

# Proračun temeljnih manevara bliske zračne borbe za avion Pilatus PC-9M

---

**Mikolčić, Dominik**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*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:119:543721>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Dominik Mikočič**

**PRORAČUN TEMELJNIH MANEVARA BLISKE ZRAČNE BORBE ZA  
AVION PILATUS PC-9M**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2022.**

Zagreb, 9. ožujka 2022.

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

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 6583

Pristupnik: **Dominik Micolčić (0135253783)**  
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Proračun temeljnih manevara bliske zračne borbe za avion Pilatus PC-9M**

Opis zadatka:

1. Opis tehničkih karakteristike i performanse aviona Pilatus PC-9M
2. Temeljne uloge Hrvatskog ratnog zrakoplovstva
3. Osnovni koncept i čimbenike borbe u zraku
4. Krivulje praćenja i kontrolna pozicija
5. Temeljne maneuvre zračne borbe za PC-9M, tehnika pilotiranja i raspored pažnje za svaki od elemenata.
6. Mjere sigurnosti i postupci u slučaju izvanrednih događaja.
7. Snimanje parametara manevara u zraku i analiza rezultate u odnosu na proračunate vrijednosti
8. Zaključak

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

prof. dr. sc. Doris Novak

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

PRORAČUN TEMELJNIH MANEVARA BLISKE ZRAČNE BORBE ZA AVION  
PILATUS PC-9M

DESIGN OF BASIC FIGHTER MANEUVERS FOR PILATUS PC-9M AIRCRAFT

Mentor: prof. dr. sc. Doris Novak

Student: Dominik Mikolčić

JMBAG: 0135253783

Zagreb, travanj 2022.

# PRORAČUN TEMELJNIH MANEVARA BLISKE ZRAČNE BORBE ZA AVION PILATUS PC-9M

## SAŽETAK

U radu su opisane tehničke karakteristike i performanse aviona Pilatus PC – 9M kojim su se izvodili temeljni manevri bliske zračne borbe među koje spadaju: visoki yo – yo, niski yo – yo, bačvasti valjak sa zaostajanjem, škare u horizontalnoj ravnini i škare s rotacijom. Objasnjene su mjere sigurnosti te pravila ponašanja kojih se piloti moraju pridržavati kako ne bi došlo do ugrožavanja sigurnosti letenja. Opisane su svrha i tehnika izvođenja svakog od navedenih manevra. Također je prikazana geometrija i norme kojih su se piloti pridržavali tijekom izvođenja manevra. Za dobivanje GPS (GPS – *Global Positioning System*) podataka korištene su kamere marke *GoPro*. Cilj rada je usporediti dobivene GPS podatke s proračunom parametara temeljnih manevra bliske zračne borbe. Usporedba dobivenih GPS podataka s proračunom parametara dovela je do zaključka da pojedini parametri odstupaju od proračuna. Najčešća odstupanja koja se pojavljuju u ovome radu su odstupanja po udaljenosti u različitim dijelovima manevra.

KLJUČNE RIJEČI: temeljni manevri bliske zračne borbe, GPS podaci

## SUMMARY

This paper describes the technical characteristics and performance of the Pilatus PC - 9M aircraft, which performed the basic maneuvers of close air combat, including high yo - yo, low yo - yo, lag displacement roll, flat scissors, and raolling scissors. It explains safety summaries and rules of conduct that pilots must adhere to in order not to compromise flight safety. The purpose and technique of performing each of these maneuvers are described. The geometry and norms that the pilots adhered to during the maneuver were also shown. *GoPro* cameras were used to obtain GPS data. The study aimed to compare the obtained GPS data with the calculated parameters of the basic fighter maneuvers. Results concluded that certain parameters deviate from the calculations and what are the causes of deviations. The most commonly appeared deviations are those in distance in different parts of the maneuver.

KEY WORDS: basic fighter maneuvers, GPS data

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE I PERFORMANSE AVIONA PILATUS PC – 9M.....	3
2.1. Općenito o zrakoplovu.....	3
2.2. Performanse zrakoplova .....	3
2.3. Performanse i energetska manevriranje za Pilatus PC - 9M.....	5
2.4. Posebnosti upravljanja avionom na granicama performansi.....	5
3. ZRAČNA BORBA.....	8
3.1. Temeljna uloga i taktika Hrvatskog ratnog zrakoplovstva .....	8
3.2. Općenito o zračnoj borbi .....	9
3.2.1. Osnove zračne borbe .....	9
3.2.2. Principi borbe u zraku.....	10
3.2.3. Krivulje praćenja.....	11
3.2.4. Kontrolna pozicija.....	15
3.2.5. Turning room.....	17
3.2.6. Područje unutar radijusa zaokreta .....	17
3.3. Sigurnost letenja .....	18
3.3.1. Mjere sigurnosti.....	18
3.3.2. Posebne instrukcije i pravila ponašanja.....	19
3.3.3. Zona rada.....	21
4. TEMELJNI MANEVRI BLISKE ZRAČNE BORBE.....	22
4.1. Visoki yo-yo.....	22
4.1.1. Opis i svrha manevra .....	22
4.1.2. Geometrija manevra.....	23
4.1.3. Tehnika izvođenja manevra i raspored pažnje.....	26
4.2. Niski yo-yo .....	27
4.2.1. Opis i svrha manevra .....	27
4.2.2. Geometrija manevra.....	29
4.2.3. Tehnika izvođenja manevra i raspored pažnje.....	30

4.3.	Bačvasti valjak sa zaostajanjem .....	31
4.3.1.	Opis i svrha manevra .....	31
4.3.2.	Geometrija manevra.....	33
4.3.3.	Tehnika izvođenja manevra i raspored pažnje.....	34
4.4.	Škare u horizontalnoj ravnini .....	37
4.4.1.	Opis i svrha manevra .....	37
4.4.2.	Geometrija i norme manevra .....	38
4.4.3.	Tehnika izvođenja manevra i raspored pažnje.....	39
4.5.	Škare s rotacijom .....	41
4.5.1.	Opis i svrha manevra .....	41
4.5.2.	Geometrija i norme manevra .....	41
4.5.3.	Tehnika izvođenja manevra i raspored pažnje.....	42
5.	MJERENJE I ANALIZA GPS PODATAKA .....	45
5.1.	Metodologija mjerenja .....	45
5.2.	Meteorološki uvjeti na dan letenja .....	46
5.3.	Procedura odlaska u zonu.....	47
	.....	48
5.4.	Analiza manevara .....	48
5.4.1.	Analiza manevra „visoki yo-yo“ .....	49
5.4.2.	Analiza manevra „niski yo – yo“.....	55
5.4.3.	Analiza manevra „bačvasti valjak sa zaostajanjem“ .....	60
5.4.4.	Analiza manevra „škare u horizontalnoj ravnini“ .....	63
5.4.5.	Analiza manevra „škare s rotacijom“ .....	68
6.	ZAKLJUČAK .....	73
	LITERATURA.....	75
	POPIS KRATICA.....	76
	POPIS SLIKA .....	78
	POPIS FORMULA.....	80

# 1. UVOD

Temeljni manevri bliske zračne borbe predstavljaju kombinaciju dinamičkih zaokreta i manevara valjaka kao i ostalih manevara koji stvaraju ili rješavaju probleme s protivnikom. Najčešći problemi na koje nailaze piloti tijekom izvođenja ovih manevara su problemi povezani s prilaženjem protivniku, odnosom njihovih pozicija te međusobna udaljenost. U obuci učenika letaća temeljni manevri bliske zračne borbe predstavljaju vrhunac obuke u kojoj imaju mogućnost pokazati sve vještine koje su do tada stekli i usavršili. Obuka se izvodi na avionu Pilatus PC – 9M koji nema sustave za uočavanje protivnika u zraku.

Cilj i svrha ovoga rada je analiza dobivenih GPS mjerenja iz praktičnog leta s proračunima i teorijskom obradom manevara. U temeljne manevre bliske zračne borbe spadaju visoki yo – yo, niski yo – yo, bačvasti valjak sa zaostajanjem, škare u horizontalnoj ravnini i škare s rotacijom. Usporedbom dobivenih GPS mjerenja iz praktičnog leta s proračunima na zemlji dolazi se do zaključka ima li odstupanja u manevrima i koji su mogući uzroci odstupanja.

U poglavlju „Tehničke karakteristike i performanse aviona Pilatus PC – 9M“ opisuju se osnovni podaci o avionu, tehničke karakteristike te karakteristike performansi koje utječu na izvođenje temeljnih manevara bliske zračne borbe. Također su opisane posebnosti upravljanja avionom na granicama performansi.

Poglavlje „Zračna borba“ uvodi u osnove zračne borbe. Opisuju se temeljne uloge i taktika Hrvatskog ratnog zrakoplovstva. Objašnjavaju se 3 stupnja kontrole zračne pozicije među koje spadaju povoljna situacija u zraku, nadmoć u zraku i prevlast u zraku. U dijelu „Osnove zračne borbe“ opisane su 3 vrste zračne borbe: napadački BFM, obrambeni BFM i neutralni BFM. Potrebno je naglasiti da se u ovom dijelu obuke zračna borba može promatrati iz uloge Lovca i uloge Mete. Tijekom uvježbavanja manevara Meta je ujedno i vođa para. Vođa para je zadužen za podešavanje, vodi radio-komunikaciju, zapovijeda početak izvođenja manevara, itd. U ovom poglavlju također su opisane mjere sigurnosti i pravila ponašanja kojih se učenici letaći moraju pridržavati kako ne bi došlo do ugrožavanja sigurnosti letenja.

U četvrtom poglavlju „Temeljni manevri bliske zračne borbe“ opisani su svi već navedeni manevri. Detaljno je opisana tehnika izvođenja i raspored pažnje svakog od manevara. Za pomoć pri opisivanju navedenih manevara korištena je literatura koju su objavile Zračne snage Sjedinjenih Američkih Država. U literaturi se spominju temeljni manevri bliske zračne borbe koji se izvode na avionu Beechcraft T-6 Texan II koji ima slične karakteristike kao i avion Pilatus PC – 9M. U ovom poglavlju opisana je geometrija svakog manevra te su



izrađene slike koje prikazuju kako bi putanje aviona trebale izgledati prema proračunima. Također su iznesene norme kojih su se piloti pridržavali tijekom izvođenja praktičnog leta.

U petom poglavlju „Mjerenje i analiza GPS podataka“ obrađeni su GPS podaci dobiveni mjerenjem pomoću kamera marke GoPro. Analiza podataka pokazuje odstupanja praktičnog leta od proračuna na zemlji. Izneseni su mogući razlozi odstupanja te moguća rješenja koja će osigurati da se odstupanja ne događaju. Detaljno je opisana metodologija mjerenja. Za obradu podataka u najvećoj mjeri su korišteni aplikacija Google Earth Pro i program GPS Track Editor. U radu se spominju i meteorološki uvjeti na dan letenja. Prikazan je let para od samog polijetanja, odlaska u zonu te izvođenja manevra za uvježbavanje i prilagodbu na velika opterećenja. Nadalje, redom su obrađeni podaci dobiveni GPS mjerenjem od samog podešavanja za manevar do ponovnog zбора pratitelja i vođe.

U zaključnom dijelu iznesena su odstupanja dobivena analizom GPS podataka kao i mogući razlozi odstupanja te poboljšanja u obuci koja mogu omogućiti da do odstupanja više ne dolazi. Također se zaključuje koji manevri odgovaraju proračunima na zemlji, a koji se trebaju podesiti kako bi svako buduće izvođenje izgledalo poprilično jednako.

## 2. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE I PERFORMANSE AVIONA PILATUS PC – 9M

### 2.1. Općenito o zrakoplovu

Pilatus PC-9M je zrakoplov s jednim motorom, niskokrilac s metalnom konstrukcijom koji se u Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu koristi za temeljnu i naprednu obuku učenika letača. Najmanje dopušteno opterećenje propisano za ovaj zrakoplov je -3.5g, a najveće +7g. Najveća brzina koju ovaj zrakoplov može postići je 320 kt ili 0.65 Mach. Zrakoplov ima mogućnost korištenja i danju i noću u vizualnim meteorološkim uvjetima kao i u instrumentalnim meteorološkim uvjetima [1].

Pilotski prostor zrakoplova sadrži prednju i stražnju kabinu koje su gotovo identične. Razlika je u tome što prednja kabina ima magnetski kompas, ručicu za zaključavanje komandi, parkirnu kočnicu te sve potrebne generatorske i baterijske osigurače i prekidače. Prednji i stražnji pilotski prostor opremljeni su izbacivim sjedištima na čijem se vrhu nalaze šiljasti polimerni dijelovi koji probijaju poklopac kabine u slučaju aktivacije sjedišta [1].

Zrakoplov ima raspon krila 10,19 metara, dugačak je 10,175 metara i visok 3,26 metara. Najveća dopuštena masa zrakoplova iznosi 2360 kg. Najveća dopuštena masa polijetanja zrakoplova iznosi 2350 kg i ta masa je ujedno i najveća dopuštena masa slijetanja te najveća dopuštena masa zrakoplova za iskorištavanje potpunih performansi zrakoplova pri izvođenju manevara [1].

Zrakoplov sadrži turboelisni motor marke *Pratt and Whitney* oznake PT6A – 62 sa slobodnom turbinom. Motor pokreće metalnu elisu marke *Hartzell* oznake HC-D4N-2D koja ima 4 kraka promjenjiva koraka. Os motora pomaknuta je 2 stupnja udesno i 2 stupnja na dolje u odnosu na uzdužnu os zrakoplova. Tako se smanjuje negativan učinak zakretnog momenta koji stvara elisa [1].

### 2.2. Performanse zrakoplova

U ovom poglavlju bit će obrađene karakteristike performansi koje utječu na blisku zračnu borbu. Bitno je upoznati se s teorijom aerodinamike i performansi zrakoplova za razumijevanje performansi i samih mogućnosti zrakoplova kojim se upravlja u uvjetima bliske zračne borbe. Budući da zračna borba predstavlja najzahtjevniji dio obuke svakog pilota tako je i letenje u uvjetima zračne borbe iskorištavanje maksimalnih performansi leta i mogućnosti zrakoplova. Primjenom osnova aerodinamike i performansi leta piloti

trebaju prepoznati i usporediti čimbenike koji će imati najveći utjecaj na taktiku manevara bliske zračne borbe, a to su:

- **specifično opterećenje krila** – zrakoplovi koji imaju manje specifično opterećenje krila imaju manji radijus zaokreta i veće kutno skretanje u identičnim uvjetima u odnosu na zrakoplove s većim specifičnim opterećenjem krila;
- **kutno skretanje** – brzina promjene pravca leta u određenom vremenskom periodu i ravnini kretanja; veće dostupno  $g$  – opterećenje, osobito pri manjim brzinama će povećati vrijednost kutnog skretanja;
- **radijus zaokreta** – zrakoplovi koji mogu postići veliko  $g$  – opterećenje na malim brzinama će imati manji radijus zaokreta;
- **ubrzanje zrakoplova** – kako bi se povećalo ubrzanje, potrebno je smanjiti otpor na najmanji mogući te povećati potisak ili snagu na maksimalnu moguću; u praksi to znači povećati snagu na maksimalnu i popustiti ili potisnuti palicu na  $0g$  opterećenje; bilo koje druge vrijednosti opterećenja, negativne ili pozitivne, stvaraju određeni uzgon, a samim time i inducirani otpor i to dovodi do smanjenja ubrzanja;
- **ukupna količina energije** – ukupnu količinu energije zrakoplova čini zbroj potencijalne i kinetičke energije; zbog različitih težina i konfiguracija koriste se derivacije ukupne energije – specifična energija i specifična snaga;
- **specifična energija** – ukupna energija podijeljena s težinom zrakoplova
- **specifična snaga** – promjenom specifične energije u određenom vremenu, performanse zrakoplova mogu se povezati sa stanjem energije, drugim riječima dobivena ili izgubljena energija može se koristiti u proračunima performansi zrakoplova; specifična snaga ovisi o odnosu otpora i potiska; ako je potisak veći od otpora, tada specifična energija ima pozitivan predznak, a ako je otpor veći od potiska tada specifična energija ima negativan predznak; specifična snaga omogućuje pilotu da određuje i uspoređuje mogućnost zrakoplova pri velikom opterećenju i pretvaranju energije u bolje performanse u zaokretu; usporedbom dijagrama i krivulja specifične snage moguće je usporediti performanse različitih zrakoplova u uvjetima bliske zračne borbe; u dijagramu specifične snage vrijedi pravilo da zrakoplov čije krivulje specifične snage okružuju krivulje drugog aviona ima prednost u bliskoj zračnoj borbi.

Prema navedenom vidljivo je da najveći učinak na performanse zrakoplova u uvjetima bliske zračne borbe imaju specifična snaga i specifična energija koje se mogu iskoristiti za održavanje velikog  $g$  – opterećenja u zaokretima što rezultira povećanjem kutnog skretanja i smanjenjem radijusa zaokreta.

### 2.3. Performanse i energetska manevriranje za Pilatus PC - 9M

Avion Pilatus PC – 9M je trenažni avion osposobljen za gotovo sve vrste manevara. Pri izvođenju manevara ima veliki raspon ulaznih brzina pri kojima je moguće izvesti željene manevre, a komande leta su izrazito učinkovite kroz cijelu envelopu brzina zrakoplova. Pilatus PC-9M je izuzetno stabilan avion kroz cijeli raspon brzina i koeficijenta opterećenja. Smanjenjem mase aviona, brzina prevlačenja se smanjuje pa se tako i granica sloma uzgona smanjuje. Za visinu na razini mora ( $h = 0$ ) i masu aviona od 2350kg kutna brzina iznosi 205 kt pri maksimalnom dozvoljenom koeficijentu opterećenja od 7g. Maksimalna dozvoljena brzina leta iznosi 320 kt, maksimalno pozitivno opterećenje +7g, minimalna brzina 77 kt dok se negativno opterećenje neće razmatrati zbog nepraktičnosti primjene u bliskoj zračnoj borbi. Iznad brzine od 205 kt potrebno je odmjereno i pažljivo rukovanje s upravljačkom palicom zbog mogućnosti preopterećenja aviona, a ispod te brzine dolazi do mogućnosti sloma uzgona ako se pokušava održati isto maksimalno dozvoljeno opterećenje. Brzina pri kojoj se postiže maksimalno dozvoljeno opterećenje zove se kutna brzina – *corner speed/velocity*, a često i *maneuvering speed* kako je i navedeno u tehničkom priručniku za avion Pilatus PC-9M. To je brzina pri kojoj se ostvaruje najbolje kutno skretanje i najmanji radijus zaokreta. U priručniku za upravljanje avionom Pilatus PC – 9M navedene su brzine postizanja maksimalnog dozvoljenog opterećenja i za druge težine u letu. Masa zrakoplova se tijekom leta smanjuje zbog potrošnje goriva pa se tako i kutna brzina smanjuje i tijekom leta učenici letači moraju obratiti pozornost na tu činjenicu kako ne bi preopterili zrakoplov [2].

### 2.4. Posebnosti upravljanja avionom na granicama performansi

Tijekom obuke učenici letači se susreću s upravljanjem avionom Pilatus PC-9M na granicama performansi u ranijoj fazi obuke. Međutim, manevri koji su se tada izvodili do krajnjih granica performansi izvodili su se s ciljem upoznavanja mogućnosti aviona te su ti manevri bili strogo kontrolirani i detaljno pripremljeni u pripremi vježbe. U obuci bliske zračne borbe i simuliranju temeljnih manevara bliske zračne borbe, učenici letači će dovoditi avion do granica performansi, ali u uvjetima kada će svoju pažnju usmjeravati na drugi avion u zraku te će svoje manevre izvoditi u odnosu na njega. Zbog toga postoji velika mogućnost prekoračenja ograničenja aviona zbog nepažnje i fokusiranja na manevr drugog aviona bez kontrole vlastitih elemenata leta. Učenici letači moraju biti svjesni toga i tijekom leta obraćati pozornost na parametre leta kako ne bi došlo do ugrožavanja sigurnosti te kako bi izbjegli prekoračenja ograničenja aviona.

Za svaku masu zrakoplova u letu postoji kutna brzina pri kojoj je moguće postići maksimalno dozvoljeno opterećenje. Važno je tijekom manevara provjeravati brzinu te za let pri brzinama većim od kutne brzine pažljivo postavljati opterećenje zbog mogućnosti preopterećenja aviona. U području oko kutne brzine je to relativno teško postići zbog toga što je za opterećenje potreban velik otklon palice, a pri tome bi otpor na upravljačkoj palici bio poprilično velik i to bi otežavalo postavljanje opterećenja većeg od +7g. Međutim, pri brzini 220 kt i većim, agresivnijim postavljanjem opterećenja vrlo lako može doći do preopterećenja aviona. Budući da većina temeljnih manevara bliske zračne borbe ima početnu brzinu veću od 220 kt, potrebno je obratiti pozornost na kontrolirano, bez naglih pokreta, postavljanje opterećenja.

Pri brzinama manjim od kutne brzine, učenici letači neće moći postaviti maksimalno opterećenje. Budući da će Lovac tijekom izvođenja ovih manevara biti ograničen na maksimalno +6g opterećenje pri kutnoj brzini od 205 kt, učenici letači neće osjetiti promjene u upravljivosti aviona, ali dugotrajnim održavanjem opterećenja avion će gubiti energiju, a samim time i brzinu te će doći do brzine dinamičkog prevlačenja za konstantno opterećenje. Rezultat dinamičkog prevlačenja je podrhtavanje aviona i upravljačke palice te dinamičko prevlačenje odnosno povećanje ili smanjenje nagiba ovisno o strani zaokreta, padanje nosa ispod horizonta te drastično smanjenje kutnog skretanja koje je najmanje poželjno u bliskoj zračnoj borbi.

Pored mogućnosti dinamičkog prevlačenja ili preopterećenja, prilikom upravljanja avionom potrebno je obraćati pozornost na moment valjanja aviona. Iako se manevri u obuci završavaju dostizanjem kontrolne pozicije koja će biti obrađena naknadno, potrebno je radi povećanja svijesti i sigurnosti obraditi i problem valjanja pri velikim i malim brzinama. Pri velikim brzinama, zbog velikog otpora zraka, sile koje djeluju na upravljačke površine su znatno veće pa su tako i sile na upravljačkoj palici znatno veće. Rezultat toga je da će pri brzinama većim od 250 kt osjećaj težine na palici biti velik pri postavljanju nagiba i izvođenju manevara valjaka te će zbog toga rotacija oko uzdužne osi zrakoplova biti sporija. Pri malim brzinama, ispod 130 kt, zbog manjeg prolaska struje zraka oko krila i dinamičkog tlaka, moment valjanja je manji i samim time je i sporiji tempo valjanja u odnosu na uobičajen raspon brzina. Pored toga, avion sporije reagira na pomake palice što stvara osjećaj zadržke između pomaka palice i reakcije aviona. Za najbolje performanse aviona preporučuju se brzine od 180 do 250 kt.

Gore navedene posebnosti i manevarske mogućnosti aviona, učenici letači su već doživjeli u kontroliranim uvjetima izvodeći manevre koji dovode do jedne od granica postepeno. Specifičnost ovog dijela obuke je što je sve granice performansi moguće

doseći pri izvođenju samo jednog manevra. Piloti se vrlo lako mogu dovesti u uvjete malih brzina i prekoračenja opterećenja ako ne obraćaju pozornost na brzinu i samu energiju aviona. Kako bi sigurnost obuke i izvođenje manevara bliske zračne borbe bila maksimalna moguća, učenike letače je potrebno upoznati sa situacijama kada će se dovesti u takve uvjete i kada više neće moći manevrirati u optimalnom rasponu performansi aviona.

Za izvođenje temeljnih manevara bliske zračne borbe vrlo je bitno psiho-fizičko stanje pilota koji upravlja avionom budući da se tijekom ovih manevara postižu velika g opterećenja. Veća otpornost pilota na velika opterećenja tijekom izvođenja temeljnih manevara bliske zračne borbe omogućuje pilotu manje mentalno naprezanje i pilot se u takvim uvjetima može usredotočiti na pravilno izvođenje manevra te adekvatno i oprezno upravljanje avionom unutar dozvoljenih granica performansi.

### 3. ZRAČNA BORBA

#### 3.1. Temeljna uloga i taktika Hrvatskog ratnog zrakoplovstva

Hrvatsko ratno zrakoplovstvo razvija sposobnosti nadzora i zaštite zračnog prostora Republike Hrvatske te pruža potporu kopnenim i pomorskim snagama u združenim operacijama. Hrvatsko ratno zrakoplovstvo je nositelj i organizator zračne obrane Republike Hrvatske i ima važno mjesto i ulogu u ukupnoj vojnoj moći države. Taktički je nositelj razvoja i modernizacije rodova Hrvatskog ratnog zrakoplovstva te je odgovorno za obuku i izobrazbu na granskoj razini, razvoj taktike i doktrine uporabe grane, personalnog upravljanja, profesionalnog razvoja i drugih važnih pitanja za razvoj grane. Misija Hrvatskog ratnog zrakoplovstva je nadzor i zaštita zračnog prostora Republike Hrvatske, sudjelovanje u združenim i međunarodnim NATO/UN/EU vođenim vojnim operacijama te provedba operacija pružanja pomoći civilnim institucijama u državi.

Provedbom obuke u Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu osigurava se optimalna razina borbene spremnosti za nadzor i zaštitu zračnog prostora Republike Hrvatske. Hrvatsko ratno zrakoplovstvo također radi na razvitku i održanju kompetencija za sudjelovanje u međunarodnim operacijama i misijama potpore miru. Fokus na zadaću obuke provedbu zadaće za osiguranje spremnosti za izvođenje humanitarnih operacija za pružanje pomoći civilnom stanovništvu u slučaju prirodnih i drugih katastrofa [3].

Za izvršavanje nadzora i zaštite suverenog zračnog prostora Republike Hrvatske, Hrvatsko ratno zrakoplovstvo ima zadaću postići prevlast u zračnom prostoru Republike Hrvatske iznad mora i kopna, napadačkim i obrambenim operacijama u ranim uvjetima. Potrebno je definirati pojam „prevlast u zraku“ kako bi se bolje razumjela temeljna uloga Hrvatskog ratnog zrakoplovstva. Postoje 3 stupnja kontrole zračnog prostora, a to su:

- povoljna situacija u zraku – povoljna situacija u zraku se ostvaruje kada je nastavak djelovanja neprijateljskih sredstava nedovoljan da bi na bilo koji način ugrozio uspjeh prijateljskih kopnenih, zračnih i pomorskih operacija
- nadmoć u zraku – stupanj dominacije jedne strane nad drugom tijekom zračnih borbi koji dozvoljava provođenje operacija zračnih, kopnenih i pomorskih snaga na zadanom mjestu u zadano vrijeme bez značajnog utjecaja neprijateljskih suprotstavljenih snaga
- prevlast u zraku – nadmoć u zraku u kojoj protivničke snage nemaju mogućnost djelotvornog utjecaja.

Prevlast u zračnom prostoru se može postići na različite načine i djelovanjima koja smanjuju učinkovitost i borbenu moć protivnika odnosno protivničkog ratnog

zrakoplovstva stvarajući pritom povoljan odnos snaga i uvjete za djelovanje ostalih grana Oružanih snaga Republike Hrvatske. Postoje 3 vrste prevlasti: taktička, operativna i strategijska. Taktička prevlast je kratkotrajna i ostvaruje se zaštitom taktičkih postrojbi i traje tijekom kritičnih faza djelovanja. Operativna prevlast ostvaruje se u zračnom prostoru bojišta ili dijelu zračnog prostora bojišta za vrijeme same operacije. Strategijska prevlast se ostvaruje u cjelokupnom zračnom prostoru Republike Hrvatske ili jednom dijelu zračnog prostora tijekom ratnih zbivanja.

### **3.2. Općenito o zračnoj borbi**

U ovom poglavlju bit će obrađeni osnovni koncepti i čimbenici bliske zračne borbe. Sadržaj ovog poglavlja je osnova teorije bliske zračne borbe koja čini temelj obuke svakog borbenog pilota za zračnu borbu. Uspjeh u bliskoj zračnoj borbi ovisi o kompetencijama i sposobnosti pilota da se dovede u povoljnu poziciju u odnosu na drugi avion iz koje ima mogućnost djelovanja izvođenjem različitih manevara avionom. Kako bi bilo lakše razumjeti odnos aviona za napadački avion će se koristiti pojam Lovac, a za obrambeni pojam Meta.

#### **3.2.1. Osnove zračne borbe**

Temeljni manevari bliske zračne borbe odnosno BFM (BFM – *Basic Fighter Maneuvers*) ne predstavljaju određeni komplet manevara već kombinaciju dinamičkih zaokreta i manevara valjaka kao i ostalih manevara koji stvaraju ili rješavaju probleme s protivnikom. Problemi koji se mogu pojaviti tijekom izvođenja BFM-a povezani su s udaljenosti, odnosom i prilaženju protivniku. Ti problemi moraju se riješiti u zraku upravljajući avionom, a da bi to bilo moguće nužno je da pilot bude upoznat sa svim čimbenicima koji mogu utjecati na blisku zračnu borbu. Jedan od osnovnih čimbenika je geometrija zračne borbe koja se opisuje pomoću trokuta pretjecanja. U ovom poglavlju će biti opisan trokut pretjecanja te će se definirati novi pojmovi koji su bitni za rješavanje problema geometrije u zraku.

Svaka zračna borba može se promatrati iz uloge Lovca i iz uloge Mete. Tijekom zračne borbe, i Lovac i Meta moraju znati prepoznati međusobne odnose i geometriju i na temelju toga pretpostaviti taktiku protivnika te na najbolji mogući način upravljati avionom i dovesti se u povoljnu poziciju za djelovanje po Meti iz uloge Lovca ili onemogućiti djelovanje Lovca iz uloge Mete. Postoje 3 vrste zračne borbe koje će se spominjati u daljnjem radu pa je nužno definirati ih. U ovom radu će se radi lakšeg razumijevanja koristiti kratica BFM za zračnu borbu dok će se pojam „temeljni manevari bliske zračne borbe“ koristiti za manevre BFM-a. Vrste zračne borbe su:



- napadački BFM (OBFM – *Offensive BFM*) – tijekom ofenzivnog ili napadačkog BFM-a se promatra uloga Lovca i cilj napadačkog BFM-a je obučiti pilote manevrirati iz pozicije u kojoj imaju prednost nad protivnikom te kako zadržati tu povoljnu poziciju i dovesti se u zonu naoružanja (WEZ – *Weapons envelope zone*) za djelovanje po Meti
- obrambeni BFM (DBFM – *Defensive BFM*) – tijekom obrambenog BFM-a promatra se uloga Mete i cilj je obučiti pilota kako manevrirati iz nepovoljne pozicije čak i u slučaju da je protivnik već unutar WEZ-a
- neutralni BFM ili *Head-On* BFM – tijekom ove vrste BFM-a promatra se uloga Lovca pri čemu se Lovac približava protivniku pod velikim aspektnim odnosom iz prednje sfere. Cilj neutralnog BFM-a je upoznati i na najbolji mogući način iskoristiti manevarske mogućnosti aviona kako bi se iz neutralne pozicije pilot doveo u kontrolnu poziciju i WEZ [4].

### 3.2.2. Principi borbe u zraku

U temeljnim manevrima bliske zračne borbe postoje tri osnovna principa primjenjiva u svakoj situaciji, napadačkoj, obrambenoj ili neutralnoj zračnoj borbi, a to su:

- gubitak vizualnog kontakta je gubitak u zračnoj borbi – najmanji prekid vizualnog kontakta tijekom zračne borbe može značiti gubitak te borbe. Ključno je naučiti i prepoznati trenutak kada maknuti pogled s Mete radi provjere nekog drugog elementa ili parametra jer to može dovesti do ugrožavanja sigurnosti. U napadačkoj zračnoj borbi Meta se nalazi ispred Lovca pa je relativno jednostavno održavati vizualni kontakt dok u obrambenoj zračnoj borbi kada su uloge zamijenjene vrlo lako može doći do prekida vizualnog kontakta prilikom prelaska Lovca iza repa Mete. Iznimno je važno da učenik letač bude upoznat kako može ponovno uspostaviti vizualni kontakt. Tijekom zračne borbe s velikim aspektom inicijalne udaljenosti su velike pa piloti moraju zadržavati pogled van kokpita duži vremenski period tijekom skeniranja zračnog prostora radi uočavanja drugog aviona i održavanja vizualnog kontakta s istim. Osnovno pravilo je da pilot održava pogled na drugom zrakoplovu sve dok drugi zrakoplov nije lako vidjeti i dok više ne predstavlja prijetnju. Primarno je održavati vizualni kontakt s drugim avionom i zanemariti parametre unutar kabine ako pilot sumnja na mogući gubitak vizualnog kontakta

- manevriranje u odnosu na metu – svi manevri koji se izvode tijekom zračne borbe moraju se izvoditi u odnosu na protivnika. Svaki manevar mora biti reakcija na potez Mete ili izveden tako da Meta mora reagirati na manevar Lovca što onda metu čini predvidljivom čime se stvara prednost nad istom. Ovo pravilo bliske zračne borbe primjenjuje se neovisno o položaju aviona tako da je izvođenje manevara u odnosu na horizont nevažno. Iznimka je izvođenje manevara kako bi se postigla pozicijska prednost uz pomoć gravitacije. U napadačkoj zračnoj borbi potrebno je upravljati avionom tako da se avion dovede u kontrolnu zonu Mete, a u obrambenoj zračnoj borbi potrebno je upravljati Metom tako da se spriječi dolazak Lovca u vlastitu kontrolnu zonu
- očuvanje energije aviona – ovaj princip zračne borbe podrazumijeva prepoznavanje situacije kada je potrebno voditi zračnu borbu energijom aviona i kada voditi zračnu borbu za poziciju nosa aviona. Očuvanje energije aviona znači održavanje ukupne energije aviona do trenutka kada će se ta energija zamijeniti za povoljnu poziciju nosa aviona koji će omogućiti djelovanje po Meti ili obranu protiv Lovca. Tijekom napadačke zračne borbe pilot bi trebao čuvati energiju aviona sve dok se ne nađe u povoljnim uvjetima za djelovanje po Meti pri čemu postoji velika vjerojatnost za pogodak Mete. U obrambenoj zračnoj borbi pilot bi se trebao koncentrirati na položaj nosa Lovca. U trenutku kada je Lovac u mogućnosti djelovanja po Meti potrebno je mijenjati energiju aviona za bolje kutno skretanje i izbjegavanje samog djelovanja Lovca. Kada više ne postoji mogućnost djelovanja Lovca po Meti, potrebno je raditi na ponovnom povećanju ukupne energije aviona. U zračnoj borbi s velikim aspektom očuvanje ukupne energije aviona potrebno je za održavanje velikog kutnog skretanja kroz dulji vremenski period, a gubitak energije s ciljem manjeg radijusa zaokreta ili povećanje kutnog skretanja koristi se isključivo za dovođenje u povoljan položaj za djelovanje po Meti ili izbjegavanje djelovanja Lovca [4].

