

Bespilotne letjelice

Sadržaj

1.	Uvod.....	5
2.	Teorijske osnove.....	6
2.1.	Povijest bespilotnih letjelica	6
2.2.	Struktura bespilotnih letjelica.....	6
2.2.1.	Uzgonska cjelina.....	7
2.2.2.	Upravljačka cjelina.....	7
2.2.3.	Pogonska cjelina.....	8
2.2.4.	Teretna cjelina.....	8
2.3.	Vrste bespilotnih letjelica.....	9
2.3.1.	Aerostati	9
2.3.2.	Aerodini.....	10
2.4.	Zakonodavni okvir	10
2.5.	Priprema leta.....	11
2.5.1.	Navigacijska priprema leta	12
2.5.2.	Meteorološka priprema leta	16
2.6.	Provedba leta	18
2.6.1.	Provjera situacije	18
2.6.2.	Prijeletni pregled bespilotnog sustava	18
2.6.3.	Let.....	20
2.6.4.	Poslijeletni pregled	20
2.6.5.	Zapisnik	22
3.	Konfiguriranje bespilotnog sustava	23
3.1.	Komponente i relacije	23
3.2.	Hardversko konfiguriranje	26
3.3.	Softversko konfiguriranje.....	29
3.4.	Preuzimanje zapisa leta.....	31
3.5.	Struktura podataka u zapisu leta.....	34
4.	Određivanje visine drveta	38
4.1.	Zadatak.....	38
4.2.	Navigacijska i meteorološka priprema	38
4.3.	Analiza podataka	41
4.4.	Diskusija rezultata i zaključak	43
5.	Kruženje oko zadane točke pri jačem vjetru	44
5.1.	Zadatak.....	44
5.2.	Navigacijska i meteorološka priprema	44
5.3.	Provedba leta	44
5.4.	Analiza podataka	47
5.5.	Diskusija rezultata i zaključak	49
6.	Snimanje obala rijeke.....	50
6.1.	Zadatak.....	50
6.2.	Navigacijska i meteorološka priprema	50
6.3.	Diskusija leta i zaključak	53
7.	Određivanje iznosa horizontalne brzine	55
7.1.	Zadatak.....	55
7.2.	Navigacijska i meteorološka priprema	55



7.3. Provedba leta	55
7.4. Analiza podataka	55
7.5. Diskusija rezultata i zaključak	57
8. Analiza vertikalnog gibanja	59
8.1. Zadatak.....	59
8.2. Priprema i provedba leta.....	59
8.3. Analiza podataka	59
8.4. Diskusija rezultata i zaključak	63
Literatura	64
Kazalo slika	65
Kazalo tablica.....	67
Popis ključnih pojmova.....	68
Popis oznaka i kratica	69
Impressum.....	70



Predgovor

Ova knjiga namijenjena je učenicima zrakoplovnih i drugih srednjih škola za razumijevanje strukture, načina pravilne uporabe i održavanja bespilotnih letjelica. Predznanje potrebno za praćenje teksta i samostalno provođenje opisanih vježbi relativno je oskudno, tj. poznavanje temeljnih karakteristika korištenih komponenti i poznavanje osnovnih svojstava okoline u kojoj se bespilotni sustavi koriste.

Jednim dijelom tekst ne ovisi o aktualnom trenutku jer obuhvaća kratku povijest, osnovnu podjelu i strukturu bespilotnih letjelica. Nadalje, postupci pravilnog korištenja bespilotnih letjelica također su u većoj mjeri univerzalno primjenjivi i predstavljaju sažet iskaz dobre radne prakse formulirane ranijih desetljeća tijekom stjecanja iskustva rada s različitim zrakoplovnim i drugim tehničkim sustavima. No drugim je dijelom tekst specifično vezan uz određenu bespilotnu letjelicu DJI Mini 2 i pripadne komponente bespilotnog sustava. Za očekivati je kako će postupke opisane za rad s DJI Mini 2 trebati modificirati pri radu s drugim bespilotnim letjelicama ili s drugačijim komponentama bespilotnog sustava.

Današnja uporaba bespilotnih letjelica prožeta je automatskom komunikacijom u vidu izmjene digitalnih podataka između komponenti bespilotnog sustava i njegove okoline. To je područje intenzivnog razvoja pa je vrlo vjerojatno kako će se, nakon objavljivanja ovog teksta, za kraće vrijeme pojaviti unaprijeđene komponente bespilotnog sustava. Do toga može doći u komunikacijskim protokolima, operativnim sustavima upotrijebljenih komponenti, programskoj podršci ili u samim bespilotnim letjelicama.

U ovom knjizi nastojalo se optimalno opisati pravilno korištenje bespilotnih sustava. Knjiga ne omogućuje kompletno razumijevanje svih postojećih bespilotnih sustava. Za to je ipak potrebna višegodišnja praksa i daljnje učenje. No, ona omogućava dobro polazište za sigurno korištenje bespilotnih sustava i njegovo poboljšavanje praksom i daljnjim učenjem.

Težište izlaganja je na tehničkim aspektima uporabe bespilotnih letjelica, bilo da je riječ o konfiguriranju letnih radnji ili praćenju vremenskih ovisnosti veličina koje su bitne za odvijanje leta. Zato nisu obuhvaćene druge teme, poput izrade kvalitetnih snimki kamerom na bespilotnoj letjelici, što je sasvim drugo tehničko i umjetničko područje.

U pripremi teksta sudjelovalo je više ljudi. To su Josip Kasać, Petra Čačić, Igor Cerin, Pierantonio Bozzo i drugi. Svima njima, kao i onima koje nisam spomenuo, zahvaljujem na uloženom trudu i vremenu. Neovisno o njihovom sudjelovanju, za eventualne pogreške u tekstu snosim isključivu vlastitu odgovornost.

Zagreb, rujan 2023. godine

Josip Stepanić, autor

1. Uvod

Bespilotne letjelice (koje se još nazivaju i besposadni zrakoplovi, a često i *dronovi*, ili se za njih koristi skraćenica UAV od engl. *Unmanned Aerial Vehicles*) predstavljaju objekte koji se zadnjih godina izrazito mnogo koriste za različite poslove. Dodatno, projekcije njihove uporabe upućuju na kontinuirani rast i broja proizvedenih i korištenih bespilotnih letjelica i porast broja načina njihove uporabe.

Bespilotne letjelice koriste se za rekreativne aktivnosti obavljane u slobodno vrijeme, za poslove vezane uz precizne izmjere zemljišta i terena, za daljinska osmatranja životinjskih vrsta, snimanje izvanrednih događaja i razne druge aktivnosti koje se zbog kratkotrajnosti, promjene lokacije odvijanja ili drugih razloga ne mogu pratiti uređajima pričvršćenim za odgovarajuću infrastrukturu ili tlo.

Dronovi se često spominju u vijestima, a česti su i u filmovima. U ovim materijalima razmotrena je preko primjera uporaba dronova kao sredstva za pomoć pri obavljanju redovitih ljudskih djelatnosti.

Primjeri su općeniti, u načelu primjenjivi za različite vrste bespilotnih letjelica i popratne programske podrške. Naravno, specifičnosti izvedbe opisane u ovom tekstu odnose se na jednu vrstu dronova, tako da će pri provedbi primjera s drugim vrstama biti potrebne odgovarajuće manje izmjene. Primjeri obuhvaćaju kvalitativno različite primjene bespilotnih letjelica, i to i za prikupljanje informacija o okolini iznad koje lete i za analizu radnih značajki letjelica tijekom njihovog leta.

Dronovi su u popularnoj kulturi, filmovima i sl. predstavljeni kao svemoćni strojevi koji su ljudima u pravilu neprijatelji. U stvarnosti, oni nisu ni dobri ni loši. Dronovi su alati čije su mogućnosti određene prije svega stručnošću i motivacijom ljudi koji ih koriste, baš kao i kod svih drugih alata od najjednostavnijih do najsloženijih.

2. Teorijske osnove

2.1. Povijest bespilotnih letjelica

Povijest bespilotnih letjelica usko je vezana s poviješću letjelica s ljudskom posadom. Tijekom dva i pol stoljeća razvoja zrakoplovstva razvoj letjelica s ljudskom posadom uključivao je kao jednu od ispitnih faza provjeru letnih značajki letjelica istog oblika, jednakih ili drugačijih dimenzija, ali bez ljudske posade. Međutim, ta faza u većini je slučajeva smatrana samo usputnom fazom u razvoju novih letjelica s ljudskom posadom i nije joj pridavano veće značenje. Izuzetak predstavlja izrada modela letjelica koje se danas koristi kao daljinski upravljane modele (uobičajenog naziva RC-modeli od engl. *radio controlled* – u značenju *daljinski upravljani*, jer se na daljinu upravljaju prijenosom radio-valova).

Planofor, prvi zrakoplovni model stabilnog leta, napravio je 1870. godine Alphonse Pénaud. Taj model nije bio upravljani. Prvi daljinski upravljani letovi obavljani su u dvadesetom stoljeću.

Početak dvadesetog stoljeća počelo se sustavno razmatrati daljinski upravljane letjelice bez ljudske posade kao zasebnu vrstu letjelica koje mogu obavljati niz zadataka do tada predviđenih samo za obavljanje pomoću letjelica s ljudskom posadom. Dakle, bespilotne letjelice koje nisu samo jedna od mnogobrojnih faza ispitivanja u razvoju letjelica s ljudskom posadom. Rani primjer takve letjelice je AT (skraćenica od engl. *Aerial Target* – Zračna meta) konstruktora Archibalda Lova, koja je poletjela 1917. godine.

Prvi operativni primjerci bespilotnih letjelica izrađeni su neposredno nakon Prvog svjetskog rata. Nekoliko sljedećih desetljeća bespilotne su letjelice korištene kao zračni torpedi, zračne bombe ili leteće mete za vježbanje protuzračnih postrojbi. U ovoj zadnjoj funkciji od njih se očekivalo samo da lete, bez ikakva snimanja, bilježenja podataka, djelovanja po drugim objektima ili prenošenja korisnog tereta – čime su vrlo sličile trutovima kao vrsti pčela (trut – engl. *drone*). Kvalitativno novo proširenje uporabe bespilotnih letjelica nastupilo je ugrađivanjem kamera za snimanje iz zraka. Dodatno se tijekom vremena bespilotne letjelice počelo koristiti za prijevoz bezopasnih tereta, prije svega za humanitarne potrebe.

U današnje vrijeme bespilotne se letjelice intenzivno koriste za različite namjenske poslove (obrambene, istraživačke) ili komercijalne djelatnosti (poslovnog ili privatnog karaktera).

2.2. Struktura bespilotnih letjelica

Za razumijevanje strukture bespilotnih letjelica potrebno je prethodno precizirati odgovarajuće pojmove. Polazišni je pojam let. **Let** je način gibanja tijela kroz zrak koji nije u potpunosti određen

početnim uvjetima i uvjetima okoline. Dakle, ovom definicijom let je upravljivo gibanje u atmosferi planeta Zemlje. **Letjelica** je svako tijelo koje može letjeti. Letjelice koje za letenje koriste reakciju zraka su **zrakoplovi**. Svi zrakoplovi su letjelice, ali obrnuto ne vrijedi kao što pokazuje primjer raketa, umjetnih satelita ili letjelica na ionski pogon. Specifičnosti poput lebdjelica ili letjelica za druge planete u ovom tekstu ne razmatramo. Nadalje se od letjelica razmatraju zrakoplovi.

Bespilotna letjelica je ona na kojoj nema posade tijekom njenog leta. Posadu (naravno, na letjelicama koje nisu bespilotne) čine piloti te, ovisno o zrakoplovu, kabinsko osoblje, tehničko osoblje i pomoćno osoblje.

Osnovne cjeline koje čine strukturu zrakoplova jesu uzgonska, upravljačka, pogonska i teretna cjelina.

2.2.1. Uzgonska cjelina

Uzgonska cjelina dio je zrakoplova na kojemu se ostvaruje cijeli ili znatan dio uzgona. Uzgon je sila kojom fluid djeluje na tijela koja se nalaze u njemu. Razlikujemo statički i dinamički uzgon. Statički uzgon suprotan je sili teži, iznosa jednakog težini tijelom istisnutog fluida. Dinamički uzgon posljedica je relativnog gibanja između tijela i fluida te predstavlja jednu komponentu djelovanja fluida na tijelo. Smjer i orijentacija dinamičkog uzgona određeni su u odnosu na relativno gibanje između fluida i tijela u njemu, a iznos je u pravilu parametriziran.

Uzgonska cjelina može biti uzgonski volumen ili uzgonska ploha. Ako je riječ o uzgonskom volumenu, govori se o statičkom uzgonu kao osiguravanju reakcije zraka bitne za omogućavanje leta. Ako je riječ o uzgonskoj plohi, onda se govori ili o krilima zrakoplova ili o plohama zmajeva. **Krilo** je uzgonska ploha zrakoplova na kojoj se ostvaruje dinamički uzgon. Ako zrakoplov ima krila, u pravilu ih ima više. Dobivanje resultantnog dinamičkog uzgona u pravilu se odvija na nekoliko odvojenih uzgonskih ploha, čiji su doprinosi ukupnom dinamičkom uzgonu međusobno suprotni zbog stabilnosti i drugih aspekata leta. Zmajevi su zrakoplovi privezani za druga tijela (npr. usidreni za tlo, privezani za plovilo ili dr.) koji lete zbog istovremenog nabojnog djelovanja opstrujavajućeg zraka i sile priveza.

2.2.2. Upravljačka cjelina

Upravljačka cjelina obuhvaća upravljačke i stabilizirajuće elemente. Stabilizirajući su elementi horizontalni i vertikalni stabilizator te druge cjeline koje se na određenim zrakoplovima javljaju radi usmjeravanja opstrujavajućeg zraka. Upravljački su elementi nastavci odgovarajućih uzgonskih cjelina. Dakle, za zrakoplov s uzgonskim volumenom upravljački element je taj ili dodatni volumen kojemu se mijenja iznos (pritom promjena oblika nije bitna) i tako upravlja visinom leta. Za zrakoplove s uzgonskim plohama pomični su nastavci upravljački elementi, odnosno kormila smjera i dubine, eleroni i sekundarni upravljački sklopovi (uobičajeno zvanu trimovi).

Za uočiti je kako upravljačka cjelina nije vezana uz podrijetlo zahtjeva za upravljanjem, tj. uz komande. Dakle, sa stajališta upravljanja letjelicom kako je ona definirana, svejedno je tko daje komandu (pilot u zrakoplovu, udaljeni pilot, autopilot) i kako se ona prenosi (mehanički, hidraulički, električki, optički, kombinirano, ...) od mjesta nastanka do lokacije izvedbene jedinice (uobičajeno nazivane servomotor ili aktuator) koja pomiče upravljački element.

2.2.3. Pogonska cjelina

Energija potrebna za svladavanje otpornih sila, po potrebi za postizanje dinamičkog uzgona i osiguravanje pomaka kroz zrak, dolazi ili iz motora unutar zrakoplova, ili iz atmosfere. Ako zrakoplov ima vlastiti pogon, riječ je o **pogonskoj cjelini** koju čine motor (mlazni, klipni, elektromotor, raketni motor) i izvor energije (spremnik s fosilnim gorivom, spremnici s drugom vrstom goriva, akumulator električne energije) s pripadnim elementima za kontroliranu dobavu energije u motor. Motori obavljaju rad na zraku i potiskuju ga unatrag. Zbog zakona očuvanja količine gibanja motor i sve vezano za njega (dakle, cijeli zrakoplov) giba se u suprotnom smjeru, tj. prema naprijed. **Potisak** je sila kojom se opisuje gibanje zrakoplova prema naprijed. Po iznosu je potisak jednak sili kojom motor potiskuje zrak, ali su te dvije sile međusobno suprotne.

Za pouzdan rad potrebno je pratiti radne čimbenike svakog od navedenih elemenata tako da se pogonska cjelina sastoji od velikog broja različitih elemenata, postavljenih na različitim lokacijama u zrakoplovu. Ako zrakoplov nema vlastiti pogon ili je on privremeno isključen, energija za letenje dobiva se iz strujanja u atmosferi. U tom slučaju elementi za dobivanje energije iz atmosfere u pravilu su uzgonska i teretna cjelina.

2.2.4. Teretna cjelina

Teretna cjelina dio je zrakoplova u kojemu se prevozi korisni teret. Često je izvedena kao trup zrakoplova. Iako je u ovom razmatranju strukture teretna cjelina navedena kao zadnja, zapravo je ona glavni razlog zašto uopće koristimo zrakoplove! Ona je i razlog zašto postoje sve prethodno navedene cjeline zrakoplova. Transportira se putnike, različitu robu, opremu za prikupljanje podataka tijekom leta (kamere za snimanje stanja na tlu, senzore za mjerenje lokalnih svojstava atmosfere, ...). U određenim slučajevima korisni teret postavljen je izvan trupa, npr. rastavljivom vezom pričvršćen za donju stranu krila.

Danas postoje dvije glavne razlike između letjelica s ljudskom posadom i bespilotnih letjelica: funkcijska i strukturna. Funkcijska je ta što daljinskim ili automatskim upravljanjem nije moguće ostvariti sve karakteristike leta koje tijekom letova u zrakoplovima mogu i moraju ostvarivati piloti, kabinsko osoblje, tehničari i drugo osoblje ovisno o letnim zadacima. Strukturna je ta što bespilotne letjelice ne moraju imati niz cjelina koje osiguravaju prihvatljive uvjete za ljude. Tako ne moraju imati kondicionirani prostor unutar zrakoplova (kondicioniran po rasponu temperature, tlaka i sastava

zraka), ne moraju imati višestruke sigurnosne i zaštitne sustave, ne moraju imati prostor ergonomske dimenzija i oblika te ne moraju imati sustave koji dostavljaju informacije i kojima se upravlja u rasponima vremena prihvatljivim za ljude. Svaka od navedenih cjelina ima određenu ukupnu masu, zauzima određeni volumen, za pravilni rad traži određenu količinu energije, te podrazumijeva određeno vrijeme utrošeno za periodičko ili neperiodičko održavanje. Dakle, budući da tih cjelina nema kod bespilotnih letjelica, one mogu imati manju masu, trošiti manju količinu energije po zadanom trajanju leta, prenositi dodatnu opremu ili gorivo te biti jednostavnije za održavanje.

Za primjer razmotrimo navedene cjeline kod kvadrotora, za koje je u sljedećem poglavlju opisano kako predstavljaju četveromotorne rotopterne bespilotne letjelice. Uobičajeno su težišta motora vrhovi kvadrata koji pri lebdenju leže u horizontalnoj ravnini. Uzgonsku cjelinu čine krakovi četiriju propelera. Upravljačku cjelinu čine upravljačka jedinica na bespilotnoj letjelici i upravljačka stanica koju obično drži udaljeni pilot na površini tla. Upravlja se promjenom snaga razvijanih na motorima. Koordiniranim promjenama postiže se promjena visine ili promjena horizontalne pozicije. Pogonski sklop čine elektromotori s propelerima i napajanje. U komercijalno dostupnim, serijski proizvođenim takvim letjelicama napajanje je baterijsko. Teretna cjelina u većini slučajeva obuhvaća upravljivu kameru ovješenu s donje strane letjelice. Upravljačka stanica omogućava provođenje različitih manevara u letu, a također i djeluje na rad ostalih sustava, npr. pomoću upravljačke stanice možemo pomicati kameru u odnosu na trup bespilotne letjelice.

2.3. Vrste bespilotnih letjelica

Razmotrimo podjelu bespilotnih letjelica po načinu dobivanja uzgona. Ta podjela identična je i za zrakoplove s ljudskom posadom i za bespilotne letjelice. Podjela obuhvaća nekoliko razina. Od velikog broja različitih vrsta zrakoplova, manji broj vrsta je zastupljen u velikom broju primjeraka i predstavljaju standardne zrakoplove, dok su neke vrste kurioziteti, eksperimentalnog karaktera i nikako nisu standardni zrakoplovi. Podjela koja će biti navedena ne uzima u obzir broj primjeraka pojedine vrste.

Osnovna je podjela na aerostate, aerodine i hibridne zrakoplove. Aerostati su zrakoplovi koji koriste statički uzgon za letenje. Aerodini su zrakoplovi koji koriste dinamički uzgon za letenje. Hibridni zrakoplovi, koji se često nazivaju i hibridni zračni brodovi, oni su koji za letenje koriste i statički i dinamički uzgon.

2.3.1. Aerostati

Aerostati se nadalje dijele prema osima duž kojih su upravljivi, tj. na balone i zračne brodove. Baloni su upravljivi po vertikalnoj osi, a zračni brodovi po sve tri osi. Ovdje se misli na izravno upravljanje, kakvo se ostvaruje radnjama unutar zrakoplova. Naime, neizravno se i balonima može, djelomično i povremeno, upravljati po osima u horizontalnoj ravnini, ali samo ako to omogućavaju lokalni vjetrovi, dakle uvjeti okoline.

2.3.2. Aerodini

Aerodini se nadalje dijele prema načinu postizanja dinamičkog uzgona na aerodine s fiksnim krilima i aerodine s pomičnim krilima. Aerodini s fiksnim krilima moraju se gibati kroz zrak kako bi se postiglo opstrujavanje zraka oko njihovih uzgonskih ploha, potrebno za dobivanje dinamičkog uzgona. Takvo gibanje prate određeni gubitci energije pa je potrebno obavljati rad za nadoknađivanje izgubljene energije i održavanje njihova gibanja kroz zrak. Podjela aerodina s fiksnim krilima temelji se na izvoru energije za obavljanje navedenog rada. Dijelimo ih na avione i zračne jedrilice. Avioni su zrakoplovi s fiksnim krilima i motornim pogonom. Najzastupljenija su vrsta zrakoplova i s ljudskom posadom i u bespilotnoj izvedbi. Zato je razumljivo kako se dodatno dijele po više kriterija, npr. prema namjeni. U ovom tekstu daljnje podjele aviona nećemo razmatrati. Zračne jedrilice su zrakoplovi s fiksnim krilima koje lete koristeći zračna strujanja, dakle kinetičku energiju zraka kao fluida. Tako definirane, jedrilice ne mogu samostalno poletjeti nego za polijetanje koriste druge izvore energije (energiju aviona u aerzaprezi, energiju vitla, potencijalnu energiju pri polijetanju s uzvisine i sl.). Granicu između aviona i zračnih jedrilica premošćuju motorne jedrilice i jedrilice s pomoćnim motorom.

Kod aerodina s pomičnim krilima krila se gibaju periodički, u cijelosti ili bar u većoj mjeri. Pritom mogu rotirati ili se gibati složenije. Zato govorimo o rotopterima (nazivaju se još i rotokopteri) i ornitopterama (mahalicama). Rotopteri su aerodini kod kojih krila rotiraju. Os oko koje krila rotiraju može biti vertikalna ili poprečna. Rotopteri čija krila rotiraju oko vertikalne osi jesu helikopteri i multirotori. Rotopteri čija krila rotiraju oko poprečne osi koriste rotorna kola ili Flettnerov rotor za izvedbu krila.

Postoji velik broj različitih vrsta zrakoplova, ali samo mali broj ima veći broj primjeraka.

U različitim fazama leta jedan te isti zrakoplov može pripadati različitim navedenim vrstama. U današnje vrijeme primjer toga su zrakoplovi tipa VTOL (engl. *Vertical Take-Off and Landing* – vertikalno polijetanje i slijetanje), koji polijeću kao rotopteri, a jednokratnom rotacijom krila ili nosača motora oko poprečne osi zrakoplova poprimaju karakteristike višemotornih aviona.

Budući da je ovaj tekst pisan kao podloga za praktični rad s kvadrotorima, vrstom multirotora, četveromotornim rotopternim bespilotnim letjelicama, nadalje će ih se razmatrati.

2.4. Zakonodavni okvir

Uporaba zračnog prostora jasno je propisana nacionalnim zakonodavstvom. Za samostalnu uporabu bespilotnih letjelica u zračnom prostoru potrebno je s jedne strane prvo steći odgovarajuću dozvolu udaljenog pilota, s druge strane koristiti standardiziranu bespilotnu letjelicu te s treće strane dobiti odobrenje za let precizno navedenih karakteristika. Udaljeni pilot je fizička osoba, osposobljena za upravljanje bespilotnom letjelicom, a to obavlja koristeći daljinski upravljač ili konzolu za upravljanje.

Udaljeni pilot obavlja let za potrebe operatera. Operater može biti fizička i pravna osoba. Dakle, to može biti udaljeni pilot, ali može biti i tvrtka ili ustanova s većim angažiranih udaljenih pilota.

U daljnjem tekstu podrazumijevat će se kako standardiziranu bespilotnu letjelicu koristi udaljeni pilot s odgovarajućom dozvolom, tako da će naglasak biti na pravilnoj pripremi i provedbi leta te pripadnih radnji. Razmatrat će se korištenje kvadrotora u otvorenoj kategoriji udaljenih pilota s dozvolom A1/A3. Dakle, tijekom cijelog leta bespilotna je letjelica unutar vidnog polja udaljenog pilota, a let je prijavljen Hrvatskoj kontroli zračne plovidbe koja ga je i odobrila. Prijava leta bespilotnih letjelica u današnje vrijeme učinkovito se provodi pomoću aplikacije za mobilne telefone *AMC Portal Mobile* (AMC je skraćena naziva odjela za upravljanje zračnim prostorom na engleskom jeziku – *Airspace Management Cell*). Aplikacija se može preuzeti za korištenje bez plaćanja.

Potankosti o polaganju ispita za dobivanje dozvole A1/A3 navedene su na mrežnim stranicama Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo, <http://ccaa.hr>. To uključuje detaljno pripremljene nastavne materijale kao pripremu polaganja ispita za dobivanje dozvole A1/A3, upute za prijavu i polaganje ispita, te sam ispit koji se polaže mrežno, tj. *online*.

Kao primjer, sljedeći popis obuhvaća, navedenim redoslijedom, radnje koje je potrebno provesti za omogućavanje legalnog letenja kvadrotora DJI Mini 2:

1. polaganje ispita A1/A3 online,
2. plaćanje osiguranja za štetu eventualno nastalu uporabom bespilotne letjelice,
3. prijava operatera bespilotnog sustava,
4. prijava udaljenog pilota,
5. prijava za korištenje aplikacije AMC Portal Mobile,
6. prijava pojedinačnog leta unutar aplikacije AMC Portal Mobile.

Točke 1., 3. i 4. provode se na mrežnim stranicama Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo prema tamo dostupnim uputama. Točka 2. provodi se plaćanjem premije osiguranja nekom od osiguravajućih društava, dok se točka 5. provodi komunikacijom s Hrvatskom kontrolom zračne plovidbe. Za provođenje navedenih točaka potrebno je priložiti određenu dokumentaciju, koja je cjelovito navedena u pripadnim uputama na mrežnim stranicama Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo, <http://ccaa.hr>.

2.5. Priprema leta

Priprema leta skup je radnji koje se dijele na navigacijsku i meteorološku pripremu leta.

