Proračun parametara za napadanje ciljeva na zemlji i njihova usporedba sa GPS mjerenjima

Colić, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:119:078395

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Tomislav Colić

PRORAČUN PARAMETARA ZA NAPADANJE CILJEVA NA ZEMLJI I NJIHOVA USPOREDBA SA GPS MJERENJIMA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 8. travnja 2021.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Zrakoplovna navigacija IV**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6083

Pristupnik: **Tomislav Colić (0135249315)**
Studij: Aeronautika

Zadatak: **Proračun parametara za napadanje ciljeva na zemlji i njihova usporedba sa GPS mjerenjima**

Opis zadatka:

Opisati karakteristike i mogućnosti zrakoplova PC-9M. Opisati metode i proces napadanja ciljeva na zemlji od dolaska do samog objekta djelovanja do napuštanja zone djelovanja. Opisati GRB krug i njegove karakteristične točke. Navesti i opisati faktore koji mogu utjecati na precizno djelovanje po cilju na zemlji. Računski odrediti sve parametre GRB kruga. Izabrati najpogodniju aplikaciju za zapisivanje GPS podataka. GPS prijamnikom u pametnom telefonu pokušati definirati parametre GRB kruga u letu za barem dva zrakoplova u skupini. Analiza dobivenih GPS podataka. Usporedba GPS podataka sa dobivenim proračunima.

Mentor:

prof. dr. sc. Doris Novak

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

PRORAČUN PARAMETARA ZA NAPADANJE CILJEVA NA ZEMLJI I NJIHOVA USPOREDBA SA GPS MJERENJIMA

CALCULATION OF PARANETERS FOR ATTACKING GROUND TARGETS AND THEIR COMPARISON WITH GPS MEASUREMENTS

Mentor: prof. dr. sc. Doris Novak

Student: univ. bacc. ing. aeronaut.
Tomislav Colić
JMBAG: 0135249315

Zagreb, veljača 2021.

Sažetak

U radu su obrađeni osnovni pojmovi grupnog letenja i letenja zrak – zemlja, odnosno letenja u kojem se avion koristi za napadanje ciljeva na zemlji. Objašnjene su osnovne metode napadanja ciljeva na zemlji. Odrađena su GPS mjerenja na jednoj vježbovnoj zadaći simulacije napadanja ciljeva na zemlji te su ti podatci obrađeni i analizirani kako bi se vidio odnos aviona tijekom izvođenja zadaće. Nadalje, napravljena je usporedba idealne situacije i situacije u zraku kako bi se vidjela odstupanja i razlozi zašto do njih dolazi. Najvažnija odstupanja koja se javljaju tijekom ovakve zadaće su odstupanja po pravcu i kutu napada. Rezultat tih odstupanja je u konačnici neostvarivanje pogotka na cilj, a glavni razlozi nastajanja tih odstupanja mogu biti: umor, neiskustvo pilota, pogrešna procjena i dr.

Ključne riječi: grupno letenje, GPS mjerenja, napadanje ciljeva na zemlji, usporedba mjerenja

Summary

This paper deals with the basic concepts of group flying and air - ground flying, that is flying in which the aircraft is used to attack ground targets . The basic methods of attacking targets on the ground are explained. GPS measurements were recorded on one simulated ground attack training flight, and this data was processed and analyzed to see the relationship of the aircraft during the flight. Furthermore, a comparison of ideal situations and situations in the air was made to see the deviations and the reasons why they occur. The most important deviations that occur during a ground attack mission are deviations in the direction and angle of attack. The result of these deviations is ultimately the failure to hit the target and the main reasons for these deviations are: pilot fatigue, inexperience of the pilot, and pilot misjudment, etc.

Keywords: formation flying, GPS measurements, attacking ground targets, comparison of measurements

SADRŽAJ

1. Uvod…….. 1
2. Općenito o zrakoplovu Pilatus PC-9M 3
3. Obuka pilota 6
3.1. Temeljno grupno letenje 7
3.2. Taktičko grupno letenje 10
3.3. Taktičko letenje zrak – zemlja 13
4. Metodologija GPS mjerenja 17
5. Mjerenja…. 21
5.1. Probna mjerenja 21
5.2. Meteorološki uvjeti konačnog mjerenja 29
5.3. Priprema za let 31
5.4. Završno mjerenje 32
6. Obrada podataka 36
7. Analiza podataka i proračuni 38
7.1. Let do zone i izviđanje 45
7.2. GRB krug 52
7.2.1. Idealni uvjeti za GRB krug 56
7.3. Iskakanje iz pravca 56
7.3.1. Idealni uvjeti za iskakanje iz pravca 61
7.4. Iskakanje pod 45° 62
7.4.1. Idealni uvjeti za iskakanja pod 45° 66
8. Zaključak… 67
Literatura 68
Popis kratica 69
Popis slika 70
Popis tablica 73
Popis jednadžbi 74

1. Uvod

Zadaće granatiranja, raketiranja i bombardiranja ciljeva na zemlji, bilo da se radi o stvarnoj ili vježbovnoj situaciji, stvaraju izuzetan napor pilotu zbog velikih brzina i opterećenja, a malih visina na kojima leti avion kroz provođenje takve zadaće pa do jako kratkog vremena koje pilot ima za donošenje kritičnih odluka tijekom leta.

Svrha i ciljevi ovog istraživanja su unaprjeđenje provedbe zadaća granatiranja, raketiranja i bombardiranja ciljeva na zemlji uz bolje razumijevanje napora kroz koje piloti i kadeti na obuci prolaze te vidjeti odnos vođe i pratitelja kroz provođenje zadaće granatiranja, raketiranja i bombardiranja u paru.

Poglavlje „Općenito o zrakoplovu Pilatus PC-9M“ kroz par stranica opisuje tehničke karakteristike zrakoplova Pilatus PC-9M, njegovu glavnu namjenu kao i druge zadaće koje se obavljaju ovim zrakoplovom. Opisane su njegove glavne karakteristike, dimenzije, pogonska skupina i komande leta.

Poglavlje „Obuka pilota“ daje kratak rezime obuke koju prolaze kadeti piloti sa većim fokusom na završni dio obuke u kojem se kadeti osposobljavaju za grupno letenjem u kojem upoznaju osnovne pojmove grupnog letenja, specifičnosti letenja u par, osnovne formacije para, definicije i vizure postroja. Dalje, pojašnjeno je taktičko grupno letenje u kojem se kadeti upoznaju sa specifičnostima letenja u vodu i taktičkim formacijama te su u radu opisane osnove letenja u vodu. Na kraju poglavlja opisano je taktičko letenje zrak – zemlja koje je usko vezano uz temu ovoga rada jer se prvi puta spominje granatiranje, raketiranje i bombardiranje ciljeva na zemlji. Opisani su načini napadanja ciljeva na zemlji u paru i u vodu te su opisana dva temeljna načina obavljanja ove zadaće; krug za granatiranje, raketiranje i bombardiranje te napadi s iskakanjem u pravcu i pod 45°.

U poglavlju „Metodologija GPS mjerenja“ opisan je format zapisivanja GPS podataka mjerenja koje je provedeno u radu, koje sve podatke možemo dobiti korištenjem GPX zapisa GPS podataka, zašto je baš korišten taj način zapisivanja GPS podataka. Opisane su aplikacije i uređaji koji su korišteni za snimanje i obradu dobivenih GPS podataka.

U poglavlju „Mjerenja“ opisan je cijeli proces dobivanja GPS podataka od probnih mjerenja koje je autor rada mjerio, zaključci koji su doneseni tijekom probnih mjerenja, neki od parametara koji se mogu izračunati pomoću dobivenih mjerenja, problemi sa mjerenjima.

Opisani su meteorološki uvjeti koji su zabilježeni na dan konačnog mjerenja pomoću METAR i TAF izvješća te SWL i LL WT karte. Nadalje, pojašnjena je priprema za konačni let, način na koji su postavljeni mjerni uređaji u zrakoplovu, kako je sve to izgledalo u letu te su u konačnici dati rezultati konačnog mjerenja iz oba aviona.

U poglavlju „Obrada podataka“ pojašnjen je način korištenja programa za obradu GPX formata zapisivanja GPS podataka, navedene su njihove prednosti i nedostatci te neka od mogućih rješenja za nedostatke programa korištenog za obradu GPS podataka.

U poglavlju „Analiza podataka i proračuni“ obrađeni su svi prikupljeni podatci o letu para na zadaću granatiranja, raketiranja i bombardiranja. Od samog taksiranja i držanja odmaka u taksiranju, polijetanja i kompleksnosti polijetanja u paru te produljenju dužine zaleta i dostizanja visine od 50 ft. Prikazan je let para do zone, razdvajanje u razmaknuti postroj, norme kojih se piloti drže u tom postroju, dolazak i izviđanje zone djelovanja, odabir orijentira. Opisan i proračunat je zbor para kroz zaokret te razlaz iznad objekta djelovanja. Određene su karakteristične točke GRB kruga te su proračunati parametri kojih su se piloti držali tijekom izvođenja vježbe te je napravljena usporedba s prikazivanjem instrumenata. Prikazane su vizure koje piloti prate kroz sve manevre. Nadalje, određene su i opisane karakteristične točke iskakanje iz pravca i pod kutom od 45° te je prikazan odnos vođe i pratitelja kroz sve opisane manevre i pojašnjen je pojam disanja grupe koji je uvijek prisutan kroz grupno letenje.

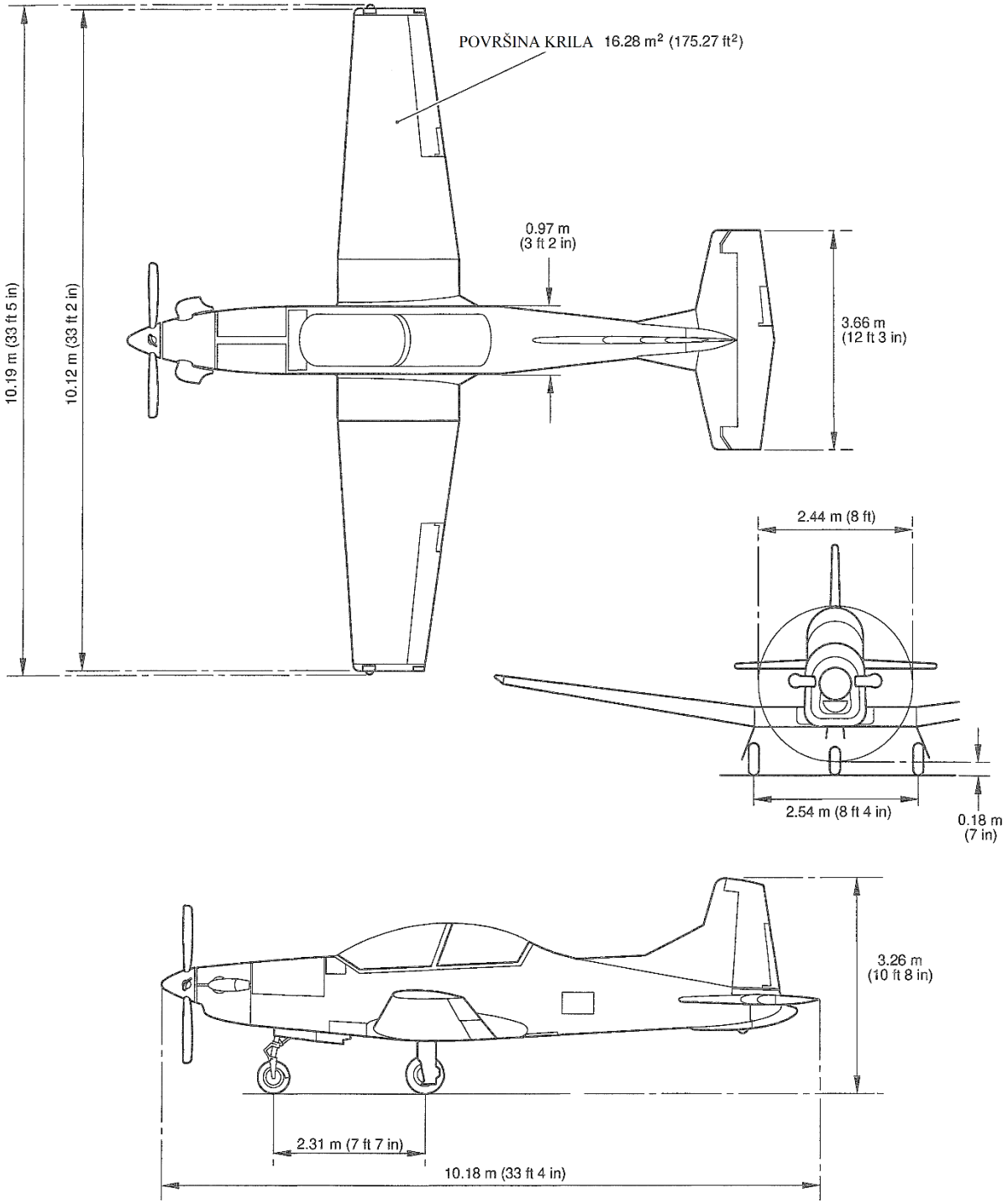
U zaključnom dijelu ovog rada donose se konačna razmatranja o mjerenju GPS podataka u letu pametnim telefonima, o granatiranju, bombardiranju i raketiranju iz zraka, usporedbi stvarne situacije i proračunatih elemenata te o odnosu vođe i pratitelja tijekom provođenja takve zadaće.

2. Općenito o zrakoplovu Pilatus PC-9M

Zrakoplov *Pilatus* PC-9M je jednomotorni niskokrilac, metalne konstrukcije namijenjen temeljnoj i naprednoj obuci pilota u Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu. Uz obuku, avion se još koristi za potrebe Obalne straže te kao Snage brzog odgovora za potrebe presretanja ciljeva u zraku. Zrakoplov podnosi opterećenja od -3.5g do +7g te postiže maksimalnu brzinu od 320 čvorova ili 0.65 Macha. Na zrakoplovu je dozvoljeno dnevno i noćno letenje u vizualnim meteorološkim uvjetima (VFR) i u instrumentalnim meteorološkim uvjetima (IFR) kao i samostalno letenje u zrakoplovu. [1]

Raspon krila zrakoplova iznosi 10,19 m, dužina aviona iznosi 10,175 m, visina s propisno napuhanim gumama i izvučenim stajnim trapom iznosi 3,26 m. Avion ima maksimalnu dopuštenu masu na stajanci od 2360 kg, maksimalnu dopuštenu masu polijetanja koja iznosi 2350 kg, koja je ujedno i maksimalna dopuštena masa na slijetanju te maksimalna dopuštena masa za potpune performanse i sve manevre. [1]

Minimalna posada zrakoplova je jedan pilot dok se za potrebe obuke ili ostalih zadaća koje obavlja Hrvatsko ratno zrakoplovstvo u zrakoplovu mogu nalaziti dva pilota ili kadet i pilot. Pilotska kabina sadrži prednji i stražnji pilotski prostor koji su zatvoreni kupolastim poklopcem kabine koji pruža odličnu vidljivost u svim smjerovima. Prednja i stražnja kabina gotovo pa su identične, u stražnjoj kabini nedostaju pilotski magnetni kompas, ručica za zaključavanje komandi leta, parkirna kočnica te nešto prekidača i osigurača. Oba pilotska prostora opremljena su izbacivim pilotskim sjedištima koja se prilikom aktivacije izbacuju kroz zatvorenu kupolu poklopca kabine. Prednji i stražnji polimerni segment kupole razbijaju se noževima ugrađenim na vrhu svakog pilotskog sjedišta [2]



Slika 2.1 Dimenzije zrakoplova Pilatus PC-9M [2]

Komande leta su konvencionalne, s ručno upravljanim zakrilcima, kormilom pravca i kormilom visine. Upravljačke površine su opremljene električnim trimerima. Zakrilca su otklopnog tipa, a pogonjena su električnim putem. S donje strane trupa ugrađena je hidraulički pogonjena zračna kočnica u vidu jednostruke otklopive ploče. [2]



Slika 2.2. Prednja kabina zrakoplova

Pogonsku skupinu zrakoplova *Pilatus* PC-9M čine turboelisnim motorom tvrtke *Pratt and Whitney PT6A-62* sa slobodnom turbinom koji pokreće četverokraku metalnu elisu promjenjiva koraka HC-D4N-2D tvrtke *Hartzell*. Os motora odstupa od uzdužne osi aviona dva stupnja nadolje i dva stupnja u desno. Ovakav ugradbeni kut umanjuje nepovoljan učinak zakretnog momenta elise.

3. Obuka pilota

Neki od učenika letača nakon uspješno završenog temeljnog letenja na zrakoplovu *Zlin* 242L dolaze na naprednu obuku na zrakoplovu *Pilatus* PC-9M

Obuka na zrakoplovu *Zlin* 242L sastoji se od tri razdjela:

- Temeljnog i akrobatskog letenja
- Navigacijskog letenja
- Grupnog letenja

Oni ukupno čine oko 50 letačkih sati te nakon raspodjele po tipu letjelice, kadeti dolaze na naprednu obuku na zrakoplovu *Pilatus* PC-9M. Praktični i teorijski dijelovi letačke izobrazbe sastoje se od slijedećih razdjela: [3]

- Tehnička učionica
- Temeljno i akrobatsko letenje
- Navigacijsko letenje
- Instrumentalno letenje
- Temeljno i akrobatsko letenje noću
- Navigacijsko letenje noću
- Temeljno grupno letenje
- Taktičko grupno letenje
- Taktičko letenje zrak-zemlja
- Taktičko letenje zrak-zrak
- Prikaz osposobljenosti pilota

Nadalje, temeljno i akrobatsko letenje noću i navigacijsko letenje noću pripadaju zajedničkom razdjelu koji se naziva noćno letenje zrakoplovom *Pilatus* PC-9M te zadnja tri razdjela: taktičko grupno letenje, taktičko letenje zrak - zemlja i taktičko letenje zrak – zrak objedinjeni su u jedan razdjel koji se naziva namjensko letenje zrakoplovom *Pilatus* PC-9M

Za daljnju obradu teme i definiranje pojmova koji su vezani uz naslov ovog rada bitna su tri razdjela letačke izobrazbe:

- Temeljno grupno letenje
- Taktičko grupno letenje
- Taktičko letenje zrak-zemlja

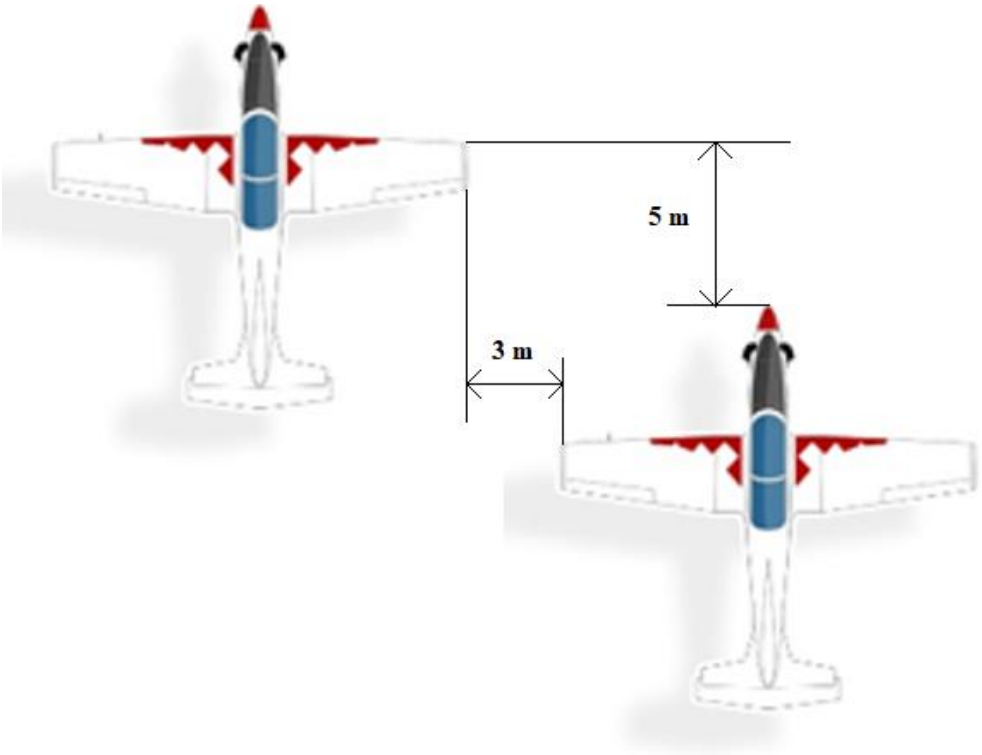
3.1. Temeljno grupno letenje

Istodobno letenje dvaju ili više zrakoplova u određenom borbenom postroju od vizualnog do radarskog pod jednim zapovijedanjem naziva se grupno letenje. Temeljno grupno letenje razdjel je letačke izobrazbe učenika letača u kojem se prvi puta susreću sa letenjem u sastavu para na avionu *Pilatus* PC-9M. Dakle, prema broju zrakoplova grupno letenje izvršava se u sastavu para (dva aviona), u sastavu voda (četiri aviona) i u većim sastavima. [4]

Par čine dva aviona koji lete u određenom borbenom postroju po propisanim normama. Avion broj 1 je vođa para, dok je avion broj 2 pratitelj u paru. [4]

Razmak između dva aviona je određen brojčanom vrijednošću između vrhova krila susjednih aviona. Odmak je određen brojčanom vrijednošću udaljenosti između vrha glavčine propelera pratećeg aviona i napadne ivice krila vodećeg aviona. Sniženje se mjeri razlikom visine uzdužne osi aviona u okomitoj ravnini. [4]

Primaknuti postroj je borbeni postroj aviona u grupi raspoređenih od vođinog aviona od propisanih do dvostrukih normi za odmak, razmak i sniženje. Stupanj je borbeni postroj aviona u grupi raspoređenih u jednoj od strana vođinog aviona po propisanim normama za odmak, razmak i sniženje. [4]



Slika 3.1. Par u primaknutom postroju, desni stupanj [4]

Kao što je već gore spomenuto, svaki borbeni postroj ima svoje norme koje piloti u grupi moraju održavati po odmaku, razmaku i sniženju. Na slici 3.1 se vidi da je norma za odmak u primaknutom postroju 5 m dok je za razmak 3 m, a za sniženje iznosi 1 m. Piloti ove norme održavaju održavanjem vizura na vođinom avionu. Te vizure su vidljive na slici 3.2.



Slika 3.2. Vizura za pozicioniranje pratitelja u primaknutom postroju

U tablici 1 su opisane vizure koje pilot drži kako bi bio na pravilnim normama u primaknutom postroju. Dakle, može se zaključiti da je četvrti avion na slici 3.2. u blagom nadvišenju od aviona ispred i ima nešto veći odmak.

Tablica 1. Vizure u primaknutom postroju [4]

ODMAK	Spoj kormila pravca s vertikalnim stabilizatorom nalazi se u ravnini sa izlaznim ivicom horizontalnog stabilizatora
RAZMAK	Bijelo navigacijsko svjetlo na izlaznom rubu vrha krila prethodnog aviona nalazi se na spoju glavčine propelera i trupa
SNIŽENJE	Trup vođinog aviona nalazi se na horizontu, bijelo navigacijsko svjetlo nalazi se u horizontalnoj ravnini ispušne cijevi motora



Slika 3.3. Par u primaknutom postroju, lijevi stupanj, pogled iz vođinog aviona.

Osim primaknutog postroja, razlikujemo još i razmaknuti postroj gdje piloti održavaju veće norme po odmaku, razmaku i sniženju, a one glase: [4]

- Sniženje 5 m
- Razmak 15 m
- Odmak 1 s leta, za brzinu 210 kt iznosi 105 m ili ovisno o dogovoru i zadaći

Kako bi pravilno održavali poziciju u razmaknutome postroju, piloti također održavaju određene vizure na avionu ispred sebe. Pilot nastoji održati ispušnu cijev aviona ispred između krila i horizontalnog stabilizatora te nastoji održati rub horizontalnog stabilizatora i rub ispušne cijevi u istoj ravnini.



Slika 3.4. Vizure na vođinom avionu u razmaknutom postroju [4]

Još jedan važan element koji je potrebno spomenuti su zaokreti u grupnom letenju. Oni mogu biti zaokreti na vođu i zaokreti na pratitelja. Zaokreti na vođu kao što sama riječ kaže izvode se u stranu vođe, npr. par u lijevom stupnju izvodi desni zaokret. Nadalje, zaokreti na pratitelja izvode se u stranu pratitelja. Dakle, par u lijevom stupnju izvodi lijevi zaokret.



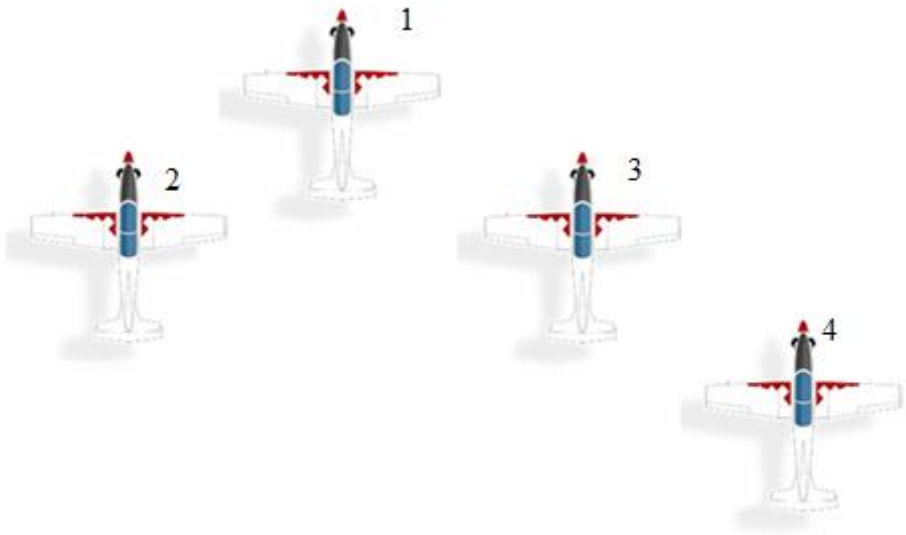
Slika 3.5. Zaokret u razini trupa [4]

Zaokreti na vođu mogu se izvoditi u ravnini trupa i u ravnini krila dok se zaokreti na pratitelja mogu izvoditi samo u ravnini krila. Zaokret u ravnini krila izvodi se s nepromijenjenim vizurama na vođinom avionu, dok se u zaokretu u razini trupa vođin avion nastoji održati na horizontu.

