

Analiza letnih značajki višenamjenskog bespilotnog oktokoptera

Podhraški, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:929024>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Luka Podhraški

**ANALIZA LETNIH ZNAČAJKI VIŠENAMJENSKOG
BESPILOTNOG OKTOKOPTERA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 31. ožujka 2017.

Zavod: **Zavod za zračni promet**
Predmet: **Osnove tehnike zračnog prometa**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4351

Pristupnik: **Luka Podhraški (0135224786)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Analiza letnih značajki višenamjenskog bespilotnog oktokoptera**

Opis zadatka:

U uvodnim postavkama potrebno je definirati predmet istraživanja, objasniti svrhu i cilj istraživanja, dati osvrt na dosadašnja istraživanja te ukratko prikazati kompoziciju rada. Dati prikaz zakonske regulative o bespilotnim letjelicama u Republici Hrvatskoj/Europskoj Uniji. Definirati osnovne tehničko-tehnološke značajke bespilotnog oktokoptera. Analizirati letne značajke bespilotnog oktokoptera. Izvesti konkretne zaključke i interpretirati rezultate istraživanja.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

Andrija Vidović

izv. prof. dr. sc. Andrija Vidović

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**ANALIZA LETNIH ZNAČAJKI VIŠENAMJENSKOG
BESPILOTNOG OKTOKOPTERA**

**PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTI-PURPOSE
UNMANNED OKTOKOPTER**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Andrija Vidović

Student: Luka Podhraški

JMBAG: 0135224786

Zagreb, rujan 2017.

ANALIZA LETNIH ZNAČAJKI VIŠENAMJENSKOG BESPILOTNOG OKTOKOPTERA

SAŽETAK

Bespilotne letjelice su se u vrlo kratkom vremenu počele masovno koristiti u komercijalne svrhe. Najrasprostranjenija aktivnost bespilotnih letjelica danas je fotografiranje iz zraka i snimanje video materijala različite namjene. Razvojem komunikacijske i računalne tehnologije te minimiziranjem komponenti sustava tih dviju tehnologija, omogućena je implementacija procesora za obradu informacija i komunikacijskih uređaja na bespilotne letjelice čime se dobiva autonomni sustav jednostavan za upravljanje i rukovanje, malih dimenzija i prihvatljivih letnih značajki. Bespilotne letjelice tipa oktokofer predstavljaju sigurne sustave koji se mogu primjenjivati u mnogim granama industrije u svrhu inspekcije, detekcije, istraživanja, nadzora i drugih aktivnosti, na mjestima gdje čovjek ne može pristupiti. Povećanjem broja ovakvih bespilotnih sustava u zraku javljaju se problemi sigurnosnog aspekta. Takve probleme pokušava se riješiti zakonskim regulativama i pravilnicima o upravljanju bespilotnim sustavima, ali unificirana regulativa za ta pitanja u Europi i Svijetu trenutno ne postoji.

KLJUČNE RIJEČI: bespilotna letjelica; oktokofer; autonomni sustavi; letne značajke

PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTI-PURPOSE UNMANNED OCTOCOPTER

SUMMARY

The use of unmanned aerial vehicles has spread in a short time period. The most widespread activity of unmanned aerial vehicles today is aerial photography and video recording of various purposes. With the development of communication and computer technology and by minimizing the system components of two technologies, the implementation of information processing processor and communication devices on unmanned aerial vehicles has been enabled. Those two components provide an autonomous system, easy to handle, with small proportions and with suitable flight characteristics. Unmanned aerial vehicles like octocopters are safe systems that can be used in many branches of the industry for inspection, detection, research, surveillance and other activities where people cannot access. By increasing the number of such unmanned aerial systems, problems of security concern occur. Such problems are being solved by legal regulations and rules governing unmanned systems management, but unified regulations for these issues in Europe and the World currently do not exist.

KEYWORDS: unmanned aerial vehicle; octocopter; autonomous system; flight characteristics

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	ZAKONSKA REGULATIVA O BESPILOTNIM LETJELICAMA	4
3.	KOMPONENTE BESPILOTNOG OKTOKOPTERA	8
3.1.	Upravljački sustav	9
3.1.1.	Daljinski upravljač DJI Lightbridge 2	11
3.1.2.	Procesor za obradu upravljačkih naredbi DJI A3 - kontroler leta	12
3.2.	KONSTRUKCIJA BESPILOTNOG OKTOKOPTERA	15
3.2.1.	Centralna konstrukcija	16
3.2.2.	Stajni trap	17
3.2.3.	Pogonski sustav	18
3.2.4.	Sustav napajanja električnom energijom	19
3.3.	SIGURNOSNI SUSTAV	21
4.	USPOREDBA LETNIH ZNAČAJKI BESPILOTNIH OKTOKOPTERA DJI S1000 I DYS D800 X8	23
4.1.	Usporedba kontrolera leta	25
4.2.	Usporedba daljinskih upravljača	26
4.3.	Analiza istrajnosti leta	26
5.	ZAKLJUČAK	38
	POPIS LITERATURE	40
	POPIS SLIKA	42
	POPIS TABLICA	43

1. UVOD

Razvojem tehnologije u posljednjih stotinjak godina, letenje je postalo moguće. Braća Wright otvorili su vrata zračnog prijevoza, pa su se tako ubrzano počeli razvijati zrakoplovi koji danas prevoze milijune putnika diljem svijeta, koriste se u vojne svrhe, u misijama spašavanja, fotografiji iz zraka i raznim drugim djelatnostima. Pojavom uređaja za prijenos informacija putem zraka s bespilotnim letjelicama počelo se eksperimentirati i prije pojave zrakoplova, a njihova namjena pretežito je bila u vojne svrhe.

Lansiranjem prvih satelita u svemir otvaraju se nova vrata. Globalni navigacijski sustavi poput GPS (*engl. Global Positioning System*) sustava, Glonass (*rus. Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) sustava, BeiDou (kineski navigacijski sustav) ili IRNSS (*engl. Indian Regional Navigation Satellite System*) omogućuju precizno određivanje pozicije na zemlji, a svoju primjenu nalaze i u određivanju pozicije bespilotnih sustava koji pomoću njih mogu letjeti potpuno autonomno. [1]

Pojavom pristupačnih motora bez četkica (*engl. brushless*) te unaprjeđenjem baterija i minijaturizacijom električkih komponenti došlo je do ekspanzije multi-rotor letjelica na tržištu. Razvoj kontrolera leta omogućio je jednostavno upravljanje inače složenim sustavom upravljanja, što je rezultiralo masovnom proizvodnjom i korištenjem multi-rotor letjelica u razne svrhe.

Prema definiciji bespilotna letjelica predstavlja letjelicu bez posade, kojom se može upravljati putem daljinskog upravljača, a može letjeti i samostalno uporabom unaprijed programiranog plana leta ili pomoću složenih autonomnih dinamičkih sustava.

Letne značajke bespilotnih letjelica razlikuju se najčešće u ovisnosti o namjeni. Tako bespilotne letjelice izrađene na principu aviona s jednim pogonskim motorom svoju namjenu nalaze u sportskim aktivnostima i vojnim izviđački aktivnostima, te za specijalna snimanja. Prednost ovakvih letjelica je jednostavnost izvedbe i vrijeme koje mogu provesti u zraku.

Danas su popularne multi-rotor letjelice koje za razliku od letjelica po principu aviona lete po principu leta helikoptera. Posjeduju tri ili više rotora koji promjenom broja okretaja pojedinog motora utječu na promjenu smjera letenja, a bitna prednost je što mogu lebdjeti na mjestu i time nalaze svoju primjenu u aktivnostima snimanja iz zraka, misijama spašavanja i specijalnim snimanjima. Nedostatak multi-rotor letjelica, koje koriste električnu energiju, je izrazito velika potrošnja energije za napajanje svih motora, pa tako njihov let ne traje duže od dvadesetak minuta.

Bespilotni oktokopter DJI S1000 je dizajniran za profesionalnu zračnu fotografiju i kinematografiju, a može ga se koristiti i za slične operacije poput termografskog snimanja iz zraka ili trodimenzionalne kartografije. Jednostavan je za korištenje i upravljanje, siguran, stabilan, dizajniran tako da montažu i konfiguraciju čini jednostavnom i brzom. Sklopivi

stajni trap, prigušivači vibracija, krakovi pod kutom i specijaliziran nosač kamere omogućavaju kameri puni pregled svih 360° oko letjelice. Patentirana ploča za distribuciju električne energije, ugrađena elektronička kontrola okretaja motora i motori s visokotlačnim propelerima, osiguravaju dinamičku stabilnost i maksimiziranu učinkovitost bespilotnog oktokoptera.

Prednost bespilotnih letjelica jest neugrožavanje života pilota odnosno osobe koja njime upravlja pa mogu letjeti iznad opasnog terena, na velikim visinama i u opasnim uvjetima. U slučaju pada ili gubitka letjelice, šteta je samo materijalna. Mogu se transportirati do željene površine uzlijetanja, ne trebaju im velike uzletno-sletne površine te se mogu lako skladištiti zbog mogućnosti brzog rastavljanja i sklapanja.

Terminologija koja se trenutno koristi za bespilotne civilne ili vojne letjelice je raznolika: dron, bespilotna letjelica UAV (*engl. Unmanned Aerial Vehicle*), bespilotni zrakoplovni sustav UAS (*engl. Unmanned Aerial System*), daljinski upravljani zrakoplovni sustav RPAS (*engl. Remotely Piloted Aerial System*) ili letjelica RPA (*engl. Remotely Piloted Aircraft*). Ovi nazivi ne daju uvijek uvid u specifične značajke različitih letjelica i sustava. Riječ „dron“ vojnog je podrijetla, no ponekad se upotrebljava i za letjelice i sustave koji se koriste u civilne svrhe. Izrazi RPAS i UAV u skladu su s međunarodnom regulativom Međunarodne organizacije za civilno zrakoplovstvo ICAO (*engl. International Civil Aviation Organization*). ICAO ne koristi pojam „dron“, no on je u govornom jeziku danas vrlo uvriježen. Ipak, kako bi se izbjegle pravne nejasnoće, uključujući i u pogledu odgovornosti i osiguranja, preporučuje se da se u europskom kontekstu u što većoj mjeri koristi terminologija ICAO-a.

Regulativa Republike Hrvatske uređuje pravila o upravljanju bespilotnim sustavima u civilne svrhe putem zakona o zračnom prometu odnosno pravilnika o sustavima bespilotnih zrakoplova. Ovakvi pravilnici doneseni su diljem svijeta s ciljem povećanja sigurnosti i sprječavanja neovlaštenog korištenja bespilotnih sustava.

Predmet istraživanja su letne značajke višenamjenskog bespilotnog oktokoptera koji po zakonskoj regulativi Republike Hrvatske spada u bespilotne letjelice kategorije 25. Svrha istraživanja je izraditi usporednu analizu letnih značajki bespilotnog oktokoptera na temelju tvorničkih specifikacija i mjerenja istrajnosti leta u ovisnosti o vrsti i karakteristikama baterijskog izvora napajanja. Cilj završnog rada je detaljno obraditi i objasniti princip rada svih komponenata modernog višenamjenskog bespilotnog oktokoptera, testirati letjelicu i usporediti sa sličnom inačicom bespilotnog oktokoptera, ali drugoga tipa.

Rad je podijeljen u pet poglavlja:

1. Uvod
2. Zakonska regulativa o bespilotnim letjelicama
3. Konstrukcija bespilotnog oktokoptera
4. Usporedba letnih značajki bespilotnih oktokoptera DJI S1000 i DYS D800 X8
5. Zaključak

U uvodnom poglavlju predstavljen je predmet istraživanja, definirani su svrha i cilj istraživanja te je predložena struktura rada.

U drugom poglavlju obrađena je tema zakonske regulative koja u ovom trenutku postavlja osnovne okvire za sve one koji žele legalno i odgovorno upravljati bespilotnim sustavima u Republici Hrvatskoj i svijetu.

Treće poglavlje sadrži sažetak podataka o dizajnu višenamjenskog bespilotnog oktokoptera. Zbog kompleksnosti sustava svaka komponenta bespilotnog oktokoptera detaljno je analizirana i obrađene su najbitnije informacije o pojedinom sustavu letjelice u zasebnom poglavlju. Tako je bespilotni opktokopter podijeljen na šest komponenti koje zajedno čine stabilan i pouzdan sustav. Centralna konstrukcija predstavlja mjesto na kojem se nalaze sve upravljačke komponente bespilotnog sustava, krakovi ili nosači motora su noseća konstrukcija pogonskog sustava, stalni trap omogućuje siguran kontakt sa podlogom za polijetanje i slijetanje, pogonski sustav omogućava let oktokopteru, a sustav napajanja električnom energijom opskrbljuje sustav najbitnijom stavkom, energijom.