2.5.1. Navigacijska priprema leta

Navigacijska priprema leta obuhvaća određivanje lokacije polijetanja, putanje leta i lokacije slijetanja. Lokacije polijetanja i slijetanja često se podudaraju. Putanja leta krivulja je koja obuhvaća sve položaje bespilotne letjelice tijekom leta, u različitim trenucima. Pritom bespilotna letjelica može i lebdjeti. Položaj letjelice određen je koordinatama duž tri međusobno okomite osi, kao i orijentacijama u odnosu na njih. Pomak duž vertikalne osi znači promjenu visine, a pomak duž ostale dvije osi označava horizontalni pomak. Orijentacije u odnosu na osi mijenjaju se zbog rotacija. Kvadrotor pri polijetanju prvo mijenja visinu, jer polijeće vertikalno, a naknadno može promijeniti ostale veličine. S druge strane, bespilotna letjelica s čvrstim krilima prvo ubrzava na podlozi i tek nakon postizanja određene brzine na podlozi može promijeniti visinu u odnosu na podlogu, tj. poletjeti.

Putanja se može sastojati od niza segmenata ravnog leta ili zaokretanja. Lokacije početka pojedinog segmenta treba odrediti u okviru navigacijske pripreme pomoću karte područja nad kojim će se letjeti kao i na temelju zadataka postavljenih za let. Na primjer, ako je zadatak leta snimanje jedne jedine udaljene lokacije, onda putanja uključuje let od poletišta do zadane udaljene lokacije i natrag. Ako između tih dviju lokacija nema prepreka na visini leta bespilotne letjelice ni područja čije je prelijetanje zabranjeno, putanja se sastoji od dvaju pravocrtnih segmenata. Ako postoje prepreke i područja koja je zabranjeno nadlijetati, putanja je složenija jer je sastavljena od više segmenata pravocrtnog leta.

Podatci koje treba zabilježiti uz putanju su i radnje koje se obavljaju bespilotnim letjelicama na dijelovima putanje. Raspon tih *dijelova putanje* nije preciziran te obuhvaća raspon od izolirane točke putanje na kojoj bespilotna letjelica lebdi (ako je takve konstrukcije da može lebdjeti) do cjelokupne putanje. Na primjer, bespilotna letjelica može doletjeti do zadane lokacije, snimiti objekt neposredno ispod sebe i vratiti se natrag. Naravno, snimanje se može odvijati tijekom cijelog leta, bilo da je kamera cijelo vrijeme na stalnoj poziciji u odnosu na bespilotnu letjelicu, bilo da se kamera dodatno rotira u odnosu na bespilotnu letjelicu. Moguće su i druge kombinacije, poput panoramskog snimanja na lokaciji lebdjenja i dr. Ako je bespilotna letjelica opremeljena dodatnim sensorima (termometar, barometar, higrometar, ...) i njihovu uporabu treba precizirati u pripremi leta.

Zbog relativno malih visina na kojima se može letjeti bespilotnim letjelicama potrebno je cjelokupnu trasu leta proći pri planiranju. To ne znači kako je potrebno proći cjelokupni put kroz sve lokacije iznad kojih je predviđen let bespilotne letjelice, ali se mora moći uočiti stanje na svim tim lokacijama kako bi se ustanovilo postoje li prepreke koje nisu navedene u kartama i drugoj korištenoj dokumentaciji.

U današnje vrijeme uobičajeno je tijekom cijelog leta imati stalni prijenos niza podataka između bespilotne letjelice i uređaja koji za upravljanje koristi udaljeni pilot, npr. mobilni telefon, daljinski upravljač ili upravljačka stanica (daljinski je upravljač jednostavnija izvedba, a upravljačka stanica složenija izvedba jedinice za daljinsko upravljanje) To obuhvaća prijenos slike kamere na zaslon uređaja, prijenos podataka o lokaciji bespilotne letjelice određen, npr. prijemnicima za GNSS (GNSS – skraćenica engl. *Global Navigation Satellite System*) te kombiniranje navedenih podataka s drugim dostupnim podacima, poput karte ili vizualnog prikaza područja koje nadlijeće bespilotna letjelica, a

koji ne potječu iz bespilotne letjelice. U tom se slučaju bilježenjem na karti za svaki segment putanje leta određuju njegova početna i završna točka kao i njegov smjer.

Primjer navigacijske pripreme leta naveden je u tablici 1. Priprema može, ali ne mora sadržavati i prikaz planiranog leta, ucrtan na karti ili drugačije vizualiziran.

Redni broj	Naziv	Opis	Napomene	Dodatne radnje
1.	Polijetanje	- vertikalno uspinjanje do visine 50 m AGL	- kvadrotor početno postavljen kamerom u smjeru 90 - zaustavljanje na zadanoj visini	/
2.	Lebdenje 1	- lebdenje 10 s	/	zakretanje kamere tako da snima područje vertikalno ispod kvadrotora
3.	Segment 1	- horizontalni let dužine 150 m brzinom iznosa 10 m/s u smjeru 90	- zaustavljanje u završnoj točki	snimanje kamerom
4.	Lebdenje 2	- zakretanje oko vertikalne osi u smjer 180 tijekom 10 s	- zaustavljanje u završnoj točki	/
5.	Segment 2	- horizontalni let dužine 200 m brzinom iznosa 10 m/s u smjeru 180	- zaustavljanje u završnoj točki	snimanje kamerom
6.	Uspinjanje	- vertikalno uspinjanje na visinu 80 m AGL - zakretanje oko vertikalne osi u smjer 217	- zaustavljanje u završnoj točki	/
7.	Segment 3	- horizontalni let dužine 250 m brzinom iznosa 10 m/s u smjeru 217	- zaustavljanje u završnoj točki	/
8.	Prilaz	- spuštanje na visinu 10 m AGL - zakretanje oko vertikalne osi u smjer 90 - precizno pozicioniranje nad sletištem	/	zakretanje kamere u horizontalni položaj
9.	Slijetanje	- smanjivanje visine na 0 m AGL - zaustavljanje motora	/	/

Tablica 1. Primjer navigacijske pripreme. AGL znači visinu nad tlom (engl. *Above Ground Level*).

Prema pripremi u tablici 1, let se mora moći provesti. Kad bi pripadni let više puta proveli, svaki put bi putanja bespilotne letjelice bila neznatno drugačija od prethodnih. Glavni doprinos razlici očekuje se u točki 8. *Prilaz*, dio *precizno pozicioniranje nad sletištem*, zbog čega taj dio nema pripisano trajanje. Smjerovi navedeni u pripremi označuju kutni otklon uzdužne osi bespilotne letjelice od smjera prema

sjeveru, sve projicirano na horizontalnu ravninu. Pritom bi smjer prema sjeveru imao oznaku 0, smjer prema jugu oznaku 180 itd. Neki elementi iz tablice ulaze u upravljanje letom, tj. pilotiranje, a ne u navigaciju, ali su uključeni zbog cjelovitosti opisa i jednoznačnosti provedenih radnji.

Za predviđeni let mora postojati dovoljna količina energije pohranjena u bespilotnoj letjelici. Zato navigacijska priprema uključuje i energetska bilancu. Energetska bilanca procjena je utroška energije u predviđenom letu. Naravno, ukupna utrošena energija mora biti manja od energije pohranjene u bespilotnoj letjelici prije polijetanja. Razlika između energije za koju se u navigacijskoj pripremi procijeni da će biti utrošena tijekom leta i ukupno pohranjene energije zaliha je energije koja mora preostati nakon slijetanja. Ona predstavlja neizostavni doprinos sigurnosti leta. Kolika mora biti ta razlika u pravilu se ne iskazuje u džulima, mjernoj jedinici za energiju, nego neizravno opisom radnje koja se u izvanrednoj situaciji mora moći provesti. Na primjer, može se tražiti da zaliha energije bude takva da nakon regularnog slijetanja baterije imaju dovoljno energije da je letjelica mogla dodatno lebdjeti pet minuta, i za toliko odgoditi slijetanje.

Kod današnjih kvadrotora, koji su u pravilu napajani električnom energijom iz baterija, prethodno navedeno znači kako kapacitet baterija mora biti dostatan za napajanje pogonskih elektromotora i drugih trošila električne energije tijekom cijelog leta. No, to nije uvijek jasno samo po sebi, tako da za svaki segment leta treba procijeniti utrošak energije. Na primjer, u tablici 1 opisan je let kojemu se podudaraju uzletna i sletna lokacija, a čiji svaki segment troši određenu količinu pohranjene energije. Izravno ili neizravno mogu se odrediti trajanja prvih sedam cjelina leta. Trajanje preciznog pozicioniranja ovisi o pogrešci pozicije. Jednim dijelom pogreška potječe od zaokruživanja u planiranim segmentima leta (opišite tu pogrešku na primjeru iz tablice 1!), a drugim dijelom zbog nepreciznosti samih senzora za GNSS. Što je veća akumulirana pogreška i što je udaljeni pilot manje vješt, za posljedicu ima dulje trajanje, a onda i veći utrošak energije u osmoj cjelini leta. No, ako se tijekom te cjeline kapacitet baterija smanji do kritične granice, radnje koje bespilotna letjelica standardno poduzima neće unijeti značajne promjene u predviđeni let. Te radnje su ili RTH (eng. *Return to Home* – povratak kući, u doslovnom prijevodu) ili vertikalno slijetanje. Dakle, obje radnje dovode do slijetanja na predviđeno sletnište, što se i bez njihovog aktiviranja trebalo provesti.

No, kolike su potrošnje energije tijekom određenih radnji, poput lebdenja, horizontalno leta određenom brzinom ili vertikalnog gibanja? Neovisno o tome jesu li tražene potrošnje navedene u dokumentaciji dobivenoj uz bespilotnu letjelicu, potrebno ih je samostalno odrediti zbog eventualno mogućih razlika. Opišimo dva načina određivanja tih podataka - eksperimentalni i fenomenološki. Oni se međusobno ne isključuju i mogu se kombinirati.

Eksperimentalni način određivanja potrošnje energije za pojedinu letnu radnju provodi se tako da se tijekom izdvojene letne radnje prati indicirana napunjenost baterija. Na primjer, ako se određuje potrošnja energije tijekom horizontalnog leta brzinom određenog iznosa, onda se u uvjetima zanemarivog vjetrova provodi horizontalni let na segmentu dovoljne dužine da nastupi znatnija razlika indicirane napunjenosti baterija, recimo, 10 % ili veća razlika. Prekratki segment dovodi da razlike u indiciranoj napunjenosti baterija koja može biti vrlo nepouzdana. Slično se postupa za određivanje

potrošnje u koordiniranim zakretima u horizontalnoj ravnini. Za letne radnje tijekom kojih se mijenja visina leta potrebno je pripaziti da se cjelokupni raspon visina nalazi unutar raspona visina koja su nadležna tijela odobrila za letenje.

U navedenom eksperimentalnom pristupu više je mjerenja. Svako mjerenje određene je točnosti i preciznosti pa će i završna kombinacija rezultata mjerenja biti takva. Za procjenu standardnog odstupanja ili drugačije iskazane mjerne nesigurnosti potrebno je provesti standardnu mjeriteljsku analizu.

Za kvalitetno planiranje leta potrebno je znati potrošnju energije tijekom letnih manevara. U kvalitetno isplaniranom letu količina energije za pogon drona dovoljna je za obavljanje predviđenih letnih radnji, za obavljanje dodatnih letnih radnji kojima se obuhvaćaju manje nepreciznosti kao i za obavljanje radnji koje mogu biti izvanredno zatražene zbog sigurnosti.

Drugi je način određivanja potrošnje energije za pojedinu letnu radnju **fenomenološki**. U tom načinu, za let koji se odvija neovisno o potrebi određivanja potrošnje, analiziraju se indicirane napunjenosti baterija zabilježene u letnom zapisu (engl. *Flight Record*). To su trajno zabilježeni podatci pa se mogu grafički prikazivati i obrađivati, a svakako ih je više nego što se stigne zabilježiti sa zaslona upravljačkog uređaja tijekom leta.

Ako bespilotna letjelica može letjeti u automatskom ili autonomnom načinu, navigacijska priprema može se sastavljati direktno u odgovarajućem programu. Rezultat sastavljanja (slikovito rečeno *programiranja*) jest datoteka koja sadrži sve potrebne podatke. Ona se može učitati u program za upravljanje bespilotnom letjelicom i na temelju koje bespilotna letjelica provodi predviđeni let bez stalnog upravljanja udaljenog pilota. Udaljeni pilot pokreće program, zbog mjera predostrožnosti cijelo vrijeme prati izvođenje leta slikom i drugim podacima na zaslonu upravljačkog uređaja, te prekida izvođenje programa i preuzima ručno upravljanje ako nastupi potreba za time.

Navigacijska priprema uključuje i praćenje dostupnosti zračnog prostora, što se provjerava do samog polijetanja. Naime, zračni prostor predviđen za letenje može za bespilotnu letjelicu biti zabranjen u predviđenom vremenu zbog više razloga. Njime mogu letjeti u predviđeno vrijeme drugi zrakoplovi i bespilotne letjelice većeg prioriteta letenja, a također i namjenske vježbe na tlu ili izvanredni događaji mogu dovesti do privremene zabrane letenja zračnim prostorom. Podatci o nedostupnosti zračnog prostora dio su zrakoplovnih obavijesti vrste NOTAM (skraćenica eng. *Notices to Airmen*), a služba koja koordinira uporabu zračnog prostora u Republici Hrvatskoj Hrvatska je kontrola zračne plovidbe. Neke obavijesti o nedostupnosti dijela zračnog prostora mogu biti objavljene više dana prije predviđenog leta bespilotne letjelice i stoga ih treba uzeti u obzir kod planiranja putanje.

2.5.2. Meteorološka priprema leta

Meteorološka priprema leta obuhvaća određivanje atmosferskih uvjeta u kojima se let može provoditi, određivanje prognoziranih i stvarnih uvjeta u kojima se odvija, te međusobno uspoređivanje tih uvjeta.

Za konvencionalne bespilotne letjelice uobičajeni uvjeti provođenja leta odnose se na temperaturu, padaline i iznos brzine vjetra. **Temperatura** mora biti unutar temperaturnog raspona koji proizvođač dozvoljava za uporabu bespilotne letjelice zbog toga što se kapacitet baterije znatno mijenja s temperaturom izvan tog raspona. Posebno, na niskim temperaturama stvarni kapacitet znatno je manji nego nazivni kapacitet baterije. S druge strane, budući da se prilikom korištenja baterija zagrijava, okolišne temperature ne smiju biti previsoke. Dodatno, temperatura mora biti veća od temperature rosišta na svim predviđenim visinama, kako bi se izbjeglo kondenziranje kapljica vode na bespilotnoj letjelici, jer se pritom mogu promijeniti njezina upravljivost i druga letna svojstva. Konvencionalne bespilotne letjelice, nadalje, ne smiju letjeti tijekom većine **padalina** (kiša, snijeg, magla, ...). Posebno treba pripaziti na sumaglicu. Što se tiče vjetra, proizvođač u popratnoj dokumentaciji navodi maksimalni **iznos brzine vjetra** pri kojem bespilotna letjelica smije letjeti, neovisno o smjeru vjetra.

Prognozirani uvjeti dobivaju se iz dostupnih prognostičkih modela. Za područje Republike Hrvatske takve podatke daju Državni hidrometeorološki zavod i Hrvatska kontrola zračne plovidbe. Dostupni su i meteorološki podatci iz drugih izvora, koje se može koristiti informativno, ali ne za službene potrebe planiranja i provedbe leta. Po samoj definiciji, prognozirani uvjeti mogu se razlikovati od stvarnih. Zašto se onda uopće razmatraju prognozirani uvjeti? Zato jer je za pripremu leta često puta potrebno provesti radnje koje traju duže vrijeme. Naime, za provedbu leta u udaljenoj lokaciji potrebno je krenuti na put dan ranije, za provedbu leta može biti potrebno angažirati druge ljude i službe koje planiraju svoje aktivnosti po nekoliko dana unaprijed, može biti potrebno iznajmiti dodatnu opremu što predstavlja dodatni trošak. Ako prognoze s relativno velikom vjerojatnosti upućuju na nemogućnost odvijanja planiranog leta, onda je velik rizik da će svi popratni troškovi predstavljati gubitak. U tim slučajevima potrebno je na vrijeme otkazati predviđeni let. Naprotiv, ako prognoze s relativno velikom vjerojatnosti upućuju na mogućnost odvijanja planiranog leta, tada treba provesti sve pripremne radnje kao da će se let stvarno i provesti. Međutim, uvijek treba imati na umu kako se stvarni uvjeti mogu razlikovati od prognoziranih, tako da i u tom slučaju treba zadržati mogućnost otkazivanja predviđenog leta, neovisno o prethodnim radnjama i pripadnim troškovima.

Razmotrimo detaljnije dva utjecaja atmosfere na mogućnost provedbe leta, brzinu vjetra i **maglu**.

Ako je **iznos brzine vjetra** duže vrijeme veći od maksimalno dozvoljenog za letenje, tada vjetar otpuhuje bespilotnu letjelicu bez mogućnosti njezina vraćanja. Ako nepredviđeno nastupe takvi uvjeti, potrebno je u najkraćem mogućem vremenu prizemljiti bespilotnu letjelicu bez ugrožavanja ljudi i imovine. U meteorološkim podacima, uz srednji iznos brzine vjetra navode se i brzine zapuha, koje su većeg iznosa, a javljaju se povremeno. Neovisno o njihovom kraćem trajanju, zapusi mogu trajati dovoljno dugo da se nepovratno otpuše bespilotnu letjelicu izvan vidnog polja udaljenog pilota.

Količina vode u atmosferi, u obliku vodene pare ili kapljica vode, značajno utječe na vidljivost. Znatna vlažnost atmosfere često nastaje u uvjetima nestabilne atmosfere kad je veća vjerojatnost pojave nevremena. Međutim, u ovom primjeru razmatramo stabilnu atmosferu i odsutnost nevremena. Treba istaknuti **maglu** i **sumaglicu**, meteorološke pojave koje upućuju na stabilno vrijeme, a za let su bitne jer smanjuju vidljivost. Magla smanjuje vidljivost na manje od 1 km zračne udaljenosti, a sumaglica na zračnu udaljenost od 1 do 10 km. Ako je predviđeno letenje pri kojemu će bespilotna letjelica biti bar dio leta od udaljenog pilota udaljena za više od granične udaljenosti za vidljivost, let treba ili odgoditi ili otkazati. Kako bi se takvi ishodi spriječili, pri planiranju leta potrebno je uzeti u obzir mogućnost tih pojava i odrediti putanju letjelice tako da ne izađe iz vidnog polja udaljenog pilota u uvjetima magle ili sumaglice.

Pritom navedimo kako *odgoditi* let znači promijeniti vrijeme polijetanja, na način da svi ostali letni parametri ostanu nepromijenjeni. Kod odgađanja leta i polazno predviđeni i stvarno realizirani let odvijaju se tijekom istog vremenskog intervala odobrenog za letenje. Naprotiv, *otkazati* let znači ne provesti let. Ako se otkazani let treba naknadno provesti, prije toga je potrebno zatražiti novo odobrenje leta ili ga ponovno isplanirati. Katkad nije moguće odgoditi, nego samo otkazati let.

Iako se meteorološka priprema odnosi samo na bespilotnu letjelicu, razumljivo je kako prikupljene podatke treba koristiti i za pripremu udaljenog pilota, prije svega zbog prikladne odjeće. To uključuje i zaštitu od prejakog sunčeva zračenja, rukavice za zaštitu prstiju pri temperaturama koje se npr. za hodanje i niz drugih radnji ne smatraju niskima, ili dodatna zaštita od vjetra.

Uobičajeni način letenja bespilotnim letjelicama podrazumijeva dostupnost satelitskih signala za navigaciju i pozicioniranje. U slučaju dobre kvalitete satelitskih podataka omogućen je GPS-način letenja. Tada je letjelica automatski stabilizirana. No, dio Sunčeve aktivnosti je i emisija *solarnog vjetra*. To je snop ioniziranih čestica koje putuju u svemir te jednim dijelom dolaze u atmosferu Zemlje gdje uzrokuju promjenu magnetskog polja Zemlje i štetno utječu na prostiranje elektromagnetskih valova, npr. onih koje šalju sateliti, a bitni su za navigaciju. Jači solarni vjetar onemogućuje GPS-način letenja. Zato u meteorološke uvjete uključujemo i **geomagnetsku** situaciju na površini Zemlje.

Ako su utjecaji solarnog vjetra jači, nazivaju se geomagnetske oluje. Iznos utjecaja solarnog vjetra i obično je iskazan K-indeksom. Taj indeks je cijeli broj u rasponu od 0 do 9 i odnosi se na razdoblje od 3 sata. Pritom veći K-indeks znači veći poremećaj magnetskog polja Zemlje. Iznos 5 ili veći znači geomagnetsku oluju. Od organizacija koje daju pouzdane iznose K-indeksa, kao i njegove prognozirane iznose, ovdje navedimo NOAA iz SAD-a (prognoza K-indeksa dostupna ovdje: <https://www.swpc.noaa.gov/products/3-day-forecast>) i GFZ iz Njemačke (prognoza K-indeksa dostupna ovdje: <https://spaceweather.gfz-potsdam.de/products-data/forecasts>). Obično njihove podatke preuzimaju programi za upravljanje letom ili analizu letnih zapisa, kao što će biti objašnjeno u daljnjim poglavljima.

2.6. Provedba leta

Provedba leta obuhvaća provjeru situacije, prijetni pregled bespilotnog sustava, letenje bespilotne letjelice i poslijetni pregled bespilotnog sustava. Pridružena je radnja izrada zapisnika o provedenoj pripremi i provedbi leta, ali ona ne ulazi u provedbu leta.

Ovdje se treba istaknuti da se prijetni pregled odnosi na cjelokupni bespilotni sustav, a ne samo na bespilotnu letjelicu.

2.6.1. Provjera situacije

Provjera situacije odnosi se na provjeru trenutnih vremenskih uvjeta na lokaciji leta, na provjeru zrakoplovnih informacija i provjeru aktivnih zona korištenja zračnog prostora za predviđeno vrijeme letenja.

2.6.2. Prijetni pregled bespilotnog sustava

Prijetni pregled bespilotnog sustava uključuje sljedeće provjere:

1. jesu li propeleri bespilotne letjelice pravilnog oblika i bez oštećenja površine;
2. postoje li vidljiva oštećenja baterija, konstrukcije bespilotne letjelice ili njenih senzora bitnih za predviđeni let,
3. jesu li dostatno napunjene baterije bespilotne letjelice, jedinice daljinskog upravljanja i mobilnog telefona;
4. koristi li se važeća verzija programa za upravljanje bespilotnom letjelicom;
5. jesu li pravilno postavljeni potrebni parametri u programu za upravljanje;
 - 5.1. jesu li kalibrirani kompas i inercijalna jedinica;
 - 5.2. postoje li bilo kakve dodatne uočljive smetnje pravilnom radu svih komponenti;
 - 5.3. jesu li u programu za upravljanje postavljeni predviđeni način leta, maksimalna visina, radnja u slučaju gubitka veze, lokacija za radnju RTH.

Ako se ustanove nepravilnosti, potrebno ih je ukloniti. U suprotnom se let mora otkazati. Na primjer, nepravilno svinute proplere ili propelere s napuklinama ili drugim mehaničkim oštećenjima treba zamijeniti rezervnim propelerima. Ako rezervni propeleri nisu dostupni odmah ili u kraćem vremenu, let se otkazuje. Ako je baterija napuhana, nikako ju se ne smije koristiti, i to ne samo u ovom letu nego i kasnije. Takvu je bateriju potrebno ukloniti pravilnim zbrinjavanjem na odlagalištu baterija, a za let koristiti rezervnu bateriju. Svakako, i nju u tom slučaju također treba pregledati kao dio točke 2

prijeletnog pregleda! Stanje napunjenosti baterija u nizu bespilotnih sustava u pravilu se može provjeriti prije uključivanja odgovarajućih komponenti. Na primjer, česta je izvedba da se napunjenost baterije (bilo da je u pitanju baterija za pogon bespilotne letjelice ili baterija jedinice za daljinsko upravljanje) provjerava kratkim pritiskom na gumb za upućivanje u rad, dok se samo upućivanje u rad provodi kombinacijom kratkog i dugog pritiska na taj gumb. Kratki pritisak znači da se pripadni gumb pritišće manje od 1 s, dok dugi pritisak znači držanje pripadnog gumba pritisnutim tijekom nekoliko sekundi. Kombinacija ovih dvaju pritisaka znači da razmak između njih treba biti manji od 1 s. Budući da navedeni primjer nije jedinstven, nije propisan kao takav pa ni zastupljen u svim bespilotnim sustavima, potrebno je proučiti upute proizvođača znatno prije samog prijeletnog pregleda i upoznati se s načinom upućivanja komponenti bespilotnog sustava u rad. Ako baterija za pogon bespilotne letjelice nije napunjena, najkraći je postupak zamijeniti je drugom (uz popratnu njenu provjeru točkama 2 i 3). Ako nema rezervnih baterija ili se ne mogu mijenjati, kao što je slučaj s nekim jedinicama za daljinsko upravljanje i samim mobilnim telefonima, potrebno ih je probati na licu mjesta napuniti ako postoji odgovarajuća infrastruktura. U tom je slučaju let moguće odgoditi. Ako nije moguće u raspoloživom vremenu napuniti baterije ili ih dopuniti do razine napunjenosti potrebne za obavljanje predviđenog leta, let se otkazuje.

Ako je objektiv kamere oštećen toliko da snimke dobivene kamerom ne bi bile prihvatljive kvalitete, a let predviđa snimanje izdvojenih lokacija, let se otkazuje.

Dakle, prve tri točke prijeletnog pregleda provode se uz isključene komponente bespilotnog sustava. Provjere koje se odnose na korišteni program upravljanja bespilotnom letjelicom provode se automatski tijekom njegova pokretanja, a prije polijetanja bespilotne letjelice. Međutim, u znatnom broju bespilotnih sustava upravljački je program moguće pokrenuti tek nakon upućivanja u rad bespilotne letjelice. Upućivanje u rad ili uključivanje, slikovito rečeno „start“, ne znači polijetanje nego ostanak letjelice na tlu. Kad je bespilotna letjelica upućena u rad, tada joj u pravilu svijetli nekoliko indikatorskih LED-ova, čiji način svijetljenja daje informacije o samoj letjelicu. Svijetljenje može biti kontinuirano jednom bojom od više njih, intervalno jednom bojom, ili intervalno s promjenom boja svijetljenja, kako je to opisano u uputstvima za uporabu, a razlikuje se između različitih bespilotnih letjelica.

Prijeletni pregled bespilotnog sustava kombinira preglede svih komponenti. Prijeletne preglede komponenti nije moguće provesti jedan nakon drugog, npr. tako da se prvo pregleda bespilotna letjelica pa tek nakon toga jedinica za daljinsko upravljanje, bez preklapanja tih pregleda.

