Proračun elemenata kruga čekanja u uvjetima bočnog vjetra

Trošić, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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:119:854984

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Josip Trošić

PRORAČUN ELEMENATA KRUGA ČEKANJA U UVJETIMA BOČNOG VJETRA

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 20. travnja 2016.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 3383

Pristupnik: **Josip Trošić (0135233862)**
Studij: Aeronautika
Smjer: Pilot
Usmjerenje: Civilni pilot

Zadatak: **Proračun elemenata kruga čekanja u uvjetima bočnog vjetra**

Opis zadatka:

Opis instrumentalnih navigacijskih procedura. Definiranje elemenata kruga čekanja. Razrada načina ulaska zrakoplova u krug čekanja iz tri sektora. Opis metode za određivanje utjecaja vjetra na putanju leta zrakoplova. Odabir navigacijske instrumentalne procedure koja uključuje krug čekanja i definiranje elemenata leta. Proračun elemenata leta uz zadani bočni vjetar. Zaključna razmatranja.

Zadatak uručen pristupniku: 14. ožujka 2016.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Doris Novak

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

PRORAČUN ELEMENATA KRUGA ČEKANJA U UVJETIMA BOČNOG VJETRA

CALCULATION OF HOLDING PATTERN ELEMENTS IN CROSSWIND CONDITIONS

Mentor: izv. prof. dr. sc. Doris Novak

Student: Josip Trošić

JMBAG: 0135233862

Zagreb, rujan 2016.

PRORAČUN ELEMENATA KRUGA ČEKANJA U UVJETIMA BOČNOG VJETRA

SAŽETAK

Obavljanje leta prema pravilima instrumentalnih navigacijskih postupaka određeno je preko pravila instrumentalnog letenja. Jedna vrsta ovih postupaka je i let u krugu čekanja. Krug čekanja je utvrđeni i objavljeni manevar kojim se zrakoplov priprema za slijetanje. Sastoji se od posebnih pravila i postupaka pristupanja istom preko tri različite metode ulaska. Na let u krugu čekanja utječe komponenta vjetra koja nastoji udaljiti zrakoplov od određenog kursa. Zbog toga je nužna određena korekcija.

KLJUČNE RIJEČI: instrumentalni navigacijski postupci; krug čekanja; metode ulaska; pariranje vjetra

SUMMARY

Performing a flight in accordance to the rules of the instrument navigation procedures is determined through the instrument flight rules. One such procedure is flying inside of a holding pattern. Holding pattern is a maneuver designed to delay an aircraft already in flight while keeping it within a specified airspace. It consists of special rules and procedures for accession to the same through three different methods of entry. Flight in a holding pattern is affected by a wind that seeks to remove an aircraft from an intended course. Therefore, it is necessary to apply certain corrections.

KEYWORDS: instrument navigation procedures; holding pattern; methods of entry; wind correction

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. OPIS INSTRUMENTALNIH NAVIGACIJSKIH POSTUPAKA 3
   2.1. Instrumentalni odlazak 3
   2.2. Instrumentalni dolazak 4
   2.3. Postupak instrumentalnog prilaženja 4
   2.4. Postupak čekanja 6
   2.5. Vizualno manevriranje – kruženje s propisanim smjerovima 6
3. OBJAŠNJENJE POJMA KRUGA ČEKANJA 8
4. OBLIK I ELEMENTI KRUGA ČEKANJA 9
5. PRAVILA U KRUGU ČEKANJA 12
   5.1. Vrijeme leta 12
      5.1.1. VRIJEME LETA TIJEKOM ODLAZNOG KRAKA: 12
      5.1.2. VRIJEME LETA U PRVOM I DRUGOM ZAOKRETU ZA 180° 14
   5.2. Dozvoljena odstupanja vremena i pravca leta 15
   5.3. Minimalna visina 16
6. RAZRADA I POSTUPCI ULASKA U KRUG ČEKANJA IZ TRI SEKTORA 17
   6.1. Metoda ulaska u krug čekanja iz sektora I ili paralelni ulazak 18
   6.2. Metoda ulaska u krug čekanja iz sektora II ili kapljičasti ulazak 19
   6.3. Metoda ulaska u krug čekanja iz sektora III ili izravan ulazak 21
7. PARIRANJE VJETRA TIJEKOM LETA U POSTUPKU KRUGA ČEKANJA 24
   7.1. Prikaz postupka standardnog instrumentalnog dolaska (STAR) 24
   7.2. Proračun elemenata uz zadani bočni vjetar 26
      7.2.1. PRETPOSTAVKE 27
      7.2.2. PRORAČUN 27
8. PRIKAZ PRORAČUNATIH PODATAKA U PROGRAMU FriendlyIFR 33

8.1. Let u krugu čekanja s pariranjem vjetra 33
8.2. Let u krugu čekanja bez pariranja vjetra 36
9. ZAKLJUČAK 38
LITERATURA 39
POPIS SLIKA 40
POPIS TABLICA 40
POPIS KRATICA 41
POPIS SIMBOLA 42

1. UVOD

U zrakoplovstvu se razlikuju dva pravila letenja. Letenje prema pravilima vizualnog letenja (engl. *Visual Flight Rules* ili VFR) koje se obavlja u vizualnim meteorološkim uvjetima (engl*. Visual Meteorological Conditions* ili VMC) i letenje prema pravilima instrumentalnog letenja (engl. *Instrument Flight Rules* ili IFR) koje se obavlja prema instrumentalnim meteorološkim uvjetima (engl. *Instrument Meteorological Conditions* ili IMC) odnosno u situacijama kada su vremenski uvjeti niži od utvrđenih minimuma za vizualna pravila letenja.

Za svaki let koji se obavlja u skladu s pravilima instrumentalnog letenja propisani su instrumentalni navigacijski postupci. Svi postupci su objavljeni, utvrđeni i dostupni preko odgovarajućih karata koje se između ostalog nalaze i u Zborniku zrakoplovnih informacija određene državne vlasti (engl. *Aeronautical Information Publication* ili AIP). Jedan od instrumentalnih postupaka je i postupak letenja u krugu čekanja čija će se tematika detaljnije analizirati tijekom rada koji je podijeljen preko devet poglavlja.

U drugom poglavlju rada iznose se i opisuju instrumentalni navigacijski postupci, a postoji podjela na pet različitih elemenata koje su prije određenog leta piloti dužni proučiti i biti upoznati sa svakim pojedinim segmentom tijekom rute.

Treće poglavlje se bavi problematikom kruga čekanja te se iznose podaci preko kojih se saznaje što je on u biti i koja mu je svrha .

U četvrtom poglavlju se nastavlja analiza kruga čekanja, a tijekom ovog poglavlja iznose se osnovni dijelovi i elementi kruga čekanja.

Peto poglavlje analizira određena pravila kruga čekanja. Poglavlje je podijeljeno kroz potpoglavlja u kojima se obrađuje problematika vremena, dozvoljenih odstupanja kao i minimalne visine u krugu čekanja.

Kako bi se pristupilo krugu čekanja potrebno je poznavati, a zatim i odabrati postupak ulaska u isti. Ova problematika opisana je u šestom poglavlju i podijeljena je kroz tri potpoglavlja te je svojevrsni nastavak analize pravila kruga čekanja iz prethodnog poglavlja.

Na svaki let (VFR, IFR) djeluje određena komponenta vjetra. Vjetar je uglavnom negativna pojava u zrakoplovstvu koja nastoji udaljiti zrakoplov od

zamišljenog pravca leta, a također može uzrokovati kašnjenje i veću potrošnju goriva. Bez obzira koji vjetar djeluje na zrakoplov potrebno ga je parirati tijekom svih faza leta pa tako i u krugu čekanja.

U sedmom poglavlju se prikazuje proračun potrebnih elemenata za izvedbu pravilnog kruga čekanja tijekom utjecaja vjetra.

Osmo poglavlje nastavak je prethodnog te će se prethodno izračunati podaci prikazati u programu FriendlyIFR. Također će se prikazati i let u krugu čekanja na kojem nije vršeno pariranje vjetra.

Čitavi rad objedinjuje posljednje poglavlje odnosno zaključak u kojem se iznose završna razmatranja i cjelokupna analiza prethodno obrađenih poglavlja.

2. OPIS INSTRUMENTALNIH NAVIGACIJSKIH POSTUPAKA

Svi piloti koji lete prema pravilima instrumentalnog letenja moraju biti upoznati s instrumentalnim letnim procedurama (engl. *Instrument Flight Procedure* ili IFP). Instrumentalne letne procedure izvršavaju se preko instrumentalnih navigacijskih postupaka koji su propisani [1] i objavljeni za sve aerodrome koji ispunjavaju uvjete pružanja instrumentalnog leta. Dakle, instrumentalni navigacijski postupci obavljaju se sukladno pravilima instrumentalnog letenja pomoću kojih su piloti u mogućnosti izvršiti let u svim vremenskim uvjetima koristeći unaprijed utvrđene manevre.

Postupci se definiraju za [1], [2] :

- Instrumentalni odlazak (engl. *Standard Instrument Departure* ili SID)
- Instrumentalni dolazak (engl. *Standard Arrival* ili STAR)
- Postupak instrumentalnog prilaženja (engl. *Instrument Approach Procedure*)
- Postupak čekanja (engl. *Holding procedures*)
- Vizualno manevriranje – kruženje s propisanim smjerovima (engl. *Visual manoeuvring – Circling with prescribed trucks*)

U nastavku slijedi pojedinačni opis navedenih postupaka.

2.1. Instrumentalni odlazak

Standardni instrumentalni odlazak je utvrđena IFR odlazna ruta koja povezuje određeni aerodrom ili određenu uzletno sletnu stazu aerodroma s određenom značajnom točkom od koje započinje rutni dio leta, a koja se obično nalazi na utvrđenoj ATS ruti [2]. Dakle, instrumentalni odlazak je objavljeni instrumentalni postupak koji zrakoplov mora slijediti nakon polijetanja.

Ovaj postupak dio je odobrenja koji izdaje kontrolor prije leta (ATC *Clearance*) što znači da prije polijetanja kontrolor daje informaciju koji odletni postupak zrakoplov mora koristiti te je pilot dužan potvrditi primitak informacije, a potom ju nakon odobrenja za polijetanje i izvesti.

2.2. Instrumentalni dolazak

Standardni instrumentalni dolazak je utvrđena IFR dolazna ruta koja povezuje određenu značajnu točku, a koja se obično nalazi na utvrđenoj ATS ruti, s točkom od koje može započeti postupak instrumentalnog prilaženja, [2]. Dakle, instrumentalni dolazak je objavljeni instrumentalni postupak koji označava kraj rutne faze leta te vodi zrakoplov prema točki s koje se započinje postupak instrumentalnog prilaženja. Razlikuju se tri segmenta ovog postupka.

Početni segment sastoji se od točke koja označava početak instrumentalnog dolaska. To je utvrđena instrumentalna točka dolaznog postupka određenog aerodroma koja je označena na odgovarajućim kartama standardnog instrumentalnog dolaska za aerodrom na kojem se planira izvršiti slijetanje.

Nakon početnog segmenta slijedi međusegment kojeg čini određeni pravac leta koji vodi zrakoplov prema točki (preletištu) s koje započinje postupak instrumentalnog prilaženja.