U četvrtom poglavlju obrađene su performanse višenamjenskog bespilotnog oktokoptera DJI S1000 i uspoređene sa starijom inačicom koaksijalnog višenamjenskog bespilotnog oktokoptera DYS D800 X8. Usporedba prikazuje razlike u ponašanju letjelice tokom leta na temelju razlika između upravljačkog sustava i na temelju razlika u konstrukcijskoj izvedbi višenamjenskih bespilotnih oktokoptera.

Peto zaključno poglavlje konkretizira istraživanje predmetne materije prema nabrojanim poglavljima.

2. ZAKONSKA REGULATIVA O BESPILOTNIM LETJELICAMA

Pravila koja vrijede za zrakoplove ne mogu se primjenjivati za bespilotne letjelice. Stoga su formirani propisi i pravila koje pravne i/ili fizičke osobe moraju ispuniti kako bi mogle snimati iz zraka kopnena područja i vodene površine u Republici Hrvatskoj.

U Narodnim novinama broj 49/15 od 6. svibnja 2015. godine objavljen je Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova (u daljnjem tekstu Pravilnik) koji je stupio na snagu osmog dana nakon objave. Tim Pravilnikom, kako je navedeno u članku 1, propisuju se opći, tehnički i operativni uvjeti za sigurnu uporabu bespilotnih zrakoplova, sustava bespilotnih zrakoplova i zrakoplovnih modela te uvjeti kojima moraju udovoljavati osobe koje sudjeluju u upravljanju tim zrakoplovima i sustavima. [1]

Odredbe Pravilnika primjenjuju se na sustave bespilotnih zrakoplova, operativne mase bespilotnog zrakoplova (ukupna masa u trenutku polijetanja) do i uključujući 150 kilograma koji se koriste na području Republike Hrvatske. Odredbe ovog Pravilnika ne odnose se na sustave bespilotnih zrakoplova kada se koriste za državne aktivnosti, na one koji ne mogu postići kinetičku energiju veću od 79 J te kada se koriste u zatvorenom prostoru. Nadležna institucija za izdavanje odobrenja i općenito regulacije svih operacija je Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo - HACZ.

Inozemne pravne i fizičke osobe smiju snimati iz zraka nakon pribavljenog odobrenja za snimanje iz zraka i prethodno pribavljene suglasnosti ministarstva nadležnog za poslove obrane.

Odobrenja izdaje Državna geodetska uprava. Odobrenje se izdaje za svako pojedinačno snimanje. Odobrenje se može iznimno izdati za više pojedinačnih snimanja u određenom razdoblju za potrebe izvješćivanja o izvanrednim događajima (prometne gužve, prometne nesreće, prirodne nepogode i sl.).

Prilikom snimanja iz zraka pravne i fizičke osobe moraju se pridržavati odredbi koje se odnose na zračni promet i upravljanje i let zrakoplova. Odobrenje se izdaje snimatelju i sadrži podatke o snimatelju, naručitelju snimanja, području i vremenu snimanja te svrsi snimanja. Odobrenje se može izdati za razdoblje od najviše 3 mjeseca. Primjerak odobrenja Državna geodetska uprava dostavlja Hrvatskoj agenciji za civilno zrakoplovstvo.

Zahtjev neposredno podnosi naručitelj snimanja Državnoj geodetskoj upravi. Zahtjev mora sadržavati sljedeće podatke:

1. podatke o naručitelju snimanja
2. podatke o snimatelju
3. podatke o operatoru snimanja

4. podatke o zrakoplovu
5. podatke o operatoru zrakoplova
6. podatke o izvršitelju razvijanja u slučaju da je različit od snimatelja
7. podatke o vremenu snimanja
8. svrhu snimanja
9. plan snimanja na karti u mjerilu 1:100.000 ili krupnije s označenim područjem snimanja
10. podatak radi li se o pojedinačnom snimanju
11. podatke o vrsti snimanja, kameri/senzoru, žarišnoj daljini objektiva, filmu ili formatu digitalnog zapisa snimka
12. mjesto čuvanja snimljenog materijala.

Kako bi se procijenila razina rizika za svaku letačku operaciju potrebno je klasificirati bespilotne zrakoplove i područje letenja. Bespilotni zrakoplovi se dijele, s obzirom na operativnu masu, u tri klase: Klasa 5 (do 5 kilograma), Klasa 25 (od 5 do 25 kilograma), Klasa 150 (od 25 kilograma do i uključujući 150 kilograma). Područja letenja dijele se u četiri klase u odnosu na izgrađenost, naseljenost i prisutnost ljudi. [1]

Prije same letačke operacije treba provesti kategorizaciju iste. Kategorija letačkih operacija se određuje razinom rizika kojom bi izvođenje te operacije predstavljalo za okolinu i dijeli se u četiri skupine A, B, C i D vidljive u tablici 13. Kategorija A predstavlja operaciju s minimalnom opasnosti, dok kategorija D s maksimalnom. U skladu sa svakom kategorijom propisani su određeni zahtjevi koje je potrebno ispuniti. U tablici oznaka OM predstavlja operativnu masu zrakoplova.

Tablica 1. Kategorije letačkih operacija bespilotnim sustavom [1]

Kategorije letačkih operacija	Klasa područja izvođenja letenja			
Klasa sustava bespilotnog zrakoplova	I	II	III	IV
5 OM<5kg	A	A	B	C
25 5kg≤OM<25kg	A	B	C	D
150 25≤OM≤150 kg	B	C	D	D

Rukovatelj mora osigurati da se let bespilotnog zrakoplova izvodi na način da ne predstavlja opasnost po život, zdravlje ili imovinu ljudi zbog udara ili gubitka kontrole nad sustavom bespilotnog zrakoplova i da ne ugrožava ili ne ometa javni red i mir. Let bespilotnog zrakoplova treba se odvijati danju. Prije leta treba provjeriti ispravnost cijelog sustava i na odgovarajući način pričvrstiti svu opremu i teret na bespilotnom zrakoplovu kako ne bi došlo do štetnih događaja.

Meteorološki i ostali uvjeti na području letenja ne smiju utjecati na sigurnost izvođenja leta. Tijekom leta treba osigurati sigurnu udaljenost bespilotnog zrakoplova od ljudi, životinja, objekata, vozila, plovila, drugih zrakoplova, cesta, željezničkih pruga, vodenih putova ili dalekovoda koja ne smije biti manja od 30 metara, dok minimalna udaljenost od skupine ljudi je 150 metara. Let bespilotnog zrakoplova uvijek mora biti unutar vidnog polja rukovatelja i na udaljenosti do 500 metara od rukovatelja. Potrebno je osigurati da se let bespilotnog zrakoplova odvija izvan kontroliranog zračnog prostora i na udaljenosti najmanje 3 kilometra od aerodroma i prilazne ili odlazne ravnine aerodroma. Tijekom leta zabranjeno je izbacivati predmete iz ili s bespilotnog zrakoplova.

Trenutno u svijetu ne postoji općeprihvaćena podjela bespilotnih letjelica iako se intenzivno radi na ovom pitanju. Kriteriji za podjelu također nisu usuglašeni, a ima ih više. Podjela bespilotnih letjelica može biti temeljena na namjeni, masi, maksimalnoj visini koju može postići, maksimalnom doletu, području letenja, konstrukcijskoj izvedbi, kontroli i upravljanju te istrajnosti leta.

Iako ne postoji općeprihvaćena podjela bespilotnih letjelica, ovo su neke od podjela koje se koriste za vojne i civilne bespilotne operacije:

a) Po namjeni

- mikro ili mini
- taktičke
- strateške
- letjelice posebne namjene

b) Po masi prema zakonu u Republici Hrvatskoj dijele se na

- bespilotne letjelice mase manje od 5 kg
- bespilotne letjelice mase između 5 i 25 kg
- bespilotne letjelice mase između 25 i 150 kg

c) Po načinu kontrole i upravljanja:

- autonomni sustav
- sustav samoupravljanja
- sustave upravljanja po radarskom ili radio snopu
- sustav telekomandnog upravljanja
- kombinirani sustav upravljanja

d) Prema konstruktivnoj izvedbi:

- one koje stvaraju uzgon na krilima (princip aviona)
- one koje stvaraju uzgon na elisama (princip helikoptera, multirotora)

Na temelju dokumenta „Roadmap for the integration of civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation System“ europska RPAS5 Steering Group (ERSG6) dobila je ovlast za utvrđivanje smjernica za sigurno uvođenje civilnih bespilotnih letjelica u europski zrakoplovni sustav, s ciljem integracije do 2016. godine.

Svaka država koja je dozvolila korištenje bespilotnih sustava u civilne svrhe, uređuje svoja vlastita pravila i načine na koji će regulirati korištenje bespilotnih sustava. Nastojanje država je da se pravila o korištenju bespilotnih sustava usuglase i da vrijede u svim državama ili da se podjele na Europu, Sjedinjene Američke Države, Aziju i slično. Stvaranje unificiranih pravila omogućuje nadzor i korištenje bespilotnih sustava diljem Svijeta, što bih u konačnici rezultiralo smanjenjem bespravnog korištenja bespilotnih sustava i povećanjem sigurnosti ljudi i okoline.

Sjedinjene Američke Države primjenjuju slična pravila za svoje 52 države kroz pravila o korištenju bespilotnih sustava izrađenih od strane FAA (*engl. Federal Aviation Administration*). Europska unija ima slična pravila koja bih se do kraja 2019. godine trebale ujediniti u svim državama Europske unije. Pravila unutar Europske unije uređena su od strane EASA-e (*engl. European Aviation Safety Agency*) i po osnovnom principu ne razlikuju se od pravila koja se koriste i u ostatku svijeta. [2, 3]

Strogo definirana pravila korištenja i definirani postupci potrebni za dobivanje dozvole za upravljanje bespilotnim sustavima, omogućuju širenje i razvoj tehnologije bespilotnih sustava. Tako su se na temelju takvih pravila na tržištu počele pojavljivati brojne računalne i mobilne aplikacije te dodatna oprema za bespilotne sustave. Namjena takvih uređaja i aplikacija je povećanje sigurnosti bespilotnih operacija korištenjem dnevnika operacija, pohranjivanjem ruta operacija, izradom popisa koraka za provjeru opreme bespilotnih sustava prije izvođenja operacija, ugradnja padobranskih sustava, ugradnja dodatne opreme za povećanje autonomije i razne druge primjene.

3. KOMPONENTE BESPILOTNOG OKTOKOPTERA

U današnje vrijeme poseban značaj i široku primjenu dobila je vrsta bespilotnih letjelica koju se naziva multi-rotori¹, a za koju se skoro uvijek koristi naziv dronovi. Komponente bespilotnih letjelica se znatno razlikuju s obzirom na različite konstrukcijske izvedbe odnosno tip bespilotne letjelice, pa se tako najjednostavnije letjelice poput bespilotnih jedrilica malih dimenzija sastoje od nekolicine jednostavnih komponenti poput uređaja za promjenu pravca letenje i konstrukcije letjelice.

Takve komponente su uglavnom električni aktuatori² i prijemnik koji su smješteni na samu konstrukciju letjelice. Aktuatori pokreću polugice upravljačkih površina, dok prijemnik signale od operatera bespilotnog sustava zaprima i pretvara u električne impulse aktuatora kako bi se radnja promjene pravca leta izvršila.

Multi-rotor bespilotne letjelice se za razliku od jedrilica sastoje od kompleksnijih komponenti koje su prvenstveno potrebne za upravljanje većim brojem motora tj. minimalno tri motora, a zatim i za upravljanjem ostalim sustavim poput sustava za precizno određivanja pozicije ili žiroskopskog stabilizatora kamere (*engl. Gimbal*), koja je namijenjena za upravljanje kamerom postavljenom na bespilotnu letjelicu, i raznim drugim uređajima.

Konstrukcijske izvedbe multi-rotor letjelica se uglavnom razlikuju u ovisnosti od broja motora koji su ugrađeni na krakove letjelice tj. nosače motora. Motori su pretežito simetrično postavljeni oko centralne konstrukcije letjelice na udaljenosti dostatnoj da se do centralne konstrukcije može nesmetano pristupiti prije svakoga leta. Na centralnu konstrukciju se u nekim izvedbama bespilotnih letjelica povezuje i stajni trap koji može biti nepomičan i pomičan, odnosno sklopiv.

Cijeli sustav bespilotnog oktokoptera čini više zasebnih elemenata, a to su:

- a) Upravljački sustav, koji se sastoji od:
 - daljinskog upravljača i
 - procesora za obradu upravljačkih naredbi
- b) Konstrukcija, koja se sastoji od:

¹ Letjelica koja na svojoj konstrukciji nosi više od jednog rotora potrebnog za stvaranje uzgona i ostvarivanje leta.

