

# **Vpliv konstrukcijskega kota motorja na vzlet raketoplana**

Raziskovalno področje: tehnika ali tehnologija

(proizvodno-tehnično področje)

Osnovna Šola Martina Konšaka

Raziskovalna naloga

Avtor: Vid Cimerman

Mentor: Robert Hriberšek

Maribor, 2025

## I.VSEBINA

I.VSEBINA.....	2
1. KAZALO SLIK .....	3
2. POVZETEK.....	4
3. ZAHVALA.....	4
4. UVOD.....	5
4.1 Inspiracija .....	5
4.2 Cilj.....	5
4.3 Hipoteze .....	5
4.4 Metodologija .....	5
5. TEORETIČNI DEL .....	6
5.1 Kaj sploh je raketoplan? .....	6
5.2 Delovanje/namen raketoplanov .....	6
5.3 Zgodovina raketoplanov.....	7
5.4 Najpomembnejši poleti.....	7
5.4.1 STS-1, Columbia.....	7
5.4.2 STS-41-B, Challenger .....	7
5.4.3 STS-51L, Challenger .....	8
5.4.4 STS-31, Discovery .....	8
5.4.5 STS-61, Endeavour.....	8
5.4.6 STS-88, Endeavour.....	8
5.4.7 STS-93, Columbia.....	8
5.4.8 STS-107, Columbia.....	9
5.4.9 STS-114, Discovery .....	9
5.4.10 STS-135, Atlantis.....	9
6. TEKMOVALNI RAKETOPLANI .....	10
6.1 Izdelava.....	10
7. PRAKTIČNI DEL.....	13
7.1 Načrt testiranja.....	13
7.2 Testiranje.....	14
8. ZAKLJUČEK.....	16
9. DRUŽBENA ODGOVORNOST, TRAJNOST IN NAPREDEK .....	16
10. VIRI IN LITERATURA.....	17

## 1. KAZALO SLIK

<b>Slika 1: Space exploration-Shuttle, Astrouants, Missions. (Logsdon, 2025)</b> .....	6
<b>Slika 2: NASA's space shuttle rises frokm the dead to power new vehicles. (Harris, 2025)</b>	7
<b>Slika 3: Tekmovalni raketoplan. (Lasten vir)</b> .....	10
<b>Slika 4: Rep raketoplana. (Lasten vir)</b> .....	10
<b>Slika 5: Nosilci raketnega motorja uporabljeni na testiranju. (lasten vir)</b> .....	11
<b>Slika 6: Nosilec motorja z gondolo. (lasten vir)</b> .....	11
<b>Slika 7: Tloris krila z razponom. (Lasten vir)</b> .....	11
<b>Slika 8:Ustrezen V-lom kril. (lasten vir)</b> .....	12
<b>Slika 9: Deli raketoplana pred lepljenjem. (lasten vir)</b> .....	12
<b>Slika 10: Pravilna lega masnega središča je bistvenega pomena za uspešen let. (lasten vir)</b> .....	13
<b>Slika 11: Vsi štirje modeli pripravljene na testiranje.(lasten vir)</b> .....	13
<b>Slika 12: model pripravljen na vzlet iz izstrelitvene rampe. (lasten vir)</b> .....	14
<b>Slika 13: Odmik od navpične osi leta. (lasten vir)</b> .....	15

## **2. POVZETEK**

V tej raziskovalni nalogi, bom na kratko predstavil raketoplane, ter njihove najpomembnejše misije, nato pa se bom posvetil praktičnemu delu. Pri tem bom sestavil štiri tekmovalne raketoplane, ki se bodo med seboj razlikovali po pritrditvi kota motorja na trup. Vsakega od njih bom posebej testiral ter ugotovil kateri izmed kotov  $0^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $4^\circ$  ali  $6^\circ$  omogoči raketoplanu najbolj optimalni vzlet in pri temu doseže največjo višino.

