

Proračun elemenata proceduralnih i osnovnih zaokreta

Jovanović, Laura

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:310486>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Laura Jovanović

PRORAČUN ELEMENATA PROCEDURALNIH I OSNOVNIH ZAOKRETA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2020.

Zagreb, 26. ožujka 2020.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5651

Pristupnik: **Laura Jovanović (0135250066)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Pilot**
Usmjerenje: **Civilni pilot**

Zadatak: **Proračun elemenata proceduralnih i osnovnih zaokreta**

Opis zadatka:

Uvod. Metodologija i standardi konstruiranja proceduralnih zaokreta u segmentu početnog prilaženja. Izrada proceduralnih zaokreta na definiranom preletištu za proceduru prilaženja. Trigonometrijska metoda rješavanja navigacijskog trokuta vjetra. Proračun kuta ispravke i putanje leta zrakoplova A i B kategorije u proceduralnim zaokretima. Praktička provjera proceduralnih zaokreta u simulatoru. Zaključak.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

prof. dr. sc. Doris Novak

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

PRORAČUN ELEMENATA PROCEDURALNIH I OSNOVNIH ZAOKRETA

CALCULATION OF PROCEDURE AND BASE TURNS' ELEMENTS

Mentor: prof. dr. sc. Doris Novak

Student: Laura Jovanović

JMBAG: 0135250066

Zagreb, rujan 2020.

SAŽETAK

Instrumentalni letni postupci su značajan dio instrumentalnog letenja. Svaki dio leta je točno propisan i piloti se toga trebaju pridržavati. U ovom radu, detaljno je opisan povratni postupak, manevar koji se izvodi u postupku instrumentalnog prilaznja za slijetanje na instrumentalno opremljenoj zračnoj luci. Proračuni se temelje na određenim povratnim postupcima propisanim na instrumentalnim prilaznim kartama zračnih luka Pula, Rijeka i Zagreb. Teorijski proračun elemenata u svim vrstama povratnog postupka je napravljen u skladu s već određenim formulama i zadanim parametrima. Praktični dio proračuna odrađen je u trenažeru leta s jednakim uvjetima i parametrima. Važno je napomenuti da je proračun izveden bez i s utjecajem vjetra. Nad rezultatima je napravljena usporedba i vidljiva su odstupanja.

KLUČNE RIJEČI:

postupak instrumentalnog prilaznja, povratni postupak, proceduralni zaokret, osnovni zaokret, utjecaj vjetra

SUMMARY

Instrument flight procedures are a significant part of instrument flying. Every segment of flight is exactly prescribed and pilots must adhere to that. In this paper, reversal procedure is described in detail, maneuver which is performed in instrument approach procedure in order to land at instrument-equipped airport. Calculations are based on determined reversal procedures prescribed on instrument approach charts for airports Pula, Rijeka and Zagreb. Theoretical calculation of elements in all types of reversal procedures is made in accordance with already determined formulas and fixed parameters. Practical part of calculation was done in a flight trainer with equal conditions and parameters. It is notable to mention the calculation is made with and without wind effect. The comparison has been made over the results and deviations are visible.

KEYWORDS:

instrument approach procedure, reversal procedure, procedure turn, base turn, wind effect

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Instrumentalni letni postupci	3
3. Postupak instrumentalnog prilaženja	4
3.1 Dolazni segment.....	6
3.2 Segment početnog prilaženja	6
3.3 Segment međuprilaženja.....	6
3.4 Segment završnog prilaženja	7
3.5 Segment neuspjelog prilaženja	7
4. Povratni postupak	8
4.1 Konstrukcija prostora u segmentu početnog prostora	9
4.2 Proceduralni zaokret	11
4.2.1 Proceduralni zaokret 45°/180°	12
4.2.2 Proceduralni zaokret 80°/260°	12
4.3 Osnovni zaokret	13
5. Utjecaj vjetra na let zrakoplova	14
6. Proračun elemenata povratnih postupaka.....	19
6.1 Proračun elemenata proceduralnog zaokreta 45°/180° bez utjecaja vjetra	19
6.2 Proračun elemenata proceduralnog zaokreta 80°/260° bez utjecaja vjetra	24
6.3 Proračun elemenata osnovnog zaokreta bez utjecaja vjetra	29
6.4 Proračun elemenata proceduralnog zaokreta 45°/180° s utjecajem vjetra	32
6.5 Proračun elemenata proceduralnog zaokreta 80°/260° s utjecajem vjetra	37
6.6 Proračun elemenata osnovnog zaokreta s utjecajem vjetra	40
7. Mjerenje parametara u trenažeru leta	44
8. Usporedba elemenata proračuna i izvedbe u trenažeru leta.....	48
9. Zaključak.....	52
Literatura.....	54
Popis kratica	56
Popis simbola.....	57
Popis slika	58
Popis tablica	59

1. Uvod

Postupak instrumentalnog prilaženja je niz predodređenih manevara koji u krajnosti imaju svrhu dovesti zrakoplov na slijetanje na točan i siguran način. Ti manevri su teorijski dizajnirani i izrađeni da bi se zrakoplovu omogućilo nadvisivanje prepreka u okolici aerodroma i da svojim letom u prilaženju ne ometa zračni prostor i promet. Svaka instrumentalno opremljena zračna luka ima propisane instrumentalne prilazne karte na kojima su ucrtani manevri i ograničenja kojih se zrakoplov treba pridržavati. Povratni postupak je osmišljen manevr koji se koristi prilikom postupka instrumentalnog prilaženja koji omogućuje zrakoplovu zaokret u zadani smjer prilaza uzletno-sletnoj stazi za slijetanje. Povratni postupci su ograničeni smjerom, vremenom trajanja, brzinom i udaljenošću. Kako bi se usporedio teorijski i praktični dio izvođenja ovog manevra tijekom prilaženja, proračun će biti napravljen bez i s uvjetima vjetra. Kod uvjeta s utjecajem vjetra potrebno je napraviti kut ispravke vjetra kako bi zrakoplov ostao na zadanim putanjama koje su propisane. Nakon proračuna, praktični dio bit će prikazan pomoću leta u tim uvjetima u trenažeru leta.

Cilj ovog rada je, na temelju metoda izračuna elemenata u povratnom postupku bez i s utjecajem vjetra, usporediti teorijski proračun s izvedbom povratnih postupaka u istim uvjetima u trenažeru leta. Analizirani elementi u proračunu su: stvarna i putna brzina, vrijeme trajanja segmenata povratnog postupka, udaljenost i kut ispravke. Rad je podijeljen u devet cjelina.

U drugom poglavlju navedeni su instrumentalni letni postupci.

Dio instrumentalnih letnih postupaka je postupak instrumentalnog prilaženja. U trećem poglavlju su detaljnije opisani segmenti tog postupka te njihova svrha za sigurnu izvedbu dovođenja zrakoplova na slijetanje.

U četvrtom poglavlju opisan je povratni postupak i njegove vrste, te konstrukcija prostora segmenta početnog prilaženja potrebna za izvođenje istog.

U petom poglavlju naveden je utjecaj vjetra na zrakoplov i njegov let u smislu promjene brzine u odnosu na zemlju i smjer leta.

Teorijski proračun elemenata u izvođenju svih vrsta povratnih postupaka bez i s uvjetima vjetra je napravljen u šestom poglavlju.

Trenažerom leta je odrađena simulacija izvođenja svih povratnih postupaka s istim uvjetima kao i u teorijskom proračunu. U sedmom poglavlju prikazan je izgled povratnih postupaka koji su odrađeni trenažerom leta.

U osmom poglavlju je napravljena usporedba teorijskog izračuna s izmjerenim parametrima u trenažeru leta s istim uvjetima.

2. Instrumentalni letni postupci

U zrakoplovnoj navigaciji primjena metoda prostorne navigacije je kroz vrijeme postala neophodan način za sigurno izvođenje leta zrakoplova. U uvjetima instrumentalnog letenja primjena tih metoda se očituje kod konstruiranja instrumentalnih letnih postupaka (engl. *Instrument Flight Procedures – IFP*) koji određuju procedure letenja. Time se postižu procedure za [1]:

- Instrumentalni odlazak (engl. *Standard Instrument Departure – SID*)
- Instrumentalni dolazak (engl. *Standard Arrival – STAR*)
- Postupak instrumentalnog prilaženja (engl. *Instrument Approach Procedure*)
- Postupak čekanja (engl. *Holding*)
- Vizualno manevriranje – kruženje (engl. *Visual Manoeuvring – Circling*).

Instrumentalni letni postupci, njihova konstrukcija i kako se oni izvode prilikom letenja su definirani prema određenim standardima, a osnova je osigurati zrakoplovu sigurno nadvisivanje prepreka u skladu s propisanim procedurama. Instrumentalne prilazne karte (engl. *Instrument Approach Procedure Charts*) se izrađuju na temelju postupka instrumentalnog prilaženja. Instrumentalna prilazna karta je dostupna za sve civilne aerodrome gdje su omogućeni postupci instrumentalnog prilaženja. Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (engl. *International Civil Aviation Organization* ili *ICAO*) je pružila svim aerodromima odvojenu instrumentalnu prilaznu kartu za sve vrste prilaznih procedura. Na instrumentalnoj prilaznoj karti nalaze se sve informacije koje su potrebne pilotima da izvedu odobrene postupke pri slijetanju na aerodrom, odnosno odrade postupak neuspjelog prilaženja te, ako je to moguće, nastave postupak čekanja. Neke od informacija su: dostupna radionavigacijska sredstva i frekvencije dostupne kontrole zračnog prometa, minimalna sektorska visina (engl. *Minimum Sector Altitude* ili *MSA*), putanje svih postupaka prilikom izvođenja prilaženja prikazane na tlocrtu i bokocrtu, visina aerodroma [10].

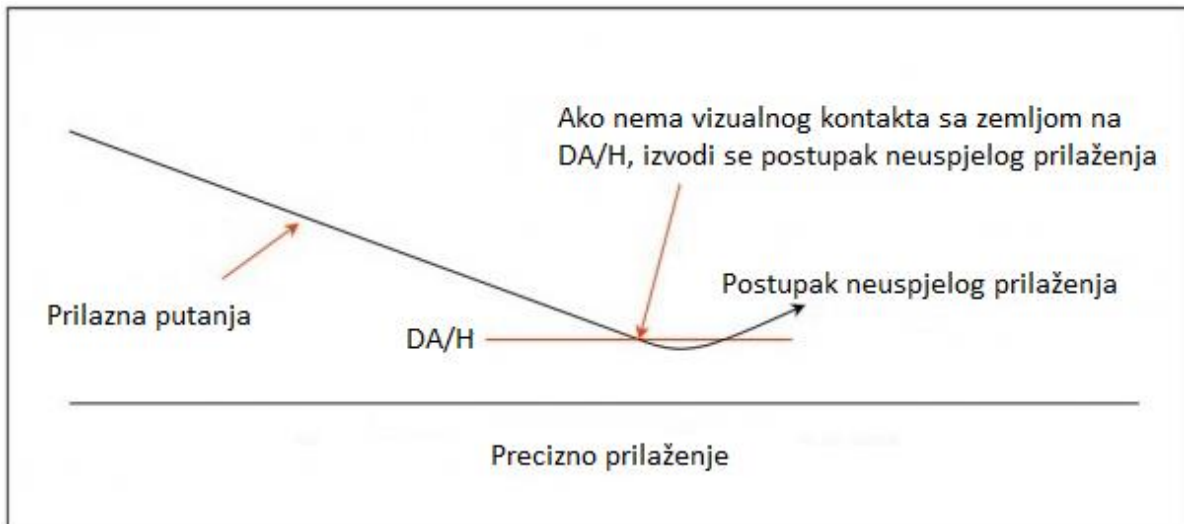
Za svrhu ovog rada bit će detaljnije objašnjen postupak instrumentalnog prilaženja u sljedećem poglavlju.

3. Postupak instrumentalnog prilaženja

Postupak instrumentalnog prilaženja (engl. *Instrument Approach Procedure* ili *IAP*) je niz određenih radnji i upravljanje zrakoplovom s točnim očitavanjem zrakoplovnih instrumenata da bi se zrakoplov doveo na slijetanje. Postoje propisi koji nalažu kako trebaju biti konstruirani i definirani postupci i segmenti unutar instrumentalnog prilaženja. Zaštita od prepreka tijekom postupaka je ključan dio tijekom definiranja, kako bi zrakoplov sigurno došao od preletišta početnog prilaženja (engl. *Initial Approach Fix – IAF*) ili od početka utvrđene dolazne rute, ali i do samog slijetanja. Elementi o kojima ovisi korištenje i izvedba postupka instrumentalnog prilaženja su [1]:

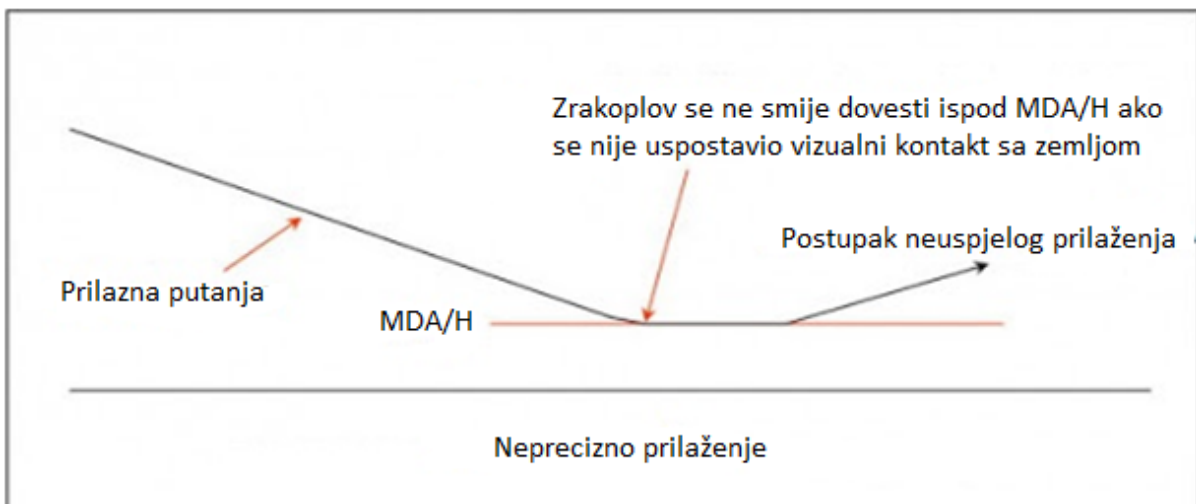
- radionavigacijski uređaji i sustavi kojima se koristi aerodrom
- navigacijska oprema i sustavi u zrakoplovu
- razina osposobljenosti posade
- osposobljenost operatera na zemlji za navođenje zrakoplova
- meteorološka situacija kod i na aerodromu.

Postupak instrumentalnog prilaženja je najzahtjevniji dio leta. Tijekom prilaženja za slijetanje zrakoplov koristi promjenu smjera, visine i brzine leta, a pritom su visina i brzina u prilazu manja i kritičnija od brzina i visina u fazi krstarenja. U ovom postupku se nastoji izbjegavati nadzirani let u teren (engl. *Controlled Flight Into Terrain* ili *CFIT*). Instrumentalni dio prilaženja dijeli se na precizno i neprecizno prilaženje. Postoji i vizualni dio instrumentalnog prilaženja, a to se odnosi na vizualno manevriranje ili kruženje. Precizno prilaženje je postupak instrumentalnog prilaženja i slijetanja s vertikalnim i horizontalnim vođenjem do visine odluke (engl. *Decision Altitude/Height* ili *DA/H*). Kod nepreciznog prilaženja moguće je samo korištenje horizontalnog vođenja, a minimalna visina do koje se zrakoplov instrumentalno vodi naziva se minimalna apsolutna visina snižavanja (engl. *Minimum Descent Altitude* ili *MDA*). Ako na tim visinama pilot nema vizualnog kontakta sa zemljom, ne smije ići na slijetanje. Na slici 1. prikazano je precizno prilaženje s visinom odluke. Ako pilot nije na visini odluke uspostavio vizualni kontakt sa zemljom, odmah izvodi postupak neuspjelog prilaženja. Na minimalnoj apsolutnoj visini snižavanja gdje se nije uspostavio vizualni kontakt sa zemljom, pilot neko vrijeme može nastaviti letjeti na toj visini. Prikaz nepreciznog prilaženja s minimalnom apsolutnom visinom snižavanja vidljiv je na slici 2 [1, 2, 3].



Slika 1. Precizno prilaženje s visinom odluke DA/H

Izvor: [4]



Slika 2. Neprecizno prilaženje s minimalnom apsolutnom visinom snižavanja MDA/H

Izvor: [5]

Postupak instrumentalnog prilaženja se sastoji od pet segmenata:

- dolazni segment
- segment početnog prilaženja
- segment međuprilaženja
- segment završnog prilaženja
- segment neuspjelog prilaženja.

3.1 Dolazni segment

Dolazni segment se sastoji od dolazne rute koja omogućava dovodenje zrakoplova na točku gdje počinje početno prilaženje. Objavljaju se one dolazne rute koje pružaju operativnu prednost, odnosno povećavaju kapacitet zračnog prostora ili omogućavaju bolji protok zračnog prometa. U uvjetima instrumentalnog letenja zrakoplov se vodi od zadnjeg poznatog preletišta na dolaznoj ruti do preletišta početnog prilaženja.

