

Metoda određivanja udaljenosti objekata prilikom presretanja u zraku

Bilandžić, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:828964>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Tomislav Bilandžić

**METODA ODREĐIVANJA UDALJENOSTI OBJEKATA PRILIKOM
PRESRETANJA U ZRAKU**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 13. travnja 2021.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6067

Pristupnik: **Tomislav Bilandžić (0135249271)**
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Metoda određivanja udaljenosti objekata prilikom presretanja u zraku**

Opis zadatka:

U uvodu opisati proces presretanja od zaprimanja zadaće presretanja do identifikacije i određivanja udaljenosti i samog presretanja. Navesti metode određivanja udaljenosti objekata u zraku. Računski odrediti udaljenost objekta u zraku. Proračun točnosti određivanja udaljenosti u različitim uvjetima. Opisati ograničavajuće faktore koji se koriste za proračun. Metode za neprecizno određivanje i metode za točnije određivanje udaljenosti. Računsko određivanje optimalne brzine prilaska u odnosu na udaljenost za različite tipove letjelica koje se presreću. Mogućnosti korištenja tehnologija za olakšavanje proračuna. Grafički prikazati vizure za vizualno određivanje udaljenosti.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

prof. dr. sc. Doris Novak

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**METODA ODREĐIVANJA UDALJENOSTI OBJEKATA PRILIKOM
PRESRETANJA U ZRAKU
METHOD FOR DETERMINING DISTANCES OF FLYING OBJECTS WHEN
INTERCEPTING AIRCRAFT**

Mentor: prof. dr. sc. Doris Novak

Student: univ.bacc.ing.aeronaut

Tomislav Bilandžić

JMBAG: 0135249271

Zagreb, siječanj 2021.

SAŽETAK

Presretanje je jedna od iznimno važnih zadaća koju obavljaju vojni piloti. Provedba te zadaće osigurava kontrolu i sigurnost zračnog prostora, a time i prevlast u zračnom prostoru. Za kvalitetu i brzinu presretanja važno je da su piloti upoznati s načinima određivanja udaljenosti objekta koji se presreće te sa mogućnostima zrakoplova na kojem lete. Za uspješno obavljanje te zadaće ključnu ulogu čine radari, iskustvo kontrolora za navođenje kao i sam proces od otkrivanja mete te samog pretjecanja. Tema ovog diplomskog rada je postavljanje jednadžbi i izračunavanje udaljenosti objekata u zraku, u ovisnosti o različitim podacima koje pilot može imati. Sve korištene jednadžbe su eksperimentalno ispitane i provjerena im je točnost uz pomoć korištenja GPS uređaja, mjereći podatke prilikom presretanja i kod lovca i kod mete. Dodatna proračunata stavka je i optimalna brzina prilaska lovca. Zaključak je da proračun udaljenosti ovisi ponajviše o udaljenosti mete i lovca, a što je veća udaljenost time je i pogreška podatka, kojeg kontrolor daje pilotu, potencijalno veća.

KLJUČNE RIJEČI:

Presretanje ciljeva u zraku; udaljenost; meta; lovac; radar; kontrolor; brzina leta; zrakoplovno navođenje

SUMMARY

Intercepting is a very important function done by military pilots. The implementation of this task assures control and safety of certain airspace and with that the land below it. Quality and swiftness of the intercepting process is assured with pilots being very well informed with methods of determining distance of the intercepting aircraft and with the limitations of their own. Alongside that radars, the experience of the military flight controller in charge and the process itself that includes everything from detecting threat to intercepting it play a huge role in the intercepting. This paper is made so the proper equations for determining distance of flying objects are made in correlation with the different information pilot can acquire during flight. All equations are experimentally assayed, and their accuracy confirmed while analyzing

data harvested from the GPS devices that were installed both in the fighter and the target. An extra data that has been calculated was the optimal fighter approach speed. Conclusion is that the calculation of the distance depends mostly on the distance between fighter and target, with that said, greater the distance, greater the inaccuracy of the data given by controller could be.

KEY WORDS:

Intercepting aircraft in flight; fighter; radar; controller; airspeed; air guidance

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Presretanje.....	3
2.1. Zemaljsko motrenje i navođenje.....	3
2.2. Vrste i načini presretanja.....	4
2.2.1. Geometrija presretanja.....	5
2.2.2. Metode prilaska meti.....	7
2.2.3. Vrste potjere.....	8
2.2.3.1. Potjera čistom krivuljom.....	8
2.2.3.2. Potjera uz pretjecanje.....	9
2.2.3.3. Potjera uz zaostajanje.....	10
2.2.4. Vrste presretanja.....	11
2.3. Komunikacija i prijenos podataka lovcu.....	12
3. Uloga radara u presretanju.....	14
3.1. Radar.....	14
3.2. Daljina motrenja.....	15
3.3. Ukupno vrijeme za presretanje.....	17
3.4. Ovisnost pokazivanja radara o položaju mete.....	22
4. Obuka pilota za presretanje.....	24
4.1. Obuka za presretanje na velikim i srednjim visinama.....	24
4.2. Obuka za presretanje na malim visinama.....	26
5. Utjecaj meteoroloških uvjeta na postupak presretanja.....	27
6. Proračun udaljenosti prilikom presretanja.....	29
6.1. Presretanje mete sustizanjem.....	29
6.2. Paralelno presretanje.....	31
6.3. Čeoni napad.....	33
6.4. Presretanje s boka.....	35
6.5. Presretanje iz zone očekivanja, patroliranja i slobodnog lova.....	37
7. Eksperimentalno određivanje udaljenosti u stvarnim uvjetima presretanja.....	43
7.1. Način snimanja i obrade GPS podataka.....	43
7.2. Određivanje udaljenosti u stvarnim uvjetima.....	46
7.2.1. Presretanje 1.....	47

7.2.2.	Presretanje 2	50
7.2.3.	Presretanje 3	52
7.2.4.	Presretanje 4	54
7.3.	Usporedba teorijskog izračuna i stvarne situacije.....	56
8.	Optimalna brzina prilaska	58
8.1.	Brzina prilaska zrakoplova PC-9M	58
8.2.	Brzina prilaska borbenog aviona	59
Literatura:.....		62
Popis kratica:		63
Popis slika:		65
Popis jednadžbi:		68

1. Uvod

Presretanje predstavlja jednu od temeljnih zadaća borbenog zrakoplovstva. Cilj presretanja je dovođenje vojnog pilota koji upravlja borbenim zrakoplovom (u daljnjem tekstu lovca) do određene mete u zračnom na što brži i što točniji način kako bi lovac mogao odraditi zadaću u optimalnom vremenu. Kako bi se ostvario taj cilj, prilikom presretanja pomažu instrumenti, prethodno znanje, obučenost i ponajviše podatci koje lovac može dobiti sa zemlje od strane zemaljskog radarskog motrenja i navođenja (u daljnjem tekstu ZMIN). U stvarnim uvjetima presretanje se izvodi borbenim zrakoplovima, no u svrhu obuke ili zadaća potpore koje ne uključuju mogućnost rušenja zrakoplova, presretanje mogu vršiti i vojni piloti u školskim avionima. Jedan od aviona na kojem se radi obuka presretanja i zadaće, kao što su pratnja civilnog zrakoplova koji nije prijatna na slijetanje, je školski turbomlazni avion Pilatus PC-9M u sklopu 392. eskadrole aviona Oružanih snaga Republike Hrvatske. Tim zrakoplovom rađena su presretanja za cilj mjerenja udaljenosti u stvarnoj situaciji.

Svrha rada „Metoda određivanja udaljenosti objekata prilikom presretanja u zraku“ je, kroz razradu dosadašnjih znanja o presretanju, definirati metodologiju određivanja točne i približne udaljenosti mete od lovca te preko mjerenja u stvarnim uvjetima usporediti ispravnost istih. Poznavanjem vrijednosti stvarnih udaljenosti između lovca i mete moguće je odrediti način i vrste presretanja te kada se može, a kada ne, potpuno pouzdati u podatke koji se dobiju od radarskog navođenja. Uz to ovaj rad daje uvid u to na koji način procijeniti udaljenost objekta u zraku u situaciji odsustva bilo kakve pomoći sa zemlje.

U drugom poglavlju definirani su pojmovi presretanja, načini presretanja kao i različite metode koje se mogu koristiti prilikom presretanja za maksimalnu uštedu vremena i resursa. Uz to je i kratko opisana komunikacija i način prijenosa podataka koji se vrši između lovca i kontrolora koji navodi tog lovca.

U trećem poglavlju prikazana je važnost uloge radara i radarskog navođenja prilikom presretanja. Naveden je izračun problematike u obliku udaljenosti i vremena potrebnog za otkrivanje o čemu ovisi vrijeme za presretanje. U ovom je poglavlju objašnjena i ovisnost položaja radara o izračunu udaljenosti.

Četvrto poglavlje daje uvid u obuku pilota za presretanje ciljeva u zraku i objašnjava važnost visoke obučenosti za izvođenje presretanja.

Nadalje, kratko je objašnjena ovisnost presretanja o meteorološkim uvjetima, ponajviše o vidljivosti.

U šestom poglavlju definirani su izrazi za određivanje udaljenosti za različite vrste presretanja opisanih u drugom poglavlju. Navedeni su primjeri ovisnosti udaljenosti o određenim manevrima kao i važnost točnosti proračuna prilikom presretanja.

U sedmom poglavlju prikazan je izračun udaljenosti u stvarnim uvjetima te usporedba sa podacima iz šestog poglavlja. Objašnjen je način mjerenja i obrade podataka. Ovo poglavlje potvrđuje nam ovisnost točnih proračuna udaljenosti u ukupnom vremenu presretanja.

Posljednje poglavlje prikazuje način izračun optimalnih brzina prilaska. Navedena su dva primjera na koji način se to može postaviti i izračunati.

2. Presretanje

Glavna zadaća borbenog zrakoplovstva je održavanje prevlasti unutar određenog zračnog prostora, što podrazumijeva provođenje zadaće nadziranja i zaštite u mirnodopsko vrijeme. Spoj kvalitetne obuke posade i adekvatne tehnike, koja uključuje avion i naoružanje aviona, stvara povoljne uvjete za uspješno presretanje objekata u zraku. Presretanje se sastoji od otkrivanja prijetnje od strane zemaljskog motrenja i navođenja, obavještavanja postrojbe koja vrši presretanje, primanja zadaće, let prema meti iz pripravnosti na zemlji ili pripravnosti iz zraka, dobivanje informacija o položaju objekta koji se presreće u letu (kurs, brzina, visina, radarska udaljenost), navođenje lovca po određenoj putanji koja ga dovodi do točke gdje vizualno može uočiti objekt, prilaženje objektu, identifikacija, inspekcija, praćenje, komunikacija, odrađivanje misije po zapovijedi bilo to rušenje, ispraćaj odnosno skretanje i vođenje objekta prema određenoj poziciji ili napuštanje objekta koji se presretao, slijetanje i radnje nakon slijetanja, izvješće.

2.1. Zemaljsko motrenje i navođenje

Postrojba zemaljskog motrenja i navođenja (ZMIN), predstavlja postrojbu koja koristeći radare nadzire zračni prostor odnosno motri zračni prostor elektroničkim sredstvima u svrhu otkrivanja neprijateljskih letjelica na što je moguće većoj udaljenosti od područja koje se brani u svrhu pravovremenog djelovanja u slučaju prijetnje. ZMIN je opskrbljen primarnim radarom velikog, srednjeg i malog dometa koji je u stanju otkriti potencijalnu prijetnju u zraku, odrediti njen položaj, udaljenost, smjer kretanja i brzinu. Također ZMIN je opremljen sekundarnim radarom koji pomoću transpondera koji se nalazi u letjelici može dobiti podatke o samoj letjelici, brzini, visini, udaljenosti u ovisnosti o drugim letjelicama i slično s tim da identifikacija preko sekundarnog radara funkcionira samo ako je uključen transponder u samom zrakoplovu. To se koristi prilikom kontrole zračnog prometa u standardnim uvjetima, ali može biti važan čimbenik u uzbunjivanju postrojbe ZMIN jer preko njega lovac može, kodovima koji su definirani od strane civilne agencije ICAO, javiti potencijalnu prijetnju unutar aviona, na primjer otmica. [1]

2.2. Vrste i načini presretanja

S obzirom na korištenje radarskih sustava i navođenje, presretanje možemo podijeliti na:

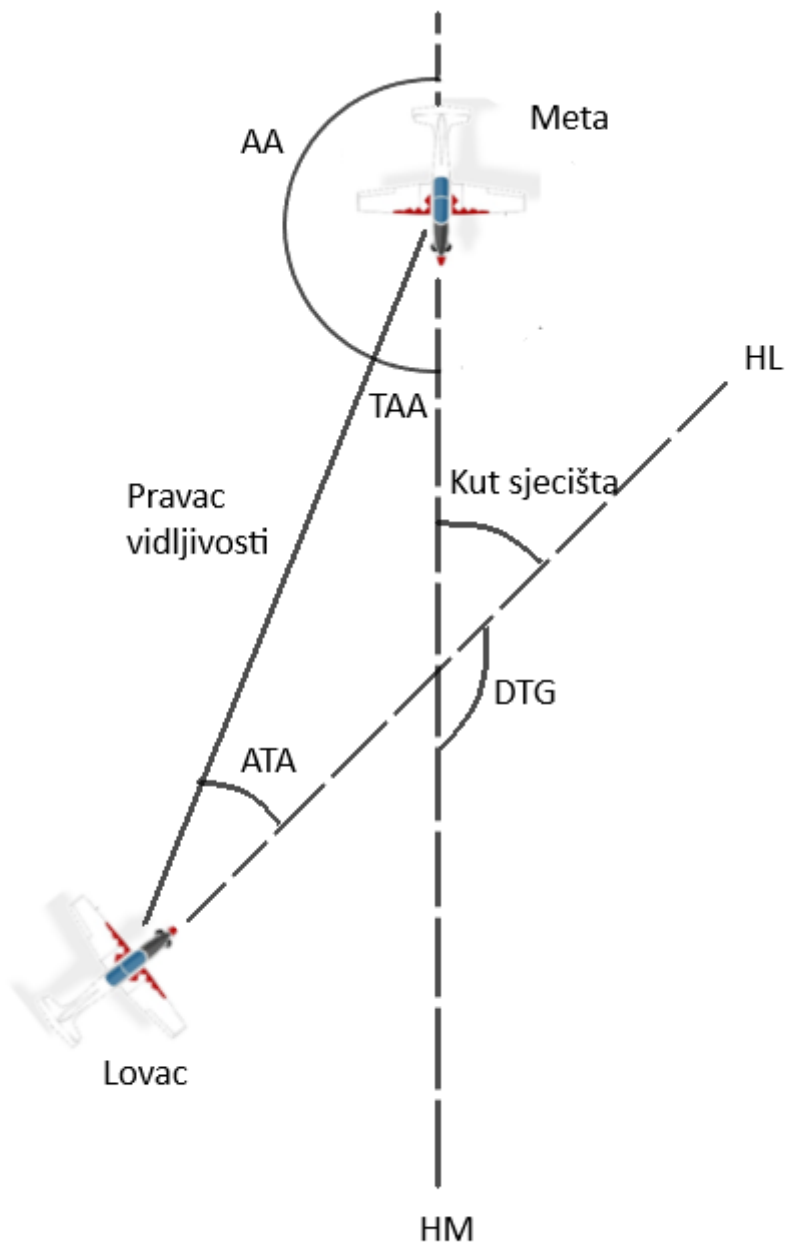
1. Presretanje sa navođenjem ovlaštenih vojnih kontrolora
2. Presretanje sa samostalnim navođenjem
3. Kombinirano navođenje korištenjem obje prethodno navedene metode

Presretanje sa navođenjem vojnog kontrolora je najčešći oblik presretanja gdje vojni kontrolor s podacima koje dobije od zemaljskih radara (primarnih ili sekundarnih) navodi lovca do mete. U tom slučaju kontrolor bira metodu kojom se presreće.

Presretanje samostalnim navođenjem podrazumijeva samostalno navođenje do mete kao i određivanje vrste presretanja od strane lovca, a ukoliko je potrebno kontrolor nadzire i pruža potporu sa zemlje.

Za odabir vrste presretanja potrebno je definirati geometriju presretanja, načine prilaska meti i načine potjere. [1]

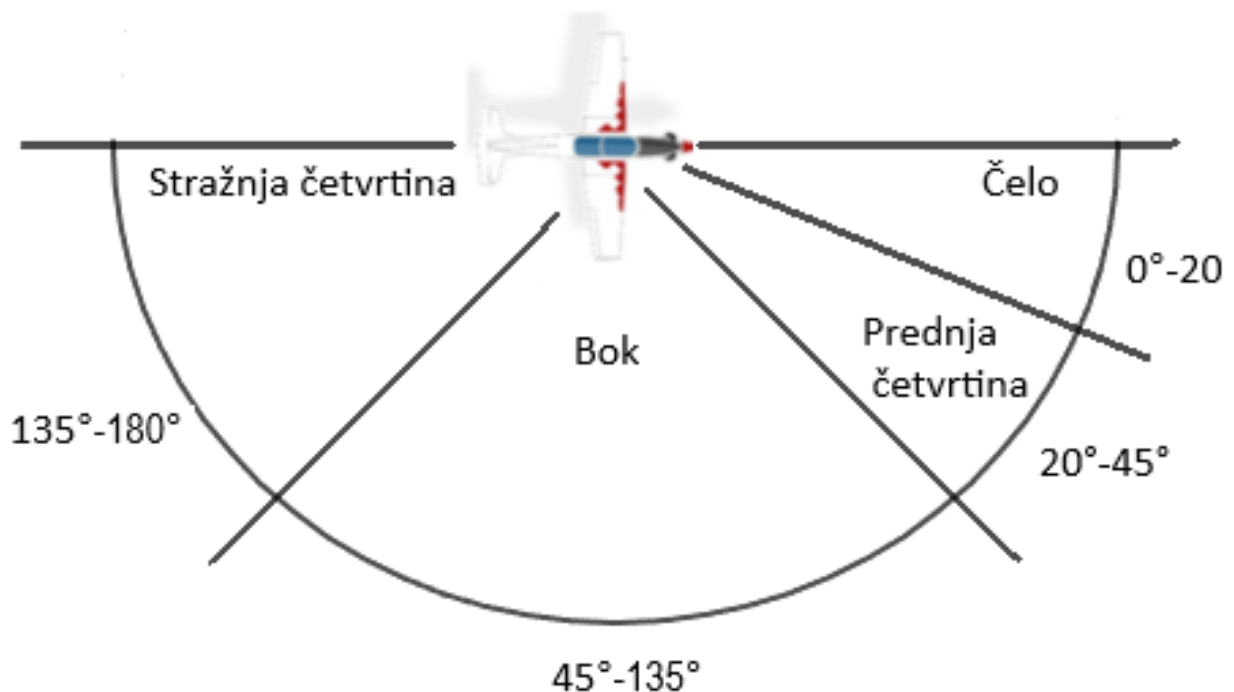
2.2.1. Geometrija presretanja



Slika 1. Kutovi presretanja [2]

Na slici 1. su prikazani nazivi kutova prilikom presretanja. O ovim kutovima ovisi geometrija presretanja, a samim time i pozicijska prednost nad metom koja se presreće. Prilikom presretanja važno je odrediti stupanj opasnosti mete. Ako je stupanj opasnosti mete velik (što podrazumijeva metu koju nije moguće identificirati u izvanrednom stanju ili mete za

koju se ima informacija da je neprijateljska, bilo to obavještajnim putevima ili slično) i meta ima HM (*Heading Mete* – kurs mete) usmjeren prema nekom strateški važnom cilju, lovcu je u interesu da TAA (eng. *Target Aspect Angle* – kut od kursa mete do pravca vidljivosti lovca) bude što manji jer time se dovodi u položaj za ispaljenje rakete. Što je TAA manji to je mogućnost djelovanja lovca u ovom slučaju veća. Ako procijenjena opasnost mete nije velika ili ako je lovac ispalio raketu i smanjio domet, cilj lovca će biti maksimalno povećanje kuta TAA i dovođenje aviona u stražnju četvrtinu mete također zbog povoljnije pozicije za djelovanje. Presretanja civilnih aviona se izvode najčešće iz pozicije gdje je $TAA = 135^\circ - 180^\circ$.



Slika 2. Nazivi hemisfera prilikom presretanja [2]

Na slici 2. su prikazani nazivi hemisfera aviona (nazivi se koriste i za metu i za lovca). Standardna presretanja se izvode iz stražnje četvrtine mete no, ovisno o situaciji i stupnju procjene rizika mete, može se događati iz bilo koje od prikazanih sfera.

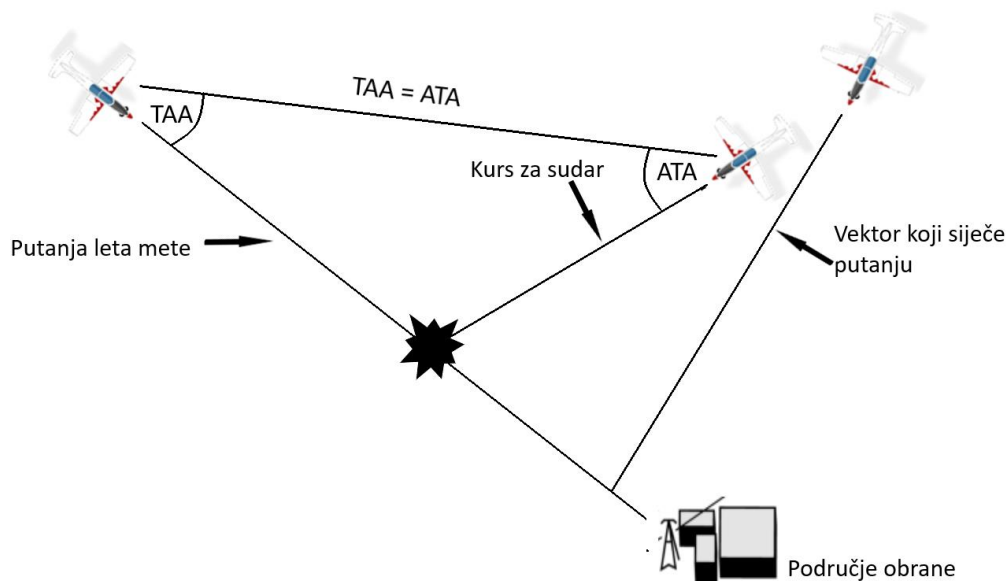
2.2.2. Metode prilaska meti

Postoje dvije primarne metode koje lovac može koristiti za samostalan prilazak meti a to su:

- Uspostavljanje vektora koji siječe putanju mete
- Uspostavljanje kursa za sudar

Vektor koji siječe putanju postavlja lovca na put između mete i točke koju on brani te vektor koji će omogućiti maksimalnu brzinu prilaza.