² Naprava kojom se na pobudu upravljačkoga signala pokretni dijelovi sustava dovode u željeni položaj, ostvaruje se njihovo gibanje ili razvija sila ili moment kojim ti dijelovi djeluju na okolinu.

- centralne konstrukcije
- krakova, nosača motora
- po potrebi stajnog trapa
- pogonskog sustava
- sustava napajanja električnom energijom i
- žiroskopskog stabilizatora kamere, te

c) Sigurnosni sustav

3.1.Upravljački sustav

Upravljački sustav oktokoptera se sastoji od dvije glavne komponente namijenjene za brzo, efikasno i direktno upravljanje bespilotnom letjelicom. Prijemnik na letjelici i predajnik na daljinskom upravljaču omogućuju vezu između svakog pokreta bespilotne letjelice i pokreta palica na daljinskom upravljaču operatera bespilotnog sustava, što predstavlja prvu komponentu. Druga komponenta je kontroler leta koji sve zaprimljene informacije od strane prijmnika obrađuje i koristi za preciznu korekciju rada motora uz prethodnu sinkronizaciju sa sustavom za određivanje pozicije. Obije komponente su prikazane na slici 1.



Slika 1. Upravljački sustav - daljinski upravljač (gore) i kontroler leta (dolje) [4]

Predaja i prijem signala radi na jednostavnom principu radiovalova određene frekvencije u kojemu je pohranjena informacija o pokretima sa palica daljinskog upravljača ili naredbama koje se mogu zadati putem pametnog telefona ili dlanovnika.

Kod jednostavnih bespilotnih sustava prijam i obrada signala ne predstavlja neku kompleksnu radnju jer se ti signali uglavnom odnose na pokret nekog aktuatora ili na brzine okretaja motora, što bi se moglo pojednostaviti i objasniti kao da u binarnom sustavu broj 1 znači pokretanje aktuatora u jednu stranu, a broj 0 znači pokretanje u drugu stranu.

Kod multi-rotor bespilotnih sustava, konkretno oktokoptera koji je tema ovog rada, kompleksnost obrade zaprimljenog signala o promjeni smjera kretanja letjelice se povećava brojem motora same letjelice. Tako se, za ne tako jednostavno objašnjenje ovog problema, mora prebaciti u trodimenzionalni koordinatni sustav i za primjer uzeti multi-rotor letjelicu sa 4 rotora. Mora se uzeti u obzir da se za održavanje letjelice u stanju lebdjenja motori u idealnim uvjetima okreću jednakom brzinom, ali se dva dijagonalna vrte u smjeru kazaljke na satu, a preostala dva u suprotnome smjeru. Promjena broja okretaja rotora na jednom kraku letjelice značiti će podizanje ili spuštanje toga kraka oko horizontalne osi bespilotne letjelice. Okretanje letjelice oko vertikalne osi omogućeno je povećanjem broja okretaja dvaju dijagonalnih rotora letjelice i smanjenjem broja okretaja na preostala dva dijagonalna rotora. Kombinacijom ovih radnji, kojima upravlja kontroler leta po zahtjevu operatera bespilotnog sustava, omogućen je let bespilotne letjelice.

Kada se u kretanje bespilotne letjelice uračunaju realni uvjete leta, kao što je vjetar, zadaća kontrolera leta postaje zahtjevnija. Svaki poremećaj u kretanju zraka oko letjelice može utjecati na letjelicu i na njeno kretanje u zraku. Tako će bočni udar vjetra letjelicu pomicati u smjeru vjetra, a operater bespilotnog sustava mora biti u stanju kompenzirati kretanje i održati letjelicu na željenom mjestu ili na željenom pravcu kretanja. Bespilotni oktokopter koji je predmet ovog rada je velikih dimenzija što utječe na agilnost kretanja letjelice u zraku i svaki neželjeni vanjski utjecaj znatno otežava kontrolu nad letjelicom. Problem vanjskih utjecaja na letjelicu riješen je kroz rad kontrolera leta koji svojom automatskom kompenzacijom utječe na održavanje letjelice na željenom pravcu ili poziciji tokom leta. Kompenzacija je omogućena korištenjem GPS uređaja za određivanje pozicije, koji u trenutku pomaka od željene pozicije kontroleru leta prikazuje odstupanje od željene pozicije i na temelju odstupanja letjelica se nastoji vratiti u željeni položaj. Svaki pokret letjelice koji nije dirigiran od strane operatera bespilotnog sustava biti će prepoznat i letjelica će sama poduzeti potrebne korekcije u radu motora da bih savladala vanjski utjecaj.

U svrhu autonomije bespilotne letjelice neophodno je da upravljački uređaj „zna“ poziciju bespilotne letjelice. Trenutno popularna metoda utvrđivanja pozicije i navigacije između dvije točke je primjena GPS-a. Signali koji se koriste za vezu sa bespilotnim sustavom i satelitima koji su namijenjeni za određivanje pozicije na zemlji, su modulirani i koriste šifrirane kodove. Preciznost GPS sustava varira u ovisnosti od položaja samih satelita i bespilotne letjelice, pa se tako preciznost može poboljšati koristeći se sustavom DGPS (*engl.*

Differential Global Positioning System). Ovaj sustav poboljšava preciznost koristeći se zemaljskim stanicama koje vrše korekciju položaja koje pokazuju sateliti.

Održavanje besprekidne komunikacije s letjelicom je od najveće važnosti kada se obavljaju operacije bespilotnom letjelicom. Bez komunikacije bespilotni sustav je u nemogućnosti odraditi bilo kakvu radnju do te mjere da prekid komunikacije može kod nekih sustava dovesti do pada letjelice ili potpunog gubitka kontrole nad letjelicom. Problem gubitka komunikacije se danas rješava modernim kontrolerima leta koji u tom trenutku mogu reagirati i onemogućiti pad ili oštećenje letjelice. Moderni kontroler leta će u trenutku gubitka veze sa operaterom bespilotnog sustava, pokrenuti sigurnosnu mjeru koja će bespilotnu letjelicu vratiti na mjesto polijetanja ili će ju spustiti na tlo ispod pozicije na kojoj se trenutno nalazi. Kako bih se letjelica vratila na mjesto polijetanja prilikom pokretanja bespilotnog sustava kontroler leta će zapamtiti poziciju na kojoj se nalazi ako mu je omogućen pristup GPS lokacijskim podacima.

Upravljački sustavi danas posjeduju mogućnost povezivanja sa računalom, pametnim telefonom ili dlanovnikom preko kojega je moguće utjecati na brojne parametre letjelice, a to su precizna podešavanja performansi letjelice, optimizirati sustav upravljanja po potrebama operatera bespilotnog sustava i ažurirati sustav najnovijim verzijama softverske podrške koje ispravljaju greške u radu sustava.

Za slučaj oktokoptera koji je predmet ovog rada podešavanje parametara letjelice i ažuriranje sustava letjelice moguće je ostvariti putem računalne aplikacije DJI³ Assistant 2. Aplikacija je namijenjena za sve vrste DJI proizvoda i ovisno o proizvodu aplikacija omogućuje upravljanje specifičnim parametrima za taj proizvod.

3.1.1. Daljinski upravljač DJI Lightbridge 2

Uređaj DJI lightbridge 2 predstavlja poseban sustav namijenjen za prijenos upravljačkih informacija letjelici u zraku i za primanje informacija o stanju letjelice te video snimke sa kamere na letjelici. Sustav se sastoji od daljinskog upravljača, koji na sebi ima niz komandi potrebnih za sigurno upravljanje bespilotnom letjelicom i od primo-predajnika za prijam i predaju informacija koji se nalazi na samoj letjelici i daljinskom upravljaču. [5]

Kako bi nadzor svih relevantnih informacija o statusu letjelice bili dostupni u svakom trenutku, daljinski upravljač je tako dizajniran da se na njega može ugraditi nosač za mobilne

³ DJI (*kineski Dà-Jiāng*) – Kineska tvrtka koja proizvodi bespilotne letjelice.

uređaje kao što su pametni telefon ili dlanovnik. Prikupljene informacije o statusu letjelice se sa bespilotne letjelice šalju na daljinski upravljač koji je USB (*engl. Universal Serial Bus*) kabelom povezan sa mobilnim uređajem i pomoću aplikacije, instalirane na uređaj, moguće je dobiti podatke o visini na kojoj se letjelica nalazi, brzini leta, smjeru leta, orijentaciji i položaju letjelice, parametrima baterija i drugo. Takvo sučelje omogućuje operateru stalni kontakt sa letjelicom, a naziva se „up-link“ i omogućuje slanje upravljačkih informacija letjelici, te „down link“ kada se radi o zaprimanju informacija o statusu letjelice.

Važno je napomenuti da se upravljanje bespilotnom letjelicom može ostvariti u potpunosti preko aplikacije instalirane na mobilnom uređaju zadajući letjelici naredbe putem aplikacije pritiskom na zaslon. Postoje razne mobilne aplikacije za uređaj DJI Lightbridge 2 koje su u mogućnosti vršiti upravljanje i nadzor bespilotne letjelice i svaka ima sebi svojstvenu namjenu. Za upravljanje bespilotne letjelice koja je predmet ovog rada koristila se aplikacija DJI GO koja je u potpunosti kompatibilna sa svim uređajima na bespilotnom oktokopteru i namijenjena je za rad sa DJI Lightbridge 2 i raznim drugim DJI proizvodima.

3.1.2. Procesor za obradu upravljačkih naredbi DJI A3 - kontroler leta

Centralni upravljački uređaj svih modernijih bespilotnih sustava predstavlja jedan ovakav procesor koji je sposoban u vrlo kratkom vremenskom periodu obraditi pozamašnu količinu informacija bez zastajkivanja ili prekida u radu. Na ovaj uređaj spojeni su svi uređaji ugrađeni na bespilotnoj letjelici i ima zadatak koordinirati sve radnje tih uređaja.

Da bi multi-rotor uopće mogao funkcionirati i biti upravljiv mora imati kontroler leta. Taj elektronski uređaj u sebi ima ugrađen elektronski kompas, žiroskop, akcelerometar i GPS modul za utvrđivanje položaja letjelice. Ovakav sklop osjetila naziva se IMU (*engl. Internal Measurement Unit*), a koristi se u svrhu upravljanja bespilotnom letjelicom, avionima, svemirskim letjelicama, satelitima i mnogim drugim letjelicama. Prilikom obrade i pohrane podatke od navedenih osjetilnih elemenata kontroler leta šalje informacije ostalim uređajima kako i što trebaju poduzeti u određenim situacijama. Tako je najbitnija funkcija upravljanje motorima preko kojih je omogućeno upravljanje pravcem i dinamikom leta.

DJI A3 kontroler leta, koji se koristi na ovom bespilotnom oktokopteru, je pouzdan i snažan sustav kontrole leta koji je idealan za razne multi-rotor platforme. Koristi napredne algoritme za obradu podataka iz osjetnih elemenata radi održavanja potpune stabilnosti i integriteta bespilotnog sustava.

Kontroler leta DJI A3 je u potpunosti kompatibilan s DJI SDK (*engl. Software Development Kit*), koji omogućuje programerima da optimiziraju rad bespilotnog sustava za specijalizirane radnje, odnosno specijalizirane operacije bespilotnim sustavom.

Kada se A3 koristi s DJI Lightbridge 2, ima izravan pristup značajkama aplikacije DJI GO, kao što je inteligentni načini leta. Značajka inteligentnog načina leta omogućuje operateru bespilotnog sustava da prilikom leta odredi način na koji upravlja letjelicom.

Načini upravljanja kod DJI A3 kontrolera leta su:

1. Način P (*engl. Positioning mode*)

- a. P-GPS – način upravljanja u kojemu letjelica primarno koristi lokacijske podatke GPS sustava i sekundarno vizualne podatke iz osjetila za održavanje željene pozicije.
- b. P-OPTI (*engl. Optical*) – način upravljanja u kojemu letjelica željenu poziciju održava na temelju vizualnih podataka iz osjetila, a ne pomoću lokacijskih podataka GPS sustava.
- c. P-ATTI (*engl. Attitude*) – način upravljanja u kojemu se ne koriste lokacijski podaci GPS sustava i ne koriste se vizualni podaci iz kamere. Sustav kontrolira samo visinu leta pomoću barometra.

2. Način A (*engl. Attitude*) – način upravljanja u kojemu se koristi barometar za održavanje visine leta. Ako je letjelica prilikom polijetanja upamtila svoju GPS lokaciju i nalazi se u području gdje se mogu zaprimiti GPS signali, prilikom gubitka veze sa daljinskim upravljačem letjelica je u mogućnosti izvršiti sigurnosnu mjeru povratka letjelice na poziciju polijetanja.