In this research paper, I will briefly introduce the space shuttles and their most important missions and then turn to the practical work. In doing so, I will assemble four competing space shuttles, which will differ from each other in the attachment of the engine angle to the fuselage. I will test each of them separately to determine which of the angles of  $0^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $4^\circ$  or  $6^\circ$  allows the space shuttle to take off most optimally and reach the maximum altitude in the process.

## **3. ZAHVALA**

Posebej se moram zahvaliti predvsem mojemu učitelju tehnike, ki mi je dal idejo za to raziskovalno nalogo nato pa še priskrbel vse surovine za izvedbo. Zahvalil bi se tudi moji učiteljici kemije, ki mi je pokazala nekatere bolj zapletene možnosti uporabe urejevalnika besedil Word. Zahvalil bi se tudi vsem ostalim učiteljem na moji šoli, ki me učijo in mi pomagajo že vsa ta leta. Zahvaliti se moram tudi staršem, ki me vedno podpirajo in mi pomagajo, sploh kadar potrebujem pomoč.

## **4. UVOD**

### **4.1 Inspiracija**

Leta 2021 sem se prvič udeležil tekmovanja v jadranju raketoplanov. Za zmago je bilo potrebno doseči najdlje trajajoče povprečje treh letov. Tekmovanja sem se udeležil z dvema raketoplanoma, ki sem ju naredil v šoli. Oba vzleta sta uspela, vendar sem opazil, da ima naklon raketnega motorja pritrjenega na nos letala veliko vlogo pri vzletu. Na tekmovanju je zelo pomembno, da raketoplan po vzletu ne naredi lupinga oz. zaide iz idealne smeri. Menil sem, da ima kot pritrditev motorja pri tem veliko vlogo, zato sem se odločil, da bom vpliv kota motorja na let podrobneje raziskal.

### **4.2 Cilj**

V nalogi sem želel ugotoviti s katerim kotom pritrditve motorja bo raketoplan najbolj optimalno uporabil svojo potisno moč, in s tem kar najbolj izkoristil vzpon za najvišjo možno pridobljeno višino. S tem bi uspel tudi izboljšati rezultate moje šole na tekmovanjih v tej modelarski kategoriji. .

### **4.3 Hipoteze**

V okviru raziskovalne naloge sem si zastavil dve hipotezi:

- H1: raketoplan s motorjem postavljenim pod kotom  $2^\circ$  bo izvedel najboljši let.
- H2: raketoplan s kotom  $6^\circ$  bo izvedel največji odklon od navpične osi pri vzletu.

### **4.4 Metodologija**

Podatke za raziskovalno nalogo sem zbral s spleta in knjig, veliko podatkov pa z eksperimentalnim delom. Pri izdelavi raketoplanov sem uporabil les posebne vrste imenovan balsa. Dostop do tega lesa in vseh ostalih materialov za izdelavo raketoplana mi je omogočila šola. Do rezultatov sem prišel z eksperimentiranjem in terenskim delom. Podatke za teoretični del sem pa večinoma pridobil s spleta, nekatere pa tudi iz knjig.