3.2. Taktičko grupno letenje

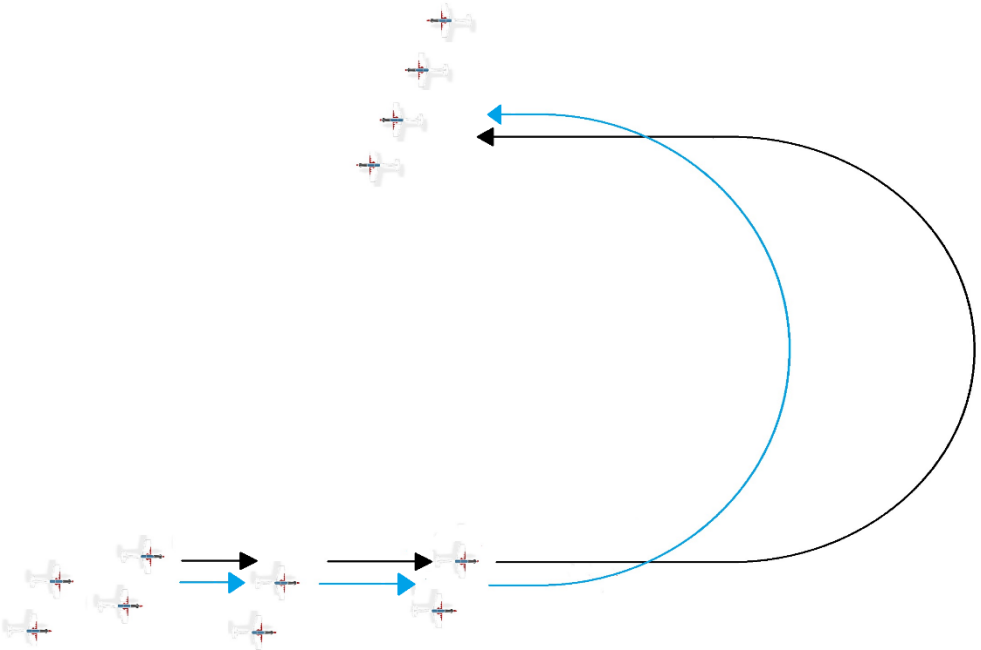
Sada kada su definirani osnovni pojmovi u grupnom letenju moguće je dalje definirati naprednije formacije i manevre koji se izvode u taktičkom grupnom letenju. Do sada je spomenuto samo grupno letenje u paru, no ono se može izvoditi i sa više zrakoplova pa tako ako u formaciji imamo četiri aviona odnosno dva para onda govorimo o vodu.

Grupno letenje sa većim brojem aviona zahtjeva puno mirnije pokrete palicom i dosta više planiranja unaprijed kako bi svaki avion u formaciji mogao na pravilan način ispratiti određeni manevar naročito u primaknutom postroju. Avioni u vodu mogu biti raspoređeni u stupnju, koloni, klinu, frontu i u rombu u primaknutom ili razmaknutom postroju. [4]



Slika 3.6. Vod u desnom klinu

Na slici 3.6. je prikazan vod u desnome klinu. Avion broj jedan predstavlja vođu grupe i ujedno i vođu prvog para, avion broj dva je prvi pratitelj dok je avion broj 3 vođa drugog para, a avion broj četiri drugi pratitelj. Norme za održavanje primaknutog postroja su iste kao i u paru s tom razlikom da prvi pratitelj u stupnju bilo lijevom ili desnom održava sniženje od 1,5 metara kako bi vođa drugog para, a naročito drugi pratitelj mogli vidjeti vođu grupe i vizualne znakove koje on daje.



Slika 3.7. Shema zbora na petlji

Polijetanje grupe u sastavu voda izvodi se po parovima u primaknutome postroju, a zbor grupe vrši se u zraku. Takav manevar naziva se zbor na petlji i prikazan je na slici 3.7. Prvi par postavlja se na pistu na način da vođa skupine zaustavlja avion na prvoj četvrtini piste, a prvi pratitelj postavlja se na vizuru za polijetanje sa desne strane središnjice piste. Drugi par u ovome slučaju ima lakši posao jer postavlja nos svog aviona u vrh krila aviona ispred sebe na odmaku od tri dužine aviona od prvog pratitelja.



Slika 3.8. Postavljanje na pistu

Prvi par polijeće i postavlja kut penjanja od 5° te održava brzinu od 180 čvorova. Po postizanju visine od 1500 ft, vođa skupine uvodi u blagi zaokret za 180° nagiba 30°. Na 3000 ft vođa grupe prevodi u horizontalan let i održava brzinu od 180 čvorova. 10 sekundi nakon što je prvi par otpustio kočnice drugi par kreće sa polijetanjem. Oni postavljaju kut penjanja od 7.5° te održavaju brzinu od 190 čvorova. 5 sekundi nakon što vođa grupe uvede u zaokret, vođa drugog para uvodi u blagi zaokret nagiba 35° te prati prvi par i vrši zbor u primaknuti postroj.



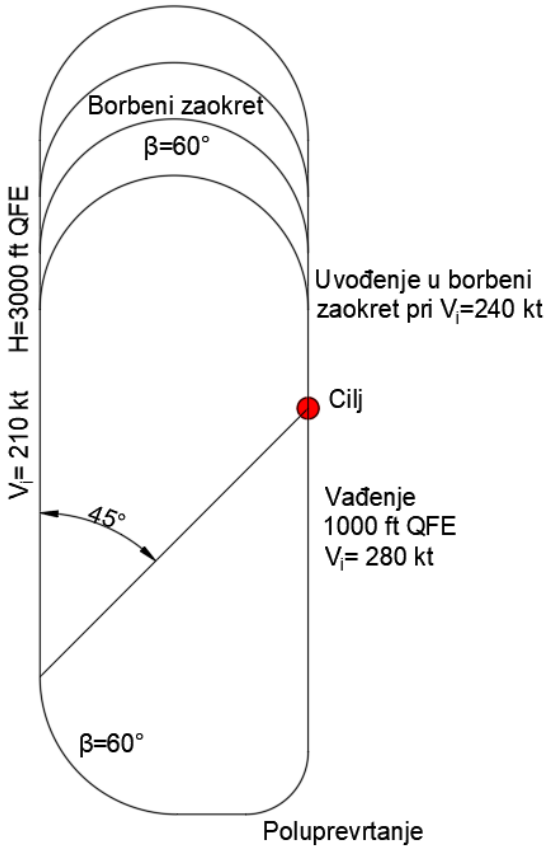
Slika 3.9. Vizura za polijetanje iz zadnje kabine

3.3. Taktičko letenje zrak – zemlja

U ovome poglavlju opisani su pojmovi koji su usko vezani uz temu ovoga rada. Dakle, u ovom razdjelu učenici letači se upoznavaju sa osnovama napadanja ciljeva na zemlji odnosno granatiranja, raketiranja i bombardiranja. Uvježbavanje napadanja ciljeva na zemlji vrši se na dva načina:

- U krugu za granatiranje, raketiranje i bombardiranje, skraćeno GRB krug
- Granatiranje, raketiranje i bombardiranje sa iskakanjem

Nadalje, ovakve zadaće mogu se provoditi jednim avionom, parom ili vodom i to ovisi o tipu zadaće, raspoloživosti aviona, potrebi eskadrile i sl. U vidu ovoga rada odobren je let sa simulacijom granatiranja, bombardiranja i raketiranja u sastavu para pa će rad biti više fokusiran na izvođenje ovakve zadaće u paru, no principi i načela izvođenja ove zadaće sa više zrakoplova su slični i nekakve razlike će se napomenuti u opisivanju.



Slika 3.10. Shema GRB kruga

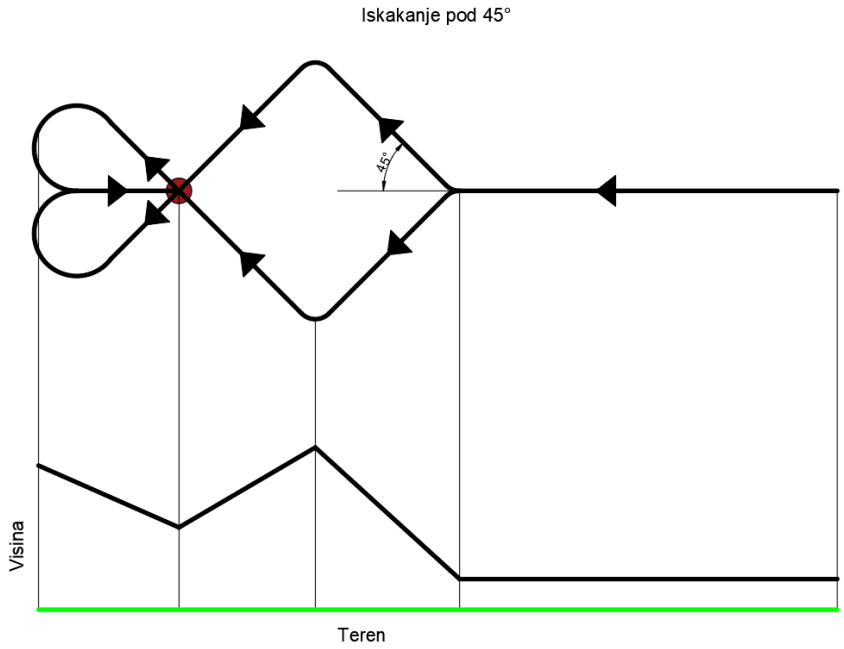
Na slici 3.10. prikazana je shema GRB kruga sa specifičnim točkama. Piloti koji obavljaju ovakvu zadaću dolaze do područja djelovanja te vrše izviđanje područja. Vođa skupine odabire metu te vrši prelet skupine preko mete i upoznaje skupinu s metom. Po preletu objekta djelovanja radi se razlaz grupe u stranu GRB kruga s intervalom od 3 sekunde između aviona. Oštrim zaokretom nagiba 60° vođa vodi grupu u zaokret za 180° za podešavanje napada na objekt djelovanja. Vođa grupe prati objekt djelovanja te kada mu je on pod 45° u nazad uvodi u oštri zaokret za 90° i priprema se za uvođenje u poluprevrtanje tj. napad na objekt djelovanja. Po izvođenju napada vođa postavlja kut penjanja od 25° te pravocrtno penje 5 sekundi i uvodi u borbeni zaokret za ponovno uključenje u krug. Pratitelji nastoje pratiti vođu na zadanom odmaku od 3 sekunde.



Slika 3.11. Vizura za trenutak uvođenja u poluprevrtanje

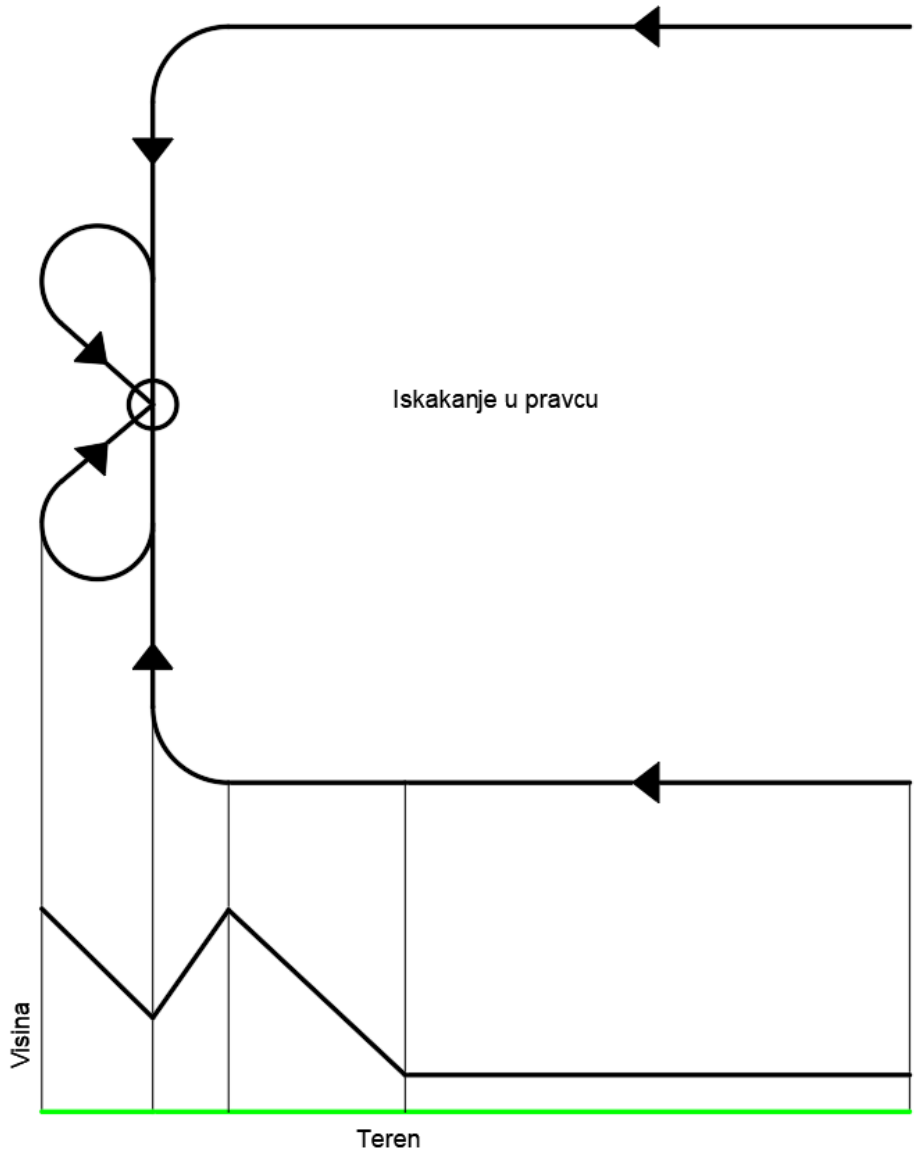
Na slici 3.11. zaokruženo je mjesto na koje pilot pokušava dovesti objekt djelovanja kako bi uveo u poluprevrtanje i izvadio nos aviona u njega te ostvario kutno skretanje za 90° i kut poniranja od 25°.

Osim uvježbavanja napadanja ciljeva na zemlji po GRB krugu ono se još može i raditi gađanjem, raketiranjem i bombardiranjem s iskakanjem u pravcu te iskakanjem pod 45°. Princip ove vježbe je pokušati simulirati stvarnu situaciju u kojoj zrakoplovi dolazi do područja djelovanja u brišućem letu kako bi se pokušali prikriti od neprijateljske protuzračne obrane i radara. Vrše iskakanje na cilj i djelovanje po njemu te nakon završetka djelovanja izvodi se P-A manevar koji služi za izbjegavanje protivničke protuzračne obrane. Ovaj način napadanja dosta je dinamičniji i zahtjeva puno više koncentracije i napora od pilota kako bi se izveo pravilno jer pokušava što bliže simulirati stvarnu situaciju u obavljanju ovakve misije.



Slika 3.12. Iskakanje pod 45°

Na slici 3.12. prikazana je shema granatiranja, raketiranja i bombardiranja sa iskakanjem pod 45°. Avioni koji vrše napad dolaze u brišućem letu direktno prema meti, vođa određuje trenutak iskakanja po orijentiru na zemlji te iskače u lijevu ili desnu stranu pod 45° ovisno o dogovoru grupe prije leta. Pratitelj prati vođu u istu stranu iskakanja te iščekuje vođin početak uvođenja u napad na objekt djelovanja. Vođa uvodi u napad te vrši opaljenje i vadi iz napada. Nakon što vođa krene s vađenjem iz napada, pratitelj se podešava za djelovanje i vrši opaljenje i također vadi iz napada. Vođa nastavlja u pravcu 5-6 sekundi te uvodi u ponovni napad na objekt djelovanja te po vađenju iz drugog napada izvodi P-A odnosno proturaketni manevar u jednu stranu, a pratitelj u drugu kako bi izbjegli potencijalno uzvraćanje vatre neprijateljske protuzračne obrane. U slučaju da vod vrši napad jedan par ide u desno pod 45°, a drugi u lijevo te se vrši uklapanje kako bi svaki avion mogao obaviti opaljenje bez ugrožavanja sigurnosti i mogućeg pogađanja aviona ispred.



Slika 3.13. Iskakanje u pravcu

Na slici 3.13 prikazana je shema gađanja, raketiranja i bombardiranja s iskakanjem u pravcu. Načelo napada je isto kao i u napadanju s iskakanjem pod 45° samo što se ovoga puta dolazi bočno od objekta djelovanja te se u određenom trenutku izvodi iskakanje u pravcu nakon čega se uvodi u napad okomito na smjer dolaska. Pratitelj ponovno prati vođu u razmaknutom postroju te oba aviona izvode dva napada nakon čega ponovno rade P-A manevar te se podešavaju za ponovni napad.

4. Metodologija GPS mjerenja

Format zapisivanja GPS podataka odabran za mjerenja koja su provedena za pisanje ovog rada je *GPS Exchange Format* ili skraćeno GPX. GPX je jednostavan način zapisivanja GPS podataka o nekakvim putnim točkama, rutama i sl. Program koji mjeri GPS podatke u GPX formatu zapisuje sva mjerenja u obliku tekstualnog dokumenta koja se kasnije mogu prenositi s mjernog uređaja na računalo i tamo obraditi. GPX format osim što zapisuje koordinate točke ili rute još zapisuje i točno vrijeme mjerenja po UTC, što je bitno ako se pokušavaju uskladiti mjerenja dva aviona u zraku, njihova visina, brzina, smjer kretanja, ubrzanje ili usporenje i dr. [5]

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!-- Created with BasicAirData GPS Logger for Android - ver. 2.3.1 -->
<!-- Track 2 = 2582 TrackPoints + 0 Placemarks -->

<!-- Track Statistics (based on Total Time | Time in Movement): -->
<!--  Distance = 134,6 km -->
<!--  Duration = 01:42:52 | 53:35 -->
<!--  Altitude Gap = -1 m -->
<!--  Max Speed = 542 km/h -->
<!--  Avg Speed = 78,5 | 150,8 km/h -->
<!--  Direction = SW -->

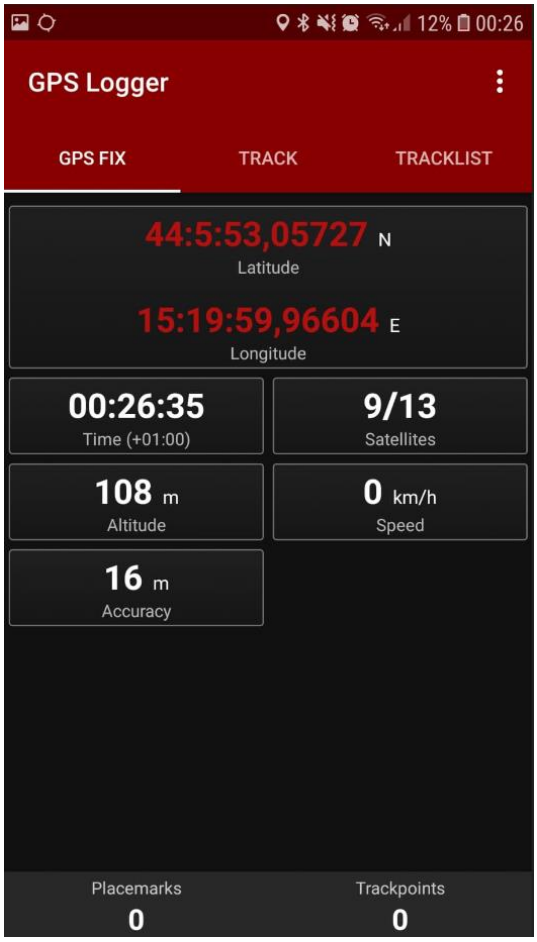
<gpx version="1.0"
     creator="BasicAirData GPS Logger 2.3.1"
     xmlns="http://www.topografix.com/GPX/1/0"
     xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
     xsi:schemaLocation="http://www.topografix.com/GPX/1/0 http://www.topografix.com/GPX/1/0/gpx.xsd">
<name>GPS Logger 20210224-120245</name>
<time>2021-03-04T12:23:20Z</time>