Zbog navedenog, nakon prve tri točke, a prije nastavka prijeletnog pregleda, upućuju se u rad jedinica za daljinsko upravljanje i bespilotna letjelica. Nakon dovršetka prijeletnog pregleda traži se odobrenje za zonu letenja pomoću aplikacije *AMC Portal Mobile*. No zašto se to radi sada, a ne prije cjelokupnog prijeletnog pregleda ili tijekom njega? Traženje zone leta ne provodi se prije jer ako se tijekom prijeletnog pregleda uoči stanje zbog kojeg se otkazuje let, tada traženje zone nepotrebno opterećuje sustav upravljanja zračnim prostorom. Općenito, komunikaciju sa službom za upravljanje zračnim

prostorom, kao i s drugim nadležnim službama, potrebno je uvijek svoditi na minimum kojim god načinom ta komunikacija bila ostvarena, tj. telefonski, radio vezom, mrežnim portalom ili kroz aplikaciju. Budući da u svakoj točki prijeletnog pregleda može biti uočen razlog zbog kojeg se let otkazuje, tek nakon prijeletnog pregleda treba zatražiti odobrenje za zonu letenja, iako to podrazumijeva dodatno čekanje.

Kako bi se minimizirala mogućnost otkazivanja leta nakon što su već svi ljudi i sredstva na lokaciji predviđenog leta, većinu navedenih provjera može se i poželjno je provesti prije dolaska na tu lokaciju. To su provjere u prve četiri točke prijeletnog pregleda. Ipak, treba biti svjestan kako takva priprema umanjuje, ali **ne isključuje** mogućnost dodatnih pogreški. Zbog toga je nužno provođenje navedenog prijeletnog pregleda u cjelosti. Kalibriranje kompasa i postavljanje parametara poput RTH na lokaciji različitoj od lokacije polijetanja ni najmanje ne utječe na ispravnost rada. U skladu s time, to je dovoljno, ali i neizostavno potrebno provesti na lokaciji leta tijekom prijeletnog pregleda. Različiti proizvođači navode kako kalibriranje kompasa i inercijalne jedinice nije potrebno uvijek provoditi. Međutim, kad se razmotri u kojim je slučajevima kalibraciju potrebno provoditi, pokazuje se da je prikladnije *uvijek* provesti kalibraciju, nego paziti jesu li ili nisu ispunjeni brojni, specifični uvjeti kad ju je nužno provesti.

2.6.3. Let

Let nas ovdje ne zanima kao fizikalni proces, način gibanja bespilotne letjelice, nego kao niz radnji koje udaljeni pilot provodi. Pritom se let dijeli na polijetanje, let u užem smislu i slijetanje. Uz provođenje potrebnih radnji prema navigacijskoj pripremi leta, cijelo vrijeme leta potrebno je pratiti stvarne meteorološke uvjete i procjenjivati razlikuju li se od onih navedenih u meteorološkoj pripremi leta. Naravno, ako nastupe i druge nepredviđene situacije koje zahtijevaju modifikaciju ili prekid leta, potrebno je na vrijeme i pravilno djelovati.

Poslije završenog leta potrebno je odjaviti korištenje zračnog prostora u aplikaciji *AMC Portal Mobile*, a po potrebi javiti i drugim uključenim dionicima da je let završen.

2.6.4. Poslijeletni pregled

Poslijeletni pregled provodi se neposredno nakon slijetanja i obuhvaća sljedeće radnje:

1. jesu li propeleri bespilotne letjelice pravilnog oblika i bez oštećenja površine;
2. postoje li vidljiva oštećenja baterija, konstrukcije bespilotne letjelice ili njenih senzora bitnih za pravilno letenje;
3. koliko su napunjene baterije bespilotne letjelice i jedinice daljinskog upravljanja;
4. je li potrebna kalibracija kompasa.

Ako se u točkama 1 i 2 uoče nepravilnosti, potrebno ih je zabilježiti i poduzeti druge potrebne korake kako bi ih se uklonilo i time omogućilo daljnje sigurne letove bespilotne letjelice.

Napunjenost baterija, točka 3, treba zabilježiti i usporediti s onom koja je rezultat energetske analize provedene tijekom planiranja leta. Ako je **neznatna razlika** između tih dviju brojki, nije potrebno poduzimati nikakve daljnje mjere.

Naprotiv, ako je stvarna indicirana napunjenost baterija **znatno manja** od predviđene, potrebno je provesti daljnju analizu kako bi se otkrio uzrok razlike. Za početak je potrebno testirati bateriju da se provjeri jesu li u njoj nastupile promjene koje joj znatno smanjuju radni vijek, radni kapacitet ili neko drugo svojstvo bitno za let. Ako razlog razlike nije u bateriji, tada se ispituju motori i vodiči bespilotne letjelice, kao i druge cjeline čiji je moguće nepravilni rad uzrokovao dodatnu, nepredviđenu potrošnju električne energije. No, razlog te razlike može biti izvan bespilotnog sustava, dakle u okolini. Na primjer, ako je bespilotna letjelica tijekom leta znatan dio vremena letjela kroz područje nisponog strujanja zraka, tada je ukupna stvarna potrošnja električne energije veća od planirane.

S druge strane, ako je stvarna indicirana napunjenost **znatno veća** od predviđene, također je potrebno provesti daljnju analizu! Možda je razlika posljedica pogrešnog planiranja. U tom slučaju potrebno je ispraviti pogrešno odabrane parametre u planiranju kako se ona ubuduće ne bi javljala. No, možda je razlog razlike drugačiji i takav da ne zahtijeva daljnja ispitivanja komponenti ili promjene u planiranju letova. Na primjer, ako je u uskom sloju oko visine letenja bespilotne letjelice kraće vrijeme puhao jači ledni vjetar nego što je prognozirano, onda je razumljivo da je ukupna stvarna potrošnja električne energije bila manja od planirane. Slično, ako je bespilotna letjelica na putanji leta prošla kroz prostranije područje usponog strujanja, razumljivo da je ukupna stvarna potrošnja električne energije manja od planirane.

Bilježenje i pripadna analiza indicirane napunjenosti baterija jedna je od mnogobrojnih radnji koje upućuju na opći pristup, a to je da se rukovanje bespilotnom letjelicom jednim dijelom uči prije samih letova, ali se usavršava dugoročno, velikim dijelom i kroz poslijetnu analizu.

Navedena uspona i nispona strujanja mogu se javiti na manjim površinama i manjem rasponu visina, a posljedica su Sunčeva zračenja, složene strukture tla i međudjelovanja s atmosferom. Stjecanjem iskustva postaje moguće predvidjeti na kojim bi se lokacijama takva strujanja mogla pojaviti, što se s vremenom može koristiti pri letenju. No, neovisno o tome koliko može postojati npr. usponih strujanja na putanji leta bespilotne letjelice, takva se strujanja ne smiju uključiti u planirani let.

Nakon poslijetnog pregleda slijedi spremanje komponenti bespilotnog sustava u kutiju, torbu ili drugi prostor za prenošenje. Podatke i snimke, snimljene u mobilnom telefonu, memoriji bespilotne letjelice ili memorijskoj kartici, po potrebi se presnimava na osobno računalo i dalje obrađuje.

2.6.5. Zapisnik

Što u kraćem vremenu nakon poslijeletnog pregleda potrebno je sastaviti zapisnik o provedenom. Zapisnik treba sadržavati:

- vrijeme početka i završetka leta
- osnovne meteorološke parametre (temperatura, naoblaka, vjetar na tlu, vlaga, padaline koje utječu na vidljivost)
- izjavu o provedenom poslijeletnom pregledu
- popis eventualno uočenih nepravilnosti
- popis osoba i službi kontaktiranih zbog provođenja leta
- druge napomene
- popis uključenih osoba (udaljeni pilot, promatrač, druge uključene osobe).

U izjavi o provedenom poslijeletnom pregledu potrebno je navesti jesu li provjerene komponente u ispravnom stanju bez oštećenja ili drugih indikacija nepravilnog rada. Druge napomene uključuju bilježenja bilo kakvog odstupanja stvarnog stanja okoline ili bespilotnog sustava od predviđenih, bez obzira na to je li zabilježeno odstupanje dovelo do vidljivih razlika između obavljenog i predviđenog leta, odnosno do vidljivih razlika između završnog i početnog stanja komponenti bespilotnog sustava.

Sve navedeno odnosi se na regularnu provedbu leta. Ako je zbog izvanrednih okolnosti došlo do prijevremenog otkazivanja leta bez ljudskih ozljeda, bez oštećenja opreme i infrastrukture, potrebno je i to navesti te opisati sa svim činjenicama bitnim za let koje su tada poznate. Ako su nastupile ozljede ljudi ili je došlo do oštećenja opreme i infrastrukture, potrebno je žurno o tome obavijestiti nadležne službe, svakako prije sastavljanja zapisnika ili provedbe poslijeletnog pregleda.

Prikladno je sastaviti **obrazac zapisnika** kako bi udaljeni pilot što jednostavnije i u kraćem vremenu sastavio cjeloviti zapisnik. Takav obrazac ujedno je i kontrolna lista o tome jesu li u zapisnik uneseni svi potrebni podatci.

3. Konfiguriranje bespilotnog sustava

3.1. Komponente i relacije

Bespilotni je sustav cjelina koju čine bespilotna letjelica i druge komponente potrebne za sigurno i pouzdano letenje. Te komponente su jedinica daljinskog upravljanja, programska podrška, izrađene pripreme za let te popratna oprema. Opremu koja je dio bespilotnog sustava čine: punjač baterija bespilotne letjelice, punjač jedinice daljinskog upravljanja; rezervni dijelovi (npr. ako je kvadrotor u pitanju, to su svakako rezervni propeleri); alati za sastavljanje, dijagnostiku i manje popravke bespilotne letjelice; prostirka za uzlijetanje i slijetanje; vjetrokaz s nosačem i sidrištem; kovčeg ili torba za prijenos bespilotne letjelice; odjeća udaljenog pilota koju nosi samo zbog omogućavanja nesmetane provedbe leta te mobilni telefon. Mobilni telefon može biti predviđen za spajanje na jedinicu daljinskog upravljanja te služi kao njen zaslon na koji se projiciraju slike kamere i drugi podatci vezani za let bespilotne letjelice. No, čak i kad nije za to potreban, mobilni telefon je dio opreme zbog potrebe za aktiviranjem zračnog prostora namjenskom aplikacijom za fleksibilnu uporabu zračnog prostora *AMC Portal Mobile*. Neke od navedenih komponenti nisu nužne, poput prostirke ili vjetrokaze. Često je punjač jedinice daljinskog upravljanja samo kabel kojim se jedinicu povezuje s računalom čime se osigurava njezino punjenje. U bespilotni sustav može se, ali ne mora, uvrstiti i osobno računalo. Ono je korisno za pohranjivanje i obradu datoteka čiji se sadržaj odnosi na let.

Svi primjeri navedeni u ovom tekstu odnose se na uporabu kvadrotora DJI Mini 2, aplikacije za upravljanje njime DJI Fly i aplikacije za odobrenje leta AMC Portal Mobile.

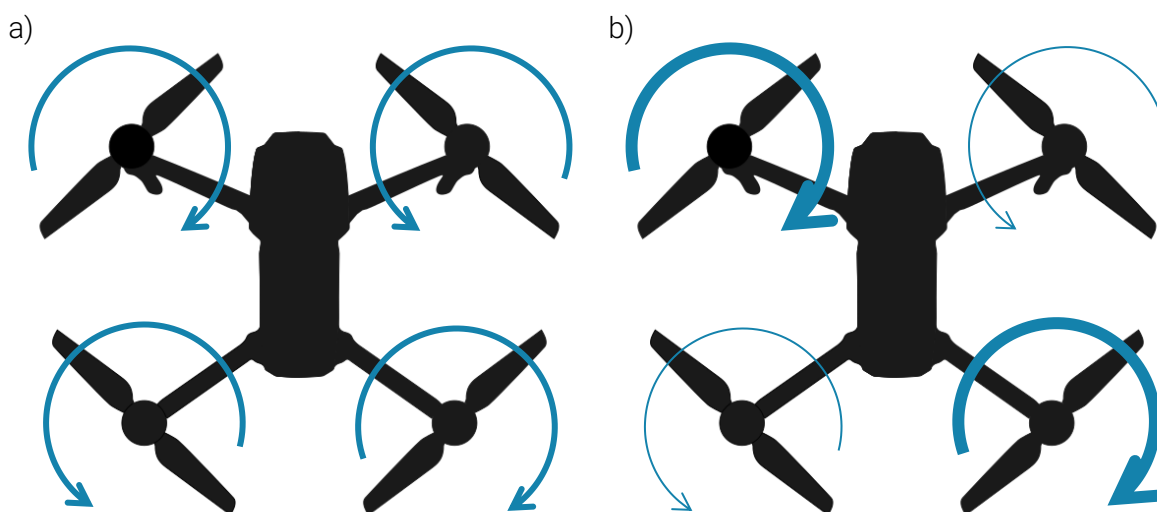
Kao svojevrsnu vježbu provest ćemo radnje za hardversko i softversko konfiguriranje bespilotnog sustava:

1. radnje za dovođenje bespilotne letjelice DJI Mini 2 u letnu konfiguraciju,
2. radnje za uspostavljanje potpune komunikacije između bespilotne letjelice, jedinice daljinskog upravljanja i osobnog računala za trajnu pohranu i obradu podataka vezanih uz let.

Hardversko povezivanje (1. točka) za bespilotnu letjelicu znači njezino postavljanje u letnu konfiguraciju, stavljanje napunjene baterije, po potrebi i stavljanje memorijske kartice. Hardversko povezivanje za jedinicu daljinskog upravljanja znači njezino sklapanje, postavljanje mobilnog uređaja u nosač na jedinici daljinskog upravljanja te njihovo žičano povezivanje. Softversko povezivanje (2. točka) podrazumijeva da su uključene i bespilotna letjelica i jedinica daljinskog upravljanja te da je na mobilnom telefonu pokrenut program *DJI Fly*. Dodatno, to podrazumijeva presnimavanje letnog zapisa kao datoteke u osobno računalo.

Bespilotna letjelica DJI Mini 2 kvadrotor je osnovne mase 249 g. Uz dodatke, poput okvira oko propelera, masa mu prelazi 250 g. Značajke toga kvadrotora detaljno su ispisane na službenim stranicama proizvođača te ih nije potrebno sve ovdje prepisivati. Istaknimo nekoliko značajki kao što su: izvođenje manevara, napajanje i pozicioniranje.

Manevri kod letjelica vezani su uz promjenu translatorne ili kutne brzine duž neke osi. Na primjer, penjanje ili spuštanje, koordinirani zaokret, nagnjanje, rotacija oko vertikalne osi neki su od jednostavnijih manevara. Manevri se odvijaju privremenom promjenom snage razvijene na motorima. Veća snaga u pravilu znači brže rotiranje propelera a time i veći potisak propelera u odnosu na zrak. Motori su upareni, tako da se nasuprotni motori rotiraju jednako: motori duž jedne dijagonale rotiraju u smjeru kazaljke na satu, a motori duž druge dijagonale rotiraju obratno od kazaljke na satu, kad DJI Mini 2 gledamo odozgo. Uzmimo za polazište lebdenje. Motori su jednakih razvijenih snaga te se zakretni momenti motora na kućište međusobno kompenziraju, tj. ponište, slika 3-1a.



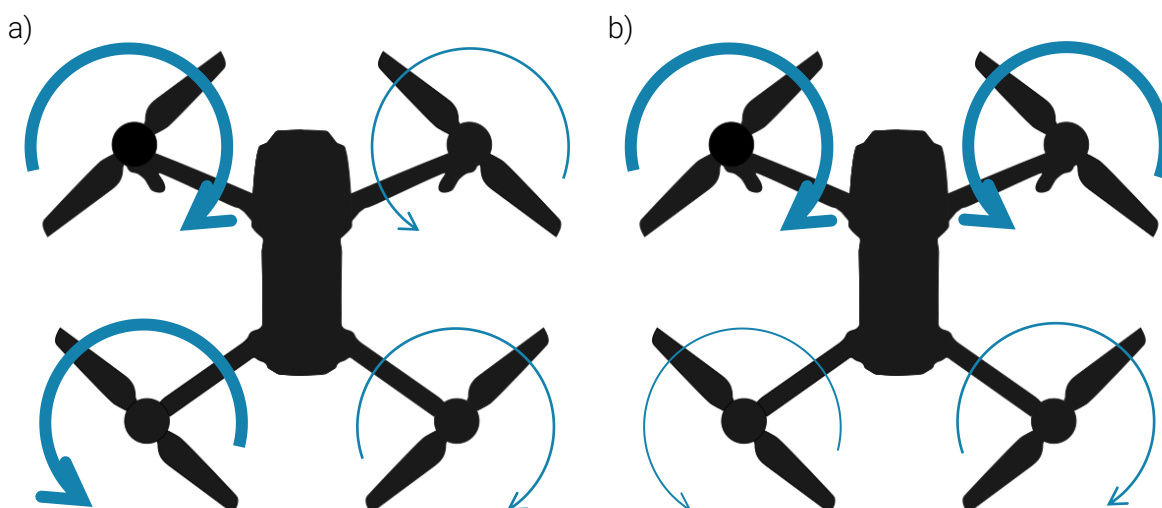
Slika 3-1. Način rotacije motora u letenju: a) kvadrotor lebdi i motori razvijaju jednake snage i ukupni potisak jednak je težini, b) kvadrotor se na stalnoj visini zakreće obratno od kazaljke na satu. Većoj razvijenoj snazi na motoru odgovara deblja strelica.

Pri **skretanju** zakrećemo kvadrotor oko vertikalne osi, tada se motorima duž jedne dijagonale poveća napajanje, a motorima duž druge dijagonale smanji napajanje. Promjena napajanja samo motorima na jednoj dijagonali (bilo da je riječ o povećavanju ili smanjivanju napajanja) dovela bi do promjene visine kvadrotora jer ukupni potisak ne bi stalno bio izjednačen s težinom, dakle konstantan. Pritom treba uzeti u obzir da kućište kvadrotora, gledano kao platforma na kojoj su motori s propelerima, nastoji rotirati na suprotni način od rotacija pogonskih motorā zbog kompenzacije zakretnih momenata. Na primjer, pri zakretanju kvadrotora oko vertikalne osi obratno od kazaljke na satu povećano napajanje imaju motori koji se okreću u smjeru kazaljke na satu, a smanjeno oni koji se okreću obratno od kazaljke na satu, slika 3-1b.

Kako se kvadrotor nagnje oko uzdužne osi, dakle kako se **valja**? Tako da se poveća napajanje obaju motora na jednoj strani uzdužne osi, a smanji napajanje oba motora na drugoj strani, slika 3-2a. Zbog

načina rotiranja motora zakretni je moment oko vertikalne osi cijelo vrijeme kompenziran pa nema skretanja kvadrotora. Ako je kvadrotor početno lebdio, nakon opisane promjene napajanja (dakle, promjene razvijene snage na motorima) uz valjanje početak će letjeti u stranu suprotnu od strane na kojoj je pojačano napajanje. Slika 3-2a prikazuje valjanje kod kojega je lijeva strana kvadrotora podignuta u odnosu na desnu te kvadrotor leti nadesno.

Slično, za **propinjanje** kvadrotora, tj. zakretanje oko poprečne osi, poveća se npr. napajanje prednjih motora, a smanji napajanje stražnjih motora i u tom slučaju prednji kraj kvadrotora kreće nagore, stražnji prema dolje, slika 3-2b. Ako dođe do suprotne promjene napajanja istih motora, kvadrotor se zakreće drugačije. Ako je kvadrotor početno lebdio, nakon opisane promjene napajanja (dakle, promjene razvijene snage na motorima) uz propinjanje početak će letjeti u stranu suprotnu od strane na kojoj je pojačano napajanje. Slika 3-2b prikazuje propinjanje kod kojega je prednja strana kvadrotora podignuta u odnosu na stražnju te kvadrotor leti unatrag.



Slika 3-2. Zakretanje kvadrotora oko vlastitih osi: a) valjanje, b) propinjanje. Većoj razvijenoj snazi na motoru odgovara deblja strelica.

Od niza manevara, razmotrimo još prelazak drona iz napredujućeg (pravocrtnog, horizontalnog) leta u **lebdjenje**. Kvadrotor, dakle, mora zakočiti. Ako nema upravljačkih ploha (kormila, lamela i sl.) kočenje se odvija promjenom smjera generiranog potiska, npr. kao kočenje reverznim potiskom. Konkretno, ako je kvadrotoru prednji kraj bio niži od stražnjeg, što je potrebno za napredujući let, onda se koči tako da se on kratkotrajno zakrene oko poprečne osi zbog čega mu prednji kraj postaje viši od stražnjeg. Pritom rezultatni potisak omogućava usporavanje kvadrotora. Kut propinjanja smanjuje se naposljetku na nulu, motori su u horizontalnoj ravnini, a njihovi potisci djeluju duž vertikale kad kvadrotor počne lebditi.

Ako iz lebdjenja kvadrotor prijeđe u vertikalno uspinjanje, napajanja motora ostaju međusobno jednaka, ali veća nego kod lebdjenja. Slično, ako iz lebdjenja kvadrotor prijeđe u vertikalno spuštanje, napajanja motora ostaju međusobno jednaka, ali manja nego kod lebdjenja.

Napajanje pogonskih motora i drugih električkih trošila u DJI Mini 2 osigurava tzv. inteligentna baterija. Baterija DJI Mini 2 punjiva je na bazi litija, uobičajenog naziva litij-polimerna ili litij-ion-polimerna baterija. Sastavljena je od dvaju osnovnih litij-polimerna članka spojenih u seriju. Osnovni litij-polimerni članak generira u strujnom krugu prolaženje struje uz nominalni napon od oko 4 V tako da je nominalni napon dva serijski spojena članka oko 8 V. Naponi ćelija razlikuju se za baterije na bazi litija ovisno o dodatnim spojevima od kojih su baterije sastavljene. Baterije takve vrste razvijaju se oko tri desetljeća, dok je proučavanje električnih svojstava litija znatno starije. Pri uporabi znatnu pažnju treba posvetiti izrazitoj reaktivnosti litija na zraku. Reaktivnost litija zadržava se u znatnoj mjeri i u baterijama zbog čega se u postupanju s litijevim baterijama treba izrazito precizno pridržavati propisanih načina rukovanja baterijom.

Baterija se naziva inteligentnom, što je komercijalni dodatak njezinu nazivu, iako tu riječ treba tumačiti slikovito jer je inteligencija karakteristika živih bića. Baterija sadrži ugniježdenu jedinicu koja osigurava pravilno pražnjenje obaju članaka. Naravno, tijekom punjenja osigurano je i pravilno punjenje što znači da se punjenje prekida prije preopterećenja prevelikom količinom energije.

Baterije je prikladno jednoznačno označiti, npr. numerirati. To je prikladno zato jer se onda može pratiti koliko je radnih ciklusa punjenja i pražnjenja provedeno na nekoj bateriji. Naravno, to podrazumijeva i vođenje evidencije o punjenjima i pražnjenjima baterija. Dugoročno, cilj nam može biti što ujednačenije korištenje baterija, tako da im brojevi radnih ciklusa budu što sličniji. No, cilj nam može biti i drugačiji način korištenja baterija.

Modul za **pozicioniranje**, GNSS modul, prima signale satelita nekoliko satelitskih sustava: GPS, GLONASS i Galileo. U današnje je vrijeme ukupan broj satelita tih sustava preko 70. S obzirom da oni svojim signalom pokrivaju veći dio površine, na pojedinoj lokaciji obično se prima signal od trećine ukupnog broja satelita koji su u funkciji. Taj broj je obično oko 20. Naravno, ako su nepovoljni vremenski uvjeti, može biti i manji od toga, npr. manji od 10.

3.2. Hardversko konfiguriranje

Odgovarajuće radnje prikazane su na priloženim fotografijama. Dodatno, na mrežnim stranicama proizvođača dostupni su videomaterijali svih potrebnih radnji.

Zbog zauzimanja manjeg prostora, kvadrotoru su nosači motora zakrenuti uz trup, propeleri preklopljeni i pričvršćeni gumenom trakom, slika 3-3a. Prema slici 3-3a, na prostirci se nalaze dron, jedinica za daljinsko upravljanje i punjač baterija s umetnute tri baterije. Propeleri mogu biti i odvojeni od elektromotora na koje se stavljaju, no nije potrebno razdvajati ih za spremanje. Gumena traka se otkvačuje i uklanja, nosači se razmiču od trupa zakretanjem u skladu sa strelicama na njima. Ako treba montirati propelere, to se radi uz lagani pritisak i zaokretanje. Kod kvadrotora se dva dijagonalno postavljena propelera okreću u smjeru kazaljke na satu, a druga dva u obratnom smjeru zbog čega je potrebno paziti koji se propeleri montiraju uz koje motore. Uobičajeno se na propeleru i motoru stavlja

oznaka kako bi se izbjegla montiranje u pogrešnoj kombinaciji. Pomaci nosača i pomaci pri montiranju propelera provedeni su do kraja kad se čuje karakteristični kraći zvuk njihovog uklapanja u ležište. Taj se zvuk često u žargonu naziva *klik* ili *škljocanje*. Kako kod propelera, tako i u svim drugim postavljanjima radnje nisu završene dok se ne čuje takav zvuk. On je, dakle, provjera da je odgovarajući sklop postavljen, da se neće pomaknuti sam od sebe tijekom rada što može dovesti do pada i uništenja drona.

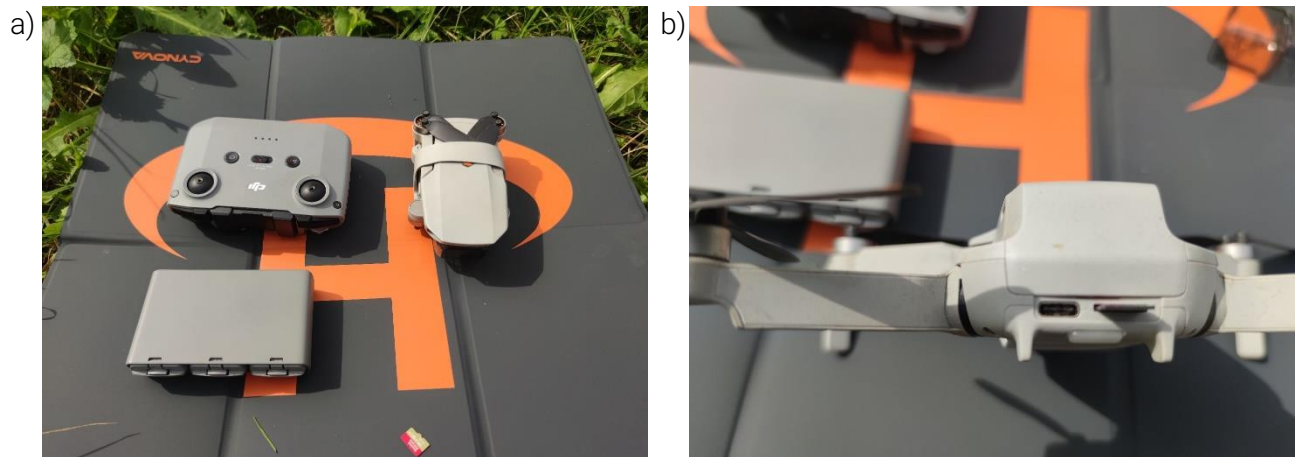
Krakovi propelera mogu biti razmaknuti za proizvoljan kut. Prije pokretanja elektromotora ne treba posvećivati vrijeme preciznom postavljanju krakova propelera u međusobno nasuprotne položaje. Naime, nakon pokretanja elektromotora, uslijed inercijskih učinaka (popularno rečeno, uslijed centrifuge), krakovi će se postaviti međusobno nasuprotno s obzirom na os rotacije.