## 5. TEORETIČNI DEL

### 5.1 Kaj sploh je raketoplan?

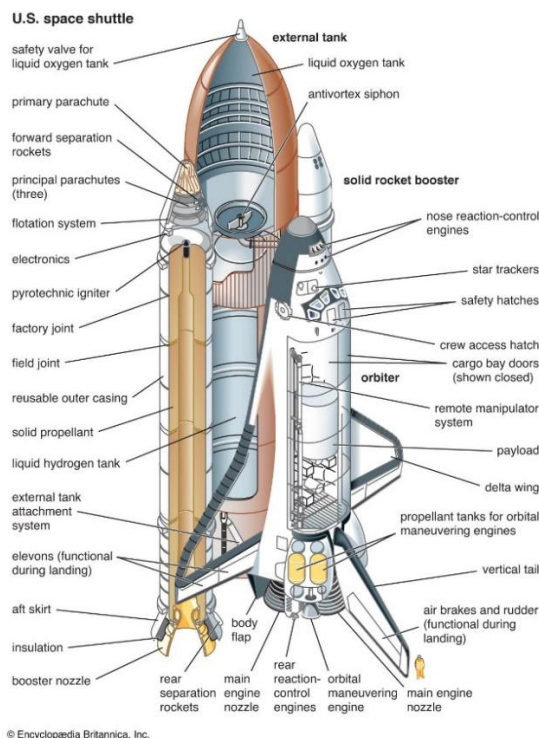
Raketoplan je vesoljsko plovilo s posadko in možnostjo večkratne uporabe. Sposobno je jadрати v ozračju. Raketoplani, ki so sposobni vstopa v zemljino orbito so bolj podobni vesoljskim plovilom medtem, ko so tisti za pod orbitalne polete bolj podobni zrakoplovom.

(Redfern, 1999), (Wheeler, 2008), (Časovni pregled vesoljskih odprav s človeško posadko, 2024), (Space shuttle launches, 2024)

### 5.2 Delovanje/namen raketoplanov

Raketoplane s pomočjo navpične rakete za enkratno uporabo izstrelijo v orbito. Ko raketoplan doseže orbito, tam opravlja razna opravila. To so lahko, prenos ljudi na mednarodno vesoljsko postajo, prenos materiala na mednarodno vesoljsko postajo, oskrba satelitov v orbiti in njihovo vračanje na zemljo. Z njimi tudi popravljajo okvare na satelitih.

(Redfern, 1999), (Wheeler, 2008), (Časovni pregled vesoljskih odprav s človeško posadko, 2024), (Space shuttle launches, 2024)



Slika 1: Space exploration-Shuttle, Astronauts, Missions. (Logsdon, 2025)

### 5.3 Zgodovina raketoplanov

Prvi uspešen polet raketoplanana je leta 1981, natančneje 12. aprila izvedla NASA. Dokazala je da obstaja možnost za obstoj plovila, ki je zmožno večkratnega poleta v vesolje.

(Redfern, 1999), (Wheeler, 2008), (Časovni pregled vesoljskih odprav s človeško posadko, 2024), (Space shuttle launches, 2024)



**Slika 2: NASA's space shuttle rises from the dead to power new vehicles.** (Harris, 2025)

### 5.4 Najpomembnejši poleti

#### 5.4.1 STS-1, Columbia

12. april 1981: Prvi polet z raketoplanom v zgodovini človeštva. S tem poletom so dokazali da je mogoče uporabiti vesoljsko plovilo večkrat. Bil je tudi prvi polet pri katerem so vozilo poslali v orbito z raketami na trdo gorivo.

#### 5.4.2 STS-41-B, Challenger

Na tej misiji se je zgodil prvi vesoljski sprehod. Izvedla sta ga astronauta Bruce McCandles in Robert Stewart, pri tem je astronaut Bruce McCandles postal prvi človek, ki se je sprehajal po vesolju brez neposredne povezave z vesoljskim plovilom. To je dosegel z uporabo nahrbtnika v katerega so bili vgrajeni potisniki.

### **5.4.3 STS-51L, Challenger**

73 sekund po vzletu raketoplana Challenger je ta v zraku razpadel. Pri tem je umrlo vseh sedem ljudi na krovu. To je vključevalo Christo McAuliffe, ki naj bi bila prvi civilist v vesolju. Težave so se začele z mrzlim vremenom, zaradi katerega je gumijasto tesnilo popustilo in plin se je razširil po plovilu ter poškodoval zunanje motorje. Pri vzletu se je poškodovani motor odlomil in raketoplan je razpadel. Po nesreči je NASA dve leti raziskovala vzroke preden je katerikoli raketoplan ponovno vzletel.

