

## PROCEDURE ZA PRILAZ I SLETANJE NA AERODROME „NIKOLA TESLA“ I „BATAJNICA“ PRIMENOM RNP AR APCH I BARO-VNAV\*

Milosavljević S. *Vojislav*, student na akademskim master studijama  
na Fakultetu organizacionih nauka u Beogradu

UDC: 656.7.052.74  
656.71

### Sažetak:

*Radi što adekvatnijeg odgovora na najnovije izazove tržišta vazdušnog prevoza javila se ideja da se aerodrom „Batajnica“ otvori i za civilni saobraćaj. Time bi se znatno promenila situacija u terminalnom vazdušnom prostoru, pa je potrebno razmotriti nove okolnosti i prema njima optimizovati terminalni prostor. Znatna deo optimizacije čini i definisanje procedura za prilaz i sletanje, kao i strateško razdvajanje prilaznih tokova. Predložene procedure konstruisane su primenom savremenih koncepcija i rešenja u civilnoj avijaciji: Performance-Based Navigation, Baro-VNAV i CDA, koja se vrlo uspešno već primenjuju širom sveta.*

*Ključne reči: RNP, Baro-VNAV, CDA, procedure, prilaz, Batajnica, Beograd, terminalni prostor, STAR.*

### Uvod

Kretanja na globalnom tržištu, porast broja stanovnika i drugi faktori uslovljavaju praktično neprestano povećanje potražnje za vazdušnim transportom. Na određenim rutama tu povećanu potražnju moguće je zadovoljiti uvođenjem većih aviona. Međutim, postoji i veliki broj ruta na kojima bi takav potez bio ekonomski potpuno neopravdan. Veliki avioni su idealno rešenje za interkontinentalne letove između velikih svetskih hubova – čvorišta (engl. *hub*), a za kraće, regionalne linije, pravi i logičan izbor su manji, regionalni avioni. Karakteristično za regionalni saobraćaj jeste da je manji broj putnika na jednom letu, ali frekvencije mogu biti velike, što zavisi od konkretnog tržišta. To praktično znači da će za isti broj prevezenih putnika biti potrebno više operacija poletanja i sletanja nego kada bi se oni

\* Napomena: Ova tema detaljnije je razmotrena u diplomskom radu Vojislava Milosavljevića *Procedure za prilaz i sletanje na aerodrome „Nikola Tesla“ i „Batajnica“ primenom RNP AR APCH i Baro-VNAV*, odbranjenom 7. jula 2008. godine na Saobraćajnom fakultetu u Beogradu. U radu su prikazani i detaljni proračuni, crteži konstruisanih procedura, detaljnije obrazložena usvojena rešenja i drugo.

prevozili većim avionom, a to onda znači da su terminalni prostori oko aerodroma između kojih se leti opterećeniji. Preopterećenje vazdušnog prostora može dovesti do niza problema, od kojih su svakako najznačajniji:

- ugrožavanje bezbednosti zbog eventualnog narušavanja minimuma razdvajanja;
- smanjenje kapaciteta aerodroma zbog neoptimalne organizacije terminalnog prostora i eventualnih ograničenja uslovljenih pozicijom aerodroma;
- velika kašnjenja i poremećaji u redovima letenja zbog čekanja na sletanje (holding) ili poletanje (na gejtju (engl. *gate*) ili kod PSS;
- ogromni troškovi svih učesnika (aviokompanija, aerodroma, putnika, kontrole letenja).

Osnovni principi na kojima se zasniva koncepcija i funkcionisanje savremene kontrole letenja su: bezbednost, redovnost i ekspeditivnost. Da bi oni bili zadovoljeni i u uslovima znatnog porasta obima saobraćaja, neophodno je konstantno usavršavanje i primenjivanje savremenih rešenja u kontroli letenja i avijaciji uopšte. Jedno od najsavremenijih sredstava kontrole letenja za regulisanje saobraćaja u terminalnom prostoru je nova koncepcija prostorne navigacije, zasnovana na performansama: *Performance-Based Navigation (PBN)*. Njene brojne prednosti u odnosu na konvencionalnu navigaciju omogućile su da se uspešno reorganizuju i najopterećeniji terminalni prostori na svetu i da se poveća pristupačnost aerodromima i na najnezgodnijim mestima (zbog prepreka, buke, klimatskih uslova ili neopremljenosti za precizan prilaz).

Početak 2008. godine pojavila se, odnosno objavljena je u javnosti, ideja da se vojni aerodrom „Batajnica“ otvori i za civilnu upotrebu, kao odgovor na povećanu tražnju i specifičnosti tržišta. Prema toj ideji, predviđa se da će ga uglavnom koristiti niskotarifne kompanije zbog nižih taksi nego na aerodromu „Nikola Tesla“, kao i kargo avioni. Aerodrom bi tako postao mešoviti, sa jedne strane bi bili vojni objekti i vazduhoplovi, a sa druge civilni putnički i kargo terminal, platforma i prateći objekti, po ugledu na neke svetske mešovite aerodrome. Za civilne potrebe koristila bi se PSS 12L/30R, odnosno po internim vojnim oznakama PSS 2. Još uvek nije poznato da li će i kada civilni deo aerodroma biti pušten u upotrebu, ali je sigurno da do tada ima da se obavi još puno posla.

Otvaranje aerodroma „Batajnica“ za civilnu upotrebu potpuno bi promenilo situaciju u terminalnim vazdušnim prostorima „Beograd“ i „Batajnica“, pa je zbog toga neophodno njeno detaljno razmatranje. Zbog međusobne blizine ova dva aerodroma, a time i međuzavisnosti u izvesnoj meri, terminalni prostori i saobraćajni tokovi razmatrani su zajedno. U ovom radu je dat predlog procedura za prilaz i sletanje na aerodrome „Batajnica“ i „Nikola Tesla“ primenom jednih od najsavremenijih i sve popularnijih tehnika: RNP AR APCH (*Required Navigation Performance Authorization Required Approach*),

Baro-VNAV (*Barometric Vertical Navigation*) i CDA (*Continuous Descent Approach*). Ovo predloženo rešenje ima za cilj razdvajanje tokova na strateškom nivou i optimizaciju tokova i vazdušnog prostora po kriterijumima:

- bezbednosti,
- minimizacije troškova svih učesnika u saobraćaju,
- minimizacije štetnih uticaja na okolinu,
- pristupačnosti: da što više vazduhoplova može da leti po predloženim procedurama,
- fleksibilnosti.

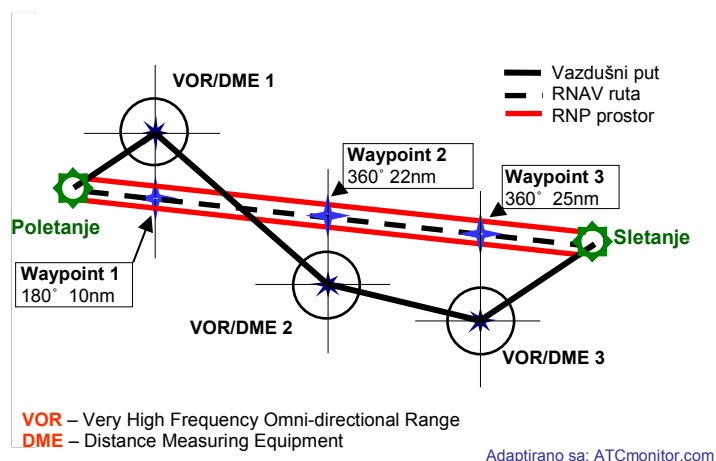
RNP AR APCH i Baro-VNAV još uvek su toliko novi da svetski aeronautički krugovi još rade na standardizaciji nekih detalja. Zbog toga je ovaj rad zasnovan na trenutno aktuelnim i dostupnim dokumentima koji mogu biti podložni promenama u budućnosti, kao, na primer, ICAO Doc. 9613 Final Working Draft 5.1: *Performance Based Navigation Manual* [1] i na osnovu njega sačinjen ICAO *Required Navigation Performance Authorization Required Procedure Design Manual*, Final Draft ver. 1.0 od 29. novembra 2007 [2]. Veliko ohrabrenje predstavlja činjenica da svetski priznate aviokompanije, aerodromi, kompanije za izradu procedura, kao i ICAO, FAA i EUROCONTROL, sve više pažnje usmeravaju na standardizaciju i primenu RNP. Imajući u vidu njihove napore i već postignute rezultate na tom polju, može se reći da RNP predstavlja budućnost vazduhoplovne navigacije. U prilog tome govori i podatak da je nadogradnja avionske opreme na standard koji podržava RNP već nekoliko godina jedan od najtraženijih vrsta nadogradnje avionske opreme.