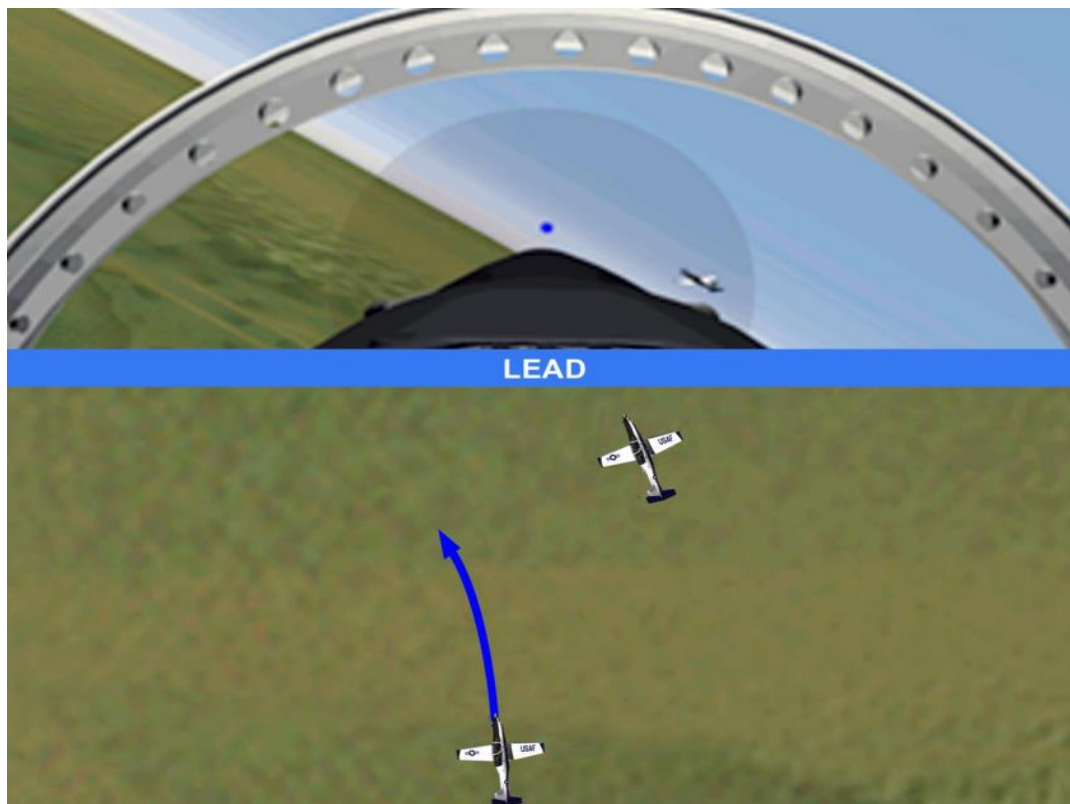
### **3.2.3. Krivulje praćenja**

Postoje 3 vrste krivulja praćenja: krivulja praćenja s pretjecanjem, čista krivulja praćenja i krivulja praćenja sa zaostajanjem. Krivulje su definirane orijentacijom vektora brzine zrakoplova koji prati u odnosu na zrakoplov koji se prati. Budući da piloti ne mogu vidjeti vektor brzine zrakoplova kao referenca se uzima položaj nosa

aviona. Nos aviona ne može biti savršena referenca zbog pojave klizanja aviona i napadnog kuta Lovca, no uzima se da nos aviona približno odgovara vektoru brzine.

### 3.2.3.1. Krivulja praćenja s pretjecanjem

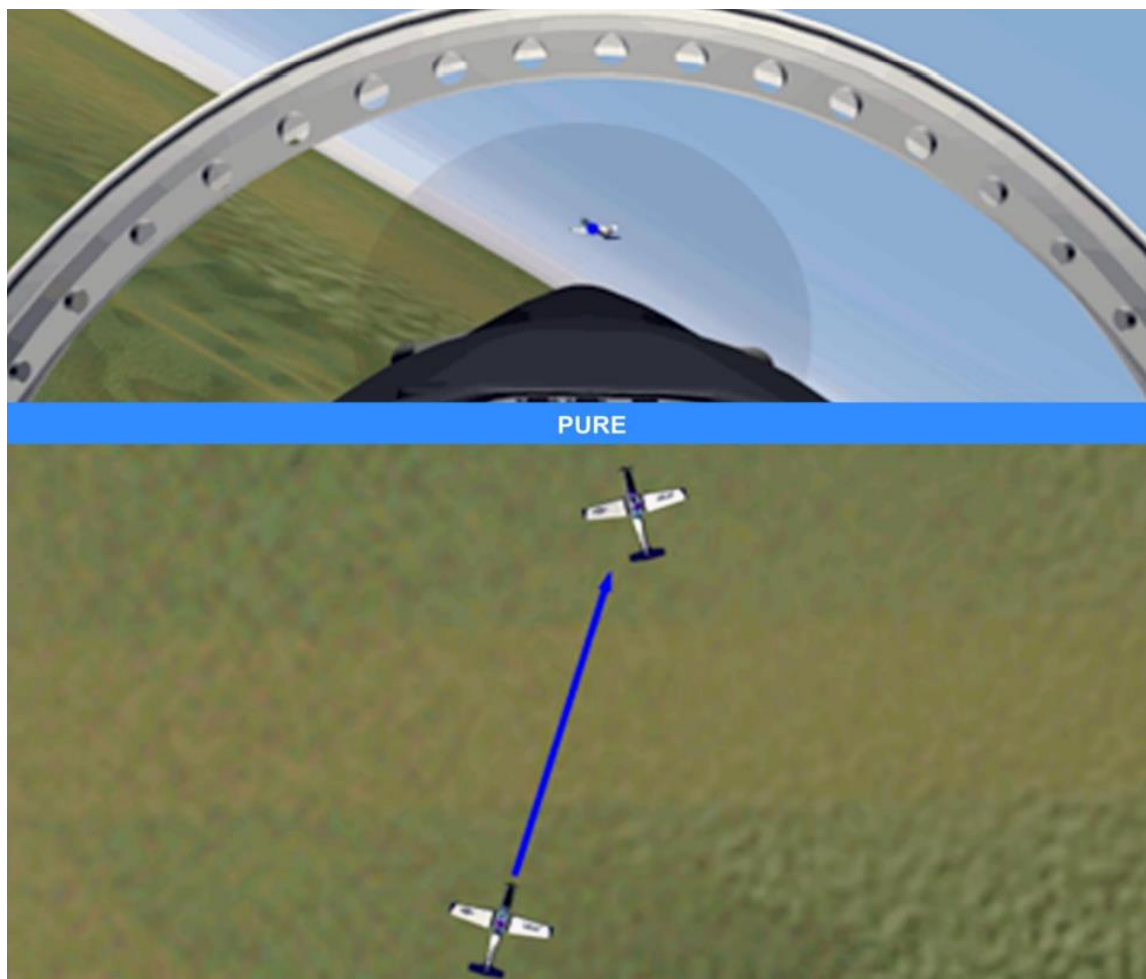
Krivulja praćenja s pretjecanjem prikazana na slici 1 podrazumijeva pozicioniranje nosa aviona ispred Mete kako bi se postigao manji radijus zaokreta od Mete i time smanjila udaljenost i zaostatak za Metom. Prilikom izvođenja krivulje praćenja s pretjecanjem postoji mogućnost da Lovac prekrije nosom aviona Metu čime može ugroziti sigurnost jer gubi vizualni kontakt s metom što na kraju može rezultirati sudarom. Jedno od najvažnijih pravila tijekom obuke je da se učenik letač nikad ne dovede u situaciju u kojoj će prekriti avion ispred sebe. Primarni cilj krivulje praćenja s pretjecanjem je smanjiti zaostajanje za avionom ispred korištenjem geometrije. Idealna krivulja praćenja s pretjecanjem ovisi o relativnim pozicijama aviona, relativnoj brzini i manevrima koje izvodi avion ispred. Izvođenje krivulje praćenja s pretjecanjem povećava se brzina prilaženja, smanjuje se udaljenost i povećava aspektni kut. Ova krivulja se obično koristi u OBFM-u pri gađanju topom. Iz uloge Mete ova krivulja može stvarati probleme za Lovca zbog prevelike brzine prilaženja i kutnih odnosa između Lovca i Mete [4].



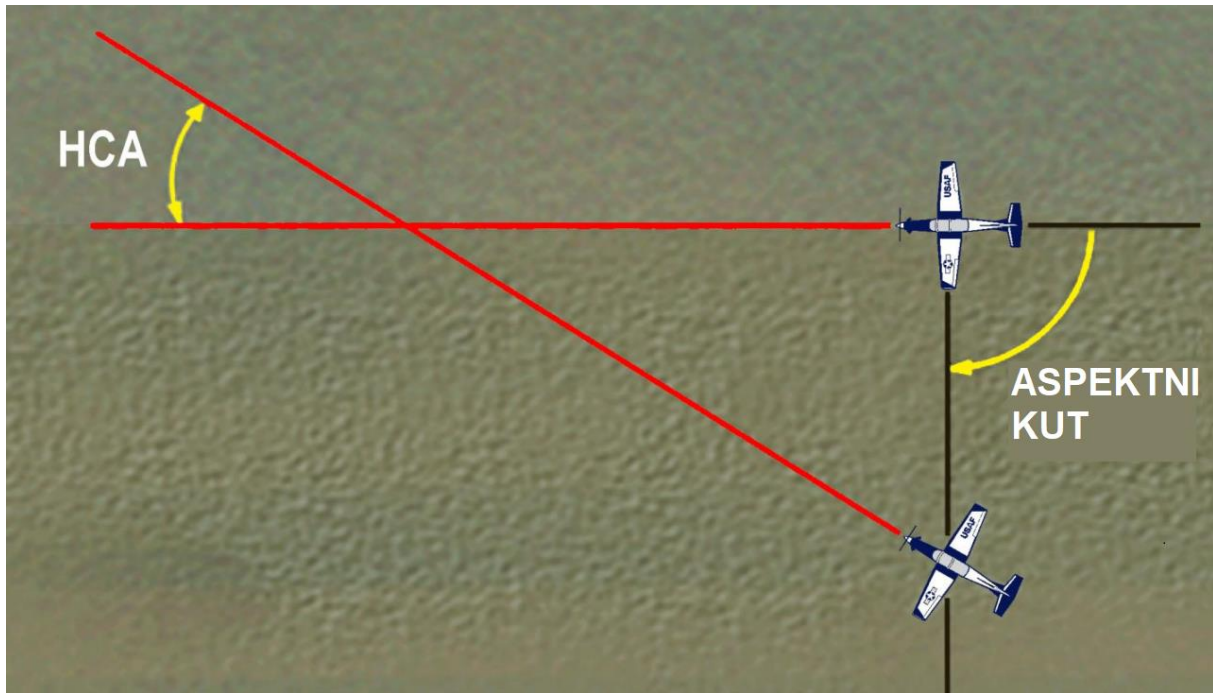
**Slika 1.** Krivulja praćenja s pretjecanjem – LEAD, [5]

### 3.2.3.2. Čista krivulja praćenja

Čista krivulja praćenja iz uloge Lovca koristi se pri ispaljivanju raketa zrak-zrak. Lovac održavanjem ove krivulje ima još jednu pogodnost, a to je da je najmanje izložen Meti i zbog toga ga Meta teže uočava. Održavanjem čiste krivulje praćenja postiže se smanjenje udaljenosti, povećanje brzine prilaženja te povećanje aspektnog kuta, ali sporijim tempom nego u slučaju održavanja krivulje praćenja s pretjecanjem. Dolaskom Lovca na udaljenost od Mete koja je jednaka radijusu zaokreta Mete doći će do održavanja jednake udaljenosti između Lovca i Mete u slučaju da imaju približno jednake brzine te do smanjenja aspektnog kuta. Aspektni kut ( $AA$  – *Aspect Angle*) je kut između produžene uzdužne osi zrakoplova u smjeru repa i linije koja povezuje dva zrakoplova. Na slici 3 prikazan je primjer aspektnog kuta i *Heading Crossing* kuta ( $HCA$  - *Heading Crossing Angle*). U slučaju da Lovac ima veću brzinu od Mete Lovac neće moći održavati čistu krivulju praćenja jer će morati povećati opterećenje kako bi se zadržao na jednakoj putanji. To će dovesti do gubitka energije aviona i dodatnog zaostajanja [4].



Slika 2. Čista krivulja praćenja – PURE, [5]

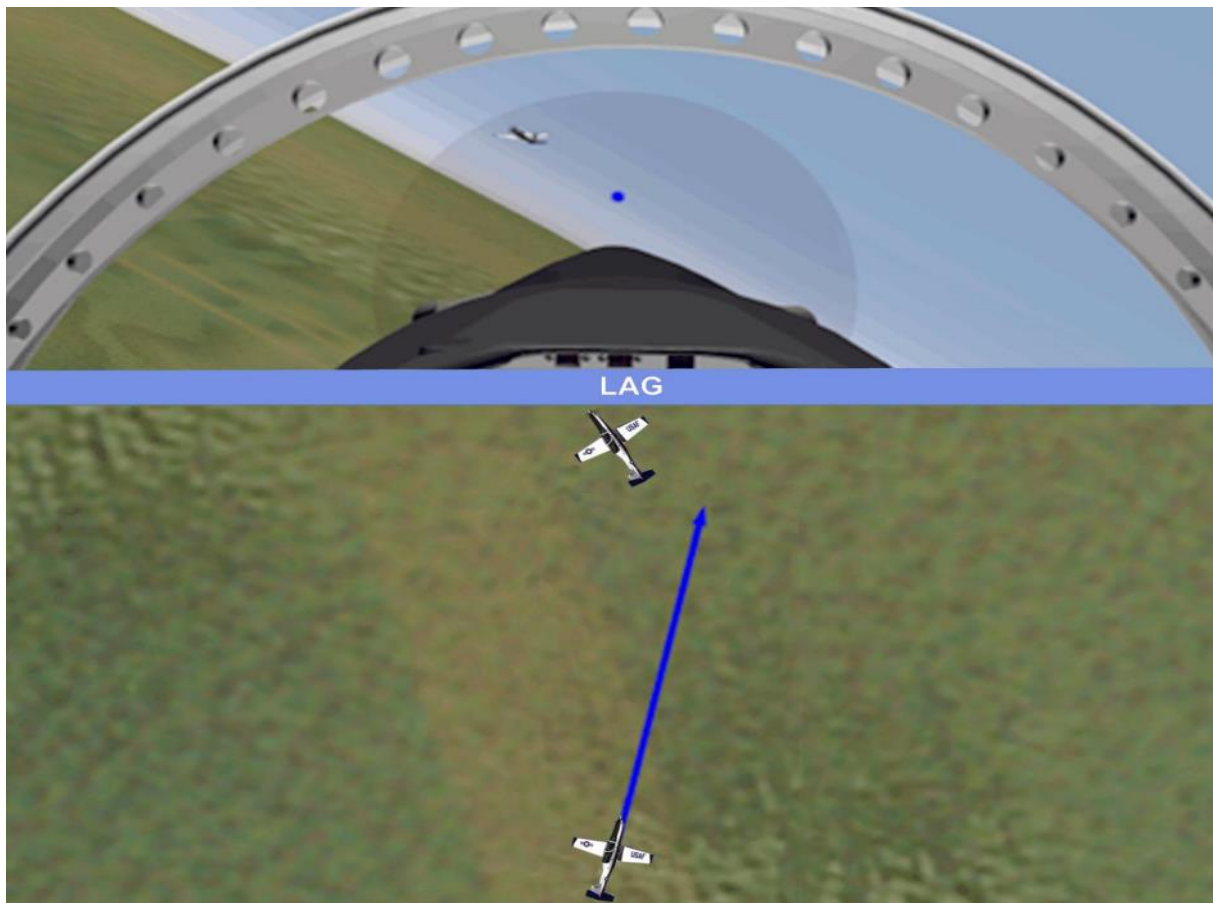


**Slika 3.** Primjer aspektnog kuta i Heading Crossing kuta, [5]

### 3.2.3.3. Krivulja praćenja sa zaostajanjem

Održavanjem krivulje praćenja sa zaostajanjem prikazana na slici 4 doći će do smanjenja tempa prilaženja Meti kao i do smanjenja aspektnog kuta te povećane udaljenosti između Mete i Lovca. U bliskoj zračnoj borbi krivulja praćenja sa zaostajanjem se često koristi kako bi se osigurao manevarski prostor i kontroliralo pretjecanje Mete. Međutim, uzimanjem prevelikog kuta zaostajanja Lovac smanjuje pritisak na Metu i time omogućava Meti manevriranje kojim će Meta osigurati povećanje količine energije i zauzimanje povoljnije pozicije za nastavak zračne borbe. Promatrajući ulogu Lovca, održavanjem krivulje praćenja sa zaostajanjem Lovac kontrolira prilaženje Meti i kutne odnose između dva aviona. Krivulja praćenja sa zaostajanjem otežava Meti vizualni kontakt s Lovcem osobito ako se Lovac nalazi u repu Mete. To obično rezultira povećanjem opterećenja i smanjivanjem radijusa zaokreta Mete ili promjenom smjera zaokreta. U slučaju da pilot Mete nema mogućnost promijeniti smjer zaokreta bez da omogući Lovcu priliku za gađanje, pilot Mete će biti prisiljen održavati stalan zaokret što ga čini predvidljivim [4].



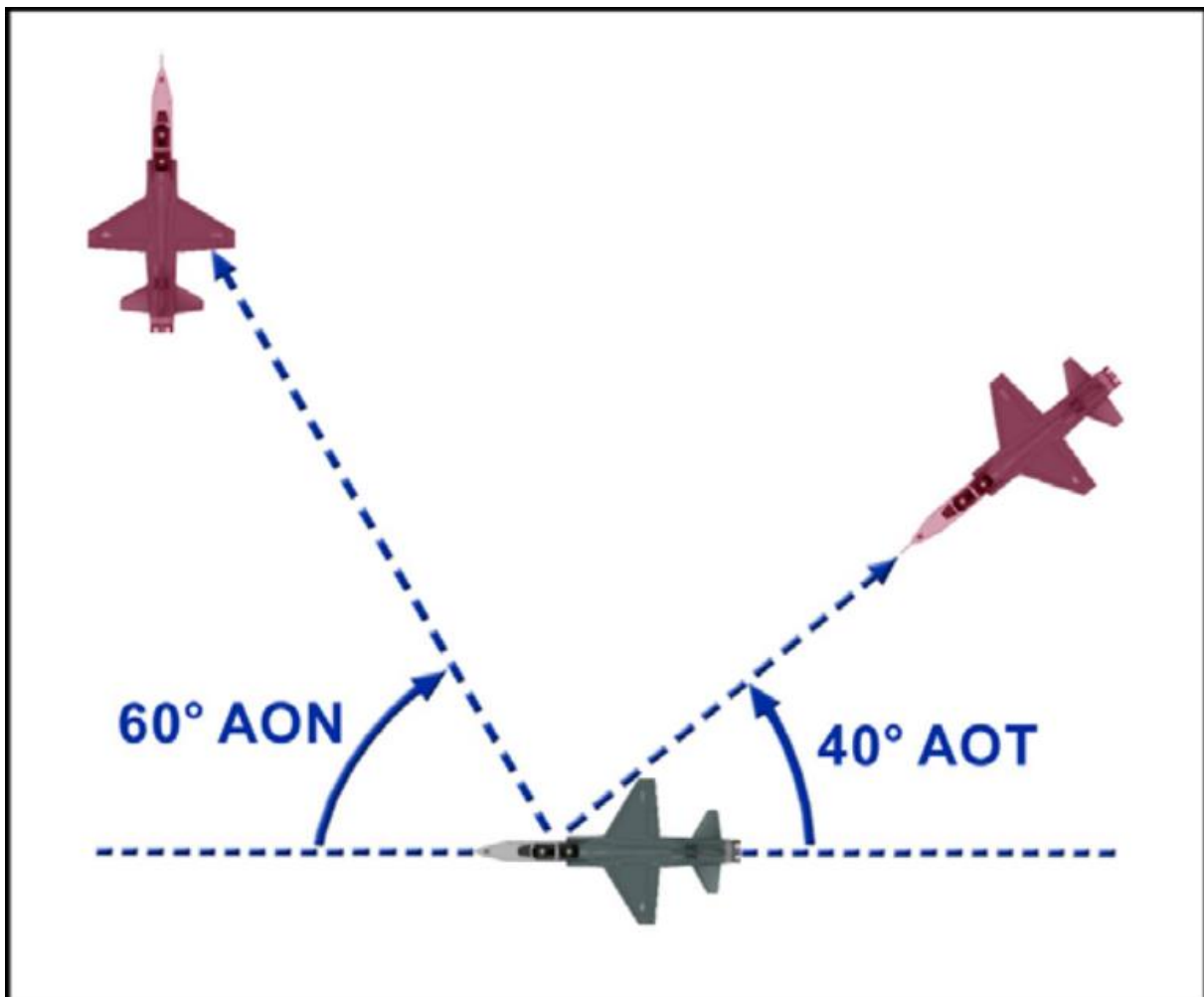


**Slika 4.** Krivulja praćenja sa zaostajanjem – LAG, [5]

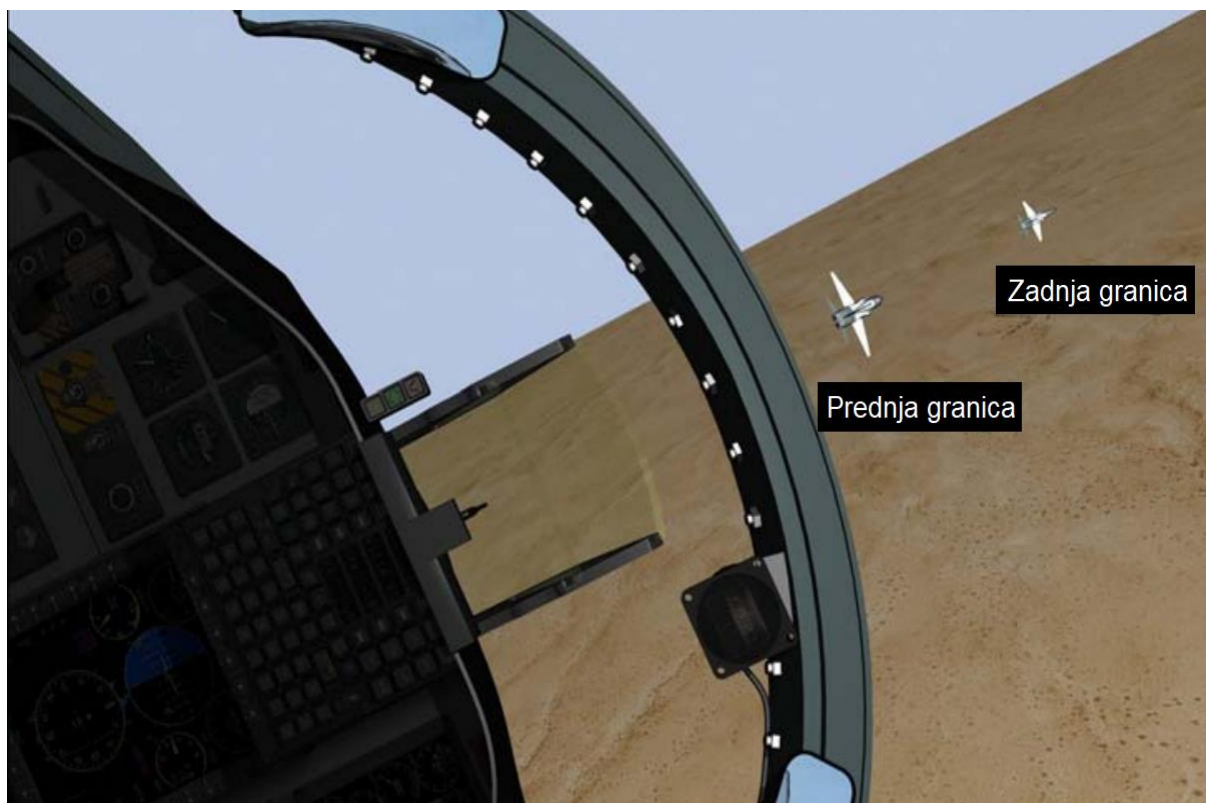
#### **3.2.4. Kontrolna pozicija**

Kontrolna pozicija prikazana na slici 6 je pozicija Lovca koja mu osigurava kontrolu nad Metom tako da je Meta primorana održavati konstantan zaokret kako bi bila u mogućnosti izbjeći djelovanje Lovca. Ukoliko su zadovoljeni uvjeti, Lovac ima mogućnost dovesti se unutar WEZ i vršiti djelovanje po Meti. Održavanje ukupne količine energije aviona je nužno kako bi se Lovac mogao dovesti u WEZ nakon kontrolne pozicije. U obuci je kontrolna pozicija ona pozicija kojom učenici letači završavaju komplet manevara. Kada se Lovac nađe u kontrolnoj poziciji cilj izvedenih manevara je izvršen i prati se *Terminate* procedura koja je posebno objašnjena u poglavlju 3.3.2. Kontrolna pozicija je definirana udaljenošću od 300 do 400 metara od Mete pri aspektnom kutu od  $30^\circ$  do  $45^\circ$  i AON (AON – *Angle Off Nose*) od  $30^\circ$  do  $45^\circ$  ako se promatra perspektiva Mete u zaokretu ili manevru. AON je kut mjerjen od uzdužne osi zrakoplova u smjeru nosa aviona do zamišljene linije koja ih spaja. Također je bitno objasniti i AOT (AOT – *Angle Off Tail*) koji označava kut između uzdužne osi zrakoplova u smjeru repa do zamišljene linije koja ih spaja. Primjer AON-a i AOT-a prikazan je na slici 5. U slučaju da Meta izvodi zaokret manjeg radijusa i opterećenja, smanjuje se udaljenost kontrolne pozicije ( $AA = 0^\circ$  i  $AON = 0^\circ$ ). Ako se

želi ispuniti cilj manevra Lovac mora biti na kontrolnoj poziciji najmanje 5 sekundi nakon čega javlja „*Terminate*“ te prekida manevar. Vrijeme zadržavanja na kontrolnoj poziciji znači da Lovac uspješno kontrolira Metu te održava ukupnu količinu energije aviona koja je potrebna za prelazak u zonu za korištenje naoružanja jer u stvarnoj situaciji Lovac bi iz kontrolne pozicije prešao u WEZ za uporabu raketnog ili streljačkog naoružanja ili bi podesio poziciju u slučaju da Meta izvede obrambeni manevar. Nakon završetka manevra, vođa para zapovijeda podešavanje za sljedeći manevar [4].



**Slika 5.** Primjer AOT-a i AON-a, [4]



**Slika 6.** Kontrolna pozicija, [4]

### **3.2.5. Turning room**

*Turning room* (TR – turning room) je razmak između dva aviona koji se može koristiti za povećanje ili smanjenje udaljenosti te za smanjenje AA. *Turning room* je zapravo pomak putanje leta u odnosu na putanju leta protivnika u bilo kojoj ravnini. Cilj obuke je prepoznati *turning room* kako bi se iskoristio za postizanje povoljne pozicije u odnosu na drugi avion. Ako postoji određeni *turning room* za jedan avion onda on postoji i za drugi avion ako u „borbi“ sudjeluju dva aviona približno jednakih performansi [4].

### **3.2.6. Područje unutar radijusa zaokreta**

Područje unutar radijusa zaokreta ili *Turn Circle* (TR – *Turn Circle*) je područje oko aviona koji se napada unutar kojeg Lovac ima mogućnost uspostaviti povoljniju poziciju za izvršenje napada. Područje unutar radijusa zaokreta je definirano udaljenošću od Mete te radijusom zaokreta Lovca i Mete. Područje unutar radijusa zaokreta je zapravo područje unutar radijusa zaokreta Mete. Ako Meta radi zaokret tako da konstantno povećava aspektni kut Lovac će se nalaziti izvan područje unutar radijusa zaokreta sve do trenutka kada Meta više ne može povećavati aspektni kut,



tada će Lovac ući u područje unutar radijusa zaokreta Mete. Ako se Lovac nalazi van područja unutar radijusa zaokreta Mete tada će Meta imati mogućnost zaokretom povećati aspektni kut što će rezultirati *Head on* BFM-om [4].

Gledajući iz perspektive Mete, svakom promjenom nagiba ili povećanjem opterećenja smanjuje se radijus zaokreta, a time i područje unutar radijusa zaokreta čije se središte pomiče prema Meti. Tako se smanjuje *turning room* Lovcu čiji je cilj napasti Metu. Postizanjem maksimalnog kutnog skretanja pri čemu je radijus zaokreta minimalan Meta postiže granice performansi aviona i više nema mogućnost smanjiti radijus područje unutar radijusa zaokreta. To znači da Lovac koji se nalazi u području unutar radijusa zaokreta Mete nije u opasnosti od napada Mete.

Svi navedeni pojmovi služe za opis odnosa dva aviona u zraku. Cilj zračne borbe je ostvariti najpovoljniju poziciju u odnosu na drugi avion u zraku, bilo da se radi o Lovcu ili Meti. Cilj obuke bliske zračne borbe je naučiti učenika letaća da maksimalno iskoristi svoje znanje i letačko iskustvo kako bi pravilno iskoristio performanse aviona pridržavajući se pritom pravila sigurnosti letenja.

### **3.3. Sigurnost letenja**

#### **3.3.1. Mjere sigurnosti**

Obuka temeljnih manevara bliske zračne borbe smatra se jednim od najrizičnijih dijelova obuke jer su mogućnosti prekoračenja ograničenja aviona velike kao i probijanje sigurnosnih granica ili u najgorem slučaju sudar dvaju aviona u letu. Kako bi se sigurnost izvođenja vježbi podigla na najvišu razinu potrebni su:

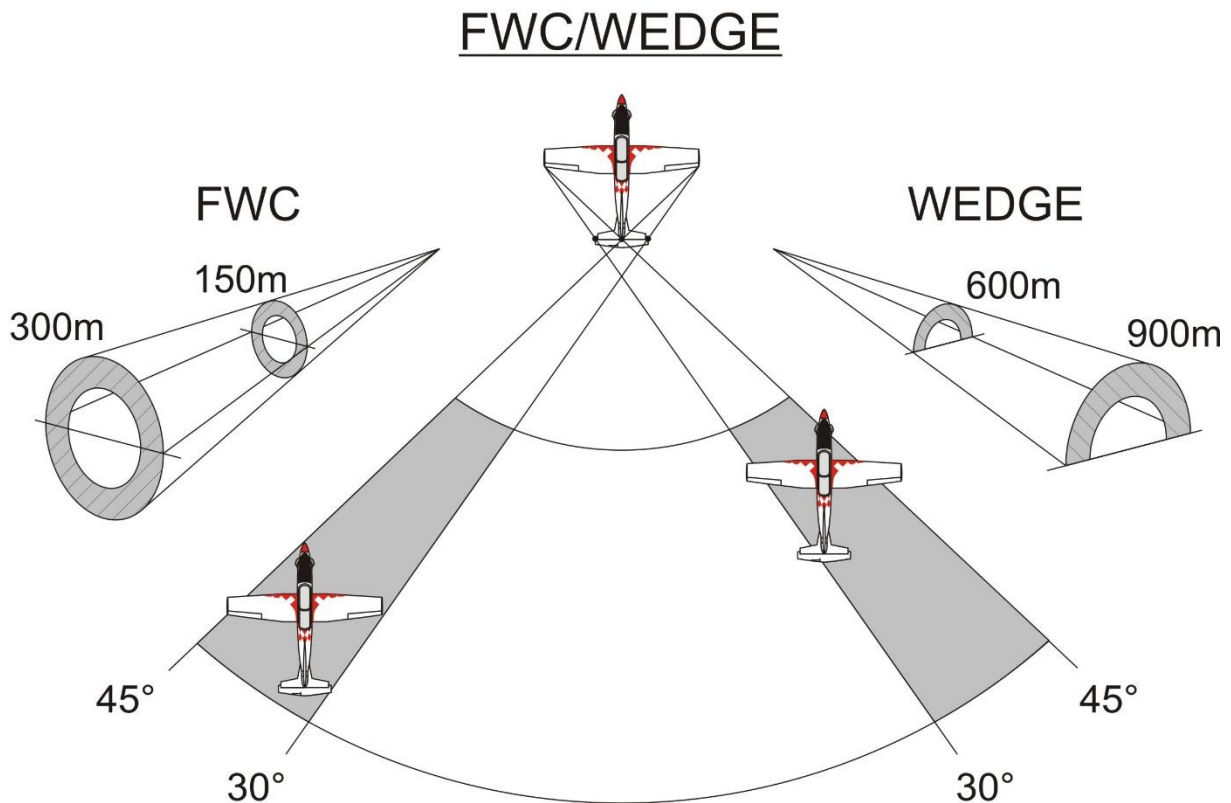
- detaljna priprema elemenata vježbi na zemlji
- psihofizička priprema učenika letaća i nastavnika letenja zbog velikih opterećenja tijekom izvođenja samih vježbi
- pridržavanje propisanih pravila ponašanja
- poznavanje i uvježbanost izvođenja propisanih procedura u slučaju izvanrednih događaja kao što su gubitak vizualnog kontakta, otkaz radio-veze, potpuni elektro-otkaz, itd.

Pri velikim opterećenjima piloti mogu iskusiti zamračenje ili „*blackout*“ pri čemu na kratko gube vid i vizualni kontakt s drugim avionom. Daljnjim povećanjem opterećenja u takvim slučajevima piloti mogu čak izgubiti svijest i zbog toga je bitno da budu upoznati sa svojim psihofizičkim mogućnostima te kako postupiti ako dođe do sličnih

situacija. Pri ulasku u zonu, prije samog početka izvođenja temeljnih manevara, rade se zaokreti za poboljšanje otpornosti na opterećenje (*g-warm up*).

### 3.3.2. Posebne instrukcije i pravila ponašanja

Postoje dvije procedure koje se primjenjuju u slučajevima kada je sigurnost letenja ugrožena. Jedna od njih je „*terminate*“ procedura koja se primjenjuje kada je cilj elementa postignut ili kada element nije odrađen prema zadanim parametrima. Kada se primjenjuje ova procedura bilo koja posada (Lovac ili Meta) javlja u radio-vezu „*terminate*“ i to je znak drugoj posadi da se manevar prekida. Nakon toga se prema instrukcijama vođe zauzima postroj za sljedeći manevar. Pri javljanju „*terminate*“ procedure vođa (Meta) prekida manevar, smanjuje nagib i prevodi u horizontalan let, a pratitelj (Lovac) se najkraćim putem postavlja iza vođe na udaljenosti od 150 do 300 metara, 30° do 45° u odnosu na suprotan vrh krila odnosno borbeni postroj (FWC – *Fighting Wing Cone*).



**Slika 7.** *Fighting Wing Cone* i *Wedge* postroji

Druga procedura naziva se „*Knock it off*“ procedura. Ova procedura se koristi ako dođe do ugrožavanja sigurnosti letenja, značajnog odstupanja parametara leta

koji mogu dovesti do ugrožavanja sigurnosti letenja, brzine ispod 120 kt, kršenja pravila ponašanja i posebnih instrukcija, izvanrednih događaja, ulaska nepoznatih zrakoplova u zonu, itd. Kada se odluči koristiti ova procedura bilo koja posada (Lovac ili Meta) javlja u radio-vezu „*knock it off*“. To je znak drugoj posadi da prekinu manevar i uspostave horizontalan let s unaprijed dogovorenim parametrima nakon čega se zauzima dogovoreni postroj ili se postupa po zapovjedi vođe. U slučaju da se radi o ozbiljnom ugrožavanju sigurnosti ili nekog izvanrednog događaja preporuka je da se prekine zadaća i ide na slijetanje na aerodrom polijetanja.

