

Navigacijski proračuni za presretanje aviona visokih performansi u zračnom prostoru Republike Hrvatske

Kanjir, Matija

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:119:069377>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-17**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

Navigacijski proračuni za presretanje aviona visokih performansi u zračnom prostoru Republike Hrvatske

Matija Kanjir

Zagreb, 2022.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**NAVIGACIJSKI PRORAČUNI ZA PRESRETANJE
AVIONA VISOKIH PERFORMANSI U ZRAČNOM
PROSTORU REPUBLIKE HRVATSKE**

**NAVIGATION CALCULATIONS FOR INTERCEPTION
OF HIGH-PERFORMANCE AIRCRAFT IN THE
AIRSPACE OF THE REPUBLIC OF CROATIA**

Mentor: prof. dr. sc. Doris Novak

Student: Matija Kanjir

JMBAG: 9996001369

Zagreb, rujan 2022.

SVEUŠILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH
ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI
ISPIT

Zagreb, 24. svibnja 2022.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br.
6978

Pristupnik: **Matija Kanjir (9996001369)**
Studij: **Aeronautika**
Zadatak: **Navigacijski proračuni za presretanje aviona visokih performansi u zračnom prostoru Republike Hrvatske**

Opis zadatka:

Procedure presretanja ciljeva u zraku. Geometrija presretanja. Taktike i tehnike presretanja. Profili leta za presretanje. Postupci zrakoplova u slučaju presretanja. Metodologija navigacijskih proračuna mogućnosti presretanja s obzirom na utrošak goriva. Navigacijski proračuni za presretanje u zračnom prostoru Republike Hrvatske s obzirom na utrošak goriva za avione visokih performansi.

Mentor:

**Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:**

prof. dr. sc. Doris Novak

SAŽETAK

Navigacijski proračuni jedan su od čimbenika prilikom provedbe bilo koje zadaće ratnog zrakoplovstva, pa tako i kod zadaće presretanja. Definiranjem pojmova vezanih za presretanje kroz rad je teorijski prikazana i sistematizirana cijela procedura presretanja. Budući da je teorijski prikaz presretanja omogućio definiranje situacija u zračnom prostoru za koje je potrebno provesti zadaću presretanja, na temelju tri situacije su provedeni proračuni utroška goriva kod presretanja. Analiziranjem metodologije navigacijskih proračuna s obzirom na utrošak goriva dobiveni su postupci pomoću kojih se provodi navigacijski proračun s obzirom na utrošak goriva. Uz korištenje metodologije i dijagrama za potrošnju goriva u različitim režimima leta i rada motora, provedeni su proračuni potrošnje goriva kod zadaće presretanja za lovački avion MiG-21bisD u zračnom prostoru Republike Hrvatske.

KLJUČNE RIJEČI: presretanje; presretač, geometrija presretanja; prisilno slijetanje; pratnja; navigacijski proračuni

SUMMARY

Navigation calculations are one of the factors when executing any air force task, including the interception. By defining terms related to interception, the entire interception procedure is theoretically presented and systematized. Since the theoretical presentation of the interception made it possible to define the situations in the airspace for which it is necessary to perform the task of interception, based on the three situations, calculations of fuel consumption during the interception were carried out. By analyzing the methodology of navigation calculations regarding fuel consumption, procedures were obtained by means of which the navigation calculation is carried out with regard to fuel consumption. With the use of methodology and diagrams for fuel consumption in different modes of flight and engine operation, calculations of fuel consumption during the interception task for the fighter MiG-21bisD in the airspace of the Republic of Croatia were carried out.

KEYWORDS: interception; interceptor; intercept geometry; forced landing; escort; navigation calculations

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PROCEDURE PRESRETANJA CILJEVA U ZRAKU	3
2.1. Presretanje u vrijeme krize i konflikta	3
2.2. Presretanje u mirnodopsko vrijeme	4
2.3. Faze presretanja	5
3. PRESRETANJE S NAMJEROM PRUŽANJA NAVIGACIJSKE POMOĆI	7
3.1. Prisilno slijetanje	8
3.2. Pratnja.....	8
4. POSTUPCI ZRAKOPLOVA U SLUČAJU PRESRETANJA	9
4.1. Vizualni signali zrakoplova presretača i presretanog zrakoplova.....	9
4.2. Radiokomunikacijski signali tijekom presretanja	11
5. GEOMETRIJA PRESRETANJA	12
5.1. Presretanje iz smjera 180°	13
5.2. Presretanje iz smjera 150°	14
5.3. Presretanje iz smjera 90°	16
6. TAKTIKE I TEHNIKE PRESRETANJA	17
6.1. Taktike prilaza.....	17
6.2. Završna potjera	18
6.3. Vrste napada.....	18
7. PRIORITETI ZA PROVOĐENJE PRESRETANJA	20
8. PROFILI LETA ZA PRESRETANJE	21
8.1. Profil leta s kratim doletom.....	21
8.2. Profil leta sa srednjim doletom	21
8.3. Profil leta s velikim doletom.....	22
9. METODOLOGIJA NAVIGACIJSKIH PRORAČUNA MOGUĆNOSTI PRESRETANJA S OBZIROM NA UTROŠAK GORIVA	23
9.1. Raspoloživa količina goriva za horizontalni let.....	23
9.2. Raspoloživa količina goriva za zračnu borbu u stratosferi.....	24
9.3. Raspoloživa količina goriva za zračnu borbu na visinama manjima od 11000 m .	24
9.4. Raspoloživa količina goriva za vođenje zračne borbe protiv letjelica na malim visinama obavljanjem spuštajućeg manevra.....	24

9.5. Raspoloživa količina goriva za vođenje manevarske borbe u zraku protiv taktičkih lovaca protivnika.....	25
10. NAVIGACIJSKI PRORAČUNI ZA PRESRETANJE U ZRAČNOM PROSTORU REPUBLIKE HRVATSKE S OBZIROM NA UTROŠAK GORIVA ZA AVIONE VISOKIH PERFORMANSI.....	26
10.1. Proračun utroška goriva za proceduru presretanja	26
10.2. Proračun utroška goriva za proceduru prisilnog slijetanja	30
10.3. Proračun utroška goriva za proceduru pratnje.....	36
LITERATURA	45
POPIS KRATICA	46
POPIS SLIKA	47
POPIS TABLICA.....	49

1. UVOD

Kao jedan od čimbenika kod provedbe zadaće presretanja, navigacijski proračuni su početni dio pripreme za izvršenje iste. Zbog vrste zadaće bitna je izrada proračuna koji definira postoji li mogućnost presretanja s obzirom na količinu goriva kojom raspolaže zrakoplov presretač. Iako moderni avioni visokih performansi koji se u većini slučajeva koriste kao presretači nose dostatne količine goriva, definirane s obzirom na teritorij koji pokrivaju za provedbu gotovo svake zadaće, postoje slučajevi u kojima nije moguće zadovoljiti taj standard. Najčešće je problem u količini goriva koju zrakoplov može nositi, u veličini i obliku teritorija koji se pokriva ili u poziciji zračne baze u kojoj su presretači stacionirani. Budući da je zadaća presretanja ovisna o vremenu reakcije, potrebno je navigacijske proračune izraditi za što više mogućih scenarija koji su krajnje nepovoljni kako bi se odredio teritorij koji je moguće pokriti s danim resursima. Zbog takve problematike, koja je trenutno slabo razrađena, ovaj rad se bavi navigacijskim proračunima za lovački avion MiG-21bisD, avion koji se koristi za nadzor zračnog prostora Republike Hrvatske, u tri zamišljene situacije. Shodno tome, svrha ovog rada je proučiti postupke i procedure presretanja aviona visokih performansi te na temelju istih napraviti navigacijske proračune utroška goriva u tri situacije presretanja. Cilj istraživanja je sistematizirati postupak navigacijskih proračuna za avione visokih performansi, u ovom slučaju već prije navedeni lovački avion MiG-21bisD, i prikazati ključne pojmove koji su neophodni za shvaćanje navigacijskih proračuna. Naslov ovog diplomskog rada je: Navigacijski proračuni za presretanje aviona visokih performansi u zračnom prostoru Republike Hrvatske. Rad je podijeljen u jedanaest cjelina:

1. Uvod
2. Procedure presretanja ciljeva u zraku
3. Presretanje s namjerom pružanja navigacijske pomoći
4. Postupci zrakoplova u slučaju presretanja
5. Geometrija presretanja
6. Taktike i tehnike presretanja
7. Prioriteti za provođenje presretanja
8. Profili leta za presretanje
9. Metodologija navigacijskih proračuna mogućnosti presretanja s obzirom na utrošak goriva
10. Navigacijski proračuni za presretanje u zračnom prostoru Republike Hrvatske s obzirom na utrošak goriva za avione visokih performansi
11. Zaključak.

U drugom poglavlju definirane su procedure presretanja ciljeva u zraku te su prikazane razlike kod procedura presretanja u mirnodopsko vrijeme i u vrijeme krize ili konflikta. Isto tako poglavlje obuhvaća razloge za presretanje i faze od kojih se presretanje sastoji.

U trećem poglavlju su prikazane dvije vrste pružanja navigacijske pomoći zrakoplovu, procedura prisilnog slijetanja i procedura pratnje zrakoplova, te je opisano u kojim situacijama dolazi do pružanja pomoći i na koji način se ona pruža.

Četvrto poglavlje prikazuje postupke zrakoplova u slučaju presretanja koji su definirani međunarodni zrakoplovnim propisima i regulativama. Obuhvaćeni su postupci u slučaju da je radiokomunikacija uspostavljena i u slučaju kada ista ne postoji.

Peto poglavlje obrađuje geometriju presretanja kao jedan od alata za presretanje kojima se koristi zemaljska kontrola, a obuhvaća navođenje zrakoplova presretača na metu preko trokuta presretanja. Prikazana su tri vježbovna scenarija geometrije presretanja koja časniku za navođenje olakšavaju provedbu stvarne zadaće.

Šesto poglavlje obuhvaća taktike i tehnike presretanja koje su definirane vrstama prilaza, završne potjere i vrstama napada. Na slikama u poglavlju su iste grafički prikazane.

U sedmom poglavlju su nabrojani prioriteti za presretanje koji se gradiraju sukladno vrsti zadaće, a istima su u tablici nabrojane prednosti i nedostaci.

Osmo poglavlje prikazuje tri profila leta za presretanje koji su određeni udaljenošću između mete i lovca, odnosno zrakoplova presretača. Na slikama je prikazan svaki profil leta zasebno uz navedene radnje koje zrakoplov presretač provodi.

U devetom poglavlju prikazana je metodologija proračuna utroška goriva kod provedbe zadaća zračne borbe, odnosno presretanja, koja je podijeljena s obzirom na visine na kojima se zadaća provodi i s obzirom na manevre lovca.

U desetom poglavlju su napravljeni navigacijski proračuni za tri situacije presretanja u zračnom prostoru za lovački avion MiG-21bisD te je prikazan cijeli postupak proračuna s pripadajućim dijagramima i slikama.

2. PROCEDURE PRESRETANJA CILJEVA U ZRAKU

Presretanje je jedan od načina djelovanja lovačkog zrakoplovstva kod kojeg zemaljska kontrola pomoću geometrije presretanja i taktika navođenja dovodi lovca u bolju poziciju u odnosu na metu. Uspješno presretanje podrazumijeva navođenje lovca do točke u kojoj on može najefikasnije obaviti zadaću. U mirnodopsko vrijeme to je navođenje lovaca na udaljenost do 2.5 NM iza civilnog zrakoplova kojeg se presreće, a u vrijeme krize i konflikta to je navođenje lovca u poziciju iz koje može na najbolji mogući način upotrijebiti svoje naoružanje [1,2].

2.1. Presretanje u vrijeme krize i konflikta

Presretanje u vrijeme krize i konflikta se provodi na dva načina: iz pripravnosti na zemlji i iz pripravnosti u zraku [2].

Presretanje iz pripravnosti na zemlji uključuje lovce koji se nalaze na nekom aerodromu u određenoj pripravnosti te nakon zapovijedi polijeću prema meti kako bi obavili svoju zadaću. Omogućuje ekonomičnu upotrebu aviona budući da lovci čekanjem na zemlji štede gorivo, avione i ostalu potrebnu opremu.

Presretanje iz pripravnosti na zemlji moguće je koristiti u mirnodopsko vrijeme, ali u vrijeme krize i konflikta nekada to nije najbolje rješenje budući da lovcima treba određeno vrijeme za polijetanje i sustizanje mete kako bi djelovali po njoj. Vrijeme zakašnjenja moguće je skratiti pravovremenim upozorenje i uzbuđivanjem lovaca, ali ipak ostaje veće od onog u presretanja iz pripravnosti u zraku [2].

Presretanje iz pripravnosti u zraku podrazumijeva da se lovci nalaze u nekom dijelu zračnog prostora, bilo da se nalaze u zoni očekivanja, zoni patroliranja ili slobodno lete. Presretanje iz zone očekivanja podrazumijeva da se lovci nalaze u zraku iza prijateljskih snaga te nakon otkrivanja protivničkih zrakoplova od strane radara se usmjeravaju prema otkrivenim zrakoplovima i djeluju po njima. Zona očekivanja se određuje na temelju raspoložive količine goriva lovaca, odnosno, potrebno je da se ona nalazi u području koje je dovoljno blizu kako bi lovcima bilo omogućeno uspješno izvršenje zadaće i nakon toga povratak na aerodrom slijetanja [2].

Presretanje iz zone patroliranja se ostvaruje u sklopu lovačke zaštite. Lovci čekaju protivničke snage u blizini objekta ili snaga koje je potrebno štititi od protivničkih zrakoplova te ih samostalno ili na temelju informacija od zemaljske strane presreću i izvršavaju zadaću prije nego oni dođu do crte s koje mogu djelovati. Zona patroliranja se nalazi ispred objekta zaštite ili iznad samog objekta na najvjerojatnijem smjeru djelovanja protivničkog zrakoplovstva. Pozicija zone patroliranja se određuje s obzirom na manevarske sposobnosti prijateljskih i protivničkih zrakoplova, a veličina se određuje prema brojnosti protivničkog zrakoplovstva [2].

Presretanje iz slobodnog lova podrazumijeva zaštitu objekata i snaga upućivanjem lovaca na određene rute iznad prijateljskog ili protivničkog teritorija. Svrha je otkrivanje protivničkih zrakoplova te njihovo neutraliziranje. Primjenjuje se u prostoru koji nije radarski pokriven te

postoji mogućnost prolaska protivničkih snaga bez opažanja. Način djelovanja i jačina snaga ovisi o zadaći i karakteru djelovanja prijateljskih snaga te brojnosti i načinu djelovanja zrakoplovstva. Zbog mogućnosti kratkog djelovanja lovaca potrebna je dobra priprema i određivanje ruta slobodnog lova kako bi se postigla efikasnost i ekonomičnost u djelovanju [2].

2.2. Presretanje u mirnodopsko vrijeme

Ratno zrakoplovstvo svake države u suradnji s nacionalnom kontrolom leta dogovara presretanje letjelice u zraku ako se ona ne pridržava pravila letenja te postoji mogućnost djela nezakonitog ometanja ili ako je letjelica u sigurnosno ugroženoj situaciji, a lovci joj mogu pomoći. Presretanja letjelica se izrazito razlikuje u mirnodopsko vrijeme i u vrijeme krize ili konflikta.

Presretanje se može izvesti iz nekoliko razloga. Ovisno o cilju koji se presreće i njegovim postupcima, najčešći razlog je identifikacija. Nakon identifikacije cilja može se nastaviti s praćenjem i ispitivanjem njegovih namjera, pokušajem uspostave komunikacije ako isti nije u komunikaciji s kontrolom leta te na kraju promjena njegovih parametara leta ukoliko to situacija zahtijeva.

Kod svakog presretanja prvi razlog je *identifikacija zrakoplova*. Identifikacija se može obaviti prema planu leta koji je prije leta popunio operater zrakoplova, pomoću radarskih sustava, odnosno podacima koji se odašilju preko SSR transpondera. Zadnji način je vizualna identifikacija koju vrši zrakoplov presretač (u daljnjem tekstu presretač) u trenutku kada se uspješno izvrši navođenje te se on nalazi u poziciji iz koje može prepoznati tip zrakoplova, registraciju zrakoplova i ostale podatke koji su od njega zahtijevani.

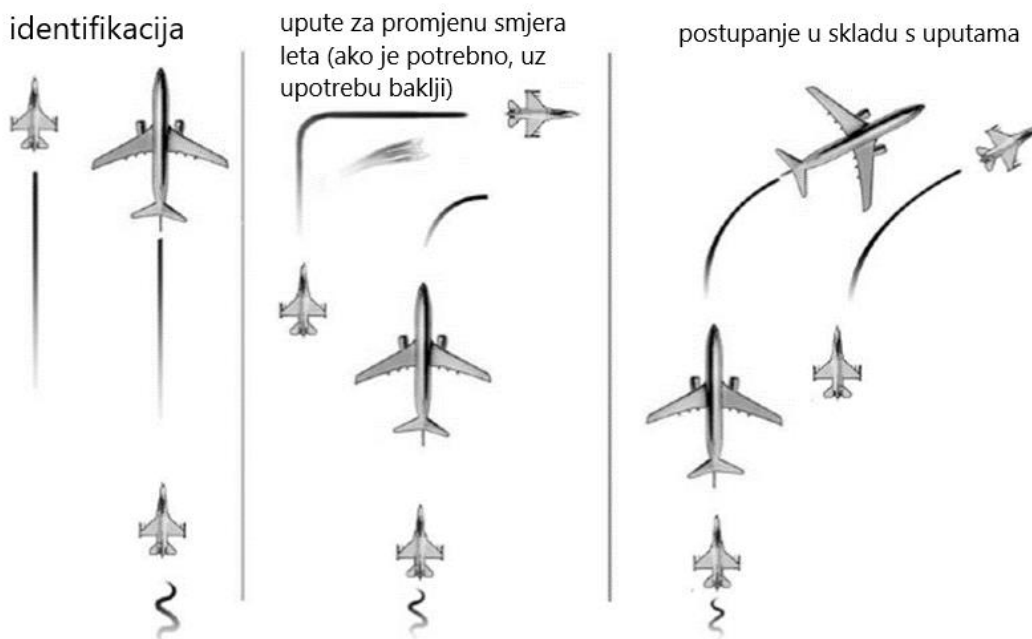
Sljedeći razlog za presretanje je *praćenje zrakoplova* ako se radi o zrakoplovu koji ima status visokovrijednog cilja te je potrebna njegova zaštita ili ako se smatra da zrakoplov u zračnom prostoru ima sumnjive namjere.

Jedan od razloga za presretanje je i *ispitivanje namjera zrakoplova* ako se smatra da bi isti mogao povrijediti sigurnost letenja, ne pridržavati se važećih propisa i regulativa ili iz nekih drugih razloga. Najčešće se ispitivanje provodi s veće udaljenosti zbog očuvanja sigurnosti budući da uvijek postoji sumnja da se zrakoplov koristi kao sredstvo za izvršenje djela nezakonitog ometanja.

Najčešći razlog zbog kojeg se zrakoplov presreće je *uspostava komunikacije* zbog nepostojanja radiokomunikacijske veze između zrakoplova i kontrole leta. Prvo se izvrši vizualna identifikacija, a nakon toga se pokušava uspostaviti radiokomunikacija ako zapovjednik zrakoplova već sam nije uspostavio kod uočavanja borbenih aviona neposredno pored sebe. Ako nije moguće uspostaviti radiokomunikacijsku vezu, ista se pokušava uspostaviti ručnim signalima koji su navedeni u poglavlju 4.