Nakon navedenih radnji, kvadrotor slikan sa stražnje strane izgleda kao na slici 3-3b. Ujedno, na toj slici memorijska kartica viri iz svojeg ležišta. Karticu se uobičajeno umeće pritiskom nokta. Ako je treba izvaditi, to se radi kratkim pritiskom nakon kojega ona manjim dijelom viri iz ležišta pa se dalje izvuče, npr. povlačenjem noktima. Ploha iznad ležišta memorijske kartice poklopac je ležišta baterije. Otvara ga se laganim odmicanjem na kraju bližem ležištu memorijske kartice, slika 3-4a. Bateriju se umeće tako da vodiči na njoj dođu do vodiča vidljivih u ležištu, slika 3-4b. Umetanje završava popratnim zvukom. Ako bateriju treba izvaditi, laganim pritiskom otpusti se manja zaklopka na početku ležišta. Slično se umeće u punjač i izvlači iz njega.

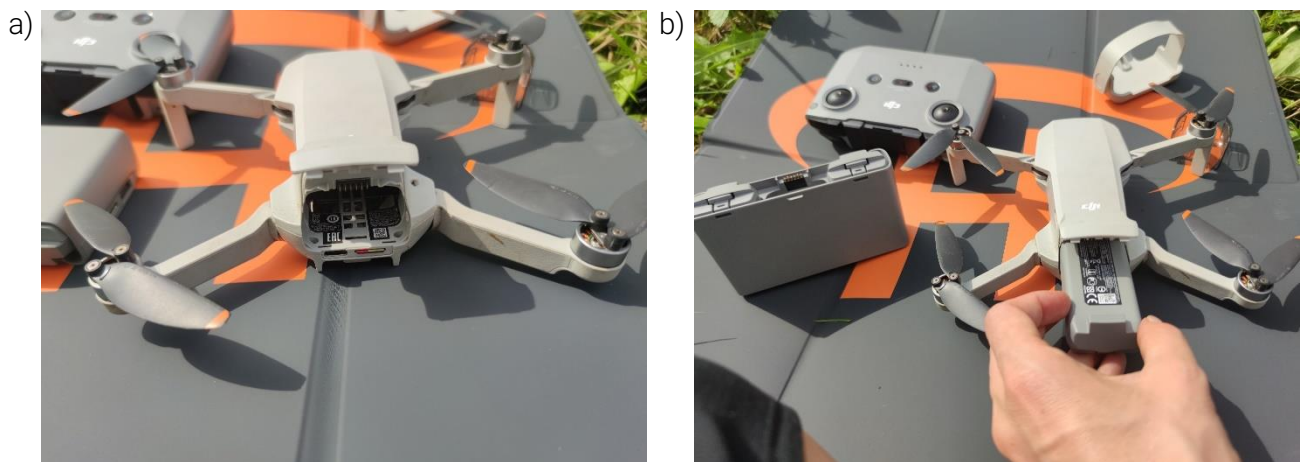
Na slici 3-4b dodatno se vidi da je baterija, koja je stavljena u kvadrotor, bila izvučena iz srednjeg ležišta punjača. Svejedno je kojim se redoslijedom baterije umeću u punjač ili izvlače iz njega. Svejedno je i koliko je baterija stavljeno u punjač prilikom punjenja. Naime, to može biti samo jedna, dvije ili sve tri baterije. Naposljetku, ako su u punjač stavljene jedna ili dvije baterije, svejedno je u kojim su ležištima.

Potrebno je ukloniti poklopac koji štiti kameru od oštećenja pri prenošenju bespilotne letjelice. Poklopac je od tanje plastike i djelomično je savitljiv. Budući da je poklopac pričvršćen za bespilotnu letjelicu pomoću nekoliko utora, uklanja ga se manjim pritiscima na nekoliko dijelova poklopca uz više manjih pokreta različitih smjerova.

Na daljinskom upravljaču poluge za upravljanje zavrću se kao vijci na zaokrugljene plohe, izvlači se nosač mobilnog telefona i priprema se kraći kabel za informatičko povezivanje mobitela i daljinskog upravljača, slika 3-5.



Slika 3-3. Komponente (a) i detalj prostora za umetanje memorijske kartice (b).



Slika 3-4. Prikaz a) kvadrotora s otvorenim poklopcem prostora za bateriju i b) načina umetanja baterije.



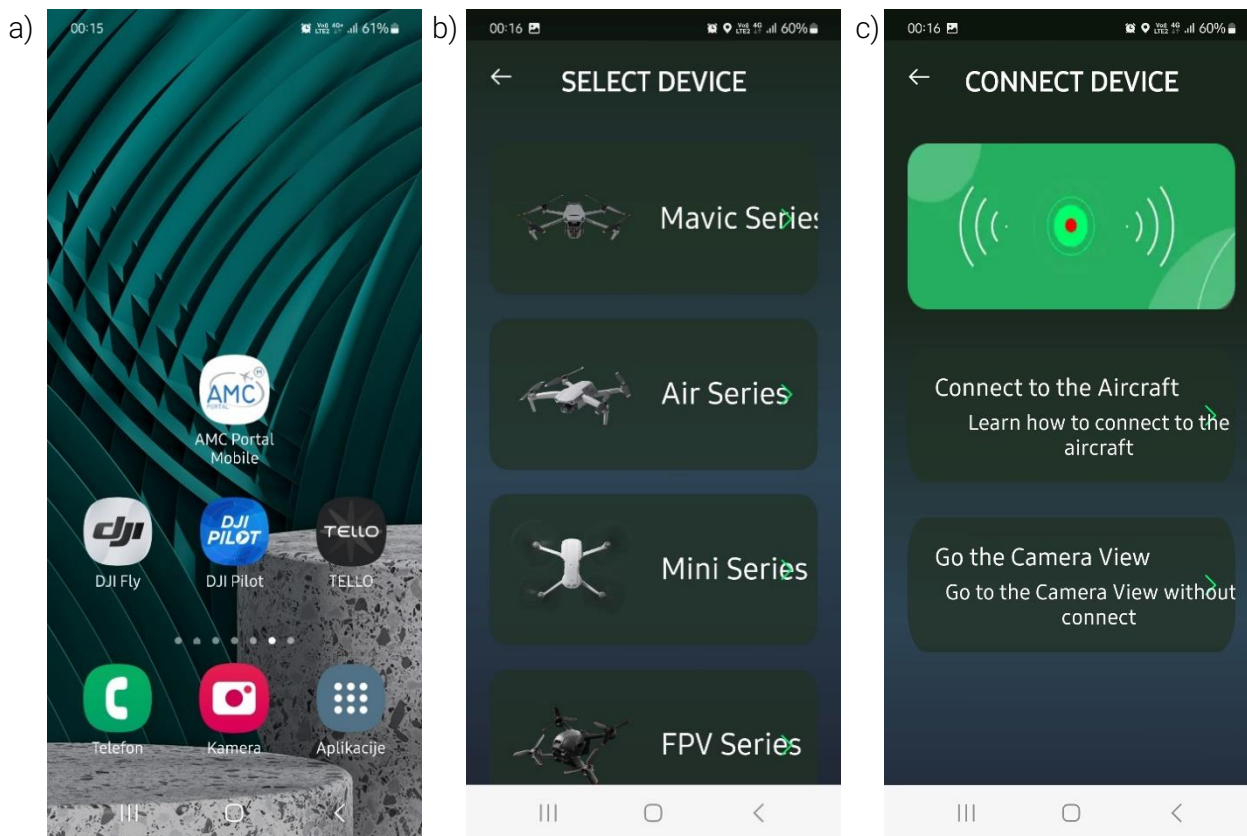
Slika 3-5. Kabel za povezivanje mobilnog telefona i daljinskog upravljača u ležištu je s prednje strane daljinskog upravljača.

3.3. Softversko konfiguriranje

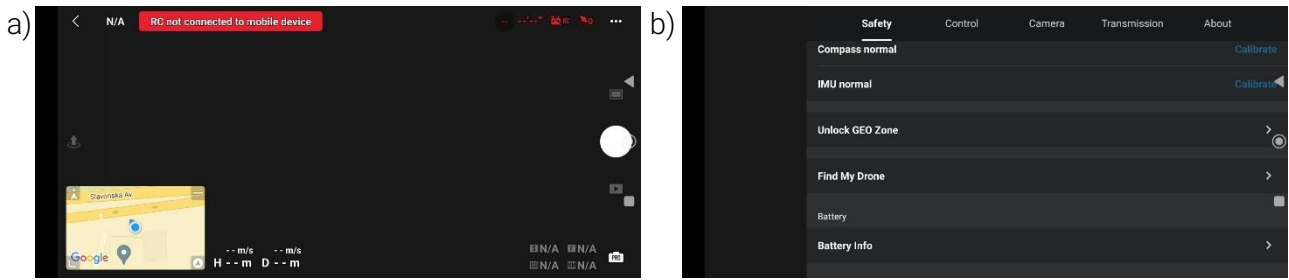
Program DJI Fly, predviđen za korištenje tijekom leta drona DJI Mini 2, pokreće se uobičajenim načinom pokretanja aplikacija mobilnog telefona. Na slici 3-6a primjer je zaslona mobilnog telefona s aplikacijama samo za rad s dronovima. Uz ranije navedene aplikacije *DJI Fly* i *AMC Portal Mobile*, vidljive su još dvije. Aplikacija *DJI Pilot* koristi se u radu s dronom *DJI Mavic 2 Enterprise*, a aplikacija *Tello* za rad s dronom *DJI Ryze Tello*.

Prije pokretanja programa DJI Fly potrebno je uključiti kvadrotor. Ako se to ne napravi, nego se program pokrene dok je kvadrotor isključen, neće biti dostupne sve predviđene opcije. Konkretno, program će ponuditi nekoliko mogućnosti za ručno povezivanje s kvadrotorom, npr. slika 3-6b. Na slici 3-6c prikaz je zaslona mobilnog telefona na kojemu je pokrenut softver DJI Fly s odabranom opcijom prikaza kamere pri odspojenom dronu (opcije eng. *Camera View / Aircraft Disconnected*). Ako je kvadrotor uključen, povezivanjem mobilnog telefona, jedinice za daljinsko upravljanje i samog kvadrotora bit će dostupne u opcijama koje treba slijediti.

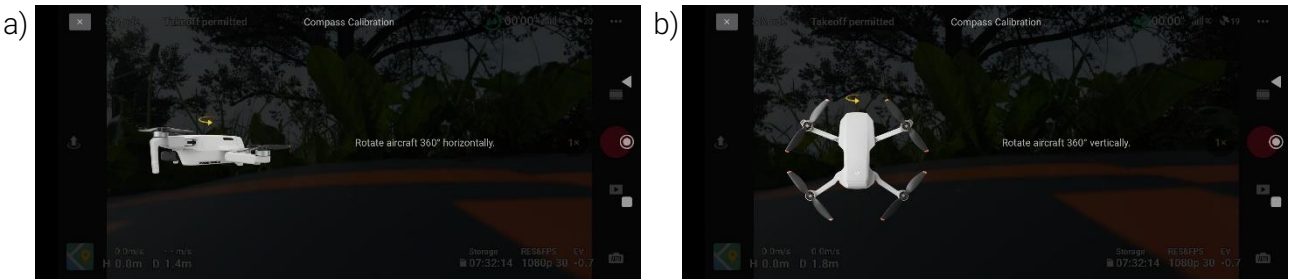
Od više opcija dostupnih u izborniku programa DJI Fly izdvojimo kalibraciju kompasa i postavljanje lokacije za povratak kvadrotora (RTH). Kad se na početnom prikazu (slika 3-7a) pritisne dio ekrana s tri bijele točkice, pojavi se izbornik prikazan na slici 3-7b. Kalibracija kompasa započinje nakon odabira te opcije u prikazu za postavke (slika 3-7b) i provodi se u dva koraka. Program daje dodatne upute za njihovo provođenje jer se pri kalibraciji kompasa pokazuju zaslone kao na slici 3-8. Provođe se dvije rotacije, obje oko vertikalne osi, U prvom je kvadrotor postavljen horizontalno, a u drugom vertikalno.



Slika 3-6. Prikazi zaslona mobilnog telefona pri pokretanju programa DJI Fly.



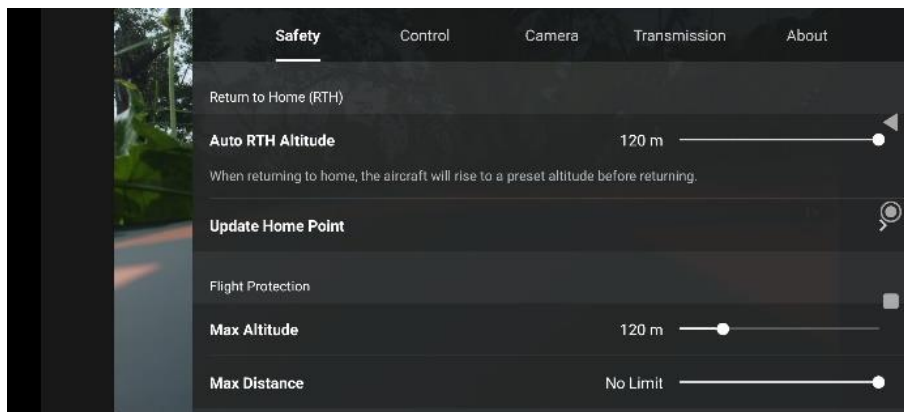
Slika 3-7. Zaslone mobilnog telefona s pokrenutim programom DJI Fly. Jedinica za daljinsko upravljanje nije spojena, ali je kvadrotor povezan s telefonom, a) početni prikaz, b) prikaz za postavke kvadrotora.



Slika 3-8. Zaslone mobilnog telefona pri kalibraciji kompasa kvadrotora, vođenoj iz programa DJI Fly, za rotacije oko vertikalne osi: a) rotacija horizontalno postavljenog kvadrotora, b) rotacija vertikalno postavljenog kvadrotora.

Više je inačica provođenja tih rotacija. U jednoj se kvadrotor cijelo vrijeme drži u jednoj ruci, os oko koje se rotira je fiksna, a osoba koja drži kvadrotor hoda u krug oko te osi čime se ostvaruje i tražena rotacija kvadrotora. U drugoj inačici osoba koja drži dron stoji na mjestu, okreće kvadrotor jednom rukom oko pola kruga, a zatim prihvaća kvadrotor drugom rukom i nastavlja rotaciju do kraja.

Opcija za postavljanje RTH (od engl. *Update Home Point*) otvara se na zaslonu mobilnog telefona odabirom odgovarajuće opcije na izborniku programa DJI Fly, slika 3-9. Polazna vrijednost koju predlaže sam program jednaka je maksimalnoj visini postavljenoj za let. Udaljeni pilot treba po potrebi promijeniti tu visinu.

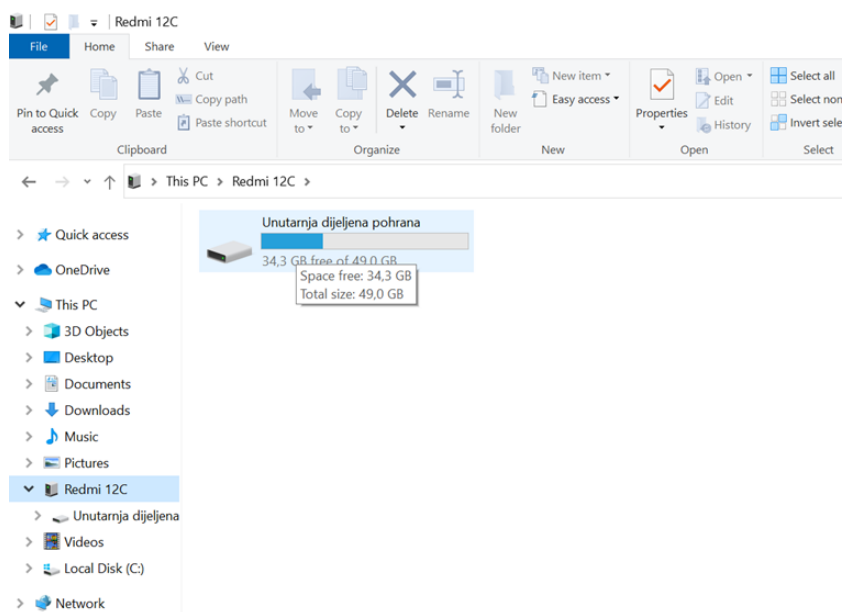


Slika 3-9. Postavljanje visine leta pri radnji RTH i postavljanje maksimalne visine leta.

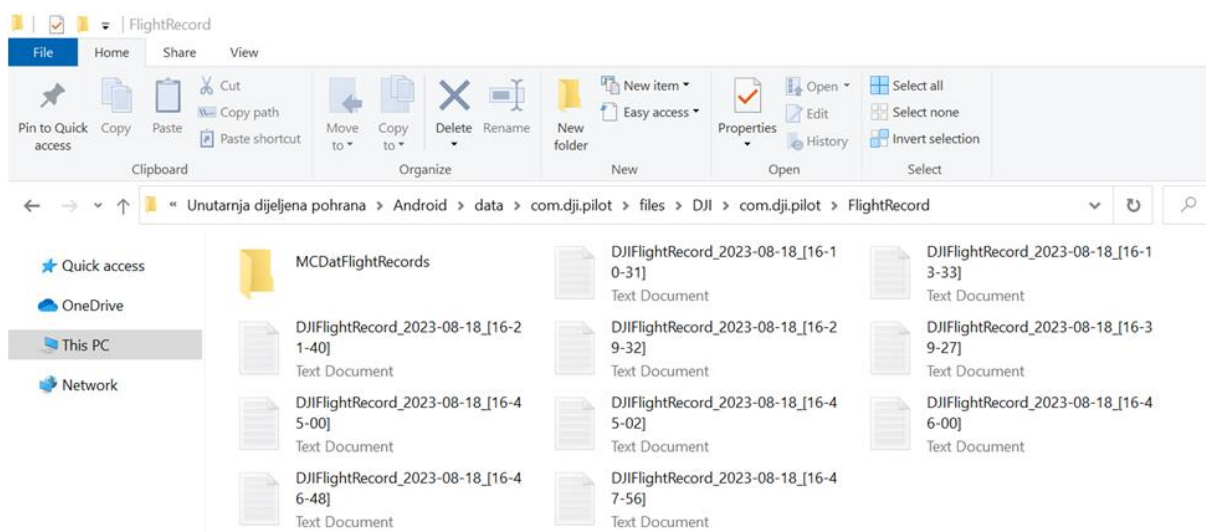
3.4. Preuzimanje zapisa leta

Zapis leta (engl. *Flight Record*) datoteka je koja sadrži iznose većeg broja parametara bitnih za let, zabilježenih periodički, npr. svake desetinke sekunde. Automatski se pohranjuje u memoriji mobilnog telefona, a moguće ga je presnimiti na osobno računalo te zatim analizirati. Presnimavanje je objašnjeno za operativni sustav mobilnog telefona *Android*.

Mobilni telefon povežemo kabelom s osobnim računalom. U pregledniku mapa osobnog računala pojavit će se mapa koja odgovara mobilnom telefonu, u konkretnom prikazanom slučaju telefonu *Xiaomi Redmi 12C*, slika 3-10. Pretragom mapa dolazi se do mape `~/com.dji.pilot` koja sadrži letne zapise obavljenih letova, slika 3-11.



Slika 3-10. Prikaz početnog izlistavanja mapa za dolaženje do zapisa letova.

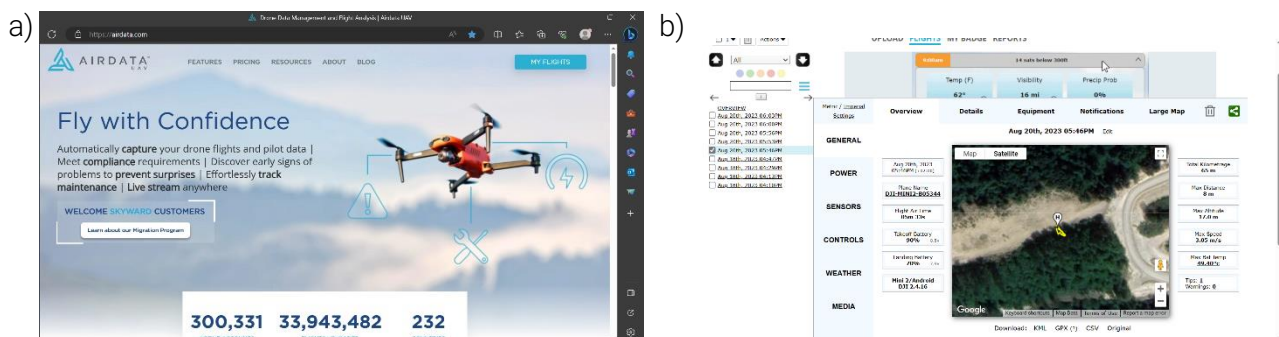


Slika 3-11. Prikaz uobičajenog sadržaja mape sa zapisima letova.

Nakon presnimavanja datoteka letnih zapisa na osobno računalo, po potrebi se analizira njihov sadržaj tako da ih se učita u prikladni program. U današnje vrijeme to je moguće provesti na mnogo načina. Ovdje će biti prikazan samo jedan način, karakterističan po tome što koristi manji broj široko dostupnih programa. Datoteke će prvo biti prebačene u zapis oblika CSV (engl. *Comma Separated Values* – podatci odvojeni zarezom). Zbog brojnih varijanti u operativnim sustavima računala i još brojnijih verzija programā u njima, moguće je da će biti potrebni donekle drugačiji postupci prebacivanja zapisa, za neke kombinacije osobnih računala, mobilnih telefona i njihovih operativnih sustava.

Za navedeno se koriste dva programa: *Airdata* i *MS Excel*. *Airdata* se koristi mrežno, na poveznici <https://airdata.com>, slika 3-12a. Za korištenje programa potrebno se prvo registrirati i otvoriti besplatno korisničko mjesto. Nakon toga dolazi sljedeće:

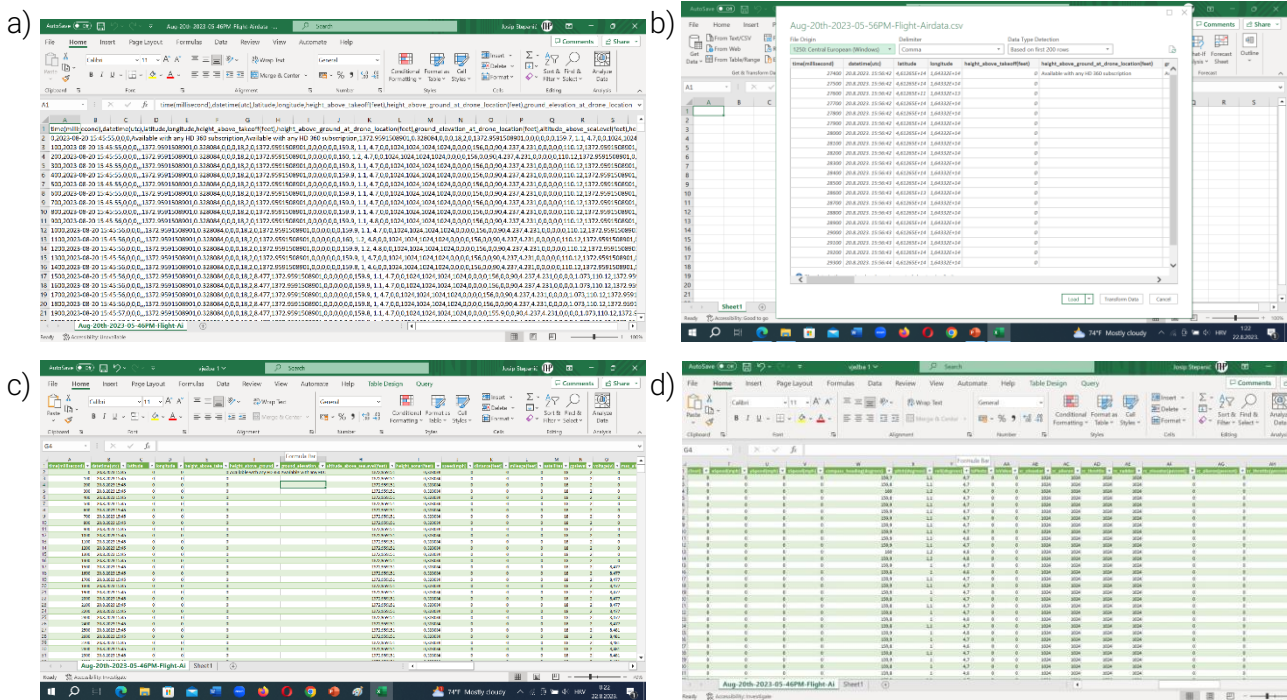
1. Učita se datoteka s letnim zapisom, slika 3-12b.
2. Po potrebi se na mrežnoj stranici analizira let koristeći dostupne opcije.
3. Letni zapis snimi se na osobnom računalu u formatu prikladnom za dodatnu analizu odabirom opcije „Download: CSV“.
4. Na osobnom računalu pokrene se program *MS Excel*;
5. U programu *MS Excel* provede se ovaj slijed opcija izbornika
File → *New* → *Blank workbook*.
6. Dodatno se u programu *MS Excel* provede sljedeći niz opcija izbornika
Data → *Get Data* → *Query Options* → *Regional Settings* → *English (United States)*.
7. Zaključno se u programu *MS Excel* provede odabir opcija
Data → *From Text/CSV*.
8. Naposljetku se među dostupnim datotekama oblika *.csv učita onu koja se odnosi na let kojeg se dalje analizira.



Slika 3-12. Korištenje programa za prikaz podataka iz datoteke sa zapisom leta: a) početno sučelje programa i b) prikaz podataka nakon učitavanja datoteke sa zapisom leta.

Opcije dostupne za 2. točku razmotrene su u daljnjim poglavljima ovog teksta, u okviru različitih zadataka.

Ako bi se datoteku sa zapisom leta, sada u formatu CSV, izravno otvorilo u programu *MS Excel* (npr., tako da se dvaput pritisne tipka na mišu dok je na ekranu pokazivač na datoteci ili tako da se provede 4. točka pa zatim opcijama *File* → *Open* otvori datoteka formata CSV) dobio bi se nezgrapnan zapis, u kojemu je svaki redak datoteke smješten u jedno polje tablice u programu *MS Excel*, dok su podaci – u skladu sa značenjem formata CSV – međusobno odvojeni zarezom, slika 3-13a. Naprotiv, kad se provedu sve točke 4.-8. dobiva se prikaz kao na slikama 3-13b-d. Kompletna datoteka sa zapisom leta prikazanim djelomično na slikama 3-13b-d jest **Prilog** ovom tekstu.



