

# AVTONOMEN, MODULAREN HEKSAKOPTER

## Raziskovalna naloga



Raziskovalno področje: elektrotehnika, elektronika

Mentor:

Davor Zupanc,

Inženir elektronike

Avtorja:

Matic Marcen, E3A

Žan Pekošak, E3A

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, maj 2021



# KAZALO

<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2 SESTAVNI DELI HEKSAKOPTERJA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Okvir .....	3
<b>2.1.1 OKVIR IZ KOMBINACIJE ALUMPLAST CEVI IN 3D TISKANIH DELOV</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1.2 ALUMINIJAST OKVIR</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1.3 POVSEM 3D TISKAN OKVIR</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1.4 ZLOŽLJIVE NOGE</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1.5 PONOVRNO RISANJE OKVIRJA</b> .....	<b>7</b>
2.2 Krmilnik letenja ArduPilot APM 2.8 .....	8
2.3 ESC ali električni regulator hitrosti .....	8
2.4 Motorj .....	9
2.5 Propelerji.....	11
2.6 Oddajnik (TX) in Sprejemnik (RX) .....	12
2.7 VTX – video oddajnik.....	14
2.8 Baterija .....	15
<b>2.7.1 NAJINA IZBIRA BATERIJE</b> .....	<b>15</b>
<b>2.7.2 NEVARNOSTI PRI UPORABI LIPO BATERIJ</b> .....	<b>15</b>
<b>2.7.3 LI-ION 18650 BATERIJA</b> .....	<b>16</b>
2.9 Polnjenje .....	17
2.10 Senzorji.....	18
2.11 Stabilizator DSLR kamere .....	19
<b>2.11.1 SESTAVNI DELI STABILIZATORJA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.11.2 PRINCIP DELOVANJA STABILIZATORJA</b> .....	<b>20</b>
<b>2.11.3 PREKLOP MED KAMERAMI</b> .....	<b>20</b>
<b>2.11.4 OSD - PODATKI NA ZASLONU</b> .....	<b>21</b>
<b>2.11.4 BGC 2.4 PROGRAM ZA UPRAVLJANJE Z STABILIZATORJEM</b> .....	<b>21</b>
2.12 Mission Planer.....	22
<b>3 POSTOPEK IZDELAVE</b> .....	<b>24</b>
3.1 Prvi polet.....	27
3.2 Nadaljnji poleti in popravila .....	27

<b>4 Nadaljevanje raziskovalnega dela v šolskem letu 2020/21 .....</b>	<b>30</b>
4.1 Kratek uvod .....	30
4.2 Nov okvir .....	30
4.3 Načrt za avtomatske dvižne noge .....	30
<b>5 UPORABA .....</b>	<b>31</b>
5.1 Snemanje .....	31
5.2 Iskanje oseb v nevarnosti.....	31
5.3 Analiza zraka .....	31
5.5 Analiza polj in talno skeniranje .....	32
5.6 Škropljenje pridelka .....	32
5.7 Dostavljanje paketov.....	33
<b>6 RAZPRAVA.....</b>	<b>34</b>
<b>7 ZAKLJUČEK.....</b>	<b>36</b>
<b>8 ZAHVALA .....</b>	<b>37</b>
<b>9 VIRI IN LITERATURA .....</b>	<b>38</b>
9.1 Spletni viri .....	38
9.2 Slikovni viri .....	39
<b>10 IZJAVA .....</b>	<b>43</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1: Okvir heksakopterja .....	3
Slika 2: Okvir heksakopterja s pokrovom komponent .....	3
Slika 3: Model alumplast okvirja .....	4
Slika 4: Skrajšani kraki alumplast okvirja .....	4
Slika 5: Model aluminijastega okvirja .....	4
Slika 6: Ponesrečen tisk (zamik slojev).....	5
Slika 7: Deli 3D tiskanega okvirja .....	5
Slika 8: Tiskanje kraka .....	5
Slika 9: Sestavljen 3D tiskan okvir .....	5
Slika 10: Sestavni del nog med tiskanjem .....	6
Slika 11: Mehanizem za zlaganje .....	6
Slika 12: Model zložljivih nog .....	6
Slika 13: Montirane zložljive noge .....	6
Slika 14: Primer komercialnih zložljivih nog .....	7
Slika 15: Nosilca za baterije.....	7
Slika 16: Sestavljeni, dorisani deli .....	7
Slika 17: Arduino Mega 2560 in ArduPilot APM 2.8 .....	8
Slika 18: ESC vezje .....	8
Slika 19: Motorji razporejeni v konfiguraciji X .....	9
Slika 20: Brezkrtačni motorji RaceStar BR2212 .....	10
Slika 21: Mere motorjev.....	10
Slika 22: KV motorjev pri določeni napetosti in velikosti propelerjev.....	11
Slika 23: Propelerja CW/CCW, 1045 .....	11
Slika 24: FrSky Taranis X9D Plus oddajnik .....	12
Slika 25: FlySky i6x oddajnik.....	12
Slika 26: Jumper T16 Pro oddajnik.....	12
Slika 27: Oddajnik i6x in varovalo upravljalnih palic in stikal .....	13
Slika 28: FlySky FS-iA10B sprejemnik .....	14
Slika 29: Vežalna shema AKK VTX-a .....	14
Slika 30: LiPo baterija .....	15
Slika 31: Konektor XT60 .....	15
Slika 32: Zgorela Lipo baterija .....	16
Slika 33: Osnova za baterijski pack iz 18650 baterij .....	16
Slika 34: Polnilni proces .....	17
Slika 35: Senzorji .....	18
Slika 36: Sestavni deli stabilizatorja .....	19
Slika 37: Stabilizator kamere.....	19
Slika 38: Delovanje stabilizatorja kamere .....	20
Slika 39: Vežje za preklon med video vhodi.....	20
Slika 40: Mini OSD programsko okolje.....	21
Slika 41: Vežava Mini OSD.....	21
Slika 42: BaseCAM BGC 2.63 b0 .....	22

Slika 43: Programiranje stabilizatorja .....	22
Slika 44: Okolje Mission Planer .....	23
Slika 45: Deli projekta, hranjeni kar v kosih .....	24
Slika 46: Prispeli deli iz Kitajske .....	24
Slika 47: Motor na 3D-tiskanem nosilcu .....	25
Slika 48: Montaža motorjev in njihovih žic .....	25
Slika 49: Improvizirani PDB .....	25
Slika 50: Kalibracija krmilnika .....	25
Slika 51: Povezovanje žic na ESC in PDB .....	26
Slika 52: Priprave na prvi neuspešen polet .....	27
Slika 53: Prvi uspešen polet .....	28
Slika 54: Drugi uspešni polet .....	28
Slika 55: Konec drugega poleta s padcem .....	29
Slika 56: Avtonomni škropilni kopter .....	33
Slika 57: Dostavljalni kopter .....	33
Slika 58: Snemalni kopter .....	33
Slika 59: Skeniranje reliefa s kopterjem .....	33

## POVZETEK

Najino raziskovalno delo obsega vprašanje, ali lahko za nizko ceno z omejenim orodjem ter znanjem sestaviva avtonomni heksakopter oz. avtonomno zračno plovilo, ki je lahko tudi uporabno in ni namenjeno le zabavi modelarja. Skozi najino delo ugotavljava optimalne konfiguracije materialov, delovnih postopkov, delov in nastavitvev, da na koncu dobiva čim bolj optimiziran končni produkt in se s tem približava na začetku zastavljenim ciljem. Tekom najinega dela naletiva na marsikatero težavo s samimi deli in izkusiva QC (ang. quality control) oz. kontrolo kvalitete kitajskih marketov. Med snovanjem okvirja kopterja preideva skozi mnoge ovire R&D (ang. research and development) pri dizajnu optimalnega okvirja, ki bo povezoval vse dele v celoto in pri tem, kako se lahko poceni in z zelenimi rezultati 3D model na ekranu pretvori v funkcionalne in uporabne dele. Najin končni izdelek je prototip kopterja s šestimi propelerji, ki je sposoben stabilnega avtonomnega letenja, z manjšimi pomanjkljivostmi, ki so enostavno odpravljive s pravimi proizvodnimi postopki in obdelavo materialov, do katerih midva v tej fazi nimava dostopa.

**Ključne besede:** avtonomen kopter, ArduPilot, modelarstvo, nadzor, krmilnik, upravljanje brez pilota.

# 1 UVOD

Ideja za izdelavo heksakopterja izhaja iz manjših dirkalnih dronov, ki so namenjeni hitri vožnji skozi ovire in poligone. Razmišljati sva začela o večjem, bolj stabilnem kopterju z več vzgona. Uporabiti sva hotela več propelerjev, da bi zagotovila varnost. Ob zlomu ali okvari lahko tako drugi motorji nemoteno prevzamejo nadzor. Želela sva tudi, da je kopter dobro opremljen z različnimi funkcijami in da je modularen, kar pomeni, da je prilagodljiv glede na rabo in hitro ter enostavno popravljiv v primeru morebitnih okvar in poškodb. K delu naju je spodbudila visoka cena komercialnih izdelkov. Želela sva izdelati cenovno ugodno večnamensko plovilo, ki bi nekoč lahko postalo nepogrešljivo orodje za mnogo vrst dela in nudilo uporabniku čim večjo fleksibilnost.

## **Predstavitev problema**

Na tržišču obstaja veliko kopterjev, od najcenejših igráč za 10 EUR do tistih, ki so namenjeni za profesionalno uporabo in stanejo 9.000 EUR ali več. Najbolj znana znamka kopterjev na svetu je DJI, ki izdeluje kopterje za zračno snemanje, in sicer od hobi razreda do kopterjev za filmske produkcije. Njihovi kopterji so kvalitetni, vendar funkcijsko zelo omejeni. Na voljo imajo dodatkov, fizičnih posodobitev, itd., s katerimi bi se namembnost kopterja lahko razširila. Programske nastavitve kopterja so zelo omejene, prilagojene so laikom, za zahtevnejše uporabnike pa so premalo profesionalni in prilagodljivi oz. je potrebno dokupiti drago originalno opremo proizvajalca.

Kopterji imajo zelo široko področje uporabe: kmetijstvo, snemanje površine zemlje, dostavljanje paketov, itd., a so specializirani za določeno področje. Najin kopter je mogoče prilagoditi različnim namenom uporabe.

## **Rešitev problema in izpolnitev projekta**

Razmišljala sva, kako bi se lahko kosala z znamko kot je DJI in izdelala multikopter, ki bi letel povsem sam ter izvajal ukaze brez pilota oz. čim bolj samostojno, ki bi imel čim več funkcij in nastavitvev ter bi bil prilagodljiv oz. modularen tako, da bi lahko stranka sama izbrala njegovo uporabo.



## Hipoteze

Postavila sva naslednje hipoteze:

- Izdelava lahko avtonomen kopter, ki bo vozil in izvajal ukaze povsem neodvisno od pilota.
- Sestaviva lahko kopter, ki bo cenovno ugodnejši kot profesionalni kopterji.
- Kopter je možno sestaviti s platformo ArduPilot APM 2.8.
- Okvir kopterja iz alumplast se lahko po karakteristiki primerja z okvirji iz ogljikovih vlaken.
- Iz lastnih izkušenj in dveh let šolanja imava dovolj nabranega znanja za izvedbo takšnega projekta.
- Kopter iz alumplast cevi je sposoben vzleta.

## Raziskovalne metode

Pri raziskovanju sva uporabljala naslednje raziskovalne metode:

- **Delo z literaturo:** Na ArduPilotovi uradni strani sva poskušala zbrati čim več podatkov o njihovi platformi (sheme, povezave, razlage ...). Informacije sva zbirala tudi na različnih modelarskih forumih in na spletni strani YouTube.
- **Intervjuvanje modelarjev:** Na Facebook skupinah in forumih sva poskusila čim več komunicirati z modelarji. Zastavljala sva jim vprašanja in predstavljala svoje ideje ter prosila za mnenja.
- **Zbiranje statističnih podatkov:** Na internetu sva analizirala kombinacije delov, ki so jih uporabljali drugi in analizirala statistike teh kombinacij (napetost, tok, moč, obrati, domet ...) ter snemala statistične podatke, ki jih je kopterjev krmilnik sposoben meriti med letom.
- **Preizkušanje:** Izvedla sva več poskusov. Preizkušala sva letenje kopterja pri različnih nastavitvah in konfiguracijah.
- **Analiziranje podatkov:** Zbrane podatke poskusov sva analizirala in nastavitve spreminjala glede na rezultate.

## 2 SESTAVNI DELI HEKSAKOPTERJA

### 2.1 Okvir

Skozi celotno raziskovanje je najin okvir prešel skozi veliko oblikovnih sprememb, različnih materialov in načinov izdelave in oblikovanja. Tekom raziskovanja sva prešla skozi dve glavni obliki okvirjev, in sicer skozi okvir iz kombinacije alumplast cevi in 3D tiskanih delov in 100 % 3D tiskan okvir povezan z M4 vijaki. V mislih sva že imela tretjo obliko okvirja iz aluminija, ki pa ga zaradi več faktorjev na žalost nisva uspela realizirati.

Takšne konfiguracije niso optimalne. Okvir bi bilo bolje narediti iz delov iz ogljikovih vlaken, vendar so ti dragi in jih je težko obdelovati, tudi s CNC stroji. Midva nisva imela na voljo vse potrebne opreme za takšno delo. Okvir bi lahko izdelala iz ogljikovih vlaken, če bi kopter postal produkt za prodajo in bi za izdelavo imela posebno delavnico, potrebno opremo in dobavitelje materialov.

Okvirje sva narisala v programu Autodesk Fusion 360, nosilce za motorje v prvi verziji okvirja pa pretvorila iz programa Fusion v program Autodesk Autocad.

#### 2.1.1 Okvir iz kombinacije alumplast cevi in 3D tiskanih delov

Okvir najinega kopterja sva zaradi razpoložljivosti virov izdelala iz kombinacije 3D tiskanih kosov, alumplast cevi in aluminija. Noge in roke so narejene iz alumplast cevi. Telo, vezne spojke, končni pokrovčki cevi in nosilci za motorje so 3D-tiskani s PLA (Poli-mlečna kislina) plastiko. Osrednji del nosilca za motorje je bil izrezan na CNC stroju, saj so se predhodni plastični deli izkazali kot slabi prenašalci visoke temperature motorjev, ki je bila, ironično, povzročena zaradi velike teže in prevelikega razpona krakov. Po skrajšanju krakov je kopter uspešno ostal v zraku dlje časa in pregrevanje motorjev se je drastično izboljšalo, vendar še vedno ni kazalo zadovoljivih rezultatov.



