnecevi.com/)
- [6] *PVC* (b. l.). Pridobljeno 20. januarja 2024 s
https://www2.arnes.si/~kkovac6/MATERIALI/ro.zrsss.si/_puncer/mase/pvc.htm
- [7] *PVC je vsestransko uporaben in cenovno ugoden* (b. l.). Pridobljeno 20. januarja 2024 s
[PVC je vsestransko uporaben in cenovno ugoden material - Dominvrt.si](https://www.dominvrt.si/pvc-je-vsestransko-uporaben-in-cenovno-ugoden-material)
- [8] *PVC – kaj pomeni in kje vse ga najdemo* (b. l.). Pridobljeno 20. januarja 2024 s
[PVC – kaj pomeni in kje vse ga najdemo | Bodи eko](https://www.bodi-eko.si/pvc-kaj-pomeni-in-kje-vse-ga-najdemo)
- [9] *Polietilenske cevi za vodo* (b. l.). Pridobljeno 25. januarja 2024 s
[Prodajni program - Totra](https://www.totra.si/prodajni-program)
- [10] *OpenRocket* (b. l.). Pridobljeno 23. decembra 2023 s <https://openrocket.info>
- [11] *Stirodur izolacija – Stirodu plošče za izolacijo* (b. l.). Pridobljeno 11. februarja 2024 s
<https://stireks.si/stirodur-izolacija-stirodur-plosce-za-izolacijo/>