<trk>
 <name>Track 20210224-120245</name>
 <trkseg>
  <trkpt lat="44.10640451" lon="15.34275850"><ele>92.677</ele><time>2021-02-24T11:02:45.999Z</time><speed>0.000</speed><sat>26</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10634541" lon="15.34316751"><ele>84.598</ele><time>2021-02-24T11:27:44.341Z</time><speed>0.188</speed><sat>12</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10635096" lon="15.34317542"><ele>84.690</ele><time>2021-02-24T11:27:45.341Z</time><speed>0.710</speed><sat>20</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10634587" lon="15.34320562"><ele>84.335</ele><time>2021-02-24T11:27:46.999Z</time><speed>0.000</speed><sat>20</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10634402" lon="15.34321618"><ele>83.480</ele><time>2021-02-24T11:27:47.999Z</time><speed>0.000</speed><sat>19</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10634014" lon="15.34322882"><ele>83.528</ele><time>2021-02-24T11:27:48.999Z</time><speed>0.608</speed><sat>20</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10633822" lon="15.34324876"><ele>83.306</ele><time>2021-02-24T11:27:49.999Z</time><speed>1.104</speed><sat>20</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10633671" lon="15.34327308"><ele>83.184</ele><time>2021-02-24T11:27:50.999Z</time><speed>1.374</speed><sat>20</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10633255" lon="15.34329380"><ele>82.926</ele><time>2021-02-24T11:27:51.999Z</time><speed>1.598</speed><sat>19</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10632916" lon="15.34331028"><ele>82.457</ele><time>2021-02-24T11:27:52.999Z</time><speed>1.466</speed><sat>19</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10632773" lon="15.34332769"><ele>81.914</ele><time>2021-02-24T11:27:53.999Z</time><speed>1.470</speed><sat>19</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10632850" lon="15.34334736"><ele>81.624</ele><time>2021-02-24T11:27:54.999Z</time><speed>1.456</speed><sat>18</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10632674" lon="15.34336631"><ele>81.354</ele><time>2021-02-24T11:27:55.999Z</time><speed>1.531</speed><sat>19</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10631968" lon="15.34338897"><ele>81.203</ele><time>2021-02-24T11:27:56.999Z</time><speed>1.471</speed><sat>20</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10631186" lon="15.34340842"><ele>80.346</ele><time>2021-02-24T11:27:57.999Z</time><speed>1.423</speed><sat>20</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10630487" lon="15.34342477"><ele>80.262</ele><time>2021-02-24T11:27:58.999Z</time><speed>1.538</speed><sat>20</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10629971" lon="15.34344493"><ele>80.102</ele><time>2021-02-24T11:27:59.999Z</time><speed>1.757</speed><sat>20</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10629765" lon="15.34346871"><ele>80.942</ele><time>2021-02-24T11:28:00.999Z</time><speed>1.819</speed><sat>20</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10629372" lon="15.34348899"><ele>80.844</ele><time>2021-02-24T11:28:01.999Z</time><speed>1.597</speed><sat>20</sat></trkpt>
  <trkpt lat="44.10628910" lon="15.34350783"><ele>80.881</ele><time>2021-02-24T11:28:02.999Z</time><speed>1.550</speed><sat>20</sat></trkpt>
```

Slika 4.1. GPX zapis

Na slici 4.1. prikazan je GPX zapis GPS podataka. U prvom odlomku vidljiva je aplikacija koja je korištena za mjerenje i govori koliko ima zapisanih točaka rute. U ovom slučaju aplikacija koja je korištena za mjerenje je *GPS Logger* te su izmjerene 2682 točke. U slijedećem odlomku prikazani su statistički podatci rute kao što su ukupna pređena udaljenost, trajanje mjerenja, prosječna i maksimalna brzina i sl. Najveći dio GPX zapisa zauzimaju mjerni podatci za svaku sekundu mjerenja. Ti podatci sadrže informacije o geografskoj dužini i širini, elevaciji, vremenu kada je izmjereno, brzini kretanja, i broju vidljivih satelita. Ovaj način zapisivanja GPS podataka odabran je zbog svoje jednostavnosti u mjerenju i obradi dobivenih podataka.

Kao što je već spomenuto u prijašnjem odlomku, aplikacija koja je korištena za mjerenje i zapisivanje GPX podataka je *GPS Logger*. Aplikacija se može preuzeti na gotovo svaki pametni telefon te je jednostavna za korištenje. Aplikacija automatski traži GPS signal po uspostavi signala potrebno je uključiti snimanje podataka i na kraju mjerenja spremiti dobivene podatke te ih prebaciti na računalo kako bi se dalje obradili.

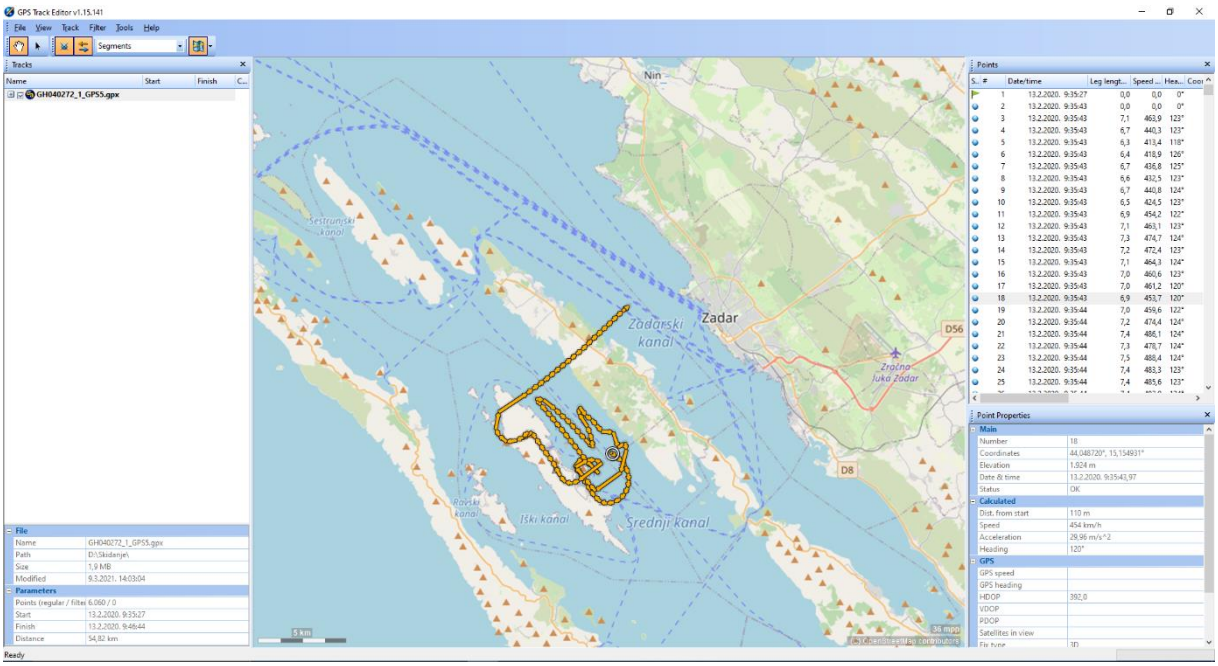


Slika 4.2. Sučelje *GPS Logger* aplikacije

Na slici 4.2 je prikazano sučelje aplikacije nakon što je ona stabilizirala GPS signal te se na njoj vidi da pokazuje koordinate mjerenja, vrijeme u kojem se mjeri, broj vidljivih satelita, elevaciju, brzinu kretanja te preciznost mjerenja. [6] Uređaji koji su korišteni za mjerenje su :

- Samsung Galaxy S9+ u vođinom avionu
- Samsung Galaxy S7 kod pratitelja

Nakon završenog mjerenja aplikacija napravi GPX datoteku koja se prebaci na računalo i naknadno obrađuje pomoću aplikacije *GPS Track Editor*.



Slika 4.3. Sučelje programa *GPS Track Editor*

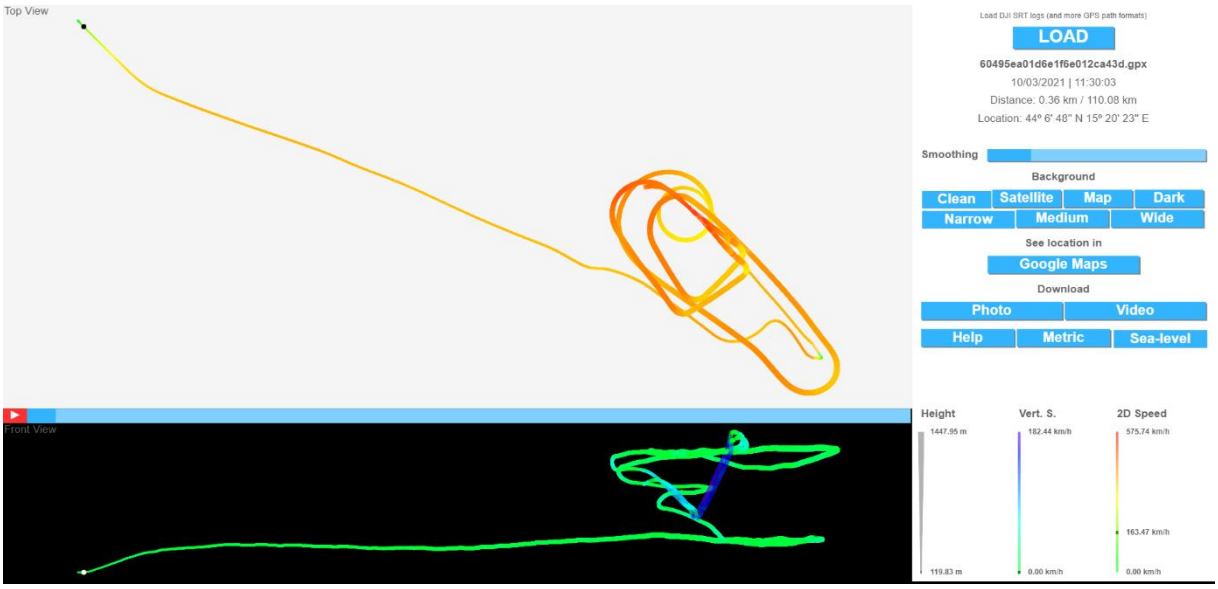
Slika 4.3 prikazuje sučelje aplikacije korištene za daljnju analizu i obradu mjernih podataka. Aplikacija je jednostavna za korištenje te je u nju moguće staviti više mjerenja odjednom kako bi se u ovom slučaju vidio odnos vođe i pratitelja u letu. Moguće je vidjeti podatke o svakoj točki mjerenja posebno te su oni prikazani na jednostavan način s desne strane sučelja i kao najbitnija stvar moguće je filtrirati i izbrisati ili samo sakriti određeni dio podataka. [7]Na primjer, mjerenje je uključeno na stajanci dok su piloti bili van aviona i ti podatci nisu bitni stoga se mogu izbaciti iz zapisa. Kao drugi primjer, ako je potrebno analizirati samo jedan zaokret, moguće je sakriti sve podatke prije i nakon zaokreta kako bi ostali samo podatci o zaokretu i kako bi se lakše moglo fokusirati na njih.

Još kao jedan izvor GPX podataka korištena je i *GoPro Hero 7 Black* kamera u svakom avionu koja također ima mogućnost snimanja GPX podataka u sklopu snimke koju snima tijekom leta. Kako bi se ti podatci dobili potrebno je otići na web stranicu *GoPro Telemetry Extractor* te tamo učitati snimljeni sadržaj i skinuti potrebne podatke. [8]



Slika 4.4. Sučelje web stranice *GoPro Telemetry Extracto*r nakon učitane snimke

Slika 4.4. prikazuje sučelje web stranice *GoPro Telemetry Extractor* na kojem se može vidjeti da osim što se mogu skinuti GPX podaci koje je kamera uhvatila tijekom snimanja, ti isti podatci se mogu vidjeti na karti ili grafu na web stranici te se još mogu dobiti podaci sa akcelerometra i žiroskopa u kameri. Na slici 4.5. su prikazani podatci mjerenja s jedne snimke gdje se vidi da je i ovdje dan detaljan prikaz rute koja je snimljena te je moguće odabrati bilo koju točku na ruti i vidjeti njezine podatke, no nije moguće izolirati samo jedan element na ruti kako bi se lakše analizirali ti podatci i moguće je promatrati i analizirati samo jedno mjerenje odjednom.



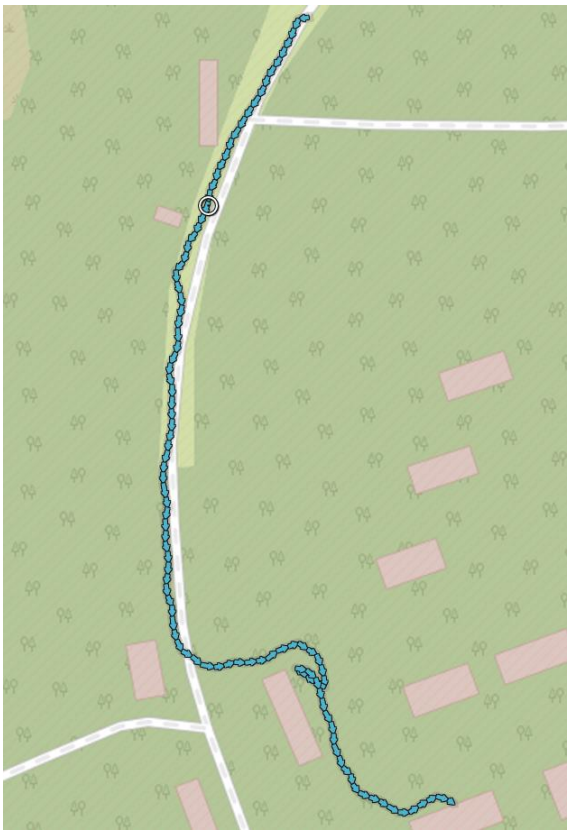
Slika 4.5. Prikaz GPX podataka na karti na web stranici *GOPro Telemetry Extractor*

5. Mjerenja

Kao što je već spomenuto, za izradu ovog rada odobren je jedan let s parom aviona *Pilatus* PC-9M koji će vršiti zadaću simuliranja granatiranja, raketiranja i bombardiranja nekog odabranog cilja po gore opisanim manevrima. No, prije konačnog mjerenja odrađeno je i šest probnih mjerenja kako bi se pokušalo utvrditi da li je uopće moguće izmjeriti i zapisati podatke u letu pametnim telefonom, koji bi mogli biti mogući problemi tijekom mjerenja te da li ima smisla raditi takva mjerenja.

5.1.Probna mjerenja

Odrađeno je šest probnih mjerenja. Mjerenja uključuju pokušaje mjerenja na zemlji uz zadržavanje na jednom mjestu kako bi se odredilo rasipanje dobivenih podataka te kretanje po određenoj ruti kako bi vidjeli da li se aplikacijom može izmjeriti kretanje, brzina kretanja, smjer kretanja, elevacija, broj satelita i sl.



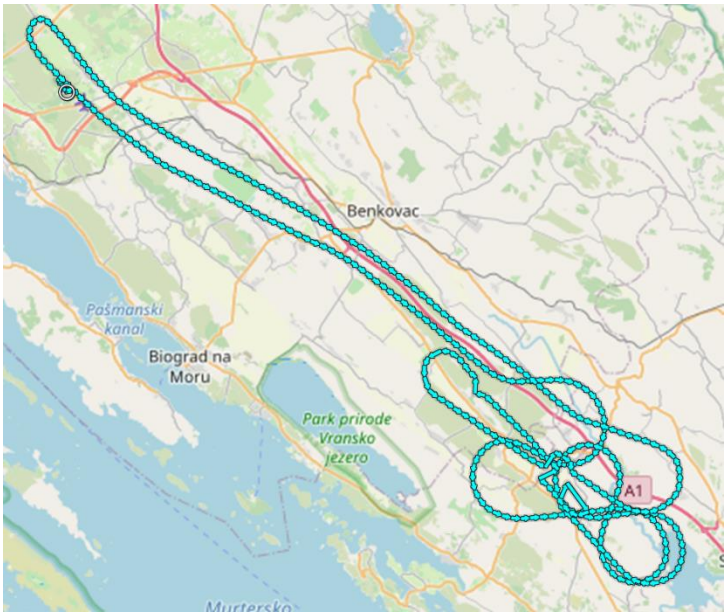
Slika 5.1. Mjerenje u hodu

Na slici 5.1. prikazani su rezultati mjerenja u hodu te su oni dali dosta obećavajuću sliku da bi se i mjerenje u zraku moglo provesti. Također, vidi se da postoji par odstupanja od staze po kojoj se kretao mjerni uređaj, no sva odstupanja su bila unutar 5 metara što je bilo dovoljno točno za analizu koja će se napraviti u ovome radu.

Point Properties	
Main	
Number	91
Coordinates	44,101419°, 15,331240°
Elevation	94 m
Date & time	2.3.2021. 11:15:48
Status	OK
Calculated	
Dist. from start	124 m
Speed	4,9 km/h
Acceleration	1,00 m/s^2
Heading	198°
GPS	
GPS speed	4,3 km/h
GPS heading	
HDOP	
VDOP	
PDOP	
Satellites in view	21

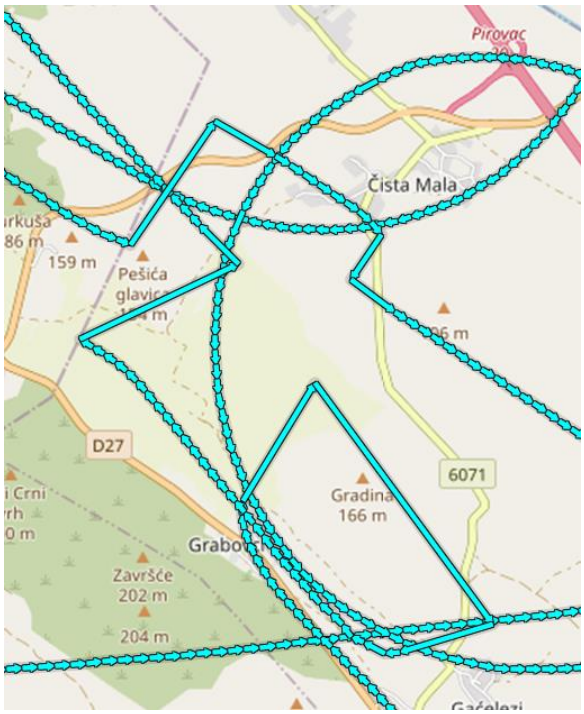
Slika 5.2. Podatci jedne točke mjerenja u hodu

Također, na slici 5.2. se vide različiti podaci koji se mogu izvući iz mjerenja kao što su elevacija, vrijeme mjerenja, koordinate, prijeđena udaljenost, brzina kretanja, smjer kretanja, broj vidljivih satelita i dr. Dakle, sve ovo dalo je obećavajuću sliku da bi se mjerenje moglo provesti i u zraku.



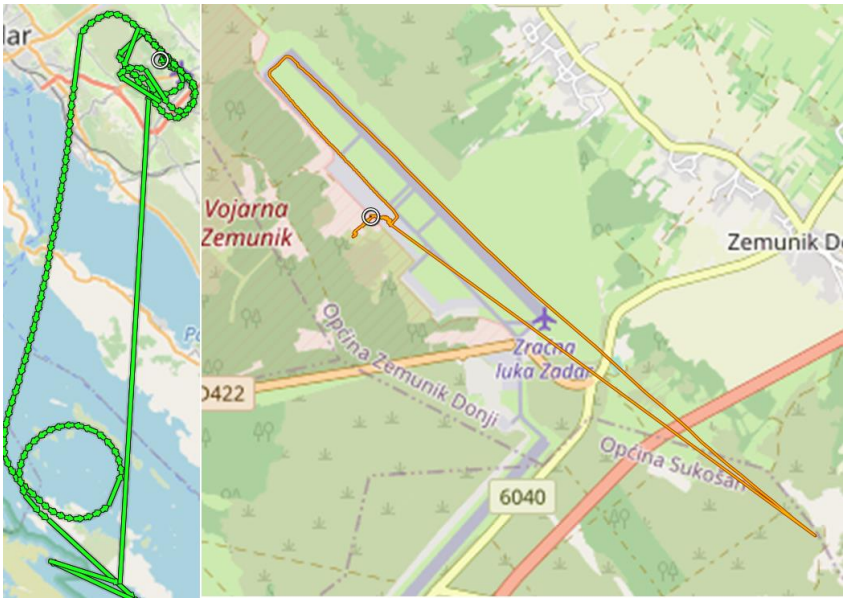
Slika 5.3. Prvo mjerenje u letu

Kao što se vidi na slici 5.3., prvo mjerenje u letu dalo je dobre rezultate i jasno se može vidjeti da se radi o zaokretima te se lako mogu očitati pojedini elementi mjerenja kao što je opisano u odlomku prije. Na par mjesta došlo je do gubitka signala što je rezultiralo isprekidanim linija prikazanim na slici 5.4., ali se one mogu zanemariti jer ih nije bilo previše i ne utječu puno na analizu podataka.



Slika 5.4. Gubitak signala prilikom mjerenja

U slijedeća dva mjerenja, prikazana na slici 5.5., nisu ostvareni dobri rezultati jer je od cijelog mjerenja uspješno snimljeno samo polijetanje i slijetanje te u jednom slučaju prvi zaokret. Meteorološki uvjeti nisu igrali ključnu ulogu prilikom mjerenja jer su na prvom mjerenju koje je bilo dosta uspješno bili granični meteorološki uvjeti, sa niskom naoblakom i dosta turbulencija te se razmišljalo o prekidu leta dok je na druga dva neuspješna mjerenja bilo sunčano i sa jako slabim vjetrom.



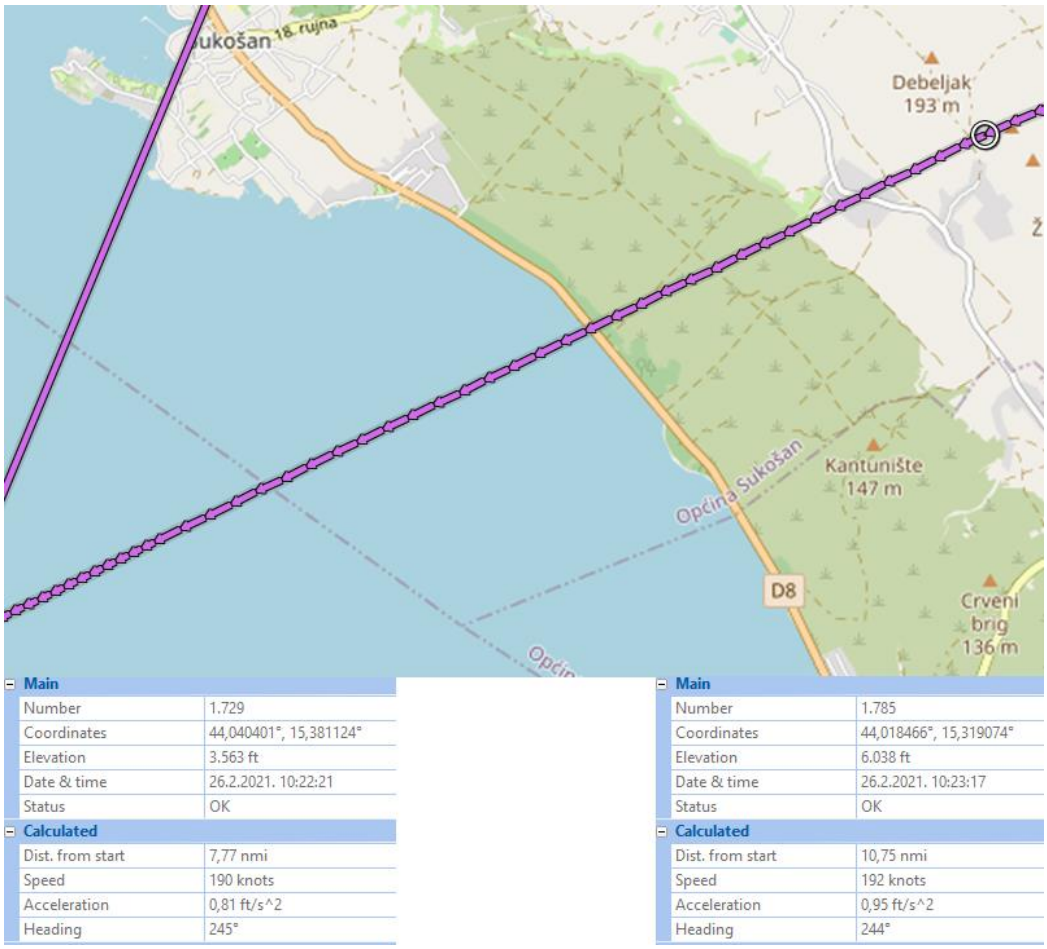
Slika 5.5. Neuspješna mjerenja

Četvrto mjerenje u letu je ponovno bilo uspješno dok je zadnje probno mjerenje ponovno bilo neuspješno, što nije davalo previše nade da će se konačno mjerenje uopće uspjeti odraditi. Dodatnim istraživanjem, odlučeno je isključiti štednju baterije te pametni telefon držati otključan s uključenim zaslonom tijekom cijelog mjerenja što je dalo malo precizniju sliku, no to je mjerenje također vršeno na zemlji i jako kratko neposredno prije konačnog mjerenja kako bi što više pokušali poboljšati vjerojatnost uspješnog snimanja.



Slika 5.6. Elevacija praga

Napravljena je kratka analiza probnih mjerenja kako bi se pokušala utvrditi njihova točnost te kako bi se analizirali neki od elemenata koje su zrakoplovi izvodili tijekom mjerenja. Poznato je da je visina praga 13 u Zračnoj luci Zadar 243 ft prema VFR priručniku Hrvatske kontrole zračne plovidbe [9]. Ako se to usporedi s dobivenim mjerenjem na slici 5.6. koja kaže da je elevacija točke na pragu 300 ft te ako se uzme u obzir visina na kojoj pilot sjedi odnosno gdje je bio postavljen uređaj za mjerenje koja je otprilike 7 ft dobijemo grešku od 50 ft. U drugom mjerenju izmjeren je podatak od 244 ft što otprilike odgovara visini praga. S obzirom na način mjerenja, greška u visini je prihvatljiva i ovisi od mjerenja do mjerenja dok je greška pozicije znatno manja jer se radi o polijetanju para gdje pratitelj polijeće iz desnog stupnja te se nalazi na desnoj polovici piste.



Slika 5.7. Penjanje do zone

Nadalje, pokušat će se odrediti brzina penjanja aviona u letu do zone konstantnom brzinom. Zrakoplov se u prvoj točki nalazi na visini od 3563 ft, a u drugoj na 6038 ft, održava otprilike konstantnu brzinu što znači da ima konstantan kut penjanja i brzinu penjanja koja se može izračunati na slijedeći način:

$$ROC = \frac{(h_2 - h_1)}{t_{penjanja}} * 60 = \frac{(6038 - 3563)}{56} * 60 = 2651{,}176\ \frac{ft}{min} \quad (1)$$

Gdje su:

- ROC – brzina penjanja aviona [ft/min]
- h_2 – visina na kraju penjanja [ft]
- h_1 – visina na početku penjanja [ft]
- $t_{penjanja}$ – vrijeme penjanja [s]



Slika 5.8. Blagi zaokret nagiba 30°

Također, može se odrediti radijus zaokreta pomoću jednadžbe [10]:

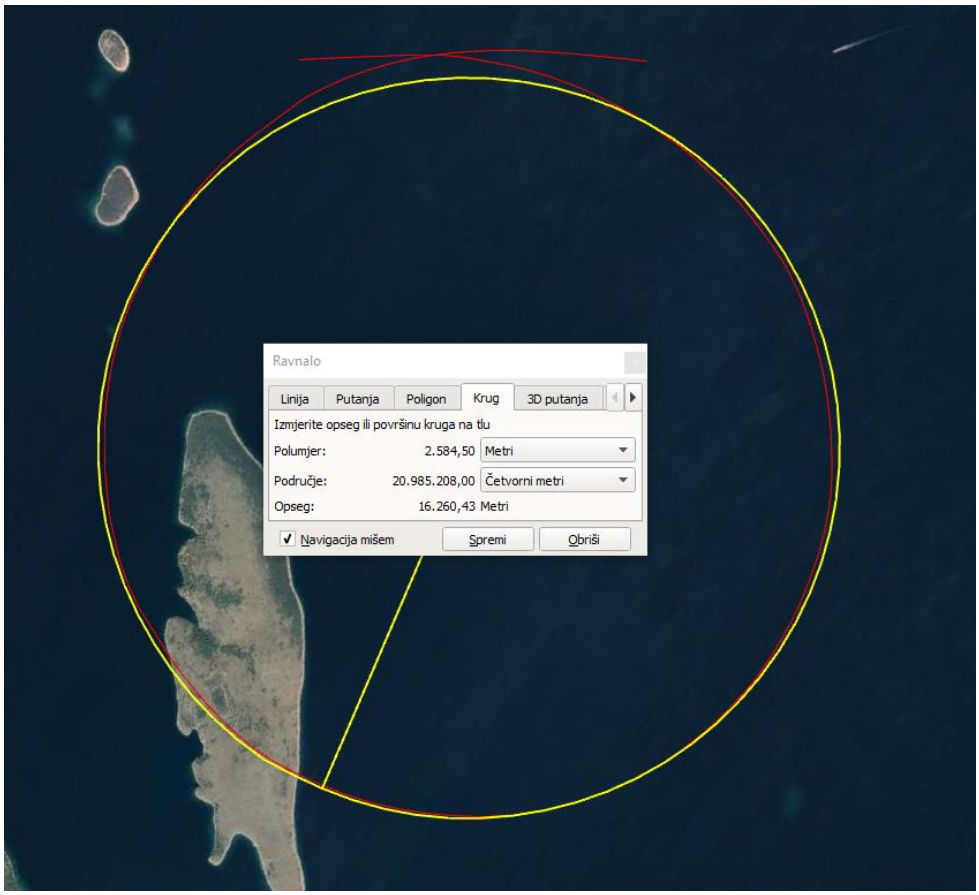
:

$$r = \frac{(V_{m/s})^2}{g * \tan\beta} \tag{2}$$

Gdje su:

- r – radijus zaokreta [m]
- V – stvarna brzina aviona kroz zrak [m/s]
- g – ubrzanje zemljine sile teže [m/s^2]
- β – poprečni nagib [°]

Kada se u formulu uvrsti prosječna brzina kretanja aviona kroz zaokret koja iznosi 235 čvorova odnosno 121 m/s, dobije se radijus od 2585 m, što odgovara zaokretu na slici 5.8. odnosno 5.9.



Slika 5.9. Provjera radijusa zaokreta na Google Earth

Ako se uzme u obzir da je zrakoplov kroz zaokret držao indiciranu brzinu V_i= 210 čvora i poznato je da je letio na visini od 7000 ft, moguće je izračunati stvarnu brzinu zrakoplova u letu na način:

$$V_{tr} = V_i + V_i \cdot 0{,}02 \cdot \frac{h}{1000} = \ 210 + 29{,}4 = 239{,}4 \text{ kt} \tag{3}$$

Gdje su:

- V_{tr} – stvarna brzina aviona kroz zrak
- V_i – indicirana brzina
- h – visina u stopama

Dakle, dobije se stvarna brzina zrakoplova od 239,4 čvora što je otprilike jednako prosječnoj brzini zrakoplova koju je izmjerio GPS. Na ovaj način dobila bi se neznatna razlika u računanju radijusa zaokreta, uz napomenu da GPS mjeri brzinu zrakoplova u odnosu na zemlju u koju je još potrebno uvrstiti i vjetar, no u ovome slučaju je on bio zanemarivo slab.



Slika 5.10. Određivanje smjera vjetra s obzirom na zemaljsku brzinu zrakoplova

Slika 5.10 prikazuje kako se približno može odrediti smjer vjetra s obzirom na brzinu kretanja zrakoplova kroz zaokret. U točkama gdje se zrakoplov kreće najbrže pretpostavlja se da ima najjače izraženu leđnu komponentu vjetra odnosno da na njega djeluje čisti leđni vjetar dok u točki gdje mu je najmanja brzina, pretpostavlja se da djeluje čista čeona komponenta vjetra. Kako bi ova tvrdnja bila dobra, točke minimalne i maksimalne brzine moraju biti suprotnog smjera što u ovom slučaju i jest te se na osnovu toga može odrediti smjer vjetra. Ako se iz podataka o tim točkama može očitati brzina koja u ovom slučaju za točku s maksimalnom brzinom u oba slučaja iznos 250 čvorova, a za točku s minimalnom brzinom 208 čvorova te ako se odredi stvarna brzina zrakoplova kojem je $V_i = 210$ čvorova i leti na visini od 4500 ft, dobit će se stvarna brzina zrakoplova koja iznosi 229 čvorova te brzina vjetra koja iznosi 21 čvor.

5.2. Meteorološki uvjeti konačnog mjerenja

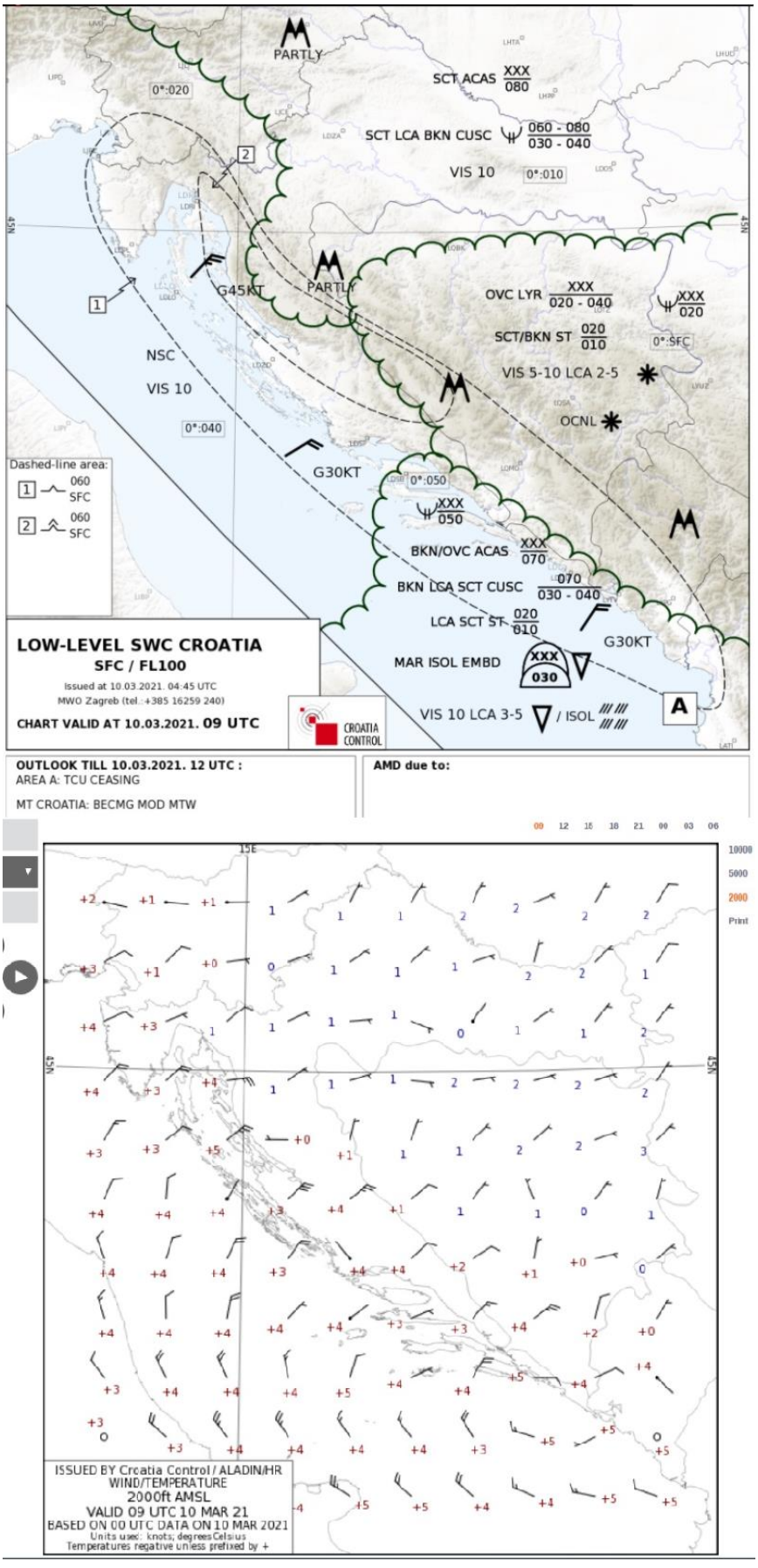
Završno mjerenje izvršeno je 10.3.2021. s zakazanim polijetanjem u 11:30. Kao što je vidljivo iz slike 5.11., METAR i TAF za Zračnu luku Zadar izgledali su dosta povoljno, vjetar varijabilan 6 čvorova, vidljivost iznad deset kilometara, slaba naoblaka na 5000 ft, temperatura 12°C , točka rosišta -6°C, tlak 1015 hPa te s najavom pojačavanja vjetra iz smjera 060 jačine 10 čvorova. U TAF-u također nije bilo značajnijih meteoroloških pojava osim nešto burskog vjetra.