Slika 3-13. Sučelja programa MS Excel pri rukovanju datotekom formata CSV.

Postoji korisnička opcija sinkronizacije programa *DJI Fly* i mrežnog programa *Airdata*. Potankosti sinkronizacije opisane su na poveznici <https://app.airdata.com/sync-app-server>. Provedena sinkronizacija omogućava da završeni letovi (dakle, letovi čiji je zapis snimljen u mobilnom telefonu) automatski postaju dostupni u korisničkom sučelju mrežne verzije programa *Airdata*.

Program *Airdata* do sada je opisan u mrežnoj verziji. Njegovo korištenje omogućava preglednu analizu zapisa leta i jednostavno povezivanje s drugim programima za obradu podataka kakvi su uobičajeno dostupni na osobnim računalima. Postoji i verzija programa *Airdata* za mobilne telefone. Ona omogućava analizu letnih zapisā pomoću opcija dostupnih unutar samog programa, neposredno nakon letenja, odnosno između uzastopnih letova. Nadalje, program *Airdata* za mobilne telefone omogućava sinkronizaciju podataka s programom *DJI Fly*.

3.5. Struktura podataka u zapisu leta

Podatci su podijeljeni u 52 stupca. Zadnji stupac sadrži tekstualne napomene, a ostali iznose različitih veličina. Neki stupci nisu dostupni u ovom prikazu nego samo u prikazu pri registraciji uz plaćanje.

Prvi stupac je vrijeme bilježenja podataka u milisekundama. Podatci se bilježe svake desetinke sekunde, tako da se brojke u susjednim poljima prvog stupca razlikuju za po stotinu. Sljedeći stupac sadrži podatak o datumu te satu i minuti po UTC-u. UTC je univerzalno koordinirano vrijeme i od lokalnog vremena za Hrvatsku ranije je za dva sata tijekom ljetnog mjerenja vremena (kad je u Hrvatskoj u uporabi CEST – engl. *Central European Summer Time*), odnosno za jedan sat tijekom zimskog mjerenja vremena (kad je u Hrvatskoj u uporabi CET – engl. *Central European Time*). Dakle, kad je po UTC-u podne, u Hrvatskoj je uvijek poslije podne. Podatci u datoteci u daljnja dva stupca, stupci C i D, daju zemljopisnu širinu (*latitude*) i dužinu (*longitude*), iskazanu u decimalnim stupnjevima. Zapis u obliku decimalnih stupnjeva (skraćeno DD, od engl. *Decimal Degrees*) može se zapisati pomoću stupnjeva, kutnih minuta i kutnih sekundi (skraćeno DMS, od engleskog naziva *Degrees, Arc Minutes and Arc Seconds*). Na primjer, zemljopisna širina 45,790054684702 u zapisu DD iznosi 45° 47' 24,2" N u zapisu DMS. Prelazak iz jednog zapisa u drugi jednostavan je, a obično se provodi korištenjem dostupnih programa pretvaratelja, npr. slobodno dostupnog programa na ovoj mrežnoj stranici, npr. <https://www.omnicalculator.com/conversion/coordinates-converter>. Pritom treba pripaziti na činjenicu da su u datoteci otvorenoj u programu MS Excel koordinate zapisane s decimalnim zarezom, dok većina mrežnih programa koristi decimalnu točku pa tako i ovaj navedeni. Određivanje geografskih koordinata povezano je s primanjem GNSS signala. Broj satelita od kojih se dobivaju podatci naveden je u stupcu M (naziva *satellites*), a uz njega je vezan sljedeći stupac N (naziva *gpslevel*) koji sadrži razinu kvalitete satelitskih podataka. Satelitski su podatci kvalitetniji ako dolaze od većeg broja satelita koji se nalaze međusobno na *dovoljno raspodijeljenim* orbitama oko Zemlje. *Dovoljno raspodijeljeno* pojam je koji se preciznije uvodi u satelitskoj navigaciji kao geometrijska mjera preciznosti (skraćeno GDOP, od engl. *Geometric Dilution of Precision*) i u ovom tekstu neće biti dalje razmatran. Razine kvalitete uveo je opisno sam DJI u značenju navedenom u tablici 2.

Obično treba proteći neko vrijeme nakon upućivanja kvadrotora u rad kako bi se primili signali s dovoljnog broja satelita. Zbog toga je nakon upućivanja kvadrotora u rad optimalno pričekati dok se u programu DJI Fly ne pojavi obavijest da je način leta P-GPS. To nastupi nakon što se prikupe i procesiraju signali dovoljnog broja satelita, dakle nakon što *gpslevel* poprimi iznos 5. Pripadne poruke u zadnjem su stupcu zapisa leta, stupcu AZ. U tim porukama nalaze se i kôdovi grešaka. Tako kôd 30 002 znači da je satelitski signal vrlo slab, lebdenje nestabilno, ali se može letjeti uz dodatni oprez. Kôd 30 007 znači da nema satelitskog signala te kvadrotor ne može lebdjeti, ali se može letjeti uz dodatni oprez. Kôd 30 049 znači da je nastupila greška u modulu GPS-a pa treba pokušati ponovno pokrenuti kvadrotor. Ako to nije moguće, treba zamijeniti modul GPS-a itd. Oznaka P-GPS tj. *Position*-GPS način je leta kad je satelitski signal dovoljno jak da se koristi za pozicioniranje.

<i>gpslevel</i>	Značenje	Napomena
nema	Nema satelitskog signala.	Letenje se odvija bez satelitskog signala.
0	Gotovo da nema satelitskog signala.	
1	Vrlo slab satelitski signal.	
2	Slab satelitski signal.	Funkcionira RTH na ranije zadanu lokaciju.
3	Dobar satelitski signal.	Kvadrotor može lebdjeti.
4	Vrlo dobar satelitski signal.	Lokacija za RTH se može snimiti.
5	Jak satelitski signal.	Omogućene sve funkcije temeljene na satelitskom signalu.

Tablica 2. Značenje razina prijema satelitskog signala

Nekoliko stupaca sadrži podatke o visini na kojoj se nalazi bespilotna letjelica, bilo da su mjereni od poletišta, od srednje razine mora, ili od tla po okomitoj projekciji. Te se visine mjere na različite načine. Stupac E sadrži podatke o visini kvadrotora u odnosu na točku polijetanja. Ona se određuje iz podataka o statičkom tlaku koji mjeri barometar u kvadrotoru. Dakle, riječ je o barometarskoj hipsometriji. Visina kao funkcija statičkog tlaka iskazuje se formulom koja je izvedena uz pretpostavku da se atmosfera ponaša kao teorijski postavljena ICAO-atmosfera.

Nadalje, stupci sadrže podatke o brzini, pomaku, iznosu ukupne brzine, brzinama duž pojedine osi. Niz stupaca iskazuje kutove kao zakrete oko odgovarajućih osi. Kutovi su navedeni i za trup drona tako i za ovjes kamere jer se on može zakretati. Više stupaca sadrži podatke koji se odnose na unutarnji rad drona i komunikaciju s jedinicom za daljinsko upravljanje: zadana snaga u digitaliziranom formatu, struja iz baterije, ukupni napon kojim baterija napaja ostatak strujnog kruga kvadrotora, dodatno razdjeljivanje tog napona po člancima baterije, postotak napunjenosti baterije, temperatura baterije, status leta i još neke podatke.

Digitalizirani format zadane snage znači da se snaga zadana daljinskim upravljačem (dakle, ona koju postavi udaljeni pilot) nalazi u rasponu od 364 do 1684. Razmotrimo potankosti digitaliziranog formata prateći stupce AD i AH, naziva *rc_throttle* odnosno *rc_throttle(percent)*. Pritom iznos 364 predstavlja minimalni zadani digitalizirani potisak, a 1684 maksimalni. Kod potiska, dakle snazi zadanoj za gibanje po vertikalnoj osi, iznos 364 u stupcu AD znači zadavanje spuštanja minimalnim potiskom i to u stupcu AH odgovara iznosu -100 %. Zadani potisak 1684 označava zadavanje uspinjanja maksimalnom brzinom i to u stupcu AH odgovara iznosu 100 %. Lebdenju odgovara iznos zadanog potiska 1024 prema stupcu AD, odnosno 0 % prema stupcu AH. Ovdje razlikujemo digitalizirani format od standardnog decimalnog zapisa koji se primjenjuje za najveći dio mjerenih veličina. Stvarni potisak neće stalno biti jednak maksimalnom potisku koji kvadrotor može razviti, čak

i kad je zadani potisak stalno maksimalan. Razlog je u tome što se u kvadrotoru zbog manjih, ali stalno prisutnih varijacija u atmosferi – varijacija gustoće zraka, smjera i brzine vjetra, kao i zbog varijacija u očitavanju podataka sa senzora – kompasa koji je senzor za smjer, inercijalne jedinice – stalno javlja tendencija zakreta oko neke osi u horizontalnoj ravnini. Sam po sebi kvadrotor je dakle nestabilan te njegovu orijentaciju s obzirom na horizontalnu ravninu stalno treba korigirati kako ne bi došlo do vidljivih naginjanja. To se radi diferencijalnim pogonom, tj. vremenski promjenjivim i međusobno različitim potiscima razvijenim na četiri pogonska motora. Program u upravljačkoj jedinici, koji za prikupljena očitavanja senzora određuje raspodjelu struja napajanja po motorima (dakle, određuje potisak pojedinog pogonskog motora) nije javno poznat i nije ga moguće reproducirati iz dostupnih podataka. Na primjer, u zapisu leta postoje podatci o ukupnoj struji, ali ne i o struji kroz pojedini motor i sl. U srednjemu kvadrotor slijedi naredbe prenesene jedinicom za daljinsko upravljanje, ali ih modificira zbog stalnih dodatnih stabilizacijskih procesa.

Niz opcija programa MS Excel omogućava jednostavnu i detaljnu analizu zapisa leta; mogućnost uklanjanja stupaca ili redaka iz prikaza, raznovrsne grafičke prikaze podataka, pretrage i sortiranja redaka i stupaca, ...

No, koliko iznose brzine najvećeg uspinjanja odnosno najvećeg spuštanja? One su ispisane u stupcu V, naziva *zSpeed(mph)*. Cjelokupni nazivi stupaca ovise o mjernim jedinicama koje se odabralo u aplikaciji AirData. Može se odabrati ili imperijalne jedinice (u tom slučaju brzine su iskazane u mjernoj jedinici *mph – miles per hour*, visine iskazane u mjernoj jedinici *ft – feet, ...*) ili SI-jedinice (brzine iskazane u *m/s*, visine u metrima ...). Prema zapisu leta, kvadrotoru je potrebno oko 0,6 s da razvije maksimalni potisak za uspinjanje, dok promjena vertikalne brzine od početne 0 m/s na maksimalnu iznosa 3 m/s započinje 0,3 s nakon početka promjene potiska. Koji su uzroci te razlike od 0,3 s, koja označava kašnjenje postizanja zaključne brzine *nakon* ostvarivanja potiska? Dva su uzroka tome kašnjenju. S jedne strane potrebno je neko vrijeme da elektromotori ubrzaju nakon povećanja napajanja, što nazivamo inercijom pogonskih elektromotora. S druge strane, potrebno je dodatno vrijeme da se uspostavi opstrujavanje oko propelera koje odgovara većem uzgonu, dakle i vidljivom uspinjanju. Inercija elektromotora je manji, a uspostavljanje opstrujavanja veći doprinos ukupnom kašnjenju. Slično je kod spuštanja. Ako je kvadrotor početno lebdio, potrebno mu je oko 0,3 s da potisak od početnog iznosa 1024 pade na 364, čime se postiže vertikalna brzina spuštanja iznosa 3,2 m/s. Kod zaustavljanja spuštanja, dakle kod ponovnog započinjanja lebdenja, slično kao i kod zaustavljanja uspinjanja, potrebno je oko pola sekunde da se vertikalna brzina smanji na 0 *nakon* što se potisak već smanjio na iznos 1024 koji odgovara lebdenju. Razlozi kašnjenja između trenutka promjene potiska i vidljive promjene gibanja kombinacija su prethodno navedenih uzroka kašnjenja, to su inercija elektromotora i uspostavljanje opstrujavanja zraka oko krakova propelerā i tijela kvadrotora.

Budući da DJI Mini 2 ima bateriju sastavljenu od dvaju članaka u serijskom spoju (konfiguracija 2S) podatci o naponima zauzimaju dva stupca. No, prema strukturi programa, predviđeno je iskazivanje

napona za šest članaka, npr. za konfiguraciju 6S. Zbog toga u zapisima letova provedenih s DJI Mini 2 u preostala četiri stupca stalno je naveden napon 0 V.

Neki se podatci mijenjaju u svakom retku, tj. svake desetinke, dok se neki mijenjaju oko svake sekunde, kao npr. struja i naponi.

Naravno, zapisivani podatci odnose se samo na trenutno stanje i nisu dugoročno kumulativni. Na primjer, ne prati se ukupan broj sati uporabe baterija i sl. To su podatci koje je potrebno samostalno pratiti kroz zapisnik o provedenim letovima. Korisno je za baterije pisati ukupan broj sati korištenja kao i ukupan broj punjenja pojedine baterije. Ako se barata s više baterija, pritom ih je potrebno jednoznačno označiti. Navedeni podatci o korištenju baterija bitni su zato da bismo mogli što ujednačenije koristiti baterije, tj. ako više puta provodimo letove koji se svi mogu provesti pomoću samo jedne baterije, onda je korisno svaki put ih provoditi s drugom baterijom.

4. Određivanje visine drveta

4.1. Zadatak

Odrediti visinu drveta na horizontalnoj podlozi primjenom bespilotne letjelice *DJI Mini 2*.

4.2. Navigacijska i meteorološka priprema

Budući da se mjerenje odvija na maloj udaljenosti, letna putanja vrlo je kratka. Njezin najvažniji dio vezan je uz vertikalnu os, tako da su lateralni pomaci minimalni. Do lateralnih pomaka dolazi zato što lokacija drveta, oblik krošnje i eventualna blizina drugih prepreka u provedbi traži da se kvadrotor na dijelu vertikalne putanje negdje odmakne od debla i krošnje, a drugdje njima primakne, jer inače mjerenje ne bi bilo dovoljno precizno. Tlo je horizontalno pa će nadmorska visina točke polijetanja kvadrotora ujedno biti visina donjeg kraja drveta. Dakle, treba odrediti visinu gornjeg kraja drveta. Navigacijska priprema svodi se na tablicu 3. Većina elemenata u tablici 3 odnosi se na upravljanje letom, u skladu s činjenicom da se veći dio leta odvija duž vertikalne osi.

Za meteorološku pripremu potrebno je provjeriti prognoze za lokaciju mjerenja i obližnje područje. Ako je prognozirano stabilno vrijeme, ovisno o temperaturi i naoblaci potrebno se dodatno pripremiti za letenje. Ako je prognozirano nestabilno vrijeme, potrebno je razmotriti postoji li veći period u danu tijekom kojeg su povoljniji vremenski uvjeti za letenje. Ako postoji, potrebno je planirati letenje u tom periodu. Naravno, zbog mogućeg odstupanja prognoze od stvarnog vremena, u tom je slučaju korisno na lokaciju letenja doći prije prognozičanog početka perioda s povoljnim vremenskim uvjetima.

Pri određivanju visine gornjeg kraja drveta trebamo imati dostatan kontrast između vrha drveta (list ili grana) i pozadine slike na kameri. Ako je pozadina slike nebo iza drveta, zid zgrade ili neka struktura druge boje koja je dosta različita od boje lišća i grana, onda se može jasno uočiti gornji kraj drveta i provesti precizno mjerenje. Ako je nemoguće postići pozadinu slike dovoljnog kontrasta, treba približiti kvadrotor vrhu drveta i nastojati manjim pomacima u horizontalnoj ravnini uočiti vrh promatranog drveta. Naravno, visina njegova vrha odgovara visini kvadrotora za koju je vrh drveta na istom dijelu ekrana mobilnog telefona na kojem je prije polijetanja bio donji kraj drveta.

U tablici 3, u letnoj cjelini Prilaz 1, navodi se provođenje punog okreta letjelice. Zašto se provodi taj okret jer za mjerenje visine zapravo nije potreban? Puni okret **nije potreban** za samo mjerenje, ali **prikladan** je jer pojednostavljuje mjerenje, posebno obradu snimljenih rezultata. Baš zato što u letu takav element nije potreban, provest ćemo ga kao uočljivi indikator početka ili završetka karakteristične cjeline leta, u ovom slučaju određivanja visine drveta. Naime, kvadrotoru DJI Mini 2 tijekom lebdjenja zbog više razloga može varirati visina. Kako bismo bili sigurni da je zabilježena

Redni broj	Naziv	Opis	Napomene	Dodatne radnje
1.	Polijetanje	- pokretanje motora	/	/
2.	Segment 1	- uspinjanje	- poletište je izvan tlocrta krošnje i uspinjanje je vertikalno, - zaustavljanje u točki koja otprilike odgovara visini drveta	/
2.	Prilaz 1	- precizno pozicioniranje po visini i udaljenosti	- nakon pozicioniranja napraviti puni krug bez promjene visine, - zadržati kvadrotor u lebdenju nekoliko sekundi, - ako se kvadrotor približavalo vrhu drveta po horizontalnoj osi, tada na završetku ove cjeline kvadrotor treba vratiti na početnu udaljenost od vrha	/
3.	Segment 2	- silaženje	- zaustavljanje iznad poletišta	/
4.	Slijetanje	- smanjivanje visine na 0 m AGL - zaustavljanje motora	/	/

Tablica 3. Navigacijska priprema za mjerenje visine drveta na horizontalnoj podlozi

pravilna visina kvadrotora kad ga pozicioniramo uz vrh drveta, trebamo usrednjiti iznose njegove visine zabilježene tijekom intervala koji obuhvaća moguće fluktuacije visine. U ovom letu, početak toga intervala označen je punim okretom. Dakle, puni okret kvadrotora bez promjene visine je indikator, kontrolni segment leta. U obradi rezultata kao visinu vrha drveta odabrat će se srednja vrijednost visine kvadrotora određene u intervalu koji slijedi nakon punog okreta oko vertikalne osi. Tijekom složenijeg mjerenja možemo više puta provesti puni okret kvadrotora u horizontalnoj ravnini. Svakako, njegov puni učinak kao indikatora završetka ili početka neke letne cjeline dolazi do izražaja ako nije potreban za sam let, nego ako se koristi za pojednostavljenje obrade rezultata. Budući da je puni okret samo indikator, umjesto njega može se provesti i druga radnja koja nije potrebna za samo mjerenje visine, ali ga pojednostavljuje. Za kraj, prikladno je navesti kako se u zrakoplovnoj frazeologiji puni okret oko vertikalne osi bez promjene visine uobičajeno izgovara kao par brojki 3 i 60 na engleskom, tj. *three sixty*. Pritom nije bitno provodi li se puni okret u smjeru kazaljke na satu ili suprotno njoj. Po potrebi može se više puta ponoviti mjerenje visine jedne te iste točke i nakon svakog mjerenja napraviti puni okret kvadrotora te usrednjiti mjerenja koja se odnose samo na vremenski interval neposredno prije zadnjeg punog okreta.

Kako izmjeriti visinu drveta koje je na padini brežuljka? Budući da kvadrotor treba poletjeti s horizontalne podloge, u pravilu polijeće iz točke koja je na različitoj visini od visine donjeg kraja drveta. Tablica 4 obuhvaća navigacijsku pripremu u tom slučaju. Zasivljena polja tablice 4 predstavljaju razlike ovog leta u odnosu na let opisan u tablici 3.

Redni broj	Naziv	Opis	Napomene	Dodatne radnje
1.	Polijetanje	- pokretanje motora	/	/
2.	Segment 1	- precizno pozicioniranje po visini i udaljenosti	- zaustavljanje u točki koja približno odgovara visini donjeg kraja drveta, - nakon pozicioniranja napraviti puni krug bez promjene visine, - zadržati kvadrotor u lebdenju nekoliko sekundi i napraviti puni krug bez promjene visine	/
3.	Segment 2	- pomak od donjeg do gornjeg kraja drveta	- po horizontali udaljiti kvadrotor tako da nije ispod krošnje, - vertikalno uspinjanje, - zaustavljanje u točki koja približno odgovara visini drveta	/
4.	Prilaz 1	- precizno pozicioniranje po visini i udaljenosti	- nakon pozicioniranja napraviti puni krug bez promjene visine, - zadržati kvadrotor u lebdenju nekoliko sekundi, - ako se kvadrotor približavalo vrhu drveta po horizontalnoj osi, tada na završetku ove cjeline kvadrotor treba vratiti na početnu udaljenost od vrha	/
5.	Segment 2	- silaženje	- zaustavljanje iznad poletišta	/
6.	Slijetanje	- smanjivanje visine na 0 m AGL - zaustavljanje motora	/	/

Tablica 4. Navigacijska priprema za mjerenje visine drveta na padini.

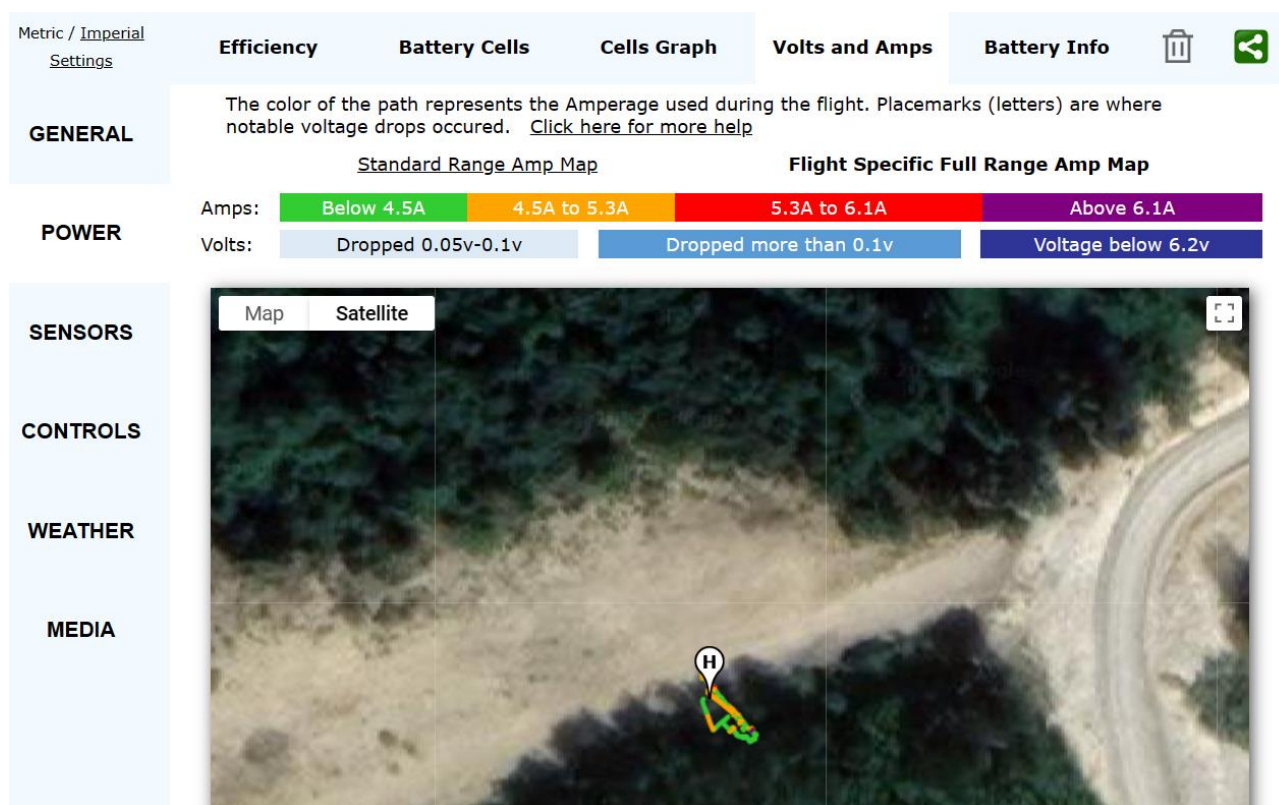
4.3. Analiza podataka

Podatci koji se analiziraju iz zapisa leta jesu oni o visini i smjeru letjelice. Od visina, zabilježi se početna visina letjelice (dakle, visina donjeg kraja drveta), a zatim se odredi srednja vrijednost visine gornjeg kraja drveta.

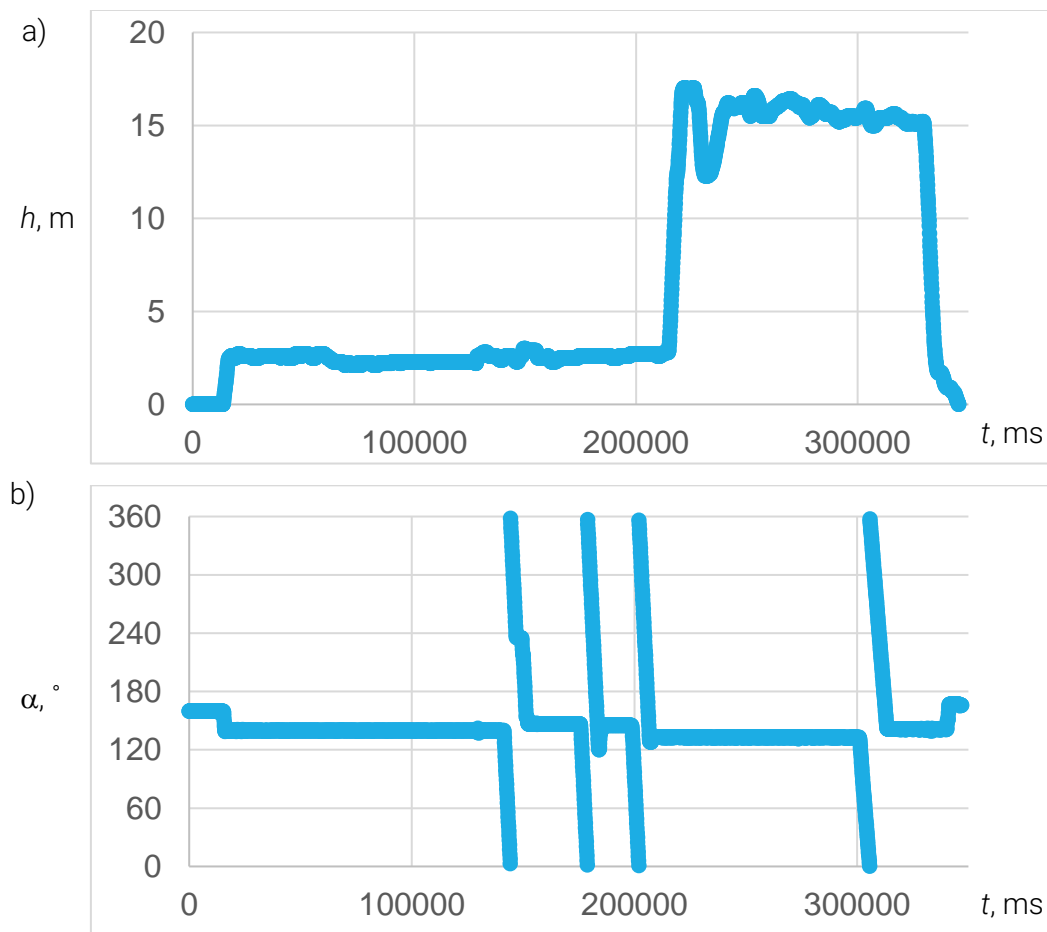
Zapis leta u formatu CSV je **Prilog** ovom tekstu. Početni prikaz leta u programu Airdata na slici je 4 1. Istaknute su potrošnje struje. Iz relativno malog iznosa razvijenih struja neizravno se zaključuje o relativno slabom vjetru. To se izravno može vidjeti odabirom opcije WEATHER na lijevom izborniku prikaza leta u programu Airdata. Satelitski signal bio je visoke kvalitete, razine 5. Dodatno, za opisani let izdvojena su dva grafa, jedan koji prikazuje vremensku ovisnost visine letjelice u odnosu na poletišta i drugi koji prikazuje vremensku ovisnost smjera u koji je postavljena letjelica, slika 4-2.