Kada su kut pod kojim lovac vidi metu i kut pod kojim meta vidi lovca jednaki promjenom udaljenosti tada je uspostavljen kurs za sudar. U situaciji jednakih brzina, dva kuta će biti jednaka, ali će imati suprotan smjer. [2]



Slika 3. Kurs za sudar [2]

2.2.3. Vrste potjere

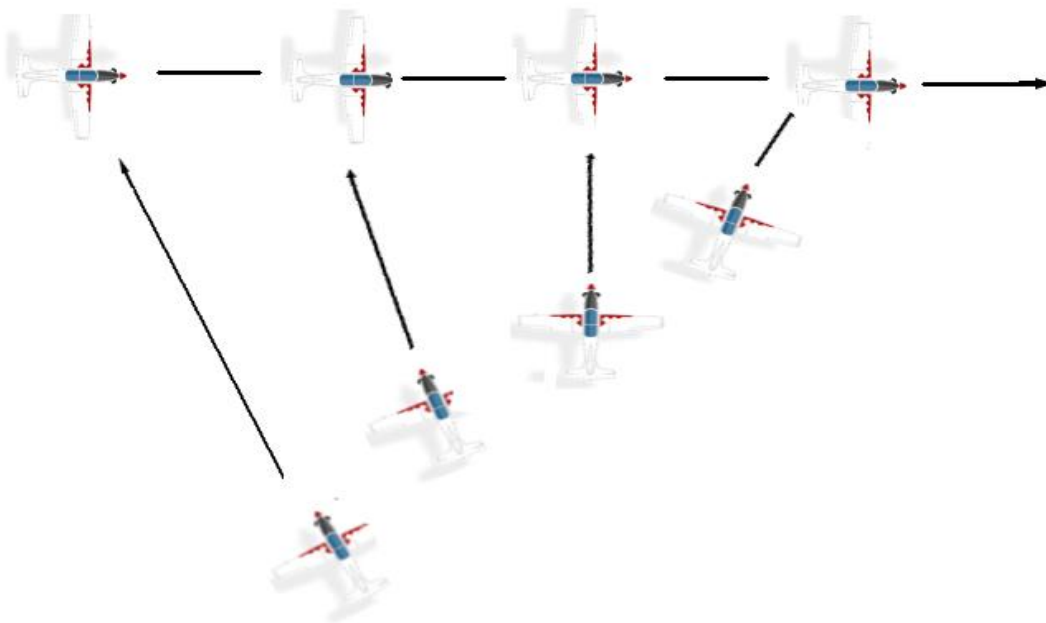
Postoje tri vrste potjere pri presretanju:

1. Potjera čistom krivuljom
2. Potjera uz pretjecanje
3. Potjera uz zaostajanje

Potjera za razliku od presretanja predstavlja samo način prilaska meti odnosno smjer HL (*Heading Lovca* – kurs lovca) u odnosu na HM, a potjera je sastavni dio svakog presretanja.

2.2.3.1. Potjera čistom krivuljom

Čista krivulja predstavlja primarni način potjere za dolazak u stražnju hemisferu mete. Ona se događa kada lovac konstantno okreće nos aviona direktno prema meti. Ovisno o početnoj geometriji, smanjenjem udaljenosti skretanja postaju sve agresivnija da bi se došlo u poziciju iza mete. Čista krivulja omogućava lovcu da dođe u poziciju u kojoj je meti teže vizualno uočiti lovca.



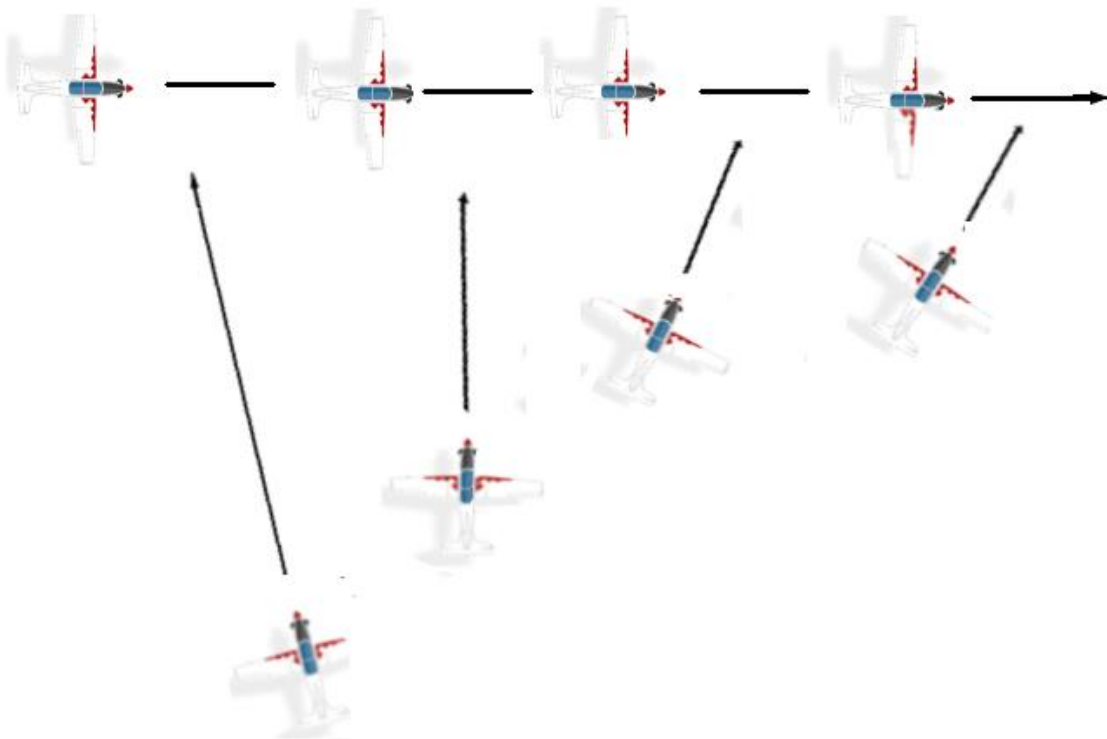
Slika 4. Geometrija potjere čistom krivuljom [2]

2.2.3.2. Potjera uz pretjecanje

Prilikom potjere uz pretjecanje, lovac postavlja nos aviona ispred mete. Na taj način osigurava se prilaz za prethodno navedeni kurs za sudar.

Potjera uz pretjecanje može se koristiti za:

- Dolazak u poziciju ispred mete gdje je moguće ispaliti raketu
- Povećati tempo prilaza i smanjiti udaljenost
- Dovedi se u situaciju za djelovanje po meti iz topa [2]



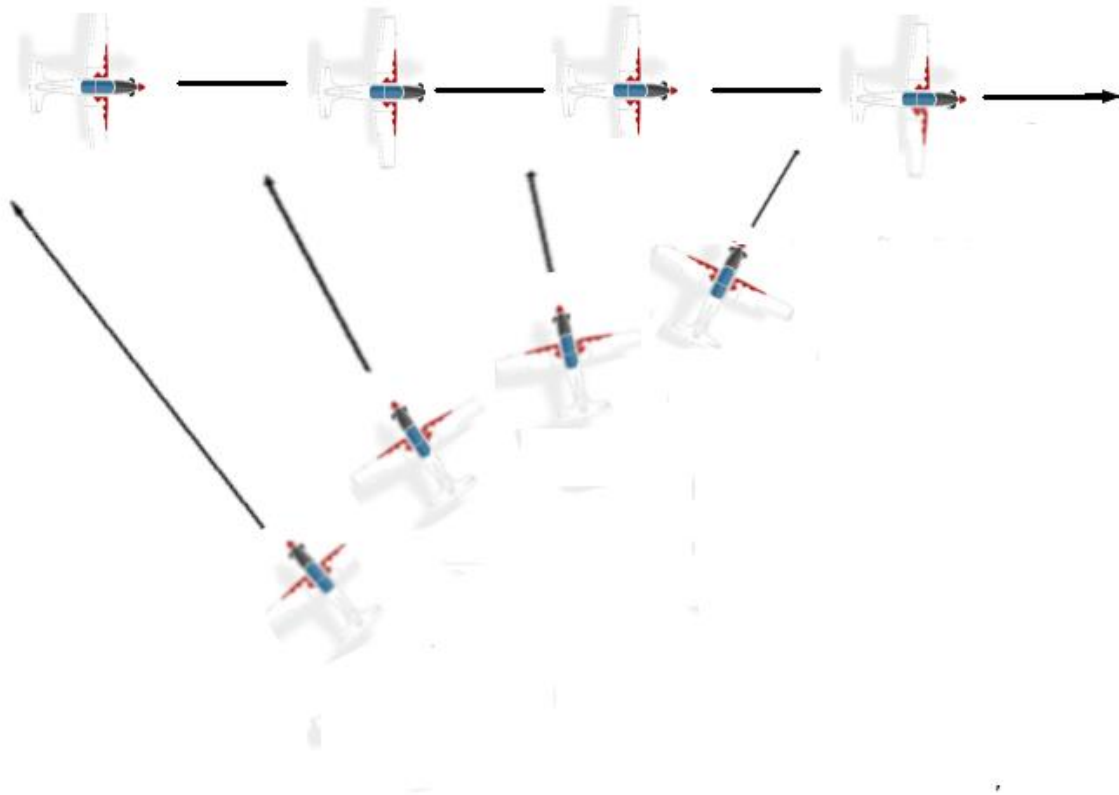
Slika 5. Geometrija potjere uz pretjecanje [2]

2.2.3.3. Potjera uz zaostajanje

Kod potjere uz zaostajanje lovac postavlja nos iza mete što mu omogućuje dolazak na određenu udaljenost iza mete.

Potjera uz zaostajanje se koristi za:

- Dolazak na veću udaljenost iza mete koja omogućuje djelovanje raketom na metu
- Smanjenje tempa prilaza i povećanje udaljenosti [2]



Slika 6. Geometrija potjere uz zaostajanje [2]

2.2.4. Vrste presretanja

Vrste presretanja se dijele na:

- Presretanje mete sustizanjem
- Paralelno presretanje
- Čeoni napad
- Presretanje s boka ili 90° presretanje
- Presretanje iz zone očekivanja/patroliranja/slobodnog lova

Presretanje mete sustizanjem se izvodi ako se meta nalazi između lovca i objekta koji se štiti ili u slučaju kad meta odlazi od lovca. Jedini način za izvesti ovo presretanje je dolazak iz stražnje hemisfere mete do same mete povećanjem brzine.

Paralelno presretanje se koristi kada se meta nalazi točno ispred samog lovca odnosno kada je kurs mete za 180° u odnosu na kurs lovca. Metoda presretanja se izvodi na način da se lovac dovede u određenu razliku visine s metom te u određenu horizontalnu separaciju. Nakon što meta i lovac prođu paralelno jedan od drugog, lovac izvodi manevar i prelazi u model presretanja sa sustizanjem.

Čeoni napad izvodi se na način da lovac dolazi iz prednje hemisfere aviona od 20° do 45° u odnosu na let mete. Ovaj način se najčešće koristi u slučaju potrebe lakog djelovanja po meti bilo topom ili raketom i u slučaju potrebe za brzom identifikacijom. Način potjere kod ove metode je najčešće čistom krivuljom jer omogućava konstantno praćenje mete tokom manevra i dovodi borbeni avion u stražnju hemisferu nakon manevra.

Presretanje s boka ili 90° presretanje je presretanje kada se meta nalazi bočno od lovca i lovac dolazi na metu pod 90° te nakon toga ide u presretanje sustizanjem.

Presretanje iz zone očekivanja/patroliranja/slobodnog lova se koristi kada lovac mora štiti određeno područje. Iznad tog područja lovac uspostavi zonu i ako meta uđe u zonu presretanja lovac proizvoljno presreće metu. Važno je napomenuti da lovac u zoni patroliranja najčešće presreće iz nadvišenja (za razliku od prethodnih slučajeva gdje se presretanja vrše iz sniženja) zbog energetske prednosti u slučaju potrebe za sukobom. [1]

2.3. Komunikacija i prijenos podataka lovcu

Komunikacija unutar Oružanih snaga Republike Hrvatske (OSRH) prilikom presretanja temelji se na jednoj od metoda koja se koristi od strane NATO saveza. Sve metode komunikacije prilikom presretanja nisu strogo definirane nego su objašnjene u različitim udžbenicima te su dane na korištenje svim saveznicima da ih oni mogu prilagoditi sebi. Generalno postoje dvije vrste komunikacije, komunikacija opisom i komunikacija zapovijedima. Komunikacija opisom omogućuje lovcu da nakon dobivanja podataka o meti sam odluči o načinu presretanja dok prilikom komunikacije zapovijedima kontrolor daje lovcu informacije o meti i daje mu zapovijedi za način prilaska meti. Oba načina komunikacije koriste iste metode, a to su:

- BRAA (*Bearing* – smjer prema meti, *Range* – radijus/udaljenost, *Altitude* – visina, *Aspect* – HOT/COLD – da li meta ide prema ili od lovca)
- *Bullseye*
- Metoda kazaljke na satu
- Metoda azimuta
- Metoda geografskog sjevera

Najčešći način komunikacije kontrolora i lovca je u formi BRAA. Ova se metoda koristi u specifičnim situacijama, ali nije efektivna u slučaju da ima više aviona koje se treba presresti. Uz to, ako ZMIN nema sve podatke o meti, recimo odsustvo podataka o visini kada meta leti na malim visinama i taj podatak s točnošću ne može biti izračunat, u takvom se slučaju taj prijenos podataka ne koristi. Primjer jedne poruke koju lovac može dobiti u formatu BRAA je: „SHARK 01, bogey BRAAA, 1-0-0, 15, ANGELS 10, HOT). ANGELS predstavlja visinu mete u Flight level formatu; npr. ANGELS 10 znači Flight level 100 odnosno 10000 ft.

U slučaju u kojem je više aviona u zračnom prostoru odnosno više lovaca koji moraju presresti jedan ili više aviona, za komunikaciju i prijenos podataka o metama koristi se metoda zvana *Bullseye*. *Bullseye* je točka u prostoru od koje se lovcima daje magnetni sjever, udaljenost, visina i smjer mete koju traže. Ova metoda zahtjeva dodatne proračune lovca za definiranje udaljenosti od samog lovca.

Kada kontrolor ima samo određene podatke od primarnog radara, gdje se zna pozicija mete u odnosu na lovca, smjer kretanja i udaljenost koriste se druge, nepreciznije metode. Te

metode su metoda kazaljke na satu, metoda azimuta i metoda geografskog smjera. Sve tri metode zahtijevaju od lovca samostalne proračune udaljenosti. [1]

3. Uloga radara u presretanju

U ovom poglavlju će se definirati što su radari, na koji način funkcioniraju i njihova važnost udaljenosti za otkrivanje, ukupnog vremena koje je potrebno za presretanje od otkrivanja prijetnje do samog presretanja te ovisnost položaja mete o načinu presretanja u svrhu određivanja smislenosti različitih metoda za određivanje udaljenosti prilikom presretanja.

3.1. Radar

Radar (akronim od engl. *Radio Detection and Ranging*) je uređaj koji pomoću elektromagnetskih valova odredi položaj objekta u prostoru, njegovu udaljenost, smjer, visinu i brzinu. Ova definicija radara je zapravo definicija primarnog radara koji se najčešće koristi za vojna presretanja. Uz primarni radar postoji i sekundarni radar koji radi na principu slanja upita od samog radara i dobivanja odgovora od uređaja u zvanog transponder koji se nalazi u zrakoplovu. Sekundarni radar radi samo ako je uključen transponder u avionu i kao takav za ovo istraživanje ga nećemo puno spominjati. Svako sljedeće navođenje pojma radar odnosit će se na primarni radar. [3]

Radar se sastoji od antene, radioodašiljača, radioprijamnika i računala za obradu podataka. Princip rada radara je takav da radar preko mikrovalne antene šalje kratkotrajne električne impulse u uskom snopu u prostor. Električni impulsi se šalju otprilike 1000 puta u sekundi. Ti impulsi putuju brzinom svjetlosti i po dolasku na određenu prepreku se odbijaju i raspršuju na vrlo veliki broj manjih impulsa. S obzirom da se ti manji impulsi rasprše na sve strane, jedan dio njih vrati se i do prijamnika radara koji očitava te vraćene impulse, pojača ih, obradi i pomoću njih stvori sliku o objektu. Područje rada radara je od 10MHz do 100 GHz. [3]

3.2. Daljina motrenja

Vrijeme koje lovac ima za presretanje ovisi najviše o postrojbi ZMIN, a sposobnost postrojbe ZMIN ovisi o njevoj tehničkoj opremljenosti. Za različite tipove radara daljina uspješnog motrenja ovisi o elementima:

- Refleksna površina letjelice u zraku
- Visina leta i visina postavljanja radara
- Reljef

Daljina uspješnog motrenja može se predstaviti formulom:

$$D_0 = 4,11 \cdot K \cdot (\sqrt{h_a} + \sqrt{H_c}) [km] \quad (1)$$

gdje je:

D_0 – daljina otkrivanja [km]

4,11 – konstanta kojom je uračunat polumjer Zemlje i visina leta

K – koeficijent refleksne površine motrene letjelice (KRP)

h_a – visina radarske antene [m]

H_c – visina leta letjelice [m]

Za isti avion na istoj visini KRP motrene letjelice ovisi o obliku i tipu same letjelice (suvremeni borbeni zrakoplovi imaju vrlo mali koeficijent refleksne površine) i o snazi radara što znači za isti zrakoplov, radar koji ima manju snagu imati će u jednadžbi manji koeficijent refleksne površine dok će jači imati veći. [4]

Tablica 1. prikazuje ovisnost daljine otkrivanja o visini leta zrakoplova sa radarom postavljenim na visinu 100m koji otkriva 3 tipa letjelica: standardni civilni avion ($KRP(C_A) \approx 0.95$), borbeni avion 4. generacije ($KRP(C_{V4}) \approx 0.8$) i borbeni avion 5. generacije u „stealth modu“ ($KRP(C_{V5}) \approx 0.02$)

Tablica 1. Ovisnost daljine otkrivanja o visini leta i tipu letjelice

H_C [m]	D_{0A} [km]	D_{0V4} [km]	D_{0V5} [km]
100	78	65	1.65
250	100	84	2.12
500	126	106	2.66
1000	162	137	3.42
2000	213	179	4.5
4000	285	240	6

Iz tablice 1. se vidi da daljina otkrivanja uvelike ovisi o koeficijentu refleksne površine zrakoplova i za svrhe istraživanja u daljnjim proračunima, zrakoplov 5. generacije će se proučavati čisto za vizualne načine određivanja udaljenosti.

3.3. Ukupno vrijeme za presretanje

Ovisno o stanju pripravnosti, presretanje dijelimo na presretanje iz pripravnosti na zemlji i presretanje iz pripravnosti iz zraka. Prilikom presretanja iz pripravnosti na zemlji, ukupno vrijeme do početka samog presretanja je puno veće od vremena potrebnog prilikom presretanja iz pripravnosti iz zraka. Vrijeme potrebno može se opisati formulom:

$$t_l = t_{uz} + t_{pr} + t_{man} [min] \quad (2)$$

pri čemu je:

$$t_{uz} = t_{ZMIN} + t_{zap} + t_{zem} [min] \quad (3)$$

gdje je:

t_l – vrijeme uvođenja lovca u borbu (ukupno vrijeme do presretanja)

t_{man} – vrijeme manevra lovca, u prosjeku iznos od 1 do 2 min

t_{uz} – vrijeme ukupnog zakašnjenja

t_{ZMIN} – vrijeme otkrivanja i vrijeme potrebno za prijenos podataka na zapovjedno mjesto (najčešće je od 30 s u slučaju automatiziranog sustava ili najviše do 60 s u slučaju klasičnog prijenosa podataka – ovo vrijedi za otkrivanje civilnog zrakoplova, u slučaju borbenog zrakoplova koji ima manji koeficijent otkrivanja, vrijeme može biti i do 75 s, što možemo vidjeti iz prethodnog poglavlja).

t_{zap} – vrijeme izdavanja zapovijedi (od 30 s do 60 s ovisno da li se radi o automatiziranom ili klasičnom načinu prijenosa podataka)

t_{zem} – vrijeme koje zrakoplov provede na zemlji nakon primanja zadaće, a uključuje pokretanje, taksiranje i polijetanje, najčešće iznosi od 10 do 20 minuta ovisno o uvježbanosti lovca, kod presretanja iz pripravnosti iz zraka iznosi 0 min.