3.2 Segment početnog prilaženja

Segment početnog prilaženja započinje na preletištu početnog prilaženja i završava na preletištu međuprilaženja (engl. *Intermediate Fix* ili *IF*). Segment međuprilaženja može biti dio rutne strukture, i u tom slučaju, postupak instrumentalnog prilaženja započinje na preletištu međuprilaženja. Početno prilaženje može se provoditi pomoću definiranog radiosmjera poput radijala od VOR-a (engl. *Very High Frequency Omni-directional Range*), QDR/QDM od NDB-a (engl. *Non-directional Beacon*), radarskim vektoriranjem ili kombinacijom. Ako ništa od navedenog nije omogućeno, koristi se DME sredstvom (engl. *Distance Measuring Equipment*) za izvedbu DME luka (engl. *DME arc*), ili definirani pravac leta (engl. *Heading*). U ovom segmentu je od velike važnosti da pilot zrakoplova prema propisanim zahtjevima provodi manevre kako bi se zrakoplov doveo na preletišta međuprilaženja. Postupci koji se izvode uz potrebne proračune su:

- Povratni postupak (engl. *Reversal Procedure*)
- Produljeni postupak (engl. *Racetrack Procedure*)
- DME luk

Postupak čekanja (engl. *Holding*) se isto smatra dijelom početnog prilaženja dok se ne uspostavi smjer segmenta međuprilaženja. Preletišta postupka čekanja bi trebalo koincidirati s preletištem početnog prilaženja ili biti na dolaznoj putanji postupka čekanja.

3.3 Segment međuprilaženja

Dio postupka instrumentalnog prilaženja koji dolazi nakon početnog naziva se segment međuprilaženja. Zapčinje na preletištu međuprilaženja i nastavlja se sve do preletišta završnog prilaženja (engl. *Final Approach Fix* ili *FAF*). Segment može početi i nakon završenog povratnog, produljenog postupka ili segmenta računске navigacije, ako je to primjenjivo.

Time se dolazi do zaključka da postoje dva tipa segmenta međuprilaženja, odnosno njegovog definiranja.

3.4 Segment završnog prilaženja

Segment završnog prilaženja se nalazi između preletišta završnog prilaženja i točke neuspjelog prilaženja (engl. *Missed Approach Point* ili *MAP*). Vođenje zrakoplova putanjom leta se mora pružiti u instrumentalnom dijelu, a može biti definiran do uzletno-sletne staze (engl. *Runway* ili *RWY*) za slijetanje iz pravca ili da je zrakoplov doveden do točke u okolini aerodroma koja određuje početak vizualnog manevriranja ili kruženja. Vizualno manevriranje ili kruženje je postupak kojim se zrakoplov vodi na slijetanje na uzletno-sletnu stazu koja je reljefno smještena bez mogućnosti za konstruiranje postupka preciznog ili nepreciznog prilaženja. Završno prilaženje je dio postupka instrumentalnog prilaženja gdje se zrakoplov dovodi u pravac uzletno-sletne staze i uspostavlja se režim spuštanja za slijetanje.

3.5 Segment neuspjelog prilaženja

Postoje više dijelova postupka instrumentalnog prilaženja u kojima se može definirati početak i završetak segmenta neuspjelog prilaženja. Postupak neuspjelog prilaženja započinje na visini odluke (engl. *Decision Altitude/Height – DA/H*) kod preciznog prilaženja, a kod nepreciznog prilaženja na točki neuspjelog prilaženja ili na visini definiranoj navigacijskim sredstvom ili mjerenjem vremena nakon prolaska preletišta završnog prilaženja. Segment neuspjelog prilaženja završava na visini koja dozvoljava ponovni početak prilaženja, povratak na postupak čekanja ili nastavak rutnog letenja [1].

4. Povratni postupak

Povratni postupak je postupak definiran da omogući zrakoplovu promjenu putanje tijekom segmenta početnog prilaženja u postupku instrumentalnog prilaženja. Povratni postupak se koristi kada segment početnog prilaženja započinje preletištem početnog prilaženja ili navigacijskim sredstvom lociranim blizu ili na aerodromu. Nadalje, koristi se u slučaju zaokreta većeg od 70° koji je potreban na preletištu početnog prilaženja, a radijal, QDR/QDM, radarsko vektoriranje, smjer utvrđen pomoću računske navigacije ili DME informacija nije dostupna da vodi zrakoplov u pravac segmenta međuprilaženja. Koristi se i prilikom potrebe za zaokretom većim od 120° na preletištu početnog prilaženja, bez obzira na prikazivanje i informacije. Postoje dva tipa povratnog postupka, a to su proceduralni zaokret (engl. *Procedure Turn*) i osnovni zaokret (engl. *Base Turn*), a započinju se ili u desnu ili u lijevu stranu, ovisno o definiranom prostoru postupka. Povratni postupak je obavezan manevar ako je propisan u prilaznoj karti, osim ako zrakoplovu kontrola zračnog prometa nije odobrila prilaženje iz pravca (engl. *Straight-in Approach*). Proceduralni i osnovni zaokreti se sastoje od odlaznog kraka u koji se zaokreće u jednu stranu, zatim se zaokreće u suprotnu stranu i tako se presreće dolazni krak za prilaz.

Parametri i njihove značajke pomoću kojih se definira prostor povratnog postupka su:

- visina se određuje s obzirom na to kako je osmišljen zračni prostor
- prema međunarodnoj standardnoj atmosferi (engl. *International Standard Atmosphere* ili *ISA*) + 15°C za određenu visinu se specificira temperatura
- indicirana brzina (engl. *Indicated Airspeed* ili *IAS*) je definirana tako da je dopuštena najveća moguća brzina za kategorije zrakoplova unutar definiranog zračnog prostora
- stvarna brzina zrakoplova (engl. *True Airspeed* ili *TAS*) se temelji na IAS-u korigiranom za visinu i temperaturu
- brzina vjetra (*u*) se pretpostavlja u svim smjerovima u izračunu s obzirom na visinu povratnog postupka
- nagib zrakoplova u zaokretu postupka može iznositi prosječno 25° ili biti takav da daje brzinu skretanja za 3°/sekundi, odnosno onaj nagib koji je manji od toga dvoga
- mora postojati površina tolerancije (engl. *fix tolerance area*) koja je prikladna za tip radionavigacijskog sredstva, preletišta ili način ulaska u povratni postupak
- tolerancije za pogrešku upravljanja zrakoplovom uključuju:

- toleranciju mjerenja vremena u odlasku ± 10 s
- vrijeme reakcije pilota do 6 s
- uspostavu željenog nagiba zrakoplova +5 s
- toleranciju pravca leta zrakoplova $\pm 5^\circ$.

Pilot mora provjeriti korekciju vjetra u području definiranom za brzine od 90 čvorova prema kategoriji zrakoplova tijekom izvođenja povratnog postupka [6, 7].

4.1 Konstrukcija prostora u segmentu početnog prostora

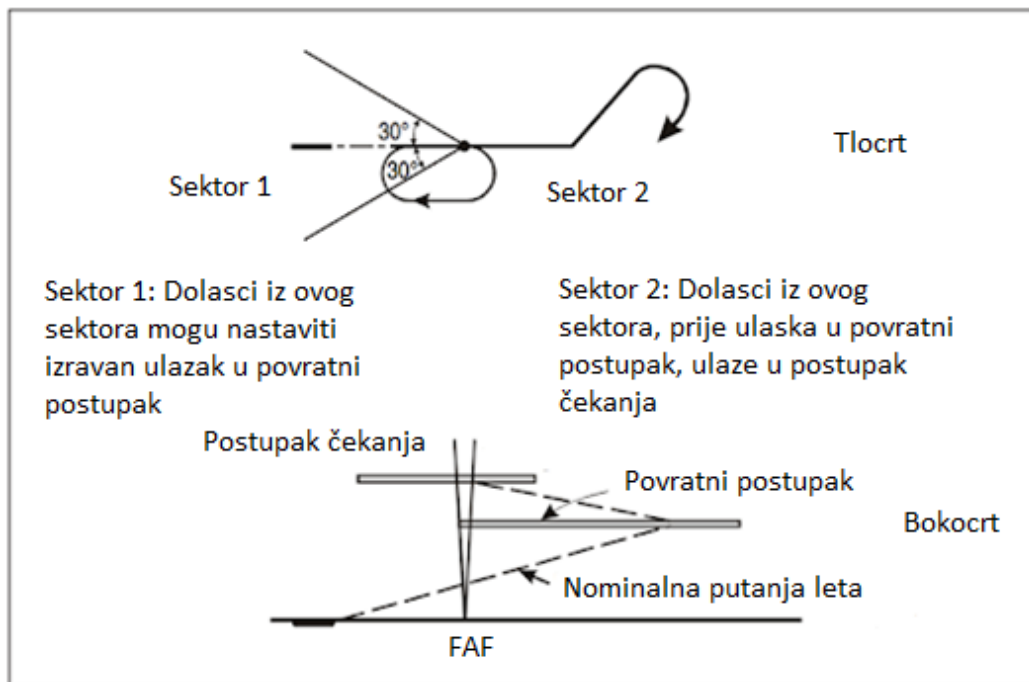
Segment početnog prilaženja u kojem se nalaze povratni postupci nemaju standardiziran raspon područja, no on treba biti dovoljan da se omogući zrakoplovima promjenu visine s obzirom na propisane postupke. Širina područja se dijeli na:

- primarno područje koje se horizontalno proteže 2.5 NM sa svake strane propisane putanje
- sekundarno područje koje se odnosi na dodatno područje od 2.5 NM sa svake strane primarnog područja.

Sve proceduralne visine ne smiju biti manje od minimalne visine nadvisivanja prepreka (engl. *Minimum Obstacle Clearance Altitude* ili *MOCA*), i moraju biti usklađene sa zahtjevima kontrole zračnog prometa. Visina nadvisivanja prepreka mora biti minimalno 984 stopa (300 m).

Početak povratnog postupka trebao bi se definirati radionavigacijskim sredstvom za osnovne zaokrete, dok je kod proceduralnih zaokreta početak moguće konstruirati pomoću preletišta ili sredstva.

Ulazak u povratni postupak je ograničen na ulazak smjerom ili sektorom. Smjerom je ulazak definiran putanjom $\pm 30^\circ$ odstupanja od odlaznog kraka postupka. Ako zrakoplov dolazi iz smjera koji odstupa za više od definiranog, mora se osigurati zaštitni prostor da se omogući daljnje manevriranje. Tako se prije samog ulaska u povratni postupak, izvodi se postupak čekanja prikazan na slici 3.



Slika 3. Primjer ulaska u postupak čekanja prije procedure povratnog postupka

Izvor: [6]

Preletom preko preletišta ili radionavigacijskog sredstva i letom na zadanom smjeru, zrakoplov može spuštati do visine povratnog postupka ili do najmanje visine koja je u tom dijelu postupka instrumentalnog prilaženja. Spuštanje se može nastaviti ako je potrebno nakon dolaznog zaokreta tek kada je zrakoplov unutar polovice punog odstupanja od radiosmjera koji se koristi u sustavu za precizno prilaženje prema instrumentima (engl. *Instrument Landing System* ili *ILS*), VOR-a ili unutar $\pm 5^\circ$ od zahtijevanog QDR/QDM NDB-a. Izvođenje povratnog postupka mora biti optimalno da se omogući što precizniji prilaz za slijetanje. Dopušteno je mijenjanje smjera zrakoplova i vremena mjerenih na različitim krakovima leta kako bi se kompenzirao efekt vjetra i doveo zrakoplov na dolazni krak što točnije i što brže. Ograničenja brzine zrakoplova kod povratnog postupka ovise o kategoriji zrakoplova, no isto tako brzina i konfiguracija zrakoplova ovisi o udaljenosti od aerodroma i visini na kojoj se nalazi. Ograničenja se ne smiju prekršiti kako ne bi došlo do narušavanja sigurnosti i zaštitnih prostora postupka. U zaokretu na odlazni dio postupka iznad IAF-a brzina ne bi smjela prekoračiti 200 čvorova kako bi zrakoplov ostao unutar zaštitnog prostora od prepreka (engl. *Obstruction Clearance Area*). Udaljenost povratnog postupka je najviše 10 nautičkih milja.

Vrijeme u odlaznom kraku povratnog postupka se specificira između 1 i 3 minute s povećanjima od pola minute te ovisi o kategoriji zrakoplova objašnjenom nadalje. Duljina odlaznog kraka je određena DME udaljenošću, radijalom ili QDR/QDM od prikladnog radionavigacijskog sredstva.

Određivanje brzine u povratnom postupku se temelji na brzinama propisanim prema kategorijama zrakoplova (tablica 1.). Najmanja propisana brzina je brzina prilaženja koja je jednaka brzini gubitka uzgona (engl. *stall speed*) zrakoplova uvećanoj za 30% s konfiguracijom za slijetanje i najvećom dozvoljenom masom za slijetanje, označuje se kao v_{at} . Ova se ograničenja uključuju i u proračune elemenata u ostalim segmentima instrumentalnog prilaženja, prema tome su propisane i brzine početnog prilaženja gdje se izvode povratni postupci [6].

Tablica 1. Kategorije zrakoplova prema parametru brzine v_{at} u segmentu početnog prilaženja

Kategorija zrakoplova	v_{at} (kt)	Brzina početnog prilaženja (kt)
A	≤90	90 – 150
B	91 – 120	120 – 180
C	121 – 140	160 – 240
D	141 – 165	185 – 250
E	166 – 210	185 – 250

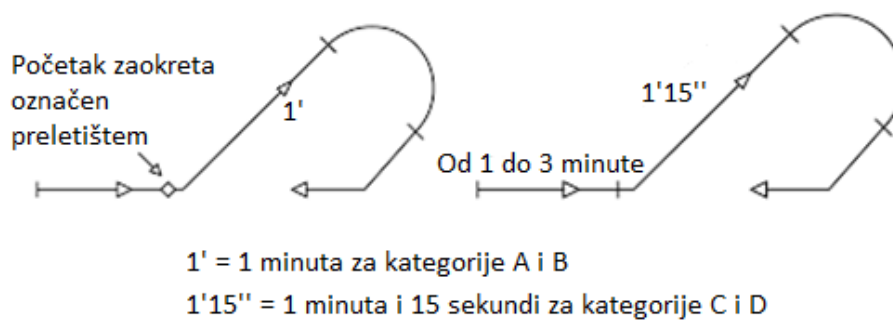
Izvor: [1]

4.2 Proceduralni zaokret

Proceduralni zaokret je tip povratnog postupka koji se izvodi tako da zrakoplov skreće s definirane putanje te se nastavlja zaokretom u suprotnu stranu koji omogućuje zrakoplovu da presretne recipročnu putanju od definirane, tako može nastaviti segment međuprilaženja ili završnog prilaženja. Proceduralni zaokret se može izvoditi u spuštanju ili u horizontalnom letu, ovisno o tome kakav je prostor gdje se definirao zaokret. Postoje dvije vrste proceduralnih zaokreta, a dijele se s obzirom na kut prvog zaokreta na 45°/180° i 80°/260°, gdje su kutevi od 45° i 80° početni zaokreti [1].

4.2.1 Proceduralni zaokret 45°/180°

Povratni postupak proceduralnog zaokreta 45°/180°, prikazan na slici 4., započinje iznad radionavigacijskog sredstva ili na preletištu. Izvodi se tako da se nakon ravnog segmenta koji je mjereno vremenom ili označen preletištem (radijalom ili DME udaljenošću) započinje zaokret za 45°. Nakon što je promijenjena putanja za 45° mjeri se vrijeme na ravnom segmentu od 1 minute za kategorije A i B ili 1 minute i 15 sekundi za kategorije zrakoplova C, D i E. Kako bi se presrela željena recipročna putanja za nastavak prilaznja na slijetanje potrebno je napraviti zaokret u suprotnu stranu za 180° [6, 8].

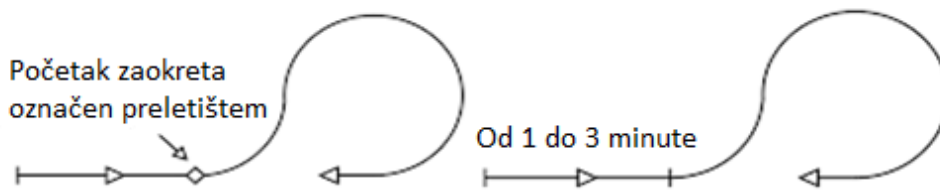


Slika 4. Proceduralni zaokret 45°/180°

Izvor: [9]

4.2.2 Proceduralni zaokret 80°/260°

Drugačijeg izgleda i drugačije izvedbe je proceduralni zaokret čiji je početni zaokret mijenjanje putanje za 80°. Ravni segment do početnog zaokreta se mjeri vremenom od 1 do 3 minute ili je početak zaokreta označen preletištem. Vrijeme trajanja zaokreta može varirati s obzirom na kategoriju zrakoplova kako bi se smanjila površina prostora koja se koristi tamo gdje je zračni prostor kritičan. Zrakoplov skreće za 80° te odmah nastavlja u suprotnu stranu za 260° kako bi presreo recipročnu putanju za prilaz [6]. Na slici 5. vidljiv je izgled proceduralnog zaokreta 80°/260°.