Izmjerena je visina drveta **13,2 m**.

Mjeriteljski, navedenom izrazu treba pripisati standardnu devijaciju koja obuhvaća slučajne i sustavne pogreške. Pripadna mjeriteljska analiza može se provesti iz podataka u zapisu leta i podataka o načinu mjerenja. Budući da ta analiza nije usko vezana uz let, u ovom tekstu nije provedena.



Slika 4-1. Prikaz leta kvadrotora pri mjerenju visine drveta na padini.



Slika 4-2. Vremenske ovisnosti a) visine kvadrotora u odnosu na visinu poletišta, b) smjera u koji je postavljen kvadrotor.

Graf a) na slici 4-2 prikazuje stupac F u ovisnosti o stupcu A u datoteci formata CSV koja je **Prilog** ovom tekstu, a graf b) prikazuje stupac W u ovisnosti o stupcu A. Prema grafu b), visina donjeg kraja drveta u odnosu na poletišta određuje se usrednjavanjem visina kvadrotora između trenutaka 195 700 ms i 198 700 ms što odgovara vremenskom intervalu neposredno prije trećeg punog okreta kvadrotora, a visina gornjeg kraja drveta usrednjavanjem između trenutaka 303 000 ms i 304 000 ms. Zaključno, visina drveta dobivena je izrazom

$$=AVERAGE(E3032:E3042)-AVERAGE(E1959:E1989)$$

upisanim u neko polje programa MS Excel (koje nije u stupcu E tablice s podacima). Za lakše uočavanje raspona intervala usrednjavanja prikladno je smanjiti raspon prikazane vremenske osi i fokusirati se na manji raspon, koristeći opcije uređivanja prikaza grafa u programu MS Excel.

4.4. Diskusija rezultata i zaključak

Mjerenje visine obuhvaćeno je letom vrlo jednostavne navigacijske pripreme, predvidivo kratkog trajanja te, shodno tome, relativno jednostavne meteorološke pripreme. Potrebno je prikupiti podatke koji se odnose na lokaciju malih dimenzija tijekom kratkotrajnijeg vremenskog intervala. Trajanje leta je kratko, znatno kraće od onoga koji se može provesti pomoću napunjene baterije. S jedne strane let je mogao biti i kraći da nije bilo više ponavljanja određivanja visine donjeg kraja drveta (ta je visina izmjerena iz trećeg mjerenja – odakle to znamo?), ali s druge strane let je po potrebi mogao trajati i dulje jer je zaliha energije u baterijama to omogućavala.

Pri samom mjerenju drvetu se moglo prići samo sa strane staze. Budući da je drvo kojemu je mjerena visina bilo na rubu šumarka, pri rubu padine, visinu gornjeg kraja bilo je potrebno odrediti pažljivo jer nije bilo kontrastne pozadine na slici prikazivanoj na zaslonu mobilnog telefona prilikom mjerenja.

Mjeriteljski, završni rezultat uključuje pogreške u vidu nepreciznosti određivanja donjeg i gornjeg kraja drveta te fluktuacije u visini kvadrotora. Logistički, mjerenje je moguće izvesti relativno brzo i jednostavno jer ne traži opremu koju treba precizno i dugotrajno postavljati i kalibrirati.

Opisanim postupkom mogu se mjeriti znatno veće visine – sve koje je moguće izmjeriti tijekom jednog leta koristeći energiju pohranjenu u jednoj bateriji, ali tako da nakon provedbe leta rezerva energije, preostala indicirana napunjenost baterije bude u skladu sa sigurnosnim zahtjevima.

U ovoj vježbi mjerena je visina drveta. Međutim, jednakim postupkom određuje se i visina brojnih drugih prirodnih i umjetnih objekata, npr. visina brežuljka, nasipa, zgrade ili druge građevine, stupova i drugih sličnih cjelina.

5. Kruženje oko zadane točke pri jačem vjetru

5.1. Zadatak

Kružiti kvadrotorom *DJI Mini 2* oko zadane točke.

5.2. Navigacijska i meteorološka priprema

Ova se vježba odvija pri jačem vjetru, prije svega kako bi se vidio njegov utjecaj. U vrijeme odvijanja leta bilo je vedro i bez oborina, ali uz jugozapadni vjetar srednje brzine 5 m/s. Zbog povremenih zapuha vjetra, trenutna brzina vjetra je i veća. Dodatno, brzina vjetra u ravničarskim je krajevima u pravilu veća na većoj visini. Zbog toga kvadrotor, pri letu na većim visinama, uslijed kratkotrajnih zapuha vjetra može biti izložen znatno jačem vjetru nego što je vjetar pri tlu. Procesor kvadrotora određuje brzinu i smjer vjetra usporedbom s podacima za pozicioniranje koji su najčešće dobiveni iz satelitskih sustava GPS, GLONASS ili Galileo. Na primjer, kvadrotor tijekom lebdjenja u vjetrovitoj atmosferi efektivno leti napredujućim letom u odnosu na vjetar kako bi ostao nepomičan u odnosu na tlo. Iz različitih potisaka razvijenih na motorima i orijentaciji kvadrotora u odnosu na vertikalnu os i horizontalnu ravninu može se zaključiti o smjeru i iznosu brzine trenutnog vjetra. Naravno, i tijekom gibanja u odnosu na tlo, analizom trenutnih razvijenih potisaka i satelitskih podataka, procesor kvadrotora generira podatke o smjeru i iznosu brzine vjetra na poziciji kvadrotora. Ti podatci nisu dio zapisa leta.

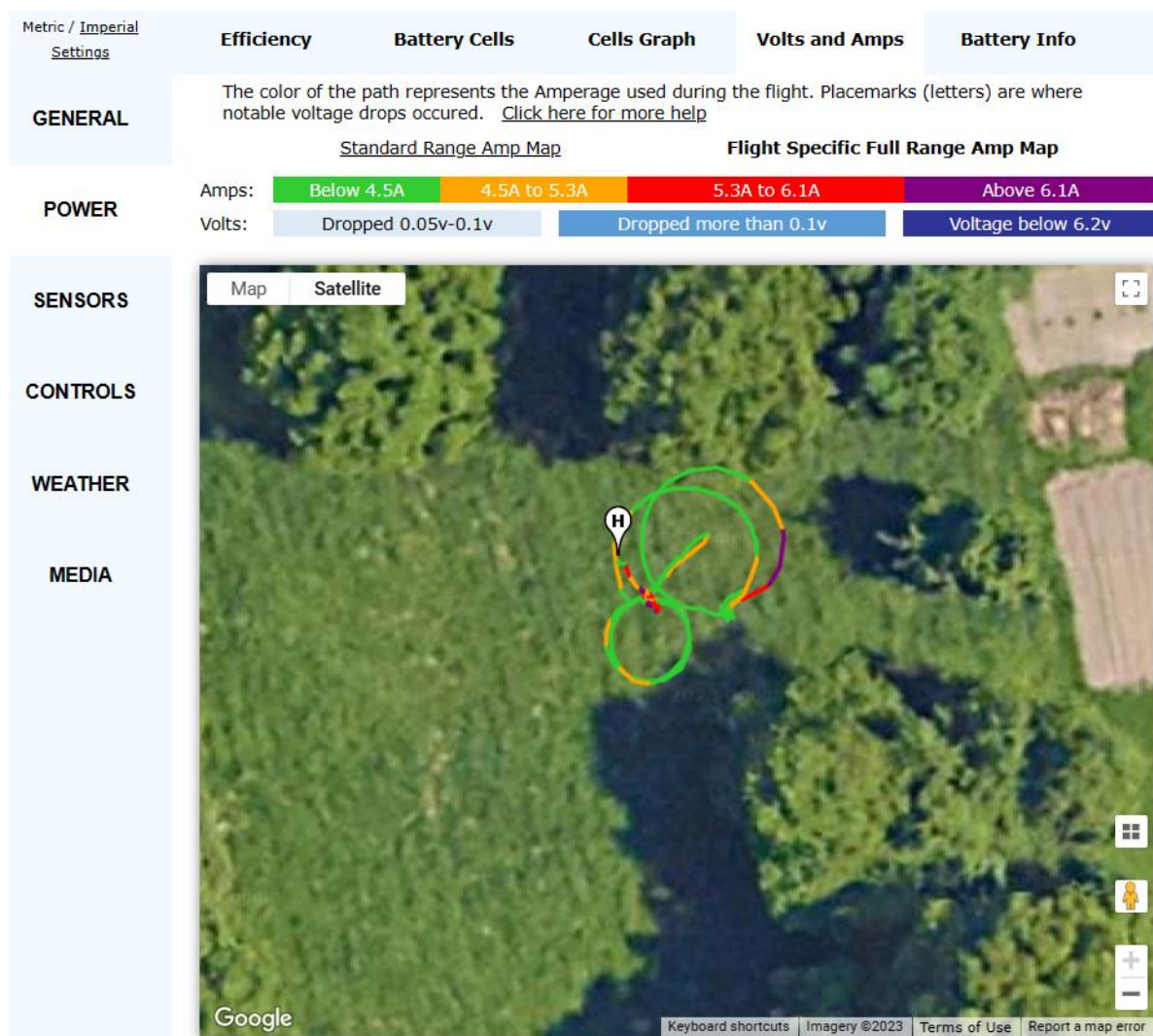
5.3. Provedba leta

U vježbi se let sastojao od tri kruga izvedenih na različitim visinama. Pažnja je posvećena upozorenjima koje je upravljački sustav ispisivao na ekranu mobilnog telefona, a koja su ujedno zabilježena u odgovarajućem stupcu datoteke zapisa leta. Let je namjerno proveden u uvjetima jačeg vjetra, ali naravno i dalje unutar raspona brzina vjetra pri kojima se let smije odvijati, prema uputama proizvođača za korištenje kvadrotora.



Prikaz putanje kvadrotora, s označenim strujama razvijenim u kvadrotoru, vidljiv je na slici 5-1.

Obavijesti koje je prilikom leta generirao upravljački sustav navedene su na slici 5-2 kao izvadak iz letnog zapisa prikazanog izravno na stranici programa Airdata. Većina je obavijesti označena slovom, navedenim u prvom stupcu (npr. A, B ...). U drugom je stupcu navedeno vrijeme kad je obavijest generirana. Vrijeme se mjeri od trenutka pokretanja motorā. U trećem je stupcu navedena visina kvadrotora u vrijeme generiranja obavijesti, mjerena relativno u odnosu na visinu poletišta. Četvrti

stupac navodi udaljenost projekcije kvadrotora od lokacije poletišta. Zatim je u petom stupcu navedena vrsta obavijesti. Pritom boja kojom je označeno polje s opisom vrste oznake simbolizira njezino značenje. Crveno je upozorenje o opasnosti, a zeleno i plavo većinom se odnose na obavijesti o dodatnim radnjama koje provodi procesor kvadrotora. Tako je pet obavijesti generirano tijekom prve tri sekunde mjerenja vremena i sve se odnose na stanja različitih podsustava kvadrotora. No, šesta je obavijest (oznake F) ona o jačem vjetru, ali za sad još navedena kao upozorenje koje ne traži hitnu radnju udaljenog pilota. Međutim, sedma obavijest (označena kao G) upozorenje je o srednje velikom riziku zbog prejakog vjetra. Ta je obavijest na ekranu mobilnog telefona ukupno triput navedena. Prema internom proračunu u procesoru, kvadrotor se ne bi mogao vratiti na poletišta da je cijelo vrijeme u atmosferi s vjetrom kakav je tad odredio, iako je po horizontalnoj projekciji od poletišta udaljen samo 2 m. Sustav odmah daje i naputak da se smanji visina jer je na manjoj visini u pravilu slabiji vjetar. Inače, iz samog popisa obavijesti ne može se odrediti napunjenost baterija u tom trenutku, ali se neizravno može zaključiti kako je vrlo velika – jer između obavijesti O i P, oko dvije minute nakon obavijesti G, sustav navodi kako je napunjenost baterija 90 %.



Slika 5-1. Putanja kvadrotora tijekom leta. Boje označavaju razvijene struje.

HD Flight Player		Download notifications KML			
	Flight time	Altitude	Home Dist	Type	Notification
A	<u>00m 00s</u>	0.0 m	0 m	Mode	Mode changed to Motors Started
B	<u>00m 00s</u>	0.0 m	0 m	Tip	✓ Setting new Return-To-Home altitude to 50m (164 ft). ✓ Data Recorder File Index is 89. ✓ Setting new Maximum Flight Altitude to 120m (394 ft)
C	<u>00m 01s</u>	-0.1 m	0 m	Mode	Mode changed to AutoTakeoff
D	<u>00m 02s</u>	0.2 m	0 m	Mode	Mode changed to P-GPS
E	<u>00m 03s</u>	0.6 m	0 m	Tip	✓ Home Point updated. RTH altitude adjusted to 50m (Code: 3000001)
F	<u>00m 35s</u>	76.5 m	2 m	Tip	Strong wind warning
G	<u>00m 35s</u>	76.5 m	2 m	Medium Risk	⚠ Strong wind warning. Aircraft unable to return to home automatically. Lower altitude immediately and return to home manually (Code: 30149) (repeated 3 times)
H	<u>00m 43s</u>	76.8 m	2 m	Mode	Mode changed to Quick Shot
I	<u>00m 59s</u>	76.7 m	2 m	Mode	Mode changed to Joystick
J	<u>00m 59s</u>	76.7 m	2 m	Mode	Mode changed to P-GPS
K	<u>01m 13s</u>	66.1 m	2 m	Mode	Mode changed to Quick Shot
L	<u>01m 32s</u>	65.5 m	2 m	Mode	Mode changed to P-GPS
M	<u>01m 41s</u>	48.6 m	3 m	Mode	Mode changed to Quick Shot
N	<u>02m 00s</u>	47.9 m	5 m	Mode	Mode changed to P-GPS
O	<u>02m 24s</u>	29.7 m	4 m	Mode	Mode changed to Quick Shot
	<u>02m 28s</u>	30.6 m	5 m		90% Battery
	<u>02m 39s</u>	30.7 m	6 m		90% Battery at maximum distance
P	<u>02m 43s</u>	30.6 m	4 m	Mode	Mode changed to P-GPS
Q	<u>03m 03s</u>	1.3 m	4 m	Warning	Aircraft landing automatically. Exited QuickShots (Code: 800028)
R	<u>03m 03s</u>	1.3 m	4 m	Mode	Mode changed to Confirm Landing
S	<u>03m 07s</u>	0.0 m	5 m	Mode	Mode changed to P-GPS

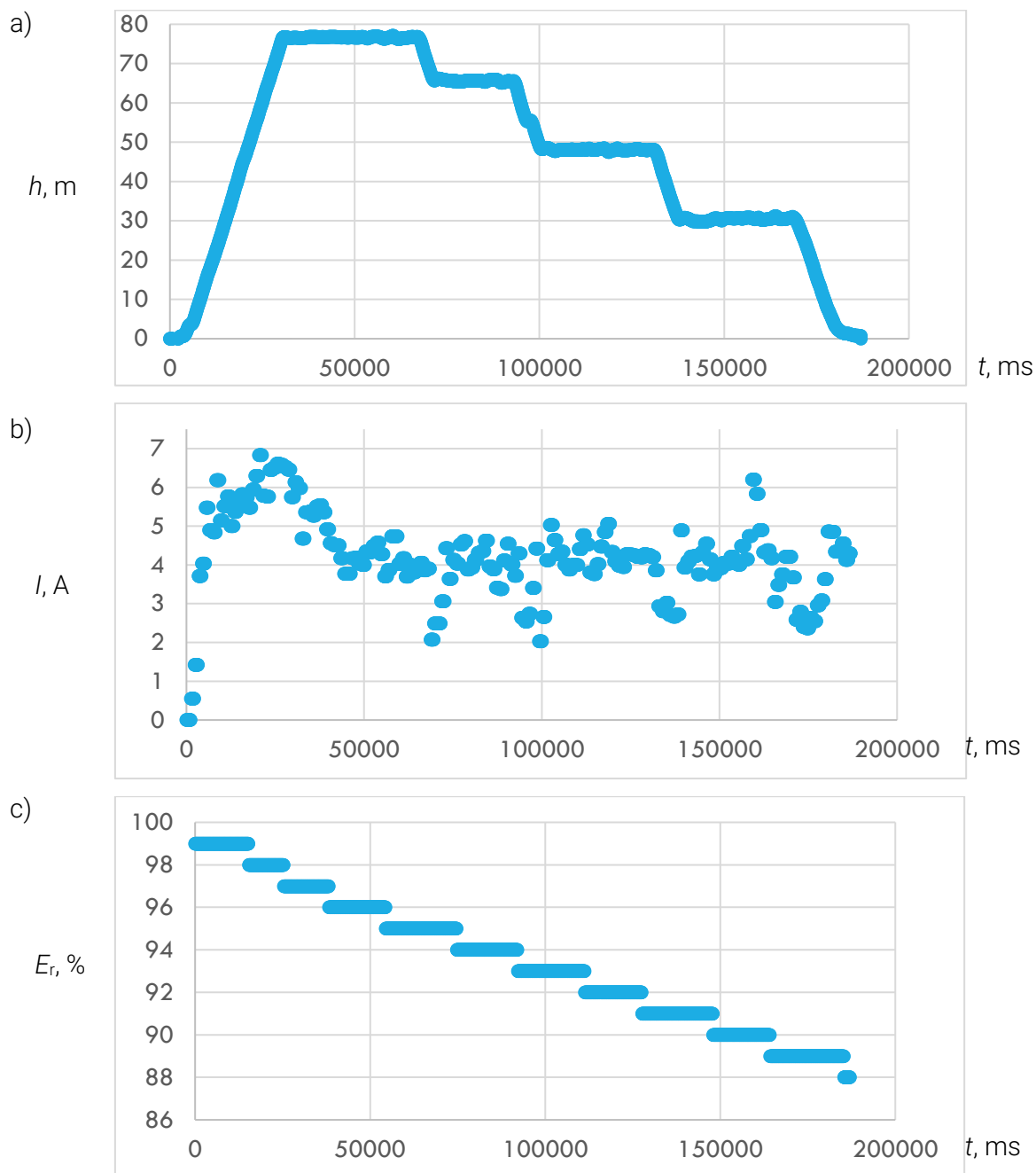
Slika 5-2. Upozorenja tijekom opisivanog leta po jačem vjetru.

Ubrzo nakon upozorenja o jakom vjetru smanjena je visina leta kvadrotora. Više se nisu pojavljivala upozorenja i obavijesti o prejakom vjetru pa neizravno zaključujemo kako je smanjenje visine bilo dovoljno da ukloni rizik nemogućnosti povratka kvadrotora na poletišta.

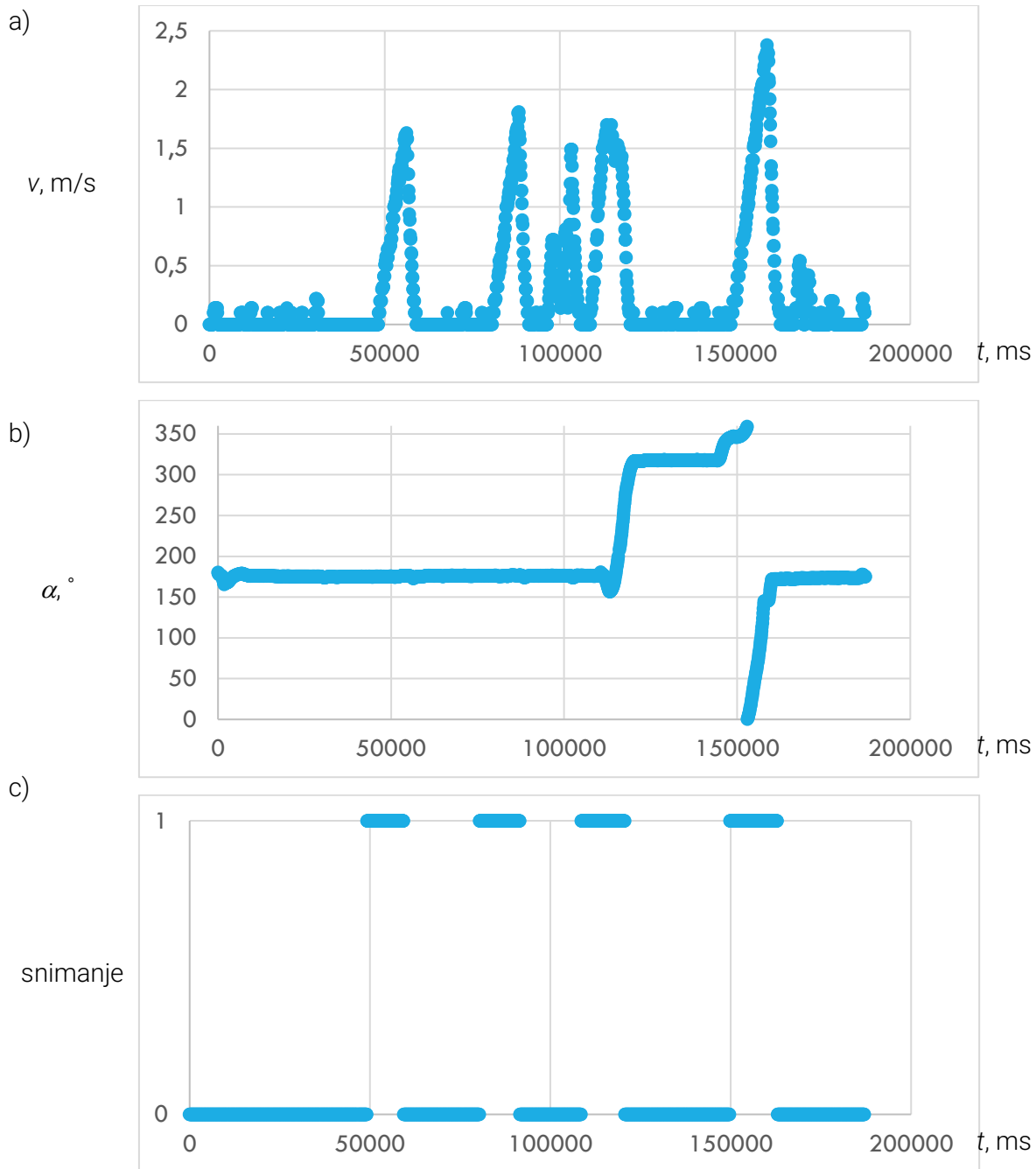
Naravno, da je pri upozorenju o prejakom vjetru kvadrotor bio znatno dalje od poletišta, toliko da se ni na manjoj visini leta ne bi mogao vratiti na poletišta, jedino bi rješenje bilo prizemljiti ga što brže. Pritom „što brže“ ne znači trenutno, nego se prilikom slijetanja provode dodatne radnje koje povećavaju vjerojatnost brzog pronalaska kvadrotora na tlu. Te su mjere općenito primjenjive, ne samo u slučaju jačeg vjetra. Nastojimo zapamtiti lokaciju kvadrotora pomoću karte, a po potrebi dodatno radimo panoramsku snimku okoline ispod kvadrotora kako bi se vidjela uočljiva struktura na terenu, ako takva postoji, bilo da se od okoline u kojoj se nalazi ističe oblikom, bojom ili nekim drugim svojstvom pa služi kao orijentir pri traženju kvadrotora. Nakon toga se kamera zakrene na snimanje tla ispod kvadrotora i kvadrotor prizemljuje.

5.4. Analiza podataka

Grafovi vremenskih ovisnosti nekoliko veličina koje se odnose na navedeni let prikazani su na slikama 5-3 i 5-4. Njihovom analizom dolazi se do dodatnog uvida u rad kvadrotora.



Slika 5-3. Vremenske ovisnosti nekih veličina koje opisuju rad kvadrotora tijekom leta: a) visine u odnosu na poletišta, b) razvijene struje i c) indicirane napunjenosti baterija.



Slika 5-4. Vremenske ovisnosti nekih veličina koje opisuju rad kvadrotora tijekom leta: a) iznosa brzine kvadrotora, b) smjera u koji je postavljen kvadrotor i c) snimanja kamerom (0 – kamera ne snima, 1 – kamera snima).

Iz slike 5-3a vidljivo je kako se kvadrotor uspinje neposredno nakon upućivanja motora u rad. Tijekom leta četiri se puta spušta, ali ne opisuje kružnice na sve četiri visine, kako je vidljivo iz slike 5-1. Razvijena struja najveća je tijekom uspinjanja, što bi jednako tako bilo i da je vjetar zanemarive brzine. Struja je velika i prvi dio leta na većoj visini, kako potkrijepljuju i boje segmenata kruga na najvećoj visini prikazano na slici 5-1. Naravno, tijekom tog vremena sustav generira upozorenja, kako je objašnjeno u opisu slike 5-2. Ta struja u rasponu je između 5 A i 7 A. Pri svakom od četiri spuštanja kvadrotora, kratkotrajno se smanjuje razvijena struja, što je razumljivo jer se tako smanjuje potisak.

Pri spuštanju razvijena se struja smanjuje do iznosa 2-2,5 A. Između spuštanja, razvijena je struja srednjeg iznosa oko 4 A, uz male fluktuacije koje su jednim dijelom posljedica promjenjivog vjetra, a drugim dijelom posljedica dodatnih radnji, npr. uključenog snimanja kamerom, slika 5-4c. Razvijena struja kratkotrajno raste oko 159 700 ms nakon polijetanja, a prema grafu brzine prikazanom na slici 5-4a kvadrotor tad ima najveću brzinu.

U skladu s većom razvijenom strujom, indicirana napunjenost baterija brže se smanjuje unutar prvih 50 000 ms od početka mjerenja vremena. Kad bismo tu skokovitu promjenu aproksimirali s dva ravna segmenta, tj. dvije dužine, tako da prvi opisuje promjenu energije baterije unutar prvih 50 000 ms, a drugi za cijelo razdoblje nakon toga, vidjelo bi se da je prvi segment strmiji od drugoga. Skokovitost promjene indicirane napunjenosti baterije posljedica je razlučivosti tog podatka. Ona iznosi 2 %. Da je razlučivost manja, npr. 0,1 % ni graf ne bi bio sastavljen od horizontalnih segmenata, nego bi sadržavao kontinuiranu, monotono opadajuću funkciju.