Završni segment čini preletište početnog prilaženja (engl. *Initial Approach Fix* ili IAF) koje ujedno označava kraj postupka instrumentalnog dolaska te početak instrumentalnog prilaženja.

2.3. Postupak instrumentalnog prilaženja

Postupak instrumentalnog prilaženja obuhvaća niz unaprijed utvrđenih manevara zrakoplova pomoću letačkih instrumenata s utvrđenom zaštitom od prepreka koji započinje od preletišta početnog prilaženja ili od početka utvrđene dolazne rute do točke s koje se slijetanje može završiti, odnosno ako se slijetanje ne

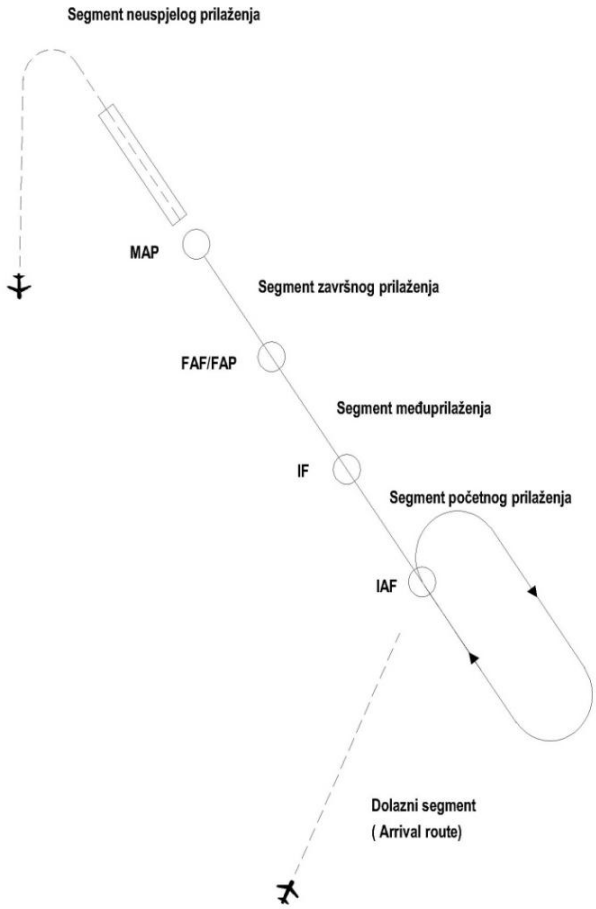
završi do pozicije na kojoj se primjenjuju mjerila za nadvisivanje prepreka za čekanje ili rutu [2].

Za razliku od ostalih postupaka, postupak instrumentalnog prilaženja najzahtjevnija je faza leta. Budući da je to segment leta koji priprema zrakoplov za slijetanje odvija se na samom završetku leta, kada su piloti već umorni, a trebaju održati visoku koncentraciju za radnje koje nadolaze.

Osim zbog psihičkog i fizičkog stanja pilota, ova faza leta je zahtjevnija i zbog razloga što zrakoplov konstantno snižava te postupno smanjuje brzinu. Dakle, u kratkom vremenu te pri završetku leta, pilot obavi niz proceduralnih postupaka kako bi pripremio zrakoplov za slijetanje.

Postupak instrumentalnog prilaženja podijeljen je u pet segmenata [1],[2]:

- Dolazni segment (engl. *Arrival route*)
- Segment početnog prilaženja (engl. *Initial approach*)
- Segment međuprilaženja (engl. *Intermediate approach*)
- Segment završnog prilaženja (engl. *Final approach*)
- Segment neuspjelog prilaženja (engl. *Missed approach*)



Slika 1. Prikaz segmenata završnog prilaženja

2.4. Postupak čekanja

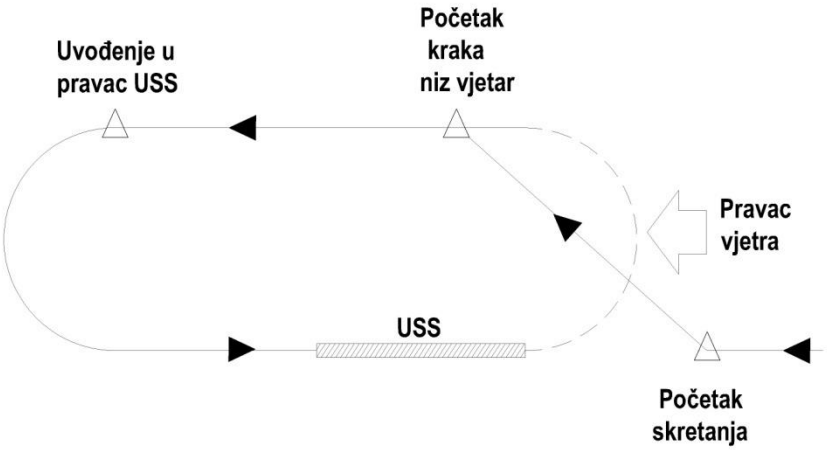
Postupak čekanja sastoji se od kruga čekanja (engl. *Holding pattern*) odnosno unaprijed utvrđenog manevra u svrhu zadržavanja zrakoplova unutar utvrđenog zračnog prostora u očekivanju daljnjeg odobrenja [1]. Dakle, krug čekanja propisan je za pravila instrumentalnog letenja, a dok se zrakoplov nalazi u njemu, pilot iščekuje daljnja odobrenja kontrole zračnog prometa. Također, ovo je postupak koji olakšava kontrolorima razdvajanje zrakoplova, a sastoji se od posebnih pravila i postupaka koji će biti izneseni u nastavku ovog rada.

Razlog zbog kojih piloti izvode krug čekanja najčešće je velika gustoća zračnog prostora oko aerodroma na kojem se planira slijetanje, no krugu čekanja se može pristupiti i zbog loših vremenskih uvjeta (kada je slijetanje na aerodrom onemogućeno zbog trenutno lošeg vremena), a također može biti i dio propisanih operativnih postupaka koje zrakoplov mora izvesti ako primijeti određeni manji kvar. Prema tome, dok zrakoplov obavlja let u postupku kruga čekanja, istovremeno nastoji ukloniti nastali problem.

2.5. Vizualno manevriranje – kruženje s propisanim smjerovima

Vizualno manevriranje (kruženje) je nastavak postupka instrumentalnog prilaženja koji omogućuje slijetanje zrakoplova na uzletno sletnu stazu koja je neprikladno smještena za izravno prilaženje [1]. Dakle, to je postupak u instrumentalnom letenju koji označava fazu leta koja slijedi nakon instrumentalnog prilaženja, a koja dovodi zrakoplov u poziciju za slijetanje tamo gdje uzletno sletne staze nisu prikladno smještene za postupak izravnog instrumentalnog prilaska (engl. *Straight in approach*) ili gdje se ne mogu zadovoljiti kriteriji gradijenta snižavanja zrakoplova.

Prikaz standardnog manevra kruženjem prikazan je na slici 2.



Slika 2. Prikaz standardnog manevra kruženjem

Dakle, iz prikazane slike se zaključuje da se vizualno manevriranje sastoji od tri segmenta odnosno pravca leta koji navodi zrakoplov prema poziciji niz vjetar (engl. *Downwind leg*), leta u kraku niz vjetar te zaokreta s kojim se zrakoplov uvodi u pravac uzletno sletne staze.

Sa svim navedenim instrumentalnim navigacijskim postupcima pilot mora biti upoznat te ih izvoditi u skladu s propisanim pravilima. Svi postupci su objavljeni i utvrđeni, a pilot ih je dužan proučiti preko karata i zapamtiti prije leta.

Opisivanjem vizualnog manevriranja završava analiza standardnih navigacijskih postupaka.

U nastavku rada detaljnije će se analizirati instrumentalni navigacijski postupak kruga čekanja te će se isti prikazati i kroz konkretne primjere.

3. OBJAŠNJENJE POJMA KRUGA ČEKANJA

Krug čekanja je unaprijed utvrđeni manevar s namjerom održavanja zrakoplova koji leti prema pravilima instrumentalnog letenja unutar utvrđenog zračnog prostora za vrijeme iščekivanja daljnjih odobrenja nadležne kontrole zračnog prometa. Spomenuta daljnja odobrenja se prvenstveno odnose na odobrenja koja omogućavaju zrakoplovu izvršavanje procedure instrumentalnog slijetanja.

Osim što krug čekanja priprema zrakoplov za završnu fazu leta, to je postupak pomoću kojega kontrolori zračnog prometa vrše pravilno vremensko i prostorno razdvajanje zrakoplova tijekom slijetanja u trenucima kada više zrakoplova namjerava sletjeti na isti aerodrom. Dakle, krug čekanja je standardni postupak u instrumentalnim pravilima letenja čija je glavna zadaća pripremanje zrakoplova za slijetanje odnosno postupak pomoću kojeg kontrolori zračnog prometa kontrolirano upravljaju protokom zračnog prostora usmjeravajući zrakoplove s rutne faze leta na proceduru za slijetanje. Također, osim što postupak kruga čekanja priprema zrakoplov za slijetanje nakon rutne faze leta, najčešće se koristi i kao završna točka tijekom postupka neuspjelog prilaženja nakon kojeg uz daljnja odobrenja kontrole zračnog prometa, zrakoplov započinje ponovni postupak slijetanja.

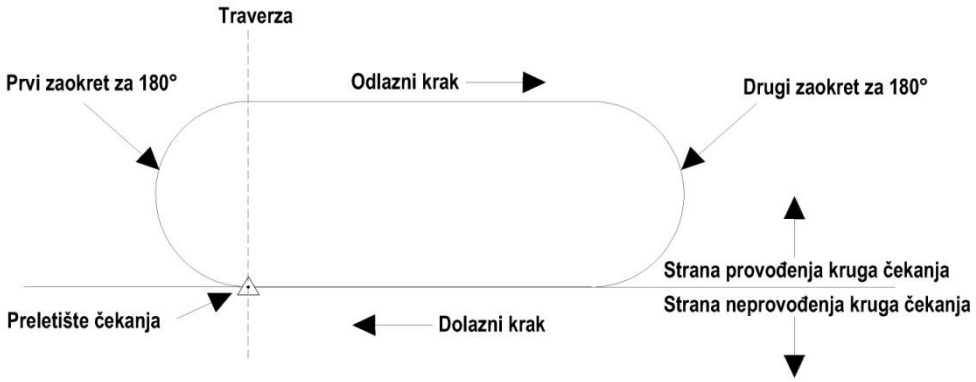
Važno je naglasiti da iako je krug čekanja standardizirani postupak iznad određene točke (koja je između ostalog i označena na prilaznim kartama), pilot može obaviti postupak kruga čekanja na bilo kojoj točki tijekom rute na svoj zahtjev ili na zahtjev kontrolora. U ovom slučaju, kontrolor je dužan pružiti sve informacije potrebne pilotu kako bi izvršio let u postupku kruga čekanja.

Kao i svaki instrumentalni navigacijski postupak i krug čekanja zahtjeva poznavanje određenih pravila tijekom njegova izvršavanja. Svaki pilot koji leti prema pravilima instrumentalnog letenja dužan je biti upoznat s načinom leta u postupku kruga čekanja u smislu pravilnog odabira načina ulaska preko samog letenja istog bez ugrožavanja sigurnosti putnika i ostalog prometa. Prema tome, u sljedećim poglavljima detaljno će se obraditi i elementi te postupci u krugu čekanja.