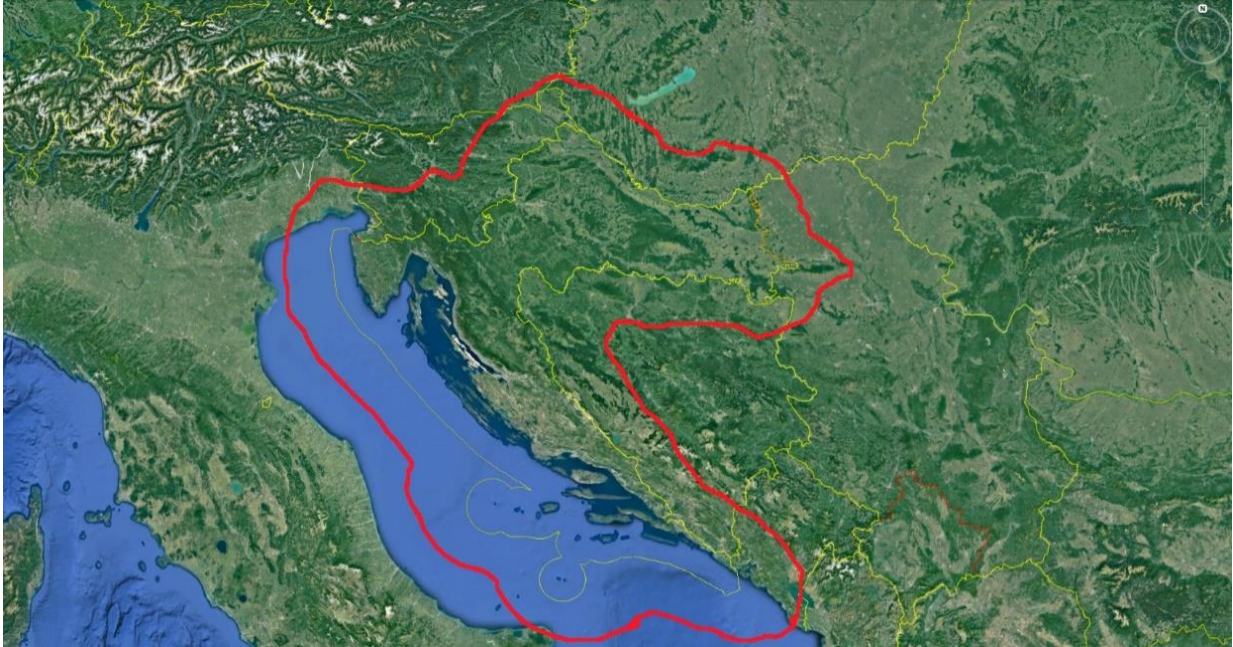
$$t_{pr} = t_p + t_{hl} \quad (4)$$

t_{pr} – vrijeme do presretanja

t_p – vrijeme penjanja

t_{hl} – vrijeme horizontalnog leta [4]

Pretpostavka je da radar može otkriti i potvrditi sa sigurnošću potencijalnu prijetnju za područje Republike Hrvatske na udaljenosti otprilike 50 km prije ulaska u zračni prostor i tada ZMIN može početi sa procesom obavještanja. Na slici 7. je prikazano područje otkrivanja u udaljenosti 50 km od granice RH.

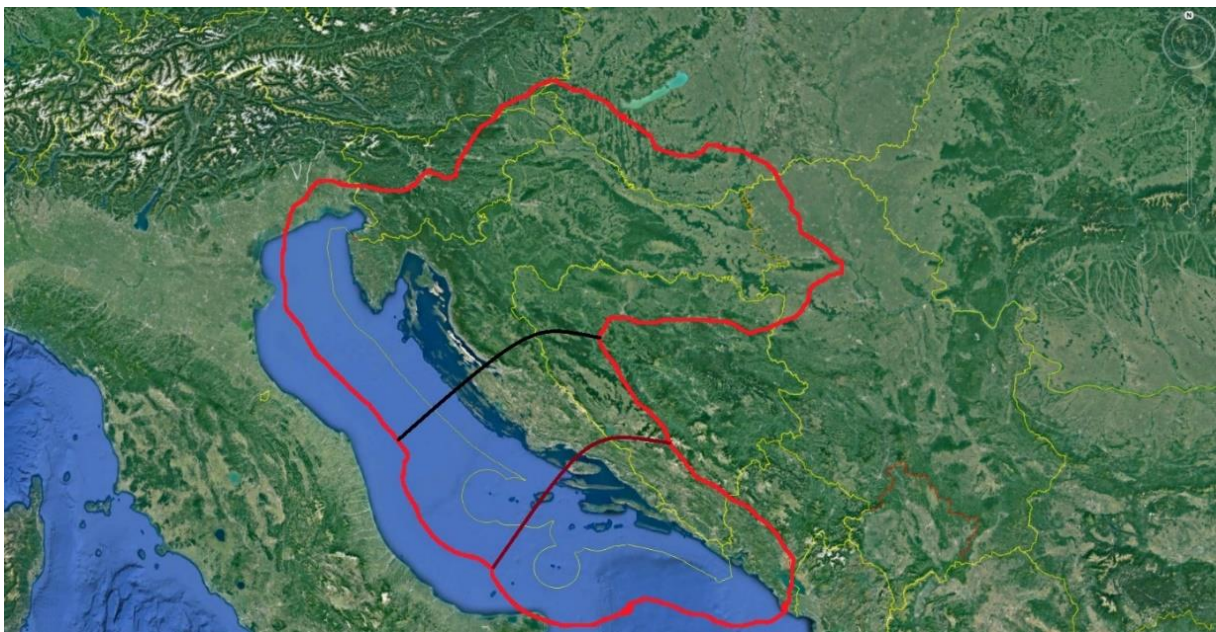


Slika 7. Područje otkrivanja prijetnje na udaljenosti 50 km od granice

Tablica 2. i slike 8., 9., 10., i 11. prikazuju područja gdje će se presretanje dogoditi za maksimalno i minimalno ukupno vrijeme potrebno od otkrivanja prijetnje od strane ZMIN-a do područja gdje presretanje može biti provedeno za otkrivanje na najsjevernijoj (otprilike 150 km udaljeno od aerodroma Pleso) i najjužnijoj (otprilike 550 km udaljeno od aerodroma Pleso) točki na području RH, u slučaju da potencijalna prijetnja ide prema zračnoj luci iz koje borbeni avion polijeće i nakon toga se povlači. Aerodrom sa kojeg polijeće lovački zrakoplov koji provodi presretanje zračna luka „Franjo Tuđman“ u Zagrebu. Zanimljivo je ograničenost količine goriva zrakoplova i uzimaju se idealni uvjeti. Svrha proračuna je ilustrirati tijekom vremena od otkrivanja do samog presretanja. Uzima se da borbeni avion polijeće s luke Pleso, brzinu leta mu je 1800 km/h. Presreće se civilni avion na visini cca 10 km koji leti brzinom 700 km/h i borbeni avion 4. generacije u letu na maloj visini koji leti brzinom 1300 km/h. Za vrijeme potrebno računa se da je borbeni avion prepoznat točno 50 km od granice dok je civilni avion prepoznat na udaljenosti od 70 km (zbog lakšeg otkrivanja).

Tablica 2. Vrijeme do presretanja

	Meta - Civilni avion	Meta - borbeni avion
$t_{lmin} - d_{MAX}$	20 min. 35 s.	16 min. 40 s
$t_{lmax} - d_{MAX}$	29 min. 15 s.	24 min.
$t_{lmin} - d_{MIN}$	14 min. 10 s.	27 min. 30 s.
$t_{lmax} - d_{MIN}$	34 min. 55 s.	> 60 min



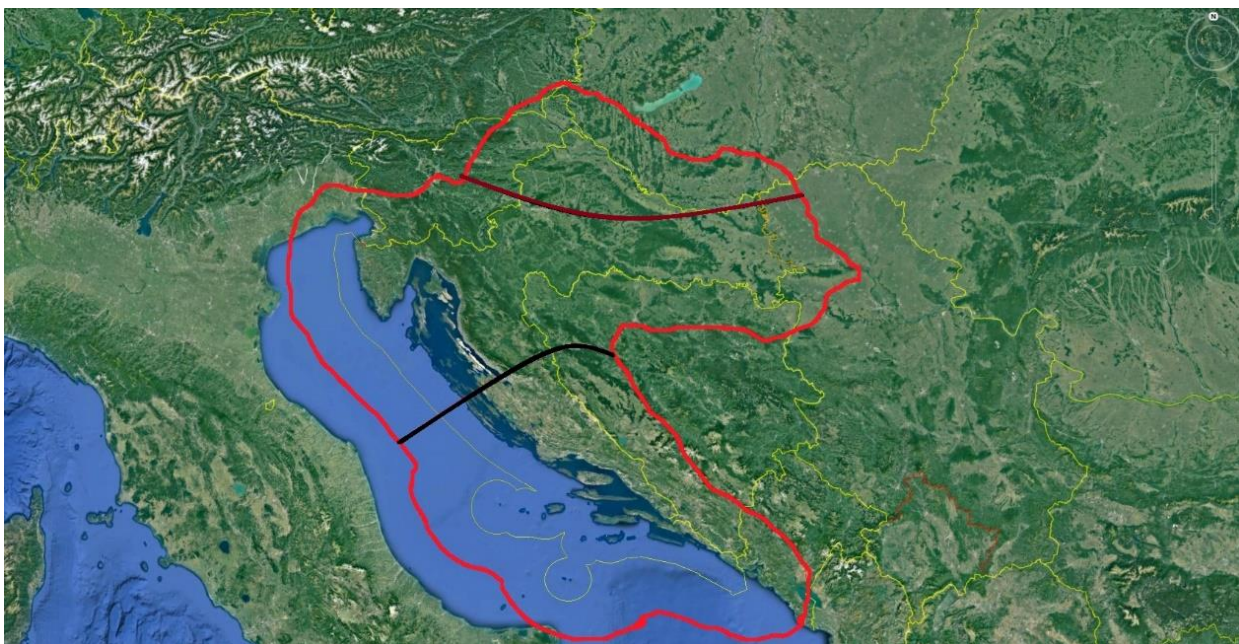
Slika 8. Područja presretanja mete 1.

Iz slike 8. se može vidjeti kako u slučaju otkrivanja civilnog aviona na najjužnijoj točki od aerodroma Pleso, presretanje može biti provedeno iznad bilo koje od zona označenih na slici. Zone su određene na temelju brzine civilnog aviona i vremena potrebnog od otkrivanja do presretanja. Crvena linija predstavlja zonu iznad koje može biti napravljeno presretanje u slučaju da je vrijeme potrebno od otkrivanja prijetnje do presretanja minimalno dok područje iznad crne zone predstavlja prostor iznad kojeg presretanje može biti napravljeno u slučaju maksimalnog vremena potrošenog od otkrivanja prijetnje do presretanja.



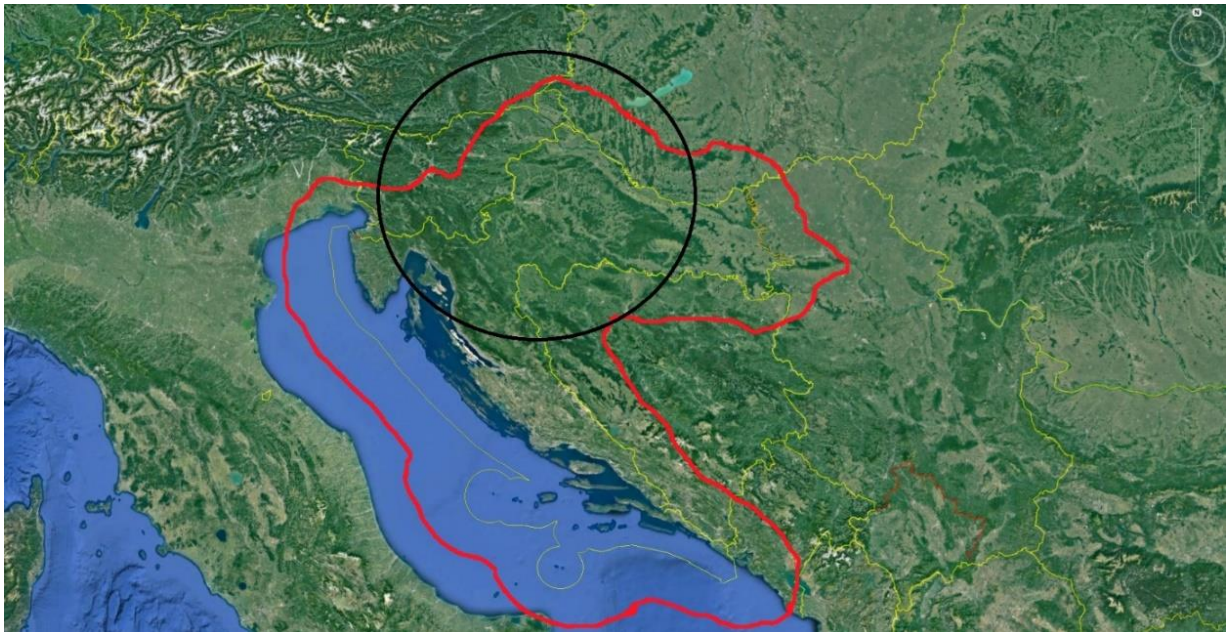
Slika 9. Područja presretanja mete 2.

Iz slike 9. se vidi da presretanje civilnog zrakoplova, ako je otkriven u točki koja se nalazi 70 km od najsjevernije točke na području RH, može se dogoditi izvan crne ili crvene kružnice (nakon što je civilni avion preletio u ovom slučaju Zagreb i skrenuo prema negdje) ovisno o tome koliko je vremena „izgubljeno“ od otkrivanja prijetnje do presretanja. Zone su određene na temelju brzine civilnog aviona i vremena potrebnog od otkrivanja do presretanja.



Slika 10. Područja presretanja mete 3.

Slika 10. prikazuje zone gdje bi se dogodilo presretanje da se neprijateljski borbeni avion u niskom letu otkrije 50 km od najjužnije točke na području RH. Zone su određene na temelju brzine borbenog aviona te vremena potrebnog od otkrivanja do presretanja. Na slici 10. možemo vidjeti da presretanje ako je vrijeme od otkrivanja do polijetanja minimalno, presretanje može biti odrađeno bilo gdje iznad crne crte označene na karti. Ako je vrijeme od otkrivanja do polijetanja maksimalno onda presretanje može biti provedeno bilo gdje u području sjeverno od crvene crte označene koja je označena na slici 10. Važno je napomenuti da prijetnja može djelovati na bilo kojem dijelu ispod crte tako da u slučaju maksimalnog vremena od otkrivanja do polijetanja, neprijateljski avion može ući u zračni prostor, djelovati po Zagrebu i tek će biti moguće oboriti nakon toga.



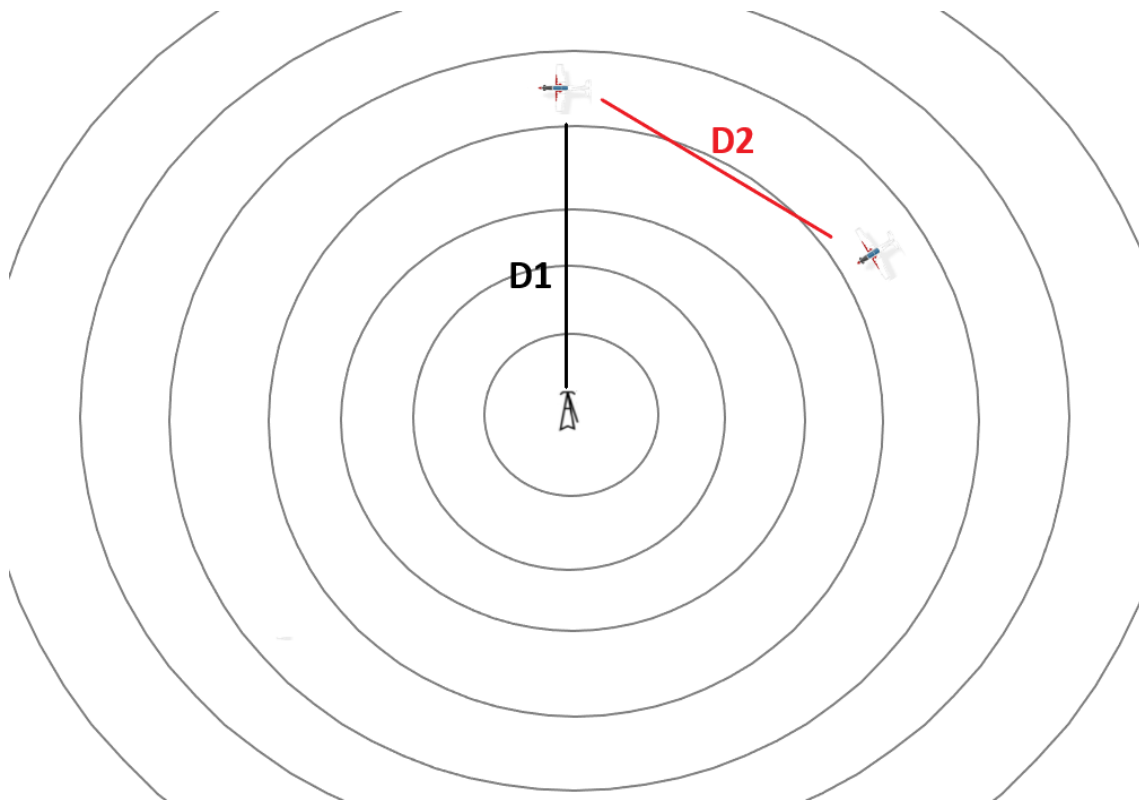
Slika 11. Područja presretanja mete 4.

Slika 11. prikazuje slučaj da, ako meta - borbeni avion uđe u zračni prostor na točki koja je najsjevernija na području RH, moguće je da ga se presretne i obori u području koje se nalazi izvan kružnice označene crvenom bojom na slici 11., ali samo u slučaju minimalnog vremena potrebnog od otkrivanja do polijetanja. U slučaju maksimalnog vremena potrebnog od otkrivanja prijetnje do polijetanja, neprijateljski borbeni avion je moguće presresti daleko izvan teritorija RH. Zone su određene na temelju brzine borbenog aviona i vremena potrebnog od otkrivanja do presretanja.

Ovim primjerima je pokazana važnost pravovremenog otkrivanja i uvježbanosti procedura od otkrivanja prijetnje do samog presretanja.

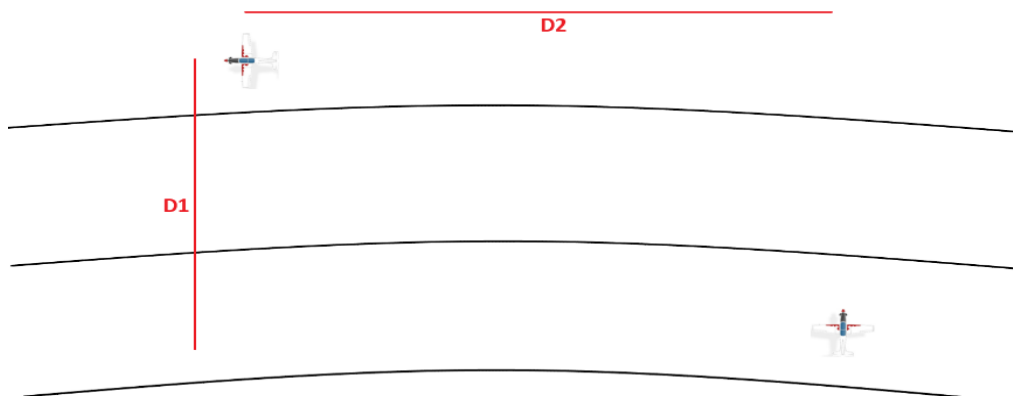
3.4. Ovisnost pokazivanja radara o položaju mete

Ranije su navedene vrste presretanja i značaj radarskog navođenja. Na temelju toga potrebno je odrediti na koji način se odabire pojedina metoda presretanja i na koji način taj izbor ovisi o međusobnoj udaljenosti lovac-meta i poziciji radara.



Slika 12. Radarski očitane udaljenosti

Na slici 12. su prikazane udaljenosti koje se mogu očitati na radaru. Udaljenost D1 označava udaljenost objekta od radara dok udaljenost D2 označava udaljenost između dva objekta u zraku (lovca i mete). Što su dva objekta na manjoj udaljenosti od radara, ali međusobno udaljenija jedan od drugog, određivanje udaljenosti D2 je točnije.



Slika 13. Radarski očitavanje udaljenosti na velikim udaljenostima

Slika 13. prikazuje udaljenost $D1$ i $D2$ na velikoj udaljenosti od radara i na relativno maloj međusobnoj udaljenosti, što je česta situacija pri presretanju. Ovisno o podacima koje kontrolor može očitati, kontrolor će odlučiti koja od različitih metoda presretanja će biti korištena. Zbog pojednostavljenja procedure presretanja i točnosti pokazivanja, ako vrijeme dopušta, većina presretanja će biti izvedena na način da se lovac dovede u stražnju četvrtinu mete i izvede presretanje sustizanjem (u poglavlju 6. i 7. se može vidjeti kako ta vrsta presretanja daje najtočnije podatke o udaljenosti objekta koji se presreće). U ostalim presretanjima kontrolor i lovac moraju biti svjesni o udaljenostima koje dobivaju od radara i to uzeti u obzir prilikom bilo kakvog izračuna.

4. Obuka pilota za presretanje

Obuka pilota za presretanja vrši se u sklopu Složene letačke obuke na zrakoplovu PC-9M u 392. eskadrili aviona. Obuka se provodi kroz 12 letova u ulozi lovca te se letovi rade na velikim, srednjim i malim visinama za mete koje lete od 70 do 270 čvorova (najčešće drugi PC-9M). Osnovna obuka priprema pilote za stvarna presretanja u eskadrili lovačkih aviona. Zrakoplov PC-9M je niskokrilac opremljen turbomlaznim motorom Pratt & Whitney PT6A-62 maksimalne snage 950 BHP. Maksimalna brzina ovog aviona je 270 čvorova u horizontalnom letu što ograničava ovaj avion na presretanje sporih ciljeva u zraku i obuku u odnosu na takve ciljeve. Svi principi obuke koji se koriste na zrakoplovu PC-9M mogu se primijeniti i na presretanje s lovцем samo što presretanje lovcem iziskuje puno veći napor, presretanja se izvode na većim brzinama i većim razlikama visina stoga se sve mora prilagoditi tome. [5]

4.1. Obuka za presretanje na velikim i srednjim visinama

Prva faza obuke temelji se na presretanjima na velikim i srednjim visinama iz zone očekivanja. Područja gdje se provode vježbe su objavljene vojne zone letenja gdje se zabranjuje civilni promet u vremenu provođenja vježbi. Let se u toj prvoj fazi se odvija na način da nakon polijetanja meta odlazi u zonu i leti u jedna prema jednom kraju zone. Nakon mete polijeće i lovac koji leti na drugu stranu. Lovac u letu prema zoni uspostavlja radio vezu sa ZMIN-om po unaprijed dogovorenoj frekvenciji i kodiranoj proceduri, nakon uspostavljanja veze lovac i časnik za navođenje provjeravaju čujnost i točnost pokazivanja radarskog sustava. Sva presretanja u ovoj fazi rade se iz sniženja 1000 ft zbog jednostavnosti izvođenja i omogućavanja lakšeg uočavanja mete.