3. Način F (*engl. Function*) – Inteligentni način leta nudi više opcija

- a. Course lock⁴ način – prilikom prebacivanja u ovaj način leta, letjelica pamti pravac prema kojemu je nos letjelice okrenut u odnosu na magnetski sjever. Kada je način uključen neovisno o okretanju letjelice po vertikalnoj osi, pokret na desnoj palici daljinskog upravljača prema naprijed letjelicu će pokretati uvijek u pravcu koji je zaključen prilikom prebacivanja u ovaj način rada.
- b. Home lock⁵ način – način upravljanja u kojemu letjelica prilikom polijetanja pamti svoju GPS lokaciju mjesta polijetanja (*engl. Home Point*). Kako bi bili u mogućnosti uključiti ovaj način leta, potrebno je udaljiti se letjelicom od mjesta polijetanja više od 5 metara. Kada se način upravljanja Home lock

⁴ Zaključavanje pravca leta - predstavlja način leta bespilotnom letjelicom.

⁵ Zaključavanje pozicije polijetanja - predstavlja način leta bespilotnom letjelicom.

uključi letjelica će se na pokret desne palice prema nazad uvijek vraćati prema lokaciji polijetanja.

Važno je napomenuti kako se prilikom upravljanja bespilotnim sustavom ovog tipa mogu koristiti samo tri izabrana načina upravljanja i to tako da su osnovni načini upravljanja P, A i F te se za P i F način mora unaprijed odrediti neki od mogućih pod-načina upravljanja pomoću aplikacije na računalu, dlanovniku ili mobilnom telefonu. Ograničenja na samo tri načina upravljanja proizlaze od daljinskog upravljača Lightbridge 2 koji za prebacivanje načina upravljanja letjelicom koristi sklopku sa tri pozicije (P, A i F). [6]

Pomoću „DJI Guidance“ sustava koji se naknadno može ugraditi na bespilotnu letjelicu, letjelica može lebdjeti na željenoj poziciji blizu prepreka bez da dođe do sudaranja ili prekomjernog približavanja. Osjetilni element će u iznimno kratkom vremenu odrediti udaljenost od prepreke i onemogućiti operateru bespilotnog sustava da usmjeri letjelicu prema prepreci, a ujedno će i kompenzacijske informacije predati kontroloru leta.

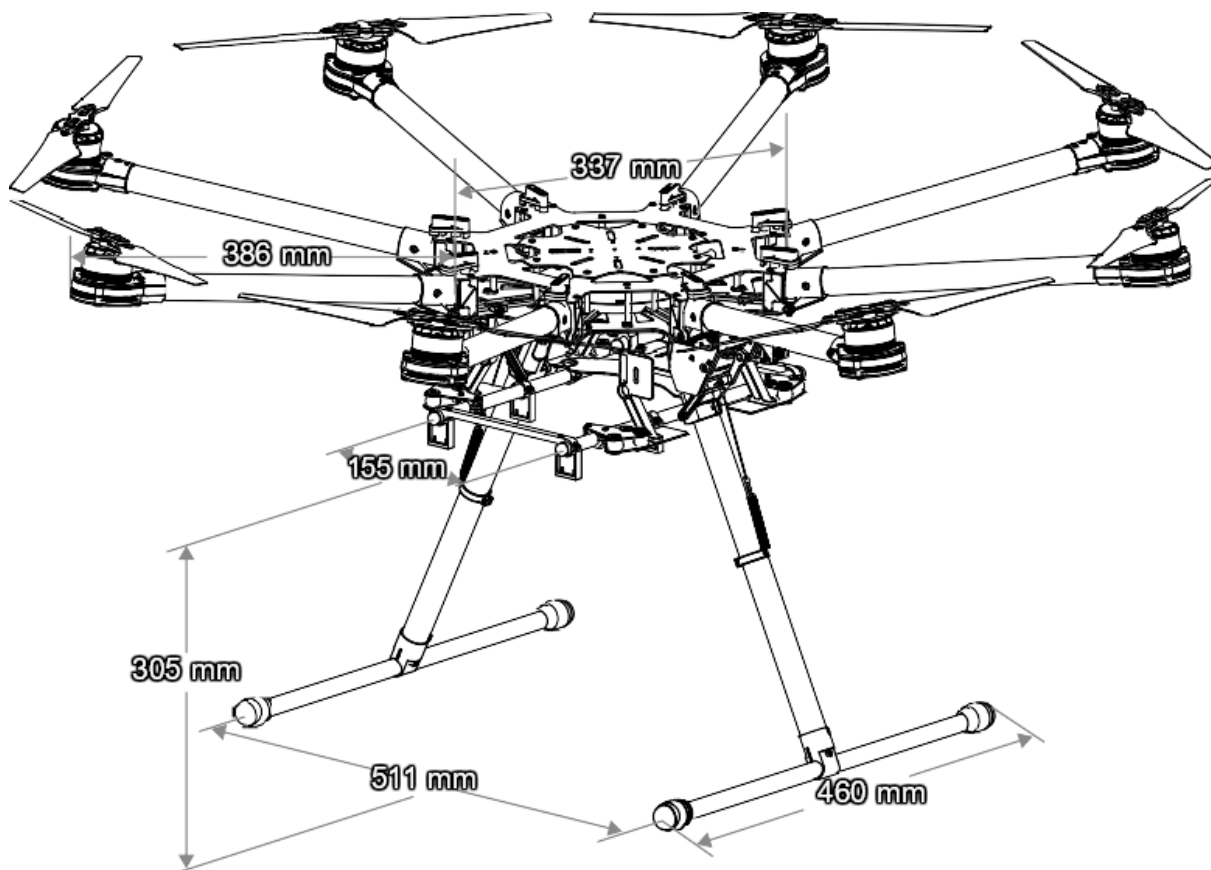
A3 je kompatibilan s DJI pametnim stajnim trapom, Zenmuse Z15 gimbal-om, Padobranom i RTK GPS (*engl. Real Time Kinematic GPS*) sustavom za povećanje preciznosti leta.

Uz sve bitne komponente ugrađene u A3 kontrolor leta (uključujući IMU, barometar i snimač podataka), uređaj je snažan i vrlo kompaktan. A3 se može lako nadograditi na A3 Pro pomoću kompleta za nadogradnju. Komplet za nadogradnju sastoji se od tri GPS jedinice koje sustavu A3 Pro dodaju trostruku modularnu redundantnost i uvelike smanjuju rizik od otkazivanja sustava.

Problemi svakog bespilotnog sustava javlja se kada dođe do gubitka komunikacije između elemenata sustava ili ako se dogodi otkazivanje nekog od elemenata sustava. DJI A3 programiran je tako da u kritičnim situacijama može reagirati na pogreške ili otkazivanja elemenata sustava, na način da prilagodi rad nastaloj poteškoći. Kada dođe do primjerice otkazivanja jednog od motora kontroler leta sposoban je promijeniti način upravljanja motorima i prepoznati da se u tome trenutku koristi sedam motora umjesto prvotnih osam, kada se radi o ovom bespilotnom oktokopteru. U tom slučaju podešava smjer i princip okretanja motora za sedam rotora, brzinu okretanja motora i stabilizira letjelicu u zraku. Nakon uspostavljanja stabilnosti kontroler leta se prema unaprijed određenim postavkama, postavljenim putem programa DJI Assistant 2, vraća na početnu poziciju s koje je poletio ili se spušta na mjesto ispod svoje trenutne pozicije leta.

3.2.KONSTRUKCIJA BESPILOTNOG OKTOKOPTERA

Kao što je već spomenuto, multi-rotor letjelice se razlikuju u konstrukcijskoj izvedbi koja je uvjetovana brojem motora. Ako se oktokopter koji se analizira u ovom završnom radu uspoređi sa sustavima slične namjene, onda on predstavlja robustan sustav, kao što se može vidjeti na slici 2.



Slika 2. Dimenzije bespilotnog oktokoptera DJI spreading wings S1000 [7]

Konstrukcija bespilotnog oktokoptera izrađena je od više zasebnih elemenata koji su na specifičan način povezani jedan uz drugi i čine stabilan sustav.

Centralna konstrukcija predstavlja središte zbivanja svih operacija bespilotne letjelice i na nju su pričvršćeni svi upravljački uređaji i dodatna oprema. U centralnu konstrukciju su ugrađeni vodovi električne energije, kontroler leta, uređaj za određivanje pozicije i uređaj za vezu sa operatorom bespilotnog sustava. Po potrebi mogu biti ugrađeni padobran, dodatna video veza za prijenos slike u pravcu leta i mnogi drugi dodatni uređaji. Distribucijska ploča je sposobna izdržati velike struje bez da se u njoj pojavljuje neželjeni otpor struji koji može uzrokovati zapaljenje letjelice, kratki spoj i u konačnici pad letjelice.

Stajni trap letjelice ja također pričvršćen za središnju konstrukciju letjelice koljenastim spojem koji je pomičan zahvaljujući elektromotorima za podizanje i spuštanje stajnog trapa. Prilikom polijetanja bespilotne letjelice stajni trap se povlači prema gore i omogućuje žiroskopskom stabilizatoru kamere da se slobodno kreće u krugu od 360°.

Pogonski sustav letjelice čini osam sklopivih krakova ili nosača motora, na čije su vrhove pričvršćeni motori sa propelerima. Krakovi su sklopivi zbog koljenastog spoja sa središnjom konstrukcijom što omogućuje jednostavno sklapanje i smanjenje dimenzija bespilotne letjelice za potrebe transporta. Vrlo snažni motori i aerodinamički dizajnirane elise za potrebe ovog oktokoptera, stvaraju veliki potisak i omogućuje lagano i kontrolirano kretanje letjelice u zraku.

Baterije su posebnim priključkom vezane za vodove na distribucijskoj ploči kroz koju napajaju motore na svih osam krakova, kontroler leta, primo-predajnik i ostale uređaje na letjelici. Baterije moraju biti pouzdane i u mogućnosti predati dovoljno jaku struju kada je to potrebno.

Materijali koji se koriste za izradu konstrukcije multirotor letjelica se razlikuju ovisno od namjene bespilotne letjelice. Pa se tako najčešće koriste kompozitni materijali i različite plastike, a kod nešto robusnijih sustava aluminij. Odabir materijala znatno utječe na performanse letjelice jer o odabiru materijala ovisi težina bespilotne letjelice što predstavlja jednu od najbitnijih letnih značajki ovakvih sustava.

Karbonska vlakna kao jedan od najpraktičnijih rješenja za izradu kompozitnog materijala su svoju široku primjenu našla u raznim tehničkim djelatnostima pa tako i kod izrade bespilotnih letjelica. Svojstva koja kompozit od karbonskih vlakana daje izvrsno pristaju potrebama bespilotnih letjelica, a to su, velika čvrstoća, otpornost na vibracije i mala ukupna masa po jedinici površine materijala. Veći dio konstrukcije svake moderne bespilotne letjelice izrađen je baš od ovoga materijala a svi oni dijelovi konstrukcije koji se iz tehničkih razloga ne mogu izraditi ovim materijalom, izrađeni su od plastike ili aluminija s pažnjom da se bespilotni sustav znatno ne oteža.

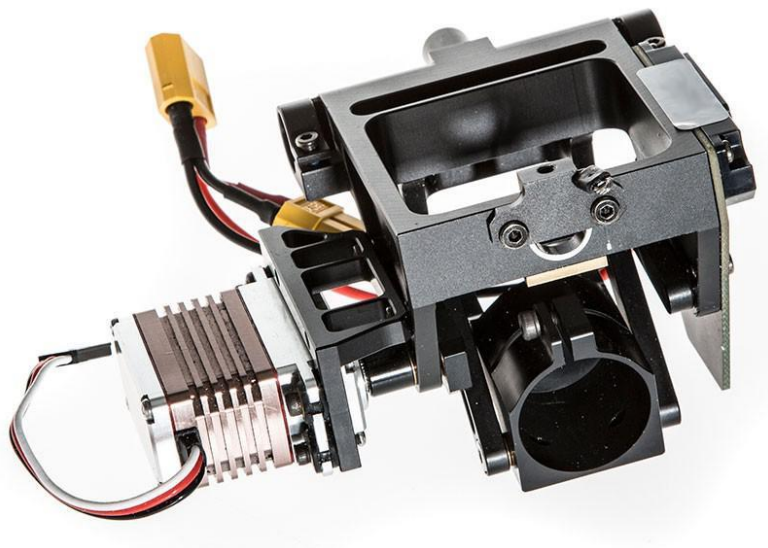
3.2.1. Centralna konstrukcija

Centralna konstrukcija napravljena je od dvije ploče izrađene od karbonskog kompozita i postavljena je u dvije razine. Na donjoj razini ili platformi nalazi se distribucijska ploča za napajanje bespilotnog oktokoptera, osam priključaka za spajanje osam kontrolera brzine okretanja motora i mjesta na koja se pričvršćuju A3 kontroler leta i njegove komponente. Električna energija dolazi iz baterije koja je smještena na nosaču baterija ispod donje ploče. Gornja ploča služi za postavljenje GPS antene i dodatne opreme poput padobrana ili dodatnih GPS antena za povećanje preciznosti određivanja pozicije letjelice.