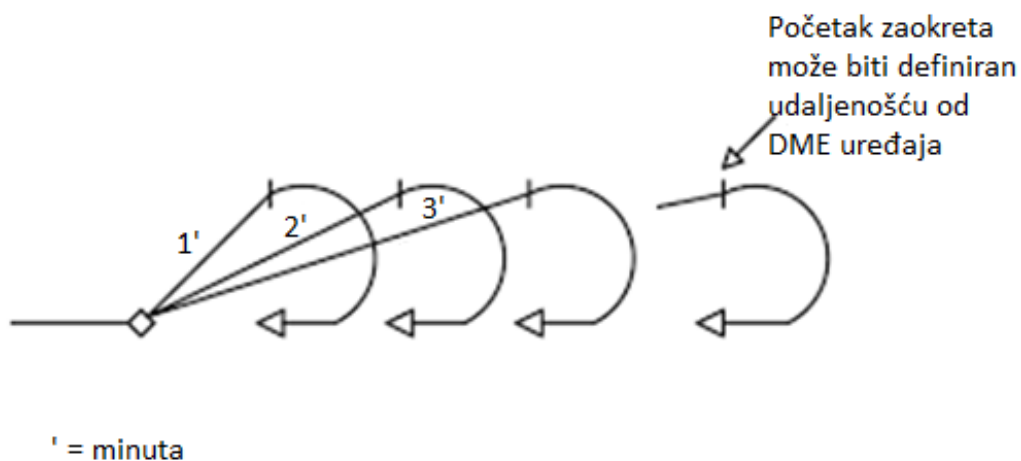


Slika 5. Proceduralni zaokret 80°/260°

Izvor: [9]

4.3 Osnovni zaokret

Osnovni zaokret je povratni postupak koji se sastoji od odlazne putanje određene mjerenjem vremena tog dijela, udaljenosti od DME-a ili radionavigacijskog sredstva, a zatim se zrakoplov s te putanje zaokreće kako bi presreo dolaznu putanju za prilaz [6]. Na slici 6. je, radi boljeg razumijevanja, prikazan navedeni postupak.



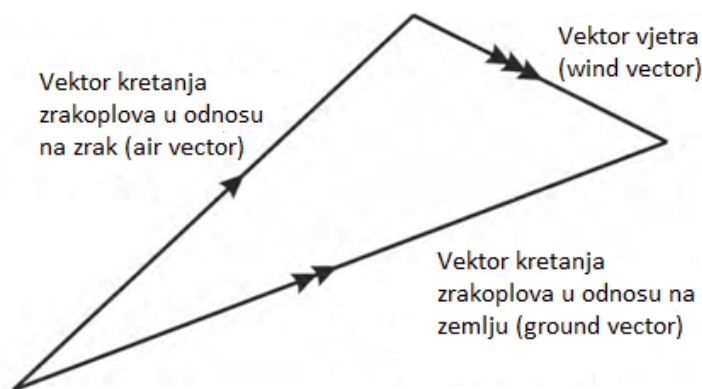
Slika 6. Osnovni zaokret

Izvor: [9]

5. Utjecaj vjetra na let zrakoplova

Vjetar se definira kao vodoravno strujanje ili gibanje zraka. Određeno je brzinom i smjerom, prema tome je vektorska veličina. Vjetar, kao i ostale pojave u atmosferi, ima značajan utjecaj na let zrakoplova. On utječe na putnu brzinu zrakoplova (engl. *Ground Speed* ili *GS*), odnosno brzinu u odnosu na zemlju. Vjetar u suprotnom smjeru gibanja zrakoplova ili nazivom čeonu vjetar će smanjiti putnu brzinu, dok će leđni povećati tu komponentu iz razloga što puše u smjeru kretanja zrakoplova. Bočni vjetar će imati i utjecaj na putanju zrakoplova, te će, ako se ne ispravlja za proračunatu veličinu, zanositi zrakoplov od zadane ili željene putanje.

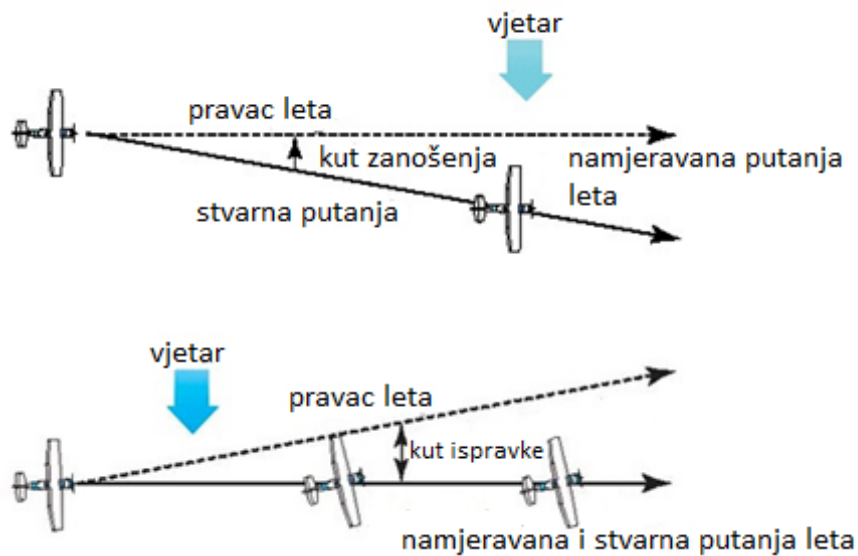
Kretanje zrakoplova određeno je smjerom i brzinom leta u odnosu na zrak (engl. *air vector*), a tako i postoji vektor vjetra (engl. *wind vector*). Ti vektori se rastavljaju na komponente, gdje postoji vektor kretanja zrakoplova u odnosu na zrak, a vektor vjetra se rastavlja na bočnu i uzdužnu komponentu u odnosu na putanju zrakoplova. Rezultirajući smjer i brzina zrakoplova bit će vektor kretanja zrakoplova u odnosu na zemlju (engl. *ground vector*). Takav grafički prikaz vektora naziva se navigacijski trokut i prikazan je na slici 7.



Slika 7. Grafički prikaz navigacijskog trokuta

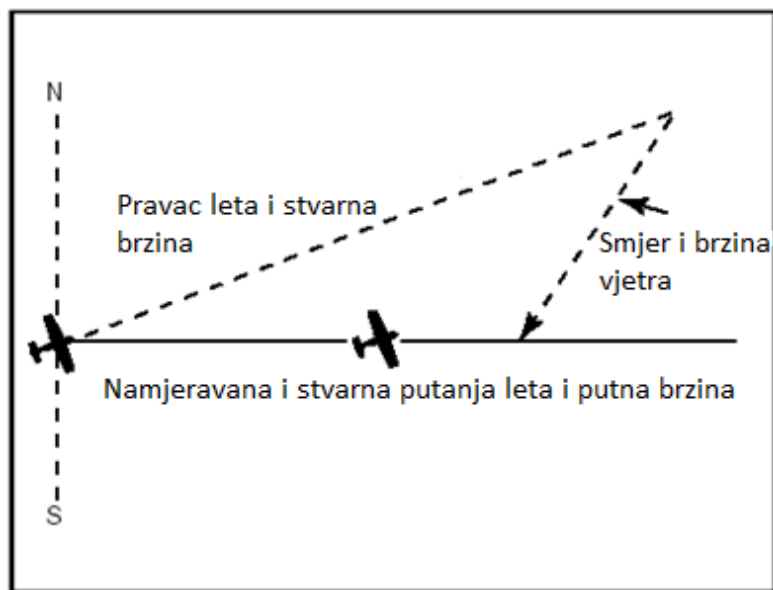
Izvor: [11]

Potrebno je znati iz kojeg smjera vjetar puše i kojom jačinom kako bi zrakoplov letio namjeravanom putanjom, odnosno kako bi se spriječilo zanošenje zrakoplova. Utjecaj vjetra na kretanje zrakoplova vidi se na slikama 8 i 9.



Slika 8. Utjecaj vjetra na kretanje zrakoplova

Izvor: [11]



Slika 9. Odnos putanja i brzina kretanja pod utjecajem vjetra

Izvor: [12]

Pravac leta (engl. *Heading*) kut je mjereno od pravca sjevera u smjeru kazaljke na satu do produljene uzdužne osi zrakoplova. Stvarna putanja leta (engl. *Track*) je kut između pravca sjevera do stvarne putanje leta zrakoplova u odnosu na površinu Zemlje. Kurs leta (engl. *Course*) je namjeravana putanja leta. Kut između namjeravane putanje leta i stvarne putanje

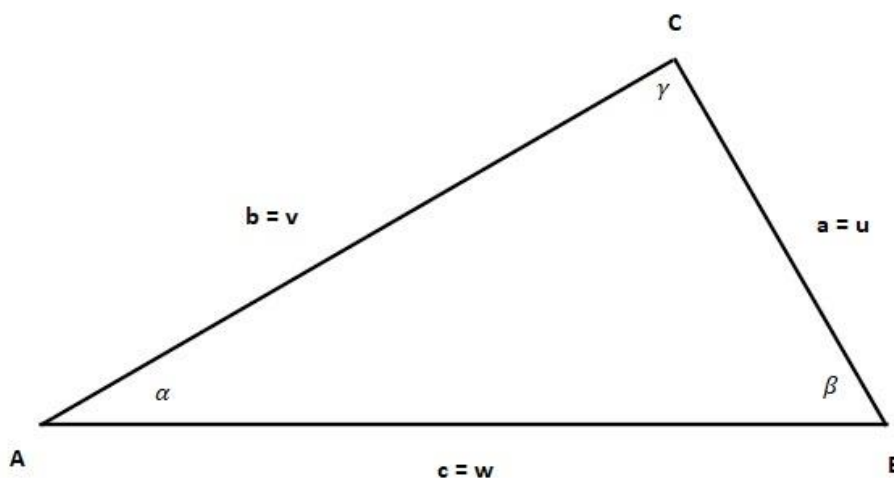
leta naziva se kut zanošenja (engl. *Drift Angle* ili *DA*). Kako bi se zrakoplov kretao po namjeravanoj putanji leta u svim uvjetima, potrebno je izračunati kut ispravke. Kut ispravke (engl. *Correction Angle* ili *CA*) je kut između namjeravane putanje leta i stvarne putanje leta u odnosu na zemlju koja omogućuje da, unatoč vjetru, zrakoplov nastavi letjeti na planiranoj putanji. U praksi, kut ispravke je istog iznosa kao i kut zanošenja, ali u suprotnu stranu.

Nadalje u radu, proračuni će se izvoditi trigonometrijskom metodom rješavanja navigacijskog trokuta. Koristit će se sinusna metoda, gdje se određuje odnos stranica i kuteva u pravokutnom trokutu. Sinusov poučak dokazuje da se sinusi kuteva unutar bilo kakvog trokuta odnose jednako kao i stranice nasuprotne tim kutevima. Poučak se koristi kada su poznate dvije stranice i jedan nasuprotni kut ili kada su poznata dva kuta i jedna stranica. To je, dakle, praktično za izračun navigacijskog trokuta s obzirom na zadane komponente. U trokutu sa stranicama a , b i c , prikazanom na slici 10., gdje je kut α nasuprot stranice a , kut β nasuprot stranice b , isto vrijedi i za kut γ i pripadajuću nasuprotnu stranicu c i r je polumjer opisane kružnice tom trokutu, vrijede sljedeće jednakosti iz formule (1):

$$\frac{\sin \alpha}{a} = \frac{\sin \beta}{b} = \frac{\sin \gamma}{c} = r \quad (1)$$

Pri čemu je:

- a, b, c – stranice trokuta
- α, β, γ – kutevi između stranica.



Slika 10. Odnos stranica i kuteva trokuta s upisanim veličinama

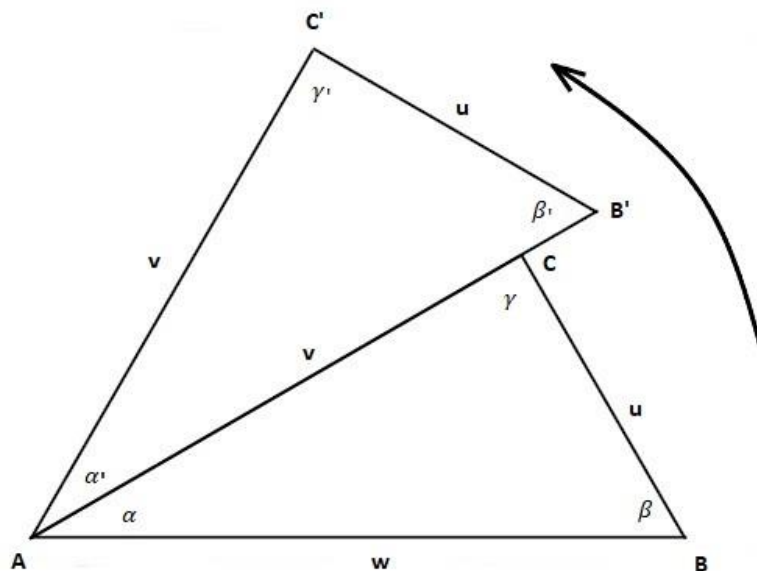
Za izračun kuta α i putne brzine w , zadane su brzine leta v , upadni kut vjetra β i brzina vjetra u . Iz slike 10. vidi se odnos tih veličina, pa se zaključuje da iz tog navigacijskog trokuta vrijedi formula (2):

$$\frac{\sin \alpha}{u} = \frac{\sin \beta}{v} = \frac{\sin \gamma}{w} \quad (2)$$

pri čemu je:

- u – brzina vjetra [kt]
- v – stvarna brzina leta zrakoplova [kt]
- w – putna brzina zrakoplova [kt]
- β – upadni kut vjetra [°]
- α – kut zanošenja [°].

Potrebno je uočiti da njihovim rasporedom nije moguće odrediti kut ispravke α i rezultantnu putnu brzinu w . Kako bi se to omogućilo, mora se translirati trokut oko točke A. U trokutu prikazanom na slici 11. vrijedi odnos:



Slika 11. Trokut ispravke za vjetar

Prema tome, α' se dobije pomoću formule (3):

$$\sin \alpha' = \frac{u \sin \beta}{v} \quad (3)$$

Pri čemu je:

- α' – kut ispravke [°]

Iz ovoga, poznat je kut ispravke te se formulom (4) može izračunati putna brzina putem kosinusovog poučka:

$$w^2 = v^2 + u^2 - 2 v u \cos(180^\circ - \alpha' - \beta) \quad (4)$$

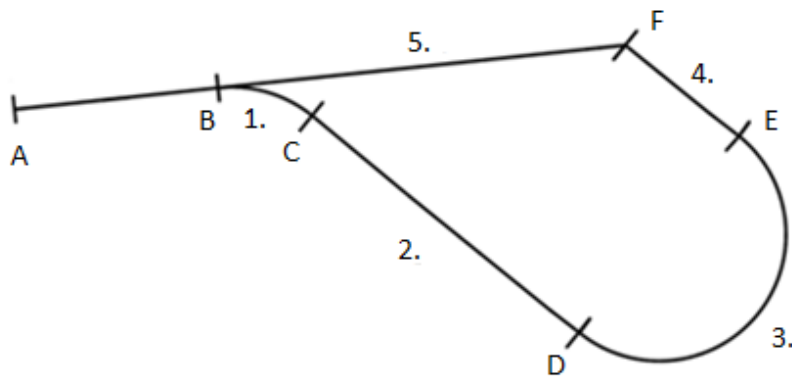
Trigonometrijska metoda daje precizne podatke i rješenja, dok grafička zbog grešaka u mjerenju daje prihvatljiva odstupanja od 5% zbog grešaka u mjerenju. Postoji i izračun napamet, koji je u praksi najlakši, daje rezultate na veću aproksimaciju, no i dalje su prihvatljivi [13].

6. Proračun elemenata povratnih postupaka

Prema definiranim parametrima izradit će se proračun elemenata prilikom izvođenja svih vrsta povratnih postupaka bez i s utjecajem vjetra. Tako će biti prikazane sve vrste povratnih postupaka temeljem propisanih na instrumentalnim prilaznim kartama različitih aerodroma. U svakom proračunu postupka brzina zrakoplova bit će 120 čvorova (kt) stvarne brzine.

6.1 Proračun elemenata proceduralnog zaokreta 45°/180° bez utjecaja vjetra

Pojednostavljen prikaz proceduralnog zaokreta se nalazi na slici 12. i podijeljen je u više segmenata radi boljeg razumijevanja. Prema instrumentalnoj prilaznoj karti zračne luke Pula, ILS prilazu za uzletno-sletnu stazu smjera 264° (27) određen je proceduralni zaokret 45°/180°. Pomoću zadanih parametara odredit će se vrijeme trajanja tog povratnog postupka prikazanog na slici 13. u sklopu instrumentalne prilazne karte. Tijekom postupka propisano je snižavanje zrakoplova, no u ove svrhe proračuna će se promjena visine zanemariti.