## Koncepcija Performance-Based Navigation

Prema ICAO Doc. 9613, koncepcija Performance-Based Navigation zasniva se na ideji da međunarodne vazduhoplovne vlasti određuju zahtevane standarde navigacionih performansi (preciznosti u određivanju pozicije i praćenju zadatog puta) umesto da određuju potrebnu opremu vazduhoplova ili drugu opremu potrebnu za postizanje zahtevanog stepena preciznosti. Ova nova koncepcija navigacije (PBN) obuhvata: *Area Navigation (RNAV)* i *Required Navigation Performance (RNP)*.

Za razliku od konvencionalne navigacije koja se prvenstveno oslanja na zemaljska radio-navigaciona sredstva (npr. VOR, NDB), PBN, odnosno RNAV i RNP se baziraju na satelitskoj navigaciji tj. na korišćenje GNSS (Global Navigation Satellite System). Umesto preletanja zemaljskih radio-navigacionih sredstava, sada se mogu definisati putne tačke (*“waypoints”*) u oblasti pokrivenoj radio-navigacionim signalom. Računar na vazduhoplovu izračunava poziciju putnih tačaka, trenutnu poziciju vazduhoplova i parametre leta na osnovu primljenih radio-navigacionih signala, a izračunati parametri (npr. putni

ugao, udaljenost i vreme do određene putne tačke i sl.) mogu se prikazivati u odnosu na putne tačke nezavisno od pozicije radio-navigacionih sredstava. Primenom RNP obezbeđeno je i praćenje i ograničavanje stvarnog odstupanja vazduhoplova od nominalne putanje leta.



Slika 1 – Poređenje konvencionalne navigacije, RNAV i RNP

## RNP – Required Navigation Performance

Prema dokumentu ICAO 9613, RNP je definisan kao set standarda koji određuju preciznost navigacionih performansi vazduhoplova u određenom vazдушnom prostoru, duž određene rute, prilaza, itd. Bočno odstupanje stvarne putanje leta od nominalne ne sme preći vrednost od  $\pm 1\text{RNP}$  tokom bar 95% vremena leta po RNP ruti, određenom vazдушnom prostoru i sl., odnosno  $\pm 2\text{RNP}$  tokom 99% vremena leta. Zaštitni prostori za RNP definisani su kao linearni i bez sekundara, tj. ceo prostor je primarni. To znači da je minimalna visina nadvišavanja prepreka (MOC – *Minimum Obstacle Clearance*) konstantna duž celog poprečnog preseka RNP rute širine  $\pm 2\text{RNP}$  od ose, tj. od nominalne putanje.

Ključne funkcije RNP navigacionog sistema su:

- navigacija po zadatim kriterijumima,
- praćenje zadovoljavanja zadatih navigacionih performansi,
- upozoravanje posade kada se one ne mogu zadovoljiti.

Osnova za svaku primenu RNP je dokument ICAO 9613, odgovarajuća dokumenta EASA, FAA, kao i nacionalna zakonodavstva. U pomenutim dokumentima se mogu naći detaljno definisani svi aspekti primene RNP – od tehničkih karakteristika navigacionog sistema na vazduhoplovu do obuke posade i regulative.

Jedan od sve zastupljenijih RNP tipova je RNP AR APCH (*RNP Authorization Required Approach*) prema kojem su i izrađene predložene procedure. Primarna navigaciona infrastruktura je GNSS, a sekundarni senzori su DME/DME i IRS (*Inertial Reference System*). Ovaj RNP tip koristi se za procedure prilaza i sletanja. Standardna RNP vrednost za završni prilaz je RNP 0,3 ( $\pm 0,3$  NM od nominalne putanje leta za 95% vremena leta), a minimalna je RNP 0,1. Za segmente početnog međuprilaza i neuspelog prilaza standardna vrednost je RNP 1, a minimalna RNP 0,5. Ukupna horizontalna greška sistema (TSE) kod ovog RNP tipa ograničena je na  $\pm 0,1$  NM u svakom segmentu, dok je kod RNP APCH tipa ona ograničena na  $\pm 0,3$  NM u segmentu završnog i  $\pm 1$  NM u ostalim segmentima, pa zato ne treba mešati ova dva tipa sa sličnim imenom.

Navigacioni sistem na vazduhoplovu mora da poseduje bazu podataka kompletnih prilaznih procedura, uključujući i vertikalne uglove, neuspele prilaze i tranzicije za zadati aerodrom.

Nije potrebno vršiti leteće inspekcije navigacionog signala za ovaj RNP tip, jer se on oslanja na GNSS. Prema dokumentu AC 20-138, tačnost GPS senzora tokom 95% vremena mora biti bolja od 36 m, odnosno 2 m za senzor GPS sistema sa povećanom preciznošću (engl. *augmented*, npr. SBAS ili GBAS – Space-Based/Ground-Based Augmented System). Maksimalna odstupanja IRS su ograničena na 2NM po času leta za letove do deset časova. U dokumentima se pretpostavlja da sistemi koji zadovoljavaju ove standarde imaju odstupanje do 8NM po času leta tokom prvih 30 minuta posle prestanka ažuriranja pozicije vazduhoplova sa verovatnoćom od 95%.

## Prednosti i mane implementacije RNP

Iako je zaista teško nabrojati sve direktne i posredne koristi koje implementacija PBN, odnosno RNP, donosi sveukupnom svetskom društvu, treba pomenuti neke od ključnih među koje svakako spadaju:

- **znatno povećan kapacitet i efikasnost vazdušnog prostora** – napredne navigacione performanse vazduhoplova omogućavaju manja razdvajanja, a time i manje vazdušnog prostora; moguće je dinamičko upravljanje tokovima vazdušnog saobraćaja; moguće je korišćenje paralelnih<sup>1</sup> (engl. *offset*) ruta;
- **unapređena bezbednost leta** zahvaljujući preciznijoj navigaciji; znatno se smanjuje broj kontrolisanih udara u teren (*Controlled Flights into Terrain – CFIT*), naročito tokom noćnih prilaza na aerodrome okružene planinama ili drugim preprekama;

<sup>1</sup> Paralelne odnosno *offset* rute imaju isti pravac, a njihov bočni razmak zavisi od konkretnog primenjenog RNP tipa. Na istom pravcu ih može biti dve ili više.