Instrukcije propisane za izvođenje obuke temeljnih manevara bliske zračne borbe su:

- minimalna visina 1000 ft iznad donje granice zone rada naziva se „*Soft Deck*“, probijanjem ove visine smatra se da nije ispunjen cilj manevra i da postoji vjerojatnost spuštanja ispod donje granice zone i ugrožavanja sigurnosti letenja te se u tom slučaju javlja „*terminate*“ procedura
- donja granica zone rada još se naziva „*Hard Deck*“ i spuštanje odnosno probijanje donje granice zone je strogo zabranjeno i ako dođe do toga javlja se „*Knock it off*“ procedura
- sigurnosni razmak između aviona iznosi 300 ft u svim smjerovima; manji razmak podrazumijeva iniciranje „*Knock it off*“ procedure
- minimalna brzina koja se smije koristiti tijekom ovog dijela obuke je 120 kt, a maksimalna 300 kt
- minimalna snaga propisana za korištenje tijekom ovog dijela obuke je 10 PSI za usporenje ili održavanje pozicije tijekom bliske zračne borbe
- dozvoljena je uporaba zračne kočnice, ali ne i izvlačenje stajnog trapa i zakrilaca
- tijekom napadačkog i obrambenog BFM-a vođa će imati ulogu Mete dok će pratitelj imati ulogu Lovca, dok će u neutralnom BFM-u vođa imati ulogu Mete odnosno avion s većim ograničenjima, dok će Lovac biti zrakoplov s manjim ograničenjima
- pratitelj je zadužen za dekonflikciju osim u slučaju neutralnog BFM-a kada su oba aviona zadužena za sigurno razdvajanje do trenutka kada jedan od njih ne dođe u poziciju napadačkog ili obrambenog BFM-a
- maksimalno dozvoljeno opterećenje vođe je 4g, a maksimalna snaga 55 PSI
- maksimalno dozvoljeno opterećenje pratitelja iznosi 6g, a maksimalna snaga MCP (*Maximum Continuous Power* - MCP)

- prilikom svakog gubitka vizualnog kontakta u radio vezu se javlja „*blind*“, a za ponovni vizualni kontakt „*visual*“; u slučaju da jedan od pilota javi „*blind*“, a druga posada ga vidi, pilot koji ima vizualni kontakt javlja „*visual, continue*“ ukoliko avion koji nema vizualni kontakt održava propisane parametre manevra i u skladu je s geometrijom manevra
- u slučaju da piloti ne mogu uspostaviti vizualni kontakt tijekom manevra ili jedan od aviona nastavi izvoditi manevar u krivoj ravnini, a druga posada to primijeti, potrebno je javiti „*terminate*“ u radio-vezu, a pilot koji ima vizualni kontakt daje instrukcije drugome za horizontalni let te rade zbor.

### 3.3.3. Zona rada

Letovi se izvršavaju u zoni LDTR 19 Dugi Otok za koju su donja i gornja granica propisane NOTAM-om, a procedure odlaska i povratka su:

- polijetanje u paru, penjati u pravcu do 1500 ft i tada napraviti zaokret direktno prema SAL te nastaviti penjati na visinu odlaska koja je propisana u planu leta
- javiti kontroli leta početak rada u zoni
- u zoni popeti na potrebnu visinu rada za izvođenje manevra
- javiti završetak rada u zoni i tražiti spuštanje na 1500 ft te najkraći povratak prema aerodromu
- u zoni spustiti na donju granicu zone, a nakon izlaska spuštati na 1500 ft
- najkraćim putem letjeti prema aerodromu polijetanja te po uputama kontrole napraviti prilaz za slijetanje u paru.

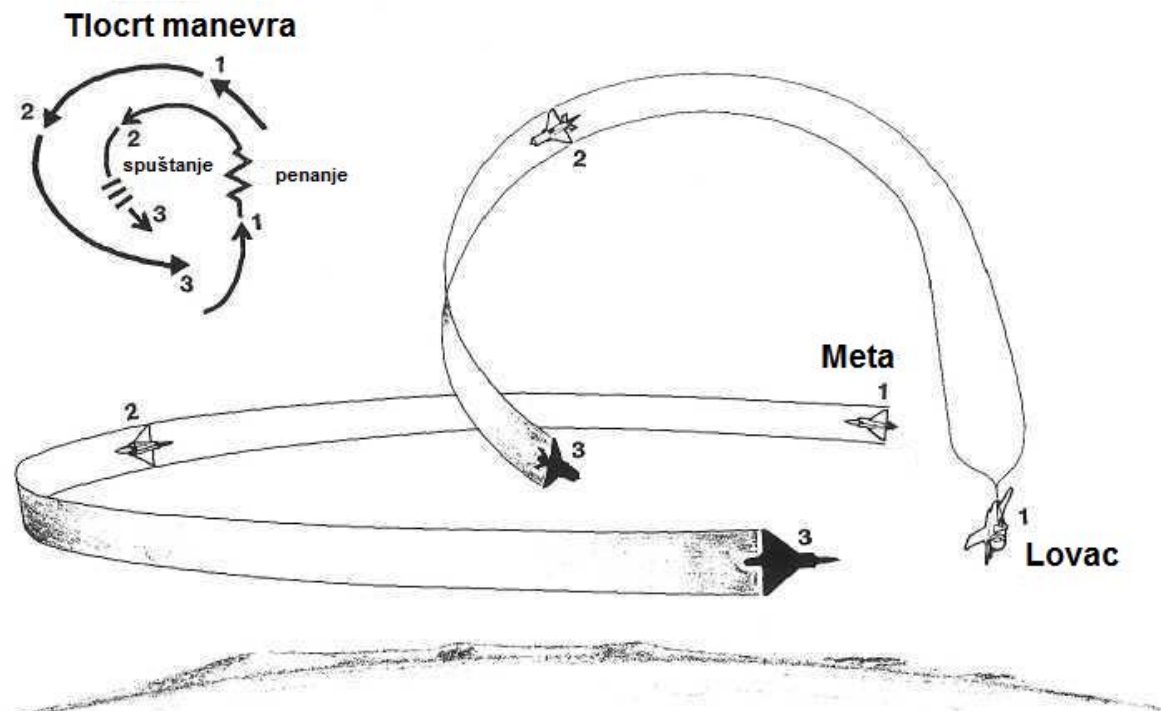
## 4. TEMELJNI MANEVRI BLISKE ZRAČNE BORBE

### 4.1. Visoki yo-yo

#### 4.1.1. Opis i svrha manevra

Ovaj manevar je manevar izvan ravnine Mete koji se koristi radi sprječavanja izlijetanja van putanje Mete kada Lovac ne može ostati unutar radijusa zaokreta Mete. Visoki yo-yo se koristi kada avion koji napada ima veću energiju od aviona kojeg napada te ostvaruje brzo prilaženje u situaciji kada održava čistu krivulju praćenja. U ovoj situaciji povećanje opterećenja koje rezultira smanjenjem radijusa zaokreta dovelo bi do gubitka vizualnog kontakta te završavanja u nepovoljnoj poziciji u odnosu na Metu. Također u slučaju da Lovac ima veću ukupnu energiju i brzinu u odnosu na avion koji napada te održava krivulju praćenja sa zaostajanjem, ali nema mogućnost povećanja opterećenja jer bi Lovac u tom slučaju završio van putanje Mete i tako omogućio Meti priliku za dovođenje u povoljnu poziciju u odnosu na Lovca. U slučaju da Lovac ima mogućnost povećanja opterećenja ono bi dovelo do gubitka ukupne energije koje je vrlo bitno za blisku zračnu borbu. Visoki yo-yo se izvodi kako bi u navedenim situacijama Lovac ostao u povoljnoj poziciji u odnosu na Metu. Iz navedenih situacija može se zaključiti da visokom yo-yo manevru prethodi velika brzina prilaženja uz nemogućnost kontroliranja aspektnog kuta i ostajanja unutar područja radijusa zaokreta bez gubitka ukupne energije [5].

Visoki yo-yo se izvodi tako da kada se Lovac nađe u nekoj od navedenih situacija, pilot će ispraviti nagib uz povećanje kuta penjanja. Nakon kuta slijedi postavljanje nagiba kako ne bi došlo do gubitka vizualnog kontakta. Tako se smanjuje brzina prilaženja Meti. U gornjoj točki manevra Lovac izvodi manevar „poluvaljak“ kako bi usmjerio vektor sile uzgona u željenu poziciju za praćenje Mete te izvodi spuštajući zaokret prema Meti. Nakon povratka u ravninu Mete, Lovac je i dalje u povoljnoj poziciji, ali s prednošću u količini energije s boljim kutnim odnosima. Nakon visokog yo-yo manevra Lovac ima mogućnost dovesti se u kontrolnu poziciju ili WEZ te kontrolirati daljnje manevriranje Mete. Na slici 7 prikazan je tlocrt i primjer izgleda manevra „visoki yo – yo“ [5].



Slika 8. Visoki yo-yo, [6]

#### 4.1.2. Geometrija manevra

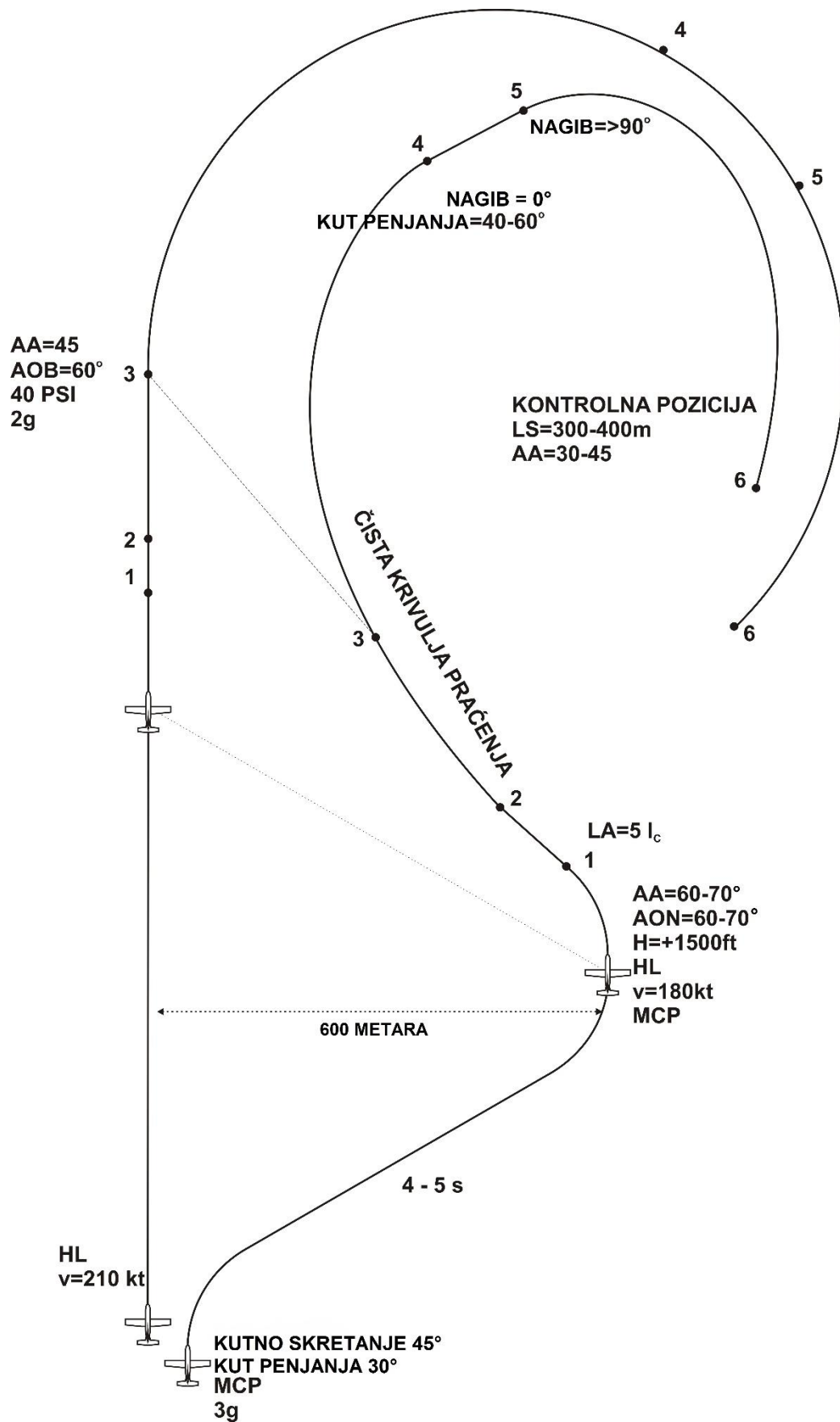
Prije izvođenja samog manevra potrebno je podesiti se kako bi se zadovoljile norme i uvjeti za izvođenje manevra. Podešavanje postroja vrši se iz primaknutog postroja tako da:

- Lovac skreće za  $45^\circ$  kutnog skretanja postavljajući kut penjanja  $30^\circ$
- Lovac istovremeno postavlja nagib i povećava kut penjanja uz postavljanje snage na MCP
- Meta održava brzinu 210 kt i horizontalan let te broji 4 do 5 sekundi od trenutka uvođenja Lovca u zaokret, a potom zapovijeda povratak u referentni pravac leta
- Lovac prevodi na 1500 ft veću visinu uz aspektni kut od  $60^\circ$  do  $70^\circ$  i AON od  $60^\circ$  do  $70^\circ$  uz konstantu snagu MCP.

Nakon postavljanja u poziciju za izvođenje manevra, Lovac i Meta moraju što prije uvesti u manevar kako bi zadovoljili geometriju i norme manevra prikazanog na slici 9. Norme za izvođenje manevra su sljedeće:

- $\Delta H = 1500$  ft – razlika u visinama Lovca i Mete
- LS = 600 metara – lateralna udaljenost između Lovca i Mete prije uvođenja u manevar

- $V_m = 210$  kt – brzina Mete
- $V_{L0} = 180$  kt – početna brzina Lovca
- $AA_N = 60 - 70^\circ$  - aspektni kut prije uvođenja u napad
- kut pretjecanja koji iznosi 5 prividnih dužina aviona
- $N_M = 2g$  – opterećenje koje Meta drži u zaokretu
- $AOT_M = 45^\circ$  - AOT u trenutku kada Meta uvodi u zaokret
- Lovac održava čistu krivulju praćenja
- $V_M = 240 - 250$  kt – brzina Lovca u donjoj točki manevra
- $R_Y = 200 - 300$  metara – udaljenost između aviona prije penjanja Lovca
- $AA_Y = 80^\circ - 90^\circ$  - aspektni kut početka penjanja Lovca
- $\alpha_Y = 40^\circ - 60^\circ$  - kut penjanja Lovca u manevru (ova vrijednost se ne uzima kao fiksna zbog nemogućnosti preciznog određivanja)
- $N_{MAX} = 6g$  – maksimalno opterećenje Lovca u manevru
- kontrolna pozicija: 300 – 400 metara odmaka od Mete uz aspektni kut od  $30^\circ$  do  $45^\circ$  i AON od  $30^\circ$  do  $45^\circ$ .



Slika 9. Geometrija i norme manevra visoki yo - yo



#### 4.1.3. Tehnika izvođenja manevra i raspored pažnje

Tehnika izvođenja manevra je zahtjevna i traži od učenika letača prepoznavanje geometrijskih odnosa kako bi uvjeti za precizno izvođenje bili zadovoljeni. Sama vježba započinje podešavanjem za izvođenje manevra tako što na znak vođe para Lovac postavlja nagib i skreće za  $45^\circ$  kutnog skretanja od početnog pravca leta i postavlja kut penjanja  $30^\circ$ , a Meta nastavlja održavati 210 kt i horizontalan let. Kako ne bi imao manju brzinu, Lovac postavlja snagu na MCP. Kada vođa procijeni da su na pravilnoj udaljenosti daje znak za povratak u početni pravac leta. U tom trenutku Lovac se nalazi na 1500 ft većoj visini i na udaljenosti od 600 metara od Mete. Aspektni kut i AON iznosi  $60^\circ - 70^\circ$ . Lovac nakon prevođenja na 1500 ft većoj visini ima brzinu 180 kt uz postavku snage motora na MCP. Kada vođa zapovijedi početak napada, Lovac odgovara da je primio poruku i kreće s uvođenjem u manevr.

Kada započne manevr, Meta nastavlja letjeti u pravcu održavajući brzinu 210 kt uz konstantno praćenje Lovca i međusobnih položaja. U trenutku kada Lovac postigne AOT od  $45^\circ$  Meta uvodi u oštri zaokret postavljajući nagib  $60^\circ$  uz opterećenje od 2g i snagu motora potrebnu za održavanje brzine 210 kt što je otprilike 40 do 42 PSI. Kroz zaokret Meta cijelo vrijeme gleda Lovca s ciljem postizanja AOT od  $80^\circ$  do  $90^\circ$ . Bitno je da učenik letač uoči AOT od  $80^\circ$  do  $90^\circ$  jer je u tom trenutku to ujedno i aspektni kut. Opterećenje koje Meta u tom trenutku ima održava do kraja manevra kako bi Lovac mogao pravilno izvesti manevr. Kada Lovac uspostavi kontrolnu poziciju i javi *Terminate* proceduru, Meta smanjuje nagib i čeka da se pratitelj zbori u primaknuti postroj nakon čega se zajedno podešavaju za sljedeći manevr.

Kada Lovac dobije zapovijed od vođe (Mete), nakon što su se podesili, za početak manevra, odgovara da je razumio zapovijed i vrši uvođenje u manevr tako da izvodi spuštajući zaokret prema Meti i postavlja snagu motora na MCP. Zauzima pretjecanje Mete 5 prividnih dužina aviona te smanjuje nagib i vadi iz zaokreta s kutom spuštanja  $25^\circ$ . Po potrebi podešava kut spuštanja kako bi što prije došao u razinu Mete. U trenutku kada se Lovcu Meta nađe u pravcu produljene uzdužne osi aviona, uvodi u zaokret održavajući čistu krivulju praćenja. Lovac nastavlja održavati čistu krivulju praćenja do trenutka kada postigne aspektni kut od  $45^\circ$ . U tom trenutku uvodi u zaokret postavljajući nagib koji je potreban za održavanje čiste krivulje praćenja i opterećenje 4g. To će uzrokovati naglo povećanje aspektnog odnosa i tempa prilaznja. Na udaljenosti od 200 do 300 metara od Mete, Lovac smanjuje nagib, vadi iz zaokreta i postavlja kut penjanja od  $40^\circ$  do  $60^\circ$  uz minimalno

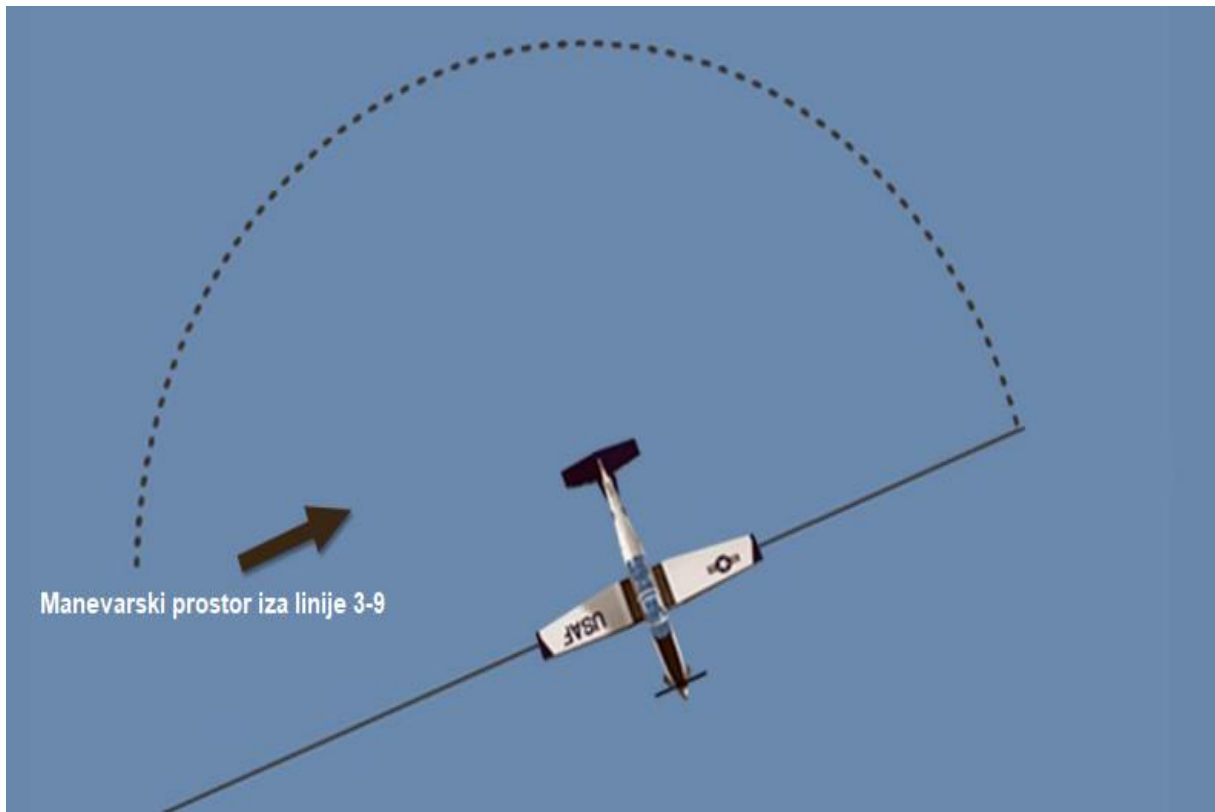
opterećenje 4g. To je nužno kako ne bi došlo do ugrožavanja sigurnosti i eventualnog sudara u zraku. Kako penje, Lovac postavlja nagib prema Meti kako bi održao konstantan vizualni kontakt s Metom. Penjanjem Lovac gubi višak energije koji ima i stvara si uvjete za dovođenje u kontrolnu poziciju. Prateći Metu i odnos položaja, čeka trenutak u kojem će imati AON od 90°. U tom trenutku postavlja nagib postavljajući vektor sile uzgona prema Meti. Tako će kroz spuštajući zaokret postići čistu krivulju praćenja kada se ponovno nađe u ravnini Mete. Lovac podešava nagib i opterećenje kako bi se doveo u kontrolnu poziciju u kojoj je cilj ostati najmanje 5 sekundi nakon čega javlja *Terminate* proceduru.

## 4.2. Niski yo-yo

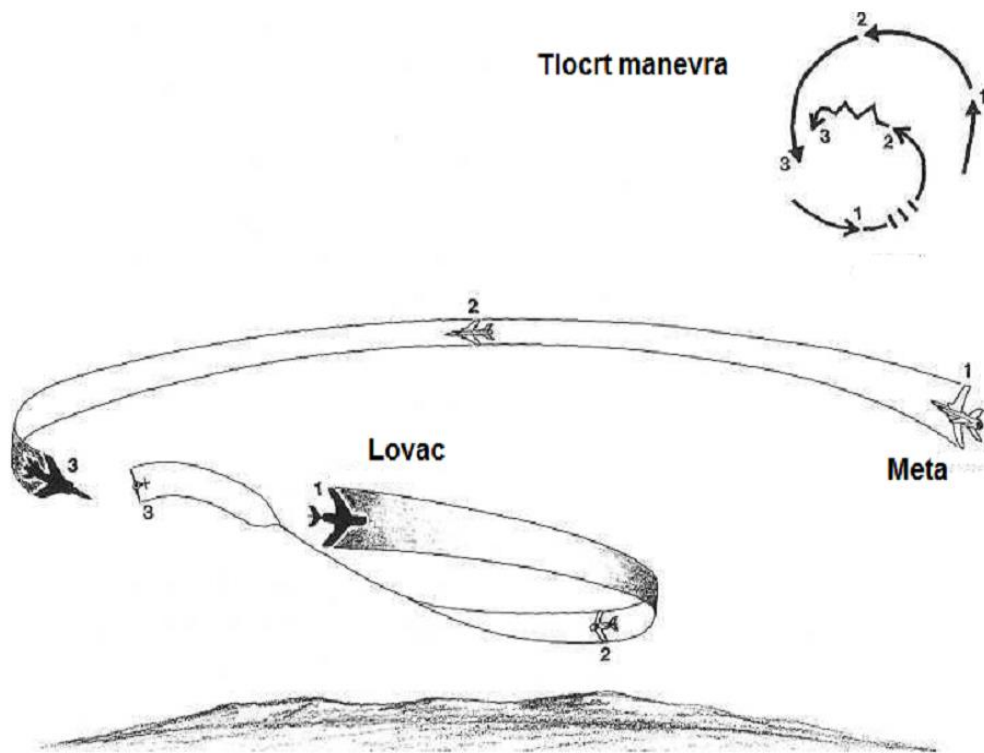
### 4.2.1. Opis i svrha manevra

Niski yo – yo prikazan na slici 11 je zapravo krivulja praćenja s pretjecanjem izvan ravnine leta Mete s ciljem povećanja brzine kutnog skretanja i smanjenja udaljenosti od Mete. Niski yo – yo se koristi kada se Lovac nalazi iza 3 – 9 linije, prikazane na slici 10 pri čemu ima manji aspektni kut i nalazi se u čistoj krivulji praćenja ili krivulji praćenja sa zaostajanjem. 3 – 9 linija je zamišljena produljena linija poprečne osi zrakoplova, usporedna s krilima i okomita na trup zrakoplova. Brojevi 3 i 9 odnose se na pozicije na satu. Cilj Lovca je dovesti se u WEZ, ali nema dovoljno energije za postavljanje krivulje praćenja s pretjecanjem. Niski yo – yo se također koristi u situacijama kada je udaljenost između Lovca i Mete prevelika, a Lovac nema mogućnost povećanja brzine i smanjenja udaljenosti. Lovac će izvoditi niski yo – yo tako što će prevesti avion u spuštanje pri čemu će doći do povećanja brzine i tako će postići bolje kutno skretanje i postavljanje krivulje praćenja s pretjecanjem uz istovremeno smanjenje udaljenosti i zaostajanja za Metom. Kada Lovac postigne kontrolnu poziciju, brzinu koju je dobio će iskoristiti za povratak u ravninu leta Mete tako što će prevesti u penjanje uz zadržavanje krivulje praćenja s pretjecanjem koju je prethodno postavio [5].

Niski yo – yo ima i svoju negativnu stranu, a to je da će primjena ovog manevra dovesti do povećanja aspektnog odnosa i Lovac će se naći u poziciji gdje će prilaženje Meti biti preveliko što Meta može iskoristiti za izvođenje manevra kojim će se dovesti u uvjete neutralnog BFM-a. Ako Lovac postavi preveliki kut spuštanja Meta ima mogućnost izvesti prevrtanje prema Lovcu te uz pomoć gravitacije promijeniti tijek zračne borbe [5].



Slika 10. Prikaz 3 - 9 linije, [5]



Slika 11. Niski yo-yo, [6]

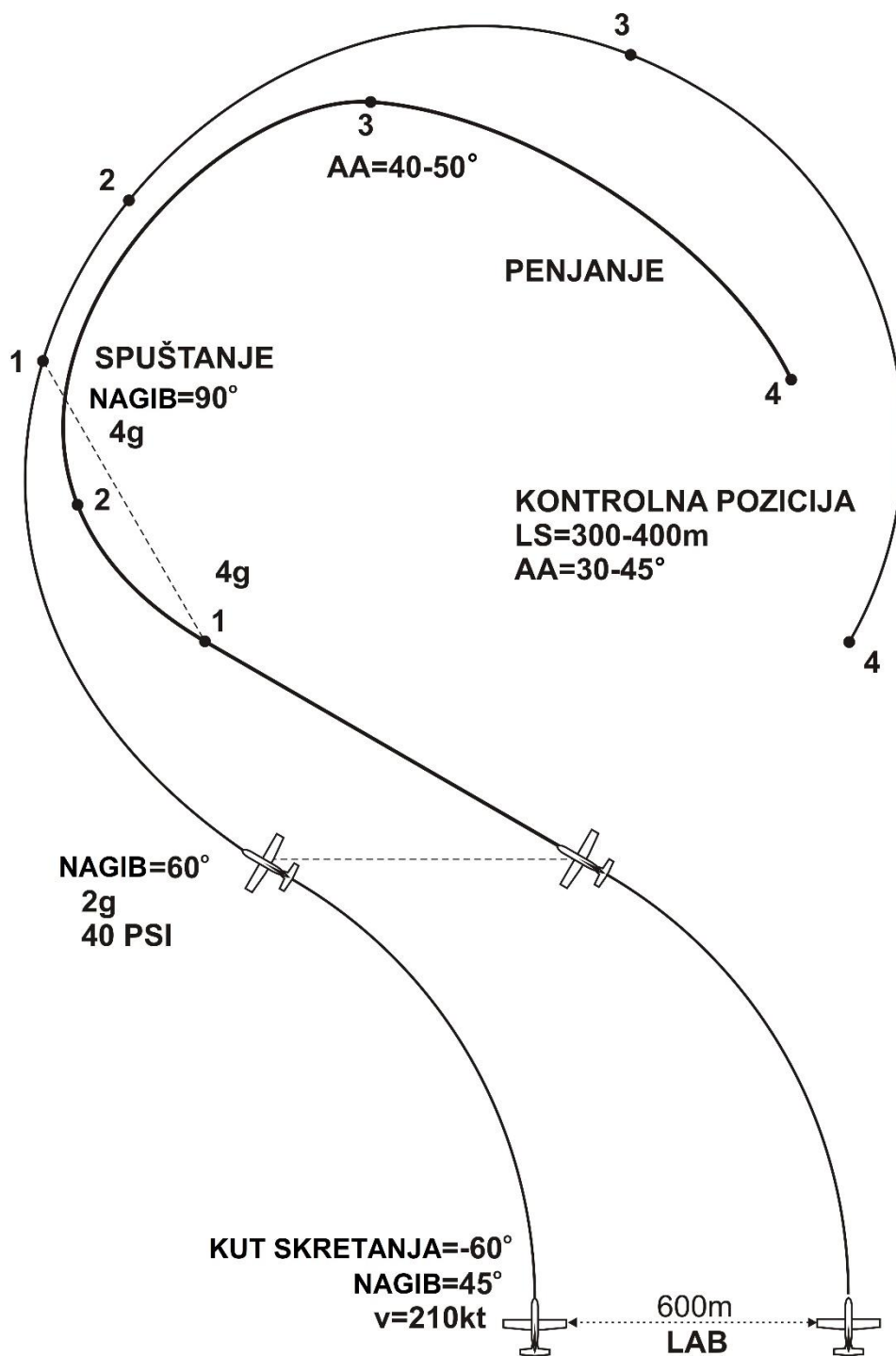
#### 4.2.2. Geometrija manevra

Prije izvođenja samog manevra potrebno je podesiti se kako bi se zadovoljile norme i uvjeti za izvođenje manevra prikazanog na slici 12. Podešavanje za manevar vrši se iz primaknutog postroja tako da:

- vođa zapovijeda zauzimanje taktičke formacije s razmakom od 600 do 900 metara
- nakon uspostavljanja taktičke formacije vođa zapovijeda istovremeni zaokret za  $60^\circ$  kutnog skretanja, nakon vađenja iz zaokreta Lovac bi trebao imati AON i aspektni kut od  $30^\circ$  u odnosu na Metu na udaljenosti od 600 do 900 metara.

Norme za izvođenje manevra su:

- $AA_P = 30^\circ$  - početni aspektni kut Lovca i Mete
- $AON_P = 30^\circ$  - početni AON Lovca
- $V_M = 210$  kt – brzina Mete
- $n_M = 2g$  – opterećenje Mete u zaokretu (nagib  $60^\circ$ )
- $P_M = 40 - 42$  PSI – snaga potrebna za održavanje oštrog zaokreta
- $P_L = MCP$  – snaga koju Lovac održava tijekom manevra
- $AA_U = 70^\circ$  - aspektni kut pod kojim Lovac vidi Metu u trenutku uvođenja u zaokret
- $n_{MAX} = 4g$  – najveće dopušteno opterećenje Lovca tijekom manevra
- $V_{MAX} = 300$ kt – najveća dopuštena brzina Lovca tijekom manevra.



Slika 12. Geometrija i norme manevra niski yo - yo

#### 4.2.3. Tehnika izvođenja manevra i raspored pažnje

Tehnika kojom će Meta izvesti manevar sastoji se od podešavanja postroja i održavanja normi. Kao što je već rečeno, zauzimanje postroja za izvođenje manevra vrši se iz primaknutog postroja na zapovijed vođe. Meta i Lovac istovremeno skreću jedan od drugog za  $30^\circ$  kutnog skretanja postavljajući nagib od  $45^\circ$ . Na zapovijed

vođe, Lovac i Meta se istovremeno vraćaju u početni pravac leta nakon čega bi trebali biti na razmaku od 600 do 900 metara. Nakon toga izvode istovremeni zaokret u bilo koju stranu za  $60^\circ$  kutnog skretanja s nagibom od  $45^\circ$ . Nakon vađenja Lovac bi trebao imati aspektni kut od  $30^\circ$  ako je sve izvedeno pravilno.

Nakon podešavanja postroja za izvođenje manevra, vođa (Meta) zapovijeda početak manevra i čeka odgovor pratitelja (Lovca). Nakon što Lovac potvrdi da je razumio zapovijed za početak manevra Meta istovremeno povećava snagu i postavlja nagib te uvodi u oštri zaokret uz konstantno praćenje Lovca. Kako bi se vježba smatrala uspješnom, Lovac treba doći u kontrolnu poziciju unutar  $270^\circ$  kutnog skretanja Mete.