Kao zanimljivost istaknimo još, slika 5-4.b, da kvadrotor opisuje kružnice tako da mu je uzdužna os stalna u odnosu na tlo, tj. kvadrotor se ne zakreće oko vertikalne osi pri opisivanju kružnice. Iz fizike znamo kako je to gibanje translacija, unatoč kružnom obliku! Rotacija bi značila zakretanje kvadrotora oko vertikalne osi (usporedite ovo s revolucijom i rotacijom našeg planeta Zemlje). Zbog toga kvadrotor zaokreće za cijeli krug samo jednom tijekom leta, a dodatno mu se jednom mijenja smjer od polaznog smjera (gotovo) prema jugu na sjeverozapadni smjer.

5.5. Diskusija rezultata i zaključak

Prilikom leta po jačem vjetru, ali još uvijek unutar prihvatljivog iznosa za letenje kvadrotorom, sustav po potrebi upozorava na utjecaj prejakog vjetra. Upozorenje se daje ako prema procjeni rada kvadrotora, uz pretpostavku da se trenutni vjetar neće mijenjati nego će još znatno vrijeme biti takav, neće biti dovoljno energije u baterijama za povratak na poletišta.

Kvadrotor razvija jači potisak na pojedinim motorima kako bi kompenzirao utjecaj jačeg vjetra i zadržao se u stabilnom letu na zadanoj putanji. To se vidi po povećanoj razvijenoj struji. Na struju utječe i snimanje kamerom, koja je znatan potrošač električne energije. Budući da se većina letova kvadrotorom obavlja zbog snimanja iz zraka, navedenu je činjenicu potrebno uzeti u obzir pri energetskej analizi leta, tijekom njegova planiranja.

6. Snimanje obala rijeke

6.1. Zadatak

Snimiti obje obale rijeke u zadanoj duljini pomoću kvadrotora *DJI Mini 2*.

6.2. Navigacijska i meteorološka priprema

Navedena vježba podrazumijeva prelet vode, što treba posebno uzeti u obzir u pripremi leta. Pri samom prelijetanju rijeke nije predviđeno snimanje. Zadana duljina snimanja obale može se kretati u znatnom rasponu. Naravno, maksimalnu ukupnu dužinu leta određuje kapacitet baterije. Ovo je modelna vježba u kojoj će se koristiti podatci dobiveni snimanjem obiju obala rijeke **srednje širine**. Struktura pripadnog leta primjenjiva je za takvo snimanje. Za snimanje obala rijeke veće širine potrebno je drugačije strukturirati let, što će također biti objašnjeno. Ujedno, za snimanje onih manje širine ili drugih užih vodotoka, let se može provesti na više kvalitativno različitih načina.

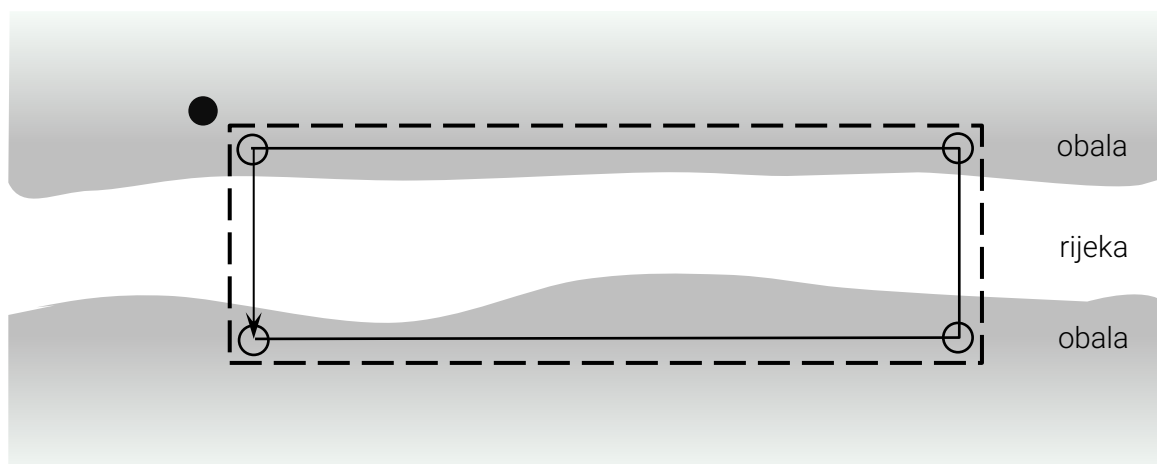
Budući da je težište ove knjige na tehničkim aspektima leta, neće biti razmatrane fotografske karakteristike. Dakle, u pripremi vježbe podrazumijevat će se kako je snimanje provedeno bez preciziranja jesu li parametri snimanja oni tvornički predpodešeni parametri ili ih je netko (udaljeni pilot ili netko drugi) promijenio kako bi se dobile vizualno različite snimke.

Za pripremu leta potrebno je uzeti u obzir visinu obala rijeke. U provedbi vježbe snimane su obale ravničarske rijeke. Ona omogućuje prilaz obalama iz različitih smjerova i bez utjecaja orografskih strujanja, dakle bez pojačavanja vjetrova zbog njegovog kanaliziranja između strmih obala rijeke ili pojavu zavjetrinskih turbulentnih strujanja. Meteorološka priprema leta zbog toga se ne razlikuje od priprema u ostalim vježbama opisanim u knjizi. Dodatno, obale su snimane na dijelu rijeke ravnog toka, bez zavoja. Praćenje zavoja rijeke zahtijevalo bi dodatno preciziranje upravljanja letom kao dijelom navigacijske pripreme. Osim toga, uzima se da je udaljeni pilot cijelo vrijeme leta na istoj poziciji na jednoj strani rijeke i da je predviđeno polijetanje i slijetanje bespilotne letjelice u njegovoj neposrednoj blizini, dakle s iste strane rijeke. Samo prelijetanje rijeke potrebno je provesti po putu **najkraćeg trajanja**. To je općeniti pristup preletu preko vodenih površina.

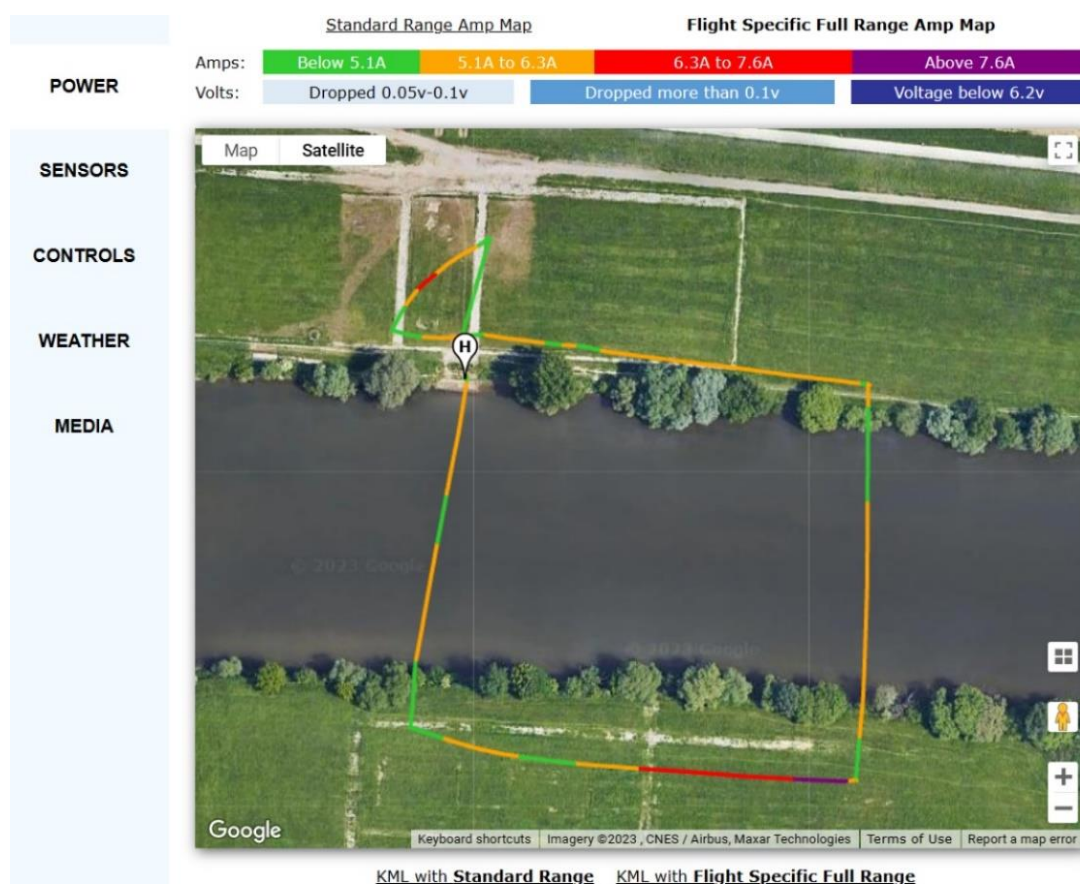
Zahtjev za provedbu leta uz potrebnu razinu sigurnosti uvodi dodatne radnje u njegovu pripremu. Konkretno, ako se za vrijeme leta prekine komunikacija s bespilotnom letjelicom, ona će pokrenuti prethodno programiranu radnju. Budući da letjelica dvaput prelijeće rijeku, programirana radnja ne može biti vertikalno slijetanje u slučaju gubitka signala. Kao moguća programirana radnja ostaje RTH. Zbog toga se tijekom leta mora više puta iznova postaviti RTH, na različitim mjestima obje obale, kako je skicirano na slici 6-1. Puni krug na slici 6-1. označava mjesto na kojemu je udaljeni pilot, a kružnice

označavaju lokacije gdje se iznova postavlja RTH za sljedeći segment leta. Trasa leta označena je punom linijom. Kvadrotor polijeće iz kružnice pokraj udaljenog pilota, prvo prelazi rijeku, a zatim nastavlja let u smjeru obrnuto od kazaljke na satu. Snimano područje obuhvaćeno je crtkanim pravokutnikom.

Tako postavljenim letom izbjegava se da, u slučaju gubitka signala tijekom snimanja obale, kvadrotor počne dijagonalno prelijetati rijeku na poziciju koja je bila postavljena za RTH još dok kvadrotor nije došao na obalu rijeke na kojoj je došlo do gubitka signala.



Slika 6-1. Konfiguriranje leta za snimanje obiju obala ravničarske rijeke ravnog toka.



Slika 6-2. Prikaz provedenog leta za snimanje obala.

Redni broj	Naziv	Opis	Napomene	Dodatne radnje
1.	Polijetanje	- pokretanje motora, - uspinjanje na visinu x m iznad tla, - lebdenje	- prije polijetanja kvadrotor je već postavljen u smjeru leta, - postavljanje pozicije lebdenja kao RTH	/
2.	Prijelaz 1	- pravocrtni let najvećom brzinom sa zaustavljanjem u završnoj točki, - zakretanje kvadrotora za 90 ° u smjeru obratno od kazaljke na satu	- postavljanje pozicije zaustavljanja kao RTH	/
3.	Snimanje 1	- pravocrtni let sa zaustavljanjem u završnoj točki, - zakretanje kvadrotora za 90 ° u smjeru obratno od kazaljke na satu	- snimanje obale, - postavljanje pozicije zaustavljanja kao RTH	- praćenje snimke kamere na zaslonu mobilnog telefona, po potrebi zakretanje kvadrotora ili ovjesa kamere
4.	Prijelaz 2	- pravocrtni let najvećom brzinom sa zaustavljanjem u završnoj točki, - zakretanje kvadrotora za 90 ° u smjeru obratno od kazaljke na satu	- postavljanje pozicije zaustavljanja kao RTH	/
5.	Snimanje 2	- pravocrtni let sa zaustavljanjem u završnoj točki (iznad sletišta)	- snimanje obale, - postavljanje pozicije zaustavljanja kao RTH	- praćenje snimke kamere na zaslonu mobilnog telefona, po potrebi zakretanje kvadrotora ili ovjesa kamere
6.	Slijetanje	- smanjivanje visine na 0 m AGL, - zaustavljanje motora	/	/

Tablica 5. Navigacijska priprema za snimanje obala rijeke. Visina uspinjanja x objašnjena je u tekstu ove vježbe.

Putanja skicirana na slici 6.1. provodi se ako je vjetar zanemariv. U tom je slučaju svejedno je li poletišta uz lijevi ili uz desni vrh iscrtkanog pravokutnika. U ovom drugom slučaju, razumljivo, putanja kvadrotora po označenoj trasi odvijala bi se u smjeru kazaljke na satu. No, pri jačem vjetru potrebno je uzeti u obzir utjecaj vjetra. Kao prvo, potrebno je proletjeti zadanom putanjom tako da se zadnji prelet rijeke odvija niz vjetar. Za početnu poziciju (na lijevom ili desnom kraju iscrtkanog pravokutnika) odabire se onu pri kojoj se i let nad nasuprotnom obalom odvija niz vjetar. Pritom, „niz vjetar“ ne znači

samo da je smjer brzine vjetra jednak smjeru brzine kvadrotora, tj. da vjetar puše točno kvadrotoru odostraga, nego da je ukupni utjecaj vjetra povećanje brzine kvadrotora u odnosu na tlo.

Putanju treba planirati tako da prelijetanja rijeke imaju minimalno trajanje. Kod slabog vjetra to je prelet rijeke okomito na obale. Ako je vjetar jači, to je prelet rijeke u kojemu je kvadrotor usmjeren okomito na suprotnu obalu. No u odnosu na podlogu (dakle: rijeku) kreće se ukoso zbog pribrajanja brzine vjetra brzini samog kvadrotora. U pravilu vjetar nije stalnog iznosa ni smjera, tako da se optimalna putanja preleta rijeke najčešće može približno odrediti, uz neku grešku. Zato tijekom samog leta udaljeni pilot po potrebi modificira dijelove putanje.

Prikaz leta iz programa Airdata dan je na slici 6-2. Od više mogućih prikaza, odabran je onaj u kojemu se vidi razvijena struja. Kvadrotor je poletio iz gornje lijeve strane putanje, preletio rijeku, snimao obalu, zatim ponovo preletio rijeku i snimajući obalu vratio se na poletišta. Prema potrošnji struje vidi se da je vjetar puhao u zapusima, pretežno u smjeru nalijevo gore na slici 6-2.

6.3. Diskusija leta i zaključak

Opisani let primjenjiv je za snimanje obala rijeke niskih obala, ravnog toka, širine korita do stotinjak metara na lokaciji snimanja. Za maksimalnu dozvoljenu visinu leta, ako nije drugačije navedeno, uzima se 120 m AGL. Ta je visina općenito dozvoljena za let u otvorenoj kategoriji, u skladu s propisima navedenim detaljno u materijalima za osposobljavanje udaljenih pilota, dostupnima na mrežnim stranicama Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo, <http://ccaa.hr>. Rijeka se prelijeće na takvoj najvećoj visini i najvećom brzinom. Naime, u slučaju prestanka rada motorā (dakle, svih ili bar većine motora) kvadrotor se nastavlja gibati po putanji horizontalnog hica, što je dobro poznato gibanje iz fizike. Pri takvom gibanju započetom na određenoj visini, najveći je domet za najveću početnu brzinu. Takvim odabirom letnih parametara maksimizira se vjerojatnost dosezanja nasuprotne obale i ako otkazu motori.

Ako je rijeka na mjestu snimanja šira od stotinjak metara, snimanje se odvija drugačije. Jedan je način snimanja u letu koji je odobren u posebnoj kategoriji tako da je visina preleta rijeke veća od 120 m i odabrana tako da maksimizira vjerojatnost prelaska rijeke i u slučaju otkazivanja motorā. Drugi je način taj da se obave dva leta unutar otvorene kategorije, pri čemu se u svakom letu snimi jedna obala. Između letova udaljeni pilot sa spremljenom opremom prelazi rijeku, npr. čamcem, ili automobilom preko mosta ili skele.

Ako je širina rijeke na mjestu snimanja nekoliko desetaka metara, iz pozicije kvadrotora nad jednom je obalom moguće snimiti obje obale pa je dovoljan let kvadrotorom uz jednu obalu, bez prelijetanja rijeke. Tad se priprema leta pojednostavljuje.

Osim ovih općih slučajeva, mogući su i brojni drugi, ovisno o karakteristikama reljefa na mjestu snimanja, traženoj razlučivosti snimke (jer o tome ovisi udaljenost kvadrotora od obale tijekom

snimanja). Snimanje može biti odgođeno ili otkazano zbog trenutnih vremenskih uvjeta, ako je na lokaciji snimanja prisutna veća grupa neuključenih osoba, ili ako su na lokaciji snimanja elementi infrastrukture ili drugi objekti u blizini kojih se ne smije letjeti u otvorenoj kategoriji. Takve su situacije detaljno popisane u nastavnim materijalima za pripremu udaljenih pilota, dostupnima na mrežnim stranicama Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo.

7. Određivanje iznosa horizontalne brzine

7.1. Zadatak

Odrediti iznos horizontalne brzine biciklista, psa i bačenog predmeta.

7.2. Navigacijska i meteorološka priprema

Razmotrit ćemo detaljnije određivanje brzine golf-diska (popularno zvanog *frizbi*, a dalje u tekstu pod nazivom *disk*).

Budući da se mjerenje odvija na jednoj mikrolokaciji u relativno kratkom vremenu, navigacijska priprema je rudimentarna. Meteorološka je priprema praćenje prognoze prije leta i uočavanje vremenskih uvjeta na planiranoj lokaciji letenja neposredno prije letova, te naravno praćenje vremenskih uvjeta tijekom letenja.

7.3. Provedba leta

Kvadrotor se pokrene i podigne tako da lebdi na visini na kojoj će disk biti izbačen. U trenutku kad bacač izbacila disk, udaljeni pilot pokrene kvadrotor tako da leti na stalnoj visini približno jednakoj visini diska. Kvadrotor leti u istom smjeru u kojemu je bačen disk, njemu što sličnijim iznosom brzine.

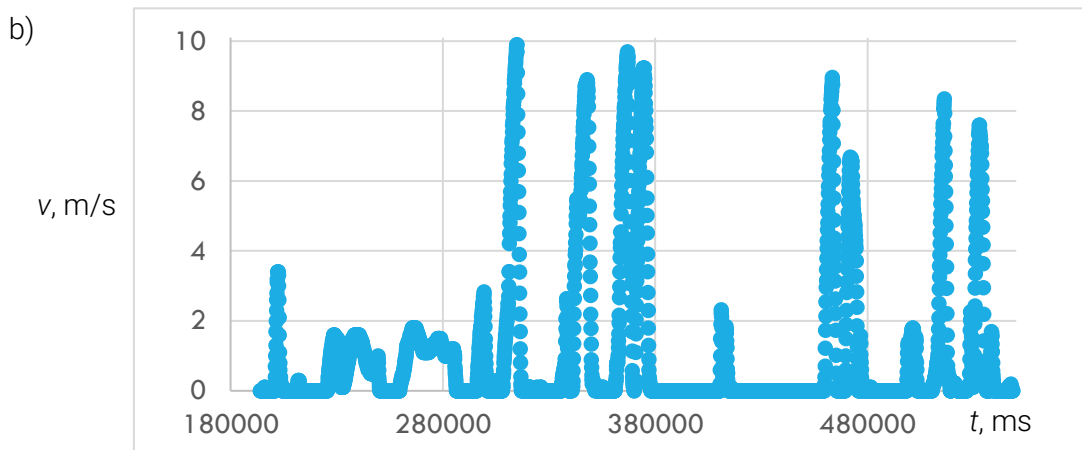
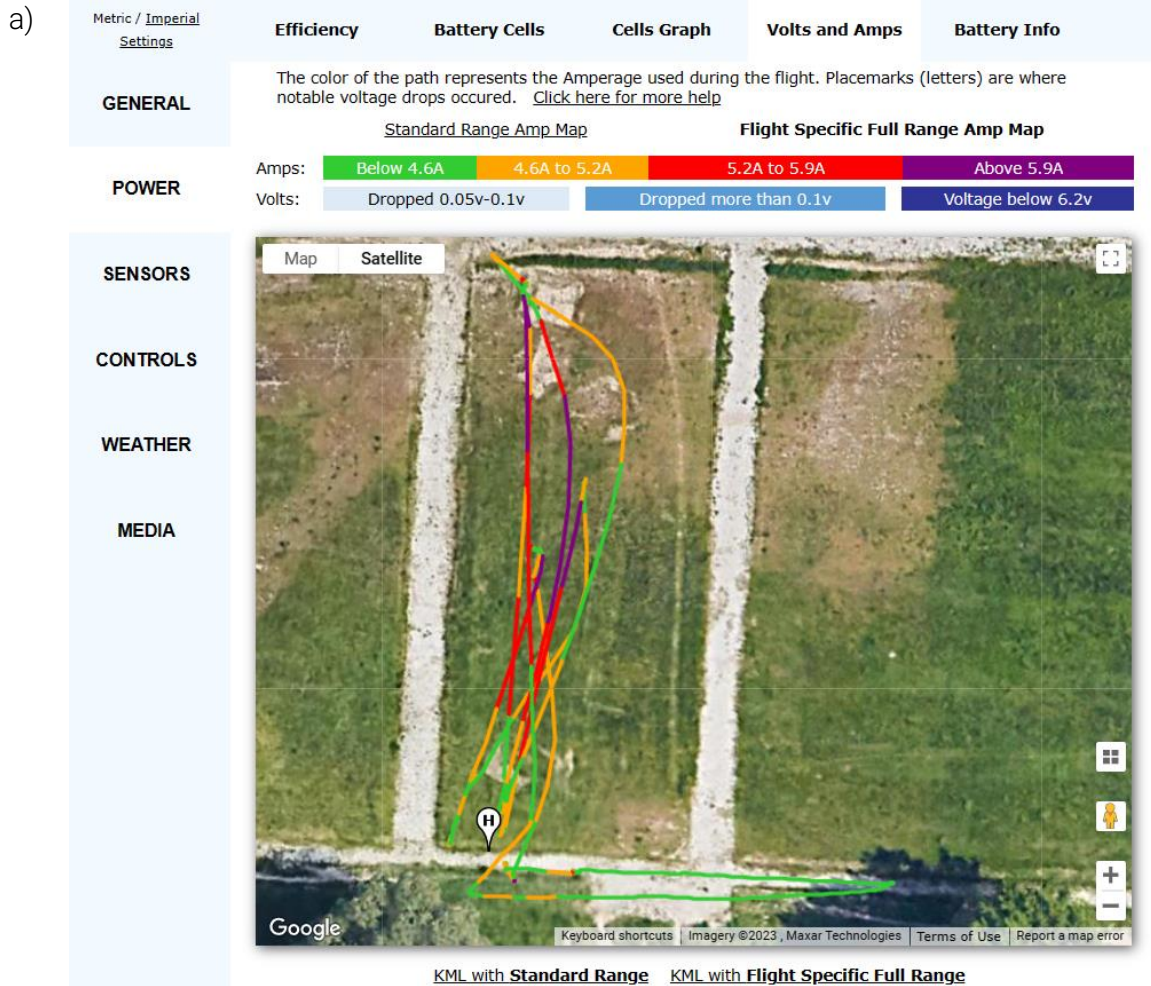
Kamera kvadrotora snima disk tijekom leta kako bi udaljeni pilot prateći sliku kamere na zaslonu mobilnog telefona mogao po potrebi promijeniti iznos brzine kvadrotora ako je potrebno ujednačiti brzinu kvadrotora i diska.

Više je varijanti leta kvadrotora. Može letjeti unaprijed, a imati ovjes kamere okrenut bočno tako da snima gibanje diska ili može letjeti bočno dok kamerom postavljenom prema naprijed prati disk. Gibanje težišta diska u početku je pravocrtno, uz rotaciju diska oko njegova težišta. Kako se disk usporava i putanja mu postaje zakrivljena te je potrebno kontinuirano prilagođavati putanju kvadrotora takvoj, promjenjivoj putanji diska. To zahtijeva znatnu vještinu udaljenog pilota u upravljanju letom kvadrotora.

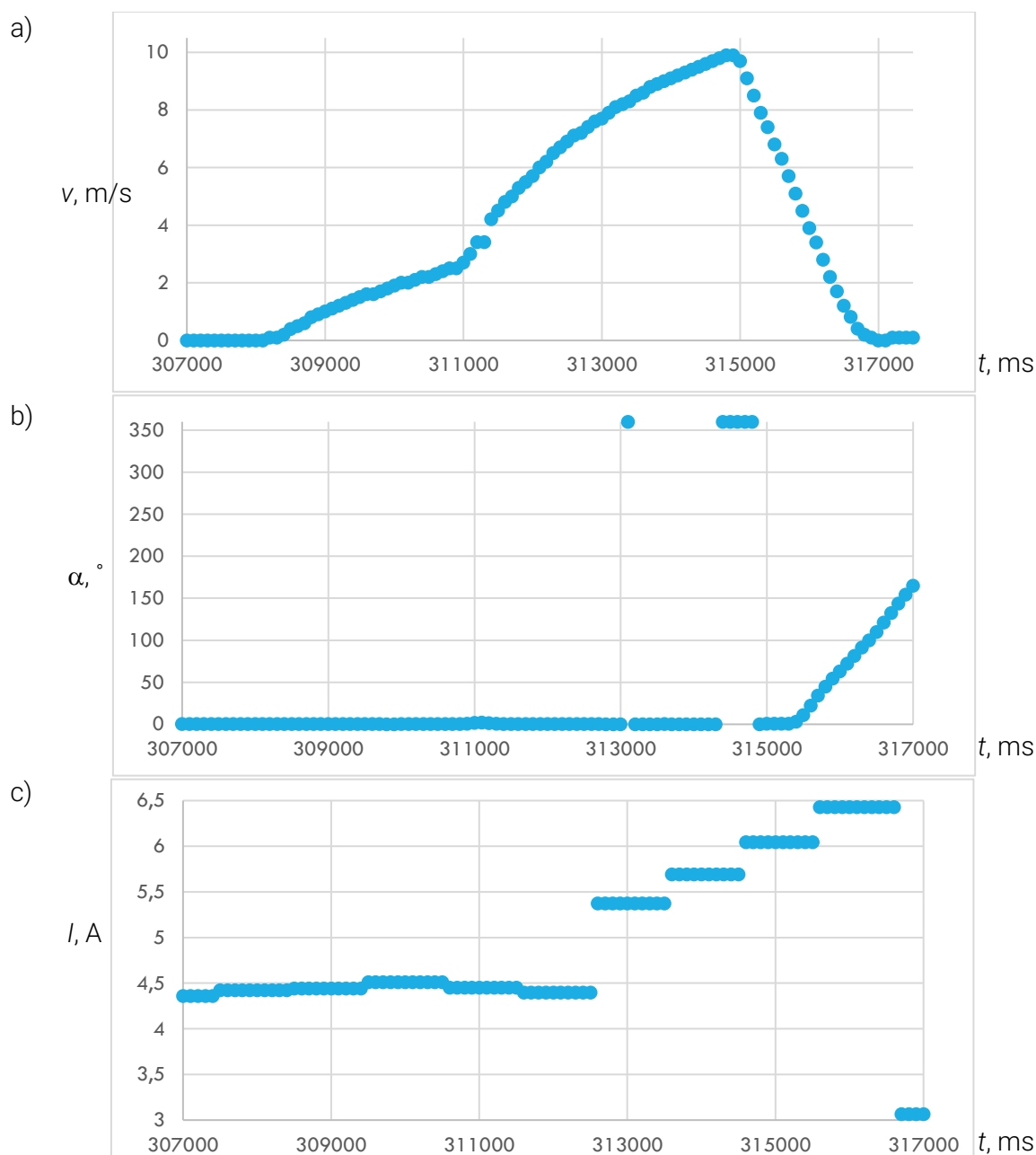
7.4. Analiza podataka

Let tijekom kojega je više puta mjerena brzina leta diska prikazan je na slici 7-1a. Slika 7-1b prikazuje ukupnu brzinu kvadrotora tijekom većeg dijela njegovog leta. Let se sastojao od više kratkotrajnih

praćenja bačenog diska, između čega je kvadrotor lebdio blizu mjesta odakle je bačen disk. Za analizu leta treba napomenuti kako je za vrijeme provedbe ove vježbe na lokaciji letenja vjetar bio sjeveroistočni, prosječnog iznosa brzine 1,4 m/s. Na slici 7-2 izdvojeni su podatci za jedno praćenje diska kvadrotorom.