Posljednji razlog za presretanje je *promjena smjera leta zrakoplova* koji spada u intervenciju nad zrakoplovom te je kao takav najmanje poželjan. (Slika 1.) Jedan od razloga promjene smjera leta je nepoštivanje plana leta od strane presretnutog zrakoplova. Promjenom ga se vraća na planirani pa se na taj način povećava sigurnost letenja. Drugi razlog može biti

sumnja da zrakoplov ima nezakonite namjere te se na taj način što prije udaljava iz zračnog prostora države ili se prisiljava na slijetanje na određeni aerodrom [3, 4].



Slika 1. Presretanje s namjerom promjene smjera leta zrakoplova

Izvor: [3]

2.3. Faze presretanja

Presretanje se sastoji od tri faze: faze prilaza, faze identifikacije i faze nakon presretanja. Prve dvije faze su uvijek identične za svako presretanje, dok je treća specifična za svaki cilj u zraku koji je potrebno presresti.

Faza prilaza je zajednička svakoj proceduri presretanja. Obuhvaća dio od davanja uzbune posadi presretača, kroz polijetanje do završnog prilaza cilju kojega je potrebno presresti. Zrakoplovi presretači najčešće lete u paru, ali u nekim slučajevima moguće je izvršavanje presretanja sa samo jednim zrakoplovom. U fazi prilaza, ovisno o državi, presretač može letjeti pod ovlašću civilne kontrole leta koja je zadužena za osiguranje sigurnog i što bržeg dolaska do cilja kojeg je potrebno presresti u skladu sa svim sigurnosnim normama i potrebnim razmacima. Druge države imaju praksu da se presretač ne daje na vezu civilnoj kontroli, već od trenutka polijetanja prelazi na kanal časnika za navođenje, odnosno vojne kontrole, te je ista odgovorna za osiguranje sigurnosnih standarda u prilaznoj fazi. U završnom dijelu faze prilaza časnik za navođenje primjenjuje geometriju presretanja kako bi presretanje bilo uspješno. U slučaju presretanja civilnog zrakoplova to je najčešće prilaz iz zadnje četvrti budući da su presretači najčešće lovački avioni kojima nije problem brzina i manevarske sposobnosti, a na taj način je sigurnost na prvom mjestu [3].

Nakon što su zrakoplovi presretači procijenili da su u mogućnosti sami preuzeti presretanje, kreću u sigurno približavanje prema zrakoplovu koji presreću, dio nazvan *fazom identifikacije*.

Kod približavanja bitno je naglasiti da se presretači ne približavaju na udaljenost manju od one s koje je moguće vidjeti sve potrebne znakove na zrakoplovu koji presreću. Također, ako su performanse presretanog zrakoplova puno slabije od presretača moguće je izvesti presretanje kruženjem oko cilja zbog povećanja sigurnosti presretača. U fazi identifikacije presretač najčešće provjerava registraciju zrakoplova kojeg presreće, provjerava aktivnosti u kabini, uočava postoji li neki oblik elektroničkog ometanja te ostale bitne informacije koje od njega mogu tražiti nadležna tijela ili koje on smatra bitnima. U fazi identifikacije je posebno bitno držati razmak što veći moguć zbog mogućnosti da se presretani zrakoplov koristi kao sredstvo za izvršenje djela nezakonitog ometanja, odnosno teroristički napad, te može prouzročiti štetu na presretaču [3].

Nakon faze identifikacije kreće zadnji dio presretanja, *faza nakon presretanja*. Budući da se presretanje najčešće provodi na zrakoplov koji nije u komunikaciji s civilnom kontrolom leta te se ne javlja na pozive na frekvencijama 121.5 MHz ili 243 MHz, jedan od postupaka koji se provodi nakon presretanja je ponovna uspostava komunikacije sa zrakoplovom koji se presreo. Najčešće pilot shvati pogrešku kada pored sebe vidi borbeni avion, a ukoliko to nije situacija ili je potrebna neka druga intervencija postupa se po standardnim ICAO signalima (poglavlje 4). Ako presretani zrakoplov ne postupa u skladu s uputama presretača, isti može izvršiti manevar preusmjeravanja. Taj manevar obuhvaća prelet preko kursa presretanog zrakoplova s vertikalnom separacijom od barem 500 ft te se nakon toga od presretanog zrakoplova očekuje da slijedi presretača. Kako bi presretani zrakoplov bio siguran u namjeru presretača, presretač kod skretanja za vrijeme dnevnog svjetla počinje mahati krilima, a za vrijeme noćnog leta pali svjetla ili naknadno sagorijevanje (eng. *afterburner*). Nakon tog postupka se očekuje od presretanog zrakoplova da slijedi presretača i postupa s njegovim instrukcijama. Ako presretani zrakoplov i dalje ne postupa u skladu s instrukcijama presretača, isti može ponovno izvršiti manevar preusmjeravanja s penjanjem od 500 ft ispod presretanog zrakoplova do visine zrakoplova uz istovremeno skretanje u željeni kurs te upotrebom izbacivanja baklji. Tijekom cijelog postupka presretač je dužan osigurati sigurnost letenja. Ako zrakoplov i dalje ne poštuje instrukcije presretača, moguća je upotreba upozoravajućih hitaca kako bi se dalo posljednje upozorenje. Zadnji postupak je djelovanje sredstvima sile na presretnuti zrakoplov ako i dalje ne poštuje instrukcije presretača, a potvrđene su namjere koje ugrožavaju sigurnost i integritet države. Iako su zadnja dva postupka način krajnje intervencije u fazi nakon presretanja, oni uključuju borbeno djelovanje po platformi koja se presreće te odluka o upotrebi istih je na razinama politike [3].

3. PRESRETANJE S NAMJEROM PRUŽANJA NAVIGACIJSKE POMOĆI

Ako je nakon vizualne identifikacije ustanovljeno da je potrebno pružanje navigacijske pomoći, vođa zrakoplova presretača dolazi u poziciju blago lijevo i ispred presretnutog zrakoplova te blago iznad kako bi zapovjednik zrakoplova lakše uočio signale koje mu presretač daje, a pratitelj ostaje iza radi boljeg praćenja situacije (Slika 2).



Slika 2. Pozicioniranje zrakoplova presretača u odnosu na presretnuti zrakoplov u svrhu pružanja navigacijske pomoći

Izvor: [8]

Ako presretnuti zrakoplov ne postupa u skladu s vizualnim signalima iz tablice 1, moguća je upotreba drugih sredstava kako bi se naglasili signali. To mogu biti upotreba naknadnog sagorijevanja (eng. *afterburner*), izbacivanje baklji te ispaljivanje upozoravajućih označavajućih hitaca. Ove metode se koriste samo u krajnjoj nuždi budući da se smatraju krajnje opasnim, a mogu se smatrati i kao bojevo djelovanje na platformu.

Stoga, navigacijska pomoć treba biti pružena pomoću radiotelefonske komunikacije kad god je to moguće. Kod svakog pružanja navigacijske pomoći u obzir se treba uzeti performanse presretnutog zrakoplova kako se na njega ne bi stavljalo dodatno opterećenje koje može ugroziti sigurnost letenja. Također, bitno je u obzir uzeti meteorološku situaciju u području kojim se leti, odnosno u koje se planira preusmjeriti zrakoplov zbog različitih meteoroloških minimuma za različite tipove zrakoplova.

U obzir treba uzeti i mogućnost da nepoštivanje ili ne postupanje u skladu s uputama ne mora značiti opasne namjere, već je moguća neka vrsta otkaza na zrakoplovu pa je on zbog toga neupravljiv, a isto tako može doći do pogrešnog tumačenja instrukcija presretača zbog inih razloga. Ako zrakoplov ne poštuje instrukcije presretača, a ne postupa protivno planu leta i ne pokazuje nikakve opasne namjere, presretač je dužan pratiti ga do slijetanja ili do točke u kojoj izlazi iz zračnog prostora države, ovisno koji događaj se odvija prvi.

Ako zrakoplov slijedi instrukcije presretača, najčešći ishod navigacijske pomoći je prisilno slijetanje ili pratnja (eng. *escort*), odnosno ispraćaj iz zračnog prostora države [8].

3.1. Prisilno slijetanje

Ukoliko je zatraženo prisilno slijetanje presretnutog zrakoplova, presretač daje do znanja presretnutom zrakoplovu da ga prati te u blizini aerodroma spušta stajni trap i prelijeće uzletno-sletnu stazu u smjeru koji je u upotrebi kako bi dao do znanja presretnutom zrakoplovu kako treba sletjeti. Kod prisilnog slijetanja potrebno je uzeti u obzir tip zrakoplova te postoji li mogućnost slijetanja s obzirom na zahtjeve. Također je potrebno osigurati da okolni prostor aerodroma pruža mogućnost neuspješnog prilaza i zadržavanje u holding-u ako kontrola zračnog prometa to zahtijeva. Potrebno je provjeriti s presretnutim zrakoplovom količinu goriva koja je dostupna kako bi se znalo ima li zrakoplov dostatnu količinu za dolet do aerodroma i samo slijetanje. Bitno je naglasiti da kada god je to moguće, aerodrom za prisilno slijetanje bi trebao biti onaj koji je naveden u AIP-u države.

Sve informacije koje su bitne za prisilno slijetanje bi trebale biti prenesene zapovjedniku zrakoplova pomoću radiokomunikacije, bilo da su prenesene od strane presretača ili kontrole leta. Najpoželjnija situacija je da je zrakoplov koji mora prisilno sletjeti stupio u kontakt s kontrolom leta te dobije sve potrebne informacije i dozvole za slijetanje. Ako to nije slučaj, koristi se odašiljanje tih informacija na slijepo preko 121.5 MHz te u krajnjem slučaju preko ručnih signala ili Morse-ovim signalima preko presretača. Ako informacije nisu prenesene kapetanu zrakoplova, ne može se provesti postupak prisilnog slijetanja budući da je kapetan zrakoplova jedina osoba koja može odlučiti postoji li mogućnost slijetanja na određeni aerodrom ili ne [8, 9].

3.2. Pratnja

Pratnja, odnosno ispraćaj iz zračnog prostora države, je drugi način navigacijske pomoći. Može se provesti na način da presretnuti zrakoplov sam traži pomoć ukoliko su mu otkazala navigacijska sredstva, a također se može provesti na način da se zrakoplov isprati iz države po najkraćoj mogućoj ruti ako država smatra da ima sumnjive namjere, ne postupa u skladu s planom leta ili iz nekih drugih razloga. Presretač zauzima poziciju u skladu sa slikom 2 te daje presretnutom zrakoplovu instrukciju da ga slijedi ako mu je zadatak da mu promijeni putanju leta ili nastavlja let u zadnjoj sferi presretnutog zrakoplova ako mu je zadatak ispratiti ga iz zračnog prostora države uz osiguranje. Kod promjene putanje leta potrebno je uzeti u obzir meteorološku situaciju u području kroz koji će se preletjeti te također tip zrakoplova. Najčešće na granici države će taj zrakoplov dočekati zrakoplovi presretači susjedne države ako ta država u koordinaciji s prijašnjom državom odredi da je potrebno presretanje i daljnje postupanje u svezi s tim zrakoplovom [8].

4. POSTUPCI ZRAKOPLOVA U SLUČAJU PRESRETANJA

Ako dođe do presretanja zrakoplova od strane zrakoplova presretača države u kojoj zrakoplov leti, prema Europskoj Uredbi [10] kapetan presretnutog zrakoplova je dužan:

1. Slijediti upute zrakoplova presretača koje on daje, a moraju biti u skladu s tablicama 1. i 2.
2. Obavijestiti, ako je u mogućnosti, odgovarajuće jedinice pružanja usluga kontrole zračnog prometa
3. Pokušati uspostaviti radiokomunikaciju sa zrakoplovom presretačem ili s njegovom jedinicom kontrole korištenjem frekvencija opće nužnosti 121.5 MHz dajući svoje podatke ili na 243 MHz ako na prijašnjoj frekvenciji kontakt nije uspostavljen
4. Odabrati MOD A kod 7700 ako je opremljen SSR transponderom osim ako nije dobio drugačije upute od strane jedinica kontrole zračnog prometa
5. Odabrati odgovarajuću opciju hitnosti ako je opremljen ADS-B ili ADS-C osim ako nije dobio drugačije upute od strane jedinice kontrole zračnog prometa.

Ako su bilo koje instrukcije dobivene od jedinica kontrole zračnog prometa, od presretača ili od bilo kojeg drugog izvora radiokomunikacijske veze u konfliktu, bitno je da zapovjednik presretnog zrakoplova odmah traži razjašnjenje situacije te istovremeno slijedi instrukcije presretača.

Također, pilot presretača je dužan na udaljenosti od 20 NM od zrakoplova kojeg presreće isključiti odašiljanje podataka o visini pomoću SSR transpondera kako bi se spriječilo neželjeno djelovanje ACAS sustava [10].

4.1. Vizualni signali zrakoplova presretača i presretnog zrakoplova

Ukoliko radiokomunikacija između zrakoplova presretača i presretnog zrakoplova nije uspostavljena, potrebno je postupanje u skladu s vizualnim signalima navedenima u tablici 1 [10].

Tablica 1. Vizualni signali zrakoplova presretača i odzivi presretnog zrakoplova

Serijski broj	Signali zrakoplova PRESRETAČA	Značenje	Odzivi PRESRETNOG zrakoplova	Značenje
1	DANJU ili NOĆU - mahanje krilima i bljeskanje pozicijskim svjetlima u nepravilnim razmacima s pozicije malo iznad i ispred presretnog zrakoplova i obično s njegove lijeve strane te nakon potvrde blagi zaokret obično ulijevo prema željenom smjeru leta.	Presrećem vas. Slijedite me.	DANJU ili NOĆU - Mahanje krilima, bljeskanje pozicijskim svjetlima u nepravilnim razmacima te praćenje presretača.	Razumio, postupam prema uputi.

2	DANJU ili NOĆU - nagla promjena smjera od 90° ili više uz istodobno penjanje bez prelijetanja smjera leta presretanog zrakoplova.	Smijete nastaviti let.	DANJU ili NOĆU - Mahanje krilima.	Razumio, postupam prema uputi.
3	DANJU ili NOĆU - izvlačenje podvozja i paljenje svjetala za slijetanje te prelijetanje uzletno-sletne staze u uporabi.	Sletite na ovaj aerodrom.	DANJU ili NOĆU - izvlačenje podvozja, paljenje svjetala za slijetanje i praćenje zrakoplova presretača te ako se uzletno-sletna staza smatra prikladnom za slijetanje, započeti postupak slijetanja.	Razumio, postupam prema uputi.
4	DANJU ili NOĆU - podizanje podvozja i bljeskanje svjetlima za slijetanje pri preletu uzletno-sletne staze na visini preko 300m, ali ne preko 600m iznad razine aerodroma te nastavljanje kruženja iznad uzletno-sletne staze u uporabi. Ako zrakoplov ne može bljeskati svjetlima za slijetanje, mora bljeskati bilo kojim drugim svjetlima.	Aerodrom koji ste odredili nije prikladan.	DANJU ili NOĆU - ako se želi da presretani zrakoplov slijedi zrakoplov presretač do zamjenskog aerodroma, zrakoplov presretač podiže podvozje i upotrebljava signale serije 1, propisane za zrakoplov presretač. Ako se odluči pustiti presretani zrakoplov, zrakoplov presretač upotrebljava signale iz serije 2, propisane za zrakoplov presretač.	Razumio, slijedite me. Razumio, možete nastaviti let.
5	DANJU ili NOĆU - paljenje i gašenje svih raspoloživih svjetala u pravilnim razmacima, ali tako da se razlikuju od bljeskajućih svjetala.	Ne mogu postupiti prema uputi.	DANJU ili NOĆU - upotrijebi signale iz serije 2 propisane za zrakoplov presretač.	Razumio.
6	DANJU ili NOĆU - Bljeskanje svim raspoloživim svjetlima u nepravilnim razmacima.	U pogibelji sam.	DANJU ili NOĆU - upotrijebi signale iz serije 2 propisane za zrakoplov presretač.	Razumio.

Izvor: [10]

4.2. Radiokomunikacijski signali tijekom presretanja

Ako je uspostavljena radiokomunikacijska veza tijekom presretanja, ali nije moguća jasna komunikacija između presretača i presretanog zrakoplova, potrebno je postupati u skladu s uputama za komunikaciju iz tablice 2 izgovarajući svaku frazu dvaput [10].

Tablica 2. Radiokomunikacijski izrazi zrakoplova presretača i presretanog zrakoplova

Izrazi koje koristi zrakoplov PRESRETAČ			Izrazi koje koristi PRESRETANI zrakoplov		
Izraz	Izgovor ¹	Značenje	Izraz	Izgovor ²	Značenje
CALL SIGN	<u>KOL</u> SA-IN	Koji je vaš pozivni znak?	CALL SIGN (call sign)	<u>KOL</u> SA-IN (pozivni znak)	Moj pozivni znak je (pozivni znak)
FOLLOW	<u>FOL</u> -LO	Slijedite me	WILCO	<u>VILL</u> -KO	Razumio
DESCEND	DEE- <u>SEND</u>	Počnite snižavanje za slijetanje	Will comply		
			CAN NOT	<u>KANN</u> NOTT	Ne mogu postupiti prema uputi
YOU LAND	<u>YOU</u> <u>LA</u> AND	Sletite na ovaj aerodrom	REPEAT	REE- <u>PEET</u>	Ponovite uputu
			AM LOST	<u>AM</u> LOSST	Pozicija nepoznata
PROCEED	PRO- <u>SEED</u>	Možete nastaviti let			
			MAYDAY	MAYDAY	U pogibelji sam
			HIJACK ³	<u>HI</u> -JACK	Otet sam
			LAND (ime mjesta)	LAAND (ime mjesta)	Tražim slijetanje (ime mjesta)
			DESCEND	DEE-SEND	Tražim snižavanje

Izvor: [10]

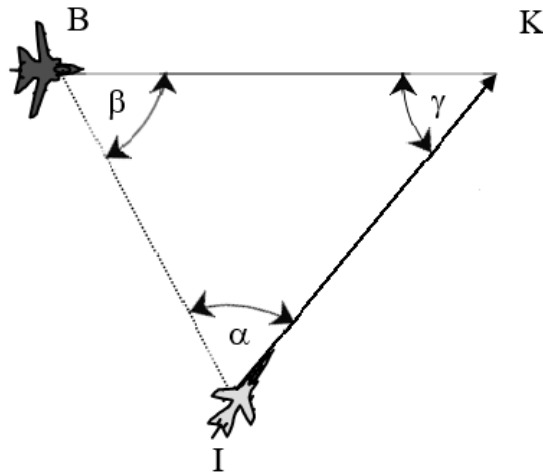
¹ Slogovi koje treba naglasiti su podcrtani

² Slogovi koje treba naglasiti su podcrtani

³ Zbog okolnosti nekad nije poželjno koristiti izraz „HIJACK“

5. GEOMETRIJA PRESRETANJA

Presretanje letjelice je uspješno obavljeno ako je časnik za navođenje lovca zadao parametre koji su ga doveli do mete te ako je pilot uočio tu letjelicu. Kako bi se presretanje uspješno provelo potrebno je lovcu davati informacije i instrukcije o brzini, visini i pravcu leta. Ako se situacija prikaže grafički, zanemarujući visinu, dobiva se trokut presretanja. Na slici 3 je prikaz presretanja, odnosno trokuta presretanja sa svim veličinama.