3.2.2. Stajni trap

Za slijetanje i polijetanje bilo koje letjelice potreban je sklopiv ili fiksni uređaj za kontakt sa zemljom ili vodom. Bepilotni oktokopter posjeduje jednostavan sklopivi stajni trap koji je vezan za centralnu konstrukciju letjelice. Stajni trap čine dvije pomične noge u obliku slova T.

Na gornjem kraju stajnog trapa, na mjestu gdje se veže za centralnu konstrukciju, nalazi se sklop koji izgleda kao zglobov, prikazan na slici 3, na kojega je vezan servomotor za dizanje i spuštanje stajnog trapa. Zglob se može zakretati do graničnika gornje i donje mrtve točke, a u slučaju da se iz nekoga razloga jedan od krakova zaglavi servomotori će nakon određenog vremena uključiti samo-zaključavanje motora da ne dođe do oštećenja servomotora.



Slika 3. Prikaz zglobova i elektromotora stajnog trapa [8]

Pričvršćen obujmicom, iz zglobova okomito prema dolje proteže se šuplji okrugli profil, izrađen od karbonskog kompozita, do mjesta spoja sa užim vodoravnim profilom koji je namijenjen za direktan kontakt sa podlogom prilikom slijetanja oktokoptera. Vodoravni profil je obujmicom i sa dva vijka pričvršćen za okomiti profil stajnog trapa.

Servomotori su jednim kabelom priključeni na izvor napajanja električnom strujom iz centralne konstrukcije, a drugim kabelom povezani su sa kontrolerom leta. Upravljanje stajnim trapom može raditi kontroler leta automatski ili operater bespilotnog oktokoptera. Prilikom svakog polijetanja stajni trap se po potrebi može podići ili ostati spušten davanjem komande preko daljinskog upravljača. Automatsko upravljanje stajnim trapom može se

podesiti putem aplikacije na dlanovniku, pametnom telefonu ili putem računala. Moguće opcije podešavanja su:

- podizanje stajnog trapa nakon polijetanja na određenoj visini i
- spuštanje stajnog trapa na određenoj visini neovisno o režimu leta.

Sposobnost spuštanja i dizanja stajnog trapa ima nekoliko prednosti. S obzirom da se u središtu letjelice, ispod centralne konstrukcije, nalazi žiroskopski stabilizator kamere prednost pomičnog stajnog trapa proizlazi iz sposobnosti kamere da se nesmetano i bez neželjenih predmeta u kadru okreće za 360° vodoravno i za više od 180° okomito. Pomični stajni trap stvara prednost u transportu jer se po potrebi sa letjelice može ukloniti dodatna oprema i žiroskopski stabilizator kamere, te se letjelica u vozilo ili neko drugo prijevozno sredstvo može plošno polegnuti.

Stajni trap je sposoban izdržati gruba slijetanja, a prilikom neočekivanih situacija ako je stajni trap spušten može zaštititi gornju konstrukciju bespilotnog oktokoptera prilikom pada.

3.2.3. Pogonski sustav

Kao pogonski sustav oktokoptera koristi se osam DJI 4114 PRO „brushless“ električnih istosmjernih motora snage 500 W. Motor je prikazan na slici 4. Prema tvorničkim specifikacijama jedan ovakav motor sa propelerom može proizvesti 2,5 kg potiska pri maksimalnom broju okretaja.



Slika 4. Pogonski sustav [9]

Ovakvi motori imaju snagu manju od 1 KW pa spadaju u grupu malih motora. „Brushless“ motori se sastoje od statora i rotora. Rotor motora je spojen sa kućištem motora, obavlja i okružuje stator koji je fiksiran na sredini. Na statoru su postavljene faze namotaja koje prate broj permanentnih magneta koji se nalaze na rotoru. [10]

Zbog svojih malih dimenzija i mase ovakvi motori ne zauzimaju puno prostora, pouzdani su u radu te razvijaju jako velike brzine okretanja i imaju brz odaziv na promjenu broja okretaja pa stoga predstavljaju idealan pogonski sustav za bespilotne letjelice. Brza promjena broja okreta bitna je karakteristika ovih motora jer se upravljanje letjelicom svodi na brzu promjenu broja okretaja motora.

Motori na bespilotnom oktokopteru svojim zajedničkim radom dižu i spuštaju letjelicu. Motori koriste jako velike struje prilikom polijetanja pa je nužno ugraditi zaštitu kako motor ne bi odjednom iskoristio maksimalnu struju. Ugrađuje se sklop elektroničke kontrole brzine motora poznatiji pod kraticom ESC (*engl. Electronic Speed Controler*) koji ima funkciju regulacije brzine motora a ujedno i zaštite od stvaranja mogućeg kratkog spoja prilikom „povlačenja“ velike struje.

Propeleri, kao najbitniji element stvaranja potiska, su izrađeni od plastike visoke čvrstoće što im daje veliku otpornost na sile koje nastaju prilikom leta bespilotnog oktokoptera. Masa jednog propelera iznosi 13 g, a dimenzije propelera su 15x5,2 inča (38,1x13,2 cm), aerodinamički su profilirani za maksimalne performanse bespilotnog oktokoptera. Ti propeleri su sklopivi što omogućuje jednostavniji transport cijelog bespilotnog oktokoptera.

3.2.4. Sustav napajanja električnom energijom

Za napajanje svih električnih i elektroničkih komponenata koriste se LiPo⁶ baterije. Zbog svojih karakteristika (malog unutarnjeg otpora) mogu osigurati dovoljno struje za pogon motora velike snage. Napon jednog članka iznosi 3,7 V u stanju čuvanja/održanja, a napon punog članka je 4,2 V. Raspon radnog napona je od 3,5 do 4,2 V. Treba naglasiti da korištenje baterije ispod napona od 3,5 V smanjuje broj ciklusa punjenja odnosno kapacitet baterije i može dovesti do trajnog oštećenja, odnosno neupotrebljivosti. Karakterističnost ovih baterija je da osim krajnjih izvoda polova (kabel crveni + i crni -) posjeduje i izvode žica sa svakog članka koji završavaju u jednom višepolnom konektoru. Taj konektor koristi se za očitavanje stanja baterija tj. napona članaka, te za nadzor napona prilikom punjenja. Prosječan broj ciklusa punjenja i pražnjenja baterija je oko 500 puta.

⁶ Litij-polimer baterija predstavlja punjivu bateriju na bazi litija - moderna baterija koja svoju svrhu nalazi u brojnim proizvodima današnjice.

Proizvođač na svakoj bateriji stavlja oznaku o vrsti, kapacitetu, broju članaka i njihovom unutarnjem spoju, ukupnom naponu, konstantnoj struji pražnjenja, kratkotrajnoj maksimalnoj struji pražnjenja, te maksimalnoj struji punjenja.

Primjer oznake:

LiPo 5.600 mAh, 4S2P, 14,8 V, 15 C. Burst 25 C/5 sec, max charge 5 C

To znači da je riječ o Litij Polimer bateriju kapaciteta 5,6 Ah, sa osam članaka koji su po dva spojena paralelno, maksimalne konstantne struje pražnjenja $5,6 \times 15 = 84 \text{ A} = 15 \text{ C}$, maksimalna struja pražnjenja u trajanju od 5 sekundi je 140 A. Punjenje baterije ne preporuča se većom strujom od $5,6 \times 5 = 28 \text{ A} = 5 \text{ C}$.

Za napajanje bespilotnog oktokoptera koji je tema ovog rada, korištene su baterije Tattu 22.000 mAh 6S, 22,2 V, 25C (slika 5). Zbog svojih karakteristika prosječno vrijeme leta je oko 10, maksimalno 12 minuta. To znači da je za potrebe letnih operacija od sat vremena sa prekidima zbog zamjene baterija potrebno osigurati najmanje 6 baterija.



Slika 5. Baterije Tattu (lijevo) i Multistar (desno) [11, 12]

Za punjenje baterija koriste se posebni izvori napajanja velike snage, kao i „pametni“ punjači koji se programiraju za tip, vrstu i način punjenja preko konzole uređaja ili računala, pa se time postiže maksimalna iskoristivost baterija. Mogu biti jedno i više kanalni odnosno puniti jednu ili više baterija istovremeno. Posjeduju više funkcija za punjenje, pražnjenje i održavanje baterija u stanju mirovanja. Za amaterske i hobi namjene uglavnom se koriste manje složeni punjači.

Obzirom na činjenicu da je bateriju moguće konstantno puniti strujom od 50 A, korišten je dvokanalni punjač iCharger 4010 DUO (slika 6., lijevo) koji može udovoljiti tim potrebama, a za njegovo napajanje adekvatan izvor napajanja, EFuel napajanje snage 1200 W (slika 6., desno), podesivog izlaznog napona 15 – 30 V. Odlika ovog pametnog punjača je da osim što posjeduje sve spomenute funkcije, korisniku osigurava unutar svake funkcije niz dodatnih mogućnosti, što dodatno povećava vijek trajanja baterije, ali i sigurnost. Konkretno kod funkcije punjenja može priključiti temperaturno osjetilo koje prekida punjenje kod

prekoračenja zadane najviše temperature baterije. Nadalje, osim mogućnosti regulacije struje punjenja baterije, moguće je odrediti i režim punjenja, pa se tako priključenjem višepolnog konektora može odrediti ujednačeno/balansirano punjenje svakog pojedinog članka do njenog punog kapaciteta. [13]



Slika 6. Punjač (lijevo) i izvor električnog napajanja (desno) [13, 14]

3.3.SIGURNOSNI SUSTAV

Sigurnost prilikom izvođenja letačkih aktivnosti bespilotnim sustavima mora biti najbitnija stavka. U slučaju otkazivanja bespilotnog sustava postoji velika mogućnost nanošenja štete osobama ili objektima, pa iz tog razloga bespilotne sustave po pitanju sigurnosti treba dovesti na maksimalnu razinu. Korištenje modernih kontrolera leta koji su sposobni stabilno i sigurno održavati letjelicu u zraku je osnova koja primarno utječe na sigurnost leta. Takvi sustavi imaju sposobnost izolacije zabranjenih zona za izvođenje letačkih aktivnosti pomoću lokacijskih uređaja, imaju sposobnost vraćanja letjelice na mjesto polijetanja u slučaju gubitka veze sa letjelicom ili otkazivanja određenog broja motora. Na kontroler leta moguće je priključiti dodatnu opremu za povećanje sigurnosti leta bespilotnog sustava.

Jedan od takvih sustava je i sustav koji pomoću osjetilnih elemenata može u zatvorenom ili skučenom prostoru odrediti svoju udaljenost od prepreka i spriječiti kretanje prema preprekama i izbjeći moguću štetu.

Kako bi se isključile sve mogućnosti za nastankom štete, na bespilotnu letjelicu moguće je ugraditi padobran (slika 7) koji će se aktivirati u specifičnim okolnostima ili po naredbi operatera bespilotnog sustava. Padobrani su posebno dizajnirani za različite bespilotne sustave, tako danas na tržištu postoji veliki broj padobrana različitih dimenzija i mogućnosti.