Slika 7-1. Prikaz provedenog leta za određivanje brzine gibanja golf-diska: a) prikaz leta kvadrotora s naznačenom razvijenom ukupnom strujom, b) vremenska ovisnost ukupne brzine kvadrotora tijekom cjelokupnog leta s više bacanja snimanog diska.



Slika 7-2. Podatci o letu kvadrotora tijekom njegova praćenja bačenog diska: a) vremenska ovisnost ukupne brzine kvadrotora, b) smjer uzdužne osi kvadrotora, c) razvijena struja.

7.5. Diskusija rezultata i zaključak

Golf-disk (popularno zvan *frizbi*) relativno se sporo giba kroz zrak, brzinom koju može razviti većina dronova i tako ga pratiti. Brzina diska vremenski je promjenjiva. Ovisno o načinu bacanja disk se početno može kretati pravocrtno, ali kako usporava, mijenja mu se prikloni nagib osi rotacije (što se ne vidi iz grafova na slici 7-2, nego iz samog praćenja gibanja diska) i smjer brzine. Dakle, precizno praćenje diska kvadrotorom, po iznosu i smjeru brzine, zahtijeva brze i pravilne reakcije udaljenog pilota na jedinici za daljinsko upravljanje. Disk se prati tako da je njegova slika stalne veličine na ekranu

mobilnog telefona i na stalnom dijelu ekrana. Ako to nije ispunjeno, povećava se udaljenost kvadrotora od diska ili jedno od tih dvaju tijela zaostaje za drugim. Tada se iznos brzine ne može precizno odrediti iz vremenske ovisnosti brzine kvadrotora, nego kombinacijom te vremenske ovisnosti i korekcije brzine zbog paralakse. Paralaksa označava promjenu smjera gledanja.

Nejednolikost brzine znači da ne možemo govoriti o brzini gibanja diska, nego se uzimaju srednja brzina, najvjerojatnija brzina, maksimalna brzina ili neka druga izvedenica koja se može odrediti iz podataka snimljenih u zapisu leta, prikazanih na slici 7-2a. Smjer kvadrotora pokazuje graf na slici 7-2b. To je graf vremenske ovisnosti pokazivanja kompasa kvadrotora. Ta veličina je smjer uzdužne osi kvadrotora. Budući da se kvadrotor gibao unaprijed, a putanja se većim dijelom podudarala s pravcem prema sjeveru, kompas većim dijelom pokazuje smjer prema sjeveru. Točke koje prividno znatno odstupaju od većinskog pokazivanja kompasa (na grafu na slici 7-2b, točke su između 313 000 ms i 315 000 ms) zapravo ne odstupaju znatno. Zbog manjih fluktuacija u pokazivanju smjera kompasa u navedenom intervalu pokazuje kratkotrajno i smjer prema sjeveru s manjim otklonom prema zapadu, dakle između 359° i 360° . To se uklapa u raspon pokazivanja smjerova oko srednjih 1° , što je smjer prema sjeveru s manjim otklonom prema istoku.

Vremenske ovisnosti razvijene struje (graf na slici 7-2b) pokazuje kako se na motorima razvija sve veći potisak kako se kvadrotoru povećava brzina, što je međusobno konzistentno. Kako se kvadrotor zaustavlja tako i razvijena struja pada na minimalan iznos koji osigurava lebdenje.

Određivanje horizontalne brzine, bilo da je riječ o brzini bačenog objekta poput golf-diska, ili o brzini automobila ili pješaka, moguća je za iznose tih brzina koji su manji od maksimalnog iznosa brzine kvadrotora. Mogu se određivati i iznosi brzina malo veći od iznosa maksimalne brzine kvadrotora, ali onda pomoću videosnimke treba korigirati iznos brzine iz zapisa leta zbog zaostajanja kvadrotora u odnosu na praćeni objekt.

Neovisno o iznosima, brzina praćenog čovjeka ili objekta u gibanju većinom nije jednolika, a ne mora biti ni pravocrtna pa je za dobivanje preciznih i pouzdanih podataka o vremenskoj ovisnosti te brzine potrebna znatna vještina udaljenog pilota.

Ova vježba može se provoditi na različitim lokacijama. Već zbog samog bacanja diska te lokacije moraju biti bez neuključenih osoba. Time je automatski ispunjeno korištenje kvadrotora u takvoj okolini, iako bi on zbog pripadanja podkategoriji A1 otvorene kategorije mogao letjeti i iznad neuključenih osoba, kako je objašnjeno u nastavnim materijalima za pripremu udaljenih pilota, dostupnim na mrežnim stranicama Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo.

Ako se određuje iznos brzine kretanja neuključenih osoba, kao pješaka ili vozača, potrebno je paziti da ih se ne ometa i da im se ne stvara neugoda, bez obzira što je dozvoljeno letjeti iznad njih.

8. Analiza vertikalnog gibanja

8.1. Zadatak

Razmotrite raspone parametara kojima se opisuje vertikalno uspinjanje i spuštanje, s različitim kočenjima.

8.2. Priprema i provedba leta

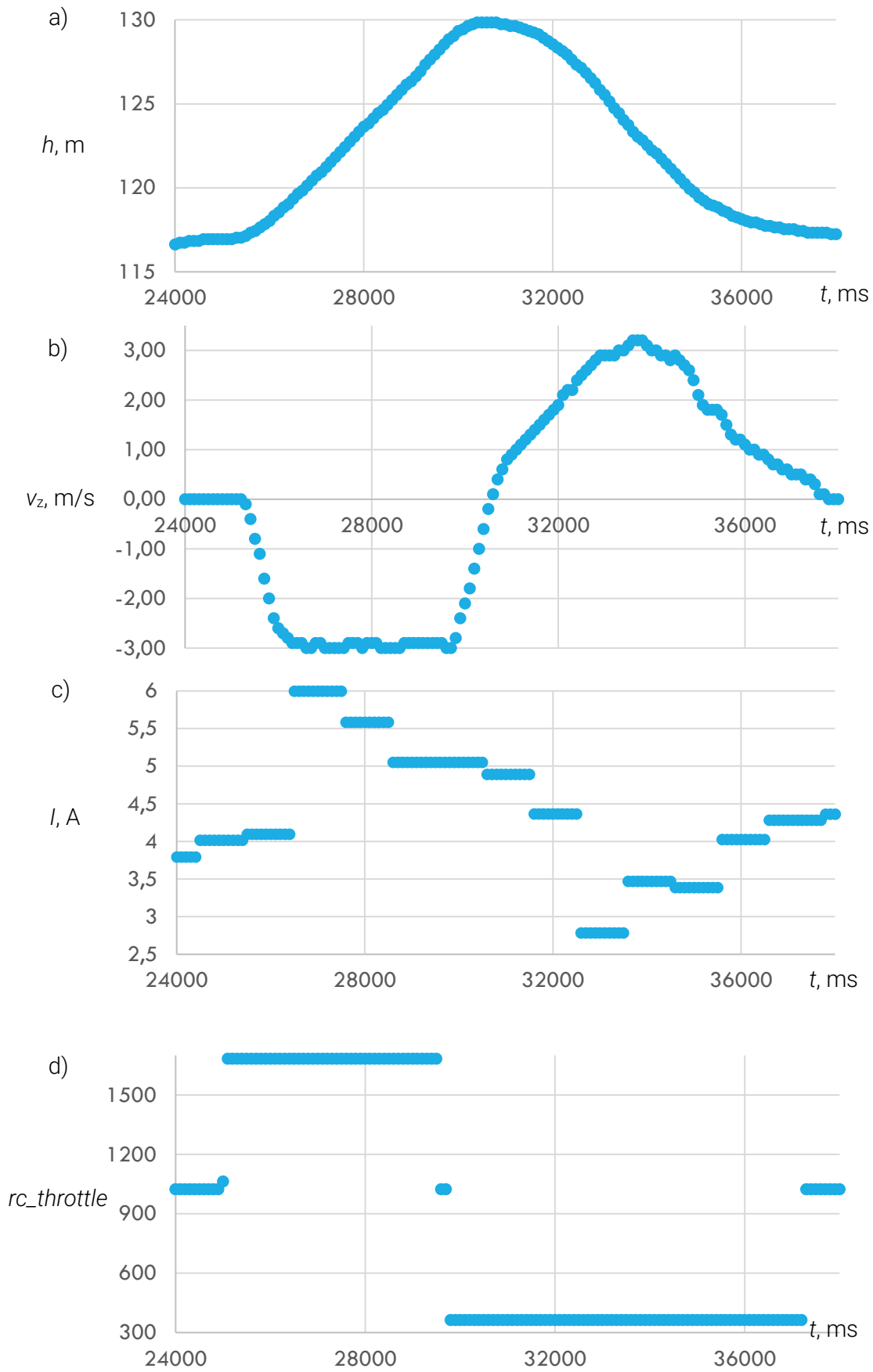
Letenje se odvija na jednoj mikrolokaciji, dijelovi leta s horizontalnim pomacima mogu se provesti, ali za sam zadatak nisu potrebni. Zbog kratkoće trajanja leta kojime se izvršava zadatak meteorološka priprema je jednostavna. Uvjeti za letenje moraju biti povoljni tijekom vremenskog intervala od desetak minuta. Trajanje je procijenjeno na navedeno vrijeme zbog eventualne potrebe za ponavljanjem letnih radnji i uključene vremenske rezerve.

U oba se leta kvadrotor iz početnog lebdenja uspinje za 10 m nakon čega se spušta na početnu visinu. No, u jednom letu uspinjanje i kočenje provode se maksimalnim intenzitetom, a u drugom letu ne.

8.3. Analiza podataka

Na slici 8-1 grafovi su vremenske ovisnosti nadmorske visine kvadrotora, vertikalne brzine, razvijene struje te zadanog potiska. Uočavamo kako je orijentacija osi za brzinu suprotna od uobičajene orijentacije vertikalne osi – uspinjanju odgovaraju negativne vertikalne brzine, a spuštanjem pozitivne!

Prema grafovima, brzina uspinjanja jednaka je nuli zaključno u trenutku 25 200 ms nakon polijetanja, a iznosi je $-0,1$ m/s u sljedećem trenutku, dakle 25 300 ms nakon polijetanja. Najbrže uspinjanje odvija se između 26 500 ms i 29 700 ms i kreće se od $2,9$ m/s do $3,0$ m/s po apsolutnoj vrijednosti. Budući da su rezultati vertikalne brzine u tablici zapisa leta navedeni s jednom decimalnom znamenkom, možemo pretpostaviti da su varijacije maksimalne brzine uspinjanja manje ako se uzme u obzir veća preciznost, dakle ispiše i druga decimalna znamenka. Nakon 29 700 ms započinje kočenje, dakle usporavanje i visina se sve sporije povećava. Kvadrotor je na maksimalnoj visini od 129,835 m nadmorske visine od 30 400 ms do 30 800 ms, dakle 0,4 s. Na početku toga intervala kvadrotor bilježi brzinu uspinjanja od $0,6$ m/s, a na kraju već se spušta brzinom od $0,6$ m/s. Maksimalna brzina spuštanja iznosi $+3,3$ m/s i zabilježena je između 33 600 ms i 33 800 ms (zašto je apsolutni iznos najveće brzine spuštanja veći od apsolutnog iznosa najveće brzine uspinjanja?). Spuštanje traje do 37 800 ms kad vertikalna brzina postaje jednaka nuli. No, visina se mijenja i nakon toga! Ali ne više zbog zadanog uspinjanja ili spuštanja kvadrotora, nego zbog već navedenih varijacija u atmosferskim uvjetima i prikupljenim podacima.



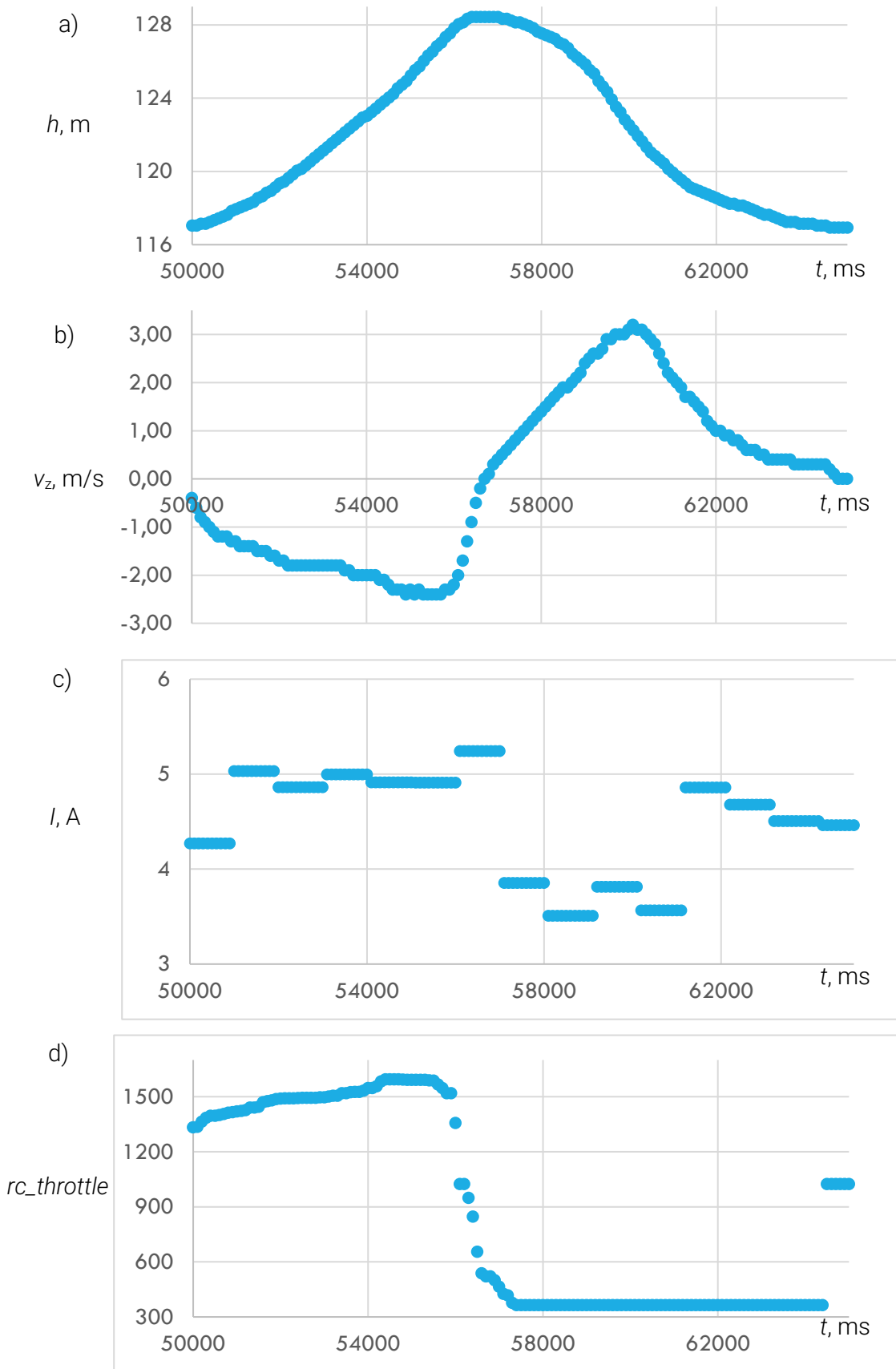
Slika 8-1. Vremenske ovisnosti u prvom letu za a) visinu kvadrotora iskazanu kao nadmorska visina, b) vertikalnu brzinu kvadrotora, c) razvijenu ukupnu struju i d) zadani potisak.

Graf vremenske ovisnosti struje pokazuje njezinu skokovitu promjenu. Ona se mijenja u pravilnim intervalima od oko 1 s za konačni iznos. U prosjeku, veća je pri uspinjanju, a manja pri spuštanjem. Prosječni iznos struje razvijene na motorima kad je kvadrotor na stalnoj visini, između je tih iznosa. No, trenutne struje međusobno se dosta razlikuju. Najveća se postiže tijekom 1 s unutar prve polovine uspinjanja, a najmanja struja tijekom 1 s u prvoj polovini spuštanja.

Zadani iznos potiska pokazuje da je za uspinjanje zadan maksimalni potisak (1684), a za spuštanje minimalni potisak (364). Tijekom jedne desetinke sekunde između kraja uspinjanja i započinjanja spuštanja potisak iznosi 1024, što je iznos koji odgovara potisku za lebdenje, koji je uostalom zabilježen prije početka uspinjanja, a opet se postiže nakon završetka spuštanja. Od trenutka kad je na jedinici daljinskog upravljanja zadan prestanak uspinjanja, što je desetinku sekunde kasnije nastavljeno kao spuštanje, kvadrotor se zbog inercije gibanja u zraku nastavio uspinjati još 1,4 m tijekom sljedeće 1 s koliko mu je trebalo da se zaustavi u zraku. Dakle, ostvareno je kočenje reverznim potiskom.

Naizgled paradoksalno, ali zaustavljanje pri spuštanjem trajalo je kraće nego kod uspinjanja, 0,8 s i u tom vremenu kvadrotor se spustio za 0,4 m. To je zato što je prilikom spuštanja kvadrotor znatno manji dio vremena imao najveću apsolutnu vrijednost brzine spuštanja. Veći dio vremena kvadrotor se spuštao znatno manjim apsolutnim iznosom vertikalne brzine nego što je bilo kod uspinjanja. Riječ je o programiranoj mjeri koja osigurava sigurnost leta i omogućava da se kvadrotor zaustavi unutar mogućeg raspona visina.

Analizirajte drugi let, za koji su vremenske ovisnosti parametara kvadrotora prikazane na slici 8-2.



Slika 8-2. Vremenske ovisnosti u drugom letu za a) visinu kvadrotora iskazanu kao nadmorska visina, b) vertikalnu brzinu kvadrotora, c) razvijenu ukupnu struju i d) zadani potisak.

8.4. Diskusija rezultata i zaključak

Pri jednostavnom letu kvadrotora, koji se sastojao od vertikalnog uspinjanja i spuštanja, snimljeni su i naknadno analizirani parametri koji se odnose na let. Graf vremenske ovisnosti visine kvadrotora pritom je služio kao orijentir za jasnije pozicioniranje letjelice i jednostavniju interpretaciju promjena njezinih parametara. Uspinjanje i spuštanje dodatno je praćeno pomoću grafa vremenske ovisnosti vertikalne brzine kvadrotora. Razmotrene su promjene razvijene struje pri različitim segmentima opisanog leta, kao i iznosi nekih veličina koji su bili postavljeni na jedinici za daljinsko upravljanje.

Uočeno je kašnjenje između promjena unutarnjih, radnih parametara kvadrotora i njegova gibanja.

Let je bio provođen do relativno male visine od 10 m AGL. Ako koristimo DJI Mini 2 u otvorenoj kategoriji, na velikom broju lokacija ta je visina mogla biti do 120 m AGL, a na nekima samo 50 m AGL. Naravno, na nekim lokacijama ne bi bilo moguće koristiti DJI Mini 2 u otvorenoj kategoriji. Potankosti dozvoljenih korištenja zračnog prostora po visini navedene su u nastavnim materijalima za pripremu udaljenih pilota, dostupnim na mrežnim stranicama Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo.

Literatura

- Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo: *Osposobljavanje za udaljene pilote*,
<https://www.ccaa.hr/osposobljavanje-za-udaljene-pilote-28241>,
- DJI: *User Manual DJI Mini 2*,
https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mini_2/20210630/DJI_Mini_2_User_Manual-EN.pdf,
- DJI: *DJI Mini 2 SE Beginner Guide*,
https://app-h5.dji.com/ZGppLWdvLT/index.html#/collection-stage-detail?uid=a408a04b-c1d9-46ba-86d7-d4f2775f299f&web_h5_from=2,
- Airdata UAV: *Airdata*,
<https://airdata.com>.

Kazalo slika

Slika 3-1. Način rotacije motora u letenju: a) kvadrotor lebdi i motori razvijaju jednake snage i ukupni potisak jednak je težini, b) kvadrotor se na stalnoj visini zakreće obratno od kazaljke na satu. Većoj razvijenoj snazi na motoru odgovara deblja strelica.	24
Slika 3-2. Zakretanje kvadrotora oko vlastitih osi: a) valjanje, b) propinjanje. Većoj razvijenoj snazi na motoru odgovara deblja strelica.	25
Slika 3-3. Komponente (a) i detalj prostora za umetanje memorijske kartice (b).	28
Slika 3-4. Prikaz a) kvadrotora s otvorenim poklopcem prostora za bateriju i b) načina umetanja baterije.	28
Slika 3-5. Kabel za povezivanje mobilnog telefona i daljinskog upravljača u ležištu je s prednje strane daljinskog upravljača.	28
Slika 3-6. Prikazi zaslona mobilnog telefona pri pokretanju programa DJI Fly.	29
Slika 3-7. Zaslona mobilnog telefona s pokrenutim programom DJI Fly. Jedinica za daljinsko upravljanje nije spojena, ali je kvadrotor povezan s telefonom, a) početni prikaz, b) prikaz za postavke kvadrotora.	30
Slika 3-8. Zaslona mobilnog telefona pri kalibraciji kompasa kvadrotora, vođenoj iz programa DJI Fly, za rotacije oko vertikalne osi: a) rotacija horizontalno postavljenog kvadrotora, b) rotacija vertikalno postavljenog kvadrotora.	30
Slika 3-9. Postavljanje visine leta pri radnji RTH i postavljanje maksimalne visine leta.	30
Slika 3-10. Prikaz početnog izlistavanja mapa za dolaženje do zapisā letova.	31
Slika 3-11. Prikaz uobičajenog sadržaja mape sa zapisima letova.	31
Slika 3-12. Korištenje programa za prikaz podataka iz datoteke sa zapisom leta: a) početno sučelje programa i b) prikaz podataka nakon učitavanja datoteke sa zapisom leta.	32
Slika 3-13. Sučelja programa MS Excel pri rukovanju datotekom formata CSV.	33
Slika 4-1. Prikaz leta kvadrotora pri mjerenju visine drveta na padini.	41
Slika 4-2. Vremenske ovisnosti a) visine kvadrotora u odnosu na visinu poletišta, b) smjera u koji je postavljen kvadrotor.	42
Slika 5-1. Putanja kvadrotora tijekom leta. Boje označavaju razvijene struje.	45
Slika 5-2. Upozorenja tijekom opisivanog leta po jačem vjetru.	46
Slika 5-3. Vremenske ovisnosti nekih veličina koje opisuju rad kvadrotora tijekom leta: a) visine u odnosu na poletišta, b) razvijene struje i c) indicirane napunjenosti baterija.	47
Slika 5-4. Vremenske ovisnosti nekih veličina koje opisuju rad kvadrotora tijekom leta: a) iznosa brzine kvadrotora, b) smjera u koji je postavljen kvadrotor i c) snimanja kamerom (0 – kamera ne snima, 1 – kamera snima).	48
Slika 6-1. Konfiguriranje leta za snimanje obiju obala ravničarske rijeke ravnog toka.	51
Slika 6-2. Prikaz provedenog leta za snimanje obala.	51

Slika 7-1. Prikaz provedenog leta za određivanje brzine gibanja golf-diska: a) prikaz leta kvadrotora s naznačenom razvijenom ukupnom strujom, b) vremenska ovisnost ukupne brzine kvadrotora tijekom cjelokupnog leta s više bacanja snimanog diska.	56
Slika 7-2. Podatci o letu kvadrotora tijekom njegova praćenja bačenog diska: a) vremenska ovisnost ukupne brzine kvadrotora, b) smjer uzdužne osi kvadrotora, c) razvijena struja.....	57
Slika 8-1. Vremenske ovisnosti u prvom letu za a) visinu kvadrotora iskazanu kao nadmorska visina, b) vertikalnu brzinu kvadrotora, c) razvijenu ukupnu struju i d) zadani potisak.	60
Slika 8-2. Vremenske ovisnosti u drugom letu za a) visinu kvadrotora iskazanu kao nadmorska visina, b) vertikalnu brzinu kvadrotora, c) razvijenu ukupnu struju i d) zadani potisak.	62

Kazalo tablica

Tablica 1. Primjer navigacijske pripreme. AGL znači visinu nad tlom (engl. <i>Above Ground Level</i>).	13
Tablica 2. Značenje razina prijema satelitskog signala	35
Tablica 3. Navigacijska priprema za mjerenje visine drveta na horizontalnoj podlozi	39
Tablica 4. Navigacijska priprema za mjerenje visine drveta na padini	40
Tablica 5. Navigacijska priprema za snimanje obala rijeke. Visina uspinjanja x objašnjena je u tekstu ove vježbe	52

Popis ključnih pojmova

bespilotna letjelica	7
daljinski upravljač	12
indicirana napunjenost baterija	15
krilo	7
kvadrotor	10
let	6
potisak	8
propinjanje	25
skretanje	24
uzgon	7
uzgonska cjelina	7
valjanje	25
zrakoplov	7

Popis oznaka i kratica

AGL	13
AMC	11
CEST	34
CET	34
CSV	32
DD	34
DMS	34
GLONASS	26
GDOP	34
GNSS	12
GPS	26
P-GPS	34
RTH	14
UTC	34
VTOL	10

E_r inducirana napunjenost baterija, %

I struja, A

h visina u odnosu na tlo, m

v brzina, m/s

α smjer, °

Impressum

Autor: Josip Stepanić

Lektor: Jasmina Pažanin

Recenzent: Josip Kasać