

Taktički navigacijski postupci avionom Pilatus PC-9M u misiji bliske zračne potpore

Jelača, Josip

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:119:927938>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Josip Jelača

TAKTIČKI NAVIGACIJSKI POSTUPCI
AVIONOM PILATUS PC-9M U MISIJI BLISKE
ZRAČNE POTPORE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

Zagreb, 27. travnja 2021.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6149

Pristupnik: **Josip Jelača (0135239600)**
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Taktički navigacijski postupci avionom Pilatus PC-9M u misiji bliske zračne potpore**

Opis zadatka:

Opisati općenite odrednice i sadržaj taktičke navigacije. Analizirati sadržaj i cilj borbenog navigacijskog osiguranja. Prikazati načine osiguranja doleta zrakoplova u rajon i na objekt djelovanja. Proračunati taktički radijus za avion PC-9M. Navesti i analizirati principe i specifičnosti brišućeg letenja. Proračunati elemente misije za blisku zračnu potporu za avion PC-9M. Napraviti navigacijsku pripremu borbenog leta avionom PC-9M.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

prof. dr. sc. Doris Novak

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**TAKTIČKI NAVIGACIJSKI POSTUPCI AVIONOM
PILATUS PC-9M U MISIJI BLISKE ZRAČNE
POTPORE**

**TACTICAL NAVIGATION PROCEDURES IN A
CLOSE AIR SUPPORT MISSION BY PILATUS PC-9M
AIRCRAFT**

Mentor: prof. dr. sc. Doris Novak

Student: univ. bacc. ing. aeronaut.

Josip Jelača

JMBAG: 0135239600

Zagreb, rujan 2021.

Sažetak

Bliska zračna potpora važan je dio suvremenih borbenih operacija, koji omogućuje izvršenje zadaće u uvjetima kada kopnene snage ne mogu napredovati. Piloti osposobljeni za misiju bliske zračne potpore moraju poznavati performanse zrakoplova kojim upravljaju kako bi mogli proračunati elemente potrebne za uspješan napad na ciljeve na zemlji. Ti elementi su manevar za dolazak na točku uvođenja, uvođenje u napad, napad te vađenje iz napada. Osim samih manevara i elemenata u području provođenja operacije, piloti moraju poznavati i značajke taktičke navigacije kako bi mogli sigurno dovesti zrakoplov od zračne luke polijetanja do područja djelovanja i natrag. U ovom radu proračunati su svi potrebni elementi i prikazana je navigacijska priprema borbenog leta avionom Pilatus PC-9M.

KLJUČNE RIJEČI: bliska zračna potpora, napad na ciljeve na zemlji, taktička navigacija, taktički radijus, Pilatus PC-9M

Summary

Close air support is an important part of modern combat operations, which allows the task to be performed in conditions where ground forces cannot advance. Pilots trained for a close air support mission must know the performance of the aircraft they are piloting in order to be able to calculate the elements needed to attack targets on the ground successfully. These elements are the maneuver to reach initial point, initiation into the attack, attack and withdrawal from the attack. In addition to the maneuvers and elements in the area of operation, pilots must be familiar with tactical navigation features in order to be able to safely bring the aircraft from the airport of departure to the area of operation and back. In this paper, all the necessary elements are calculated and the navigation preparation of a combat flight with a Pilatus PC-9M aircraft is presented.

KEY WORDS: close air support, attacking ground targets, tactical navigation, combat radius, Pilatus PC-9M

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. OPĆENITE ODREDNICE TAKTIČKE NAVIGACIJE | 3 |
| 2.1. BORBENO OSIGURANJE DJELOVANJA RATNOG ZRAKOPLOVSTVA..... | 3 |
| 2.2. NAVIGACIJSKO OSIGURANJE BORBENOG LETA | 4 |
| 2.3. OSIGURANJE DOLETA U PODRUČJE OBJEKTA DJELOVANJA | 5 |
| 2.3.1. Kontrola puta po pravcu | 6 |
| 2.3.2. Kontrola puta po daljini..... | 7 |
| 2.3.3. Zaobilaženje prepreka | 11 |
| 2.4. TEORIJA TRAŽENJA I PRONALAŽENJA OBJEKTA DJELOVANJA | 11 |
| 3. SPECIFIČNOSTI BRIŠUĆEG LETENJA..... | 18 |
| 3.1. UTJECAJ BLIZINE TERENA I METEOROLOŠKIH POJAVA..... | 19 |
| 3.2. UTJECAJ KUTNE BRZINE PRIMICANJA OBJEKTA U ODNOSU NA ZRAKOPLOV | 20 |
| 3.3. UTJECAJ VIBRACIJA | 22 |
| 3.4. NAVIGACIJSKA PRIPREMA ZA BRIŠUĆI LET | 23 |
| 3.5. VOĐENJE NAVIGACIJE U BRIŠUĆEM LETU | 23 |
| 4. PRORAČUN TAKTIČKOG RADIJUSA ZA AVION PC-9M | 25 |
| 4.1. OPĆI ALGORITAM PRORAČUNA TR-a | 27 |
| 4.2. PRIBLIŽNI PRORAČUN TR-a ZA AVION PC-9M..... | 30 |
| 4.2.1. Približni proračun po srednjoj potrošnji goriva..... | 30 |
| 4.2.2. Približni proračun pomoću dijagrama doleta | 31 |
| 4.3. DOLET ZRAKOPLOVA I TOČKA POVRATKA | 32 |
| 4.3.1. Dolet zrakoplova | 32 |
| 4.3.2. Točka povratka | 34 |
| 5. PRORAČUN ELEMENATA ZA MISIJU BLISKE ZRAČNE POTPORE | 36 |
| 5.1. BLISKA ZRAČNA POTPORA | 36 |
| 5.1.1. Tipovi kontrole i metode napada..... | 37 |
| 5.1.2. Devet-linijski obrazac | 38 |
| 5.1.3. Taktike napada | 39 |
| 5.2. VRSTE NAPADA NA OBJEKT NA ZEMLJI..... | 42 |
| 5.2.1. Napad iz horizontalnog leta..... | 42 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5.2.2. | Napad iz poniranja/obrušavanja | 43 |
| 5.2.3. | Napad iz iskakanja | 44 |
| 5.2.4. | Napad iz propinjanja | 44 |
| 5.3. | PRORAČUN NAPADA IZ ISKAKANJA AVIONOM PC-9M NA CILJ NA ZEMLJI | 47 |
| 5.3.1. | Manevar za dovođenje u točku uvođenja | 47 |
| 5.3.2. | Uvođenje u napad | 48 |
| 5.3.3. | Napad s ciljanjem | 51 |
| 5.3.4. | Vađenje iz napada | 52 |
| 5.4. | USPOREDBA PRORAČUNATIH VRIJEDNOSTI SA VJEŽBOVNIM DJELOVANJIMA | 54 |
| 5.5. | PRIPREMA ZA LET U PODRUČJU PROVOĐENJA OPERACIJE..... | 55 |
| 6. | NAVIGACIJSKA PRIPREMA BORBENOG LETA AVIONOM PC-9M..... | 58 |
| 6.1. | OPĆA NAVIGACIJSKA PRIPREMA | 58 |
| 6.2. | PRETHODNA NAVIGACIJSKA PRIPREMA..... | 59 |
| 6.3. | IZVRŠNA NAVIGACIJSKA PRIPREMA..... | 62 |
| 6.4. | ETAPE RUTE S ELEMENTIMA LETA | 62 |
| 6.4.1. | Etapa Šabrnja – Pađene | 63 |
| 6.4.2. | Etapa Pađene – Bruvno | 64 |
| 6.4.3. | Etapa Gornja Ploča – Poličnik | 66 |
| 6.5. | IZRAČUN TR-a ZA KONKRETNU ZADAĆU | 67 |
| 6.6. | ODREĐIVANJE TOČKE POVRATKA ZA KONKRETNU RUTU | 68 |
| 7. | ZAKLJUČAK | 70 |
| | LITERATURA..... | 71 |
| | POPIS KRATICA | 72 |
| | POPIS SLIKA | 73 |
| | POPIS TABLICA..... | 74 |
| | POPIS JEDNADŽBI..... | 75 |

1. UVOD

Provođenje borbenih zadaća kopnenih snaga nezamislivo je bez pomoći iz zraka. Zračne snage u bliskoj zračnoj potpori kopnenim snagama ili snagama ratne mornarice stvaraju prednost nad protivnikom i omogućavaju uspješan nastavak operacije ukoliko dođe do zastoja. Bliska zračna potpora sastoji se od unaprijed definiranih postupaka i procedura koje su uvijek iste, bez obzira na tip zrakoplova kojim se zadaća provodi. To omogućava obučavanje i uvježbavanje za misiju bliske zračne potpore i nenaoružanim avionima kakav je Pilatus PC-9M Hrvatskog ratnog zrakoplovstva. Zbog velike pouzdanosti, vrlo dobrih performansi, jednostavne uporabe, odlične preglednosti i relativno jeftinog sata naleta u usporedbi s drugim borbenim zrakoplovima, ovi avioni idealni su za tu zadaću.

Svrha i cilj ovog diplomskog rada je odrediti najbitnije elemente borbenog leta u misiji bliske zračne potpore i napraviti njihov proračun za avion Pilatus PC-9M, uvažavajući ograničenja aviona i posade, te ih usporediti s dosadašnjim iskustvima u provođenju ovakvih borbenih zadaća.

Naslov diplomskog rada je: Taktički navigacijski postupci avionom Pilatus PC-9M u misiji bliske zračne potpore. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Općenite odrednice taktičke navigacije
3. Specifičnosti brišućeg letenja
4. Proračun taktičkog radijusa za avion PC-9M
5. Proračun elemenata za misiju bliske zračne potpore
6. Navigacijska priprema borbenog leta avionom PC-9M.

U drugom poglavlju definiran je pojam taktičke navigacije i prikazano je borbeno i navigacijsko osiguranje borbenog leta, te osiguranje doleta u područje objekta djelovanja. Najvažniji koraci u navigacijskom osiguranju doleta u područje objekta djelovanja, kontrola puta po pravcu i daljini, detaljnije su razrađeni. Teorijski su pojašnjeni elementi traženja i pronalaženja objekta djelovanja.

Kako se borbeni letovi često provode na visini brišućeg letenja, u trećem su poglavlju prikazane specifičnosti koje takvo letenje podrazumijeva, u obliku različitih utjecaja. Kratko su prikazane i specifičnosti pripreme za brišuci let i vođenje navigacije u takvom letu.

U četvrtom poglavlju pojašnjen je opći algoritam određivanja taktičkog radijusa za zrakoplove, te je isti proračunat za PC-9M dvjema metodama, pomoću srednje potrošnje goriva i pomoću dijagrama doleta. Definirani su i dolet i točka povratka.

Teorijska podloga bliske zračne potpore i vrste napada definirani su u petom poglavlju. Napravljen je i proračun napada avionom PC-9M na cilj na zemlji iz iskakanja, te su dobivene vrijednosti uspoređene sa zadanim normama koje se na školskom poligonu koriste za uvježbavanje takvih napada. Na kraju su određeni elementi koje je potrebno poznavati kada se radi priprema u području provođenja zadaće.

Šesto poglavlje „Navigacijska priprema borbenog leta avionom PC-9M“ donosi kratku podjelu navigacijske pripreme leta na opću, prethodnu i izvršnu. U prethodnoj pripremi izrađuje se navigacijska karta sa svim elementima i rutom prema području provođenja zadaće i povratnom rutom prema aerodromu slijetanja. Također se proračunava taktički radijus za konkretnu zadaću.

Konačna razmatranja o misiji bliske zračne potpore, o napadima na ciljeve na zemlji, te o navigacijskoj pripremi za borbeni let donesena su u zaključnom poglavlju.

2. OPĆENITE ODREDNICE TAKTIČKE NAVIGACIJE

Borbena djelovanja iz zračnog prostora te u samom zračnom prostoru još od prošlog stoljeća imaju veliki, ako ne i presudni utjecaj na vođenje ratova. Oni utječu na izbor oblika borbe, na organizaciju oružanih snaga te na strukturu oružanih snaga. [1] Kako bi bilo moguće izvesti borbena djelovanja iz zraka potrebno je zrakoplov dovesti od zračne luke do područja djelovanja. Zrakoplovna navigacija proučava vođenje zrakoplova od jedne do druge točke na površini Zemlje po odgovarajućoj ruti i u odgovarajuće vrijeme. [2] Izvođenje borbenih letova često zahtjeva da pojedinačni avion ili skupina aviona tijekom leta izvodi različite manevre. U zrakoplovnoj taktičkoj navigaciji manevar predstavlja niz navigacijskih postupaka kojima se skupina aviona ili pojedinačni avion dovode u takav položaj koji pruža optimalne uvjete za izvršenje borbene zadaće. Manevrima se mijenja raspored aviona unutar skupine, osigurava točnost izlaska na određenu točku po vremenu i mjestu, te osigurava sigurnost leta. Kada se određuju i proračunavaju elementi za izvođenje taktičkih navigacijskih manevara u obzir se uzima taktička situacija, tip zrakoplova, broj zrakoplova, osposobljenost posada te meteorološki uvjeti. Taktička navigacija proučava etape izvođenja borbenih letova, proračunava mogućnost djelovanja u protivnikovu dubinu te razrađuje navigacijske probleme prilikom presretanja letjelica u zračnom prostoru. Područje proučavanja taktičke navigacije su također i borbeno i navigacijsko osiguranje zrakoplovstva te pretraživanje objekta djelovanja.

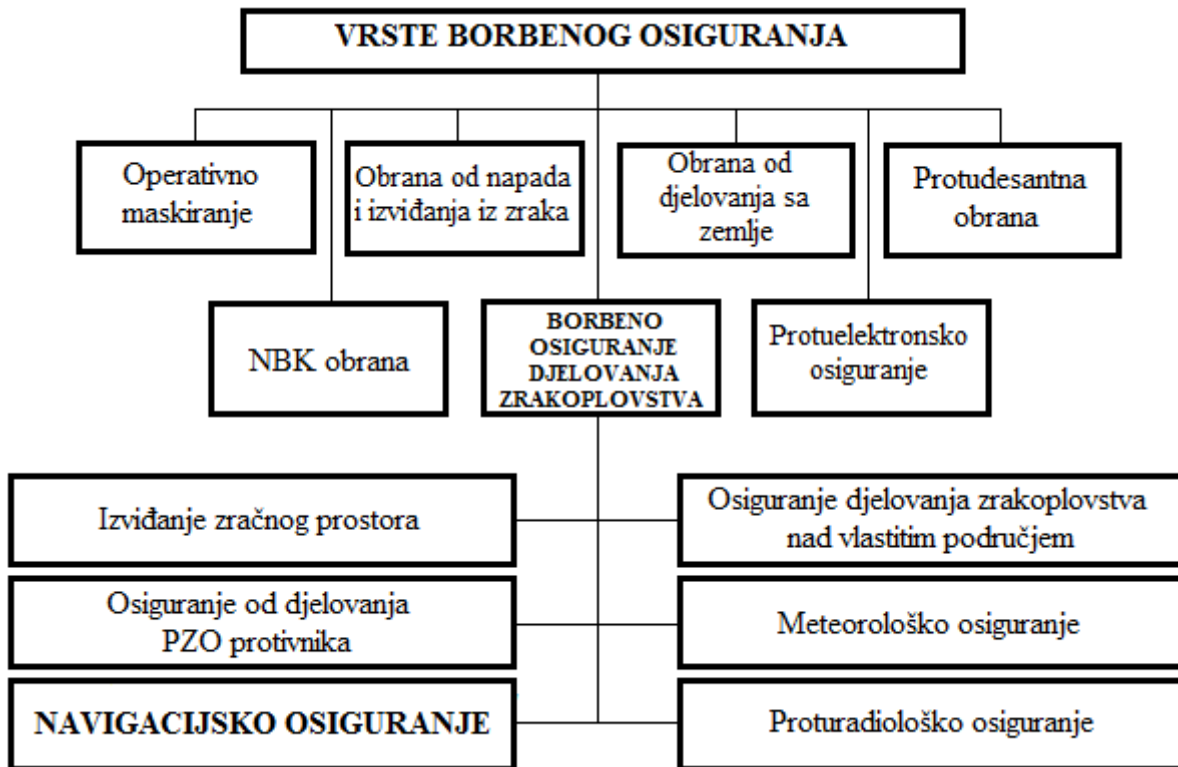
Svaki se borbeni let sastoji od pet etapa, a to su:

1. Polijetanje i zbor skupine
2. Let do područja objekta djelovanja
3. Manevar u području objekta djelovanja
4. Let do aerodroma slijetanja
5. Razlaz skupine i slijetanje. [3]

2.1. BORBENO OSIGURANJE DJELOVANJA RATNOG ZRAKOPLOVSTVA

Borbena osiguranje postrojbi ratnog zrakoplovstva čine mjere, djelovanje i taktički i operativni postupci koji se poduzimaju zbog neposredne zaštite postrojbi od izviđanja i

djelovanja protivnika. Sve te mjere, djelovanja i postupci trebaju umanjiti ili otkloniti posljedice napada protivnika kako bi se stvorili preduvjeti za izvođenje borbenih zadaća. Borbeno osiguranje postrojbi ratnog zrakoplovstva zahtijeva poznavanje ograničenja i mogućnosti protivnikovog zrakoplovstva i sustava protuzračne obrane (PZO), poznavanje situacije i na zemlji i u zraku te odličnu komunikaciju između svih čimbenika borbenog osiguranja. [1] Na slici 2.1 prikazane su vrste borbenog osiguranja.

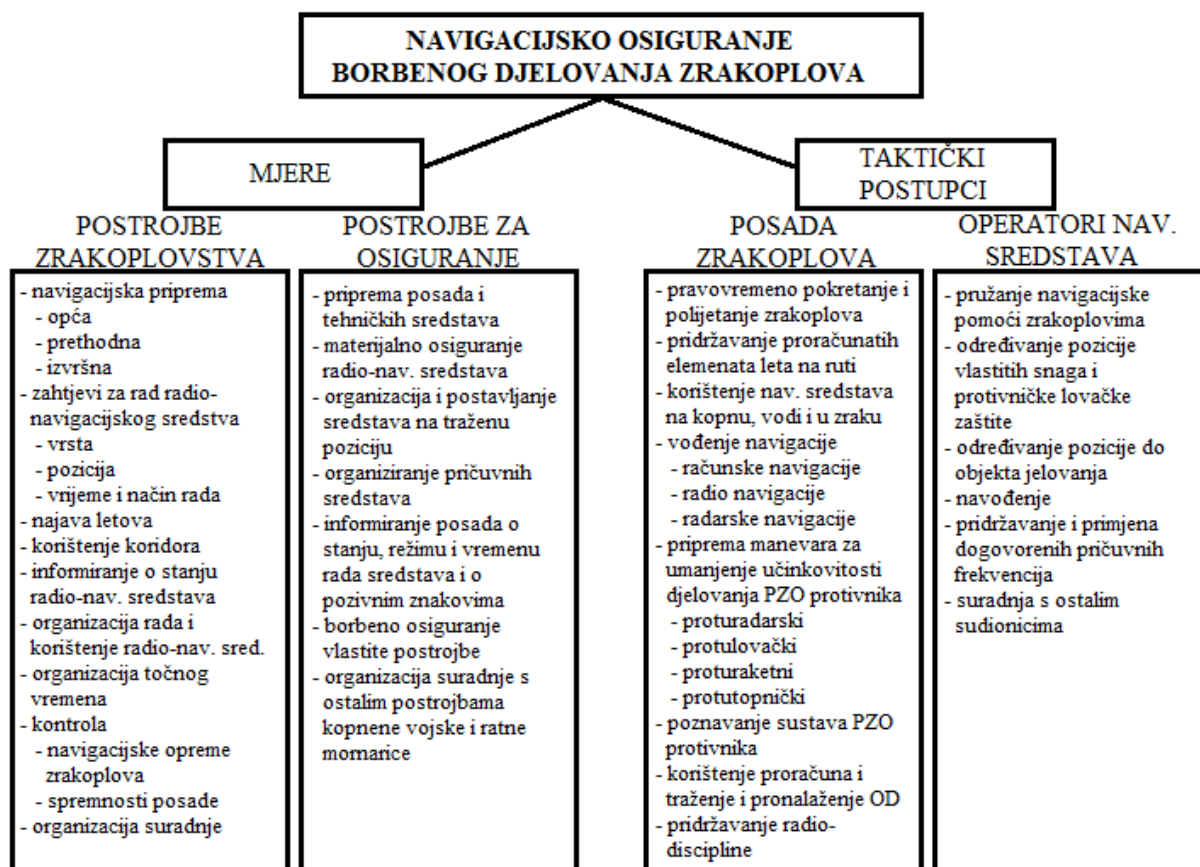


Slika 2.1 Vrste borbenog osiguranja
Izvor: [1]

2.2. NAVIGACIJSKO OSIGURANJE BORBENOG LETA

Navigacijsko osiguranje letenja je skup djelatnosti zrakoplovnih postrojbi, posada zrakoplova, postrojbi za opsluživanje i potporu letenja i operatera na navigacijskim sredstvima u planiranju, organiziranju, pripremi, realiziranju i kontroli borbenih letova u cilju stvaranja uvjeta koji osiguravaju visoku učinkovitost i sigurnost vođenja zrakoplova po ruti tijekom izvođenja borbene zadaće. Navigacijsko osiguranje mora omogućiti izvođenje borbenih letova u svim uvjetima i bez obzira na raspoloživo vrijeme za pripremu. Cilj navigacijskog osiguranja je omogućiti siguran let po ruti, točan dolazak u područje objekta

djelovanja, pronalaženje objekta djelovanja, siguran let iznad vlastitog područja i siguran povratak u zračnu luku bez obzira na meteorološke i taktičke uvjete. Navigacijsko osiguranje ostvaruje se primjenom mjera i taktičkih postupaka koji moraju biti usklađeni po mjestu i vremenu u nekoj konkretnoj taktičkoj, vremenskoj i meteorološkoj situaciji. [1] Na slici 2.2 prikazane su mjere i postupci koje provode postrojbe, operateri i posade zrakoplova.



Slika 2.2 Navigacijsko osiguranje borbenog djelovanja zrakoplova
Izvor: [1]

2.3. OSIGURANJE DOLETA U PODRUČJE OBJEKTA DJELOVANJA

Vođenje zrakoplova po zadanoj ruti predstavlja mjeru i taktički postupak posade u navigacijskom osiguranju borbenog leta. Ono se odvija utvrđenim redoslijedom, te se uz strogo pridržavanje izvedenih proračuna izvršavaju radnje i postupci po etapama rute, uzimajući u obzir stvarnu taktičku i meteorološku situaciju. Vođenje zrakoplova po ruti započinje na početnoj točki rute (PTR), a završava na krajnjoj točki rute (KTR). Pridržavanjem temeljnih pravila i postupaka u navigacijskoj pripremi za let i tijekom samog

leta po ruti uvelike se povećava učinkovitost izvršenja zadaće. Tijekom leta posada zrakoplova obavezna je provoditi kontinuiranu kontrolu puta po pravcu i daljini i, ako je potrebno, raditi ispravke, čime se osigurava dolazak na određenu točku u točno predviđeno vrijeme, na točnoj visini i u zadanom kursu kako bi zrakoplov bio spreman za uvođenje u napad. Za uspješno i sigurno izvršenje leta potrebna je i kvalitetna priprema leta i poštivanje postupaka i pravila tijekom izvršenja leta. U pripremi leta potrebno je odrediti i pripremiti rutu, napraviti plan leta, izraditi shemu leta i manevara te napraviti niz proračuna koji će se po potrebi, ovisno o uvjetima u letu, koristiti. Vođenje navigacije tijekom leta svodi se na određivanje stvarne pozicije zrakoplova u prostoru te na kontrolu prijednog puta po pravcu i daljini. U slučaju nailaska na prepreku tijekom leta, potrebno je poznavati i postupak zaobilaznja prepreke. [1]

2.3.1. Kontrola puta po pravcu

Kontrolom prijednog puta po pravcu utvrđuje se odstupanje stvarne crte puta (SCP) koju je zrakoplov prešao od zadane crte puta (ZCP) koju je zrakoplov trebao prijeći. Kontrola se može izvršiti pomoću odabranih orijentira na ZCP-u, pomoću više uzastopno određenih stvarnih pozicija (SP), pomoću bočnog skretanja ili pomoću radio-navigacijskih sredstava. Kada se vrši kontrola uvijek je potrebno odrediti linearno bočno skretanje, najlakše usporedbom stvarne pozicije na zemlji i krute. Bočno skretanje (BS) je najkraća udaljenost stvarne pozicije zrakoplova od ZCP-a. Na temelju te udaljenosti određuje se kutno zanošenje (BS°) i izračunava se ispravka kursa (IK). Ispravkom kursa zrakoplov nakon povratka na ZCP nastavlja let po ZCP-u ili leti izravno prema sljedećem prekretnom orijentiru ili nekoj drugoj točki na ruti. [1]

Formula za određivanje kutnog zanošenja je sljedeća:

$$BS^\circ = \frac{BS}{S} \cdot 60 \quad (1)$$

gdje je S prijedeni put do kontrolnog orijentira (KO).

Povratak na ZCP i ispravak kursa obavlja se kada postoji obaveza letenja po ZCP-u i kada su bočna skretanja manja. U tom slučaju nakon povratka na ZCP prethodno održavani kurs ispravlja se za vrijednost BS° .

Ukoliko se ne vrši povratak na ZCP, već se nakon određivanja SP-a ispravlja kurs za izravan dolet na sljedeći orijentir, ispravka kursa računa se na sljedeći način:

- na prvoj četvrtini etape $IK = BS^\circ$
- na prvoj trećini etape $IK = 1.5 BS^\circ$
- na polovici etape $IK = 2 BS^\circ$
- na drugoj trećini etape $IK = 3 BS^\circ$
- na trećoj četvrtini etape $IK = 4 BS^\circ$.