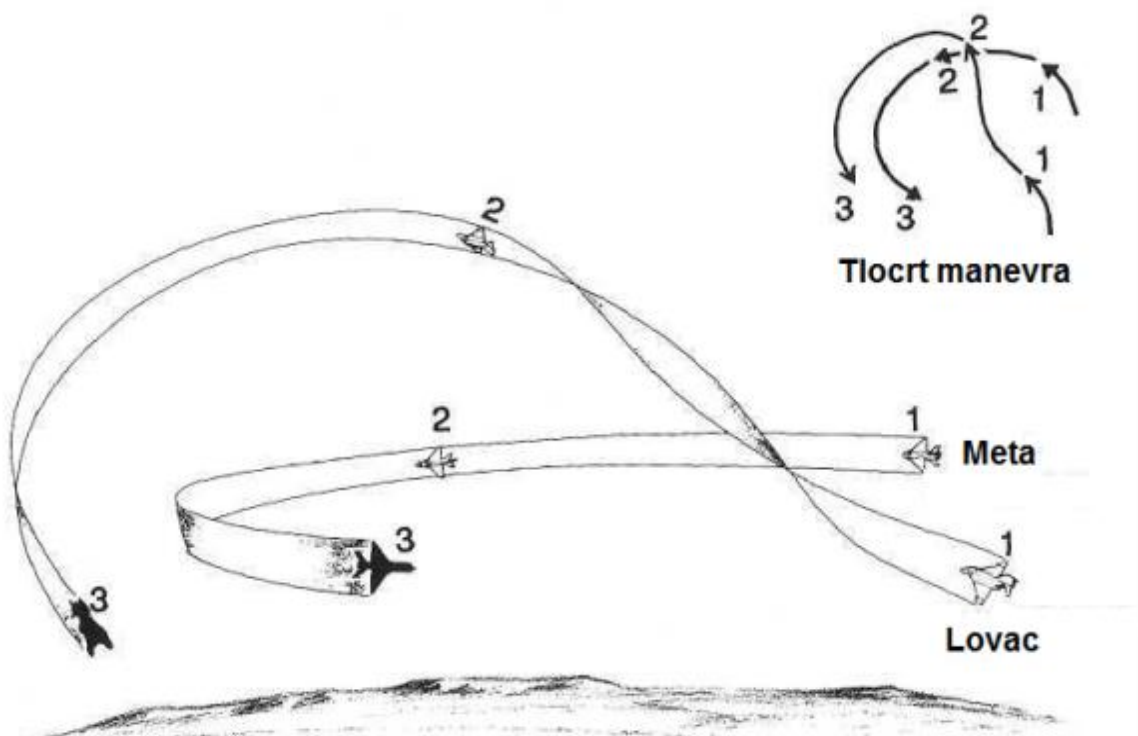
Nakon što vođa zapovijedi početak manevra i pratitelj (Lovac) odgovori da je spreman i da je razumio zapovijed, Meta uvodi u zaokret, a Lovac povećava snagu motora na MCP i broji 4 sekunde. Ovaj interval od 4 sekunde je nužan jer bi u suprotnom, istovremenim uvođenjem u zaokret Lovac nakon vađenja završio ispred Mete s velikim aspektnim kutom. Nakon isteka 4 sekunde Lovac se nalazi unutar TC-a Mete uz aspektni kut od  $70^\circ$  i AON od  $10^\circ$  do  $20^\circ$  u krivulji praćenja sa zaostajanjem te na velikoj udaljenosti od Mete. Lovac zatim uvodi u horizontalan zaokret s opterećenjem do 4g i održava takav zaokret sljedećih  $30^\circ$  kutnog skretanja. Nakon  $30^\circ$  kutnog skretanja povećava nagib do  $90^\circ$ , prevodi u spuštanje uz najveće dopušteno opterećenje od 4g. Uz pomoć gravitacije nos aviona se spušta ispod linije horizonta i dolazi do povećanja brzine i kutnog skretanja i tako Lovac podešava krivulju praćenja s pretjecanjem. Lovac postavlja AON od  $45^\circ$  pri čemu se aspektni kut počinje povećavati. Nakon postavljanja željenog pretjecanja, Lovac smanjuje nagib i tako zaustavlja povećanje kuta spuštanja uz održavanje opterećenja do 4g. Pilot cijelo vrijeme provjerava brzinu koja ne bi smjela biti veća od 300 kt. Po dolasku na udaljenost od 250 do 300 metara uz aspektni kut od  $40^\circ$  do  $50^\circ$  Lovac smanjuje nagib i penjanjem se vraća u ravninu leta Mete. Lovac podešava nagib s ciljem dolaska u kontrolnu poziciju u kojoj se želi zadržati najmanje 5 sekundi nakon čega Lovac javlja „*Terminate*“. Nakon završetka manevra pratitelj prilazi vođi u primaknuti postroj i podešavaju se za sljedeći manevar.

### **4.3. Bačvasti valjak sa zaostajanjem**

#### **4.3.1. Opis i svrha manevra**

Postoje različite vrste manevra bačvastog valjka sa zaostajanjem. U ovom poglavlju će biti ukratko opisan svaki od njih. U obuci učenika letača koristi se

kombinacija tih manevara. Manevar bačvastog valjka sa zaostajanjem koristi se za sprječavanje prolaska ispred Mete kada se primjenjuje krivulja praćenja s pretjecanjem u uvjetima gdje lovac ima višak energije uz relativno mali aspektni kut. Ovaj manevar sastoji se od dva dijela, propinjanja i kontinuiranog manevara bure valjka (eng. *Barrel roll*) koji osigurava stalni vizualni kontakt s Metom pri čemu Lovac istovremeno čuvajući energiju smanjuje brzinu prilaženja. Primjenom ovog manevara Lovac osigurava praćenje Mete i dovođenje u kontrolnu poziciju. U točki 1 na slici 13 koja prikazuje bačvasti valjak sa zaostajanjem (eng. *Lag - pursuit roll*) Lovac primjenjuje krivulju praćenja s pretjecanjem na maloj udaljenosti od Mete s velikom brzinom prilaženja. Kako ne bi došlo do prolaska Lovca ispred Mete, Lovac smanjuje nagib, vadi iz zaokreta te uvodi u vertikalni manevar. Povećanjem visine brzina zrakoplova se smanjuje kao i brzina prilaženja. U određenom trenutku Lovac počinje izvoditi manevar valjka kojim osigurava stalan vizualni kontakt s Metom i također mu osigurava prolazak iznad i iza Mete u trenutku križanja s putanjom Mete koji je na slici 13 označen kao točka 2. Nakon točke 2, Lovac uz pomoć gravitacije izvodi spuštajući zaokret uz bolje kutno skretanje i dovodi se u uvjete za primjenu krivulje praćenja sa zaostajanjem [5].



**Slika 13..** Bačvasti valjak sa zaostajanjem, [6]

Druga vrsta bačvastog valjka sa zaostajanjem naziva se *Displacement roll* i sličan je prvom opisanom manevaru. Razlika ovih dvaju manevara je u tome da se *Displacement roll* manevar koristi na manjim udaljenostima pri čemu Lovac ima

sporiju brzinu prilaženja. Ovaj manevar se koristi s ciljem smanjenja AON i aspektnog kuta. Ono što Lovac želi postići ovim manevarom je prebacivanje svoje putanje s unutarnje strane zaokreta Mete na vanjsku stranu zaokreta. Ovim manevarom se povećava udaljenost od Mete bez promjene brzine [4].

Treća vrsta manevara naziva se „*Barrel – roll*“ napad. Ova vrsta manevara koristi se pri prelasku iz napada s pretjecanjem u stražnju sferu protivnika. Do ove situacije može doći u slučaju da Meta poveća iznos kutnog skretanja u zaokretu prema Lovcu. „*Barrel – roll*“ započinje isto kao i „*Lag - pursuit roll*“ tako da Lovac smanjuje nagib, vadi iz zaokreta i uvodi u vertikalni manevar te izvodi manevar valjka prema Meti. U ovom manevaru Lovac ostvaruje veću visinu i tempo propinjanja i izvođenja manevara valjka će ovisiti o letu Mete kako bi Lovac u trenutku križanja putanja bio točno iznad Mete u leđnom letu. Nakon vertikalnog manevara, Lovac uz pomoć gravitacije ostvaruje dovoljno kutno skretanje za postizanje i održavanje krivulje praćenja s pretjecanjem. Postavljanje krivulje praćenja sa zaostajanjem se ne preporučuje u ovom manevaru zbog većeg rakursa u trenutku križanja putanja i Lovac bi trebao usmjeriti vektor sile uzgona ispred Mete i izvršiti obrušavanje kako bi zadržao ili smanjio udaljenost između dva zrakoplova [5].

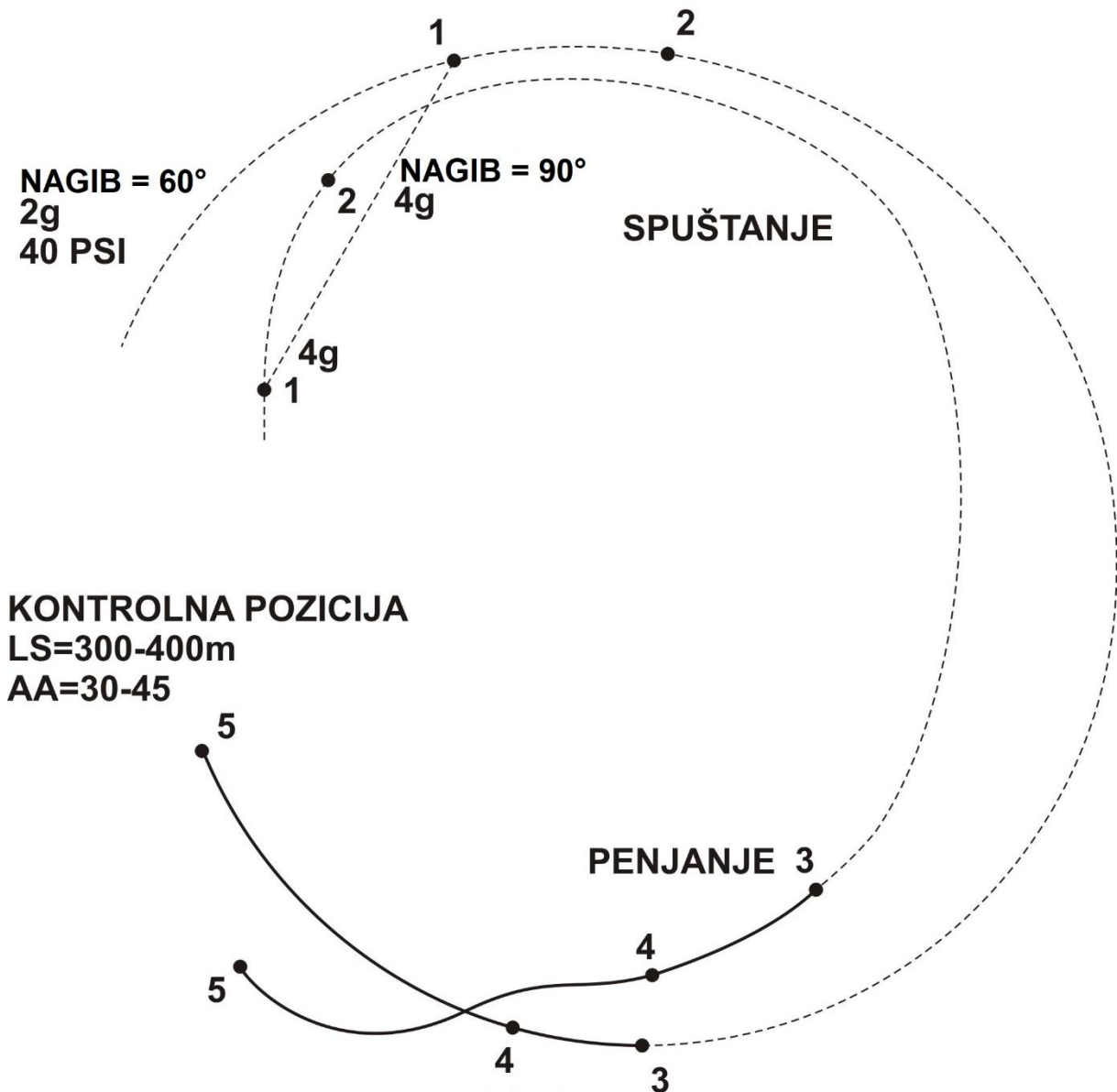
#### **4.3.2. Geometrija manevara**

Početna pozicija manevara bačvastog valjka sa zaostajanjem osigurava se izvođenjem manevara niski yo – yo koji je opisan u poglavlju 4.2.3. Norme za izvođenje manevara bačvastog valjka sa zaostajanjem prikazanog na slici 14 su:

- $LS = 600 - 900$  metara – lateralna udaljenost Lovca i Mete
- $V_M = 210$  kt – brzina Mete
- $V_{L0} = 210$  kt – početna brzina Lovca
- $P_L = MCP$  – postavka snage Lovca
- $N_M = 2g$  – opterećenje koje Meta inicijalno održava tijekom zaokreta
- $P_M = 40$  PSI – postavka snage Mete
- $AOT_M = 30^\circ$  - AOT Mete
- $V_M = 240 - 250$  kt – brzina Lovca u donjoj točki manevara
- $AA_R = 70^\circ - 80^\circ$  - aspektni kut za početak uvođenja u bačvasti valjak



- $N_{MAX} = 6g$  – najveće dozvoljeno opterećenje Lovca.



**Slika 14.** Geometrija i norme manevra bačvastog valjka sa zaostajanjem

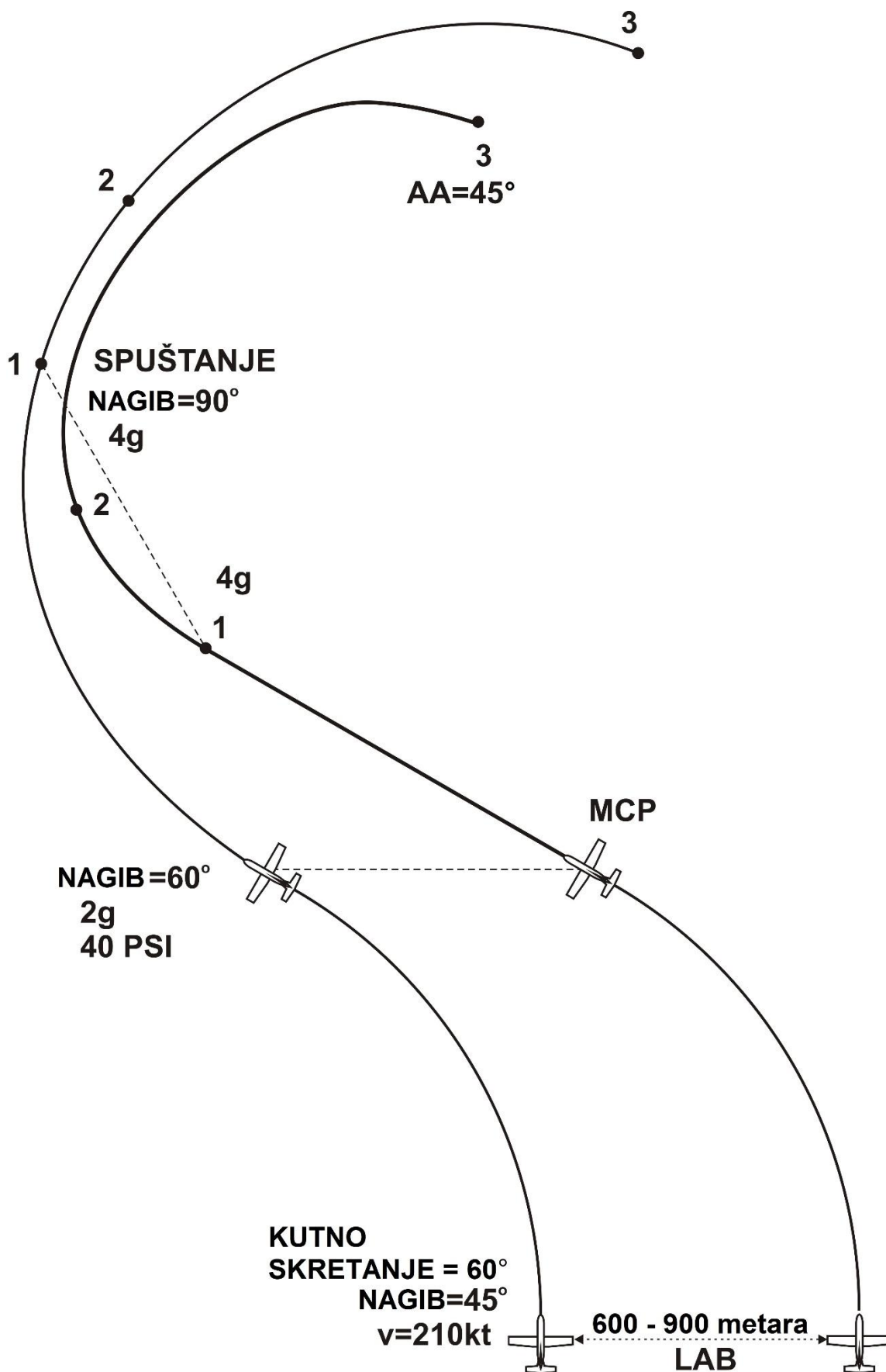
#### 4.3.3. Tehnika izvođenja manevra i raspored pažnje

U ovom manevru Meta je ujedno i vođa para te zapovijeda Lovcu. Podešavanje za izvođenje bačvastog valjka sa zaostajanjem vrši izvođenjem niskog yo – yo manevra kako je prikazano na slici 15. Meta održava horizontalan let s brzinom 210 kt i zapovijeda Lovcu koji leti u primaknutom postroju podešavanje za manevar. Na

zapovijed vođe, Meta i Lovac istovremeno postavljaju nagib  $45^\circ$  i skreću jedan od drugog za  $45^\circ$  kutnog skretanja. Na zapovijed vođe „*back to reference*“, istovremeno postavljaju nagib do  $45^\circ$  u suprotnu stranu i usmjeravaju nos u početni pravac leta. Nakon toga, ponovno na znak vođe izvode istovremeni zaokret za  $60^\circ$  kutnog skretanja. Meta i Lovac skreću u istu stranu.

Nakon podešavanja postroja za izvođenje manevra, vođa (Meta) zapovijeda početak manevra i čeka odgovor pratitelja (Lovca). Nakon što Lovac potvrdi da je razumio zapovijed za početak manevra Meta istovremeno povećava snagu i postavlja nagib te uvodi u oštri zaokret uz konstantno praćenje Lovca. Lovac povećava snagu motora na MCP i broji 4 sekunde. Nakon isteka 4 sekunde Lovac se nalazi unutar TC-a Mete uz aspektni kut od  $70^\circ$  i AON od  $10^\circ$  do  $20^\circ$  u krivulji praćenja sa zaostajanjem te na velikoj udaljenosti od Mete. Lovac zatim uvodi u horizontalan zaokret s opterećenjem do 4g i održava takav zaokret sljedećih  $30^\circ$  kutnog skretanja. Nakon  $30^\circ$  kutnog skretanja povećava nagib do  $90^\circ$ , prevodi u spuštanje uz najveće dopušteno opterećenje od 4g. Uz pomoć gravitacije nos aviona se spušta ispod linije horizonta i dolazi do povećanja brzine i kutnog skretanja i tako Lovac podešava krivulju praćenja s pretjecanjem. Lovac postavlja AON od  $45^\circ$  pri čemu se aspektni kut počinje povećavati. Nakon postavljanja željenog pretjecanja, Lovac smanjuje nagib i tako zaustavlja povećanje kuta spuštanja uz održavanje opterećenja do 4g. Pilot cijelo vrijeme provjerava brzinu koja ne bi smjela biti veća od 300 kt. Po dolasku na udaljenost od 250 do 300 metara uz aspektni kut od  $40^\circ$  do  $50^\circ$  Lovac smanjuje nagib i penjanjem se vraća u ravninu leta Mete.

Kada Lovac postigne aspektni kut od  $70^\circ$  do  $80^\circ$  na udaljenosti od 150 do 200 metara povećava opterećenje i prevodi u penjanje s nagibom sve dok ne prođe visinu Mete. Na visini Mete počinje s izvođenjem manevra bačvastog valjka prema Meti. Brzina rotacije i opterećenje kroz manevar ovise o brzini i nagibu Mete. U gornjoj točki manevra Lovac prolazi iznad Mete i na vanjsku stranu nakon čega postavlja vektor sile uzgona prema Meti kako ne bi došlo do povećanja udaljenosti te se vraća u ravninu Mete. Kroz spuštajući zaokret nagib i opterećenje variraju zbog toga što je cilj Lovca dovesti se u kontrolnu poziciju. Nakon dovođenja u kontrolnu poziciju Lovac provodi *Terminate* proceduru. Nakon što Lovac javi „*Terminate*“ oba zrakoplova smanjuju nagib. Pratitelj se primiče vođi u primaknuti postroj i zajedno se podešavaju za izvođenje sljedećeg manevra.



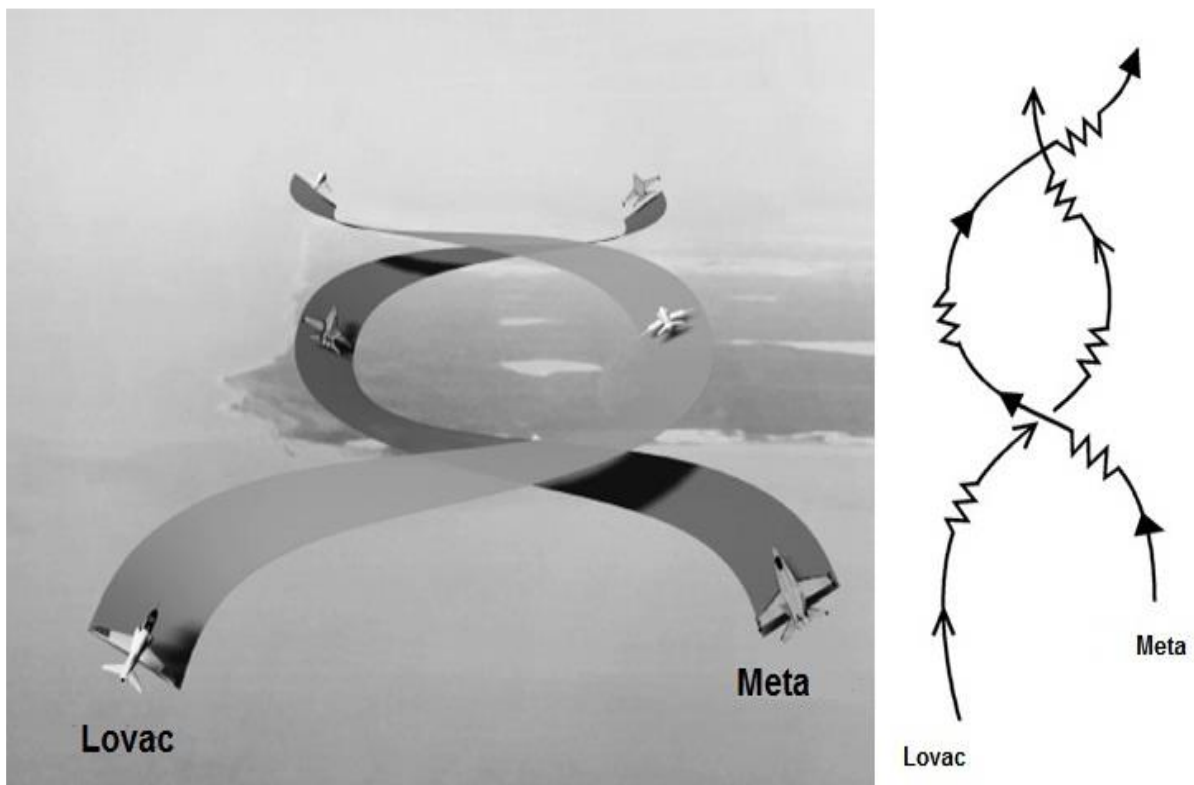
Slika 15. Podešavanje za manevar bačvastog valjka sa zaostajanjem

## 4.4. Škare u horizontalnoj ravnini

### 4.4.1. Opis i svrha manevra

Manevar škara u horizontalnoj ravnini prikazanog na slici 16 predstavlja niz zaokreta Lovca i Mete jedan prema drugome s ciljem postizanja prednosti prisiljavanjem protivnika na prolazak ispred putanje leta. Specifičnosti ovog manevra su smanjenje brzine te pravilna procjena trenutka prelaska na drugu stranu zaokreta i tempo izvođenja istog. Manevar se sastoji od tri dijela, prvi je zaokret prema protivniku ili borba unutar jednog kruga, drugi je promjena smjera zaokreta i treći je manevar ili zaokret s pretjecanjem [5].

U dijelu zaokreta prema protivniku cilj je usmjeriti produženu uzdužnu os zrakoplova prema protivniku. Zrakoplov koji ima manju brzinu i radijus zaokreta će imati prednost u većini slučajeva. Kako bi stekao prednost nad protivnikom pilot bi trebao usporiti što je prije moguće. Drugi dio započinje kada jedan od pilota stekne prednost i mora promijeniti smjer zaokreta na vrijeme kako bi imao uvjete za zaokret s pretjecanjem. Zadnji dio, odnosno zaokret s pretjecanjem započinje kada Lovac izvrši promjenu smjera zaokreta, a završava kad Meta slijedi napadača i mijenja smjer zaokreta [5].



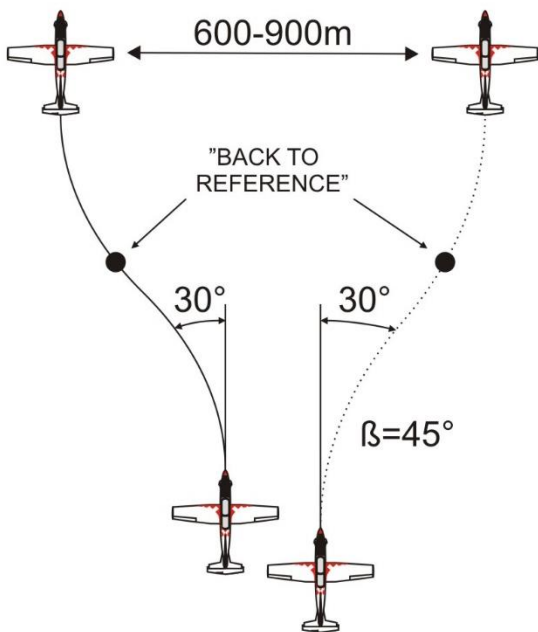
Slika 16. Škare u horizontalnoj ravnini, [6]

#### 4.4.2. Geometrija i norme manevara

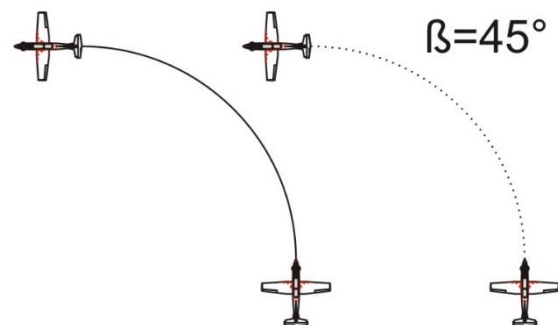
U manevar škara u horizontalnoj ravnini kreće se iz taktičke formacije (eng. *Line Abreast – LAB*) prikazane na slici 18 uz mogućnost smanjenja razmaka na 300 do 400 metara. Za taktičku formaciju piloti se podešavaju iz primaknutog postroja dok se iz kontrolne pozicije formacija podešava izvođenjem istovremenog zaokreta za  $90^\circ$  kutnog skretanja s poprečnim nagibom  $45^\circ$  i brzinom 210 kt prikazanog na slici 17. Udaljenost između zrakoplova ne smije biti manja od 300 metara. Norme za izvođenje manevara škara u horizontalnoj ravnini su:

- $V_{MIN} = 120$  kt – najmanja dozvoljena brzina Mete
- $N_{Mmax} = 4g$  – najveće dopušteno opterećenje Mete
- $P_{Mmin} = 20$  PSI – najmanja dopuštena snaga motora Mete
- $N_{Lmax} = 6g$  – najveće dopušteno opterećenje Lovca
- $P_{Lmin} = 10$  PSI – najmanja dopuštena snaga motora Lovca
- $V_S = 300$  ft – horizontalna udaljenost između Lovca i Mete tijekom manevara.

Tijekom izvođenja manevara Lovac je zadužen za dekonflikciju i održavanje sigurne udaljenosti u odnosu na Metu osim u slučaju da se Meta dovede u uvjete napadačkog BFM-a, tada je Meta zadužena za dekonflikciju i održavanje sigurne udaljenosti.



Slika 18. Taktička formacija - LAB



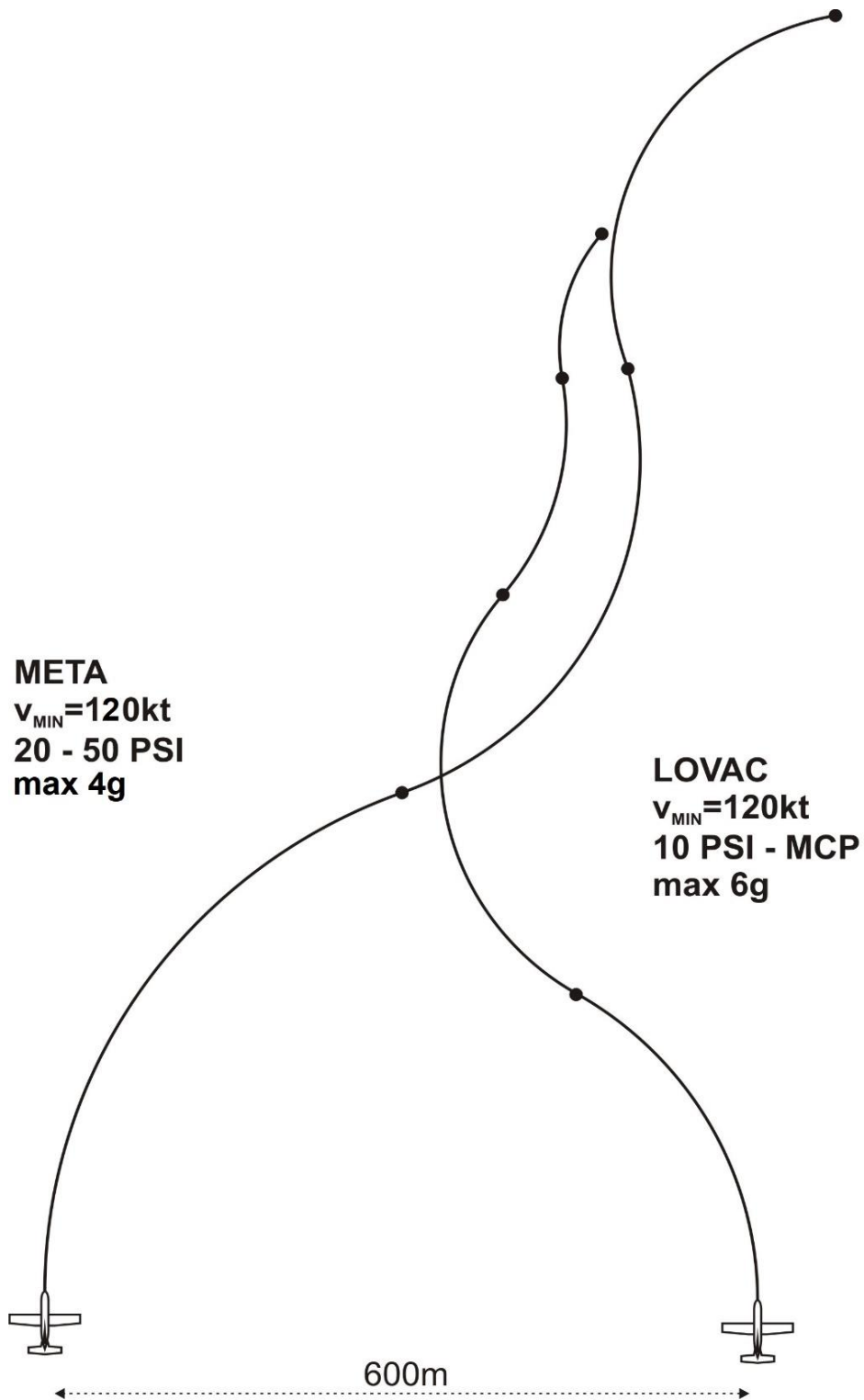
Slika 17. Istovremeni zaokret za  $90^\circ$

#### 4.4.3. Tehnika izvođenja manevra i raspored pažnje

Sam manevar škara u horizontalnoj ravnini prikazan na slici 19 započinje kada vođa (Meta) zapovijedi početak manevra kao i u svim prethodnim manevrima. Oba zrakoplova prije uvođenja u manevar nalaze se u taktičkoj formaciji i imaju brzinu 210 kt. Nakon početka manevra smiju mijenjati postavku snage motora kako bi smanjili brzinu i stekli prednost nad drugim zrakoplovom. Nakon izdavanja zapovijedi i početka manevra, Meta uvodi u zaokret prema Lovcu s najvećim dopuštenim opterećenjem od 4g, a vadi iz zaokreta kada usmjeri nos aviona prema Lovcu. Kako prilazi Lovcu, Meta održava stalan vizualni kontakt s Lovcem i čeka da Lovac izvede zaokret s pretjecanjem nakon čega uvodi u zaokret prema Lovcu kako bi uvela u borbu unutar jednog kruga. Pilot procjenjuje međusobne odnose s ciljem pravovremene promjene strane zaokreta i dovođenja u uvjete napadačkog BFM-a i povoljne pozicije u odnosu na drugi zrakoplov. Kada pilot procjeni trenutak promjene strane zaokreta, uvodi u zaokret na suprotnu stranu kako bi ostvario prednost u kutnom skretanju tijekom križanja putanja zrakoplova. Križanjem putanja zrakoplova zatvoren je jedan krug u zraku. Nakon promjene strane zaokreta Meta pogledava Lovca s unutarnje strane zaokreta održavajući horizontalni zaokret s opterećenjem 4g. Glavni cilj Mete u ovoj vježbi je dovesti se iz uvjeta obrambenog BFM-a u uvjete napadačkog BFM-a pravovremenim zaokretima. Zbog toga je u ovoj vježbi bitna što preciznija procjena trenutka promjene strane zaokreta.

Lovac započinje manevar uvođenjem u zaokret prema Meti uz najveće dopušteno opterećenje od 6g. Nakon vađenja iz zaokreta Lovcu je dopušteno smanjiti postavku snage na najmanje 10 PSI kako bi smanjio brzinu i stekao prednost u odnosu na drugi zrakoplov. Kao što je navedeno, Lovac je zadužen za dekonflikciju i nakon vađenja iz zaokreta posebnu pozornost treba obratiti na brzinu prilaženja i samoj udaljenosti od Mete. Na otprilike 100 metara udaljenosti i prije postizanja aspektnog kuta od 180° Lovac kreće u zaokret s pretjecanjem. Udaljenost od 100 metara je promjenjiva i ovisi o brzini prilaženja i aspektnom kutu. U prvi zaokret Lovac uvodi u suprotnu stranu od početnog uvođenja u manevar te očekuje zaokret Mete u unutarnju stranu vlastitog zaokreta. Kao i Meta, održava vizualni kontakt, procjenjuje pravovremeni trenutak promjene strane zaokreta održavajući horizontalni zaokret s opterećenjem od 6g. Bitno je da Lovac što preciznije odredi trenutak promjene strane zaokreta kako ne bi uveo prekasno ili prerano i tako izgubio manevarski prostor i prednost nad drugim zrakoplovom ili se našao u prednjoj sferi Mete. Sam manevar završava kada se jedan od zrakoplova nađe u kontrolnoj poziciji. Zbog specifičnosti manevra, nije moguće odrediti precizne udaljenosti i trenutke promjene strane

zaokreta već to ovisi isključivo o procjeni pilota, no u ovome radu će biti izmjerene optimalne udaljenosti zrakoplova u trenutku promjene strane zaokreta.

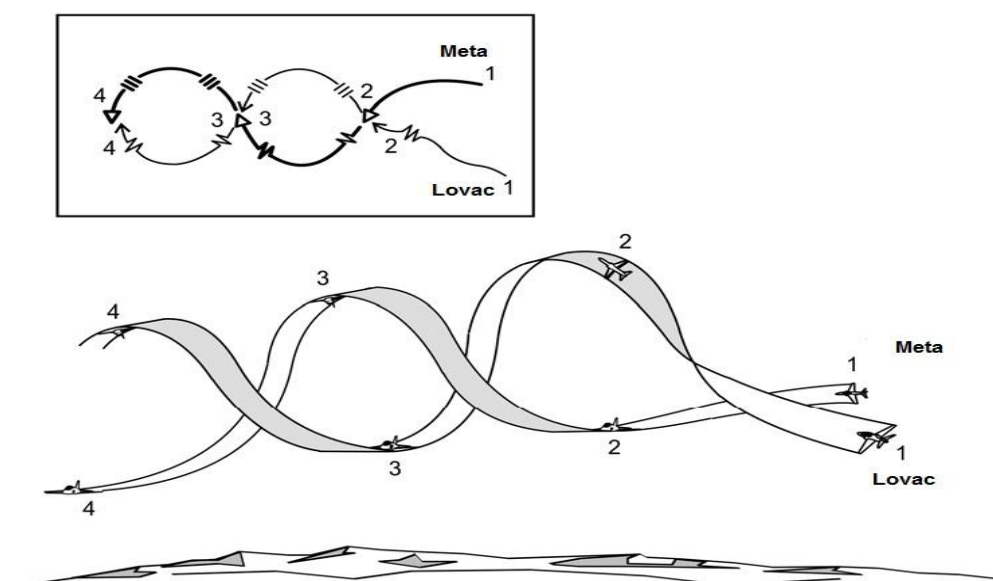


**Slika 19.** Skica manevra škara u horizontalnoj ravnini

## 4.5. Škare s rotacijom

### 4.5.1. Opis i svrha manevra

U manevru škara u horizontalnoj ravnini prednost će imati onaj zrakoplov s manjom brzinom i manjim polumjerom zaokreta dok se kod manevra škara s rotacijom prikazanog na slici 20 primjenjuje tehnika prostornog manevriranja s očuvanjem energije kod oba zrakoplova. Manevar započinje Meta koja izvodi penjući manevar s ciljem smanjenja brzine, a zatim izvodi manevar „poluvaljak“ prema Lovcu uz konstantnu promjenu pozicije kako bi dovela Lovca u uvjete prelijetanja i stvorila prednost u zračnoj borbi. Ako Lovac radi istu stvar, borba će poprimiti izgled dvostruke spirale koju čine putanje zrakoplova koji izvode bačvasti valjak jedan oko drugog. Veliki utjecaj za uspjeh prilikom izvođenja ovog manevra imaju performanse zrakoplova te iskustvo, znanje i sposobnost pilota. U ovoj vježbi do izraza dolazi iskorištavanje promjene visine za promjenu brzine i ukupne energije.