- **povećana dostupnost pojedinih aerodroma** – manji uticaj nepovoljnih vremenskih uslova na operacije, manje otkazanih i zakasnelih letova i pratećih troškova zbog povoljnijih minimuma nadvišavanja;
- **direktne rute** – ne moraju se više preletati zemaljska radionavigaciona sredstva, skraćuju se letovi, smanjuju se operativni troškovi;
- **manje radno opterećenje pilota i kontrolora** – putanje leta su definisane putnim tačkama, smanjuje se glasovna radio komunikacija između pilota i kontrolora; primena veze podataka (engl. *data link*) takođe značajno doprinosi ovome:
  - **velike uštede u gorivu i vremenu leta (*Flight Time*)** – omogućeno je 4D *gate-to-gate* upravljanje vazдушnim saobraćajem, manje čekanja na zemlji i u holdingu
  - **manji štetan uticaj na okolinu** – posledica kraćeg blok vremena<sup>2</sup> i povećane fleksibilnosti dizajniranja procedura, kombinacijom RNP i CDA može se izbeći preletanje zona osetljivih na buku i aerozagađenje u okolini aerodroma;
  - **optimizovan vertikalni profil** – ravnomernije penjanje, krstarenje i poniranje, sve faze leta su optimizovane prema ekonomskim kriterijumima, veliki doprinos primene CDA (Continuous Descent Approach) umesto klasičnih *Dive and Drive* prilaza;
  - **povećana predvidivost i ponovljivost putanja leta** – preciznije definisanje i praćenje željene putanje leta;
  - **fleksibilniji dizajn procedura** – procedure se dizajniraju da bolje odgovaraju lokalnim specifičnostima aerodroma, odnosno vazdušnog prostora, potrebno je manje vazdušnog prostora, nema potrebe za radarским praćenjem, znatno manja ograničenja uslovljena pozicijama zemaljskih radio-navigacionih sredstava.

Da bi sve navedene prednosti PBN mogle da se iskoriste na optimalan način, ne smeju se zaboraviti pretpostavke i uslovi od kojih se pošlo pri definisanju koncepcije. Takođe bi trebalo razmotriti sva pitanja nastala tokom procesa primene i uzeti u obzir dosadašnja iskustva relevantnih faktora. Novonastala pitanja, odnosno zapažanja, ne moraju nužno da predstavljaju neki problem (ali mogu), ali svakako zaslužuju pažnju kako bi se izbegle moguće komplikacije u procesu globalne implementacije.

Neka od do sada uočenih pitanja na koje treba obratiti pažnju radi što efikasnije implementacije PBN su:

- **integritet podataka** – apsolutno kritičan činilac celokupnog procesa. Zato je neophodna kontrola sertifikovanih provajdera podataka (*data-suppliers*) i integriteta podataka; planira se novi koncept gde korisnik „iz-

<sup>2</sup> Blok vreme (engl. *block time*, *BT* ili *t<sub>B</sub>*) predstavlja ukupno vreme od pokretanja motora na aerodromu poletanja do gašenja motora na aerodromu sletanja odnosno zbir vremena provedenog u letu i vremena provedenog na zemlji sa uključenim motorima (npr. taksiranje, čekanje).

vlači“ podatke (*pull concept*) kao zamena današnjeg koncepta gde se podaci „guraju“ (*push concept*); potrebna je globalna vazduhoplovna baza podataka;

- **okruženje različitih mogućnosti (*mixed-capability environment*) tokom procesa implementacije** – sa napretkom implementacije, sve više operatera stiče mogućnosti za RNAV/RNP operacije, ali i oni koji ih još uvek nemaju, niti će ih imati u skorije vreme, takođe moraju biti adekvatno opsluženi upotrebom konvencionalne navigacije;

- **gubitak eksternog signala ili otkaz RNP sistema na vazduhoplovu** – prvenstveno se misli na primarni, GNSS signal, procedure za vanredne situacije se moraju još unaprediti;

- **potrebni su odgovarajući FMS** – savremeni FMS (Flight Management System) treba da podržavaju i RNAV-RNP holding kao i RF segmente putanje (legove, engl. *legs*), što prvi RNAV-RNP sistemi nisu podržavali;

- **velike investicije** potrebne za obuku kadrova, opremanje vazduhoplova, održavanje nove opreme i dalja istraživanja;

- **standardizacija** i prateća pitanja o kojima se konstantno raspravlja na raznim svetskim sastancima i radionicama, cilj je usaglašavanje svetskih standarda koji bi precizno definisali, podržali i olakšali primenu PBN;

- **politička pitanja** – GNSS signal kontrolišu mali broj država pa se javlja pitanje pouzdanosti odnosno mogućnost prekida signala ili slanje degradiranog signala u pojedinim zonama u određenom periodu.

Praktična primena RNP može se ilustrovati primerima nekih od najnepristupačnijih aerodroma na svetu, gde bi prilaz po konvencionalnoj navigaciji bio vrlo teško izvodljiv, a možda čak i nemoguć. Na primer, procedure za prilaz na kineske aerodrome Linži (ICAO oznaka: ZUNZ) i Lasa (ZULS) na Tibetu baziraju se na RNP AR APCH, a konstruisane su tako da avion u prilazu praktično prati dolinu reke leteći između vrlo visokih planina (umesto preko njih), čime se znatno snižava visina odluke [3]. Na sličan način realizovane su RNP procedure za prilaz i sletanje na austrijski aerodrom Innsbruck (LOWI) i kanadski Kilonu (CYLW). Na ovim primerima takođe se može primetiti kako se primenom RNP struktuiraju prilazni tokovi i time omogućava bolje iskorišćenje vazdušnog prostora.

## Barometarska vertikalna navigacija (Baro-VNAV)

Sistem Baro-VNAV zasniva se na izračunavanju vertikalne putanje koju vazduhoplov treba da prati na osnovu visine izračunate na osnovu pritiska uz pomoć RNAV sistema. Ova vertikalna putanja uparena je sa od-

govarajućom horizontalnom i one zajedno praktično čine jednu 3D putanju. Ova putanja se u završnom prilazu određuje u odnosu na relativnu visinu vazduhoplova od praga sletanja kada je on tačno iznad praga (*Reference Datum Height – RDH*) i ugla vertikalne putanje (*Vertical Path Angle – VPA*) koji je najčešće nominalno  $3^\circ$ . Svi podaci neophodni za izračunavanje vertikalne komponente ove 3D putanje se nalaze u bazi podataka navigacionog sistema na vazduhoplovu – osim podatka o trenutnom lokalnom pritisku i temperaturi koji su neophodni za tačno izračunavanje visine. Za vršenje prilaza po Baro-VNAV, neophodno je da RNP sistem za bočnu navigaciju na vazduhoplovu bude sertifikovan za operacije prilaza po RNP-RNAV $\leq 0,3$  odnosno da zadovoljava navigacione performanse kako je to detaljno opisano u već pominjanom dokumentu ICAO 9613.

Baro-VNAV ne zahteva nikakvu specijalnu navigacionu infrastrukturu, jer se zasniva na barometarskom merenju visine. To čini ovaj sistem odličnim izborom za operatore koji često lete ka zabačenim aerodromima gde nije moguće izvoditi precizan prilaz (npr. nemaju instaliran ILS). Iako manje precizan nego npr. ILS, Baro-VNAV omogućava prilaz i sletanje i na aerodrome u nezgodnom geografskom okruženju po putanji koja je slična preciznom prilazu i to bez ikakve specijalne lokalne infrastrukture.

Za pravilno funkcionisanje ovog sistema neophodno je da posada zna tačnu vrednost pritiska i temperature na lokalnom aerodromu na koji sleće. Ovde se podrazumeva da su ove vrednosti izmerene opremom koja se nalazi na aerodromu, a nikako nekim daljinskim metodama. Poznavanje stvarnog trenutnog lokalnog pritiska i temperature neophodno je radi kompenzacije odstupanja stvarnog ugla poniranja od nominalnog usled promene lokalnog pritiska i temperature. Savremeni navigacioni sistemi automatski vrše ovu kompenzaciju. Pri dizajniranju procedura određuje se i temperaturni opseg u kojem se objavljene procedure mogu koristiti i bez temperaturne kompenzacije.

