

Optimizacija procesa upravljanja zračnom lukom s ciljem smanjenja kašnjenja zrakoplova

Bračić, Matija

Doctoral thesis / Disertacija

2017

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:119:593989>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-17**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Matija Bračić

**OPTIMIZACIJA PROCESA
UPRAVLJANJA ZRAČNOM LUKOM S
CILJEM SMANJENJA KAŠNJENJA
ZRAKOPLOVA**

DOKTORSKI RAD

Mentor:
prof. dr. sc. Stanislav Pavlin

Zagreb, 2017.



University of Zagreb
FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC SCIENCES

Matija Bračić

**OPTIMIZATION OF AIRPORT
MANAGEMENT PROCESSES
TARGETED TO AIRCRAFT DELAY
REDUCTION**

DOCTORAL THESIS

Supervisor:
Prof. Stanislav Pavlin, PhD

Zagreb, 2017.

PODATCI I INFORMACIJE O DOKTORANDU

1. Ime i prezime: **Matija Bračić, mag. ing. traff**
2. Datum i mjesto rođenja: **29. lipnja 1985., Zagreb**
3. Naziv završenoga fakulteta i godina diplomiranja:
 1. **Tehničko veleučilište u Zagrebu, Elektrotehnički odjel, 2010.**
 2. **Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 2011.**

INFORMACIJE O DOKTORSKOM RADU

1. Naziv doktorskoga studija: **Tehnološki sustavi u prometu i transportu**
2. Naslov doktorskoga rada: **Optimizacija procesa upravljanja zračnom lukom s ciljem smanjenja kašnjenja zrakoplova**
3. Fakultet na kojem je doktorski rad obranjen: **Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu**

INFORMACIJE O DOKTORSKOM RADU

1. Datum prijave doktorskoga rada: **28. siječnja 2016.**
2. Datum obrane teme doktorskoga rada: **19. veljače 2016.**
3. Mentor: **prof. dr. sc. Stanislav Pavlin, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu**
4. Povjerenstvo za ocjenu i obranu doktorskoga rada:
 1. prof. dr. sc. **Sanja Steiner**, predsjednik
 2. prof. dr. sc. **Stanislav Pavlin**, član
 3. doc. dr. sc. **Tomislav Mihetec**, član
 4. izv. prof. dr. sc. **Doris Novak**, član
 5. doc. dr. sc. **Bojana Mirković**, (Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu), vanjski član
 6. izv. prof. dr. sc. **Andrija Vidović**, zamjena
5. Lektor: **Ljupka Đurić**, prof.
6. Datum obrane doktorskoga rada: **23. svibnja 2017.**

Sažetak

Odvijanje je operacija zrakoplova na zračnoj luci uvjetovano fizičkim kapacitetom različitih infrastrukturnih i operativnih elementa, operativnim sustavom upravljanja te prometnom potražnjom.

Kašnjenja koja su prisutna u zračnoj luci različitih su uzroka i karaktera te izravno utječu na odvijanje operacija zrakoplova. Problem je posebno izražen u regionalnim zračnim lukama sa sezonskim karakterom, neodgovarajućim sustavom upravljanja te ograničenim kapacitetom pojedinoga podsustava ili sustava u cjelini.

Postojeći je generički sustav koji se primjenjuje u većini zračnih luka temeljen na sustavu „tko prvi dođe, prvi biva i uslužen“, dok je nadležnost nad upravljanjem pojedinim procesima na različitim subjektima. U postojećem sustavu pojedini operativni podsustavi nisu međusobno integrirani, operacije zrakoplova neodgovarajuće se prate, nisu međusobno koordinirane niti integrirane u sustav zračnoga prometa. Operativne procedure koje se primjenjuju u zračnoj luci većinom nisu unaprijed definirane, već ovise o trenutnom stanju na manevarskoj površini, na stajanci i u zračnom prostoru zračne luke.

U radu je predložen proaktivni sustav koji integrira pojedine operativne podsustave u jednu funkcionalnu cjelinu, a temelji se na inovativnom pristupu sektorizacije zračne luke, matematički je prikazan Petrijevim mrežama. Optimizirane procedure na temelju stanja u pojedinim sektorima svakom zrakoplovu u odlasku dodjeljuju optimalno vrijeme pokretanja motora, odnosno izlaska s pozicije.

Rezultati proaktivnih procedura ukazuju na to kako je moguće smanjiti kašnjenja koja se javljaju na manevarskoj površini zračne luke, što ponajprije dovodi do optimalnoga odvijanja operacija zrakoplova, dok se neposredni učinak očituje u smanjenoj potrošnji goriva i razini emisija ispušnih plinova te u povećanoj razini sigurnosti.

Ključne riječi: upravljanje operacijama zrakoplova, kašnjenja, optimizacija procesa

Abstract

Aircraft operations at an airport is dependent on the physical capacity of various infrastructure and operational elements, the management system and transport demand.