Slika 20. Prikaz manevra "škare s rotacijom", [4]

### 4.5.2. Geometrija i norme manevra

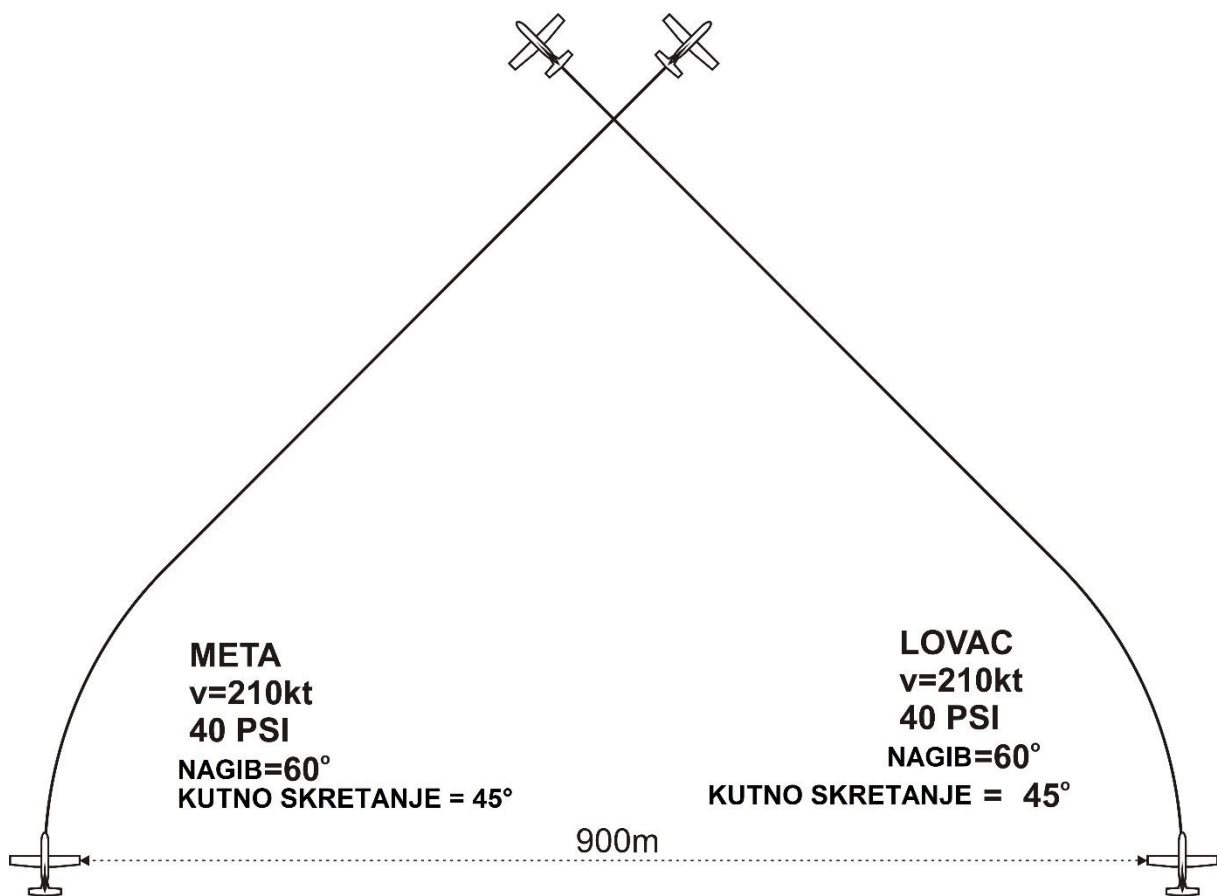
Budući da je manevar škara s rotacijom zapravo izvođenje više bačvastih valjaka oba zrakoplova s ciljem očuvanja energije, pozicija za uvođenje u manevar će biti na horizontalnoj udaljenosti od 900 metara kako je prikazano na slici 21. Norme za izvođenje manevra su:

- $N_M = 4g$  – opterećenje Mete u zaokretu
- $V_L = 240 - 250$  kt – brzina Lovca u donjoj točki manevra



- $P_L = 40$  PSI – postavka snage motora na zrakoplovu Lovca
- $R_R = 150 - 200$  metara – udaljenost između zrakoplova prije uvođenja u bačvasti valjak
- $P_M = 40$  PSI – postavka snage motora na zrakoplovu Mete za uvođenje u bačvasti valjak.

Za uvježbavanje ovog manevra izvodi se jedan krug borbe odnosno jedan bačvasti valjak Mete i Lovca i još jedan bačvasti valjak Lovca koji se dovodi u kontrolnu poziciju. Postoji mogućnost povezivanja više ovih manevara, no to je onda potrebno naglasiti preko radio-veze.



**Slika 21.** Uvođenje u manevar "škare s rotacijom"

#### 4.5.3. Tehnika izvođenja manevra i raspored pažnje

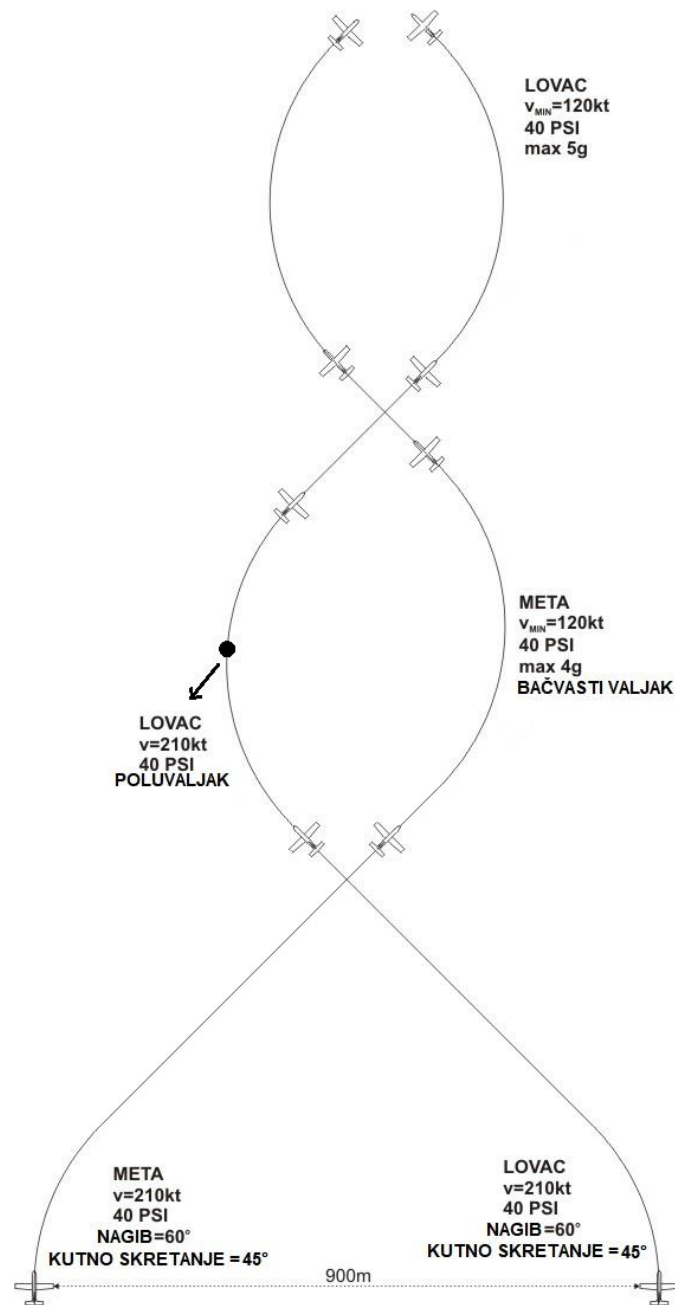
Podešavanje za izvođenje manevra „škare s rotacijom“ izvodi se na isti način kao i podešavanje za prethodno opisane manevre. Meta i Lovac lete u primaknutom postroju i na znak vođe postavljaju nagib do  $45^\circ$  i skreću jedan od drugog za  $30^\circ$  kutnog skretanja. Na znak vođe „back to reference“ i Lovac i Meta istovremeno, umjerenim tempom, postavljaju nagib  $45^\circ$  u suprotnu stranu i usmjeravaju nos aviona u početni pravac leta. Tako bi trebali ostvariti udaljenost od 900 metara. Nakon

podešavanja za izvođenje manevra, po zapovijedi vođe, Lovac i Meta istovremeno uvode u manevar tako što postavljaju nagib  $60^\circ$  i skreću za  $45^\circ$  kutnog skretanja jedan prema drugome brzinom 210 kt kako je prikazano na slici 22. Postavka snage motora je i kod Lovca i kod Mete 40 PSI odnosno ona postavka snage koja je potrebna za održavanje brzine 210 kt. Nakon skretanja za  $45^\circ$  Lovac i Meta lete jedan prema drugome pod rakursom od  $90^\circ$ . Meta održava horizontalan let sve do trenutka kada Lovac postigne AOT od  $30^\circ$ . U tom trenutku Meta uvodi u horizontalan zaokret s početnim opterećenjem od 4g popraćeno povećanjem snage motora. Meta cijelo vrijeme prati poziciju Lovca i geometriju manevra te dovodi Lovca u poziciju u kojoj AOT iznosi od  $70^\circ$  do  $80^\circ$ . Pri tome je AOT ujedno i aspektni kut iz pozicije Lovca. Na udaljenosti od 300 do 400 metara od Lovca i pri aspektnom kutu od  $30^\circ$  Meta povećava nagib s ciljem dovođenja Lovca u uvjete bačvastog valjka. Opterećenje koje se pritom postigne održava se do kraja manevra.

U nastavku manevra Lovac se dovodi u uvjete prelijetanja Mete i izvodi bačvasti valjak sa zaostajanjem. Meta održava stalni vizualni kontakt s Lovcem i održava zaokret „podvlačeći“ se pod putanju leta Lovca. Kako izvodi zaokret, Meta prati Lovca i  $10^\circ$  do  $20^\circ$  prije nego Lovac dođe u gornju točku manevra Meta kreće smanjivati nagib tim tempom da se nađe u položaju bez nagiba u trenutku kada je Lovac u gornjoj točki manevra. Nakon te pozicije, Meta uvodi u bačvasti valjak tako da održava vektor sile uzgona usmjerenim u Lovca. Kada se Meta nađe u gornjoj točki manevra, Lovac bi trebao biti u donjoj točki manevra. Zadnjih  $30^\circ$  prije postizanja horizontalnog položaja Meta kreće s usporenjem tempa rotacije i prevodi u horizontalan zaokret s opterećenjem od 4g. Bitno je naglasiti da Meta stranu zaokreta odabire proizvoljno. Nakon prevođenja u horizontalan zaokret Meta prati dolazak Lovca u kontrolnu poziciju i završetak vježbe.

Tehnika izvođenja manevra iz uloge Lovca bit će opisana od trenutka kada se Lovac nalazi na udaljenosti do 150 do 200 metara i pri aspektnom kutu od  $70^\circ$  do  $80^\circ$ . U tom trenutku Lovac povećava opterećenje i prevodi u penjanje s nagibom sve do prolaska visine na kojoj Meta leti. Nakon što prođe visinu Mete, Lovac kreće s izvođenjem valjka prema Meti. Brzina rotacije i opterećenje ovise o brzini, dinamici leta i nagibu Mete. U gornjoj točki manevra Lovac bi trebao biti točno iznad Mete i kada prođe tu poziciju, postavlja vektor sile uzgone prema Meti kako ne bi povećao udaljenost te se vraća u ravninu Mete. Tijekom izvođenja bačvastog valjka pilot održava stalni vizualni kontakt s Metom. U trenutku kada se Lovac nađe u donjoj točki manevra, Meta se nalazi točno iznad njega u njenoj gornjoj točki manevra. Vrlo je bitno da pilot provjeri brzinu u donjoj točki manevra kako bi se uvjerio da nije izgubio

previše brzine i da ima dovoljno energije za izvođenje još jednog bačvastog valjka. Do gubitka energije može doći ako pilot kroz manevar održava preveliko opterećenje uz manju promjenu visine i polumjer bačvastog valjka. Nakon prolaska donje točke manevra, Lovac uvodi u dodatni bačvasti valjak uz održavanje vektora sile uzgona prema Meti. Prije dolaska Lovca u gornju točku manevra Meta prevodi u horizontalan zaokret s opterećenjem od 4g. Lovac prilagođava tempo rotacije kako bi održao vektor sile uzgona prema Meti. Nakon prolaska gornje točke manevra Lovac gleda Metu i podešava nagib s ciljem dolaska u kontrolnu poziciju. U kontrolnoj poziciji Lovac se zadržava najmanje 5 sekundi i javlja na radio-vezu „*Terminate*“.



**Slika 22.** Geometrija i norme manevra "škare s rotacijom"

## 5. MJERENJE I ANALIZA GPS PODATAKA

### 5.1. Metodologija mjerenja

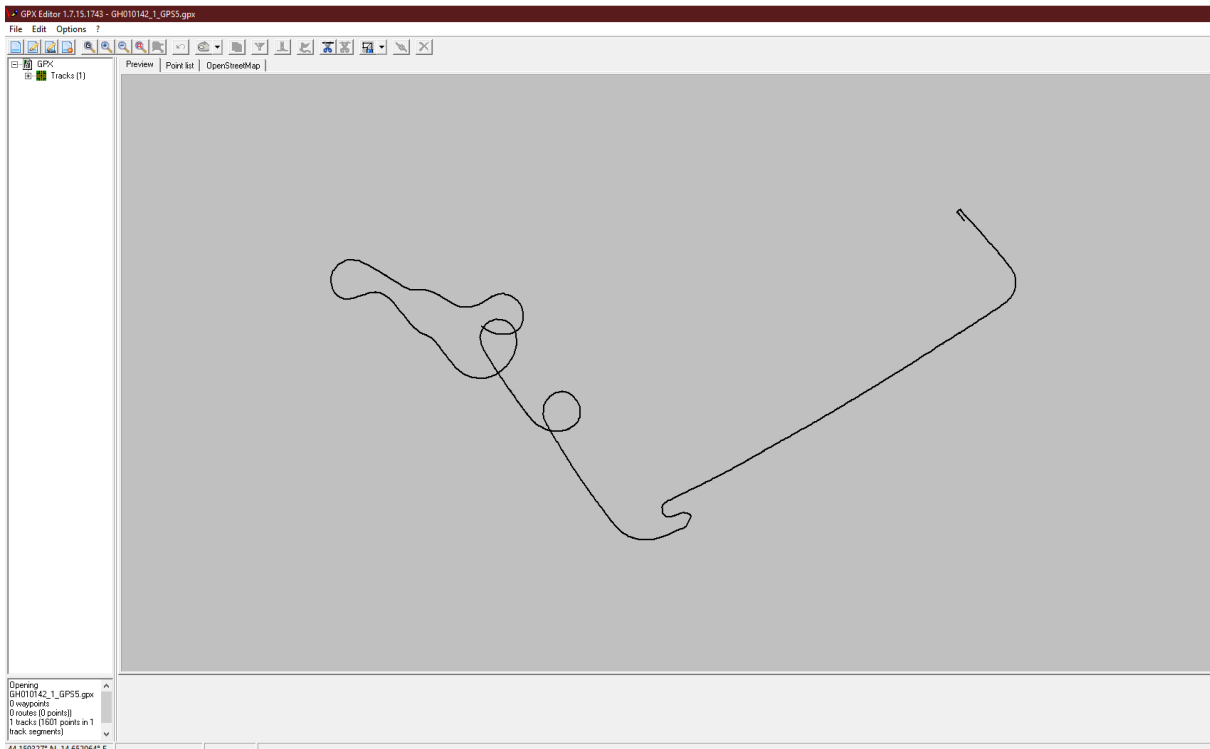
Za potrebe diplomskog rada na dan 29.03.2022. u 17:30 sati po lokalnom vremenu proveden je trenažni let u kojem su se izvodili temeljni manevri bliske zračne borbe. Let su provodili iskusni piloti eskadrile aviona Hrvatskog ratnog zrakoplovstva. Za potrebe mjerenja korištene su dvije kamere marke GoPro Hero 7 i GoPro Hero 9. Na kamerama je bila uključena opcija za GPS mjerenje.

Objektive kamere su snimale od voženja do samog parkiranja zrakoplova na stajanku. Dobiveni GPS podaci su poprilično precizni što se može dokazati pomoću aplikacije Google Earth Pro. Aplikacija *GoPro Telemetry Extractor* prikazana na slici 21 korištena je za izvlačenje i dobivanje GPS podataka iz samih snimki. Koristeći navedenu aplikaciju dobivene su datoteke s nastavkom GPX.



Slika 23. Sučelje aplikacije GoPro Telemetry Extractor [7]

Budući da su dobivene datoteke sadržavale sve GPS točke cijelog leta, bilo je potrebno radi lakše analize razdvojiti dobivene podatke na pojedine manevre. Aplikacija GPX editor prikazana na slici 22 korištena je za razdvajanje pojedinih manevra i njihovih GPS mjerenja. Kako su korištene dvije kamere, dobivena su GPS mjerenja za dva leta, vođe i pratitelja. Za svaki let bilo je potrebno razdvojiti pojedine manevre i međusobno ih spojiti kako bi zajedno činili jedan cijeli manevr.

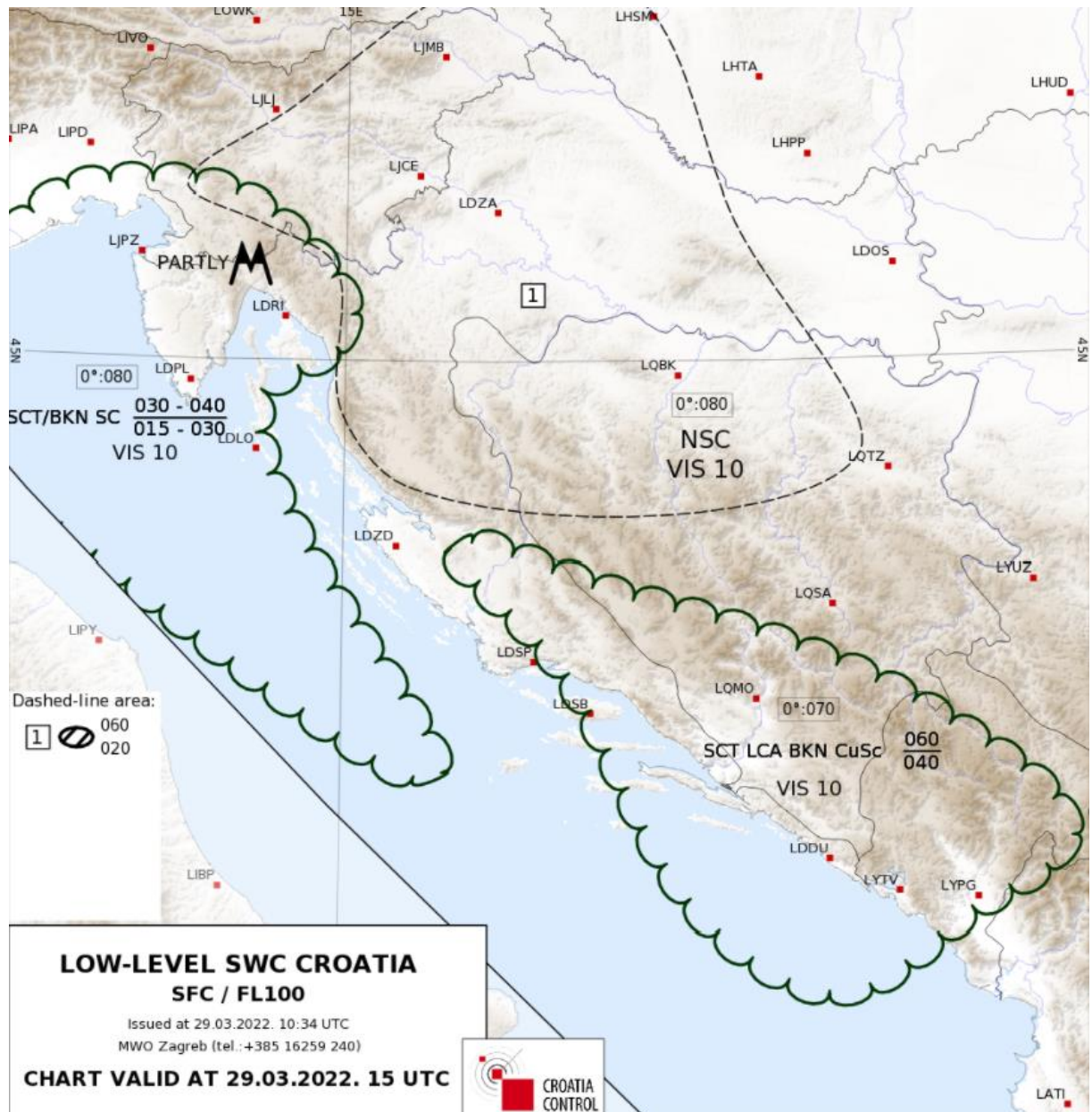


**Slika 24.** Sučelje aplikacije GPX editor [8]

Dobivene GPX datoteke nije moguće otvoriti u aplikaciji Google Earth Pro i kako bi bilo moguće koristiti dobivena GPS mjerenja u aplikaciji Google Earth Pro korišten je online pretvornik GPX2KML koji pretvara GPX datoteke u KML datoteke. Dobivene KML datoteke su korištene u aplikaciji Google Earth Pro pomoću koje je moguće precizno mjeriti odnose dvaju zrakoplova u zraku. Za precizno određivanje brzine i visine zrakoplova korištena je aplikacija GPS Track Editor.

## 5.2. Meteorološki uvjeti na dan letenja

Za provjeru meteoroloških uvjeta na dan letenja korišteni su podaci sa stranice *Cro Control Meteo*. Prema SWL karti za 17:00 sati po lokalnom vremenu prikazanoj na slici 23 na području letenja nije bilo naoblake i vidljivost je bila preko 10 kilometara. Prema dobivenim podacima od kontrole letenja vjetar je puhao brzinom manjom od 5 kt što je bilo zanemarivo i nije utjecalo na provedbu leta.

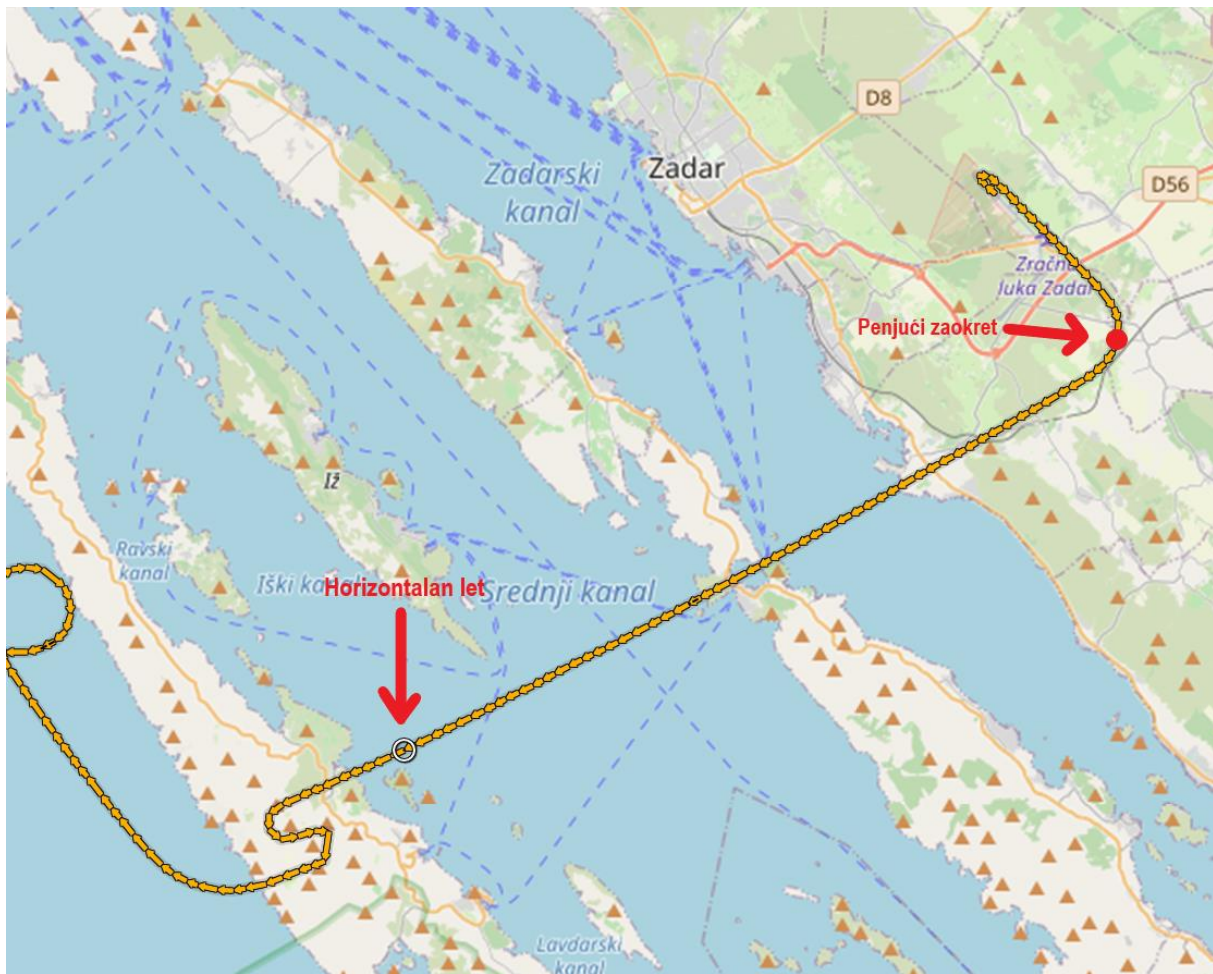


Slika 25. SWL karta na dan 29.03.2022. u 15:00h UTC, [9]

### 5.3. Procedura odlaska u zonu

Let se izvršio u zoni LDTR 19 koja se pretežito prostire uzduž Dugog Otoka. Vođa i pratitelj su polijetali u primaknutom postroju koristeći snagu motora 50 PSI. Penjali su u pravcu polijetanja do visine 1500 ft QNH. Na visini 1500 ft QNH u primaknutom postroju su izveli desni penjući zaokret nagiba 30° prema zoni kako je prikazano na slici 24. Zatim su nastavili penjati do FL110 na kojoj su preveli u horizontalan let i nastavili letjeti prema zoni u primaknutom postroju.





Slika 26. Procedura odlaska

#### 5.4. Analiza manevara

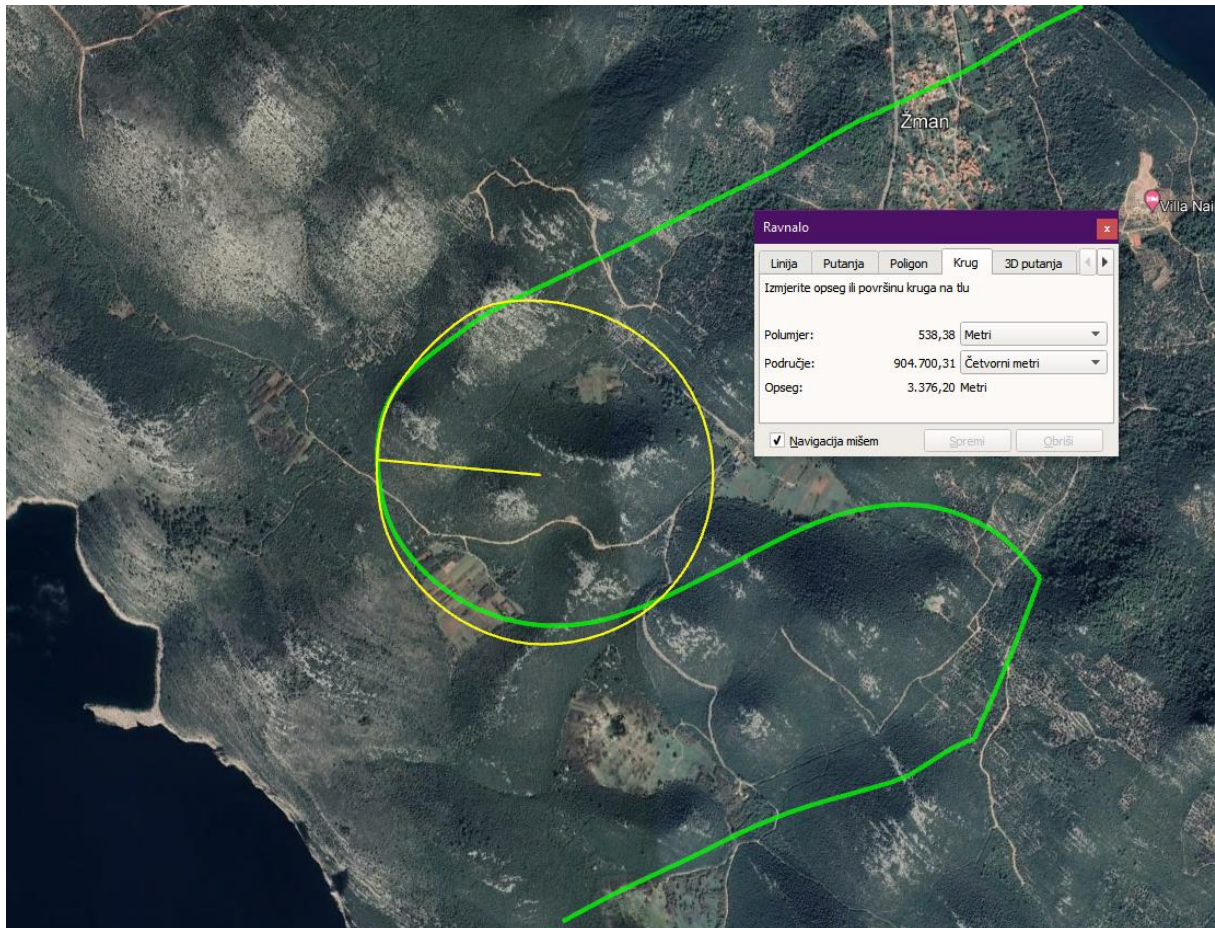
Po dolasku u zonu najprije je izveden manevar za uvježbavanje i prilagodbu na velika opterećenja prikazan na slici 25 koji se naziva *G – warm up* manevar. U ovom manevru izvodi se prvo horizontalan zaokret za 180° tijekom kojeg se održava opterećenje od 4g, a zatim se izvodi zaokret u suprotnu stranu za 180° tijekom kojeg se održava opterećenje od 5g. Kako je prikazano na slici 24 polumjer zaokreta tijekom kojeg se održavalo opterećenje 4g iznosi približno 540 metara. Prema formuli (1) za izračun polumjera zaokreta dobiveno je da polumjer zaokreta pri brzini 114 m/s koja se pritom održavala iznosi 535 metara što znači da su dobivena GPS mjerenja poprilično precizna.

$$r = \frac{(V_{m/s})^2}{g \times \tan \beta} \quad (1)$$

pri čemu su:

- $r$  – polumjer zaokreta,

- $V$  – stvarna brzina zrakoplova [m/s],
- $G$  – ubrzanje Zemljine sile teže [m/s<sup>2</sup>],
- $\beta$  – poprečni nagib [°].