Slika 1: Okvir heksakopterja



Slika 2: Okvir heksakopterja s pokrovom komponent



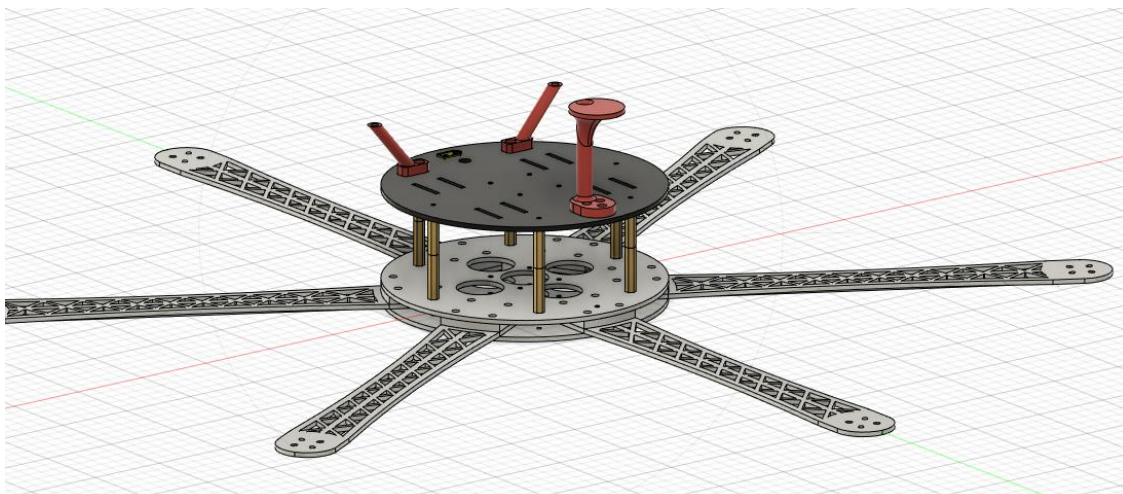
Slika 3: Model alumplast okvirja



Slika 4: Skrajšani kraki alumplast okvirja

### 2.1.2 Aluminijast okvir

Alumplast okvir se je izkazal kot slab koncept, zato sva začela z iskanjem alternativ. Želela sva direktno skočiti na idejo aluminijastega okvirja. Zanj sva že imela narisane prve načrte in začela sva se dogovarjati o izrezovanju delov na šolskih CNC rezalnikih. Na koncu sva ugotovila, da imajo ti premajhno delovno površino za izrezovanje tako velikih obdelovancev. Kmalu za tem nas je epidemija s covid-19 prisilila v delo doma, kar je pomenilo, da nisva imela dostopa niti do novih materialov niti do šolskih strojev. Razmišljala sva o izrezavi po naročilu v kakšnem podjetju, vendar je tudi to zapadlo zaradi iztekanja časa pri oddaji naloge v šolskem letu 2019/2020.



Slika 5: Model aluminijastega okvirja

### 2.1.3 Povsem 3D tiskan okvir

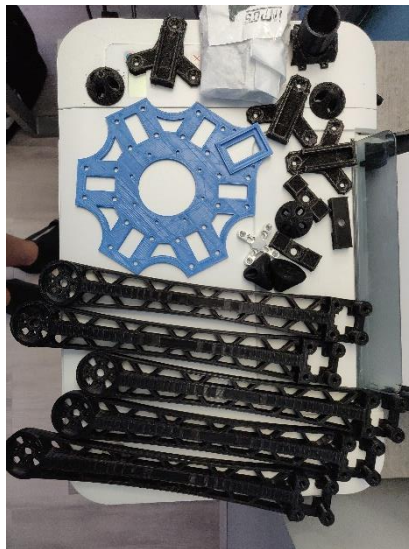
Med delom na daljavo sva razmišljala, kako bi lahko nadaljevala projekt brez vseh potrebnih materialov in strojev. Na popularni spletni strani za 3D modele sva naletela na okvir za kopter, ki je bil izredno blizu ideji za okvir, ki sva jo imela v mislih. Na koncu šolskega leta, ko so se regije ponovno odprle, sva ga natisnila na 3D tiskalniku.



Okvir se je izkazal za odličnega, saj je bil enostaven. Kljub temu je imel vse, kar sva iskala pri najinem okvirju. Zaradi veliko manjše teže se je čas letenja drastično povečal in sicer tako, da še sama nisva mogla verjeti. Ker je bil povsem 3D tiskan, je bilo dele enostavno zamenjati, če in ko so se ti zlomili (kar se je med testiranjem zgodilo večkrat).



Slika 8: Tiskanje kraka



Slika 7: Deli 3D tiskanega okvirja



Slika 6: Ponesrečen tisk (zamik slojev)

Okvir je bil skoraj popoln, vendar mu je manjkalo nekaj funkcij, kot so nosilne točke za vse najine komponente, ki se jih je za avtonomijo precej nabralo in noge, ki ne bodo v napoto modulom, katere se lahko priklopi na spodnjo stran kopterja (v najinem primeru modul s kamero in stabilizatorjem za visoko resolucijsko snemanje).



Slika 9: Sestavljen 3D tiskan okvir

Večina težav pri tem okvirju se je pokazala pri izdelavi delov na 3D tiskalniku. Ker so deli veliki in se zato dolgo tiskajo, jih je bilo težko spraviti na delovno površino šolskega tiskalnika. Dolg čas tiskanja je omejeval, koliko delov sva lahko naredila. Za tisk celotnega kopterja sva potrebovala ves šolski teden. Večkrat se je tudi zgodilo, da se je del enostavno odlepil od delovne površine, kar je za PETG (material, s katerim sva tiskala – izbrala sva ga zaradi njegovih dobrih karakteristik za močnejše mehanske dele)

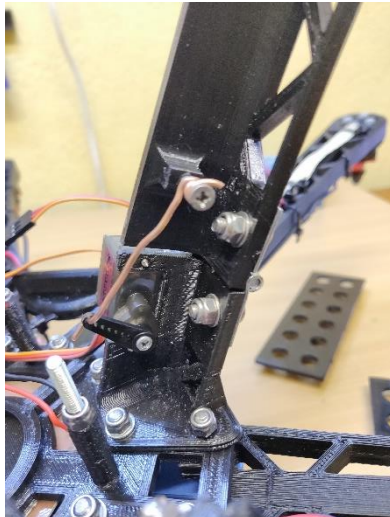
značilno, saj se ta rad ob nihanju temperature v prostoru oz. pri prenizki temperaturi v prostoru upogne stran od postelje tiskalnika in tako šoba nadaljuje tisk po zraku. Končni rezultat je zmešnjava plastičnih špagetov (kot se imenuje ta vrsta neuspešnega tiska).

#### 2.1.4 Zložljive noge

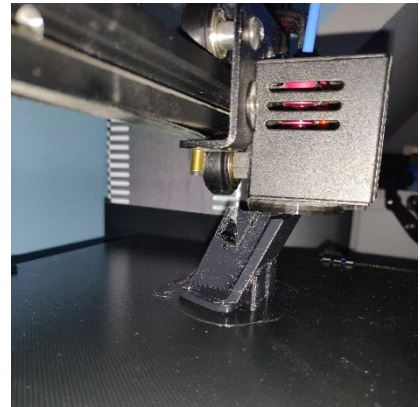
Kot že omenjeno, se je nov povsem 3D tiskan okvir dobro obnesel, vendar še vedno ni bil popoln. Odločila sva se, da zanj nariševa zložljive noge, ki v zloženem položaju ne bodo v napoto oz. ne bodo vidne v sceni pri uporabi modulov na spodnji strani kopterja (v najinem primeru kameri).



Slika 12: Model zlozljivih nog



Slika 11: Mehanizem za zlaganje



Slika 10: Sestavni del nog med tiskanjem

Dizajn nog se nama je zdel precej dobro zasnovan, a se je po 3D tiskanju in montaži na kopter izkazalo, da noge niso sposobne držati kopterja v pokončnem položaju. Namen je bil, da bo vsaka noga imela svoj 9g servo motor, ki bo kontroliran s stikalom na oddajniku(ročno) oz. kontroliran preko krmilnika v kodi za misijo (avtomatsko). Servo motor bi moral noge uvleči in iztegniti glede na PWM signal, ki ga prejmejo motorji.

Pri montaži in prvem poskusu je kazalo, da bodo 9g servo motorčki za RC letala dovolj močni in da bodo držali noge v položaju, vendar so se zobniki zlomili po prvem realnem poskusu.



Slika 13: Montirane zlozljive noge

Na koncu se je dizajn izkazal kot prevelik, saj ni dopuščal montiranja velikih modulov, kot je na primer najin stabilizator za kamero, saj so bili servo motorčki v napoto. Naslednja težava je bila, da bi se moral pri drugih motorčkih signal zrcaliti, saj sta se dve nogi vedno uvlekli, drugi dve pa iztegnili, ker so vsi motorji prejeli en signal. Motorčke je bilo treba tudi napajati z zunanjim 5V regulatorjem, saj bi preobremenili sprejemnik oz. krmilnik ArduPilota, če bi jih napajala direktno in tudi notranja varovalka na ArduPilotu bi verjetno pregorela.



## INNLOI UAV



Slika 14: Primer komercialnih zložljivih nog

Napaka mogoče ni bila v dizajnu nog, temveč v moči najinih motorčkov, a 9g so bili edini, ki sva jih lahko dobila v Sloveniji.

Mogoče bi bil dizajn bolj učinkovit, če bi uporabila navaden dc motor ali pa navaden servo motor namesto 9g hobi server motorčkov. Uporabila bi lahko tudi nekaj zunanjih zobnikov in samo dve nogi v T obliki. Tako bi koncept deloval veliko bolje. Razmišljala sva tudi o raznih zaklepnih mehanizmih, a vse bi preveč zasedalo prostor za najine module. Zložljive noge so bile torej za naju neuspešen poskus v kosanju s komercialnimi izdelki, zato sva idejo opustila in jih nadomestila s fiksnimi nogami.

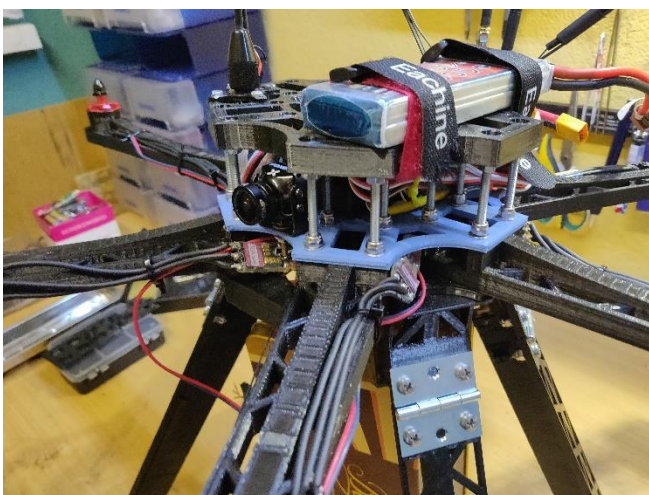
### 2.1.5 Ponovno risanje okvirja

Pri risanju zložljivih nog sva se odločila, da doriševa za okvir dele okvirja, ki bodo kompatibilni starim in izpopolniva pomanjkljivosti, ki so naju motile na 3D modelu, ki sva ga našla na spletu. To je tudi ena izmed dobrih lastnosti najinega okvirja, da lahko obliko delov enostavno prilagodiš in nadgradiš, brez da bi spremenil celoten okvir. Na osnovi starega okvirja sva narisala nove komponente ter dodala več lukenj in nosilcev specifičnih najini opremi.

Baterije sva do sedaj vedno pritrjevala na mesto, kjer bi morali biti najini razširitveni moduli, zato sva narisala držala za baterije na vrhu kopterja in dodala še malo več prostora za vso zmešnjava žic, ki vodijo do različnih delov kopterja.



Slika 16: Nosilca za baterije

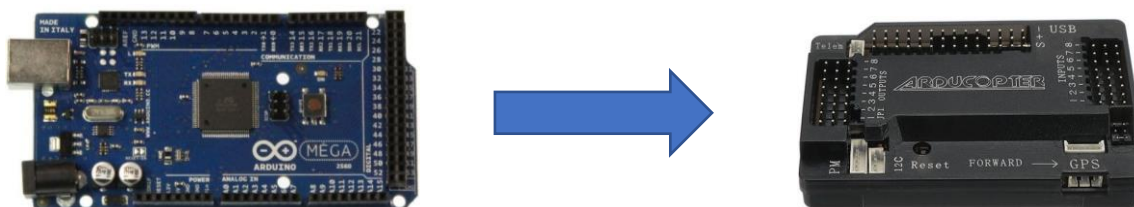


Slika 15: Sestavljeni, dorisani deli

## 2.2 Krmilnik letenja ArduPilot APM 2.8

ArduPilot APM krmilnik je osrednji del kopterja, v katerem se izvaja vse preračunavanje. Zasnovan je na osnovi zelo razširjenega mikrokrmilnika Arduino Mega 2560. Nanj so priključene vse ostale komponente, kot so motorji, GPS antena, antena za telemetrijo (dostop in upravljanje kopterja z računalnikom ali telefonom na daljavo), senzor napetosti in toka ter sprejemnik.

Na ploščici najdemo giroskop, barometer in kompas. Krmilnik upravlja z vsemi pridobljenimi informacijami ter na podlagi referenčnih vrednosti in programa, ki ga uporabnik nastavi sam, upravlja s plovilom. Krmilnik upravlja, zaznava in preračunava podatke. Uporabila sva 8-bitni procesor za kopter, vendar se je izkazalo, da je preračunavanje podatkov z njim prepočasno. Obstajajo namreč veliko hitrejši, bolj natančni in preprosti krmilniki osnovani okoli 32-bitnega F7 procesorja arhitekture ARM, ki jih najdemo v večini modernih naprav, vključno z našimi telefoni.