Delays have various causes and characteristics, and directly affect aircraft operations. The problem is particularly acute at regional airports with seasonal character, inadequate management procedures and limited subsystem or system capacity.

The existing generic system applied at most airports uses the "first come first served" principle with different subjects in charge of different processes. The model does not integrate individual sub-systems and aircraft operations are inadequately monitored, not mutually coordinated nor integrated into the system of air traffic. Operating procedures are rarely predefined and depend on the current state of the maneuvering area, the apron and the airport airspace.

This paper proposes a proactive system that integrates the individual subsystems into one functional unit. It is based on an innovative approach of airport sectoring which is mathematically described using petri nets. The model uses the situation in individual sectors to optimize procedures that assign optimal engine and take off start times.

The primary effects of proactive procedures are the reduction in delays that occur on the airport maneuvering area along with reduced emissions and fuel consumption as well as increased safety.

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Opis problema i motivacija za istraživanje navedenoga problema	1
1.2. Dosadašnja istraživanja	2
1.3. Cilj istraživanja i hipoteza	8
1.3.1. Cilj istraživanja	8
1.3.2. Znanstvena hipoteza	8
1.4. Znanstvene metode korištene u radu	9
1.5. Znanstveni doprinos	10
1.6. Struktura rada	10
2. ODVIJANJE OPERACIJA ZRAKOPLOVA U ZRAČNOJ LUCI	12
2.1. Sustav zračne luke	12
2.2. Razina i karakteristika prometne potražnje u zračnoj luci	15
2.3. Utjecaj kapaciteta infrastrukturnih podsustava zračne luke na odvijanje operacija zrakoplova.....	18
2.3.1. Kapacitet manevarske površine	18
2.3.2. Kapacitet uzletno-sletne staze	20
2.3.3. Kapacitet voznih staza.....	35
2.3.4. Kapacitet stajanke	39
2.4. Operativni podsustavi i procesi na zračnoj strani zračne luke	43
2.4.1. Proces kreiranja sekvence dolaznih zrakoplova	43
2.4.2. Proces vožnje zrakoplova na zračnoj strani	45
2.4.3. Proces prihvata i otpreme zrakoplova	49
2.4.4. Proces kreiranje sekvence odlaznih zrakoplova	51
3. ANALIZA KAŠNJENJA U ZRAČNOM PROMETU	52
3.1. Kašnjenja na razini Europe.....	54
3.2. Kašnjenja na razini Sjedinjenih Američkih Država	61
3.3. Kašnjenja na razini Republike Hrvatske	62
3.4. Odstupanje od reda letenja u zračnoj luci	65
4. OPIS PROBLEMA	68
4.1. Interferencija između operacija zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi.....	70
4.2. Interferencija između operacija zrakoplova na voznim stazama	73

4.3. Interferencija između operacija zrakoplova na voznim stazama i operacija zrakoplova na pozicijama za parkiranje zrakoplova.....	73
4.4. Metoda evaluacije modela upravljanja operativnim podsustavima i procesima	74
5. MODELIRANJE PROCEDURA ZA UPRAVLJANJE OPERACIJAMA ZRAKOPLOVA U ZRAČNOJ LUCI	77
5.1. Struktura modela	80
5.2. Programsko okruženje za razvoj i testiranje modela upravljanja procesima i sustavima u zračnoj luci – CAST.....	93
5.2.1. Osnovna struktura programskoga alata CAST	93
5.2.2. Korisničko okruženje programskoga alata CAST.....	95
5.2.3. Sintaksa programskoga jezika	96
5.2.4. Standardne programske strukture.....	98
5.3. Elementi za razvoj modela upravljanja operativnim podsustavima i procesima u zračnoj luci.....	101
5.3.1. Infrastrukturni model.....	102
5.3.2. Vrijeme i brzina zrakoplova u prilazu.....	102
5.3.3. Vrijeme slijetanja zrakoplova	103
5.3.4. Vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze	103
5.3.5. Brzina vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku i odlasku	106
5.3.6. Brzina vožnje zrakoplova u odlasku na uzletno-sletnoj stazi.....	107
5.3.7. Vrijeme dolaska zrakoplova na poziciju i odlaska s nje	108
5.3.8. Vrijeme potrebno za pokretanje motora zrakoplova i izlazak s pozicije	108
5.4. Ključni indikatori za mjerenje performansa sustava zračne luke	108
6. POSTOJEĆI GENERIČKI SUSTAV UPRAVLJANJA PROCESIMA I PODSUSTAVIMA U ZRAČNOJ LUCI	111
6.1. Slijetanje zrakoplova.....	112
6.2. Uzlijetanje zrakoplova.....	113
6.3. Zadržavanje zrakoplova na manevarskoj površini.....	114
6.4. Odobrenje za pokretanje motora i odlazak zrakoplova s pozicije.....	115
6.5. Rezultati generičkoga sustava upravljanja	116
6.5.1. Vrijeme zadržavanja i broj zrakoplova na poziciji za čekanje	116
6.5.2. Vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji.....	118
6.5.3. Vrijeme čekanja na poziciji za poravnanje	124