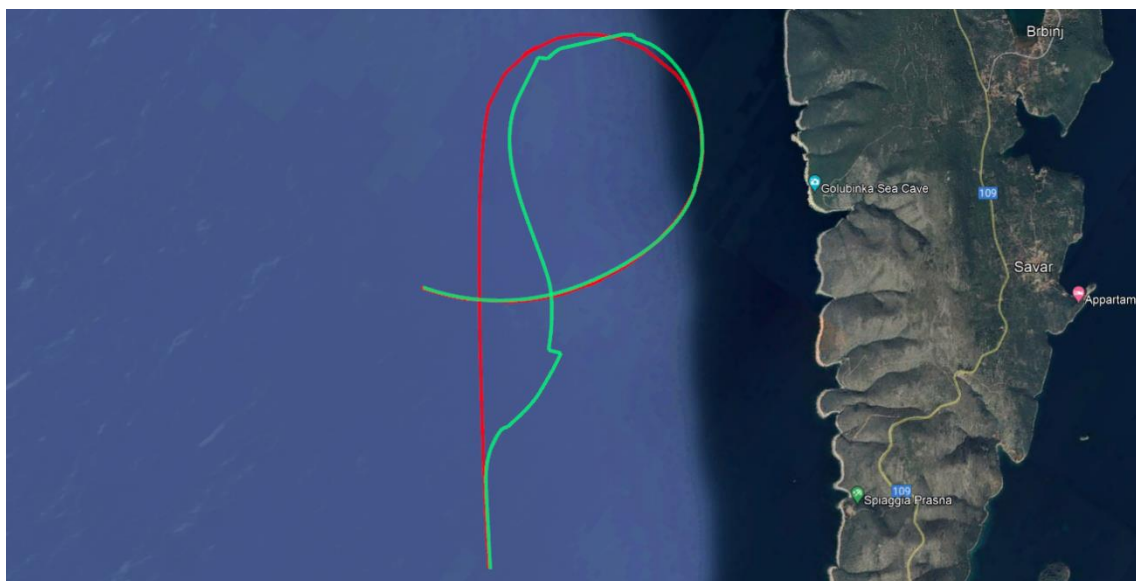
**Slika 27.** Manevar G-warm up

#### **5.4.1. Analiza manevra „visoki yo-yo“**

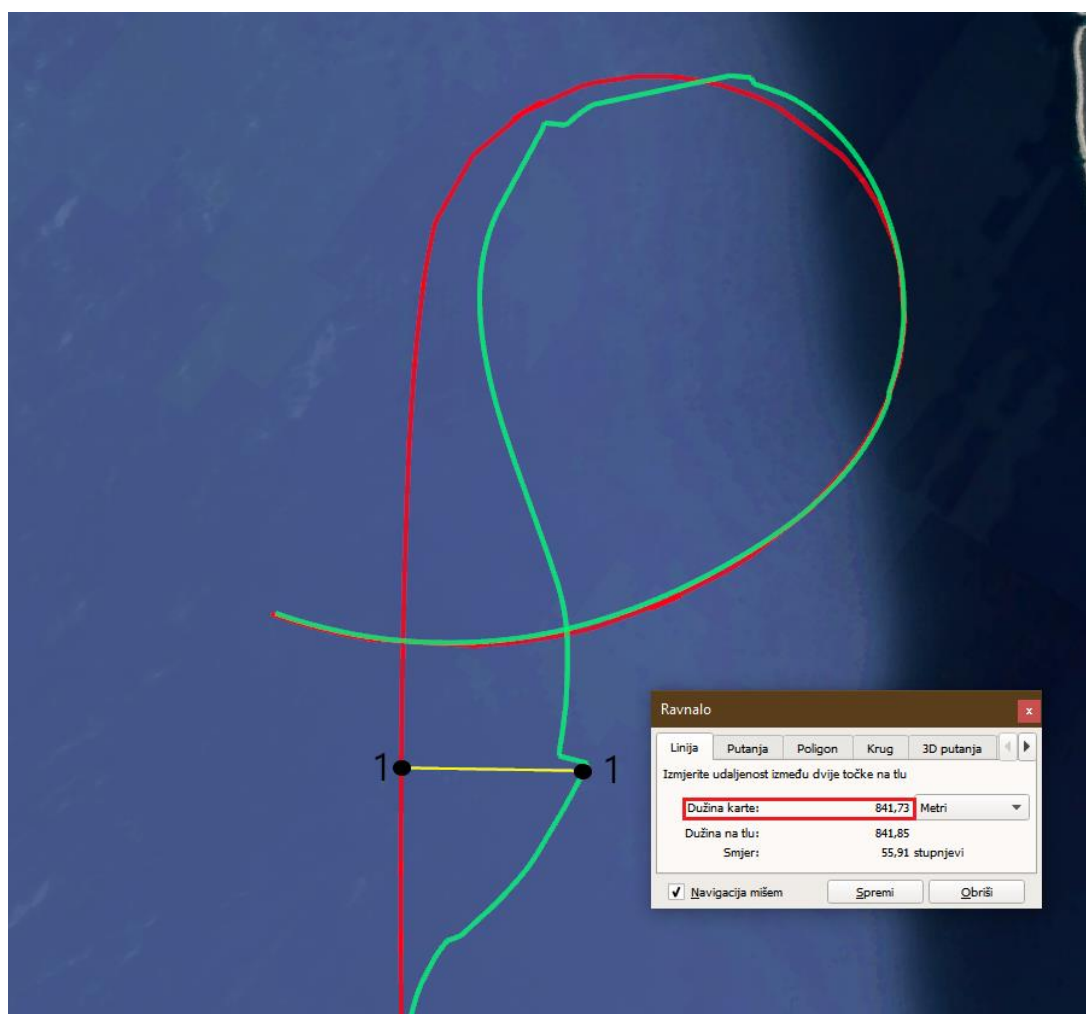
U ovome poglavlju će biti obrađeni dobiveni GPS podaci iz leta i uspoređeni s teorijskim parametrima za manevar „visoki yo – yo“. Na slici 29 prikazane su putanje Mete i Lovca u aplikaciji Google Earth Pro i može se vidjeti da približno odgovara izgledu manevra prikazanog na slici 9.

Prema slici 9 horizontalna udaljenost zrakoplova bi trebala biti 600 metara, no dobivena mjerenja pokazuju da je ta udaljenost približno 840 metara odnosno da je udaljenost veća za 40% kako je prikazano na slici 28. Do ovog odstupanja došlo je jer se u namještanju za izvođenje manevra penjalo u pravcu 4-5 sekundi. Ova mjerenja pokazuju da je potrebno smanjiti vrijeme penjanja pri namještanju za izvođenje manevra kako bi se dobila pravilna udaljenost od približno 600 metara.





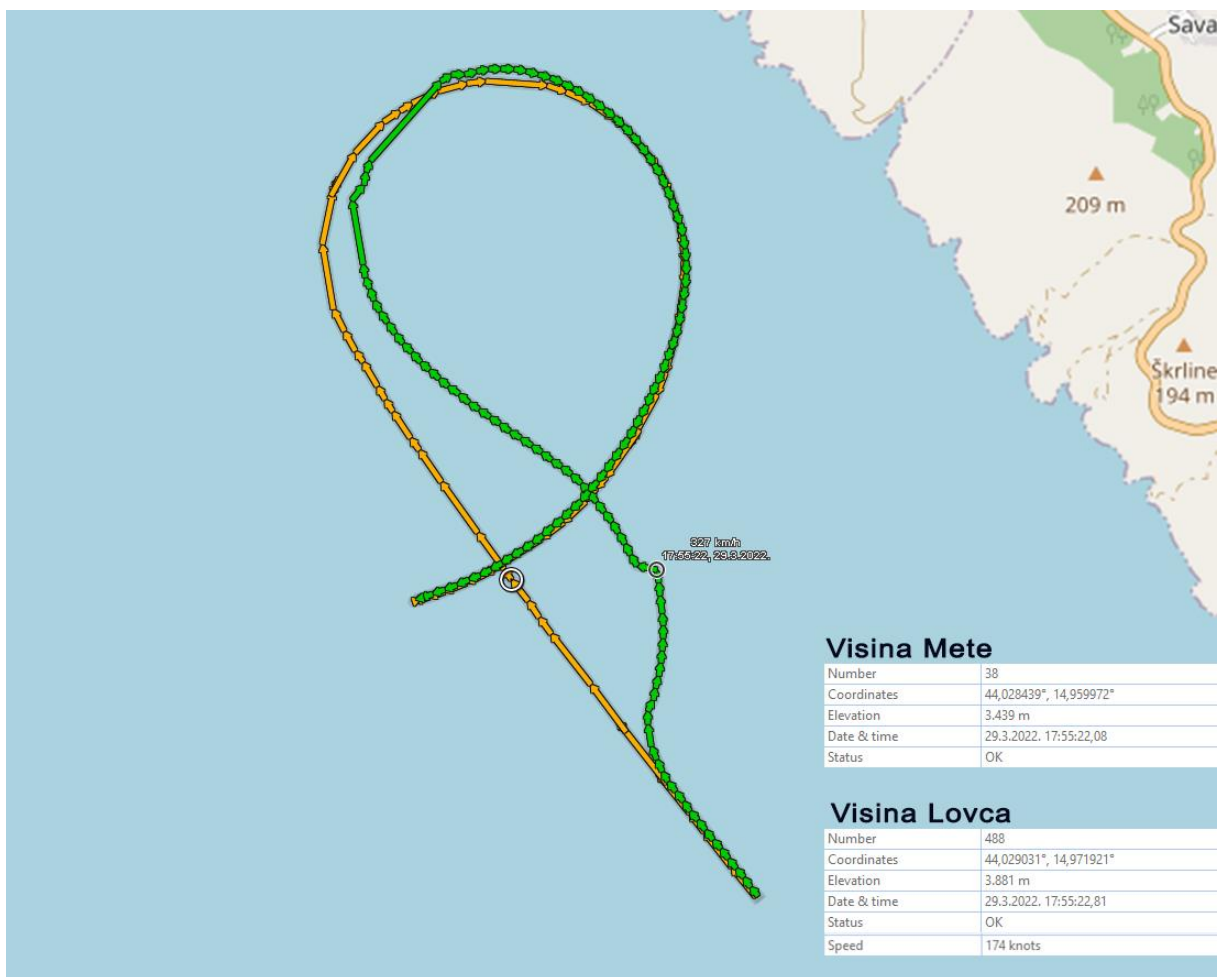
**Slika 29.** Putanje aviona dobivene GPS mjerenjem



**Slika 28.** Udaljenost zrakoplova prije uvođenja u manevar.

Slika 9 pokazuje da bi prije uvođenja u manevar Lovac trebao biti na 1500 ft

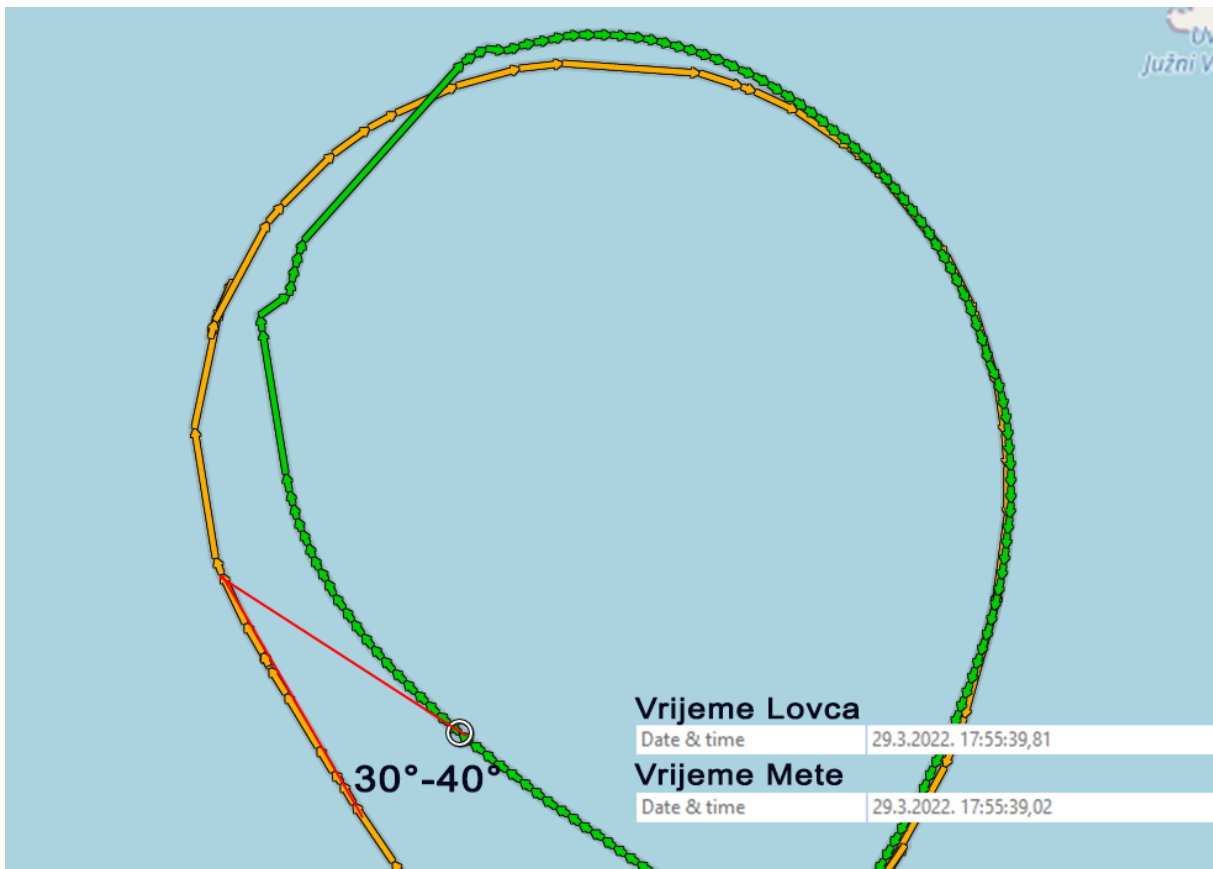
većoj visini od Mete. Dobivena GPS mjerenja prikazana na slici 30 pokazuju da međusobna razlika visina u istom vremenu između Lovca i Mete iznosi 442 metra odnosno 1450 ft. Uzimajući u obzir preciznost GPS mjerenja zaključuje se da održavanje kuta penjanja  $30^\circ$  osigurava povećanje visine za potrebnih 1500 ft. Također, na slici 30 prikazana je izmjerena brzina Lovca prije uvođenja u manevar i ona iznosi 174 kt. Uzimajući u obzir preciznost GPS mjerenja zaključuje se da je odstupanje od 6 kt zanemarivo i da približno dogovara zadanoj normi koja iznosi 180 kt.



**Slika 30.** Razlika visina prije uvođenja u manevar

U ovome poglavlju će se promatrati i analizirati međusobni odnosi dvaju zrakoplova u određenim trenucima i ti odnosi će zatim biti uspoređeni s teorijskom obradom manevra i zadanom geometrijom manevra. Sljedeći parametar koji će se promatrati je aspektni kut Mete prije uvođenja u zaokret. Prema slici 9 aspektni kut prije uvođenja u zaokret bi trebao iznositi  $45^\circ$ . Budući da u programu *GPS Track Editor* nije moguće mjeriti kutove kao podatak će se uzimati osobna procjena autora. Na slici 31 prikazan je aspektni kut dvaju zrakoplova u istom vremenu i po procjeni

autora aspektni kut iznosi između 30° i 40°. Budući da putanje dobivene GPS mjerenjem približno odgovaraju geometriji manevra, može se reći da aspektni kut smije odstupati do 15°, a da pritom ne utječe na geometriju samog manevra.



**Slika 31.** Aspektni kut Mete prije uvođenja u zaokret

Sljedeći parametar koji će se analizirati je polumjer zaokreta Mete. Na slici 9 točka 3 prikazuje norme zaokreta koji izvodi Meta. Poprečni nagib iznosi 60°, opterećenje kroz zaokret je 2g i postavka snage motora je 40 PSI odnosno ona postavka snage motora koja je potrebna za održavanje indicirane brzine zrakoplova od 210 kt. Uzimajući u obzir da Meta leti na FL110 i održava indiciranu brzinu 210 kt prema formuli (2) moguće je izračunati stvarnu brzinu Mete kroz zaokret. Stvarna brzina Mete kroz zaokret potrebna je za izračun polumjera zaokreta. Ako se u formulu (2) uvrste navedeni podaci dobije se:

$$V_S = V_i + V_i \cdot 0,02 \cdot \frac{h}{1000} = 210 + 210 \cdot 0,02 \cdot \frac{11000}{1000} = 256,2 \text{ kt} \quad (2)$$

pri čemu su:

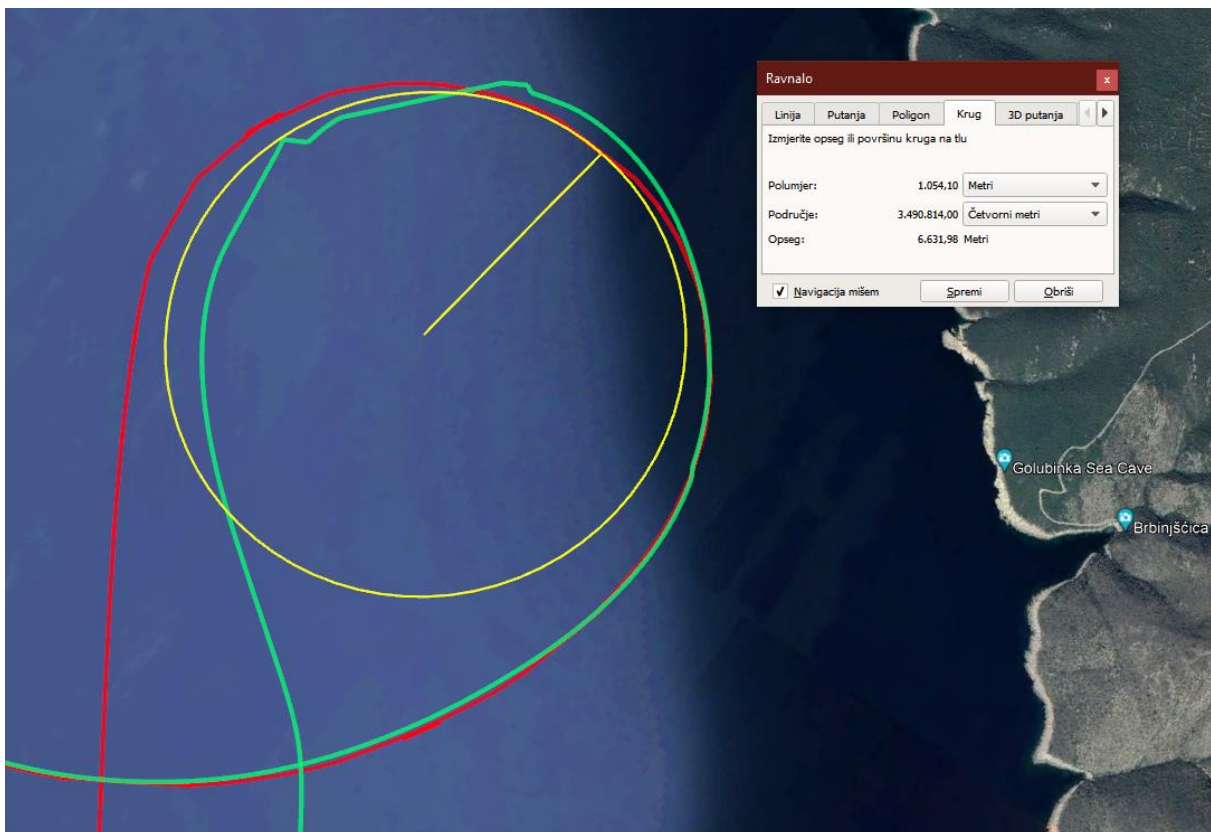
- $V_S$  – stvarna brzina zrakoplova kroz zrak,

- $V_i$  – indicirana brzina zrakoplova,
- $h$  – visina u stopama.

Dobivena stvarna brzina zrakoplova od 256,2 kt iznosi približno 132 metra po sekundi. Brzina izražena u metrima po sekundi potrebna je za izračun polumjera zaokreta prema formuli (1). Ako se u formulu (1) uvrste navedeni podaci dobije se sljedeće:

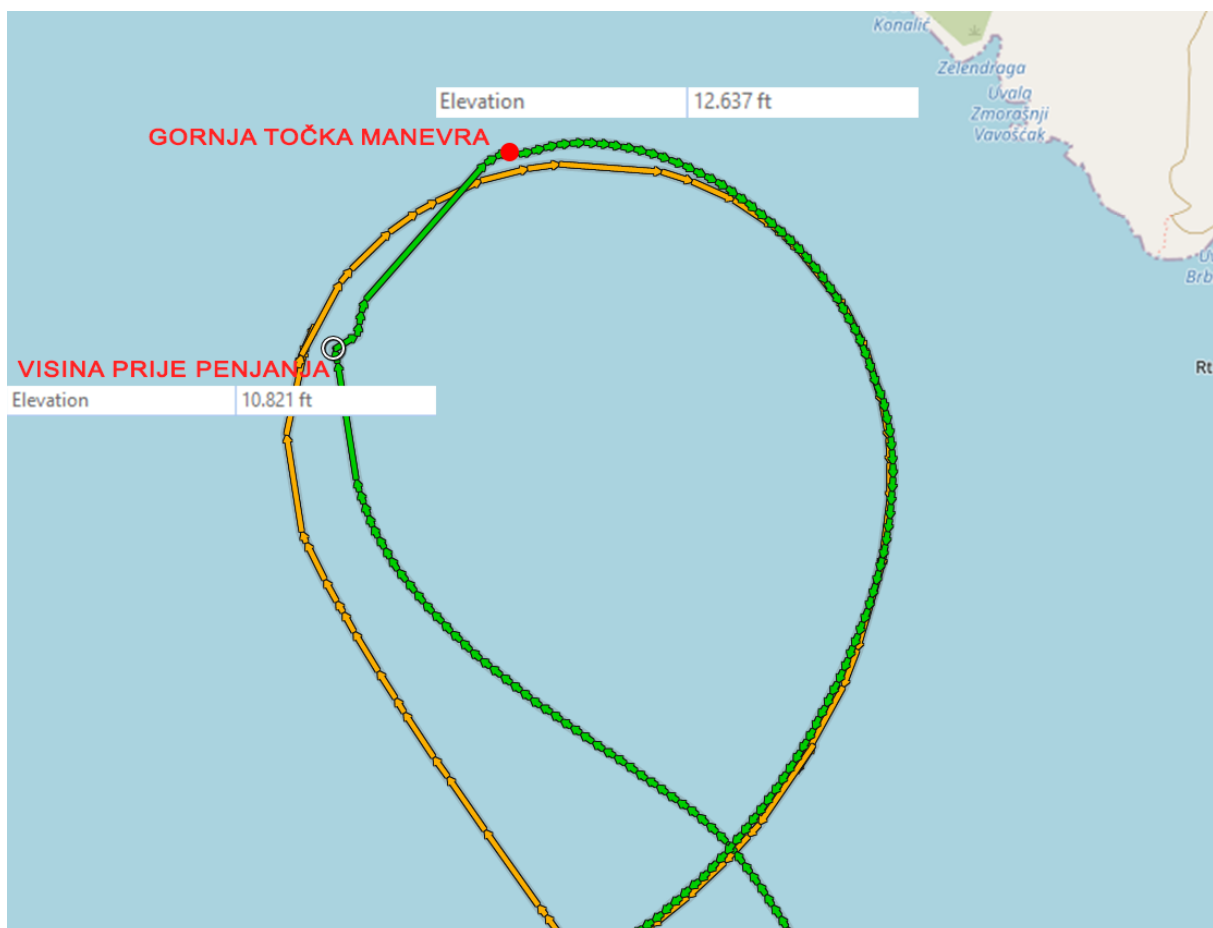
$$r = \frac{132^2}{9,81 \times \tan 60^\circ} \approx 1025 \text{ metara.}$$

Prema proračunu, polumjer zaokreta bi trebao iznositi 1025 metara u idealnim uvjetima. Za proračun polumjera zaokreta dobivenog GPS mjerenjem koristila se aplikacija Google Earth Pro koja je pokazala da stvarni polumjer zaokreta iznosi 1054 metra kako je prikazano na slici 32. Zbog same preciznosti mjerenja uzimat će se tolerancija od 10 %. Dobivena mjerenja pokazuju da polumjer zaokreta Mete približno odgovara proračunatom polumjeru zaokreta i da dobiveni iznos odstupa manje od 10 %.



**Slika 32.** Polumjer zaokreta Mete

Sljedeći parametar koji će se odrediti iz GPS mjerenja je koliko je Lovac trebao popeti kako bi smanjio brzinu zrakoplova i ukupnu energiju. Penjanjem i gubitkom ukupne energije zrakoplova Lovac je izbjegao dovođenje u poziciju ispred Metu. Za analizu GPS mjerenja koristi se program GPS Track Editor koji omogućuje relativno precizno određivanje razlike u visinama prije penjanja i nakon dostizanja gornje točke manevra. Iz slike 33 može se iščitati da je početna visina Lovca prije prevođenja u penjanje bila otprilike 10 800 ft. Gornja točka manevra iznosi otprilike 12 600 ft. Iz ovih podataka može se zaključiti da je Lovcu bilo potrebno povećati visinu za otprilike 1800 ft kako bi izgubio višak brzine u odnosu Metu koji je prije penjanja iznosio 30 do 40 kt. Ako se analiziraju još dva manevra „visoki yo – yo“ iz ovog leta u kojima je promjena visine iznosila približno 1900 i 2000 ft može se zaključiti da je za avion Pilatus PC – 9M u ovom manevru potrebno povećati visinu za 1800 do 2000 ft kako bi smanjio brzinu u odnosu na Metu. Ovaj parametar se ne koristi tijekom obuke i može poslužiti kao okvirni podatak tijekom uvježbavanja manevra „visoki yo-yo“



**Slika 33.** Promjena visine Lovca u manevru "visoki yo-yo"

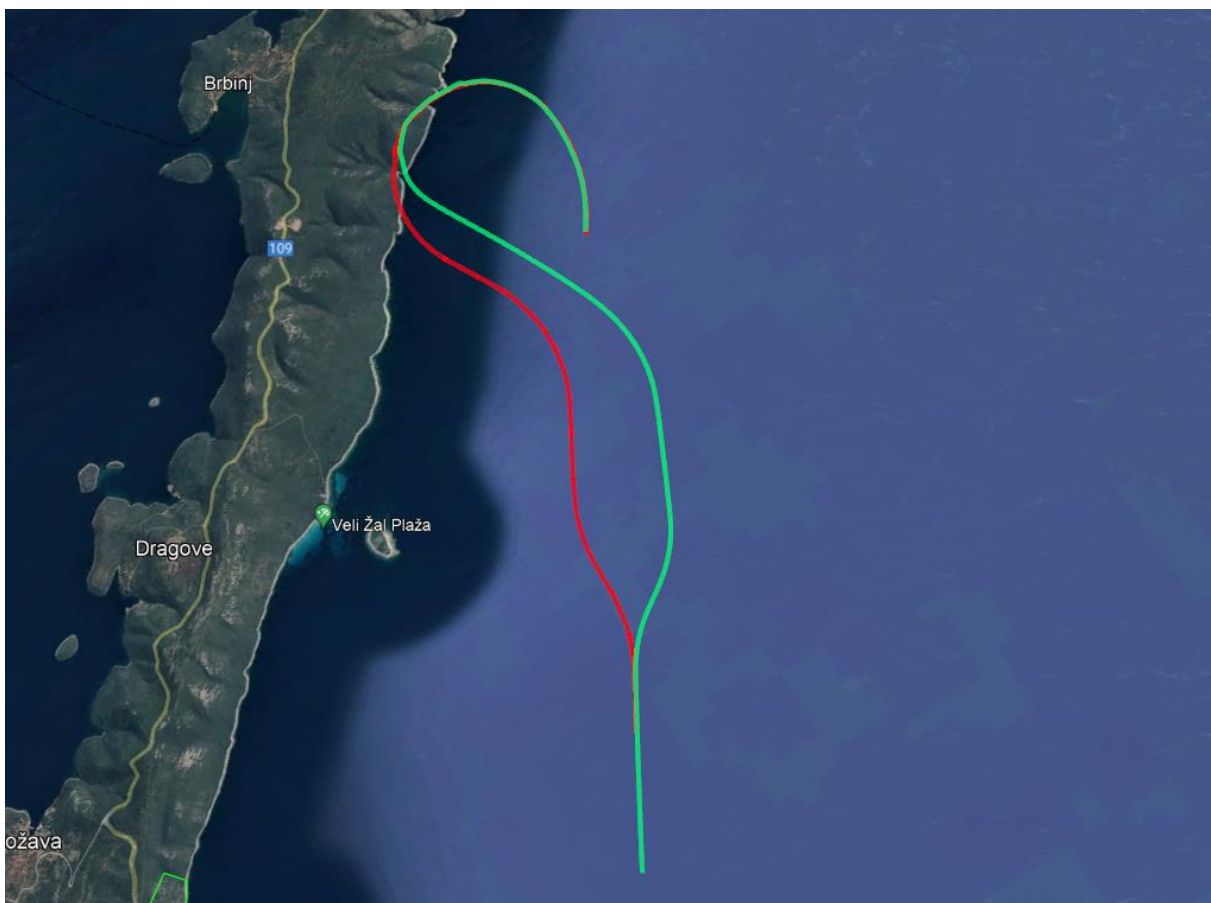
Budući da se izvođenje manevara bliske zračne borbe temelji na procjeni i tehnici letenja pilota te da postoji velika mogućnost da svaki manevar izgleda



drugačije, dobivena GPS mjerenja pokazuju da je moguće odrediti norme za izvođenje manevra „visoki yo – yo“. Navedene norme omogućuju da svaki manevar izgleda približno jednako.

#### 5.4.2. Analiza manevra „niski yo – yo“

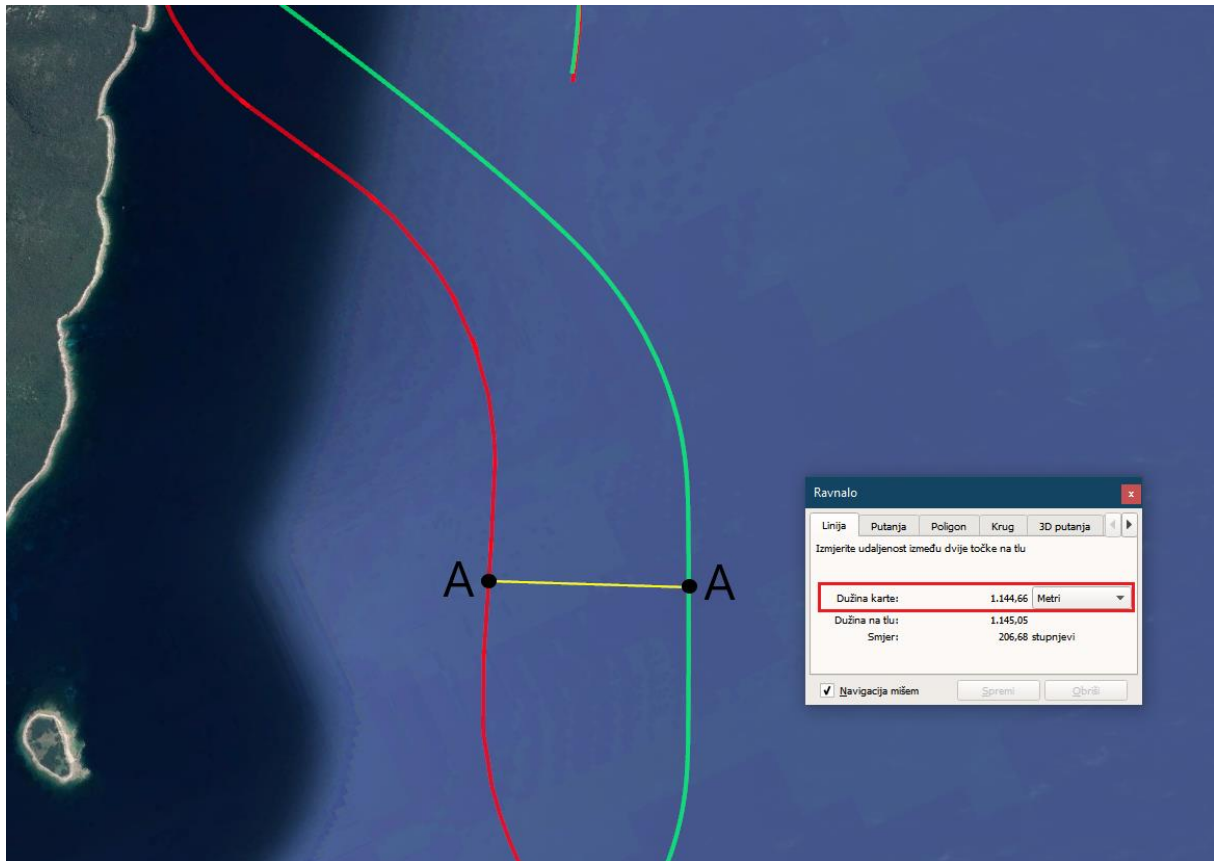
U ovome poglavlju će biti obrađeni dobiveni GPS podaci iz leta i uspoređeni s teorijskim parametrima za manevar „niski yo – yo“. Na slici 34 prikazane su putanje Mete i Lovca u aplikaciji Google Earth Pro i vidljivo je da tlocrt manevra odgovara slici 12. Nadalje će se detaljno obraditi dobivena GPS mjerenja i utvrditi odstupanja od zadanih normi te zaključiti zbog čega je došlo do istih.



**Slika 34.** Putanje Lovca i Mete u manevru "niski yo-yo"

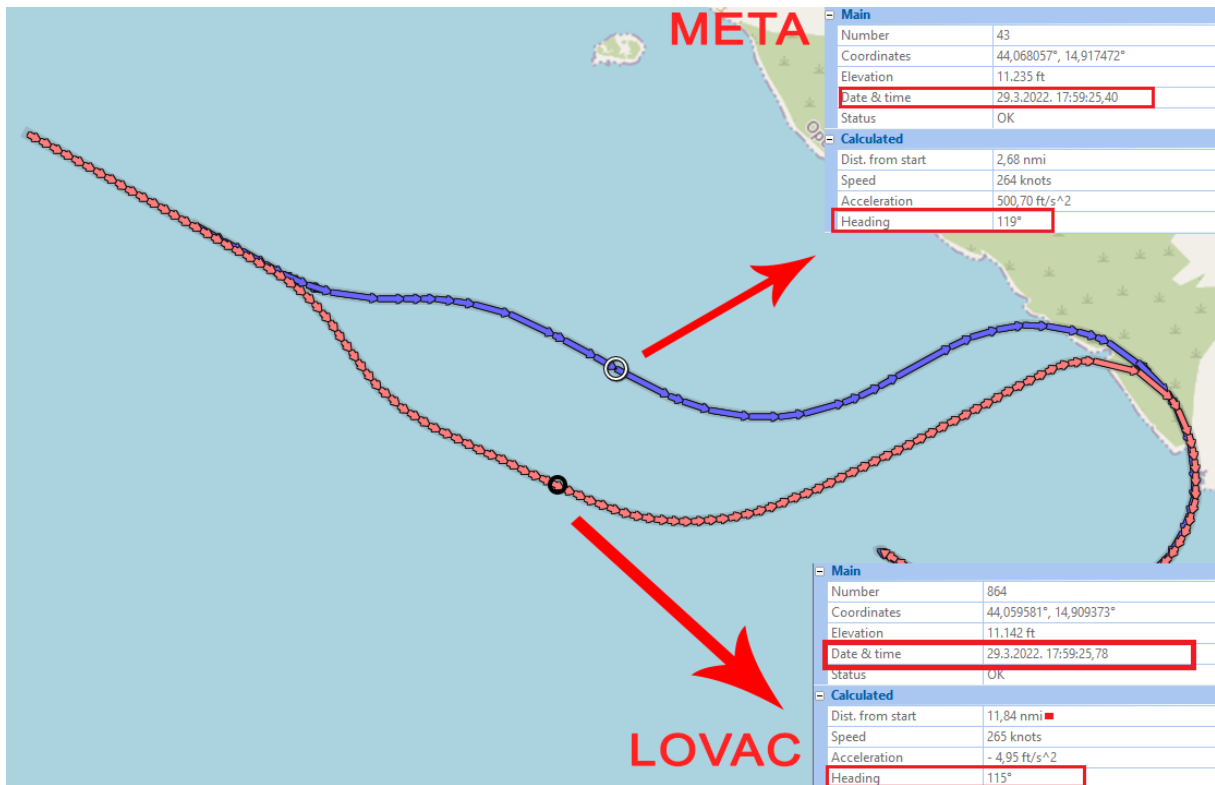
Prvi parametar koji će biti obrađen je međusobna udaljenost dvaju zrakoplova nakon namještanja za izvođenje samog manevra. Za provjeru udaljenosti bit će korištena aplikacija Google Earth Pro. Na slici 35 prikazano je da udaljenost između dvaju zrakoplova prije izvođenja kutnog skretanja za  $60^\circ$  iznosi približno 1150 metara što je gotovo dvostruko veća udaljenost od propisane koja iznosi 600 metara. Podešavanje za izvođenje manevra „niski yo – yo“ vrši se iz primaknutog postroja odlaskom u taktički postroj. U taktičkom postroju propisana udaljenost između

zrakoplova je od 600 do 900 metara. Do odstupanja u udaljenosti može doći vrlo lako zbog toga što je stvarna brzina zrakoplova pri namještanju otprilike 250 kt odnosno 130 metara u sekundi i zakašnjenje od 2 – 3 sekunde može dovesti do odstupanja i preko 500 metara budući da i pri vađenju iz zaokreta zrakoplovi se međusobno udaljavaju jedan od drugog dok potpuno ne izvade iz zaokreta u željenom kursu.