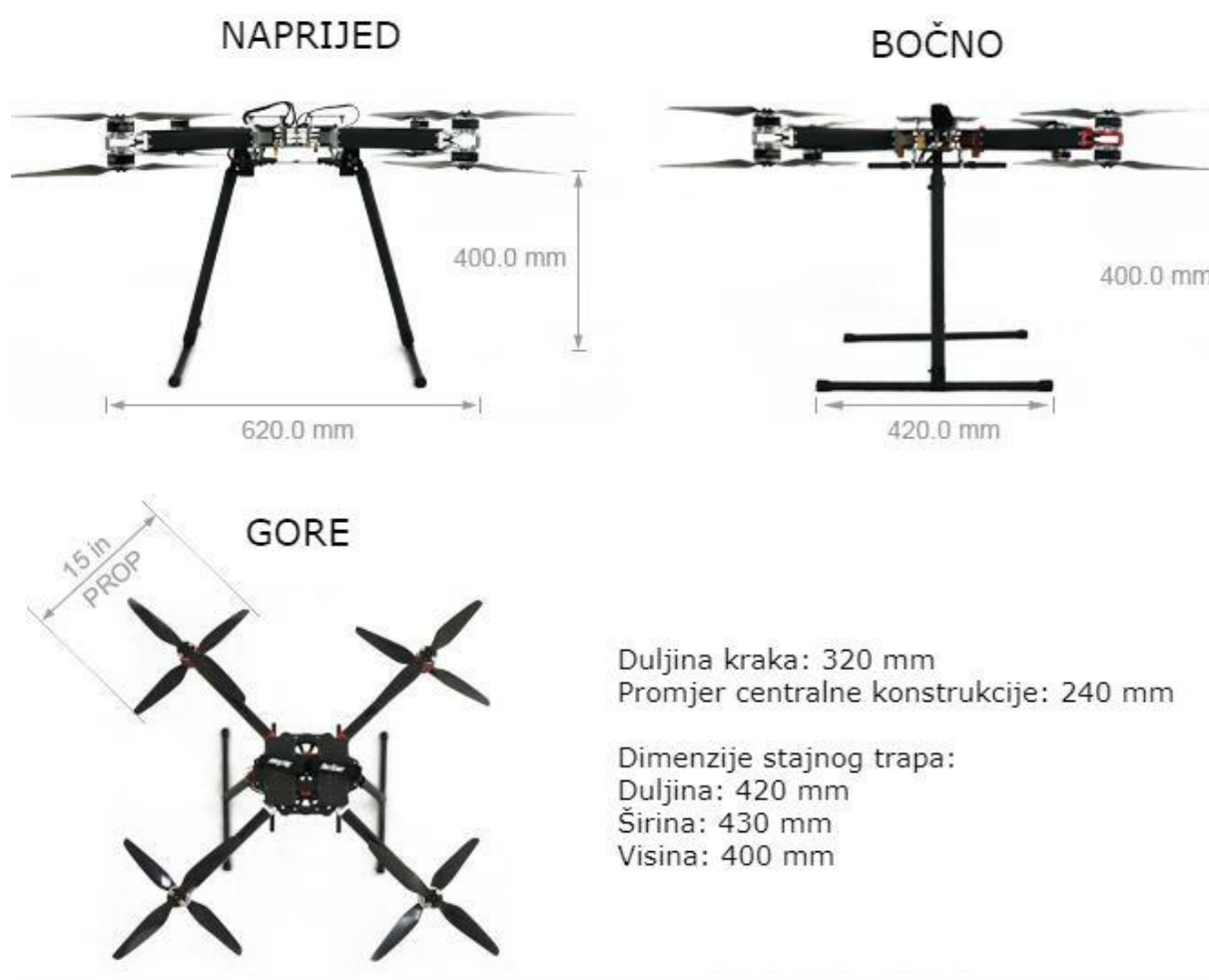


Slika 7. Padobran za bespilotnu letjelicu [15]

Poboljšanjem sustava upravljanja i implementacijom određenih restrikcija letačkih operacija budućnost sigurnog leta bespilotnih sustava znatno raste.

4. USPOREDBA LETNIH ZNAČAJKI BESPILOTNIH OKTOKOPTERA DJI S1000 I DYS D800 X8

Kako bih se mogle preciznije odrediti performanse bespilotnog oktokoptera DJI S1000 uspoređen je sa bespilotnim oktokoptrom DYS D800 X8 koji je po konfiguraciji i konstrukcijskoj izvedbi drugačiji, ali po mogućnostima, dimenzijama i namjeni vrlo sličan. Razlike u dimenzijama i izvedbi mogu se vidjeti na slikama 2 (str. 15) i 8. Bespilotni oktokopter DYS D800 X8 sastavljen je od sličnih komponenti kao i DJI S1000, koje se razlikuju po specifičnim značajkama sustava. Tako se DYS D800 X8 letjelica sastoji od centralne konstrukcije, četiri kraka/nosača motora, pomičnog stajnog trapa, kontrolera leta DJI Naza-M V2, daljinskog upravljača Turnigy TGY-i10 i osam koaksijalno postavljenih DYS BE4114 motora snage 500 W.



Slika 8. Dimenzije bespilotnog oktokoptera DYS D800 X8 [16]

Iskustva operatera bespilotnih sustava govore da se prilikom upravljanja bespilotnom letjelicom sa koaksijalnim pogonskim sustavom ostvaruje oko 10% manje potiska, zbog motora postavljenih jedan iznad drugoga, te da se letjelica u struji vjetra ponaša mnogo stabilnije u odnosu na bespilotni oktokofer sa osam krakova.

Usporedba dvaju sustava temeljiti će se na specifikacijama danim od strane proizvođača (Tablica 2.), te na temelju ispitivanja istrajnosti leta uz korištenje dvije vrste baterija.

Tablica 2. Tvorničke specifikacije dvaju bespilotnih oktokofera [16, 17]

Specifikacije letjelica	DJI S1000	DYS D800 X8	Mjerna jedinica
Duljina između centra dvaju nasuprotnih motora	1.045	800	mm
Duljina kraka/nosača motora	386	320	mm
Duljina centralne konstrukcije	337,5	240	mm
Dimenzije stajnog trapa (duljina, širina, visina)	460x511x305	420x430x400	mm
Masa letjelice bez baterija	4,2	3,7	kg
Maksimalna nosivost	od 6 do 11	od 4 do 10	kg
Snaga motora	500	500	W
KV ⁷ motora	400	400	rpm/V
Maksimalna jakost struje kontrolera brzine okretanja motora	40	40	A
Raspon radne temperature	od -10 do +40	Nije definirano	°C

Analiza istrajnosti leta rađena je u uvjetima kada je stanje atmosfere stabilno bez jakih vanjskih utjecaja vjetra ili vremenskih nepogoda. Kako istrajnost leta najviše ovisi o baterijama namijenjenim za napajanja cijelog bespilotnog sustava, prikazana je istrajnost leta bespilotnog oktokofera DYS D800 X8 sa dvije baterije Multistar 10.000 mAh, 6 S, 22,2 V, 10 C. Prilikom testiranja istrajnosti leta bespilotnog oktokofera DJI S1000 koristile su se dvije vrste baterija zbog konstatacije velike razlike u istrajnosti leta u usporedbi sa DYS D800 X8. Dvije Multistar baterije su na DJI S1000 sustavu davale kraću istrajnost leta pa je bilo potrebno isprobati modernije i snažnije baterije Tattu koje se razlikuju po kapacitetu i jačini struje koju mogu u trenutku predati bespilotnom sustavu.

Kako se o konstrukcijskim razlikama dvaju oktokofera ne treba reći više od toga da se razlikuju po načinu postavljanja pogonskog sustava na četiri i osam krakova, osvrnuti ću se na razlike u upravljačkom sustavu i sustavu napajanja električnom energijom. Tako se bespilotni

⁷ Predstavlja konstantu brzine okretanja električnog motora, a mjerna jedinica je okr/min/V.

oktokopter DYS D800 X8 koristi kontrolerom leta DJI NAZA M V2 koji se po principu rada ne razlikuje mnogo od kontrolera leta DJI A3, već se razliku u mogućnostima koje ima s obzirom na bespilotnu letjelicu i operatera bespilotnog sustava.

4.1. Usporedba kontrolera leta

Kontroler leta DJI NAZA M V2, prikazan na slici 9, za upravljanje bespilotnim oktokopterom koristi IMU sustav i lokacijski sustav GNSS-a. Razlika u IMU sustavu i lokacijskom sustavu je što je u usporedbi sa DJI A3 sustavom manje osjetljiv, pa je letjelica u letu nešto manje stabilnija kada je riječ o održavanju fiksne lokacije i pravca letenja. Mogućnosti poput POI⁸ koji omogućuje DJI A3 sustav, DJI NAZA M V2 nema. Kompatibilnosti sa modernijim sustavima žiroskopskih stabilizatora kamere ili dodatnim antenama za povećanje preciznosti određivanja lokacije nisu omogućene za ovakav kontroler leta. Može se reći da DJI NAZA M V2 predstavlja pouzdan sustav za upravljanje bespilotnim sustavima uz manju preciznost i smanjene mogućnosti u odnosu na moderne kontrolere leta. [8]



Slika 9. DJI NAZA M V2 [18]

⁸ POI (engl. *Point Of Interest*) – značajka leta u kojoj bespilotna letjelica na temelju predodređenog predmeta snimanja kruži oko predmeta bez dodatnog upravljanja.

4.2. Usporedba daljinskih upravljača

Za razliku od daljinskog upravljača DJI Lightbridge 2 daljinski upravljač Turnigy TGY i10, prikazan na slici 10, predstavlja verziju upravljača koja uz potrebne inicijalne postavke i prilagođavanje željenom bespilotnom sustavu, ima mogućnost prilagodbe bilo kojoj vrsti bespilotnih sustava. Tako ga se može koristiti za bespilotne letjelice, brodove, automobile i slične sustave koji se upravljaju na daljinu. Po principu rada i mogućnostima upravljanja ne razlikuju se mnogo, ali zbog svoje široke upotrebe i potrebe za podešavanjem daljinskog upravljača Turnigy TGY i10, kompatibilnost sa DJI NAZA M V2 ili čak DJI A3 sustavom je znatno manja što ga čini manje pristupačnim i kompliciranijim za korištenje. [9]



Slika 10. Daljinski upravljač Turnigy TGY-i10 [19]

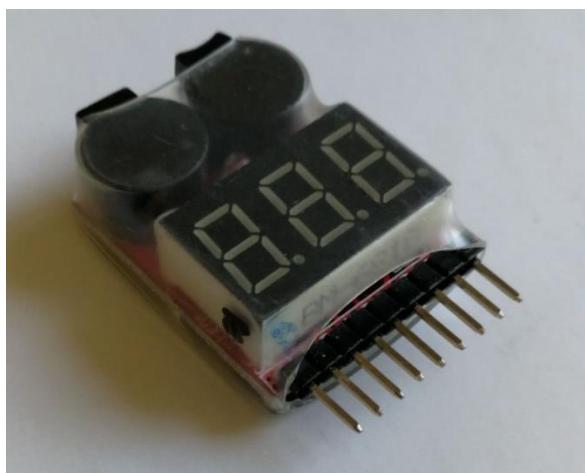
4.3. Analiza istrajnosti leta

Na istrajnost leta ponajviše utječe tip baterija i njihove karakteristike, te masa tereta koju letjelica nosi tokom leta. Prilikom mjerenja istrajnosti leta na letjelici DYS D800 X8 korištene su „Multistar“ baterije čije su karakteristike iskazane u tablici 3, te su iste kao usporedba sa Tattu baterijama korištene na letjelici DJI S1000. Na nekim letovima na letjelicu je pričvršćen teret mase 1 kg kako bih se dokazao njegov utjecaj na istrajnost leta. Ovom metodom su se dobili različiti rezultati mjerenja na letjelici DJI S1000 koja predmet ovog rada i letjelici DYS D800 X8 koja je korištena za usporedbu vrijednosti. Mjerenjem se dokazuje tvrdnja o utjecaju tipa baterija i mase tereta na istrajnost leta.

Tablica 3. Tvorničke specifikacije baterija [20, 21]

Specifikacije baterija	Tattu 22.000 mAh	2x paralelno spojene Multistar 10.000 mAh	Mjerna jedinica
Kapacitet	22.000	20.000	mAh
Broj ćelija	6	6	kom
Nominalni napon baterije	22,2	22,2	V
Nominalni napon pojedine ćelije	3,7	3,7	V
Maksimalni napon baterije	≈ 25,2	≈ 25,2	V
Maksimalni napon ćelije	≈ 4,2	≈ 4,2	V
Struja konstantnog pražnjenja	25	10	C
Struja konstantnog pražnjenja	550	200	A
Maksimalna struja pražnjenja	50	20	C
Maksimalna struja pražnjenja	1100	440	A
Masa	2509	2378	g
Dimenzije (duljina, širina, visina)	195x91x64	156x65x53	mm
Tip priključka	XT 90	AS150+XT150	tip

Testiranja baterija rađena su u idealnim uvjetima za let, a stanje atmosfere za vrijeme leta bespilotnog oktokoptera DYS D800 X8 prikazano je u tablici 4. Mjerenje kapaciteta ćelija baterije prije i poslije leta rađeno je pomoću mjernog uređaja (slika 11) za ispitivanje stanja ćelija LiPo baterija. Uređaj je jednostavna naprava koja se priključuje na signalni izvod iz baterije sa kojega redom očitava stanje ćelija i na malom zaslonu prikazuje napon pojedine ćelije, a na kraju rotacije prikaže ukupan napon baterije.



Slika 11. Uređaja za ispitivanje stanja ćelija LiPo baterija

Svojstva atmosfere (Tablica 4.) za svrhu mjerenja očitana su iz izvještaja Državnog hidrometeorološkog zavoda, odnosno sa web stranice „<http://meteo.hr/>“. Utjecaj svojstva atmosfere na rad bespilotnog oktokoptera nisu detaljno utvrđena, ali može se zaključiti da ne utječe na bilo koji od elemenata bespilotnog oktokoptera.