Bilo bi poželjno kada bi se ispravak kursa obavio na prvoj trećini etape, najdalje na polovici, kako bi se pravodobno osigurao ispravak i kako bi ispravak bio što manji. [2]

2.3.2. Kontrola puta po daljini

Kontrola prijednog puta po daljini sastoji se od određivanja stvarno prijednog puta zbog provjere odvija li se let proračunatom putnom brzinom. Njezin temelj je usporedba proračunatog vremena dolaska (PVD) sa stvarnim vremenom dolaska (SVD) na određeni orijentir. U vizualnom letenju, kakvo je vojno letenje, kontrola po daljini provodi se pomoću dužinskih orijentira koji sijeku ZCP, minutne podjele ucrtane na karti i sl. U slučaju kasnijeg ili ranijeg dolaska na KO, ispravke se vrše manvrom brzine ili manevrom leta koji osiguravaju dolet na objekt djelovanja u zadano vrijeme. Način na koji se radi ispravka ovisi o veličini odstupanja po vremenu, taktičkoj situaciji u okolini i performansama zrakoplova. [1]

Dolet na objekt djelovanja ili zadanu točku u zadano vrijeme jedan je od najznačajnijih elemenata u vojnom zrakoplovstvu. Velika većina borbenih zadaća koje uključuju i potporu kopnenoj vojsci i ratnoj mornarici mora se izvršiti točno po mjestu i vremenu. Ranije ili kasnije djelovanje po objektu može se negativno odraziti na ostvarenje temeljne zamisli zapovjednika, sigurnost skupine i učinkovitost izvršenja zadaće. Vrijeme doleta na objekt djelovanja zadaje zapovjednik i vrlo često je to interval od svega nekoliko minuta, što ovisi o nekoliko čimbenika: osposobljenosti posada, meteorološkoj situaciji, taktičkoj situaciji, protivniku i sl. Dolet u zadano vrijeme ostvaruje se:

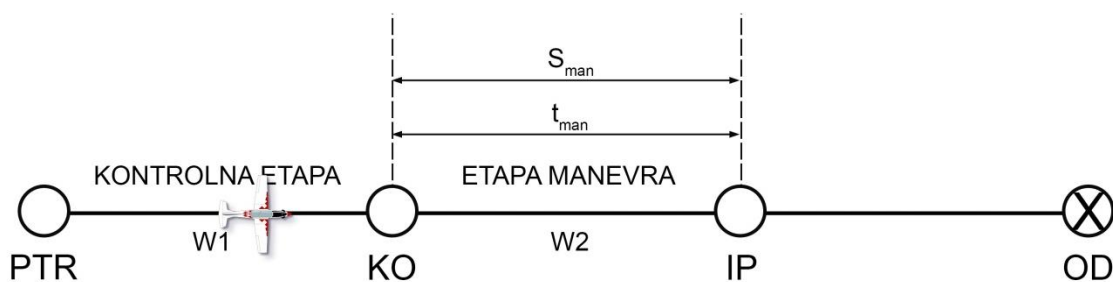
- pravodobnim polijetanjem i preletom PTR-a u proračunatom vremenu
- što preciznijim održavanjem elemenata tijekom leta
- kontrolom puta po daljini
- eliminiranjem viška vremena ili nadoknađivanjem manjka vremena. [1]

Odstupanje u doletu na objekt djelovanja po vremenu proporcionalno je trajanju leta. Odstupanje se povećava s povećanjem udaljenosti objekta na koji se djeluje. Statističkom metodom, uzimajući u obzir uzroke nastajanja grešaka i uvjete, izračunato je da je srednja

kavadratna greška doleta na objekt djelovanja u zadano vrijeme za pojedinačne zrakoplove jednaka ± 60 sekundi. Ona raste po zakonu normalne distribucije i doseže maksimalnu vrijednost na sredini rute. Ako je moguća greška jednaka ili manja od tražene točnosti doleta na objekt djelovanja, tijekom leta nema potrebe za izvođenjem dodatnih manevara. Kada se u pripremi proračunava vrijeme, bilo bi poželjno u proračun uvrstiti utjecaj vjetra, koji radi razliku između zračne brzine (V) i putne brzine (W). [1]

Najjednostavniji način osiguranja doleta na objekt djelovanja u zadano vrijeme je manevar brzinom, posebno kod novijih zrakoplova koji imaju široki raspon brzina i veliku rezervu brzine. Ovim manevrom mijenja se brzina leta za unaprijed određenu veličinu koja ovisi o razlici između SVD-a i PVD-a te održavanjem izmjenjene putne brzine (W_2) na predviđenoj etapi. [1]

Na slici 2.3 prikazana je načelna shema manevra brzinom.



Slika 2.3 Shema manevra brzinom

Izvor: [1]

Na kontrolnoj etapi utvrđuje se kašnjenje ili raniji dolazak na KO. Na temelju razlike SVD-a i PVD-a utvrđuje se razlika vremena doleta na KO:

$$\Delta t = t_s - t_{pror} \quad (2)$$

- gdje je:
- t_s – stvarno vrijeme dolaska na KO
 - t_{pror} – proračunato vrijeme dolaska na KO
 - Δt – razlika vremena

Na etapi manevra vrijeme leta će se od proračunatog vremena razlikovati za Δt . [1]

U ovisnosti o uvjetima izvršenja misije, proračun manevra brzinom može značiti određivanje potrebne izmijenjene putne brzine (W_2) i vremena trajanja manevra (t_{man}) na zadanoj udaljenosti (S_{man}), ili određivanje trajanja i dužine etape manevra (t_{man} i S_{man}) ako je

W_2 zadana ili ograničena performansama zrakoplova. U drugom slučaju t_{man} i S_{man} računa se prema sljedećim formulama:

$$t_{man} = \frac{W_1 \cdot \Delta t}{W_2 - W_1} \quad (3)$$

$$S_{man} = \left(\frac{W_1 \cdot W_2}{W_2 - W_1} \cdot \Delta t - W_2 \cdot t_{man} \right) \cdot 60 \quad (4)$$

Ipak, puno je češći izračun potrebne brzine W_2 i vremena t_{man} na zadanoj udaljenosti S_{man} . Ovaj se proračun obavlja tijekom pripreme leta pomoću navigacijskog računala, a primjenjuje se na KO, kako bi dolazak na prekretni orijentir ili na početnu točku IP (eng. Initial point) bio u točno zadano vrijeme. Kašnjenje se kompenzira povećanjem instrumentalne brzine, a raniji dolazak se kompenzira smanjenjem instrumentalne brzine. [1]

Na avionu Pilatus PC-9M ispravka brzine računa se na način da na KO pilot očita koliko sekundi se avion ranije ili kasnije nalazi iznad KO, te popravi brzinu za onoliko koliko je sekundi uranio ili zakasnio. Tu je brzinu ispravke potrebno zadržati onoliko minuta koliko nautičkih milja u minuti avion inače prijeđe. Budući da je planirana putna brzina aviona Pilatus PC-9M 240 kt, pa stoga avion prelazi 4 NM po minuti, ispravku brzine potrebno je zadržati 4 minute. Na primjer, ako je avion na KO uranio 10 sekundi, brzinu je potrebno smanjiti za 10 kt iduće 4 minute. [4]

Dolet u područje objekta djelovanja u zadano vrijeme moguće je osigurati i manevrom leta. On se obično koristi kada se raspolože s više vremena pri ranijem dolasku na KO, ili kada je kašnjenje na KO veliko. Manevri koji se mogu primjenjivati su sljedeći: promjena dužine rute (skraćivanje rute), manevar jednakostraničnog trokuta, manevar zaokretom, manevar vijugavog leta, te manevar nazvan petlja. Neki od njih prikazani su na slici 2.4. [1]

1. Manevar jednakostraničnog trokuta

Ova se metoda koristi samo u slučaju ranijeg dolaska na KO. Pilot radi zaokret od rute u najpogodniju stranu za 60° . U tom kursu leti polovicu viška vremena (Δt) umanjenog za vrijeme punog zaokreta. Nakon isteka tog vremena radi zaokret za 120° prema ZCP-u i leti jednako vremena kao i prilikom skretanja sa ZCP-a za 60° . Nakon toga zauzima kurs etape prema sljedećem orijentiru. Ovaj se manevar najčešće koristi kada treba utrošiti više od 3 minute leta. Manevar je približan zbog toga što ne uzima u obzir utjecaj vjetera na putnu brzinu u izmijenjenim kursevima leta. [2]

2. Manevar zaokretom

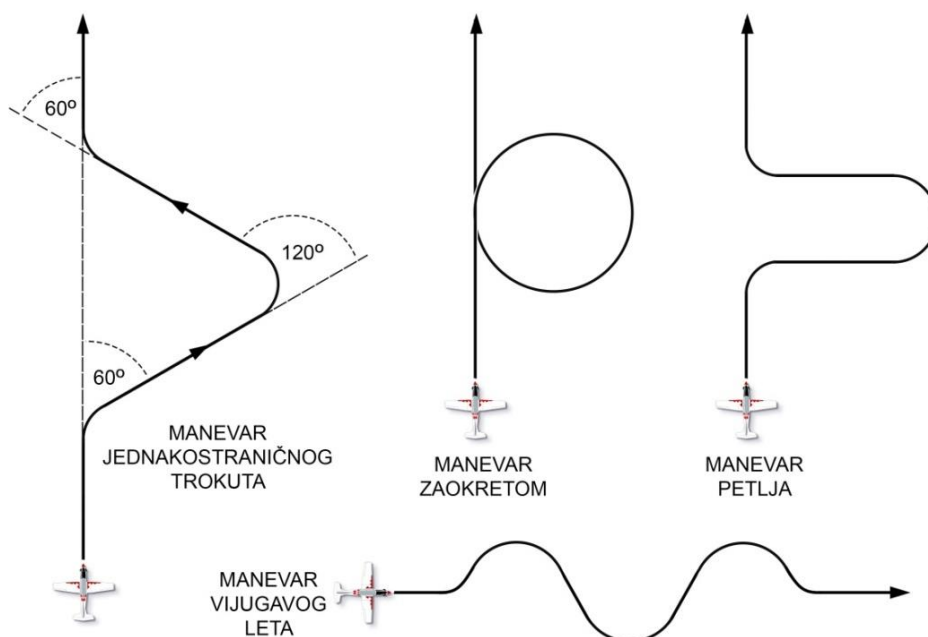
Ovaj je manevar poprilično jednostavan, jer je to u biti zaokret za 360° u pogodnu stranu, pri čemu je višak vremena jednak vremenu trajanja zaokreta. Različiti nagib i brzina utječu na vrijeme trajanja zaokreta, a izračun vremena obrađen je u poglavlju 5.5. [2]

3. Manevar vijugavog leta

Nazvan i zmijoliki let, manevar vijugavog leta jednostavan je ali i dosta neprecizan manevar za gubitak viška vremena zbog toga što se obavlja napamet, bez nekakvog proračuna i na temelju iskustva pilota. Koristi se najčešće kada su odstupanja po vremenu manja, a obavlja se neposredno prije sljedećeg orijentira, kako se ne bi dogodilo da pilot ode u suprotnu pogrešku (umjesto ranijeg, kasniji dolazak na orijentir). [2]

4. Manevar petlja

Manevar petlja koristi se pri velikim odstupanjima po vremenu, većim od 5 minuta. Takva odstupanja su rijetka, pa se i ovaj manevar koristi dosta rijetko. Manevar se izvodi zaokretom za 90° od ZCP-a, u pogodniju stranu. U tom kursu leti se približno polovicu viška vremena (Δt) umanjenog za vrijeme punog zaokreta. Nakon isteka tog vremena zaokretom za 180° zauzima se povratni kurs prema ZCP-u i pomoću mjerenja vremena očekuje se trenutak za zauzimanje kursa etape. [2]



Slika 2.4 Manevri za kompenzaciju viška vremena
Izvor: [2]

2.3.3. Zaobilazanje prepreka

U slučaju kada se leti nisko, te nije moguće promjenom visine omogućiti nadvišavanje prepreka za let po ZCP-u, prepreku je potrebno zaobići. Zaobilazanje prepreke neizbježno znači dodatni gubitak vremena, a to znači kasniji dolazak na orijentir ili krajnju točku. U tom slučaju SVD će biti kasnije od PVD-a, a novo vrijeme izračunava se dodavanjem vremena, sukladno kutu skretanja od rute i trajanju leta, u prijelaznom kursu.

Obilaziti prepreku moguće je promjenom smjera leta za 30° , 45° ili 60° u odnosu na kurs etape. U tom se smjeru leti dok se ne dođe na sigurnu bočnu udaljenost od prepreke a zatim se okreće u kurs etape i leti tim pravcem dok se ne obiđe prepreka. Kada je pilot siguran da je prošao prepreku i da se može vratiti na ZCP, mijenja pravac leta prema ZCP-u za isti iznos koji je koristio za odmicanje od prepreke. Ako se radi o zaobilazanju pod 30° , na vrijeme etape dodaje se $1/3$ vremena utrošenog na odilaženje od rute, ako se zaobilazi pod 45° , dodaju se $2/3$ istog vremena, te konačno ako se zaobilazi pod 60° , dodaje se cijelo to vrijeme. Kut pod kojim se vrši skretanje od zadanog kursa odabire pilot na temelju vlastite procjene, te na temelju toga proračunava nova vremena dolazaka. [4]

2.4. TEORIJA TRAŽENJA I PRONALAZENJA OBJEKTA DJELOVANJA

Kako je ranije navedeno, svaki se borbeni let sastoji od nekoliko etapa. Jedna od njih, konkretno treća etapa borbenog leta, jest i manevar u području objekta djelovanja. Ovaj se manevar sastoji i od traženja i pronalaženja objekta djelovanja (OD). Ono ima jako veliko značenje za učinkovitost obavljanja zadaće, a sastoji se od nekoliko faza koje posada mora uspješno savladati kako bi izviđanje ili paljbena djelovanje bilo uspješno ostvareno. Definicija kaže da je traženje objekta djelovanja proces u kojemu su rad i postupci posade zrakoplova za vrijeme leta u području objekta djelovanja i točke početka traženja usmjereni k njegovom pronalaženju, najvećom mogućom vjerojatnošću, ne manjom od zadane, u optimalnom vremenu, proračunatim snagama i uz minimalne gubitke. Cilj pronalaženja objekta djelovanja je određivanje pozicije za uspješno izviđanje ili paljbena djelovanje. Pretraživanje OD-a može biti vizualno ili pomoću tehničkih sredstava, primjerice kamera ili termovizije. U misijama bliske zračne potpore pomoć u traženju i pronalaženju OD-a daju snage na zemlji detaljnim opisom mete i područja oko mete ili markiranjem objekta na koji je potrebno djelovati. Vizualno izviđanje je prikupljanje podataka neposrednim motrenjem, i

koristi se dosta često zbog kratkog vremena prikupljanja i iskoristivosti podataka. Kod ovakvog tipa izviđanja nema potrebe za dodatnom obradom podataka. [1]

Traženje objekta po kojem će se izvršiti djelovanje izuzetno je složena zadaća prvenstveno iz razloga što se provodi u brišućem letu, kako bi zrakoplov bio teže otkriven od strane protivnikove PZO, ili u iskakanju iz brišućeg letenja, u kojem je vrijeme za prepoznavanje OD-a minimalno. Brišući let je let na jako malim visinama koji je dosta specifičan za vođenje zrakoplova i upravljanje zrakoplovom, a bit će detaljnije obrađen u sljedećem poglavlju. Uspješnost pronalaženja OD-a ovisi o fiziološkim parametrima ljudskog oka, mogućnostima vida pilota, meteorološkoj situaciji i dobu dana u kojem se pretraživanje obavlja, te o geografskim obilježjima zemljišta. Fiziološki parametri ljudskog oka određeni su rođenjem i na njih se ne može puno utjecati. Najvažniji parametri su osjetljivost na boje, vidno polje i oštrina vida. Vrlo je značajna i percepcija dubine, koja osim senzornih podataka uključuje i aktivnosti kao što su iskustvo, pozorost, pamćenje, interes, emocionalno stanje i sl. [1]

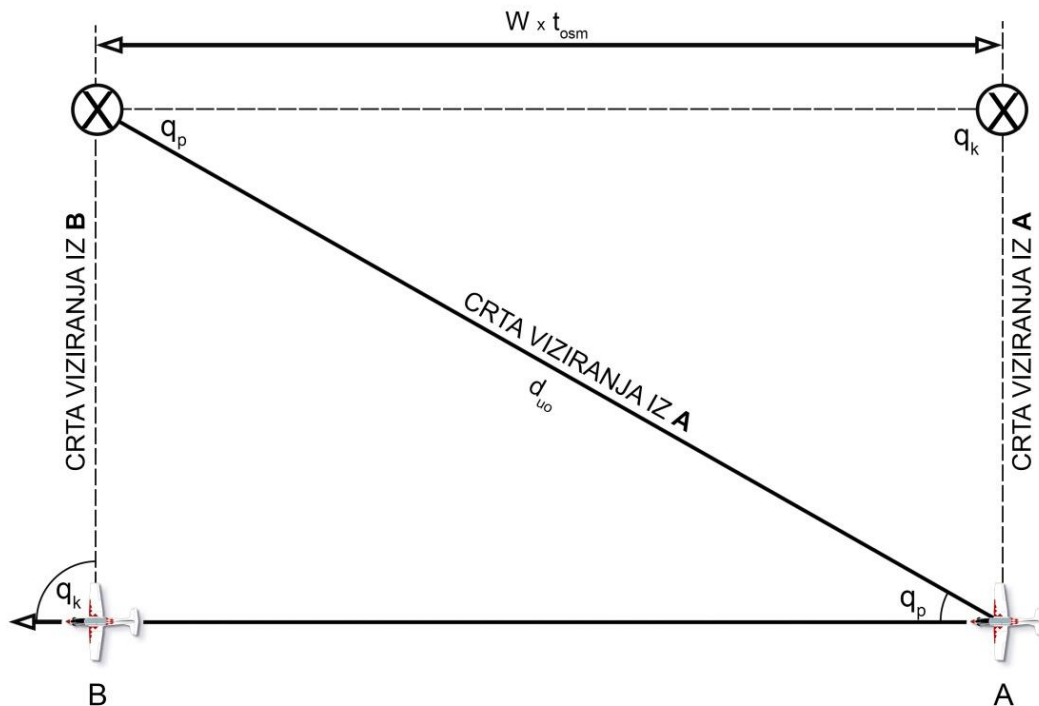
Na pronalaženje OD-a najviše utječe vrijeme potrebno za raspoznavanje objekta, daljina uočavanja i raspoznavanja, horizontalna udaljenost do objekta, kutna brzina primicanja objekta u odnosu na zrakoplov, raspoloživo vrijeme motrenja, vibracije, meteorološki uvjeti i doba dana kada se pretražuje područje objekta djelovanja. [1]

Vrijeme motrenja objekta t_{osm} je vremenski period u kojem se objekt nalazi u vidnom polju pilota. Ovisi o daljini uočavanja objekta d_{uo} , krajnjem kutu viziranja q_k , putnoj brzini zrakoplova W i visini leta zrakoplova H . Obično se kreće od 8 sekundi za dobro osposobljene posade do 3 sekunde za odlično osposobljene posade, a osim o osposobljenosti posade ovisi i o preglednosti iz kabine, meteorološkim uvjetima, veličini i prirodi objekta te dobu dana kada se osmatranje provodi. Na slici 2.5 vidljivo je da su početni i krajnji kut viziranja q_p i q_k kutevi između produžene uzdužne osi zrakoplova i crte viziranja na objekt. Početni kut viziranja q_p je kut između crte kursa zrakoplova (CK) i crte viziranja u trenutku kada je objekt uočen (točka A). Budući da se zrakoplov kreće putnom brzinom W , a pogled pilota je fiksiran na objekt, crta viziranja se pomiče sve dok pilot zbog konstrukcije zrakoplova i fizičkih ograničenja ljudskog tijela više ne vidi objekt (točka B). U toj točki kut između CK i crte viziranja je krajnji kut viziranja q_k . On ne prelazi 120° , međutim u praksi često nije veći niti od 90° , tako da se u proračunima uzima vrijednost $q_k = 90^\circ$. Vrijeme motrenja objekta

proporcionalno je daljini uočavanja, a obrnuto proporcionalno putnoj brzini leta zrakoplova.

[1] Iz slike 2.5 dakle proizlazi da je raspoloživo vrijeme motrenja:

$$t_{osm} = \frac{d_{uo} - H \cot q_k}{W} \quad (5)$$



Slika 2.5 Vrijeme motrenja objekta
Izvor: [1]

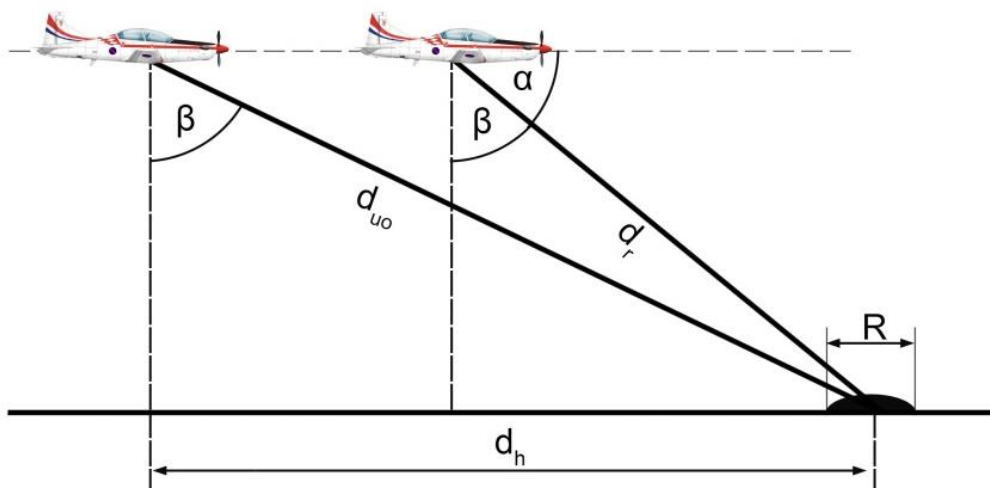
Daljina uočavanja d_{uo} je kosa udaljenost između zrakoplova, odnosno oka pilota, i objekta djelovanja. Proračunava se pomoću sljedećih formula:

$$d_{uo} = \frac{R [cm]}{0,175} [m] \text{ ili } d_{uo} = \frac{H[m]}{\sin \alpha} [m] \quad (6)$$

gdje je:

- R – širina OD-a svedena na promjer kružnice površine jednake površini OD-a
- $0,175$ – konstanta
- α – kut viziranja od vodoravne osi do crte viziranja [1]

Na slici 2.6 prikazana je shema daljine uočavanja, daljine raspoznavanja i horizontalne udaljenosti do objekta djelovanja.



Slika 2.6 Shema daljine uočavanja, daljine raspoznavanja i horizontalne udaljenosti od objekta djelovanja
Izvor: [1]

Daljina uočavanja može se odrediti i napamet, pomoću tablice 1. koja je prikazana dolje, a ovisi isključivo o kutu viziranja i visini leta zrakoplova. Dobiveni rezultati neznatno se razlikuju od rezultata dobivenih računanjem. [1]

Tablica 1. Proračun napamet daljine uočavanja pomoću kuta viziranja i visine leta zrakoplova

| α [°] | 65 | 45 | 30 | 20 | 15 | 10 |
|--------------|------|------|----|----|----|----|
| d_{uo} [m] | 1,1H | 1,5H | 2H | 3H | 4H | 6H |

Izvor: [1]

Osim daljina uočavanja, sa slike 2.6 može se odrediti i daljina raspoznavanja d_r . To je kosa udaljenost od oka pilota do objekta djelovanja, ali na kojoj se točno mogu raspoznati karakteristični detalji objekta. Ona je uvijek manja od daljine uočavanja i to za otprilike 30 %. Daljina raspoznavanja računa se po sljedećoj formuli:

$$d_r = \sqrt{(\sqrt{d_{uo}^2 - H^2} - W \cdot t_r)^2 + H^2} \quad (7)$$

gdje je t_r vrijeme raspoznavanja, a ono ovisi ponajviše o osposobljenosti posade, te kao i za vrijeme motrenja iznosi od 8 do 3 sekunde. [1]

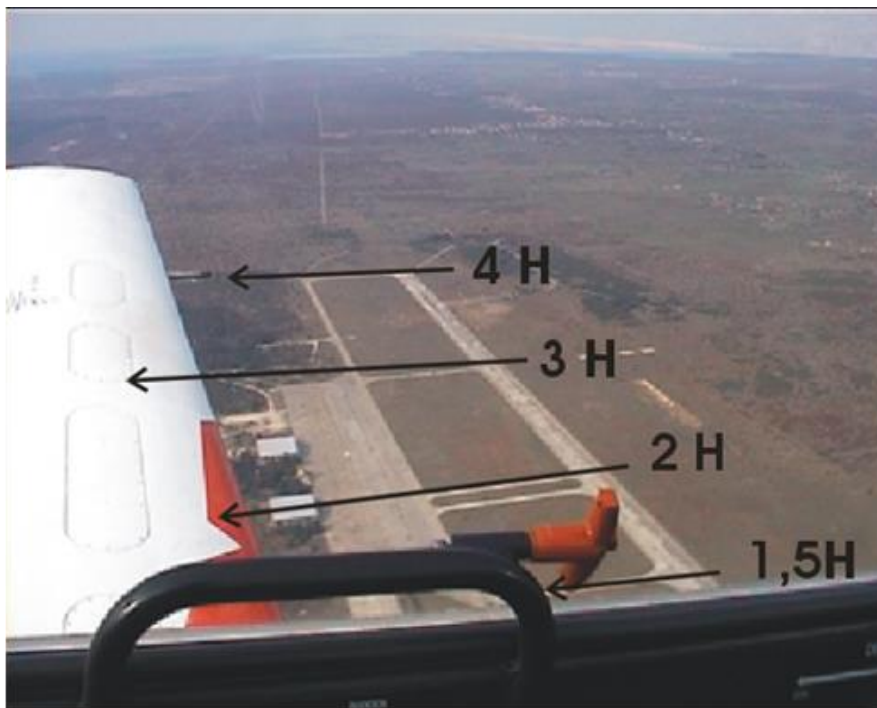
Za određivanje horizontalne udaljenosti od objekta d_h koristi se proračun napamet pomoću tablice 2. Na slici 2.7 prikazano je kako elementi na zrakoplovu, konkretno Pilatusu PC-9M, mogu pripomoći u određivanju udaljenosti. Rezultati dobiveni ovom metodom

dovoljno su točni kako bi se mogli koristiti tijekom leta, a ovise kao i kod daljine uočavanja o kutu viziranja α i visini leta H . [1]

Tablica 2. Određivanje napamet horizontalne udaljenosti od objekta pomoću kuta viziranja i visine leta zrakoplova

| α [°] | 65 | 45 | 25 | 15 | 10 |
|--------------|------|----|----|----|----|
| d_h [m] | 0,5H | 1H | 2H | 4H | 6H |

Izvor: [1]



Slika 2.7 Kutevi viziranja iz kabine PC-9M [4]

Tijekom jednog leta posada zrakoplova u mogućnosti je izviditi ili pretražiti područje od 150 do 300 m², rutu dužine do 150 NM ili dva do tri pojedinačna objekta. Vizualno izviđanje i pretraživanje se obično vrši do visine od 10000 ft, međutim najbolje visine za motrenje iz zraka su od 1000 do 3000 ft. U tablici 3. prikazane su visine uočavanja i raspoznavanja određenih objekata pri vizualnom motrenju. [6]

Kada se govori o određivanju veličine samog objekta, najbolje ju je odrediti usporedbom s drugim objektima u blizini za koje se iskustveno zna koliko su veliki. Primjerice prema veličini čovjeka ako se nalazi u blizini, ili nekakvog borbenog sredstva (tenk) i sl. [2]

Tablica 3. Visine uočavanja i raspoznavanja različitih objekata izviđanja

| Objekt izviđanja | Moguća visina uočavanja [m] | Optimalna visina raspoznavanja [m] |
|-------------------------|------------------------------------|---|
| Vojnik na otvorenom | 600 | 300 - 400 |
| Vojnik u rovu | 300 - 400 | 200 |
| Rov | 1200 - 1500 | 500 - 1000 |
| Desetina | 800 - 1200 | 500 - 600 |
| Satnija, bojna | 1500 - 1800 | 800 - 1000 |
| Tenk | 2500 - 3000 | 1000 - 2000 |
| Topništvo u djelovanju | 3000 - 4000 | 1500 |
| Topništvo maskirano | 2000 - 2500 | 1500 |
| Vlak | 7000 - 8000 | 2500 - 3000 |

Izvor: [1]