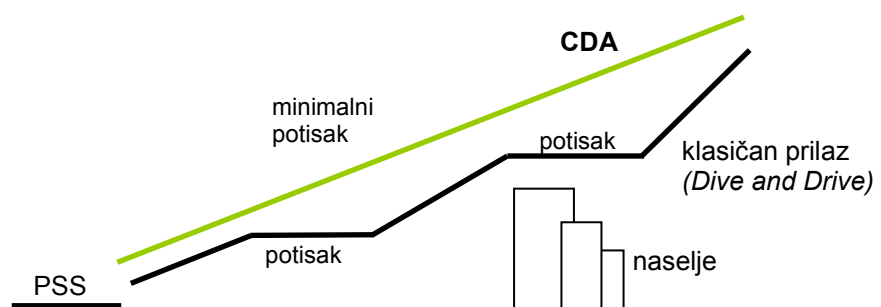
## CDA – Continuous Descent Approach

Prilaz sa konstantnim poniranjem (CDA – Continuous Descent Approach) predstavlja novu koncepciju koja bi trebalo znatno da doprinese smanjenju štetnih uticaja buke i aerozagađenja, kao i da znatno smanji potrošnju goriva. Suština ove koncepcije jeste da se umesto klasičnog, stepenastog prilaza sa naizmeničnim poniranjem i horizontalnim delovima leti sa jednim konstantnim gradijentom poniranja i da pri tom motori rade u režimu minimalnog potiska.

Obično se uzima da je taj konstantni gradijent poniranja za CDA oko 5,2%, odnosno  $3^\circ$ , što je i najčešći gradijent završnog prilaza, odnosno *Glide Slope* ILS sistema, zato što je ovaj ugao najlakše održavati tokom



dužeg perioda. Visina od koje se primenjuje CDA razlikuje se zavisno od aerodroma, a teži se da CDA počinje od što veće visine, kako bi se maksimizirali pozitivni efekti primene. Prilaz po CDA može se izvoditi po verbalnim uputstvima kontrole letenja ili, kako je to predviđeno, STAR procedurama. Još uvek ne postoje nikakvi usaglašeni međunarodni standardi o primeni CDA.



Slika 2 – Prilaz sa konstantnim gradijentom poniranja (CDA)

## Aerodromi

Prema [4], Aerodrom „Nikola Tesla“ raspolaže jednom PSS u pravcu 122–302° (12/30) dimenzija 3400 m x 45 m opremljenom za precizan prilaz po ILS CAT II na pragu 12 i CAT I na pragu 30. Aerodrom poseduje i opremu za ILS CAT IIIB, ali ona još nije uvedena u operativnu upotrebu. U operacijama je dominantna C kategorija aviona. Prema zvaničnoj statistici aerodrom „Nikola Tesla“ (LYBE) je tokom 2007. godine imao 43 448 operacija i oko 2,5 miliona putnika, što je za oko 3% više operacija, odnosno za oko 13% više putnika u odnosu na 2006. godinu. Trend porasta broja putnika i operacija nastavlja se i tokom 2008, približno istom brzinom kao tokom 2007. godine.

Aerodrom „Batajnica“ (LYBT) trenutno nije dostupan za civilne komercijalne letove. Za eventualne civilne letove predviđa se korišćenje PSS 12L/30R, dimenzija 2 500 m x 45 m, pa se u daljem izlaganju samo ona razmatra. Nisu dostupne klasične civilne SID i STAR procedure, ali se izdaju privremene procedure za specijalne letove.

Svaki od ova dva aerodroma ima definisan svoj TMA prostor, ali trenutno kroz TMA Batajnica prolaze SID i STAR za aerodrom „Nikola Tesla“, definisane prema konvencionalnoj navigaciji.

## Konstrukcija procedura

Cilj konstrukcije i primene predloženih procedura je strateško razdvajanje i optimizacija prilaznih tokova za aerodrome „Nikola Tesla“ (ICAO oznaka: LYBE) i „Batajnica“ (LYBT). Proračuni su zasnovani na dokumentu [2], a vršeni su pomoću programa *MS Excel*. Za proračun završnih prilaza korišćen je *RNP SAAR MS Excel Spreadsheet v.2.0*, koji predstavlja FAA ekvivalent softveru za proračun završnih prilaza koji se može naći na ICAO *RNP AR CD-ROM*.

Primenjen je RNP AR APCH u kombinaciji sa Baro-VNAV, a vertikalni profil je optimizovan prema CDA sa gradijentom poniranja 5,2% (3°). Elementi procedura su proračunati za D kategoriju aviona čija je instrumentalna brzina na pragu ( $V_{at}$ ) između 261 km/h (141 kt) i 307 km/h (166 kt), a procedure mogu koristiti i niže kategorije. Ova kategorija je izabrana kao merodavna na osnovu uvida u trenutnu populaciju aviona koja poleće i sleće na pomenuta dva aerodroma, kao i na osnovu prognoza budućih trendova operacija.

Usvojene su standardne RNP vrednosti: RNP 0.3 u završnom prilazu i RNP 1 u ostalim segmentima jer u okolini nema značajnijih prepreka, a nisu uočene ni neke velike operativne koristi koje bi se mogle ostvariti primenom niže (preciznije) RNP vrednosti. Radi povećanja dostupnosti procedura poštuju se i neke druge preporučene standardne vrednosti, kao na primer za ugao nagiba krila u zaokretima: *bank angle* = 18°.

Minimalno razdvajanje po visini na tačkama ukrštanja tokova je 2 000 ft. Kada početno razdvajanje nije bilo dovoljno (ispod 2 000 ft), izvršene su odgovarajuće intervencije u vidu dodatnog smanjenja visine nižeg toka i regulisanja gradijenta poniranja na određenim deonicama. Na pojedinim segmentima puta definisan je nešto manji gradijent poniranja od 5,2% kako bi se zadovoljilo minimalno razdvajanje po visini na uzastopnim ukrštanjima.

Radi smanjenja ukupne operativne kompleksnosti, a prema preporukama u [5], predlaže se spajanje TMA Beograd i TMA Batajnica. U vertikalnoj ravni novi jedinstveni terminalni prostor bi se i dalje prostirao do FL145, ali uz mogućnost eventualne naknadne promene ili delegacije, zavisno od analize saobraćajnih tokova po visinama. Na granicama novog terminalnog prostora definisane su ulazne tačke koje su ujedno i već definisane u *en-route* prostoru (*Lower* i *Upper Airspace*) i nalaze se ili na dvosmernim vazdušnim putevima ili na jednosmernim u smeru ka aerodromima LYBE i LYBT. Druge tačke koje su, takođe, na granici, a leže na jednosmernim vazdušnim putevima koji imaju smer od ovih aerodroma ka susednim zemljama (npr. TONDO) mogu biti uzete za izlazne tačke TMA za odlazeći saobraćaj (koji ovde nije razmatran). Tokove SID i

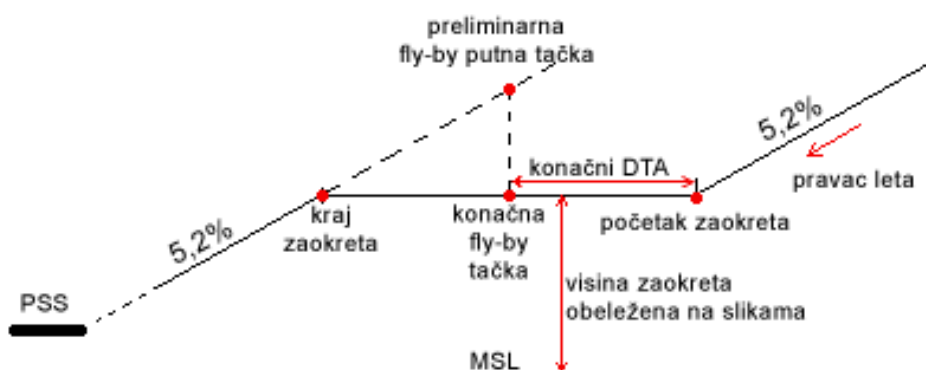
STAR treba zajedno razmatrati radi optimizacije terminalnog prostora i zadovoljavanja minimalnog razdvajanja po visini na tačkama njihovog ukrštanja.