Slika 17: Arduino Mega 2560 in ArduPilot APM 2.8

## 2.3 ESC ali električni regulator hitrosti

ESC (ang. Electronic speed control) pretvarja DC napetost baterije (v najinem primeru 4S oz. štiri zaporedne baterije, ki lahko skupaj dovajajo 14.8V) glede na napetostni signal, ki ga prejme od ArduPilota, v 3-fazni AC tok, ki ga za delovanje potrebujejo najini brez-krtačni motorji. Pri ESC se je pojavil problem, in sicer ta, da sta bili žici za GND (potencial 0V) in žica



Slika 18: ESC vezje

za signal na enem izmed njih v tovarni narobe priklopljeni. Tako eden izmed motorjev ni dobil signala od krmilnika in ni deloval. Ta problem zamenjanih žic se je v projektu večkrat ponovil.

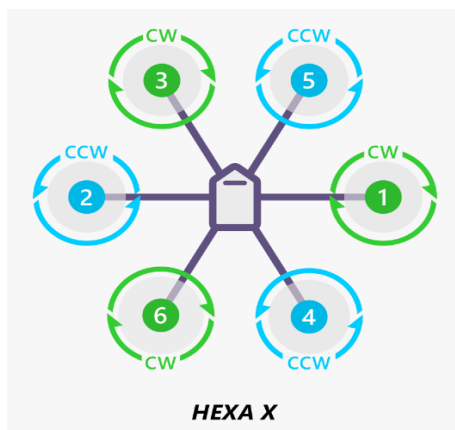
### Specifikacije ESC:

- ESC-eji lahko obratujejo z napetostnim razponom baterij od 3S-5S, kar pomeni, od 11,1 V do 18,5 V. Oznaka S označuje število zaporedno vezanih galvanskih členov baterije. Vsak od njih dovaja nominalnih (povprečnih) 3,7 V in maksimalnih 4,2 V.
- Njihov RMS (ang. root means square oz. efektivni) tok je 30 A.
- Njihov maksimalni (ang. peak) tok je 40 A.
- ESC-eji 5 V imajo pogosto 2-3 A regulator za napajanje krmilnika letenja, vendar najini te možnosti nimajo. Zato krmilnik napaja modul s senzorjem toka in napetosti, ki ima vgrajen 5 V regulator, ki s konstantno napetostjo napaja najin krmilnik ter vse ostale senzorje in naprave priklopljene nanj. Zato je izredno pomembno, da je ta napetost konstantna (napetost bi privedla do nestabilnosti sistema).
- ESC-eji delujejo na več protokolih komunikacije s krmilnikom letenja, kot so DSHOT600/300/150, ONESHOT125/42, MultiShot in PWM.

Najini ESC krmilniki podpirajo vse te protokole, a je krmilnik APM 2.8 na žalost preveč zastarel, da bi izkoristil možnosti vseh teh protokolov, kar je ena izmed slabosti izbire krmilnika APM 2.8. Zato uporabljava navaden signal PWM (Pulzno širinska modulacija).

## 2.4 Motorj

Motorji so ključni del vsakega zračnega plovila, ne samo kopterja. V primeru odpovedi motorja lahko plovilo pade in poškoduje drago opremo, lastnino ali pa v najslabšem primeru tudi ljudi. Zato sva se odločila, da za najin kopter uporabiva šest motorjev, ki so postavljeni v konfiguraciji X. Črka X označuje postavitev motorjev in koordinate plovila. V najinem primeru se »kabina« nahaja v sredinskem zgornjem delu črke X, sprednja dva motorja pa predstavljata krajišči črke.



Slika 19: Motorji razporejeni v konfiguraciji X

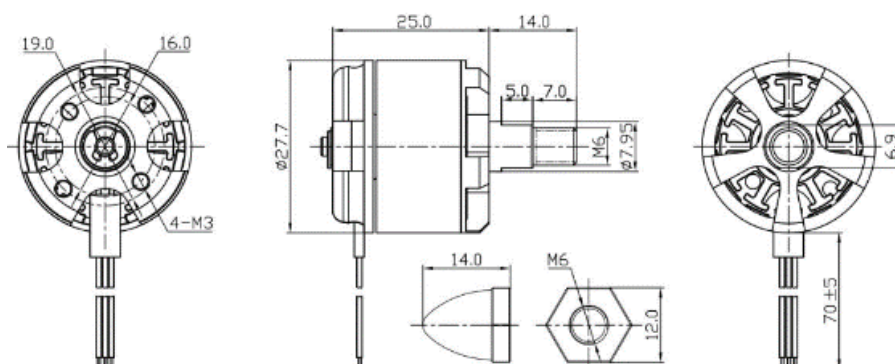




Slika 21: Brezkrtačni motorji RaceStar BR2212

Krmilnik letenja lahko z upravljanjem moči na posameznem motorju vpliva na smer letenja. Če želimo kopter prestaviti naprej, povečamo moč na zadnjih dveh motorjih in obratno. To velja tudi za smer levo-desno. Težje pa je pojasniti rotacijo v levo ali desno, če gledamo s ptičje perspektive. Rotacijo lahko primerjamo z delovanjem močnejših paličnih mešalnikov ali kotnih brusilnikov, kjer opazimo,

kako ob prižigu naprave telo pridobi moment v eno ali drugo smer. Na enakem principu deluje rotacija kopterja. Če želimo kopter obračati v levo, pojačamo moč treh motorjev, ki se vrtijo v levo, kar povzroči navorno silo na sredinsko os in posledično obračanje. Motorji si na kopterju sledijo v smereh CW/CCW (clockwise / counter-clockwise) oz. v smeri in proti smeri urinega kazalca ravno zaradi tega pojava. S tem uspešno preprečujemo neželjeno obračanje, saj se sila teh motorjev izenači.



Slika 20: Mere motorjev

Za šest motorjev sva se odločila, ker v primeru okvare enega od motorjev, krmilnik avtomatsko izklopi nasprotni motor in s tem prepreči pobeg plovila. Za uspešen in nadziran let pa potrebujemo vsaj štiri motorje. Za še večjo zanesljivost plovila bi lahko uporabila osem motorjev. Motorji so trofazni in brezkrtačni. Poganja jih izmenična (AC) napetost. Faze in AC napetost, ki jo potrebujejo, ustvarja ESC.

Tip motorjev, ki sva ga uporabila, je BLDC (brushless DC). Poleg nazivne napetosti oz. napetostnega območja in nazivnega toka ima BLDC podano še KV oznako (ki je ne smemo zamenjati z oznako za kilovolt kV), ki nam pove, koliko obratov na minuto [RPM] lahko motor ustvari z vsakim podanim voltom [V] napetosti (neobremenjen). Midva sva uporabila 980 KV motorje, ki preračunano, z najino povprečno napetostjo baterije, brez bremena (propelerja), ustvarijo približno 12.580 RPM.

MODEL	KV (rpm/V)	Voltage (V)	Prop	Load Current (A)	Pull (g)	Power (W)	Efficiency (g/W)	Lipo Cell	Weight (g) Approx
B2212	920	11.1	8045	7.3	465	81	5.7	2-4S	50
			1045	9.5	642	105	6.1		
	980	11.1	8045	8.1	535	90	5.9		
			1045	10.6	710	118	6.0		

Slika 22: KV motorjev pri določeni napetosti in velikosti propelerjev

## 2.5 Propelerji

Propeler je eden izmed najbolj pomembnih pasivnih sestavnih delov kopterja. Pri propelerjih moramo paziti na njihov material, dimenzije in premer gredi. Poznamo propelerje izdelane iz preproste hobi plastike (ABS) ter propelerje iz ogljikovih vlaken, lesa in aluminija.



Slika 23: Propelerja CW/CCW, 1045

Midva sva se odločila za propelerje izdelane iz plastike nylon, ojačane s steklenimi vlakni. Propelerji so močni in togi, a zelo krhki. To pomeni, da slabo prenašajo potencialne padce in trke. Pri dimenzijah poznamo premer propelerja (od krajišča kraka do krajišča kraka) in »pitch« oz. naklon elis propelerja.

Midva sva se odločila za propelerje 10"x4.5", kar nam pove, da ima propeler 10 palcev premera oz. približno 25.4 cm in naklon 4.5 palca. To nam pove, da propeler prepotuje teoretičnih 11,43 cm skozi zrak, ko naredi en poln obrat. To si najlažje predstavljamo kot vijak z grobim in finim navojem. Bolj kot bo navoj grob, globlje se bo vijak zaril v les z enim obratom. Bolj kot bo navoj fin, manj se bo zaril. Tako bo enako dolg vijak potreboval veliko več obratov, da prepotuje enako razdaljo. Večji kot je »pitch« propelerja, večjo moč ima in pri enakih obratih proizvede veliko več potiska.

Če želimo optimalen let, moramo poskrbeti za najbolj učinkovito razmerje med napetostjo baterije, KV specifikacijo motorja in naklonom propelerja. Midva sva naredila napako, saj sva uporabila prevelik propeler oz. propeler s prevelikim naklonom. Posledično so se motorji pregrevali, saj niso bili dovolj močni, da bi obrnili tako velik motor s polnimi obrati, pri katerih je motor najbolj učinkovit. Nazadnje imamo še premer gredi: motorji imajo premer gredi, na katero mora propeler sestiti. Najin motor je imel premer gredi 8 mm, propelerji pa 5 mm. To sva hitro popravila s svedrom.

## 2.6 Oddajnik (TX) in Sprejemnik (RX)



Slika 24: FrSky Taranis X9D Plus oddajnik

Pri oddajnikih sva imela zelo širok razpon izbire. Sprva sva imela v mislih eno izmed najdražjih in gotovo najbolj priljubljenih možnosti podjetja FrSky, in sicer oddajnik FrSky Taranis X9D Plus, za katerega so na voljo tudi odlični sprejemniki, ki imajo ob nakupu pravih delov v idealnih razmerah učinkoviti doomet tudi 5 km ali več. Oddajnik ponuja do 14 kanalov preko tipa signala PPM in do 18 kanalov preko tehnologije SBUS, ki jo je proizvajalec patentiral sam. Ostali so mu sledili.

Daljinec je zelo kvaliteten, saj ima doomet z minimalno latenco (čas, ki ga potrebuje signal, da pride od oddajnika do sprejemnika) in je namenjen profesionalcem.

Razmišljala sva tudi o Jumperju T16 Pro, ki pa je bil v času kupovanja komponent za najin projekt šele najavljen za prihod na tržišče in zato ni pristal v košarici. T16 je dobra izbira, saj je odprtokoden (ang. open source), kar pomeni, da so njegovi načrti in programska oprema na voljo vsakomur. To pomeni, da bodo ljudje zanj razvijali veliko opcij, nastavitvev, itd.



Slika 26: Jumper T16 Pro oddajnik



Slika 25: FlySky i6x oddajnik

Jumper T16 ima posebne upravljalne palice s tako imenovanimi Hallovimi senzorji, ki omogočajo izredno natančnost premikov, so pa tudi bolj obstojni in se ne izrabijo tako hitro. Še ena stvar, ki naju je pri njem zelo pritegnila, je bila, da podpira mnogo protokolov ter module, ki se vklopijo na njegovo zadnjo stran. To pomeni, da FrSky Taranis X9D Plus z FrSky-evim modulom za na dolge razdalje (ang. long range module) postane perfektna izbira za let do nekaj kilometrov. Še ena njegovih prednosti je seveda velik zaslon, na katerem bi lahko izpisoval vse podatke telemetrije kopterja, kot so npr. kot letenja, smer nosu kopterja, podatki, ki jih berejo različni senzorji (napetost, tok) in še marsikaj drugega.

Po tehtnem premisleku sva se raje odločila za eno izmed najcenejših, a izjemno dobrih možnosti, ki se lahko skoraj kosa s Taranisem. To je Oddajnik FlySky i6X proizvajalca FlySky. Najin daljinec za slabih 50 € ponuja 10 oddajnih kanalov, telemetrične podatke iz željenega senzorja na plovilu ter 2,4 km dometa v idealnih razmerah, kar je odlična vrednost pri tako nizki ceni.

Zakaj sva se odločila za tako drastično cenejši in preprostejši izdelek? Razlog je zelo enostaven. Odločila sva se za izdelavo avtonomnega kopterja, ki bo misijo izvajal sam. Realno midva nisva potrebovala velikih razdalj kontrole z daljincem, razen za preizkušanje in ročne lete, ki jih po zakonu moramo izvajati v vidnem polju pilota, ki običajno ne presega 100 m. Ta oddajnik nama je ponujal vse nujno. Imel je dovolj stikal, da sva lahko brez težav upravljala z vsemi funkcijami na multikopterju, dovolj kvalitetne upravljalne palice za vse štiri osi gibanja plovila in razne predelave, ki jih je »open source« (odprtokodna) skupnost pomagala razviti in izpiliti, kot je na primer predelava drugega stikala na oddajniku iz dve-pozicijskega v tri-pozicijskega.



Slika 27: Oddajnik i6x in varovalo upravljalnih palic in stikal

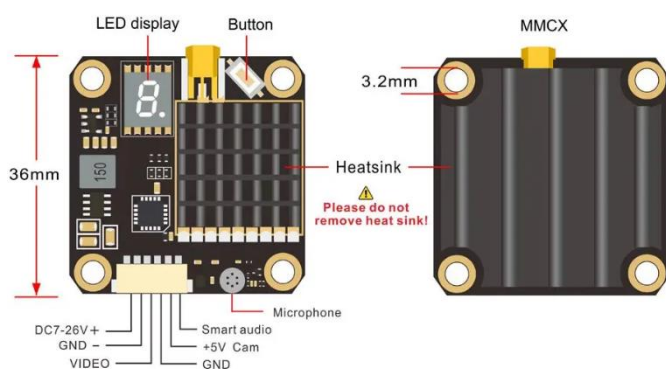
Na koncu sva oddajniku dodala še 3D-tiskana držala za boljši oprijem ter varovalo za krmilne palice in stikala za čas, ko je oddajnik v prevozu.

Sprejemnik, ki sva ga že prejela v kombinaciji z oddajnikom, ima na voljo 10 PWM kanalov, enega PPM in enega IBUS. Naloga sprejemnika je sprejemanje signalov, ki jih pošlje oddajnik in posredovanje teh podatkov krmilniku letenja. Naloga oddajnika je, da sprejme ukaze upravljalca in jih pošlje oddajniku. Ne glede na izbor oddajnika/sprejemnika je vedno naš cilj, da je čas med pošiljanjem in sprejemanjem podatkov (latenca) čim krajši, govorimo le o nekaj milisekundah.