6.5.4. Vrijeme zauzetosti i broj zrakoplova u sektoru	126
6.5.5. Vrijeme i broj zrakoplova kojima je odgođeno vrijeme pokretanja motora	128
6.5.6. Kapacitet i iskoristivost uzletno-sletne staze	129
6.5.7. Kapacitet i iskoristivost stajanke	130
7. PROAKTIVNI SUSTAV UPRAVLJANJA PROCESIMA I PODSUSTAVIMA U ZRAČNOJ LUCI	132
7.1. Arhitektura proaktivnoga sustava upravljanja	135
7.2. Definicija algoritma	137
7.3. Programska izvedba	143
7.3.1. Algoritam upravljanja optimalnim vremenom pokretanja motora zrakoplova ...	144
7.3.2. Algoritam upravljanja optimalnim vremenom izlaska zrakoplova s pozicije	149
7.4. Rezultati sustava proaktivnoga upravljanja operacijama zrakoplova	156
7.4.1. Vrijeme zadržavanja i broj zrakoplova na poziciji za čekanje	156
7.4.2. Vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji	159
7.4.3. Vrijeme zadržavanja na poziciji za poravnanje	161
7.4.4. Vrijeme zauzetosti i broj zrakoplova u sektoru	162
7.4.5. Vrijeme i broj zrakoplova kojima je odgođeno pokretanje motora	163
7.5. Analiza proaktivnoga sustava i smjernice budućega istraživanja	164
8. UTJECAJ AERODROMSKIH OPERACIJA NA POTROŠNJU GORIVA ZRAKOPLOVA	167
9. ZAKLJUČAK	171

1.UVOD

1.1.Opis problema i motivacija za istraživanje navedenoga problema

Zračna luka predstavlja složen sustav koji pored infrastrukturnih kapaciteta, uređaja i opreme uključuje i operativne procedure i osoblje koji se nalaze u međusobnoj interakciji.

Razvoj zračnoga prometa u pogledu broja operacija i tipova zrakoplova diktira razvoj operativnih, infrastrukturnih i inih kapaciteta zračnih luka. Sustav je upravljanja operativnim podsustavima i procesima zračne luke evoluirao tijekom vremena te zahtijeva stalne promjene.

Operativno, zračne luke na temelju postojećega infrastrukturnoga i operativnoga kapaciteta te podataka o najavljenim zrakoplovnim operacijama (na godišnjoj, mjesečnoj, tjednoj i dnevnoj bazi) planiranju procese i operacije zrakoplova na zračnoj strani zračne luke. Takav reaktivan načina upravljanja procesima i operacijama zrakoplova predstavlja zastarjeli sustav upravljanja sustavom zračne luke. U navedenom slučaju točnost odvijanja operacija zrakoplova na zračnoj strani zračne luke ponajprije ovisi o kapacitetima zračne luke, distribuciji prometa u određenom vremenskom razdoblju i točnosti dolaznih operacija zrakoplova.

Problem postaje još složeniji kada prometna potražnja raste do razine kapaciteta zračne strane zračne luke, a rezultat su kašnjenja. Kašnjenja koja su zabilježena u sustavu zračne luke moguće je razmatrati s dvaju gledišta. Prema postojećoj metodologiji mjerenja i analize kašnjenja, koju primjenjuje kontrola zračnoga prometa, kašnjenje nastaje ako se stvarno vrijeme slijetanja/uzlijetanja ne nalazi u vremenskom intervalu $-5+10$ minuta u odnosu na planirano vrijeme slijetanja/uzlijetanja. U drugom slučaju kašnjenje kod dolaznih, odnosno odlaznih operacija nastaje kada stvarno vrijeme slijetanja/uzlijetanja (engl. *Actual Landing/Take Off Time*) ne odgovara planiranom vremenu slijetanja/uzlijetanja (engl. *Scheduled Landing/Take Off Time*), odnosno javlja se odstupanje (devijacija) od planiranoga reda letenja. U radu je usvojen pristup u kojem se kašnjenje zrakoplova analizira kroz odstupanje od reda letenja.

Kašnjenja koja se javljaju u sustavu zračnoga prometa stohastičkoga su karaktera, različitih tipova i uzroka te se ne mogu predvidjeti niti u potpunosti ukloniti.