Na traženje OD-a i djelovanje po istome uvelike utječu i atmosferske prilike. Borbene zadaće izvršavaju se u svakakvim meteorološkim uvjetima, a najznačajniji koji utječu na pronalazak OD-a su slabija vidljivost, naoblaka i sumaglica. Meteorološka daljina vidljivosti je najveća daljina na kojoj se izjednačavaju kontrasti između predmeta i okoline, odnosno neki predmet se prestaje vidjeti. Daljina vidljivosti je najveća udaljenost na kojoj se neki predmet može razlikovati od svoje okoline po svom obliku i boji. Daljina vidljivosti uvijek je manja od meteorološke daljine vidljivosti. [1] Kada se zadaća izvršava s više aviona u postroju, a vidljivost je slabija, potrebno je održavati manji odmak među avionima. Ukoliko se napadi na objekt izvršavaju iz više pravaca, zbog slabije vidljivosti potrebno je intervale napada između aviona povećati. Daljina uočavanja objekta se smanjuje sa smanjenjem vidljivosti tako da je i kontrolne orijentire potrebno određivati bliže objektu djelovanja. Obilježavanje objekata vrši se primjenom sredstava koja imaju jače i duže vizualne učinke. Samnjena vidljivost na koncu osim pronalaženja objekta djelovanja otežava i navigaciju, što zahtijeva od pilota izvanredno poznavanje područja objekta djelovanja. Let na malim visinama uz smanjenu vidljivost i naoblaku ograničava načine brobenih djelovanja i manevara u području OD-a, te od posade zahtijeva veće fizičke napore i ograničava maksimalno naprezanje postrojbi. Na pretraživanje područja objekta djelovanja veliki utjecaj ima i niska naoblaka (do 1000 ft). Kada je donja baza oblaka nisko, napadi iz vertikalnih manevara su

ograničeni, te je potrebno posebnu pozornost posvetiti izboru ubojnih sredstava za napad. Niska naoblaka ipak ima i jednu svoju prednost, a to je da se odlazak iz područja objekta djelovanja može izvesti na način da pojedinačni avion nakon djelovanja uđe u oblak i samostalno izvrši povratak na aerodrom polijetanja. Na taj način postaje nevidljiv protivničkoj PZO. [6] Postoje uvjeti kada je područje objekta djelovanja prekriveno sumaglicom. U takvim slučajevima mora se voditi računa o pravcu napada, visini leta, te o udaljenosti orijentira od objekta djelovanja, posebno ako se leti prema Suncu. [1]

Često se borbeni letovi izvode u sumrak, noću, ili pred svitanje. Izvođenje borbenih letova u tom razdoblju praktično je zbog smanjene vidljivosti zrakoplova od strane protivničke PZO, te zbog efekta iznenađenja koji se tada javlja. Međutim, kako je izvođenje takvih letova teže za protivnika, tako je teže i za posadu koja ga izvodi. Glavni čimbenik koji utječe na otežano traženje i djelovanje po objektima na zemlji noću je smanjena prirodna osvjetljenost površine Zemlje. [1] Noć također uvjetuje i ograničenja, kao npr. nemogućnost vizualnog vođenja aviona, smanjena mogućnost motrenja meteoroloških pojava, nema leta na malim visinama bez opreme za noćno letenje, te leta u paru ili grupi, djelovanja po manjim objektima ili neosvjetljenim objektima nisu moguća (djeluje se isključivo po objektima točno poznatih položaja). Zbog prethodno navedenih ograničenja ciljevi noćnih borbenih letova su češće uznemiravanje protivnika, a rijede nanošenje gubitaka protivniku. [6]

Pod načinom vizualnog pretraživanja podrazumijeva se skup postupaka koje posada zrakoplova primjenjuje tijekom leta u području OD-a s ciljem njegova pronalaženja. Temeljni načini traženja objekta djelovanja na kopnu, bez pomoći i navođenja sa zemlje, su: u jednom naletu, paralelnim kursevima, pomicanjem zaokreta, s jednim ili dva zaokreta za 270° ili metodom kvadrata. [6]

3. SPECIFIČNOSTI BRIŠUĆEG LETENJA

Tijekom leta prema području djelovanja vojni zrakoplovi često prelaze preko područja pod nadzorom protivničkih snaga. Kako bi smanjili vjerojatnost otkrivanja, ili povećali vrijeme do otkrivanja, vojni zrakoplovi lete ekstremno nisko – u brišućem letu. Na taj način postižu i svojevrsni efekt iznenađenja. Po definiciji, brišući let je let koji se izvodi na maloj visini s prilagođenom brzinom za praćenje reljefa zemljišta zbog zaštite od otkrivanja i djelovanja protivničke PZO. Za avione, visina leta u brišućem letu ograničena je od 100 do 330 ft iznad terena, a vizura s te visine iz aviona Pilatus PC-9M prikazana je na slici 3.1. Vježbovni brišući letovi u pravilu se provode unutar koridora za brišuće letenje koji su široki 3 NM, visine do 1000 ft iznad terena, te minimalno 1 km udaljeni od gradova, industrijskih postrojenja i nacionalnih parkova. Brišuće letenje provodi se isključivo u vizualnim meteorološkim uvjetima. [7]



Slika 3.1 Vizura s visine brišućeg letenja

Upravljanje zrakoplovom i vođenje navigacije u brišućem letu ne razlikuju se od onih tijekom leta na većim visinama. Međutim, svakako u obzir treba uzeti činjenicu da se leti u blizini tla i da se leti velikim brzinama. Zbog različitih geografskih oblika na Zemlji postoji i velik broj različitih prepreka koje mogu biti pogubne za posadu i zrakoplov. Tu su također i ptice, kojih ima mnogo na malim visinama i uvelike povećavaju mogućnost udara zrakoplova. U obzir treba uzeti i utjecaj kutne brzine primicanja objekta u odnosu na zrakoplov, utjecaj vibracija, turbulenciju zraka, kao i povećan temperaturni režim u kabini. Sve ovo uvelike

utječe na psihofizičko naprezanje pilota u brišućem letu. Najveće naprezanje je pri održavanju donje granice visine, odnosno kada se prati reljef zemljišta. Motrenje reljefa i njegovo praćenje oduzima i do 90 % raspoloživog vremena prilikom brišućeg leta dok primjerice u letu na srednjim i velikim visinama to iznosi svega 5 % vremena. Kako se pogled često i brzo prenosi s terena na instrumente i kabinu i obrnuto, tako dolazi do bržeg zamaranja pilota, te neuropsihičke napetosti. [2]

3.1. UTJECAJ BLIZINE TERENA I METEOROLOŠKIH POJAVA

Blizina Zemljine površine utječe na vođenje navigacije u brišućem letu orografijom i meteorološkim pojavama. Velik broj meteoroloških pojava povezan je upravo s orografijom terena. Niska naoblaka, turbulencije, vjetar, padaline, slabija vidljivost i dr. otežavaju, a u nekim slučajevima čak i onemogućuju provođenje brišućeg leta. Smanjenje vidljivosti može biti posljedica zamućenosti atmosfere prašinom i dimom, pogotovo na bojištu ili u blizini industrijskih zona. Brežuljkasti i ravničarski teren omogućuje let do minimalnih visina, budući da su, za razliku od planinskih predjela, meteorološki uvjeti tu pogodniji. Međutim, u nizinskim krajevima povećana je opasnost od udara u okomite zapreke, primjerice antene, dimnjake, tvornica ili dalekovode. Planinski teren usmjeruje brišuću let duž udolina i grebena. U planinskim predjelima karakteristične su brze i nagle promjene meteoroloških prilika. Smjer i brzina vjetra su vrlo promjenjivi, a turbulencije mogu biti dosta izražene, što otežava precizno održavanje navigacijskih elemenata. U kotlinama su česte pojave magle, a vrhovi mogu biti prekriveni oblacima. [2]

Brišuću let iznad vodenih površina dijeli se na onaj u obalnom području, i onaj u morskom prostoru bez kopnenih orijentira. U obalnom je prostoru vođenje navigacije i orijentiranje dosta lakše zbog slikovitosti terena i lakog prepoznavanja terena na krati. Isto tako, zbog vizualne reference s tlom, lakše je i održavanje visine leta. Otvorena vodena površina koja je mirna otežava procjenu visine leta, dok je valovi olakšavaju. Let na iznimno malim visinama iznad velikih vodenih površina ili otvorenog mora, gdje ne postoji vizualni kontakt s kopnom i nema orijentira, pripada najsloženijim uvjetima letenja. Za takve letove potrebno je biti na vrhunskom nivou obučenosti i imati podosta iskustva. [2]

Nekim se zrakoplovima prilikom leta na visini brišućeg leta pogoršavaju taktičko-tehnička svojstva. Primjer je potrošnja goriva, koja kod mlaznih motora na maloj visini

eksponencijalno raste. To dakako utječe na dolet zrakoplova i na njegov taktički radijus. Također, zbog veće gustoće zraka na manjoj visini, ali i zbog izrazitih turbulencija, povećavaju se i aerodinamička naprezanja konstrukcije zrakoplova. Zrakoplovi su ograničeni i manevarskim sposobnostima, budući da ih zbog male visine ne mogu do kraja iskoristiti. Smanjena je i mogućnost korištenja radio-navigacijskih sredstava, te održavanje radio-veze sa zemaljskom postajom, jer je domet radio-sredstava ograničen orografijom, a predaja i prijem signala mogu se ostvariti isključivo u prostoru bez fizičkih zapreka. [2]

3.2. UTJECAJ KUTNE BRZINE PRIMICANJA OBJEKTA U ODNOSU NA ZRAKOPLOV

U letovima na malim visinama i u brišućem letu pojavljuje se specifičan fenomen kutne brzine primicanja objekta (orijentira) u odnosu na zrakoplov ω . Ona je određena za svaki trenutak vremena i to kao zbroj vektora kutnih brzina: kutne brzine u horizontalnoj ravnini kursnog kuta viziranja ω_1 , te kutne brzine u okomitoj ravnini okomitog kuta viziranja ω_2 . Formula za izračun kutne brzine ω [$^{\circ}/s$] glasi:

$$\omega = \frac{W}{H} \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{1 - (\cos^2 \alpha \cdot \cos^2 q)} \cdot 57,3 \quad (8)$$

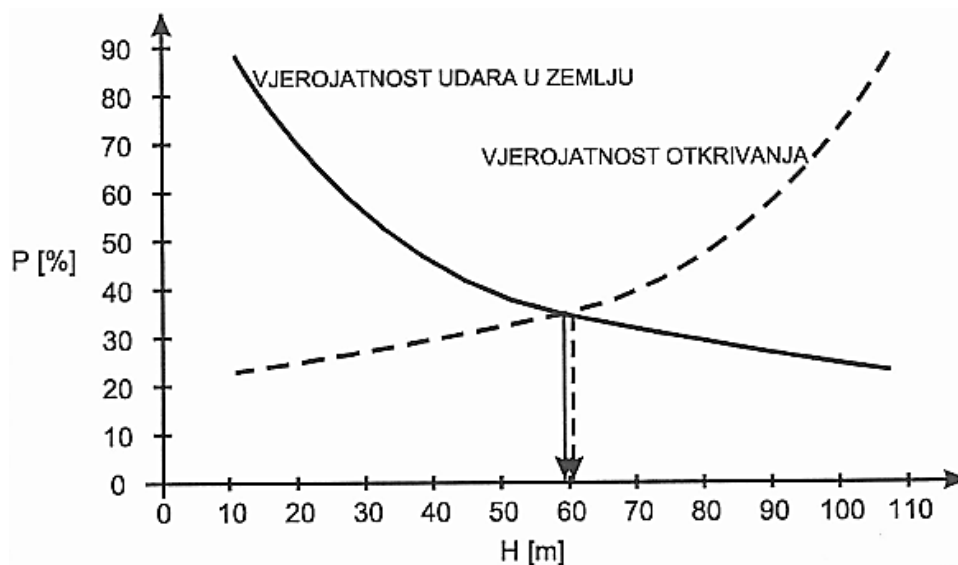
gdje su:

- W – putna brzina
- H – visina leta
- α – okomiti kut viziranja
- q – vodoravni kut viziranja
- 57,3 – koeficijent pretvaranja radijana u stupnjeve.

Iz gore navedene formule vidljivo je da kutna brzina izravno ovisi o brzini i visini leta, te o okomitom i vodoravnom kutu viziranja. Ona je proporcionalna brzini leta i kutevima viziranja, a obrnuto proporcionalna visini leta. Dakle na manjoj visini, kao primjerice u brišućem letu, kutna brzina se izrazito povećava te neposredno utječe na mogućnost uočavanja i raspoznavanja objekata na zemlji. Na kuteve viziranja navise utječe bočna udaljenost od objekta, a najpovoljnija bočna udaljenost je između 100 i 400 m. Najbolji kutevi promatranja objekta su pri kursnim kutevima $q = 10^{\circ} - 30^{\circ}$. Utvrđeno je da se pri kutnoj brzini od 40 $^{\circ}/s$ oštrina vida neznatno smanjuje, no pri kutnoj brzini od 100 $^{\circ}/s$ dolazi do stapanja

objekata s okolinom i njihovo uočavanje nije moguće. U stvarnosti se uzima da je fiziološka granica kutne brzine ljudskog oka u rasponu od 25 °/s do 32 °/s, te se i vrijednost od 32 uzima kao krajnja vrijednost u proračunima. Ta vrijednost posredno određuje i minimalnu visinu i maksimalnu brzinu leta. Ta visina i brzina, uz korištenje reljefa kao zaklona pri dolasku u područje objekta djelovanja, predstavlja najučinkovitije sredstvo za smanjenje učinkovitosti protivnikove PZO. Optimalna je visina leta ona na kojoj je vjerojatnost udara u prepreke na površini i vjerojatnost otkrivanja od strane protivnikove PZO manja od 25 %. Optimalna visina leta iznad kopna kreće se u granicama od 40 m do 60 m, a iznad mora do 40 m. [1]

Prikaz ovisnosti vjerojatnosti otkrivanja i vjerojatnosti udara prikazane su na slici 3.2.



Slika 3.2 Ovisnost vjerojatnosti otkrivanja i udara u zemlju [1]

Minimalna visina leta H_{min} određena je odnosom maksimalne putne brzine i maksimalne kutne brzine. Izračunava se pomoću formule:

$$H_{min} = W_{max} \cdot \frac{\sin \alpha}{\omega_{max}} \cdot 57,3 \quad (9)$$

gdje su:

- W_{max} – maksimalna putna brzina zrakoplova
- α – optimalni okomiti kut gledanja iz kabine ($\approx 3^\circ$)
- ω_{max} – kritična kutna brzina primicanja objekta ($32^\circ/\text{s}$). [1]

Uzimajući gore navedene podatke o kutu i kutnoj brzini, i uvrštavajući ih u izraz (9), uz informaciju kako je maksimalna putna brzina Pilatusa PC-9M 270 kt, odnosno 138,9 m/s,

može se izračunati minimalna visina leta za PC-9M, a ona iznosi svega 13 m, odnosno nešto više od 40 ft.

3.3. UTJECAJ VIBRACIJA

Vibracije u letu negativno utječu na radnu sposobnost pilota, ometajući mu rad i odvlačeći mu pozornost. Učestalost vibracija proporcionalna je brzini leta, a jačina vibracija ovisi u prvom redu o stanju atmosfere. Turbulentnost zraka na visinama do 300 m iznad brežuljkastog terena ne može se s velikom preciznošću prognozirati. Turbulentne zone često su nestabilne, pa u jako kratnom vremenskom periodu mogu nestati, ali se mogu isto tako brzo i ponovo pojaviti. Pri letu u turbulentnoj atmosferi dolazi do vibracija cijelog zrakoplova – konstrukcije, sjedala, palice i ploče s instrumentima, što uvelike utječe na upravljanje zrakoplovom. Parametri vibracija ovise o intenzitetu turbulencije, brzini leta i aerodinamičkim karakteristikama zrakoplova. Amplituda vibracija obrnuto je proporcionalna opterećenju krila zrakoplova. Iz tog razloga zrakoplovi koji imaju male nosive površine (primjerice lovački avioni sa strijela krilima) imaju znatno manju amplitudu vibracija u odnosu na zrakoplove s velikim nosivim površinama. U praksi se ne računa s amplitudama vibracija već s ubrzanjima promjenjivog predznaka – sinusoidnim ubrzanjima G . Pri slabim do umjerenim turbulencijama ova ubrzanja kreću se u rasponu od 0,1 do 2 G . Pri jačim turbulencijama ubrzanja dostižu 4 G , a ponekad čak i veću vrijednost. Različitim analizama došlo se do spoznaje da srednja veličina ubrzanja varira između 0,05 i 4 G . Povećanjem te vrijednosti let postaje praktički nemoguć zbog poteškoća u upravljanju zrakoplovom i naglog smanjenja radne sposobnosti pilota. Istraživanjima je utvrđeno da kod većine pilota male vibracije uzrokuju osjećaj nelagode koji im odvlači pozornost i dovodi do zaštitne reakcije organizma u obliku statičke napetosti mišića. Porastom amplitude vibracija povećava se fizička napetost pilota. Kada se pilot duže vremena nalazi u stanju napetosti snižava mu se, a ponekad i potupno narušava, radna sposobnost. Također, primjećeno je da u uvjetima letenja u turbulentnoj atmosferi dolazi i do tzv. rezonancije tijela. Pojedini dijelovi ljudskog tijela, pod utjecajem vibracija, mogu doći u međusobnu rezonanciju, a najveći utjecaj na organizam imaju vibracije u rasponu do 12 Hz. Vibracije frekvencije 2 do 4 Hz rezonantne su za donji dio tijela i utječu na organe u turbušnoj šupljini. Može doći do pojave simptoma morske bolesti – vrtoglavice, mučnine, općeg osjećaja slabosti i sl. Vibracije frekvencija od 6 do 10 Hz kod osoba koje imaju osjetljivi vestibularni sustav mogu uzrokovati pojavu iluzija te čak i

gubitak prostorne orijentacije. Pod djelovanjem vibracija frekvencije od 8 do 10 Hz dolazi do trešnje glave i očnih jabučica te se smanjuje oštrina vida, prema nekim analizama za čak 50 do 60 %. Na maloj visini opterećenost oka je ionako povećana tako da ne treba posebno naglašavati koliko vibracije negativno utječu na letenje. Smanjuje se točnost i brzina očitavanja instrumenata i karte, otežava se prepoznavanje ciljeva, dolazi do većih pogrešaka u određivanju daljine do objekata i najvažnije, smanjuje se preciznost pri gađanju, raketiranju i bombardiranju objekata na zemlji. Pri letovima u turbulentnoj atmosferi, u odnosu na mirnu atmosferu, čini se u prosjeku dvostruko više pogrešaka u tehnici pilotiranja. Tijekom leta u turbulentnoj atmosferi, preporuča se smanjiti brzinu leta. [1]

3.4. NAVIGACIJSKA PRIPREMA ZA BRIŠUĆI LET

Zahtjevi koje pilot mora ispuniti prilikom navigacijske pripreme leta kako bi mogao kvalitetno izvršiti zadaću za brišuće letenje su još veći. Navigacijska priprema za brišuće letenje u velikom se dijelu poklapa s pripremom za običnu navigacijsku rutu, a bit će opisana u 6. poglavlju. Priprema za ovakvu vrstu letenja mora biti napravljena tako da pilotu omogući uspješno odrađivanje leta, vođenje navigacije i orijentaciju bez korištenja karte u letu. Zbog toga posebnu pažnju treba pridati proučavanju rute. To se u pravilu čini na krupnijim kartama u velikom mjerilu, a mogu pripomoći i reljefne karte, zračni snimci, ili, u novije doba, satelitske snimke. Posebno je važno proučiti izgled orijentira i njihove okoline do najmanjeg detalja kako bi njihovo prepoznavanje u letu bilo što lakše. Također, da bi se dobio vizualni pregled odnosa konfiguracije terena i visine leta, dobro bi bilo izraditi i profil leta. [2]

3.5. VOĐENJE NAVIGACIJE U BRIŠUĆEM LETU

Budući da je pažnja pilota tijekom izvođenja brišućih letova velikim dijelom usmjerena na probleme izvan kabine, uporaba karte tijekom leta je ograničena. Isto tako ograničena je i uporaba radio-navigacijskih sredstava zbog prirode širenja radio-valova (prirodne prepreke u obliku planina i sl.). Pilot mora cijelo vrijeme motriti orijentire i uočavati eventualne zapreke koje nadolaze. Vidljivost je ograničena crtom horizonta, a orijentacija mora postojati. Ustaljena pravila i procedure za standardni navigacijski let vrijede i u ovom

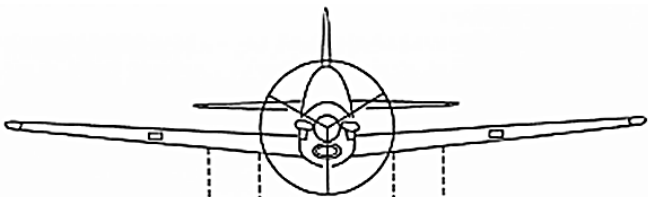
slučaju, i potrebno ih je primjenjivati. Posebno je važno održavanje kursa, jer odilazak od ZCP-a stvara uvjete u kojima neće biti moguće prepoznati izabrane orijentire. Isto tako je bitno i što češće određivati stvarnu poziciju jer je na maloj visini vidokrug ograničen. Za kontrolu puta po pravcu nabolji je nekakav dužinski orijentir koji se proteže paralelno sa ZCP-om. Kada nekakvi dužinski orijentiri sijeku ZCP, pri njihovom prelijetanju treba utvrditi točno mjesto i kut prelijetanja. Svako odstupanje od ZCP-a treba čim prije ispraviti prema unaprijed pripremljenim proračunima. Velika pomoć pilotu u letu može biti i određivanje brzine i pravca vjetra pomoću dima, prašine ili valova. Na taj način pilot otkriva tendenciju zanošenja aviona te sprječava odilazak sa ZCP-a. Kada je god to moguće, visinu u brišućem letu treba procjenjivati na temelju poznatih orijentira i objekata na Zemlji, te uz pomoć radarskog visinomjera, ukoliko ga zrakoplov posjeduje. [2]

4. PRORAČUN TAKTIČKOG RADIJUSA ZA AVION PC-9M

Jedan od pokazatelja borbenih mogućnosti zrakoplova je mogućnost djelovanja zrakoplova u dubinu protivnikovog rasporeda. U okviru navigacijskog osiguranja letenja tijekom organizacije, pripreme i izvođenja borbenog djelovanja zrakoplova veliku pažnju treba posvetiti upravo ovome segmentu. Zbog velike učinkovitosti suvremenih PZO sustava, djelovanje po protivničkim objektima ograničeno je vremenom zadržavanja u području objekta po kojem se djeluje. Zbog toga bi bilo poželjno: djelovati iz prvog naleta, što pretpostavlja veliku točnost vođenja zrakoplova po ruti; pronaći objekt djelovanja po mogućnosti isto iz prvog naleta; djelovati po objektu s najvećom mogućom vjerojatnošću, ne manjom od zadane; te organizirati povratak iz područja objekta djelovanja sa što manjim vlastitim gubicima. Suvremena borbena djelovanja su izrazito dinamična. To traži od pilota i ostalih sudionika operacije donošenje odluka u najkraćem mogućem vremenu. Zbog toga je potrebno točno odrediti mogućnosti i uvjete djelovanja zrakoplova u dubinu protivnikovog rasporeda, proračunom taktičkog radijusa zrakoplova. Dva su temeljna načina za približni proračun taktičkog radijusa – skraćenom matematičkom metodom i pomoću dijagrama doleta.[1]

Mogućnost djelovanja u dubinu protivnikovog rasporeda izražava se pokazateljima koji označavaju prostor u kojem zrakoplov ili skupina zrakoplova mogu izvršavati borbene zadaće, a iskazuje se zonom djelovanja. Zona djelovanja zračni je prostor u krugu aerodroma baziranja zrakoplova u čijim granicama zrakoplov može izvršavati određene borbene zadaće. Mogućnost djelovanja u dubinu protivnikovog rasporeda ovisi dakle o veličini zone djelovanja, njezinom obliku, te o potrebnom utrošku goriva. Taktički radijus (TR) je najveća daljina leta od aerodroma baziranja na kojoj zrakoplov može izvršiti zadaću i vratiti se na aerodrom polijetanja, ili neki drugi, bez potrebe za potpunom gorivom. Najveća daljina djelovanja određuje zonu djelovanja i zajedno s trajanjem leta ovisi o količini goriva u zrakoplovu (ili zrakoplovima, ukoliko je riječ o skupini), potrošnji goriva i rezervi goriva. Količina goriva u spremnicima zrakoplova određena je konstrukcijski i fiksna je veličina. Ipak, ona se može povećati i to ugradnjom vanjskih podvjesnih spremnika ili punjenjem goriva u zraku. Potrošnja goriva ovisi o vanjskom profilu zrakoplova, odnosno o naoružanju zrakoplova koje se u proračunu izražava preko čeonog otpora. Na slici 4.1 prikazan je utjecaj

različitih profila na veličinu čeonog otpora zrakoplova. Također ovisi i o profilu leta (visini i brzini), te o broju zrakoplova u skupini, ukoliko se zadaća izvršava s više zrakoplova.



| (2) (1) KONFIGURACIJA | | | VANJSKE TOČKE UKUPNA TEŽINA (kg) | INDEKS OTPORA |
|--|--|---------|----------------------------------|---------------|
| BEZ PODVJESNIH SPREMNIKA | | | 0 | 0 |
| PODVJESNI SPREMNICI | | ■ ■ ■ ■ | 88 | 49 |
| MOGUĆE KRILNE TOČKE S PODVJESNIM SPREMNICIMA | PODVJESNA STROJNICA (KALIBAR 7,62 mm) S 500 METAKA SVAKA | ⬮ ⬮ | 127 | 33 |
| | BOMBA MK-76 | ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ | 133 | 51 |
| | BOMBA MK-81 | ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ | 560 | 65 |
| | LANSER RAKETA LJ-377 (SBAT-37) | ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ | 189 | 66 |
| | LANSER RAKETA LJ-707 (SBAT-70) | ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ | 432 | 135 |
| | 5" RAKETA S ADAPTEROM (SBAT 127 LJ HVAR) | ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ | 608 | 128 |
| | POTKRILNI SPREMNİK 3301 (NAPUNJEN) | ⊗ | 628 | 37 |
| | POTKRILNI SPREMNİK 3301 (NAPUNJEN) | ⊗ | 619 | 37 |

Slika 4.1 Ovisnost opterećenja nosivog tereta na čeonu otpor [1]

Pojedinačni zrakoplov ima manju potrošnju goriva zbog stalnog režima rada motora, te samim time ima i veći taktički radijus, za razliku od skupine zrakoplova gdje pratitelji zbog održavanja mjesta u postroju lete različitim režimima rada motora, što u konačnici povećava potrošnju goriva. Rezerva goriva određuje se ovisno o taktičkoj, meteorološkoj i navigacijskoj situaciji, a obično iznosi 15 do 25 % ukupne količine goriva u spremnicima. Rezerva za povećanu potrošnju goriva u grupnom letenju kreće se u granicama od 3 do 7 %, a karakterizirana je koeficijentom K . Za skupinu do 4 zrakoplova on iznosi 0,97, za skupinu do 8 zrakoplova 0,95, te za skupinu do 12 zrakoplova 0,93. Taktička rezerva goriva kreće se u

granicama od 5 do 25 %, a karakterizirana je koeficijentom K_1 , koji iznosi od 0,95 do 0,75. Određuje ju zapovjednik operacije za svaki pojedini let ovisno o borbenoj situaciji u području izvođenja operacije, vremenu zadržavanja u području OD-a, meteorološkoj situaciji, čekanju na polijetanje i dr. Tehnička rezerva goriva određena je još tijekom proizvodnje zrakoplova i kreće se u rasponu 7 do 10 %. To je tzv. tehnički ostatak i u proračunu goriva umanjuje ukupnu količinu goriva. Rezerva za produžavanje na novi školski krug uračunava se u potrošnju goriva za slijetanje, a rezerva goriva za let na alternativni aerodrom slijetanja ovisi o konkretnim uvjetima izvršenja zadaće. [1]