### **5.4.4 STS-31, Discovery**

24. aprila 1990 je raketoplan Discovery v vesolju pustil vesoljski teleskop Hubble. Pet dni so v vesolju nameščali teleskop in izvajali preizkuse preden so se vrnil nazaj na Zemljo. Po vrnitvi so znanstveniki ugotovili, da je pri sestavljanju teleskopa prišlo do napake, zaradi katere so bile slike manjše kakovosti. Na srečo je bil teleskop narejen z možnostjo popravljanja v vesolju.

### **5.4.5 STS-61, Endeavour**

2. decembra 1993, tri leta po namestitvi teleskopa Hubble, je NASA v vesolje poslala misijo, katere namen je bil popraviti optično napako. Misija s sedmimi člani posadke je opravila sedem vesoljskih sprehodov, preden ji je uspelo popraviti teleskop. Misija je bila velik uspeh in teleskop Hubble še danes prispeva k novim odkritji.

### **5.4.6 STS-88, Endeavour**

4. decembra 1998 je raketoplan Endeavour postal prvi raketoplan, ki je obiskal mednarodno vesoljsko postajo, ko je v vesolje pripeljal, Ameriški modul Unity. Ta se je priključil ruskemu modulu, ki je bil v vesolje izstreljen nekaj tednov prej. Ta misija je dokazala sposobnost raketoplanov, da v vesolje odpeljejo velike in komplicirane enote.

### **5.4.7 STS-93, Columbia**

23. julija 1999 je raketoplan Columbia v vesolje prepeljal rentgenski observatorij Chandra, s katerim je postalo mogoče opazovati oddaljene regije vesolja. Misijo, ki jo je vodila Eileen Collins, prva ženska voditeljica odprave, je ob vzletu doživela izziv, ki je skoraj onemogočil vzlet. Kljub temu je bila odprava uspešna in zaradi njih so znanstveniki lahko opazovali črne luknje, supernove in več.

#### **5.4.8 STS-107, Columbia**

Ob vstopu Columbie v orbito 1. februarja, 2003, je ta razpadla. Pri tem je umrlo vseh sedem članov posadke. Tako se je končal 16 dnevni polet v vesolje med katerim je posadka izvajala poskuse. Preiskovalci so za vzrok nesreče okrivili del izolacije, ki se je poškodoval pred vzletom. Ob vstopu se je zato krilo pregrelo in razpadlo v zraku.

#### **5.4.9 STS-114, Discovery**

Po dveh letih preiskovanja nesreče, popravljanja napak in nadgrajevanja raketoplanov, je 26. julija 2005 raketoplan Discovery ponovno poletel. Misija, ki jo je vodil Eileen Collins je preizkusila nekaj novih varnostnih protokolov. S to misijo je bil vzpostavljen novi standard za misije opravljene z raketoplanom.

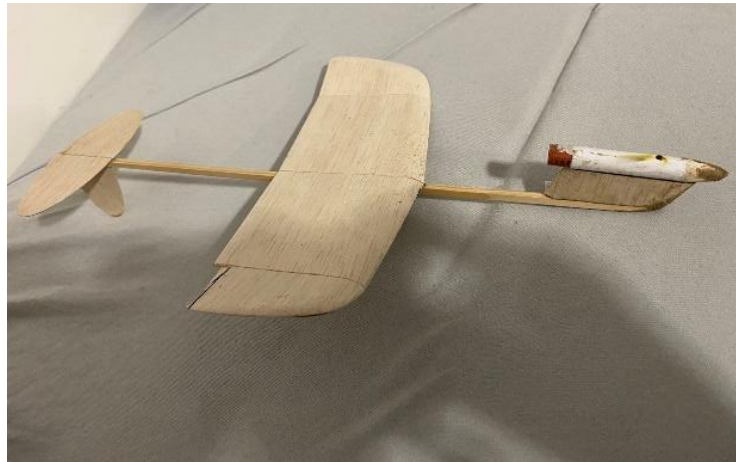
#### **5.4.10 STS-135, Atlantis**

Zadnje poglavje Nasine programa se je končalo 8. julija 2011 z zadnjim vzletom Atlantisa. Misija je na mednarodno vesoljsko postajo odpeljala štiri astronave in surovine. Po tem zadnjem letu se je Ameriška flota raketoplanov upokojila in raketoplani so bili prestavljeni v muzeje. Tako se je končal program trajajoč tri desetletja, ki je vseboval sto petintrideset misij.