Ona su sastavni dio i nusproizvod odvijanja zrakoplovnih operacija. Postojeći generički sustav upravljanja zračnom lukom u segmentu planiranja pojedinih procesa i operacija u potpunosti ne analizira i ne uključuje mogućnost dolaznoga kašnjenja, već sustav planiranja temelji na vremenima iz reda letenja. Nadalje, procesi se na zračnoj strani zračne luke neodgovarajuće nadziru, nisu međusobno integrirani, niti su integrirani u cjelokupnu mrežu zračnoga prometa. Postojeći sustav upravljanja procesima na zračnoj strani zračne luke, zajedno s nedostatnim kapacitetima, uzrokuje kašnjenja koja usporavaju odvijanje zrakoplovnih operacija.

Trenutačno stanje europske mreže zračnoga prometa ukazuje na to kako postoje određena kašnjenja, ponajprije na velikim, ali i na određenim regionalnim zračnim lukama. Kašnjenja koja se javljaju u sustavu izravno utječu na odvijanje operacija zrakoplova, a posredno se negativan učinak očituje u smanjenom kapacitetu i performansama cjelokupne mreže.

Zbog stalnoga porasta zračnoga prometa, kao i zbog sve složenijih zrakoplovnih operacija na zračnoj strani zračne luke (engl. *Airport Airside*), ali i u okviru terminalne zone zračne luke, nastaju kašnjenja koja utječu na cjelokupan sustav zračnoga prometa i uzrokuju neregularnost u redu letenja.

Stoga se javlja potreba za modificiranjem postojećega sustava ili razvojem novoga sustava upravljanja procesima i operacijama na zračnoj strani zračne luke koji će biti u mogućnosti pratiti trendove rasta zračnoga prometa.

Uz sadašnju stopu rasta zračnoga prometa na globalnoj razini i primjenu aktualnoga sustava procesiranja zrakoplova određene zračne luke s ograničenim kapacitetom zračne strane u budućnosti neće biti u mogućnosti procesirati zrakoplove bez znatnoga kašnjenja. Kašnjenje zrakoplova u sustavu zračnoga prometa ima negativan utjecaj na sve sudionike, ali najveći je utjecaj ipak na same putnike kao korisnike prijevozne usluge.

1.2. Dosadašnja istraživanja

U procesu upravljanja operacijama zrakoplova u zračnoj luci sudjeluju s jedne strane aerodromsko poduzeće zajedno sa svojim partnerima u prihvatu i otpremi na stajanci, kontrola zračnoga prometa u dijelu vođenja i nadzora te zračni prijevoznici u fazi prijevoza [1]. Sve operacije zrakoplova koje se odvijaju na zračnoj strani zračne luke, odnosno aktivnosti koje se provode na zrakoplovu, konceptijski se mogu svrstati u jedan od navedenih operativnih podsustava: kreiranje sekvence dolaznih zrakoplova, vožnja zrakoplova na zemlji, prihvat i otprema zrakoplova i kreiranje sekvence odlaznih zrakoplova. Ograničavajući čimbenik koji usporava odvijanje operacija zrakoplova na vrijeme jest nedostatan kapacitet zračne luke koji je posljedica rasta prometa, kao i problem neodgovarajućega upravljanja sustavom zračne luke te kašnjenja zrakoplova. Na znanstvenoj je i stručnoj razini proveden niz recentnih istraživanja koja optimizacijom pojedinih procesa ili skupina aktivnosti reduciraju kašnjenja i omogućuju odvijanje operacija zrakoplova na vrijeme u okviru sustava zračne luke. U nastavku je prikazan pregled znanstvenih i stručnih radova grupiranih prema pojedinim procesima koji se odvijaju u zračnoj luci.

Proces kreiranja sekvence dolaznih zrakoplova provodi kontrola zračnoga prometa na temelju informacija o dolaznom i odlaznom prometu zrakoplova i statusu uzletno-sletne staze zračne luke. Zrakoplovna je industrija od kasnih 90-ih godina u procesu razvoja AMANs¹ koncepta, koji kontrola zračnoga prometa koristi kao pomoć u donošenju taktičkih odluka pri kreiranju sekvence dolaznih zrakoplova [2].

¹ AMAN – Arrival Management Systems

Ovaj sustav ne nudi standardizirani pristup navedenoj problematici, već su pojedine procedure i implementacijske metode u pojedinim slučajevima razvijane zasebno.

U pojedinim slučajevima AMAN se može koristiti kao pomoć pri kreiranju optimalne sekvence dolaznih zrakoplova, dok se u drugim slučajevima koristi za regulaciju prometa zrakoplova prema završnoj kontroliranoj oblasti (TMA²) zagušenih zračnih luka.

Na znanstvenoj je razini skupina autora u radu [3] predstavila, na strategijskoj razini, 3D model optimiziranih dolaznih i odlaznih ruta iz terminalne zone zračne luke. Pri generiranju dolaznih i odlaznih ruta osigurane su minimalne sigurnosne udaljenosti između ruta, kao i izbjegavanje objekata. 3D model kombinira *Fast Marching* metodu i metodu simuliranoga kaljenja. 3D model ne uključuje pojedinačna operativna ograničenja.