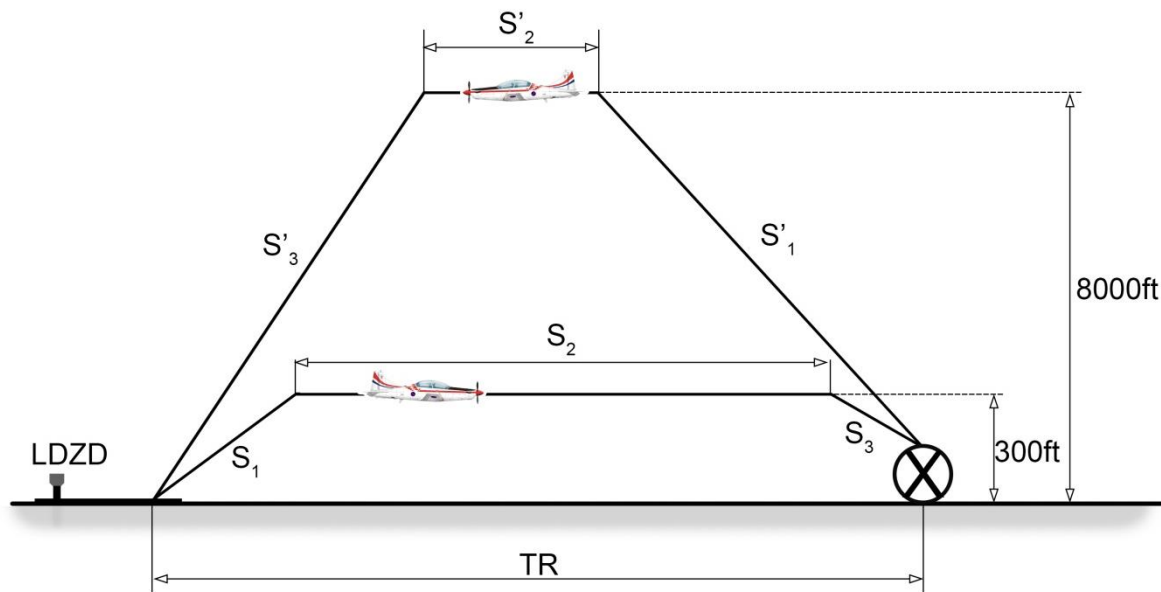
4.1. OPĆI ALGORITAM PRORAČUNA TR-a

Ne postoje općeprihvaćeni načini ni uvjeti proračuna TR-a. Oni se obavljaju prema internim propisima zrakoplovstava. Teoretski, taktički radijus iznosi polovinu, a praktično trećinu do četvrtinu doleta zrakoplova. Proračun se svodi na određivanje mjesta izvršenja zaokreta za povratak na aerodrom slijetanja, a provodi se za svaki tip zrakoplova posebno, prema priručniku za korištenje tog tipa zrakoplova. Metodologija proračuna sastoji se u izračunavanju količine goriva koja preostaje za horizontalan let. To je temeljni element o kojem ovisi najveća daljina djelovanja. Proračun najveće daljine djelovanja i trajanja leta temelji se na podacima danima u priručniku za korištenje zrakoplova, a koji su dobiveni testiranjem zrakoplova u letu od strane proizvođača. Proračun započinje izborom rute, profila leta i popunjavanjem navigacijskog plana leta. U svemu tome najvažnija je potrošnja goriva u horizontalnom letu (HL), brzina leta, vrijeme leta i potrošnja goriva. Da bi se uspješno odredio TR, prvo je potrebno pronaći raspoloživu količinu goriva koju je moguće potrošiti u HL-u po ruti. Raspoloživa količina goriva za HL C_{gh} određuje se prema formuli:

$$C_{gh} = K \cdot (K_1 \cdot C_g - \sum_{i=1}^n C_{gi}) \quad (10)$$

gdje je:

- K – koeficijent za grupno letenje
- K_1 – koeficijent za izmijenjenu taktičku, meteorološku i navigacijsku situaciju
- C_g – količina goriva nakon oduzimanja tehničkog ostatka i potrošenog goriva za rad motora na zemlji
- C_{gi} – količina goriva potrebnog za polijetanje, zbor, penjanje, manevar u području OD-a, zračnu borbu, spuštanje, razlaz, slijetanje i 1 školski krug. [1]



Slika 4.2 Promjenjivi profil leta zrakoplova prilikom izvršenja zadaće
Izvor: [1]

Na slici 4.2 prikazan je profil leta zrakoplova koji polijeće s aerodroma LDZD i nakon izvršenja zadaće slijeće na isti aerodrom. Profil leta sa slike prikazuje nekoliko dijelova poznatih udaljenosti – penjanje S_1 , spuštanje S_3 , te HL S_2 prilikom leta prema OD-u, te prilikom leta od OD-a spuštanje S'_3 , penjanje S'_1 i HL S'_2 . Zbroj dijelova puta u kojima se zrakoplov približava OD-u je:

$$\sum_{i=1}^m S_i = S_1 + S_2 + \dots + S_m \quad (11)$$

S druge strane, zbroj dijelova pri povratku od OD-a je:

$$\sum_{i=1}^n S'_i = S'_1 + S'_2 + \dots + S'_n \quad (12)$$

Iz slike 4.2 mogu se iščitati dva horizontalna dijela čije veličine mogu varirati ovisno o režimu leta i potrošnji goriva. Na preostale dijelove puta i potrošnju goriva u penjanju i spuštanju ne može se utjecati, budući da su oni određeni performansama zrakoplova pa je podatke za njihov proračun potrebno uzeti iz priručnika za korištenje zrakoplova. Dužine tih dijelova puta izražavaju se traženom daljinom djelovanja, TR-om. Iz toga slijedi:

$$S_2 = TR - \sum_{i=1, i \neq 2}^m S_i \quad (13)$$

$$S'_2 = TR - \sum_{i=1, i \neq 2}^n S'_i \pm S_a \quad (14)$$

- gdje je:
- S_2 – horizontalni dio rute prema OD-u
 - S'_2 – horizontalni dio rute od OD-a
 - S_a – udaljenost između aerodroma polijetanja i aerodroma slijetanja, ako su ti aerodromi različiti.

Zbroj potrošnje goriva na svim dijelovima puta mora biti jednak raspoloživoj količini goriva za HL.

$$C_{gh} = \sum_{k=1}^l S_k C_{ki} + (TR - \sum_{i=1}^m S_i) \cdot C_{k1} + (TR - \sum_{i=1}^n S'_i - S_a) \cdot C_{k2} \quad (15)$$

- gdje je:
- $\sum S_k C_{ki}$ – zbroj potrošnje goriva na svim horizontalnim dijelovima leta
 - C_{ki} – zbroj srednje potrošnje goriva po prijednom putu
 - C_{gh} – raspoloživa količina goriva za horizontalne dijelove puta. [1]

Tijekom zadaća bitno je, osim raspoloživog goriva, i maksimalno iskoristiti nosivost zrakoplova u vidu ubojnih sredstava. Nije svejedno može li zrakoplov ponijeti 200 kg više borbenog tereta na račun manjeg punjenja gorivom potrebnog za izvršenje borbene zadaće. Zbog toga je obavezno imati proračunatu daljinu djelovanja i konkretno rješenje koje izražava potrebnu količinu goriva i određenu varijantu opterećenja zrakoplova za konkretnu borbenu zadaću. Ove tri veličine su međusobno ovisne i poznavanjem njihova korištenja postiže se veća učinkovitost i optimizacija uporabe zrakoplovnih postrojbi. Da bi se odredio TR, posljednje navedenu formulu (15) mora se riješiti u odnosu na daljinu djelovanja, pa slijedi:

$$TR = \frac{C_{gh} - \sum_{k=1}^l S_k C_{ki}}{C_{k1} + C_{k2}} + \frac{C_{k1} \sum_{i=1}^m S_i + (\sum_{i=1}^n S'_i \pm S_a) C_{k2}}{C_{k1} + C_{k2}} \quad (16)$$

Veličina S_a uzima se s pozitivnim predznakom ako je aerodrom slijetanja bliže području djelovanja, a s negativnim ako se slijeće na udaljeniji aerodrom. Ako je poznato mjesto djelovanja, aerodrom polijetanja i slijetanja i proračunata daljina djelovanja za zadani profil i režim leta, mogu se odrediti i granice zona djelovanja. One se zbog preglednosti mogu ucrtati na kartu u obliku lukova, kružnica, polumjera i sl. [1]

4.2. Približni proračun TR-a ZA AVION PC-9M

Dva su načina na koji se može približno izračunati daljina djelovanja zrakoplova. Oba su načina jednostavna i brza, a što je najvažnije imaju zadovoljavajuću razinu točnosti koja zadovoljava praktične potrebe. Prvi je način izračun pomoću srednje potrošnje goriva, a drugi pomoću dijagrama doleta. U nastavku će biti prikazan izračun taktičkog radijusa za avion Pilatus PC-9M pomoću oba načina. Za primjer je uzet jedan avion koji cijeli let provodi na visini 300 ft. Na taj način dobije se najmanji mogući taktički radijus za ovaj avion, budući da je na toj visini potrošnja goriva najveća. [1]

4.2.1. Približni proračun po srednjoj potrošnji goriva

Kada se uzmu u obzir sve promjenjive veličine i čimbenici koji utječu na veličinu daljine djelovanja, dolazi se do zaključka da je moguće skratiti postupak proračuna bez bitnog utjecaja na točnost. Po jednadžbi (10), na temelju izabrane rute, profila leta i varijante opterećenja, proračunava se potrošnja goriva za horizontalni let C_{gh} . [1]

Budući da se radi o jednom avionu, koeficijent K iznositi će 1, a koeficijent K_I će iznositi 0,95 jer je pretpostavka da je taktička situacija povoljna. Avion Pilatus PC-9M od pokretanja do polijetanja i penjanja na visinu 300 ft iznad terena u najboljem slučaju provede 7 minuta i potroši 23,8 lb goriva Jet A1. Ukoliko na OD djeluje odmah, po vremenu potrebnom za let od IP-a do mete, napad i povratak do IP-a može se odrediti utrošak goriva aviona u području OD-a. Utrošak goriva računa se po tablici iz priručnika za uporabu aviona, te on za manevre u području OD-a iznosi 41,5 lb. Za slijetanje i 1 školski krug utroši se 27,1 lb. Ukupno zbroj količine goriva potrebnog za polijetanje, penjanje, manevar u području OD-a, spuštanje, slijetanje i jedan školski krug iznosi 92,4 lb. Količina goriva u avionu koja preostaje nakon oduzimanja tehničkog ostatka i potrošnje za rad motora na zemlji iznosi 694 lb. Uvrštavanjem brojeva u izraz (10) dobije se raspoloživa količina goriva za horizontalne dijelove puta po ruti, a koja iznosi 601,6 lb.

Zatim se iščita potrošnja goriva po nautičkoj milji prijeđenog puta ($C_{k1}, C_{k2}, \dots, C_{kn}$) i izračuna srednja potrošnja goriva po nautičkoj milji prijeđenog puta C_{ksr} :

$$C_{ksr} = \frac{C_{k1} + C_{k2} + \dots + C_{kn}}{n} \quad (17)$$

gdje su: - C_{kn} – potrošnja goriva po NM prijeđenog puta na n -toj dionici
- n – broj dionica.

Budući da se sve etape u ovom primjeru lete na visini 300 ft iznad tla, srednja potrošnja po kilometru prijeđenog puta ista je na svim etapama. Iz priručnika za korištenje aviona dobije se podatak da avion PC-9M potroši 2,08 lb goriva po NM leteći brzinom 240 kt.

Taktički se radijus zatim proračunava pomoću formule:

$$TR = \frac{K \cdot (K_1 \cdot C_{gh})}{2C_{kSR}} \quad (18)$$

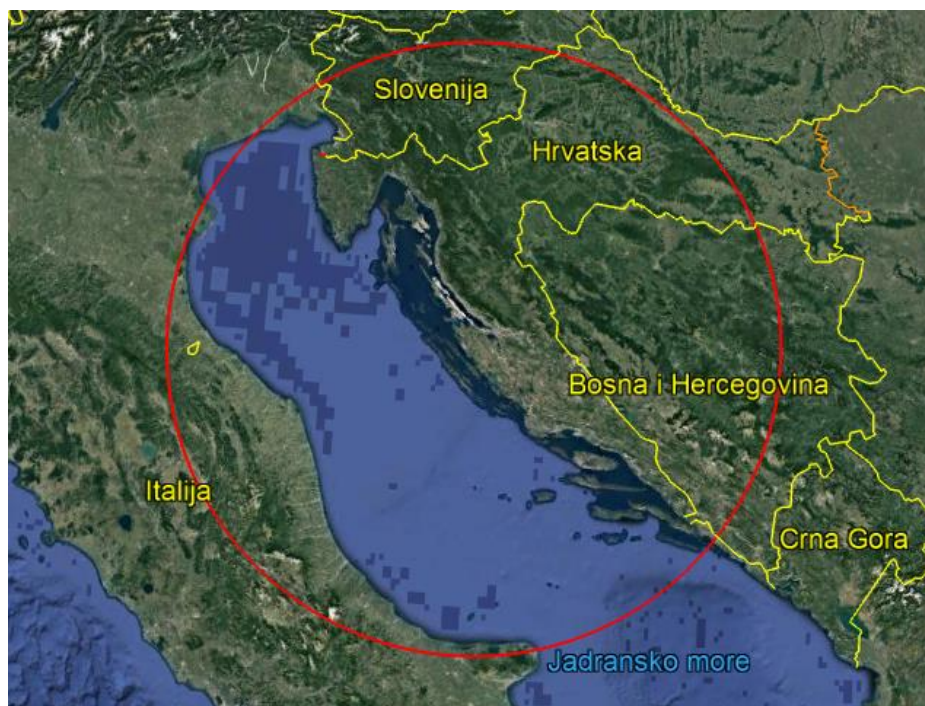
U ovom primjeru, uvrštavajući poznate podatke u izraz (18), dobije se iznos TR-a 137,4 nautičke milje. [1]

4.2.2. Približni proračun pomoću dijagrama doleta

Dijagrami doleta i trajanja leta dani su u priručniku za korištenje zrakoplova, skupa s tablicama za različite varijante opterećenja i uvjete izvršenja leta. Na taj se način osigurava približno proračunavanje daljine djelovanja točnošću koja je u praksi sasvim zadovoljavajuća. I u ovoj metodi izračuna prvo je potrebno odrediti rutu, profil leta te varijantu opterećenja. Temeljem odabrane rute, odabranog profila i uvjeta za konkretnu borbenu zadaću, određuju se elementi leta (brzina i visina), te se na dijagramu očitavaju daljine djelovanja D_1, D_2, \dots, D_n , i proračunava srednji dolet D_{sr} . Srednji dolet aviona PC-9M za brzinu 240 kt na visini 300 ft iznad terena iznosi u standardnim ISA uvjetima 282,8 NM, očitano iz dijagrama doleta. Konačno, TR se izračunava pomoću formule:

$$TR = \frac{K \cdot (K_1 \cdot D_{sr})}{2} \quad (19)$$

U ovom primjeru, uvrštavajući zadane koeficijente i srednji dolet u jednadžbu (19), TR iznosi 134,4 nautičke milje. Prikazano je kako se u ovom slučaju rezultati od proračuna po srednjoj potrošnji goriva razlikuju za 2,2 %. Zadovoljavajuća su sva odstupanja do najviše 4 %. Za praktične potrebe tolika odstupanja nemaju bitnog značenja. Dijagrami doleta obuhvaćaju prijeđeni put u penjanju, HL-u i spuštanjem. U ukupnoj količini goriva obuhvaćeno je gorivo za pokretanje i provjeru motora, za voženje i polijetanje. U dijagramima nisu uračunate nikakve rezerve goriva. [1]



Slika 4.3 TR s visine brišućeg leta

Na slici 4.3 crvenom kružnicom prikazan je prethodno proračunati radijus od 137,4 NM s ishodištem na aerodromu u Zemuniku. Sa slike se može zaključiti da avion Pilatus PC-9M u brišućem letu može izravnim letom djelovati na većini područja u Republici Hrvatskoj. Naravno, TR se povećanjem visine leta, te smanjenjem potrošnje goriva povećava, pa se može zaključiti kako bi se ovim avionom mogla pružiti bliska zračna potpora u svim dijelovima Republike Hrvatske.

4.3. DOLET ZRAKOPLOVA I TOČKA POVRATKA

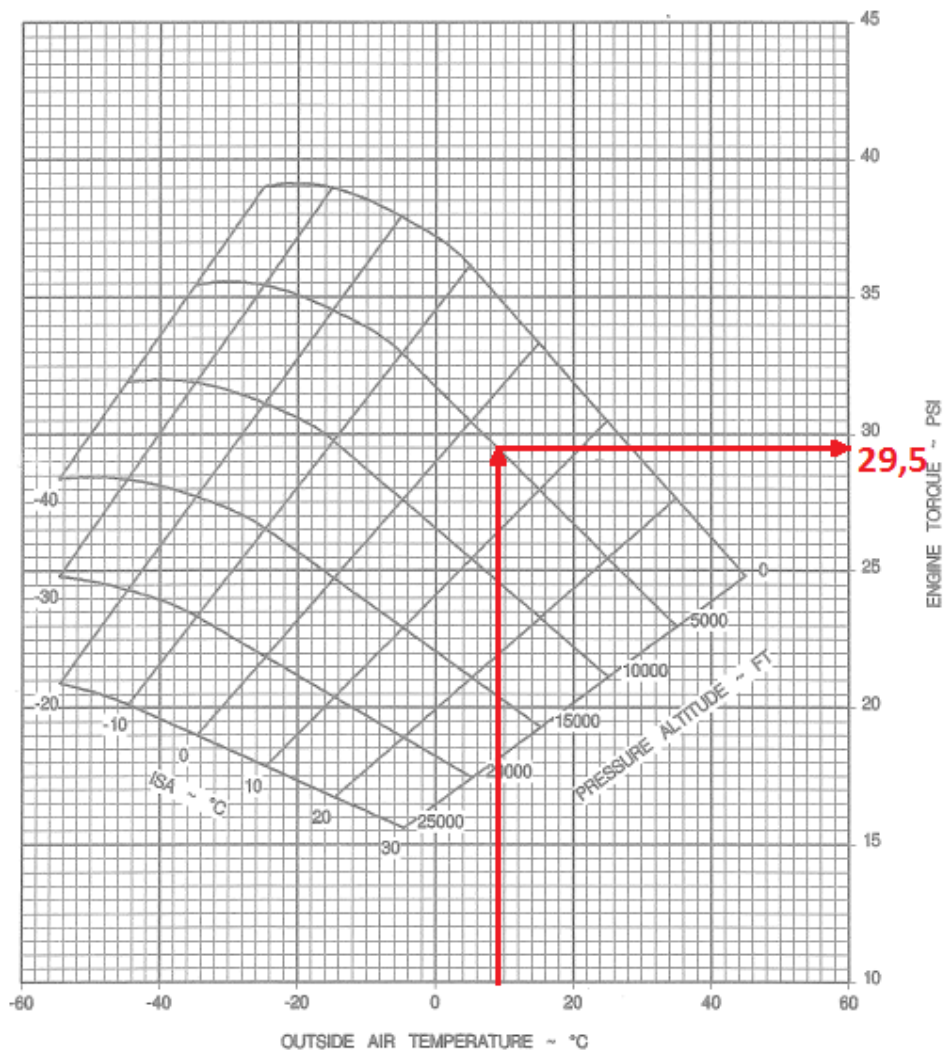
Dolet zrakoplova i točka povratka značajni su elementi procjene i izračuna mogućnosti djelovanja zrakoplova prilikom izvršenja borbene zadaće.

4.3.1. Dolet zrakoplova

Dolet zrakoplova je najveća moguća udaljenost koju zrakoplov može preletjeti po određenoj ruti, zadanim režimom i profilom leta. Za njegov izračun potrebno je poznavati maksimalnu količinu goriva koja stane u zrakoplov. Najbrža i najprihvatljivija metoda izračuna doleta je pomoću grafikona doleta, koji se nalazi u priručniku za korištenje aviona. U

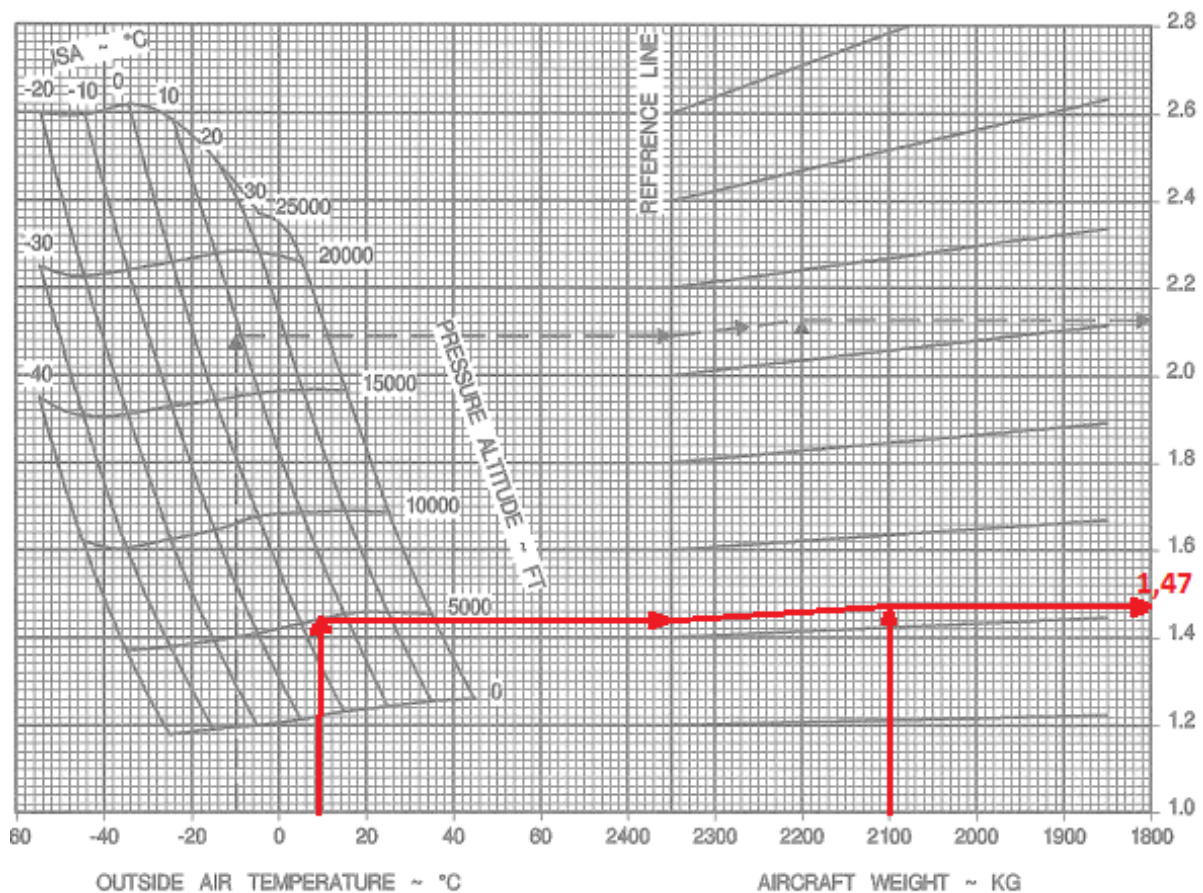
sljedećem primjeru izračunat će se najbolji dolet za avion Pilatus PC-9M u konkretnim uvjetima. [1]

Za primjer najboljeg doleta izabrana je visina leta 5000 ft, te vanjska temperatura (eng. Outside air temperature, OAT) 9 °C. Iz grafa sa slike 4.4 dobije se potrebna snaga motora (eng. engine torque) za najbolji dolet na toj visini i u tim uvjetima, a ona iznosi 29,5 PSI.



Slika 4.4 Dijagram snage za najbolji dolet
Izvor: [8]

Zatim se pomoću grafa sa slike 4.5 odredi specifični dolet. Uzima se da avion leti snagom za najbolji dolet, na visini (eng. pressure altitude) 5000 ft i pri vanjskoj temperaturi 9 °C. Stajni trap aviona i zakrilca su uvučeni, inercijalni separator je zatvoren. Masa aviona (eng. aircraft weight) je prosječna za polijetanje i u primjeru iznosi 2100 kg. Specifični dolet u tim uvjetima, po slici 4.5 iznosi 1,47 NM/kg.



Slika 4.5 Dijagram najboljeg specifičnog doleta
Izvor: [8]

Konačno, ako je poznato da maksimalna iskoristiva količina goriva u spremnicima Pilatusa PC-9M iznosi otprilike 415 kg, onda se dolazi do zaključka da najbolji dolet na visini 5000 ft u zadanim uvjetima iznosi 610 NM ili 1130 km. [8]

4.3.2. Točka povratka

Točka povratka (TPv) je ona točka na ruti s koje zrakoplovu treba jednako vremena za let do aerodroma polijetanja ili slijetanja u konkretnim meteorološkim uvjetima. TPv nije geometrijska sredina između aerodroma polijetanja (A) i slijetanja (B), u prvom redu zbog utjecaja koji vjetar ima na putnu brzinu zrakoplova. Ova točka određuje se u navigacijskoj pripremi u slučaju kada zadaća zahtijeva prelet s jednog na drugi aerodrom. Međutim, može se određivati i u slučaju kada postoje alternativni aerodromi za slijetanje u slučaju nužde. TPv može se odrediti na tri načina – grafički, računski ili pomoću navigacijskog računala. [1]

Za određivanje TPv-a potrebno je poznavati putne brzine kojima će avion letjeti prema jednom ili drugom aerodromu. U slučaju Pilatusa PC-9M, ta je brzina 240 kt, no tu nije uračunat utjecaj vjetrova. Točka povratka važna je u izvanrednim situacijama, kada je došlo do otkaza ili kvara nekih zrakoplovnih sustava, kako bi pilot mogao odlučiti koji mu je aerodrom bliži za slijetanje. U izvanrednim situacijama poželjno je da visina leta bude što veća, jer je time i dolet zrakoplova veći.