(Moskowitz, 2025)

## 6. TEKMOVALNI RAKETOPLANI

Raketoplani s katerim tekmujem se zelo razlikujejo od vesoljskih raketoplanov. Namesto iz naprednih zlitin so sestavljeni iz lesa, bolj natančno iz balse. Balsa je zelo lahek in mehak les, zaradi česar je zelo enostaven za obdelavo in odličen za izdelavo letal. Raketoplan je sestavljen iz šestih kosov, ki se zalepijo in sestavijo v delujočo celoto. Pred vzletom se letalu v nos doda še raketni motor, kategorije A.



**Slika 3: Tekmovalni raketoplan. (Lasten vir)**

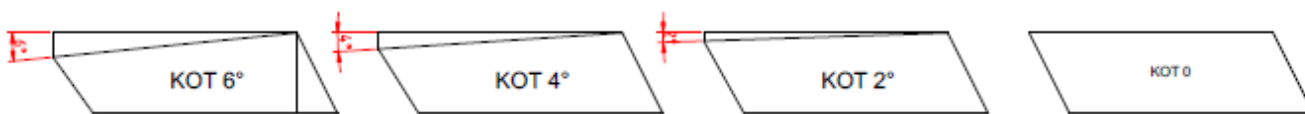
### 6.1 Izdelava

Za izdelavo trupa potrebujemo 330 mm dolgo smrekovo letev debeline 5 mm. Rep izdelamo iz 1mm debelega balsinega furnirja, pri katerem je potrebno vse robove skrbno obrusiti. Izdelane kose prilepimo kot prikazuje slika.



**Slika 4: Rep raketoplana. (Lasten vir)**

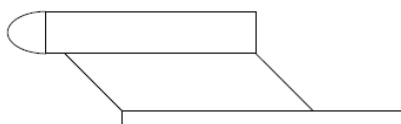
Nosilec raketnega motorja izdelamo iz 5 mm debelega kosa balse, katerega prav tako skrbno obrusimo na obeh straneh.



**Slika 5: Nosilci raketnega motorja uporabljeni na testiranju. (lasten vir)**

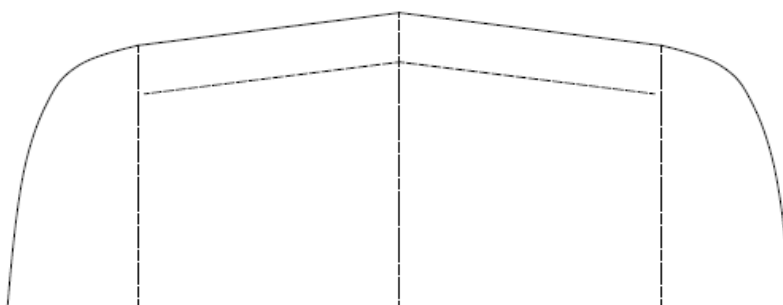
Iz 80 gramskega papirja izdelamo tulec, ki služi kot gondola v katero vstavimo raketni motor. Prti tem moramo biti pozorni, da se motor tesno prilega v gondolo. Dolžina gondole je 50mm. Gondolo na sprednji strani zapremo s aerodinamično konico, katero zbrusimo iz manjšega kosa balse dimenzij 30 x 15 x 15 milimetrov.

Tulec s konico nalepimo na nosilec. Pri tem moramo biti zelo natančni saj bo vsaka napaka vplivala na let raketoplana.