Slika 28: FlySky FS-iA10B sprejemnik

## 2.7 VTX – video oddajnik



Slika 29:Vežalna shema AKK VTX-a

VTX (ang. Video transmitter) je analogni video oddajnik, ki deluje pri nosilni frekvenci 5.8 Ghz in preko antene v prostor oddaja moduliran video signal, ki ga nato sprejme druga antena. Signal je viden na zaslonu RX oz. sprejemnika ali na FPV (ang. First-person view) očalih (podobno kot VR-virtualna resničnost).

V najinem primeru sva izbrala AKK FX2-Dominator. To je 2W oddajnik, ki lahko oddaja video na različnih kanalih, ki se uporabljajo pri zračnih plovilih. Ima sposobnost nastavljive oddajne moči od 250 mW do 2000 mW oz. 2 W. Ima tudi vhod za funkcijo SmartAudio, ki je protokol, preko katerega lahko upravljamo VTX preko krmilnika letenja (ArduPilot 2.8 tega žal ne podpira, F7, ki sva ga omenjala pri krmilnikih na začetku naloge, pa podpira ta protokol).



## 2.8 Baterija

### 2.7.1 Najina izbira baterije

Za baterijo lahko mirno rečemo, da je srce vsakega multikopterja. Baterija napaja motorje, krmilnike, senzorje in vse ostale električne dodatke, ki jih želimo uporabiti pri poletu. Pri bateriji je ključnih več dejavnikov. Vsi vplivajo na zmogljivost in varnost multikopterja. Govorimo o napetosti, kapaciteti, velikosti, kemiji, teži, specifikaciji C in tipu konektorja, ki ga uporablja.

Sprva sva se odločila za baterijo kemije LiPo oz. drugače znano kot Litij-Polimer baterijo z nominalno napetostjo 11.1 V in maksimalno napetostjo 12.8 V, specifikacijo 60 C (ta nam pove, koliko toka lahko baterija konstantno dovaja, v najinem primeru je to preračunanih konstantnih 210 A, kar je ogromno) in kapaciteto 3500 mAh.



Slika 30: LiPo baterija



Slika 31: Konektor XT60

Pri tipu konektorja sva se odločila za popularen modelarski XT60. To je konektor, ki je bil že vnaprej montiran na bateriji, ki jo je eden izmed naju imel doma. Poleg XT60 ima baterija še en konektor, imenovan JST, ki ima pri 3S štiri žice pri 4S pa pet žic. Ta konektor se uporablja za natančno polnjenje baterije in nadzor napetosti posamičnih celic tako imenovanega baterijskega sklopa. Delovanje kopterja sva preizkusila s takšno baterijo in hitro prišla do zaključka, da kljub močnemu toku, ki ga baterija lahko dovaja, ta preprosto ni dovolj močna.

Na koncu sva za prvi uspešen polet uporabila 4S (14.8 V) baterijo, ki sva jo sestavila iz dveh manjših 2S (7.4 V) baterij, vezanih zaporedno, ki smo jih imeli v šoli od drugega projekta. Ta baterija je bila sposobna dovajati le slabih 160 A, kar je načeloma dovolj za polet in ne ovira motorjev.

### 2.7.2 Nevarnosti pri uporabi Lipo baterij

Kot že omenjeno, so LiPo baterije ene izmed najbolj zmogljivih baterij oz. baterijskih kemij, kar se tiče tokovne sposobnosti, vendar imajo zaradi tega tudi slabe plati.

LiPo baterije so izredno občutljive, še posebej, če jih ne uporabljamo pravilno. Napetost baterije nikoli ne sme pasti pod določeno vrednost načeloma pod 3.5 V. Baterija v dolgotrajnem mirovanju nikoli ne sme ostati 100 % napolnjena, saj bo počasi izgubila svojo



Slika 32: Zgorela Lipo baterija

kapaciteto, zato jo moramo hraniti na okoli 80 % oz. 8.20 V na celico. Takšna vrsta baterij mora biti običajno povezana na posebna polnilna vezja, ki skrbijo, da je ne moremo preveč napolniti ali preveč izprazniti. Ta vezja lahko imajo tudi sposobnost, da ohranjajo napetosti posameznih celicah večjih baterij (2-12S, v industriji lahko tudi več) v ravnovesju med seboj.

LiPo baterije morajo biti dobro zaščitene pred udarci in poškodbami, saj je njihova kemija izredno vnetljiva in

njihova sposobnost velikih tokov ne pomaga, zato morajo biti vedno zaščitene z različnimi ohišji.

### 2.7.3 Li-Ion 18650 baterija

V nadaljevanju najinega raziskovanja pa bova sestavila baterijo na osnovi izjemno popularnih Li-Ion celic z oznako 18650. Te celice lahko prepoznate v modernih polnilnih napravah, kot so prenosni računalniki, laserji, svetilke, električna kolesa/rolke in tudi v elektronskih cigaretah, kjer so praktično edina uporabljena vrsta baterije. Najina baterija bo stala manj kot 20 €, saj imava celice že doma. Sposobna se bo kosati z LiPo baterijami, ki lahko stanejo več 100 €. Ciljava na 4S (14.8 V) napetosti s povprečno kapaciteto 16 000 mAh in teoretičnih konstantnih 160 A toka z maksimalnimi sunki do 1600 A (kdor ima kakršnokoli znanje elektronike se pošteno prestraši, že ko prebere takšne specifikacije, saj je 1600 A pri taki napetosti več kot dovolj sposobnih, da vari kose kovine). Tip konektorja ostaja XT60, baterija bo pa le 18 % težja od konkurenčne baterije tipa LiPo.



Slika 33: Osnova za baterijski pack iz 18650 baterij

## 2.9 Polnjenje

Baterijski tip LiPo je sicer eden izmed zmogljivejših baterijskih vrst, a je izjemno občutljiv na fizikalne spremembe. Za polnjenje potrebujemo poseben pameten polnilec, ki skrbi za enakomerno polnjenje vseh celic na točno 4.20 V pri maksimalnem nastavljenem toku.



Slika 34: Polnilni proces

To preprečuje možnost požara in samouničenja baterije. Baterije so občutljive tudi na udarce in prebode. Vse to lahko vpliva na končno zmogljivost in varnost baterije. Na srečo smo v šoli imeli pameten polnilec ISDT SC-608, ki nudi zanesljivost podjetja ISDT in dovolj moči, da polni tudi najine izjemno zmogljive baterije. Polnilec lahko dovaja 150 W moči in v eni uri napolni baterijo, s katero je kopter sposoben leteti do 10 min (po menjavi okvirja je ta čas povečan na 20 min). Ima tudi nekaj praktičnih in zelo naprednih funkcij, kot je polnjenje brez JST konektorja, praznjenje baterij in merjenje notranje upornosti posamezne celice, kar je zelo pomemben podatek, če želimo spremljati izrabljenost naših baterij in je izredno dober indikator, da smo baterije preveč izpraznili (pod 3.3 V je za posamezno celico škodljivo). Balansirni konektor (JST) skrbi, da lahko polnilec ves čas spremlja napetost vsake posamezne celice in ne samo baterije kot celote ter s tem zagotavlja enakomerno napolnjenost tudi med polnjenjem in ne le ob koncu, kot to počnejo cenejši polnilci



## 2.10 Senzorji

Za senzorje je na tržišču ogromno možnosti. Ponujajo merilce razdalje, naknadne giroskope, merilce hitrosti/pospeška, barometre, senzorje moči signala, merilce EMF sile motorjev, preprosta stikala in mnogo drugih. Na krmilniku letenja je že montiran 6-osni digitalni žiroskop, ki meri pozicijo plovila v razmerju proti vodoravni ravnini, barometer, ki meri zračni tlak in na podlagi izsledkov ter pravilni kalibraciji natančno določi višino plovila in vgrajen kompas, ki prikazuje smeri neba ter stopinje odmika od severa, po katerem se plovilo ravna podobno kot komercialna letala. Naknadno sva dodala še GPS, ki nam do 3 m natančno prikazuje pozicijo plovila ter merilec napetosti in toka, ki nam na računalniku prikazuje status baterije. Tako vemo, kdaj je potrebno pristati, da se baterija ne uniči. Poleg tega je senzor moči signala vgrajen že v 900 MHz telemetričnem oddajniku, ki ves čas prikazuje moč signala ali v % ali pa v enotah dBm. Senzorji so ključni del vsakega plovila, zato nameravamo v nadaljevanju raziskovanja naročiti nov krmilnik letenja z bolj natančnim barometrom ter dvema žiroskopoma. Dodati želiva še merilnik zračne hitrosti znan tudi kot Pitova cevka in senzor razdalje, da bodo možni natančni pristanki ter, če bo možno, še senzor zaznavanja okolice, ki ga bova simulirala, ali z več merilniki razdalje postavljenih na krakih ali pa s senzorjem LIDAR, ki ga uporabljajo roboti, ki morajo poznati svojo okolico npr. Roomba robotski sesalec. Uporabila bi tudi preprosto stikalo, da nama pove, kdaj so pristajalne noge v popolnoma dvignjeni poziciji.



GPS in KOMPAS



SENZOR NAPETOSTI IN TOKA



SENZOR OPTIČNEGA PRETOKA



SENZOR ZRAČNEGA PRETOKA



ULTRASONIČNI SENZOR



LIDAR

Slika 35: Senzorji

## 2.11 Stabilizator DSLR kamere

Stabilizator DSLR kamere je prav to, kar se sliši. Je naprava namenjena stabilizaciji kamere, ki pomaga pri odpravljanju nepotrebnih tresljajev, ohranja sliko vedno vodoravno oz. v položaju, ki ga določi uporabnik in skrbi za krmiljenje kamere. Sama sva se odločila za tri osni stabilizator, ki lahko stabilizira oz. nadzira kamero v oseh »pitch« oz. nagib (naprej/nazaj), »roll« oz. naklon (levo/desno) in v »yaw« oz. rotaciji (levo desno, če gledamo iz vrha stabilizatorja). Stabilizator bolje poznamo pod angleškim nazivom »gimbal«. Sprva je bil namenjen snemalcem, da so lažje ohranjali mirne posnetke, kasneje so ga začeli montirati na kopterje. Zelo znan kopter s stabilizatorjem je DJI Phantom 4 ali pa kopter DJI Mavic Pro. Oba proizvoda proizvaja podjetje DJI, ki naju je deloma navdihnilo.



Slika 37: Stabilizator kamere



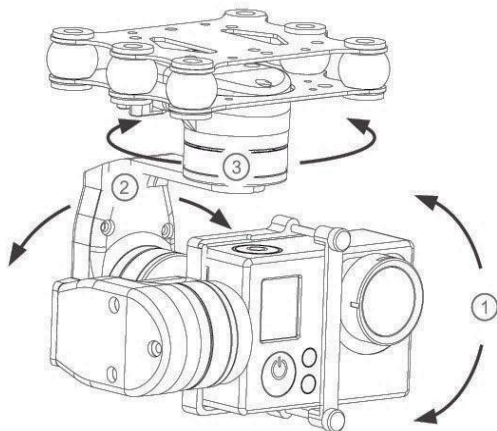
Slika 36: Sestavni deli stabilizatorja

### 2.11.1 Sestavni deli stabilizatorja

Stabilizator je v najinem primeru sestavljen iz okvirja, zelo kvalitetnih brezkrtačnih motorjev (nekateri jih delajo tudi iz servo modelarskih motorjev, a zna biti stabilizacija sunkovita in neenakomerna) in krmilnika stabilizatorja, ki skrbi za vodoravnost celotnega sestava.

Okvir je sestavljen iz lahkega, a močnega aluminija, njegova oblika pa omogoča obračanje kamere na takšen način, da stabilizator nikoli ne pride v kader posnetka. Motorji so trije. Vsak skrbi za eno os in so prav smešno veliki, če jih primerjamo z motorji, ki ženejo kopterja. Vsak od teh motorjev je optimiziran za izjemno močan navor in nizke hitrosti. Za gladkost posnetka skrbi krmilnik. Motorji imajo oznako 130 KV, kar pomeni, da lahko z najino baterijo dosežejo največ 2200 obratov na minuto, a je v stabilizatorju tipično, da nikoli ne opravijo niti enega polnega obrata. Krmilnik ima 32 bitni procesor, ki je več kot dovolj hiter, da dohaja nenadne spremembe v gibanju plovila ter hkrati ohranja gladke prehode in mirno sliko. Na njem se poleg odličnega procesorja nahaja še kvaliteten žiroskop, ki natančno meri njegovo pozicijo in pošilja podatke procesorju. Zraven so še 3 ESC krmilniki motorjev, saj so ti motorji po tipu enaki glavnim pogonskim motorjem multikopterja.

### 2.11.2 Princip delovanja stabilizatorja



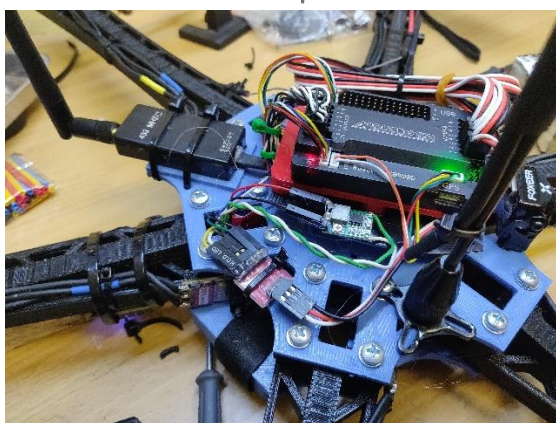
Slika 38: Delovanje stabilizatorja kamere

Delovanje stabilizatorja je v osnovi izjemno preprosto. Sprva mu določimo referenčno ravnino (po domače povedano – računalnik), ga vklopimo in poravnamo kamero ter mu s tem povemo, kaj je ravno. Nato lahko z multikopterjem vzletimo. Ko je celoten sestav v zraku, se računalnik v stabilizatorju na vso moč trudi, da kamero ohranja v poziciji, ki smo jo prej določili kot ravno. Torej, če se kopter nagne levo, bo stabilizator kamero nagnil desno, da jo ves čas drži v ravnini. Na začetku te točke sem zapisal, da je delovanje preprosto. Drži? Samo

delovanje je izjemno preprosto tudi za razumevanje, vendar je izvedba veliko težja. Procesor mora preračunavati ogromno kompleksnih matematičnih formul. Krmilniki delajo pod veliko obremenitvijo, da držijo motorje in težko kamero pokonci. Ko sva stabilizator prvič poskusila priklopiti na napajanje, se ni zgodilo prav nič. Ko sva odprla ohišje, sva ugotovila, da je bila ena izmed komponent odspajkana od glavne plošče. Začasno sva jo uspela prispajkati nazaj na svoje mesto, vendar stabilizator še vedno ni deloval.