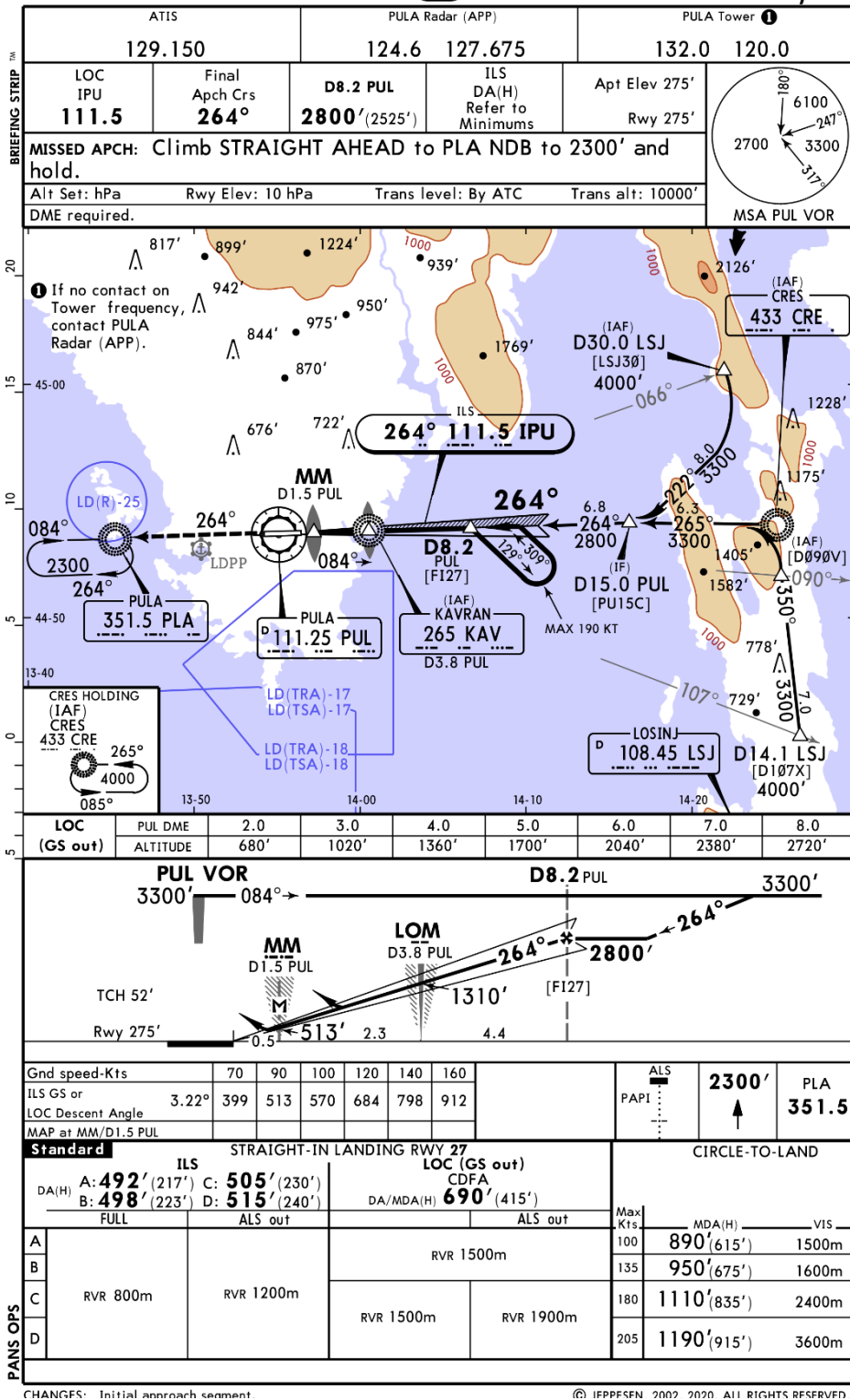
Slika 12. Proceduralni zaokret 45°/180° i njegovi segmenti

Izvor: [9]

LDPL/PUY
PUA

JEPPESEN
10 APR 20 (11-1) Eff 23 Apr

PULA, CROATIA
ILS or LOC Rwy 27



Slika 13. Instrumentalna prilazna karta Zračne luke Pula – ILS Rwy 27, [14]

U početnom dijelu postupka, zrakoplov leti ravnom putanjom prije zaokreta, a duljina je određena vremenom od točke A do točke B ili može postojati preletišta na točki B gdje zrakoplov započinje zaokret. Vrijeme od točke A do točke B uobičajeno je od 1 do 3 min. U ovom slučaju, početak povratnog postupka određen je DME udaljenošću od DME uređaja na udaljenosti od 8,2 nautičke milje. Pretpostavlja se da se zrakoplov nalazi na putanji smjera 084° i treba promijeniti smjer za 45°, brzina zaokreta (engl. *Rate of Turn* ili *R/T*) iznosi 3°/s kojom se omogućuje standardni zaokret za 360° u 2 minute. Vrijeme trajanja zaokreta u putanju 129° iznosi 15 sekundi prema formuli (5).

$$t = \frac{\varphi}{R/T} \quad (5)$$

Pri čemu je:

- t – vrijeme trajanja [s]
- φ – kut zaokreta [°]
- R/T – brzina zaokreta [°/s].

$$t = \frac{45^\circ}{3^\circ/s} = 15 \text{ s}$$

U tom smjeru zrakoplov leti definiranim vremenom, za kategorije A i B to iznosi 1 minutu, dok za kategorije C i D 1 minutu i 15 sekundi. Udaljenost koju zrakoplov prijeđe za to vrijeme ovisi i o brzini koja je pretpostavljena 120 čvorova, pa će prema formuli (6), ako se pretpostavi vrijeme trajanja od 1 minute, to iznositi:

$$D = v \cdot t \quad (6)$$

pri čemu je:

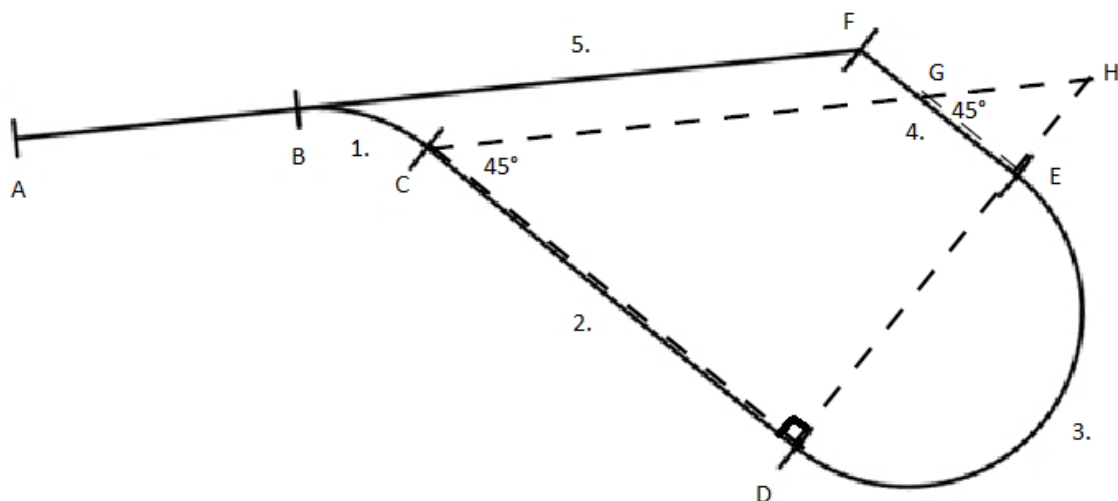
- D – udaljenost [NM]
- v – stvarna brzina zrakoplova [kt].

$$D = 120 \text{ kt} \cdot \frac{15 \text{ s}}{3600} = 0,5 \text{ NM}$$

Nakon toga, slijedi drugi zaokret, onaj za 180° i ujedno treći segment postupka. Prema definiranoj brzini zaokreta trajat će 1 minutu. Zrakoplov se ispravlja u smjeru 309° i leti sve

dok ne dođe na zadanu recipročnu putanju od početne, odnosno na zadanu putanju prilaza za slijetanje. S obzirom na brzinu zrakoplova, udaljenosti i vremena odredit će se i trajanje tog segmenta do dolaska na zadanu putanju. Kad se zrakoplov nalazi na zadanoj recipročnoj putanji, povratni postupak završava kad se preleti ono početno preletišće definirano na točki B (radijal ili DME udaljenost).

U četvrtom segmentu postupka zrakoplovu nije definirano vrijeme koje leti tom putanjom, već se mora odrediti s obzirom na brzinu i udaljenost od zadane putanje prilaza. Kasnije, utjecaja će imati i vjetar. Zasad, izradit će se izračun trajanja tog segmenta bez utjecaja vjetra. Vrijeme trajanja odredit će se uz pomoć sličnosti trokuta i kuteva. Na slici 14. prikazani su kutevi, poznata vremena segmenata i ona koja se traže.



Slika 14. Sličnost trokuta za izračun 4. dijela proceduralnog zaokreta 45°/180°

Trokut $\triangle CDH$ je sličan trokutu $\triangle GEH$, kutevi su jednaki, a stranice \overline{CD} i \overline{DH} u trokutu $\triangle CDH$ su jednake u vremenskoj udaljenosti od 60 sekundi. Duljina linije \overline{DE} , ujedno i promjer kružnice opsega vremenskog trajanja od 120 sekundi, je poznata s izračunom opsega kruga iz formule (7):

$$O = \pi d \tag{7}$$

Pri čemu je:

- O – opseg kružnice u vremenskoj jedinici [s]
- d – promjer kružnice u vremenskoj jedinici [s].

$$d = \frac{120 \text{ s}}{\pi} = 38,2 \text{ s}$$

Razlika, odnosno duljina \overline{EH} , oduzimanjem duljine \overline{DE} od 60 sekundi, iznosi 21,8 sekundi, što je jednako stranici duljine \overline{EG} . Zaokret za 45° za povratak na zadanu putanju i početak petog segmenta postupka traje po formuli 15 sekundi, ovdje će se zaokret smatrati dijelom četvrtog segmenta.

Peti segment proceduralnog zaokreta se isto računa po sličnosti trokuta, Duljina \overline{CH} se računa Pitagorinim poučkom formulom (8):

$$\sin \theta^\circ = \frac{x}{y} \quad (8)$$

Pri čemu je:

- θ – nasuprotni kut katete x u pravokutnom trokutu [$^\circ$]
- x – kateta pravokutnog trokuta
- y – hipotenuza pravokutnog trokuta.

$$\sin 45^\circ = \frac{60}{\overline{CH}} = \overline{CH} = 84,85 \text{ s}$$

Istim postupkom, duljina \overline{GH} je jednaka vremenu od 30,83 s. Iz toga vrijedi da duljina \overline{CG} , odnosno duljina petog segmenta \overline{FB} iznosi po vremenu 54,02 sekundi.

Zbrajanjem svih vremena segmenata dolazi se do ukupnog trajanja povratnog postupka proceduralnog zaokreta $45^\circ/180^\circ$. U ukupno vrijeme ne ulazi vrijeme potrebno do dolaska iznad preletišta, u ovom slučaju točke B, koje je na instrumentalnoj prilaznoj karti definirano udaljenošću od DME-a.

$$t_{uk} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad (9)$$

Pri čemu je:

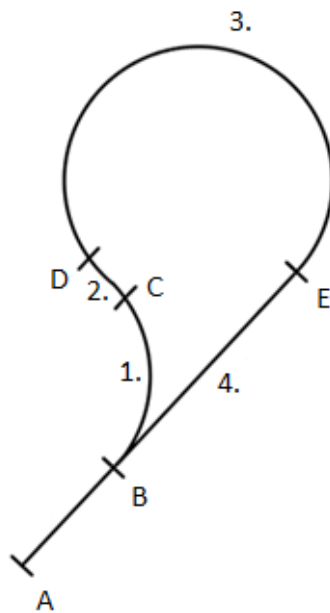
- t_{uk} - ukupno vrijeme trajanja povratnog postupka [s]
- t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 – vrijeme trajanja pojedinog segmenta povratnog postupka [s]

$$t_{uk} = 15 s + 60 s + 60 s + 36,8 s + 54,02 s = 225,82 s \approx 226 \text{ sekundi}$$

S obzirom na to da se radi o uvjetima bez vjetra, zrakoplov će teorijski letjeti smjerom u koji se zaokrene, odnosno neće biti zanošenja. Prema tome, sve putanje ostaju nepromijenjene, a u uvjetima s vjetrom će se promatrati ispravka kuta zanošenja i rezultirajuća putna brzina. Ukupno vrijeme trajanja zaokreta iznosi 226 sekundi.

6.2 Proračun elemenata proceduralnog zaokreta 80°/260° bez utjecaja vjetra

U današnje vrijeme vrlo rijetko su na instrumentalnim prilaznim kartama propisani proceduralni zaokreti 80°/260° jer se ne koriste. Jedna od zračnih luka koji ima propisan ovakav proceduralni zaokret se nalazi u Papui Novoj Gvineji. Zbog proračuna teorijskih, a kasnije odrada tih postupaka u trenažeru leta, neće se promatrati instrumentalni prilaz na spomenutoj zračnoj luci. U Hrvatskoj, zračne luke nemaju propisan ovakav proceduralni zaokret ni na jednoj zračnoj luci. Da bi se ostvario teorijski i praktični proračun ovog postupaka, promatrat će se neprecizni prilaz na zračnoj luci Zagreb, a zamišljeni proceduralni zaokret 80°/260° se nalazi iznad VOR ZAG na visini 4000 stopa (engl. *feet* ili *ft*) s dolaznom putanjom na uzletno-sletnu stazu smjera 224° (RWY 22). Proceduralni zaokret prikazan je na slici 15. i promatrat će se u svrhe proračuna.



Slika 15. Proceduralni zaokret $80^\circ/260^\circ$ i njegovi segmenti

Izvor: [9]

Prvi zaokret, onaj za 80° , započinje iznad preletišta gdje se nalazi radionavigacijsko sredstvo. Zrakoplov leti u smjeru 044° i započinje zaokret u smjer 324° . Standardnim zaokretom i jednostavnim izračunom iz formule (5) dolazi se do vremena trajanja od 26,6 s.

$$t = \frac{80^\circ}{3^\circ/s} = 26,6 \text{ s}$$

Odmah po dolasku zrakoplova na smjer 324° , počinje sa zaokretom udesno za 260° . Prije toga, zrakoplovu je potrebno neko vrijeme da se ispravi u zadani smjer i krene u novi zaokret u drugu stranu. Trajanje ispravljanja zrakoplova u zaokretu se može izračunati uz pomoć radijus kružnice koju zrakoplov opisuje standardnim zaokretom. Brzina zaokreta je $3^\circ/s$ i iz toga se zaključuje da je zrakoplovu potrebno 2 minute da napravi puni krug odnosno zaokret za 360° , prikazano formulom (5).

$$t = \frac{360^\circ}{3^\circ/s} = 120 \text{ s}$$

Formulom (10) se dobije radijus kružnice u vremenskoj jedinici s obzirom na standardnu brzinu zaokreta i vrijeme trajanja zaokreta.

$$t = \frac{2r\pi}{3^\circ/s} \quad (10)$$

Pri čemu je:

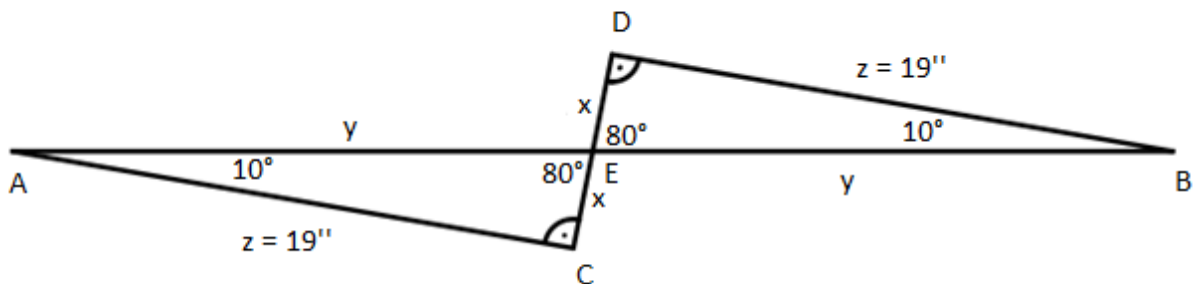
- r – radijus kružnice.

$$r = \frac{120 \text{ s} \cdot 3^\circ/s}{2\pi} = 57,3$$

Radius kružnice iskazan u vremenu je:

$$t_r = \frac{57,3}{3^\circ/s} = 19,1 \approx 19 \text{ s}$$

Primjenjujući trigonometriju u formuli (11), poznat je kut i priležeća kateta te se jednostavnim izračunom može doći do duljine nasuprotne katete, slika 16.



" = sekunda

Slika 16. Izračun vremena trajanja tijekom vađenja iz jednog i uvođenja u drugi zaokret

Izvor: [9]

$$\tan \theta = \frac{x}{z} \quad (11)$$

Pri čemu je:

- θ – nasuprotni kut katete x u pravokutnom trokutu $[\circ]$

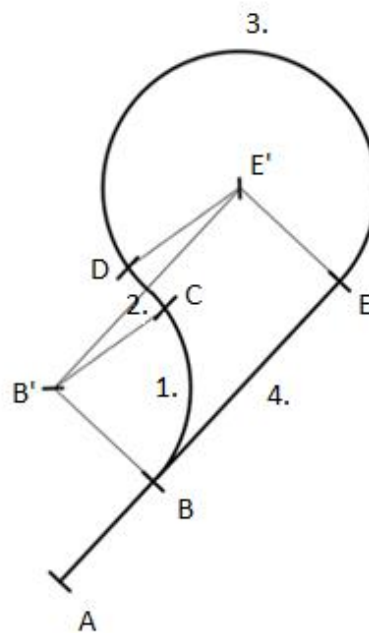
- x – kateta pravokutnog trokuta
- z – kateta pravokutnog trokuta.

$$\tan 10^\circ = \frac{x}{19 \text{ s}}$$

$$x = \tan 10^\circ \cdot 19 \text{ s}$$

$$x = 3,3 \text{ s} = 2x = 6,6 \text{ s}$$

Nakon izračunatih 6,6 sekundi, zrakoplov skreće za 260° udesno, te se standardnim zaokretom ostvaruje vrijeme od 86,6 sekundi. Na poziciji E zrakoplov dalje ide u smjeru pravca uzletno-sletne staze 224° , a udaljenost od pozicije E do B je jednaka promjeru kružnice opisane zaokretom, slika 17.



Slika 17. Proceduralni zaokret $80^\circ/260^\circ$, udaljenost EB

Izvor: [9]

Četvrti segment je udaljenost EB, a prema slici 17., vidljivo je iz sličnosti trokuta, da je udaljenost $\overline{EE'}$ polumjer radijusa standardnog zaokreta, koji iznosi 19 sekundi. Udaljenost $\overline{EE'}$ je polovica duljine \overline{EB} , stoga vrijedi da ta duljina iznosi 38 sekundi.