```
METAR LDZD 101030Z VRB06KT 9999 FEW050 13/M06 Q1015 BECMG 06010KT=

TAF LDZD 100525Z 1006/1106 06012KT CAVOK
                 TX13/1012Z TN00/1105Z
    PROB40 TEMPO 1010/1016 VRB08KT
           BECMG 1022/1100 06005KT=
```

Slika 5.11. METAR i TAF na dan konačnog mjerenja [11]

Međutim, na SWL karti prikazanoj na slici 5.12. vidi se da iako nije bilo značajnije naoblake iznad područja letenja, postojalo je područje umjerenih i jakih turbulencija od zemlje pa do 6000 ft iznad zone u kojoj se treba vršiti let, što je bilo i za pretpostavit jer burski vjetar puše u mahovima i stvara turbulencije. Na karti vjetrova po visini vidi se da na 2000 ft iznad područja letenja imamo burski vjetar jačine 30 čvorova. Na izvršnoj pripremi tog dana iskusniji piloti zaključili su da se let može izvršiti unatoč turbulencijama te je donesena odluka da letenje ide po planu.



Slika 5.12. SWL karta na dan mjerenja [12] i karta vjetrova na 2000 ft na dan mjerenja [13]

5.3.Priprema za let

Pri odabiru teme ovog rada u planu je bilo da let tijekom kojeg se provodi završno mjerenje bude u sklopu obuke koju učenici letači trebaju proći te koja je u prijašnjim poglavljima objašnjena. Zbog raznih okolnosti to se nije dogodilo pa je za potrebe ovog rada odobren let simulacije granatiranja, raketiranja i bombardiranja u paru u kojem bi dva aviona s iskusnim pilotima provela let, dok bi autor rada bio u zadnjoj kabini pratećeg aviona i vršio mjerenje.

Po dobivanju odobrenja za let studenti su pozvani u eskadrilu kako bi objasnili pilotima koji bi trebali biti u prednjoj kabini svrhu leta i što bi sve trebali izmjeriti. Po završetku tog sastanka piloti su dobili zadaću pripremiti let te ukratko objasniti sve elemente leta kako bi studenti znali na što obratiti pozornost prilikom mjerenja.

Nakon toga napravljena je priprema opreme za mjerenje. U planu je bilo cijeli let snimiti kamerom te još uz to na kameri uključiti GPS praćenje kako bi bio dostupan dodatan izvor podataka ako podatci s pametnog telefona ne budu valjani. Uz to, na pametnim telefonima isključena je štednja baterije, postavka lokacije morala je biti uključena kako bi se omogućilo zapisivati GPS podatke te je automatsko zaključavanje zaslona bilo isključeno ili postavljeno na najduži vremenski period kako bi pametni telefon bio cijelo vrijeme otključan i kako bi se u letu moglo pratiti snimanje parametara.



Slika 5.13. Kamera i *kneeboard* s pričvršćenom maskicom za pametni telefon

Pametni telefon bio bi pričvršćen za nogu kako bi tijekom leta što lakše pratili snimanje GPS podataka i po potrebi ponovno pokrenuli snimanje u slučaju gubitka signala. Kamera bi u pratećem avionu bila postavljena na kacigu dok bi u vođinom avionu pilot straga ručno snimao položaje dvaju aviona u određenim fazama leta. Slika 5.13. prikazuje način učvršćivanja pametnog telefona za nogu te kameru kojom je sniman let.

5.4. Završno mjerenje

Dakle, kao što je već spomenuto, dana 10.3.2021. u 11:30 prema planu letenja za taj dan bilo je zakazano polijetanje para s kojim je odrađeno mjerenje. Sat vremena prije polijetanja obavljen je dogovor grupe u kojem je bio potvrđen plan rada u zoni, pozivni znak grupe, način odlaska i povratka iz zone te je dogovorena frekvencija za dogovor grupe u zraku.



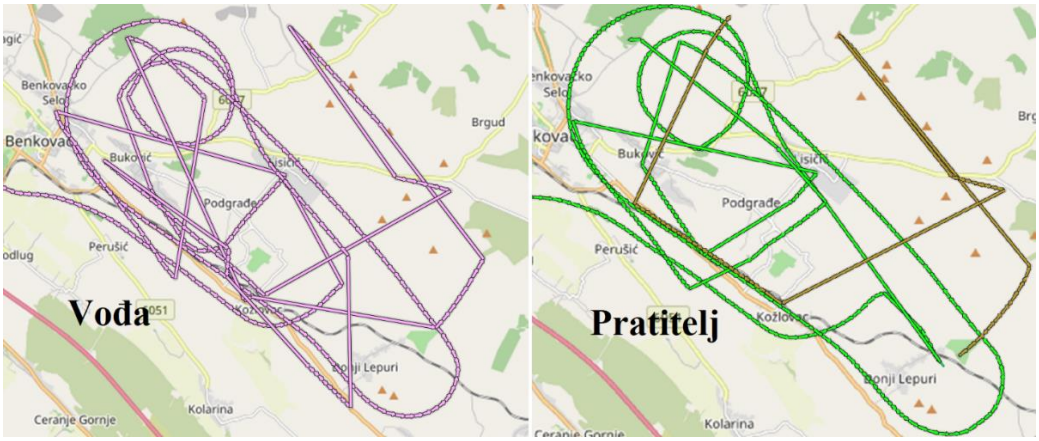
Slika 5.14. Školski poligon za GRB [14]

Slika 5.14 prikazuje školski poligon za GRB u kojem se provodio ovaj let. Polijetanje u paru, primaknuti postroj, desni stupanj. Penjanje do 1000 ft što je ujedno i visina odlaska u zonu.

Plan rada u zoni bio je:

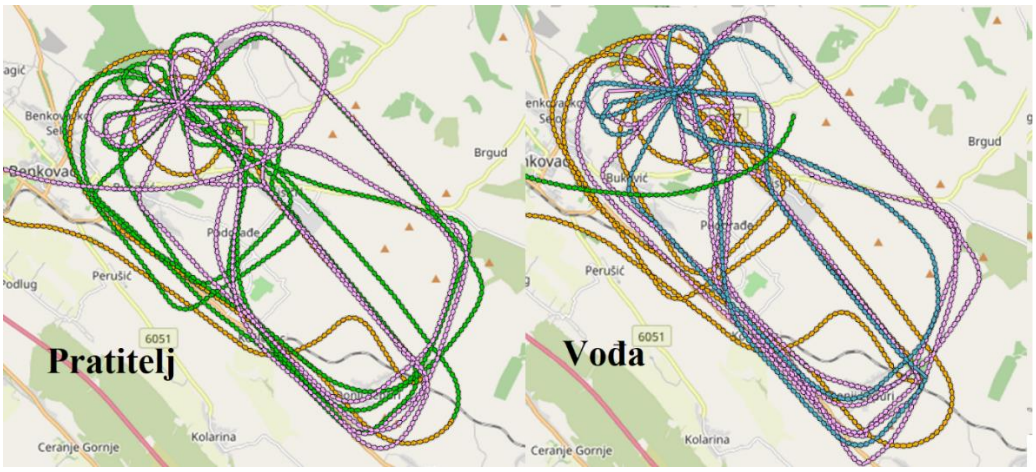
- Po dolasku u zonu provesti izviđanje terena, odrediti granice zone, orijentire za iskakanje, objekt djelovanja, i ostale pomoćne orijentire
- Prelet objekta djelovanja na 4000 ft te razlaz para i uključivanje u GRB krug
- Dva GRB kruga
- Dva iskakanja pod 45°
- Dva iskakanja iz pravca
- Ponavljanje potrebnih elemenata
- Povratak

Nakon polijetanja zbog jakih turbulencija vođa je dao zapovijed razdvajanja u razmaknuti postroj kako bi olakšao pratitelju. Po dolasku u zonu kako je već gore navedeno krenulo se s planom rada. Mjerenje na pametnom telefonu pokazivalo je zabrinjavajuće podatke, u par navrata točnost je bila unutar kruga od 250 m te je u velikom broju slučajeva došlo do pucanja signala i ponovnog pokretanja mjerenja. U letu do zone pametni telefon uspio je zabilježiti sve podatke, no problemi su krenuli prilikom većih nagiba, većeg opterećenja i naglih promjena smjerova koje ovakav let zahtjeva te su na slici 5.15. prikazani rezultati mjerenja pametnim telefonom.



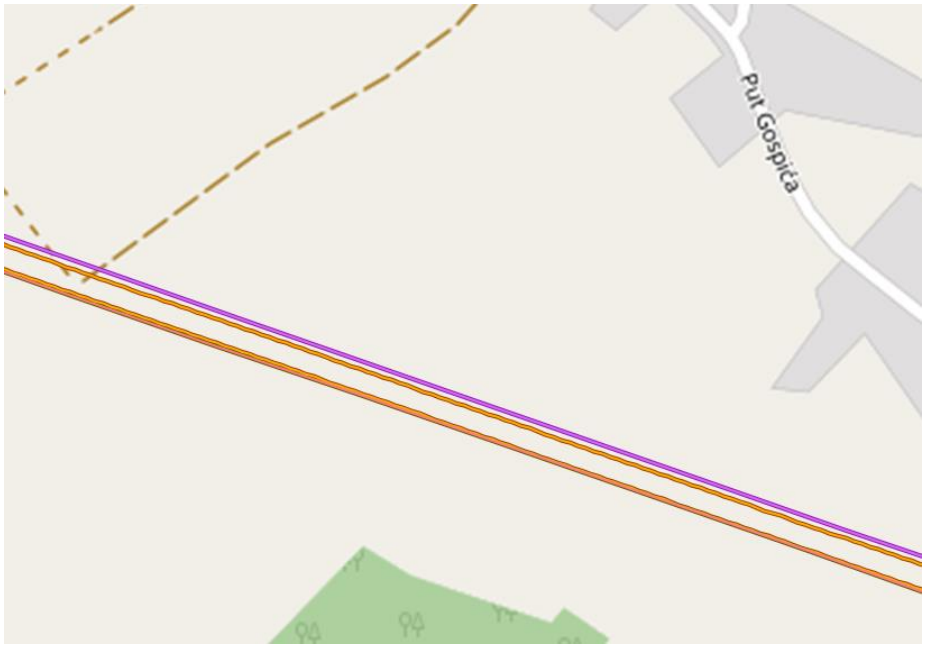
Slika 5.15. Mjerenje pametnim telefonom kod vođe i pratitelja

Na slici 5.15 gdje su prikazani rezultati mjerenja vođe i pratitelja, vidljivo je da su pametni telefoni uspjeli nešto snimiti, par zaokreta, no ništa što sliči na GRB krug ili iskakanja. Dosta razočaravajuća mjerenja, no već je u zraku bilo jasno da će vjerojatno biti problema s mjerenjem zbog čestog gubitka signala i velike nepreciznosti u mjerenju te preostaje pogledati mjerne podatke koje je kamera u svakom avionu uspjela zapisati.



Slika 5.16. GPS podatci s kamere

Iz slike 5.16. vidljivo je da su GPS podatci s kamere potpuni s manjim i zanemarivim gubitcima u signalu. Jasno se vide dva GRB kruga, iskakanja iz pravca i pod 45° te „lepeze“ nakon iskakanja. Sada preostaje razvrstati i obraditi dobivene podatke, no prije toga mogu se probati usporediti mjerenja mobilnog uređaja i kamere na mjestima gdje je mobilni uređaj dobro snimio let kako bi se vidjelo da li postoje kakva odstupanja u preciznosti jednog i drugog mjernog uređaja.



Slika 5.17. Mjerenja kamere i pametnog telefona

Na slici 5.17. prikazana su mjerenja sa sva četiri uređaja, gornje dvije linije predstavljaju pametni telefon i kameru vođe dok donje dvije linije predstavljaju pametni telefon i kameru pratitelja i vidljivo je da su mjerenja gotovo identična. Do malo većih odstupanja dolazi kod vođe, no ništa pretjerano veliko i vrijedno spomena.

S obzirom na meteorološke uvjete, naročito turbulencije, neke od normi i parametara kojih su se piloti pridržavali odstupaju, veći su, od zadanih zbog održavanja sigurnosti letenja u takvim uvjetima.

Po završetku s radom u zoni par je ostao u razmaknutom postroju te se najbržim putem vratio natrag na slijetanje u Zračnu luku Zadar. S obzirom da je vjetar bio bočni u odnosu na pružanje piste, slijetanje je izvršeno na suprotni prag od praga polijetanja.

6. Obrada podataka

Kao što je već spomenuto, sva GPS mjerenja zapisana su u GPX formatu i program koji je korišten za njihovu obradu i analizu je „GPX Track Editor“. U programu je moguće izolirati željeni dio leta , npr. jedan GRB krug, kako ostale putanje koje sijeku manevar koji se obrađuje ne bi smetale u daljnjoj analizi.

Points

S..	#	Date/time	Leg lengt...	Speed ...	Hea...	Coor
	47.376	10.3.2021. 12:16:27	7,4	73,0	318°	
	47.377	10.3.2021. 12:16:27	7,3	86,6	314°	
	47.378	10.3.2021. 12:16:27	7,1	70,4	316°	
	47.379	10.3.2021. 12:16:27	7,1	84,4	316°	
	47.380	10.3.2021. 12:16:27	7,4	73,0	318°	
	47.381	10.3.2021. 12:16:27	7,1	84,4	316°	
	47.382	10.3.2021. 12:16:27	7,3	72,2	314°	
	47.383	10.3.2021. 12:16:27	6,9	82,3	317°	
	47.384	10.3.2021. 12:16:27	7,1	70,4	316°	
	47.385	10.3.2021. 12:16:27	7,1	84,4	316°	
	47.386	10.3.2021. 12:16:27	7,4	73,0	318°	
	47.387	10.3.2021. 12:16:27	7,1	84,4	316°	
	47.388	10.3.2021. 12:16:27	7,1	70,4	316°	
	47.389	10.3.2021. 12:16:27	7,1	84,4	316°	
	47.390	10.3.2021. 12:16:28	6,9	68,6	317°	
	47.391	10.3.2021. 12:16:28	7,1	84,4	316°	
	47.392	10.3.2021. 12:16:28	7,1	70,4	316°	
	47.393	10.3.2021. 12:16:28	6,9	81,4	314°	
	47.394	10.3.2021. 12:16:28	6,9	68,6	317°	
	47.395	10.3.2021. 12:16:28	7,1	84,4	316°	
	47.396	10.3.2021. 12:16:28	6,9	68,6	317°	
	47.397	10.3.2021. 12:16:28	7,1	84,4	316°	
	47.398	10.3.2021. 12:16:28	6,7	66,0	315°	
	47.399	10.3.2021. 12:16:28	6,9	82,3	317°	
	47.400	10.3.2021. 12:16:28	7,1	70,4	316°	

Slika 6.1. Broj zabilježenih točaka u cijelom letu

Međutim, kao što je vidljivo na slici 6.1., jedan let ima 47400 izmjerenih točaka, a jedan manevar koji se analizira ima oko 1000 do 2000 točaka. Tu nastaje problem jer *GPX Track Editor* nema mogućnost brisanja više točaka odjednom nego bi trebalo svaku od preostalih 45000 točaka obrisati pojedinačno i ako se uz to želi analizirati i pozicija pratitelja u odnosu na vođu u određenom manevru potrebno je dodatnih 45000 točaka pojedinačno brisati.

Rješenje tog problema pronalazi se u GPX datoteci i njenom načinu zapisivanja. GPX format je tekstualnog oblika i moguće ga je otvoriti bilo kojim programom za obradu teksta. U *GPX Track Editoru* potrebno je naći vrijeme početne i krajnje točke manevra koji se analizira i u tekstualnom obliku otvoriti GPX datoteku i obrisati sve točke prije i nakon tog vremena i spremiti taj zapis kao posebnu GPX datoteku kako se ne bi izgubile ostale točke potrebne za daljnju analizu.



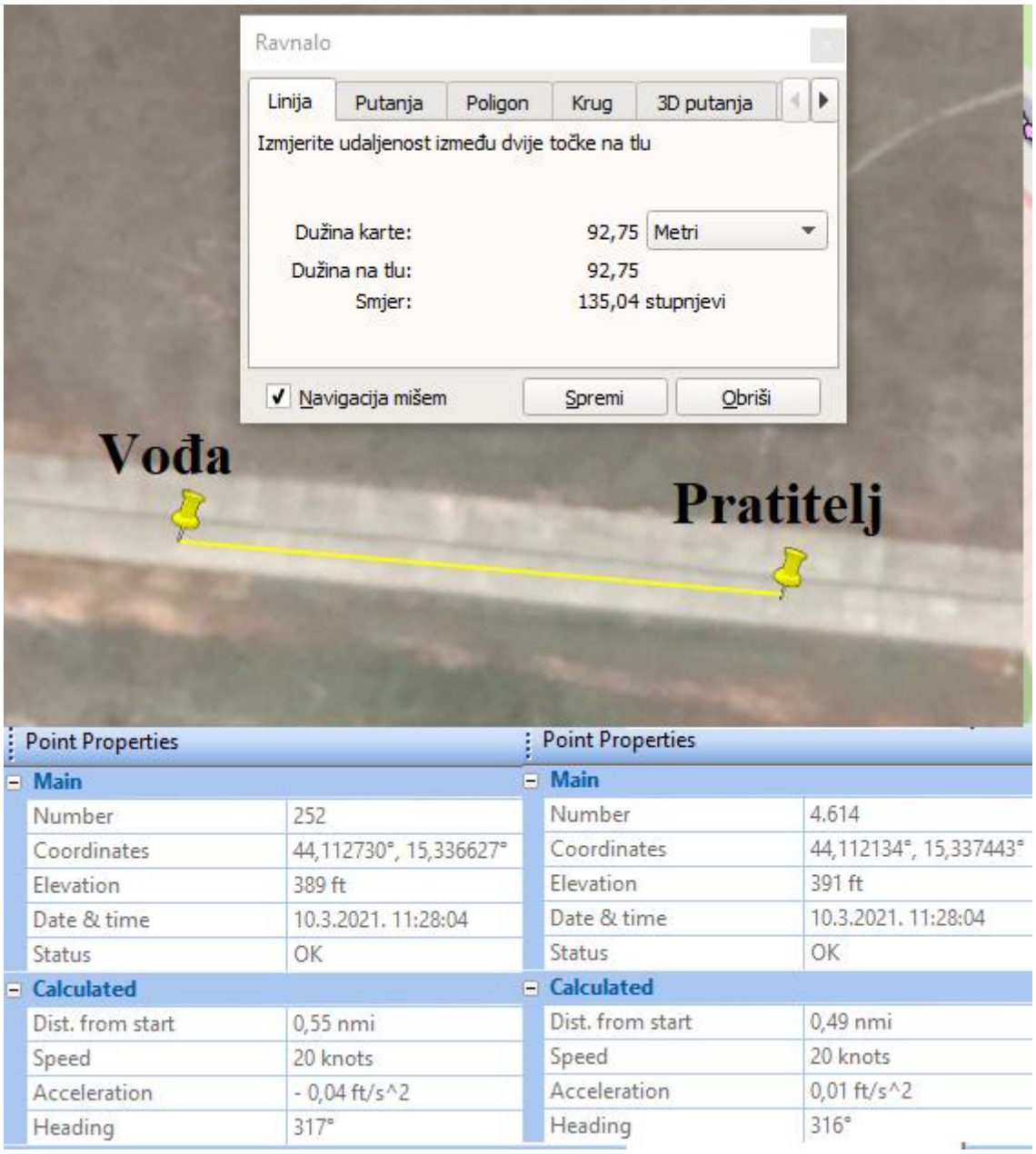
Slika 6.2. Točka u programu *GPX Track Editor* i u GPX zapisu

Slika 6.2. prikazuje istu točku u programu *GPX Track Editor* te u GPX zapisu tekstualnog oblika. Program prikazuje vrijeme u lokalnom vremenu dok je u GPX zapisu UTC. Kako bi se skratila ruta te tako olakšala analiza podataka, u tekstualnom obliku obrišu se sve točke prije te odabrane točke i spreme se kao posebna GPX datoteka što je znatno brže nego brisati točku po točku u programu.