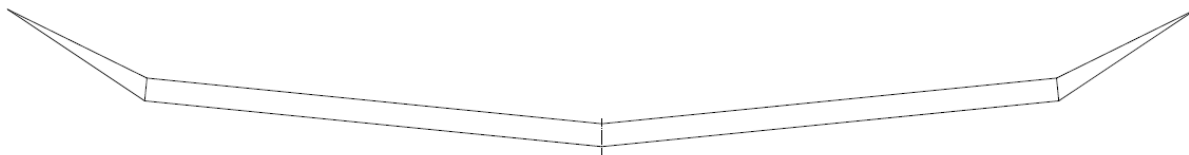
**Slika 6: Nosilec motorja z gondolo. (Lasten vir)**

Krila so izdelana iz 5 mm debele balse, razpon pa znaša 240mm. Krila Izrežemo in jih ustrezno zbrusimo, pri čemer moramo biti pozorni na ustrezno obliko krilnega profila.



**Slika 7: Tloris krila z razponom. (Lasten vir)**

Nato krila razrežemo po načrtu in kose med sabo zalepimo, tako da dobimo ustrezen V lom krila, kateri na omogoča dovolj vzdolžne stabilnosti med jadralnim delom poleta.



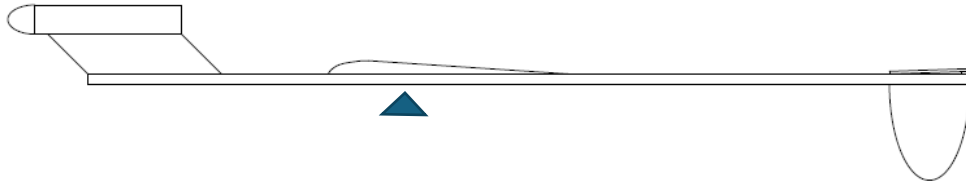
**Slika 8: Ustrezen V-lom kril. (Lasten vir)**

Krila prilepimo na načrtu označeno mesto na trupu, pri čemer moramo še kljub temu preveriti ustrežno lego masnega središča.



**Slika 9: Deli raketoplana pred lepljenjem. (Lasten vir)**

Ko je raketoplan sestavljen je potrebno preveriti še njegove jadralne lastnosti oz. ga regulirati. To naredimo tako, da vstavimo prazen motor v ležišče in raketoplan rahlo vržemo v večjem prostoru. Če leti stabilno v rahlem zavoju, potem je ustrežno reguliran. Če ne, potem moramo ustrežno nastaviti težišče ali pa ustrežno podložiti višinski ali smerni stabilizator.



**Slika 10: Pravilna lega masnega središča je bistvenega pomena za uspešen let. (lasten vir)**

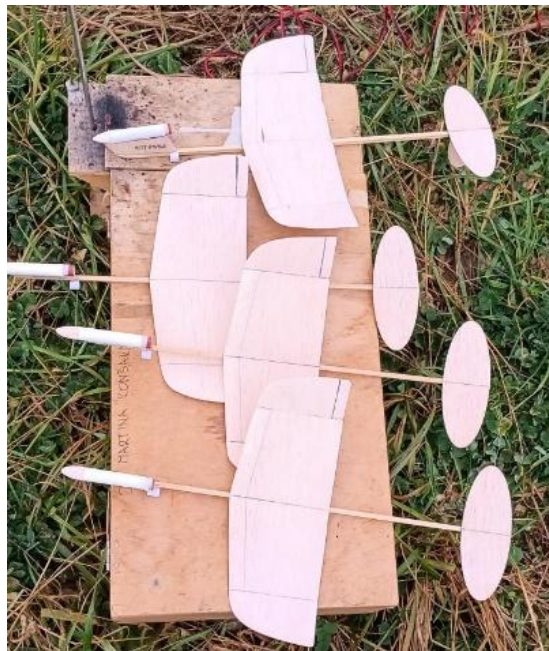
## 7. PRAKTIČNI DEL

### 7.1 Načrt testiranja

S to raziskovalno nalogo želim ugotoviti kateri kot motorja je idealen za vzlet raketoplana. To bom testiral tako, da bom izdelal 4 enake raketoplane z eno ključno razliko: konstrukcijskim kotom motorja.