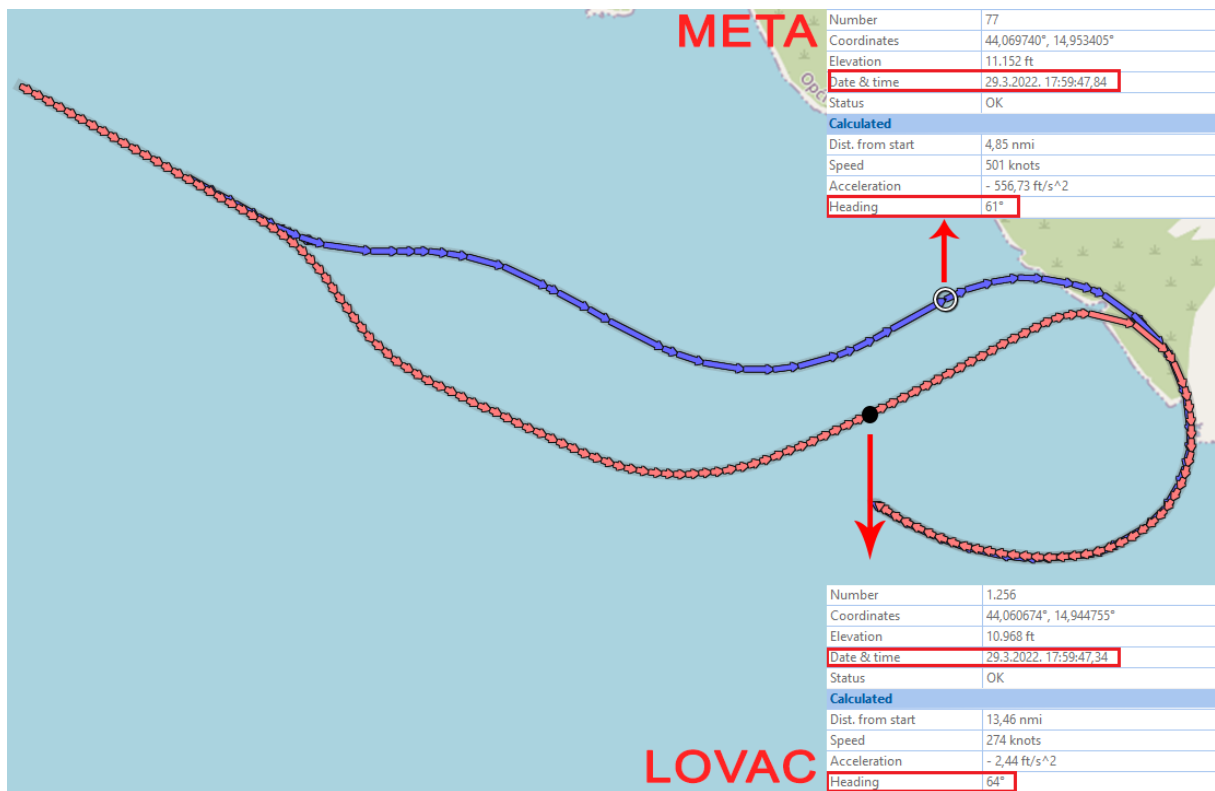


**Slika 35.** Udaljenost zrakoplova prije uvođenja u manevar

Sljedeći parametar koji će biti analiziran je kutno skretanje i međusoban odnos Lovca i Mete prije izvođenja glavnog dijela manevra u kojem se Lovac promjenom visine i ukupne energije zrakoplova dovodi u kontrolnu poziciju. Za provjeru kutnog skretanja korišten je program GPS Track Editor. Na slici 36 prikazan je pravac leta Mete i Lovca. Pravac leta Mete iznosi  $119^\circ$ , a pravac leta Lovca  $115^\circ$ . Zbog preciznosti GPS mjerenja može se zaključiti da su oba zrakoplova letjela u približno jednakim kursovima. Na slici 37 vidljivo je da je Meta nakon zaokreta letjela u kursu  $061^\circ$ , dok je Lovac nakon skretanja letio u kursu  $064^\circ$ . Kutno skretanje Mete iznosi  $58^\circ$  dok kutno skretanje Lovca iznosi  $51^\circ$ . Na slici 38 prikazan je međusoban odnos Lovca i Mete u trenutku kada Meta uvodi u desni zaokret. Također se može vidjeti koliko Lovac zaostaje za Metom te kako je nužno da u glavnom dijelu manevra „niski yo – yo“ Lovac koristi krivulju praćenja s pretjecanjem kako bi se približio Meti i doveo se u kontrolnu poziciju.



Slika 36. Pravci leta prije uvođenja u zaokret



Slika 37. Pravci leta nakon zaokreta

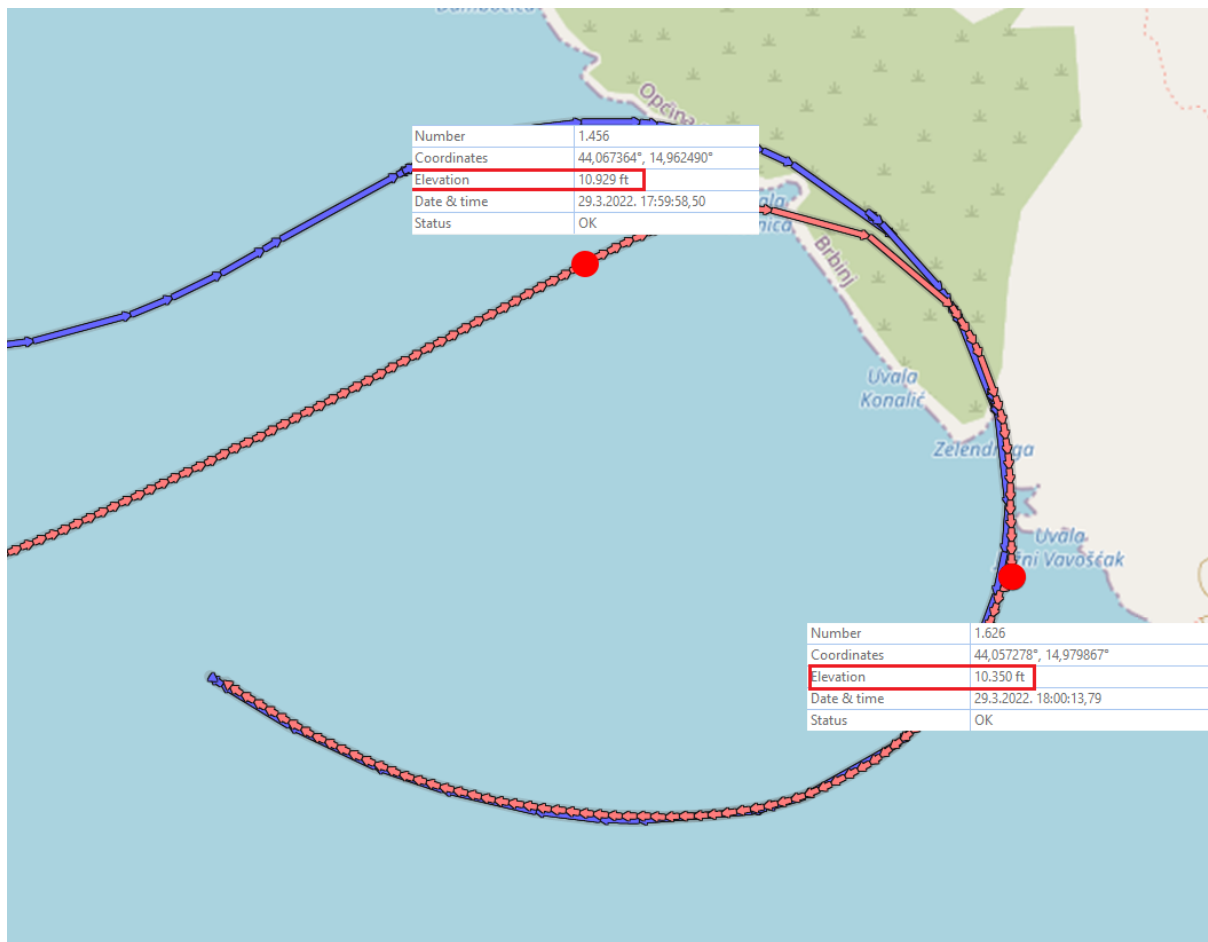




**Slika 38.** Odnos položaja Lovca i Mete nakon zaokreta

Sljedeće što će se analizirati je promjena visine Lovca kako bi povećao ukupnu energiju i brzinu zrakoplova te sustigao Metu s ciljem postizanja kontrolne pozicije. Ovaj podatak nije proračunat i analiza GPS mjerenja će pružiti okvirne podatke o promjeni visine Lovca s ciljem povećanja energije. Na slici 39 može se iščitati da je visina Lovca prije uvođenja u zaokret približno 10 930 ft, a da najniža visina iznosi 10 350 ft. Lovac je smanjio visinu tako što je povećao poprečni nagib do  $90^\circ$  što mu je omogućilo da spusti nos aviona i izgubi visinu. Razlika u visinama iznosi približno 600 ft iz čega se može zaključiti da je Lovcu bilo dovoljno 600 ft da prikupi dovoljno energije i dovede se u kontrolnu poziciju. Na slici 40 prikazan je odnosno Lovca i Mete u trenutku kada se Lovac nalazi u donjoj točki manevra na visini 10 350 ft. Kolika će biti promjena visine ovisi o udaljenosti između Lovca i Mete. Cilj Lovca je da se ne stvori prevelika udaljenost između njega i Mete te da što prije dođe u kontrolnu poziciju.

Kako je već ranije opisano, temeljni manevri bliske zračne borbe najviše ovise o procjeni pilota u kojem trenutku će uvesti u određeni zaokret s ciljem dobivanja prednosti nad drugim zrakoplovom u zraku. Analiza GPS mjerenja manevra „niski yo – yo“ pokazuje da i uz odstupanje od propisanih normi manevar može biti uspješno izveden. Kad god se Lovac uspije dovesti u kontrolnu poziciju u odnosu na Metu manevar se smatra uspješnim.



**Slika 39.** Promjena visine Lovca kroz manevar



**Slika 40.** Odnos položaja Lovca i Mete u donjoj točki manevara

### 5.4.3. Analiza manevra „bačvasti valjak sa zaostajanjem“

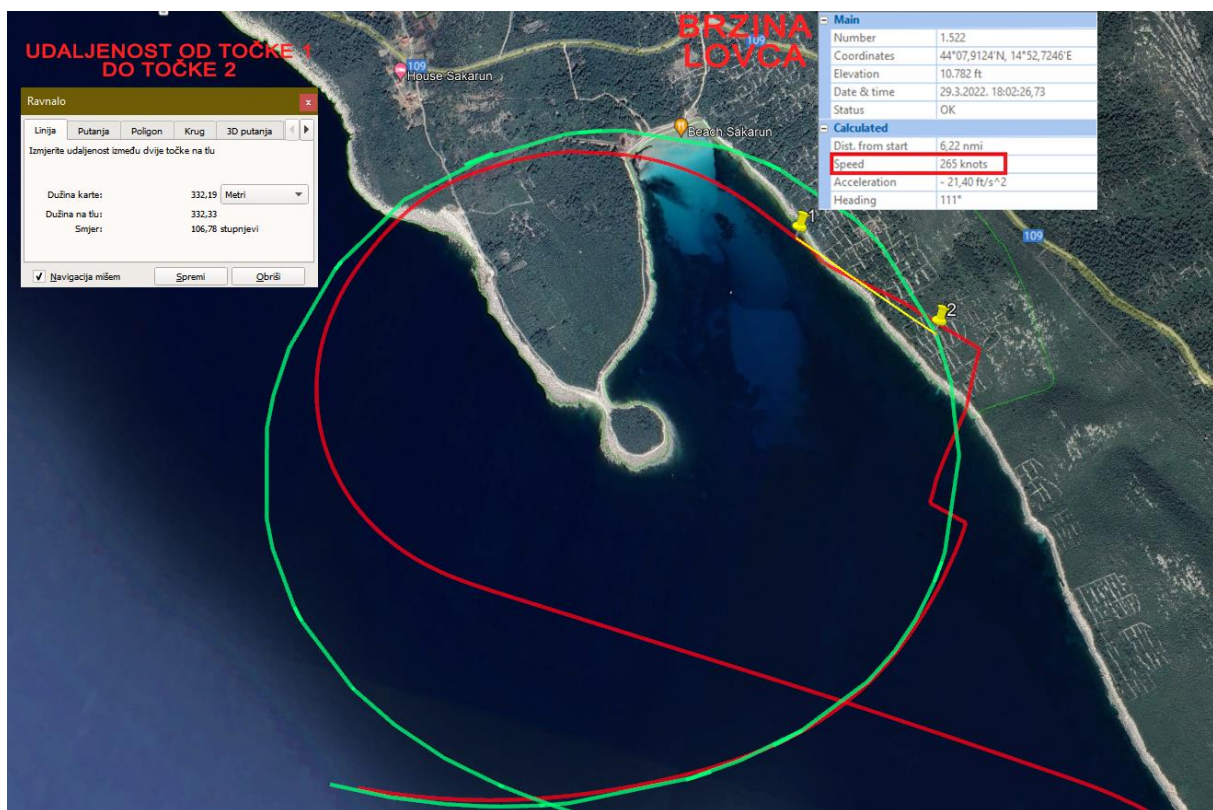
Manevar „bačvasti valjak sa zaostajanjem“ je vrlo sličan manevaru „niski yo – yo“. Da bi se izveo manevar „bačvasti valjak sa zaostajanjem“ najprije je potrebno izvesti manevar „niski yo – yo“. Budući da su u prethodnom poglavlju detaljno obrađena GPS mjerenja za manevar „niski yo – yo“ nema potrebe za ponovnom analizom istog manevra. Zbog toga će u ovom poglavlju biti analizirana GPS mjerenja glavnog dijela manevra „bačvasti valjak sa zaostajanjem“. Glavni dio ovog manevra je trenutak u kojem Lovac odlučuje kada će početi penjati kako bi prošao iznad Mete, izveo manevar „valjak“ i zatim iskoristio višak visine za povećanje brzine i ukupne energije zrakoplova s ciljem dolaska u kontrolnu poziciju u odnosu na metu. Slika 41 prikazuje odnos zrakoplova u zraku u trenutku kada Lovac odlučuje prevesti avion u penjanje.



**Slika 41.** Odnos pozicija Lovca i Mete prije penjanja Lovca

Podatak koji će biti obrađen u ovome dijelu je udaljenost Lovca od Mete u trenutku početka penjanja te njihova razlika u brzinama. Kao što je već opisano, manevar „bačvasti valjak sa zaostajanjem“ se primjenjuje kada Lovac ima veću brzinu od Mete što može predstavljati problem jer postoji mogućnost da se nađe u prednjoj sferi Mete. Kako bi izbjegao tu mogućnost, Lovac prevodi u penjanje kako bi prošao iznad Mete i radi „valjak“ te usmjerava vektor sile uzgona prema Meti i dovodi se u kontrolnu poziciju. Na slici 42 prikazana je udaljenost Lovca od Mete u trenutku kada Lovac prevodi u penjanje te njihova razlika u brzinama. Za obradu GPS mjerenja koristi se program GPS Track Editor koji omogućuje da precizno odredimo pozicije Lovca i Mete u trenutku prevođenja u penjanje, njihovu brzinu, a aplikacija Google

Earth Pro omogućuje da odredimo njihovu međusobnu udaljenost. Točka 1 označava poziciju Lovca u trenutku uvođenja u penjanje. Točka 1 odgovara poziciji Lovca sa slike 41. Točka 2 označava poziciju Mete u trenutku uvođenja Lovca u penjanje. Pomoću Google Earth Pro aplikacije dobiveno je da je udaljenost Lovca i Mete u tom trenutku iznosila približno 330 metara. Ovaj podatak se također može iskoristiti u obuci kao okvirna udaljenost Lovca i Mete u trenutku uvođenja Lovca u penjanje. Također, slika 41 može poslužiti kao vizura koja označava udaljenost do Mete i trenutak kada je potrebno početi penjati. Na slici 42 također je prikazana stvarna brzina Lovca u trenutku prevođenja u penjanje i ona iznosi 265 kt. Ako se uzme u obzir da Meta kroz zaokret održava konstantnu indiciranu brzinu 210 kt odnosno stvarnu brzinu približno 255 kt dobije se da je razlika u brzinama Lovca i Mete u tom trenutku iznosila 10 kt.

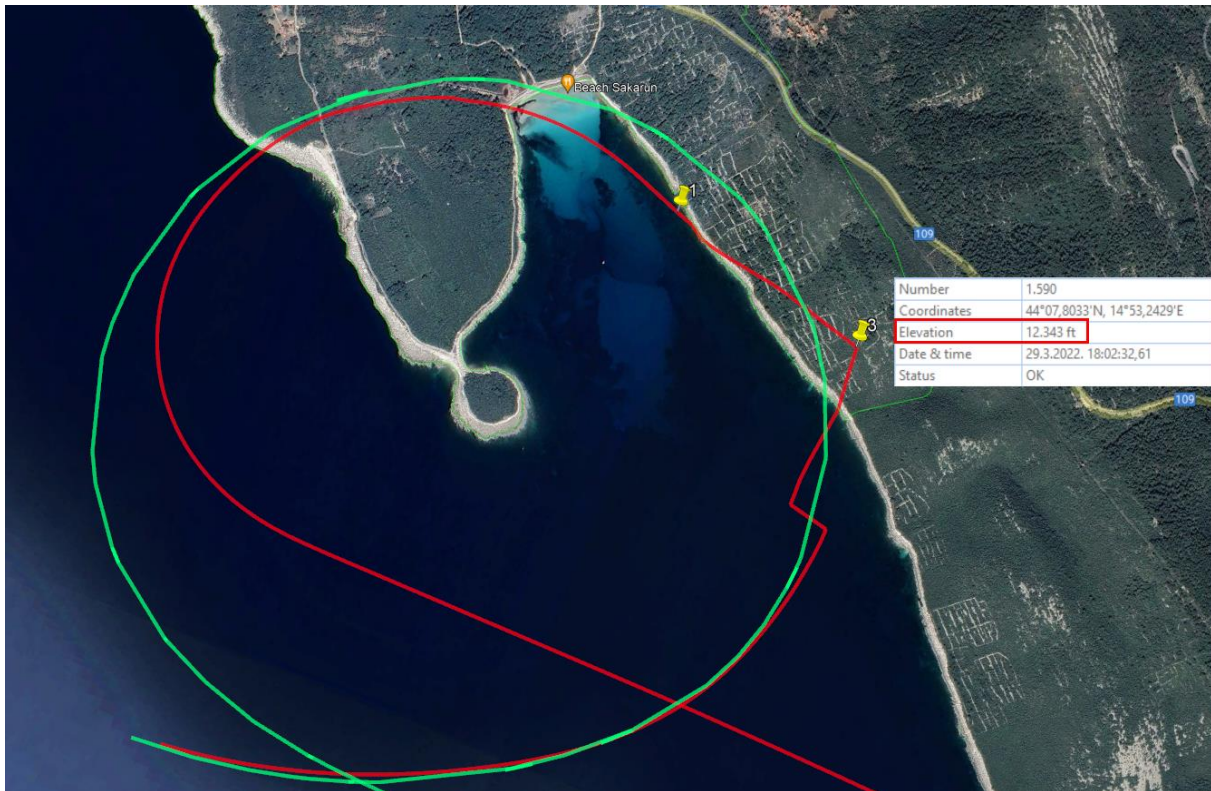


**Slika 42.** Udaljenost i razlika u brzinama Lovca i Mete

Sljedeći podatak koji će biti analiziran je promjena visine u penjanju Lovca kako bi se dobile okvirne vrijednosti visine koje će se moći koristiti tijekom uvježbavanja ovog manevra. Kako je prikazano na slici 42 točka 1 označava poziciju zrakoplova u trenutku prevođenja u penjanje. Iz iste slike također se može iščitati da je visina Lovca prije prevođenja u penjanje iznosila približno 10 800 ft. Potrebno je odrediti točku u kojoj je Lovac postigao najveću visinu. Ta točka će ujedno označavati



i trenutak u kojem je Lovac izveo manevar „valjak“ nakon čega je usmjerio zamišljeni vektor sile uzgona prema Meti. Da bi se precizno odredila ta točka koristi se program GPS Track Editor kao i u prethodnim primjerima.



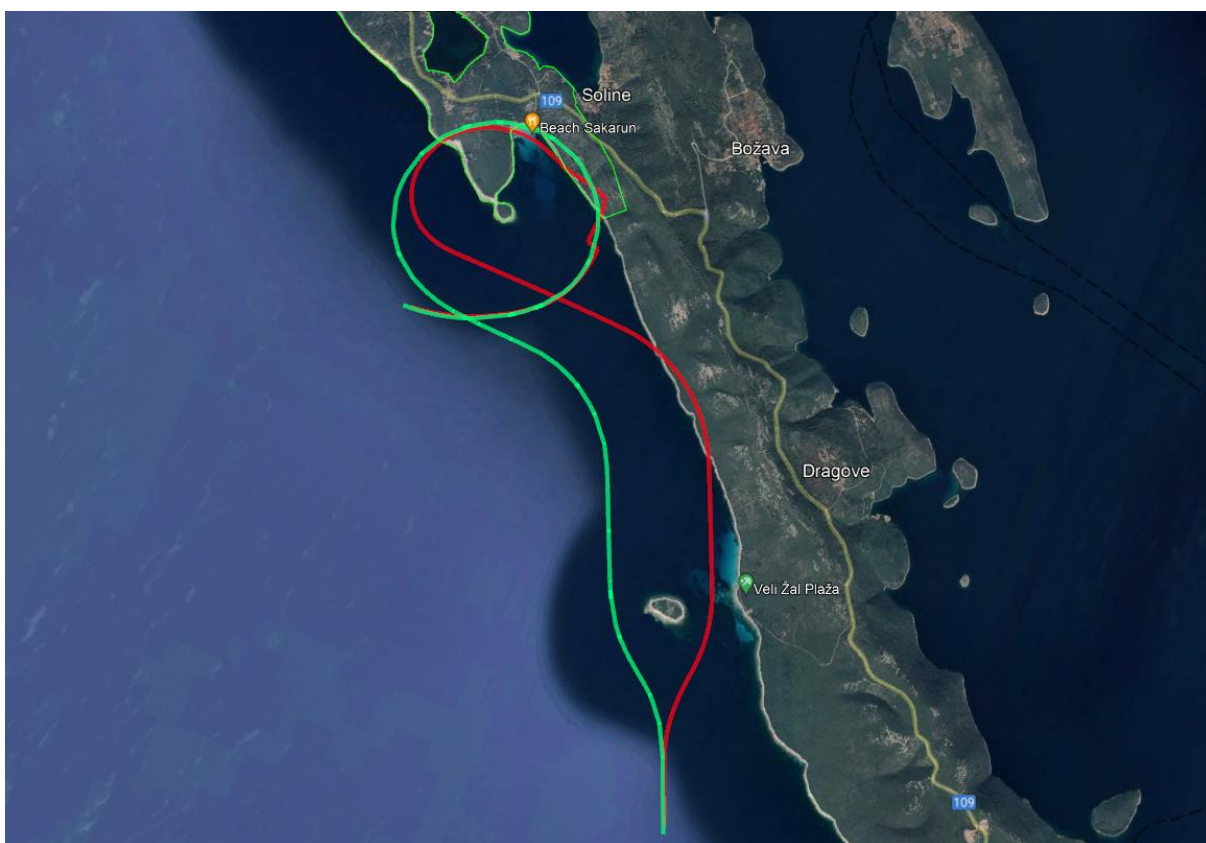
**Slika 43.** Visina Lovca u gornjoj točki manevara

Na slici 43 točka 3 označava trenutak u kojem je Lovac izveo „valjak“. Može se iščitati da je njegova visina u tom trenutku iznosila približno 12 350 ft. Ako se uzme u da je visina Lovca prije uvođenja u penjanje iznosila 10 800 ft dobije se visinska razlika od 1550 ft. Ovaj podatak može poslužiti kao okvirna vrijednost tijekom obuke. Zaključuje se da je avionu Pilatus PC – 9M potrebna visinska razlika od 1500 ft kako smanjio višak energije i stvorio uvjete za dovođenje u kontrolnu poziciju. Na slici 44 prikazan je odnos pozicija Lovca i Mete u gornjoj točki manevara nakon izvođenja „valjka“.

Analizirajući GPS mjerenja iz praktičnog leta na prvi pogled je vidljivo da putanje leta oba aviona tijekom izvođenja manevara „bačvasti valjak sa zaostajanjem“ na slici 45 približno odgovaraju skicama manevara na slikama 14 i 15. U ovom poglavlju analizirali su se podaci koji nisu propisani i dobiveni rezultati poslužiti će kao okvirne vrijednosti tijekom obuke učenika letaća. Dobiveni rezultati ne mogu se koristiti kao precizne vrijednosti zbog same preciznosti GPS uređaja koji su korišteni za mjerenje podataka tijekom leta.



**Slika 44.** Odnos pozicija Lovca i Mete u gornjoj točki manevra



**Slika 45.** Putanje leta tijekom izvođenja manevra "bačvasti valjak sa zaostajanjem"

#### **5.4.4. Analiza manevra „škare u horizontalnoj ravnini“**

U ovome poglavlju bit će analizirana GPS mjerenja iz praktičnog leta tijekom izvođenja manevra „škare u horizontalnoj ravnini“. Na slici 45 vidljivo je da su GPS

mjerenja iz aviona Lovca poprilično kvalitetna dok su mjerenja iz aviona Mete isprekidana i ne daju precizne podatke iz leta. To je zbog toga što je za GPS mjerenje korištena kamera *GoPro Hero 7* koja je starija od kamere *GoPro Hero 9* koja je korištena za GPS mjerenje u avionu Lovca. Zbog toga će u ovome dijelu biti obrađena samo GPS mjerenja iz aviona Lovca. Bez obzira na to što neće biti obrađena GPS mjerenja iz aviona Mete, dobiveni rezultati će biti dovoljni za razumijevanje samog manevra i onog što se događa s avionom tijekom izvođenja istog. Putanja leta Lovca na slici 45 označena je crvenom bojom, a putanja leta Mete označena je zelenom bojom.

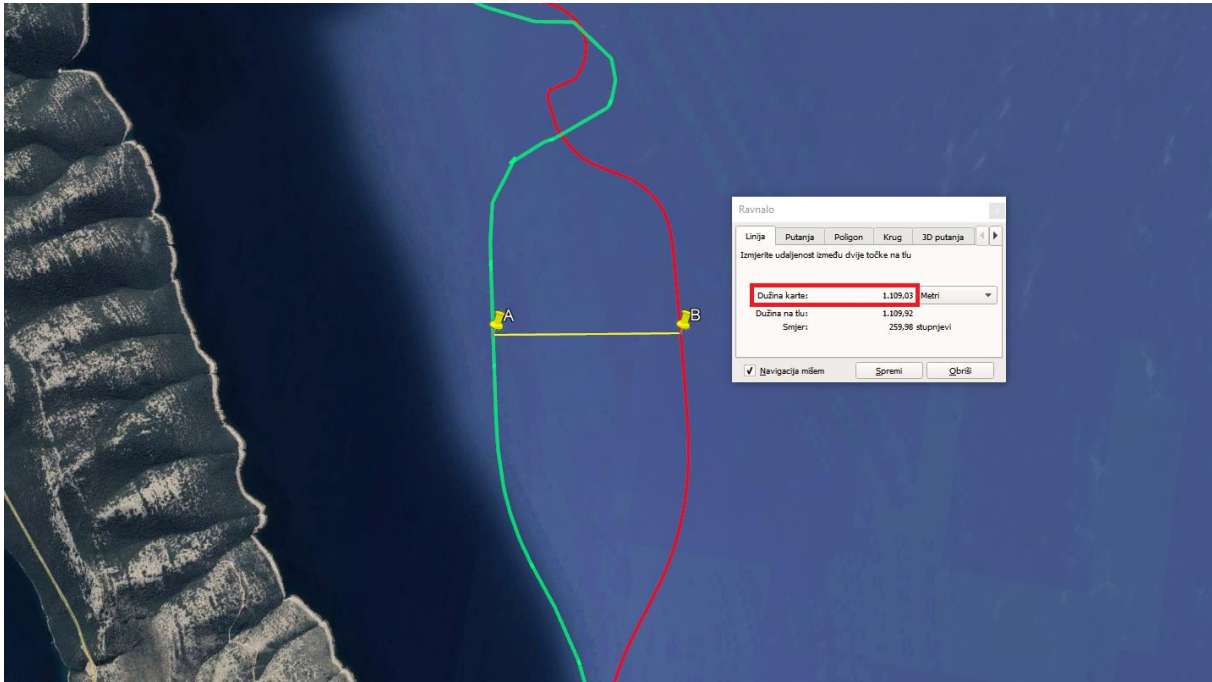


**Slika 46.** Putanja leta Lovca i Mete tijekom manevra "škare u horizontalnoj ravnini"

Prvi parametar koji će biti analiziran je međusobna udaljenost Lovca i Mete nakon podešavanja za izvođenja manevra „škare u horizontalnoj ravnini“. Kao što je već opisano, u podešavanje za izvođenje manevra kreće se iz primaknutog postroja na zapovijed vođe. Kada vođa zapovijedi početak podešavanja, Lovac i Meta istovremeno, jednakim tempom, postavljaju poprečni nagib  $45^\circ$  i skreću jedan od drugog za  $30^\circ$  kutnog skretanja. Kada vođa javi „*back to reference*“, Lovac i Meta istovremeno, jednakim tempom postavljaju poprečan nagib od  $45^\circ$  i skreću jedan prema drugome u početni pravac leta. Nakon podešavanja trebali bi se nalaziti na udaljenosti od 600 do 900 metara. Za pravilno izvođenje manevra „škare u horizontalnoj ravnini“ preporučuje se i manja udaljenost od 300 do 400 metara. Za precizno određivanje međusobne udaljenosti koristi se aplikacija Google Earth Pro kao i u prethodnim primjerima. Na slici 47 može se vidjeti da udaljenost između Lovca



i Mete nakon podešavanja iznosi približno 1100 metara. Budući da je ovaj iznos gotovo dvostruko veći od propisane udaljenosti i gotovo trostruko veći od udaljenosti koja se preporučuje, dolazi se do zaključka da je potrebno prilagoditi fazu podešavanja. Veća udaljenost nakon podešavanja dogodila se i u manevrima „visoki yo – yo“, „niski yo – yo“ i „bačvasti valjak sa zaostajanjem“. Na slici 9 je vidljivo u fazi podešavanja Lovac leti u pravcu 4 do 5 sekundi. Kako bi se smanjila udaljenost potrebno je smanjiti taj period na 3 do 4 sekunde ili čak 2 do 3 sekunde.



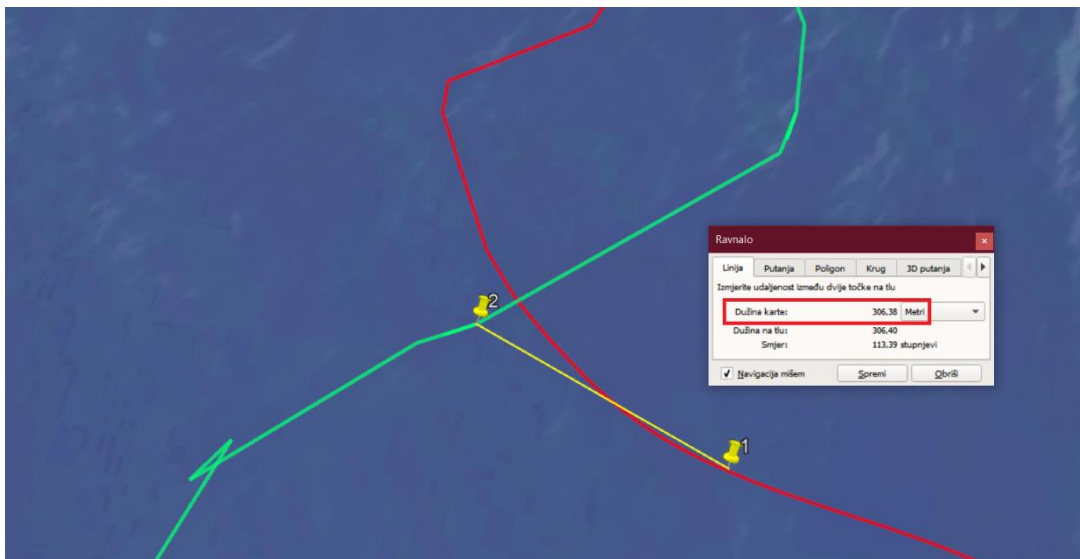
**Slika 47.** Udaljenost Mete i Lovca nakon podešavanja

Sljedeći parametar koji će biti obrađen je udaljenost Lovca i Mete u trenutku kada Lovac mijenja stranu zaokreta. Slika 48 podijeljena je u dva dijela. Gornja slika prikazuje odnos pozicija Lovca i Mete u trenutku promjene strane zaokreta, a donja slika pokazuje odnos pozicija nakon što je Lovac promijenio stranu zaokreta. Za određivanje udaljenosti Lovca i Mete u trenutku prve promjene strane zaokreta koristi se aplikacija Google Earth Pro i program GPS Track Editor. Najprije je potrebno odrediti koordinate Lovca i Mete u trenutku promjene strane zaokreta pomoću programa i zatim u aplikacija postaviti točke s istim tim koordinatama i odrediti udaljenost između njih. Slika 49 prikazuje da je udaljenost Lovca i Mete u trenutku kada Lovac mijenja stranu zaokreta približno 300 metara. Točka 1 prikazuje poziciju Lovca, a točka 2 poziciju Mete. Kao što je opisano u poglavlju 4.4.3. ova udaljenost može varirati i ovisi o procjeni pilota. Cilj Lovca je da se zadrži u zadnjoj sferi Mete, odnosno da se ne dovede u uvjete obrambenog BFM-a. To će postići tako da ima manji polumjer zaokreta od Mete i pravovremenom promjenom strane zaokreta.