Svi zaokreti su prema preporukama ICAO horizontalni, iako savremeni navigacioni sistemi omogućavaju poniranje i tokom zaokreta uz korišćenje autopilota. Osnovu ovih preporuka čini činjenica da je pilotima mnogo lakše da upravljaju i prate parametre leta kada su zaokreti horizontalni, što povećava bezbednost i preciznost praćenja procedura.

S obzirom na to da je rastojanje između osa PSS aerodroma LYBE i LYBT nešto više od 10 km, na ova dva aerodroma mogu se izvoditi potpuno nezavisne paralelne operacije [6].

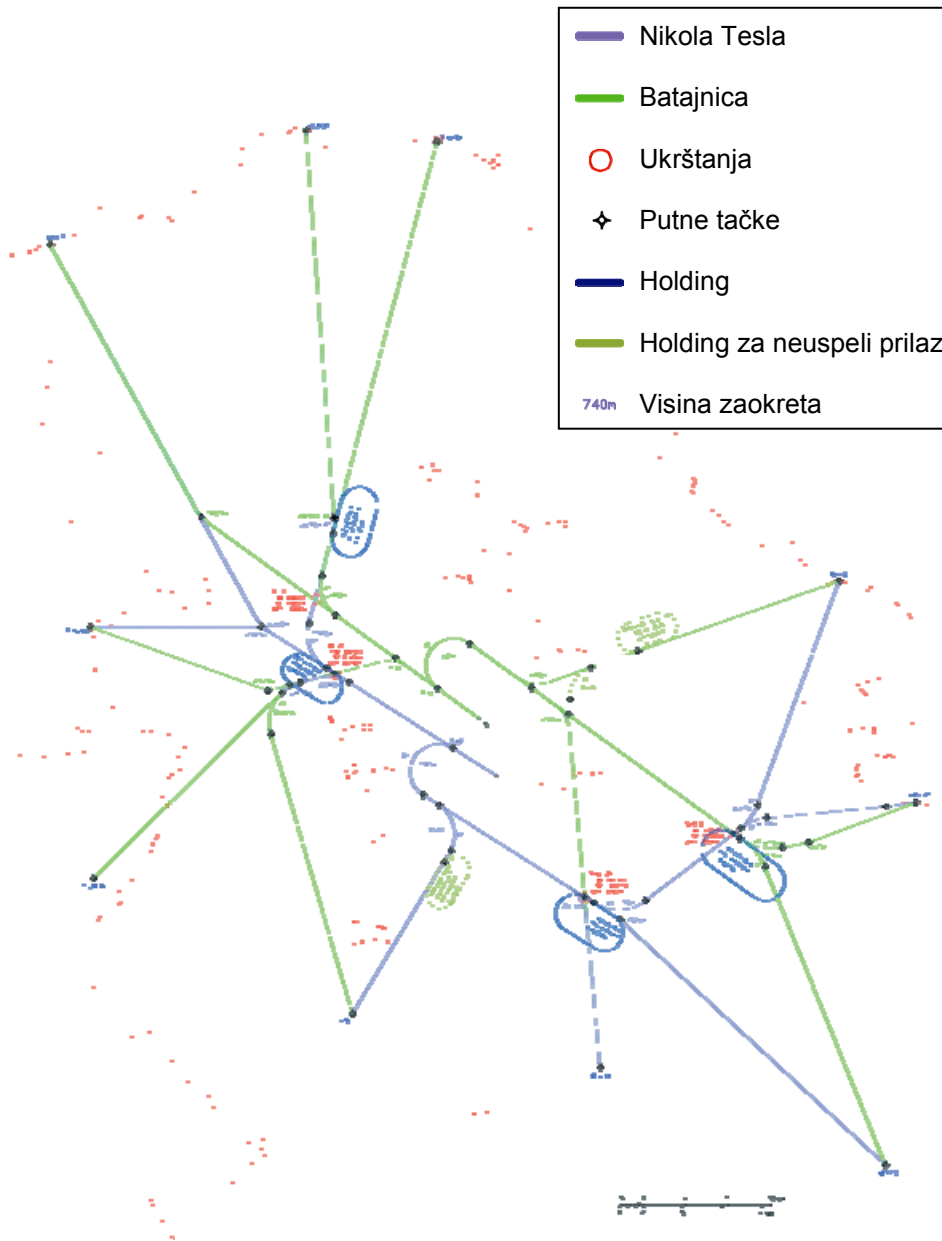
Za definisanje procedura korišćeni su TF (*Track to Fix*) i RF (*Radius to Fix*) legovi (*legs* – segmenti puta), a zaokreti su definisani i proračunati kao *Fly-by* (zaokret se vrši pored putne tačke, bez njenog preleta), *Fly-over* (zaokret se započinje neposredno po preletu određene putne tačke) i *RF* (zaokret se vrši po luku konstantnog poluprečnika oko određene tačke).

Radi idealnog uklapanja horizontalnih *Fly-by* zaokreta u vertikalni profil prilaza sa konstantnim gradijentom poniranja (CDA), a zbog složene međuzavisnosti veličina koje učestvuju u proračunu (npr. vetar, apsolutna visina, poluprečnik, itd.), primenjen je iterativni postupak koji je praktično realizovan uz pomoć programa *MS Excel* i odgovarajućih formula.