O napaki sva poročala prodajalcu in ta nama je poslal novo kontrolno ploščo. Zaradi nedelovanja krmilnika sva se odločila, da stabilizatorja še ne bova pritrdila na kopter v tem delu raziskovanja, temveč v nadaljnjem raziskovanju, ko bo prispel nov krmilnik in bova lahko ponovno testirala ter, upajmo, poletela s kamero.

### 2.11.3 Preklop med kamerami



Slika 39: Vezje za prekllop med video vhodi

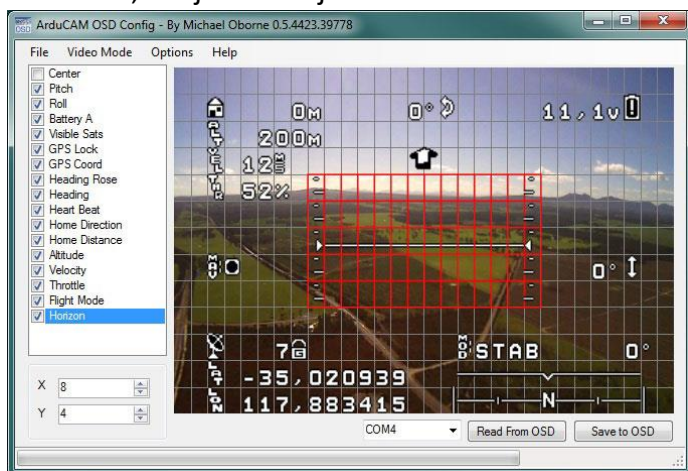
Ker imava na kopterju dve kameri, eno za smer leta in drugo kot dodatni modul za snemanje, lahko na video sprejemniku gledava samo en video signal. To sva odpravila s preprostim vezjem, ki bere PWM vrednost stikala radijskega oddajnika in preklopi med obema kamerama pri vrednosti 1500.

Najina kamera ima analogni video izhod, vendar pa ima večina novejših in filmskih kamer enega izmed treh hdmi konektorjev kot izhod, zato lahko v takem primeru enostavno uporabimo hdmi to AV pretvornik, ki digitalni signal hdmi kabla pretvori v analognega, ki ga lahko nato z VTX oddajnikom pošljemo do ekrana pilota.

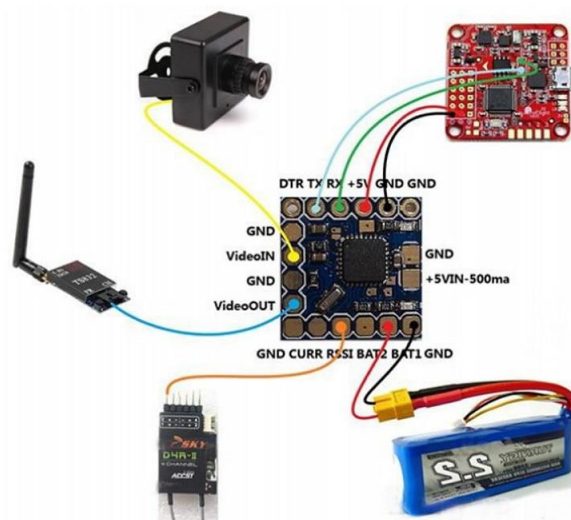


### 2.11.4 OSD - podatki na zaslону

Ko gledamo zaslon in se fokusiramo na upravljanje plovila, je dobro, da na zaslonu vidimo parametre o našem plovilu, v primeru da ne uporabljamo Mission Planer okolja. V takšnem primeru uporabimo OSD (ang. on-screen display), ki nam preko slike, ki jo kamera pošilja, v VTXu izpiše vnaprej želene podatke. V najinem primeru, ko uporablja ArduPilot, je OSD dodatno vezje, ki ga zvežemo med kamero in VTX. Tako dobiva podatke preko serijske komunikacije tako kot telematrij. Večina novejših F4 in F7 krmilnikov ima te funkcije že vgrajene na krmilniku. Konfiguriramo ga tako, da se nanj povežemo s serijskim komunikatorjem (FTDI USB adapterjem), podobno kot pri programiranju Atmelovih čipov ali HC bluetooth modulov ter na računalniku v programskem okolju nastavimo in razvrstimo elemente, ki jih kasneje želimo videti na zaslonu.



Slika 40: Mini OSD programsko okolje



Slika 41: Vezava Mini OSD

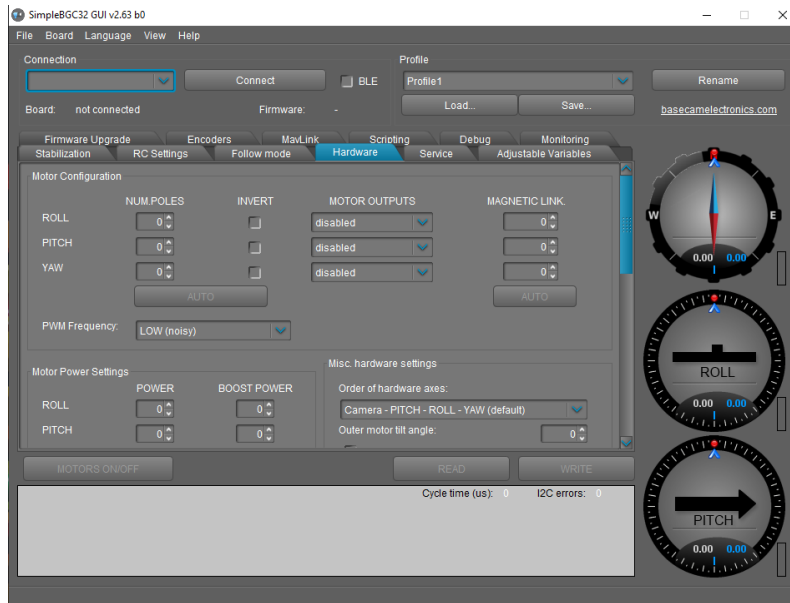
### 2.11.4 BGC 2.4 Program za upravljanje z stabilizatorjem

Krmilnik za stabilizator mora opravljati veliko matematičnega preračunavanja, kot sva omenila v prejšnji točki. Zato je nanj naložena posebna verzija operacijskega sistema, ki se imenuje BCG 2.4 GUI (ang. brushless gimbal controller 2.4 graphical user interface). Ker to ni celoten velik operacijski sistem kot npr. Windows, MacOS, Android ali Linux, mu pravimo firmware (strojna programska oprema). Na krmilnik se lahko povežemo z osebnim računalnikom in nastavljamo parametre.

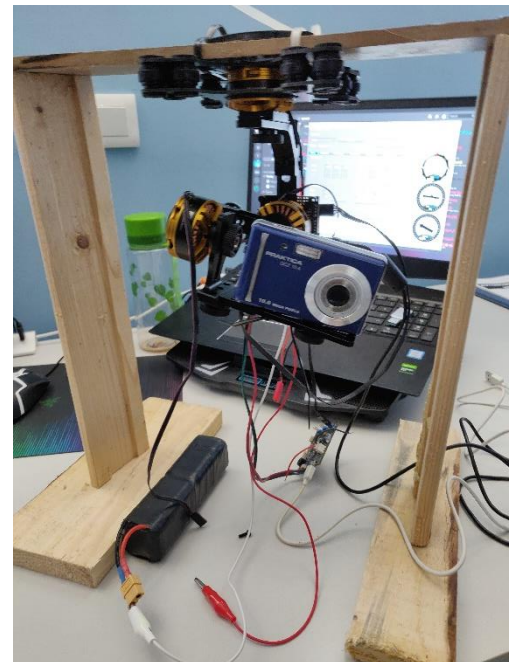
Nastavimo lahko referenčno ravnino, različne načine (ang. mode of operation) delovanja, posebne profile za določene primere rabe, PID nastavitve za motorje in razne kalibracije.

Pri nastavitvah PID želimo izničiti možnost, da motorji zaradi komand, ki jih prejmejo od giroskopa začnejo silirati, zato nastavljamo PID tako, da ob nenadnem sunku oz. spremembi smeri kopterja in s tem stabilizatorja ne nastanejo te neželene oscilacije na motorju.

Zares je zanimivo, kako tako majhna in enostavna stvar, kot je ta stabilizator, uporablja skoraj tako kompleksne nastavitve kot kopter.



Slika 42: BaseCAM BGC 2.63 b0



Slika 43: Programiranje stabilizatorja

## 2.12 Mission Planer

Mission Planer je okolje, s katerim sva nastavljala, upravljala in analizirala obnašanje najinega kopterja. S programom se najprej povežemo na krmilnik letenja preko USB kabla ali pa brezžično preko telemetrije. Lahko bi uporabili tudi Bluetooth. Ko je povezava vzpostavljena, se vsi parametri iz kopterja prenesejo v okolje (čemur pravimo drevo parametrov), mi pa jih lahko spreminjamo. Na osnovnem zaslону vidimo orientacijo giroskopa in kompasa, nekaj osnovnih parametrov, kot so višina, hitrost, razdaljo do naslednje točke v misiji in oddaljenost od nadzorne postaje. Poleg vseh teh podatkov najdemo tudi zemljevid, na katerem je prikazana lokacija kopterja in smer, v katero je obrnjen njegov nos.

Pod drugim zavihkom najdemo avtonomni del programa, kjer lahko s kliki na zemljevid določimo koordinate, do katerih mora leteti kopter. Tu lahko nastavljamo vse vrste parametrov, kot npr. višino letenja, hitrost, lokacijo pristanka, smer, v katero mora biti obrnjen nos kopterja med letom, kako naj se obnaša kamera na stabilizatorju, če je ta priključen ... V samem načrtu misije lahko kompenziramo za morebitne višinske spremembe



Slika 44: Okolje Mission Planer

našega terena, kar pomeni, da se naš kopter ne bo zapeljal v tla, ker se mu je na poti teren zvišal, njegova višina letenja pa je bila fiksno nastavljena. Vse te nastavitve lahko med letom spreminjamo tudi preko telefona ali računalnika, kar je včasih zelo priročno. Če želimo npr. posneti neko območje ali narediti analizo poljščine, nam lahko tukaj program avtomatsko nariše vzorec, po katerem se bo kopter gibal, da pokrije celotno površino območja. Nastavimo lahko tudi kot, pod katerim bo letel in s tem kompenziramo za morebitne vetrove.

Program je izredno močan kos strojne opreme, ki nam omogoča, da z s plovilom počnemo, karkoli nam srce poželi. Zaradi vseh teh nastavitvev se nama je zdel program nekoliko nepregleden. Nastavitvev je toliko, da se med njimi težko znajdeš. Tudi način prikaza parametrov se nama je zdel nametan. Ker sva bila navajena na druge programe za upravljanje najinih kopterjev, sva se na MissionPlanner težko privadila, vendar verjamem, da dlje kot bova z njim delala, bolj nama bo prirasel k srcu.



### 3 POSTOPEK IZDELAVE

Izdelave sva se lotila z idejno miselno skico. Eden izmed naju, ki je model tudi narisal v 3D CAD programu, je doma dobil idejo za izdelavo, ki sva jo v šoli predebatirala. Oba sva se strinjala, da bi bil projekt super in začela preračunavati stroške za velik multikopter s kupljenim okvirjem, na katerega bi samo pritrčila komponente in ga ljubiteljsko letala. Zadeva se je zataknila takoj, ko sva začela iskati okvir.

Našla sva odličnega okvir iz ogljikovih vlaken, ki je imel vse, kar sva si želela. A na žalost je cena 800 € takoj porušila najine načrte. Lotila sva se idejne 3D risbe, ki sva jo na koncu predstavila profesorju in vprašala, ali šola podpira takšne projekte. Profesor je bil navdušen, midva še bolj in tako se je začelo.

Takoj po odobritvi projekta sva naročila dele in začela s 3D tiskanjem vseh potrebnih delov. Sledilo je ravnanje v kolutu zvite alumplast cevi, brušenje in barvanje delov, saj sva želela črno-rdečo barvno shemo. Po tem sva čakala in še čakala in še dlje čakala, da so končno prispeli deli, ki smo jih naročili iz daljne Kitajske, saj so oni edini proizvajalec opreme za modelarje, ki sva jo potrebovala.



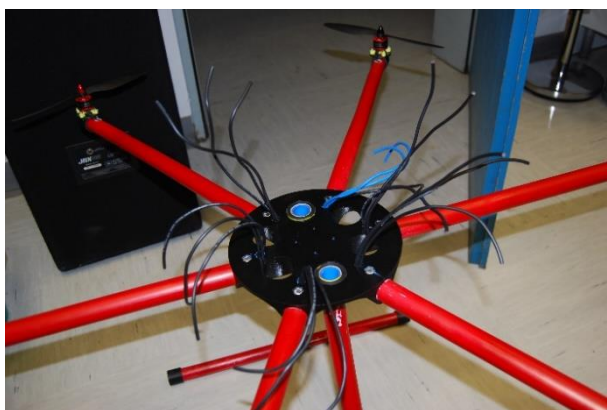
Slika 45: Deli projekta, hranjeni kar v kosih

Po novoletnih praznikih so deli končno prispeli in lahko sva se lotila izdelave končnega izdelka. V šoli sva vse kose sestavila in kmalu ugotovila, da je zadeva tako velika, da komaj pride v delavnico. Prostora za shranjevanje tam ni bilo, zato sva ga nekaj časa hranila kar v kosih.



Slika 46: Prispeli deli iz Kitajske

Izdelavo sva začela z montažo motorjev. Tukaj se je pojavil problem, da nosilci motorjev niso bili pravilno izrisani in ni bilo prostora za vijake. Po mali spremembi načrta in ponovnem tiskanju nosilcev sva ugotovila, da v šoli nimajo pravih samo-reznih vijakov, zato sva si te izposodila v lesarski šoli.