TPv mora odgovarati uvjetu da vrijeme leta od aerodroma A do točke povratka putnom brzinom W_A bude jednako trajanju leta od točke povratka do aerodroma B putnom brzinom W_B . Matematički zapisano, taj izraz izgleda:

$$X = \frac{D_{pr} \cdot W_B}{W_A + W_B} \quad (20)$$

gdje je:

- X – udaljenost TPv-a od aerodroma
- D_{pr} – daljina preleta
- W_A – putna brzina prema aerodromu A
- W_B – putna brzina prema aerodromu B. [1]

5. PRORAČUN ELEMENATA ZA MISIJU BLISKE ZRAČNE POTPORE

U Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu za potrebe školovanja i uvježbavanja zemaljskih snaga u zadaćama bliske zračne potpore koristi se školski turboelisni avion Pilatus PC-9M. To je jednomotorni dvosjed, niskokrilac švicarske proizvodnje koji se zbog svojih performansi i manevarskih sposobnosti može koristiti za početnu i naprednu obuku pilota. Isto tako, u različitim varijantama može biti različito opremljen, pa čak i lako naoružan. To mu omogućava provođenje različitih vojnih namjenskih zadaća. Njegova je prednost u tome što ima mnogo manju cijenu sata leta od pravih višenamjenskih borbenih aviona, a zahvaljujući svojim karakteristikama može uspješno simulirati napade na ciljeve na zemlji i tako biti korišten za uvježbavanje i pilota i zemaljskih snaga. [8]

5.1. BLISKA ZRAČNA POTPORA

Bliska zračna potpora (eng. Close air support, CAS) je kritični element združene vatrene potpore koji zahtijeva detaljno planiranje, koordinaciju i uvježbanost zemaljskih sastavnica i zračnih snaga za sigurno i uspješno izvršenje zadaće. Bliska zračna potpora je zračno djelovanje koje provode avioni ili helikopteri na protivničke mete koje se nalaze u neposrednoj blizini prijateljskih snaga. Planira se i provodi isključivo kao potpora taktičkim snagama na zemlji. Može biti provedena na bilo kojem mjestu i u bilo koje vrijeme kada je potrebna kopnenim snagama, a pruža vatrenu potporu za uništavanje, ometanje, odbijanje, usporavanje, uznemiravanje ili neutralizaciju protivničkih snaga. Kada naoružanje postrojbe na zemlji, zbog ograničavajućih faktora kao što su domet, okolni reljef, situacija na terenu i sl., ne može djelovati po protivničkim ciljevima, ta se zadaća prepušta zračnim snagama, zbog njihove brzine, dometa i manevarskih sposobnosti. Osobe koje su zadužene i certificirane za navođenje zrakoplova s prednjih položaja su združeni terminalni kontrolori napada, JTAC (eng. Joint terminal attack controller). Također, kontrolu i navođenje zrakoplova u području provođenja operacije mogu vršiti i kvalificirani prednji zračni kontrolori, FAC (eng- Forward air controller), koji to mogu činiti s prednje pozicije na zemlji, ili iz drugog zrakoplova iz zraka. Kako bi letačkim posadama što brže prenijeli sve potrebne informacije, JTAC/FAC koristi standardizirano informiranje u obliku devet-linijskog obrasca (eng. 9-liner). [9]

5.1.1. Tipovi kontrole i metode napada

Tipovi kontrole su alati koji zapovjedniku na zemlji daju najveću šansu za uspješno izvršenje zadaće, minimizirajući prijateljsku vatru i kolateralne žrtve. Procjena rizika određuje koji tip kontrole će se koristiti za koju zadaću. Postoje tri različita tipa kontrole, a to su Tip 1, Tip 2 i Tip 3. Njihovo korištenje ovisi o taktičkoj situaciji i oni se mogu mijenjati tijekom izvođenja zadaće, međutim to je potrebno iskoordinirati s ostalim sudionicima operacije.

Tip 1 – koristi se kada situacija zahtijeva da JTAC/FAC ima vizualni kontakt sa zrakoplovom i metom tijekom svakog napada. Namjera je da JTAC/FAC može procijeniti geometriju zrakoplova kako bi previdio putanju ubojnog sredstva od otpuštanja do udara, time osiguravajući položaje prijateljskih snaga od neželjenih efekata otpuštanja ubojnih sredstava. JTAC/FAC ne daje odobrenje za napad sve dok zrakoplov ne okonča manevriranje prema meti.

Tip 2 – koristi se kada JTAC/FAC zahtijeva kontrolu svakog individualnog napada, ali nema vizualni kontakt sa zrakoplovom prilikom otpuštanja ubojnih sredstava i/ili ne vidi metu. U slučaju da ne vidi metu, JTAC/FAC u realnom vremenu mora od svojih snaga dobiti podatke o meti. Poželjno je da, ukoliko situacija dopusti, ipak dobije vizualni kontakt sa zrakoplovom kako bi mogao u bilo kojem trenutku, ako je potrebno, prekinuti napad. Ako vizualni kontakt ne postoji, a posadi zrakoplova su dana ograničenja (npr. smjer napada), posada prilikom traženja dozvole za napad mora naglasiti da vidi metu, da je upoznata s ograničenjima i da ih poštuje.

Tip 3 – koristi se kada JTAC/FAC daje odobrenja za više napada u jednom angažmanu, ovisno o specifičnim ograničenjima. JTAC/FAC kontinuirano prati rad zrakoplova tijekom angažmana od početka, pa sve dok posada ne javi kraj rada. [9]

Tipovi kontrole i metode napada odvojeni su i neovisni jedni od drugih. Metoda napada određuje se dogovorom između zapovjednika, JTAC-a/FAC-a i posade zrakoplova. Ovisi isključivo o tome postoji li potreba da posada zrakoplova vidi metu ili ne. Sukladno tome, postoje dvije metode napada – sredstvo na metu (eng. bomb on target, BOT) ili sredstvo na koordinate (eng. bomb on coordinate, BOC). Bilo koji tip kontrole može se kombinirati s bilo kojom metodom napada.

BOC metoda napada koristi se kada je JTAC/FAC utvrdio da se željeni efekti mogu postići ispuštanjem ubojnih sredstava na točno određene koordinate. U tom slučaju posada

zrakoplova nije dužna ostvariti vizualni kontakt s metom. Međutim, treba posvetiti posebnu pažnju da su koordinate točne i ispravno upisane u oružani ili navigacijski sustav zrakoplova.

BOT metoda napada zahtijeva da posada zrakoplova potvrdi vizualni kontakt s metom. Točnost i preciznost koordinata u ovom slučaju nije potrebna budući da JTAC/FAC vodi zrakoplov prema meti. Koordinate se koriste kako bi olakšali inicijalno pronalaženja mete. Prednost ove metode je u tome što se može koristiti kada je meta mobilna, bilo da je trenutno stacionarna ili u pokretu. [9]

5.1.2. Devet-linijski obrazac

Kartica s 9 linija standardizirani je način za prijenos informacija između zemaljskih snaga, preko JTAC-a/FAC-a, i zračnih snaga. Pomaže pilotima odrediti imaju li sve potrebne informacije za izvršenje misije. Primjer kartice prikazan je na slici 5.1, a u nastavku su ukratko pojašnjene linije:

| Format 16. Game Plan and CAS 9-Line Briefing | |
|--|---|
| Do not transmit line numbers. Units of measure are standard unless briefed. Lines 4, 6, and any restrictions are mandatory readback.* JTAC may request additional readback. | |
| JTAC: "_____, advise when ready for game plan." | |
| JTAC: "Type (1, 2, 3) control method of attack (effects desired/ordnance, interval). Advise when ready for 9-line." | |
| 1. IP/BP: | "_____" |
| 2. Heading: | "_____" (degrees magnetic, IP/BP-to-target) |
| Offset: | "_____" (left/right, when requested) |
| 3. Distance: | "_____" (IP-to-target in nautical miles, BP-to-target in meters) |
| 4. Target elevation: | "_____" (in feet MSL) |
| 5. Target description: | "_____" |
| 6. Target location: | "_____" (latitude/longitude or grid coordinates or offsets or visual) |
| 7. Type Mark/Terminal Guidance: | "_____" (description of the mark; if laser handoff, call sign of lasing platform and code) |
| 8. Location of Friendlies: | "_____" (from target, cardinal direction and distance in meters) |
| 9. Egress: | "_____" |
| Remarks/"Restrictions: | |
| LTL/PTL Desired type/number of ordnance or weapons effects (if not previously coordinated). Surface-to-air threat, location and type of SEAD. Additional remarks (gun-target line [GTL], weather, hazards, friendly mark). Additional calls requested. | |
| *Final attack headings (FAHs)/attack direction. *ACAs *Danger close and initials (if applicable). *TOT/TTT | |
| Note: For off-axis weapons, weapons final attack heading may differ from aircraft heading at the time of release. Aircrew should inform JTAC when this occurs, and ensure that weapons FAHs comply with restrictions given. | |

Slika 5.1 Devet-linijski obrazac [9]

Linija 1 – IP/BP (eng. Initial point/Battle position); IP je početna točka za manevar napada na metu, BP je kod helikoptera mjesto na kojem započinje napad na metu

Linija 2 – kurs; magnetski kurs od IP-a/BP-a prema meti. Ukoliko je potrebno, navodi se i strana (lijevo/desno) od linije IP-meta u koju zrakoplov može manevrirati za napad

Linija 3 – udaljenost; od IP do mete [NM] ili od BP do mete [m]

Linija 4 – nadmorska visina mete; iznad srednje razine mora [ft]

Linija 5 – opis mete; mora biti specifičan, kako bi posada zrakoplova lako prepoznala metu

Linija 6 – lokacija mete; zadana koordinatama ili je JTAC/FAC opisuje a posada traži vizualno

Linija 7 – tip oznake; npr. dim, laser... Ako se koristi laser, navesti pozivni znak i kod lasera

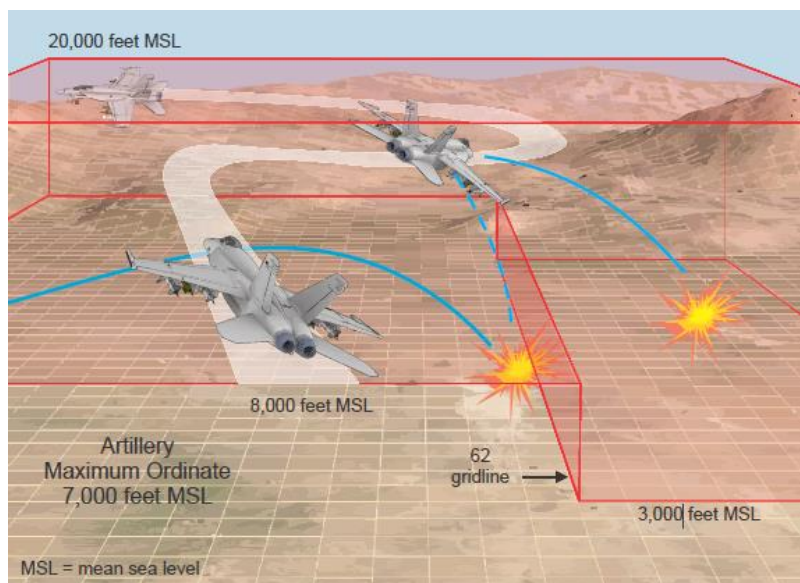
Linija 8 – prijateljske snage; lokacija najbližih snaga izražena u strani svijeta u odnosu na metu i udaljenosti u metrima

Linija 9 – izlazak; upute pilotima kako napustiti područje djelovanja. [9]

5.1.3. Taktike napada

Taktike napada u misijama bliske zračne potpore za avione dijele se po visini. Tako postoje tri vrste taktika: taktika za sve visine, taktika za srednje i velike visine te taktika za male i jako male visine. [10]

U taktici za sve visine koriste se koordinirani napadi. Oni uključuju nekoliko naleta aviona koji kombiniraju napade iz istog pravca ili djeluju iz zadanih sektora. Sukladno tome moraju postojati i mjere za razdvajanje aviona. Dozvole za napade izdaje JTAC/FAC. Koordinirani napadi na istu metu ili područje oko mete povećavaju vatrenu moć i pomažu u razdvajanju obrane mete. Budući da u koordiniranim napadima sudjeluje više aviona, a vrlo često i drugi tipovi naoružanja (primjerice haubice), odlazne procedure iz područja djelovanja moraju biti precizno navedene i ne smiju se kositi s dolaznim procedurama ili prolaziti kroz sektore napada. Isto tako, zbog učestalog združenog djelovanja, posade u avionu zbog povećavanja razine sigurnosti, znaju dobivati ograničenja po visini ili području, kako ne bi došlo do konflikta s drugim prijateljskim sredstvima. Primjer kombinacije ograničenja po visini i području prikazan je na slici 5.2. [10]



Slika 5.2 Primjer ograničenja po visini i području [9]

Kada se koristi taktika za srednje i velike visine, letenje se provodi iznad visine 8000 ft. Ove se taktike koriste kada se visinom eliminira utjecaj lokalnih sustava PZO, koji zbog malog dometa ne mogu ugroziti letenje u području operacije. U obzir se, prilikom korištenja ovih taktika, mora uzeti vidljivost i naoblaka, te reljef, ukoliko se odbacivanje ubojnih sredstava provodi vizualno. Prednost je leta na većim visinama što preostaje više vremena za pronalazak i potvrdu mete, međutim preciznost pogodaka korištenjem navođenih zrna je jako mala. Ove su se taktike koristile u velikoj mjeri tijekom nedavno okončanog rata u Afganistanu jer je preduvjet za njihovu uporabu zračna prevlast. Budući da avion PC-9M nije opremljen navođenim oružanim sustavima niti opremom za pretraživanje i snimanje terena, ove taktike ne koriste se često, pa neće biti detaljnije opisane. [10]

Najčešće se avionom PC-9M prilikom izvođenja vježbi koriste taktike za male visine. Pod pojmom male visine podrazumijevaju se visine od 500 do 8000 ft iznad terena. Prednosti ove taktike su sljedeće:

- smanjuje se vjerojatnost otkrića aviona od strane protivnika na većim udaljenostima, te se samim time i smanjuje vrijeme protivnika za pripremu obrane
- može se koristiti i kada nije uspostavljena zračna prevlast u području provođenja operacije
- može se koristiti kada je vidljivost slabija, a naoblaka niska

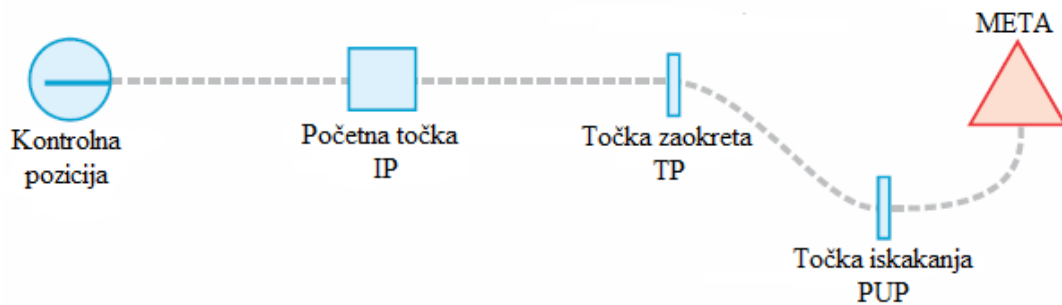
- umanjuje djelovanje protivničkog radara, pa protivnički lovci prilikom presretanja nemaju informacije o položaju napadača već moraju vizualno pretraživati područje
- zbog male visine i male kose udaljenosti od mete povećava se preciznost pogodaka
- JTAC/FAC može lakše procijeniti geometriju aviona koji napada i putanju ubojnih sredstava.

Nedostaci ove taktike su:

- navigacija je zahtjevna i zahtijeva veliku vještinu posade koja leti
- izbjegavanje prepreka je primarna zadaća posade, pa se smanjuje vrijeme koje posada provodi uredotočena na izvršenje misije
- zbog male visine, teže je potvrditi metu prije napada, što se može poboljšati detaljnijim opisima mete, međutim to oduzima više vremena i zahtijeva bolju koordinaciju
- povećana je potrošnja goriva što smanjuje vrijeme koje avion može provesti u području provođenja zadaće
- reljef može smanjiti učinkovitost radio-komunikacije između posade aviona i snaga na zemlji
- avion i posada izloženi su lakim prijenosnim PZO sustavima
- geometrije napada su složenije. [10]

Tijekom planiranja zadaće treba odabrati rute leta koje zaobilaze područja za koja se zna da protivnik ima instalirane PZO sustave. Rute trebaju imati česte promjene kursa kako bi se zbunilo protivnika u smislu što je točno meta napada. Na slici 5.3 prikazana je tipičana shema napada aviona s male visine u bliskoj zračnoj potpori. Završni nalet od IP-a do mete je najkritičnija faza napada. Posada mora pratiti točno vrijeme i profil napada. Rutu završne faze od IP-a do mete najčešće diktira reljef. Zadaća posade je, nakon primanja informacija od JTAC-a/FAC-a, a na temelju tipa aviona i putne brzine, proračun: vremena kada je potrebno napustiti kontrolnu poziciju kako bi se IP preletio u zadano vrijeme; udaljenosti i vremena od IP-a do točke zaokreta (eng. Turn point, TP); stupnjeva skretanja na TP-u i kurs leta nakon zaokreta; udaljenosti/vremena do točke iskakanja (eng. Pull-up point, PUP); kuta iskakanja; visine iskakanja; te visine za odbacivanje ubojnih sredstava. Zadaća JTAC-a/FAC-a je

označiti metu 30 do 45 sekundi prije napada, odrediti završni kurs napada i poziciju mete (smjer i udaljenost), te dati odobrenje za napad. [10]



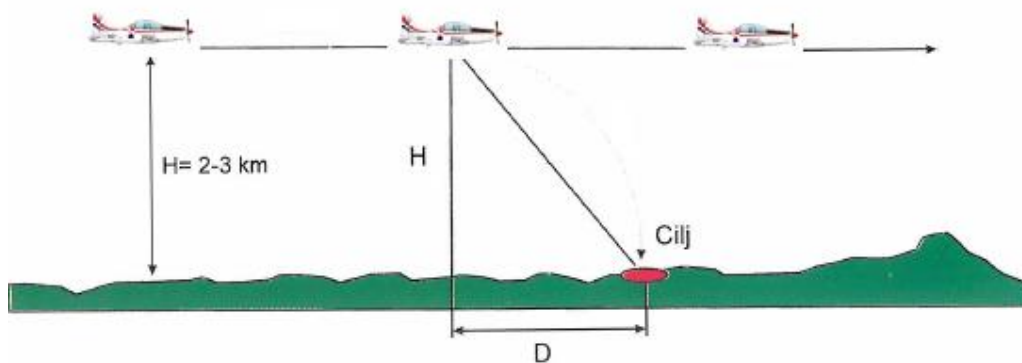
Slika 5.3 Shema napada iz brišućeg leta s iskakanjem
Izvor: [10]

5.2. VRSTE NAPADA NA OBJEKT NA ZEMLJI

Vrsta napada definira se kao taktički postupak zrakoplova pri vatrenom djelovanju po konkretnim ciljevima na zemlji. U ovom dijelu bit će prikazane vrste napada klasičnim nevođenim ubojnim sredstvima. U odnosu na značajke objekta po kojem se djeluje, osposobljenost posade, meteorološke uvijete i PZO protivnika, razlikuje se nekoliko vrsta napada: napad iz HL, napad iz poniranja/obrušavanja, napad iz iskakanja i napad iz propinjanja. [6]

5.2.1. Napad iz horizontalnog leta

Koristi se kada se djeluje klasičnim ubojnim sredstvima – zrakoplovnim bombama, nevođenim raketama zrak-zemlja ili zrakoplovnim topom. Za vrijeme ciljanja i odbacivanja sredstava, avion zadržava horizontalan položaj na unaprijed određenoj visini. Napad iz HL-a može se izvesti s visine brišućeg leta (do 300 ft iznad tla) ili s malih i srednjih visina. Napad iz brišućeg leta koristi se pri djelovanju po dugačkim i uskim objektima kao što su uzletno-sletne staze, pruge, mostovi i sl. Nakon odbacivanja ubojnih sredstava avion izvodi manevar odlaska iz područja djelovanja karakteriziran brzom promjenom pravca i visine leta. Napadi iz HL-a s malih i srednjih visina izvode se po većim površinskim objektima – aerodromima, čvorištima, elektranama i sl. Izvode ih pojedinačni avioni ili grupe aviona u jednom ili više naleta, a najčešće se koriste noću ili kada je PZO protivnika slaba, kako bi se postigao efekt iznenađenja. Na slici 5.4 prikazan je napad iz HL-a sa srednje visine. [6]

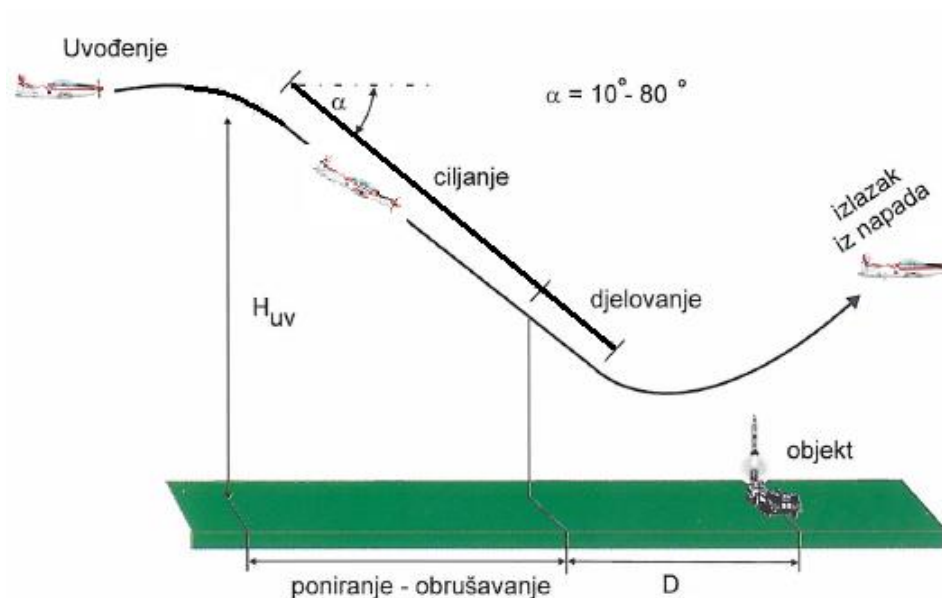


Slika 5.4 Napad iz HL

Izvor: [6]

5.2.2. Napad iz poniranja/obrušavanja

Razlika između poniranja i obrušavanja je u veličini kuta između horizonta i uzdužne osi aviona koji se kreće prema zemlji. Kod propinjanja se podrazumijeva da taj kut iznosi od 10° do 45° , a kod obrušavanja između 45° i 80° . Prednost napada iz poniranja/obrušavanja u odnosu na napad iz HL-a je u tome što ima veću preciznost, veću prodornu moć naoružanja, mogućnost izmjenične uporabe naoružanja, mogućnost istodobnog napada više aviona, a i cilj je lakše uočiv. Ovi napadi koriste se kod točkastih objekata, zbog boljih efekata djelovanja.



Slika 5.5 Napad iz poniranja

Izvor: [6]

Svaki avion ima utvrđene elemente manevra za napad iz poniranja/obrušavanja, a oni su: kut poniranja/obrušavanja, visina uvođenja u napad, brzina uvođenja u napad, visina otvaranja

vatre, visina odbacivanja bombi, brzina odbacivanja bombi, brzina otvaranja paljbe, daljina otvaranja paljbe, visina vađenja iz poniranja/obrušavanja i kut preticanja. Kutevi poniranja ovise o vrsti ubojnog sredstva. Za topove i strojnice iznose 15° do 30° , a za nevođena raketna zrna i avionske bombe iznose 20° do 40° . Na slici 5.5 prikazan je napad iz poniranja. [6]

5.2.3. Napad iz iskakanja

Napad iz iskakanja je ustvari jedva vrsta napada iz poniranja/obrušavanja. Koristi se kada je OD branjen jakim snagama PZO i/ili kada ga nije moguće uočiti s velike udaljenosti. U tom slučaju, avion se od IP-a približava meti u brišućem letu, te na proračunatoj udaljenosti od objekta vrši manevar iskakanja. Iskakanje je penjanje aviona s visine brišućeg leta na točku uvođenja u napad iz poniranja/obrušavanja, koja se nalazi na određenoj visini. Cilj manevra je dovođenje aviona u pravilan i povoljan položaj za napad, primjenjujući naglu promjenu visine, brzine i pravca leta. Time se znatno otežava djelovanje PZO protivnika. Ove vrste napada ne primjenjuju se kada je niska naoblaka i smanjena vidljivost. Shema tipičnog napada s iskakanjem u stranu prikazana je ranije, na slici 5.3. Ova vrsta napada koristi se najčešće iz razloga što nije potrebno posjedovati zračnu prevlast za djelovanje na protivnikove objekte. Prednost ove vrste napada je efekt iznenađenja koji se postiže dolaskom u područje djelovanja u brišućem letu. Napad iz iskakanja osnovna je vrsta napada koja se izvodi avionom PC-9M, pa će biti detaljno proračunata u poglavlju 5.3. [6]

5.2.4. Napad iz propinjanja

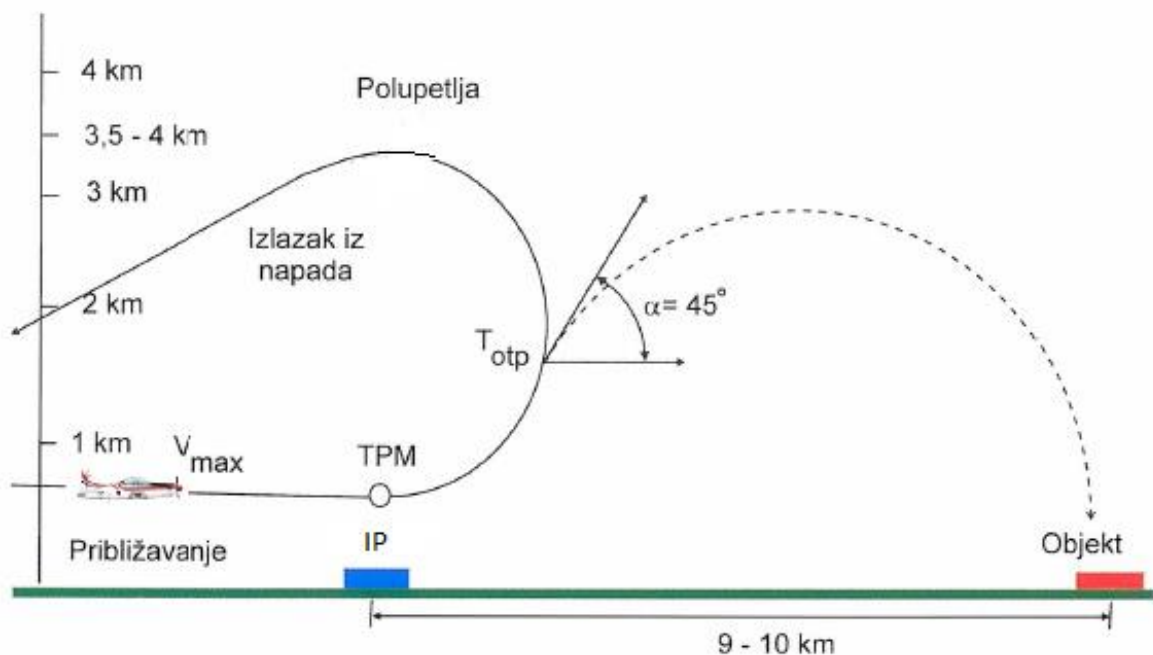
Ova vrsta napada je najsloženija i primjenjuje se kada se kao ubojna sredstva koriste klasične bombe. Kada se sredstva odbacuju avion se nalazi u režimu propinjanja, odnosno penjanja. Na taj se način povećava domet avionske bombe, a smanjuje se i opasnost od djelovanja odbačene bombe. Kako bi se ova vrsta napada koristila, avion mora biti opremljen posebnim uređajem, čiji pokazivač u kabini prikazuje sve potrebne elemente za bombardiranje (kurs, uzdužni i poprečni položaj, opterećenje...). Kada prilazi cilju, pilot postavlja uređaj na određeni kut α (45° , 90° ili 110°) i uključuje ga nakon preleta IP-a ili iznad OD-a, ovisno o metodi. Njegovo uključenje predstavlja točku početka manevra TPM. Pilot povlači palicu na sebe i započinje propinjanje, te nakon postizanja kuta propinjanja postavljenog ranije, uređaj automatski odbacuje ubojno sredstvo na točki otpuštanja T_{otp} , a pilot nastavlja manevar propinjanja, izvodi polupetlju i u poniranju se što većom brzinom

udaljava s područja objekta djelovanja. Ubojno sredstvo za to vrijeme nastavlja letjeti svojom putanjom prema cilju. Metoda bombardiranja iz propinjanja ovisi o kutu u trenutku odbacivanja sredstva, a postoje tri metode:

- pod kutom 45° ("kosi hitac") – avion se IP-u približava na maloj visini, s maksimalnom brzinom, te po preletu IP-a započinje propinjanje. Koristi se kada je PZO protivnika vrlo snažan, a objekt uočljiv s većih udaljenosti. Shema je prikazana na slici 5.6.