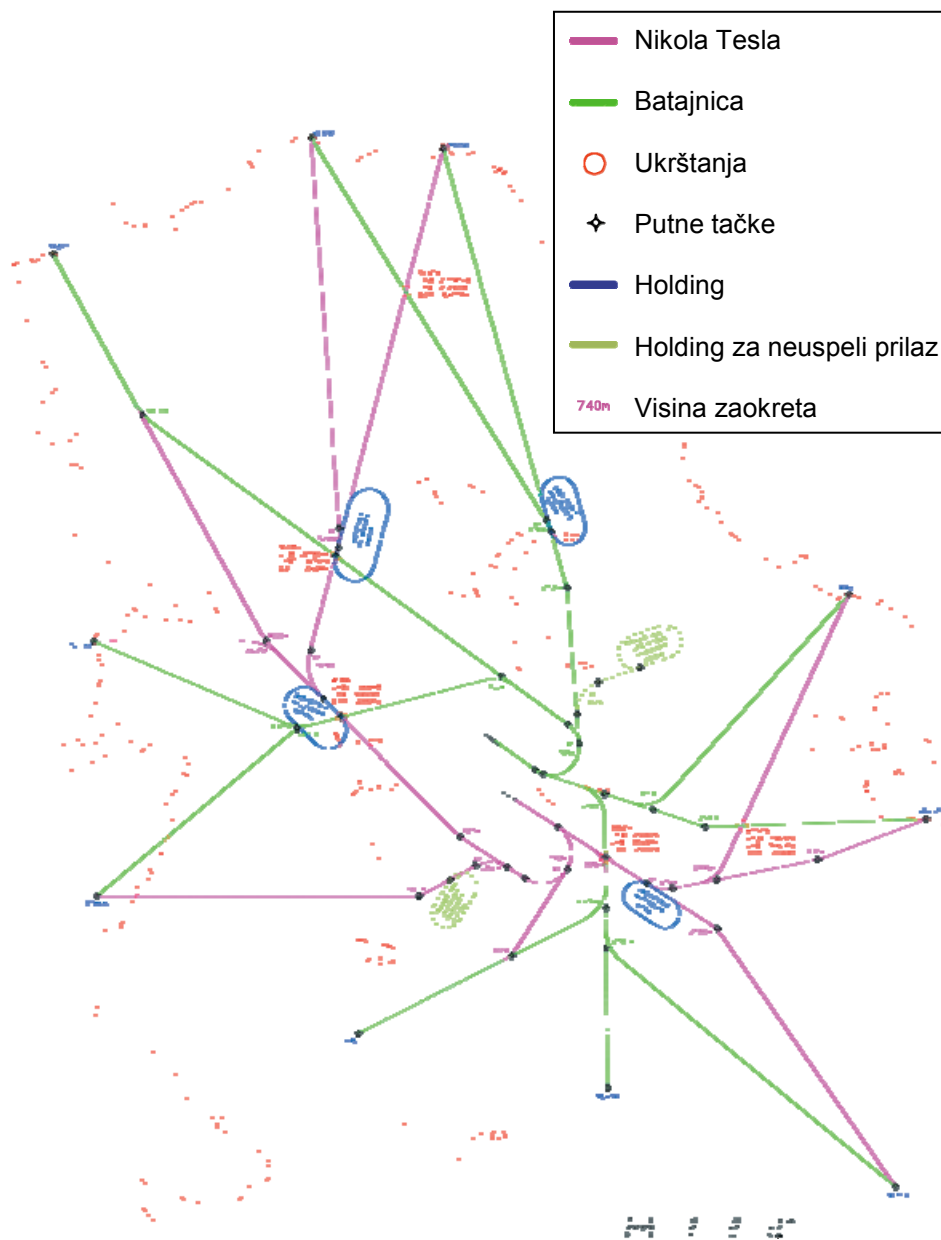


Slika 3 – Vertikalni profil uklapanja horizontalnih zaokreta

Na slikama 4 i 5 prikazane su predložene procedure za prilaz i sletanje na staze 12 (slika 4) i na staze 30 (slika 5).



Slika 4 – Prilazni tokovi za staze 12 aerodroma „Nikola Tesla“ i „Batajnica“



Slika 5 – Prilazni tokovi za staze 30 aerodroma „Nikola Tesla“ i „Batajnica“

Prikazani su prilazni tokovi sa putnim tačkama i zaokretima, tačke njihovih ukrštanja sa visinskim razdvajanjem, segmenti neuspelih prilaza kao i holdinzi za prilazne tokove i neuspele prilaze, a mogu se uočiti i zone ograničenog letenja. Pojedini segmenti koji su zajednički za oba aerodroma su zbog preklapanja obeleženi samo jednom bojom do odvajanja posebnog toka za određeni aerodrom.

Kada su staze 12 u upotrebi vazduhoplovi sa severozapada vrše direktan prilaz, a oni sa jugoistoka preko *downwind* lega i obrnuto kada su aktivne staze 30.

## Holdinzi

Svi holdinzi (i za prilazne tokove i za neuspeli prilaz za oba aerodroma) definisani su prema kriterijumima za RNP holding. Brzina u holdinzima je svuda ograničena na IAS = 210 kt, a ostali parametri se menjaju zavisno od konkretnog holdinga.

Holdinzi za prilazne tokove definisani su, uglavnom, na tačkama ukrštanja tokova za LYBE i LYBT kako bi mogli da ih koriste avioni sa što više tokova. Visine na kojima se vrši holding su određene tako da se po izlasku iz holdinga nastavlja CDA prilaz, kao i da se zadovolji minimalno razdvajanje po visini u prostoru za holding. Maksimalna visina holdinga određena je tako da zadovolji veću od visina u prilazu dva toka koja se ukrštaju na putnoj tački holdinga, pa je zatim zaokružena na prvu veću sa korakom od 100 ft. Avioni koji dolaze sa nižeg toka vršiće holding na odgovarajućoj manjoj visini. Putne tačke holdinga definisane su kao Fly-by, pa je tako omogućeno direktno rutiranje, što praktično znači da avion može sa bilo koje trenutne pozicije u holdingu da leti ka sledećoj tački u proceduri, tj. nije nužno preletanje putne tačke holdinga pre njegovog napuštanja. Ovim rešenjem povećava se stepen fleksibilnosti rutiranja i omogućava bolje prilagođavanje trenutnoj saobraćajnoj situaciji u vazдушnom prostoru.

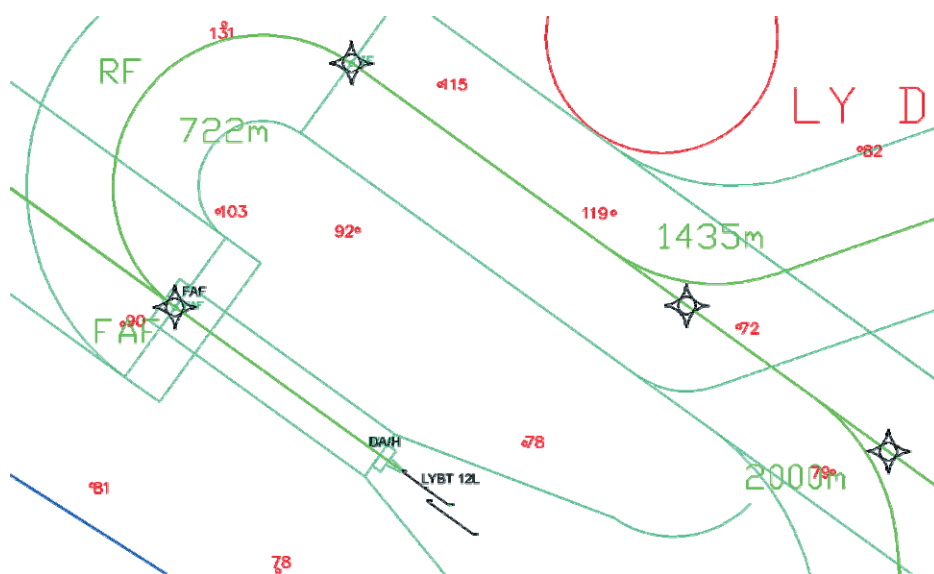
## Završni prilazi

Svi završni prilazi sastoje se od samo jednog TF lega (*Track to Fix*). Zaštitni prostor je linearan i svi njegovi elementi odgovaraju vrednosti RNP 0.3. Dužina ovog segmenta za prilaz i sletanje na stazu 12 i 30 LYBE i stazu 12L LYBT je 6,5NM ( $\approx 12$  km), a kod prilaza na stazu 30R aerodroma „Batajnica“ je 6,32 NM ( $\approx 11,7$  km) zbog obližnjih zona ograničenog letenja.

Vertikalno vođenje vrši se po Baro-VNAV. S obzirom na to da nema prepreka ni u segmentu završnog ni u segmentu neuspelog prilaza, za visinu odluke je usvojena minimalna dozvoljena vrednost : DH = 75 m. Ova

visina je viša nego visina odluke za već postojeće ILS (prema [4], za LYBE stazu 12 i ILS Cat II DH = 100 ft, tj. 30,48 m), tako da se u nepovoljnim vremenskim uslovima završni prilaz može vršiti po ILS. Predložene procedure mogu koristiti avioni sa navigacionim sistemima bez temperaturne kompenzacije kada je lokalna temperatura od  $-13,2^{\circ}\text{C}$  do  $+14,2^{\circ}\text{C}$ .

Za proračun završnih prilaza korišćen je *RNP SAAR MS Excel Spreadsheet v.2.0*. Primer završnog prilaza na stazu 12L LYBT prikazan je na slici 6, a prilazi na ostale staze konstruisani su na sličan način.