Nadalje, pomoću programa *GPX Track Editor* nije moguće mjerit radijuse zaokreta, dužine nekakvih etapa i sl., pa se nakon izoliranja željenog djela leta GPX format prebacuje u KML kako bi se on mogao otvoriti u programu *Google Earth Pro* s kojim je moguće izmjeriti potrebne dijelove leta.

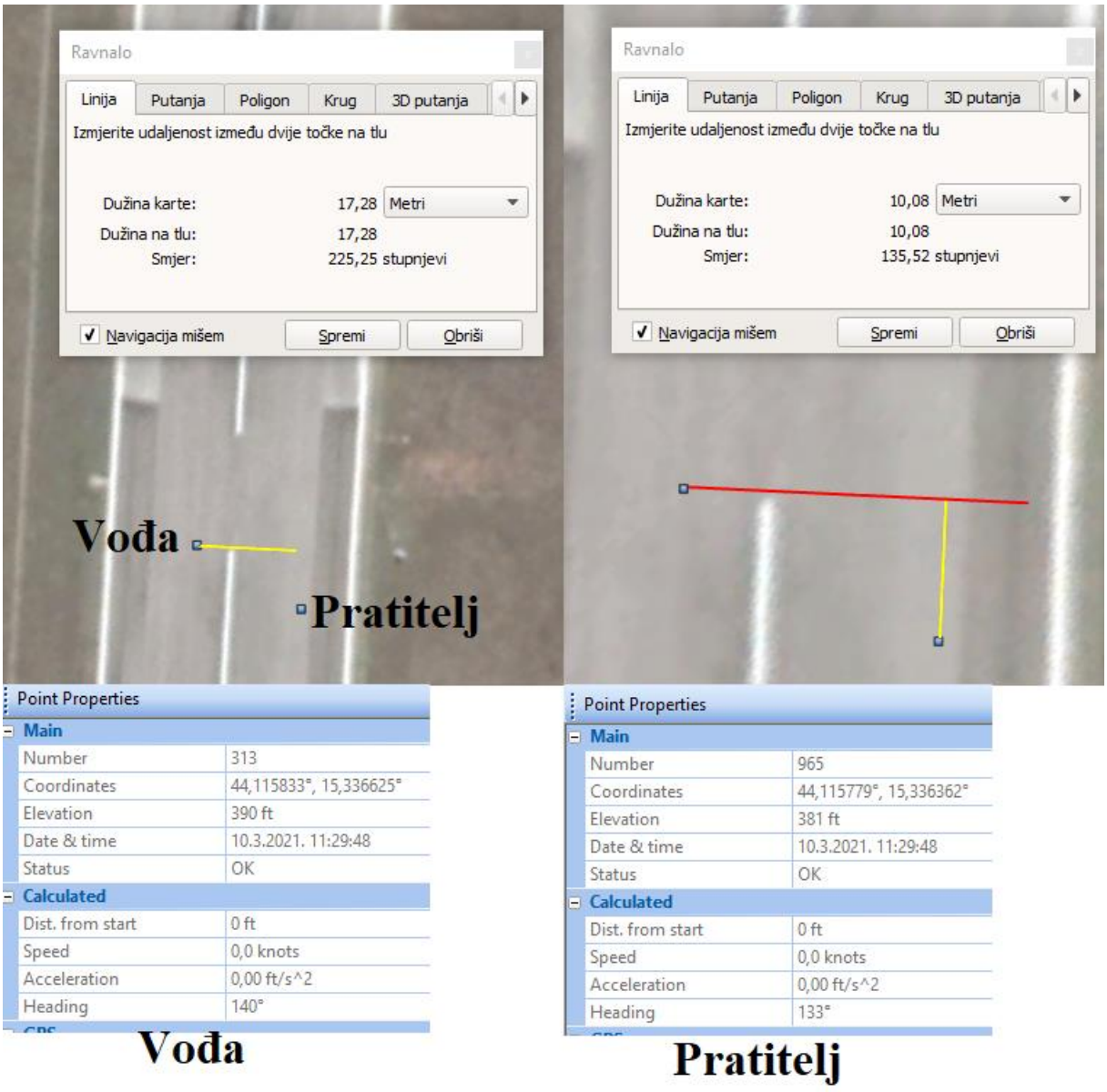
7. Analiza podataka i proračuni

Nakon što su objašnjeni svi elementi ovog rada, dolazi se do analize završnog mjerenja te proračuna koji su vezani uz njega. Priprema leta i dogovor grupe objašnjeni su u prijašnjim poglavljima pa se s toga kreće od voženja para do praga.



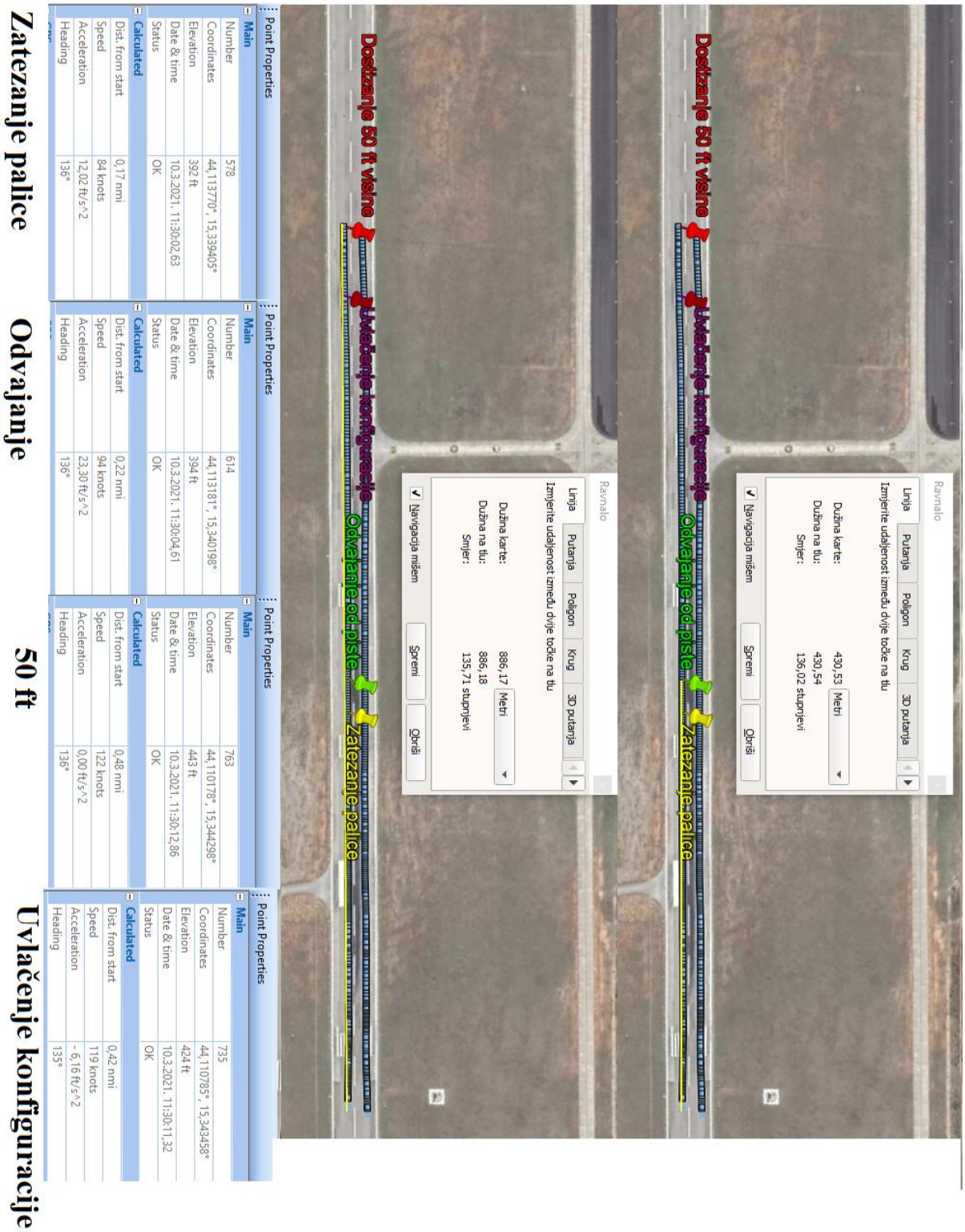
Slika 7.1. Voženje u paru

Sa slike 7.1. vidljivo je da pratitelj i vođa voze brzinom od 20 čvorova te se nalaze na odmaku od približno 93 m jedan od drugoga što je i prema normama dobro jer brzina voženja treba biti između 15-20 čvorova na udaljenosti od 70 do 100 m.



Slika 7.2. Postavljanje na pistu

Slika 7.2. prikazuje postavljanje para na pistu te odmak i razmak od uređaja do uređaja, a kako bi se dobio razmak od aviona prema definiciji iz poglavlja 3 koja kaže da je razmak aviona udaljenost između vrhova krila, potrebno je od gore dobivenog razmaka 17.28 m oduzeti raspon krila 10.19 m i dobiti udaljenost od vrhova krila u iznosu od 7.09 m. Treba napomenuti da postoji greška u mjerenju i da će se teško dobiti točni rezultati na ovako malim udaljenostima. Ako se uzme u obzir odmak od 10 m, to bi značilo da pilot pratećeg aviona umjesto da se nalazi u ravnini s repom vodećeg aviona kako bi mu odgovarala vizura za polijetanje, stoji 4-5 metara iza repa vodećeg aviona.



Slika 7.3. Dužina zaleta

Na slici 7.3. vidljiva je dužina polijetanja zrakoplova u paru pa se tako može vidjeti da dužina zaleta iznosi približno 430 metara dok dužina polijetanja do dostizanja 50 ft visine iznosi 886 metara. Nadalje, vidljivo je kada se događaju kritični trenutci tijekom polijetanja kao što su početak zatezanja palice, odvajanje od piste te uvlačenje konfiguracije.

Izmjerene brzine po GPS-u su uglavnom za 10 čvorova veće od brzina koje pilot očitava po brzinomjeru. Pa se tako zateže palica na Vi = 70 kt, odvajanje se događa pri brzini od 80 kt, a konfiguracija se uvlači pri brzini od 110 kt.



Slika 7.4. Odvajanje vođinog aviona od piste

Slika 7.4. prikazuje odvajanje vođinog zrakoplova od piste. S obzirom na snimku mnogo je lakše odrediti točne trenutke odvajanja od piste te uvlačenja konfiguracije jer su snimka i GPS mjerenja povezani. Prateći snimku lako se može odrediti točna pozicija ovih radnji u odnosu na pistu i zabilježiti na mjerenjima.



Slika 7.5. Uvlačenje konfiguracije

Slika 7.5. prikazuje vođin avion u fazi uvlačenja stajnog trapa i zakrilaca. Vođa daje vizualni znak pratitelju koji signalizira početak uvlačenja konfiguracije te oba aviona istovremeno po postizanju Vi = 110 kt uvlače konfiguraciju.

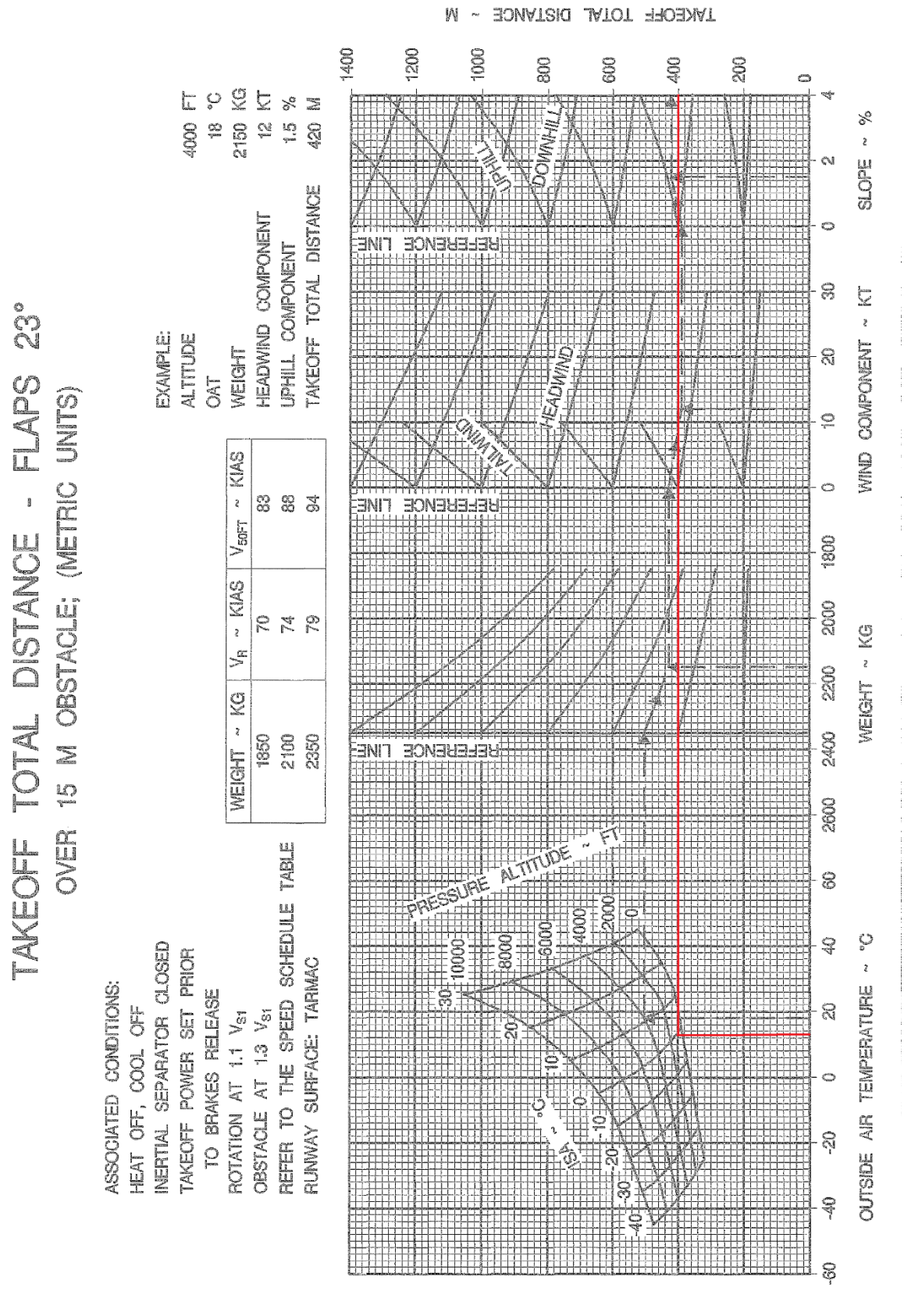


Figure 5-22. Takeoff Total Distance - Flaps 23° (Metric Units)

Slika 7.6. Proračun dužine polijetanja visine 50 ft [1]

Slike 7.6. i 7.7. prikazuju grafove za određivanje potrebne dužine piste za polijetanje i dostizanja visine od 50 ft. Vanjska temperatura očitana u METAR izvješću iznosila je 13°C za vrijeme polijetanja, visina aerodroma je 289 ft, masa je nepoznata, no uzet je najgori slučaj od 2350 kg, te uz uzete uvjete bez vjetra i bez nagiba piste, što se može pronaći u VFR priručniku za Zračnu luku Zadar, dobiju se slijedeće vrijednosti:

- Dužina zaleta 250 m
- Potrebna dužina za postizanje 50 ft 400 m

Dakle, može se zaključiti da se dužina zaleta povećala za približno 72 % dok se dužina dostizanja 50 ft povećala za približno 122 % iz razloga što avioni u paru ne polijeću sa punom snagom, već je vođa ograničen sa postavkom snage kako bi pratitelj u slučaju zaostajanja mogao dodati više snage i sustići vođu.

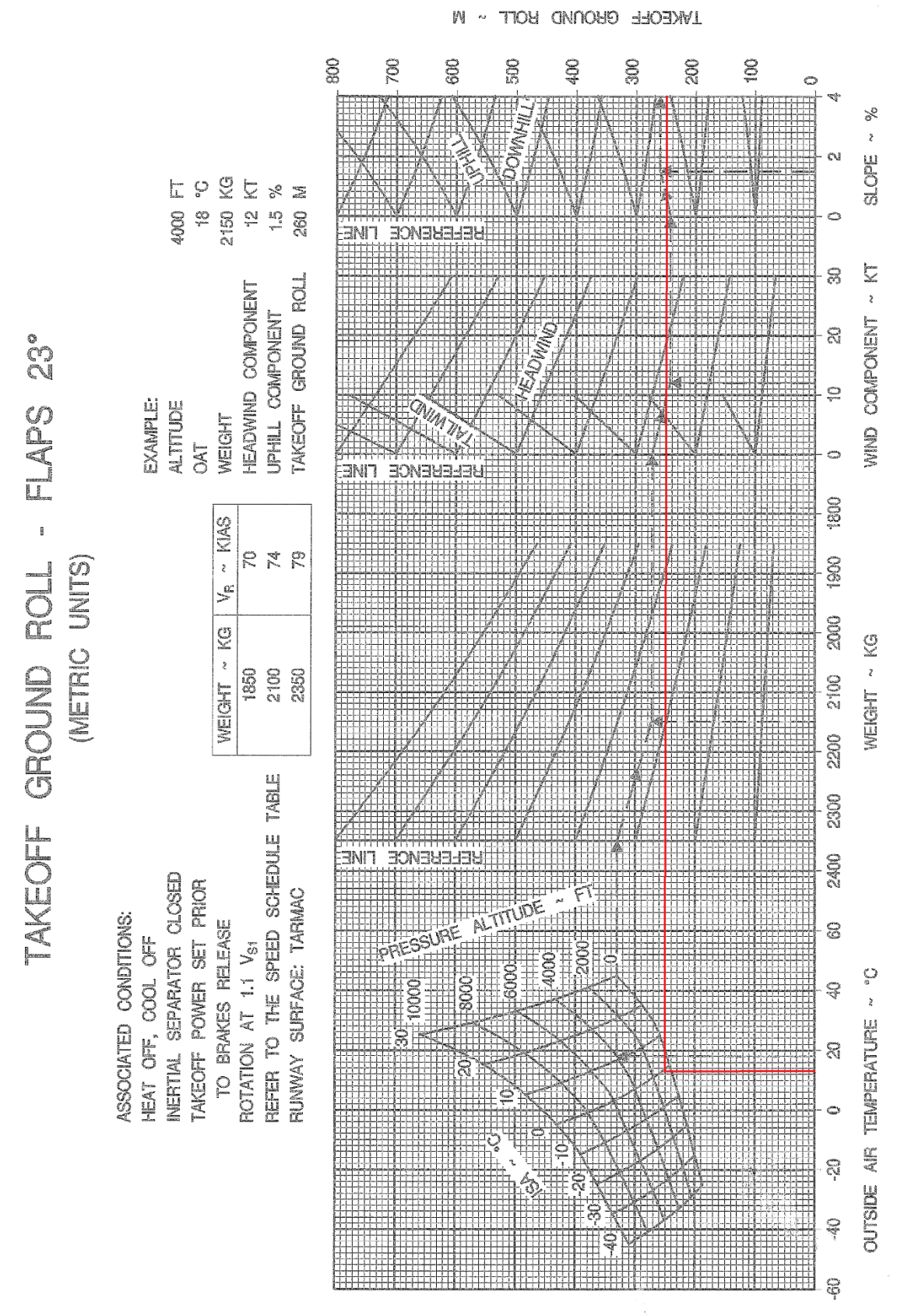
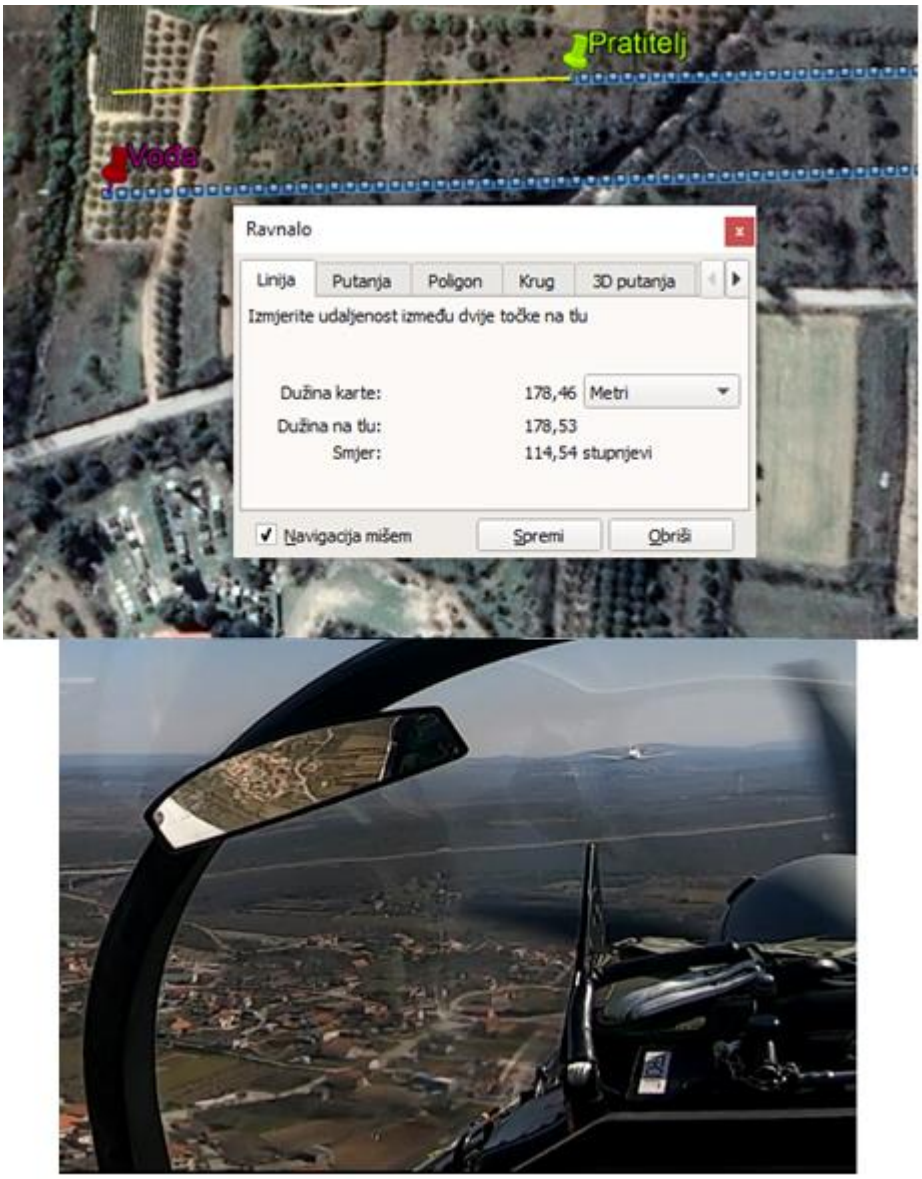


Figure 5-20. Takeoff Ground Roll - Flaps 23° (Metric Units)

Slika 7.7. Proračun duljine zaleta [1]

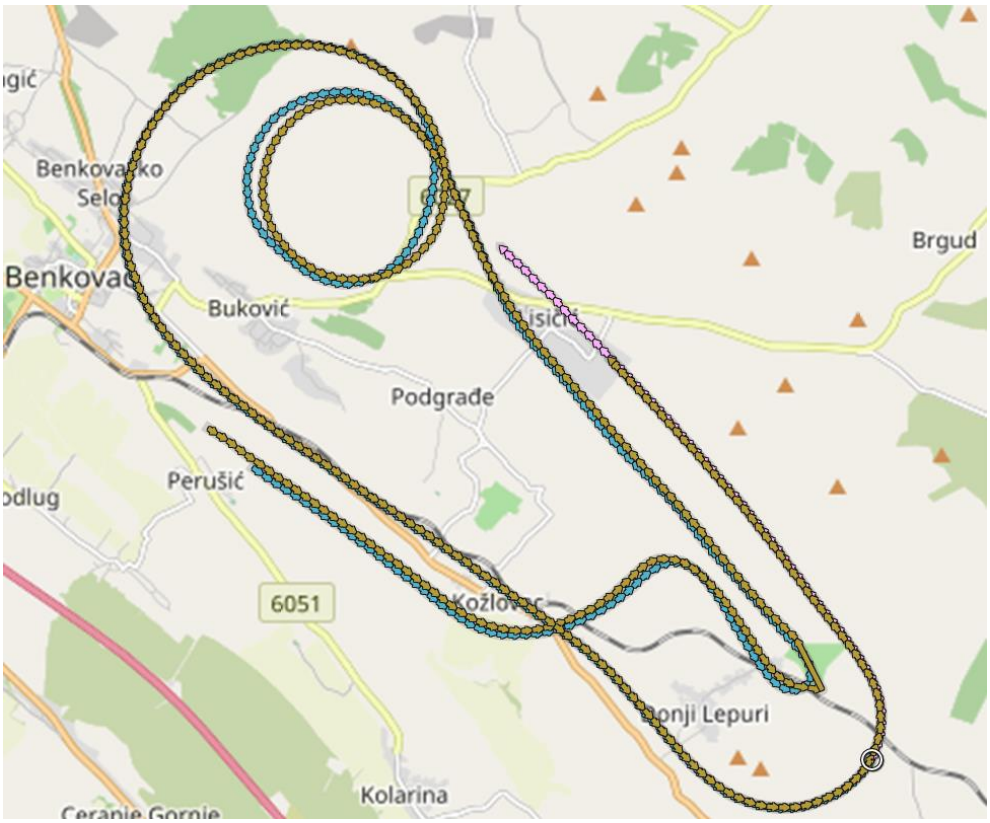
7.1. Let do zone i izviđanje

Slika 7.8. prikazuje let para do poligona za GRB te je vidljivo da lete na odmaku od približno 180 m i razmaku od oko 35 m. Pozicije vođe i pratitelja, kao i u prijašnjim slučajevima, uzete su u istom vremenu prema pokazivanju GPS podataka. Letenje u razmaknutom postroju smanjuje naprezanje i umor pratitelja jer ne mora cijelo vrijeme biti fokusiran na vođin avion i paziti da ga ne udari. Nadalje, omogućuje pratitelju da bude potpora vođi jer može promatrati okolni teren, bolje pratiti situaciju u zraku i biti drugi par očiju vođi. Još jedna prednost letenja u razmaknutom postroju na malim visinama je što omogućuje vođi i pratitelju lakše izbjegavanje ptica.



Slika 7.8. Vođa i pratitelj u letu do zone u razmaknutom postroju

Treba napomenuti da odmak, razmak i sniženje koji se spominju nisu odmak, razmak i sniženje definirani u poglavlju 3.1., već se misli na odmak, razmak i sniženje između mjernih uređaja osim ako nije posebno naglašeno da se radi o odmaku, razmaku i sniženju definiranim u poglavlju 3.1.



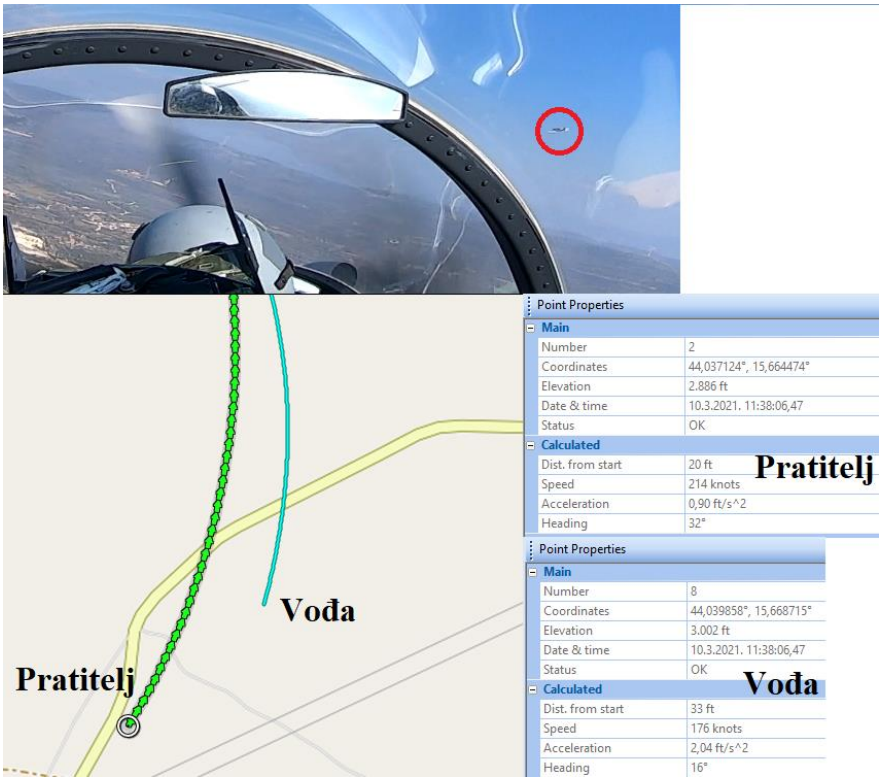
Slika 7.9. Izviđanje zone i odabir orijentira

Po dolasku u zonu par radi izviđanje zone, obilazi se cijela zona te vođa određuje objekt djelovanja, orijentire iskakanja, pravce napada te ih prenosi pratitelju. Pratitelj cijelo vrijeme leti u razmaknutom postroju te sluša vođine zapovijedi i potvrđuje da vidi orijentire i objekt djelovanja. Po završetku izviđanja par se najbržim putem vraća natrag u primaknuti postroj, u ovom slučaju u zboru kroz zaokret koji je jako sličan zboru na petlji. Vođa zapovijeda pratitelju dolazak u desni stupanj u primaknutome postroju, govori mu brzinu i postavku snage kako bi pratitelj mogao imate referencu da ne bi morao izbjegavati vođu zbog loše procjene inercije. Nakon toga vođa uvodi u zaokret u ovom slučaju na pratitelja te se pratitelj kreće približavati s unutarnje strane zaokreta kako bi prelazio kraći put od vođe i došao mu na duple norme u lijevome stupnju u primaknutom postroju. Tamo se nakratko zaustavlja te se prestrojava u desni stupanj i javlja završetak manevra. Nakon što se pratitelj zbori, vođa vadi iz zaokreta te nastavlja sa planom rada.



Slika 7.10. Zbor na krugu

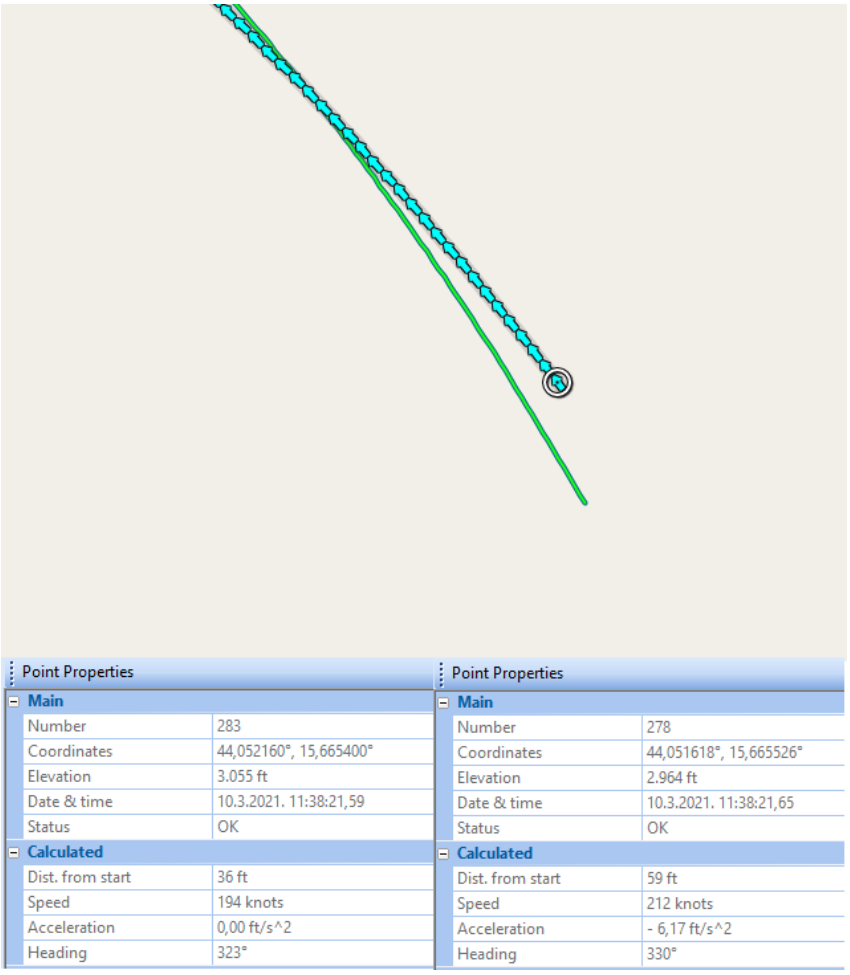
Slika 7.10. vizualno prikazuje sve što je opisano u prijašnjem odlomku. Nadalje, osim što se može slikovno prikazati zbor kroz zaokret, postoje izmjereni GPS podatci koji se mogu analizirati. Tako se mogu vidjeti razlike u brzinama vođe i pratitelja te je moguće vidjeti odnose dvaju aviona u zboru.



Slika 7.11. Početak zbora

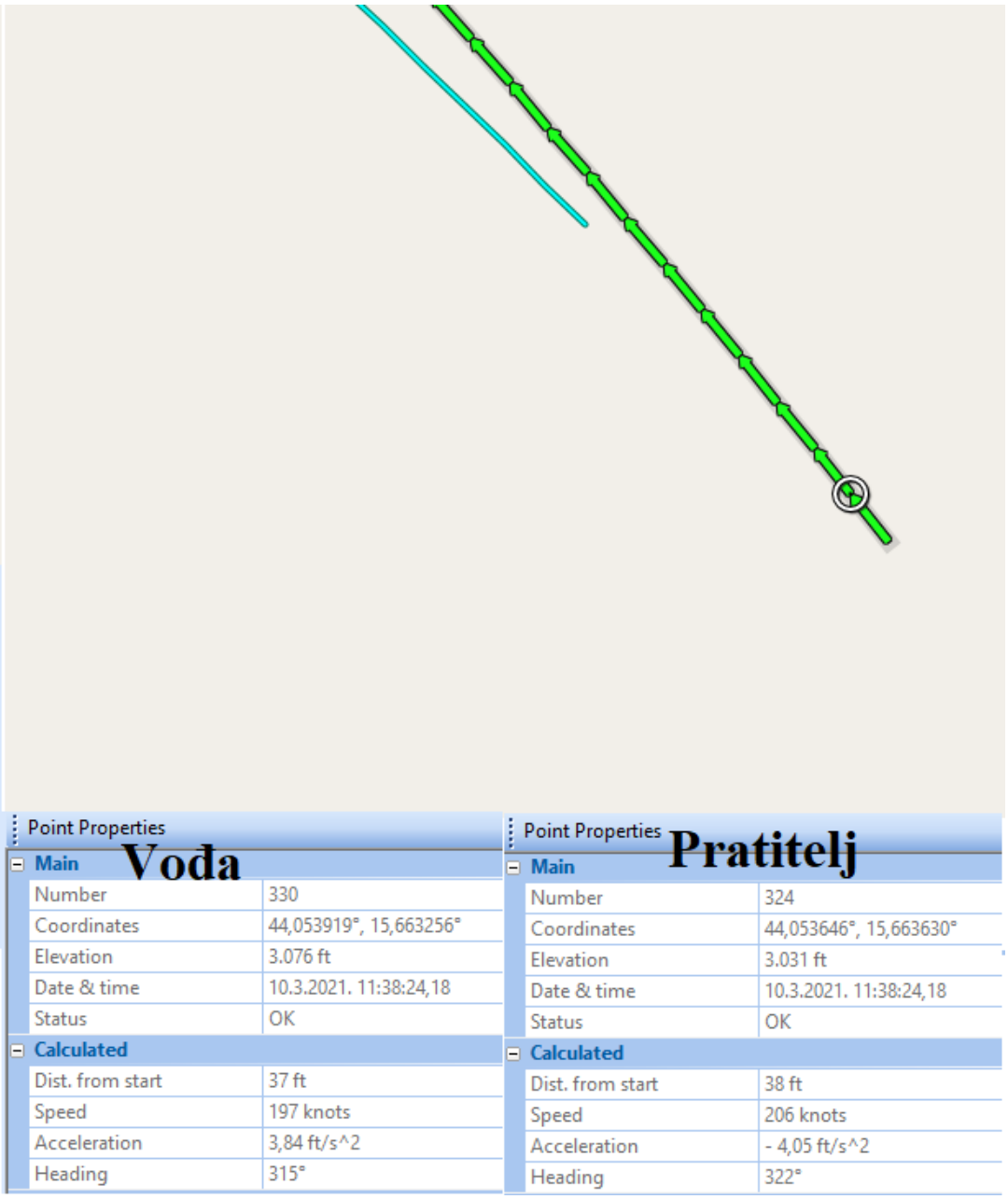
Slika 7.11. prikazuje početne pozicije pratitelja i vođe u zboru. Vidljivo je da se pratitelj nalazi na unutarnjoj strani zaokreta i to u razmaku od 150 m prema *Google Earth* i na odmaku od 400 m. Uz to pratitelj ima veću brzinu od vođe i to za 28 čvorova što ga dovodi u idealne uvjete za zbor.

Slika 7.12. prikazuje prilazak vođi i dolazak u lijevi stupanj. Sada se avioni nalaze na odmaku od 60 metara i razmaku od 25 m. I dalje se vidi da pratitelj ima veću brzinu od vođe, no ako se pogleda akceleracija, primjećuje se da je ona negativna što znači da pratitelj kreće sa poništavanjem inercije i laganim zaustavljanjem u lijevom stupnju prije prelaska u desni.



Slika 7.12. Prilazak vođi u lijevi stupanj

Na slici 7.13. vidljivo je prestrojavanje iz lijevog u desni stupanj. Vođa i pratitelj nalaze se jedan iza drugoga na odmaku od 40 m. Pratitelj u ovome slučaju ima veću brzinu kako bi zadržao odmak od vođe. U slučaju da ima istu brzinu, povećao bi odmak zbog razlike u kursu. Još jedna jako bitna stvar prilikom zbora je to da pratitelj cijelo vrijeme mora održavati sniženje kako bi u slučaju prekasnog početka gašenja inercije mogao na siguran način izbjeći vođu i ostati u vizualnom kontaktu s njim.



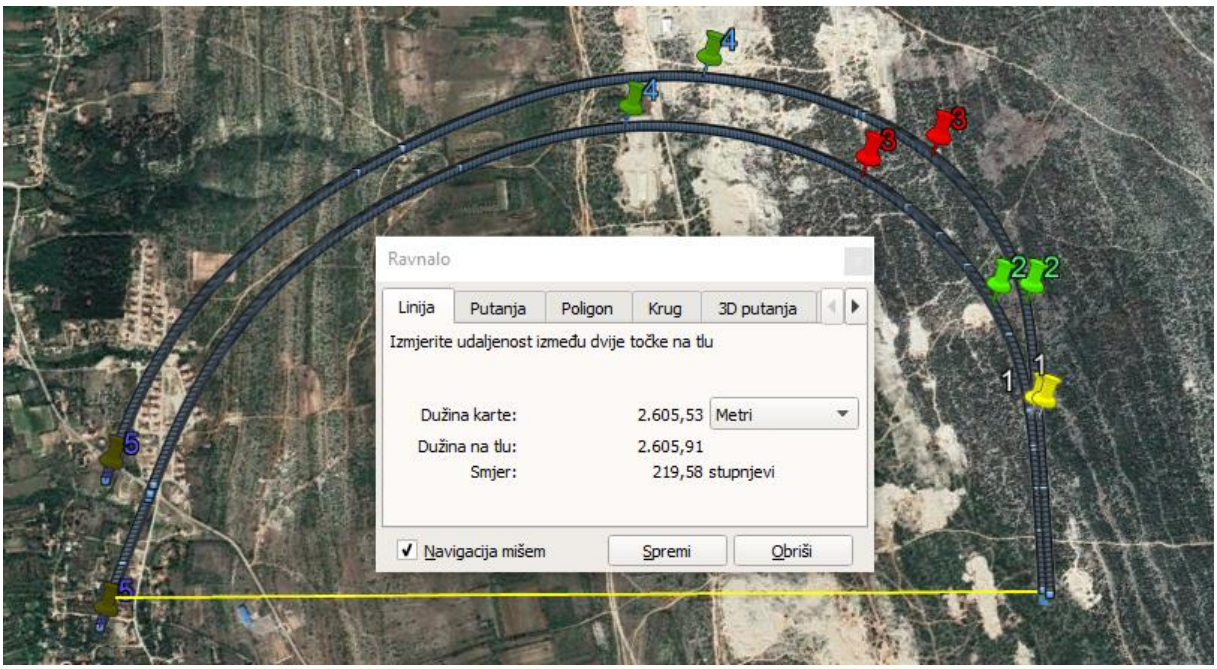
Slika 7.13. Prestrojavanje

Cijeli zbor trajao je 20 sekundi od dobivanja zapovijedi za primaknuti postroj do dolaska u desni stupanj i javljanja vođi da je manevar završio. Po završetku zbora par podešava mjesto u zoni za uvođenje u prvi GRB krug. Nakon podešavanja radi se prelet objekta djelovanja na 4000 ft te razlaz para i ulazak u GRB krug.



Slika 7.14. Razlaz para za uvođenje u GRB krug

Slika 7.14. prikazuje uvođenje vođe u razlaz te nakon toga uvođenje pratitelja u razlaz i konačno vađenje u suprotnome kursu. Vođa podešava par za prelet preko objekta djelovanja te iznad objekta djelovanja daje vizualni signal pratitelju za razlaz i uvodi u njega. Pratitelj 3 sekunde nakon njega uvodi u razlaz i uključuje se u GRB krug u razmaknutom postroju na udaljenosti od 380 m. Par se nalazi 2600 m bočno od točke uvođenja u razlaz.



Slika 7.15. GPS mjerenja razlaza

Na slici 7.15. vidljiv je odnos aviona kroz razlaz. Oznaka 1 predstavlja trenutak uvođenja vođe, avioni se još nalaze u primaknutom postroju. Vođa daje znak i kreće s odvajanjem. Oznaka 2 predstavlja pratiteljev trenutak uvođenja u zaokret točno 3 sekunde nakon vođinog uvođenja. Razmak između aviona u poziciji 2 iznosi 90 m. Oznake 3 i 4 predstavljaju odnos aviona kroz zaokret. Vidi se da pratitelj cijelo vrijeme nastoji održati isti odmak i razmak od vođe tj. nastoji ga cijelo vrijeme držati na istoj vizuri. Oznaka 5 predstavlja vađenje iz zaokreta gdje su sada avioni u razmaknutom postroju na odmaku 380 – 400 m te su spremni za izvođenje GRB kruga.