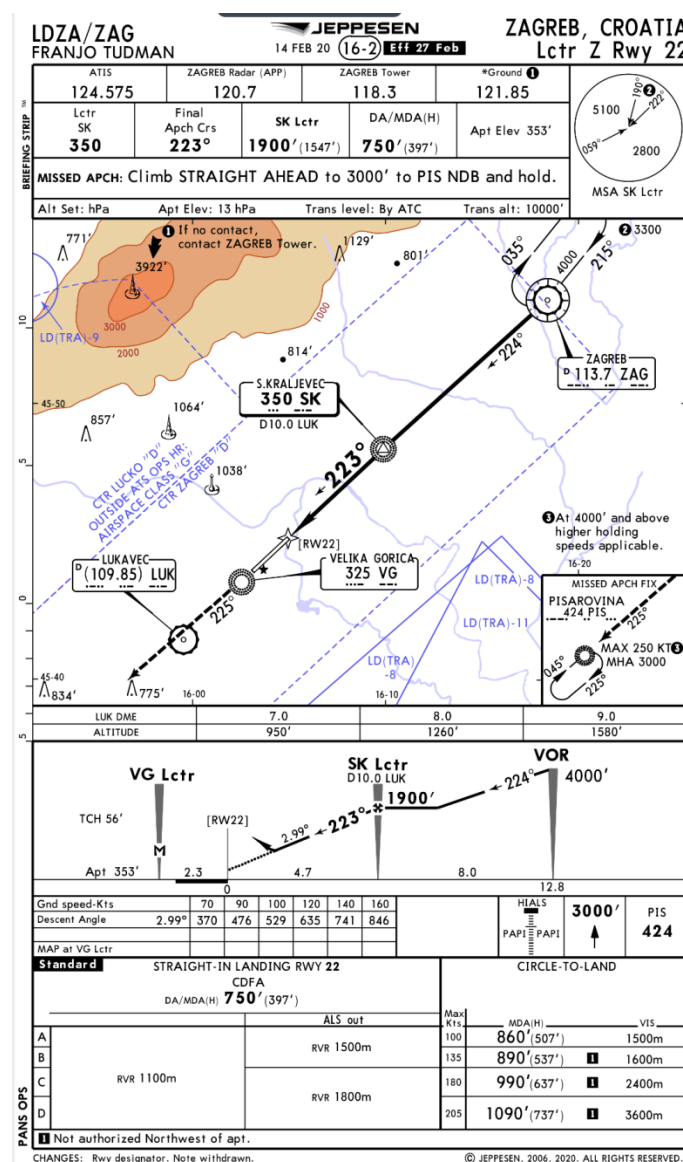
Od pozicije E do B potrebno je 38 sekundi, a ujedno prelet pozicije B označava kraj povratnog postupka 80°/260°.

$$t_{uk} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$$

$$t_{uk} = 26,6 s + 6,6 s + 86,6 s + 38 s = 157,8 s \approx 158 \text{ sekundi}$$

Ukupno trajanje izvedbe povratnog postupka iznosi 158 sekundi.

Na slici 18. prikazana je instrumentalna prilazna karta za neprecizni prilaz NDB Rwy 22, povratni postupak započinje iznad VOR-a ZAG.

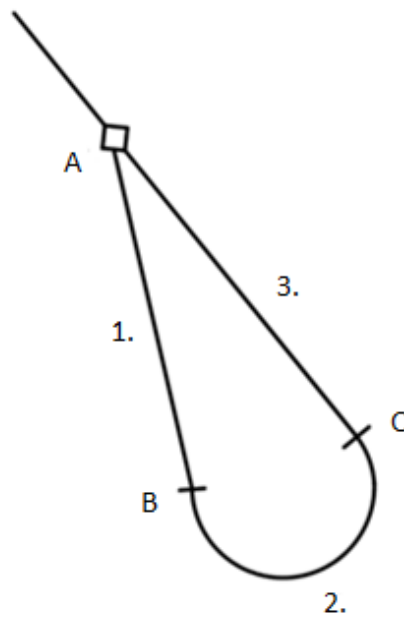


Slika 18. Instrumentalna prilazna karta zračne luke Zagreb – Lctr Z Rwy 22

Izvor: [14]

6.3 Proračun elemenata osnovnog zaokreta bez utjecaja vjetra

Izgled osnovnog zaokreta i njegovih segmenata prikazan je na slici 19. Proučavajući instrumentalnu prilaznu kartu Zračne luke Rijeka, prilaz prema navigacijskom sredstvu VOR za uzletno-sletnu stazu 32, definiran je osnovni zaokret koji započinje iznad navigacijskog sredstva NDB, prikazan na slici 20. Važno je napomenuti da se snižavanje u postupku u proračunu zanemaruje.



Slika 19. Osnovni zaokret sa segmentima

Izvor: [9]

Duljina odlaznog kraka započinje na udaljenosti od VOR sredstva 6,4 NM, odnosno iznad NDB sredstva, na slici 19. točka A, a završava na udaljenosti od 11 NM odnosno točki B. Prema tome, izračunom njihove razlike odlazni krak osnovnog zaokreta je $l_1 = 4,6$ NM.

Uz poznat kut i jednu stranicu trokuta, dobije se duljina druge stranice l_2 koja nalaže kolika je udaljenost od završetka zaokreta u zadanu putanju do početnog preletišta gdje se izvodi osnovni zaokret, izračun prikazan formulom (12) Pitagorinog poučka.

$$\cos \theta = \frac{l_2}{l_1} \quad (12)$$

Pri čemu je:

- θ – kut između 1. i 3. segmenta osnovnog zaokreta sa slike 19 [°]
- l_1 – udaljenost 1. segmenta osnovnog zaokreta sa slike 19.
- l_2 – udaljenost 3. segmenta osnovnog zaokreta sa slike 19.

$$\cos(19^\circ) = \frac{l_2}{l_1}$$

$$l_2 = 4,6 \text{ NM} \cdot \cos(19^\circ)$$

$$l_2 = 4,35 \text{ NM}$$

Radius zaokreta prema slici 19. je kateta BC pravokutnog trokuta ΔABC , računa se pomoću Pitagorinog poučka formulom (13):

$$d = \sqrt{l_1^2 - l_2^2} \quad (13)$$

Pri čemu je:

- d – kateta \overline{BC} pravokutnog trokuta ΔABC sa slike 19.

$$d = 1,5 \text{ NM} = \frac{d}{2} = r = 0,75 \text{ NM}$$

Vrijeme s obzirom na promjenu kuta zrakoplova koji iznosi 19° i brzinu zaokreta od $3^\circ/\text{s}$ te iznosi 6,3 sekunde prema formuli (6), a prijeđena udaljenosti iznosi:

$$D = 120 \text{ kt} \cdot \frac{6,3 \text{ s}}{3600} = 0,2 \text{ NM}$$

Putanjom smjera 160° zrakoplov leti definiranim vremenom ili udaljenošću. U ovom postupku definirana je udaljenost od DME-a. Zrakoplov započinje zaokret na udaljenosti od 6,4 nautičkih milja od DME sredstva i vodi se do 11 nautičkih milja od istog. Iz toga, zaključuje se duljina od 4,6 nautičkih milja, dio te duljine je zrakoplov prošao tijekom prvog zaokreta za 19° , a nakon toga slijedi zaokret u zadanu putanju u smjeru prilaza na uzletno-sletnu stazu. Vrijeme trajanja se dobije pomoću konstantne stvarne zrakoplova od 120 čvorova i udaljenosti iz formule (6).

$$t = \frac{4,6 \text{ NM} - 0,2 \text{ NM}}{120 \text{ kt}} \cdot 3600 = 132 \text{ s}$$

Standardnim zaokretom zrakoplov mora promijeniti smjer za 199° kako bi se našao na zadanoj putanji, a vrijeme se izračuna po formuli (3).

$$t = \frac{199^\circ}{3^\circ/\text{s}} = 66,3 \text{ s}$$

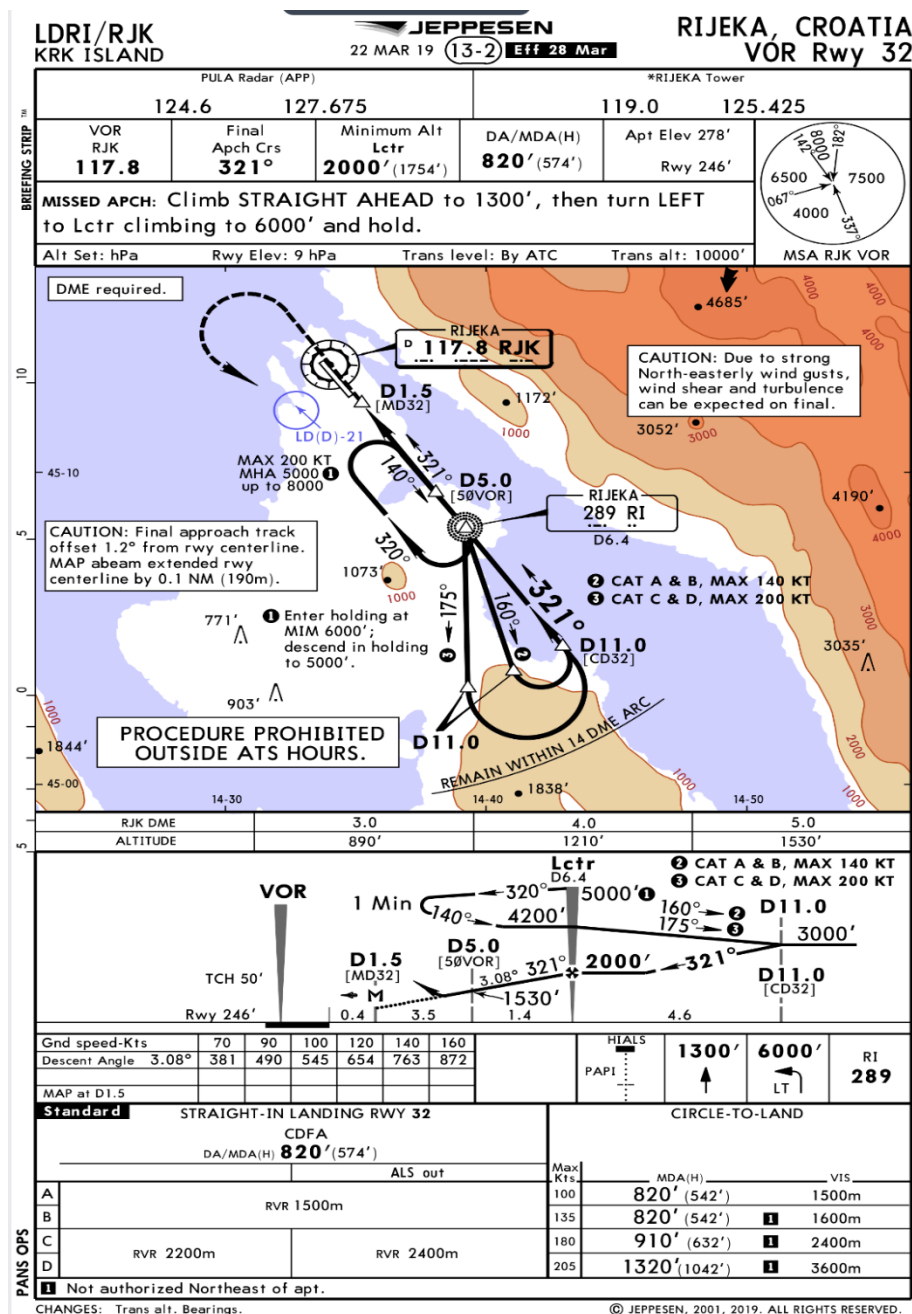
Vrijeme trajanja trećeg segmenta postupka dobije se formulom (6) kao i u prvom segmentu:

$$t = \frac{4,35 \text{ NM}}{120 \text{ kt}} \cdot 3600 = 129,6 \text{ s}$$

Stoga, ukupno trajanje povratnog postupka osnovnog zaokreta može se prikazati kao zbroj vremena svih segmenata, pri čemu je t_0 vrijeme trajanja zaokreta u 1. segment.

$$t_{uk} = t_0 + t_1 + t_2 + t_3$$

$$t_{uk} = 6,3 \text{ s} + 138 \text{ s} + 66,3 \text{ s} + 129,6 \text{ s} = 340,2 \text{ s} \approx 340 \text{ sekundi}$$



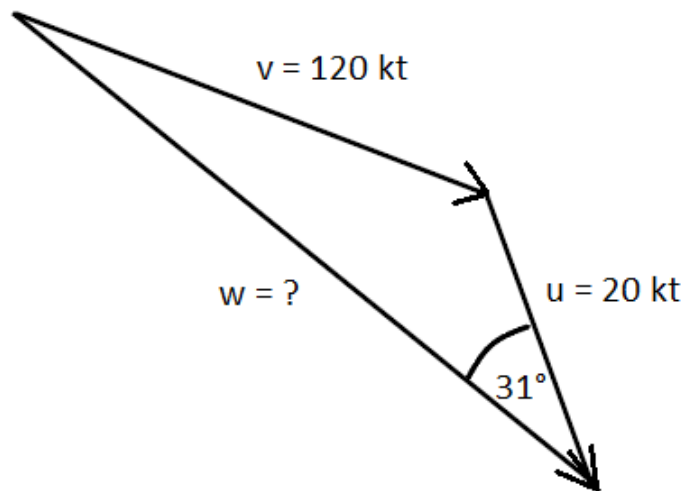
Slika 20. Instrumentalna prilazna karta Zračne luke Rijeka – VOR Rwy 32, [14]

6.4 Proračun elemenata proceduralnog zaokreta 45°/180° s utjecajem vjetra

Vjetar je u uvjetima iz 340° jačine 20 čvorova. U proceduralnom zaokretu zrakoplov će naići na leđni, u zaokretu i na bočni, i po povratku na čeonu vjetar. Vjetar se mora parirati kako bi se zrakoplov našao na zadanoj i željenoj putanji potrebnoj za prilaz i slijetanje.

Zrakoplovu će u prvom zaokretu trebati jednako 15 sekundi kao i u uvjetima bez vjetra, no razlika je kakva će biti putanja i udaljenost zrakoplova s obzirom na vjetar. Ovisno iz kojeg smjera vjetar puše, takav će i oblik poprimiti izgled zaokreta. U drugom segmentu, prema izračunu će se vidjeti da se mora napraviti ispravka kuta zanošenja pomoću produljenja ili skraćanja odleta, ovisno o smjeru vjetra.

Kao i prije, pretpostavlja se stvarna brzina od 120 čvorova, ali putna brzina će zbog vjetra iznositi 135 čvorova u drugom segmentu, prikazano vektorski na slici 21., poznato formulom (4) za izračun putne brzine pomoću kosinusovog poučka:



Slika 21. Vektorski prikaz utjecaja vjetra na kretanje zrakoplova

$$w^2 = v^2 - u^2 + 2 v u \cos 31^\circ$$

$$w^2 = 120^2 - 20^2 + 2 \cdot 120 \cdot 20 \cdot \cos 31^\circ$$

$$w^2 = 18114,4$$

$$w = \sqrt{18114,4}$$

$$w = 134,5 \text{ kt} \approx 135 \text{ kt}$$

U uvjetima bez vjetra zrakoplov prijeđe udaljenost od točke B do točke F za koju mu je potrebna 171,8 sekunda. Vjetar djeluje u smjeru bočno od zadane putanje prilaza što će u odletu prouzrokovati ledni vjetar i povećanje putne brzine. Povratni postupak je osmišljen u

određenim okvirima zračnog prostora te pilot mora izračunati ispravku kako ne bi u bilo kojim uvjetima vjetra premašio ta ograničenja. Ispravka za kut zanošenja se kompenzira s produljenjem ili skraćanjem odleta te se računa na sljedeći način.

Kut zanošenja dobije se formulom (3):

$$\alpha = \frac{\sin 76^\circ \cdot 20 \text{ kt}}{120 \text{ kt}} \cdot 60 = 9,7^\circ \approx 10^\circ$$

Dodatna udaljenost koja se prijeđe tijekom trajanja postupka do točke F zbog kuta zanošenja iznositi će prema formuli (14):

$$L = T \cdot \alpha \quad (14)$$

Pri čemu je:

- L – udaljenost tijekom zanošenja [m]
- T – vrijeme trajanja leta od točke B do točke F u uvjetima bez vjetra [s]

$$L = 171,8 \text{ s} \cdot 10^\circ = 1718 \text{ m} = \frac{1,718 \text{ km}}{1,852} = 0,93 \text{ NM}$$

Formulom (6) dodatno vrijeme u uvjetima vjetra iznosi:

$$t = \frac{0,93 \text{ NM}}{120 \text{ kt}} \cdot 3600 = 27,9 \text{ s} = 28 \text{ s}$$

Zrakoplov brzinom 120 čvorova za 28 sekundi prijeđe udaljenost od 0,93 nautičke milje.

Odnos vremena i kuta zanošenja vrijedi formula (15):

$$t : \alpha = x_1 : 1 \quad (15)$$

Pri čemu je:

- x_1 – vremenska ispravka vjetra [s]

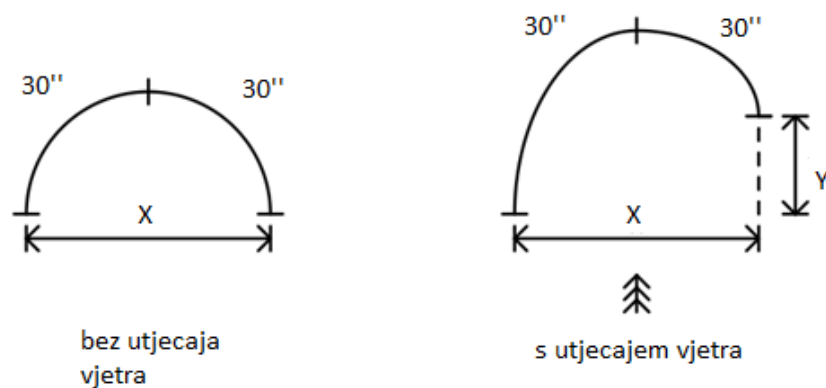
$$28 : 10 = x_1 : 1$$

Prema tome, x_1 iznosi 2,8 sekundi, zaokružuje se na 3 sekunde. Iz tog izračuna, s obzirom na to da je vjetar iz smjera koji djeluje leđno na odlet, potrebno je skratiti vrijeme odleta za 3

sekunde za svaki stupanj zanošenja. U ovom slučaju, kut zanošenja je 10° , te će se odlet u smjeru 129° skratiti za 30 sekundi, odnosno trajat će 30 sekundi [15].