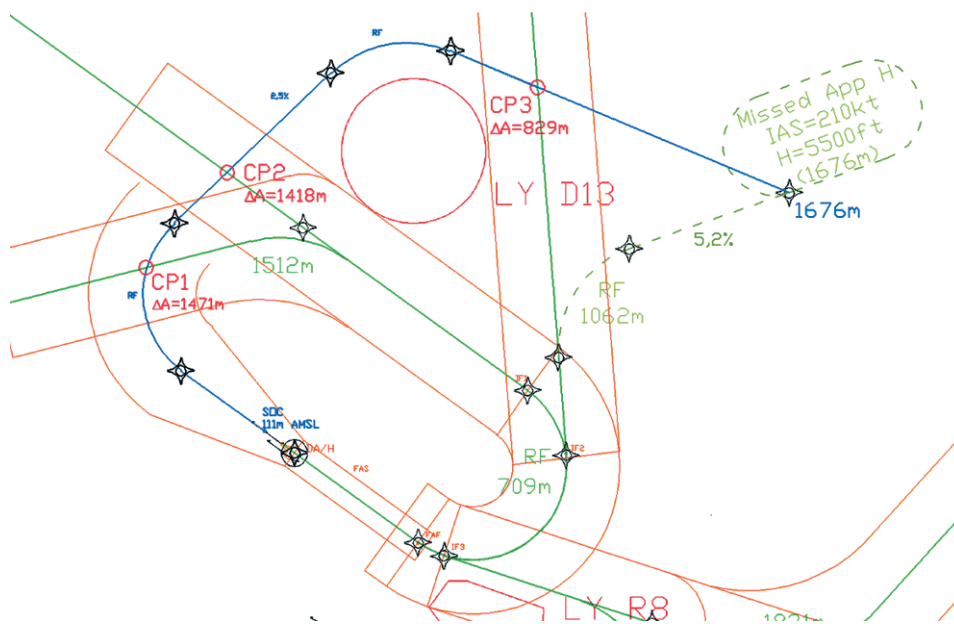
Slika 6 – Završni prilaz na stazu 12L aerodroma „Batajnica“

## Segmenti neuspelog prilaza sa holdinzima

Segment neuspelog prilaza počinje od tačke DA/H u segmentu završnog prilaza, a spoljne granice se odatle šire pod uglom od  $15^{\circ}$  do postizanja širine segmenta od  $\pm 2\text{RNP}$ , a završavaju na putnoj tački holdinga, povratkom aviona na vazdušni put ili pokušajem novog prilaza. Za konstrukciju segmenata neuspelih prilaza korišćeni su isključivo TF legovi za let po pravcu i RF legovi za zaokrete. Prioritet je bio minimiziranje ukupne kompleksnosti ovog segmenta, pa je zbog toga korišćen minimalan broj legova i ograničena je oštrina zaokreta. Korišćen je standardni nominalni gradijent penjanja od 2,5%, kao i standardna RNP vrednost RNP 1, radi što veće dostupnosti procedura. Zaokreti se ne vrše pre do-

stizanja širine segmenta RNP 1. Razdvajanja po visini na tačkama ukrštanja segmenata neuspelog prilaza i prilaznih tokova kreću se u rasponu od 829 m do 1 593 m, a uglavnom su preko 1 300 m.

Na slici 7 prikazan je segment neuspelog prilaza na stazu 30R aerodroma „Batajnica“ sa odgovarajućim holdingom.



Slika 7 – Prilaz na stazu 30R aerodroma „Batajnica“ sa segmentom neuspelog prilaza i holdingom za neuspeli prilaz

Na slici 7 može se primetiti i kratka putanja specijalno dizajnirana za napuštanje holdinga neuspelog prilaza i uključanje u standardne prilazne tokove. Ova putanja sastoji se od jednog pravca (TF lega) sa gradijentom poniranja 5,2% i jednog horizontalnog zaokreta u RF legu. Na tački spajanja sa standardnim prilaznim tokovima avion koji je pratio ovu kratku putanju imaće potpuno istu visinu kao da je pratio STAR do te tačke, što mu omogućava dalje praćenje STAR bez ikakvih prilagođavanja.

Holdingi za neuspeli prilaz za jedan aerodrom su, radi povećanja fleksibilnosti i smanjenja kompleksnosti, definisani na istim putnim tačkama, nezavisno od trenutne staze u upotrebi. Neposredno po izlasku iz holdinga predviđen je horizontalni let do presecanja 3D putanje, definisane prilaznim procedurama, a zatim njihovo praćenje. Putna tačka RNP holdinga za neuspeli prilaz za aerodrom „Nikola Tesla“ poklapa se sa NDB OBR, što može biti korisno u eventualnim vanrednim situacijama.



## Zaključak

Zadatak izrade prilaznih procedura za aerodrome „Nikola Tesla“ i „Batajnica“ bio je odlična prilika za prikaz mogućnosti savremenih koncepcija i rešenja kao što su RNP, Baro-VNAV i CDA. Reorganizacija terminalnog prostora i dizajniranje novih procedura bili su neophodni zbog mogućeg uvođenja nove PSS u upotrebu za civilne letove.

U radu je razmotrena reorganizacija terminalnog vazdušnog prostora i predloženo je spajanje TMA Beograd i TMA Batajnica i definisane su ulazne tačke novog terminalnog prostora. Predložene su nove procedure za prilaz i sletanje za aerodrome „Nikola Tesla“ i „Batajnica“, dizajnirane za CDA prilaze prema kriterijumima RNP AR APCH i Baro-VNAV. Vertikalni profil procedura za prilaz optimizovan je za prilaz sa konstantnim poniranjem (*CDA – Continuous Descent Approach*) sa gradijentom 5,2% (3°). Na određenim deonicama gradijent poniranja je neznatno smanjen radi zadovoljavanja minimalnog razdvajanja tokova po visini. Svi zaokreti (osim u segmentu neuspelog prilaza) su, prema preporukama ICAO, horizontalni. Zaokreti su proračunati za odgovarajuće visine kako bi se idealno uklopili u CDA prilaze primenom iterativnog postupka zbog složene zavisnosti veličina.

Predloženi su prateći holdinzi za prilazne tokove. Holdinzi su dizajnirani po kriterijumima za RNP holding. Njihova pozicija i visina su u najvećoj mogućoj meri uklopljene u prilazne procedure, tako da po izlasku iz holdinga može da se nastavi CDA prilaz po predloženim procedurama. Omogućeno je direktno rutiranje, pa se avion može uputiti na neku putnu tačku sa bilo kod dela holdinga (bez preleta putne tačke holdinga).

Primenom RNP AR APCH u kombinaciji sa Baro-VNAV i CDA za dizajniranje procedura za prilaz i sletanje na aerodrome „Nikola Tesla“ i „Batajnica“ ostvaruju se mnoge koristi bez uočenih štetnih sporednih efekata. Ilustracija jednog od brojnih poboljšanja je skraćanje rastojanja koje treba preleteti od tačke NEPOS do sletanja na stazu 12 aerodroma „Nikola Tesla“. Praćenjem trenutno važeće prilazne procedure NEPOS 1A od tačke NEPOS do tačke LOGAR i procedure za prilaz i sletanje po ILS od LOGAR nadalje, potrebno je preleteti oko 189,83 km. Letenjem po RNP procedurama predloženim u ovom radu, od tačke NEPOS do sletanja na stazu 12 LYBE potrebno je preleteti 171,67 km, odnosno oko 18,16 km ili 9,57% manje nego kada se koriste trenutno važeće konvencionalne procedure za prilaz i sletanje. Treba napomenuti i da tokovi za aerodrom „Batajnica“ ne predstavljaju nikakvo ograničenje za trenutno važeće konvencionalne procedure jer on trenutno nije dostupan za civilne letove, a predložene procedure uzimaju u obzir i saobraćaj ka njemu.