4. OBLIK I ELEMENTI KRUGA ČEKANJA

Za definiranje dijelova i elemenata kruga čekanja koristit će se slika 3 koja prikazuje standardni krug čekanja sa svim njegovim elementima. Također, tijekom pojedinačnog obrađivanja svih elemenata, koristiti će se što precizniji hrvatski nazivi.

Treba uzeti u obzir da je engleski jezik službeni jezik zrakoplovnog svijeta, a za određene engleske nazive ne postoji adekvatan odnosno izravan prijevod na hrvatski jezik.



Slika 3. Elementi kruga čekanja

Dakle, iz slike 3, zaključuje se da se krug čekanja sastoji od šest elemenata te da je za isti propisana strana izvođenja. Elementi su sljedeći:

- Dolazni krak (engl. *Inbound leg*)
- Preletište čekanja (engl. *Holding fix*)
- Prvi zaokret za 180° (engl. *FIX end*)
- Traverza (engl. *Abeam FIX*)
- Odlazni krak (engl. *Outbound leg*)
- Drugi zaokret za 180° (engl. *Outbound end*)

U nastavku slijedi pojašnjenje navedenih elemenata i to u redoslijedu po kojem zrakoplov pristupa i izvodi postupak kruga čekanja.

Preletište čekanja je točka koja označava početak i kraj kruga čekanja. Predstavlja obaveznu poziciju koju zrakoplov mora preletjeti kako bi započeo s letom u postupku kruga čekanja. Preletište čekanja može biti definirano pomoću radionavigacijskih sredstava (VOR, NDB), presjecištem više radijala (VOR) ili QDR-a (NDB), određenom udaljenošću od radionavigacijskog sredstva (preko DME uređaja) ili GPS točkom.

Dolazni krak predstavlja pravac leta koji navodi zrakoplov prema preletištu čekanja tijekom samog izvođenja kruga čekanja, ali i tijekom pristupanja istom preko određene metode ulaska čija će se problematika analizirati u nastavku rada. Dakle, prema slici 3, dolazni krak za prikazani slučaj iznosi 270°.

Prvi zaokret za 180° predstavlja standardan zaokret koji se izvodi u stranu u kojoj se provodi krug čekanja. Budući da je riječ o standardnom zaokretu za 180°, njegovo vremensko trajanje je jedna minuta, no pravila o vremenima zaokretima iznijet će se u nastavku rada. U prikazanom slučaju (slika 3) zaokret će se izvesti u desnu stranu.

Sljedeća pozicija kruga čekanja u kojoj se zrakoplov nalazi nakon prvog zaokreta za 180° je traverza odnosno pozicija koja se nalazi nasuprot dolaznog kraka. Ova pozicija predstavlja početak odlaznog kraka, a budući da se većina odlaznih krakova leti određeni dio vremena, predstavlja i poziciju odakle započinje mjerenje vremena.

Odlazni krak kruga čekanja je element u kojem se zrakoplov usmjerava u pravac suprotnom od preletišta čekanja te ga priprema za drugi zaokret. Kao što je već rečeno može biti definiran određenim dijelom vremena ali i dostizanjem određene udaljenosti s obzirom na radionavigacijsko sredstvo. Dakle, u navedenom primjeru (bez utjecaja komponente vjetra) pravac leta odlaznog kraka iznosi 270°.

Drugi zaokret za 180° slijedi nakon završetka odlaznog kraka, a kao i prvi zaokret također je standardan što znači da i on traje jednu minutu. Nakon završetka drugog zaokreta, zrakoplov se ponovo nalazi u dolaznom kraku u letu prema preletištu čekanja.

Osim navedenih elemenata, sa slike 3 se također mogu primijetiti pojmovi strana provođenja i ne provođenja kruga čekanja.

Strana provođenja i ne provođenja kruga čekanja je informacija u koju će se stranu vršiti zaokreti za 180° nakon preletišta čekanja. Standardni krug čekanja podrazumijeva obavljanje oba zaokreta u desnu stranu. Prema tome, iz prikazanog primjera, zaključuje se da se zaokreti vrše u desnu stranu što znači da je prikazan standardni krug čekanja.

Ukoliko se u krugu čekanja trebaju obaviti lijevi zaokreti to treba biti naglašeno ili na prilaznim kartama ili od strane kontrolora. Dakle, postupci su identični kao i za standardni krug čekanja osim što se zaokreti vrše u lijevu stranu.

Nakon analiziranja svih elemenata, zaključuje se da se kroz prikazani primjer koristi standardni krug čekanja (zaokreti u desnu stranu) s dolaznim krakom 270°. Uz ova dva podatka, kako bi pilot mogao izvršiti let u krugu čekanja mora poznavati još podatak o poziciji preletišta čekanja.

5. PRAVILA U KRUGU ČEKANJA

U prethodnom poglavlju opisani su elementi koji čine krug čekanja te se zaključuje da su pilotu potrebna tri podatka, preletište čekanja, dolazni krak i strana provođenja kako bi ga mogao odletjeti. Ipak, poznavanje elemenata kruga čekanja bez poznavanja pravila letenja u istom nema smisla te bi rezultiralo ugrožavanjem sigurnosti leta. Iz ovog razloga propisana su pravila letenja kruga čekanja koja su standardizirana, a ako određeni krug čekanja koristi različitu proceduru pilot je dužan biti upoznat s njom (podaci o krugu čekanja poznati su iz prilaznih karata aerodroma koje su piloti dužni proučiti prije leta).

5.1. Vrijeme leta

Iz prethodnog poglavlja se moglo zaključiti kako se krug čekanja sastoji od dva međusobno paralelna pravca (u uvjetima bez vjetra), dakle dolazni i odlazni krak te dva zaokreta za 180° tj. prvi i drugi zaokret za 180°. U nastavku slijedi propisano vremensko trajanje svakog pojedinog elementa.

5.1.1. VRIJEME LETA TIJEKOM ODLAZNOG KRAKA:

Vremensko trajanje leta tijekom odlaznog kraka određeno je posebno za avione i posebno za helikoptere.

Stoga prema propisima [3], ako nije drugačije naglašeno, vremensko trajanje leta u standardnom krugu čekanja tijekom odlaznog kraka za avione iznosi 1 minutu na ili ispod visine 14000 ft (4250 m) te 1 minutu i 30 sekundi iznad navedene visine.

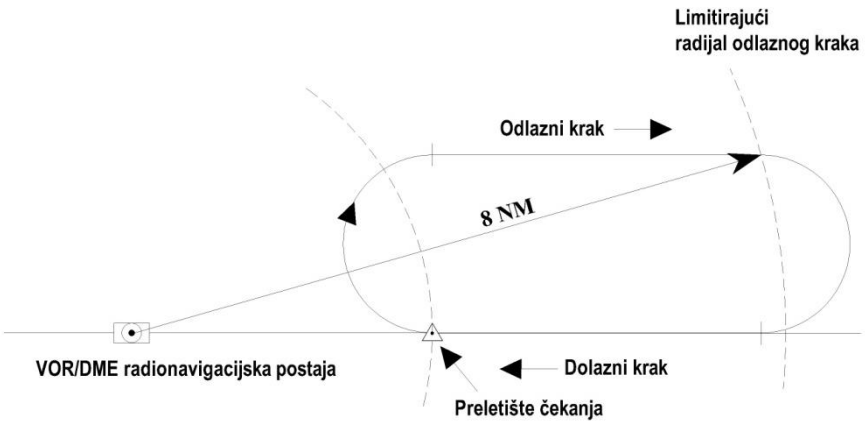
Za helikoptere ovo vrijeme iznosi 1 minutu na ili ispod visine 6000 ft (1830 m) te 1 minutu i 30 sekundi iznad visine 6000 ft (1830 m).

Rečeno je kako let zrakoplova u odlaznom kraku traje minutu odnosno minutu i 30 sekundi, ovisno o visini na kojoj zrakoplov izvodi krug čekanja te je stoga bitno poznavati poziciju odakle započinje mjerenje vremena.

Mjerenje vremena tijekom odlaznog kraka započinje dostizanjem pozicije traverze [3], a ona se u idealnim uvjetima dostiže završetkom prvog zaokreta za 180°. U realnom svijetu na let zrakoplova utječe vjetar, stoga će zrakoplov nakon završetka prvog zaokreta biti ili ispred ili iza pozicije traverze. Pariranje vjetra u krugu čekanja bit će objašnjeno u posebnom poglavlju.

Ako je vrijeme leta određeno pomoću specifične udaljenosti odnosno preko DME uređaja, tada nije potrebno mjeriti vrijeme odlaznog kraka jer ono završava dostizanjem te udaljenosti. Kod planiranja i konstruiranja ovakvog kruga čekanja, konstruktori moraju voditi brigu da vrijeme odlaznog kraka izraženo u udaljenosti u odnosu na DME uređaj, bude ekvivalentno vremenu od bar 1 minute [3].

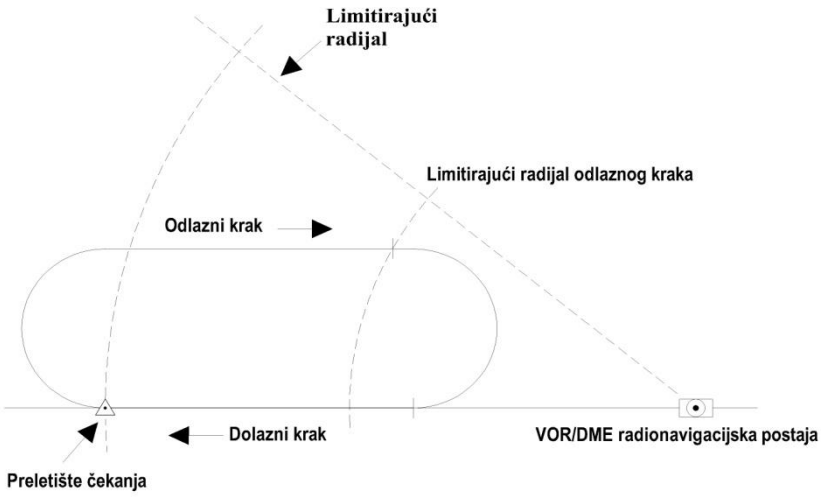
Primjer: Iz prilaznih karti aerodroma pilot je proučio da let u odlaznom kraku traje 8 NM, tada dostizanjem 8 NM završava odlazni krak te je pilot dužan izvršiti drugi zaokret za 180°. Ova situacija prikazana je na slici 4.



Slika 4. Prikaz završetka odlaznog kraka određen preko udaljenosti s obzirom na DME uređaj

U slučaju kada zrakoplov leti od radionavigacijske postaje (odlet), gdje je udaljenost od preletišta do radionavigacijske postaje VOR/DME prekratka, može se propisati limitirajući radijal [3]. Limitirajući radijal se može propisati i u slučaju gdje je potrebno strogo održavanje unutar određenog zračnog prostora.

Primjer leta u krugu čekanja s limitirajućim radijalom prikazan je na slici 5.