Tablica 4. Svojstva atmosfere izvršenih mjerenja

Svojstva atmosfere za letjelicu: DYS D800 X8						
Datum	Sati	Temperatura zraka	Vlažnost zraka	Brzina vjetra	Tlak zraka	Broj letova u danu
06.02.2016.	11:00	/	/	/	/	2
14.03.2016.	22:21	5,4 °C	62 %	0,0 m/s	1.025,00 hPa	2
25.03.2016.	10:00	10,0 °C	50 %	2,0 m/s	1.018,25 hPa	2
27.03.2016.	17:00	16,0 °C	44 %	3,1 m/s	1.014,30 hPa	2
16.08.2016.	19:15	26,0 °C	59 %	0,0 m/s	1.013,30 hPa	2
Svojstva atmosfere za letjelicu: DJI S1000						
19.07.2017.	17:50	34,0 °C	22 %	3,0 m/s	1.018,40 hPa	3
18.08.2017.	08:15	22,0 °C	66 %	0,0 m/s	1.018,40 hPa	3
24.08.2017.	19:20	29,0 °C	39 %	2,0 m/s	1.016,70 hPa	3
26.08.2017.	19:00	34,0 °C	32 %	1,0 m/s	1.013,90 hPa	2
					UKUPNO:	21 let

Prilikom testiranja baterija na obje letjelice unaprijed je određena donja granica pražnjenja baterija putem računalne aplikacije koja je navedena u svakoj tablici mjerenja. Oznaka DGP označava donju granicu pražnjenja pojedine ćelije baterije. Oznaka S1 do S6 označava broj ćelije baterije.

U tablici 5 i 6 može se primijetiti utjecaj dodane mase letjelici na istrajnost leta. Istrajnost je smanjena za 4 – 5 min što znatno ograničava operaciju koja se želi izvršiti bespilotnim sustavom. Prilikom izvođenja letačke operacije vrijeme koje se može iskoristiti za obavljanje snimanja predstavlja onaj trenutak kada je letjelica poletjela i nalazi se na položaju za snimanje. Ako se iz te operacije izuzme potrebno vrijeme za polijetanje, odlazak do odredišta i slijetanje ostaje svega nekoliko minuta leta koji se da iskoristiti za stvaranje snimke. Ovakvim drastičnim smanjenjem istrajnosti leta operacija snimanja je ograničena vremenom koje direktno utječe na visinu leta i udaljenost koju letjelica može prijeći.

Tablica 5. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DYS D800 X8 na dan 06.02.2016.

06.02.2016., 11:00, LET 1							
Stanje prije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	4,14	4,19	4,19	4,18	4,19	4,18	25,07
2.	4,16	4,17	4,19	4,18	4,19	4,18	25,07
Stanje poslije leta - baterija 2x Multistar 10000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	3,84	3,85	3,86	3,86	3,86	3,87	23,14
2.	3,84	3,85	3,86	3,85	3,87	3,87	23,14
ISTRAJNOST LETA: ≈ 11 min							
06.02.2016., 11:35, LET 2							
Stanje prije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	4,15	4,18	4,16	4,18	4,17	4,18	25,02
4.	4,15	4,17	4,18	4,17	4,18	4,17	25,02
Stanje poslije leta - baterija 2x Multistar 10000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	3,85	3,87	3,84	3,87	3,86	3,86	23,15
4.	3,85	3,85	3,86	3,86	3,87	3,86	23,15
ISTRAJNOST LETA: ≈ 11 min							

DGP:
3,7 V po
ćeliji

DGP:
3,7 V po
ćeliji

Za testiranja prikazano u tablici 6. korišten je teret mase 1 kg jer predstavlja približno istu masu masi kamere za snimanje iz zraka.

Tablica 6. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DYS D800 X8 na dan 14.03.2016.

14.03.2016., 21:20, LET 1							
Stanje prije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	4,14	4,18	4,18	4,17	4,19	4,19	25,05
2.	4,15	4,19	4,17	4,19	4,19	4,2	25,09
Stanje poslije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	3,9	3,93	3,93	3,94	3,93	3,94	23,57
2.	3,91	3,93	3,92	3,94	3,94	3,94	23,58
ISTRAJNOST LETA: ≈ 6 min							
NAPOMENA:							
Letovi sa teretom mase 1 kg							
14.03.2016., 22:21, LET 2							
Stanje prije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	4,16	4,18	4,15	4,18	4,16	4,2	25,03
4.	4,16	4,18	4,18	4,18	4,19	4,18	25,07
Stanje poslije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	3,96	3,95	3,92	3,96	3,95	3,97	23,71
4.	3,95	3,94	3,94	3,96	3,95	3,96	23,7
ISTRAJNOST LETA: ≈ 5 min							

DGP:
3,7 V po
ćeliji

DGP:
3,7 V po
ćeliji

U tablici 7 i 8 vidljivo je da se istrajnost leta produžuje smanjenjem DGP-a. Posljedice spuštanja DGP-a mogu biti iskazane u manjem broju eksploatacije pojedine baterije i padom inicijalnog napona pojedine ćelije baterije.

Tablica 7. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DYS D800 X8 na dan 25.03.2016.

25.03.2016., 10:00, LET 1							
Stanje prije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	4,16	4,2	4,19	4,19	4,2	4,2	25,14
4..	4,16	4,18	4,19	4,18	4,2	4,18	25,09
Stanje poslije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1	3,76	3,79	3,79	3,79	3,79	3,78	22,7
4.	3,79	3,78	3,8	3,8	3,8	3,8	22,77
ISTRAJNOST LETA: $\approx$ 13:15 min							
25.03.2016., 10:47, LET 2							
Stanje prije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	4,17	4,21	4,18	4,2	4,2	4,21	25,17
2.	4,17	4,2	4,19	4,19	4,2	4,21	25,16
Stanje poslije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	3,77	3,8	3,78	3,79	3,8	3,81	22,75
2.	3,8	3,8	3,7	3,8	3,8	3,81	22,71
ISTRAJNOST LETA: $\approx$ 12:40 min							

**DGP:
3,6 V
po
ćeliji**

**DGP:
3,6 V
po
ćeliji**

Prilikom testiranja istrajnosti drugoga leta prikazanog u tablici 8, letjelica se iz neobjašnjivih razloga počela kretati u smjeru koji nije bio zadan od strane operatera bespilotnog sustava. Let je izvođen uz korištenje GPS pozicioniranja, a nakon gubitka kontrole prebačena je u način upravljanja bez korištenja GPS pozicioniranja, te je sigurno prizemljena. Mogući razlog nekontroliranog kretanja bespilotne letjelice je gubitak komunikacije sa daljinskim upravljačem ili izostavljanje kalibracije prije početka letačke operacije.

Tablica 8. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DYS D800 X8 na dan 27.03.2016.

27.03.2016., 17:00, LET 1							
Stanje prije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	4,16	4,18	4,18	4,17	4,19	4,18	25,06
4.	4,16	4,18	4,18	4,17	4,19	4,17	25,05
Stanje poslije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	3,78	3,79	3,78	3,79	3,79	3,79	22,72
4.	3,77	3,79	3,78	3,78	3,8	3,78	22,7
ISTRAJNOST LETA: $\approx$ 13:45 min							
27.03.2016., 17:30, LET 2							
Stanje prije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	4,14	4,17	4,18	4,18	4,18	4,17	25,02
2.	4,14	4,18	4,16	4,19	4,18	4,18	25,03
Stanje poslije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	3,96	3,98	3,99	4	3,99	3,98	23,9
2.	3,96	4	3,97	4,01	4	4,01	23,95
ISTRAJNOST LETA: $\approx$ 4:06 min							
NAPOMENA: Pojava greške u letu, prisilno prizemljen							

**DGP:
3,6 V
po
ćeliji**

**DGP:
3,6 V
po
ćeliji**

Dodatnim spuštanjem DGP-a, prikazanog u tablici 9, na napon od 3,7 V po ćeliji letjelica postiže svoju maksimalnu istrajnost leta od 20 min. Ako se uzme u obzir da je testiranje iskazano bez tereta, može se zaključiti da bi istrajnost leta sa teretom od 1 kg, kao što je prikazano u tablici 6, iznosila 4 -5 min manje i u konačnici iznosila 15 min.

Tablica 9. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DYS D800 X8 na dan 16.08.2016.

16.08.2016., 19:15, LET 1							
Stanje prije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	4,13	4,17	4,16	4,17	4,17	4,16	24,96
4.	4,15	4,17	4,19	4,17	4,19	4,16	25,03
Stanje poslije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	3,72	3,75	3,75	3,76	3,75	3,74	22,47
4.	3,74	3,75	3,76	3,75	3,76	3,73	22,49
ISTRAJNOST LETA: ≈ 20 min							
16.08.2016., 19:45, LET 2							
Stanje prije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
2.	4,13	4,17	4,15	4,17	4,17	4,17	24,96
3.	4,12	4,13	4,14	4,13	4,15	4,14	24,81
Stanje poslije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
2.	3,78	3,79	3,8	3,79	3,81	3,8	22,77
3.	3,8	3,8	3,8	3,81	3,81	3,81	22,83
ISTRAJNOST LETA: ≈ 16 min							
NAPOMENA: Let prekinut							

**DGP:
3,5 V
po
ćeliji**

**DGP:
3,5 V
po
ćeliji**

Za mjerenja iz tablice 10 i 11 korišten je bespilotni oktokopter koji je tema ovog rada i za inicijalni DGP postavljena je veća granica nego kod letjelice DYS D800 X8. Vidljivo je da letjelica DJI S1000 uz korištenje novih Tattu i sa visokim DGP-om može letjeti preko 10 min, bez prisustva tereta.

Tablica 10. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DJI S1000 na dan 19.07.2017.

19.07.2017., 17:50, LET 1							
Stanje prije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	4,17	4,1	4,15	4,19	4,08	4,2	24,89
Stanje poslije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	3,89	3,84	3,89	3,97	3,78	3,96	23,33
ISTRAJNOST LETA: $\approx 9:23$ min							
19.07.2017., 18:10, LET 2							
Stanje prije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
2.	4,18	4,09	4,21	4,25	4,08	4,26	25,07
Stanje poslije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
2.	3,89	3,84	3,9	3,9	3,78	3,96	23,27
ISTRAJNOST LETA: $\approx 10:35$ min							
19.07.2017., 18:30, LET 3							
Stanje prije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	4,19	4,14	4,2	4,2	4,08	4,26	25,07
Stanje poslije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	3,89	3,84	3,9	3,91	3,89	3,96	23,39
ISTRAJNOST LETA: $\approx 10:22$ min							

DGP:
3,8 V
po
ćeliji

DGP:
3,8 V
po
ćeliji

DGP:
3,8 V
po
ćeliji

Kako nije uočena oscilacija u mjerenjima istrajnosti leta bez tereta i sa novim Tattu baterijama prikazanim u tablici 10 i 11, za sljedeća mjerenja iz tablice 12. korištene su stare baterije Multistar i za let 3 smanjen je DGP.

Tablica 11. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DJI S1000 na dan 18.08.2017.

18.08.2017., 08:15, let 1							
Stanje prije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	4,16	4,19	4,2	4,19	4,2	4,18	25,12
Stanje poslije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	3,88	3,88	3,89	3,9	3,9	3,89	23,34
ISTRAJNOST LETA: ≈ 10 min							
18.08.2017., 08:30, let 2							
Stanje prije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
2.	4,16	4,18	4,2	4,19	4,19	4,19	25,11
Stanje poslije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
2.	3,87	3,88	3,89	3,89	3,9	3,88	23,31
ISTRAJNOST LETA: ≈ 10 min							
18.08.2017., 08:45, let 3							
Stanje prije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	4,16	4,19	4,2	4,19	4,19	4,19	25,12
Stanje poslije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	3,88	3,87	3,9	3,89	3,9	3,89	23,33
ISTRAJNOST LETA: ≈ 10 min							

**DGP:
3,8 V
po
ćeliji**

**DGP:
3,8 V
po
ćeliji**

**DGP:
3,8 V
po
ćeliji**

Vidljivo je da je istrajnost leta sa dvije paralelno spojene Multistar baterije znatno manji kod letjelice DJI S1000 u odnosu na letjelicu DYS D800 X8. Ovo smanjenje istrajnosti leta može se pripisati specifikacijama letjelice. Iz prikaza napona baterija, prilikom izvođenja letačke operacije, na zaslonu dlanovnika u aplikaciji DJI GO uočen je znatan pad napona baterije Multistar prilikom izvođenja naglih promjena smjera ili visine leta bespilotnim sustavom. Pretpostavljeno je da letjelica DJI S1000 koristi znatno veće struje u trenutku izvođenja naglih promjena smjera ili visine u odnosu na letjelicu DYS D800 X8. Ako se usporedi let 1 i let 2 u tablici 12, može se primijetiti da je let produljen za 5 min u istim uvjetima leta, samo korištenjem drugih baterija. Razlika u maksimalnoj struji pražnjenja dviju baterija iznosi čak 660 A.

Tablica 12. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DJI S1000 na dan 24.08.2017.