Presretanje vodi časnik za navođenje ZMIN-a najčešće u BRAA formatu te vodi lovca do mete na način na koji on želi. Sve zapovijedi koje su prenesene lovcu su u optimalnim vremenskim intervalima, tako da u početku presretanja su rijetke dok kako se lovac približava meti, informacije postaju sve češće. Lovac prati sve upute od strane časnika i pokušava kroz let vizualno uočiti metu. Ovisno o vizualnim uvjetima, vizualno uočavanje mete događa se na 8-10 Nm u najboljim uvjetima ili na 1-2 Nm u vrlo složenim vremenskim uvjetima.

Nakon što lovac uoči metu časnik za navođenje daje mu dozvolu za prilazak i identifikaciju. Prilazak meti se vrši iz zadnje hemisfere, uglavnom s lijeve strane (jer se u civilnim avionima kapetan aviona nalazi na lijevoj strani). Kako lovac prilazi meti mora paziti na udaljenost te na razliku brzina između mete i lovca zbog toga što slučajnu prelazak u prednju hemisferu mete znači nepovoljni taktički položaj. Često pri presretanju, ako je bila lošija procjena, lovac će potpuno oduzeti snagu i koristiti zračnu kočnicu da bi usporio da ne prestigne metu. Nakon prilaska meti lovac vrši identifikaciju mete (tip i vrsta zrakoplova, naoružanje, registracija, itd.), javlja časniku za navođenje te se od tu odlučuje o načinu postupanja s metom. Ako se presretanje radi s lovačkim parom odnosno dva aviona, vođa postupna na isti način kao i u slučaju da je sam, a pratitelj mu pruža zaštitu sa povoljne taktičke udaljenosti. [5]



Slika 14. Postupak presretanja i praćenja mete [5]

4.2. Obuka za presretanje na malim visinama

Obuka presretanja na malim visinama se radi pred sam kraj obuke iz razloga što da bi lovac bio u stanju odraditi presretanje na malim visinama mora imati iskustva i biti upoznat sa problematikom presretanja na velikim i srednjim visinama. Razlog tome je što smanjenjem visine smanjiva se i vidljivost te je prilikom leta na manjim visinama potrebno voditi računa o orografiji terena i preprekama. Presretanje na malim visinama se vrši iz nadvišenja 1000 ft. Problematika presretanja na malim visinama je još u tome što postoji mogućnost gubitka radio veze i gubitka radarskih podataka stoga se sve svodi na lovca i njegovu procjenu simulirajući let iz slobodnog lova.

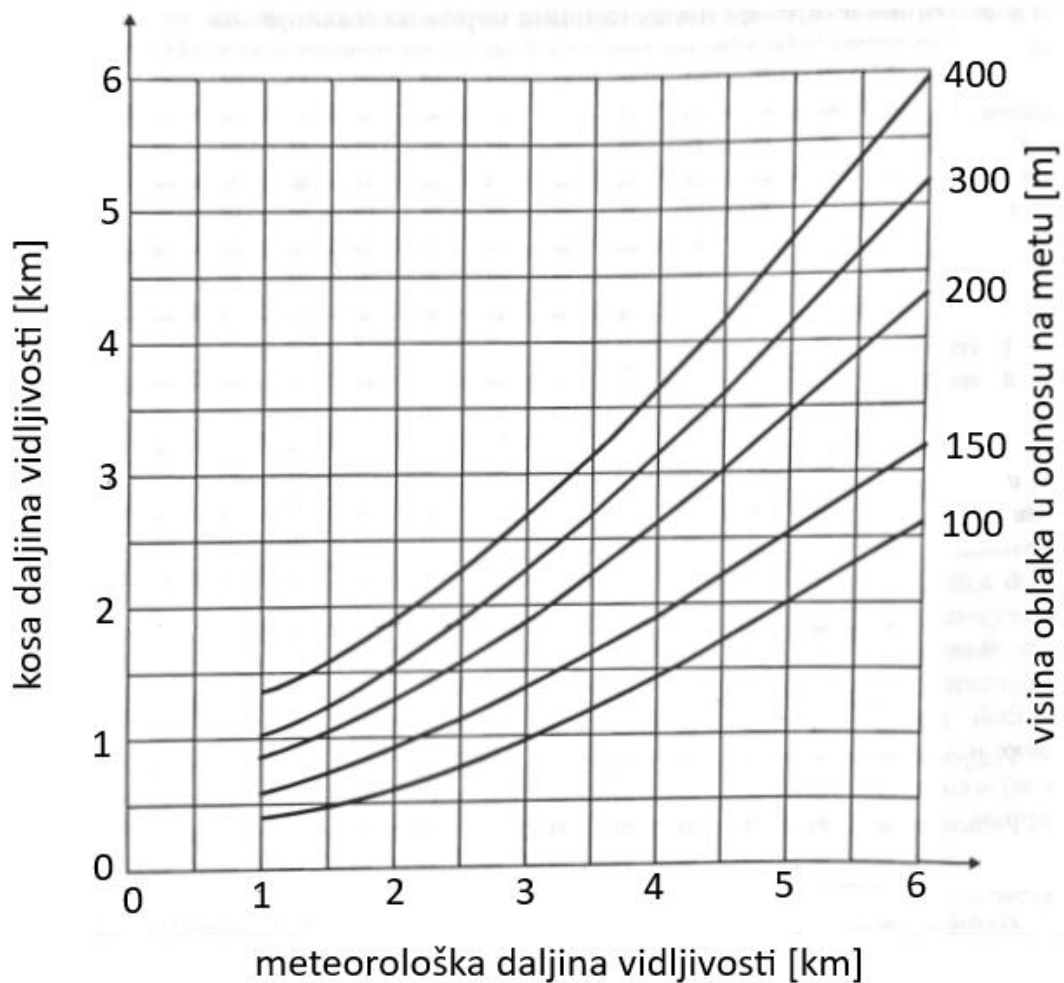
Presretanje na malim visinama kombinira sve oblike smetnji za određivanje bilo to pozicije mete, udaljenosti, brzine i slično. Stvari kao što su razne boje stambenih objekata, prirode iznad koje meta leti, kompleksni meteorološki uvjeti kao što je naoblaka ili turbulencija omogućuju meti da se stopi s okolinom i maskira se tako da je lovcu otežano uočavanje i praćenje. [5]

5. Utjecaj meteoroloških uvjeta na postupak presretanja

Uspješnost presretanja uvelike ovisi o meteorološkim uvjetima jer iako podatci o meti koje lovac dobiva omogućuju lovcu proračun točne udaljenosti i stvaranje slike o poziciji mete, meteorološki uvjeti definiraju na kojoj udaljenosti će lovac vizualno uočiti metu da joj može prići i odraditi identifikaciju. Ono što najviše karakterizira ovisnost presretanja o meteorološkim uvjetima je vidljivost. Vidljivost se definira na više načina:

- *Meteorološka daljina vidljivosti* je najveća daljina na kojoj se objekt spaja s okolinom odnosno objekt se prestaje vidjeti
- *Daljina vidljivosti* je krajnja udaljenost na kojoj se predmet može razlikovati od okoline, manja je od meteorološke daljine
- *Kosa daljina vidljivosti* je udaljenost od promatrača do objekta pri uočavanju, raspoznavanju i iščezavanju, uz to može biti i udaljenost pri slijetanju iz koje pilot može jasno vidjeti USS
- *Okomita vidljivost* je najčešće donja granica oblaka ili visina na kojoj se objekt stapa s pozadinom
- [4]

Daljina vidljivosti i kosa vidljivost ovise o stanju atmosfere i visini. Na većim visinama kosa daljina vidljivosti najviše ovisi o oblacima i ako nema oblaka vidljivost je najčešće maksimalna te iznosi otprilike 8 km.



Slika 15. Utjecaj oblačnosti na daljinu vidljivosti [4]

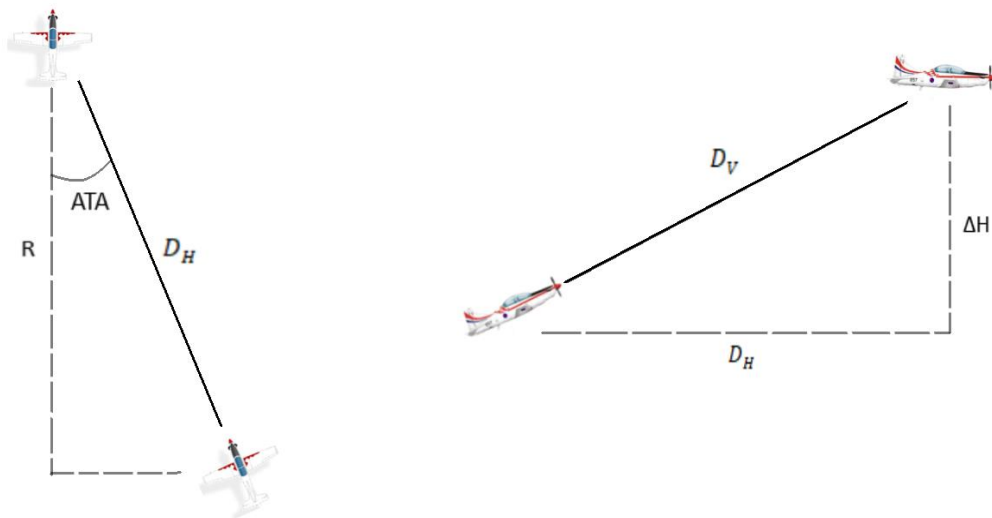
Slika 15. prikazuje ovisnost kose daljine vidljivosti o bazi oblaka u odnosu na metu. Može se vidjeti kako smanjenjem udaljenosti mete od oblaka uvelike se smanjuje kosa daljina vidljivosti i mogućnost uočavanja mete.

Na manjim visinama oblačnost je samo jedna od stvari koja ograničava vidljivost. Na primjer magla ili sumaglica uvelike otežavaju i smanjuju daljinu vidljivosti na malim visinama. Ova problematika će se javljati naviše pri presretanju iz slobodnog leta kada se gleda meta iz nadvišenja. [6]

6. Proračun udaljenosti prilikom presretanja

6.1. Presretanje mete sustizanjem

Presretanje mete sustizanjem se izvodi na način da lovac je konstantno u stražnjoj hemisferi mete te se povećanjem brzine približava meti. Presretanje sustizanjem je prikazano na slici 16.



Slika 16. Geometrija presretanja sustizanjem

Za izračun udaljenosti u slučaju presretanja sustizanjem i podataka primarnog radara se koristi jednostavna trigonometriju za izračun stvarne udaljenosti. Potrebno je prvo izračunati D_H što predstavlja horizontalnu udaljenost lovca od mete. Lovac od ZMIN-a dobiva podatke o R (range) što je udaljenost do mete kao na slici 16. i dobiva bearing što je zapravo ATA odnosno kut prema meti.

Pri tom vrijedi odnos:

$$\cos(ATA) = \frac{R}{D_H} \quad (5)$$

$$D_H = \frac{R}{\cos(ATA)} \quad (6)$$

$$D_V = \sqrt{D_H^2 + \Delta H^2} \quad (7)$$

$$D_V = \sqrt{\left(\frac{R}{\cos(ATA)}\right)^2 + \Delta H^2}$$

Prilikom presretanja mete sustizanjem ΔH je uvijek konstantna zbog jednostavnosti izvođenja i iznosi $\Delta H = 1000\text{ft} = 305\text{m}$, iz toga se dobije:

$$D_V = \sqrt{\left(\frac{R}{\cos(ATA)}\right)^2 + 0.093} \text{ [km]} \quad (8)$$

Pretpostavlja se da je $\cos(ATA)$ je konstantan, odnosno da su njegove promjene sa promjenom udaljenosti vrlo male. Zato udaljenost D_V ovisi samo o dometu R

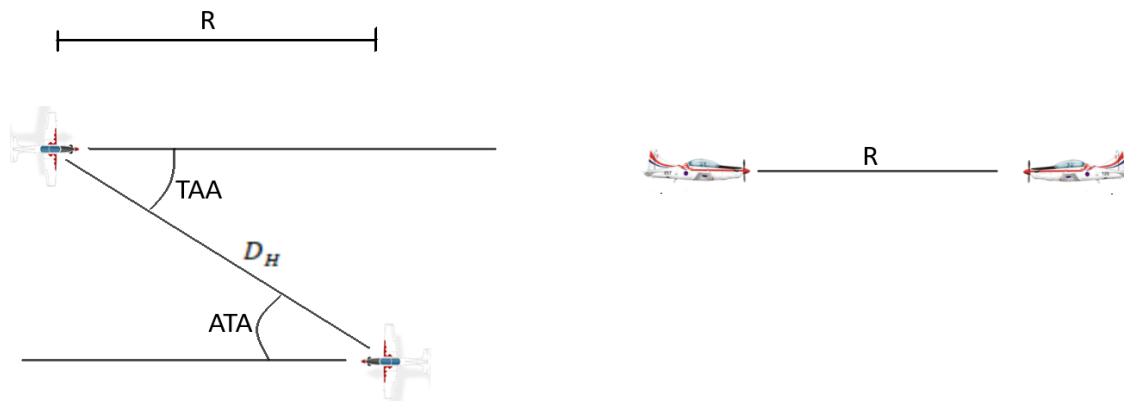
Tablica 3. Ukupna udaljenost prilikom presretanja sustizanjem

D_V [km]	R = 10km	R = 20km	R = 30km
ATA = 10°	10.16	20.3	30.5
ATA = 20°	10.65	21.3	32
ATA = 30°	11.5	23.1	34.6

Iz tablice 3. može se zaključiti kako je presretanje sustizanjem, ako su dostupni podatci o radarskoj udaljenosti objekta koje se presreće, najbolje raditi iz što manjeg relativnog kursa prema meti zbog točnosti podataka koji se dobiju od radara, u ovoj konkretnoj situaciji bilo kakvi drugi proračuni udaljenosti su nepotrebni. Ako je lovac u dometu za raketu kratkog dometa koja u prosjeku iznosi maksimalno do 30 km i koristi se za blisku borbu, moguće je uzimati podatke od radara, postaviti se iza mete i djelovati.

6.2. Paralelno presretanje

Paralelno presretanje ili presretanje pod 180° predstavlja tip presretanja gdje lovac dolazi pod 180° u odnosu na metu i koristi se najčešće za procjenu da li je meta opasana ili ne i za upozorenje meti tako da obrati pozornost. Ova vrsta presretanja se izvodi ili s 1000 ft razlike visine ili s iste visine, ali nekoliko km bočne udaljenosti. Podatak koji lovac dobije od radara je približna vrijednost udaljenosti R sa slike 17.



Slika 17. Geometrija paralelnog presretanja

Računanje udaljenosti se svodi na proračun D_H u slučaju da je presretanje provedeno na istoj visini ili proračun D_V , ako je presretanje rađeno sa 1000 ft razlike.

Iz formule se dobije:

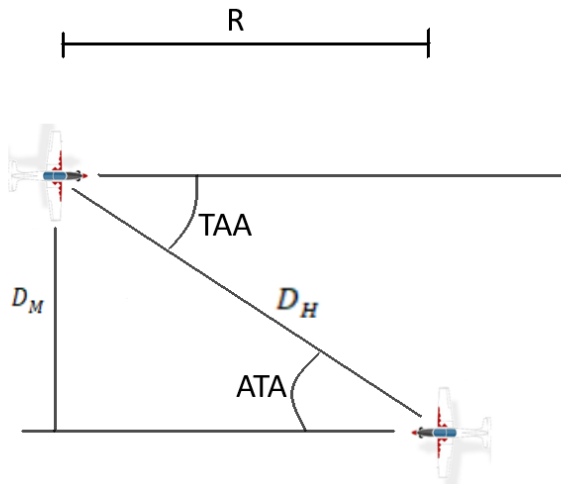
$$\cos(ATA) = \frac{R}{D_H}$$

$$D_H = \frac{R}{\cos(ATA)}$$

(9)

Problematika određivanja udaljenosti u ovoj situaciji je u tome što se kut ATA konstantno i vrlo brzo mijenja. Ono što se može uzeti za proračune su situacije u kojima se meta nalazi pod 30° , 45° i 60° u odnosu na lovca. Iz toga okvirnim proračunima se može dobiti poprilično točan podatak o udaljenosti mete.

Uzima se da je $\cos(30^\circ) \approx 0.9$, $\cos(45^\circ) \approx 0.7$, $\cos(60^\circ) \approx 0.5$, iz toga se dobije:
 $D_H(30) = R \cdot 1.15$, $D_H(45) = R \cdot 1.4$ i $D_H(60) = R \cdot 2$



D_M je potrebno za odrediti zbog radijusa zaokreta i odluke da li će presretanje biti odrađeno zaokretom prema meti ili će biti odrađeno od mete te nakon toga napraviti sustizanje. D_M je vrijednost koju najčešće radar ima, ali možemo je i odrediti iz formule:

$$D_M = \sin(ATA) \cdot D_H \quad (10)$$

Slika 18. Tlocrt geometrije paralelnog presretanja

Ovim proračunima se brzo i poprilično točno odredi udaljenost mete i time donese odluka o manevru i načinu kojim se presreće meta.

Tablica 4. Horizontalna udaljenost prilikom paralelnog presretanja

D_M	R = 1 km	R = 2 km	R = 4 km
ATA = 30°	0.58	1.15	2.3
ATA = 45°	1	2	4
ATA = 60°	1.2	2.43	4.85

Prilikom presretanja avion Pilatus PC-9M ima brzinu u odnosu na zemlju približno 300 kt što je 150 m/s. Radijus horizontalnog zaokreta od $\beta = 30^\circ$ iznosi:

$$RA = \frac{V^2}{g \cdot \sqrt{n^2 - 1}} \quad (11)$$

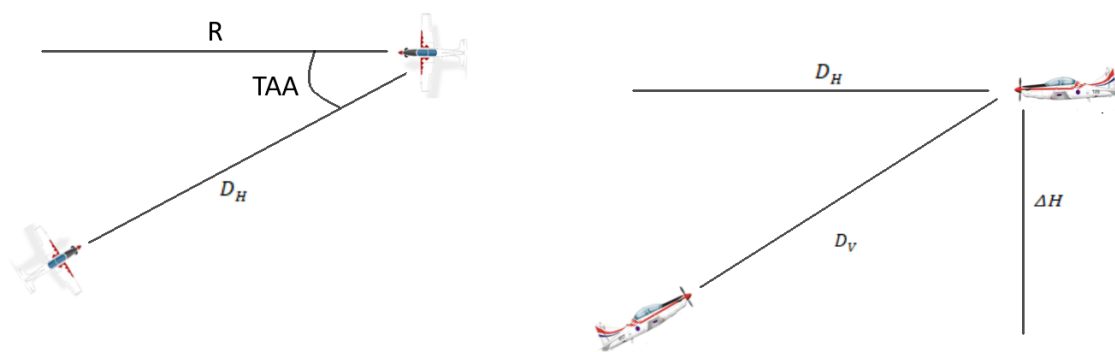
Gdje je n :

$$n = \frac{1}{\cos(\beta)} \quad (12)$$

Iz toga se dobije $R \approx 4$ km.

Zaključak je kako u svim slučajevima za zaokret od 30° , osim gdje je $R = 4$ km i ATA od 45° do 60° , lovac će se odlučiti za zaokret u stranu suprotnu od mete te će nakon toga provoditi presretanje mete sustizanjem. Primjer jednog takvog presretanja prikazan je na slici 19.

6.3. Čeoni napad



Slika 19. Geometrija čeonog napada

Kod ove vrste presretanja važno je izračunati udaljenost jer se kroz ovo presretanje najčešće izvode manevri nakon leta prema meti da bi se došlo u položaj za presretanje. Poznato je da kut TAA uvijek iznosi između 20° i 45° i iz toga se izračunaju maksimalne i minimalne vrijednosti udaljenosti prilikom čeonog presretanja. ΔH je 1000 ft na početku presretanja i mijenja se kroz samo presretanje, ali je potrebno znati početno stanje da bi se izračunala udaljenost za izvođenje manevra.

$$\cos(TAA) = \frac{R}{D_H} \quad (13)$$

$$D_H = \frac{R}{\cos(TAA)} \quad (14)$$

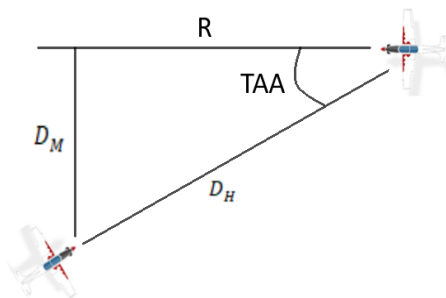
$$D_V = \sqrt{D_H^2 + \Delta H^2}$$

$$D_V = \sqrt{\left(\frac{R}{\cos(TAA)}\right)^2 + \Delta H^2} [km] \quad (15)$$

Tablica 5. Ukupna udaljenost od lovca do mete

D_V [km]	R = 1 km	R = 2 km	R = 4 km
$TAA = 20^\circ$	1.11	2.15	4.27
$TAA = 45^\circ$	1.45	2.85	5.67

Ove udaljenosti prikazuju točku kada lovac uvodi u zaokret, no potrebno je izračunati i udaljenost na kojoj će biti meta nakon što prijeđe određeni put odnosno minimalnu udaljenost na kojoj će biti u odnosu na točku uvođenja lovca u zaokret. Ta udaljenost predstavlja radijus zaokreta. Tu udaljenost u ovisnosti o poziciji radara i lovca i mete radar može očitati, ali za točnu vrijednost se računa na način:



D_M se računa po formuli

$$D_M = \sqrt{D_H^2 - R^2} \quad (16)$$

Ili:

$$D_M = R \cdot \tan(TAA) \quad (17)$$

Slika 20. Tlocrt geometrije čeonog napada

Dobije se:

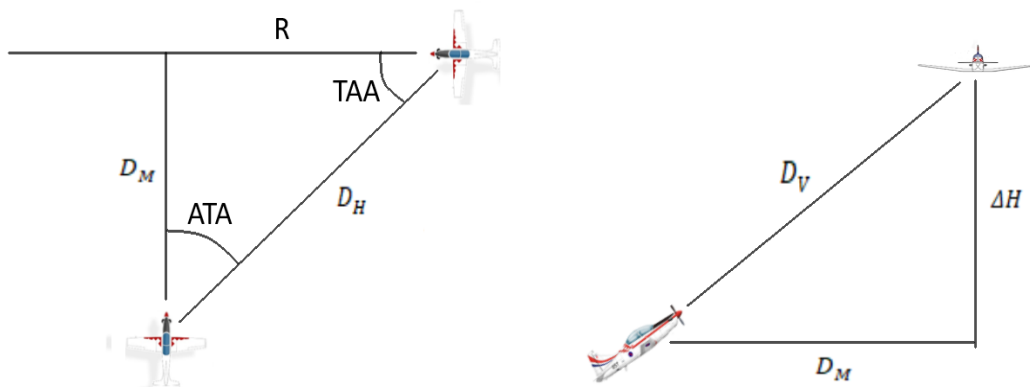
Tablica 6. D_M za različite slučajeve prilikom čeonog napada

D_M	R = 1 km	R = 2 km	R = 4 km
$TAA = 20^\circ$	0.36	0.73	1.46
$TAA = 45^\circ$	1	2	4

Uzima se da lovac, ako je PC-9M, radi zaokret od $\beta = 60^\circ$ i da je brzina 300 kt u odnosu na zemlju. Iz formule (11) imamo da je $RA \approx 1.3$ km.