GPS podatci o brzini kroz razlaz dosta variraju; u jednoj točki prikazana je vrijednost brzine od 200 čvorova, jednu sekundu nakon toga brzina skoči na 260 čvorova te tako kroz cijeli zaokret pa je teško doći do prosječne vrijednosti brzine kroz zaokret. No, s obzirom da je poznato da vođa nastoji držati Vi = 210 čvorova onda je po jednadžbi 3 stvarna brzina kroz zrak na 4000 ft jednaka približno 227 čvorova. Ako se iz jednadžbe 2 izluči nagib, dobije se slijedeća jednadžba:

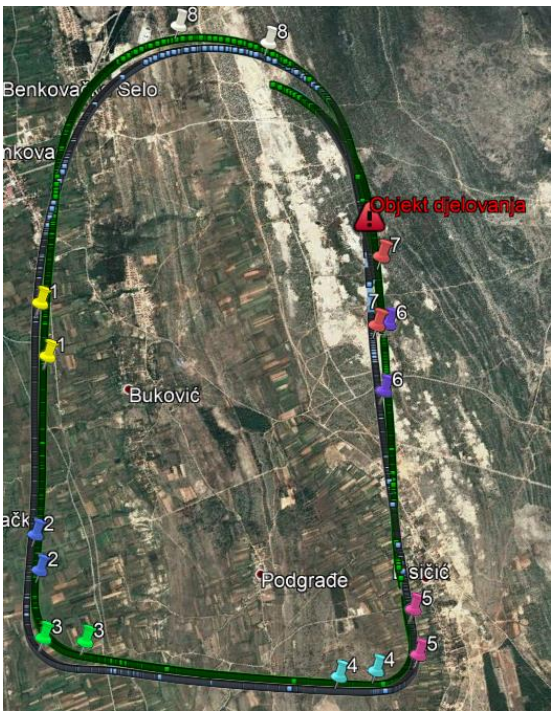
$$\beta = tan^{-1}\left(\frac{V^2}{g*r}\right) = tan^{-1}\left(\frac{116.68^2}{9.81*1300}\right) = 46.87° \quad (4)$$

Gdje su:

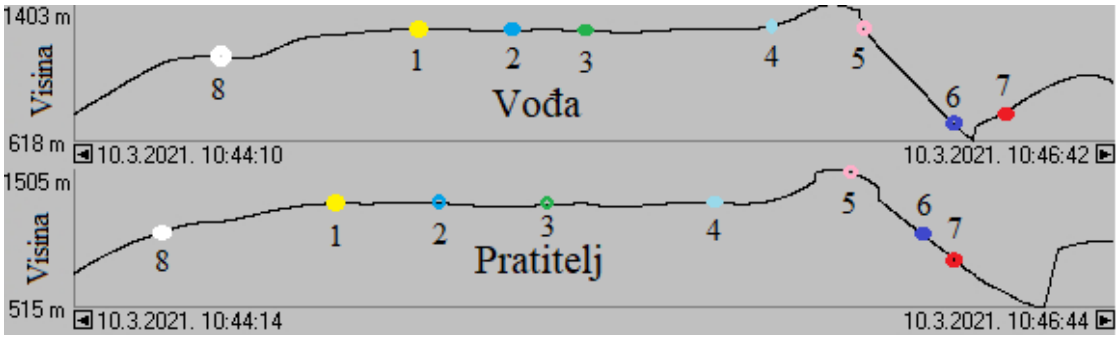
- β – poprečni nagib zaokreta [°]
- V – brzina [m/s]
- r – radijus zaokreta [m]
- g – ubrzanje zemljine sile teže [m/s^2]

7.2. GRB krug

GRB krug prikazan na slici 7.16 je tipičan primjer kruga koji se izvodi u vježbovnim letovima. Oznake od 1 do 8 prikazuju pozicije para na karakterističnim točkama u krugu gdje zelena linija predstavlja vođu, a plava pratitelja. Pozicija 1 predstavlja poziciju vođe i pratitelja u „*downwindu*“ kruga. Oba aviona lete na visini od 4000 ft i nalaze se na međusobnom odmaku od 400 m i održavaju brzinu od 210 kt. Pozicija 2 predstavlja trenutak uvođenja u oštri zaokret. Vođa prati objekt djelovanja te kada gleda u njega unazad pod kutom od 45° uvodi u zaokret. Pratitelj nastoji pratiti vođu i održavati mjesto u postroju. U poziciji 3 vođa vadi iz zaokreta te se sada kreće okomito na smjer djelovanja dok je pratitelj još u zaokretu. Pozicija 4 prikazuje odnos aviona neposredno prije uvođenja u poluprevrtanje i napad na objekt djelovanja. U poziciji 5 vođa vadi iz poluprevrtanja i radi korekcije prema cilju dok ga pratitelj pokušava pratiti i ostati na poziciji. U poziciji 6 vođa provodi gađanje te kreće sa vađenjem iz napada na visini od 2200-2300 ft i brzinom od oko 280 čvorova. U tom trenutku pratitelju se otvara objekt djelovanja. Nalazi se na odmaku od 600 m od vođe te mu je brzina 255 čvorova što znači da ima oko 4.5 sekundi da se podesi na cilj i izvrši gađanje. Pozicija 7 prikazuje pratitelja u trenutku gađanja i početku vađenja na 2200 ft dok vođa penje u pravcu i nalazi se na visini od 2550 ft. U poziciji 8 i pratitelj i vođa se nalaze u borbenom zaokretu te penju na visini od 4000 ft i ponovno se podešavaju za napad na cilj.



Slika 7.16 GRB krug

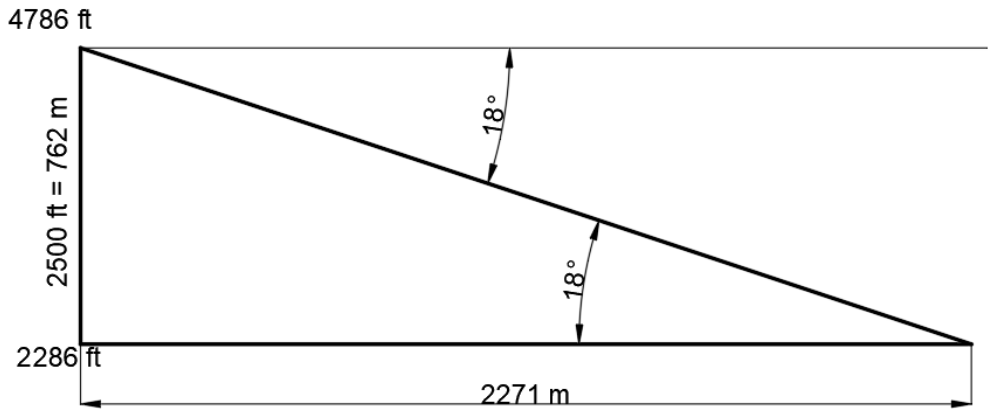


Slika 7.17. Profil leta kroz GRB krug prema GPS mjerenjima

Slika 7.17. prikazuje promjenu visine u pozicijama od 1-8 u krugu. Pozicije od 1-4 se nalaze na istoj visini jer su tu oba aviona još u podešavanju za napad dok se prilikom uvođenja u poluprevrtanje radi blago iskakanje te zbog toga dolazi do laganog skoka u visini. Nakon toga avioni uvode u napad i dolazi do pada visine sve do trenutka vađenja iz napada. Kod pratitelja se nakon pozicije 7 visina nastavila snižavati. Nakon toga dolazi do naglog skoka u visini što predstavlja grešku u mjerenju GPS-a. Pozicija 8 nalazi se lijevo na grafu iz razloga što je nakon ovog GRB kruga par išao na podešavanje za iskakanja te nisu išli u borbeni zaokret kao nakon prvog kruga.

Pošto se iz GPS mjerenja mogu očitati vrijednosti visina i brzina u bilo kojoj točki u krugu, onda se mogu i odrediti parametri za napad na cilj kao što su: kut poniranja, kut penjanja nakon djelovanja, brzine penjanja i spuštanja, širinu kruga, vremena trajanja napada trenutak uvođenja u poluprevrtanje i dr.

Kut poniranja i vađenja nakon napada određuje se pomoću trigonometrije. Pomoću visine izlaska u pravac napada, visine vađenja iz napada i udaljenosti između te dvije točke dobije se trokut prikazan na slici 7.18.



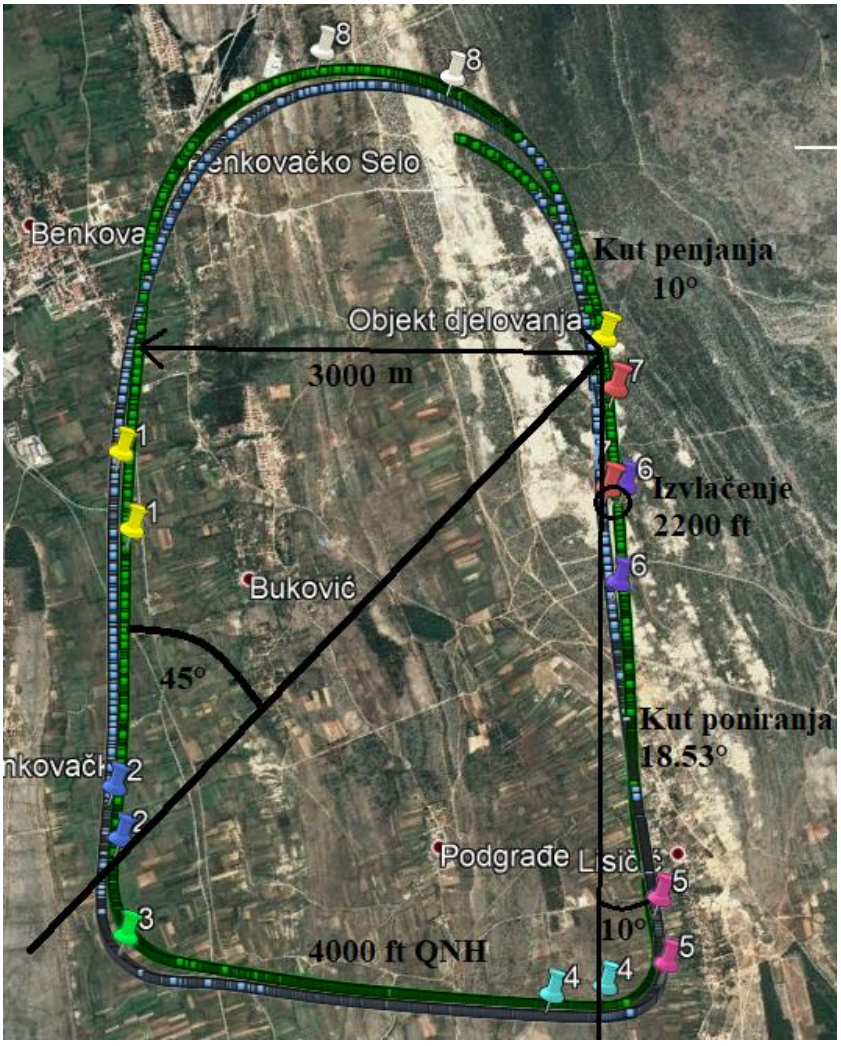
Slika 7.18. Proračun kuta poniranja

Pošto je poznata razlika visine i udaljenost, preko tangensa je moguće izračunati kut poniranja i dobiti vrijednost od 18.533°. Za pratitelja vrijedi isti postupak, no pošto pratitelj cijelo vrijeme prati vođu i njegov kut bi trebao biti isti što u konačnici i je, dobije se kut od 18.34°. Nadalje, moguće je odrediti brzinu spuštanja pošto je poznato vrijeme koje je trebalo avionu da prijeđe put između te dvije točke, a ono iznosi 18 sekundi. Iz toga se dobije da je brzina spuštanja jednaka 8333 ft/min. Isti postupak moguće je ponoviti za vađenje iz poluprevrtanja i uvođenje u borbeni zaokret te se ovoga puta dobije kut penjanja od 10° i brzina penjanja od 4790 ft/min što odgovara pokazivanju instrumenata unutar kabine na slici 7.19. S desne strane je prikazano vođino uvođenje u poluprevrtanje te vađenje iz poluprevrtanja i prepuštanje napada pratitelju.



Slika 7.19. Pokazivanje instrumenata tijekom napada

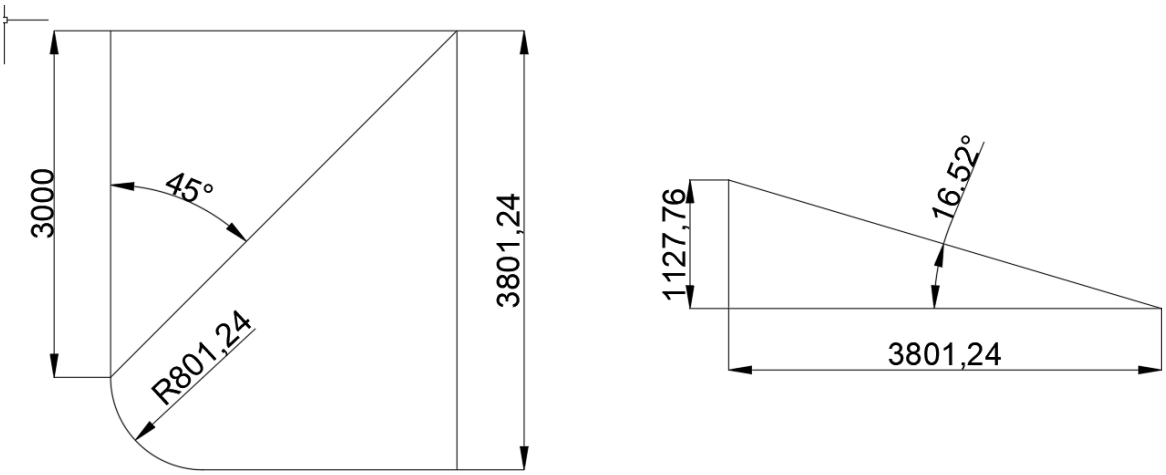
Na slici 7.20. prikazani su ostali elementi koje je moguće izmjeriti pomoću programa *Google Earth Pro,* a oni uključuju širinu kruga, trenutak uvođenja u prvi zaokret, trenutak uvođenja u poluprevrtanje i visinu vađenja iz poluprevrtanja. Kad se to sve spoji, dobije se opisani GRB krug sa svojim karakterističnim točkama. Treba napomenuti da odmak kroz cijeli GRB krug varira od udaljenosti 300 do 700 m. To se događa zbog različitih brzina dvaju aviona kroz različite dijelove kruga. Recimo, prvi avion uvodi u poluprevrtanje te kreće s prikupljanjem brzine dok drugi avion ostaje u horizontalnome letu do svog trenutka uvođenja. Nadalje, vođa kreće s vađenjem iz napada i tu usporava dok pratitelj još ostaje u napadu i prikuplja brzinu te se približava vođi. To je proces koji se naziva „disanje grupe“ i on je uvijek prisutan bilo to u razmaknutom ili primaknutom postroju.



Slika 7.20. GRB krug sa izračunatim parametrima

7.2.1. Idealni uvjeti za GRB krug

Ako se u *AutoCad* programu ucrta širinu kruga i kut pod kojim se uvodi u prvi zaokret te ako se izračuna radijus oštrog zaokreta na visini od 4000 ft, moguće je odrediti kut napada u idealnim uvjetima i usporediti ga sa stvarnim.

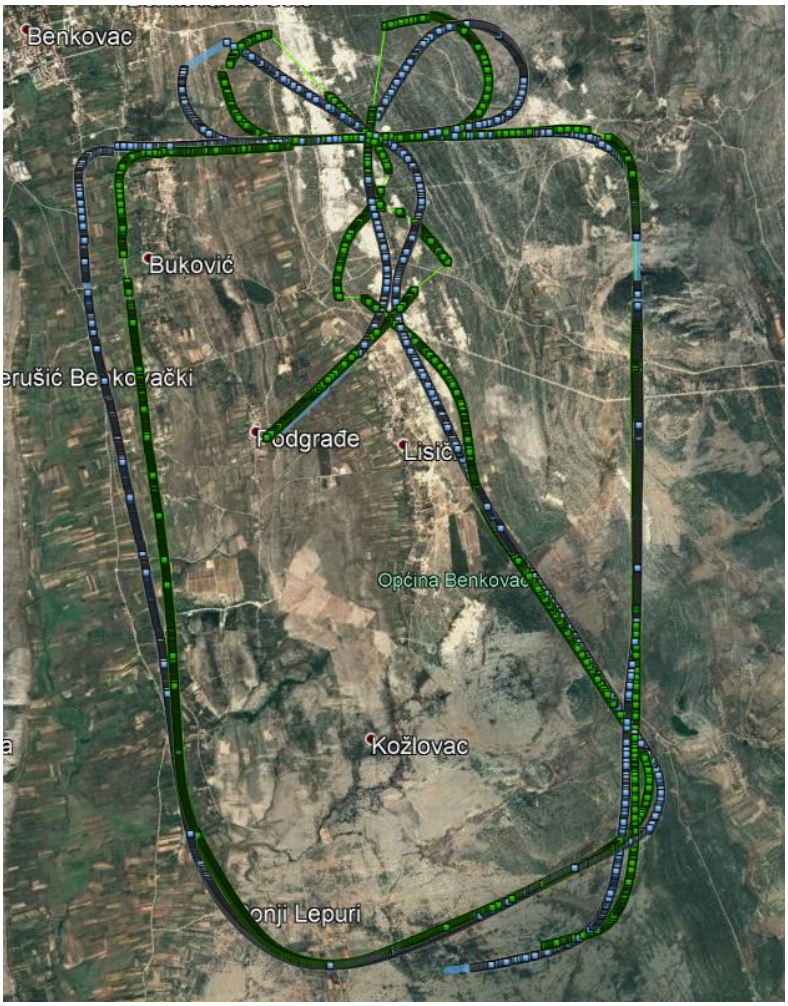


Slika 7.21. Kut napada u idealnim uvjetima

Dakle, nakon što se izračuna radijus zaokreta te se u visinu uračuna dodatnih 600 ft, što avion popne prilikom uvođenja u poluprevrtanje i ako se uzme u obzir da se cilj nalazi na visini od 900 ft, dobije se kut od 16.52° što je 2° stupnja manje od dobivenog kuta iz stvarne situacije. Međutim, treba uzeti u obzir da je kut od 18.53° prosječan kut koji je pilot držao za vrijeme napada i što se više približavao objektu djelovanja, bilo mu je lakše procijeniti putanju aviona u odnosu na cilj i podesiti kut kako bi pogodio cilj.

7.3. Iskakanje iz pravca

Nakon završetka s GRB krugom, par prelazi u brišući let te se podešava za iskakanje iz pravca. Par se udaljava od objekta djelovanja i leti prema orijentiru za uvođenje u iskakanje. U brišućem letu održava brzinu V_i = 250 čvorova te po dolasku do orijentira iskakanja vođa iskače te za njim pratitelj. Par se nalazi okomito na objekt djelovanja te neposredno prije uvodi u poluprevrtanje za napad na objekt djelovanja. Po završetku prvog napada vođa prevodi u penjanje te produži naprijed kako bi si osigurao dovoljnu udaljenost od mete za uvođenje u ponovni napad. Po dolasku na visinu napada vođa ponovno uvodi u napad na metu, a pratitelj ga cijelo vrijeme prati i održava svoje vizure. Po završetku drugog napada par izvodi P-A manevar za izbjegavanje protivničke protuzračne obrane te se podešava za drugo iskakanje iz pravca.



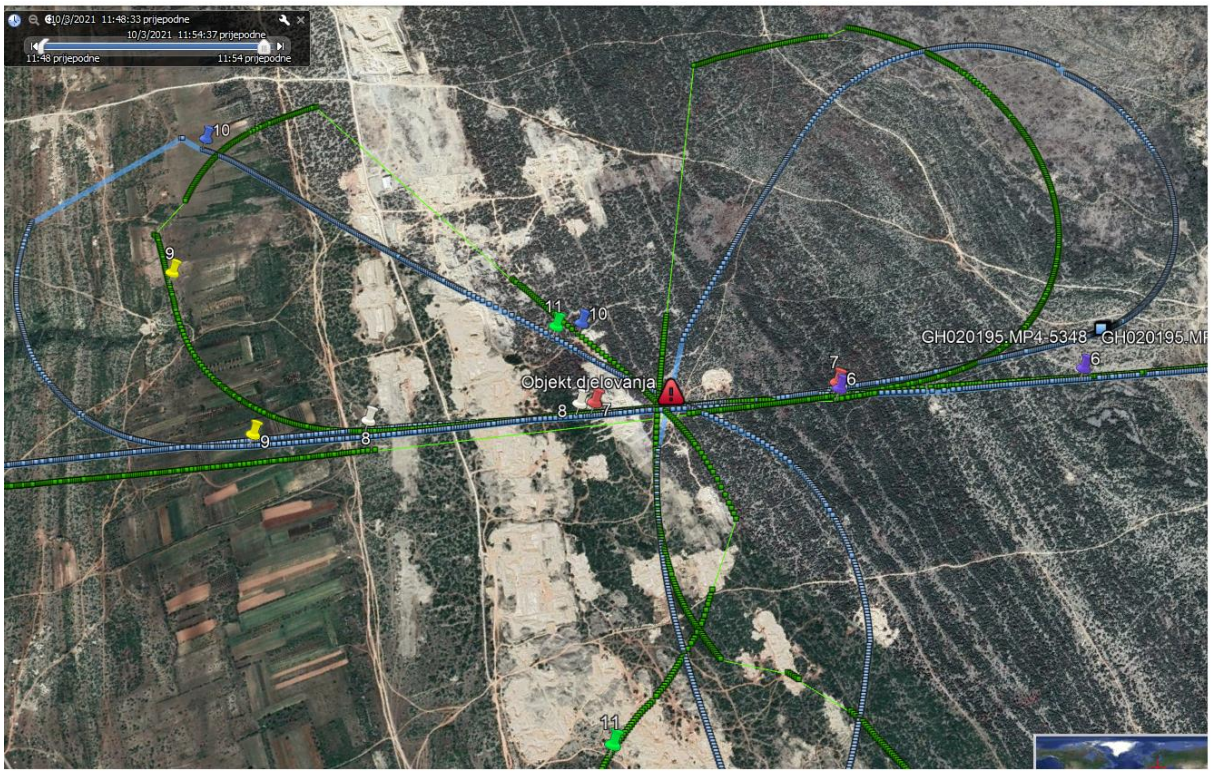
Slika 7.22. Iskakanje iz pravca

Na slici 7.22. su prikazana GPS mjerenja u iskakanju iz pravca. Prikazana su dva iskakanja; jedno sa desne odnosno sjeverne strane, a drugo sa lijeve odnosno južne strane. Sa slike se vidi da je dolazilo do gubljenja GPS signala prilikom mjerenja naročito u drugom napadu i iz prvog i iz drugog iskakanja, no ništa što će utjecati na proračune u nastavku rada. Zelena linija predstavlja putanju vođinog aviona dok plava linija predstavlja putanju pratiteljevog aviona. Kao i kod GRB kruga odredit će se karakteristične točke u iskakanju iz pravca i pokušat će se proračunati parametri koje su piloti održavali u napadu.



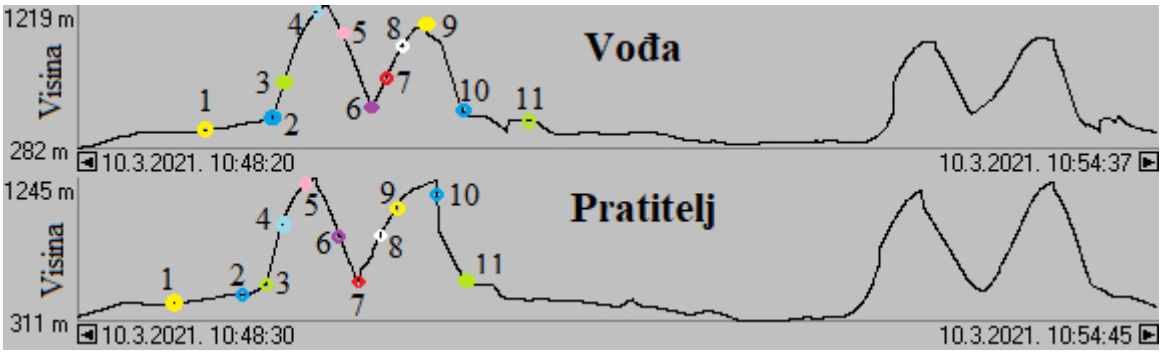
Slika 7.23. Karakteristične točke u iskakanju iz pravca do uvođenja u napad

Slika 7.23. prikazuje pozicije para do trenutka uvođenja u napad sa sjeverne strane. Pozicija 1 prikazuje poziciju para u brišućem letu do orijentira iskakanja pri brzini od V_i = 250 kt i visini od 200 ft AGL. U GPS podatcima ove brojke značajno variraju od 224 čvora pa čak do 380 čvorova zbog slabijeg signala. Što se tiče visine leta, ona varira od 1300 do 1500 ft, no treba uzeti u obzir da je visina terena u ovom dijelu letenja od 1000 pa do 1300 ft što znači da piloti prate konturu terena i održavaju visinu od 200 ft AGL. Pozicija 2 predstavlja vođin trenutak iskakanja. Par se tu nalazi u odmaku od 774 m. Pozicija 3 predstavlja pratiteljevo uvođenje u iskakanje. U tom je trenutku vođa popeo 1000 ft i nalazi se na visini od 2500 ft. U poziciji 4 vođa uvodi u napad na objekt djelovanja i nalazi se na visini od 3811 ft dok se pratitelj nalazi na odmaku od 470 m i visini od 3155 ft. Pozicija 5 predstavlja trenutak uvođenja pratitelja u napad na cilj. On se tu nalazi na visini od 3737 ft dok je vođa na 3994 ft. Od pozicije 1 do pozicije 5 prošlo je svega 37 sekundi, a od trenutka iskakanja do trenutka uvođenja u napad 15 sekundi, što ostavlja pilotu jako malo vremena za kontroliranje parametara i pronalazak objekta djelovanja prilikom iskakanja.



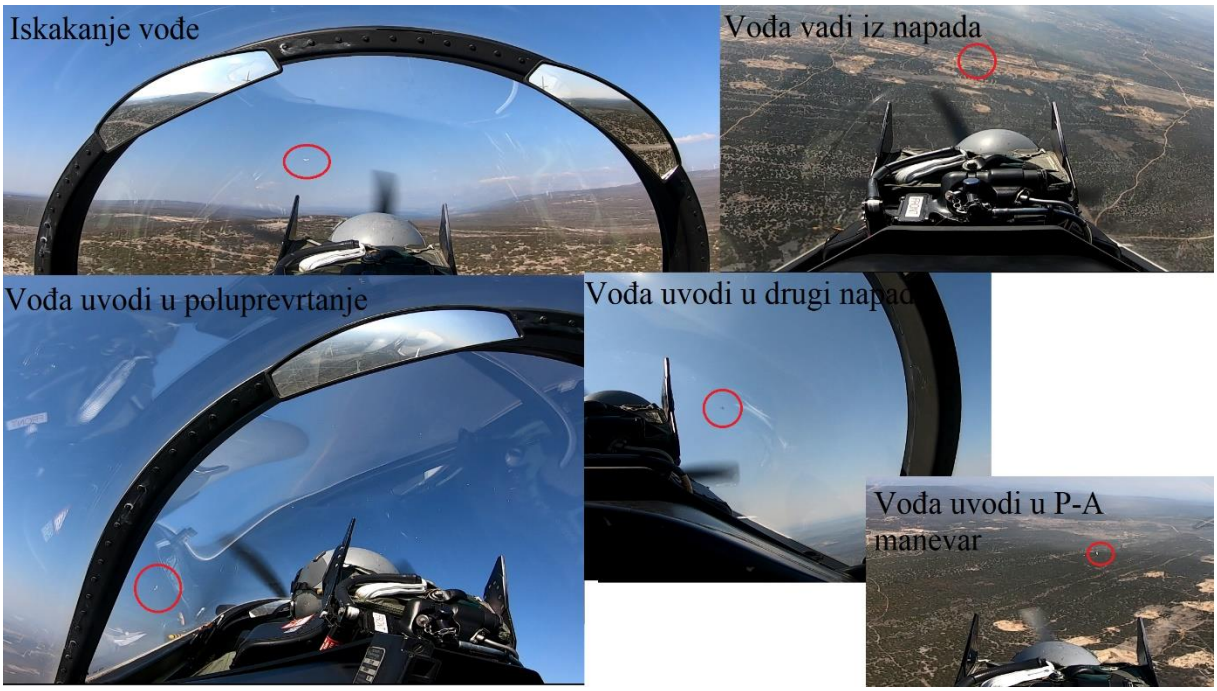
Slika 7.24. Karakteristične točke u iskakanju iz pravca prilikom napada na objekt djelovanja