Slika 3. Trokut presretanja

Izvor: [5]

Na slici se vide odnosi između lovca i mete. Linija BK predstavlja pravac leta mete, IK predstavlja pravac leta lovca, a BI udaljenost između lovca i mete. Kut α predstavlja kut između pozicije mete i pravca leta lovca (eng. *Interceptor lead angle*), kut β predstavlja kut između pozicije lovca i pravca leta mete (eng. *Target aspect angle*), a kut γ predstavlja kut koji zatvaraju pravci leta lovca i mete (eng. *Angle of attack*) [5].

U cijelom trokutu nepoznanice, odnosno veličine koje određuje časnik za navođenje, su brzina lovca, odnosno linija IK, te kut α . Prema geometrijskim i trigonometrijskim jednadžbama potrebno je bar tri od šest veličina da možemo definirati trokut. U samom početku poznate su nam dvije veličine, udaljenost između lovca i mete (linija BI), te kut β . Fali još barem jedna veličina kojom možemo odrediti cijeli trokut, a nju dobivamo odnosom brzina lovca i mete i na taj način dobivamo ostale dvije stranice trokuta (linije IK i BK).

Primjenom trigonometrijskih jednadžbi dobivamo osnovne veličine koje su potrebne za presretanje, a to su brzina lovca (stranica IK) i pravac leta lovca (kut α). Način na koji se dobivaju ta dva parametra leta lovca su prikazani u sljedećim jednadžbama. U formuli 1 je prikazan način na koji se dobiva brzina lovca ako su nam poznati kutovi α i β . U formuli 2 je prikazano kako se dobije kut α ako je poznata brzina lovca.

$$V_f = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \times V_t \quad (1)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{V_t}{V_f} \times \sin \beta \right) \quad (2)$$

Oznake u formulama 1 i 2 imaju sljedeće značenje:

- V_f – brzina lovca
- V_t – brzina mete
- α – kut između pozicije mete i pravca leta lovca
- β – kut između pozicije lovca i pravca leta mete.

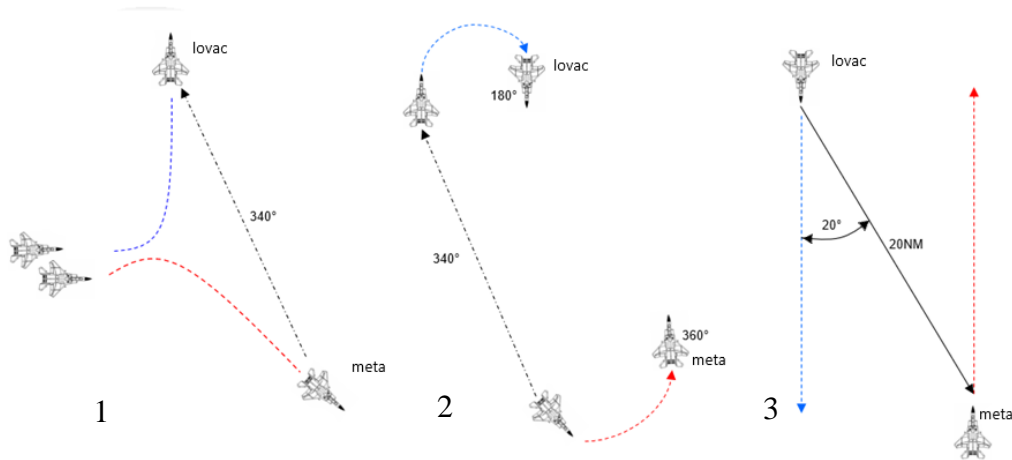
Primjenom trigonometrijskih jednadžbi izračunati su parametri leta lovca i mete za vježbovna presretanja. Primjeri su izračunati za prilaze iz 180° , 150° i 90° . Za svaki od primjeri kao brzina lovca se uzima $Ma = 0,8$, a brzina mete $Ma = 0,7$. Također, kod vježbovnih presretanja časnik za navođenje vodi i lovca i metu [5].

5.1. Presretanje iz smjera 180°

Za vježbovno presretanje iz smjera 180° časnik za navođenje treba razdvojiti lovca i metu da razlika između pravca leta lovca i mete bude između 150° i 180° . Početno razdvajanje je prikazano na slici 4.1.

Nakon što su lovac i meta razdvojeni 20 NM mjeri se azimut od mete do lovca te se na taj broj dodaje ili oduzima 20° i dobiva se novi pravac leta mete nakon zaokreta, a pravac leta lovca nakon zaokreta mora biti paralelan s pravcem leta mete. Kod okreta lovca i mete bitno je da se jednom zada zaokret u lijevu, a drugom u desnu stranu zbog lateralne separacije. Postupak okretanja lovca i mete je prikazan na slici 4.2.

Nakon zaokreta udaljenost između mete i lovca treba biti 20 NM te meta treba biti 20° u jednu ili drugu stranu od pravca leta lovca. Situacija je grafički prikazana na slici 4.3.

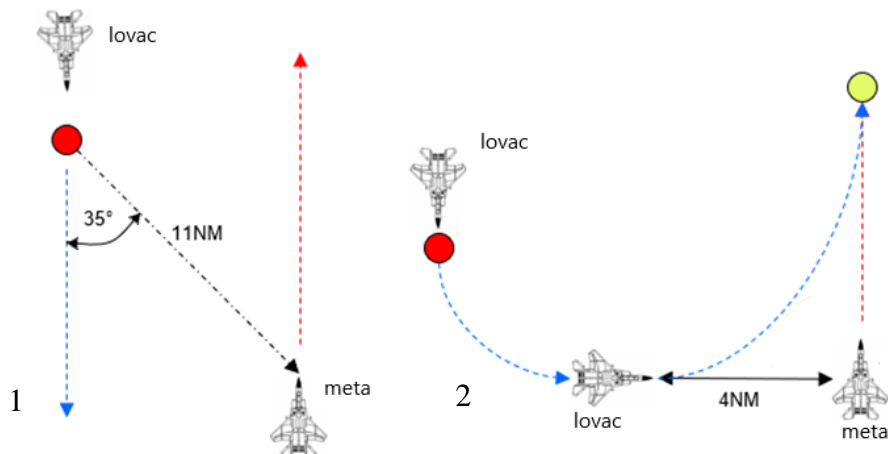


Slika 4. Presretanje iz smjera 180°

Izvor: [5]

Kako se lovac i meta približavaju časnik za navođenje prati kut između lovca i mete te njihovu udaljenost. Točka u kojoj lovac treba krenuti u završni zaokret je na udaljenosti 11 NM od mete pod kutom od 35° . Situacija je prikazana na slici 5.1.

Nakon što lovac krene u završni zaokret i dalje se prate kut i udaljenost te je potrebno na da udaljenosti od otprilike 4 NM meta bude direktno na pravcu leta lovca. Kod takve situacija časnik za navođenje zna da je uspješno naveo svog lovca te je nakon toga većina posla na pilotu lovca. Pozicija nakon završnog zaokreta je prikazana na slici 5.2 [5].



Slika 5. Završna faza presretanja iz smjera 180°

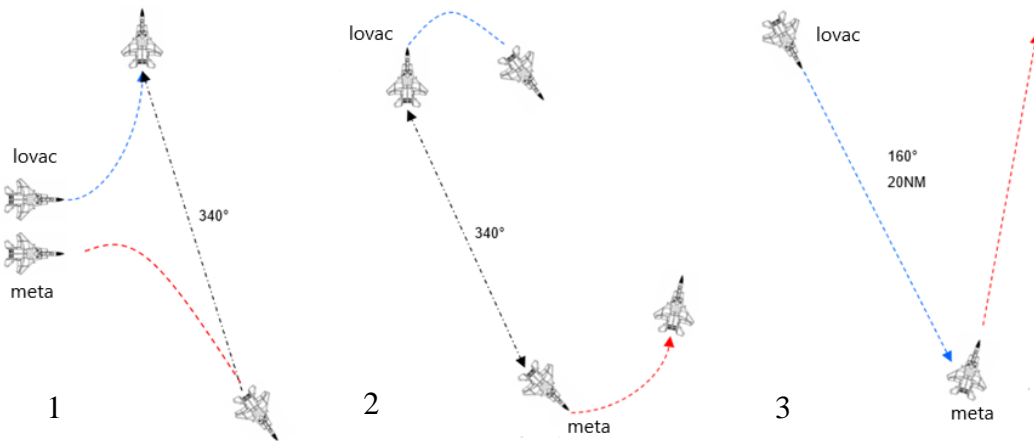
Izvor: [5]

5.2. Presretanje iz smjera 150°

Za vježbovno presretanje iz smjera 150° časnik za navođenje treba razdvojiti lovca i metu da razlika između pravca leta lovca i mete također bude između 150° i 180° . Početno razdvajanje je prikazano na slici 6.1.

Nakon što su lovac i meta razdvojeni 20 NM mjeri se azimut od mete do lovca te se na taj broj dodaje ili oduzima 30° i dobiva se novi pravac leta mete nakon zaokreta, a pravac leta lovca nakon zaokreta mora biti za 150° veći ili manji od kursa mete. Kod okreta lovca i mete bitno je da se jednom zada zaokret u lijevu, a drugom u desnu stranu zbog lateralne separacije. Postupak okretanja lovca i mete je prikazan na slici 6.2.

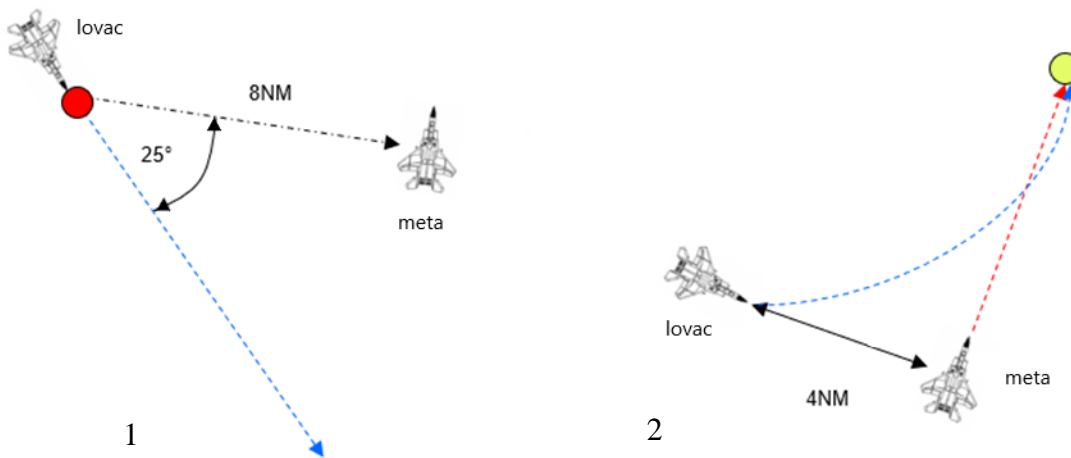
Nakon zaokreta udaljenost između mete i lovca treba biti 20 NM te meta treba biti direktno na pravcu leta lovca. Situacija je grafički prikazana na slici 6.3.



Slika 6. Presretanje iz smjera 150°
Izvor: [5]

Kako se lovac i meta približavaju časnik za navođenje prati kut između lovca i mete te njihovu udaljenost. Točka u kojoj lovac treba krenuti u završni zaokret je na udaljenosti 8 NM od mete pod kutom od 25°. Situacija je prikazana na slici 7.1.

Nakon što lovac krene u završni zaokret i dalje se prate kut i udaljenost te je potrebno na da udaljenosti od otprilike 4 NM meta bude direktno na pravcu leta lovca. Kod takve situacija časnik za navođenje zna da je uspješno naveo svog lovca te je nakon toga većina posla na pilotu lovca. Pozicija nakon završnog zaokreta je prikazana na slici 7.2 [5].



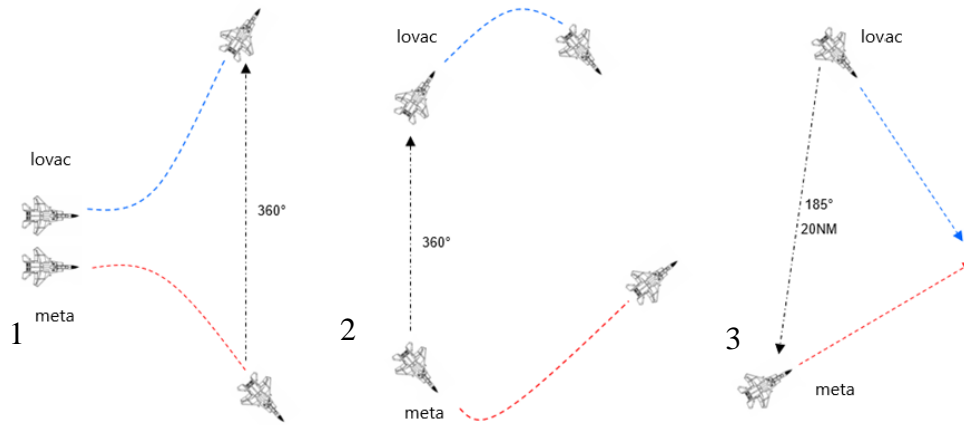
Slika 7. Završna faza presretanja iz smjera 150°
Izvor: [5]

5.3. Presretanje iz smjera 90°

Za vježbovno presretanje iz smjera 90° časnik za navođenje treba razdvojiti lovca i metu da razlika između pravca leta lovca i mete također bude između 120° i 140°. Početno razdvajanje je prikazano na slici 8.1.

Nakon što su lovac i meta razdvojeni 15-20 NM mjeri se azimut od mete do lovca te se na taj broj dodaje ili oduzima 60° i dobiva se novi pravac leta mete nakon zaokreta, a pravac leta lovca nakon zaokreta mora biti za 90° veći ili manji od pravca leta mete, odnosno okomit na pravac leta mete. Kod okreta lovca i mete bitno je da se jednom zada zaokret u lijevu, a drugom u desnu stranu zbog lateralne separacije. Postupak okretanja lovca i mete je prikazan na slici 8.2.

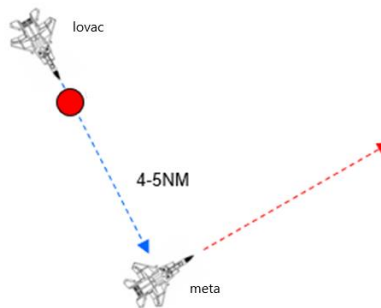
Nakon zaokreta udaljenost između mete i lovca treba biti 20 NM te meta treba biti 35° u lijevu ili desnu stranu od pravca leta lovca. Situacija je grafički prikazana na slici 8.3.



Slika 8. Presretanje iz smjera 90°

Izvor: [5]

Kako se lovac i meta približavaju časnik za navođenje prati kut između lovca i mete te njihovu udaljenost. Točka u kojoj lovac treba krenuti u završni zaokret je na udaljenosti 4-5 NM od mete kada je ista direktno na pravcu leta lovca. Situacija je prikazana na slici 9 [5].



Slika 9. Završna faza presretanja iz smjera 90°

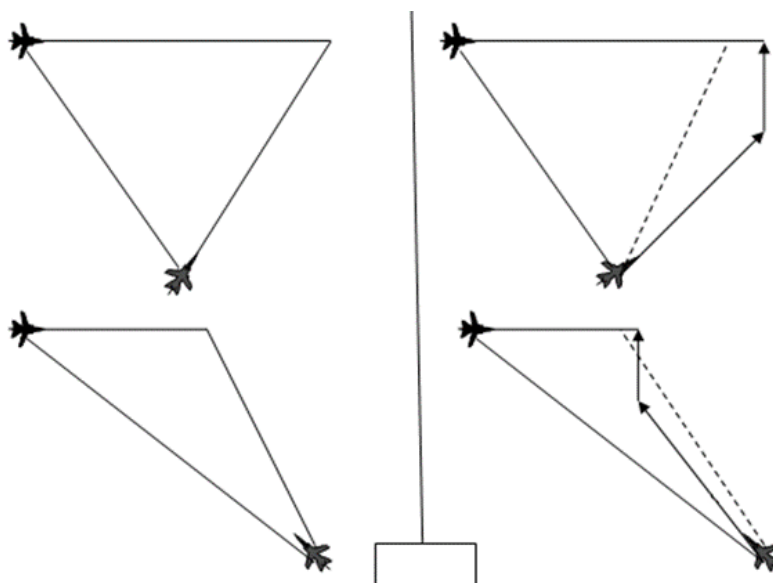
Izvor: [5]

6. TAKTIKE I TEHNIKE PRESRETANJA

Svako presretanje se sastoji od 2 faze: faza navigacije i faza napada. U fazi navigacije se zadovoljavaju svi parametri leta; brzina, visina i kurs leta budući da je meta još daleko. U drugoj fazi je udaljenost do mete mala pa se stoga počinju mijenjati parametri leta u svrhu izvršenja misije. Faza navigacije je definirana prema taktikama prilaza. Razlikujemo 2 taktike prilaza: direktan prilaz (eng. *Pure Collision*) i prilaz s pretjecanjem (eng. *Lead Collision*). U krajnjoj fazi navigacije, fazi prilaza, bitno je lovca usmjeriti prema meti s obzirom na željeni način djelovanja kako bi na najefikasniji način mogao izvršiti misiju pa zbog toga razlikujemo tri načina završne potjere; potjera sa zaostajanjem (eng. *Lag Pursuit*), potjera bez pretjecanja (eng. *Pure Pursuit*) i potjera s pretjecanjem (eng. *Lead Pursuit*) [6].

6.1. Taktike prilaza

Direktan prilaz je način prilaza meti s najmanjim mogućim vremenom. U obzir se uzima brzina i pravac leta mete i prema tome se određuju brzina i pravac leta lovca i dobiva se trokut presretanja. Točka susreta je točka u kojoj se najprije mogu sastati lovac i meta te se zbog toga gubi na efektu iznenađenja, vjerojatno neće biti najbolja moguća upotreba naoružanja, ali daje najbrži dolazak do mete. Prilaz s pretjecanjem je način prilaza kod kojeg se u obzir uzimaju sposobnosti naoružanja lovca i efekt iznenađenja te se zbog toga lovac ne usmjerava u najbržu moguću točku susreta, već u kurs iz kojeg kasnije može najefikasnije izvršiti zadaću. Najčešće se ova taktika upotrebljava kada vrijeme ne igra bitnu ulogu, a misija je od izrazite važnosti. Obje taktike prilaza su prikazane na slici 10. Na lijevoj strani slike je prikazan direktan prilaz, a na desnoj prilaz s pretjecanjem [6].