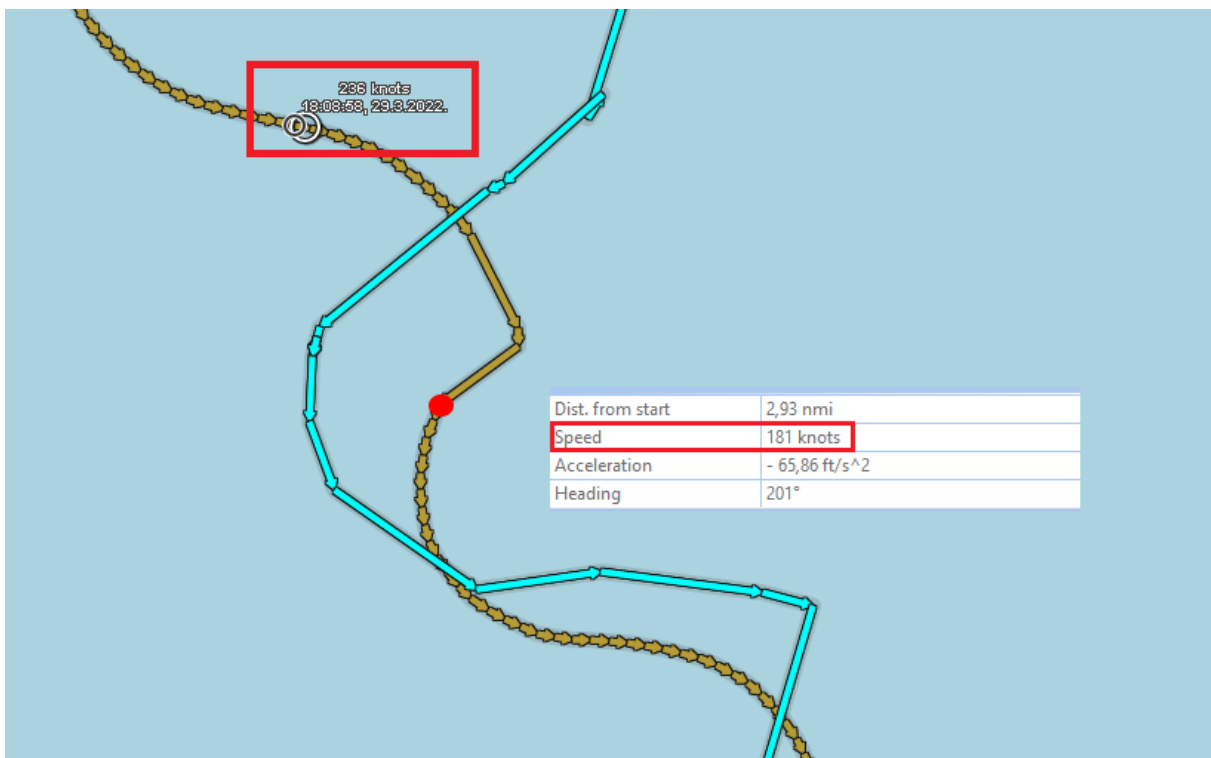


Slika 48. Odnos pozicija Lovca i Mete u trenutku promjene strane zaokreta



Slika 49. Udaljenost Lovca i Mete u trenutku promjene strane zaokreta

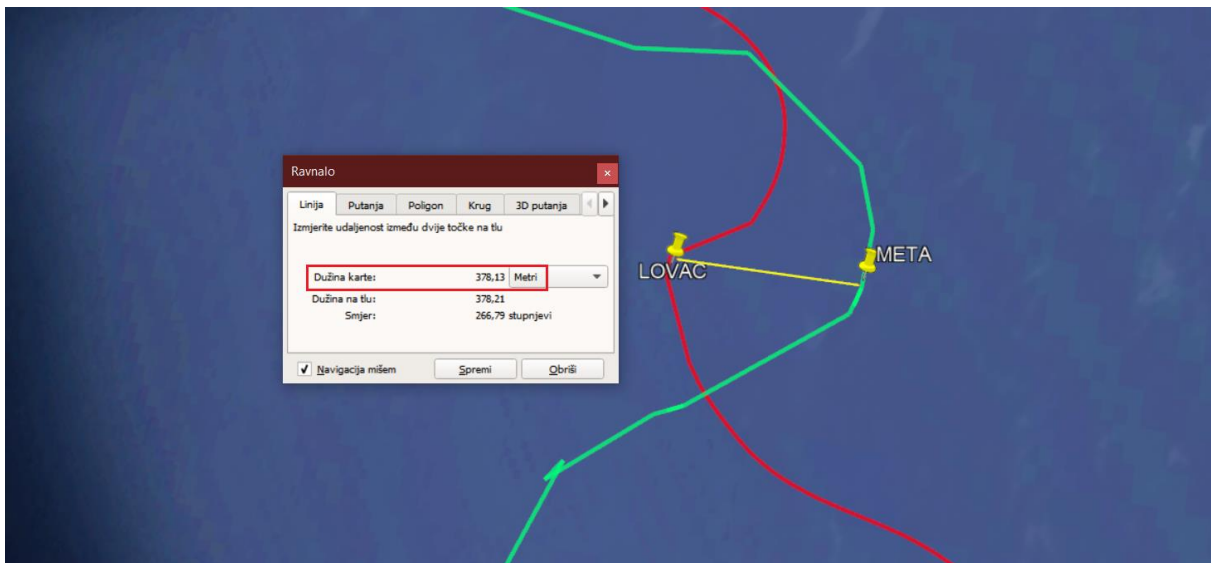
Sljedeći parametar koji će biti obrađen je smanjenje brzine aviona kroz jedan zaokret. Poznato je da i Lovac i Meta prije uvođenja u manevar održavaju indiciranu brzinu 210 kt što odgovara stvarnoj brzini od približno 255 kt. Kako je opisano u tehnici izvođenja manevra, Lovcu je dozvoljeno smanjiti postavku snage motora na 10 PSI kako bi stekao prednost nad Metom i smanjio polumjer zaokreta. Za provjeru gubitka brzine tijekom jednog zaokreta koristi se program *GPS Track Editor*. Zbog preciznosti mjerenja uzimat će se podaci iz programa dobivena GPS mjerenjem. Prema dobivenim GPS mjerenjima na slici 50 brzina Lovca prije promjene strane zaokreta iznosi 236 kt, a brzina nakon jednog zaokreta, odnosno prije druge promjene strane zaokreta 181 kt. Ovi podaci dovode do zaključka da se tijekom jednog zaokreta brzina smanji za 55 kt. Ako se uzme tolerancija od 10 kt dobije se raspon promjene brzine od 45 do 65 kt. Ovaj podatak je bitan zbog toga što u manevaru dolazi do poprilično velikog smanjenja brzine. Budući da je kutna brzina zrakoplova 205 kt, piloti moraju obratiti pozornost da iznad brzine od 205 kt moraju kontrolirano postavljati opterećenje jer postoji mogućnost preopterećenja aviona, a ispod te brzine postoji mogućnost sloma uzgona.



**Slika 50.** Promjena brzine kroz jedan zaokret

Sljedeći parametar koji će biti analiziran je udaljenost Lovca i Mete u samom manevaru. Prema geometriji manevra udaljenost Lovca i Mete bi trebala iznositi 300 metara. Za provjeru udaljenosti koristi se aplikacija Google Earth pro. Na slici 51

prikazane su pozicije Lovca i Mete nakon prvog zaokreta, odnosno prije druge promjene strane zaokreta. Prema dobivenim GPS mjerenjima udaljenost Lovca i Mete iznosi približno 375 metara što je približno 25 % veća udaljenost od propisane. Do odstupanja može doći iz više razloga. Druga promjena strane zaokreta je povezana s prvom promjenom strane zaokreta. Ako se urani ili zakasni s prvom promjenom strane zaokreta onda će to utjecati i na međusobnu udaljenost Lovca i Mete prije druge promjene strane zaokreta. Cilj ove analize je pokušati približno točno odrediti trenutak prve promjene strane zaokreta kako bi učenicima letačima u pripremi za let bilo potpuno jasno kako ovaj manevar zapravo izgleda.



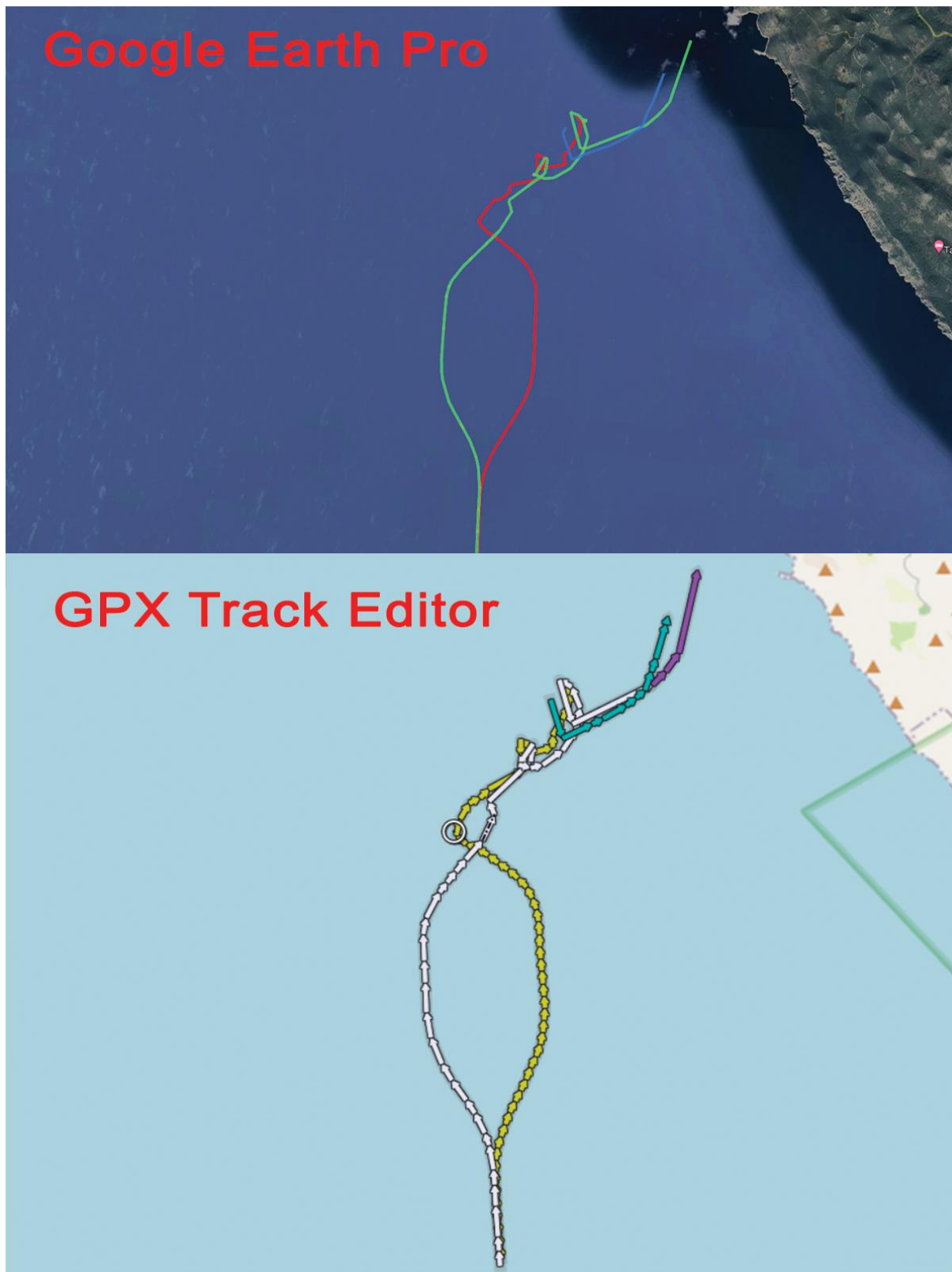
**Slika 51.** Udaljenost Lovca i Mete prije druge promjene strane zaokreta

U ovom poglavlju dobiveno je da avion kroz jedan zaokret smanji brzinu približno 55 kt što je za Pilatus PC – 9M koji ima motor od 950 konjskih snaga dovoljno za izvođenje dvije promjene strane zaokreta prije gubitka ukupne energije zrakoplova. Budući da je Pilatus PC – 9M zrakoplov s turboprop motorom, ovaj manevar predstavlja maksimalno iskorištavanje mogućnosti zrakoplova i za potrebe obuke učenika letača u Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu je dovoljan za osnovno uvježbavanje ovog manevra.

#### 5.4.5. Analiza manevra „škare s rotacijom“

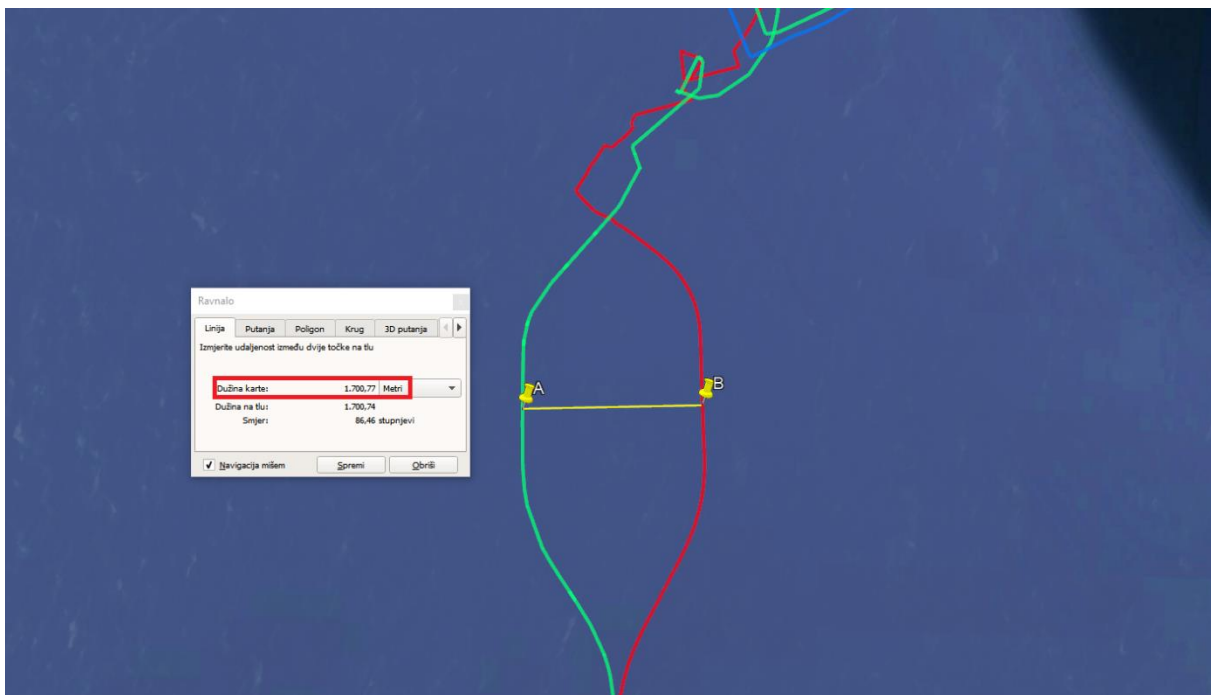
Manevar „škare s rotacijom“ je kompleksan manevar u kojemu je bitno pravilno procijeniti trenutak postavljanja nagiba i izvođenja bačvastog valjka. Dobivena GPS mjerenja nisu optimalna i na slici 52 koja prikazuje putanje Lovca i Mete tijekom izvođenja ovog manevra vidljivo je da su dobivena GPS mjerenja isprekidana. Zbog dobivenih GPS mjerenja ne postoji mogućnost preciznog određivanja parametara.

tijekom izvođenja ovog manevra. U ovome poglavlju bit će iskorišteni i obrađeni GPS podaci do trenutka kada su počeli prekidati.



**Slika 52.** Putanje leta Lovca i Mete u manevru "škare s rotacijom"

Na slici 52 vidljivo je da su GPS mjerenja iskoristiva do trenutka presijecanja putanja Lovca i Mete. Prvi parametar koji će biti obrađen je međusobna udaljenost Lovca i Mete nakon podešavanja za izvođenje manevra. Kao što je već opisano, podešavanje se izvodi na isti način kao i u prethodnim manevrima iz primaknutog postroja. Udaljenost Lovca i Mete nakon podešavanja trebala bi iznositi približno 900 metara. Za izračun udaljenosti Lovca i Mete koristi se aplikacija Google Earth Pro kao i u prethodnim manevrima. Slika 53 prikazuje da međusobna udaljenost Lovca i Mete iznosi približno 1700 metara što je gotovo dvostruko više od proračuna prikazanog na slikama 21 i 22. U prethodno analiziranim manevrima nailazilo se na jednako odstupanje. Na slici 53 vidljivo je da su Lovac i Meta nakon početnog skretanja za  $30^\circ$  letjeli u tom kursu određeni period. Budući da Lovac i Meta u tom periodu lete prosječnom brzinom od približno 110 metara po sekundi taj period pravocrtnog leta bi trebao biti od 3 do 4 sekunde uzimajući u obzir da se Lovac i Meta udaljavaju jedan od drugog i tijekom vraćanja u prvotni pravac leta. Na slici 53 točka A predstavlja poziciju Mete, a točka B poziciju Lovca u jednakom vremenu.

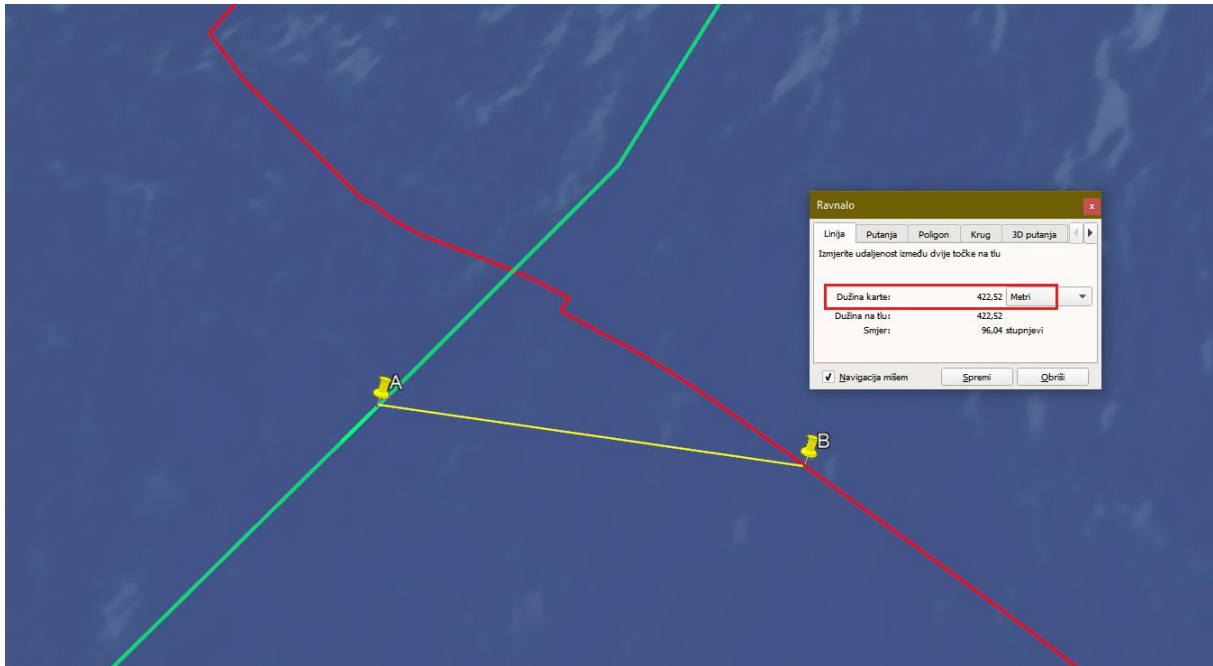


**Slika 53.** Udaljenost Lovca i Mete nakon podešavanja

Sljedeći parametar koji će biti obrađen je udaljenost Lovca od Mete u trenutku prevođenja u penjanje i izvođenja manevra „poluvaljka“. Za proračun udaljenosti bit će korištena aplikacija Google Earth Pro i program GPS Track Editor. Program GPS Track Editor je nužan za određivanje koordinata Lovca i Mete u trenutku uvođenja u penjanje. Dobivene koordinate se zatim upisuju u aplikaciju Google Earth pro i



pomoću alata za mjerenje dobiti će se precizna udaljenost. Na slici 54 prikazana je izmjerena udaljenost Lovca i Mete i ona iznosi približno 420 metara. Ova udaljenost je optimalna za uvođenje u penjanje i preporučuje se da učenici letači koriste ovu udaljenost za početak penjanja. Na slici 55 prikazana je vizura i međusoban odnos pozicija Lovca i Mete u trenutku početka penjanja.



**Slika 54.** Udaljenost Lovca i Mete u trenutku početka penjanja



**Slika 55.** Vizura za početak penjanja

Sljedeći parametar koji će biti obrađen je razlika u visinama Lovca i Mete u trenutku kada se Lovac nalazi u gornjoj točki manevra. Ovaj parametar nije nigdje

proračunat i moći će poslužiti učenicima letačima kao okvirna vrijednost tijekom obuke. Ako se uzme u obzir da su Lovac i Meta prije uvođenja Lovca u penjanje letjeli na istoj visini moguće je proračunati koliko je točno Lovac popeo tijekom manevra. Za proračun visine koristi se program GPS Track Editor. Na slici 56 vidljivo je da početna visina Lovca prije uvođenja u penjanje iznosi približno 11 000 ft, a da visina nakon 7 sekundi penjanja u gornjoj točki manevra iznosi približno 12 100 ft. Dobivena razlika u visinama iznosi 1100 ft. Ako se uzme u obzir odstupanje od 10 % može se zaključiti da Lovac tijekom penjanja promijeni visinu za približno 1000 do 1200 ft. Ovaj iznos je ujedno i razlika u visinama Lovca i Mete jer Meta leti na jednakoj visini kao i Lovac prije nego krene penjati. U gornjoj točki manevra Lovac izvodi manevar „poluvaljak“ i usmjerava zamišljeni vektor sile uzgona prema Meti, a Meta u tom trenutku uvodi u penjanje i izvodi bačvasti valjak. Zbog nedovoljno preciznih GPS podataka nije moguće proračunati ostale parametre ovog manevra te nije moguće doći do zaključka koje parametre treba podesiti kako bi ovaj manevar izgledao kako je to proračunato na zemlji.



**Slika 56.** Početna i visina Lovca u gornjoj točki manevra

## 6. ZAKLJUČAK

Analizom dobivenih GPS mjerenja iz praktičnog leta zaključuje se da mjerni uređaji odnosno kamere korištene pri letu daju precizne podatke o lokaciji, brzini i visini objekta odnosno aviona. Pri analizi temeljnih manevara bliske zračne borbe dolazi se do zaključka da pojedini dijelovi manevra odstupaju od proračuna.

Usporedbom manevra „visoki yo – yo“ iz praktičnog leta s proračunom dolazi se do rezultata da je prilikom podešavanja za izvođenje samog manevra udaljenost između zrakoplova za približno 40% veća. Budući da su se piloti prilikom izvođenja leta pridržavali propisanih normi, dolazi se do zaključka da je potrebno podesiti kutno skretanje i vrijeme penjanja prilikom namještanja za izvođenje manevra.

Izvođenje temeljnih manevara bliske zračne borbe oslanja se na procjenu i tehniku letenja samih pilota i postoji velika mogućnost da se svaki manevar razlikuje i odstupa, ali dobivena GPS mjerenja pokazuju da je moguće odrediti norme za izvođenje manevara što omogućuje da svaki manevar izgleda približno jednako.

GPS mjerenja tijekom izvođenja manevra „niski yo – yo“ pokazuju da je Lovcu bilo dovoljno smanjiti visinu za 600 ft kako bi prikupio dovoljno energije za približavanje Meti i dolazak u kontrolnu poziciju. Ova vrijednost je informativnog karaktera i može poslužiti učenicima letačima prilikom pripreme za let. Kolika će biti promjena visine ovisi o udaljenosti između Lovca i Mete. Cilj Lovca je da se ne stvori prevelika udaljenost između njega i Mete te da što prije dođe u kontrolnu poziciju. Također je dobiveno da proračuni približno odgovaraju GPS mjerenjima i da je moguće odrediti norme kako bi svako izvođenje ovog manevra bilo poprilično jednako.

Analizirajući GPS mjerenja iz praktičnog leta pri izvođenju manevra „bačvasti valjak sa zaostajanjem“ vidljivo je da putanje leta oba aviona odgovaraju skicama manevra. U ovome radu analizirani su podaci koji nisu propisani i dobiveni rezultati poslužit će kao okvirne vrijednosti tijekom obuke učenika letača.

Analizom manevra „škare u horizontalnoj ravnini“ dobiveno je da avion kroz jedan zaokret smanji brzinu približno 55 kt što je za Pilatus PC – 9M koji ima motor od 950 konjskih snaga dovoljno za izvođenje dvije do tri promjene strane zaokreta prije gubitka ukupne energije zrakoplova. Budući da je Pilatus PC – 9M zrakoplov s turboprop motorom, ovaj manevar predstavlja maksimalno iskorištavanje mogućnosti zrakoplova i za potrebe obuke učenika letača u Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu je dovoljan za osnovno uvježbavanje ovog manevra.



Manevar „škare s rotacijom“ je kompleksan manevar u kojemu je bitno pravilno procijeniti trenutak postavljanja nagiba i izvođenja bačvastog valjka. Dobivena GPS mjerenja nisu iskoristiva jer mjerni uređaji nisu uspjeli zabilježiti precizne GPS podatke zbog promjena položaja zrakoplova u vertikalnoj ravnini. Zbog dobivenih GPS mjerenja ne postoji mogućnost preciznog određivanja parametara. Zaključak iz praktičnog leta je da je potrebno povećati propisanu udaljenost između zrakoplova pri podešavanju za izvođenje samog manevra zbog povećanja sigurnosti i vremena reakcije učenika letača. Naknadnim izvođenjem ovog manevra određeno je da će učenici letači prilikom podešavanja za izvođenje manevra letjeti najmanje 7 sekundi jedan od drugoga kako bi udaljenost prije izvođenja bila dovoljna za održavanje najvišeg stupnja sigurnosti.

## LITERATURA

- [1] Colić T. Proračun parametara za napadanje ciljeva na zemlji i njihova usporedba sa GPS mjerenjima. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2021. Preuzeto s: <https://repozitorij.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A2298> [Pristupljeno: 21. siječnja 2022.]
- [2] Aircraft Flight Manual, Switzerland: Pilatus Aircraft LTD, 1998.
- [3] OSRH. Općenito o HRZ-u. Preuzeto s: [http://www.osrh.hr/Data/HTML/HR/O%20NAMA/HRZ/20201709\\_Općenito\\_o\\_HRZ-u\\_mn/Općenito\\_o\\_HRZ-u\\_HR.html](http://www.osrh.hr/Data/HTML/HR/O%20NAMA/HRZ/20201709_Općenito_o_HRZ-u_mn/Općenito_o_HRZ-u_HR.html) [Pristupljeno: 25. siječnja 2022.]
- [4] T-38C introduction to fighter fundamentals IFF. Preuzeto s: <https://static.e-publishing.af.mil/production/1/aetc/publication/aetcttp11-1/aetcttp11-1.pdf> [Pristupljeno: 25. siječnja 2022.]
- [5] T-6 PRIMARY FLYING. Preuzeto s: <https://www.columbus.af.mil/Portals/39/documents/New%20Students/aetcman11-248.pd.pdf?ver=2019-01-14-165706-777> [Pristupljeno: 25. siječnja 2022.]
- [6] Shaw, R. L. Fighter Combat: Tactics and Maneuvering. Naval Institute Press, 1985.
- [7] »Telemetry Extractor for GoPro,« [Mrežno]. Preuzeto s: <https://goprotelemetryextractor.com/free/>. [Pristupljeno: 30. ožujka 2022.]
- [8] »GPX Editor,« [Mrežno]. Preuzeto s: <https://sourceforge.net/projects/gpxeditor/> [Pristupljeno: 30. ožujka 2022.]
- [9] »Aeronautical meteorology service SWL chart,« Croatia control, 29 3 2022. [Mrežno]. Preuzeto s: <https://met.crocontrol.hr/en/web/guest/swl-chart/chart-1>. [Pristupljeno: 29. ožujka 2022.]

## POPIS KRATICA

NATO	<i>North Atlantic Treaty Organisation</i>
UN	Ujedinjeni narodi
EU	Europska Unija
BFM	<i>Basic Fighter Maneuvers</i>
OBFM	<i>Offensive BFM</i>
DBFM	<i>Deffensive BFM</i>
WEZ	<i>Weapons envelope zone</i>
AA	<i>Aspect Angle</i>
HCA	<i>Heading Crossing Angle</i>
AON	<i>Angle Off Nose</i>
AOT	<i>Angle Off Tail</i>
TR	Turning room
TR	<i>Turn Circle</i>
FWC	<i>Fighting Wing Cone</i>
MCP	<i>Maximum Continuous Power</i>
$\Delta H$	Razlika u visinama Lovca i Mete
LS	Lateralna udaljenost između Lovca i Mete prije uvođenja u manevar
$V_m$	Brzina Mete
$V_{Lo}$	Početna brzina Lovca
$AA_N$	Aspektni kut prije uvođenja u napad
$N_M$	Opterećenje koje Meta drži u zaokretu
$AOT_M$	AOT u trenutku kada Meta uvodi u zaokret
$V_M$	Brzina Lovca u donjoj točki manevra
$R_Y$	Udaljenost između aviona prije penjanja Lovca
$AA_Y$	Aspektni kut početka penjanja Lovca
$\alpha_Y$	Kut penjanja Lovca u manevru
$N_{MAX}$	Maksimalno opterećenje Lovca u manevru

AA <sub>P</sub>	Početni aspektni kut Lovca i Mete
AON <sub>P</sub>	Početni AON Lovca
n <sub>M</sub>	Opterećenje Mete u zaokretu (nagib 60°)
P <sub>M</sub>	Snaga potrebna za održavanje oštrog zaokreta
P <sub>L</sub>	Snaga koju Lovac održava tijekom manevra
AA <sub>U</sub>	Aspektni kut pod kojim Lovac vidi Metu u trenutku uvođenja u zaokret
n <sub>MAX</sub>	Najveća dopuštena brzina Lovca tijekom manevra.
V <sub>MAX</sub>	Najveća dopuštena brzina Lovca tijekom manevra
AA <sub>R</sub>	Aspektni kut za početak uvođenja u bačvasti valjak
LAB	<i>Line Abreast</i>
V <sub>MIN</sub>	Najmanja dozvoljena brzina Mete
N <sub>Mmax</sub>	Najveće dopušteno opterećenje Mete
P <sub>Mmin</sub>	Najmanja dopuštena snaga motora Mete
N <sub>Lmax</sub>	Najveće dopušteno opterećenje Lovca
P <sub>Lmin</sub>	Najmanja dopuštena snaga motora Lovca
V <sub>S</sub>	Horizontalna udaljenost između Lovca i Mete tijekom manevra.
R <sub>R</sub>	Udaljenost između zrakoplova prije uvođenja u bačvasti valjak
GPS	<i>Global Positioning System</i>
SWL	<i>Low altitude Significant Weather chart</i>
FL	Flight Level
r	Polumjer zaokreta
V	Stvarna brzina zrakoplova [m/s]
G	Ubrzanje Zemljine sile teže [m/s <sup>2</sup> ]
B	Poprečni nagib [°]
V <sub>S</sub>	Stvarna brzina zrakoplova kroz zrak
V <sub>i</sub>	Indicirana brzina zrakoplova
h	Visina u stopama
kn	Mjerna jedinica za brzinu - čvorovi

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> Krivulja praćenja s pretjecanjem – LEAD, [5].....	12
<b>Slika 2.</b> Čista krivulja praćenja – PURE, [5].....	13
<b>Slika 3.</b> Primjer aspektnog kuta i Heading Crossing kuta, [5] .....	14
<b>Slika 4.</b> Krivulja praćenja sa zaostajanjem – LAG, [5] .....	15
<b>Slika 5.</b> Primjer AOT-a i AON-a, [3].....	16
<b>Slika 6.</b> Kontrolna pozicija, [3].....	17
<b>Slika 7.</b> Fighting Wing Cone i Wedge postroji .....	19
<b>Slika 8.</b> Visoki yo-yo, [4].....	23
<b>Slika 9.</b> Geometrija i norme manevra visoki yo - yo.....	25
<b>Slika 10.</b> Prikaz 3 - 9 linije, [5] .....	28
<b>Slika 11.</b> Niski yo-yo, [4].....	28
<b>Slika 12.</b> Geometrija i norme manevra niski yo - yo .....	30
<b>Slika 13.</b> Bačvasti valjak sa zaostajanjem, [4] .....	32
<b>Slika 14.</b> Geometrija i norme manevra bačvastog valjka sa zaostajanjem.....	34
<b>Slika 15.</b> Podešavanje za manevar bačvastog valjka sa zaostajanjem .....	36
<b>Slika 16.</b> Škare u horizontalnoj ravnini, [4] .....	37
<b>Slika 17.</b> Istovremeni zaokret za 90° .....	38
<b>Slika 18.</b> Taktička formacija - LAB .....	38
<b>Slika 19.</b> Skica manevra škara u horizontalnoj ravnini .....	40
<b>Slika 20.</b> Prikaz manevra "škare s rotacijom", [4] .....	41
<b>Slika 21.</b> Uvođenje u manevar "škare s rotacijom" .....	42
<b>Slika 22.</b> Geometrija i norme manevra "škare s rotacijom" .....	44
<b>Slika 23.</b> Sučelje aplikacije GoPro Telemetry Extractor.....	45
<b>Slika 24.</b> Sučelje aplikacije GPX editor .....	46
<b>Slika 25.</b> SWL karta na dan 29.03.2022. u 15:00h UTC, [Cro Control] .....	47
<b>Slika 26.</b> Procedura odlaska .....	48
<b>Slika 27.</b> Manevar G-warm up.....	49
<b>Slika 28.</b> Udaljenost zrakoplova prije uvođenja u manevar. ....	50
<b>Slika 29.</b> Putanje aviona dobivene GPS mjerenjem .....	50
<b>Slika 30.</b> Razlika visina prije uvođenja u manevar.....	51
<b>Slika 31.</b> Aspektni kut Mete prije uvođenja u zaokret .....	52
<b>Slika 32.</b> Polumjer zaokreta Mete .....	53
<b>Slika 33.</b> Promjena visine Lovca u manevru "visoki yo-yo".....	54
<b>Slika 34.</b> Putanje Lovca i Mete u manevru "niski yo-yo" .....	55
<b>Slika 35.</b> Udaljenost zrakoplova prije uvođenja u manevar .....	56

<b>Slika 36.</b> Pravci leta prije uvođenja u zaokret.....	57
<b>Slika 37.</b> Pravci leta nakon zaokreta .....	57
<b>Slika 38.</b> Odnos položaja Lovca i Mete nakon zaokreta .....	58
<b>Slika 39.</b> Promjena visine Lovca kroz manevar .....	59
<b>Slika 40.</b> Odnos položaja Lovca i Mete u donjoj točki manevra .....	59
<b>Slika 41.</b> Odnos pozicija Lovca i Mete prije penjanja Lovca .....	60
<b>Slika 42.</b> Udaljenost i razlika u brzinama Lovca i Mete.....	61
<b>Slika 43.</b> Visina Lovca u gornjoj točki manevra .....	62
<b>Slika 44.</b> Odnos pozicija Lovca i Mete u gornjoj točki manevra .....	63
<b>Slika 45.</b> Putanje leta tijekom izvođenja manevra "bačvasti valjak sa zaostajanjem" .....	63
<b>Slika 46.</b> Putanje leta Lovca i Mete tijekom manevra "škare u horizontalnoj ravnini" .....	64
<b>Slika 47.</b> Udaljenost Mete i Lovca nakon podešavanja.....	65
<b>Slika 48.</b> Odnos pozicija Lovca i Mete u trenutku promjene strane zaokreta .....	66
<b>Slika 49.</b> Udaljenost Lovca i Mete u trenutku promjene strane zaokreta .....	66
<b>Slika 50.</b> Promjena brzine kroz jedan zaokret .....	67
<b>Slika 51.</b> Udaljenost Lovca i Mete prije druge promjene strane zaokreta .....	68
<b>Slika 52.</b> Putanje leta Lovca i Mete u manevru "škare s rotacijom" .....	69
<b>Slika 53.</b> Udaljenost Lovca i Mete nakon podešavanja.....	70
<b>Slika 54.</b> Udaljenost Lovca i Mete u trenutku početka penjanja.....	71
<b>Slika 55.</b> Vizura za početak penjanja .....	71
<b>Slika 56.</b> Početna i visina Lovca u gornjoj točki manevra .....	72

**POPIS FORMULA**

( 1 ).....48  
( 2 ).....52

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ diplomski rad \_\_\_\_\_  
(vrsta rada)  
isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/**diplomskog rada** pod naslovom **Proračun temeljnih manevara bliske zračne borbe za avion Pilatus PC-9M**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, \_\_20.04.2022\_\_



\_\_\_\_\_  
(ime i prezime, potpis)