Nakon toga, slijedi zaokret za 180° koji također traje jednako s obzirom na to da se radi o standardnoj brzini zaokreta, a vrijeme trajanja je 1 minuta. Vjetar će utjecati na zrakoplov tako da će u jednom vremenskom periodu imati leđnu, a onda čeonu komponentu.

Izgled samog zaokreta bit će drugačiji nego u uvjetima bez vjetra, prikazanog s usporedbom na slici 22.



Slika 22. Utjecaj vjetra na zaokret za 180° , [9]

Za izračun se koristi srednja brzina za svaki dio zaokreta, s obzirom na to da vjetar puše i djeluje leđno, bočno i čeonu, a zrakoplov leti stalnom brzinom okretanja. Segment Y se može izračunati kao razlika između prve i druge polovice zaokreta prema formuli (16):

$$Y = \bar{V}_1 \cdot t - \bar{V}_2 \cdot t \quad (16)$$

Pri čemu je:

- Y – razlika udaljenosti kod uvjeta bez vjetra i s vjetrom [NM]
- \bar{V}_1, \bar{V}_2 - srednje brzine zbog promjenjive putne brzine zrakoplova u zaokretu [kt].

$$Y = \frac{120 \text{ kt} + 135 \text{ kt}}{2} \cdot \frac{30 \text{ s}}{3600} - \frac{120 \text{ kt} + 105 \text{ kt}}{2} \cdot \frac{30 \text{ s}}{3600}$$

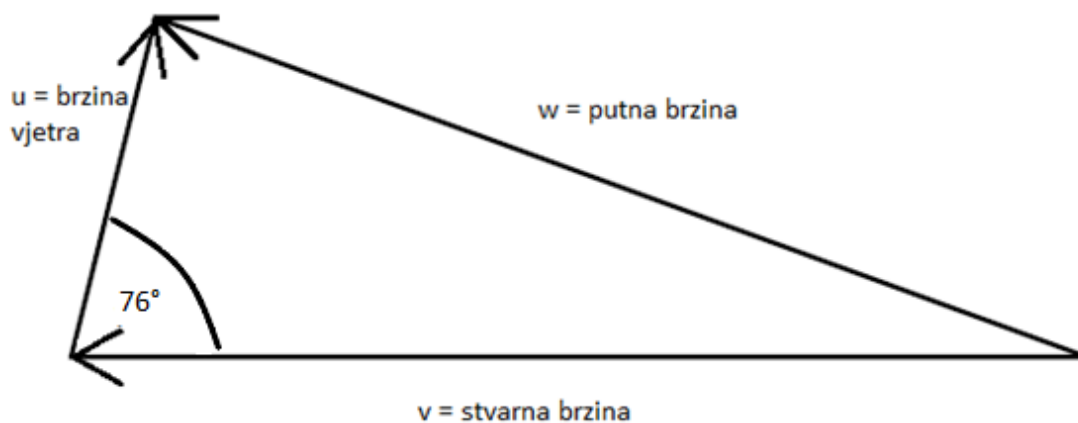
$$Y = 0,16 \text{ NM}$$

Na izlasku na kurs leta 309°, vjetar će opet imati utjecaj te će zanositi zrakoplov. Uzimajući u obzir da se zrakoplov nalazi na kursu za 180° različitom od prošlog, za zaključiti je jednak upadni kut vjetra te će se putna brzina smanjiti za isti proračunati iznos. Putna brzina će biti 105 čvorova. Udaljenost izračunata formulom (6) u četvrtom dijelu zaokreta bez uvjeta vjetra:

$$D = 120 \text{ kt} \cdot \frac{21,8 \text{ s}}{3600} = 0,73 \text{ NM}$$

Zrakoplovu je s putnom brzinom od 105 čvorova potrebno 25 sekundi da prijeđe četvrti dio zaokreta u slučaju vjetra. Zaokret za 45° standardnim zaokretom traje 15 sekundi u smjer 264°, ujedno i konačan smjer za prilaz za slijetanje.

Naposljetku, u petom segmentu postupka, u zadnjem kursu jednakom za prilaz na slijetanje 264°, zrakoplov će imati bočni vjetar. U uvjetima bez vjetra, vrijeme trajanja iznosi 54,02 sekundi, a udaljenost je 1,8 nautičkih milja. Na slici 23. prikazan je navigacijski trokut pomoću kojeg se dobije putna brzina zrakoplova uz formulu (4).



Slika 23. Odnos brzina u navigacijskom trokutu

$$w^2 = v^2 + u^2 - 2 v u \cos 76^\circ$$

$$w^2 = 120^2 + 20^2 - 2 \cdot 120 \cdot 20 \cdot \cos 76^\circ$$

$$w^2 = 13638,8$$

$$w = \sqrt{13638,8}$$

$$w = 116,7 \text{ kt} \approx 117 \text{ kt}$$

S ovom putnom brzinom zrakoplovu treba 55,4 sekunde do točke B, odnosno završetka zaokreta.

Kut ispravke vjetra prema formuli (3) iznosi:

$$\alpha' = \frac{\sin 76^\circ \cdot 20 \text{ kt}}{120 \text{ kt}} \cdot 60 = 9,7^\circ \approx 10^\circ$$

Zrakoplov treba letjeti s kutom ispravke od 10° , mijenjajući pravac leta u smjer 274° .

Ukupno vrijeme trajanja povratnog postupka iznosi 200,4 sekunde. Vremenskim ispravljanjem kuta zanošenja, postiglo se kraće vrijeme trajanja proceduralnog zaokreta $45^\circ/180^\circ$ za 26 sekundi.

6.5 Proračun elemenata proceduralnog zaokreta $80^\circ/260^\circ$ s utjecajem vjetra

Tijekom izvođenja proračuna za proceduralni zaokret $80^\circ/260^\circ$ vjetar je iz smjera 130° brzine 20 čvorova. Prvi zaokret za 80° bit će jednak vremenu kao i u uvjetima bez vjetra, razlika je u prijeđenoj udaljenosti. U ovom slučaju, vjetar će povećati rezultantnu brzinu, izračun pomoću trigonometrijske metode prikazan je u formuli (17).

$$w = v + \cos \beta \cdot u \quad (17)$$

$$w = 120 \text{ kt} - \cos 86^\circ \cdot 20 \text{ kt} = 118,6 \text{ kt} \approx 119 \text{ kt}$$

Uzimajući u obzir brzinu i trajanje zaokreta, jednostavnim načinom iz formule (6) udaljenost iznosi:

$$D = 119 \text{ kt} \cdot \frac{26,6 \text{ s}}{3600} = 0,88 \text{ NM}$$

Iz proračuna bez vjetra, potrebno vrijeme za zaokret u drugi smjer zbog inercije iznosi 6,6 sekundi. Zaokret je veličine 260° , a radi lakšeg izračuna podijelit će se na dva dijela, jedan od 80° , a drugi od 180° koji se može promatrati jednako kao i u proceduralnom zaokretu $45^\circ/180^\circ$.

Zrakoplov se nakratko nalazi na kursu za 80° većem, te će vjetar utjecati leđno što će promijeniti putnu brzinu, prikazano na slici 24., iz formule (4):

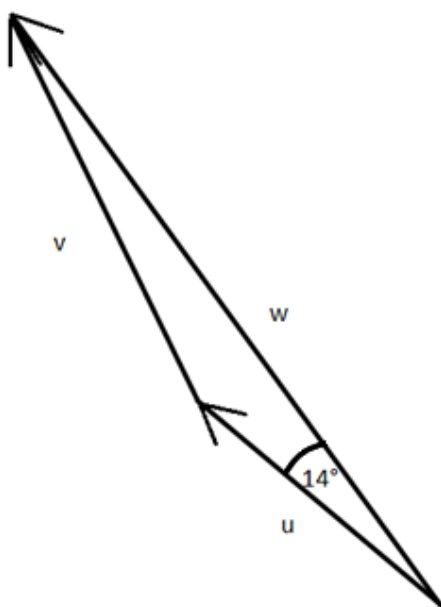
$$w^2 = v^2 - u^2 + 2 v u \cos 14^\circ$$

$$w^2 = 120^2 - 20^2 + 2 \cdot 120 \cdot 20 \cdot \cos 14^\circ$$

$$w^2 = 18657,4$$

$$w = \sqrt{18657,4}$$

$$w = 136,6 \text{ kt} \approx 137 \text{ kt}$$



Slika 24. Trigonometrijski izračun brzina

Zaokret za 80° već spomenuto traje 26,6 sekundi, a uz poznatu putnu brzinu, formulom (6) izračunata je prijeđena udaljenost.

$$D = 137 \text{ kt} \cdot \frac{26,6 \text{ s}}{3600} = 1 \text{ NM}$$

Zrakoplov nakon prelaska 80° nastavlja zaokretati još za 180° kako bi se našao u kursu za prilaz. Izračun je odrađen jednako kao i kod proceduralnog zaokreta 45°/180° formulom (16).

$$Y = \frac{137 + 119}{2} \cdot \frac{30}{3600} - \frac{105 + 119}{2} \cdot \frac{30}{3600}$$

$$Y = 0,14 \text{ NM}$$

Zrakoplov će u slučaju vjetra prijeći 0,14 nautičkih milja u zaokretu, a na putanji 264° će prijeći udaljenost u uvjetima bez vjetra sa stvarnom brzinom od 120 čvorova prema formuli (4):

$$D = 120 \text{ kt} \cdot \frac{38 \text{ s}}{3600} = 1,27 \text{ NM}$$

Uz dodanu vrijednost Y, zrakoplov će u slučaju vjetra prijeći 1,41 NM.

Na zrakoplov tijekom cijelog zaokreta većinom djeluje leđni vjetar, te će to prouzrokovati veliko zanošenje koje je teško u stvarnosti parirati ako se pilot pridržava standardnih zaokreta. Zanošenje će djelovati tako da ako pilot nastavi standardnim zaokretom u namjeravani pravac leta, udaljenost od namjeravane putanje leta odnosno smjera za prilaz na uzletno-sletnu stazu bit će velika. Potrebno je zaustaviti zrakoplov u pravcu leta kojim će se presresti putanja leta za prilaz. Upravo zbog ovih problema, proceduralni zaokret 80°/260° se više skoro uopće ne koristi kao postupak tijekom prilaženja.

U četvrtom segmentu zrakoplov leti u zadanom kursu za prilaz 224°, zbog utjecaja bočnog vjetra, kut zanošenja iz formule (3) iznosi:

$$\alpha = \frac{\sin 86^\circ \cdot 20 \text{ kt}}{120 \text{ kt}} \cdot 60 = 9,9^\circ \approx 10^\circ$$

Pravac leta će se smanjiti za 10° stupnjeva u 214° da zrakoplov ostane na namjeravanoj putanji leta.

S upadnim kutom vjetra od 86°, putna brzina zrakoplova iznositi će 121 čvor, a vrijeme trajanja četvrtog dijela prema formuli (6) iznosi:

$$t = \frac{1,41 \text{ NM}}{121 \text{ kt}} \cdot 3600 = 41,95 \text{ s} \approx 42 \text{ s}$$

Ukupno trajanje proceduralnog zaokreta $80^\circ/260^\circ$ u uvjetima bočnog vjetra na zadanu putanju prilaza je 161,8 sekunde, samo 4 sekunde dulje nego u uvjetima bez vjetra, ali zbog utjecaja vjetra koji će imati na zrakoplov tijekom cijelog zaokreta, razlika u vremenu u stvarnom letu bit će znatnije veća.

6.6 Proračun elemenata osnovnog zaokreta s utjecajem vjetra

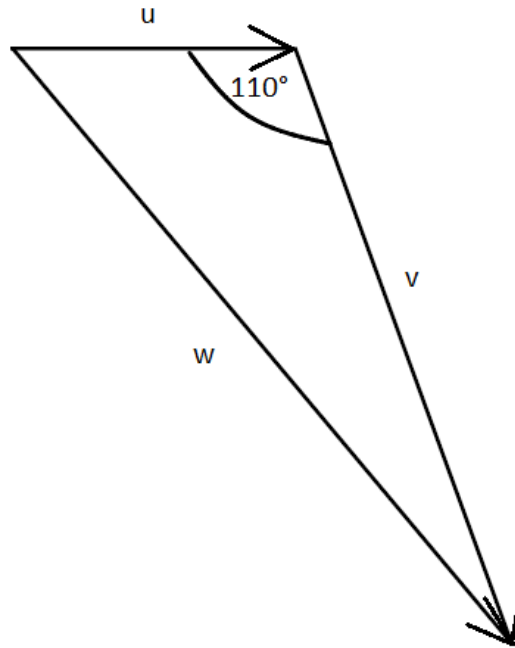
Izračun će se izvoditi s pretpostavkom jačine vjetra 20 čvorova iz smjera 270° . S obzirom na pojavu vjetra, prijedene udaljenosti u zaokretu će se razlikovati od onih u slučaju bez vjetra. Brzina pri utjecaju vjetra se mijenja i računat će se trigonometrijski.

Zrakoplov mora započeti zaokret za 19° iznad NDB sredstva, i vodi se po pravcu u kursu leta 160° sve do 11 nautičkih milja od DME sredstva. S obzirom na vjetar, brzina i vrijeme trajanja tog segmenta bit će promijenjeni, kao i kut ispravke zbog smjera iz kojeg vjetar puše.

Zaokret za 19° prema formuli (5) traje:

$$t = \frac{19^\circ}{3^\circ/s} = 6,3 \text{ s}$$

Trigonometrijski izračun brzine je prikazan na slici 25, a poznavajući dvije stranice (stvarnu brzinu zrakoplova i brzinu vjetra) i upadni kut vjetra, kosinusovim poučkom iz formule (4) izračunat će se treća stranica koja rezultira putnom brzinom.



Slika 25. Utjecaj vjetrova na kretanje zrakoplova u osnovnom zaokretu

$$w^2 = v^2 - u^2 + 2 v u \cos 70^\circ$$

$$w^2 = 120^2 - 20^2 + 2 \cdot 120 \cdot 20 \cdot \cos 70^\circ$$

$$w^2 = 15641,7$$

$$w = \sqrt{15641,7}$$

$$w = 125,1 \text{ kt} \approx 125 \text{ kt}$$

Od DME udaljenosti iznad NDB sredstva koje iznosi 6,4 NM, u ovih 6,3 sekunde zrakoplov je preletio udaljenost, vidljivo iz formule (6), od:

$$D = 125 \text{ kt} \cdot \frac{6,3 \text{ s}}{3600} = 0,2 \text{ NM}$$

Do drugog zaokreta, od 6,6 NM do 11 NM, ostaje udaljenost od 4,4 NM, i s utvrđenom brzinom, formulom (6) potrebno vrijeme iznosi:

$$t = \frac{4,4 \text{ NM}}{125 \text{ kt}} * 3600 = 126,72 \text{ s}$$

Kut ispravke je izračunat na isti način s poznatim upadnim kutom vjetra, jačinom vjetra i stvarnom brzinom zrakoplova formulom (3).

$$\alpha' = \frac{\sin 70^\circ \cdot 20 \text{ kt}}{120 \text{ kt}} \cdot 60 = 9,4^\circ = 9^\circ$$

Da bi se zadržao kurs zrakoplova 160° , potrebno je promijeniti pravac leta za 9° udesno, odnosno 169° . Nakon dolaska do 11 NM od DME sredstva, u zaokretu od 199° koji će se podijeliti na tri dijela, u svim dijelovima će većinom biti dominantna bočna komponenta vjetra. Prvi dio je zaokret od 19° , drugi i treći su zajedno 180° , s time da će se posebno računati s obzirom na razliku u brzini zbog vjetra.

Udaljenost prijeđena nakon zaokreta je izračunata metodom kojom se dobila vrijednost Y u proračunu kod proceduralnog zaokreta $45^\circ/180^\circ$, razlika udaljenosti pokazat će razliku između prijeđene udaljenosti bez i s utjecajem vjetra, formula (16).

$$Y = 125 \text{ kt} \cdot \frac{7 \text{ s}}{3600} + \frac{120 \text{ kt} + 140 \text{ kt}}{2} \cdot \frac{30 \text{ s}}{3600} - \frac{120 \text{ kt} + 107 \text{ kt}}{2} \cdot \frac{30 \text{ s}}{3600}$$

$$Y = 0,38 \text{ NM}$$

Iz proračuna osnovnog zaokreta bez utjecaja vjetra, udaljenost do NDB sredstva gdje završava osnovni zaokret je 4,35 NM. S utjecajem vjetra, u zaokretu je vjetar produljio prijeđenu udaljenost, te u ovim uvjetima do 6,4 NM DME nadodaje se 0,38 NM jer je vjetar udaljio zrakoplov od zadanog mjesta gdje se označava završetak zaokreta.