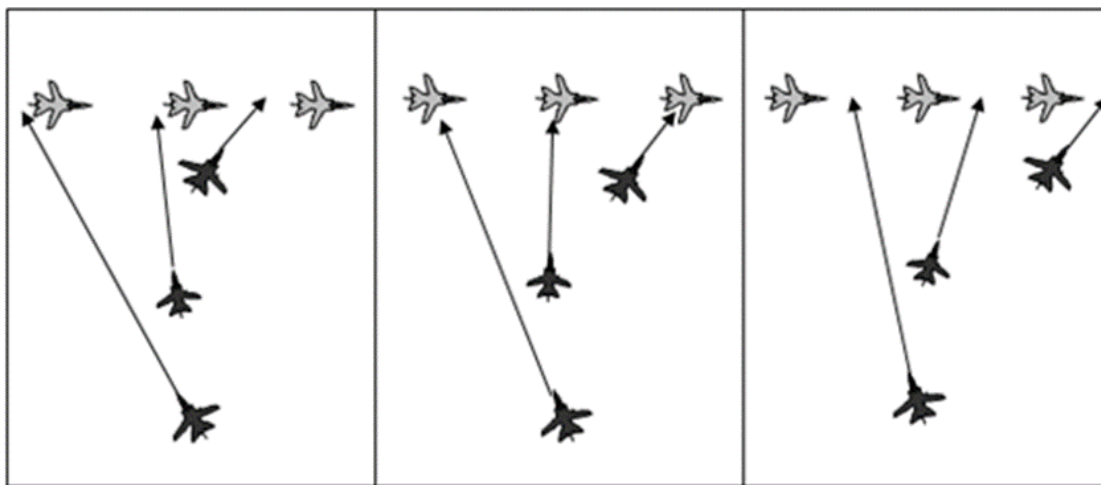


Slika 10. Taktike prilaza

Izvor: [6]

6.2. Završna potjera

U krajnjim fazama prilaza bitno je usmjeriti lovca prema meti s obzirom na željeni način napada. Bitno je da pilot može na najefikasniji način izvršiti misiju pa zbog toga razlikujemo tri načina završne potjere; potjera sa zaostajanjem, potjera bez pretjecanja i potjera s pretjecanjem. Potjera sa zaostajanjem je način potjere kod kojeg pravac leta lovca stalno pokazuje iza mete. Ovaj način se koristi kada je lovac brži od mete te mu nije problem dostići ju, a istovremeno mu je olakšano budući da ne treba imati oštri zaokret te tako gubi manje energije. Nakon završnog zaokreta dolazi iza mete što je povoljno za izvršenje zadaće. Potjera bez pretjecanja je potjera kod koje pravac leta lovca cijelo vrijeme pokazuje direktno u metu te na taj način cijelo vrijeme ima istu u vizualnom polju. Može se koristiti ako su sposobnosti lovca i mete podjednake, odnosno ako su im brzine podjednake. Nakon završnog zaokreta lovac uvijek završava iza mete što mu omogućava efikasno obavljanje zadaće. Treća vrsta potjere je potjera s pretjecanjem te je izrazito nepredvidiva. Pravac leta lovca cijelo vrijeme pokazuje u buduću predviđenu putanju mete te izrazito ovisi o manevrima iste. Ako meta krene s manevriranjem koje lovac ne može pratiti, postoji mogućnost gubitka vizualnog ili radarskog kontakta, a analogno tome i mogućnosti presretanja. Koristi se kada je meta brža od lovca. Na slici 11 su prikazane sve tri vrste završne potjere slijeva na desno: potjera sa zaostajanjem, potjera bez pretjecanja i potjera s pretjecanjem [6].



Slika 11. Vrste završne potjere

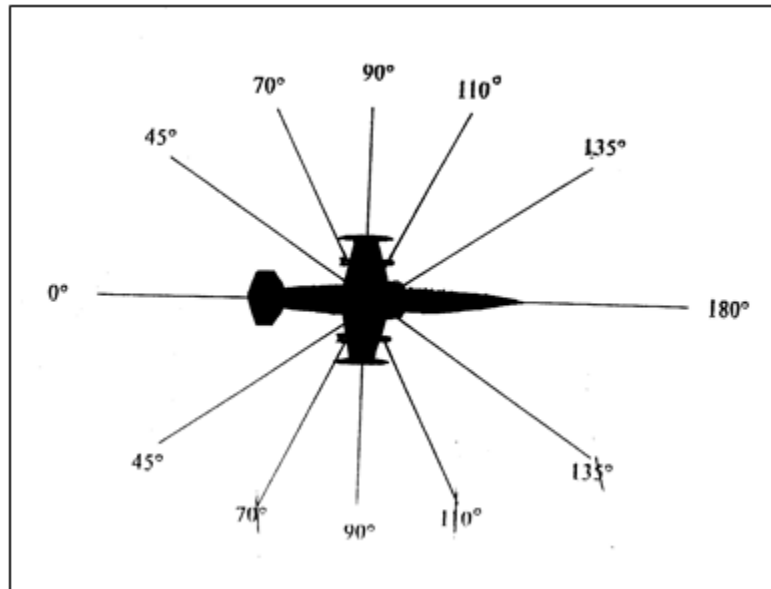
Izvor: [6]

6.3. Vrste napada

Nakon uspješnog prilaza meti dolazi se do faze napada. S obzirom na prilaz i vrstu napada razlikujemo frontalni napad, bočni napad i napad iz zadnje četvrti te je svaki moguć s visine veće u odnosu na metu (nadvišenje), manje (podvišenje) ili iste. Frontalni napad se rijetko koristi budući da se udaljenost između lovca i mete rapidno smanjuje i ne postoji prostora za manevar. Bočni napad je također rijetko korišten budući da zahtijeva veliku manevarsku sposobnost naoružanja kako bi se uspjele djelovati po meti. Najčešće korišteni način napada je onaj iz zadnje četvrti gdje

lovac nakon završnog zaokreta dolazi na rep mete i ima veliku taktičku prednost u odnosu na istu. Ako je u pitanju civilna letjelica može provesti identifikaciju, a ako je u pitanju protivnička vojna letjelica može upotrijebiti svaku vrstu naoružanja, bilo ono topničko ili raketno [6].

Na slici 12 su prikazani sektori napada s obzirom na poziciju lovca u odnosu na metu. Sektor od 0° do 70° je pozicija lovca za napad iz zadnje četvrti, odnosno najbolji sektor za napad. Sektor od 70° do 110° je za bočni napad, a od 110° do 180° je za frontalni napad [6].



Slika 12. Sektori napada lovca

Izvor: [6]

7. PRIORITETI ZA PROVOĐENJE PRESRETANJA

Prioriteti za provođenje presretanja osiguravaju vodič za provedbu zadaće presretanja ovisno o misiji. Ovisno o misiji, mijenja se redoslijed prioriteta, a oni su:

- najmanje vrijeme za oboriti cilj u zraku (eng. *Minimum time to kill*)
- najveća vjerojatnost za oboriti cilj u zraku (eng. *Maximum kill probability*)
- najveće moguće iznenađenje (eng. *Maximum surprise*)
- najveća moguća ušteda goriva (eng. *Maximum fuel conservation*).

Lako se može zaključiti da su prva dva prioriteta vezana za borbene situacije i da se u slučaju presretanja civilne letjelice neće uzimati u obzir, osim ako se letjelica koristi kao sredstvo za teroristički napad. U tom slučaju postoji mogućnost uporabe naoružanju na civilnu platformu.

Kod svakog presretanja je bitno da se zadovolji što više gore navedenih točaka. U teoriji, zadovoljavanje sve četiri točke garantira najveću moguću vjerojatnost uspješnog presretanja. U praksi je situacija drugačija budući da postoje razni čimbenici koji diktiraju situaciju i postavljaju ograničenja za poštivanje svih točaka istovremeno.

Zbog takvih situacija se određuje što je prioritet misije pa tako svaka točka prioriteta za presretanje ima svoje prednosti i mane. U tablici 3 su prikazane prednosti i nedostaci svake točke prioriteta za provođenje presretanja [7].

Tablica 3. Prednosti i nedostaci prioriteta za provođenje presretanja

TOČKE PRIORITETA	PREDNOSTI	NEDOSTACI
Najmanje vrijeme za obaranje cilja u zraku	najbolja obrana teritorija, uključuje frontalni prilaz pa tako smanjuje siluetu lovca, domet naoružanja zrak-zrak je najveći ako se ispaljuje u prednji sektor	frontalni prilaz nije najbolji za radarsko ili toplinsko otkrivanje, nema efekta iznenađenja
Najveća vjerojatnost za obaranje cilja u zraku	najbolja upotreba resursa, dobra obrana prijateljskih snaga	moguća je odgoda djelovanja po protivniku zbog potrebe manevra za prilaz iz najboljeg sektora za djelovanje
Najveće moguće iznenađenje	najmanji rizik za lovca, dobra vjerojatnost za uništenje protivnika, korisno kod presretanja otete letjelice	nema prilaza meti iz najboljeg sektora, presretanje može zahtijevati više vremena
Najveća moguća ušteda goriva	najbolji dolet lovca, najduže trajanje leta	djelovanje je odgođeno, nema prilaza meti iz najboljeg sektora

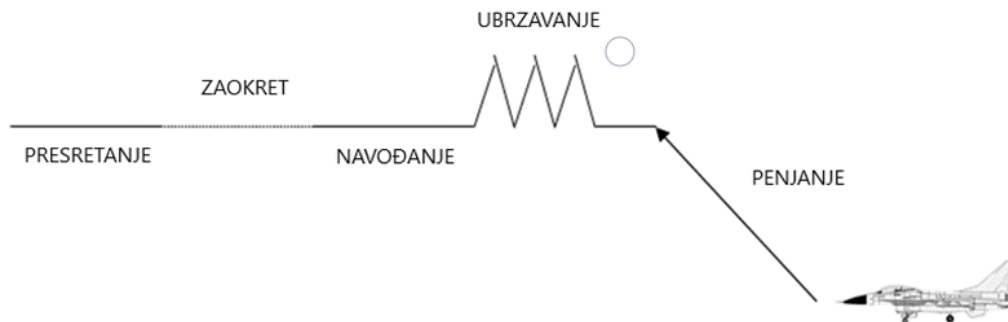
Izvor: [7]

8. PROFILI LETA ZA PRESRETANJE

Profil leta su svi manevri koje lovca izvodi kako bi izvršio presretanje. Prvi element koji se promatra je dolet lovca, odnosno njegova izdržljivost u zraku. Ako se u obzir ne uzima količina goriva može doći do neuspješnog presretanja. Svaki profil leta se temelji na udaljenosti između lovca i mete što je indirektno povezano i s količinom goriva. Na taj način su određena tri profila leta: profil leta s kratkim doletom (eng. *short profile*), profil leta sa srednjim doletom (eng. *medium profile*) i profil leta s velikim doletom (eng. *long profile*) [7].

8.1. Profil leta s kratim doletom

Kada je udaljenost između lovca i mete manja od 150 NM najčešće se koristi profil leta s kratim doletom (slika 13). Kod ovog profila leta ne uzima se u obzir količina goriva budući da udaljenost nije velika i lovca nema ograničenja za vrijeme leta zbog količine goriva. Jedina ograničenja koja stoje su manjak vremena i prostora za manevar. Kod profila leta s kratim doletom lovca kod polijetanja penje na visinu s koje se provodi presretanje, odnosno napad, i ubrzava na brzinu kojom će vršiti presretanje. Nakon zadovoljenih parametara visine i brzine leta kreće faza u kojoj časnik za navođenje vrši sve potrebne procedure i instrukcije kojima se vrši presretanje te na kraju samo presretanje [7].

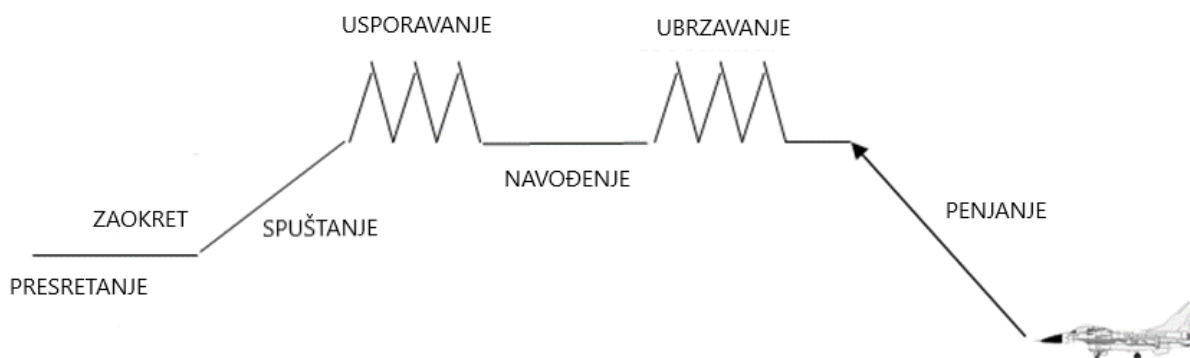


Slika 13. Profil leta s kratim doletom

Izvor: [7]

8.2. Profil leta sa srednjim doletom

Ako je udaljenost od lovca do mete između 150 i 250 NM najčešće se koristi profil leta sa srednjim doletom (slika 14). Tolika udaljenost omogućava dovoljan prostor lovca za potrebne manevre za prilaz iz najboljeg smjera bez ograničenja u odnosu na gorivo. Nakon polijetanja lovca penje na visinu na kojoj može postići najveću brzinu te na taj način dolazi u blizinu mete. Nakon dolaska u blizinu mete lovca smanjuje brzinu na brzinu za presretanje i spušta se na visinu za presretanje. Nakon toga slijedi faza navigacije od strane časnika za navođenje i samo presretanje [7].

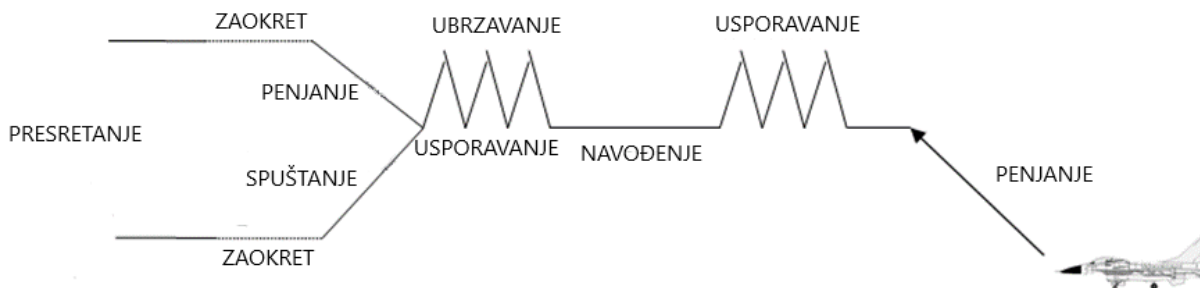


Slika 14. Profil leta sa srednjim doletom

Izvor: [7]

8.3. Profil leta s velikim doletom

Ako je udaljenost između lovca i mete veća od 250 NM najčešće se koristi profil leta s velikim doletom (slika 15). U ovom slučaju najbitnija je što veća ušteda goriva i izdržljivosti lovca zbog velike udaljenosti. Prvi način uštede goriva je taj da lovac ne polijeće pomoću naknadnog sagorijevanja. Nakon polijetanja lovac penje na optimalnu visinu krstarenja⁴ te smanjuje brzinu na brzinu krstarenja⁵. Nakon dolaska u blizinu mete lovac ubrzava ili usporava na brzinu za presretanje i penje se ili spušta na visinu za presretanje [7].



Slika 15. Profil leta s velikim doletom

Izvor: [7]

⁴ visina na kojoj lovac troši najmanje goriva i postiže najveći dolet

⁵ brzina na kojoj lovac ima najveći krstareći dolet

9. METODOLOGIJA NAVIGACIJSKIH PRORAČUNA MOGUĆNOSTI PRESRETANJA S OBZIROM NA UTROŠAK GORIVA

Lovačko zrakoplovstvo ograničeno je vremenom ostajanja u zraku zbog velike potrošnje goriva te ograničene količine istog ako isključimo mogućnost nadopune gorivom u zraku. Zbog tog ograničenja potrebno je utvrditi maksimalnu udaljenost na kojoj lovac može djelovati te mu osigurati siguran povratak na slijetanje s obzirom na gorivo. Lovcu je potrebno osigurati da sa zadanom količinom goriva može poletjeti, približiti se meti, izvršiti presretanje, ako je potrebno djelovati po meti i na kraju sigurno se vratiti na aerodrom za slijetanje. Zbog toga je potrebno napraviti proračun potrošnje goriva za svaki dio leta [2].

9.1. Raspoloživa količina goriva za horizontalni let

Kako bi se točno odredila maksimalna udaljenost na kojoj je moguće izvršiti presretanje potrebno je poznavati sljedeće parametre:

- maksimalna količina goriva koju zrakoplov nosi
- sastav skupine za presretanje
- količina i utrošak goriva za polijetanje i slijetanje
- profil leta za presretanje.

Uzimanjem u obzir navedenih faktora dolazi se do formula 3 i 4 koje se koriste za proračun maksimalne udaljenosti za presretanje:

$$C_{gh} = K \left(K_1 \cdot C_g - \sum_{i=1}^n C_{g_i} \right) [kg] \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n C_{g_i} = C_{qp} + C_{Gp} + C_{gzb} + C_{gs} [kg] \quad (4)$$

Oznake u formulama imaju sljedeće značenje:

- C_{gh} – raspoloživa količina goriva u horizontalnom letu za presretanje
- K – koeficijent za skupno letenje
- K_1 – koeficijent promijenjene taktičko-navigacijske situacije
- C_g – količina goriva koja ostaje nakon oduzimanja potrošnje za rad na zemlji i tehničkog ostatka
- $\sum_{i=1}^n C_{g_i}$ – zbroj količina goriva za polijetanje, zbor, penjanje, manevar u zoni, zračnu borbu, silaženje, razlaz, slijetanje i jedan školski krug
- C_{qp} – količina goriva potrebna za pokretanje motora, voženje, polijetanje i zbor
- C_{Gp} – količina goriva potrebna za penjanje
- C_{gzb} – količina goriva za zračnu borbu
- C_{gs} – količina goriva za snižavanje, razlaz, slijetanje i jedan školski krug.

Rezultat koji se dobije iz ove dvije formule se kasnije uvrštava u odgovarajući obrazac koji u obzir uzima problem potrošnje goriva na svakom dijelu leta s obzirom na vrstu zadaće i profil leta. Tako razlikujemo četiri osnovna slučaja za koje se izračunava raspoloživa količina goriva za zračnu borbu [2].

9.2. Raspoloživa količina goriva za zračnu borbu u stratosferi

Količina goriva za zračnu borbu u stratosferi se raščlanjuje na gorivo potrebno za ubrzanje, manevar, dinamičko iskakanje i snižavanje na početnu visinu leta. Potrebna količina goriva se računa prema formuli 5 [2].

$$C_{qzb} = C_{qubr} + C_{gman} + C_{gisk} + C_{gsnr} \text{ [kg]} \quad (5)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- C_{gzb} – količina goriva za zračnu borbu
- C_{qubr} – količina goriva za ubrzanje
- C_{gman} – količina goriva za manevar
- C_{gisk} – količina goriva za dinamičko iskakanje
- C_{gsnr} – količina goriva za snižavanje na početnu visinu leta.

9.3. Raspoloživa količina goriva za zračnu borbu na visinama manjima od 11000 m

Količina goriva za zračnu borbu na visinama manjim od 11000 m se dijeli na gorivo za rad motora na maksimalnom režimu i na režimu rada motora s naknadnim sagorijevanjem. Izračun je prikazan u formuli 6 [2].

$$C_{gzb} = \frac{C_{Kh} \cdot t_{max}}{60} + \frac{C_{Kh} \cdot t_{for}}{60} \text{ [kg]} \quad (6)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- C_{gzb} – količina goriva za zračnu borbu
- C_{Kh} – količina goriva za rad motora na maksimalnom režimu
- C_{Kh} – količina goriva za rad motora u režimu s naknadnim sagorijevanjem
- t_{max} – vrijeme rada motora na maksimalnom režimu
- t_{for} – vrijeme rada motora u režimu s naknadnim sagorijevanjem.