Slika 5. Prikaz limitirajućeg radijala

5.1.2. VRIJEME LETA U PRVOM I DRUGOM ZAOKRETU ZA 180°

Prema propisima [3], [1], svi zaokreti se vrše pod kutom poprečnog nagiba u iznosu od 25° ili kutom poprečnog nagiba koji daje brzinu zaokreta u iznosu od 3°/s, odnosno štogod zahtjeva manji nagib tj. manji kut. Dakle, koriste se standardni dvominutni zaokreti. Budući da se u krugu čekanja izvode zaokreti za 180° to znači da će oba zaokreta trajati 2 minute odnosno svaki pojedinačno 1 minutu.

Ako se uzme u obzir vrijeme trajanja odlaznog kraka koje za visine ispod 14000 ft iznosi 1 minutu, tada uz zaokrete koji također traju 1 minutu se zaključuje da i let u dolaznom kraku traje 1 minutu (uz pretpostavku da pilot vrši pravilno pariranje vjetra).

Dakle, može se reći, da standardni krug čekanja ima oblik hipodroma s četiri osnovna elementa čije vrijeme trajanja leta iznosi 1 minutu, odnosno pravilno izveden krug čekanja traje 4 minute.

5.2. Dozvoljena odstupanja vremena i pravca leta

Najbitniji parametar tijekom konstruiranja kruga čekanja je pružanje sigurnog leta tijekom njegovog izvođenja. To znači da se treba osigurati sigurnost posade i putnika čak i ako pilot ne odradi savršeni krug čekanja (npr. zbog iznenadne promjene smjera vjetra). Stoga se, tijekom konstruiranja kruga čekanja, uzimaju i u obzir moguća odstupanja. Odstupanja se odnose na vrijeme prelaska pozicije preletišta čekanja, vrijeme odlaznog kraka te odstupanja s obzirom na pravac produžene osi "nosa" zrakoplova (*Heading*).

Tijekom prelaska preko preletišta čekanja, ukupno odstupanje od 11 sekundi se treba primijeniti na tolerantno područje pozicije preletišta čekanja. Ovih 11 sekundi se sastoje od 6 sekundi tolerantnosti s obzirom na reakciju pilota i 5 sekundi za uspostavu nagiba [3].

Nadalje, u odlaznom kraku ukupno odstupanje od +15 sekundi do -5 sekundi se treba primijeniti tijekom konstrukcije kruga čekanja. Ove brojke se sastoje od ±10 sekundi tolerantnosti s obzirom na početak mjerenja vremena odlaznog kraka te 5 sekundi za uspostavu nagiba [3].

U slučajevima gdje je odlazni krak određen udaljenošću od DME uređaja, odstupanje od 11 sekundi treba biti nadodano području tolerantnosti udaljenosti preletišta od DME uređaja [3].

Odstupanje u iznosu od ±5° od namjeravanog pravca leta u odlaznom kraku je dozvoljeno i uračunato tijekom konstrukcije kruga čekanja [3].

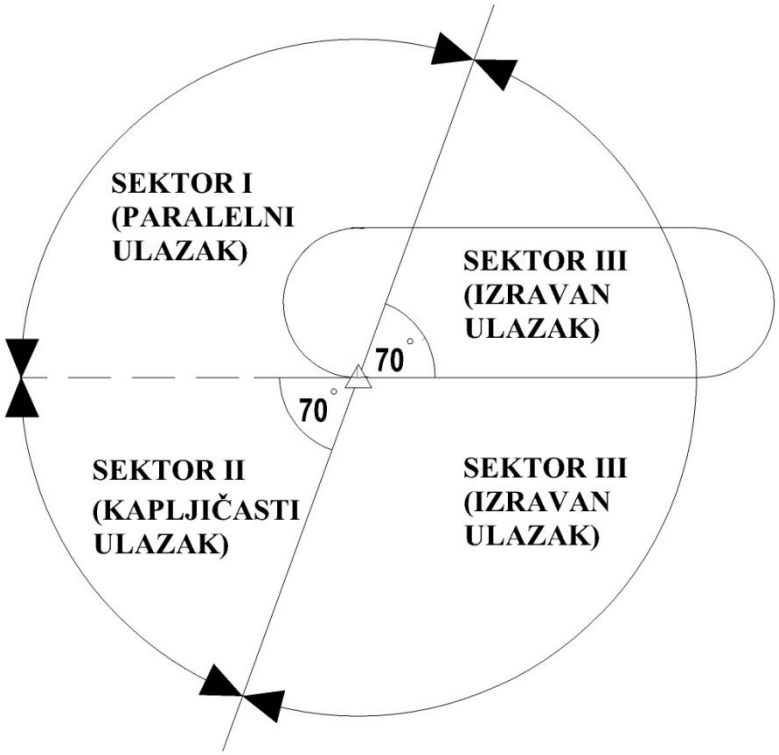
5.3. Minimalna visina

Za svaki krug čekanja propisana je i na kartama objavljena minimalna visina koju zrakoplov može koristiti tijekom izvođenja leta u krugu čekanja. Ova se visina naziva minimalna razina čekanja (engl. *Minimum Holding Altitude* ili MHA).

Dakle, minimalna razina čekanja je utvrđena visina koja je objavljena na kartama i na kojoj se može obaviti let u krugu čekanja. Mogući razlozi zbog propisivanja ove visine odnose se na prepreke u vidu prirodnog reljefa i strukture zračnog prostora. U posebnim slučajevima, ako se ne ugrožava sigurnost zrakoplova, kontrola zračnog prometa može dozvoliti let i na manjoj visini od MHA kao i povećati MHA u uvjetima turbulentnog stanja atmosfere (ovi podaci također trebaju biti objavljeni na kartama). Obavljena minimalna razina čekanja [1] mora iznositi najmanje 1000 ft, a iznad planinskog prostora 2000 ft iznad najviše prepreke, unutar bočnih granica zračnog prostora zaštićenog za postupak čekanja.

6. RAZRADA I POSTUPCI ULASKA U KRUG ČEKANJA IZ TRI SEKTORA

U prijašnjim poglavljima, iznijela su se pravila, podaci o krugu čekanja kao i njegovi osnovni dijelovi i konstrukcija. Ipak, kako bi pilot mogao na ispravan način koristiti krug čekanja, mora biti upoznat i s načinom ulaska u isti. To znači da pilot mora odabrati i slijediti pravilan postupak tijekom ulaska u krug čekanja, a dobro uvježbani pilot s lakoćom može odrediti način ulaska što olakšava sam let.



Slika 6. Prikaz ulaska u krug čekanja iz tri sektora

Kao što je prikazano na slici 6, razlikuju se tri načina ulaska u krug čekanja. Prema tome, propisana je podjela na [1], [3]:

- I sektor ili paralelan ulazak (engl. *Parallel entry*)
- II sektor ili kapljičasti ulazak (engl. *Teardrop/Offset entry*)
- III sektor ili izravan ulazak (engl. *Direct entry*)

Podjela na sektore vrši se pomoću pravca koji je u odnosu na dolazni krak nagnut pod kutom od 70°. Dakle, s obzirom na položaj kruga čekanja koji se može vidjeti na prilaznim kartama i s obzirom na pravac koji je nagnut 70° u odnosu na dolazni krak, uz poznavanje pozicije zrakoplova, pilot zna koju vrstu postupka ulaska u krug čekanja mora izvršiti. Eventualno, ako se zrakoplov nalazi na poziciji ±5° s obzirom na granice sektora, tada pilot može sam odabrati koju će metodu koristiti.

U daljnjim poglavljima, razradit će se sve tri metode ulaska u krug čekanja pojedinačno, a koristit će se standardni krug čekanja s dolaznim krakom 270°.

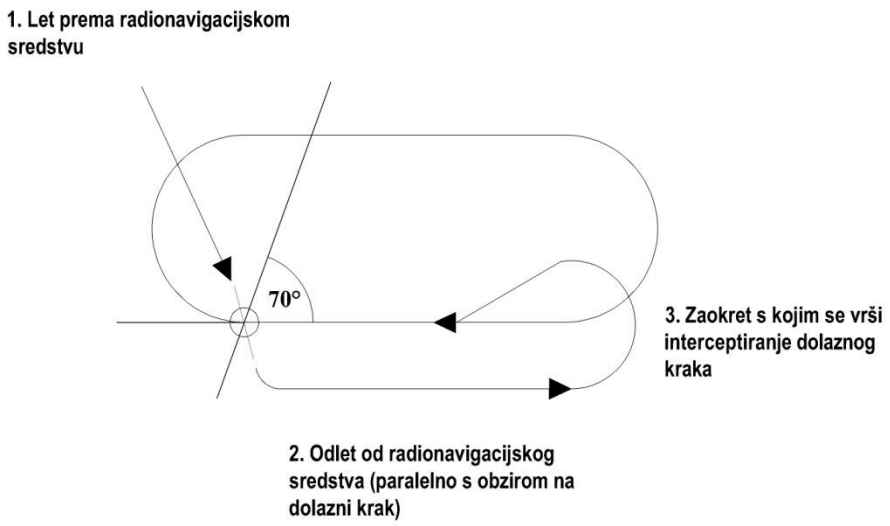
6.1. Metoda ulaska u krug čekanja iz sektora I ili paralelni ulazak

Za ulazak u krug čekanja iz sektora I propisan [3] je sljedeći postupak. Zrakoplov mora preletjeti preletište čekanja te zatim nastaviti paralelan odlet od radionavigacijskog sredstva s obzirom na dolazni krak određeni period vremena (1 minutu ispod ili na visini 14000 ft odnosno 1 minutu i 30 sekundi iznad te visine) ili do dostizanja određene objavljenje udaljenosti od DME uređaja.

Nakon toga zrakoplov vrši zaokret u stranu provođenja kruga čekanja te ili interceptira dolazni krak prema preletištu čekanja ili nastavlja let izravno na preletište čekanja.

Dostizanjem preletišta čekanja započinje postupak leta u krugu čekanja.

Primjer: Zrakoplov se nalazi sjeverozapadno od preletišta čekanja te namjerava izvršiti postupak ulaska u krug čekanja (Slika 7)



Slika 7. Metoda ulaska iz sektora I

Dakle, kada se ucrta pravac koji je u odnosu na dolazni krak nagnut pod 70°, uočljivo je da pilot mora koristiti paralelni postupak ulaska. Treba primijetiti kako se odlet od radionavigacijskog sredstva vrši u stranu u kojoj se krug čekanja ne provodi!

6.2. Metoda ulaska u krug čekanja iz sektora II ili kapljičasti ulazak

Za ulazak u krug čekanja iz sektora II propisan [3] je sljedeći postupak.