U slučaju zaokreta od 60° pri brzini od 300 kt u odnosu na zemlju, lovac treba krenuti u zaokret pri $R < 2$ km za 45° prilaz i li $R < 4$ km za 20° prilaz da bi izišao na pravilnu udaljenost za presretanje nakon zaokreta.

6.4. Presretanje s boka



Slika 21. Geometrija presretanja s boka

Prilikom presretanja s boka odnosno presretanja pod 90° potrebno je odrediti minimalnu horizontalnu udaljenost D_M za presretanje zbog nagiba zaokreta koji je potreban za dolazak na pravilnu poziciju presretanja. Približni podatak o udaljenost D_M se dobije od radara ovisno o poziciji, ali za konkretnu vrijednost ona se treba izračunati. Kursovi mete i lovca sijeku pod 90° i kako vrijeme prolazi D_M se smanjuje zajedno sa ATA dok se TAA konstantno povećava. Lovac ima podatke o R i o ATA stoga mora izračunati D_M . Za izračun se

koristi saznanje o D_M kada je meta pod 30° u odnosu na lovca i iznos brzine mete i lovca. Računa se D_M u trenutku zaokreta odnosno kada je lovac pod 90° u odnosu na metu. Iz toga se dobije radijus zaokreta potrebnog za izvođenje pravilnog presretanja.

Iz formule:

$$D_M = \frac{R}{\tan(ATA)} \quad (18)$$

Za različite R se dobije:

Tablica 7. D_M za različite R prilikom presretanja s boka

$D_M [km]$	R = 2 km	R = 3 km	R = 4 km	R = 5 km
ATA = 30°	3.46	5.2	6.93	8.66

Proračun se vrši za različite brzine mete: 200kt (100 m/s) i 250 kt i konstantnu brzinu lovca od 300 kt (150 m/s). D_M u trenutku kada je ATA = 0° iznosi:

Tablica 8. Horizontalne udaljenosti za ATA = 0

$D_M [km]$	R = 2 km	R = 3 km	R = 4 km	R = 5 km
v = 200 kt	0.46	0.7	0.93	1.16
v = 250 kt	1.06	1.6	2.13	2.66

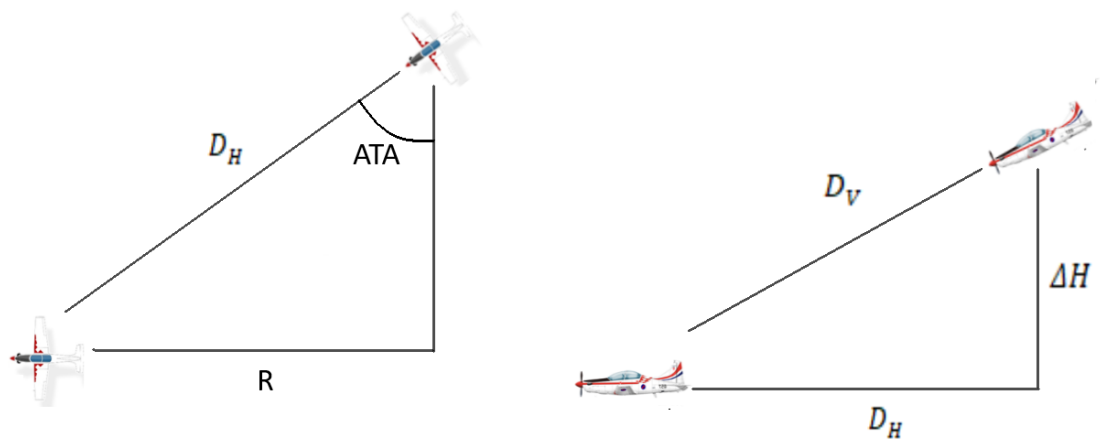
Maksimalno opterećenje aviona Pilatus PC-9M iznosi 7g, može se izračunati minimalan radijus pri brzini 300 kt iz formule (11).

$$RA_{Min} = 0.33 \text{ km pri nagibu } 82^\circ.$$

Zaključak je da lovac u ovom slučaju, ako je meta pod 30° na udaljenosti od 2 km ili više i ide brzinom iznad 200 kt, može napraviti oštri zaokret da bi nakon izlaska bilo u pravilnoj poziciji za presretanje.

6.5. Presretanje iz zone očekivanja, patroliranja i slobodnog lova

Presretanje iz zone patroliranja, očekivanja ili slobodnog lova koristi se kada postoji velika mogućnost ugroze zračnog prostora i kada presretanje ciljeva iz pripravnosti na zemlji ne bi osiguralo taktičku prednost nad protivnikom. Zona očekivanja je zona iznad nekog područja koje je pokriveno radarom i iznad koje lovac leti da bi mogao u slučaju ulaska objekta u taj prostor brzo djelovati, lovački zrakoplovi se postavljaju blizu zone očekivanja radi brzog djelovanja. Presretanje iz zone patroliranja se koristi kada se štiti zračni prostor ispod kojeg se nalaze mogući ciljevi protivničkog zrakoplovstva i uspostavlja se preventivno. Presretanje iz slobodnog lova se izvodi kada slika radarskih sustava iznad nekog područja nije kompletna i iznad kojeg lovci samostalno otkrivaju i djeluju po ciljevima. Sva tri od ovih vrsta presretanja predstavljaju najkompleksnije oblik presretanja i kao takvi iziskuju puno više i puno zahtjevnijih proračuna za odrediti bilo što o objektu koji se presreće. Situacije u kojima se lovac može naći variraju od situacija gdje civilni avion u horizontalnom letu slučajno uđe uštićeni prostor i bude otkriven od strane radara te ga se presretne na najjednostavniji mogući način do situacija gdje u zonu patroliranja uđe nepoznati leteći objekt kojeg radar ne može sa sigurnošću pratiti niti mu očitati nikakav parametar te je na lovcu da sa maksimalnom preciznošću odredi sve sam te obavi presretanje i eventualno rušenje. Svako od ovih presretanja se najčešće izvodi iz nadvišenja iz razloga što to lovcu daje energetska prednost u obliku potencijalne energije nad protivnikom. Energetska prednost daje lovcu mogućnost da bolje izmanevrira i dovede se u poziciju za pucati u slučaju da meta u bilo kojem trenutku odluči napraviti nepredviđen potez ili krenuti u napad na samog lovca. [1]



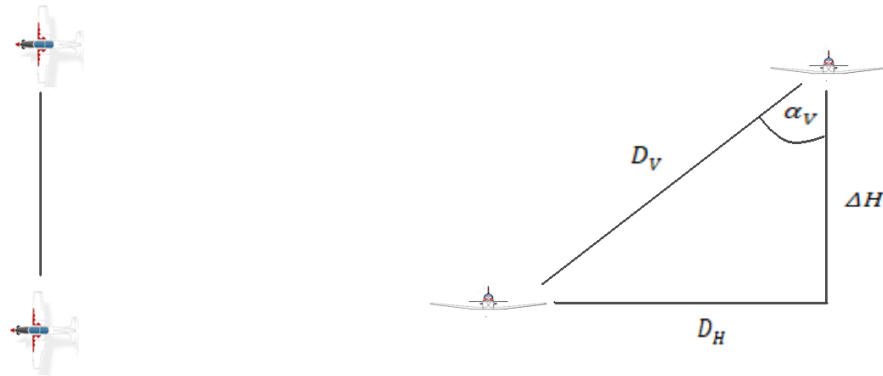
Slika 22. Geometrija presretanja iz nadvišenja

Na slici 22. prikazano je presretanje iz nadvišenja. To je najjednostavniji oblik presretanja pri čemu je meta vidljiva na radaru i lovac koji presreće može dobiti sve podatke. Udaljenost objekta u zraku se može dobiti formulom (8).

Ako je lovac sam i treba izračunati udaljenost objekta kojeg presreće, a ne zna niti jedan podatak o njemu, to može napraviti uz ostvarivanja prethodno definiranih uvjeta. Ti uvjeti u ovom slučaju su:

1. Dovođenje lovca visinu mete bilo to iza mete, ako je meta potencijalna prijetnja ili pod 90° u odnosu na metu i odrediti visinu mete
2. Popeti na željenu visinu koja omogućava dovoljnu energetska prednost i letjeti paralelnim kursom sa metom, bilo to točno pod 90° u odnosu na nju ili pod određenim kutom.

Iz te pozicije lovac može odrediti udaljenost mete bez problema i to na način:



Slika 23. Kut viziranja

Znajući ΔH i kut viziranja α_V izvedena je tablica ovisnosti D_H o ΔH i α_V preko koje se brzo može odrediti približna udaljenost objekta koji presreće.

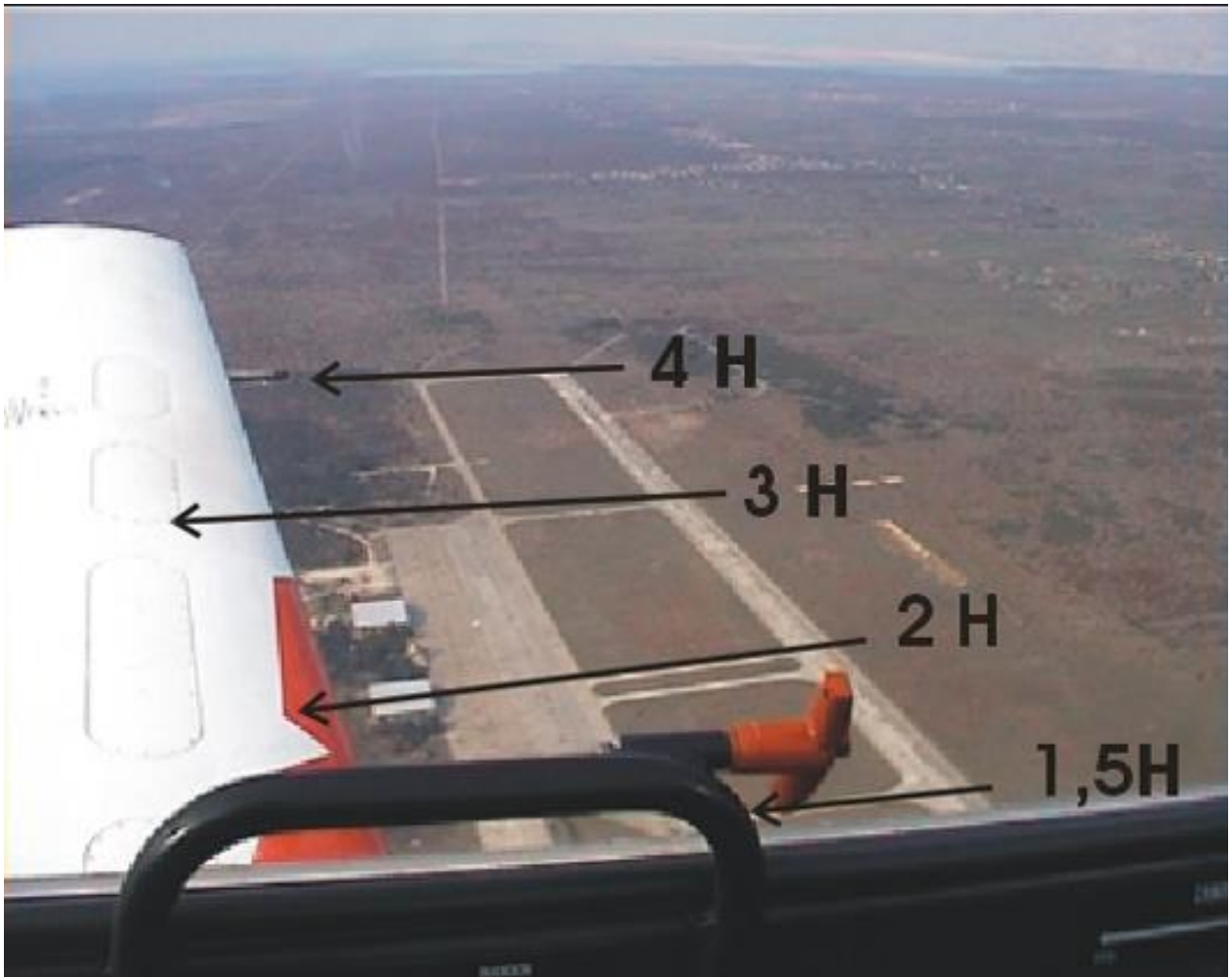
Tablica 9. Kut viziranja [7]

α_V	65°	45°	25°	15°	10°
$D_H[km]$	0.5H	1H	2H	4H	5.5H

Tablica 10. Pretvorba stopa u kilometre [7]

$\Delta H[ft]$	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
$H[km]$	0.31	0.61	0.91	1.22	1.53	1.83	2.14	2.44	2.74

Kut viziranja se često koristi u zrakoplovstvu i piloti unaprijed imaju definirane načine na koji ga mogu odrediti. Primjer kuta viziranja za zrakoplov PC-9m prikazan je na slici 23.



Slika 24. Kut viziranja na PC-9M [7]

Iz slike 24. se vidi kako na vizuri pod 25° se nalazi hangar. Horizontalna udaljenost D_H tog hangara od aviona, da smo na 1000ft AGL bila bi $D_H = 2 \cdot H = 0.62 \text{ km}$.

Na isti način se računa i udaljenost objekta u letu koji nam je na 25° vizuri ako imamo $\Delta H = 1000 \text{ ft}$.

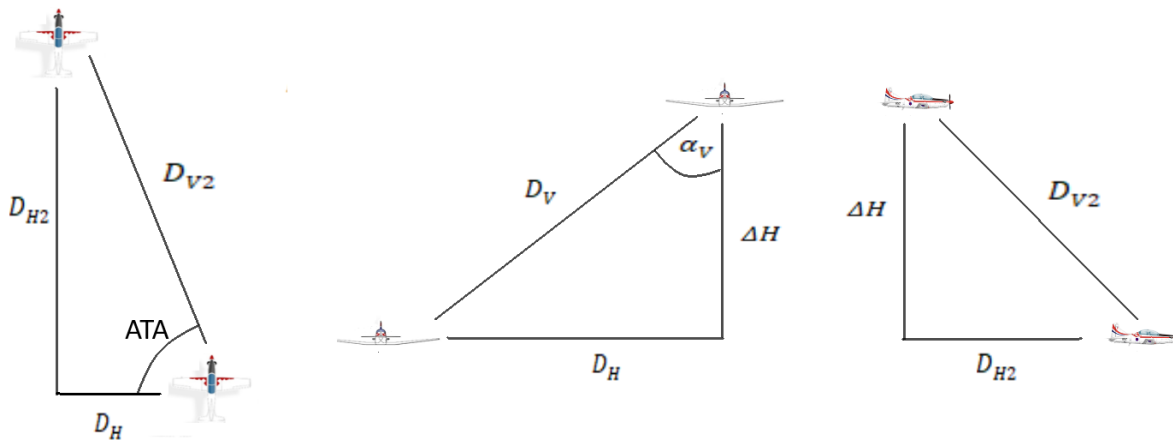
Da bi se iz ove pozicije izračunala ukupna udaljenost D_V , koristi se formula:

$$D_V = \frac{D_H}{\sin(\alpha_V)}$$

Ili

$$D_V = \sqrt{\Delta H^2 + D_H^2} \quad (19)$$

Ako postoji situacija da je potrebno presresti letjelicu u zraku koja ima veliki stupanj rizika i potrebno je konstantno biti iza mete da lovac bude „u sjeni“ odnosno da ga meta ne može uočiti, moguće je odrediti udaljenost mete sa određene razlike visine. Lovac je odredio početnu visinu na kojoj se nalazi meta došavši iza mete i nakon toga ostaje u konusu iza mete.



Slika 25. Kutovi i udaljenosti prilikom leta iznad mete

Slika 25. prikazuje trokut udaljenosti i kutova prilikom leta iza mete u nadvišenju. U odnosu na let paralelan s metom postoje dvije nove udaljenosti a to su D_{H2} i D_{V2} . Udaljenost se može proračunati ako lovac zna visinu leta mete i kut pod kojim gleda metu.



Slika 26. Skica određivanja udaljenosti [8]

Na primjeru će biti objašnjen proračun udaljenosti za objekt prikazan na slici 26. Kada se lovac postavio u stražnju hemisferu mete, nalazio se na visini od 2000 ft. Nakon toga povećao je visinu na 4000 ft. Vrijednost ΔH iznosi 0.61 km i kut pod kojim lovac vidi je (ATA) = 30°. Ako lovac produži liniju viziranja do mete kao na slici može odrediti približnu udaljenost. S obzirom da lovac zna da bi meta koja se nalazi točno okomito na njega bila na horizontalnoj udaljenosti $D_H = 4 \cdot H = 4 \cdot 0.61 = 2.44$ km (iz formule (6)), lovac može odrediti i D_{H2} preko ATA.

$$D_{H2} = D_H \cdot \tan(ATA) = 2.44 \cdot \tan(30^\circ) = 1.4 \text{ km}$$

znajući tu udaljenost, odredi D_{V2} .

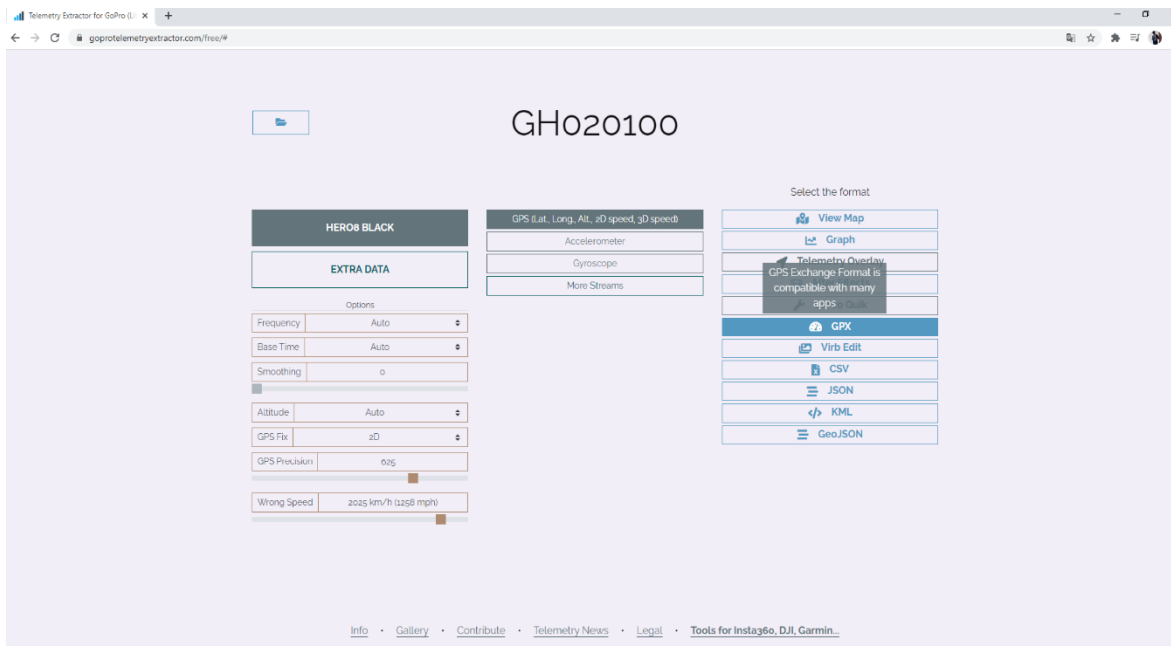
$$D_{V2} = \sqrt{D_{H2}^2 + \Delta H^2} = \sqrt{1.4^2 + 0.61^2} = 1.52 \text{ km}$$

7. Eksperimentalno određivanje udaljenosti u stvarnim uvjetima presretanja

Za potrebu provjere svih prethodno izvedenih formula i točnosti izračuna, prilikom vježbi presretanja zrakoplovom PC-9M (metodologija obuke i karakteristike zrakoplova opisane su u poglavlju 4.) u zrakoplove su postavljene GoPro kamere. GoPro kamere u sebi imaju žiroskop i GPS koji prati sve parametre leta od brzine, visine, udaljenosti, G-opterećenja i slično. Analizom svih podataka moguće je bilo dobiti odnosne stvarnih udaljenosti i udaljenosti koje su proračunate formulama.