Proces vožnje zrakoplova na zemlji sastoji se od dvaju nezavisnih procesa: vožnje zrakoplova u dolasku i u odlasku. Vrijeme koje zrakoplov provede u procesu vožnje nije jednoznačno određeno, već ovisi o cijelom nizu čimbenika. Cilj je operativnoga sustava upravljanja operacijama zrakoplova u zračnoj luci predvidjeti i optimizirati vrijeme vožnje zrakoplova na voznim stazama. Tako skupina autora u radu [4] optimizira vrijeme vožnje između uzletno-sletne staze i pozicija za parkiranje zrakoplova upotrebom Dijkstrinoga algoritma, a na temelju elemenata definiranih u A-CDM³ priručniku. Algoritam izračunava najkraći put između pozicije za parkiranje zrakoplova i uzletno-sletne staze te ne uzima u obzir prisustvo drugih zrakoplova na voznim stazama. Upotrebom je navedenoga algoritma moguće riješiti konfliktne situacije u zračnoj luci i tako skratiti vrijeme vožnje zrakoplova. U radovima [5] i [6] autori koriste algoritam kolonije mrava kako bi optimizirali vrijeme vožnje zrakoplova. U radu [7] na primjeru zračne luke *Dallas Fort Worth* za optimizaciju vremena vožnje zrakoplova korišteno je mješovito cjelobrojno linearno programiranje koje je temeljeno na realnim parametrima. Model uključuje sigurnosna ograničenja koja se javljaju u zračnoj luci (longitudinalno razdvajanje između dvaju zrakoplova, ograničenja u pogledu brzine vožnje te ograničenja u pogledu vremena između dvaju sukcesivnih uzlijetanja zrakoplova). Specifičnost se ovoga rada očituje u činjenici kako autori u optimizacijskom algoritmu razmatraju slučaj vožnje zrakoplova preko uzletno-sletnih staza. Ulazni su parametri za testiranje optimizacijskoga algoritma 25 odlaznih operacija zrakoplova koje se javljaju u sklopu vršnoga sata. Rezultati ukazuju na to kako je upotrebom navedenoga algoritma moguće reducirati prosječno vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji za 6 minuta u odnosu na sustav „tko prvi dođe, bit će i prvi uslužen.” – FCFS⁴. Skupina autora u svom radu [8] obrađuje problematiku optimizacije vremena vožnje zrakoplova koristeći dva algoritma: 1-to-n strategiju i genetski algoritam. Rezultati su pokazali kako genetski algoritam može pronaći globalni minimum, dok primjena determinističke metode 1-to-n uzrokuje određena kašnjenja.

² TMA – Terminal Manoeuvring Area

³ A-CDM – Airport Collaborative Decision Making System

⁴ FCFS – First Come First Serve

Zemaljski prihvat i otprema zrakoplova predstavlja proces koji se odvija na određenoj poziciji na stajanci zračne luke, a uključuje niz operativnih procedura kao i odgovarajuće osoblje. Sam se proces sastoji od određenoga broja aktivnosti koje je potrebno provesti na zrakoplovu prema određenom redoslijedu u unaprijed definiranom vremenskom periodu. U radu [9] definiran je model procesa prihvata i otpreme zrakoplova koji se temelji na Petrijevim mrežama. Cilj je modela kroz optimizirane aktivnosti unaprijediti odvijanje cjelokupnoga procesa. Model se može primijeniti na taktičkoj i predtaktičkoj razini pri dodjeljivanju pozicija za parkiranje zrakoplova. Model je moguće koristiti u slučajevima kada je potrebno napraviti revaluaciju postojećega sustava, kao i pri izgradnji dodatnih kapaciteta (novih pozicija za parkiranje zrakoplova i sl.).

Skupina autora u radu [10] analizira proces prihvata i otpreme zrakoplova s aspekta karakteristika zračnih luka (čvorna zračna luka, nečvorna zračna luka). Analize ukazuju na to kako dolazna kašnjenja imaju manji utjecaj na odvijanje operacija zrakoplova na čvornim zračnim lukama zbog njihovih infrastrukturnih i operativno-tehničkih karakteristika.