Ti koti bodo:

- 0 stopinj
- 2 stopinji
- 4 stopinje
- 8 stopinj.



**Slika 11: Vsi štiri modeli pripravljene na testiranje. (Lasten vir)**

Z vsakim raketoplanom bom izvedel tri izstrelitve ter opazoval »motorni del« poleta ter doseženo višino raketoplana. Najboljši kot bo tisti, ki bo omogočil najbolj stabilen vzlet ter najvišje doseženo višino poleta. Izstrelitve bom izvedel na odprtem prostoru, ter ob brezvetrju. Vsi modeli bodo vzletali iz istega izstrelišča. Pred vzletom je v raketoplan potrebno vstaviti raketni motorček tipa A s katerimi tekmujem v kategoriji S4.

## 7.2 Testiranje

Testiranje je potekalo nedeljo 2.2.2025, v jutranjih urah. Vremenske razmere na dan testiranja so bile zelo dobre. To pomeni, da ni bilo sonca, ki bi prožil termična dviganja ter kar je najpomembneje, bilo je brezvetrje.

Pri tem smo opazovali:

- profil vzleta oz. morebitne odklone od navpičnega poleta
- stabilnost poleta
- merili čase poletov.



**Slika 12: model pripravljen na vzlet iz izstrelitvene rampe. (Lasten vir)**

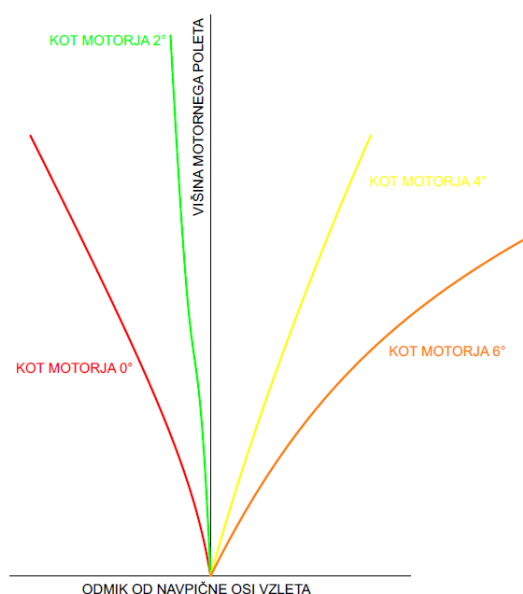
Začeli smo z raketoplanom, ki je imel kot motorja 0 stopinj. Postavili smo ga na vzletno rampo in po kratkem odštevanju prižgali motor. Prvi vzlet raketoplana z kotom  $0^\circ$  je bil zelo obetaven, saj je dosegel visoko višino pod dokaj nizkim kotom nagiba, vendar ni vzletel idealno in je zavil malce nazaj.

Nadaljevali smo z testiranjem raketoplana z kotom  $2^\circ$ . Po vzletu smo opazili da je raketoplan letel skoraj popolnoma ravno navzgor. Kar je bilo idealno, dokaj hitro smo ugotovili, da bo najverjetneje to najuspešnejši model, vendar smo s testiranjem nadaljevali.

Naslednji na vrsti je bil raketoplan s kotom motorja  $4^\circ$ . Model je vzletel in kot pri modelu s kotom 0 stopinj smo opazili rahel nagib od navpične smeri, s tem da je ta model poletel v nasprotno smer kot model s kotom  $0^\circ$ .

Na koncu je sledil še model s kotom  $6^\circ$ . Po vžigu je to zavil naprej veliko močneje kot raketoplan s kotom motorja pod  $4^\circ$ . Vzlete vseh štirih raketoplanov smo ponovili še dvakrat, da smo se prepričali o doslednost naših opažanj.