Uz već izračunatu putnu brzinu u kursu 321° od 107 čvorova i s poznatom udaljenosti, vrijeme trajanja je:

$$t = \frac{4,73 \text{ NM}}{107 \text{ kt}} \cdot 3600 = 159,1 \text{ s}$$

Kut ispravke koji je potreban da bi zrakoplov ostao na kursu za prilaz za slijetanje je iskazan formulom (3):

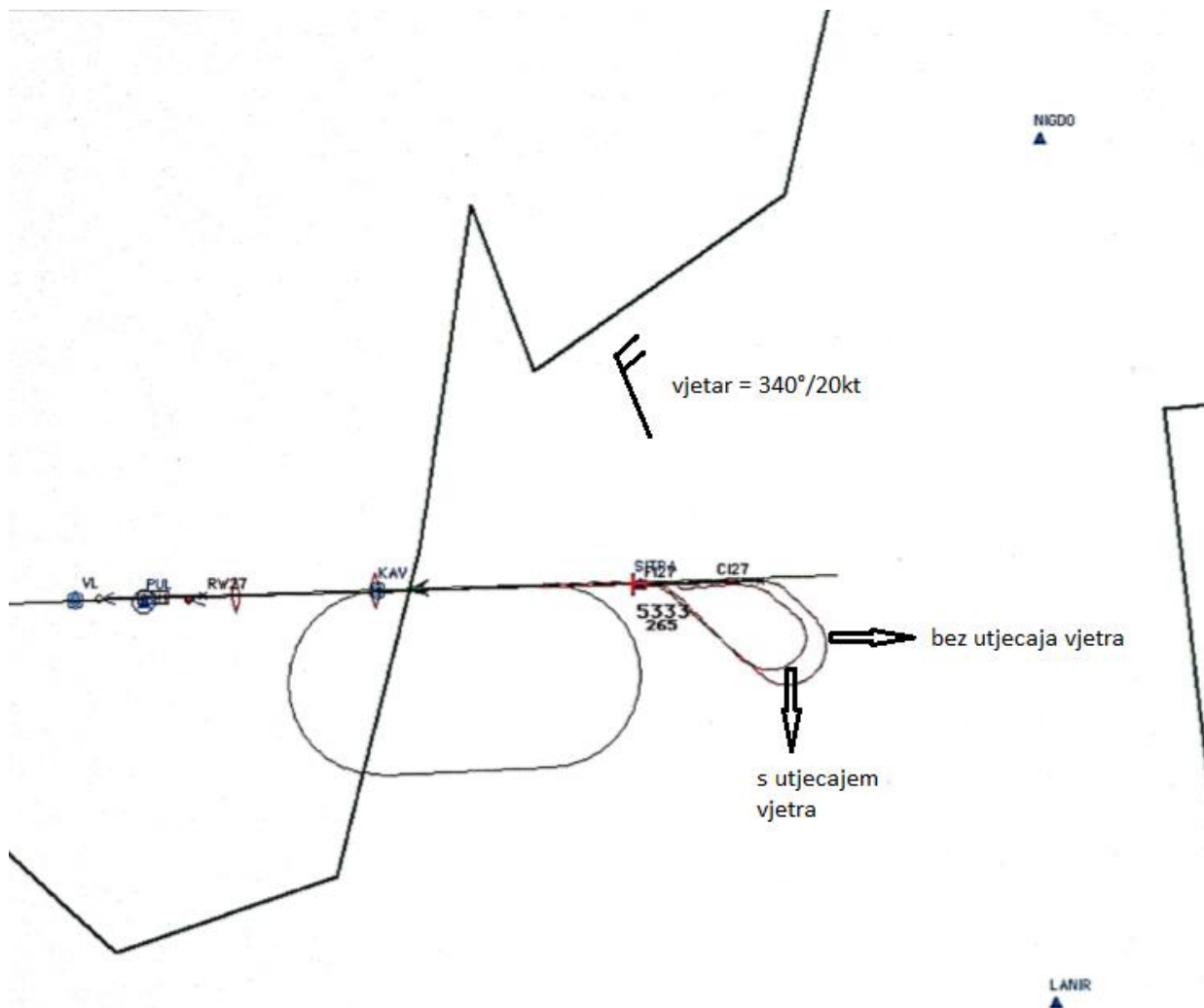
$$\alpha' = \frac{\sin 51^\circ \cdot 20 \text{ kt}}{120 \text{ kt}} \cdot 60 = 7,7^\circ = 8^\circ$$

Iz toga se zaključuje da pravac leta mora biti u smjeru 312° kako bi se nastavio siguran prilaz prema uzletno-sletnoj stazi za slijetanje. Zrakoplovu je u uvjetima vjetra vrijeme trajanja osnovnog zaokreta 358,42 sekunde, što bi značilo 18 sekundi dulje nego u uvjetima bez vjetra.

7. Mjerenje parametara u trenažeru leta

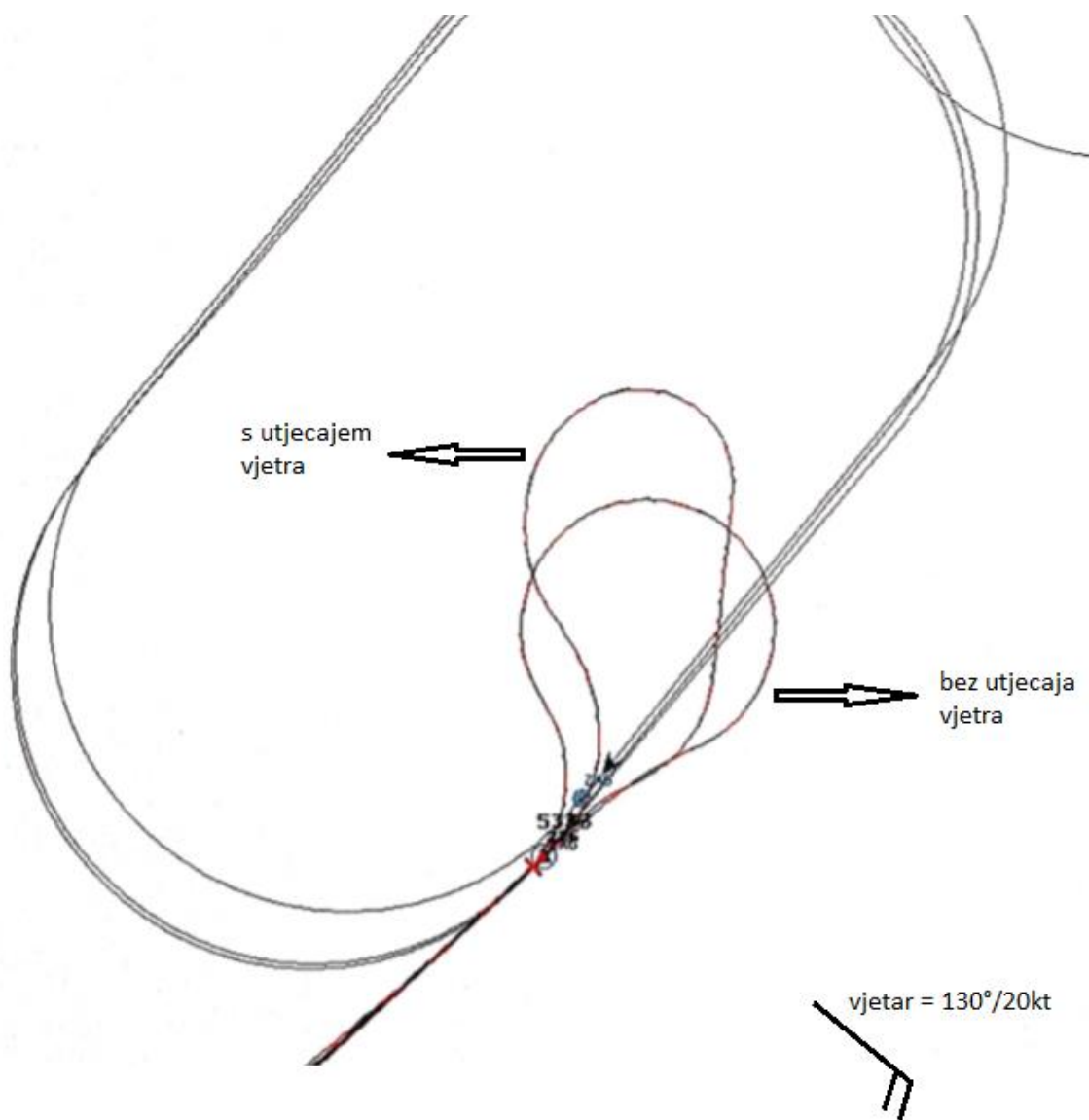
Navigacijski i proceduralni trenažer leta (engl. *Flight Navigation and Procedures Trainer* ili *FNPT*) je osmišljen kako bi pilotima bilo omogućeno letenje u svim zadanim uvjetima radi uvježbavanja i kako bi se što sigurnije obavljali svi postupci u letu. Trenažer leta ima svu opremu koja je potrebna pilotu i zrakoplovu da se sigurno i sa svim dostupnim sredstvima odrade procedure uključujući prilazne procedure. Upravo ovom metodom odradit će se svi zaokreti, bez i s uvjetima vjetra, kako bi se uvidjele razlike. U samom letenju, piloti ili računala će ipak imati neka odstupanja u izvedbama. Trenažer leta ima konfiguraciju dvomotornog zrakoplova kategorije B. Na sljedećim slikama prikazani su istovremeno zaokreti bez i s utjecajem vjetra, kako bi se vidjela razlika u izgledu postupka i zanošenju zrakoplova.

Na slici 26. prikazana su dva proceduralna zaokreta $45^{\circ}/180^{\circ}$, jedan bez, a drugi s utjecajem vjetra s istim zadanim parametrima sa simuliranim zračnim prostorom iznad zračne luke Pula. Vidljive su razlike u putanjama zrakoplova zbog utjecaja vjetra. U radu su već navedene tolerancije za pogrešku upravljanja zrakoplovom, i one će ovdje doći do izražaja.



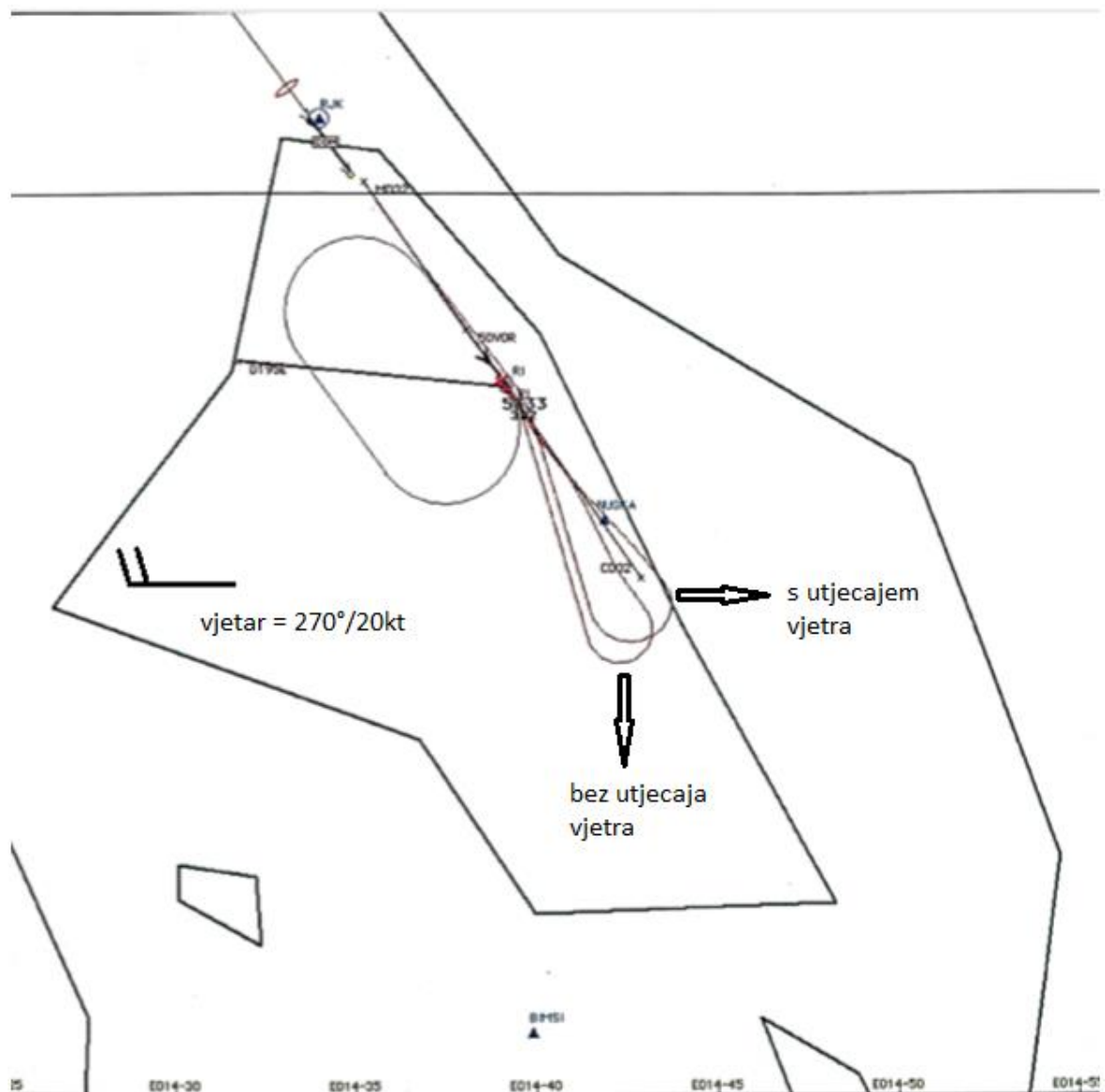
Slika 26. Izgled proceduralnog zaokreta $45^\circ/180^\circ$ u uvjetima bez i s vjetrom odrađenog u trenažeru leta

Slika 27. prikazuje proceduralne zaokrete $80^\circ/260^\circ$ izvedene u trenažeru leta bez i s uvjetima vjetra kao i u teorijskom izračunu. Vidljivo je da u uvjetima vjetra, proceduralni zaokret $80^\circ/260^\circ$ je zahtjevan kad je u pitanju pariranje vjetra samo sa standardnim zaokretom. Da bi zrakoplov došao na namjeravanu putanju za prilaz, bilo je potrebno letjeti neko vrijeme bez skretanja kako bi se smjer uzletno-sletne staze presreo. Uz sve to rečeno, važno je napomenuti i da je ovdje primjer vjetra vrlo nepogodan za praktično izvođenje ovakvog postupka.



Slika 27. Izgled proceduralnog zaokreta 80°/260° u uvjetima bez i s vjetrom odrađenog u trenažeru leta

Simulacijom prilaza na zračnoj luci Rijeka u trenažeru, odrađen je osnovni zaokret koji je propisan u proceduri. Slika 28. predstavlja osnovne zaokrete odrađene u trenažeru leta. U stvarnom letenju, vrlo je često da zrakoplov napravi prebačaj (engl. *overshoot*) ili podbačaj (engl. *undershoot*) od namjeravane putanje. Uzroci su neravnomjerni zaokret, promjena putne brzine, prekasno i prerano uvođenje i vađenje zrakoplova tijekom zaokreta, itd.



Slika 28. Izgled osnovnog zaokreta u uvjetima bez i s vjetrom odrađenog u trenažeru leta
 U sljedećem poglavlju, vidljiva je usporedba teorijskog proračuna i izmjerenih elemenata tijekom leta u trenažeru leta te su navedeni brožčani podatci kroz tablice.

8. Usporedba elemenata proračuna i izvedbe u trenažeru leta

U ovom poglavlju, usporedit će se stvarna i putna brzina, vrijeme trajanja, duljina i kut ispravke u uvjetima bez i s vjetrom kod teorijskih proračuna s podacima dobivenim iz leta trenažerom s istim uvjetima.

Tablica 2. Usporedba u uvjetima bez vjetra proceduralnog zaokreta 45°/180°

Proceduralni zaokret 45°/180° bez utjecaja vjetra	1. dio		2. dio		3. dio		4. dio		5. dio	
	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer
Stvarna brzina [kt]	120	121	120	120	120	121	120	121	120	121
Putna brzina [kt]	120	121	120	120	120	121	120	121	120	121
Vrijeme [s]	15	16,19	60	60,07	60	59,45	21,8+15*	19,4+18*	54,02	61,4
Duljina [NM]	0,5	0,54	2	2	2	2	1,23	1,26	1,8	2,1
Kut ispravke [°]	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Iz tablice 2. može se iščitati da je zrakoplovu u trenažeru vrijeme trajanja proceduralnog zaokreta 8,5 sekundi duže. Kuta ispravke nema jer su uvjeti bez vjetra. Iako u teoriji zrakoplovu za zaokret od 45° treba 15 sekundi, u trenažeru se vide odstupanja zbog vremena uvođenja u i vađenja zrakoplova iz zaokreta (tablica 2.), tu je prisutna tolerancija pogreške kod uspostave željenog nagiba zrakoplova.

Tablica 3. Usporedba u uvjetima vjetra proceduralnog zaokreta 45°/180°

Proceduralni zaokret 45°/180° vjetar 340°/20kt	1. dio		2. dio		3. dio		4. dio		5. dio	
	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer
Stvarna brzina [kt]	120	123	120	122	120	123	120	124	120	127
Putna brzina [kt]	123	132	135	139	120**	115**	105	105	117	118
Vrijeme [s]	15	21,49	30	30,69	60	60,29	25+15*	20,42+16*	55,4	42,7
Duljina [NM]	0,51	0,79	1,1	1,2	2,16	1,93	1,3	1,06	1,8	1,4
Kut ispravke [°]	/	/	/	/	/	/	/	/	+10	+9

* - u izračun 4. dijela doleta na smjer 264° zbrojeno je i vrijeme trajanja zaokreta za 45°

** - putne brzine su svedene na srednju vrijednost zbog vjetra koji u zaokretu djeluje i leđnom i čeonom komponentom.

Iz tablice 3. očituje se da let odrađen u trenažeru u uvjetima vjetra ukupno traje 10 sekundi manje nego u teoriji. To se može zaključiti iz velikog variranja kod stvarnih i putnih brzina u trenažeru. Let odrađen u trenažeru je očekivano manje precizan u mjerenju vremena trajanja zbog tolerancije mjerenja vremena usred upravljanja zrakoplovom i održavanja konstantnih brzina tijekom manevara. Zbog ispravke kut zanošenja pomoću skraćivanja vremena trajanja odleta u smjeru 129°, u uvjetima vjetra proceduralni zaokret 45°/180° je odrađen u kraćem vremenu.