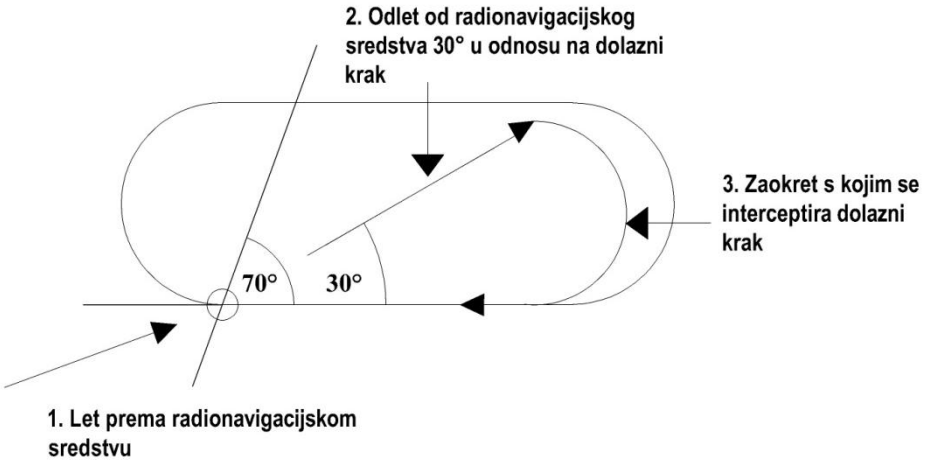
Zrakoplov mora preletjeti preletište čekanja te izvršiti odlet od radionavigacijskog sredstva u iznosu 30° s obzirom na dolazni krak (u ovom slučaju to je kurs 060°). Trajanje odleta od radionavigacijskog sredstva je utvrđeno i objavljeno za svaki krug čekanja, a može biti definirano pomoću jednog od sljedeća tri kriterija.

- Odlet od radionavigacijskog sredstva 1 minutu ispod ili na visini od 14000 ft odnosno 1 minutu i 30 s iznad te visine.
- Odlet do određene propisane udaljenosti s obzirom na DME uređaj.

- Odlet do propisanog limitirajućeg radijala gdje zrakoplov nastavlja let do limitirajućeg radijala ili nastavlja let do odgovarajuće udaljenosti s obzirom na DME uređaj, ovisno o tome koja će se situacija prije dogoditi.

Nakon odleta vrši se zaokret (u ovom slučaju u desnu stranu) gdje se interceptira dolazni krak i nastavlja let prema preletištu čekanja. Dostizanjem preletišta čekanja započinje postupak leta u krugu čekanja.

Ulazak iz sektora II prikazan je na slici 8. Postupak ulaska u krug čekanja, kao i u prethodnom primjeru, određuje se ucrtavanjem pravca koji je s obzirom na dolazni krak nagnut pod kutom od 70°.



Slika 8. Metoda ulaska iz sektora II

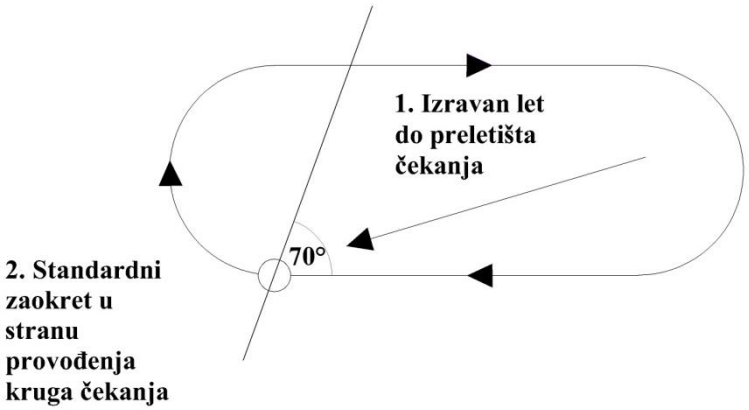
6.3. Metoda ulaska u krug čekanja iz sektora III ili izravan ulazak

Za ulazak u krug čekanja iz sektora III propisan [3] je sljedeći postupak.

Zrakoplov leti izravno na preletište čekanja te dostizanjem preletišta vrši standardni zaokret u stranu u kojoj se krug čekanja provodi (u ovom slučaju u desnu stranu).

Dostizanjem preletišta čekanja ujedno i započinje postupak leta u krugu čekanja.

Primjer izravnog ulaska u krug čekanja prikazan je na slici 9. Dakle, još jednom, ucrtavanjem pravca koji je nagnut pod kutom od 70° saznaje se da se treba koristiti metoda izravnog ulaska u krug čekanja.



Slika 9. Metoda ulaska iz sektora III

Metoda ulaska u krug čekanja iz sektora III specifična je zbog posebnog postupka koji se provodi kada zrakoplov dolazi na preletište čekanja iz smjerova koji graniče sa sektorom II.

Primjer: Zrakoplov želi obaviti proceduru ulaska u krug čekanja, a nalazi se na radijalu 190° od VOR stanice

Ucrtavanjem pravca koji se u odnosu na dolazni krak nalazi pod kutom od 70°, zaključuje se da se zrakoplov nalazi u sektoru III, ali skoro "ulazi" u sektor II.

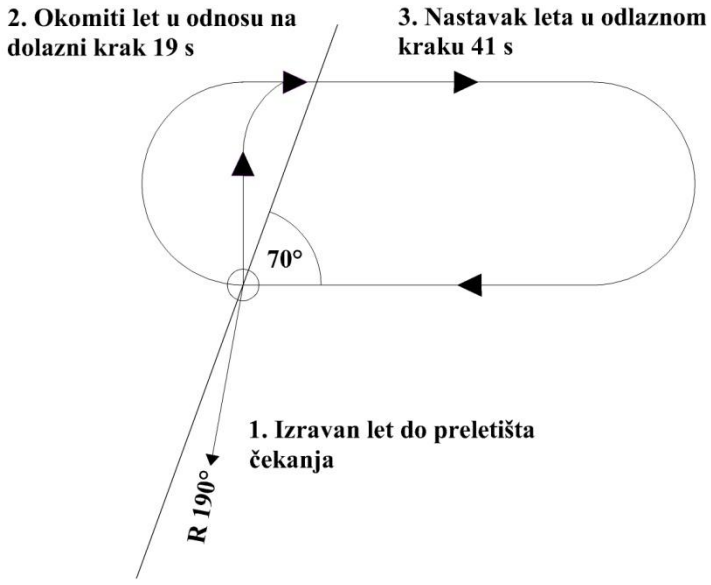
U ovom i sličnim slučajevima, postupak je sljedeći:

Zrakoplov nastavlja let izravno prema preletištu čekanja (u ovom slučaju u kursu 010°). Nakon prelaska preletišta čekanja nastavlja let okomito u odnosu na dolazni krak u trajanju 19 sekundi.

Istekom 19 sekunde, vrši zaokret (u ovom slučaju u desnu stranu) prema odlaznom kraku u trajanju od 41 sekunde (treba primijetiti kako okomiti let u odnosu na dolazni krak te let u odlaznom kraku čine ukupno vrijeme leta u iznosu od 1 minute).

Nakon isteka 41 sekunde, vrši se drugi zaokret (također u desnu stranu) te se nastavlja let prema dolaznom kraku odnosno preletištu čekanja.

Opisani postupak prikazan je na slici 10.



Slika 10. Prikaz ulaska iz sektora III gdje se zrakoplov nalazi blizu graničnog sektora

Opisivanjem metode izravnog ulaska u krug čekanja završava analiziranje metoda koje se koriste za ulazak u krug čekanja. Treba napomenuti kako se u svim prikazanim primjerima (standardni krug čekanja s dolaznim krakom 270°) pretpostavilo da na let ne djeluje određena komponenta vjetra.

U realnosti, uz pariranje vjetra u krugu čekanja, treba vršiti pariranje vjetra tijekom metoda ulazaka u krug čekanja što predstavlja dodatno opterećenje za pilote.

U nastavku rada obradit će se upravo ova problematika odnosno utjecaj vjetra na let u krugu čekanja.

7. PARIRANJE VJETRA TIJEKOM LETA U POSTUPKU KRUGA ČEKANJA

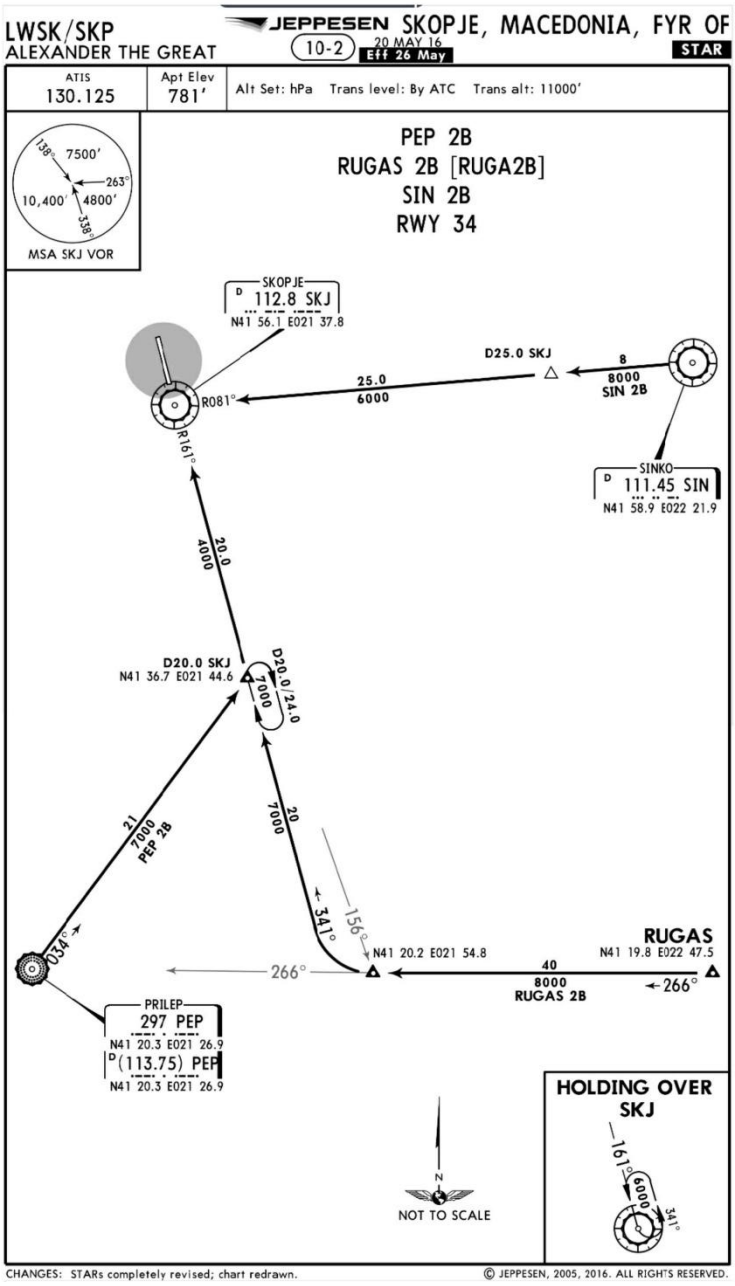
Tijekom rada je već naglašeno kako vjetar ima određen utjecaj na let u krugu čekanja, stoga je nužno njegovo pariranje. U prethodnim poglavljima opisan je izgled kruga čekanja koji u uvjetima bez vjetra podsjeća na oblik hipodroma, no u stvarnosti upravo zbog utjecaja vjetra, oblik kruga čekanja ne izgleda tako.

U nastavku rada opisat će se proračuni elemenata leta uz zadani bočni vjetar te će se s obzirom na proračunate podatke prikazati krug čekanja u programu FriendlyIFR. Za potrebe ovog rada, koristit će se postupak standardnog instrumentalnog dolaska na zračnu luku u Skoplju (Republika Makedonija) odnosno na Međunarodni aerodrom Aleksandar Veliki Skoplje.