Slika 48: Montaža motorjev in njihovih žic

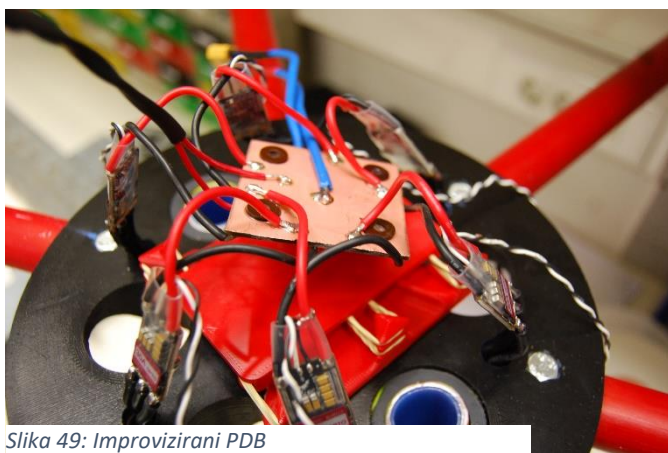


Slika 47: Motor na 3D-tiskanem nosilcu

S tem je proces stekel. Opravila sva kalibracijo krmilnika, odkrivala posamezne dele programa, ki ga uporablja za krmiljenje in na splošno pripravila krmilnik na njegovo novo življenje kot osrednji kos multikopterja. Pri pripravi sva si ogromno pomagala s posnetki na YouTube in dokumentacijo s strani ArduPilota. Sledil je nakup žic in povezovanje motorjev preko krakov na notranjo stran multikopterja, kjer so se nahajali motorski krmilniki (ESC-eji). Po priključitvi vseh motorjev sva se veselila preizkusa in nadaljevala z izdelavo PDB (ang. Power Distribution Board), katerega naloga je razporeditev napetosti in toka po vseh šestih krmilnikih ter ostalih komponentah. Sprva sva načrt za to ploščico izdelala v programu EasyEDA, ki je namenjen prav za izris tiskanih vezij. Za izdelavo ploščice sva prosila profesorja, običajno upravlja s CNC strojem, ki ga imamo na šoli, a je ravno v tem času prišlo do okvare stroja. Zato sva rahlo improvizirala in namesto ploščice uporabila kar kvadraten kos obojestranskega surovca, ki je namenjen rezkanju. Spodnjo stran sva uporabila kot velik stik za negativni baterijski pol, zgornji del pa za pozitivni. Na koncu se je ta improvizirana rešitev odlično izšla. Tako sva prišla do faze, ko sva lahko priključila napajanje na krmilnik in priključila vse motorje.

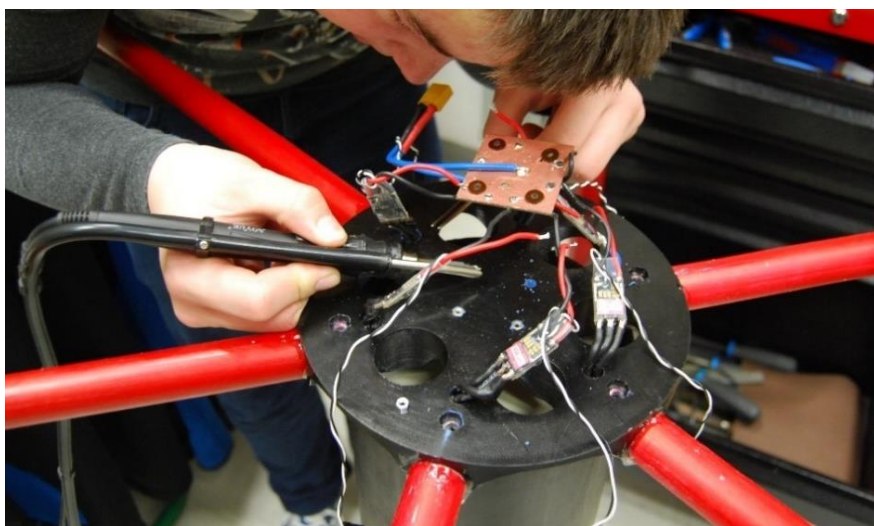


Slika 50: Kalibracija krmilnika



Slika 49: Improvizirani PDB





*Slika 51: Povezovanje žic na ESC in PDB*

Ob vklopu baterije se na najino razočaranje ni zgodilo prav nič. Mislila sva, da je okvarjen senzor za napetost in tok, ki hkrati deluje kot napajalnik za krmilnik. Po pregledu sva sklenila, da je uničen in ga dala na stran. Krmilnik sva napajala s posebej napajalnim modulom in ponovno izvedla test. Tokrat je deloval samo en motor. Po daljšem pregledu sva opazila, da so bile signalne žice obrnjene na narobe stran krmilnika. Po popravku sva ponovila postopek. Tokrat je delalo pet motorjev od šestih Tisti, ki je prej pravilno deloval, pa ni več delal. Po več urnem pregledu sva opazila tovarniško napako na enem izmed motorskih krmilnikov. Očitno so v tovarni zamenjali negativni kontakt in signalni kontakt. Po odpravi te napake so se vrteli vsi motorji.

Sledila je še kontrola smeri motorjev. Dva od šestih motorjev se nista vrtela v pravo smer, vendar je to preprosta napaka, ki sva jo odpravila tako kot na vsakem drugem tri-faznem motorju – z menjavo dveh faz med sabo.

Za tem sva nadaljevala z izdelavo tako, da sva montirala sprejemnik, oddajnik za telemetrične podatke ter GPS modul. Dodala sva še pokrov, dve vezice za pritrditev baterije in noge. S tem sva bila pripravljena na prvi polet.

### 3.1 Prvi polet

Za prvi polet sva izbrala zunanje šolsko igrišče. Z nama sta bila oba mentorja in še nekaj radovednih sošolcev, ki so slišali za dogodek. Na igrišču sva heksakopter povezala z računalnikom in daljincem, vklopila motorje ter spodletela. Težavo so predstavljale noge kopterja, ki so bile precej težke. Pilota je oblila vročica in ni želel izzivati sreče z dodajanjem več moči ter poskušati vzleteti, kljub očitno pretežkem okvirju. Imela sva tudi težavo z nekontroliranim obračanjem plovila. Odločila sva se, da bova vse ponovno kalibrirala in polet poskusila naslednjič, v telovadnici, na toplem in po možnosti nad blazino. Nad prvim poletom sva bila razočarana oba. Še bolj sta bila razočarana mentorja in ostali opazovalci, saj sva midva edina vedela, da je težava samo stvar kalibracije. Ali pač?



Slika 52: Priprave na prvi neuspešen polet

### 3.2 Nadaljnji poleti in popravila

Naslednji polet sva raje izvedla sama v telovadnici. Ker je bil prejšnji rezultat zaradi težkih nog slab, sva jih tokrat raje snela. Po priklopu baterije je pilot dodal moč, vendar se je, na najino žalost, heksakopter spet začel nenadzorovano vrteti po tleh, tokrat še hitreje zaradi gladkih tal. Pilotu je uspelo vrtenje kompenzirati in dobila sva prvi uspešen polet, ki sva ga ujela na posnetek. Naj vam povem, da je to najlepših 19 sekund, ki jih imava posnetih na telefonih.

Po občutku zmagovalavja, je sledil občutek poraza. Ugotovila sva, da bo potrebno še ogromno kalibracij, veliko neprespanih večerov zaradi brskanja po spletnih straneh in veliko urejanja kode, preden bo projekt uspešen.

Na internetu sva odkrila, kako se krmilnik kalibrira, da sam kompenzira za vrtenje in mnogo drugih pomembnih točk. Toda kopter, kljub kalibraciji, v zraku še vedno ni bil stabilen. Pilot je moral letenje zelo popravljati, da je kopter v zraku obdržal smer. Težavo sva odkrila v rahlo neravnem kraku, ki je bil dovolj zavrt, da je povzročal težave. Okvir sva na novo poravnala in celo zalepila. Sledili so testni poleti, ki so bili precej uspešni.

Toda najuspešnejši polet je bil hkrati najmanj uspešen. Tistega lepega dne je bil kopter v zraku skoraj cele štiri minute.



*Slika 53: Prvi uspešen polet*



*Slika 54: Drugi uspešni polet*

Pri poletu je bilo prisotnih nekaj opazovalcev, zato je bilo odlično, da je kopter letel uspešno. Po daljšem poletu sva se odločila, da preizkusiva še gibčnost kopterja in pogum pilota. Odločila sva se leteti skozi vrata na igrišču. Od začetka je vse potekalo odlično, nato pa je sledil glasen pok in kopter je bil na tleh. Vzrok za padeč je bil staljen 3D-tiskan nosilec za motor.



V tej fazi sva prišla do najpomembnejšega, skoraj žalostnega zaključka. Potrebujeva boljši okvir, tak, ki bo pomagal motorjem pri hlajenju ter bo močan in lahek, vendar bo imel iste funkcije kot prejšnji. Za nadaljnjo uporabo tega okvirja sva na velikem CNC stroju dala izrezati aluminijaste nosilce za motorje. Prej sva uporabila plastične. Upala sva, da bo to pomagalo pri razporejanju toplote in pri boljši termalni zmogljivosti.



*Slika 55: Konec drugega poleta s padcem*

Dejstvo je, da nobeden od naju še ni delal na nečem tako velikem, kot je bil ta projekt, zato sva se pri nakupu motorjev nekoliko uštel. Težko je najti napotke za izbiro pravih motorjev. To je ena izmed tistih stvari, za katero dobi modelar občutek skozi leta izkušenj in seveda s testiranjem. Midva sva imela na voljo samo ene motorje, ki sva jih lahko uporabljala. Ker sva delala z mislijo na ceno, nisva pretiravala z velikostjo motorjev, saj bi bili večji veliko dražji. Najino razmišljanje je bilo napačno in je ena izmed tistih stvari, ki bi jo spremenila. Sklenila sva, da naslednje leto nadaljujema z raziskovanjem in zasnujema celoten aluminijast okvir. Kasneje sva še malo izboljšala okvir in dodala nove noge, katere kopter nosi brez težav. Zagotovo pa bova do naslednjega leta izpilila načrt in izdelala boljši, močnejši okvir ter dodala veliko naprednejši krmilnik. Morda bova celo razmislila o vrhunskem, a relativno ugodnem oddajniku Jumper T16 Pro, ki je sedaj že na trgu.

## 4 Nadaljevanje raziskovalnega dela v šolskem letu 2020/21

### 4.1 Kratek uvod

Zaradi lanske situacije z novim virusom in zapiranjem šol, teme žal nisva uspela raziskati do meje, pri kateri bi se želela ustaviti in nalogo javno predstaviti. Zato sva se odločila za nadaljevanje v letošnjem letu. Naloge sva se lotila s svežim zagonom in novimi idejami. Kot boste prebrali na koncu tega dela, se nama je dodaten trud izjemno obrestoval.

### 4.2 Nov okvir

Glede na rezultate najine originalne ideje za izdelavo okvirja iz alumplast, sva letos želela poskusiti s popolnoma novim načrtom izdelave aluminijastega okvirja. Po kratkem idejnem izrisu okvirja, je žal ponovno udaril virus in nas prisilil v delo na daljavo. Ker sva aluminijast okvir želela narediti s pomočjo dijakov Srednje šole za strojništvo, mehatroniko in medije ter njihovega CNC stroja, sva po ponovnem zaprtju šol idejo opustila. Na internetu sva poiskala obstoječ načrt za multirotor, ki se je dokazano obnesel in ga natisnila s 3D tiskalnikom.

Po montaži vseh komponent in kratki sprostitvi občinskih mej sva nov in sveže sestavljen heksakopter preizkusila na domačem travniku. Izkazal se je za odličnega. Okvir je dovolj lahek, da ga motorji brez težav dvignejo, okreten in lahko vodljiv. Krmilnik letenja ArduPilot pa lahko končno kompenzira mehanska nihanja in ga drži v stabilni poziciji.

Nadaljnje testiranje je pokazalo, da je heksakopter sedaj sposoben tudi samodejnega lebdenja, držanja GPS pozicije in samodejnega povratka na "domačo" pozicijo. Nad rezultati sva bila zelo navdušena.

### 4.3 Načrt za avtomatske dvižne noge

Ob velikem uspehu z novim okvirjem sva seveda želela nadaljevati z dodajanjem funkcij najinemu plovilu. Že od začetka projekta je bila ideja, da bi ustvarila noge, ki se s pomočjo servo motorjev same dvignejo in umaknejo z vidnega polja kamere, pri pristanku pa se spustijo. V programu Fusion360 sva ustvarila 3D načrt nog in jih natisnila na 3D tiskalniku. Po montaži so se motorji na žalost izkazali za prešibke. Prvi pristonek je polomil vse štiri motorje in popolnoma uničil notranje zobnike.

## 5 UPORABA

Najin izdelek ima mnogo možnosti za uporabo, saj je ugoden in je bil mišljen kot lahko vodljiv ter precej pameten multikopter. Pa si pogledjmo nekaj uporab.

### 5.1 Snemanje

Heksakopter, kot je najin, brez težav nosi polno snemalno opremo, vključno s težo kamere DSLR in stabilizatorja zanjo. S pomočjo teh kamer lahko dobimo zelo dobre zračne posnetke, ki se ob dobro izučenem upravljalcu kamere lahko kosajo tudi s filmskimi prizori. S pravilno narejenim okvirjem in dobro nastavljenim oddajnikom lahko nadziramo let multikopterja, hkrati pa upravljamo naklon, nagib, rotacijo in ob primernem 3D tiskanem adapterju celo povečavo za kamero, če je leča na kameri mehanska in ima sposobnost samodejnega ostrenja slike. Z nakupom boljšega oddajnika bi lahko nadzirali še izostritev in hitrost zaslonke. Mnogo filmskih posnetkov iz zraka je posnetih prav s takšnim multikopterjem, ki sva ga zasnovala.

### 5.2 Iskanje oseb v nevarnosti

Najin kopter je sposoben vzleta na neravnem terenu in hitrega premikanja po zraku. Opremljen je s kvalitetnim video oddajnikom in sprejemnikom. Le v nekaj urah bi bil sposoben najti človeka, izgubljenega v naravi ali v gorah, če imamo pripravljenih več polnih baterij. Ko enkrat določimo lokacijo, si jo kopter lahko zapomni in prileti nazaj. Po pristanku mu odstranimo iskalno opremo in priključimo sistem za odmetavanje seta prve pomoči / defibrilatorja ali kakršnekoli druge medicinske opreme. Dostavimo lahko mobilni telefon za komunikacijo z izgubljeno osebo ali pa dostavimo hrano in šotor, če reševanje ni možno isti dan. Ob predelavi okvirja in splošnega načrta mu lahko povečamo nosilnost na dobrih 150 kg, kar bi bilo dovolj, da človeka celo odpelje iz nevarnosti. Najboljši del vsega je, da to opravimo z ekipo prostovoljcev. Cena reševanja bi se z uporabo heksakopterja zelo znižala.