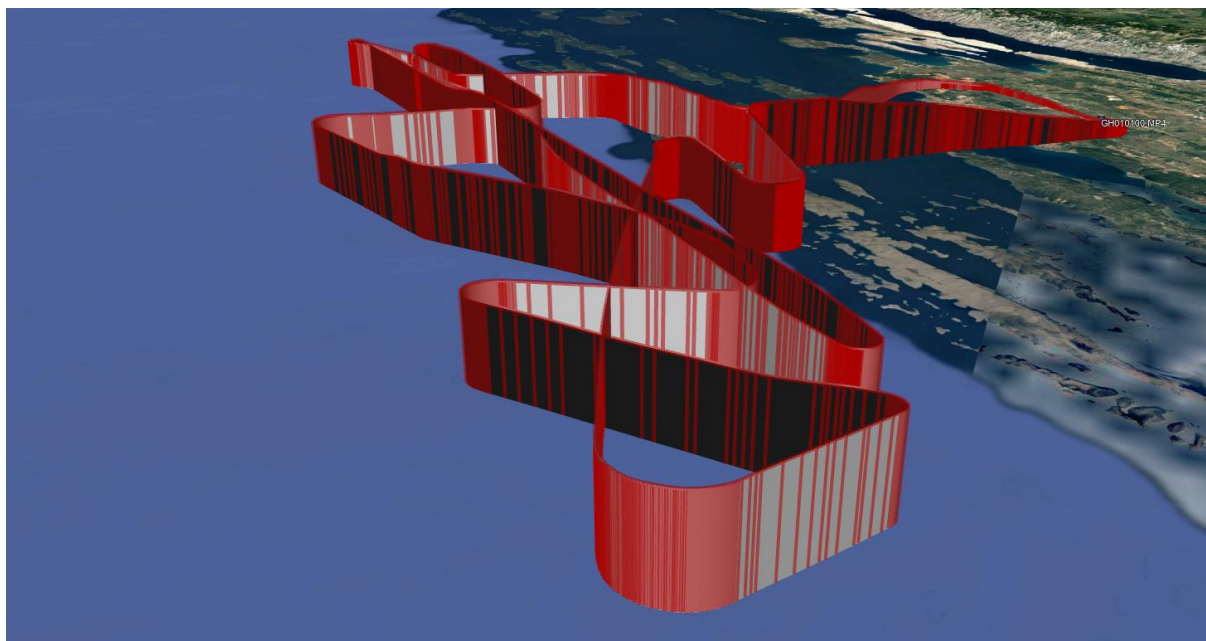
7.1. Način snimanja i obrade GPS podataka

Kamera GoPro mjeri sve podatke o GPS poziciji u GPX (GPS Exchange Format) formatu. GPX format je jednostavan način zapisivanja GPS podataka koji prikazuje parametre zapisa u vremenskim intervalima. Na taj način prikazuju se putne točke, rute, pozicije i slično. GPX se podatci se zapisuju skupa sa videozapisom prilikom snimanja na samoj kameri u obliku tekstualnog dokumenta kojeg program za očitavanje GPX podataka vrlo jednostavno prepozna i na temelju toga stvori sliku. Da bi se izvadili podatci s kamere i prenijeli u program za vizualizaciju potrebno je preko web stranice *GoPro Telemetry Extractor* učitati snimku i preuzeti GPX datoteku. Izgled sučelja stranice prikazan je na slici 26.



Slika 27. Sučelje stranice GoPro Telemetry Extractor [9]

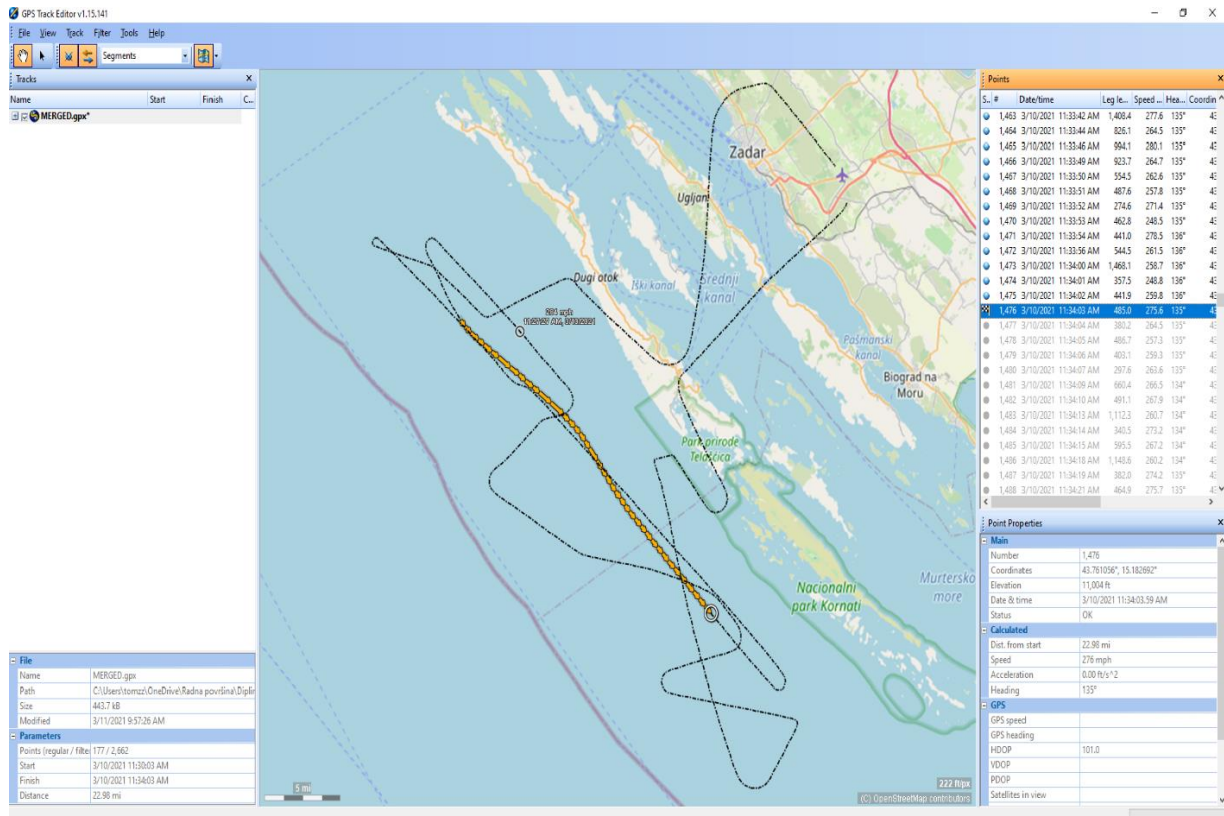
Nakon preuzimanja GPX datoteke moguće je stvoriti 3D prikaz podatak u programu kao što je Google Earth Pro. Na slici 28. je prikazan izgled cijelog leta lovca od polijetanja do slijetanja nakon dobivanja GPX podatak iz kamere.



Slika 28. GPS podatci cijelog leta lovca [10]

Skup svih podataka iz kamere lovca i kamere mete su obrađeni i izrezani u programu GPS Track Editor. U tom programu se može „rezati“ svaki unos GPX podatka posebno i time

dobiti svako presretanje napravljeno u jednom trenažnom letu (u ovom slučaju za jedan let je bilo 6 presretanja od kojih su 4 bila kvalitetno izmjerena) posebno i tako dobiti izračune za svako od tih presretanja posebno. Slika 29. prikazuje metodu obrade GPX podatak u programu GPS Track Editor i dobivanje jednog presretanja od cijele slike leta.



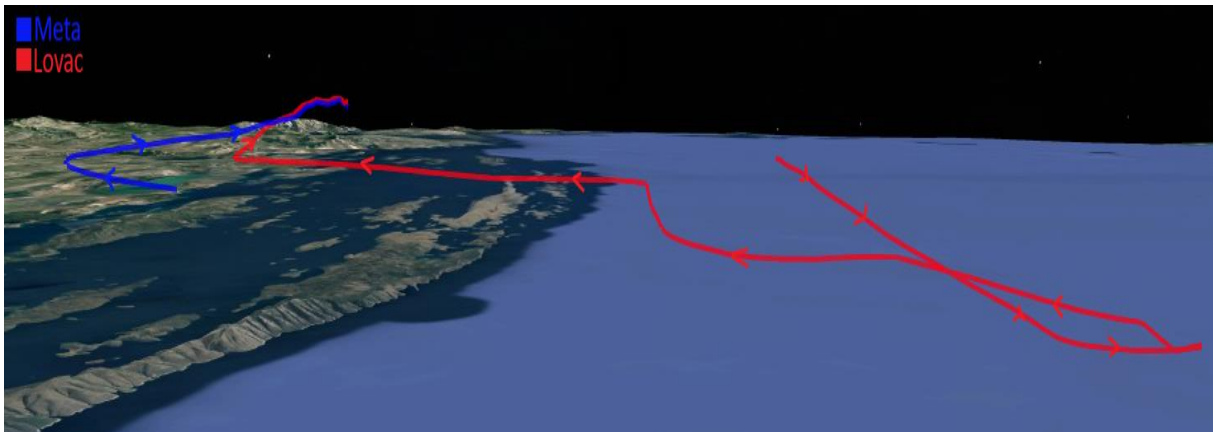
Slika 29. GPS Track Editor [11]

Sa lijeve strane sučelja programa na vrhu se nalazi alatna traka iz koje se mogu učitavati različite GPS datoteke, putevi, točke i slično te se tu mogu birati različiti alati za pomoći pri izradi ili uređivanju podataka. Na sredini lijeve strane se nalaze datoteke koje su trenutno učitane tu se može birati koju od njih se želi uređivati. Na dnu lijeve strane se nalaze osnovni podatci o trenutno otvorenoj GPS datoteci. Sredina sučelja programa prikazuje kartu i na njoj trenutno otvorenu datoteku. Žutim strelicama na karti su prikazane točke koje korisnik želi prikazati odnosno izvući iz cijele datoteke dok je crnim crticama prikazan ostatak rute koji je izrezan. Tu korisnik može odlučiti o daljini i vremenu trajanja rute i uređivati kako on to želi. Na desnoj strani sučelja gornja polovica prikazuje svaku točku posebno koja se nalazi u datoteci, vrijeme kada je ta točka zabilježena, brzina u toj točki, pravac, koordinate i slično. Na

drugoj polovici desne strane sučelja nalazi se detaljan pregled podataka iz označene točke na sredini sučelja (bijeli kružić).

7.2. Određivanje udaljenosti u stvarnim uvjetima

Za nekoliko presretanja navedenih u istraživanju napravljeno je presretanje u stvarnim uvjetima. Ta sva presretanja će biti posebno prikazana u 3D prostoru pomoću obrađenih GPX podataka i programa Google Earth Pro. Na svakoj od slika meta je prikazana plavom bojom dok je lovac prikazan crvenom. Način presretanja u toj situaciji će biti kratko opisan, a nakon toga i izračun te usporedba sa stvarnim odnosima udaljenosti. Primjer jednog presretanja u 3D prostoru prikazan je na slici 30.

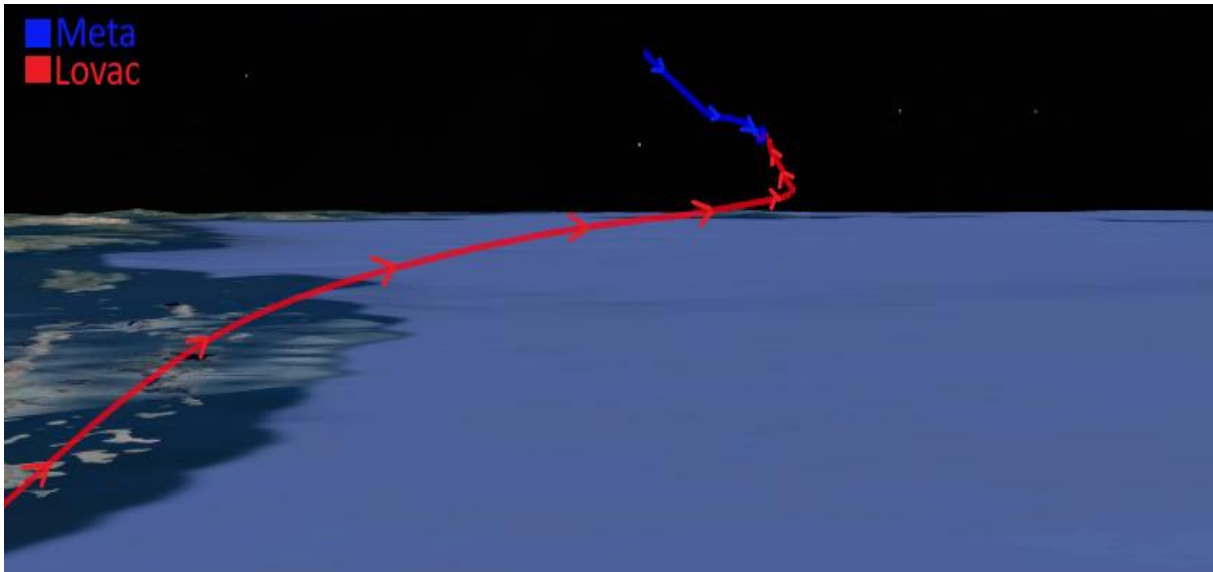


Slika 30. Primjer 3D prikaza presretanja

Na slici 30. lovac ide paralelnim kursom u odnosu na metu. Nakon što je lovac dobio podatak o udaljenosti mete, radi zaokret u suprotnu stranu od mete zbog povoljnijeg načina prilaska te nakon toga radi presretanje sustizanjem.

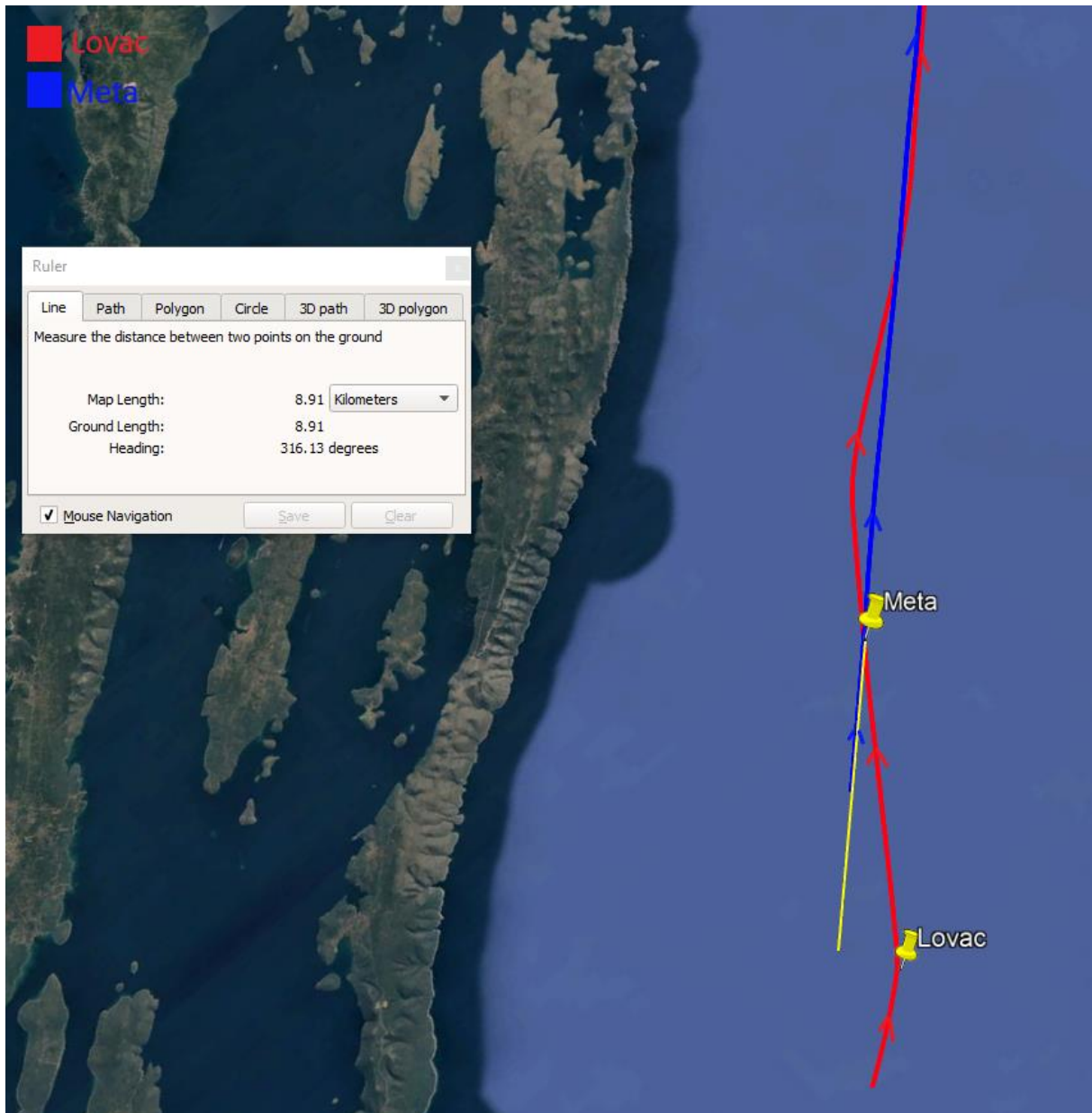
7.2.1. Presretanje 1

Prvo presretanje za koje se radi izračun je presretanje sustizanjem.



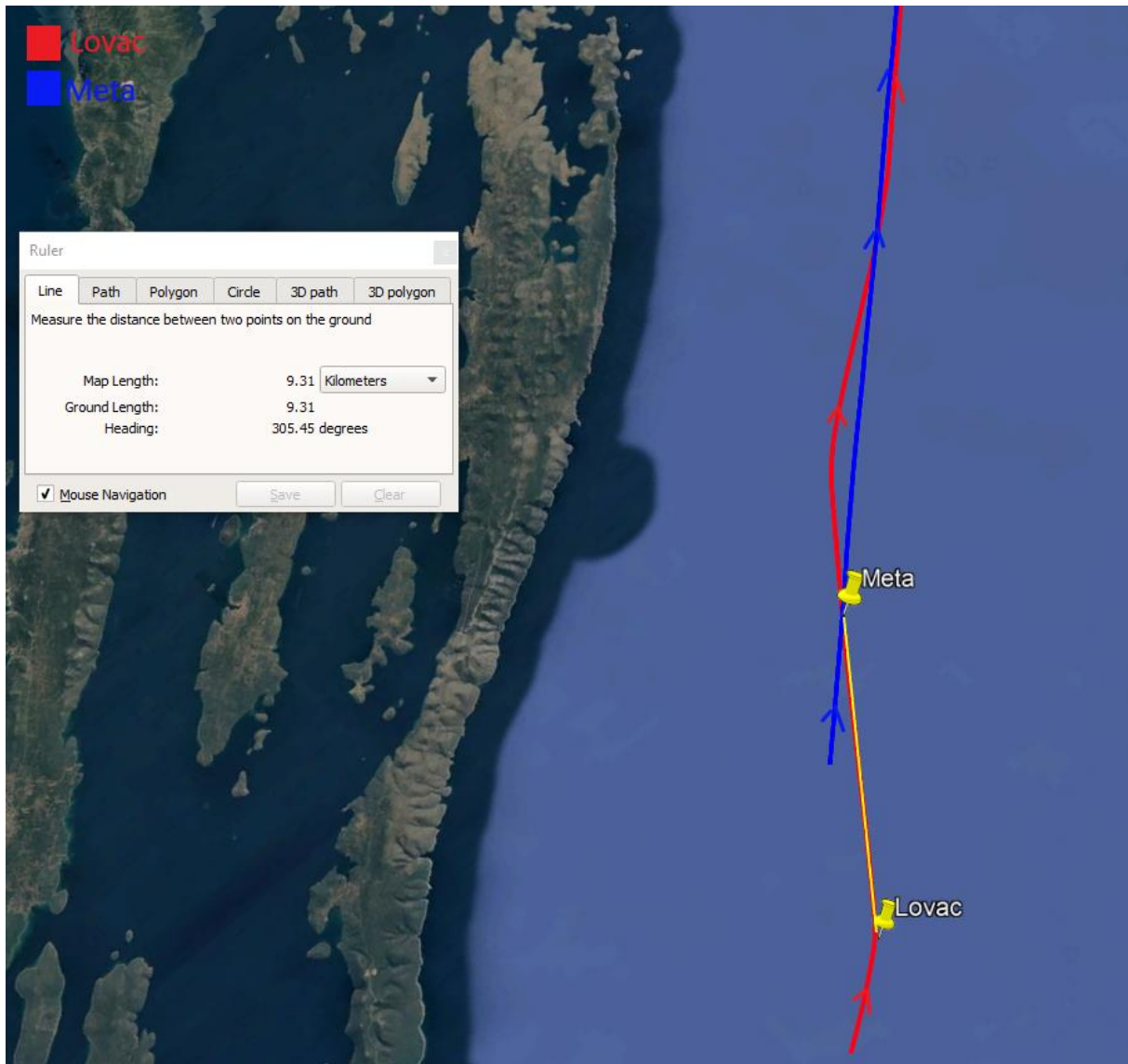
Slika 31. 3D prikaz presretanja sustizanjem

Presretanje sustizanjem je prikazano je na slici 31. Meta leti horizontalnim letom, a lovca navodi ZMIN prema meti. Lovac zna sve podatke o položaju, usmjerenju i visini mete. Na lovca je da odredi točnu udaljenost mete po podacima od ZMIN-a te nakon uočavanja da priđe meti te odradi identifikaciju. Ovo presretanje je izvedeno na način da je lovac doveden u stražnju četvrtinu mete na udaljenosti od 9 kilometara i od tog trenutka navođen od strane kontrolora za navođenje. Lovac je vođen po „cik-cak“ putanji zbog mogućnosti lakšeg uočavanja mete. Kako je vrijeme prolazilo lovac je prilazio meti i dobivao sve više podataka. Nakon uočavanja mete lovac se približio meti s desne strane i odradio identifikaciju.