24.08.2017., 19:20, let 1							
Stanje prije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	4,11	4,15	4,16	4,17	4,15	4,15	24,89
4.	3,89	3,97	3,97	4,01	3,96	3,96	23,76
Stanje poslije leta - baterija 2x Multistar 10.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	4,13	4,17	4,17	4,15	4,15	4,12	24,89
4.	3,96	3,98	3,98	3,97	3,97	3,93	23,79
ISTRAJNOST LETA: $\approx 4:30$ min							
24.08.2017., 19:35, let 2							
Stanje prije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	4,15	4,18	4,18	4,19	4,19	4,17	25,06
Stanje poslije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
3.	3,89	3,89	0,91	3,91	3,92	3,91	20,43
ISTRAJNOST LETA: $\approx 9:30$ min							
NAPOMENA: za let 3 smanjena donja granica pražnjenja baterija							
24.08.2017., 19:50, let 3							
Stanje prije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
2.	4,14	4,17	4,19	4,18	4,18	4,17	25,03
Stanje poslije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
2.	3,82	3,83	3,85	3,84	3,85	3,84	23,03
ISTRAJNOST LETA: $\approx 12:15$ min							

Kako bih se produljila istrajnost leta letjelice DJI S1000 promijenjen je DGP i on prilikom izvođenja 3. leta prikazanog u tablici 12 iznosi 3,75 V. Smanjenjem DGP-a od 0,05 V po ćeliji dobiva se produljenje leta za približno 2 min.

Iz tablice 13 se može primijetiti da na letjelicu DJI S1000 dodavanje tereta mase 1 kg ne utječe jednako kao kada je teret dodan na letjelicu DYS D800 X8. Dodavanjem tereta istrajnost leta smanjila se za približno 1:30 minuta. U tablici 12 potvrđeno je da prilikom izvođenja 2. leta smanjenjem DGP-a produljujemo istrajnost leta za približno 2 min.

Tablica 13. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DJI S1000 na dan 26.08.2017.

26.08.2017., 19:00, let 1							
Stanje prije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	4,16	4,17	4,19	4,19	4,19	4,18	25,08
Stanje poslije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
1.	3,83	3,82	3,86	3,85	3,85	3,84	23,05
ISTRAJNOST LETA: ≈ 11 min							
NAPOMENA: Za let 1 stavljen teret mase 1 kg za letove 1 I 2 smanjena donja granica pražnjenja baterija							
26.08.2017., 19:35, let 2							
Stanje prije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
2.	4,16	4,18	4,2	4,19	4,19	4,19	25,11
Stanje poslije leta - baterija 1x Tattu 22.000 mAh							
bat br.	S1 [V]	S2 [V]	S3 [V]	S4 [V]	S5 [V]	S6 [V]	Ukupno [V]
2.	3,87	3,88	3,89	3,89	3,9	3,88	23,31
ISTRAJNOST LETA: ≈ 12:45 min							

**DGP:
3,75 V
po
ćeliji**

**DGP:
3,75 V
po
ćeliji**

5. ZAKLJUČAK

Ubrzan razvoj tehnologije direktno utječe na razvoj sustava koji su sposobni upravljati kompleksnim skupom komponenta koje u ovom slučaju čine jednu bespilotnu letjelicu. Takve letjelice su u mogućnosti odraditi unaprijed isplanirane aktivnosti leta ili aktivnosti direktno upravljane od strane čovjeka. Unazad desetak godina svjedoci smo pojavljivanja bespilotnih letjelica koje su dostupne svima. Zbog razvijenosti programskog sustava i minimiziranih dimenzija konstrukcijskog djela bespilotnih letjelica, omogućeno je jednostavno upravljanje i održavanje bespilotnog sustava.

Performanse bespilotnih sustava se razlikuju prema namjeni, ali još uvijek postoji puno prostora za pronalaženje novih vidova namjene bespilotnih sustava. Pitanje performansi i namjene bespilotnih letjelica uzrokuje pojavu mnogih nejasnih i nedefiniranih odgovora koji će se morati razjasniti kako ne bi došlo do nekontroliranog korištenja bespilotnih sustava i do katastrofalnih posljedica.

Ono što u bitnome usporava razvoj ovakvih sustava je način na koji se letjelica opskrbljuje energijom. Najpristupačniji način opskrbe energijom je električna energija iz baterija zbog svoje jednostavnosti izrade u usporedbi sa benzinskim, dizel, nitro i sličnim motorima sa unutrašnjim sagorijevanjem. Kako se fokus razvoja različitih izvora energije usmjerio na električnu energiju možemo očekivati ubrzan razvoj bespilotnih sustava i primjenu u svakodnevnim ljudskim aktivnostima.

Na mobilnost bespilotnih letjelica znatno utječe informacijska tehnologija a posebice razvoj komunikacijskih mreža poput 4G mreže i lokacijskih sustava GNSS-a. Bespilotni sustavi koji posjeduju sposobnost uporabe svih modernih tehnologija imaju potpunu autonomiju leta i u mogućnosti su odraditi letačke operacije u bilo kojem dijelu svijeta bez obzira na lokaciju operatera bespilotnog sustava.

Bespilotni oktokopter, obrađen u ovom radu, je sustav koji trenutno predstavlja stabilan i siguran sustav namijenjen za snimanje iz zraka, a konkuriraju mu sve manji i manji sustavi poput trikoptera i quadkoptera zbog svojih dimenzija i jednostavnosti za transport.

Zakonski letjelice poput quadkoptera ne smiju vršiti letačke aktivnosti u naseljenim područjima i iznad ljudi u Republici Hrvatskoj, već samo na sigurnim mjestima poput livada ili otvorene prirode bez prisustva građevina i ljudi. Ovo predstavlja ozbiljan problem za sigurnost ljudi zbog mogućnosti otkazivanja bespilotnog sustava koji se može naći u neposrednoj blizini čovjeka i nanijeti mu ozljede ili oštetiti njegovu imovinu. Oktokopter s druge strane predstavlja znatno sigurniji i pouzdaniji sustav jer prilikom otkazivanja jednog od motora preostaje mu sedam s kojima može sigurno sletjeti i izbjeći ozljeđivanje ljudi ili štetu na imovini. Tako se ovoj izvedbi bespilotnog sustava omogućio let u naseljenim područjima i iznad ljudi svim onim operaterima bespilotnih sustava koji su položili ispite

propisane od strane nadležnih tijela Republike Hrvatske i posjeduju sve komponente bespilotnog sustava namijenjene ostvarivanju sigurnih letačkih aktivnosti u zraku.

Čovjekov razvoj različitih vidova tehnologije dostigao je razinu u kojoj se implementacijom različitih komponenti pojedinih sustava može stvoriti novi proizvod ili grana tehnologije koja svojim djelovanjem može smanjiti potrebu za ljudskom aktivnošću u vidu upravljanja sustavima. Ljudska pogreška prilikom upravljanja modernim sustavim danas je više vjerojatna nego pogreška ili otkazivanje modernih autonomnih sustava. Ako se postave realna ograničenja i sposobnosti bespilotnih sustava i omogući njihova široka primjena, budućnost svih vidova prometnih sustava mogla bih se okrenuti u smjeru autonomne raspodjele svjetskih dobara uz minimalno prisustvo ljudskog rada koji bi u tom trenutku vršio nadzor nad sustavom raspodjele i održavanje bespilotnih sustava.

POPIS LITERATURE

- [1] Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture: Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova, NN 49/2015
- [2] <https://www.faa.gov/uas/> (pristupljeno kolovoz 2017.)
- [3] <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas> (pristupljeno kolovoz 2017.)
- [4] <http://store.dji.com/product/a3-lightbridge-2> (pristupljeno lipanj 2017.)
- [5] http://dl.djicdn.com/downloads/lightbridge2/en/Lightbridge_2_User_Manual_en_v1.0.pdf (pristupljeno kolovoz 2017.)
- [6] https://dl.djicdn.com/downloads/a3/en/A3_and_A3_Pro_User_Manual_en_160520.pdf (pristupljeno lipanj 2017.)
- [7] https://static.bhphotovideo.com/lit_files/116571.pdf (pristupljeno srpanj 2017.)
- [8] <http://www.thanksbuyer.com/image/cache/data/201405/28885/1401157188-1-200x200.jpg> (pristupljeno srpanj 2017.)
- [9] <https://static.rcgroups.net/forums/attachments/1/0/0/9/9/6/ai26506584-174-thumb-S1000-3.jpg?d=1392351168> (pristupljeno kolovoz 2017.)
- [10] Čereg, M.: Multirotorska vertikalno potisna letjelica, 2016.
- [11] <https://www.professional-multirotors.com/wp-content/uploads/sites/6/2014/09/TA-25C-22000-6S1P.png> (pristupljeno kolovoz 2017.)
- [12] <https://hobbyking.com/media/catalog/product/cache/1/image/320x230/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/legacy/catalog/56845.jpg> (pristupljeno kolovoz 2017.)
- [13] <http://www.icharger.co.nz/icharger-4010-duo> (pristupljeno kolovoz 2017.)
- [14] <http://www.skyrc.com/image/data/update/1200W/PSU1200/00432.jpg> (pristupljeno kolovoz 2017.)
- [15] http://www.kopterworx.com/media/catalog/product/cache/1/image/535f656340c5a65168d64f02960ddf31/r/e/rescue_kit_for_d_5253366772ced.jpg (pristupljeno kolovoz 2017.)
- [16] <http://www.dys.hk/ProductShow.asp?ID=119> (pristupljeno lipanj 2017.)
- [17] <https://www.dji.com/spreading-wings-s1000-plus> (pristupljeno srpanj 2017.)
- [18] https://asset1.djicdn.com/uploads/brand_site_product/cover/15/small_1%402x.png (pristupljeno kolovoz 2017.)
- [19] https://rclexa.co.uk/image/cache/catalog/item_pictures/Transmitters/Turnigy%20TGY-i10/Turnigy%20TGY-i10%2010ch%202.4GHz%20Digital%20Proportional%20RC%20System%20with%20Telemetry%201-800x800.jpg (pristupljeno kolovoz 2017.)
- [20] <http://www.gensace.de/tattu-22000mah-22-2v-25c-6s1p-lipo-battery-pack.html> (pristupljeno srpanj 2017.)
- [21] https://hobbyking.com/en_us/multistar-high-capacity-6s-10000mah-multi-rotor-lipo-pack.html?__store=en_us (pristupljeno lipanj 2017.)

- [22] Pavlik, D., Popčević, I., Rumora, A.: Bepilotne letjelice podržane INS i GNSS senzorima Ekscentar, br. 17, pp. 65-70, 2014.
- [23] Nikolić, V.: Ispitivanje mogućnosti bespilotnih letjelica i pravna regulativa, 2015.

POPIS SLIKA

Slika 1. Upravljački sustav - daljinski upravljač (gore) i kontroler leta (dolje)	9
Slika 2. Dimenzije bespilotnog oktokoptera DJI spreading wings S1000	15
Slika 3. Prikaz zgloba i elektromotora stajnog trapa	17
Slika 4. Pogonski sustav	18
Slika 5. Baterije Tattu (lijevo) i Multistar (desno)	20
Slika 6. Punjač (lijevo) i izvor električnog napajanja (desno)	21
Slika 7. Padobran za bespilotnu letjelicu	22
Slika 8. Dimenzije bespilotnog oktokoptera DYS D800 X8	23
Slika 9. DJI NAZA M V2	25
Slika 10. Daljinski upravljač Turnigy TGY-i10	26
Slika 11. Uređaja za ispitivanje stanja ćelija LiPo baterija	27

POPIS TABLICA

Tablica 1. Kategorije letačkih operacija bespilotnim sustavom	5
Tablica 2. Tvorničke specifikacije dvaju bespilotnih oktokoptera	24
Tablica 3. Tvorničke specifikacije baterija	27
Tablica 4. Svojstva atmosfere izvršenih mjerenja	28
Tablica 5. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DYS D800 X8 na dan 06.02.2016.	29
Tablica 6. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DYS D800 X8 na dan 14.03.2016.	30
Tablica 7. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DYS D800 X8 na dan 25.03.2016.	31
Tablica 8. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DYS D800 X8 na dan 27.03.2016.	32
Tablica 9. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DYS D800 X8 na dan 16.08.2016.	33
Tablica 10. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DJI S1000 na dan 19.07.2017.	34
Tablica 11. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DJI S1000 na dan 18.08.2017.	35
Tablica 12. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DJI S1000 na dan 24.08.2017.	36
Tablica 13. Mjerenje istrajnosti leta sa letjelicom DJI S1000 na dan 26.08.2017.	37



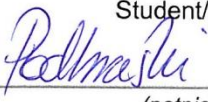
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada
pod naslovom **Analiza letnih značajki višenamjenskog bespilotnog oktokoptera**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 05.09.2017 _____

Student/ica:


(potpis)