### 5.3 Analiza zraka

Ob namestitvi pravilne opreme lahko najin kopter vzleti nad območji strupenega zraka, če bi prišlo do napake v tovarni kemikalij ali pa bi zagorela predelovalnica plastike. Z nameščeno opremo lahko kopter brez težav vzame vzorce in opravi meritve ter se vrne na mesto vzleta. Tako nam v nevarnost ni treba pošiljati ljudi in čakati / trošiti denarja za helikoptersko ekipo. Ugotovimo lahko, kdaj je zrak varen in kdaj ne, v katerem letnem času se količina CO<sub>2</sub> v zraku poveča in kako to vpliva na kakovost življenja. Vse to lahko opravimo brez postavljanja dragih in človeku motečih merilnih postaj, poleg tega pa je lahko proces analize povsem avtomatiziran, kar prihrani čas in denar.

V primeru goreče stavbe ali gozdnega požara kopter vzleti ter opravi geografsko skeniranje tal, okolice in požara. Podatki, ki jih lahko kopter zbere v takšnem primeru, so naslednji: premikanje požara, hitrost širjenja in natančen izračun časa širjenja ognjenih zubljev ter čas, ki je ljudem na voljo za evakuacijo. Vsi zbrani podatki se kasneje analizirajo in iz njih lahko

razberemo napravljeno škodo. Vse to je možno doseči z uporabo tehnologije, ki je že razvita, a še nikoli uporabljena na način, ki je bil zastavljen pri načrtovanju najinega kopterja.

## 5.5 Analiza polj in talno skeniranje

Kopter je poleg vsega drugega zmožen zadovoljiti potrebe modernega kmetijstva, predvsem na Kitajskem, kjer z uporabo DJI kopterjev analizirajo pridelek. Kopter lahko s pravo opremo preleteti polje ter spremlja rast pridelkov, zazna gibanje škodljivcev in jih preplaši (npr. srne). Če kopter sprogramiramo tako, da mu ustvarimo virtualno ograjo okoli nekega zemljišča, se lahko samostojno premika po vnaprej izračunanih poteh letenja in z uporabo napredne računalniške tehnologije skenira tla ter ustvarja virtualno sliko razgibanosti reliefa. Lahko se uporabi tudi za lociranje podtalnice glede na barvo prsti, s čimer lahko določimo primernost zemljišča za gradnjo.

## 5.6 Škropljenje pridelka

Poleg analize polj na Kitajskem že uporabljajo kmetijske kopterje opremljene z rezervoarjem, črpalko in brizgalnimi šobami tudi za škropljenje pridelka. Prednost takšnega početja je, da si lahko večje polje porazdeli več takšnih avtomatiziranih škropilnih kopterjev. Delo je tako opravljeno hitro in učinkovito, povzročena škoda pa je minimalna, saj pridelka ne teptajo, za razliko od težkega kmetijskega stroja, ki bi običajno izvajal takšno delo. Še ena prednost uporabe kopterjev v takšne namene je uporaba škropiv z visoko koncentracijo, ki so sposobna hitrejšega zatiranja škodljivcev. Posledično škropiva količinsko porabimo manj, kar je bolje za ekonomijo.

## 5.7 Dostavljanje paketov

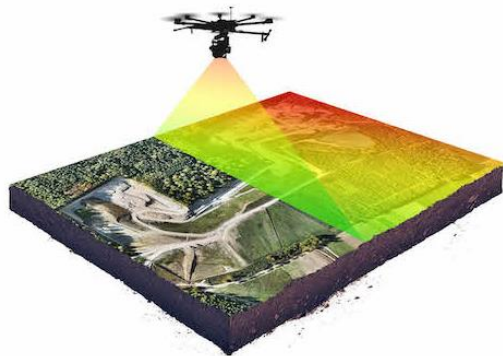
Če bi v najin kopter dodala specifično napisan programski sistem, ki bi temeljil na umetni inteligenci, bi lahko uporabljala tehnologijo izogibanja oviram in kopter uporabila kot zračnega kurirja ter z njim dostavila paket le nekaj minut po naročilu.



Slika 56: Avtonomni škropilni kopter



Slika 57: Dostavljalni kopter



Slika 59: Skeniranje reliefa s kopterjem



Slika 58: Snemalni kopter



## 6 RAZPRAVA

Namen najine naloge je bil izdelati funkcionalen heksakopter in odgovoriti na naslednja vprašanja, ki sva jih postavila kot hipotezo:

- **Izdelava lahko avtonomen kopter, ki bo vozil in izvajal ukaze povsem neodvisno od pilota.**

Najin kopter ima zagotovo potencial doseči 100 % avtonomnost, vendar v trenutnem stanju to še ni mogoče zaradi različnih faktorjev kot npr. teža in tip okvirja. Tukaj sva že večkrat poudarila, da najin okvir ni tako optimalen kot karbonski, ki pa je enostavno predrag, zato bova novega izdelala iz aluminijastih palic. Ena izmed ovir je tudi nenatančnost najinega GPS modula, kompasa in komunikacija s krmilnikom. Vzrokov za to je lahko več, nepravilne nastavitve ali fizična napaka s strani krmilnika ali GPS / kompas modula. Za nadaljnje raziskovanje že imava pripravljene rešitve problemov. Zamenjala bova krmilnik s povsem drugo arhitekturo, ki je sposobna hitrejšega preračunavanja podatkov in deluje s programsko opremo INAV, ki je osnovana okoli Betaflighta, ki nama je znan že od prej. Poskusila bova posodobiti programsko opremo GPS modula, četo ne bo učinkovito, pa ga bova povsem zamenjala.

- **Sestaviva lahko kopter, ki bo cenovno ugodnejši kot profesionalni kopterji.**

Glede na to, kako daleč sva prišla z raziskovanjem in da je veliko modelarjem že uspelo izdelati avtonomen kopter, ne vidiva razloga, zakaj najin projekt ne bi mogel doseči pričakovanj za nižjo ceno kot konkurenca.

- **Kopter je možno sestaviti s platformo ArduPilot APM 2.8.**

To hipotezo sva povsem ovrgla in iskreno lahko poveva, da obžalujeva izbiro platforme ArduPilot APM 2.8. Malo po nakupu krmilnika APM sva izvedela za obstoj platforme INAV, ki temelji na nama znani platformi Betaflight. Glede na to, kako nepregledne so APM nastavitve, bi platformo z veseljem zamenjala. Ker APM že dolgo več ni podprt, nisva imela možnosti preizkusiti novejših funkcij ArduPilota. Če bi hotela uporabiti platformo ArduPilot, bi lahko izbrala tudi njihovo linijo Pixhawk, ki je veliko novejša in ponuja več funkcij kot APM ter je še vedno podprta s strani ArduPilota.

- **Okvir kopterja iz alumplasta se lahko po karakteristikah primerja z okvirji iz ogljikovih vlaken.**

Tudi to hipotezo sva ovrgla, saj se je izkazalo, da se doma izdelan okvir iz težjih materialov kot je npr. alumplast ne more kosati s tovarniško izdelanimi okvirji iz ogljikovih vlaken. Ti okvirji so preprosto lažji in bolj trpežni ter pometejo z vso konkurenco. V nadaljevanju upava, da bo se bo najin aluminijast okvir lahko vsaj malo približal tistemu iz ogljikovih vlaken.

- **Imava dovolj nabranega znanja iz lastnih izkušenj in dveh let šolanja za izvedbo takšnega projekta.**

Pri projektu sva uporabljala povsem novo platformo, ki nama je bila prej neznana, zato najino dosedanje znanje ni bilo dovolj. Ko sva izvajala kalibracije in ko so bile žice na komponentah tovarniško narobe pritrjene, sva se morala obrniti na literaturo proizvajalca. Ko so se pojavile težave, sva rešitve iskala na internetu in na forumih.

- **Kopter iz alumplast cevi je sposoben vzleta.**

To hipotezo lahko ponosno potrdiva, saj je najin kopter vzletel, njegov let pa je bil stabilen. Ponosna sva na to, da je sploh vzletel. To nama pomeni motivacijo za nadaljnje razvijanje kopterja, da bo v prihodnosti letel tudi brez pilota za oddajnikom, torej povsem avtonomno.

## 7 ZAKLJUČEK

Raziskovanje je na splošno poteklo odlično. Naučila sva se veliko novega. Čeprav sva bila nad končnim izidom precej razočarana, naju to ne bo ustavilo pri nadaljnjem delu. Na začetku sva si postavila precej pogumne teze. Kosanje s podjetij, ki se z multikopterji ukvarjajo že leta, seveda ni možno, a za naju je bil ogromen uspeh že to, da sva videla, najino stvaritev, kako je prvič poletela. Kljub začetnim spodrslijajem, se je kopter izkazal. Videla sva, česa je zmožna odprtokodna skupnost in kaj lahko tisoče ljudi stori v nekaj letih, če le želijo in pokažejo zanimanje. ArduPilot morda ni idealna rešitev, sedaj ko imamo na voljo INAV sisteme in vodilne proizvajalce, ki ustvarjajo aplikacije s katerimi je letenje s kopterji lažje. Vsak lahko gre v trgovino ter zapravi veliko vsoto denarja in kupi kopter, ki bo vse naredil sam, le iz škatle ga mora vzeti, a to ni bistvo modelarstva in bistvo raziskovanja.

Bistvo modelarstva je izdelava nečesa lastnega in unikatnega. Dejstvo je, da je doma narejeno zračno plovilo mnogo težje upravljati in še mnogo težje pripraviti na prvi vzlet. Če ga prvič obvladaš in z njim letiš, potem boš sposoben leteti, tudi ko bo na vrhuncu svoje zmogljivosti. Mnogi produkti, ki so veljali za svetovne napredke, so se začeli razvijati na enak način kot konjički v garažah in vrtnih utah ter se razvili v nekaj, kar je danes nepogrešljivo in podjetjem prinaša gromozanske dobičke.

Pri raziskovanju gre ravno za iskanje nečesa novega in naprednega. Če bi se vsi ljudje držali meje in standardov, ne bi imeli želje in volje za izboljšave ter ne bi vlagali truda v inovacije, do napredka ne bi nikoli prišli.

Vedela sva, da so možnosti, da bo takšen kopter sposoben vzleta, majhne, a je z odlično močjo presenetil oba. Nikoli si ne bi mislila, da bo tako velik okvir lahko letel tako stabilno. Bistvo je, da sva poskusila, bila neuspešna, gradila na napaki in jo odpravila. Nekaj tez sva uspela potrditi, drugih ne. Zdaj, ko sva si pripravila teren in ko sva prepoznala točke potrebne dograjevanja, bova nadaljevala z raziskovanjem. Z dodelavo okvirja in menjavo krmilnika bova poskušala doseči vse zastavljene cilje. Ko bo kopter postal dovolj zanesljiv za izvajanje misij, se bova poglobila v izdelavo modulov, ki bodo njegovo delovanje prilagodili specifičnim nalogam, ki jih želimo s kopterjem opraviti tj. dostavljanje paketov, škropljenje in analiza polj itd.

## 8 ZAHVALA

Za konec bi se rada zahvalila vsem, ki so bili v kakršnem koli smislu del najinega raziskovanja:

- prof. Davorju Zupancu (mentorju); Zahvaljujema se za vso pomoč pri tehnični izvedbi, za navdih in ideje pri sami konstrukciji, za splošne ideje in pomoč pri popravilu 3D tiskalnika, za vso moralno podporo, ko so nastali zapleti pri raziskavi in za vso pomoč pri urejanju dokumentacije.
- prof. Andreju Grilcu; Zahvaljujema se za pomoč pri organizaciji in za vso pomoč pri nabavi, urejanju dokumentacije, dogovori z ostalimi, splošno pomoč in moralno podporo.
- prof. Mateju Kališku; Zahvaljujema se za posojilo baterij in polnilca, ki sva jih potrebovala za nadaljnje faze raziskovanja.
- g. Mojmiru Klovarju (ravnatelju); Zahvaljujema se za odobritev projekta in finančno podporo, brez katere ta raziskovalna naloga ne bi nikoli stekla.
- g. Juriju Perkušu (članu Facebook skupine Drone Racing and Freestyle Slovenia, odličnemu modelarju); Zahvaljujema se za vso tehnično podporo, za pomoč pri iskanju napak na krmilniku, za kalibracije in za razne predloge.
- g. Borutu Žvorcu (članu Facebook skupine Drone Racing and Freestyle Slovenia, odličnemu modelarju); Zahvaljujema se za vso tehnično podporo, pomoč pri iskanju napak, tehnične informacije in predloge.
- Vsem drugim članom Facebook skupine Drone Racing and Freestyle Slovenia, ki so kadarkoli tekom najinega nabiranja znanja na skupini pripomogli, svetovali ali pa dajali odlične predloge za odpravo napak (imensko žal ne moreva omeniti vseh, saj so nekatere objave na katere so komentirali že zbrisane).
- Vsem sošolcem, ki so nama kadarkoli tekom raziskovanja pomagali pri delu v delavnici, pri nošenju opreme na testno polje in nazaj, dodajali svoje ideje in predloge za rešitev določenih tehničnih problemov in za splošno podporo ter motivacijo tudi med težjimi deli naloge, ko ni vse šlo po načrtih.