Slika 32. 2D prikaz udaljenosti R

U 2D prikazu na slici 32. je prikazan trenutak početka vježbe presretanja i navođenja lovca prema. Pozicija radara u ovom slučaju se nalazi u čelu mete na udaljenosti od otprilike 200 km. Kontrolor je imao podatak o D_H . Nakon početka vježbe lovac je dobio podatke o meti: „Boogie BRAA, 3-4-5, 9 kilometers, ANGELS 12, COLD. Lovac zna da mu je meta na 10° lijevo, 9 kilometara udaljena, 1000 ft iznad i da ide od njega. Stvarna vrijednosti udaljenosti D_H se vide iz slike. Tu se odredi horizontala udaljenost iz formule (4). $D_H = 9.13 \text{ km}$. $D_V = 9.27 \text{ km}$



Slika 33. 2D prikaz stvarne horizontalne udaljenosti

Stvarna horizontalna udaljenost prikazana je na slici 33. i iznosi $D_{Hs} = 9.31 \text{ km}$. Stvarna dijagonalna udaljenost mete do lovca iz formule (6) iznosi $D_{Vs} = 9.32 \text{ km}$. S obzirom na veliku horizontalnu udaljenost i relativno malu razliku visina, D_{Hs} i D_{Vs} su približno jednake vrijednosti. Može se zaključiti da će smanjenjem D_{Hs} ta razlika se povećavati.

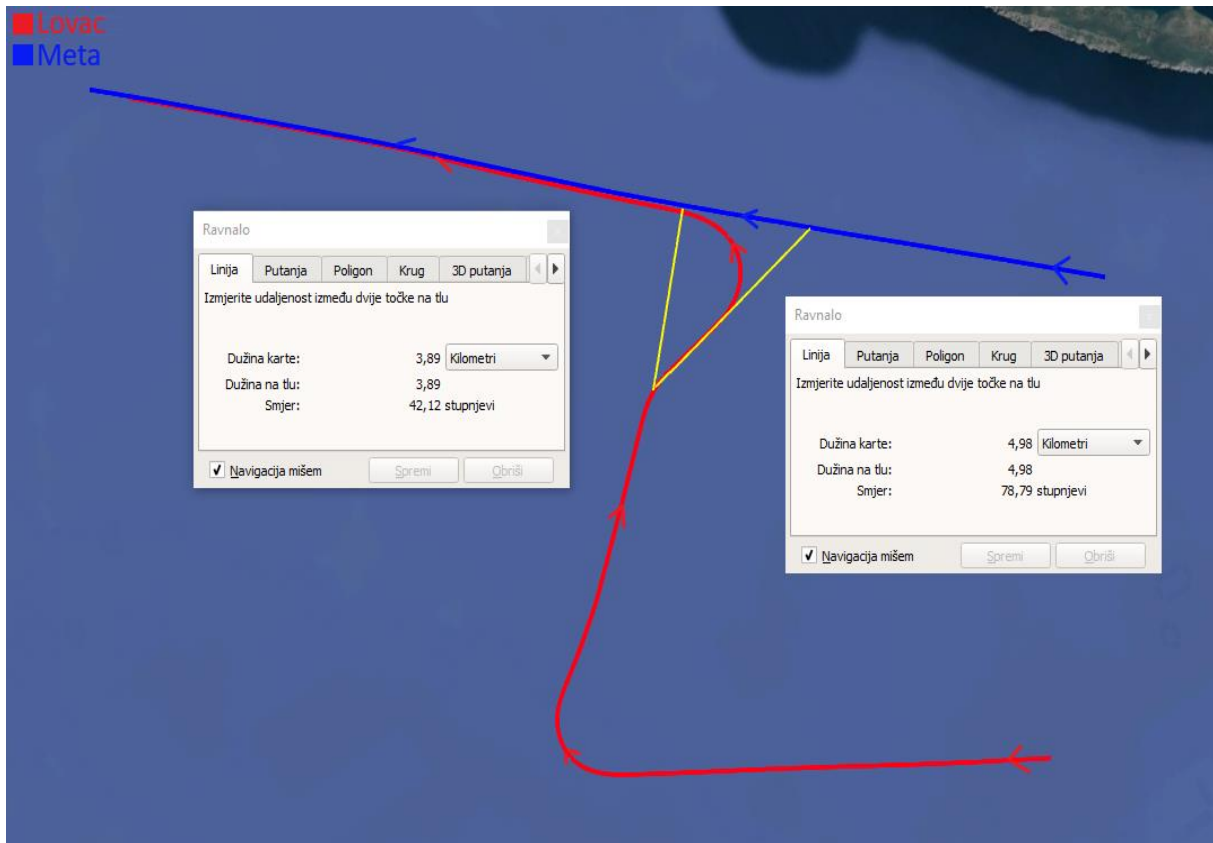
7.2.2. Presretanje 2

Presretanje 2 je presretanje s boka.



Slika 34. 3D prikaz presretanja s boka

Na slici 34. je prikazan način provedbe presretanja s boka. Može se vidjeti kako je lovac navođen od strane ZMIN-a po ravnoj putanji koja okomito siječe predviđenu putanju mete. Nakon što je meta prošla ispred smjera lovca, lovac je krenuo u zaokret i doveo se u idealne uvjete za presretanje sustizanjem. Kod ove vrste presretanja u stvarnim uvjetima je potrebna velika vještina časnika za navođenje za dobar proračun udaljenosti i vremena potrebnog da lovac dođe na pravilnu poziciju za zaokret. Pogrešna procjena može dovesti do toga da lovac bude pre rano ili pre kasno na poziciji za zaokret što bi značilo da lovac mora posebnim manevrima ili nepotrebno ubrzavati/usporavati da nadoknadi greške kontrolora.

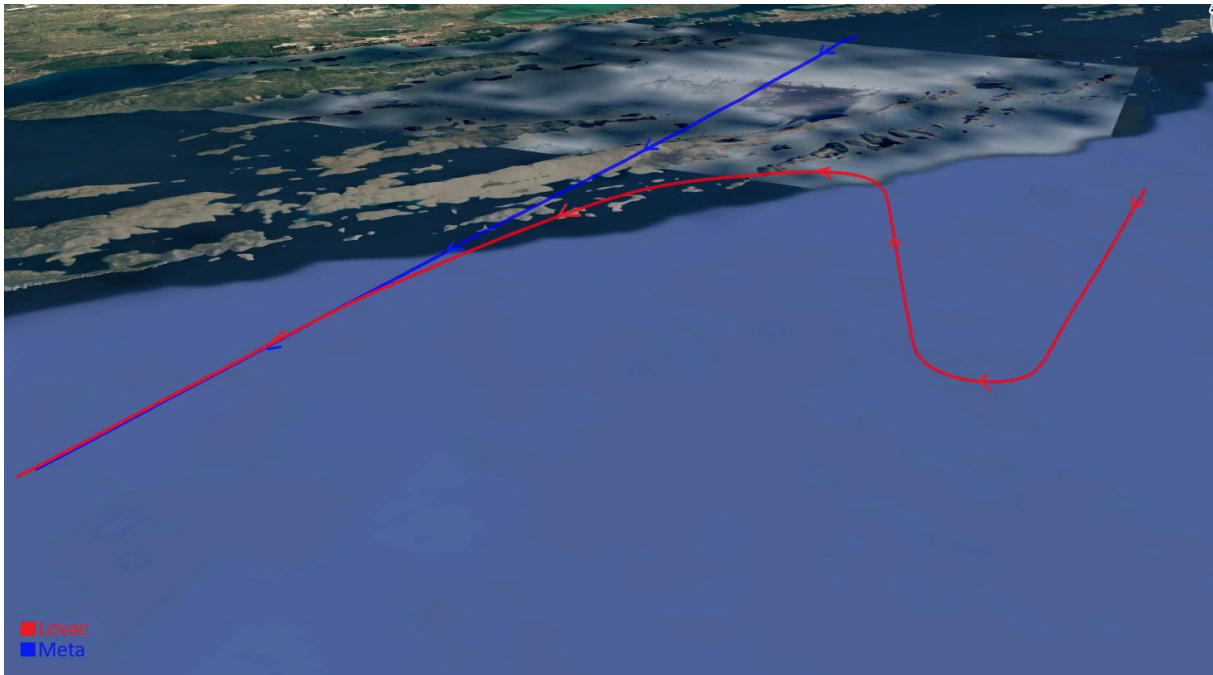


Slika 35. 2D prikaz točke uvođenja u zaokret i udaljenosti - presretanje s boka

Na slici 35. se može vidjeti tlocrt presretanja s boka. Naime za konkretno ovu situaciju, s obzirom na poziciju radara koji se nalazi u stražnjoj hemisferi mete na udaljenosti od otprilike 200 km, kontrolor je imao podatak o udaljenosti D_M i nije ju bilo potrebno računati. Ovdje se može vidjeti iskustvo kontrolora i točnost proračuna dovođenja lovca do mete. Lovac je bio usmjeren kursom pod 90° u odnosu predviđenu putanju mete i tako je letio neko vrijeme. Kontrolor koji je znao da je radijus blagog zaokreta 4 kilometra sa brzinom 300 kt (koja je i bila 300 kt u ovom slučaju) je dopustio let lovca let do udaljenosti $D_M \approx 4 \text{ km}$ ($D_{Ms} = 3.89 \text{ km}$). Podatci koje je lovac dobio netom prije zaokreta su: „Boogie BRAA – 0-4-0, 4 kilometers, ANGELS 12, HOT. Nakon toga kontrolor usmjerava lovca blago prema meti da bi lovac mogao uočiti metu i kako je meta prolazila ispred njega tako je kontrolor koristio potjeru uz pretjecanje i mijenjao kurs lovca da bi lovac mogao pravilno uočiti i dovesti se u pravilne uvjete za presretanje. Nakon uočavanja mete lovac prilazi meti i radi identifikaciju. $D_{Hs} = 4.98 \text{ km}$.

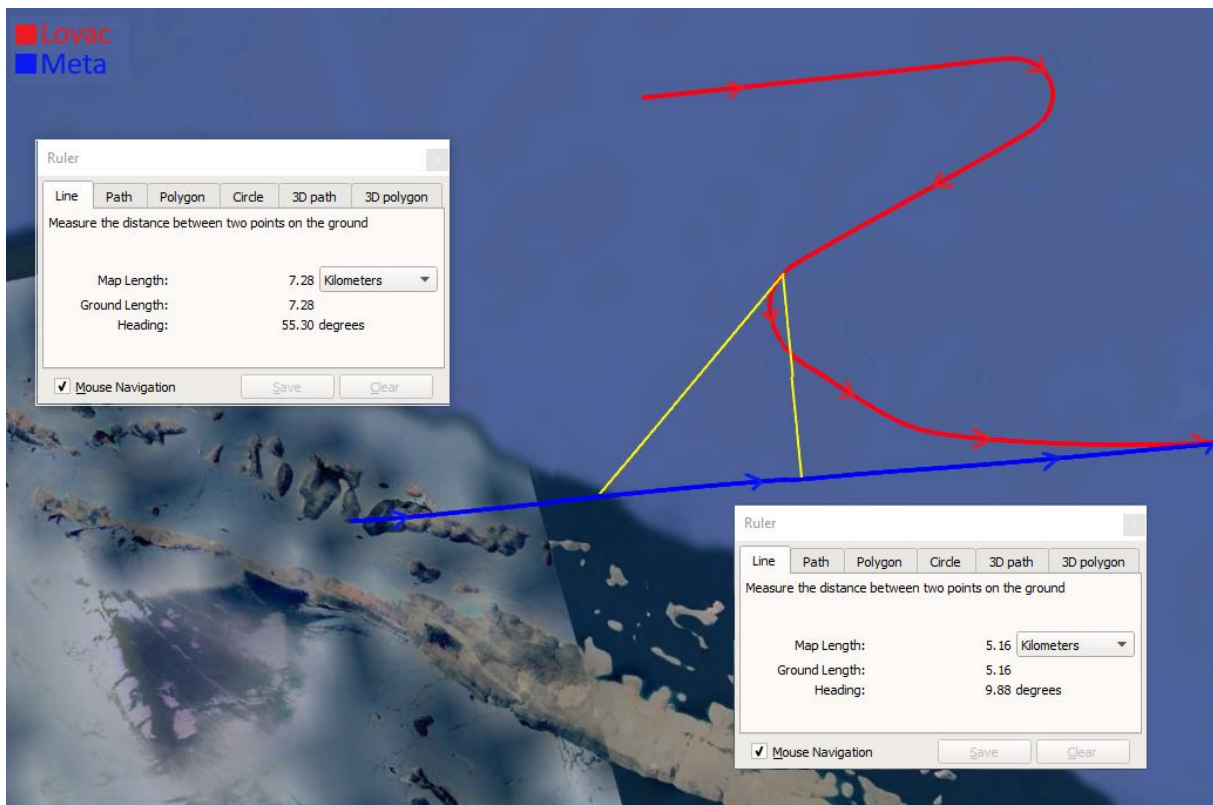
7.2.3. Presretanje 3

Na slici 35. prikazano je presretanje metodom čeonog napada.



Slika 36. 3D prikaz čeonog napada

Kod ovog načina presretanja može se vidjeti kako je lovac navođen od strane ZMIN-a po kursu koji u istom pravcu odilazi od mete te je nakon toga zaokretom usmjeren prema kursu koji siječe putanju pod 25° . Kako se lovac približava meti i dolazi pod 45° u odnosu na metu, kontrolor zaokretom usmjerava lovca prema meti i dovodi ga u uvjete za presretanje sustizanjem. S obzirom da se radar nalazi točno iza mete, imao je podatke o R i o D_M .

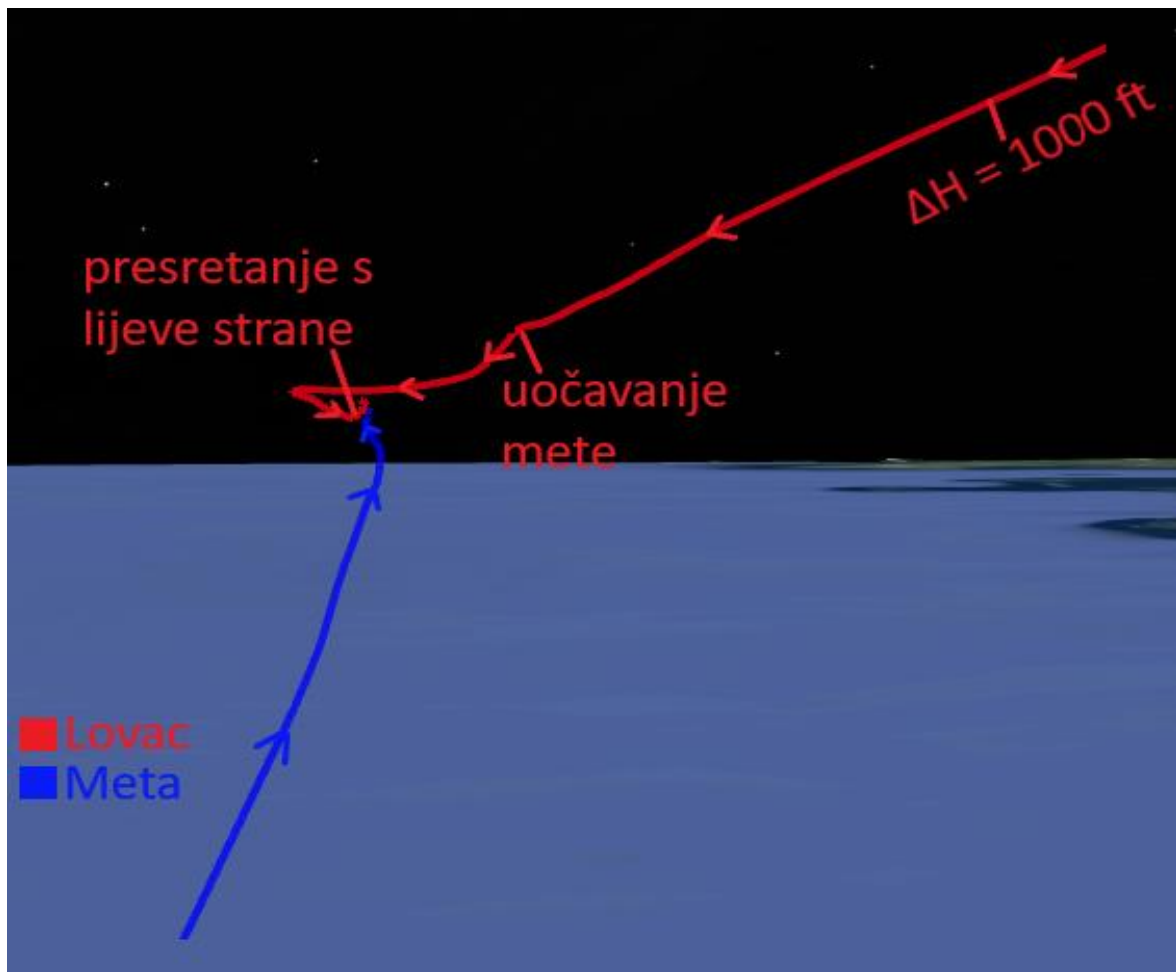


Slika 37. 2D prikaz trenutka uvođenja u zaokret zajedno s udaljenostima - čeonu napad

Na slici 37. se može vidjeti u tlocrtu trenutak kada kontrolor lovca uvodi u zaokret. U trenutku uvođenja lovac je dobio podatke od kontrolora: „Boogie BRAA, 3-3-5 ,5 kilometers, ANGELS 12, HOT. Iz toga možemo dobiti iz formule horizontalnu i stvarnu udaljenost $D_H = 7.1 \text{ km}$. $D_V = 7.11 \text{ km}$. Ako se uspoređi podatak sa slike imamo da je stvarna udaljenost $D_{HS} = 7.28 \text{ km}$, $D_{VS} = 7.29 \text{ km}$. Kod ove konkretne situacije kontrolor je doveo lovca u situaciju gdje je prilikom zaokreta shvatio da ako nastavi sa zaokretom izići će pre daleko od mete i presretanje neće biti dobro stoga je nakon otprilike 45° zaokreta lovac je morao ići horizontalnim letom neko vrijeme pa tek onda nastaviti zaokret. To je bilo moguće i zaključiti da će se dogoditi iz razloga što radijus zaokreta pri 300 kt sa 30° (standardni blagi zaokret) iznosi 4 kilometra, a na slici se može vidjeti da je $D_{MS} = 5 \text{ km}$. Problematika ove situacije je što se gubi određeno vrijeme zbog nepravilnog proračuna i samo presretanje nije skroz točno odrađeno. Da bi se izbjegla ovakva situacija kontrolor je mogao lovca uvesti ranije u kurs prema meti i dopustiti da leti više vremena prema samoj meti tako da u trenutku zaokreta bude na pravilnoj udaljenosti i ne gubi dragocjeno vrijeme u presretanju. Ako se i doveo u ovu situaciju lovac je mogao uzeti blaži nagib za zaokret da bi ušao u pravilnu putanju mete no to bi ga također koštalo određeno vrijeme.

7.2.4. Presretanje 4

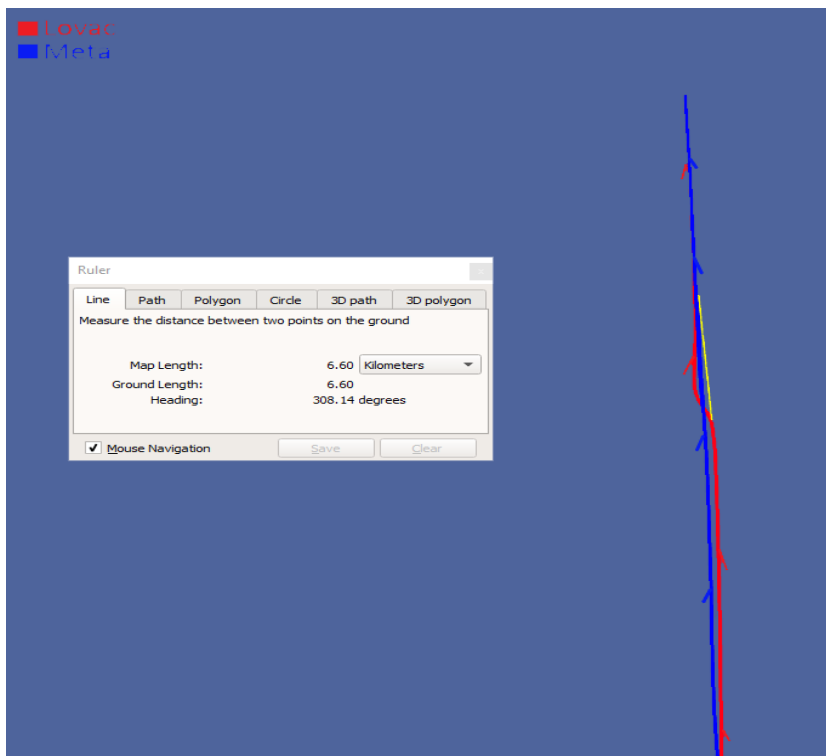
Na slici 38. prikazano je presretanje iz nadvišenja.



Slika 38. 3D prikaz presretanja iz nadvišenja

Slika 38. prikazuje način izvođenja presretanja iz nadvišenja u 3D prostoru. Lovac je letio na 1000 ft razlike iznad mete sa paralelnim kursom na određenoj udaljenosti. Nakon uočavanja mete lovac kreće u blago spuštanje i presretanje s lijeve strane da može odraditi identifikaciju i komunikaciju s kapetanom aviona.

U ovoj situaciji nije bilo standardno presretanje sa određivanjem udaljenosti na temelju viziranja iz razloga što je lovac bio konstantno iza mete i radar se radar prilikom ovog presretanja nalazio točno iza mete te je mogao očitati udaljenost lovca i mete. Lovac je to uzeo kao dovoljno precizan podatak, i odradio presretanje bez problema s obzirom da je na temelju podataka od kontrolora mogao brzo uočiti metu.



Slika 39. prikazuje 2D prikaz presretanja i s koje je udaljenosti lovac uočio metu dok slika 40. prikazuje izgled mete iz kabine kopilota za ovaj konkretan slučaj prilikom uočavanja konkretne mete.

Slika 39. 2D prikaz udaljenosti prilikom uočavanja mete



Slika 40. Izgled mete iz kabine zrakoplova





7.3. Usporedba teorijskog izračuna i stvarne situacije

Iz različitih izmjerenih podataka prikazanih na slikama u poglavlju 7.2 može se dobiti uvid u točnost proračuna dobivenih u poglavlju 6.