9.4. Raspoloživa količina goriva za vođenje zračne borbe protiv letjelica na malim visinama obavljanjem spuštajućeg manevra

Količina goriva za zračnu borbu s letjelicama na malim visina pomoću spuštajućeg manevra se dijeli na utrošak goriva za izvršenje borbene zadaće, petlje, polupetlje ili prevrtanja i utrošak goriva u dijelu leta u režimu rada motora s naknadnim sagorijevanjem na visini leta te utroškom goriva za penjanje na početnu visinu leta. Izračun je prikazan u formuli 7 [2].

$$C_{q\ zb} = C_{g\ man} + C_{gz} + C_{gpr} \ [kg] \quad (7)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- C_{gzb} – količina goriva za zračnu borbu
- $C_{g\ man}$ – količina goriva za spuštajući manevar
- C_{gz} – količina goriva za izvršenje zadaće
- C_{gpr} – količina goriva za penjanje na početnu visinu.

9.5. Raspoloživa količina goriva za vođenje manevarske borbe u zraku protiv taktičkih lovaca protivnika

Količina goriva za vođenje manevarske borbe u zraku protiv taktičkih lovaca protivnika se računa na identičan način kao i prijašnje, ali se u obzir uzima potrošnja goriva na sat ili minutu. Za izračun se uzimaju vrijednosti visina od 3000 do 5000 m te brzine od Ma 0,85 do Ma 0,9 [2].

10. NAVIGACIJSKI PRORAČUNI ZA PRESRETANJE U ZRAČNOM PROSTORU REPUBLIKE HRVATSKE S OBZIROM NA UTROŠAK GORIVA ZA AVIONE VISOKIH PERFORMANSI

Kako Hrvatsko ratno zrakoplovstvo za očuvanje integriteta koristi avione MiG-21bisD, za primjer proračuna je uzet isti zrakoplov u nekoliko zamišljenih situacija te je za iste napravljen proračun potrošnje goriva. Cijeli proračun je napravljen prema *Proračun doleta i trajanja leta aviona L-17* [11].

Za primjer je uzeto da avion MiG-21bisD leti s 2 rakete zrak-zrak te jednim podvjesnim spremnikom goriva zapremnine 490 l. Za proračun to daje količinu goriva od 3240 l. Također, za proračun je potrebno odrediti indeks čeonog otpora koji prema tablici 4 iznosi 13 zbrajanjem indeksa čeonog otpora aviona, raketa i podvjesnog spremnika goriva.

Tablica 4. Indeksi čeonog otpora za pojedini dio aviona MiG-21bisD

Naziv tereta	Indeks čeonog otpora
Avion bez podvjesnih tereta	9
Dvije rakete zrak-zrak	2
Dva sačasta lansera	3
Četiri sačasta lansera	7
Četiri rakete zrak-zrak	3
Jedan podvjesni spremnik goriva (490 l)	2
Dva podvjesna spremnika goriva (490 l x2)	3

Izvor: [11]

10.1. Proračun utroška goriva za proceduru presretanja

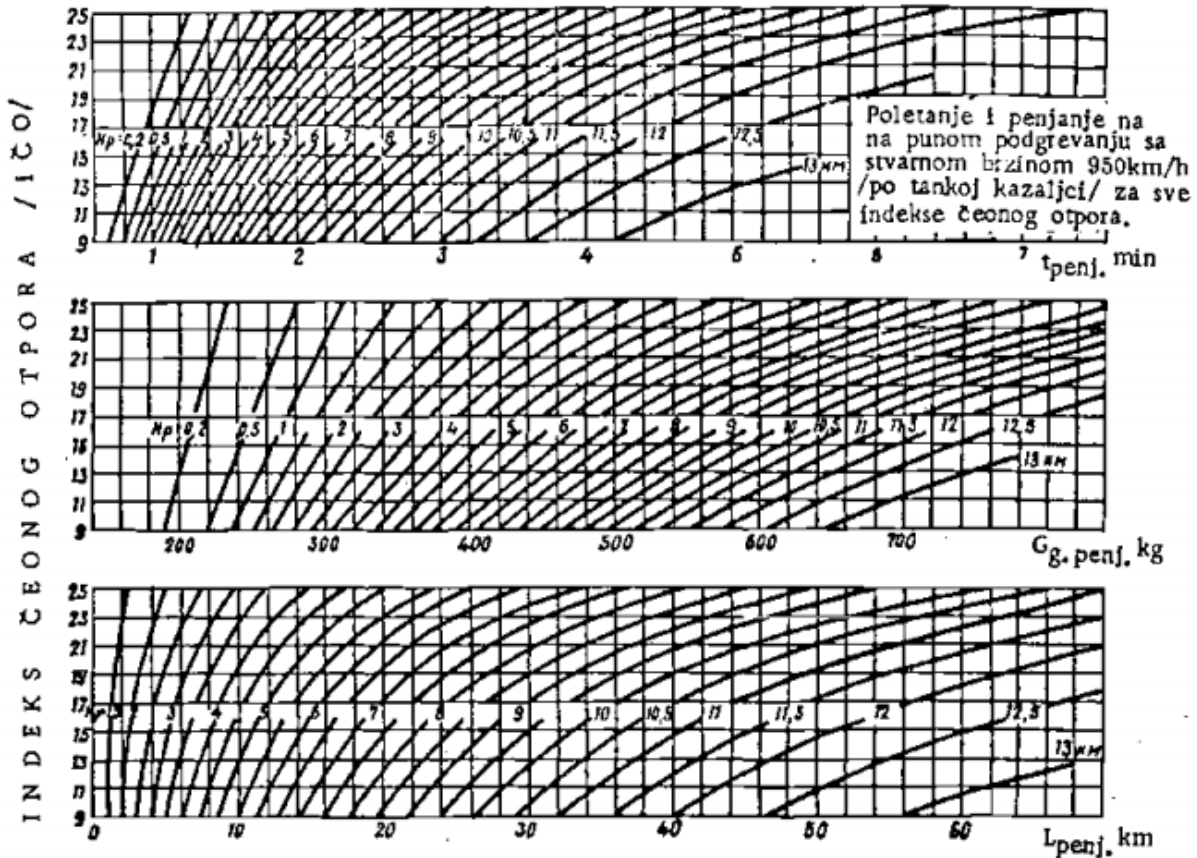
Za prvi primjer je uzeto da se avion ne javlja kontroli leta te se nalazi na 350 km od aerodroma polijetanja i pravac leta mu je direktno prema aerodromu polijetanja aviona lovca na visini od 5000 m s TAS=500 km/h (139 m/s). Zadaća lovca je presresti ga i identificirati te nakon toga sletjeti na inicijalni aerodrom polijetanja.

Prvi dio leta je paljenje, voženje do piste i polijetanje. Za paljenje i voženje do piste lovac troši u prosjeku oko 10 kg/min. Ako uzmemo u obzir da je cilj u datoj situaciji što prije poletjeti i presresti zrakoplov, lovac treba što prije biti u zraku. Uvježbanim pilotima i tehničarima je potrebno do najviše 10 min za cijeli postupak te je za proračun uzeto

$$G_{gz} = 10 \frac{kg}{min} \cdot 10min = 100kg.$$

Samim paljenjem lovca i vožnjom do piste je potrošeno 100 kg goriva, što je uz specifičnu težinu goriva od 0,8 kg/l ukupno 125 l goriva.

Za polijetanje je uzeto da lovac polijeće s naknadnim sagorijevanjem te direktno penje na visinu mete, odnosno 5000 m. Trajanje polijetanja, potrošena količina goriva i put koji prijeđe su očitani iz dijagrama na slici 16.



Slika 16. Dijagram za određivanje vremena penjanja, potrošnje goriva kod penjanja i prijeđene udaljenosti pri korištenju naknadnog sagorijevanja

Izvor: [11]

Iz grafova je očitano da je vrijeme polijetanja i penjanja $t_{penj}=111$ s, potrošena količina goriva za polijetanje i penjanje $G_{g,penj}=405$ kg, što uz specifičnu težinu goriva od 0,8 kg/l daje oko 510 l goriva. Dužina koju lovac prijeđe L_{penj} je 10 km s krajnjom brzinom od 950 km/h (264 m/s) TAS.

Nakon polijetanja lovca meta je preletjela

$$S_m = V_m \cdot t_{penj} = 139 \frac{m}{s} \cdot 111 s = 15429 m \approx 15 km$$

te s prijeđenim putem lovca od 10 km nam daje udaljenost između lovca i mete d_{lm} jednaku

$$d_{lm} = 350 km - (15 km + 10 km) = 325 km.$$

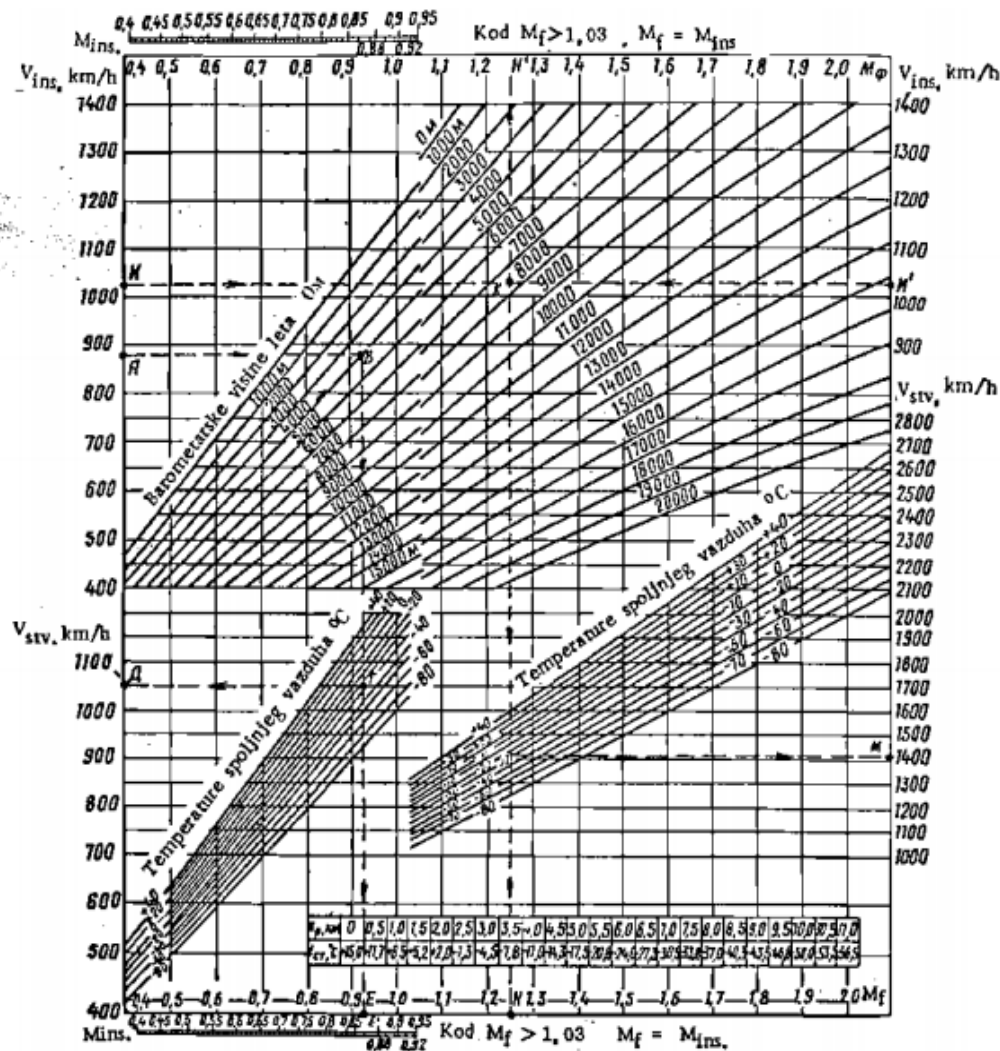
Nakon što je lovca popeo na visinu mete i krenuo u horizontalni let, brzina približavanja lovca i mete je jednaka zbroju stvarnih brzina lovca i mete

$$v_{Prib} = v_l + v_m = 950 \frac{km}{h} + 500 \frac{km}{h} = 1450 \frac{km}{h} \approx 403 \frac{m}{s}.$$

Kako je udaljenost između lovca i mete prije izračunatih 325 km, lovac će biti u mogućnosti presresti metu za

$$t_{pres} = \frac{325 \cdot 10^3 m}{403 \frac{m}{s}} = 806 s.$$

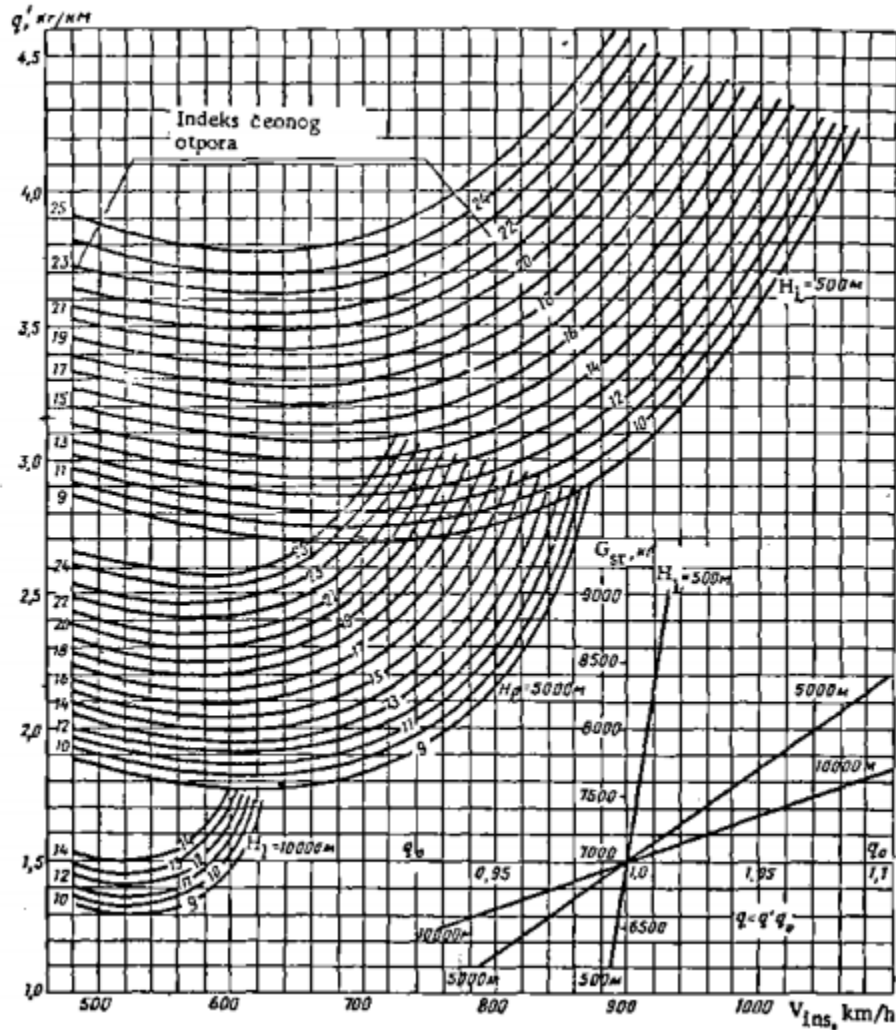
Za proračun potrošnje goriva u horizontalnom letu potrebno je odrediti instrumentalnu brzinu leta lovca (IAS) pomoću stvarne brzine leta (TAS) koja iznosi 950 km/h. Prema dijagramu na slici 17 ona iznosi 750 km/h (208 m/s).



Slika 17. Dijagram za određivanje stvarne brzine leta (TAS) i instrumentalne brzine leta (IAS)

Izvor: [11]

Kada je određena instrumentalna brzina lovca, pomoću dijagrama na slici 18 određuje se potrošnja goriva po km leta te ona iznosi 2,4 kg/km, odnosno uzmemo li u obzir specifičnu težinu goriva od 0,8 kg/l iznosi 3 l/km.



Slika 18. Dijagram za određivanje prosječne potrošnje goriva za visine 500 m, 5000 m i 10000 m
Izvor: [11]

Budući da se lovac i meta nalaze u istoj točki za 806 s, znači da lovac leti 806 s brzinom od 950 km/h (264 m/s) TAS i slijedom ovih brojeva on preleti put od

$$S_l = v_l \cdot t_{pres} = 264 \frac{m}{s} \cdot 806s = 212784m \approx 213km.$$

Kako je prije određena prosječna potrošnja lovca 3 l/km, ukupna potrošnja u horizontalnom letu do mete jednaka je

$$G_{ghl} = S_l \cdot G_{pghl} = 213 km \cdot 3 \frac{l}{km} \approx 640 l$$

Kako radijus zaokreta za ove brzine nije velik, taj dio se također smatra horizontalnim letom pa se na taj način i računa. Lovac mora usporiti na brzinu mete koja je 500 km/h TAS, odnosno 400 km/h IAS (slika 17). Pomoću te brzine se određuje prosječna potrošnja goriva kada lovac leti pored mete te ona iznosi 2.4 kg/km (slika 18), odnosno uzmemo li u obzir specifičnu težinu goriva od 0,8 kg/l iznosi 3 l/km. Ako je uzeto da postupak identifikacije traje oko 2 min (120 s), lovac sa svojom brzinom od 500 km/h (139 m/s) u postupku identifikacije preleti

$$S_{li} = V_l \cdot t = 139 \frac{m}{s} \cdot 120 s = 16680 m \approx 17 km.$$

Kako mu je prosječna potrošnja goriva u tom dijelu leta 3 l/km, potroši se

$$G_{gli} = S_{li} \cdot G_{gpp} = 17 km \cdot 3 \frac{l}{km} = 51 l \text{ goriva.}$$

Nakon što je izvršeno presretanje i identifikacija, lovac se vraća na slijetanje na inicijalni aerodrom polijetanja. Nakon izvršenog presretanja i identifikacije lovac se nalazi na određenoj udaljenosti od aerodroma. Ta udaljenost je zbroj udaljenosti koju je lovac preletio tijekom polijetanja, tijekom horizontalnog leta prema meti te je umanjena za put koji je preletio tijekom identifikacije budući da meta leti u pravcu aerodroma polijetanja. Udaljenost od aerodroma na kojoj se lovac nalazi iznosi

$$S_{la} = S_p + S_l - S_{li} = 10 km + 213 km - 17 km = 206 km.$$

Kako je prije očitano s dijagrama da je prosječna potrošnja lovca u horizontalnom letu jednaka 3 l/km, ukupna količina goriva potrebna za dolazak do aerodroma iznosi

$$G_{gla} = S_{la} \cdot G_{gp} = 206 km \cdot 3 \frac{l}{km} = 618 l \approx 620 l.$$

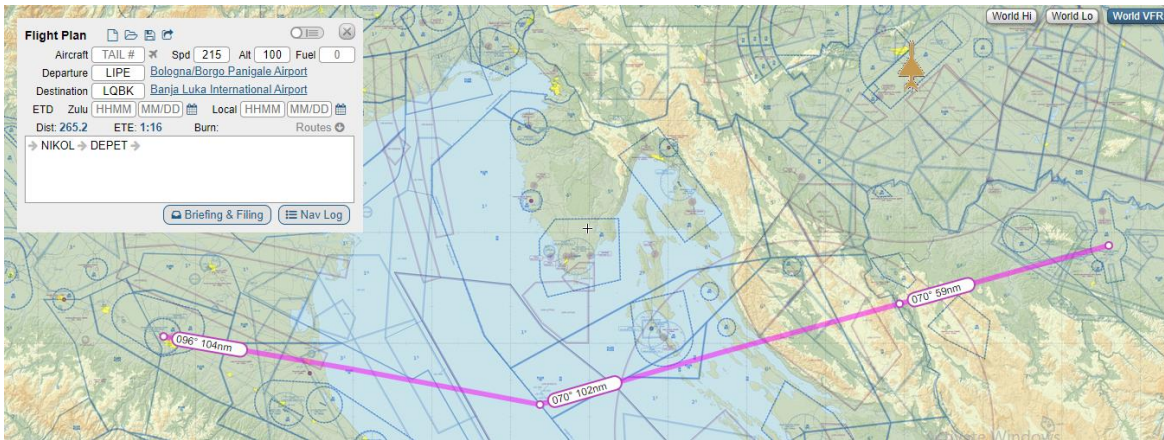
Zbrojem svih količina potrošenog goriva za ovo presretanje i identifikaciju dolazimo do ukupne količine potrebne za let. Ona iznosi

$$G_{guk} = G_{gz} + G_{gpenj} + G_{ghl} + G_{gli} + G_{gla} = 125 l + 510 l + 640 l + 51 l + 618 l = 1944 l \approx 1950 l.$$

Budući da je na početku izračunato da avion MiG-21bisD nosi ukupnu količinu goriva od 3240 l, a na slijetanje kreće s ≤ 700 l, potrebno je prije slijetanja krenuti na trošenje zbog viška od skoro 600 l (590 l).