Slika 7.24. pobliže prikazuje karakteristične točke u iskakanju iz pravca prilikom djelovanja po cilju. U prijašnjem odlomku pobliže su prikazane i objašnjene karakteristične točke do trenutka uvođenja u napad, a sada će se to isto učiniti i od trenutka uvođenja u napad pa do odlaska od objekta djelovanja. Dakle, pozicija 6 predstavlja djelovanje vođinog aviona po cilju i vađenje iz napada. Avion se tu nalazi na visini od 1800 ft i leti brzinom od oko 290 čvorova prema mjerenju GPS-a. Za to vrijeme pratitelj se nalazi na odmaku od 700 m što mu ostavlja otprilike 5 sekundi za djelovanje po cilju i početak vađenja. Pozicija 7 predstavlja pratiteljev trenutak vađenja iz napada na 1820 ft, a u tom trenutku vođa se nalazi na visini od 2407 ft. Pozicija 8 predstavlja vođino uvođenje u drugi napad dok pozicija 9 predstavlja pratiteljevo uvođenje u drugi napad i pozicije drugog aviona za te trenutke. Oba aviona uvode u napad na oko 3100 ft, no u ovome slučaju pratitelj je produžio naprijed zbog sporije brzine penjanja kako bi si ostavio dovoljno prostora za ponovni napad. Pozicija 10 predstavlja pozicije vođinog i pratiteljevog aviona u trenutku kada je vođa izvršio drugi napad i kreće sa vađenjem iz napada i uvođenjem u P-A manevar. Tu se vođin avion nalazi na visini od 1750 ft dok je pratiteljev na visini od 2992 ft. Pozicija 11 predstavlja pozicije aviona u trenutku završetka napada pratiteljevog aviona. Vođin avion nalazi se na visini od 1510 ft te izvodi P-A manevar s naglim promjenama smjera kako bi izbjegao neprijateljsku vatru.



Slika 7.25. Profil leta kroz iskakanje iz pravca

Slika 7.25. prikazuje promjenu visine kroz iskakanje u pravcu te karakteristične točke koje su gore opisane i kod vođe i kod pratitelja te se u nastavku vidi povratak u brišući let te ponovni napad s iskakanjem sa južne strane. Vidljivo je da su oba iskakanja približno ista sa manjim varijacijama u visini uvođenja i vađenja iz napada.



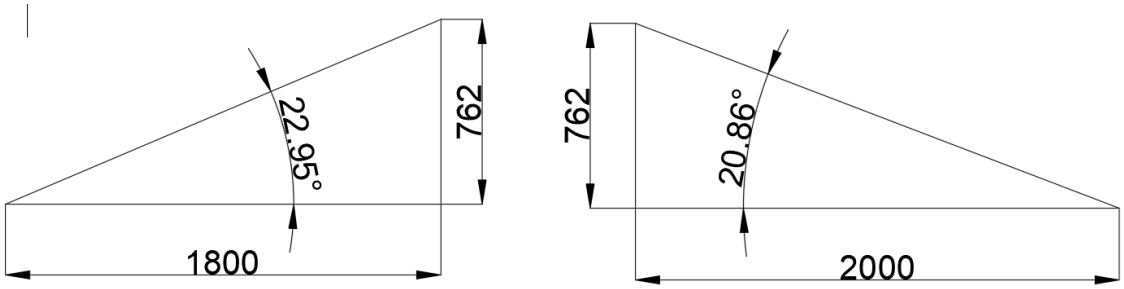
Slika 7.26. Vizualni prikaz karakterističnih točaka iskakanja iz pravca

Slika 7.26. prikazuje pogled iz pratiteljevog aviona u karakterističnim točkama iskakanja. Pratitelj nastoji cijelo vrijeme pratiti vođu i ostati u zadanim normama, no kao i u GRB krugu vidljivo je da se odmak po etapama mijenja i ponovno se dolazi do pojma „disanja grupe“ koji je cijelo vrijeme prisutan u grupnom letenju.

Dakle, kao i u primjeru za GRB krug opet se mogu odrediti brzine penjanja i spuštanja te kutovi uvođenja i vađenja iz napada. U iskakanju za vođu dobije se kut iskakanja od 23.9° te brzina penjanja od 7447 ft/min dok se za pratitelja dobije nešto manji kut od 23.5 ° i brzina penjanja od 7448 ft/min. U napadu na objekt djelovanja vođa ima kut poniranja od 19.6° i brzinu spuštanja od 9532.8 ft/min dok pratitelj ima kut poniranja od 20.1° i brzinu spuštanja od 9842 ft/min. U vađenju iz napada vođa postavlja kut od 16.4° i postiže brzinu penjanja od 7840.6 ft/min dok pratitelj postavlja kut od 16.6° i postiže brzinu spuštanja od 8122 ft/min. U ponovnom napadu pratitelj ima kut na dolje od 14.6° i brzinu spuštanja od 6784.21 ft/min što i ima smisla jer gledajući putanju pratitelja u drugom napadu, otišao je dosta šire od vođe što u konačnici rezultira blažim kutom napada i sporijom brzinom spuštanja, no to mu daje više vremena za djelovanje po cilju. Za vođu u ovom slučaju nije moguće dobiti podatke pošto je došlo do gubitka signala i on se tek vratio nakon vađenja iz napada.

7.3.1. Idealni uvjeti za iskakanje iz pravca

Kao i u prethodnom slučaju ponovno je moguće pomoću *AutoCad* programa odrediti kutove napada na objekt djelovanja u idealnoj situaciji pa se tako dobije da je kut iskakanja jednak 22.95° što je za oko 1° manje od stvarne situacije i kut poniranja u napadu od 20.86° što je za oko 1° više od stvarne situacije.



Slika 7.27. Kut iskakanja i poniranja u idealnim uvjetima

U drugom napadu zbog manje visine izlaska u pravac s objektom djelovanja postiže se manji kut napada pa tako i veće odstupanje od idealnih uvjeta koji bi u oba napada trebali biti jednaki. Međutim, treba uzeti u obzir da se u prvom dijelu drugog napada objekt djelovanja nalazi na 6 sati u odnosu na kretanje aviona te je teže procijeniti udaljenost i trenutak uvođenja u napad pa iz tog razloga i kut u napadu više odstupa od idealne situacije.

7.4. Iskakanje pod 45°

Nakon dva iskakanja iz pravca par se podešava za iskakanje pod 45°. Ponovno odlazi u brišući let, no ovoga puta ide direktno na objekt djelovanja te na unaprijed dogovorenom orijentiru oba aviona rade iskakanje i skreću za 45° u odnosu na referentni kurs koji zadaje vođa u lijevu ili desnu stranu ovisno o dogovoru para. Nakon iskakanja ponovno traže objekt djelovanja te izvode napad kao u iskakanju iz pravca. Nakon prvog napada ponovno prevode u penjanje i uvode u drugi napad te po završetku drugog napada izvode P-A manevar i kreću s podešavanjem za idući manevar. Slika 7.28. prikazuje GPS mjerenja iskakanja pod 45°. Ponovno se vidi da je na par mjesta došlo do gubitka signala, no unatoč tome moguće je odrediti željene parametre.

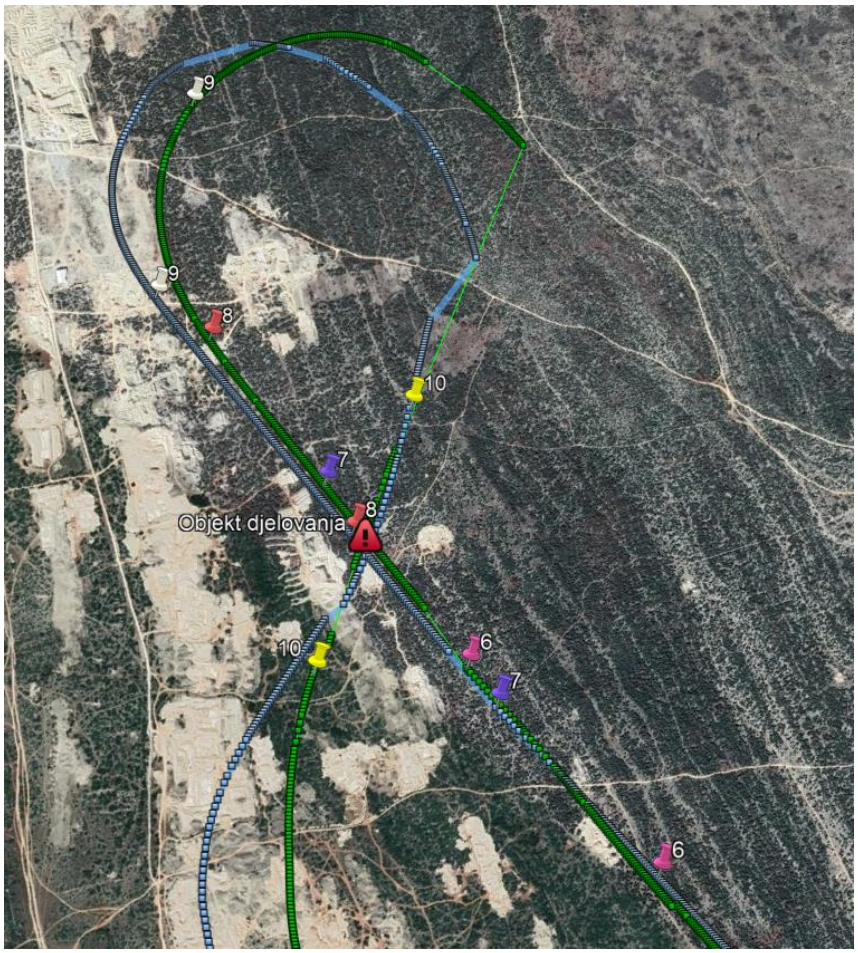


Slika 7.28. Iskakanje pod 45°



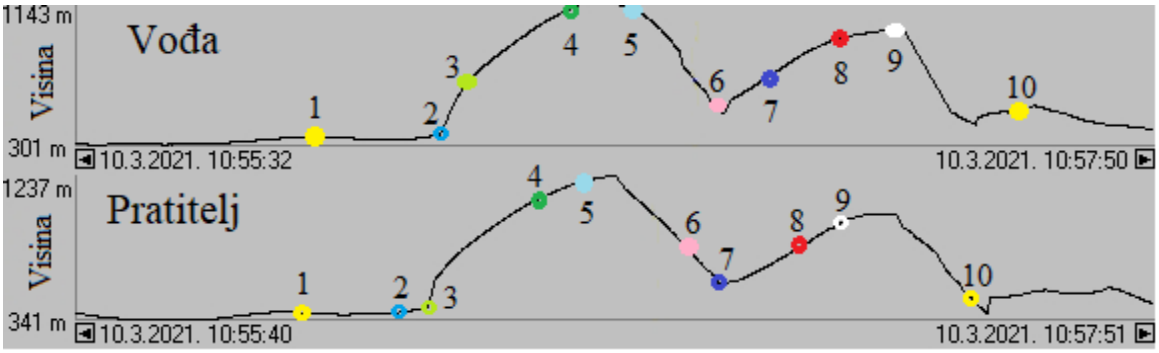
Slika 7.29. Karakteristične točke u iskakanju pod 45° do trenutka uvođenja u napad

Slika 7.29. prikazuje karakteristične točke u iskakanju do trenutka uvođenja u napad. Pozicija 1 prikazuje brišući let para u letu do orijentira iskakanja. Avioni se nalaze na odmaku od 500 m te održavaju 200 ft AGL i brzinu od V_i = 250 čvorova. Pozicija 2 prikazuje pozicije para u trenutku iskakanja vođe. Par se i dalje nalazi na odmaku od oko 530 m. Pratitelj se i dalje nalazi u brišućem letu dok vođa kreće sa iskakanjem. Referenti kurs u brišućem letu bio je 316° dok je kurs nakon iskakanja bio 002° što daje promjenu kursa od 46°. Pozicija 3 prikazuje poziciju para u trenutku iskakanja pratitelja. Vođa je tu u zaokretu te kreće sa postavljanjem kuta na gore. Pozicija 4 prikazuje trenutak uvođenja vođe u napad na objekt djelovanja. On se tu nalazi na visini od 3507 ft što znači da je popeo oko 2300 ft od trenutka uvođenja u iskakanje dok se pratitelja nalazi na visini od 3356 ft što znači da je on popeo oko 2000 ft. Pozicija 5 prikazuje poziciju para u trenutku uvođenja pratitelja u napad. On se tu nalazi na visini od 3600 ft dok je vođa na visini od 3800 ft i kreće sa vađenjem iz poluprevrtanja.



Slika 7.30. Karakteristične točke u iskakanju pod 45° u napadu na objekt djelovanja

Slika 7.30. prikazuje karakteristične točke u iskakanju prilikom napada na objekt djelovanja. Pozicija 6 prikazuje poziciju para u trenutku kada vođa provodi djelovanje po objektu i kreće s vađenjem iz napada. Tu se avioni nalaze na odmaku od 640 m što ponovno ostavlja pratitelju oko 5 sekundi za djelovanje i izvlačenje. Vođa se nalazi na visini od 1700 ft što je oko 800 ft iznad terena dok je pratitelj na visini od 2500 ft. Pozicija 7 prikazuje poziciju para u trenutku kada pratitelj vrši djelovanje po cilju i vadi iz napada. Pratitelj je tu na visini od 1800 ft dok je vođa preletio objekt djelovanja i nalazi se na visini od 2122 ft. Oba aviona bila su na udaljenosti od oko 400 m od objekta djelovanja u trenutku djelovanja i vađenja iz napada. Pozicija 8 prikazuje odnos aviona u trenutku vođinog uvođenja u zaokret za podešavanje za drugi napad. Vođa se nalazi na visini od 2500 ft dok je pratitelj na 2000 ft. Pozicija 9 prikazuje pratiteljev trenutak uvođenja u zaokret. On se tu nalazi na visini od 2600 ft dok je vođa tu na 3000 ft i lagano izlazi u pravac djelovanja. Tijekom drugog napada došlo je do gubitka GPS signala pa se može prikazati samo odnos aviona u poziciji 10 koja prikazuje poziciju pratitelja kada on vadi iz drugog napada dok vođa već izvodi P-A manevar.



Slika 7.31. Profil leta kroz iskakanje pod 45° s karakterističnim točkama

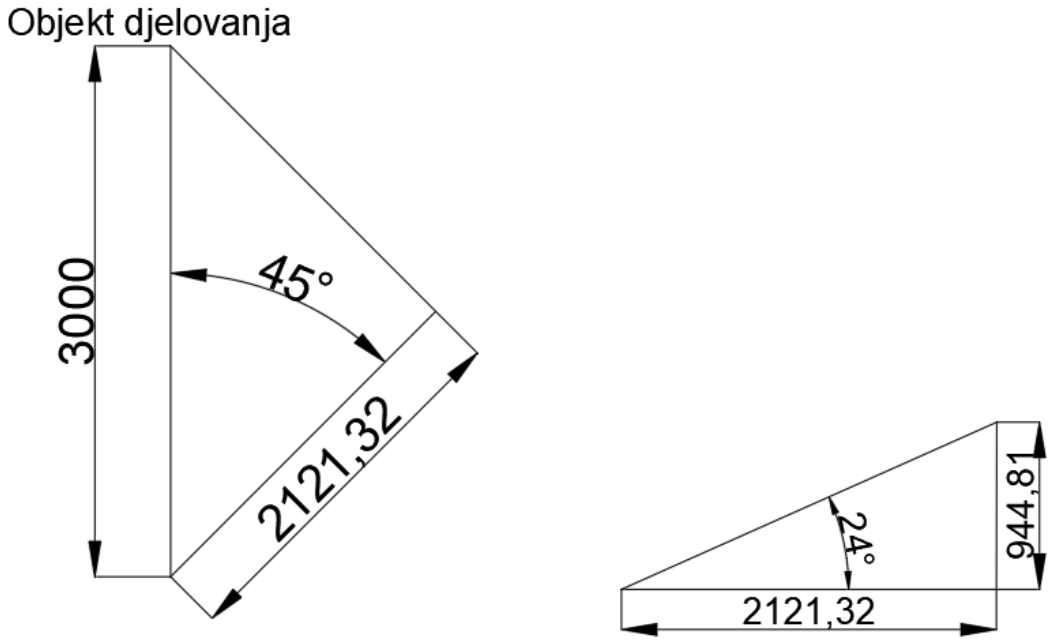
Slika 7.31. prikazuje sve gore opisane karakteristične točke u odnosu visine i vremena leta. Iz slike je moguće vidjeti promjenu visine kroz iskakanje i izvođenje napada. Vidljivo je kao i u prijašnjem iskakanju da se pratitelj u brišućem letu nalazi u nadvišenju kako bi izbjegavao prepreke terena jer mu je minimalna visina 341 m dok je vođi 301 m.

Kao i u prijašnjem slučaju, moguće je odrediti parametre vođinog i pratiteljevog aviona prilikom izvođenja ovih napada. Tako se pri iskakanju dobije da vođin avion ima kut penjanja od 27.1° i brzinu penjanja od 8320 ft/min dok pratitelj ima kut od 26.5° i brzinu penjanja od 8200 ft/min. Nakon poluprevrtanja, vođa postavlja kut napada od 23.2° i brzinu spuštanja od 10991 ft/min dok pratitelj postavlja kut od 22.34° i postiže brzinu spuštanja od 10139 ft/min. Prilikom vađenja iz napada, vođa postavlja kut penjanja od 12° i postiže brzinu penjanja od 5863 ft/min dok pratitelj postavlja kut od 11.5° i postiže brzinu penjanja od 5612 ft/min. U drugom napadu ne mogu se izračunati ove vrijednosti zbog gubitka GPS signala.

Nakon izvršenja zadnjeg napada, vođa i pratitelj ostaju u razmaknutom postroju te se najbržim putem vraćaju na slijetanje.

7.4.1. Idealni uvjeti za iskakanja pod 45°

Kao i u prijašnjim napadima, moguće je odrediti kutove napada i u idealnim uvjetima pomoću trigonometrije. Na taj način dobije se kut od 24° što se razlikuje od stvarne situacije u zraku za približno 3 stupnja. To se vidi po dužini segmenta iskakanja koji je dugačak 1861 m, a prema proračunu bi trebao biti dugačak 2121 m. Znači da je avion ranije popeo na visinu uvođenja u napad zbog većeg kuta penjanja. Iz toga razloga je i kut u napadu nešto blaži jer se avioni sada nalaze dalje od objekta djelovanja pa moraju postaviti blaži kut napada.