7.1. Prikaz postupka standardnog instrumentalnog dolaska (STAR)

Na slici 11 prikazan je postupak standardnog instrumentalnog dolaska na Međunarodni aerodrom Aleksandar Veliki Skoplje te se prema karti zaključuje da su propisane tri dolazne rute prema VOR SKJ iznad kojeg je propisan postupak kruga čekanja s dolaznim krakom 161° te minimalnom visinom 6000 ft (donji desni dio karte). Također, bitno je primijetiti kako se zaokreti za 180° vrše u lijevu stranu kruga čekanja za razliku od standardnog kruga čekanja s desnim zaokretima!

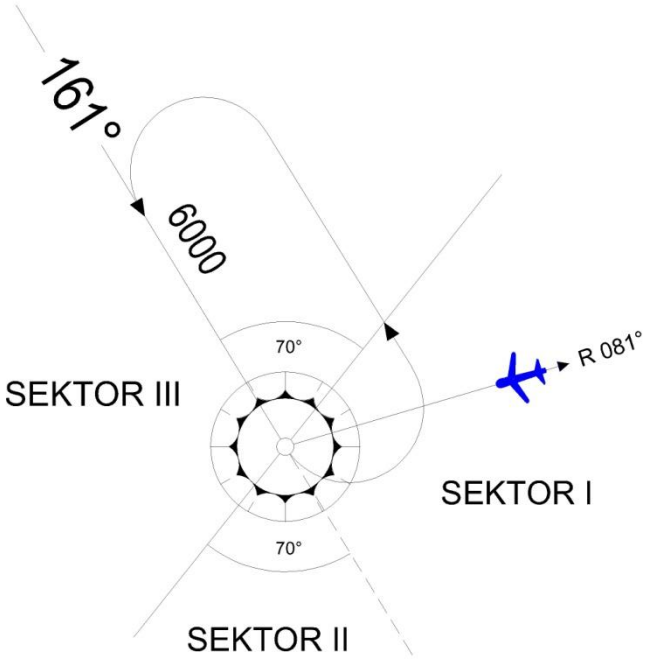
Za potrebe prikaza leta kruga čekanja pod utjecajem vjetra, pretpostavit će se da se zrakoplov nalazi istočno od aerodroma, odnosno koristit će se postupak dolazne rute SIN 2B.



Slika 11. Prikaz dolaznog postupka za USS 34 na aerodromu u Skoplju [4]

Proučavanjem postupka SIN 2B zaključuje se kako zrakoplov mora interceptirati radijal 081° te da ne smije biti na visini nižoj od 6000 ft 25 NM od SKJ VOR stanice. Dakle, ako zrakoplov mora interceptirati radijal 081° to znači da mu je kurs prema stanici 261°, a uz poznavanje dolaznog kraka (161°) te preletišta čekanja, može se odrediti metoda ulaska u krug čekanja.

Za ovaj primjer, iz ova tri podatka te uz ucrtavanje pravca koji je u odnosu na dolazni krak nagnut pod kutom od 70°, zaključuje se da će se koristiti metoda ulaska u krug čekanja iz sektora I tj. metoda paralelnog ulaska (slika 12).



Slika 12. Uvećani prikaz kruga čekanja oko SKJ VOR

Nakon određivanja metode ulaska u krug čekanja, može se izvršiti proračun elemenata za let u istom što će se analizirati u nastavku rada.

7.2. Proračun elemenata uz zadani bočni vjetar

Tijekom ovog poglavlja obradit će se utjecaj komponente vjetra na let zrakoplova u postupku kruga čekanja. Ipak, kako bi se pristupilo proračunu potrebno je unaprijed poznavati određene podatke. Iz ovog razloga u prvom dijelu proračuna iznijet će se pretpostavke koje će utjecati na pariranje vjetra tijekom leta u postupku kruga čekanja, a nakon iznesenih pretpostavki prikazat će se i sam proračun.

7.2.1. PRETPOSTAVKE

Za pristupanje proračunu potrebno je poznavati komponentu vjetra (njegov smjer i brzinu - jačinu) te brzinu kojom se zrakoplov kreće. Za analizu ovog primjera, pretpostavit će se i koristiti upadni kut vjetra od 45°.

Dakle, pretpostavit će se vjetar koji puše iz smjera 026° jačine 15 kn (leđni vjetar s lijeve strane s obzirom na dolazni krak). Također, pretpostavit će se da je stvarna brzina leta zrakoplova (engl. *True Air Speed* ili TAS - v) 110 kn.

Uz pretpostavljene uvjete može se pristupiti proračunu koji će se analizirati postupno, preko svih podataka potrebnih za izvršavanje pravilnog leta u krugu čekanja s utjecajem komponente vjetra.

7.2.2. PRORAČUN

Prvi dio proračuna je izračunavanje upadnog kuta vjetra (β).

U prikazanom slučaju pretpostavio se upadni kut od 45°, no prikazat će se njegovo izračunavanje. Budući da se radi o leđnom vjetru s obzirom na dolazni krak, za lakši i brži izračun, jednostavnije ga je "transformirati" u komponentu čeonog. Dakle, umjesto smjera vjetra 026° koristi se 206° te oduzimanjem od smjera dolaznog kraka 161°, saznaje se upadni kut vjetra od 45°.

- β = (026°+180°) -161° = 45°

Bitno je napomenuti kako se u praksi upadni kut vjetra uzima samo za karakteristične kutove (0°, 30°, 45°, 60° i 90°) što znači da se određene vrijednosti moraju aproksimirati na najbliži korišteni kut. Aproksimacija se vrši prema podacima prikazanih u tablici 1.

Tablica 1. Aproksimirane vrijednosti upadnih kuteva

VRIJEDNOST UPADNOG KUTA	***APROKSIMIRANA VRIJEDNOST***
0° - 20°	β = 0°
21° - 35°	β= 30°
36° - 50°	β= 45°
51° - 70°	β= 60°
71° - 90°	β = 90°

Sljedeći korak u proračunu je izračunavanje uzdužne komponente vjetra (u_{uzd}). Razlikuje se čeona *(-*u_{uzd}) te leđna komponenta uzdužnog vjetra *(+*u_{uzd}).

Već je naglašeno da na prikazani primjer djeluje leđni vjetar pod kutom od 45° u odnosu na dolazni krak što znači da na odlazni krak djeluje također isti upadni kut vjetra samo ovaj put njegova čeona komponenta.

Komponentu uzdužnog vjetra bitno je poznavati zbog izračunavanja putne brzine (w) koja se izračunava dodavanjem (leđni vjetar) ili oduzimanjem (čeoni vjetar) uzdužne komponente vjetra na stvarnu brzinu leta zrakoplova (v).

- u_{uzd}= u x cos β = 15 x cos (45°) = 15 x 0.7 = 10.5 = 11 kn

Treba primijetiti kako proračun uzdužne komponente vjetra osim poznavanja brzine tj. jačine vjetra (u), zahtjeva i poznavanje vrijednosti kosinusa aproksimiranih vrijednosti upadnih kutova. Te vrijednosti prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Vrijednosti karakterističnih upadnih kuteva kosinusa

KOSINUS UPADNOG KUTA	IZNOS
cos 30°	0.9
cos 45°	0.7
cos 60°	0.5
cos 90°	0

.

Nakon izračunavanja uzdužne komponente vjetra potrebno je izračunati njegovu bočnu komponentu (u_{pop}) koja s obzirom na produženi pravac zrakoplova može biti lijeva ili desna. Komponentu bočnog vjetra potrebno je poznavati radi izračunavanja potrebnog kuta ispravke (α_1).

- u_{pop}= u x sin α = 15 x sin (45°) = 15 x 0.7 = 10.5 = 11 kn

Za izračun bočne komponente vjetra također je potrebno poznavati brzinu vjetra (u), ali i aproksimirane vrijednosti sinusa upadnih kuteva, kao što je vidljivo iz proračuna (sin α). Ove vrijednosti prikazane su u tablici 3.

Tablica 3. Vrijednosti karakterističnih upadnih kuteva sinusa

SINUS UPADNOG KUTA	IZNOS
sin 30°	0.5
sin 45°	0.7
sin 60°	0.9
sin 90°	1

Sljedeći dio proračuna je izračunavanje putne brzine tijekom dolaznog kraka (w_{inb}). Budući da tijekom dolaznog kraka na let zrakoplova djeluje uzdužna komponenta vjetra i to leđna (+u_{uzd}), pridoda se stvarnoj brzini leta zrakoplova (v).

- $W = v + (+u_{\text{uzd}}) = 110 + 11 = 121$ kn

Suprotno od prethodnog koraka, na odlazni krak djeluje čeona komponenta uzdužnog vjetra (-u_{uzd}), stoga se izračunata uzdužna komponenta oduzima od stvarne brzine leta (v).

- $W = v + (-u_{\text{uzd}}) = 110 – 11 = 99$ kn

Kako bi se mogao pravilno parirati vjetar potreban je podatak o kutu ispravke (α_1). Kut ispravke je kutna razlika između produžene osi "nosa" zrakoplova (engl. *Heading*) te namjeravane putanje leta tj. kursa (engl. *Cours*).

Za izračunavanje kuta ispravke (α_1) potreban je podatak o bočnoj komponenti vjetra (u_{pop}) koja je ranije izračunata i iznosi 11 kn, a formula koja će se koristiti za izračunavanje kuta je sljedeća:

- $\alpha_1 = \frac{1}{2}\, u_{pop} + k$ [°], gdje se koeficijent k određuje prema TAS i iznosi:

TAS (kn)	80	90	100	110	120	150
$\boldsymbol{k}$	+2°	+2°	+1°	+0.5°	0°	-2°

Dakle, kut ispravke za ovaj primjer iznosi:

- α_1 = 0.5 x 11 + 0.5° = 6°

Budući da je u prethodnom koraku izračunat potreban kut ispravke (α_1), isti se dodaje ili oduzima od kursa dolaznog kraka (ovisno s koje strane djeluje vjetar, tj ispravka kursa se vrši uvijek u vjetar). Dakle, u prikazanom primjeru, od dolaznog kraka oduzimanjem kuta ispravke saznaje se podatak o korigiranom pravcu leta dolaznog kraka (MH_{inb}).

- MH_{inb} = 161° - 6° = 155°

Nakon izračunavanja korigiranog pravca leta dolaznog kraka potrebno je izračunati i korigirani pravac leta odlaznog kraka (MH_{out}). Za izračunavanje navedenog pravca leta koristit će se metoda trostruke korekcije.

Metoda trostruke korekcije znači da se u odlaznom kraku vrši trostruka korekcija kuta ispravke s obzirom na dolazni krak. Ova metoda se koristi jer se kompenzira utjecaj vjetra u zaokretima (gdje se vjetar ne parira) te let u samom odlaznom kraku. Kao i u prethodnom primjeru, korekcija se vrši u vjetar.

Prema tome:

- MH_{out} = 341° + (3 x α_1) = 341° + (3 x 6°) = 341° + 18° = 359°

Završni dio proračuna je izračunavanje potrebnog vremena leta u odlaznom i dolaznom kraku. Poznato je da ukupno vrijeme ova dva elementa kruga čekanja

traje 2 minute (120 sekundi), stoga izračunavanjem jednog je automatski poznato i vrijeme drugog elementa.