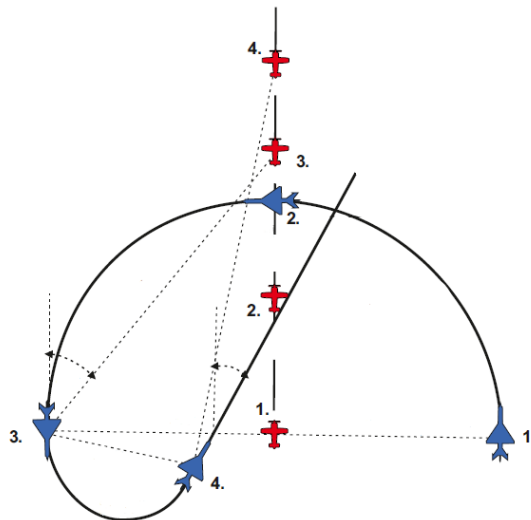
10.2. Proračun utroška goriva za proceduru prisilnog slijetanja

Za primjer je uzeto da zrakoplov za koji se sumnja da ima nezakonite namjere dolazi iz pravca Republike Italije i leti prema Federaciji Bosne i Hercegovine, točnije prema Banja Luci, ulazi na točku NIKOL te se u trenutku dobivanja informacije za presretanje tog zrakoplova i njegova prisilna slijetanja nalazi 100 km od točke NIKOL. Zrakoplov leti na visini od 3000 m brzinom TAS=400 km/h (112 m/s). Prikaz plana leta aviona koji se presreće je prikazan na slici 19, a izrađen je uz pomoć programa SkyVector. Na slici je vidljiva planirana ruta leta (roza boja) te pozicija baze presretača (avion zlatne boje).



Slika 19. Grafički prikaz plana leta za proceduru prisilnog slijetanja u programu SkyVector

Zbog relativno niske brzine cilja, presretanje se provodi po shemi za spori cilj (Slika 20).



Slika 20. Shema presretanja za spori cilj na malim visinama

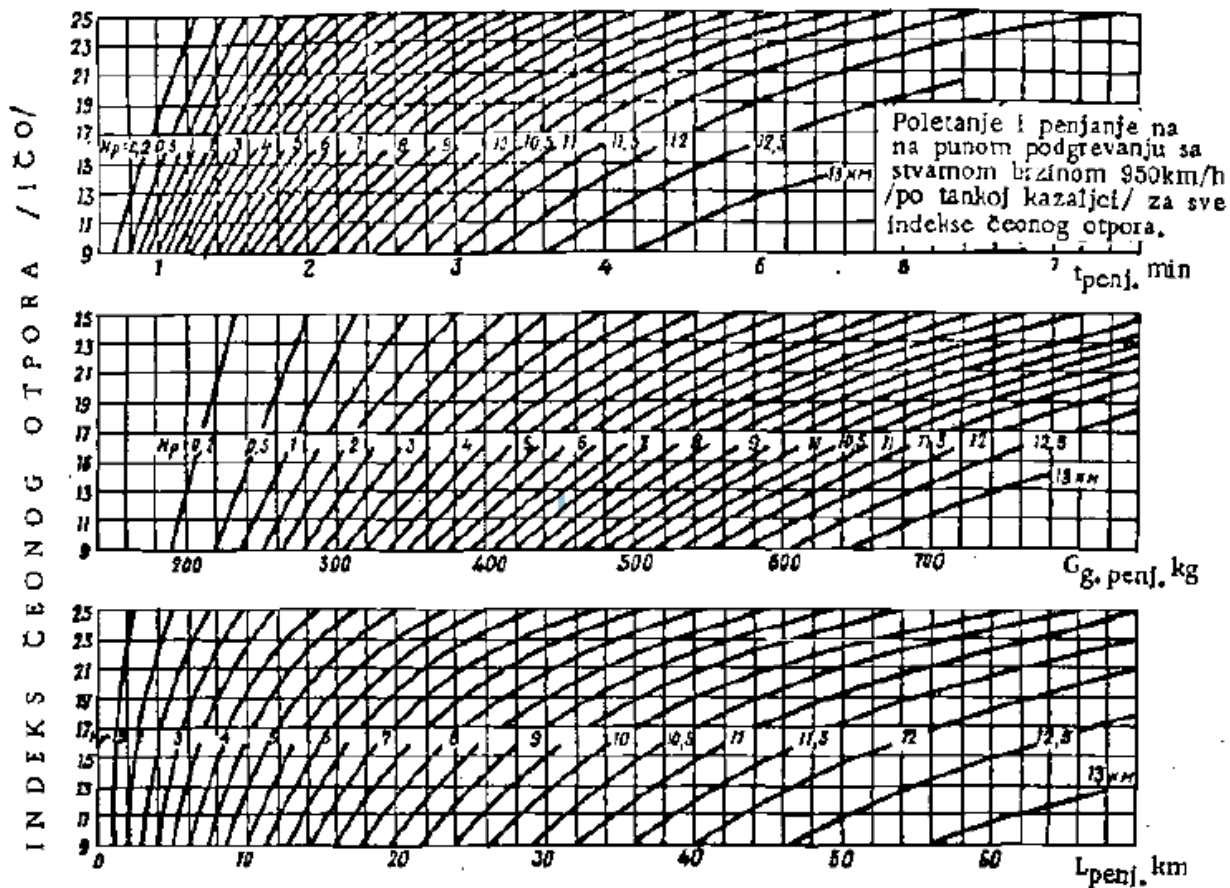
Izvor: [12]

Prvi dio leta obuhvaća paljenje aviona, voženje do piste i polijetanje. Za cijelu proceduru u prosjeku troši oko 10 kg goriva po minuti. Za primjer uzimamo da je za cijeli postupak od paljenja motora do polijetanja potrebno 10 min pa tako dolazimo do potrošnje goriva do polijetanja

$$G_{gz} = 10 \frac{kg}{min} \cdot 10min = 100kg$$

Uz specifičnu težinu goriva od 0,8 kg/l to iznosi ukupno 125 l goriva.

Lovac polijeće s naknadnim sagorijevanjem te penje na visinu od 3500 m. Vremensko trajanje polijetanja i dostizanja visine od 3500 m, potrošena količina goriva i prijeđeni put su očitani iz dijagrama na slici 21.

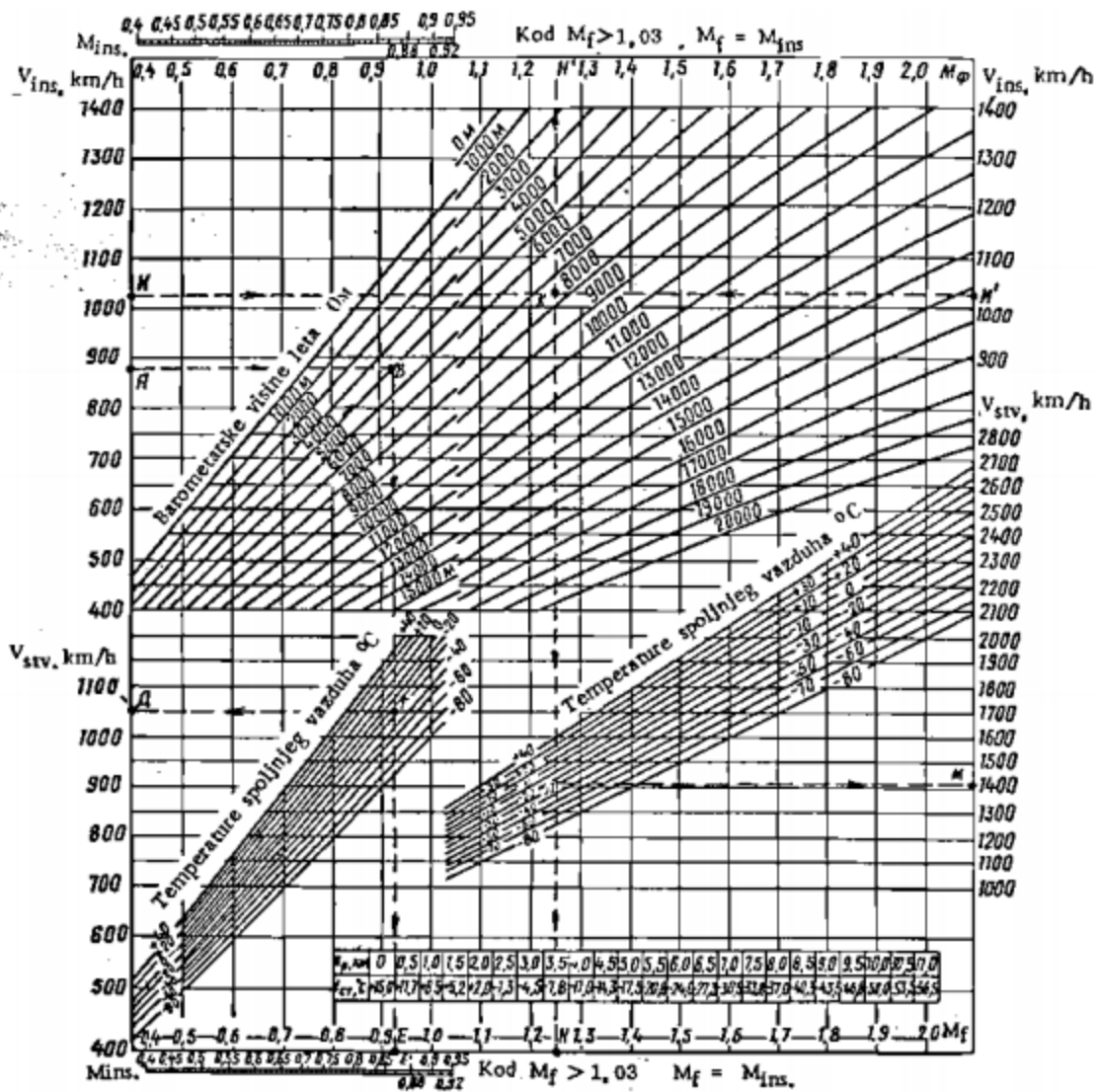


Slika 21. Dijagram za određivanje vremena penjanja, potrošnje goriva kod penjanja i prijedene udaljenosti pri korištenju naknadnog sagorijevanja

Izvor: [11]

Očitano je vrijeme polijetanja i penjanja $t_{penj}=84$ s, potrošena količina goriva $G_{g,penj}=340$ kg što uz specifičnu težinu goriva od $0,8$ kg/l daje oko 425 l goriva te dužina koju lovac prijeđe $L_{penj}=6$ km s krajnjom brzinom $TAS=950$ km/h (264 m/s).

Brzina od $TAS=950$ km/h prema dijagramu na slici 22 odgovara brzini $IAS=900$ km/h (250 m/s).



Slika 22. Dijagram za određivanje stvarne brzine leta (TAS) i instrumentalne brzine leta (IAS)
 Izvor: [11]

Nakon polijetanja lovca meta se kretala brzinom od $TAS = 400 \text{ km/h}$ (112 m/s). Vrijeme koje je proteklo iznosi

$$t_{penj} = 600 \text{ s} + 84 \text{ s} = 684 \text{ s}$$

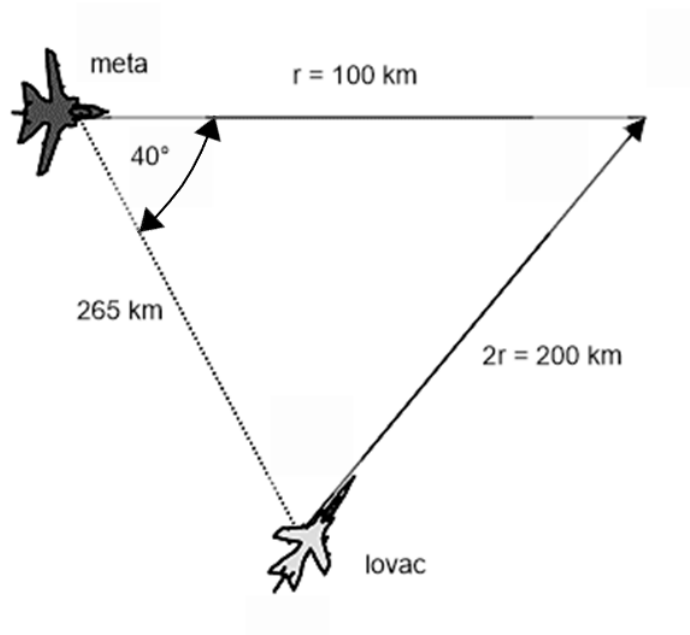
Put koji je meta prošla iznosi

$$d_m = 684 \text{ s} \cdot 112 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 76608 \text{ m} \approx 77 \text{ km}.$$

S prijednim putem lovca od 6 km dobivamo ukupnu udaljenost između mete i lovca koja iznosi

$$d_{tm} = 265 \text{ km}$$

Kako je brzina lovca dvostruko veća od brzine mete, a pravci leta im nisu u suprotnim kursovima, lovac će prema trokutu presretanja (slika 23) prijeći dvostruko veći put i kosinusovim poučkom dobivamo sljedeću jednadžbu



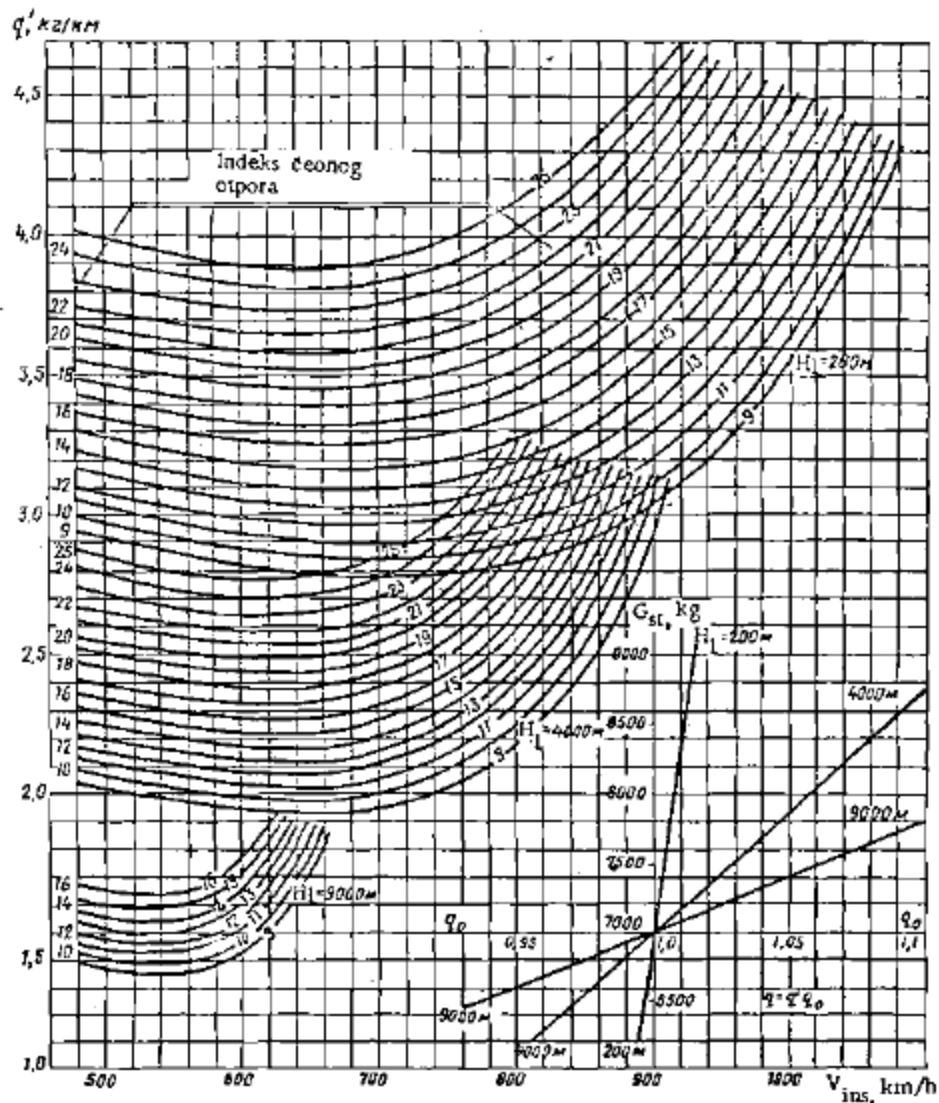
Slika 23. Trokut presretanja s udaljenostima i potrebnim kutom
Izvor: [5]

$$(2r)^2 = 265^2 + r^2 - 2 \cdot 265 \cdot r \cdot \cos \alpha$$

Iz te jednadžbe dobivamo veličinu r , koja iznosi -235 km i 100 km. Budući da udaljenost ne može biti negativna veličina, točan broj je $r=100$. Iz toga slijedi da do trenutka susreta meta prijeđe 100 km, a lovac 200 km.