Tablica 11. Odnos stvarnih i proračunatih udaljenosti

	Presretanje sustizanjem	Presretanje s boka	Čeoni napad	Presretanje iz nadvišenja
$D_H (D_{H2}) [km]$	9	5.22	7.07	7
$D_{Hs} [km]$	9.31	4.98	7.28	6.6
Greška $D_H / D_{Hs} [\%]$	1.93	4.8	2.89	6.1
$D_M [km]$		4	5	
$D_{Ms} [km]$		3.89	5.16	
Greška $D_M / D_{Ms} [\%]$		2.8	3.1	
D_V	9.27	5.23	7.08	7.01
D_{Vs}	9.46	4.99	7.29	6.61
Greška $D_V / D_{Vs} [\%]$	2	4.8	2.88	6.05

Tumač tablice 11.:

	Podatak koji je lovac dobio od kontrolora
	Stvarna vrijednost dobivenog podatka
	Izračunata vrijednost udaljenosti
	Stvarna vrijednost udaljenosti

Iz tablice 11. može se zaključiti da su proračuni iz poglavlja 6. u stvarnosti vrlo precizni. Najveće odstupanje proračunatih i izmjerenih parametara je detektirano prilikom presretanja iz nadvišenja i ono iznosi 6.1% u odnosu na stvarnu vrijednost. Kod te konkretne situacije razlog tolike pogreške je u tome što iznos vrijednosti udaljenosti $D_H = 7 km$ je lovac dobio nakon što je javio da je uočio metu i to je bilo od strane kontrolora čisto da lovac ima okvirnu vrijednost. Proračun stvarne udaljenosti u toj situaciji ima veće odstupanje. No može se zaključiti da s obzirom na udaljenost koju je lovac dobio, koja predstavlja skoro maksimalnu pogrešku koja se može dogoditi prilikom davanja podatka lovcu o meti, pogreška je poprilično mala. Maksimalna pogreška podatka koja se događa prilikom zaokruživanja na najbliži cijeli

broj iznosi 0.5 km što je na udaljenosti 7 km 7.1%. Taj postotak je vrlo mala greška za određivanje udaljenosti i zaključak je da u slučaju maksimalne pogreške kontrolora u davanju podatka lovcu o udaljenosti, ta udaljenost je poprilično točna za bilo kakve proračune. Što se udaljenost smanjiva to će se ta greška povećavati stoga je na kontroloru da to anulira pogreške tako što će davati podatke koji su poprilično točni stvarnoj vrijednosti u pravilnim vremenskim odmacima. U ostalim presretanjima se mogu iščitati i situacije gdje se udaljenosti temelje na vrijednostima koje su približno jednake stvarnoj (pogreška unutar 3% što se može vidjeti iz tablice 11.). Takvim iznosima udaljenosti koje lovac dobiva od kontrolora može se proračunati stvarna udaljenost sa greškom manjom od 5%.

Ako se uzme pretpostavka da je na udaljenosti od 4.5 km prilikom presretanja sustizanjem kontrolor je odlučio dati podatak lovcu koji je u tom trenutku predstavlja maksimalnu grešku, da se meta nalazi na 5 kilometra ($D_H = 5 \text{ km}$). Uz to pretpostavka je da lovac i dalje nije vizualno uočio metu te se nalazi na 1000 ft razlike. Iz formule (6) imamo da je $D_V = 4.51 \text{ km}$ dok je $D_{V_S} = 5.01 \text{ km}$. Pogreška iznosi $\approx 10\%$ što je može se reći, nekakva granična vrijednost točnosti. Iz ovog proračuna se dobije da izračuni udaljenosti na udaljenosti lovca i mete manjim od 5 km uvelike ovise o točnosti podataka koje kontrolor daje lovcu.

Zaključak je da proračuni udaljenosti prilikom presretanja ovise najviše o udaljenostima mete i lovca. Na većim udaljenostima ($> 5 \text{ km}$), proračuni tih udaljenosti s podacima koje kontrolor daje su vrlo precizni. Kako se udaljenost smanjuje preciznost proračuna udaljenosti ovisi o tempiranju i točnosti podataka koje kontrolor daje lovcu tako da je važno da prilikom presretanja kontrolor i lovac budu svjesni toga. Prednost ove metode izračuna je u tome što na udaljenostima koje su manje od 5 km postoji velika vjerojatnost vizualnog uočavanja mete i s toga precizni proračuni nisu toliko potrebni.

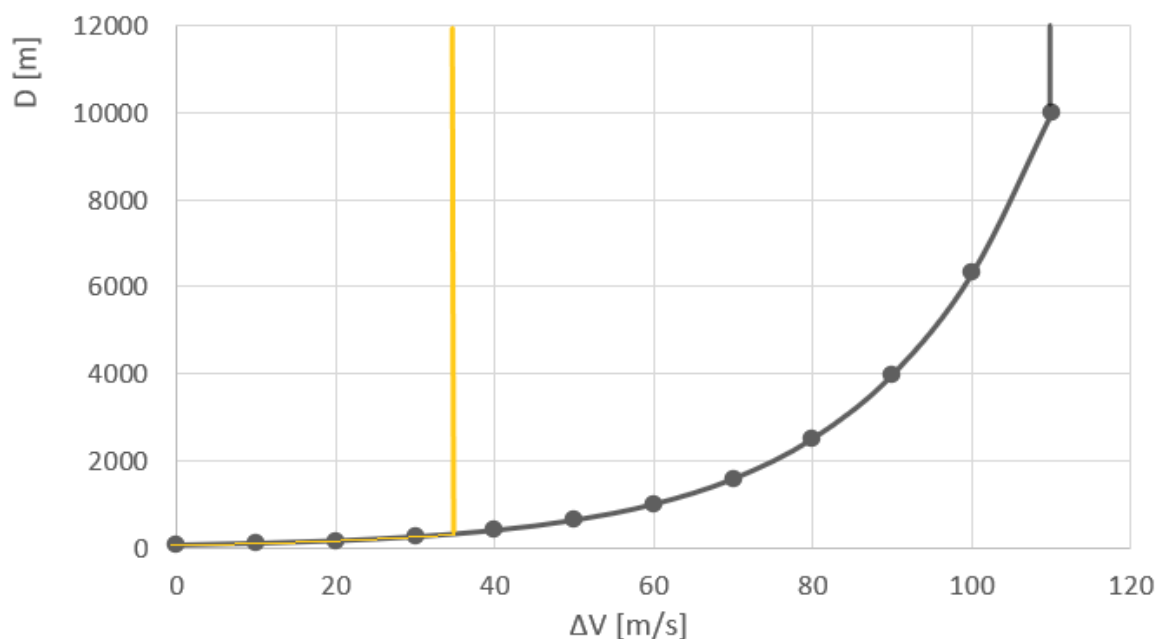
8. Optimalna brzina prilaska

Presretanje mora biti brzo i sigurno i zbog toga je važno odrediti brzinu prilaska koja će biti optimalna za različite situacije. Ograničenja brzine prilaska ovise o avionu koji izvodi presretanje. Što je veća udaljenost brzina prilaska bi trebala biti veća te kako se udaljenost smanjiva ta brzina se treba smanjivati tako da u točki kada lovac dođe na određenu udaljenost od mete brzine budu jednake. Izračunava se optimalna brzine prilaska za PC-9m i za borbeni avion koji može razvijati puno veće brzine. Optimalne brzine se ne primjenjuju u opasnim situacijama gdje je potrebno brzo djelovanje nego samo u standardnim presretanjima.

8.1. Brzina prilaska zrakoplova PC-9M

Za PC-9M poznat je podatak da je maksimalna brzina koju može razviti 320 kt što je približno 160 m/s. Mete koje ovaj avion presreće imaju uglavnom brzine od 100-250 kt što je 50 – 125 m/s. Maksimalna razlika brzina lovca i mete je 110 m/s. Iz pretpostavke da bi optimalna brzina prilaska pri 100 metara bila 10 m/s i s 10 kilometara bila maksimalna moguća postavlja se jednadžba ovisnosti udaljenosti D o brzini prilaska ΔV za PC-9M:

$$f(D) = 63.0949 \cdot (1.04713)^{\Delta V} \mid \Delta V_{MAX} = 110 \text{ m/s} \quad (20)$$



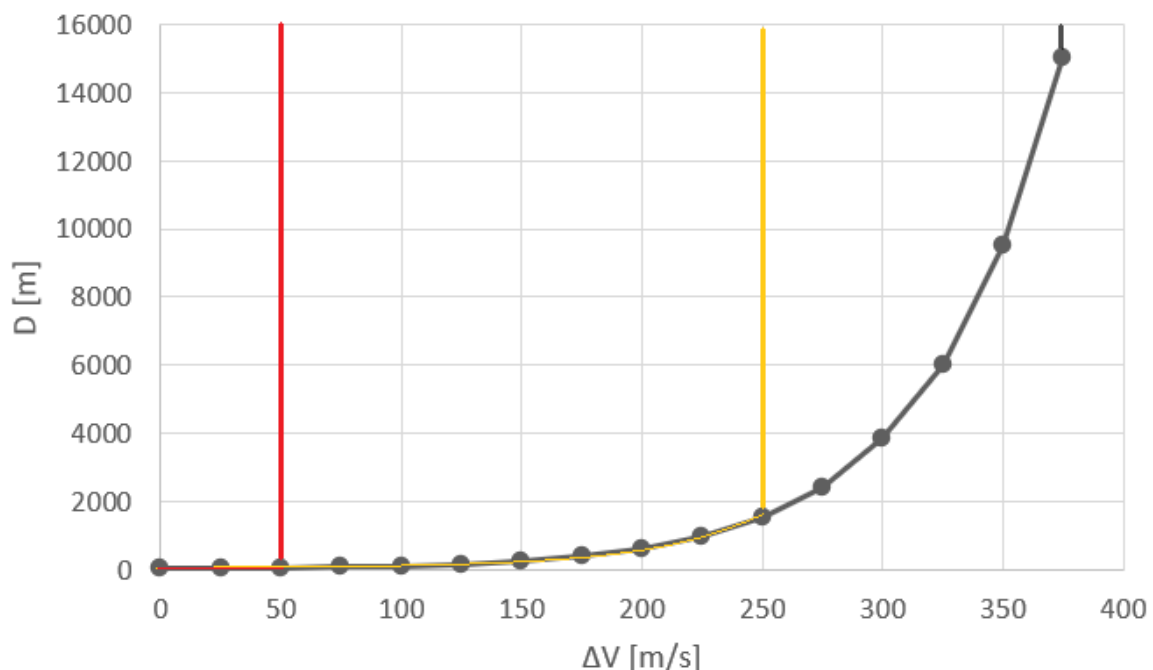
Slika 41. Odnos udaljenosti o brzini prilaska za PC-9M

Na slici 41. prikazan je odnos udaljenosti i brzine prilaska. Siva linija prikazuje brzine za slučaj minimalne brzine mete dok žuta linija prikazuje slučaj za maksimalnu brzinu.

8.2. Brzina prilaska borbenog aviona

Borbeni avioni za razliku od turbomlaznog aviona PC-9M mogu razvijati puno veće brzine. Za potrebe istraživanja uzima se da je maksimalna brzina koju borbeni avion razvija 1000 kt što je 500 m/s. Mete koje borbeni avion presreće su najčešće civilni mlazni avioni koji lete brzinom 500 kt (250 m/s) ili neki drugi borbeni avioni koji lete brzinom 400 kt što je 200 m/s (naravno ova brzina može biti puno veća, ali zbog jednostavnosti izračuna se uzima ta). Minimalna brzina s kojom neki borbeni avion može vršiti presretanje iznosi najčešće oko 250 kt što je 125 m/s. Dobiveno je da je maksimalna razlika brzina 375 m/s. Ako se krene od pretpostavke da je optimalna brzina prilaska 10 m/s na udaljenosti 100 m te da je optimalna brzina prilaska od 15 km i više maksimalna moguća brzina koja može biti, dobiva se jednačba ovisnosti udaljenosti D o ΔV za borbeni avion:

$$f(D) = 16.16544 \cdot (1.01839)^{\Delta V} \mid \Delta V_{MAX} = 375 \text{ m/s} \quad (21)$$



Slika 42. Odnos udaljenosti o brzini za borbeni zrakoplov

Slika 42. prikazuje odnos udaljenosti D i razlike brzina ΔV . Siva linija prikazuje optimalne brzine prilaska za slučaj da borbeni avion presreće metu koja ima maksimalnu razliku brzina recimo neki turbomlazni avion. Žuta linija predstavlja optimalne brzine za presretanje civilnog aviona dok crvena linija prikazuje optimalne brzine za presretanje borbenog aviona.

9. Zaključak

Presretanje je vrlo kompleksan proces koji se sastoji od puno malih dijelova od kojih svaki po malo utječe na kvalitetu i uspješnost izvođenja. Ključne stvari koje utječu su trenutak prepoznavanja mete, vrijeme koje prođe od prepoznavanja do samog presretanja, uvježbanost lovca i kontrolora za navođenje i njihova suradnja, poznavanje procedura i različitih načina presretanja. Različite stvari ometaju i sam proces kao što su na primjer meteorološki uvjeti ili tip mete koja se presreće.

Kroz analizu različitih načina presretanja provedeni su proračuni svih udaljenosti o kojima ovisi manevar za prilazak do dijagonalnih udaljenosti o kojima ovisi udaljenost djelovanja po meti. Kroz tu analizu su postavljeni uvjeti za proračune u stvarnim situacijama. Uz to dobiveno je saznanje o tome u kojim situacijama je podatak s radara dovoljno pouzdan i može se koristiti kao referenca, a u kojima nije.

U slučaju da lovac nema nikakav podatak od radara preko vizualnih proračuna i s pilotima koji su upoznati s metodama moguće je vrlo točno odrediti odaljenost objekta u zraku. Taj proračun može biti u situacijama rata ili bilo kakve opasnosti od životne važnosti stoga ovim radom je dan i uvid i način na koji je moguće brzo izračunati ako se dovedemo u određene prethodno definirane uvjete.

Mjerenjima u stvarnim uvjetima zrakoplovom PC-9m uspoređena je stvarna situacija udaljenosti u ovisnosti na predviđenu te je potvrđena točnost samih proračuna.

Proračun udaljenosti je vrlo važan prilikom presretanja jer preko dobrog proračuna možemo maksimalno uštedjeti vrijeme presretanja i u kritičnim situacijama biti u povoljnijem položaju nad protivnikom. Uz to pravilan proračun nam daje mogućnost uštede resursa jer manje vremena potrošenog na presretanje znači manje novca potrošenog.

U posljednjem poglavlju je opisan način na koji se može odrediti optimalna brzina prilaska prilikom presretanja da bi se spojila optimalna sigurnost sa optimalnom uštedom vremena.

Literatura:

- [1] 392.EA, »Presretanje ciljeva u zraku«.
- [2] Air to air intercept procedures workbook Q-2D-0094, Texas: United states navy, 2010..
- [3] [Mrežno]. Available: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Radar>. [Pokušaj pristupa Ožujak 2021.].
- [4] B. Grozdanić, Taktička navigacija, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2002..
- [5] G. Grgić, Analiza mogućnosti uporabe eskadrile aviona za izviđanje i nadzor, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2016..
- [6] »Vidljivost,« [Mrežno]. Available: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Vidljivost>. [Pokušaj pristupa Ožujak 2021.].
- [7] 392.EA, »Program letačke izobrazbe učenika letača na avionu Pilatus PC-9M«.
- [8] vojnipilot.hr, »vojnipilot.hr,« [Mrežno]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=_079HYEwsFM. [Pokušaj pristupa Ožujak 2021.].
- [9] »GPS Telemetry extractor,« [Mrežno]. Available: <https://goprotelemetryextractor.com/free/>. [Pokušaj pristupa Ožujak 2021.].
- [10] Google, *Google Earth Pro*.
- [11] »Gps Track Editor,« [Mrežno]. Available: www.gpstrackeditor.com. [Pokušaj pristupa Ožujak 2021.].

Popis kratica:

TAA	<i>Target Aspect Angle</i> – kut gledanja mete
ATA	<i>Antenna Train Angle</i> – kut gledanja lovca
AA	<i>Aspect Angle</i> – kut od TAA do suprotnog pravca leta mete
DTG	<i>Degrees to go</i> – kut do HL do HM
HL	<i>Heading lovca</i>
HM	<i>Heading mete</i>
BRAA	<i>Bearing, Range, Altitude, Aspect</i>
RH	Republika Hrvatska
OSRH	Oružane snage Republike Hrvatske
D_0	Daljina otkrivanja
K	Koeficijent refleksne površine
h_a	Visina radarske antene
H_L	Visina leta letjelice
t_{imin}	Minimalno potrebno vrijeme za postupke
t_{imax}	Maksimalno potrebno vrijeme za postupke
d_{MAX}	Udaljenost najjužnije točke
d_{MIN}	Udaljenost najsjevernije točke
D_{0A}	Daljina otkrivanja civilnog aviona
D_{0V4}	Daljina otkrivanja vojnog aviona 4. generacije
D_{0V5}	Daljina otkrivanja vojnog aviona 5. generacije
D_H	Horizontalna udaljenost
R	Range – horizontalna udaljenost mete do lovca paralelna s pravcem leta lovca
RA	Radijus
D_V	Ukupna udaljenost
ΔH	Razlika visina
D_M	Horizontalna udaljenost lovca okomita na pravca leta mete
D_{H2}	Horizontalna udaljenost od lovca do mete okomita na pravac leta

D_{V2}

mete

Ukupna dijagonalna udaljenost

Popis slika:

Slika 1. Kutovi presretanja [2]	5
Slika 2. Nazivi hemisfera prilikom presretanja [2].....	6
Slika 3. Kurs za sudar [2]	7
Slika 4. Geometrija potjere čistom krivuljom [2]	8
Slika 5. Geometrija potjere uz pretjecanje [2]	9
Slika 6. Geometrija potjere uz zaostajanje [2]	10
Slika 7. Područje otkrivanja prijetnje na udaljenosti 50 km od granice	18
Slika 8. Područja presretanja mete 1.	19
Slika 9. Područja presretanja mete 2.	20
Slika 10. Područja presretanja mete 3.	20
Slika 11. Područja presretanja mete 4.	21
Slika 12. Radarski očitane udaljenosti	22
Slika 13. Radarski očitane udaljenosti na velikim udaljenostima.....	23
Slika 14. Postupak presretanja i praćenja mete [5]	25
Slika 15. Utjecaj oblačnosti na daljinu vidljivosti	28
Slika 16. Geometrija presretanja sustizanjem.....	29
Slika 17. Geometrija paralelnog presretanja.....	31
Slika 18. Tlocrt geometrije paralelnog presretanja	32
Slika 19. Geometrija čeonog napada.....	33
Slika 20. Tlocrt geometrije čeonog napada	34
Slika 21. Geometrija presretanja s boka	35
Slika 22. Geometrija presretanja iz nadvišenja	38
Slika 23. Kut viziranja.....	39
Slika 24. Kut viziranja na PC-9M [7].....	40
Slika 25. Kutovi i udaljenosti prilikom leta iznad mete	41
Slika 26. Skica određivanja udaljenosti [8]	42
Slika 27. Sučelje stranice GoPro Telemetry Extractor [9].....	44
Slika 28. GPS podatci cijelog leta lovca [10]	44
Slika 29. GPS Track Editor [11]	45
Slika 30. Primjer 3D prikaza presretanja	46

Slika 31. 3D prikaz presretanja sustizanjem	47
Slika 32. 2D prikaz udaljenosti R	48
Slika 33. 2D prikaz stvarne horizontalne udaljenosti	49
Slika 34. 3D prikaz presretanja s boka	50
Slika 35. 2D prikaz točke uvođenja u zaokret i udaljenosti - presretanje s boka	51
Slika 36. 3D prikaz čeonog napada	52
Slika 37. 2D prikaz trenutka uvođenja u zaokret zajedno s udaljenostima - čeon napad	53
Slika 38. 3D prikaz presretanja iz nadvišenja	54
Slika 39. 2D prikaz udaljenosti prilikom uočavanja mete	55
Slika 40. Izgled mete iz kabine zrakoplova	55
Slika 41. Odnos udaljenosti o brzini prilaska za PC-9M.....	58
Slika 42. Odnos udaljenosti o brzini za borbeni zrakoplov.....	59

Popis tablica:

Tablica 1. Ovisnost daljine otkrivanja o visini leta i tipu letjelice.....	16
Tablica 2. Vrijeme do presretanja	19
Tablica 3. Ukupna udaljenost prilikom presretanja sustizanjem	30
Tablica 4. Horizontalna udaljenost prilikom paralelnog presretanja.....	32
Tablica 5. Ukupna udaljenost od lovca do mete	34
Tablica 6. D_M za različite slučajeve prilikom čeonog napada.....	35
Tablica 7. D_M za različite R prilikom presretanja s boka	36
Tablica 8. Horizontalne udaljenosti za $ATA = 0$	36
Tablica 9. Kut viziranja [7]	39
Tablica 10. Pretvorba stopa u kilometre [7].....	39
Tablica 11. Odnos stvarnih i proračunatih udaljenosti	56

Popis jednadžbi:

(1) Daljina uspješnog motrenja	15
(2) Ukupno vrijeme potrebno za presretanje	17
(3) Vrijeme ukupnog zakašnjenja	17
(4) Vrijeme do presretanja	17
(5) Kut gledanja lovca	29
(6) D_H prilikom presretanja sustizanjem.....	29
(7) Ukupna udaljenost prilikom presretanja sustizanjem	29
(8) Ukupna udaljenost prilikom presretanja sustizanjem za standardni ΔH	30
(9) Horizontalna udaljenost prilikom paralelnog presretanja.....	31
(10) D_M prilikom paralelnog presretanja	32
(11) Radijus zaokreta	32
(12) Opterećenje aviona.....	33
(13) Iznost kuta TAA	33
(14) D_H prilikom čeonog napada.....	34
(15) Ukupna udaljenost prilikom čeonog napada	34
(16) D_M prilikom čeonog napada	34
(17) D_M prilikom čeonog napada	34
(18) D_M prilikom presretanja s boka	36
(19) Ukupna udaljenost prilikom presretanja iz nadvišenja	40
(20) Optimalna brzina prilaska PC-9M	58
(21) Optimalna brzina prilaska borbenog aviona	59



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom **Metoda određivanja udaljenosti objekata prilikom presretanja u
zraku**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 13.4.2021 _____

(potpis)