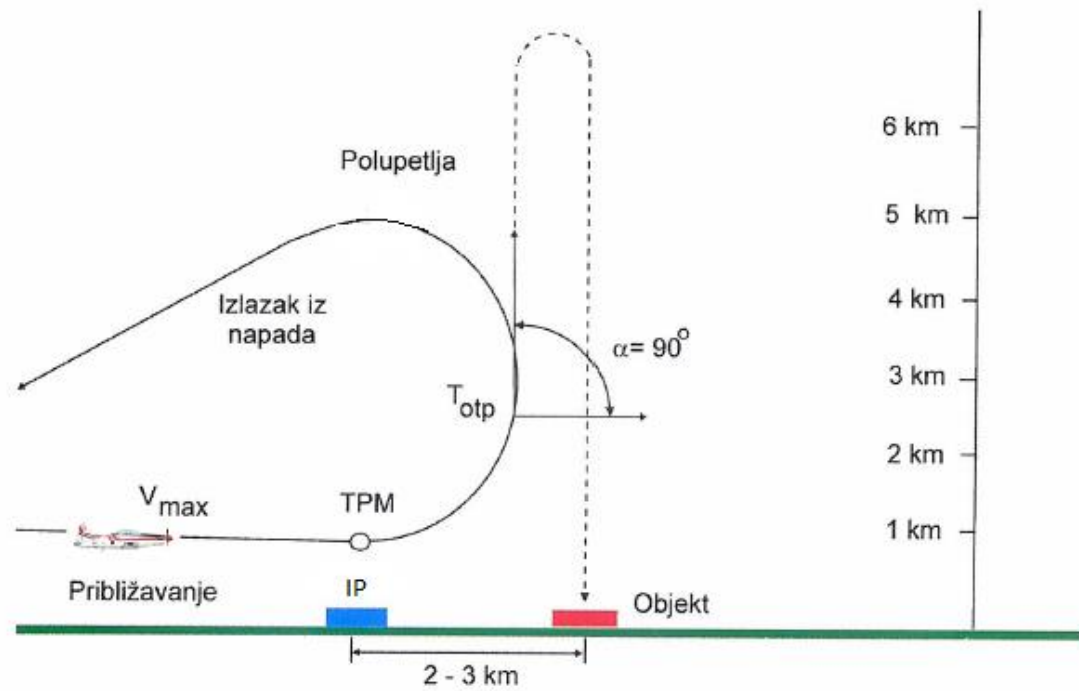
- pod kutom 90° ("okomiti hitac") – koristi se kod manjih, teže uočljivijih objekata. Manevar počinje iznad IP-a koji mora od mete biti udaljen 2 do 3 km, a avion leti maksimalnom brzinom. Shema je prikazana na slici 5.7.

- pod kutom 110° ("okomiti hitac preko ramena") – sličan kao i "okomiti hitac", s tim što se avion meti približava u brišućem letu, a manevar propinjanja započinje točno iznad mete. Shema je prikazana na slici 5.8. [6]

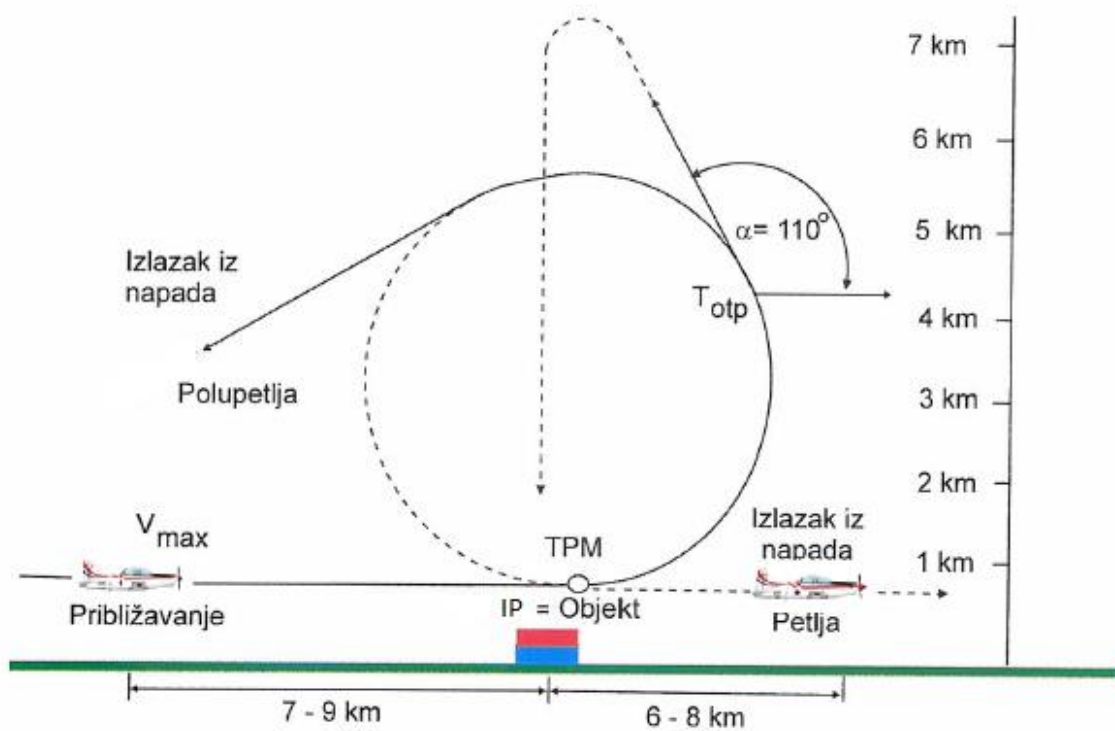


Slika 5.6 Kosi hitac

Izvor: [6]



Slika 5.7 Okomiti hitac
Izvor: [6]



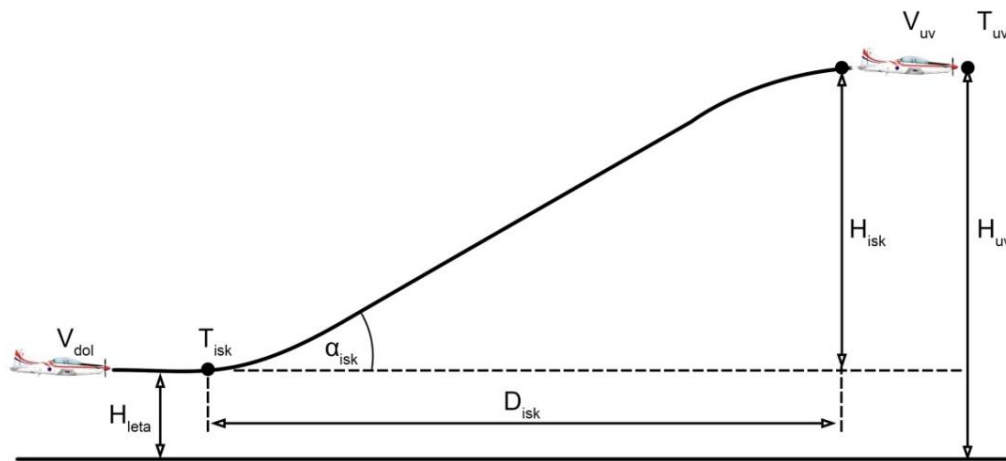
Slika 5.8 Okomiti hitac preko ramena
Izvor: [6]

5.3. PRORAČUN NAPADA IZ ISKAKANJA AVIONOM PC-9M NA CILJ NA ZEMLJI

Napad iz zraka na cilj na zemlji sastoji se od četiri faze: manevar aviona za dovođenje u točku uvođenja, uvođenje u napad, napad s ciljanjem i vađenje aviona iz napada. U slučaju napada iz iskakanja, manevar dovođenja u točku uvođenja je u stvari iskakanje aviona, a uvođenje u napad je manevar poluprevrtanja, koji se u obuci vojnih pilota uvježbava kao akrobatski element. [11]

5.3.1. Manevar za dovođenje u točku uvođenja

Napad iz pravca osigurava najveće iznenađenje. Kada je položaj mete unaprijed poznat, može se odrediti IP na određenoj udaljenosti, te na toj poziciji započeti s iskakanjem sa zadanim kutom penjanja do visine uvođenja u napad. Tijekom iskakanja se pretražuje područje i pronalazi OD pomoću znakovitih orijentira ili pomoću navođenja JTAC-a/FAC-a. Kada se OD raspoznava i potvrdi, a avion dođe na zadanu visinu, započinje uvođenje u napad. Pritom je moguće promijeniti pravac leta za 90° , odnosno izvesti poluprevrtanje.



Slika 5.9 Shema iskakanja aviona

Izvor: [11]

Na slici 5.9 prikazano je iskakanje aviona Pilatus PC-9M na visinu potrebnu za uvođenje u napad. Visina iskakanja H_{isk} određuje se pomoću sljedeće jednadžbe:

$$H_{\text{isk}} = \frac{1}{2 \cdot g} \cdot (V_{\text{dol}}^2 - V_{\text{uv}}^2) \quad (21)$$

- gdje su:
- g – konstanta; ubrzanje Zemljine gravitacijske sile; iznosi $9,81 \text{ m/s}^2$
 - V_{dol} – brzina leta aviona u dolasku na točku iskakanja
 - V_{uv} – brzina leta zrakoplova za uvođenje u napad. [11]

Pilatusom PC-9M se u brišućem letu za napad leti brzinom 250 kt, tako da je brzina dolaska V_{dol} jednaka 250 kt, preračunato 128,6 m/s. Brzina uvođenja u napad jednaka je brzini uvođenja u poluprevrtanje i za ovaj avion iznosi 140 kt, odnosno 72,02 m/s. Znajući prethodno navedene podatke, iz formule (21) dobije se podatak da je visina iskakanja H_{isk} za PC-9M jednaka 578,7 m ili 1898 ft. [8]

Daljina iskakanja D_{isk} se računa pomoću formule:

$$D_{isk} = \frac{H_{isk}}{\tan \alpha_{isk}} \cdot 1,33 \quad (22)$$

gdje je α_{isk} – kut iskakanja. [11]

U priručniku za korištenje aviona PC-9M kut iskakanja definiran je i iznosi 30° . Shodno tome, po formuli (22) može se odrediti daljina iskakanja, a ona iznosi 1333 m ili 0,72 NM. Iskakanje se može izvesti u pravcu, ili pod kutem od 45° gdje se pravac leta mijenja za 45° . [8]

5.3.2. Uvođenje u napad

Po dolasku na točku uvođenja u napad, avion vrši zaokret prema cilju uz istovremeno postavljanje kuta poniranja potrebnog za napad. Najčešće se to čini elementom koji se naziva poluprevrtanje, a karakterizira ga promjena pravca leta za 90° prema meti nagibom do 90° i promjena uzdužnog položaja aviona iz penjanja u spuštanje. Trenutak uvođenja određuje se u odnosu na objekt djelovanja pomoću oznaka na krilu aviona. Za avion Pilatus PC-9M taj trenutak je kada meta uđe pod krilo na udaljenosti $1/3$ krila gledano od korijena krila, što je prikazano na slici 5.10.



Slika 5.10 Orijentir uvođenja u poluprevrtanje

Elementi napada iz kuta poniranja, a prikazani su na slici 5.11, su:

H_{uv} – visina uvođenja u poniranje

H_v – visina početka vađenja iz poniranja

ΔH_{uv} – gubitak visine prilikom uvođenja u poniranje

ΔH_p – gubitak visine u poniranju

ΔH_v – gubitak visine pri vađenju iz poniranja

H_{sig} – sigurnosna visina pri vađenju iz poniranja

λ – kut poniranja

T_{uv} – točka uvođenja u poniranje (napad)

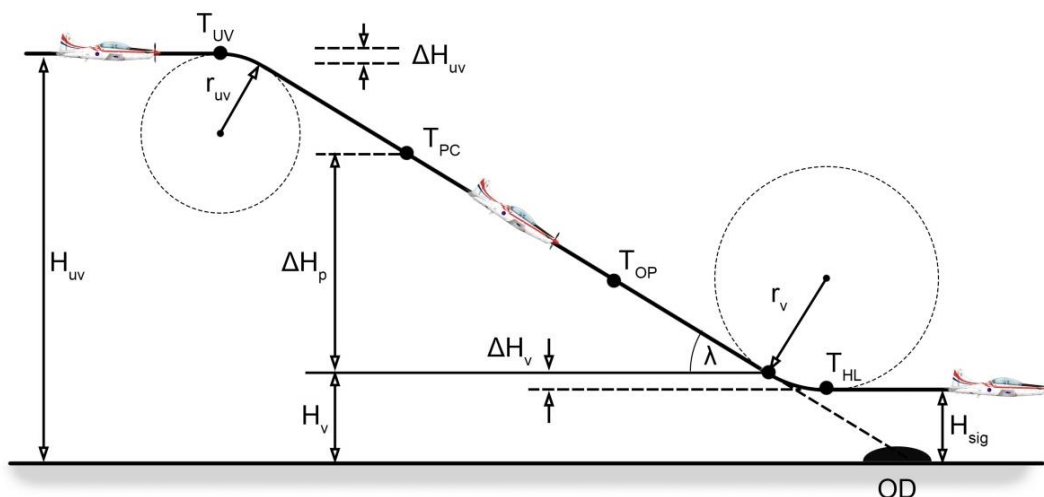
T_{PC} – točka početka ciljanja

T_{OP} – točka otvaranja paljbe

T_{HL} – točka prelaska iz poniranja u HL

r_{uv} – polumjer uvođenja aviona u poniranje

r_v – polumjer vađenja aviona iz poniranja.



Slika 5.11 Shema poniranja s napadom na cilj i vađenjem
Izvor: [11]

Visina uvođenja H_{uv} aviona u poniranje računa se po formuli:

$$H_{uv} = \Delta H_{uv} + \Delta H_v + \Delta H_p + H_{sig} \quad (23)$$

Gubitak visine pri uvođenju u napad ΔH_{uv} računa se pomoću formule:

$$\Delta H_{uv} = r_{uv} \cdot (1 - \cos \lambda) \quad (24)$$

Polumjer uvođenja aviona u poniranje r_{uv} se računa po sljedećoj formuli:

$$r_{uv} = \frac{V_{uv}^2}{g \cdot \tan \beta} \quad (25)$$

gdje su: - V_{uv} – brzina uvođenja
- β – nagib aviona tijekom uvođenja u poniranje. [11]

Brzina uvođenja već je definirana i iznosi 140 kt, odnosno 72,02 m/s, a nagib je određen do 90° . Zbog nemogućnosti matematičkog izračuna tangensa 90° , koji ide u beskonačnost, za nagib se uzima vrijednost 89° . Radijus uvođenja aviona u poniranje po formuli (25) iznosi 9,22 m. S obzirom da je kut poniranja određen Priručnikom za korištenje aviona i iznosi 25° , po jednačbi (24) dobije se gubitak visine pri uvođenju u napad 0,86 m ili oko 3 ft. To je zanemarivo malo i gotovo ne utječe na profil napada na cilj upravo zbog velikog nagiba pri poluprevrtanju.

Gubitak visine aviona u poniranju prema meti računa se pomoću formule:

$$\Delta H_p = V_{sr} \cdot t_p \cdot \sin \lambda \quad (26)$$

gdje su: - V_{sr} – srednja brzina aviona tijekom poniranja
- t_p – vrijeme poniranja – sastoji se od vremena ciljanja i vremena gađanja

Srednja brzina aviona tijekom poniranja prema meti iznosi 195 kt ili 100,3 m/s, a vrijeme poniranja, koje je zbroj vremena ciljanja i vremena gađanja, ovisi o osposobljenosti posade, a kreće se oko 10 sekuni. Kada se ovi parametri uzmu u obzir, pomoću izraza (26) dobije se podatak da je gubitak visine u poniranju prema objektu djelovanja 423,89 m, odnosno 1390 ft. [11]

Duljina prekida paljbe se računa na sljedeći način:

$$D_{pp} = \frac{H_{sig} - \Delta H_v}{\sin \lambda} \quad (27)$$

To je udaljenost od mete pri kojoj dolazi do prekida paljbe ili otpuštanja ubojnih sredstava te započinjanja prevođenja iz poniranja u HL. H_{sig} je unaprijed određena visina koja osigurava da avion prilikom djelovanja ne udari o zemlju ili da ne bude pogođen fragmentima vlastitih ubojnih sredstava. [11] Ona prilikom uvježbavanja gađanja avionom PC-9M iznosi 800 ft ili 243,84 m. [5]

5.3.3. Napad s ciljanjem

Ciljanje je precizno dovođenje ciljničke crte na OD i dovođenje zrakoplova na određenu udaljenost od OD-a za otvaranje vatre. Ono započinje od točke poniranja, kada se zrakoplov giba pravocrtno prema meti pod nekim kutem poniranja. Taj kut se mijenja samo onoliko koliko to zahtijeva precizno ciljanje. Dva su načina ciljanja – sa stalnim kutem poniranja i sa stalnim kutem preticanja. Prvi način koriste zrakoplovi manjih brzina, i to na način da ciljničku točku ne podudaraju s metom, već je usmjeravaju na određenu udaljenost ispred mete. Zadržava se stalan kut poniranja a ciljnička točka klizi prema OD-u. Ako je prethodna točka ciljanja dobro odabrana, u trenutku otvaranja vatre ciljna točka će se podudarati s metom. Drugi način, ciljanje sa stalnim kutem preticanja, je jednostavniji, a primjenjuju ga avioni većih brzina. Cilja se direktno u metu, te se ciljna točka zadržava na

meti na način da pilot tijekom poniranja cijelo vrijeme povećava kut poniranja. Avion na taj način ponire po zakrivljenoj putanji. [11]

5.3.4. Vađenje iz napada

Zbog sigurnosti posade i aviona tijekom napada na cilj određuje se najmanja visina nadlijetanja objekta djelovanja. Ona ovisi o mogućim greškama pilota pri održavanju parametara napada (duljina početka gađanja, kut poniranja, opterećenje pri vađenju i sl.) te o uvjetima u području objekta djelovanja. Visina prekida paljbe se određuje pomoću polumjera kružnice vađenja:

$$r_v = \frac{V_v^2}{g \cdot (n - \cos \lambda)} \quad (28)$$

gdje su: - V_v – brzina aviona pri vađenju
- n – opterećenje pri vađenju. [11]

Brzina aviona pri vađenju iznosi 250 kt, opterećenje iznosi 3 g (nije poželjno preko zbog preostalih ubojnih sredstava koje avion nosi na sebi). Kako je poznato da je kut poniranja 25° , iz jednadžbe (28) dobije se radijus kružnice vađenja koji je jednak 805,2 m.

Gubitak visine pri vađenju iz kuta poniranja računa se po sljedećoj jednadžbi:

$$\Delta H_v = r_v \cdot (1 - \cos \lambda) \quad (29)$$

a za Pilatus PC-9M iznosi 75,4 m ili 247 ft. [11]

Budući da je sigurnosna visina određena, a ona ovisi o sigurnosti zrakoplova od fragmenata vlastitih ubojnih sredstava, tada je moguće odrediti i minimalnu visinu odbacivanja ubojnih sredstava H_{op} :

$$H_{op} = H_{sig} + \Delta H_v \quad (30)$$

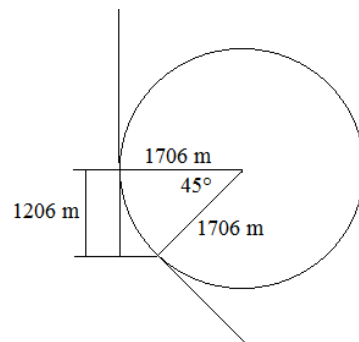
Ta visina iznosi 319,3 m ili 1047 ft iznad terena. [11]

Konačno, kada su izračunate sve nepoznanice, može se odrediti i visina uvođenja u napad H_{uv} po formuli (23). Ona iznosi 744 m, što iznosi 2440 ft.

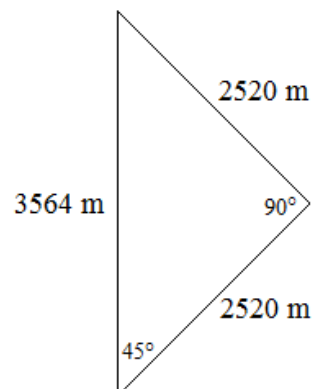
Isto tako moguće je preko ranije spomenute jednačbe (27) odrediti i daljinu prekida paljbe D_{pp} . Ona iznosi 398,6 m.

Isto kako je određena daljina iskakanja D_{isk} , može se odrediti i daljina prijedena u poniranju. Uz već poznati kut poniranja 25° i visinu uvođenja u napad od 744 m, dobije se daljina prijedena u poniranju od 2122 m. Kada se njoj pribroji daljina prekida paljbe D_{pp} koja iznosi 398,6 m, a koja pokazuje udaljenost od mete u trenutku prevođenja u HL, dobije se bočna udaljenost od 2520,6 m.

Kada se govori o iskakanjima u stranu pod 45° tada u obzir treba uzeti i radijus toga zaokreta kojeg se izvodi nagibom 45° . Na slici 5.12 vidljivo je kako radijus zaokreta nagiba 45° brzinom 250 kt utječe na povećanje duljine iskakanja s 1333 m za 1206 m na 2539 m. Kako je već poznato da je bočna udaljenost od mete 2502,6 m, trigonometrijski se lako izračuna kolika je potrebna udaljenost točke iskakanja od mete. To je prikazano na slici 5.13, a ta daljina iznosi 3564,8 m ili 1.9 NM. Za duljine kateta u trokutu uzeta je otprilike srednja vrijednost daljine iskakanja sa zaokretom i bočne udaljenosti od mete, odnosno vrijednost od 2520 m.



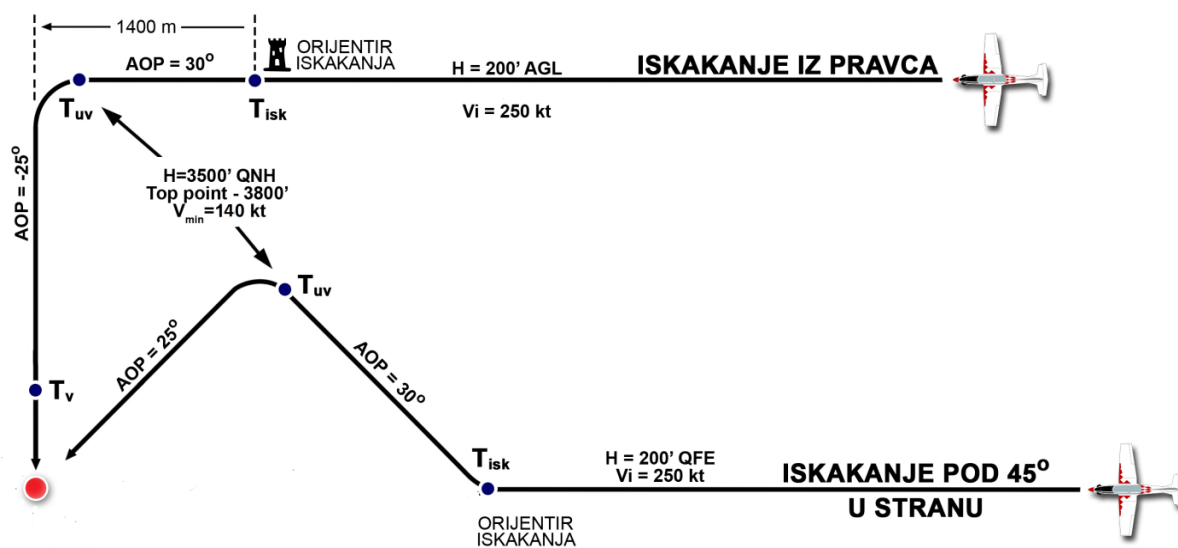
Slika 5.12 Zaokret pri iskakanju pod 45° u stranu



Slika 5.13 Udaljenost točke iskakanja od mete pri iskakanju pod 45° u stranu

5.4. USPOREDBA PRORAČUNATIH VRIJEDNOSTI SA VJEŽBOVNIM DJELOVANJIMA

Uvježbavanje napada na ciljeve na zemlji avionom Pilatus PC-9M u Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu uglavnom se provodi na jednom školskom poligonu. Nakon uvježbanih manevara, piloti ih mogu uspješno primjenjivati na bilo kojem području djelovanja. Na slici 5.14 prikazana je shema po kojoj se radi na tom poligonu s normama za iskakanje iz pravca i iskakanje pod 45° u stranu.



Slika 5.14 Shema iskakanja na školskom poligonu
Izvor: 392. eskadrila aviona

Uspoređujući rezultate dobivene u poglavlju 5.3. s normama koje se nalaze na gore prikazanoj shemi, dolazi se do zaključka kako proračuni manje-više odgovaraju shemi. U obzir svakako treba uzeti činjenicu da se poligon nalazi na nadmorskoj visini od 1300 ft. Proračunata visina iskakanja iznosi oko 1900 ft. Kada se na to nadoda nadmorska visina od 1300 ft i visina leta prije iskakanja od 200 ft, dobije se ukupna visina nakon iskakanja od 3400 ft, što je odstupanje od 2,8% u odnosu na 3500 ft sa sheme. Proračunata daljina iskakanja iznosi 1333 m, a u shemi je ona 1400 m, što je odstupanje od 4,8 %. Točka uvođenja na shemi nalazi se na visini 3800 ft (oko 300 ft više od iskakanja, do razlike u visini dolazi zbog propinjanja tijekom uvođenja u sami element poluprevrtanja), dok je proračunata visina uvođenja 2440 ft. Ako se na to nadoda visina terena od 1300 ft, dobije se ukupan zbroj 3740 ft, što je razlika od sheme za neznatnih 1,5 %.

5.5. PRIPREMA ZA LET U PODRUČJU PROVOĐENJA OPERACIJE

Pilot kada se priprema za borbeni let mora znati odlaznu i dolaznu proceduru do područja djelovanja, te sukladno tome napraviti navigacijsku pripremu za let, koja je opisana u sljedećem poglavlju. Osim toga, kako ne zna koliko će se dugo zadržati u području operacije, mora proračunati minimalnu količinu goriva koja mu je potrebna za povratak na aerodrom polijetanja ili neki drugi aerodrom na koji slijeće. Na tu količinu goriva potrebno je dodati rezervu za alternaciju i za slijetanje te dodatni školski krug. Ta ukupna količina goriva je minimalna pri kojoj avion prekida zadaću i vraća se na slijetanje. Ona se naziva *bingo fuel*. To je za posadu, iz aspekta sigurnosti, jedna od najvažnijih informacija koju mora poznavati. Često se povratak iz zone vrši na većoj visini kako bi manje goriva bilo potrebno za povratak, pa da avion može duže ostati u zoni. U slučaju misije iz primjera iz poglavlja 6., povratak je planiran na visini 8000 ft. Za penjanje na tu visinu nakon napada avion potroši 29 lb goriva. Udaljenost od Gornje Ploče do Poličnika je 20 NM. PC-9M leti putnom brzinom od 240 kt, pa tu udaljenost prijeđe za 5 minuta. Potrošnja goriva na visini 8000 ft iznosi 6,2 lb po minuti po tablici potrošnje goriva. To znači da za let po povratnoj etapi avion potroši 31 lb. Za spuštanje i slijetanje avion potroši 16 lb goriva. Kada se sve to zbroji i doda količina goriva za alternaciju i jedan školski krug, koja iznosi 200 lb, dobije se ukupna količina za *bingo fuel* od 276 lb.