Nato smo preverili tudi čase letenja, vendar smo pri tem opazili eno veliko pomanjkljivost. Čas ni prikazoval dejanske uspešnosti vzleta, ampak samo uspešnost jadranje letala in njeno sposobnost stabiliziranja po vzletu. Z vsakim raketoplan smo vzletni poskus ponovili še trikrat. Ti poskusi so potrdili naše začetne domneve.



**Slika 13: Odmik od navpične osi leta. (Lasten vir)**

## **8. ZAKLJUČEK**

Ugotovili smo, da raketoplan z motorjem pod kotom  $0^\circ$  vzleta najbolj neenakomerno, prvi vzlet je dosegel zelo visoko višino tretji vzlet pa nizko višino. Raketoplan s kotom  $2^\circ$  se je ponovno izkazal kot najbolj uspešen in zanesljiv, v vseh štirih poskusnih vzletih je vzletel s podobnim nagibom in dosegel podobno, visoko višino. Raketoplan tri, ki je imel motor pod kotom  $4^\circ$  je vzletel dobro, vendar manj uspešno in zanesljivo kot raketoplan s kotom  $2^\circ$ . Raketoplan s kotom  $6^\circ$  je pričakovano, vzletel na najnižjo višino, saj je vzletel z največjim nagibom. V prihodnosti bi lahko izdelal raketoplan z možnostjo poljubne nastavitve kota gondole. S tem bi povečal natančnost meritev, ker bi vse lete izvedel enak raketoplan, hkrati bi pa lahko nastavili bolj natančen kot gondole. Težava s takim mehanizmom je stabilnost pod vplivom velikih sil, ki jih proizvaja raketni motorček. Vzlet bi lahko tudi posnel in nato izmeril kot, pod katerim vzleti raketoplan.

## **9. DRUŽBENA ODGOVORNOST, TRAJNOST IN NAPREDEK**

S to raziskovalno nalogo, predvsem z rezultati, ki sem jih pridobil, pomagam naši šoli in vsem ostalim šolam doseči boljše rezultate na tekmovanju raketoplanov v kategoriji S4. Hkrati lahko izsledki pripomorejo k temu, da bo varnost opazovalcev pri vzletu boljša, saj je vzlet raketoplana postal veliko bolj predvidljiv in stabilen.

## 10. VIRI IN LITERATURA

*Časovni pregled vesoljskih odprav s človeško posadko.* (30. december 2024). Pridobljeno iz Wikipedia:

[https://sl.wikipedia.org/wiki/%C4%8Casovni\\_pregled\\_vesoljskih\\_odprav\\_s\\_%C4%8Dlove%C5%A1ko\\_posadko](https://sl.wikipedia.org/wiki/%C4%8Casovni_pregled_vesoljskih_odprav_s_%C4%8Dlove%C5%A1ko_posadko)

Harris, M. (10. februar 2025). *Wired*. Pridobljeno iz NASA's Space Shuttle rises from the dead to power new vehicles: <https://www.wired.com/story/nasas-space-shuttle-rises-from-the-dead-to-power-new-vehicles/>

Logsdon, J. M. (10. februar 2025). *Britannica*. Pridobljeno iz The space shuttle: <https://www.britannica.com/science/space-exploration/The-space-shuttle>

Moskowitz, C. (6. februar 2025). *space.com*. Pridobljeno iz The most memorable space shuttle missions: <https://www.space.com/11296-memorable-space-shuttle-missions.html>

*Raketoplan.* (30. december 2024). Pridobljeno iz Wikipedia: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Raketoplan>

Redfern, M. (1999). *Najlepša knjiga o vesolju*. Tržič: Učila.

*Space shuttle launches.* (30. december 2024). Pridobljeno iz NASA: <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/04/shuttle-launches-wall-chart.pdf?emrc=38d0a8>

Wheeler, L. (2008). *Vesolje*. Ljubljana: Mladinska knjiga.