U radu [11] analizirane su aktivnosti u procesu prihvata i otpreme zrakoplova upotrebom statističkih alata i simulacijskoga programa *CAST Ground Handling*. Za potrebe simulacija i testiranja razvijena su četiri scenarija s obzirom na tip prijevoznika i način parkiranja uskotrupnoga zrakoplova Airbus 320. Rezultati dobiveni simulacijama ukazuju na to da ukoliko se izlazak/ulazak putnika izvodi kroz dvojna vrata putničke kabine zrakoplova na odmaknutoj poziciji te ukoliko su prisutne samo osnovne aktivnosti (izlazak/ulazak putnika, opskrba zrakoplova gorivom, iskrcaj/ukrcaj prtljage), vrijeme prihvata i otpreme zrakoplova može biti znatno reducirano i iznosi 18 minuta. Skupina autora u radu [12] obrađuje problem raspoređivanja zrakoplova na pojedine pozicije upotrebom genetskoga tabu algoritma te je u tu svrhu predložen multiobjektni model. Cilj je modela minimizirati vrijeme pješačenja putnika između zrakoplova i izlaza iz čekaonica putničke zgrade. Skupina autora u radu [13] pristupa problemu optimizacije procesa prihvata i otpreme zrakoplova upotrebom strategije rasterećenja broja operacija zrakoplova u vršnim satima. Cilj je rada bilo istražiti je li moguće upotrebom vremenskoga pomaka u kreiranju vremena dolaska i odlaska zrakoplova u vršnim periodima ostvariti uštede u procesu zemaljskoga prihvata i otpreme zrakoplova. Za potrebe su rada razvijena tri scenarija rasterećenja vršnih sati: u prvom je scenariju proveden vremenski pomak u intervalu do 30 minuta između dolaska i odlaska zrakoplova, u drugom scenariju u intervalu do 60 minuta, dok u trećem scenariju nije bio definiran vremenski interval. Rezultati ukazuju na to kako je upotrebom prvoga scenarija moguće reducirati troškove prihvata i otpreme zrakoplova za 7,8 %, upotrebom drugoga scenarija za 10,8 %, a upotrebom trećega scenarija za 20,3 %.

Nakon završetka procesa prihvata i otpreme zrakoplova i vožnje zrakoplova u odlasku slijedi proces kreiranja sekvence odlaznih zrakoplova.

Na stručnoj je razini Europska organizacija za sigurnost zračne plovidbe EUROCONTROL razvila koncept DMAN⁵ [14] koji potpomaže aerodromsku kontrolu zračnoga prometa u segmentu kreiranja optimalne sekvence odlaznih zrakoplova, i to na temelju informacija o potražnji odlaznoga prometa zrakoplova i kapaciteta aerodromskoga sustava. Osnovna je zadaća DMAN koncepta kreirati optimalno vrijeme pokretanja motora TSAT⁶ za svaki individualni zrakoplov kako bi se zadovoljili navedeni uvjeti te kako bi se unaprijedilo odvijanje odlaznih operacija zrakoplova na pojedinoj zračnoj luci. Na temelju je optimalnoga TSAT-a moguće svakom zrakoplovu dodijeliti TTOT⁷, odnosno predviđeno vrijeme u kojem bi zrakoplov trebao uzletjeti sa zračne luke. Proračun TSAT, odnosno TOTT ovisi o cijelom nizu ograničenja kao što su: kapacitet uzletno-sletne staze za uzlijetanja, vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji, razdvajanje zrakoplova i sl. DMAN koncept razvijen je i prilagođen A-CDM konceptu te trenutačno podržava jedan osnovni element A-CDM sustava.

U doktorskoj je disertaciji [15] obrađena tematika širenja kašnjenja u Europskoj mreži zračnoga prometa. Između ostaloga, rezultati su istraživanja pokazali kako je izračunano reaktivno kašnjenje (kašnjenje koje je uzrokovano prethodnim letom te se prenosi na sljedeći let ili na dionicu leta) znatno veće u odnosu na reaktivno kašnjenje koje su prijavili zračni prijevoznici. Istraživanja su pokazala kako na godišnjoj razini kod niskotarifnih zračnih prijevoznika reaktivno kašnjenje čini 50 % svih kašnjenja, *hub and spoke* operacije imaju najmanji udio reaktivnoga kašnjenja u ukupnom kašnjenju, 40 %, dok izravni letovi (engl. *Point-to-Point*) imaju razinu reaktivnoga kašnjenja od 45 % u odnosu na ukupno kašnjenje.

Analize su pokazale kako nije dovoljno optimizirati samo pojedine procese prihvata i otpreme zrakoplova na zračnoj strani, već je navedeni problem potrebno i holistički promatrati. Stoga skupina radova pristupa problemu obrade zrakoplova na zračnoj strani zračne luke tako da u svojim radovima kroz modele, optimizacijske procese i strateške smjernice nastoje integrirati sve procese. Skupina je autora u svojem radu [16] istražila interakciju AMAN/DMAN sustava sa SMAN⁸ sustavom u funkciji reduciranja kašnjenja koje se javlja na manevarskoj površini zračne luke. Autori su pokazali kako je optimizacijom SMAN sustava i njegovom integracijom u DMAN sustav uz optimizirani AMAN sustav moguće reducirati kašnjenja koja se javljaju pri odlaznim operacijama zrakoplova. Za potrebe su rada provedena tri istraživanja te su za svaki slučaj mjerena kašnjenja koja se javljaju pri odlaznim operacijama zrakoplova. U prvom se mjerenom slučaju kašnjenja u segmentu odlaznih operacija zrakoplova temelje na sustavu u kojem nije provedena optimizacija, kako DMAN tako ni SMAN sustava. U drugom je slučaju provedena optimizacija sekvence odlaznih zrakoplova (DMAN sustava) koja se temeljila na B&B⁹ algoritmu. U posljednjem je slučaju izvedena integracija SMAN sustava i DMAN sustava te je proveden optimizacijski proces upotrebom hibridnoga genetskoga algoritma.