Slika 7.32. Kut iskakanja i poniranja u idealnim uvjetima

8. Zaključak

GPX zapis GPS podataka je jednostavan i praktičan način zapisivanja GPS podataka te se uz dobar mjerni uređaj može koristiti za zapisivanje podataka o letu. Kao što je opisano u petom poglavlju ovoga rada, pametni telefoni sa svojim GPS uređajima nisu pouzdani u praćenju i zapisivanju GPS podataka u letu naročito kod velikih promjena u parametrima leta.

Zadaća granatiranja, raketiranja i bombardiranja je izuzetno zahtjevna zadaća zbog jako kratkog vremena donošenja odluka, malih visina na kojima se lete takve zadaće, a velikih brzina i opterećenja. Kao što se može vidjeti iz dobivenih GPS podataka i proračunatih elemenata leta, piloti lete na brzinama blizu operativnog ograničenja zrakoplova PC-9M uz velike brzine penjanja i spuštanja koje u pojedinim napadima dosežu čak i preko 10000 ft/min što ostavlja pilotu svega nekoliko sekundi za donošenje kritičnih odluka, djelovanja i podešavanja za djelovanje na cilj. Kada se govori o paru, pratitelj tek može izvršiti djelovanje nakon što vođa završi svoj napad te mu ostaje još manje vremena za podešavanje i provođenje djelovanja. Brojni faktori mogu dodatno otežati zamor i naprezanje pilota kao što su u ovom slučaju lošiji meteorološki uvjeti s jakim turbulencijama.

Vidljivo je da parametri u stvarnoj situaciji odstupaju od parametara u idealnim uvjetima, ali ta odstupanja su jako mala; u nekim situacijama do 1°, a u nekima do 3°. Kao što se vidi iz GPS mjerenja, piloti se prilagođavaju tim uvjetima te svaki puta uspješno vrše djelovanje po cilju. Do razlika može doći iz različitih razloga; zbog nepovoljnih meteoroloških uvjeta, obučenosti pilota, u stvarnoj borbenoj situaciji moguće je očekivati i neprijateljsku protuzračnu obranu koja dodatno stvara stres pilotu i sl. Međutim, pogrešno je i za očekivati da će svaki let biti izveden bez greške čak štoviše, u ovakvim zadaćama bilo bi i poželjno mijenjati parametre napada kako piloti ne bi imali predvidljivu putanja leta te na taj način bili lakša meta protivničkoj protuzračnoj obrani.

Iako se zrakoplov Pilatus PC-9M u Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu koristi za uvježbavanje zadaća granatiranja, raketiranja i bombardiranja, ima jednu veliku manu, a to je da zrakoplov na sebi ne nosi niti trenutno može nositi bilo kakva vježbovna ili ubojna sredstva koja bi pilotima dala iskustvo otpuštanja „tereta“ sa aviona, pogađanje cilja, ograničenja u upravljanju avionom kada nosi takav teret. Modernizacija zrakoplova Pilatus PC-9M sa podvjensim nosačima za ubojna sredstva i ciljnikom u kabini bi znatno poboljšala iskustva i kvalitetu obuke koju bi piloti dobili.

Literatura

[1] *Aircraft Flight Manual,* Switzerland: Pilatus Aircraft LTD, 1998.

[2] *Priručnik za tehničku obuku za avion Pilatus PC-9M,* Hrvatsko ratno zrakoplovstvo, 2017.

[3] *Program letačke izobrazbe učenika letača na avionu Pilatus PC-9M.*

[4] *Grupno letenje avionom PC-9M,* Zagreb: Ministarstvo obrane, 2005.

[5] HikingGuy, »What is a GPX file?,« Hiking Guy, 21 5 2020. [Mrežno]. Available: https://hikingguy.com/how-to-hike/what-is-a-gpx-file/. [Pokušaj pristupa 10 3 2021].

[6] »GPS Logger,« Everyone, 4 12 2020. [Mrežno]. Available: https://play.google.com/store/apps/details?id=eu.basicairdata.graziano.gpslogger&hl=en&gl=US. [Pokušaj pristupa 11 3 2021].

[7] »GPS Track Editor,« [Mrežno]. Available: http://www.gpstrackeditor.com/overview. [Pokušaj pristupa 11 3 2021].

[8] »Telemetry Extractor for GoPro,« [Mrežno]. Available: https://goprotelemetryextractor.com/free/. [Pokušaj pristupa 11 3 2021].

[9] »VFR priručnik,« Hrvatska kontrola zračne plovidbe, 5 11 2020. [Mrežno]. Available: https://www.crocontrol.hr/UserDocsImages/AIS%20produkti/VFR_prirucnik/index.html. [Pokušaj pristupa 11 3 2021].

[10] d. s. B. Grozdanić, Taktička navigacija I, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 1999.

[11] »Aeronautical meteorology service METAR I TAF,« Croatia control, 10 3 2021. [Mrežno]. Available: https://met.crocontrol.hr/web/guest/opmet-croatia. [Pokušaj pristupa 10 3 2021].

[12] »Aeronautical meteorology service SWL chart,« Croatia control, 10 3 2021. [Mrežno]. Available: https://met.crocontrol.hr/en/web/guest/swl-chart/chart-1. [Pokušaj pristupa 10 3 2021].

[13] »Aeronautical meteorology service LL WT chart,« Croatia control, 10 3 2021. [Mrežno]. Available: https://met.crocontrol.hr/en/web/guest/21. [Pokušaj pristupa 10 3 2021].

[14] d. i. S. Joković, Organizacija letačke obuke u pilotskoj školi, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2001.

Popis kratica

GPS	*Global Positioning system*
GPX	*GPS Exchange Format*
METAR	*Meteorological Aerodrome Report*
TAF	*Terminal Aerodrom Forcast*
SWL	*Significant Weather Chart*
LL WT	*Low Level Wind Chart*
VFR	*Visual Flight Rules*
IFR	*Instrument Flight Rules*
GRB	Granatiranje, raketiranje, bombardiranje
UTC	*Coordinated Universal Time*
ROC	Brzina penjanja
h_2	Visina na kraju penjanja
h_1	Visina na početku penjanja
$t_{penjanja}$	Vrijeme penjanja
r	Radijus zaokreta
V	Brzina zrakoplova
g	Ubrzanje zemljine sile teže
V_{tr}	Stvarna brzina aviona kroz zrak
V_i	Indicirana brzina
h	Visina leta
KML	*Keyhole Markup Language*
tan	Tangens
β	Poprečni nagib u zaokretu

Popis slika

Slika 2.1 Dimenzije zrakoplova Pilatus PC-9M [2] 4
Slika 2.2. Prednja kabina zrakoplova 5
Slika 3.1. Par u primaknutom postroju, desni stupanj [4] 7
Slika 3.2. Vizura za pozicioniranje pratitelja u primaknutom postroju 8
Slika 3.3. Par u primaknutom postroju, lijevi stupanj, pogled iz vođinog aviona. 9
Slika 3.4. Vizure na vođinom avionu u razmaknutom postroju [4] 9
Slika 3.5. Zaokret u razini trupa [4] 10
Slika 3.6. Vod u desnom klinu 11
Slika 3.7. Shema zbora na petlji 11
Slika 3.8. Postavljanje na pistu 12
Slika 3.9. Vizura za polijetanje iz zadnje kabine 12
Slika 3.10. Shema GRB kruga 13
Slika 3.11. Vizura za trenutak uvođenja u poluprevrtanje 14
Slika 3.12. Iskakanje pod 45° 15
Slika 3.13. Iskakanje u pravcu 16
Slika 4.1. GPX zapis 17
Slika 4.2. Sučelje *GPS Logger* aplikacije 18
Slika 4.3. Sučelje programa *GPS Track Editor* 19
Slika 4.4. Sučelje web stranice *GoPro Telemetry Extracto*r nakon učitane snimke 20
Slika 4.5. Prikaz GPX podataka na karti na web stranici *GOPro Telemetry Extractor* 20
Slika 5.1. Mjerenje u hodu 21
Slika 5.2. Podatci jedne točke mjerenja u hodu 22
Slika 5.3. Prvo mjerenje u letu 22
Slika 5.4. Gubitak signala prilikom mjerenja 23
Slika 5.5. Neuspješna mjerenja 23
Slika 5.6. Elevacija praga 24
Slika 5.7. Penjanje do zone 25
Slika 5.8. Blagi zaokret nagiba 30° 26
Slika 5.9. Provjera radijusa zaokreta na Google Earth 27
Slika 5.10. Određivanje smjera vjetra s obzirom na zemaljsku brzinu zrakoplova 28
Slika 5.11. METAR i TAF na dan konačnog mjerenja [11] 29
Slika 5.12. SWL karta na dan mjerenja [12] i karta vjetrova na 2000 ft na dan mjerenja [13] 30

Slika 5.13. Kamera i *kneeboard* s pričvršćenom maskicom za pametni telefon 31
Slika 5.14. Školski poligon za GRB [14] 32
Slika 5.15. Mjerenje pametnim telefonom kod vođe i pratitelja 33
Slika 5.16. GPS podatci s kamere 34
Slika 5.17. Mjerenja kamere i pametnog telefona 34
Slika 6.1. Broj zabilježenih točaka u cijelom letu 36
Slika 6.2. Točka u programu *GPX Track Editor* i u GPX zapisu 37
Slika 7.1. Voženje u paru 38
Slika 7.2. Postavljanje na pistu 39
Slika 7.3. Dužina zaleta 40
Slika 7.4. Odvajanje vođinog aviona od piste 41
Slika 7.5. Uvlačenje konfiguracije 41
Slika 7.6. Proračun dužine polijetanja visine 50 ft [1] 42
Slika 7.7. Proračun duljine zaleta [1] 44
Slika 7.8. Vođa i pratitelj u letu do zone u razmaknutom postroju 45
Slika 7.9. Izviđanje zone i odabir orijentira 46
Slika 7.10. Zbor na krugu 47
Slika 7.11. Početak zbora 47
Slika 7.12. Prilazak vođi u lijevi stupanj 48
Slika 7.13. Prestrojavanje 49
Slika 7.14. Razlaz para za uvođenje u GRB krug 50
Slika 7.15. GPS mjerenja razlaza 50
Slika 7.16 GRB krug 52
Slika 7.17. Profil leta kroz GRB krug prema GPS mjerenjima 53
Slika 7.18. Proračun kuta poniranja 53
Slika 7.19. Pokazivanje instrumenata tijekom napada 54
Slika 7.20. GRB krug sa izračunatim parametrima 55
Slika 7.21. Kut napada u idealnim uvjetima 56
Slika 7.22. Iskakanje iz pravca 57
Slika 7.23. Karakteristične točke u iskakanju iz pravca do uvođenja u napad 58
Slika 7.24. Karakteristične točke u iskakanju iz pravca prilikom napada na objekt djelovanja 59
Slika 7.25. Profil leta kroz iskakanje iz pravca 60
Slika 7.26. Vizualni prikaz karakterističnih točaka iskakanja iz pravca 60

Slika 7.27. Kut iskakanja i poniranja u idealnim uvjetima 61
Slika 7.28. Iskakanje pod 45° 62
Slika 7.29. Karakteristične točke u iskakanju pod 45° do trenutka uvođenja u napad 63
Slika 7.30. Karakteristične točke u iskakanju pod 45° u napadu na objekt djelovanja 64
Slika 7.31. Profil leta kroz iskakanje pod 45° s karakterističnim točkama 65
Slika 7.32. Kut iskakanja i poniranja u idealnim uvjetima 66

Popis tablica

Tablica 1. Vizure u primaknutom postroju [4] 8

Popis jednadžbi

(1) Jednadžba za brzinu penjanja aviona 25
(2) Jednadžba za radijus zaokreta 26
(3) Jednadžba za stvarnu brzinu avion kroz zrak 27
(4) Jednadžba za poprečni nagib 51

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski 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 diplomskog rada pod naslovom **Proračun parametara za napadanje ciljeva na zemlji i njihova usporedba s GPS mjerenjima**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 8. 2. 2021

(potpis)