Vrijeme koje je potrebno da lovac preleti tu udaljenost iznosi

$$t_{presH} = \frac{200 \cdot 10^3 \text{ m}}{264 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 757 \text{ s} \approx 760 \text{ s.}$$



Slika 24. Dijagram za određivanje prosječne potrošnje goriva za visine 200 m, 4000 m i 9000 m

Izvor: [11]

Dok mu potrošnja goriva u zadanom vremenu prema dijagramu na slici 24 iznosi 3 kg/km, odnosno 3,75 l/km, što ukupno iznosi

$$G_{g_{hl}} = D_{presH} \cdot G_{p_{g_{hl}}} = 200 \text{ km} \cdot 3,75 \frac{\text{l}}{\text{km}} = 750 \text{ l.}$$

Kako je prije definirano, presretanje se provodi po shemi za spori cilj te u tom načinu presretanja lovac troši od 60 – 70 l/min, odnosno 1 – 1,17 l/s. Za vizualnu identifikaciju u ovoj shemi

presretanja je potrebno oko 7 min pa slijedom prije navedene potrošnje goriva ukupna potrošnja za vizualnu identifikaciju iznosi

$$G_{g_p} = t_{presVID} \cdot G_{pgVID} = 7 \text{ min} \cdot 70 \frac{l}{\text{min}} = 490 l.$$

Nakon presretanja i vizualne identifikacije, preko radiokomunikacije je preneseno zrakoplovu da je potrebno slijetanje te isti poštuje instrukcije i preusmjerava se prema aerodromu slijetanja. Za vrijeme vizualne identifikacije meta je preletjela udaljenost od 45 km te se u trenutku preusmjeravanja nalazi oko 50 km od aerodroma slijetanja. Kako meta leti brzinom od TAS=400 km/h, vrijeme potrebno za dolazak do aerodroma iznosi

$$t_{met-aer} = \frac{50 \cdot 10^3 \text{ m}}{112 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 446 \text{ s} \approx 7,5 \text{ min}.$$

Za vrijeme od 7,5 min lovac potroši količinu goriva od

$$G_{g_{p2}} = t_{met-aer} \cdot G_{pgVID} = 7,5 \text{ min} \cdot 70 \frac{l}{\text{min}} = 525 l.$$

Nakon slijetanja zrakoplova na aerodrom lovac se okreće prema matičnom aerodromu te se istim putem vraća na slijetanje. Udaljenost prema matičnom aerodromu iznosi 200 km pa se pomoću prije određene potrošnje goriva u horizontalnom letu od 3,75 l/km dobiva ukupna potrošnja goriva do matičnog aerodroma od

$$G_{g_{hlzG}} = D_{hl} \cdot G_{pg_{hl}} = 200 \text{ km} \cdot 3,75 \frac{l}{\text{km}} = 750 l.$$

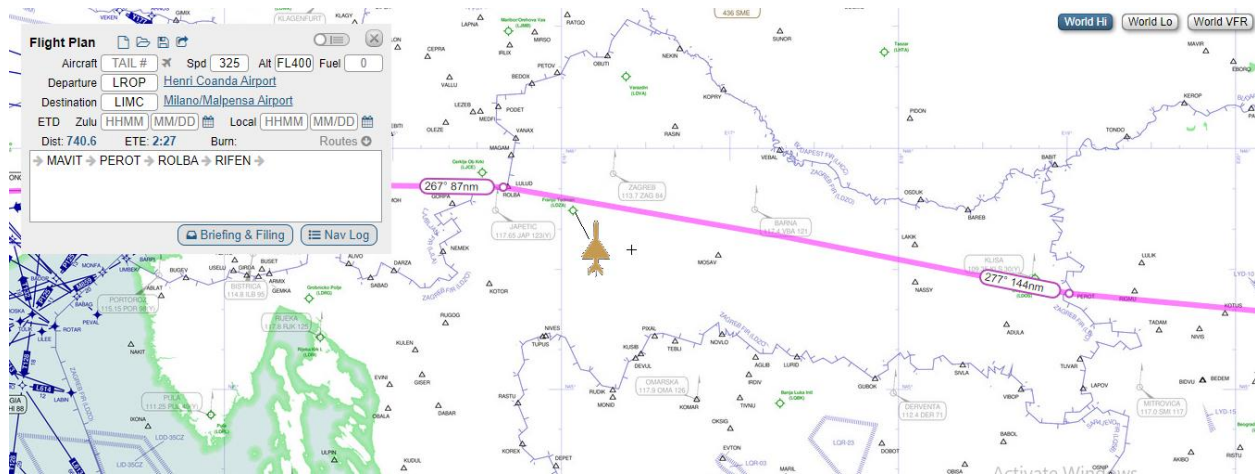
Slijedom dosad napravljenih proračuna dolazi se do ukupne potrošnje goriva prije slijetanja koja iznosi

$$\begin{aligned} G_{g_z} + G_{g_{penj}} + G_{g_{hl}} + G_{g_p} + G_{g_{p2}} + G_{g_{hlzG}} &= 125 l + 425 l + 750 l + 490 l + 525 l + 750 l \\ &= 3065 l. \end{aligned}$$

Kako je na početku navedeno da lovački avion MiG-21bisD nosi ukupnu količinu goriva od 3240 l, potrebno je odmah pri povratku na slijetanje budući da mu ostaje samo 165 l goriva.

10.3. Proračun utroška goriva za proceduru pratnje

Za primjer je uzeto da avion koji ne posjeduje valjano odobrenje za ulazak u zračni prostor države ipak ulazi na točku PEROT unatoč upozorenjima od strane kontrole leta. Avion leti na visini od 12 000 m te se nalazi 235 km od aerodroma lovačkih aviona MiG-21bisD. Pravac leta mu je prema matičnom aerodromu lovačkih aviona te leti brzinom od TAS=600 km/h (167 m/s). Prikaz plana leta aviona koji se presreće je prikazan na slici 25, a izrađen je uz pomoć programa SkyVector. Na slici je vidljiva planirana ruta leta (roza boja) te pozicija baze presretača (avion zlatne boje).



Slika 25. Grafički prikaz plana leta za proceduru pratnje u programu SkyVector

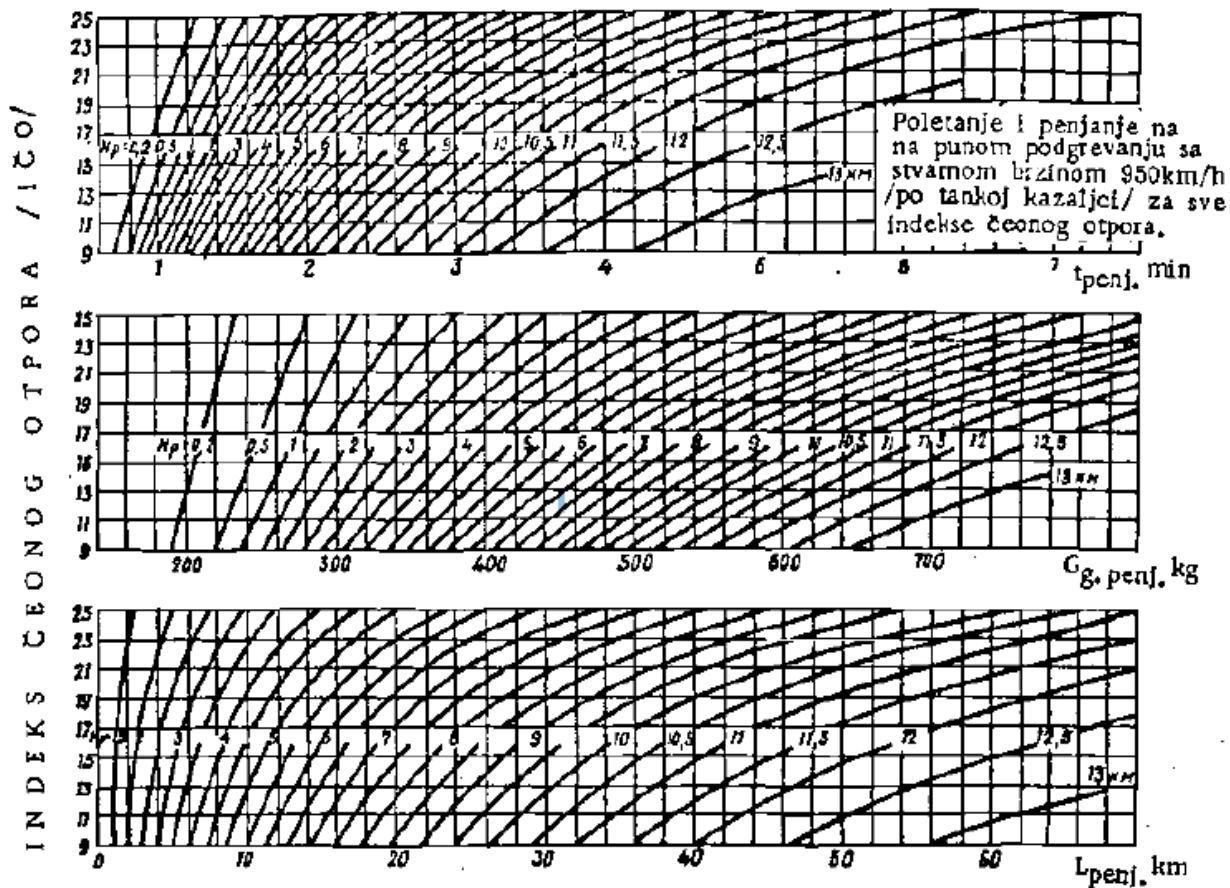
Zadaća lovca je presresti ga, identificirati te na što brži mogući način preusmjeriti na točku PEROT i ispratiti ga iz zračnog prostora države.

Prvi dio leta obuhvaća paljenje aviona, voženje do piste i polijetanje. Za cijelu proceduru u prosjeku troši oko 10 kg goriva po minuti. Za primjer uzimamo da je za cijeli postupak od paljenja motora do polijetanja potrebno 10 min pa tako dolazimo do potrošnje goriva do polijetanja

$$G_{gz} = 10 \frac{kg}{min} \cdot 10 min = 100 kg$$

Uz specifičnu težinu goriva od 0,8 kg/l to iznosi ukupno 125 l goriva.

Lovac polijeće s naknadnim sagorijevanjem te penje na visinu od 11 500 m. Vremensko trajanje polijetanja i dostizanja visine od 11 500 m, potrošena količina goriva i prijeđeni put su očitani iz dijagrama na slici 26.

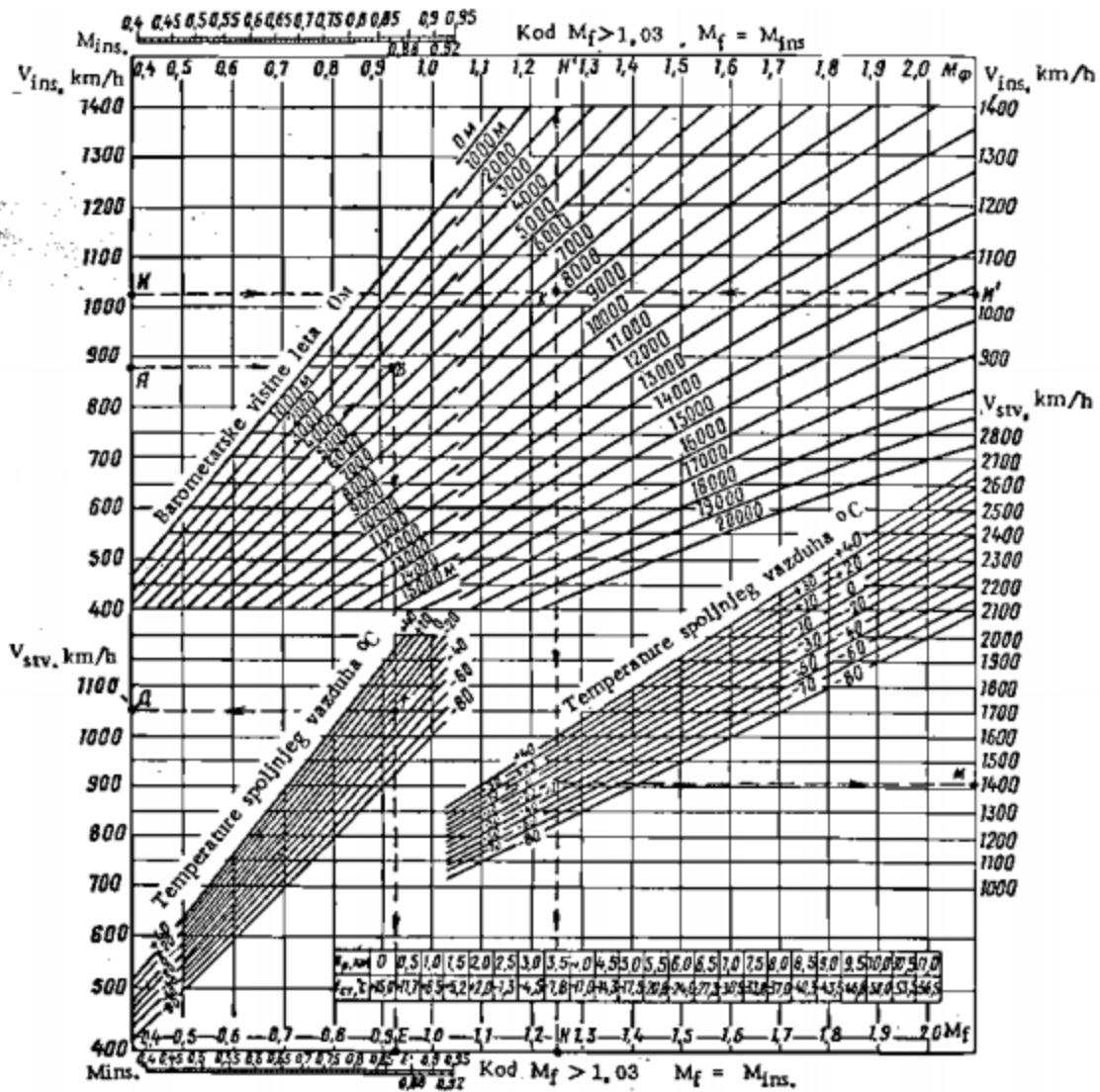


Slika 26. Dijagram za određivanje vremena penjanja, potrošnje goriva kod penjanja i prijedene udaljenosti pri korištenju naknadnog sagorijevanja

Izvor: [11]

Očitano je vrijeme polijetanja i penjanja $t_{penj}=207$ s, potrošena količina goriva $G_{g,penj}=620$ kg što uz specifičnu težinu goriva od $0,8$ kg/l daje oko 780 l goriva te dužina koju lovac prijeđe $L_{penj}=38$ km s krajnjom brzinom $TAS=950$ km/h (264 m/s).

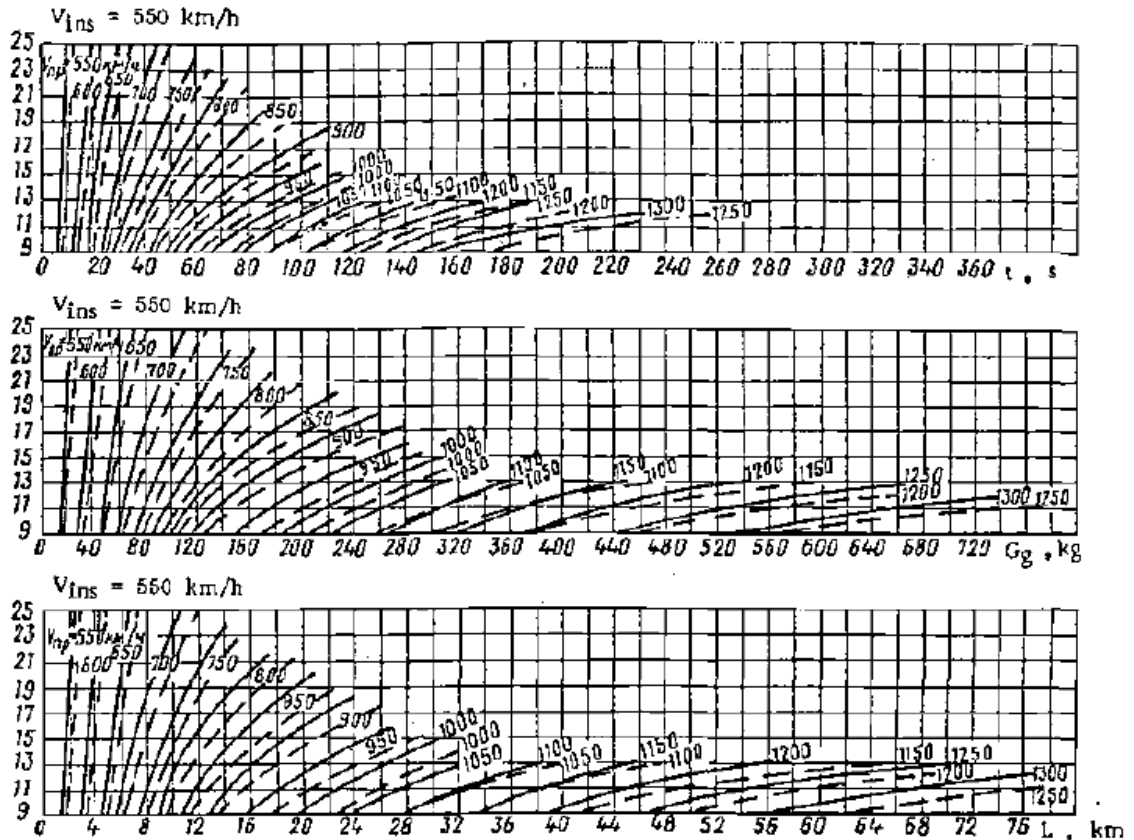
Nakon polijetanja lovac ubrzava na brzinu od 1.2 Ma, što prema dijagramu na slici 27 iznosi $IAS=780$ km/h, odnosno $TAS=1400$ km/h.



Slika 27. Dijagram za određivanje stvarne brzine leta (TAS) i instrumentalne brzine leta (IAS)

Izvor: [11]

Prema dijagramu na slici 28, vrijeme potrebno za ubrzanje iznosi $t_{ubr} = 45$ s, potrošena količina goriva $G_{g,ubr} = 110$ kg odnosno 140 l te prijeđeni put $L_{ubr} = 10$ km.