Potrebno vrijeme će se izračunati preko osnovne formule za brzinu, koja nalaže da je brzina omjer prijeđenog puta u vremenu. U prikazanom slučaju, potreban je podatak o prijeđenoj udaljenost u odlaznom kraku (D_{out}) za slučaj bez vjetra (u=0) te putnu brzinu (w).

Prema tome koristi se sljedeći proračun.

- $v_{\text{u=0}}$ = 110 kn ili 1.83 NM/min, iz ovog podatka saznaje se D_{out} (u=0)
- D_{out} (u=0) = 1.83 NM, uz poznavanje putne brzine u odlaznom kraku (w_{out}) koja je izračunata,
- w_{out} = 99 kn = 1.65 NM, mogu se izračunati potrebna vremena:
- $t_{\text{out}} = D_{\text{out}}/w_{\text{out}}$ = 1.83/1.65 = 1.109 min (66.5 s) ≈ 67 s
- $t_{\text{inb + out}}$ = 120 s; $t_{\text{inb}} = t_{\text{inb + out}} - t_{\text{out}}$ = 120 – 67 = 53 s

Tablica 4. Prikaz proračunatih podataka

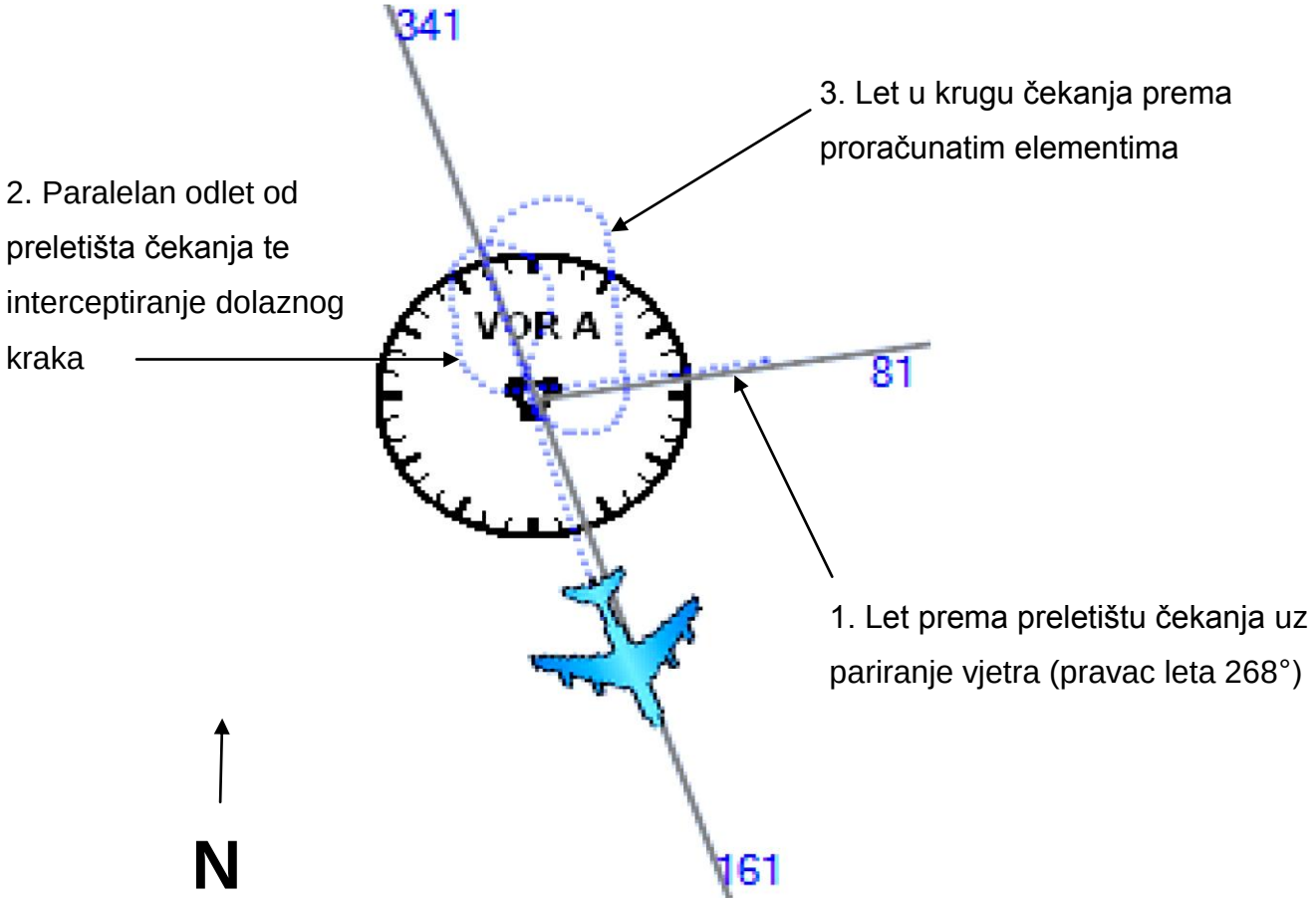
β = 45°
u_{uzd}= 11 kt
u_{pop} = 11 kts
w_{inb} = 121 kt
w_{out} = 99 kt
α_1 = 6°
MH_{inb} = 155°
MH_{out} = 359°
t_{out} = 67 s
t_{inb} = 53 s

8. PRIKAZ PRORAČUNATIH PODATAKA U PROGRAMU FriendlyIFR

Koristeći izračunate podatke te simuliranjem prethodno postavljenih uvjeta, prikazat će se let s ispravkom utjecaja vjetra u krugu čekanja. Također će za usporedbu biti prikazan i krug čekanja na kojem nije vršena ispravka utjecaja vjetra.

Simulacija leta kruga čekanja iznad SKJ VOR prikazat će se preko programa FriendlyIFR, namijenjen razvijanju letnih vještina u korištenju radionavigacijskih sredstava.

8.1. Let u krugu čekanja s pariranjem vjetra



Slika 13. Let iznad SKJ VOR uz pariranje vjetra na programu Friendly IFR

Na slici 13 prikazan je let u postupku kruga čekanja prema uvjetima koji su postavljeni u prethodnom poglavlju. Kao što se može zaključiti, oblik kruga čekanja je nepravilan, odnosno ne podsjeća na pravilan oblik hipodroma. Ranije je objašnjeno da je razlog ovoj pojavi prisutni vjetar koji djeluje na let u postupku kruga čekanja.

Također je vidljivo kako se postupak leta kruga čekanja može raščlaniti u tri komponente. Let prema preletištu čekanja, let nakon prolaska preletišta čekanja odnosno izvođenje zahtijevanog postupka metode ulaska i ponovnim dostizanjem preletišta čekanja let u samom krugu čekanja. Tijekom sve tri komponente leta koje čine krug čekanja, vrši se pariranje vjetra.

Let prema preletištu čekanja u prikazanom primjeru predstavlja dolazni postupak SIN 2B, dakle radijal 081° od SKJ VOR stanice što znači da zrakoplov mora koristiti kurs 261° kako bi letio prema stanici.

Budući da i u ovom segmentu leta djeluje vjetar, također ga je potrebno parirati. Jedan od načina izračunavanja kursa ispravke je poznavanje kuta ispravke preko poznatih trigonometrijskih vrijednosti upadnog kuta vjetra [5]. Korištenjem ove metode kut ispravke se izračunava prema sljedećem izrazu:

- $\alpha_1 = (u_{pop} / v)$ x 60 gdje je u_{pop} bočna komponenta vjetra, a v stvarna brzina leta zrakoplova

Dakle, za izračun kuta ispravke kao i u proračunu elemenata kruga čekanja ponovno se koristi izraz za proračun bočne komponente vjetra.

- $u_{pop} = u$ x sin β gdje je u brzina vjetra, a β upadni kut vjetra

Budući da je u ovoj fazi leta kurs prema preletištu 261°, upadni kut vjetra nije pod 45° te ga je potrebno izračunati te aproksimirati na poznate trigonometrijske vrijednosti (koristeći tablicu 1 i 3). Dakle, smjer vjetra je 026° što znači da na zrakoplov djeluje desni leđni vjetar. "Transformacijom" leđnog vjetra u čeoni (026° + 180° = 206°) te oduzimanjem od planiranog kursa može se izračunati upadni kut vjetra (261° - 206° = 055°). Prema tome saznaje se da je upadni kut vjetra pod 55° te ga je potrebno aproksimirati najbližoj vrijednosti unaprijed poznatih kutova. U ovom slučaju to je kut od 60°.

Uvrštavanjem izraza za proračun bočne komponente vjetra u izraz za kut ispravke izračunava se korigirani pravac leta.

- $\frac{15 \text{ x } \sin(60°)}{110}$ x 60 = 7.1° ≈ 7°

Dakle, vršenjem korekcije u vjetar saznaje se korigirani pravac kojim zrakoplov mora letjeti do preletišta odnosno 261° + 7° = 268°.

U letu nakon prolaska preletišta čekanja započinje postupak leta po zahtijevanoj metodi ulaska. U ovom primjeru prikazano je kako je zrakoplov dužan obaviti metodu ulaska iz sektora I što znači da nakon preletišta čekanja nastavlja paralelan odlet s obzirom na dolazni krak i radionavigacijsko sredstvo.

I u ovoj fazi leta također se vrši pariranje vjetra (inače let nebi bio paralelan), a koristi se isti korigirani pravac leta kao i u odlaznom kraku (MH_{out}). Dakle u ovoj fazi leta zrakoplov se nalazi u pravcu 359°.

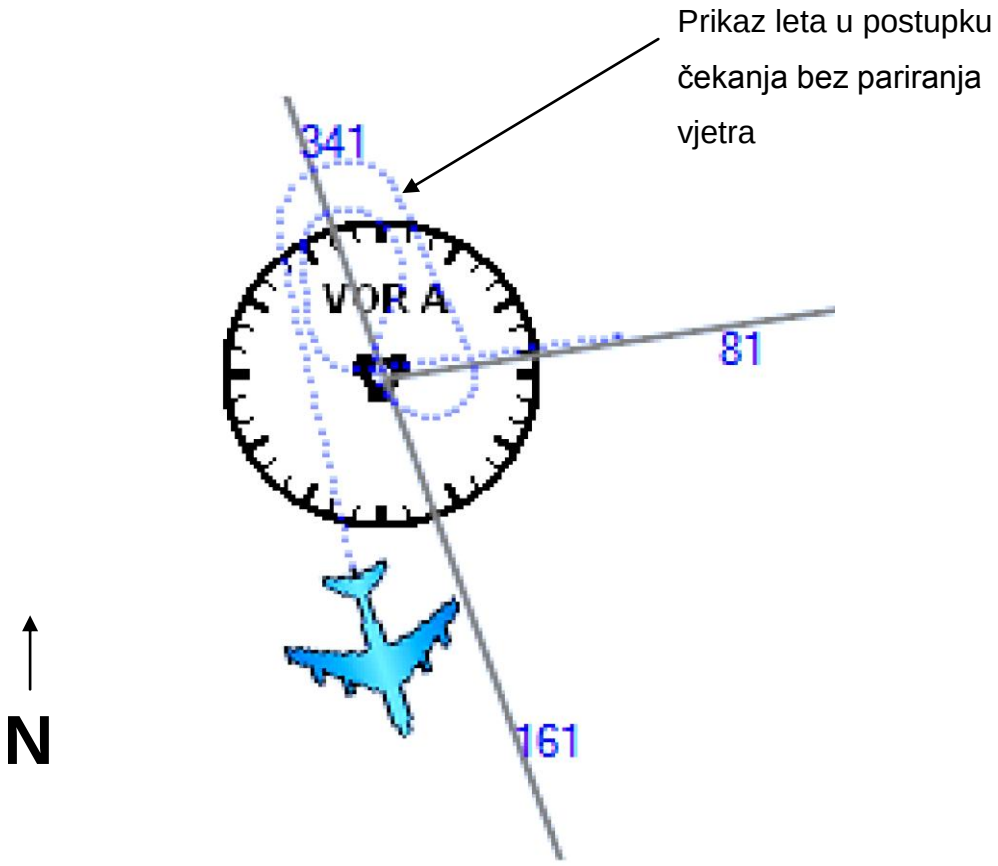
Nakon prijeđenog vremena od 1 minute, zrakoplov vrši zaokret s ciljem interceptiranja dolaznog kraka. Budući da nakon zaokreta na zrakoplov počinje djelovati leđna komponenta vjetra te se povećava putna brzina (w), dolazni krak se interceptirao netom prije preletišta čekanja.