⁵ DMAN – Departure Manager

⁶ TSAT – Target Start-up Time

⁷ TTOT – Target Take Off Time

⁸ SMAN – Surface Management System

⁹ B&B – Branch and Bound

Rezultati su pokazali kako je optimizacijom DMAN sustava moguće reducirati kašnjenja koja se javljaju kod odlaznih operacija zrakoplova. Upotrebom je međusobno integriranoga i optimiziranoga DMAN i SMAN sustava moguće reducirati kašnjenja na trećinu u odnosu na klasični sustav procesiranja zrakoplova na zračnoj strani zračne luke.

Koncept kolaborativnoga odlučivanja na zračnim lukama (A-CDM) predstavlja inovativno rješenje kojim se nastoji zamijeniti postojeći sustav upravljanja zračnom lukom, koji se temelji na principu FCFS, sa sustavom koji se temelji na principu „najbolje planirano – najbolje opsluženo” (engl. *Best Planned Best Served – BPBS*). A-CDM koncept temelji se na razmjeni ključnih informacija u realnom vremenu između različitih entiteta u zračnom prometu te na integraciji postojećih sustava: AMAN, DMAN i SMAN [17].

Cilj je A-CDM koncepta zamijeniti postojeći generički središnji sustav upravljanja zračnim prometom sa sustavom kolaborativnoga upravljanja zračnim prometom s naglaskom na operacijama koje se odvijaju na zračnoj strani zračne luke.

Koncept se temelji na dvama ključnim elementima koji su sljedeći:

- predvidljivost budućih događaja – realizira se tako da se izvodi monitoring pojedinih operacija zrakoplova na zračnoj luci u funkciji optimalnoga odvijanja operacija zrakoplova
- odvijanje operacija zrakoplova na vrijeme.

A-CDM predstavlja konceptualno rješenje koje nastoji boljim iskorištavanjem postojećih infrastrukturnih resursa optimizirati odvijanje operacija zrakoplova te povećati kapacitet zračne luke.

Bazu A-CDM koncepta čini šest elemenata: dijeljenje informacija (engl. *Information Sharing*), proces nadzora zrakoplova u ključnim operativnim fazama (engl. *The Milestone Approach Turn–Round Process*), varijabilno vrijeme vožnje (engl. *Variable Taxi Time*), kreiranje sekvence odlaznih zrakoplova (engl. *Pre departure Sequence*), CDM u nepovoljnim uvjetima (engl. *CDM in Adverse Condition*) i kolaborativni menadžment ažuriranja plana letova (engl. *Collaborative Management of Flight Updates*).

Sustav dijeljenja informacija zajedno sa sustavom nadziranja zrakoplova u ključnim operativnim fazama čini osnovu A-CDM koncepta i omogućuje nadogradnju A-CDM-a s gore navedenim elementima. Cilj je ovoga elementa osigurati točne informacije u pravom trenutku različitim partnerima koji sudjeluju u zračnom prometu tako da se koristi postojeća infrastruktura i kombiniraju podatci iz različitih izvora.

Drugi element koncepta A-CDM, nadgledanje zrakoplova u ključnim operativnim fazama, povezuje segment zrakoplova u zraku zajedno sa segmentom kada se zrakoplov nalazi na zemlji, poboljšava tokove informacija i predviđa nadolazeće događaje. Funkcija je ovoga elementa nadzirati status zrakoplova od početnoga planiranja pa sve do realizacije.

Sami je element podijeljen u 16 točaka u kojima se bilježe najvažnija vremena zrakoplova u dolasku, procesu zemaljskoga prihvata i otpreme i odlasku zrakoplova.

Varijabilno vrijeme vožnje predstavlja procijenjeno vrijeme vožnje zrakoplova između pozicije na kojoj je parkiran zrakoplov i odgovarajuće uzletno-sletne staze. Varijabilno vrijeme vožnje obuhvaća vremena: odleđivanja zrakoplova i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja, izguravanja zrakoplova s pozicije, vožnje zrakoplova na voznim stazama, čekanje zrakoplova na međupoziciji za čekanje i poziciji za čekanje, vožnje zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi.