Slika 28. Dijagram za određivanje vremena, potrošnje goriva i prijeđene udaljenosti kod ubrzanja aviona u horizontalnom letu pri naknadnom sagorijevanju

Izvor: [11]

Nakon polijetanja i ubrzanja lovca meta se kretala brzinom od $TAS = 600 \text{ km/h}$ (167 m/s). Vrijeme koje je proteklo iznosi

$$t_{penj,ubrz} = t_{penj} + t_{ubrz} = 600s + 207s + 45s = 852s$$

Put koji je meta prošla iznosi

$$d_m = 852s \cdot 167 \frac{m}{s} = 142\,284 \text{ m} \approx 140 \text{ km}.$$

S prijeđenim putem lovca od 48 km dobivamo ukupnu udaljenost između mete i lovca koja iznosi

$$d_{lm} = 235 \text{ km} - (140 \text{ km} + 48 \text{ km}) = 47 \text{ km} \approx 50 \text{ km}.$$

Nakon dostizanja visine i brzine od strane lovca, isti kreće u horizontalni let prema meti te je njihova brzina približavanja zbroj njihovih stvarnih brzina

$$v_{Priib} = v_l + v_m = 1400 \frac{km}{h} + 600 \frac{km}{h} = 2000 \frac{km}{h} \approx 555 \frac{m}{s}.$$

Udaljenost između mete i lovca je prije izračunatih 50 km s opaskom da je potrebno uzeti otprilike 30 km za usporavanje lovca na brzinu mete te ona za presretanje iznosi 20 km. Prema tome lovac u horizontalnom letu provodi otprilike 20 km što daje vrijeme približavanja u horizontalnom letu

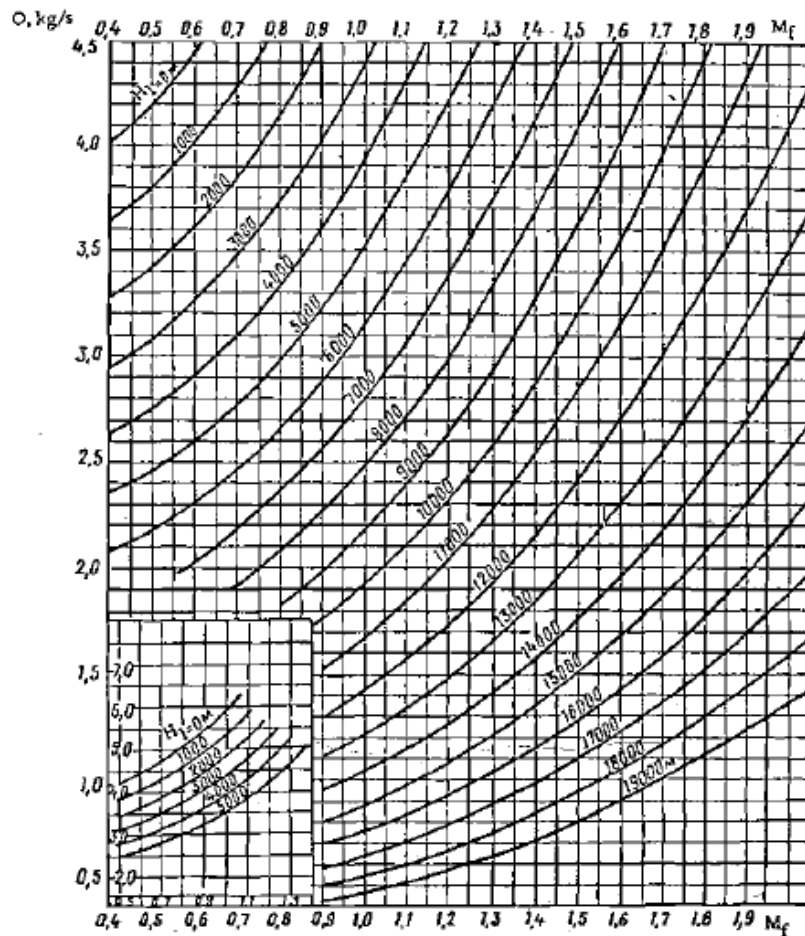
$$t_{presH} = \frac{20 \cdot 10^3 \text{ m}}{555 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 36 \text{ s} \approx 40 \text{ s}.$$

Za to vrijeme lovac preleti udaljenost od

$$S_l = V_l \cdot t_{presH} = 380 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 40 \text{ s} = 15200 \text{ m} \approx 15 \text{ km}$$

Dok mu potrošnja goriva u zadanom vremenu prema dijagramu na slici 29 iznosi 2 kg/s, odnosno 2,5 l/s, što ukupno iznosi

$$G_{ghl} = t_{presH} \cdot G_{pg_{hl}} = 40 \text{ km} \cdot 2.5 \frac{\text{l}}{\text{km}} \approx 100 \text{ l}.$$



Slika 29. Dijagram sekundne potrošnje goriva u ovisnosti od Machovog broja i visine leta

Izvor: [11]

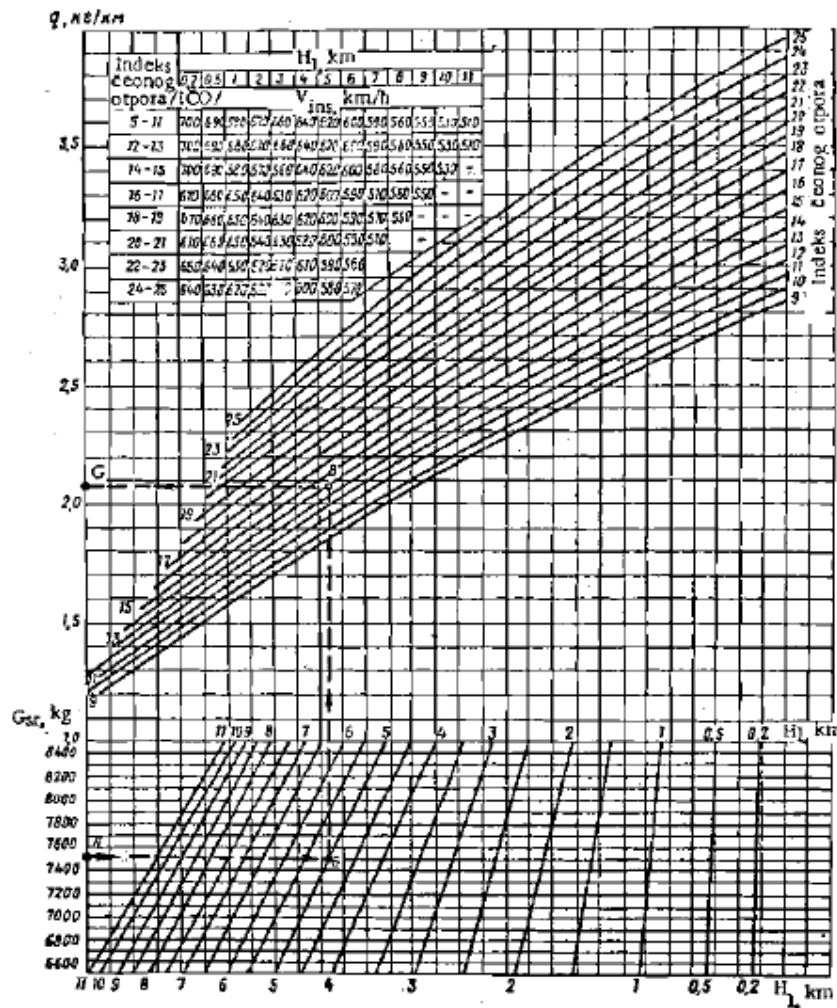
Nakon horizontalnog leta do mete slijedi faza usporavanja na brzinu koja je 1,2 puta veća od brzine mete te iznosi

$$v_l = v_m \cdot 1,2 = 167 \frac{m}{s} \cdot 1,2 = 200 \frac{m}{s} \approx 720 \frac{km}{h} \text{ TAS.}$$

Usporavanje na tu brzinu traje oko 10 s, potrebna udaljenost iznosi oko 10 km te je za to vrijeme potrošena količina od 10 kg goriva, odnosno 12,5 l.

Za vrijeme horizontalnog leta i usporavanja na brzinu mete, lovac i meta su se približili na udaljenost koja zahtijeva zaokret lovca zbog dolaska u zadnju sferu mete. Kako parametri leta diktiraju da se potrošnja goriva proračunava kao kod horizontalnog leta ona je iščitana iz dijagrama na slici 30. Masa aviona sada iznosi

$$M_l = 8960 \text{ kg} - 100 \text{ kg} - 620 \text{ kg} - 110 \text{ kg} - 80 \text{ kg} = 8050 \text{ kg}$$



Slika 30. Dijagram potrošnje goriva po kilometru prijeđenog puta u zavisnosti od mase aviona, visine leta i indeksa čeonog otpora

Izvor: [11]

Prema dijagramu potrošnja goriva iznosi 1,6 kg/km odnosno 2 l/km, a ukupna dužina zaokreta i let za vizualnu identifikaciju iznosi

$$S_{I2} = 10 \text{ km} + 6 \cdot \pi \text{ km} = 28.85 \text{ km} \approx 30 \text{ km}$$

Pa slijedom toga potrošnja goriva za zaokret i vizualnu identifikaciju iznosi

$$G_{g_{hlz}} = S_{I2} \cdot G_{pg_{hl}} = 30 \text{ km} \cdot 2 \frac{\text{l}}{\text{km}} \approx 60 \text{ l} = 48 \text{ kg} \approx 50 \text{ kg}.$$

Nakon vizualne identifikacije slijedi preusmjeravanje na točku ulaska. Udaljenost na kojoj se sada nalaze avioni od početne točke ulaska PEROT iznosi

$$d_{PEROT} = 142 \text{ km} + 40 \text{ s} \cdot 167 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 10 \text{ km} = 165 \text{ km} \approx 170 \text{ km}.$$

Zaokret radijusa od 6 km prema točki PEROT daje potrošnju goriva od 30 kg, odnosno 38 l.

Nakon zaokreta uzima se u obzir da avion leti u režimu s najvećim doletom te je potrošnja goriva iščitana iz dijagrama na slici 30 i ona iznosi

$$G_{g_{PEROT}} = d_{PEROT} \cdot G_{pg_{hl}} = 170 \text{ km} \cdot 2 \frac{\text{l}}{\text{km}} \approx 340 \text{ l} = 272 \text{ kg} \approx 280 \text{ kg}.$$

Nakon ispraćaja aviona bez odobrenja iz zračnog prostora države slijedi zaokret prema matičnom aerodromu te povratak za slijetanje na isti. Prije je proračunato da je potrošnja goriva u zaokretu 30 kg, odnosno 38 l. Za izračun potrošnje goriva potreban je izračun mase aviona te ona sada iznosi

$$M_{I2} = 8050 \text{ kg} - 50 \text{ kg} - 280 \text{ kg} - 30 \text{ kg} = 7690 \text{ kg}.$$

Izračun potrošnje goriva za horizontalni let do matičnog aerodroma je napravljen prema dijagramu na slici 30 te iznosi

$$G_{g_{Aero}} = d_{Aero} \cdot G_{pg_{hl}} = 235 \text{ km} \cdot 2 \frac{\text{l}}{\text{km}} \approx 470 \text{ l} = 376 \text{ kg} \approx 380 \text{ kg}.$$

Ukupna količina goriva koja je utrošena do povratka na matični aerodrom iznosi

$$\begin{aligned} G_{g_{uk}} &= G_{g_z} + G_{g_{penj}} + G_{g_{ubrz}} + G_{g_{hl}} + G_{g_{usp}} + G_{g_{hlz}} + G_{g_z} + G_{g_{PEROT}} + G_{g_{Aero}} \\ &= 125 \text{ l} + 780 \text{ l} + 140 \text{ l} + 100 \text{ l} + 12.5 \text{ l} + 60 \text{ l} + 40 \text{ l} + 340 \text{ l} + 470 \text{ l} \\ &= 2067,5 \text{ l} \approx 2100 \text{ l}. \end{aligned}$$

Kako je prije izračunato da avion MiG-21bisD nosi ukupno 3240 l, a na slijetanje ne kreće s više od 700 l goriva, ostaje mu još nešto više od 400 l (440 l) goriva koje je potrebno potrošiti prije odlaska na slijetanje.

ZAKLJUČAK

Ovim radom su teoretski analizirane procedure presretanja ciljeva u zraku te je napravljen izračun potrošnje goriva za lovački avion MiG-21bisD, avion koji je u uporabi u Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu, za provedbu zadaće presretanja u tri različite situacije.

Teoretskim prikazom i sistematizacijom pojmova i definicija vezanih za presretanje ciljeva u zraku omogućeno je definiranje situacija i provedba proračuna. Kroz rad su objašnjene procedure presretanja ciljeva u zraku koje obuhvaćaju presretanje u vrijeme krize i konflikta te presretanje u mirnodopsko vrijeme. Nabrojani su i objašnjeni razlozi zbog kojih se provodi zadaća presretanja, a fazama presretanja je prikazan cjelokupan proces. Prikazana su dva slučaja presretanja sa svrhom pružanja navigacijske pomoći zrakoplovu koji se presreće, a kasnije je na temelju istih slučajeva proveden proračun potrošnje goriva. Navedeni su postupci zrakoplova u slučaju presretanja koji su definirani zrakoplovnim propisima i regulativama. Razjašnjena je geometrija presretanja kao alat zemaljske kontrole koja provodi kontrolu zrakoplova presretača u zadaći presretanja. Navedena su i slikovno prikazana i objašnjena tri vježbovna slučaja koja služe kao pomoć u provedbi stvarne zadaće. Objašnjene su taktike i tehnike presretanja na temelju taktika prilaza, završne potjere i vrste napada te su iste slikovno prikazane. Navedeni su prioriteti za provođenje presretanja koji s pravilnim tumačenjem povećavaju uspješnost zadaće. Tablično su prikazane prednosti i nedostaci svakog od prioriteta. Definirani su i slikovno prikazani profili leta za presretanje kao skup svih manevara koje zrakoplov presretač izvodi kako bi proveo zadaću presretanja. Na kraju je navedena metodologija navigacijskih proračuna mogućnosti presretanja s obzirom na utrošak goriva koja daje mogućnost provedbe konkretnih proračuna potrošnje goriva provedenih u zadnjem dijelu rada.

Korištenjem teorijskih saznanja iz prvog dijela rada i primjenom dijagrama potrošnje goriva za lovački avion MiG-21bisD na različitim visinama i s različitim režimima rada motora provedena su tri proračuna potrošnje goriva za tri imaginarne situacija. Uvidom u dobivene rezultate vidljivo je da je ukupna potrošnja goriva za provedbu zadaće ovisna o mnogo parametara leta pa je stoga izrazito teško precizno odrediti mogućnost provedbe zadaće u nekim situacijama. Dobiveni rezultati daju razlike u potrošnji od čak 1000 litara goriva na relativno malom prostoru Republike Hrvatske. Treba uzeti u obzir i da su dobiveni rezultati idealizirani i da je iste rezultate gotovo nemoguće dobiti u realnoj situaciji. Iako rezultati nisu u potpunosti primjenjivi u stvarnoj situaciji, proračune potrošnje goriva je potrebno napraviti jer smanjuju vrijeme donošenja odluke, a samim time povećavaju vrijeme raspoloživo za presretanje što povećava i vjerojatnost uspješne provedbe zadaće.

LITERATURA

- [1] Ž. Vučković, *Taktika HRZ i PZO 2*, Ministarstvo obrane, Glavni stožer Oružanih snaga Republike Hrvatske, Hrvatsko ratno zrakoplovstvo i protuzračna obrana, Zagreb, 2007.
- [2] B. Grozdanić. *Taktička navigacija II. dio*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2002.
- [3] *Aeronautical Information Manual, Official Guide to Basic Flight Information and ATC Procedures*, FAA, Change 2, July 16, 2020.
- [4] EASA, *Acceptable Means of Compliance and Guidance Material to the rules of the air*, Annex to ED Decision 2016/023/R, Amendment 1, 13 October 2016
- [5] *Intercept Geometry*, interna literatura za obuku časnika za navođenje
- [6] *Kinematical Solution of an Interception*, interna literatura za obuku časnika za navođenje
- [7] *Theory of Interception*, interna literatura za obuku časnika za navođenje
- [8] ICAO, Doc 9433-AN/926, *Manual concerning Interception of Civil Aircraft*, 1990. ICAO, 2005 Annex 2, *Rules of the Air*, 10th Edition – July 2005
- [9] ICAO, 2005 Annex 2, *Rules of the Air*, 10th Edition – July 2005
- [10] COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 923/2012 – SERA, European Union L 281/1, 2012.
- [11] PRORAČUN DOLETA I TRAJANJA LETA AVIONA L-17 01.VTUP.009/02.01, Komanda ratnog vazduhoplovstva i protivvazdušne odbrane, 1978.
- [12] *Sheme presretanja na spore ciljeve*, interna literatura za obuku časnika za navođenje

POPIS KRATICA

ACAS	(Airborne Collision Avoidance System) sustav za izbjegavanje sudara u zraku
ADS-B	(Automatic Dependent Surveillance – Broadcast) automatski sustav nadzora
ADS-C	(Automatic Dependent Surveillance – Contact) automatski sustav nadzora
IAS	(Indicated Airspeed) instrumentalna brzina leta
ICAO	(International Civil Aviation Organization) Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo
SSR	(Secondary Surveillance Radar) sekundarni motriteljski radar
TAS	(True Airspeed) stvarna brzina leta

POPIS SLIKA

Slika 1. Presretanje s namjerom promjene smjera leta zrakoplova Izvor: [3]	5
Slika 2. Pozicioniranje zrakoplova presretača u odnosu na presretani zrakoplov u svrhu pružanja navigacijski pomoći Izvor: [8].....	7
Slika 3. Trokut presretanja Izvor: [5].....	12
Slika 4. Presretanje iz smjera 180° Izvor: [5]	13
Slika 5. Završna faza presretanja iz smjera 180° Izvor: [5].....	14
Slika 6. Presretanje iz smjera 150° Izvor: [5]	15
Slika 7. Završna faza presretanja iz smjera 150° Izvor: [5].....	15
Slika 8. Presretanje iz smjera 90° Izvor: [5]	16
Slika 9. Završna faza presretanja iz smjera 90° Izvor: [5].....	16
Slika 10. Taktike prilaza Izvor: [6]	17
Slika 11. Vrste završne potjere Izvor: [6]	18
Slika 12. Sektori napada lovca Izvor: [6].....	19
Slika 13. Profil leta s kratim doletom Izvor: [7]	21
Slika 14. Profil leta sa srednjim doletom Izvor: [7].....	22
Slika 15. Profil leta s velikim doletom Izvor: [7]	22
Slika 16. Dijagram za određivanje vremena penjanja, potrošnje goriva kod penjanja i prijeđene udaljenosti pri korištenju naknadnog sagorijevanja Izvor: [11]	27
Slika 17. Dijagram za određivanje stvarne brzine leta (TAS) i instrumentalne brzine leta (IAS) Izvor: [11]	28
Slika 18. Dijagram za određivanje prosječne potrošnje goriva za visine 500 m, 5000 m i 10000 m Izvor: [11]	29
Slika 19. Grafički prikaz plana leta za proceduru prisilnog slijetanja u programu SkyVector	31
Slika 20. Shema presretanja za spori cilj na malim visinama Izvor: [12].....	31
Slika 21. Dijagram za određivanje vremena penjanja, potrošnje goriva kod penjanja i prijeđene udaljenosti pri korištenju naknadnog sagorijevanja Izvor: [11]	32
Slika 22. Dijagram za određivanje stvarne brzine leta (TAS) i instrumentalne brzine leta (IAS) Izvor: [11]	33
Slika 23. Trokut presretanja s udaljenostima i potrebnim kutom Izvor: [5].....	34
Slika 24. Dijagram za određivanje prosječne potrošnje goriva za visine 200 m, 4000 m i 9000 m Izvor: [11]	35
Slika 25. Grafički prikaz plana leta za proceduru pratnje u programu SkyVector	37
Slika 26. Dijagram za određivanje vremena penjanja, potrošnje goriva kod penjanja i prijeđene udaljenosti pri korištenju naknadnog sagorijevanja Izvor: [11]	38
Slika 27. Dijagram za određivanje stvarne brzine leta (TAS) i instrumentalne brzine leta (IAS) Izvor: [11]	39
Slika 28. Dijagram za određivanje vremena, potrošnje goriva i prijeđene udaljenosti kod ubrzanja aviona u horizontalnom letu pri naknadnom sagorijevanju Izvor: [11].....	40

Slika 29. Dijagram sekundne potrošnje goriva u ovisnosti od Machovog broja i visine leta Izvor: [11].....	41
Slika 30. Dijagram potrošnje goriva po kilometru prijeđenog puta u zavisnosti od mase aviona, visine leta i indeksa čeonog otpora Izvor: [11].....	42

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vizualni signali zrakoplova presretača i odzivi presretanog zrakoplova.....	9
Tablica 2. Radiokomunikacijski izrazi zrakoplova presretača i presretanog zrakoplova	11
Tablica 3. Prednosti i nedostaci prioriteta za provođenje presretanja	20
Tablica 4. Indeksi čeonog otpora za pojedini dio aviona MiG-21bisD	26

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 **Navigacijski proračuni za presretanje aviona visokih performansi u zračnom prostoru Republike Hrvatske**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 16. rujna 2022.

Matija Kanjir 
(ime i prezime, potpis)