Preciznija navigacija omogućava veći stepen ponovljivosti letenja po definisanoj putanji, manje zaštitne prostore i manja razdvajanja nego kada se primenjuje konvencionalna navigacija. Prilazni putevi su sada primenom preciznije navigacije struktuisani pa zahtevaju manje vazdušnog prostora nego ranije i regulisani su na strateškom nivou.

Odgovarajućom primenom RNP i drugih naprednih tehnika moguće je tako dizajnirati procedure da se obezbeđuje ista optimalna putanja leta i u slučaju kada su zone ograničenog letenja aktivne i kada nisu.

Povećana je bezbednost leta, jer su zahvaljujući avionskom sistemu praćenja navigacionih performansi i upozoravanja ograničena odstupanja od nominalne putanje leta određene procedurom. Time je smanjeno radno opterećenje kontrole letenja, jer su definisane RNP STAR procedure sa horizontalnim i vertikalnim vođenjem koje ne zahtevaju često vektorisanje. S obzirom na to da u okolini ova dva razmatrana aerodroma nema visokih planina koje bi predstavljale prepreke u prilazu, ne dolazi do izražaja mogućnost sniženja visine odluke usled zaobilaženja brda i planina i užeg primarnog zaštitnog prostora. Čak, visina odluke za prilaz po Baro-VNAV je i nešto veća od one za prilaz po ILS. U praksi se završni prilazi mogu vršiti i po ILS po potrebi, a dobro je da postoje definisani i prilazi po Baro-VNAV za čije izvršenje su, pored funkcionisanja RNP sistema, dovoljni samo podaci o lokalnom pritisku i temperaturi.

Primenom CDA koncepcije omogućena je znatno veća efikasnost i ekonomičnost prilaza po pitanju potrošnje goriva i vremena. U današnje vreme, kada cena nafte vrtoglavo raste, zaista je suvišno naglašavati važnost smanjenja potrošnje goriva u prilazu. Ove znatne uštede postignute su u najvećoj meri, zahvaljujući direktnijim rutama i primenom optimizovanog vertikalnog profila po principima CDA. Uštede u vremenu su značajne za ceo sistem: za putnike jer letovi kraće traju, za aviokompanije zbog rotacija aviona, itd. Definisanjem prilaznih procedura u RNP AR APCH standardima, omogućena je i efikasna primena 4D ATM.

Nove procedure donose i ekološko poboljšanje. Direktnijim i efikasnijim prilazima potrebno je manje vremena i goriva, a time je i smanjena izloženost okoline aerozgađenjima i buci.

Iako u radu nisu predložene procedure za poletanje, postignutom uštedom vazdušnog prostora potrebnog za prilaze omogućava se i fleksibilnije definisanje SID procedura kako bi i odlazni tokovi bili što efikasnije organizovani.

Može se zaključiti da je PBN definitivno koncepcija budućnosti koja globalnoj avijaciji donosi velike koristi, iako postoji određen broj pitanja koja treba rešiti. Implementacija PBN je kompleksan proces, ali brojna, vrlo pozitivna iskustva stečena kroz dosadašnju primenu ohrabruju nastavak napora na daljoj primeni. Neophodna je dalja standardizacija na globalnom nivou radi što efikasnije primene. Takođe, potrebno je nastaviti istraživanja i razvoj novih dugoročnih rešenja kako bi se obezbedilo efikasno funkcionisanje globalnog sistema vazdušnog saobraćaja u uslovima sve većih izazova.

### Literatura

[1] ICAO Doc. 9613 Final Working Draft 5.1: *Performance Based Navigation Manual*.

[2] ICAO *Required Navigation Performance Authorization Required Procedure Design Manual*, Final Draft ver. 1.0, 29. novembar 2007.

[3] Naverus Inc. (<http://www.naverus.com>), Case studies, primeri RNP procedura za aerodrome Linži (Tibet, Kina, ZUNZ), Brizbejn, Kvinstaun, Kanbera (Australija), Kilona (CYLW, Kanada) i Žuno (Aljaska) i poređenje RNP i ILS prilaza.

[3] AIP Republike Srbije.

[4] EUROCONTROL: "Eurocontrol Airspace Planning Design Manual", Section 5: Terminal Airspace Design Guidelines, 17. januar 2005.

[5] Tong, Kwok-on, ATM Boeing Commercial Airplanes, "Continuous Descent Approach Design for Independent Dual Runway Operation at IAH", CDA Workshop, Atlanta, 18–19. april 2006.

## APPROACH AND LANDING PROCEDURES FOR AIRPORTS "NIKOLA TESLA" AND "BATAJNICA" USING RNP APPROACH AND BARO-VNAV

### Summary

#### Introduction

*Numerous advantages of Performance-Based Navigation should be applied in reorganising the terminal airspace around Belgrade after the opening of "Batajnica" airport for civil operations.*

#### The concept of Performance-Based Navigation

*Contrary to conventional navigation which relies on navigation signals from ground navaids, PBN is predominantly based upon satellite navigation.*

#### RNP – Required Navigation Performance

*RNP is defined as a set of standards which specify required navigation performance accuracy of an aircraft in certain airspace. Some of its key features are monitoring of actually achieved navigational performances and navigation containment.*

#### Benefits and possible issues with RNP implementation

*Implementation of RNP leads to significant savings in fuel and time, it increases the efficiency of airspace and capacity, reduces ATC workload while on the other hand there are a number of issues that still should be addressed.*

#### Barometric Vertical Navigation (Baro-VNAV)

*The essence of Baro-VNAV is calculation of the vertical component of a 3D flight path that aircraft should follow based on measured static pressure.*

#### CDA – Continuous Descent Approach

*By CDA, approach is flown with a constant gradient at minimal thrust instead of alternating descent and level flight with increased thrust as it is flown in a conventional approach.*

## The airports

*Both of the airports have their own TMA, but currently there are conventional SID and STAR flows for "Nikola Tesla" running through TMA "Batajnica" while procedures for "Batajnica" are issued only as temporary for special flights.*

## Procedure design

*A detailed overview of procedure design includes general considerations, the principles on which the design is based, design of turns, maps of inbound flows featuring holdings and missed approach segments.*

## Holdings

*All holdings, including both in approach and in missed approach for both airports are defined in accordance with RNP holding criteria and in a way that aircraft inbound from as many as possible flows could use them.*

## Final approaches

*All final approaches consist of a single TF leg (Track to Fix). Containment areas are linear and all their elements are determined by RNP 0.3. Baro-VNAV is used for vertical guidance.*

## Missed approach segments with MAP holdings

*In design of missed approach segment only TF legs were used for a straight flight and RF legs for turns. The priority was minimisation of total complexity in the segment which is why the minimal number of legs was used and turn amplitude was limited.*

## Conclusion

*Implementation of RNP AR APCH in combination with Baro-VNAV and CDA at "Nikola Tesla" and "Batajnica" would bring many benefits without any observed negative side effects.*

## Note

*The topic is addressed with far more details in diploma thesis of Vojislav Milosavljević, originally titled "Procedure za prilaz i sletanje na aerodrome "Nikola Tesla" i "Batajnica" primenom RNP AR APCH i Baro-VNAV" defended at The Faculty of Traffic and Transport Engineering, Belgrade, Serbia, on July, 7<sup>th</sup> 2008. Detailed calculations, figures, explanations of chosen solutions and other are featured in the thesis available at the library of the faculty.*

*Key words: RNP, Baro-VNAV, CDA, procedures, approach, Batajnica, Belgrade, terminal airspace, STAR, design*

Datum prijema članka: 02. 12. 2008.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 2. 10. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 05. 10. 2009.