Tablica 4. Usporedba u uvjetima bez vjetra proceduralnog zaokreta 80°/260°

Proceduralni zaokret 80°/260° bez utjecaja vjetra	1. dio		2. dio		3. dio		4. dio	
	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer
Stvarna brzina [kt]	120	121	120	119	120	120	120	121
Putna brzina [kt]	120	121	120	119	120	120	120	121
Vrijeme [s]	26,6	26,35	6,6	4,27	86,6	86,35	38	38,11
Duljina [NM]	0,89	0,89	0,2	0,14	2,9	2,89	1,27	1,28
Kut ispravke [°]	/	/	/	/	/	/	/	/

U uvjetima bez vjetra, u trenažeru je proceduralni zaokret 80°/260° odrađen za 3 sekunde kraće od proračuna u teoriji. Manje vrijednosti u variranju su vidljive u tablici 4. kod održavanja konstantne brzine i mjerenja vremena tijekom manevara. Povratni postupak se sastoji od zaokreta i jednog doleta, a bez utjecaja vjetra, nema ni kuta ispravke za vjetar.

Tablica 5. Usporedba u uvjetima vjetra proceduralnog zaokreta 80°/260°

Proceduralni zaokret 80°/260° vjetar 130°/20kt	1. dio		2. dio		3. dio		4. dio	
	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer
Stvarna brzina [kt]	120	120	120	121	120	121	120	122
Putna brzina [kt]	119	136	137	133	120*	110	121	124
Vrijeme [s]	26,6	29,93	6,6	5,27	86,6	99,93	42	44,96
Duljina [NM]	0,88	1,13	0,27	0,19	2,89	3,1	1,41	1,55
Kut ispravke [°]	/	/	/	/	/	/	-10	-8

* - putne brzine su svedene na srednju vrijednost zbog vjetra koji u zaokretu djeluje i leđnom i čeonom komponentom.

U usporedbi proceduralnog zaokreta 80°/260° u uvjetima vjetra između teorije i trenažnog leta (tablica 5.), za uočiti je da elementi variraju u stvarnosti i teoriji, te će svaka odstupanja kasnije prouzrokovati neko kašnjenje ili grešku. Let je odrađen za 18 sekundi dulje nego u teorijskim uvjetima, to je uzrok prijevremenog vađenja iz zaokreta 260° kako bi se presrela zadana putanja prilaza, a kut ispravke vjetra za dolet je bio manji u stvarnosti.

Tablica 6. Usporedba u uvjetima bez vjetra osnovnog zaokreta

Osnovni zaokret bez utjecaja vjetra	1. dio		2. dio		3. dio	
	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer
Stvarna brzina [kt]	120	120	120	122	120	124
Putna brzina [kt]	120	120	120	122	120	124
Vrijeme [s]	6,3+132	7,31+136,69	66,3	65,73	129,6	143,96
Duljina [NM]	4,6	4,8	2,21	2,23	4,35	4,8
Kut ispravke [°]	/	/	/	/	/	/

U proceduri za prilaz prema VOR-u za uzletno-sletnu stazu 32, određen je osnovni zaokret kojemu su granice određene DME udaljenostima, iz tablice 6. vidi se da u stvarnosti i radi

promjene stvarne i putne brzine tijekom letenja i radi drugačijih vremenskih trajanja zaokreta, može ovisiti i udaljenosti koje se prođu iako su točno propisane. Odstupanja su vidljiva i u prošlom poglavlju na slici, ali i u brojčanim podacima. Osnovni zaokret u uvjetima bez vjetra u trenažeru leta traje 19,5 sekundi duže nego u teoriji s uvjetima bez vjetra.

Tablica 7. Usporedba u uvjetima vjetra osnovnog zaokreta

Osnovni zaokret vjetar 270°/20kt	1. dio		2. dio		3. dio	
	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer	Teorija	Trenažer
Stvarna brzina [kt]	120	120	120	120	120	122
Putna brzina [kt]	125	123	119**	123**	107	107
Vrijeme [s]	6,3+126,72*	5,91+133,79*	66,3	72,69	159,1	175,02
Duljina [NM]	4,6	4,7	2,2	2,5	4,73	5,2
Kut ispravke [°]	9	11	/	/	-8	-7

* - u izračun 1. segmenta, doleta na smjer 160°, zbrojeno je i vrijeme trajanja zaokreta za 19°

** - putne brzine su svedene na srednju vrijednost zbog vjetra koji u zaokretu djeluje i leđnom i čeonom komponentom.

Iz usporedbe teorije i letenja u trenažeru pod uvjetima vjetra vidljive na tablici 7., osnovni zaokret je vremenski dulje trajao za 29 sekundi. Putne brzine u ovom slučaju nisu pretjerano varirale, ali razlike u trajanju dijelova najviše se očituju kod doleta na sredstvo, odnosno prema završetku postupka s obzirom na odstupanje u vađenju zrakoplova iz zaokreta. Za uočiti je da i kut ispravke isto varira bez obzira na to što su uvjeti smjera i jačine vjetra isti u teoriji i letu u trenažeru. Vidljivo je i odstupanje u putanji što se pripisuje toleranciji pravca leta kod upravljanja zrakoplovom.

9. Zaključak

Instrumentalni letni postupci su postupci koji se izvode tijekom letenja u uvjetima smanjene vidljivosti i dio su instrumentalnog letenja. Osnova im je osigurati zrakoplovu sigurno nadvisivanje prepreka i ostalih ograničenja koja su propisana u zračnim prostorima. Postupak instrumentalnog prilaznja je niz utvrđenih manevara zrakoplova pomoću letačkih instrumenata i smatra se najzahtjevnijom fazom leta. Piloti moraju upravljati zrakoplovom pri malim brzinama i pripremiti zrakoplov za slijetanje, a vrijeme koje im je dozvoljeno je ograničeno i trebaju se držati propisanih procedura koje se nalaze na instrumentalnim prilaznim kartama za svaku instrumentalno-opremljenu zračnu luku.

Manevar koji omogućuje zrakoplovu da promijeni smjer tijekom početnog prilaznja naziva se povratni postupak. Postupak se dijeli na tri vrste: proceduralni zaokret $45^{\circ}/180^{\circ}$, proceduralni zaokret $80^{\circ}/260^{\circ}$ i osnovni zaokret. Vrlo je važna konstrukcija prostora u kojem su zamišljene izvedbe povratnih postupaka jer se treba omogućiti sigurno nadvisivanje prepreka i dovoljna širina prostora. Svaki element postupka je točno definiran, no propisana su i dozvoljena odstupanja.

Vjetar, kao pojava u atmosferi, ima značajan utjecaj na let zrakoplova. Potrebno je zbog utjecaja vjetra uzeti u obzir promjene u brzini zrakoplova, vremenu trajanja dijelova leta, prijedenoj udaljenosti i putanji leta. Trigonometrijska metoda rješavanja navigacijskog trokuta je matematički izračun utjecaja vjetra na brzine zrakoplova i ujedno metoda iz koje se dobivaju najtočniji rezultati. Vjetar će zanositi zrakoplov ovisno iz kojeg smjera puše, te je trigonometrijski izračun rješenje kojim će se dobiti kut ispravke za promjenu pravca leta te će tako zrakoplov ostati na namjeravanoj putanji.

Napravljen je proračun elemenata u svim vrstama povratnih postupaka. Svaki od njih je drugačijeg izgleda i samih segmenata. Teorijski se izradio izračun pomoću parametara koji su zadani na instrumentalnim prilaznim kartama zračnih luka Zagreb, Pula i Rijeka. Elementi variraju u vrijednostima zbog toga što su u proračunu uzeti i uvjeti bez vjetra i uvjeti s utjecajem vjetra. U istim uvjetima i sa zadanim parametrima, povratni postupci su se odletjeli u trenažeru leta koji služi za uvježbavanje navigacijskih procedura. Iz usporedbe teorije i stvarnosti leta, vidljiva su odstupanja u svakom od proračunatih elemenata kao i u izgledu samih povratnih postupaka. Ovisno o smjeru i jačini puhanja vjetra, za zaključiti je da

će elementi ovisiti hoće li se njihova vrijednost smanjiti ili povećati. Prilikom letenja, pogreške uslijed upravljanja zrakoplovom su neizbježne, pa su tako uvedene tolerancije mjerenja vremena, uspostave željenog nagiba zrakoplova, vremena reakcije pilota i tolerancija pravca leta zrakoplova. Prije i tijekom leta, vrlo je važno biti upućen s meteorološkim podacima kako bi se izradila pravilna priprema leta i povratnog postupka, kao i svih ostalih dijelova leta, te bi se na taj način točno i sigurno let odradio u svim uvjetima.

Literatura

[1] Novak D. *Zrakoplovna prostorna navigacija*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2015.

[2] Skybrary. Precision Approach. Preuzeto s: https://www.skybrary.aero/index.php/Precision_Approach [Pristupljeno: 13. travnja 2020.]

[3] Skybrary. Non-Precision Approach. Preuzeto s: https://www.skybrary.aero/index.php/Non-Precision_Approach [Pristupljeno: 13. travnja 2020.]

[4] Skybrary. Decision Altitude/Height (DA/H). Preuzeto s: [https://www.skybrary.aero/index.php/Decision_Altitude/Height_\(DA/DH\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Decision_Altitude/Height_(DA/DH)) [Pristupljeno: 13. travnja 2020.]

[5] Skybrary. Minimum Descent Altitude/Height (MDA/MDH). Preuzeto s: [http://www.skybrary.eu/index.php/Minimum_Descent_Altitude/Height_\(MDA/MDH\)](http://www.skybrary.eu/index.php/Minimum_Descent_Altitude/Height_(MDA/MDH)) [Pristupljeno: 13. travnja 2020.]

[6] International Civil Aviation Organization. *Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures*. Aircraft Operations. 2006. 5th edition. Preuzeto s: [Pristupljeno: 13. travnja 2020.]

[7] Code 7700. *Procedure turn*. Instrument Procedures. Preuzeto s: http://code7700.com/procedure_turn_hold_in_lieu.htm [Pristupljeno: 14. travnja 2020.]
FAA

[8] AltairVirtual Airlines. Procedure Turns. Preuzeto s: http://www.altairva-fs.com/training/ava_training_ifr_pt.htm [Pristupljeno: 14. travnja 2020.]

[9] Biličić M. *Proračun elemenata proceduralnih i osnovnih zaokreta*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2015. Preuzeto s: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A81/datastream/PDF/view> [Pristupljeno: 20. travnja 2020.]

[10] International Civil Aviation Organization. *Aeronautical Information Publication*. Aeronautical Information Services Manual. 2003. 6th edition. Preuzeto s:

<https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2014/ECARAIM/REF09-Doc8126.pdf>

[Pristupljeno: 23. travnja 2020.]

[11] Future Airline Pilot. Blowing in the Wind. Preuzeto s: <http://futureairlinepilot.blogspot.com/2013/07/blowing-in-wind.html> [Pristupljeno: 13. lipnja 2020.]

[12] Private Pilot Ground School. Practical Navigation Principles. Preuzeto s: <http://www.free-online-private-pilot-ground-school.com/navigation-principles.html>

[Pristupljeno: 13. lipnja 2020.]

[13] Novak D. *Zrakoplovna računska navigacija*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2012.

[14] Jeppesen. Mobile Flitedeck IFR. Preuzeto s: <https://ww2.jeppesen.com/navigation-solutions/mobile-flitedeck-ifr/> [Pristupljeno: 15. Lipnja 2020.]

[15] Vukčević Lj. *Instrumentalno letenje*. Beograd; 1970.

Popis kratica

CA	Correction Angle
CFIT	Controlled Flight Into Terrain
DA	Drift Angle
DA/H	Decision Altitude/Height
DME	Distance Measuring Equipment
FAF	Final Approach Fix
FNPT	Flight Navigation and Procedure Trainer
GS	Ground Speed
IAF	Initial Approach Fix
IAP	Instrument Approach Procedure
IAS	Indicated Airspeed
ICAO	International Civil Aviation Organization
IF	Intermediate Fix
IFP	Instrument Flight Procedures
ILS	Instrument Landing System
ISA	International Standard Atmosphere
MAP	Missed Approach Point
MDA	Minimum Descent Altitude
MOCA	Minimum Obstacle Clearance Area
MSA	Minimum Sector Altitude
NDB	Non-directional Beacon
SID	Standard Instrument Departure
STAR	Standard Arrival
TAS	True Airspeed
VOR	Very High Frequency Omni-directional Range

Popis simbola

α	kut zanošenja [°]
α'	kut ispravke [°]
β	upadni kut vjetra [°]
φ	kut zaokreta [°]
θ	kut između 1. i 3. segmenta osnovnog zaokreta [°]
D	udaljenost [NM]
d	promjer kružnice u vremenskoj jedinici [s]
L	udaljenost tijekom zanošenja [m]
l_1	udaljenost 1. segmenta osnovnog zaokreta [NM]
l_2	udaljenost 3. segmenta osnovnog zaokreta [NM]
O	opseg kružnice u vremenskoj jedinici [s]
R/T	brzina zaokreta [°/s]
r	radijus kružnice
t	vrijeme [s]
u	brzina vjetra [kt]
\bar{V}	srednja brzina zrakoplova u uvjetima vjetra [kt]
v	stvarna brzina zrakoplova [kt]
v_{at}	brzina sloma uzgona uvećana za 30% [kt]
w	putna brzina zrakoplova [kt]
x	kateta pravokutnog trokuta
x_1	vremenska ispravka vjetra [s]
Y	razlika udaljenosti kod uvjeta bez vjetra i s vjetrom [NM]
y	hipotenuza pravokutnog trokuta
z	kateta pravokutnog trokuta

Popis slika

Slika 1. Precizno prilaženje s visinom odluke DA/H	5
Slika 2. Neprecizno prilaženje s minimalnom apsolutnom visinom snižavanja MDA/H	5
Slika 3. Primjer ulaska u postupak čekanja prije procedure povratnog postupka	10
Slika 4. Proceduralni zaokret 45°/180°	12
Slika 5. Proceduralni zaokret 80°/260°	13
Slika 6. Osnovni zaokret	13
Slika 7. Grafički prikaz navigacijskog trokuta.....	14
Slika 8. Utjecaj vjetra na kretanje zrakoplova	15
Slika 9. Odnos putanja i brzina kretanja pod utjecajem vjetra.....	15
Slika 10. Odnos stranica i kuteva trokuta s upisanim veličinama	16
Slika 11. Trokut ispravke za vjetar	17
Slika 12. Proceduralni zaokret 45°/180° i njegovi segmenti	19
Slika 13. Instrumentalna prilazna karta Zračne luke Pula – ILS Rwy 27, [14]	20
Slika 14. Sličnost trokuta za izračun 4. dijela proceduralnog zaokreta 45°/180°	22
Slika 15. Proceduralni zaokret 80°/260° i njegovi segmenti.....	25
Slika 16. Izračun vremena trajanja tijekom vađenja iz jednog i uvođenja u drugi zaokret.....	26
Slika 17. Proceduralni zaokret 80°/260° , udaljenost EB.....	27
Slika 18. Instrumentalna prilazna karta zračne luke Zagreb – Lctr Z Rwy 22	28
Slika 19. Osnovni zaokret sa segmentima	29
Slika 20. Instrumentalna prilazna karta Zračne luke Rijeka – VOR Rwy 32, [14]	32
Slika 21. Vektorski prikaz utjecaja vjetra na kretanje zrakoplova	33
Slika 22. Utjecaj vjetra na zaokret za 180°, [9]	35
Slika 23. Odnos brzina u navigacijskom trokutu	36
Slika 24. Trigonometrijski izračun brzina.....	38
Slika 25. Utjecaj vjetra na kretanje zrakoplova u osnovnom zaokretu	41
Slika 26. Izgled proceduralnog zaokreta 45°/180° u uvjetima bez i s vjetrom odrađenog u trenažeru leta	45
Slika 27. Izgled proceduralnog zaokreta 80°/260° u uvjetima bez i s vjetrom odrađenog u trenažeru leta	46
Slika 28. Izgled osnovnog zaokreta u uvjetima bez i s vjetrom odrađenog u trenažeru leta	47

Popis tablica

Tablica 1. Kategorije zrakoplova prema parametru brzine <i>vat</i> u segmentu početnog prilaženja.....	11
Tablica 2. Usporedba u uvjetima bez vjetra proceduralnog zaokreta 45°/180°	48
Tablica 3. Usporedba u uvjetima vjetra proceduralnog zaokreta 45°/180°	48
Tablica 4. Usporedba u uvjetima bez vjetra proceduralnog zaokreta 80°/260°	49
Tablica 5. Usporedba u uvjetima vjetra proceduralnog zaokreta 80°/260°	50
Tablica 6. Usporedba u uvjetima bez vjetra osnovnog zaokreta	50
Tablica 7. Usporedba u uvjetima vjetra osnovnog zaokreta	51



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ **završni 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 _____ **završnog rada**
pod naslovom **Proračun elemenata proceduralnih i osnovnih zaokreta**

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

U Zagrebu, 9/6/2020

Student/ica:

Laura Jovanović
(potpis)