Osim goriva, pilotu je nužno poznavati i radijus zaokreta i vrijeme trajanja zaokreta. Po dolasku u zonu djelovanja i uspostavljanju kontakta s JTAC-om/FAC-om, pilot dobije točku iznad koje radi zaokrete dok mu zemaljske snage daju informacije ključne za napad i opisuju trenutnu situaciju na terenu. Avion iznad te točke čeka da mu JTAC/FAC izda zapovijed da krene prema meti. Ovisno o taktičkoj situaciji čekanje može potrajati i preko sat vremena. Zbog toga se zaokret čekanja, koji se u terminologiji naziva i *wheel*, izvodi manjom brzinom, zbog manje potrošnje goriva, koja onda osigurava veću istrajnost u zraku. Visinu *wheela* određuje JTAC/FAC, a ona ovisi o taktičkoj situaciji u zraku i o snagama PZO protivnika na zemlji. Brzinu koju u čekanju održava Pilatus PC-9M je 140 kt. Inicijalni nagib u zaokretu je 30°, no on može biti i veći, zbog toga da avion ne prijeđe zadanu granicu koju mu zadaje JTAC/FAC (npr. 3 NM od mete). Radijus zaokreta računa se prema izrazu:

$$R = \frac{v^2}{g \cdot \sqrt{n^2 - 1}} \quad (31)$$

Opterećenje u zaokretu n računa se prema sljedećem izrazu:

$$n = \frac{1}{\cos \beta} \quad (32)$$

Koristeći jednadžbe (31) i (32) dobiju se vrijednosti radijusa zaokreta u NM za različite brzine i različite nagibe aviona β , prikazane u tablici 4. [3]

Tablica 4. Prikaz radijusa zaokreta u NM u ovisnosti o nagibu i brzini aviona

| β [°] | V [kt] | 240 | 220 | 160 | 140 |
|-------------|--------|------|------|------|------|
| 25 | | 1,81 | 1,51 | 0,79 | 0,61 |
| 45 | | 0,84 | 0,71 | 0,37 | 0,29 |
| 60 | | 0,49 | 0,41 | 0,22 | 0,17 |

Osim radijusa, kako je već navedeno, bitno je i vrijeme trajanja zaokreta kako bi pilot znao, kada dobije vrijeme u kojem mora biti na IP-u, koliko zaokreta i kakvih zaokreta može napraviti. Izraz po kojem se računa vrijeme trajanja zaokreta za bilo koji broj stupnjeva t_{ϕ° glasi:

$$t_{\phi^\circ} = \frac{\phi \cdot V}{g \cdot \tan \beta} \quad (33)$$

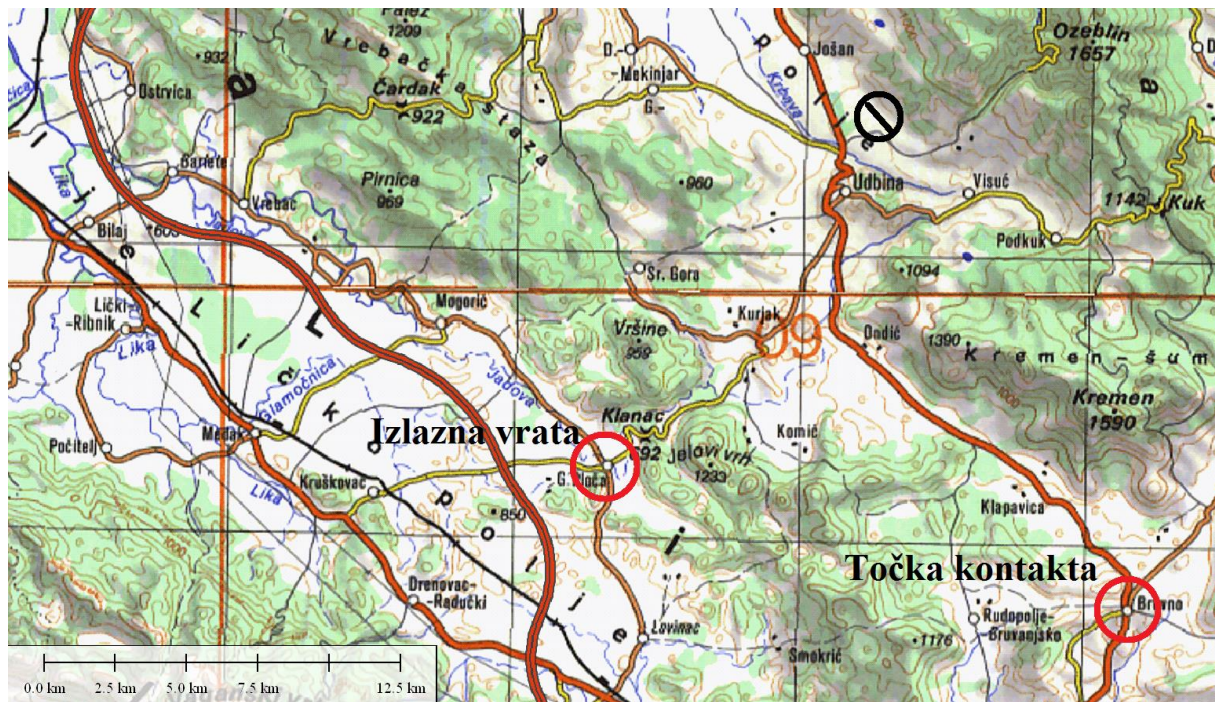
Proračun vremena trajanja zaokreta napamet za zadanu brzinu u čvorovima i zadani nagib može se odrediti i napamet pomoću tablice 5. Oznaka V predstavlja brzinu u kt, a oznaka V' brzinu u čvorovima, ali bez zadnje znamenke (npr. 225 kt \rightarrow 22,5) [3]

Tablica 5. Proračun napamet vremena trajanja zaokreta na temelju stupnjeva skretanja, nagiba i brzine aviona

| ϕ [°] | β [°] | 20 | 30 | 45 | 60 |
|------------|-------------|--------|----------|----------|---------|
| 90 | | $V/4$ | $1,66V'$ | V' | $0,6V'$ |
| 180 | | $V/2$ | $3V'$ | $1,8V'$ | V' |
| 270 | | $0,7V$ | $4,4V'$ | $2,66V'$ | $1,5V'$ |
| 360 | | V | $6V'$ | $3,5V'$ | $2V'$ |

Izvor: [3]

Osim ovih proračuna, u pripremi za misiju bliske zračne potpore, pilot mora pripremiti kartu područja provođenja operacije s koordinatnom mrežom, te frekvencije zemaljskih snaga s kojima će biti u kontaktu. Bilo bi poželjno da posada prije leta detaljno prouči područje djelovanja kako bi pronalaženje OD-a bilo što brže i lakše. Karta područja djelovanja prikazana je na slici 5.15.



Slika 5.15 Karta područja djelovanja - Udbina

6. NAVIGACIJSKA PRIPREMA BORBENOG LETA AVIONOM PC-9M

Navigacijska priprema leta uključuje rješavanje konkretnog navigacijskog zadatka, odnosno izračun i obradu svih parametara na ruti. Preduvjet za dobru pripremu je kvalitetno poznavanje teorijskih osnova koje su prikazane u dosadašnjem dijelu rada. Navigacijska priprema je temelj za uspješno, sigurno i točno izvođenje svih radnji i postupaka tijekom leta. Dijeli se na tri cjeline: opću, prethodnu i navigacijsku pripremu leta. [12]

6.1. OPĆA NAVIGACIJSKA PRIPREMA

Cilj opće navigacijske pripreme je opća priprema pilota za obavljanje navigacijskih letova u funkciji smanjenja vremena potrebnog za pripremu konkretnog leta. Odnosi se na opća načela vođenja navigacije i postupaka u letu, primjerice na procjenu navigacijskih elemenata, proračune napamet i sl. Provodi se kontinuirano i nije vremenski ograničena, a sastoji se od sljedećih elemenata: opće pripreme karte, proučavanja područja letenja i po mogućnosti preleta područja letenja. [12]

Svaki pilot mora imati adekvatno pripremljenu kartu. Mora izabrati vrstu karte, mjerilo, projekciju i sl. Za izvođenje borbenih letova često se koriste VFR karte mjerila 1:250000 ili 1:500000. Karta mora biti posložena na način da zauzima što manje prostora i da omogućuje pogled područja letenja. Ako je zrakoplov opremljen odgovarajućom navigacijskom opremom, opća priprema obuhvaća i sustavno provjeravanje i ažuriranje takve opreme. [12]

Važno je i da je svaki pilot upoznat s okruženjem matičnog aerodroma i područja u kojem se provode borbene zadaće, te sa svim specifičnostima tih područja kako bi se osiguralo brzo prepoznavanje orijentira što omogućuje jednostavnije održavanje orijentacije i brže određivanje SP-a. Postupak proučavanja područja letenja obuhvaća poznavanje osnovnih značajki i oblika orografije, poznavanje linijskih, prostornih i točkastih orijentira, poznavanje klimatoloških značajki u pojedinim godišnjim dobima, poznavanje položaja i visina alternativnih aerodroma, poznavanje minimalnih visina za nadvisivanje prepreka, poznavanje pozicija i frekvencija radio-navigacijskih uređaja i dr. [12]

Ukoliko je moguće dobro bi bilo nakon proučavanja područja letenja izvršiti i let iznad tog područja kako bi se ostvarila vizualizacija naučenih karakteristika područja letenja i karakterističnih orijentira iz perspektive visine. Ta je vizualizacija značajna za buduće letove jer osposobljava pilota da proučavanjem karte ili satelitskih snimaka stvori imaginarnu sliku leta onako kako će se on odvijati. [12]

6.2. PRETHODNA NAVIGACIJSKA PRIPREMA

Prethodnom navigacijskom pripremom osiguravaju se najpovoljniji uvjeti za uspješnu, preciznu i sigurnu provedbu konkretnog leta. Započinje odabirom rute i u pravilu se provodi dan prije ili na sam dan planiranog leta, a provodi se prema unaprijed definiranom postupku koji je vremenski ograničen do trenutka izvršne pripreme za let. Osim odabira rute, sastoji se i od definiranja profila leta, navigacijskih proračuna, upisivanja i ucrtavanja navigacijskih elemenata na kartu te poručavanja navigacijske rute. [12]

Odluka o odabiru rute je u ovlasti časnika koji izdaje zapovijed za zadaću. Odabir rute mora uvažavati elemente zadaće za let i vremenske prilike u području letenja. Ruta mora zadovoljiti veliki broj uvjeta: što manje trajanje leta uz što manje promjene kursa, najpogodniji smjer doleta na ulazna vrata područja u kojem se provodi zadaća, sigurnost u vođenju orijentacije u nepovoljnim meteorološkim uvjetima, mogućnost korištenja radio-navigacijskih sredstava u odlasku i povratku iz misije te sigurnost od protivničke PZO. Pri izboru rute leta potrebno je odabrati karakteristične orijentire za PTR, KTR, prekretni orijentir PO i KO. [2]

U konkretnom primjeru u ovom radu za borbeni let izabrana je ruta LDZD – Škabrnja – Pađene – Bruvno, te povratak Gornja Ploča – Poličnik – LDZD s polijetanjem iz Zračne luke Zadar, provođenjem zadaće bliske zračne potpore u području aerodroma Udbina i slijetanjem ponovno u Zračnu luku Zadar. Za točku kontakta, na kojoj se pilot mora javiti JTAC-u ili FAC-u kako bi dobio odobrenje za ulazak u područje provođenja operacije izabrano je mjesto Bruvno, a za izlazna vrata mjesto Gornja Ploča. Prikaz rute na satelitskoj snimci, kako bi se dobio osjećaj reljefa, nalazi se na slici 6.2, s ucrtanim područjem provođenja operacije i područjem OD-a. Etape dolazne i odlazne rute ucrtane na kartu s navigacijskim elementima leta prikazane su u poglavljima 6.4.1., 6.4.2. i 6.4.3.

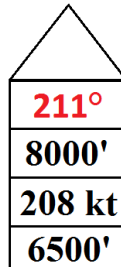
Profil leta podrazumijeva određivanje visine leta po ruti po pojedinim etapama te je isto kao i izbor rute u nadležnosti časnika koji planira operaciju. Visina leta je sigurnosni čimbenik leta i u odnosu na reljef i meteorološku situaciju, i u odnosu na protivničke snage. Iz tog razloga profil leta treba odrediti s obzirom na prirodu zadaće, reljef, meteorološku situaciju, mogućnost korištenja radio-navigacijskih sredstava i taktički radijus zrakoplova. Idealno odabran profil leta osigurava sigurnost leta u odnosu na reljef, prikriveni let od radarskog motrenja protivnika na najvećem dijelu rute, te sigurnost od djelovanja PZO protivnika. [2]

Za visinu prve dvije etape Škabrnja – Pađene i Pađene – Bruvno odabrana je visina brišućeg leta, odnosno do 300 ft iznad terena prvenstveno zbog osiguravanja efekta iznenađenja. Visinu u području provođenja operacije od ulaznih do izlaznih vrata određuje JTAC ili FAC. Za visinu povratka od Gornje Ploče do aerodroma odabrana je visina 8000 ft QNH.

Navigacijski proračuni najvažniji su sadržaj prethodne navigacijske pripreme leta. Oni trebaju obuhvatiti sve navigacijske elemente kao što su kurs leta, duljina etapa, PVD na orijentire ovisno o planiranom vremenu polijetanja i predviđenom brzinom leta, te proračun potrebne količine goriva. [12] Navigacijski plan leta se za namjenske zadaće uglavnom ne popunjava.

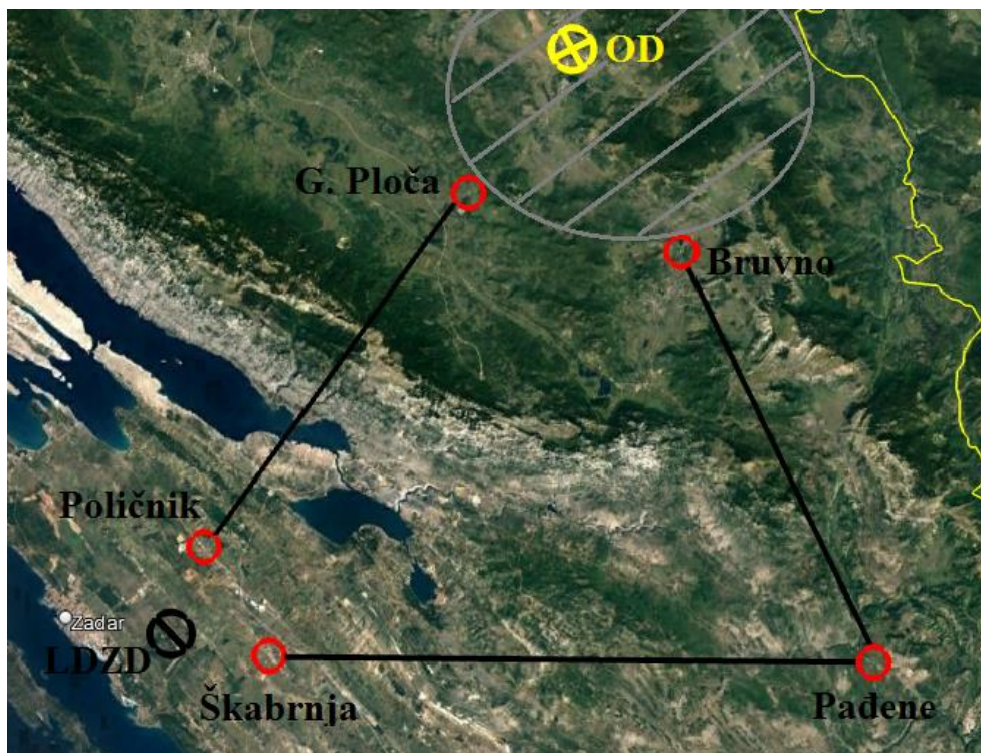
, Karta je pripremljena za let kada je na njoj ucrtana ruta s pripadajućim orijentirima i elementima na svim etapama. Crtanje karte započinje označavanjem PTR KTR i PO crvenim kružnicama te zatim spajanjem tih kružnica linijama koje označavaju ZCP. Na KO se ucrtavaju linije 1 i 2 NM lijevo i desno od ZCP-a koje pomažu u određivanju SP prilikom kontrole puta po pravcu. Na njima se upisuje unaprijed određen kut bočnog skretanja s rute, kojeg određujemo pomoću formule (1). Zatim se na početku svake etape ucrtava kućica u koju se upisuju kurs, visina, brzina na visini i minimalna sigurnosna visina. Brzina na visini se računa na način da se za svakih 1000 ft visine oduzmu 4 kt od namjeravane putne brzine. U konkretnom slučaju, ako je potrebno održavati putnu brzinu 240 kt, na visini 8000 ft mora se održavati instrumentalna brzina 208 kt. Primjer kućice prikazan je na slici 6.1. U slučaju brišuće etape kućica ima samo dva kata, odnosno samo kurs i minimalnu sigurnosnu visinu. Nakon toga potrebno je ucrtati minutnu podjelu za cijelu rutu (za brzinu 240 kt za 1 min avion prijeđe 4 NM). Podjela započinje na PTR-u, a završava na KTR-u. Na prekretnim orijentirima i na KTR-u upisuju se PVD. Otprilike svakih 10 minuta potrebno je provjeriti količinu goriva,

pa se otprilike svakih 40 NM ucrtava kružnica u koju se upisuju planirano preostalo gorivo i minimalno potrebno gorivo za izvršenje rute do kraja. Prije i poslije svakog PO-a, te PTR-a i KTR-a izvode se provjere kursa, visine, brzine i vremena, tzv. HAAT provjere (eng. Heading, Altitude, Airspeed, Time - HAAT). [5]



Slika 6.1 Kućica za upisivanje na karti [5]

Nakon pripremljene karte potrebno je proučiti rutu u cjelosti i pokušati zapamtiti neke karakteristike koje će kasnije u letu pomoći u vođenju opće i detaljne orijentacije. Poželjno je da se za svaku etapu rute prouči bočni pojas u širini 30 % dužine etape da bi se uočili i identificirali karakteristični orijentiri i specifičnosti reljefa. Dobro je odrediti znakovite linijske orijentire i pravce njihova pružanja u odnosu na ZCP. Potrebno je također i detaljno proučiti izgled i karakteristike naseljenih mjesta jer su ona važni i dobro uočljivi prostorni ili točkasti orijentiri. [12]

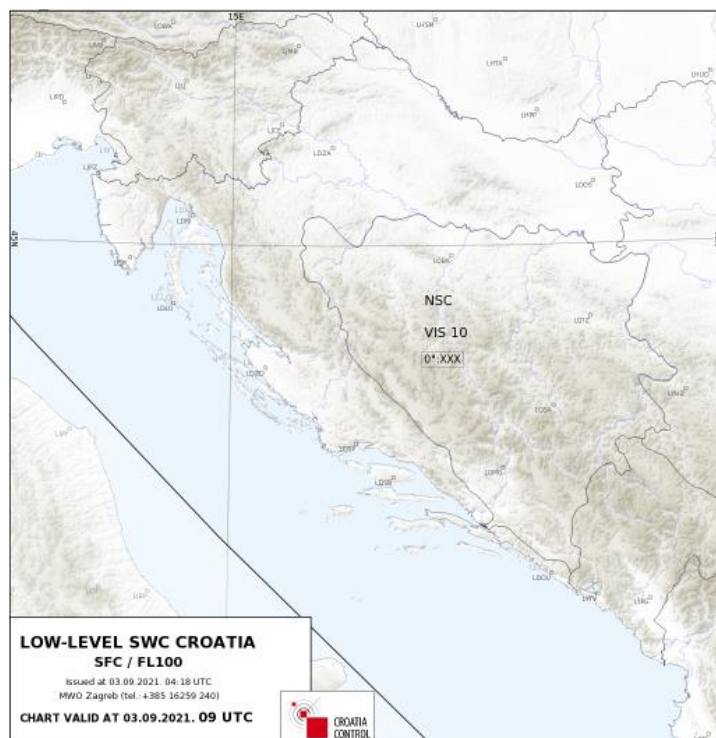


Slika 6.2 Navigacijska ruta

6.3. IZVRŠNA NAVIGACIJSKA PRIPREMA

Izvršna priprema provodi se neposredno prije leta na osnovi elemenata prethodne pripreme, s ciljem da se u obzir uzmu oni elementi i specifičnosti koji ranije nisu bili poznati. U prvom redu to je meteorološka situacija, ali može biti i kašnjenje u polijetanju zbog nekih organizacijskih razloga. Svi ti elementi mogu bitno utjecati na plan leta pa se za izvršnu pripremu treba ostaviti dovoljno vremena. [12]

Za konkretni let iz ovog rada izabran je dan 3. rujan 2021. Uvidom u meteorološku kartu Hrvatske kontrole zračne plovidbe za taj dan od 09:00 sati po srednjeeuropskom vremenu, a koja je prikazana na slici 6.3, vidljivo je da je vrijeme taj dan povoljno, bez značajnije naoblake, s vidljivošću od preko 10 km, te ne utječe na izvršenje zadaće.



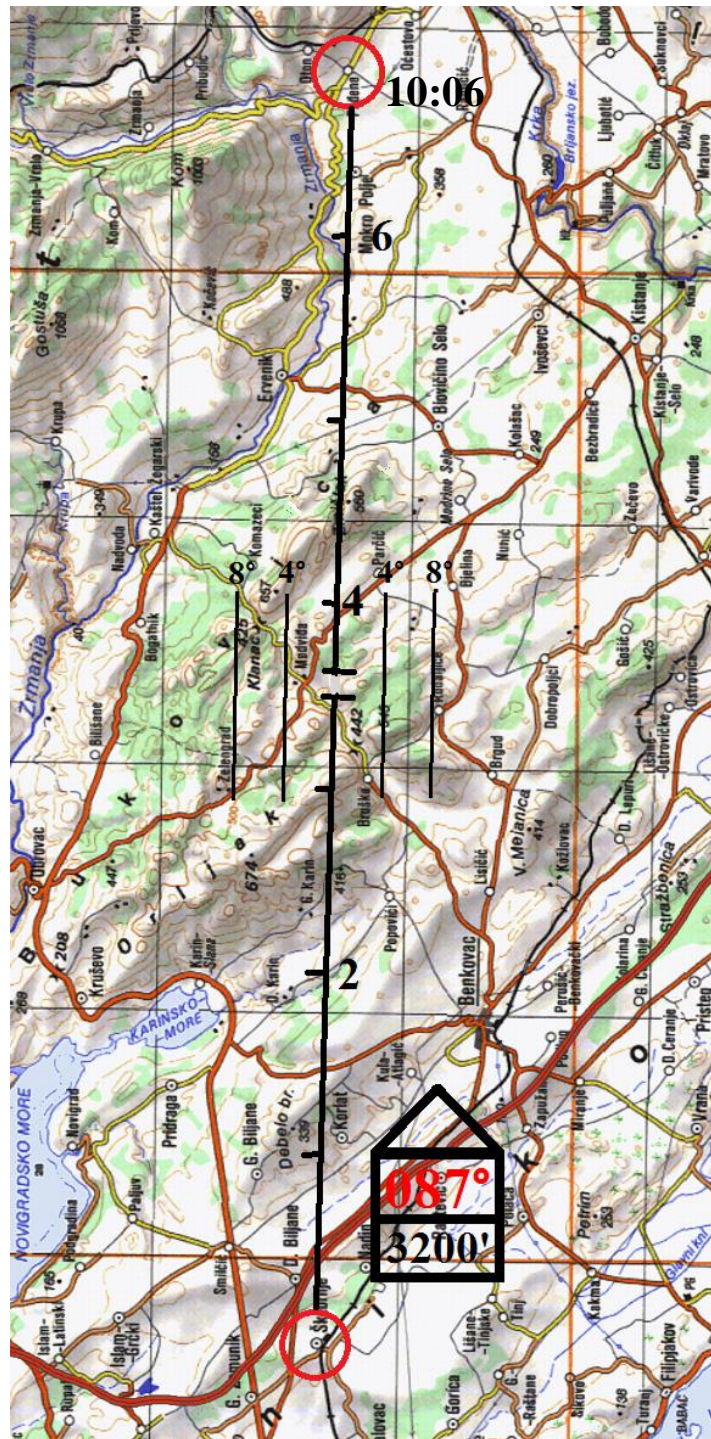
Slika 6.3 Karta vremenskih prilika na dan 03.09.2021. u 09:00
Preuzeto sa: <https://met.crocontrol.hr/en/web/guest/swl-chart/archive>
[Pristupljeno: rujan 2021.]

6.4. ETAPE RUTE S ELEMENTIMA LETA

Odlazna ruta prema području djelovanja sastoji se od dvije etape: Škabrnja – Pađene i Pađene – Bruvno, dok se povratna ruta prema Zemuniku sastoji od jedne etape Gornja Ploča –

Poličnik. Predviđeno vrijeme javljanja zemaljskim snagama na točki kontakta Bruvno je 10:12 po lokalnom vremenu (LT) pa shodno tome treba odrediti vrijeme polijetanja.

6.4.1. Etapa Šabrnja – Pađene



Slika 6.4 Etapa Šabrnja – Pađene

Prva etapa leta od Škabrnje, koja je PTR, do Pađena duga je 28 NM, a prikazana je na slici 6.4. Putna brzina koju avion održava je 240 kt, što znači da tu udaljenost prijeđe za 7 minuta (4 NM po minuti). PTR je od aerodroma polijetanja udaljen 4 NM, te je Pilatusu potrebno 1,5 minuta za polijetanje i let do PTR-a. S obzirom na vrijeme javljanja u Bruvnu, vrijeme polijetanja mora biti 09:58 LT. Na PTR-u avion mora biti u 9 sati 59 minuta i 30 sekundi, a na PO-u Pađene u 10 sati 6 minuta i 30 sekundi. Visina leta na etapi iznosi 300 ft iznad terena, a pravac leta je 087°. Minimalna sigurnosna visina od 1000 ft iznad najviše prepreke na etapi iznosi 3200 ft. Za kontrolni orijentir na ovoj etapi izabrano je mjesto Medviđa, udaljeno 15 NM od PTR-a. Kutevi zanošenja na bočnoj udaljenosti 1 i 2 NM od KO iznose 4° i 8°.