Dostizanjem preletišta čekanja po drugi put, započinje let u samom krugu čekanja. Let u krugu čekanja obavljen je prema njegovim pravilima koja nalažu da se odlazni krak korigira metodom trostruke korekcije dok se u dolaznom kraku koristi izračunati kut korekcije s kojim se parira kut zanošenja (α). Zaokreti se ne pariraju.

Svaki element odrađen je prema proračunatim elementima iz prethodnog poglavlja.

8.2. Let u krugu čekanja bez pariranja vjetra

Kao usporedba pravilno odrađenom krugu čekanja, na slici 14 prikazan je let u krugu čekanja gdje se tijekom leta nije parirao vjetar. Ipak, pariranje vjetra je vršeno do trenutka prelaska preletišta čekanja po drugi put odnosno prije početka samog leta u krugu čekanja.



Slika 14. Prikazani let iznad SKJ VOR bez pariranja vjetra na programu FriendlyIFR

Iz prikazanog leta, uočljivo je kako je vjetar otpuhao zrakoplov od željenih kursova što je naročito izraženo u dolaznom kraku kada se nakon drugog zaokreta zrakoplov ne nalazi u pravcu preletišta čekanja.

U ovom primjeru prikazan je samo jedan let u krugu čekanja (vremensko trajanje od 4 minute) te su stoga pogreške u kursovima još relativno malene. Svaki sljedeći krug u kojem se vjetar ne parira znači veće odstupanje. Takav let može ugroziti sigurnost posade, putnika i ostalog prometa, stoga je pilot dužan uvijek vršiti ispravku kursova s obzirom na trenutni vjetar.

9. ZAKLJUČAK

Krug čekanja dio je instrumentalnog navigacijskog postupka koji je propisan za let prema pravilima instrumentalnog letenja. Kao i za svaki instrumentalni navigacijski postupak tako su i za krug čekanja propisana određena pravila koja su dostupna pilotima na proučavanje preko odgovarajućih karata, a mogu biti dio procedure koja priprema zrakoplov za slijetanje kao i završni dio segmenta neuspjelog prilaženja. U pravilu, svaki pilot nastoji izbjeći krug čekanja jer izvođenje istog znači određenu odgodu od vremena planiranog slijetanja kao i određenu veću količinu potrošenog goriva. Kada nisu u pitanju izvanredne situacije (određeni kvarovi na zrakoplovu), pilot pristupa krugu čekanja prema instrukcijama kontrolora.

Za izvođenje kruga čekanja pilotu su potrebne tri informacije odnosno elementa kruga čekanja. Preletište čekanja, dolazni krak te smjer zaokreta odnosno informacija o strani prema kojoj se izvodi krug čekanja. Standardni krug čekanja podrazumijeva vršenje zaokreta u desnu stranu. Ostali elementi kruga čekanja su pozicija nasuprot preletišta čekanja tj. traverza od koje započinje mjerenje vremena odlaznog kraka te sam odlazni krak. Osim ovih podatka pilot mora znati i koju će metodu ulaska u krug čekanja primijeniti. Razlikuju se tri metode ulaska koje su podijeljene kroz tri različita sektora. S obzirom na izgled postupka tijekom ulaska iz određenog sektora, dani su i prigodni nazivi tj. paralelan ulazak, kapljičasti ulazak te izravan ulazak.

Tijekom leta gotovo uvijek djeluje određena komponenta vjetra. Vjetar je u svim segmentima leta potrebno parirati i krug čekanja nije iznimka. Najčešća metoda koja se koristi tijekom pariranja vjetra u krugu čekanja je metoda trostruke korekcije. Prema ovoj metodi, na let u odlaznom kraku se vrši trostruka korekcija kuta ispravke s obzirom na onu koja se koristila tijekom dolaznog kraka. Tijekom primjene ovih korekcija let u dolaznom i odlaznom kraku ne mora trajati točno jednu minutu zasebno, no ukupno mora. To znači da onoliko koliko se odstupa od vremena jedne minute se ispravi u sljedećem kraku što ovisi o smjeru i jačini vjetra. Let bez pariranja vjetra je nedopustiv, a svakim novim započetim krugom se greške u kursovima povećavaju što može dovesti do ugrožavanja sigurnosti leta.

LITERATURA

[1] Pravilnik o oblikovanju i utvrđivanju načina, postupaka i drugih uvjeta za sigurno uzlijetanje i slijetanje zrakoplova, URL: http://www.propisi.hr/print.php?id=12125 (pristupljeno: kolovoz, 2016.)

[2] Novak, D.: Zrakoplovna prostorna navigacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

[3] International Civil Aviation Organization: Aircraft Operations, Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, Fifth edition, 2006.

[4] Jeppesen STAR charts for LWSK/SKP, 2016.

[5] Novak, D.: Zrakoplovna računska navigacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012.

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz segmenata završnog prilaženja 5
Slika 2. Prikaz standardnog manevra kruženjem 7
Slika 3. Elementi kruga čekanja 9
Slika 4. Prikaz završetka odlaznog kraka određen preko udaljenosti s obzirom na DME uređaj 13
Slika 5. Prikaz limitirajućeg radijala 14
Slika 6. Prikaz ulaska u krug čekanja iz tri sektora 17
Slika 7. Metoda ulaska iz sektora I 19
Slika 8. Metoda ulaska iz sektora II 20
Slika 9. Metoda ulaska iz sektora III 21
Slika 10. Prikaz ulaska iz sektora III gdje se zrakoplov nalazi blizu graničnog sektora 22
Slika 11. Prikaz dolaznog postupka za USS 34 na aerodromu u Skoplju 25
Slika 12. Uvećani prikaz kruga čekanja oko SKJ VOR 26
Slika 13. Let iznad SKJ VOR uz pariranje vjetra na programu Friendly IFR 33
Slika 14. Prikazani let iznad SKJ VOR bez pariranja vjetra na programu FriendlyIFR 36

POPIS TABLICA

Tablica 1. Aproksimirane vrijednosti upadnih kuteva 28
Tablica 2. Vrijednosti karakterističnih upadnih kuteva kosinusa 29
Tablica 3. Vrijednosti karakterističnih upadnih kuteva sinusa 30
Tablica 4. Prikaz proračunatih podataka 32

.

POPIS KRATICA

AIP	(Aviation Information Publication) Zbornik zrakoplovnih informacija
ATS *route*	utvrđena ruta namijenjena za usmjeravanje protoka prometa prema potrebi radi obavljanja operativnih usluga u zračnom prometu
DME	(Distance Measuring Equipment) oprema za mjerenje udaljenosti
GPS	(Global Positioning System) globalni navigacijski satelitski sustav
IAF	(Initial Approach Fix) preletište početnog prilaženja
IFP	(Instrument Flight Procedure) instrumentalne letne procedure
IFR	(Instrument Flight Rules) pravila instrumentalnog letenja
IMC	(Instrument Meteorological Conditions) instrumentalni meteorološki uvjeti
MHA	(Minimum Holding Altitude) minimalna razina čekanja
NDB	(Non Directional Beacon) neusmjereni radiofar
QDR	(Magnetic bearing from the station) kut određen na poziciji radionavigacijske postaje od magnetskog sjevera do crte radiosmjera
SID	(Standard Instrument Departure) standardni instrumentalni odlazak
STAR	(Standard Instrument Arrival) standardni instrumentalni dolazak
USS	uzletno sletna staza
TAS	(True Air Speed) stvarna brzina leta
VFR	(Visual Flight Rules) pravila vizualnog letenja
VMC	(Visual Meteorological Conditions) vizualni meteorološki uvjeti
VOR	(Very High Frequency Omnidirectional Radio Range) visokofrekvencijski svesmjerni radiofarovi

POPIS SIMBOLA

D_{out}	prijeđena udaljenost u odlaznom kraku (engl. Distance outbound)
k	koeficijent prilikom određivanja stvarne brzine leta zrakoplova
MH_{inb}	korigirani pravac leta dolaznog kraka (engl. Magnetic heading inbound)
MH_{out}	korigirani pravac leta odlaznog kraka (engl. Magnetic heading outbound)
t_{inb}	vrijeme dolaznog kraka (engl. Time inbound)
t_{out}	vrijeme odlaznog kraka (engl. Time outbound)
u	brzina (jačina) vjetra
u_{pop}	komponenta brzine vjetra u odnosu na poprečnu os zrakoplova (engl. Cross Wind Component)
u_{uzd}	komponenta brzine vjetra u odnosu na uzdužnu os zrakoplova (engl. Track Component)
- u_{uzd}	čeona komponenta vjetra (engl. Head Wind Component - HWC)
+ u_{uzd}	leđna komponenta vjetra (engl. Tail Wind Component - TWC)
v	stvarna brzina leta zrakoplova (engl. True Air Speed – TAS)
w	putna brzina leta zrakoplova (engl. Ground speed)
w_{inb}	putna brzina leta zrakoplova u dolaznom kraku
w_{out}	putna brzina leta zrakoplova u odlaznom kraku
α	kut zanošenja (engl. Drift Angle)
α_1	kut ispravke (engl. Correction Angle)
α_{max}	maksimalna vrijednost kuta zanošenja
β	upadni kut vjetra

METAPODACI

Naslov rada: Proračun elemenata kruga čekanja u uvjetima bočnog vjetra

Student: Josip Trošić

Mentor: izv. prof. dr. sc. Doris Novak

Naslov na drugom jeziku (engleski):

Calculation of Holding Pattern Elements in Crosswind Conditions

Povjerenstvo za obranu:

- prof. dr. sc. Tino Bucak predsjednik
- izv. prof. dr. sc. Doris Novak mentor
- dr. sc. Tomislav Radišić član
- doc. dr. sc. Biljana Juričić zamjena

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Zavod za aeronautiku

Vrsta studija: Preddiplomski

Studij: Aeronautika

Datum obrane završnog rada: 13. rujan 2016.

Napomena: pod datum obrane završnog rada navodi se prvi definirani datum roka obrane.

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 kruga čekanja u uvjetima bočnog vjetra**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 26.8.2016

(potpis)