## 9 VIRI IN LITERATURA

### 9.1 Spletni viri

- Banggood: <https://www.banggood.com/>, dostop 8. 11. 2019
- Wikipedija - ESC: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_speed\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_speed_control), dostop 12. 03.2020
- AMPOW - A Profesional Blog: <https://blog.ampow.com/lipo-voltage-chart/>, dostop 14.03.2020
- Wikipedija - RMS: [https://en.wikipedia.org/wiki/Root\\_mean\\_square](https://en.wikipedia.org/wiki/Root_mean_square), dostop 06. 05. 2020
- Banggood - ESC: [https://www.banggood.com/HGLRC-30A-30AMP-2-5S-BLHeli-S-16-5-BB2-Brushless-ESC-Dshot600-Ready-for-RC-Drone-FPV-Racing-p-1398923.html?rmmds=myorder&cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/HGLRC-30A-30AMP-2-5S-BLHeli-S-16-5-BB2-Brushless-ESC-Dshot600-Ready-for-RC-Drone-FPV-Racing-p-1398923.html?rmmds=myorder&cur_warehouse=CN), dostop 12. 03. 2020
- Banggood - TX: [https://www.banggood.com/FrSky-Taranis-X9D-Plus-2019-2-4G-24CH-ACCESS-ACCST-D16-Mode2-FCC-Version-Transmitter-with-R9M-2019-900MHz-Long-Range-Transmitter-Module-p-1571401.html?rmmds=search&ID=6157221&cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/FrSky-Taranis-X9D-Plus-2019-2-4G-24CH-ACCESS-ACCST-D16-Mode2-FCC-Version-Transmitter-with-R9M-2019-900MHz-Long-Range-Transmitter-Module-p-1571401.html?rmmds=search&ID=6157221&cur_warehouse=CN), dostop 16. 01. 2020
- Oscarliang - TX: <https://oscarliang.com/jumper-t16-pro/>, dostop 16. 01. 2020
- Ardupilot: <https://ardupilot.org/copter/index.html>, dostop 11. 11. 2019
- Youtube - Painless360: <https://www.youtube.com/channel/UCp1vASX-fg959vRc1xowqpw>, dostop 20. 02. 2020

## 9.2 Slikovni viri

**Slika 1: Okvir heksakopterja**

- Vir: Osebni vir

**Slika 2: Okvir heksakopterja s pokrovom komponent**

- Vir: Osebni vir

**Slika 3: Model alumplast okvirja**

- Vir: Osebni vir

**Slika 4: Skrajšani kraki alumplast okvirja**

- Vir: Osebni vir

**Slika 5: Model aluminijastega okvirja**

- Vir: Osebni vir

**Slika 6: Ponesrečen tisk (zamik slojev)**

- Vir: Osebni vir

**Slika 7: Deli 3D tiskanega okvirja**

- Vir: Osebni vir

**Slika 8: Tiskanje kraka**

- Vir: Osebni vir

**Slika 9: Sestavljen 3D tiskan okvir**

- Vir: Osebni vir

**Slika 10: Sestavni del nog med tiskanjem**

- Vir: Osebni vir

**Slika 11: Mehanizem za zlaganje**

- Vir: Osebni vir

**Slika 12: Model zložljivih nog**

- Vir: Osebni vir

**Slika 13: Montirane zložljive noge**

- Vir: Osebni vir

**Slika 14: Primer komercialnih zložljivih nog**

- Vir: <https://www.aliexpress.com/item/4000979269361.html>, dostop 30. 03. 2021

**Slika 15: Nosilca za baterije**

- Vir: Osebni vir

**Slika 16: Sestavljeni, dorisani deli**

- Vir: Osebni vir

**Slika 17: Arduino Mega 2560 in ArduPilot APM 2.8**

-

Vir:

[https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.robotpark.com%2FArduino-MEGA-2560-En&psig=AOvVaw23\\_ZXuW1MQ\\_7WeeXSyQ81w&ust=1618855179508000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCJi3ntSviPACFQAAAAAdAAAAABAE](https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.robotpark.com%2FArduino-MEGA-2560-En&psig=AOvVaw23_ZXuW1MQ_7WeeXSyQ81w&ust=1618855179508000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCJi3ntSviPACFQAAAAAdAAAAABAE) in <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdiscuss.ardupilot.org%2Ft%2Fanybody-still-flying-older-2-x-2-ardupilot-hardware-and-is-there-help-available-here%2F48066&psig=AOvVaw27ZllvDKinnvw-htr6LaTr&ust=1618855217776000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLDxu2viPACFQAAAAAdAAAAABAD>, dostop 12. 02. 2020

**Slika 18: ESC vezje**

- Vir: [https://www.banggood.com/HGLRC-30A-30AMP-2-5S-BLHeli\\_S-16\\_5-BB2-Brushless-ESC-Dshot600-Ready-for-RC-Drone-FPV-Racing-p-1398923.html?rmmds=myorder&cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/HGLRC-30A-30AMP-2-5S-BLHeli_S-16_5-BB2-Brushless-ESC-Dshot600-Ready-for-RC-Drone-FPV-Racing-p-1398923.html?rmmds=myorder&cur_warehouse=CN), dostop 12. 03. 2020

**Slika 19: Motorji razporejeni v konfiguraciji X**

- Vir: [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fmegapirateng.github.io%2FDocs%2Fdocumentation%2Fconnecting\\_components\\_copter&psig=AOvVaw3mMzL6zS5QPmQioF4H\\_cRq&ust=1618855459391000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCPDnjtewiPACFQAAAAAdAAAAABAO](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fmegapirateng.github.io%2FDocs%2Fdocumentation%2Fconnecting_components_copter&psig=AOvVaw3mMzL6zS5QPmQioF4H_cRq&ust=1618855459391000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCPDnjtewiPACFQAAAAAdAAAAABAO), dostop 22. 11. 2019

**Slika 20: Mere motorjev**

- Vir: [https://www.banggood.com/Racerstar-Racing-Edition-2212-BR2212-980KV-2-4S-Brushless-Motor-For-350-400-RC-Drone-FPV-Racing-Multi-Rotor-p-1083195.html?rmmds=myorder&cur\\_warehouse=CN&ID=521309](https://www.banggood.com/Racerstar-Racing-Edition-2212-BR2212-980KV-2-4S-Brushless-Motor-For-350-400-RC-Drone-FPV-Racing-Multi-Rotor-p-1083195.html?rmmds=myorder&cur_warehouse=CN&ID=521309), dostop 26. 11. 2019

**Slika 21: Brezkrtačni motorji RaceStar BR2212**

- Vir: [https://www.banggood.com/Racerstar-Racing-Edition-2212-BR2212-980KV-2-4S-Brushless-Motor-For-350-400-RC-Drone-FPV-Racing-Multi-Rotor-p-1083195.html?rmmds=myorder&cur\\_warehouse=CN&ID=521309](https://www.banggood.com/Racerstar-Racing-Edition-2212-BR2212-980KV-2-4S-Brushless-Motor-For-350-400-RC-Drone-FPV-Racing-Multi-Rotor-p-1083195.html?rmmds=myorder&cur_warehouse=CN&ID=521309), dostop 26. 11. 2019

**Slika 22: KV motorjev pri določeni napetosti in velikosti propelerjev**

- Vir: [https://www.banggood.com/Racerstar-Racing-Edition-2212-BR2212-980KV-2-4S-Brushless-Motor-For-350-400-RC-Drone-FPV-Racing-Multi-Rotor-p-1083195.html?rmmds=myorder&cur\\_warehouse=CN&ID=521309](https://www.banggood.com/Racerstar-Racing-Edition-2212-BR2212-980KV-2-4S-Brushless-Motor-For-350-400-RC-Drone-FPV-Racing-Multi-Rotor-p-1083195.html?rmmds=myorder&cur_warehouse=CN&ID=521309), dostop 26. 11. 2019

**Slika 23: Propelerja CW/CCW, 1045**

- Vir: [https://www.banggood.com/Gemfan-1045-10x4\\_5-10-Inch-Carbon-Nylon-CW-or-CCW-Propeller-EPP-for-RC-Drone-FPV-Racing-Multi-Rotor-p-961067.html?rmmds=myorder&cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/Gemfan-1045-10x4_5-10-Inch-Carbon-Nylon-CW-or-CCW-Propeller-EPP-for-RC-Drone-FPV-Racing-Multi-Rotor-p-961067.html?rmmds=myorder&cur_warehouse=CN), dostop 26. 11. 2019

**Slika 24: FrSky Taranis X9D Plus oddajnik**

- Vir: [https://www.banggood.com/FrSky-Taranis-X9D-Plus-2019-2\\_4G-24CH-ACCESS-ACCST-D16-Mode2-Transmitter-Supports-Spectrum-Analyzer-Functionfor-for-RC-Drone-p-1537808.html?cur\\_warehouse=CZ&ID=62969676157221&rmmds=search](https://www.banggood.com/FrSky-Taranis-X9D-Plus-2019-2_4G-24CH-ACCESS-ACCST-D16-Mode2-Transmitter-Supports-Spectrum-Analyzer-Functionfor-for-RC-Drone-p-1537808.html?cur_warehouse=CZ&ID=62969676157221&rmmds=search), dostop 12. 02. 2020

**Slika 25: FlySky i6x oddajnik**

- Vir: osebni vir

**Slika 26: Jumper T16 Pro oddajnik**

- Vir: [https://www.banggood.com/RadioMaster-TX16S-Hall-Sensor-Gimbals-2\\_4G-16CH-Multi-protocol-RF-System-OpenTX-Mode2-Transmitter-for-RC-Drone-p-1652191.html?cur\\_warehouse=CN&ID=424826287800&rmmds=search](https://www.banggood.com/RadioMaster-TX16S-Hall-Sensor-Gimbals-2_4G-16CH-Multi-protocol-RF-System-OpenTX-Mode2-Transmitter-for-RC-Drone-p-1652191.html?cur_warehouse=CN&ID=424826287800&rmmds=search), dostop 12. 02. 2020

**Slika 27: Oddajnik i6x in varovalo upravljalnih palic in stikal**

- Vir: osebni vir

**Slika 28: FlySky FS-iA10B sprejemnik**

- Vir: [https://www.banggood.com/Flysky-2\\_4G-10CH-FS-iA10B-Receiver-PPM-Output-With-iBus-Port-p-1059821.html?cur\\_warehouse=CZ&rmmds=search](https://www.banggood.com/Flysky-2_4G-10CH-FS-iA10B-Receiver-PPM-Output-With-iBus-Port-p-1059821.html?cur_warehouse=CZ&rmmds=search), dostop 12. 02. 2020

**Slika 29:Vezalna shema AKK VTX-a**

- Vir: <https://www.akktek.com/akk-fx2-ultimate.html>, dostop 17. 03. 2021

**Slika 30: LiPo baterija**

- Vir: <https://www.lipo.si/izdelek/G-35C60005S1P/gens-ace-6000mah-185v-35c-5s1p>, dostop 18. 02. 2020

**Slika 31: Konektor XT60**

-  
Vir: [https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.cip.si%2Fkonektor-lipo-xt-60.html&psig=AOvVaw3URwKerU0giNeAW\\_LQHPFv&ust=1618856201674000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCIj4qsKziPACFQAAAAAdAAAAABAF](https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.cip.si%2Fkonektor-lipo-xt-60.html&psig=AOvVaw3URwKerU0giNeAW_LQHPFv&ust=1618856201674000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCIj4qsKziPACFQAAAAAdAAAAABAF), dostop 18. 02. 2020

**Slika 32:Zgorela Lipo baterija**

- Vir: Osebni vir

**Slika 33: Osnova za baterijski pack iz 18650 baterij**

- Vir: Osebni vir

**Slika 34: Polnilni proces**

- Vir: Osebni vir

**Slika 35: Senzorji**

- Vir: <https://www.unmannedtechshop.co.uk/product/ardupilot-apm-2-8-flight-controller-board/>, dostopno 22. 11. 2019

**Slika 36: Sestavni deli stabilizatorja**

- Vir: Osebni vir

**Slika 37: Stabilizator kamere**

- Vir: Osebni vir

**Slika 38: Delovanje stabilizatorja kamere**

-  
Vir: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.flitetest.com%2Farticles%2Fdiyutech-mini-3d-gimbal-for-gopro-camera&psig=AOvVaw026eQt7ZWbxk60I36dIFus&ust=1618856594158000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCKCV0PS0iPACFQAAAAAdAAAAABAD>, dostop 06. 03. 2020

**Slika 39: Vezje za preklop med video vhodi**

- Vir: Osebni vir

**Slika 40: Mini OSD programsko okolje**

-  
Vir: [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fproductprice.news%2Fbrand%2Fdepot\\_1308.html&psig=AOvVaw1kmME77kcBG0HBEcW3vxQ2&ust=1618856832603000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCNCj6uW1iPACFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fproductprice.news%2Fbrand%2Fdepot_1308.html&psig=AOvVaw1kmME77kcBG0HBEcW3vxQ2&ust=1618856832603000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCNCj6uW1iPACFQAAAAAdAAAAABAD), dostop 17. 03. 2021

**Slika 41: Vezava Mini OSD**

-  
Vir: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ffelasa.eu%2Fimgzen.aspx%3Fcid%3D7%26zpen%3Ddosd%2Bdron%26xi%3D3%26xc%3D22&psig=AOvVaw3GXp5UJJOzjFPoTOS3d0B&ust=1618857245591000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCIj4pKy3iPACFQAAAAAdAAAAABAJ>, dostop 17. 03. 2021

**Slika 42: BaseCAM BGC 2.63 b0**

- Vir: Osebni vir



- Slika 43: Programiranje stabilizatorja**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 44: Okolje Mission Planer**
- Slika 45: Deli projekta, hranjeni kar v kosih**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 46: Prispeli deli iz Kitajske**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 47: Motor na 3D-tiskanem nosilcu**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 48: Montaža motorjev in njihovih žic**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 49: Improvizirani PDB**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 50: Kalibracija krmilnika**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 51: Povezovanje žic na ESC in PDB**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 52: Priprave na prvi neuspešen polet**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 53: Prvi uspešen polet**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 54: Drugi uspešni polet**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 55: Konec drugega poleta s padcem**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 56: Avtonomni škropilni kopter**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 57: Dostavljalni kopter**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 58: Snemalni kopter**  
- Vir: Osebni vir
- Slika 59: Skeniranje reliefa s kopterjem**  
- Vir: Osebni vir

## 10 IZJAVA

### IZJAVA\*

Mentor **Zupanc Davor** v skladu z 20. členom Pravilnika o organizaciji mladinske raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljam, da je v raziskovalni nalogi z naslovom **Avtonomen, modularen heksakopter**, katere avtorja sta **Marcen Matic** in **Pekošak Žan**:

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,
- da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje,
- da je raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo seznanjeni z razpisni pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, 12. maj 2021



Podpis mentorja

*Zupanc*

Podpis odgovorne osebe

*[Signature]*

\*

#### POJASNILO

V skladu z 20. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje je potrebno podpisano izjavo mentorja (-ice) in odgovorne osebe šole vključiti v izvod za knjižnico, dovoljenje za objavo avtorja (-ice) fotografskega gradiva, katerega ni avtor (-ica) raziskovalne naloge, pa hrani šola v svojem arhivu.