S obzirom da se radi o brišućoj etapi, dobro je izraditi i profil leta na etapi koji je prikazan na slici 6.5. To je shema presjeka visina terena po ZCP-u. Na profilu leta je moguće uočiti reljefne prepreke i odrediti početak preskakanja, odnosno manevra za zaobilazanje, te odrediti veličinu promjene kursa za obilazak prepreke, vrijeme trajanja leta u paralelnom kursu i orijentir za povratak na ZCP. [4]



Slika 6.5 Profil leta prve etape

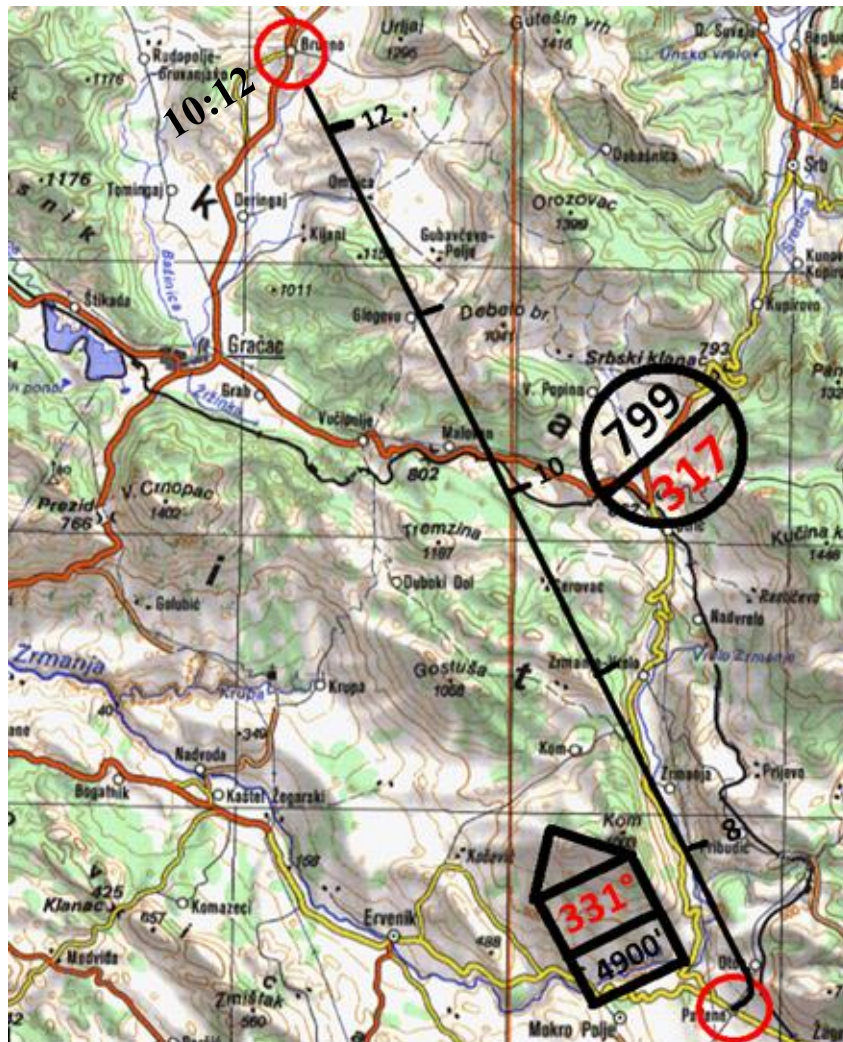
6.4.2. Etapa Pađene – Bruvno

Druga etapa borbenog leta je između Pađena i Bruvna, koje je KTR, a ujedno i točka kontakta. Etapa je dugačka 22 NM, uključujući i radijus oštrog zaokreta iznad Pađena, kojim se mijenja pravac leta za novu etapu. Pravac leta je 331°, a visina je opet 300 ft iznad terena. Zbog toga se ponovno izrađuje profil nadmorske visine koji je prikazan na slici 6.6. Minimalna sigurnosna visina na ovoj etapi je 4900 ft. Brzina leta ista je kao i na prethodnoj etapi, 240 kt, pa je vrijeme trajanja etape 5,5 minuta. To znači da je PVD na KTR-u Bruvno točno 10 sati i 12 minuta, kako je i zadano. Zbog toga što je vrijeme leta na ovoj etapi manje od 6 minuta, nema kontrolnih orijentira, jer se oni u pravilu za tako kratke dionice ne uzimaju. Na otprilike polovici etape, u desetoj minuti leta od PTR-a ucrtana je provjera goriva.

Proračunata vrijednost preostalog goriva, ako se polijeće s punim tankovima iznosi 799 lb. Minimalna potrebna količina goriva za slijetanje, uz uračunatu alternaciju, iznosi 317 lb, a odnosi se na direktan let od Bruvna do Gornje Ploče i natrag prema Poličniku, bez rada u zoni operacije. Prikaz druge etape na karti s elementima etape nalazi se na slici 6.7.



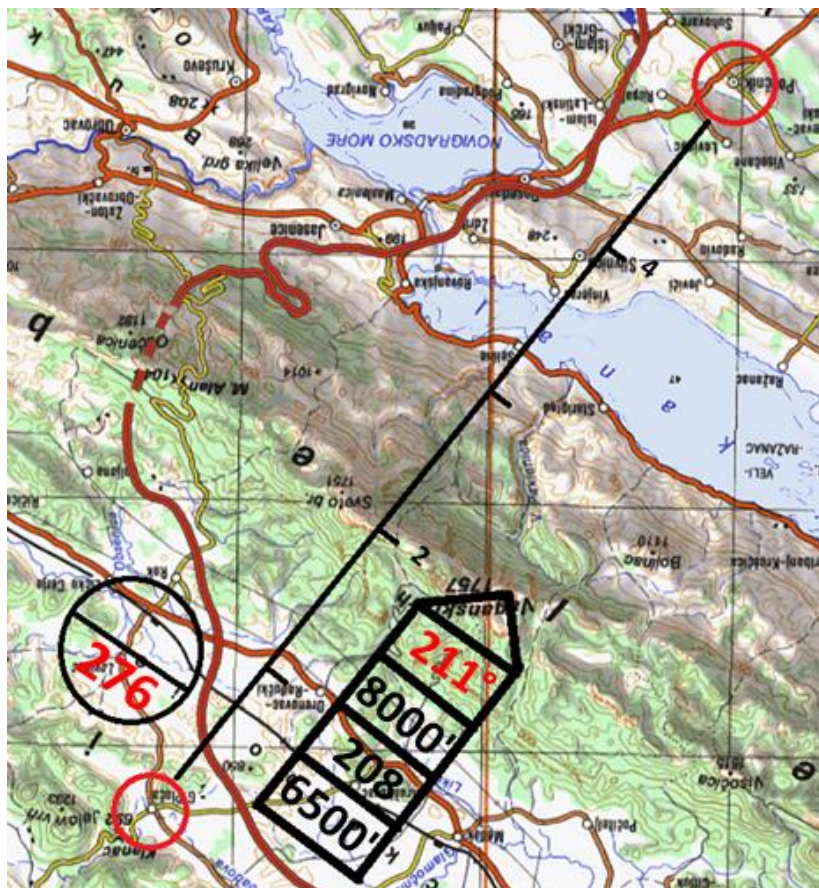
Slika 6.6 Profil leta druge etape



Slika 6.7 Etapa Padene – Bruvno

6.4.3. Etapa Gornja Ploča – Poličnik

Vrijeme trajanja leta u području Udbine nije poznato, iz razloga što nije moguće pretpostaviti koliko vremena će avion morati čekati za napad, koliko napada će odraditi i sl. Sve to ovisi o taktičkoj situaciji na zemlji i snagama kojima se pruža vatrena potpora. Zbog toga nije moguće odrediti vrijeme dolaska iznad Gornje Ploče, pa niti PVD na KTR-u Poličnik. Međutim zna se da je etapa dugačka 20 NM, pa će putnom brzinom 240 kt avionu trebati 5 minuta za let. Da bi avion letio putnom brzinom od 240 kt, na visini etape, koja je 8000 ft, mora se održavati instrumentalna brzina od 208 kt. Minimalna sigurnosna visina na etapi iznosi 6500 ft, što znači da nije potrebno brinuti za nadvišavanje prepreka. Kurs leta na povratnoj etapi prema aerodromu slijetanja je 211°. Ova je etapa prikazana na slici 6.8. Zbog kratke duljine etape, ponovno nema kontrolnih orijentira. Minimalno gorivo potrebno za let do aerodroma u Zemuniku je već ranije izračunato, u poglavlju 5.5., a iznosi 276 lb. Vrijednost goriva koja treba ostati u spremnicima iznad Gornje Ploče ne može se proračunati, opet zbog toga što nije poznato vrijeme zadržavanja u samoj misiji bliske zračne potpore.



Slika 6.8 Etapa Gornja Ploča – Poličnik

6.5. IZRAČUN TR-a ZA KONKRETNU ZADAĆU

Za prethodno navedenu rutu leta u misiji bliske zračne potpore u području aerodroma na Udbini, potrebno je u pripremi proračunati taktički radijus, kako bi se potvrdilo da izabrani avion, Pilatus PC-9M može odraditi postavljenu zadaću. Proračun započinje izborom rute i profila leta. Kako je već navedeno, ruta leta je Škabrnja – Pađene – Bruvno – Udbina – Gornja Ploča – Poličnik. Do Udbine leti se na visini 300 ft iznad terena, a nakon Udbine na visini 8000 ft.

Sukladno općem algoritmu proračuna TR-a prvo se mora odrediti raspoloživa količina goriva za HL po jednadžbi (10). Kao i u poglavlju 4.2.1. koeficijenti K i K_I iznose 1 i 0,95, a količina goriva u avionu koja preostaje nakon oduzimanja tehničkog ostatka i potrošnje za rad motora na zemlji iznosi 694 lb, računajući da su spremnici bili do vrha puni. Po tablici potrošnje goriva, zbroj količine goriva potrebnog za polijetanje, penjanje, spuštanje, razlaz, slijetanje i 1 školski krug iznosi ukupno 102,9 lb. U području operacije ne može se precizno odrediti utrošak goriva, budući da se ne može pretpostaviti kakva će biti taktička situacija na terenu pa shodno tome ni koliko dugo će avion biti u *wheel*-u te koliko napada će odraditi. U poglavlju 6.4.2. prikazan je podatak da će avion u desetoj minuti leta u spremnicima imati 799 lb goriva. Do točke kontakta iznad Bruvna, potrošit će se još 21 lb goriva, tako da će u spremnicima biti 778 lb. *Bingo fuel* iznosi 276 lb, kako je proračunato u poglavlju 5.5. To znači da je maksimalna količina goriva koju je moguće potrošiti za manevre u području objekta djelovanja 502 lb. Za manevre u području OD-a uzima se, zbog sigurnosti 400 lb. Kada se ta količina goriva pribroji ukupnoj količini goriva potrebnog za polijetanje, penjanje, spuštanje, razlaz, slijetanje i 1 školski krug, dobije se količina od 502,9 lb. Uvrštavanjem svih poznatih podataka u izraz (10), dobije se C_{gh} 156,4 lb.

Izrazom (11) određuje se zbroj dijelova puta u kojem se avion približava Udbini, a on iznosi 64 NM. U povratku od područja djelovanja zbroj dijelova puta računa se po izrazu (12) i iznosi 33 NM.

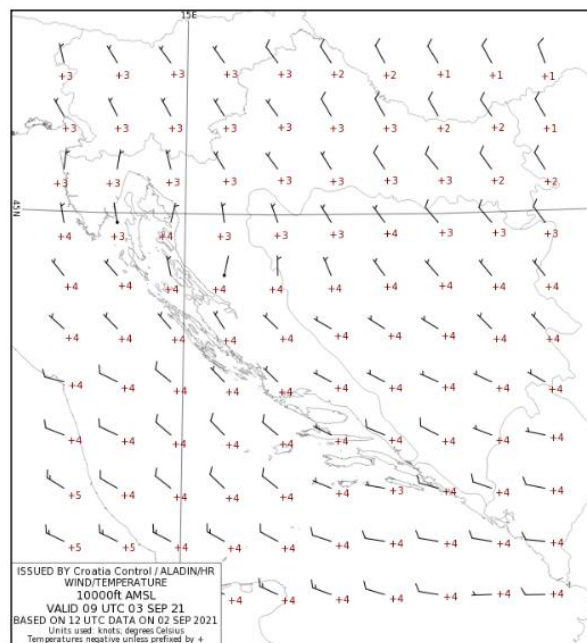
Zbroj potrošnje goriva na svim zadanim horizontalnim dijelovima leta za ovu rutu iznosi, po tablici potrošnje goriva, 134,8 lb. Srednja potrošnja goriva po prijednom putu za odlazne etape iznosi 2,1 lb/NM, a za etapu povratka na aerodrom polijetanja 1,56 lb/NM.

Uvrštavanjem svih potrebnih i poznatih podataka u izraz (16), izračuna se taktički radijus za ovu konkretnu zadaću, a on iznosi 57 NM, što znači da je ukupna duljina koju

Pilatus PC-9M u ovoj zadaći može prijeći 114 NM. Ukupna duljina rute od Zračne luke Zadar do aerodroma Udbina i natrag iznosi 96 NM. Iz toga proizlazi da je avion Pilatus PC-9M u mogućnosti pružiti zračnu potpru prijateljskim snagama u zoni Udbine, letom po zadanoj ruti zadanim visinama i putnom brzinom leta.

6.6. ODREĐIVANJE TOČKE POVRATKA ZA KONKRETNU RUTU

Kako je navedeno u poglavlju 4.3.2., točka povratka određuje se za rute na kojima se prelijeće s jednog aerodroma na drugi. Kako to kod ranije navedene zadane rute nije slučaj, točku povratka odredit ćemo prema alternativnom aerodromu slijetanja, a to je aerodrom najbliži zadanoj ruti – Zračna luka Split u Kaštelima. Ona se može iskoristiti u slučaju izvanrednog događaja na prvoj etapi rute, kojoj je najbliža. Na preostale dvije etape, uz bilo kakav vjetar, najbliža je Zračna luka Zadar.

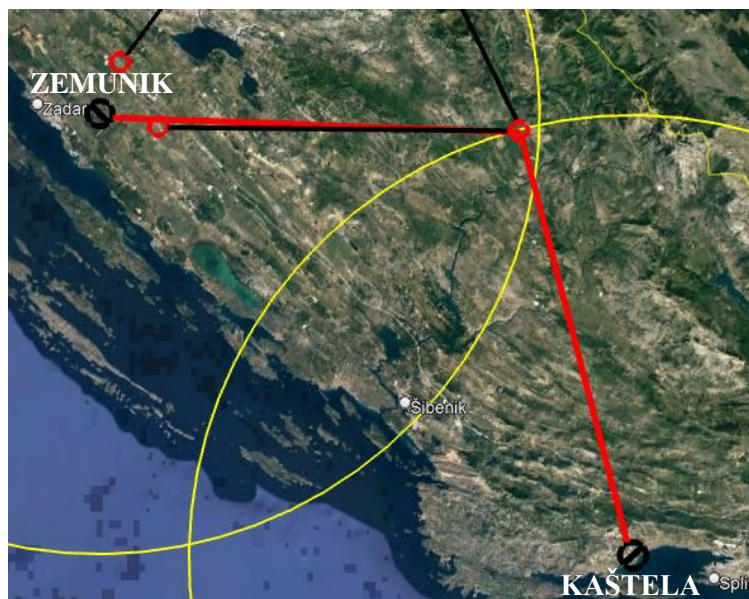


Slika 6.9 Karta vjetra 03.09.2021. u 09:00

Preuzeto sa: <https://met.crocontrol.hr/en/web/guest/23> [Pristupljeno: rujan 2021.]

Za određivanje TPv-a potrebno je poznavati putne brzine kojima će avion letjeti prema jednom ili drugom aerodromu. U slučaju Pilatusa PC-9M i konkretne rute ta je brzina 240 kt, no tu nije uračunat utjecaj vjetra. Točka povratka važna je u izvanrednim situacijama, kada je

došlo do otkaza ili kvarova nekih zrakoplovnih sustava, kako bi pilot mogao odlučiti koji mu je aerodrom bliži za slijetanje. U izvanrednim situacijama poželjno je da je visina leta što veća, jer je time i dolet zrakoplova veći. Zbog toga je za izračun utjecaja vjetra odabrana karta smjera i jačine vjetra na visini 10000 ft, od dana 3. rujna 2021. od 09:00, a koja je prikazana na slici 6.9. Brzina aviona na toj visini za održavanje putne brzine 240 kt, je 200 kt. Iz slike 6.9 proizlazi da je na području rute vjetar jačine 5 kt iz smjera 310° . Kurs povratka s rute na prvoj etapi prema aerodromu u Zemuniku je 280° , što znači da je vjetar čeon, a upadni kut vjetra je 30° . Putna brzina prema tome iznosi 196 kt. Kurs koji od prve etape zadane rute vodi prema aerodromu u Kaštelima je 160° . U tom je slučaju izražena ledna komponenta vjetra, upadnog kuta 30° . Putna brzina je stoga 204 kt. Vrijeme leta od TPv-a do Zemunika brzinom 196 kt, mora biti jednako vremenu leta od TPv-a do Kaštela brzinom 204 kt, kako nalaže izraz (20). Daljina D_{pr} alternativne rute od Zemunika preko Pađena do Kaštela iznosi 67 NM, a na slici 6.10 prikazana je crvenom linijom. Stoga se preko formule (20) može odrediti X koji iznosi 34,17 NM. To znači da je TPv udaljena 34,17 NM od oba aerodroma, a kako je prikazano na slici 6.10 sjecištem dviju žutih kružnica s ishodištima na aerodromima Zemunik i Kaštela, istočno od Pađena.



Slika 6.10 Određivanje TPv za konkretnu rutu

Iz slike 6.10 se dakle može zaključiti kako je u slučaju bilo kakvog izvanrednog događaja tijekom leta po ruti, na prvoj etapi, dana 3. rujna 2021. najbolje izvršiti povratak direktno u Zračnu luku Zadar, jer se na taj dan, uz vjetar sa slike 6.9, točka povratka ne nalazi na zadanoj ruti, već na alternativnoj ruti prema Splitu. Splitski aerodrom za ovaj konkretni let koristit će se dakle samo u slučaju nemogućnosti slijetanja u Zadar.

7. ZAKLJUČAK

Obučavanje i uvježbavanje pilota za misiju bliske zračne potpore izuzetno je zahtjevan posao, jer obuhvaća jako puno elemenata na koje piloti trebaju obratiti pažnju, a zbog velikih brzina djelovanja za to nemaju mnogo vremena. Zbog toga je važno na zemlji prije polijetanja napraviti temeljitu pripremu, kako bi borbeni let prošao uspješno i na sigurnosno zadovoljavajućoj razini.

Poznavajući performanse aviona Pilatus PC-9M, lako je proračunati elemente i odrediti norme za djelovanje po ciljevima na zemlji. Te norme pilotima nije problem naučiti napamet kako bi uvijek mogli uspješno napadati zadane objekte. Osim samih normi za napade, u misijama bliske zračne potpore piloti moraju odlično poznavati i procedure koje se koriste u takvim misijama, kako bi pronalazak objekta djelovanja bio što brži, a napad što precizniji.

Također, potrebno je poznavati i navigacijske odrednice kako bi zrakoplov sigurno i na vrijeme, po predviđenoj ruti, stigao do područja provođenja operacije i natrag do aerodroma polijetanja.

U ovom radu prikazani su i proračunati svi elementi potrebni za uspješno izvršenje leta, od taktičkog radijusa, preko napada na ciljeve na zemlji, goriva, radijusa i vremena trajanja zaokreta, do pripreme karte s odlaznim i povratnim rutama, te ucrtavanjem svih potrebnih podataka na kartu.

Poznavajući sve prethodno navedeno, posade zrakoplova povećavaju preciznost, šanse za uspješno izvršenje leta, te sigurnost letenja, a smanjuje im se i vrijeme potrebno za pripremu leta što posljedično smanjuje potrebno vrijeme reakcije ukoliko posada čeka na izvršenje borbene zadaće u uvjetima stvarne ugroze iz pripravnosti na zemlji.

LITERATURA

- [1] Grozdanić B. Taktička navigacija II. dio. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2002.
- [2] Grozdanić B, Hegeduš M. Zrakoplovna navigacija I. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 1995.
- [3] Grozdanić B. Taktička navigacija I. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 1999.
- [4] Mostarac N. Primijenjena teorija navigacijskoga letenja na PC-9. Zagreb: Hrvatsko ratno zrakoplovstvo i protuzračna obrana; 2007.
- [5] Pilatus Aircraft Ltd. Student Pilot's Training Manual. Stans; 1998.
- [6] Vučković Ž. Taktika HRZ i PZO 2. Zagreb: Ministarstvo obrane Republike Hrvatske, 2007.
- [7] Vlada RH. Pravilnik o letenju vojnih zrakoplova. Zagreb: Narodne novine; 2016.
- [8] Pilatus Aircraft Ltd. Aircraft Flight Manual Croatia. Stans; 1998.
- [9] Joint Chiefs of Staff, Joint Publication 3-09.3, Close Air Support, 2014.
- [10] NATO Allied tactical publication, NATO Standard ATP 3.3.2.1., Tactics, techniques and procedures for close air support and air interdiction, Edition D, Version 1, 2019.
- [11] Zarić V. Osnove konstrukcije zrakoplovnog naoružanja sa gađanjem, raketiranjem i bombardiranjem. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 1997.
- [12] Novak D. Zrakoplovna računska navigacija. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2012.

POPIS KRATICA

| | |
|------|---|
| BOC | (Bomb On Coordinate) Sredstvo na koordinate |
| BOT | (Bomb On Target) Sredstvo na metu |
| BP | (Battle position) Točka početka napada |
| BS | Bočno skretanje |
| BS° | Kutno zanošenje |
| CAS | (Close Air Support) Bliska zračna potpora |
| CK | Crta kursa |
| FAC | (Forward Air Controller) Prednji zračni kontrolori |
| HL | Horizontalni let |
| IK | Ispravka kursa |
| IP | (Initial Point) Početna točka manevra napada |
| JTAC | (Joint Terminal Attack Controller) Združeni terminalni kontrolor napada |
| KO | Kontrolni orijentir |
| KTR | Krajnja točka rute |
| LT | (Local Time) Lokalno vrijeme |
| OAT | (Outside Air Temperature) Vanjska temperatura zraka |
| OD | Objekt djelovanja |
| PO | Prekretni orijentir |
| PTR | Početna točka rute |
| PUP | (Pull-Up Point) Točka iskakanja |
| PVD | Proračunato vrijeme dolaska |
| PZO | Protuzračna obrana |
| QNH | Tlak zraka na srednjoj visini mora |
| SCP | Stvarna crta puta |
| SP | Stvarna pozicija |
| SVD | Stvarno vrijeme dolaska |
| TP | (Turn Point) Točka zaokreta |
| TPM | Točka početka manevra |
| TPv | Točka povratka |
| TR | Taktički radijus |
| ZCP | Zadana crta puta |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 2.1 Vrste borbenog osiguranja | 4 |
| Slika 2.2 Navigacijsko osiguranje borbenog djelovanja zrakoplova | 5 |
| Slika 2.3 Shema manevra brzinom..... | 8 |
| Slika 2.4 Manevri za kompenzaciju viška vremena | 10 |
| Slika 2.5 Vrijeme motrenja objekta..... | 13 |
| Slika 2.6 Shema daljine uočavanja, daljine raspoznavanja i horizontalne udaljenosti od objekta djelovanja | 14 |
| Slika 2.7 Kutevi viziranja iz kabine PC-9M | 15 |
| Slika 3.1 Vizura s visine brišućeg letenja..... | 18 |
| Slika 3.2 Ovisnost vjerojatnosti otkrivanja i udara u zemlju | 21 |
| Slika 4.1 Ovisnost opterećenja nosivog tereta na čeonu otpor..... | 26 |
| Slika 4.2 Promjenjivi profil leta zrakoplova prilikom izvršenja zadaće | 28 |
| Slika 4.3 TR s visine brišućeg leta | 32 |
| Slika 4.4 Dijagram snage za najbolji dolet..... | 33 |
| Slika 4.5 Dijagram najboljeg specifičnog doleta..... | 34 |
| Slika 5.1 Devet-linijski obrazac | 38 |
| Slika 5.2 Primjer ograničenja po visini i području..... | 40 |
| Slika 5.3 Shema napada iz brišućeg leta s iskakanjem | 42 |
| Slika 5.4 Napad iz HL..... | 43 |
| Slika 5.5 Napad iz poniranja | 43 |
| Slika 5.6 Kosi hitac | 45 |
| Slika 5.7 Okomiti hitac..... | 46 |
| Slika 5.8 Okomiti hitac preko ramena..... | 46 |
| Slika 5.9 Shema iskakanja aviona | 47 |
| Slika 5.10 Orijentir uvođenja u poluprevrtanje | 49 |
| Slika 5.11 Shema poniranja s napadom na cilj i vađenjem | 50 |
| Slika 5.12 Zaokret pri iskakanju pod 45° u stranu | 53 |
| Slika 5.13 Udaljenost točke iskakanja od mete pri iskakanju pod 45° u stranu..... | 53 |
| Slika 5.14 Shema iskakanja na školskom poligonu | 54 |
| Slika 5.15 Karta područja djelovanja - Udbina | 57 |
| Slika 6.1 Kućica za upisivanje na karti | 61 |
| Slika 6.2 Navigacijska ruta..... | 61 |
| Slika 6.3 Karta vremenskih prilika na dan 03.09.2021. u 09:00..... | 62 |
| Slika 6.4 Etapa Škabrnja – Pađene | 63 |
| Slika 6.5 Profil leta prve etape | 64 |
| Slika 6.6 Profil leta druge etape | 65 |
| Slika 6.7 Etapa Pađene – Bruvno | 65 |
| Slika 6.8 Etapa Gornja Ploča – Poličnik | 66 |
| Slika 6.9 Karta vjetra 03.09.2021. u 09:00..... | 68 |
| Slika 6.10 Određivanje TPv za konkretnu rutu | 69 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Proračun napamet daljine uočavanja pomoću kuta viziranja i visine leta zrakoplova | 14 |
| Tablica 2. Određivanje napamet horizontalne udaljenosti od objekta pomoću kuta viziranja i visine leta zrakoplova..... | 15 |
| Tablica 3. Visine uočavanja i raspoznavanja različitih objekata izviđanja..... | 16 |
| Tablica 4. Prikaz radijusa zaokreta u NM u ovisnosti o nagibu i brzini aviona..... | 56 |
| Tablica 5. Proračun napamet vremena trajanja zaokreta na temelju stupnjeva skretanja, nagiba i brzine aviona | 56 |

POPIS JEDNADŽBI

| | |
|---|----|
| (1) Jednadžba za kutno zanošenje | 6 |
| (2) Razlika vremena doleta | 8 |
| (3) Jednadžba vremena trajanja manevra brzinom | 9 |
| (4) Jednadžba duljine manevra brzinom | 9 |
| (5) Jednadžba vremena osmatranja | 13 |
| (6) Jednadžba daljine uočavanja objekta | 13 |
| (7) Jednadžba daljine raspoznavanja objekta | 14 |
| (8) Jednadžba za kutnu brzinu primicanja objekta | 20 |
| (9) Jednadžba za minimalnu visinu leta zrakoplova | 21 |
| (10) Jednadžba raspoložive količine goriva za HL | 27 |
| (11) Zbroj dijelova puta prema OD-u | 28 |
| (12) Zbroj dijelova puta u povratku od OD-a | 28 |
| (13) Horizontalni dio rute prema OD-u | 28 |
| (14) Horizontalni dio rute u povratku od OD-a | 28 |
| (15) Jednadžba raspoložive količine goriva za horizontalan let – opći algoritam | 29 |
| (16) Jednadžba za izračuntaktičkog radijusa zrakoplova – opći algoritam | 29 |
| (17) Jednadžba za srednju potrošnju goriva | 30 |
| (18) Jednadžba za izračun taktičkog radijusa preko srednje potrošnje goriva | 31 |
| (19) Jednadžba za izračun taktičkog radijusa preko srednjeg doleta | 31 |
| (20) Jednadžba za izračun točke povratka | 35 |
| (21) Jednadžba za visinu iskakanja | 47 |
| (22) Jednadžba za daljinu iskakanja | 48 |
| (23) Jednadžba za visinu uvođenja u poniranje | 50 |
| (24) Jednadžba gubitka visine pri uvođenju u poniranje | 50 |
| (25) Polumjer kružnice uvođenja u poniranje | 50 |
| (26) Jednadžba gubitka visine u poniranju | 51 |
| (27) Jednadžba daljine prekida paljbe | 51 |
| (28) Polumjer kružnice vađenja iz poniranja | 52 |
| (29) Jednadžba gubitka visine pri vađenju iz poniranja | 52 |
| (30) Jednadžba minimalne visine opaljenja | 52 |
| (31) Jednadžba radijusa zaokreta | 55 |
| (32) Jednadžba opterećenja zrakoplova u zaokretu | 56 |
| (33) Jednadžba vremena trajanja zaokreta za bilo koji broj stupnjeva | 56 |



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.

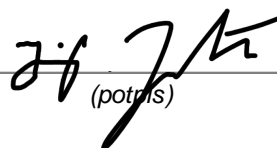
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom **Taktički navigacijski postupci avionom Pilatus PC-9M u misiji**
bliske zračne potpore

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

U Zagrebu, _____ 06. rujna 2021.

Student/ica:


(potpis)