Četvrti element A-CDM koncepta predstavlja kreiranje sekvence odlaznih zrakoplova koji je moguće realizirati u trenutku u kojem su primijenjeni prethodno navedeni elementi A-CDM koncepta. Uvođenjem ovoga elementa u A-CDM koncept ostvaruju se preduvjeti za planiranje optimalnoga poretka uzlijetanja zrakoplova za određenu zračnu luku.

Elementu CDM u nepovoljnim uvjetima je cilj razmjena informacija o nepovoljnim uvjetima između partnera tijekom razdoblja smanjenoga kapaciteta (održavanje zračne luke, meteorološki uvjeti i dr.).

Šesti je i posljednji element koncepta A-CDM kolaborativni menadžment ažuriranja plana leta kojemu je zadaćom poboljšanje kvalitete pri izmjeni dolaznih i odlaznih informacija između CMFU¹⁰ i CDM zračne luke.

A-CDM koncept, na taktičkoj razini, uključuje sudionike i integrira procese na zračnoj strani zračne luke i u zračnom prostoru.

Sveobuhvatno upravljanje zračnom lukom (engl. *Total Airport Management*) predstavlja koncept koji nadilazi A-CDM koncept i predstavlja daljnji korak u razvoju operativnoga sustava upravljanja zračnom lukom [18][19]. Djelokrug TAM koncepta predstavlja cjelokupni sustav zračne luke, što uključuje ne samo operacije na zračnoj strani (obuhvaćene A-CDM konceptom) nego i aktivnosti koje se odvijaju na zemaljskoj strani zračne luke (dolazak putnika, registracija, zaštitni pregled itd.). Stoga je cilj TAM koncepta stvoriti platformu koja će omogućiti svim sudionicima u procesu održavanje zajedničkoga operativnoga plana zračne luke. Kako bi koncept bio održiv, potrebno je proširenje taktičkoga vremenskoga okvira, koji se trenutačno koristi u A-CDM sustavu, na predtaktičku i na stratešku razinu. TAM koncept usklađen je s postojećim konceptima (AMAN, DMAN, A-SMGCS, A-CDM i dr.) i sustavima te ih integrira u jednu holističku arhitekturu. Dobiti, koje je moguće ostvariti ovim konceptom, istovjetne su kao i kod A-CDM sustava, a to su: povećanje učinkovitosti sustava zračne luke, točnost odvijanja operacija zrakoplova, bolja iskoristivost kapaciteta zračne luke i sl.

¹⁰ CFMU – Control Flow Management Unit

1.3. Cilj istraživanja i hipoteza

1.3.1. Cilj istraživanja

Optimalno upravljanje podsustavima zračne luke predstavlja značajan segment u redovnom odvijanju operacija zrakoplova u sustavu zračnoga prometa. Nedostatan kapacitet zračnih luka zajedno s postojećim generičkim sustavom upravljanja i dolaznim kašnjenjima uzrokuje neodgovarajuće odvijanje operacija zrakoplova koje se odražavaju kašnjenjem zrakoplova i zagušenjem na manevarskoj površini zračne luke. Dolazna su kašnjenja, koja se javljaju u sustavu zračnoga prometa, zbog svojega stohastičkoga karaktera teško predvidljiva, a u realizaciji prometa teško ih je, odnosno gotovo nemoguće izbjeći.

Cilj je istraživanja doktorske disertacije na temelju analize postojećega generičkoga sustava upravljanja operativnim podsustavima i procesima zračne luke identificirati kritične infrastrukturno-operativne elemente, koji su potrebni za razvoj sustava proaktivnoga upravljanja, i nove indikatore za mjerenje performansa sustava zračne luke. Prema dobivenim rezultatima izradit će se sustav proaktivnoga upravljanja koji će vremenski i funkcionalno integrirati operacije zrakoplova u zračnoj luci zajedno sa segmentom završnoga prilaza u jedinstvenu cjelinu. Sustav proaktivnoga upravljanja optimizirat će performanse zračne luke i smanjiti ukupnu razinu kašnjenja zrakoplova. Model razvijen u okviru doktorske disertacije ponajprije je namijenjen regionalnim zračnim lukama s izraženim sezonskim vršnim opterećenjima, no s određenim ga je nadogradnjama moguće primijeniti na gotovo sve zračne luke.

1.3.2. Znanstvena hipoteza

Znanstvena hipoteza: Proaktivnim je upravljanjem procesima i podsustavima u zračnoj luci moguće poboljšati performanse zračne luke s ciljem optimalnoga odvijanja operacija zrakoplova te smanjiti kašnjenje kod odlaznih operacija.

Argumenti koji potkrepljuju hipotezu:

1. Model proaktivnoga upravljanja zračnom lukom integrira pojedine operativne podsustave i procese u jednu funkcionalnu cjelinu.
2. Integracijom pojedinih operativnih podsustava minimizira se interferencija između operacija zrakoplova u zračnoj luci i u prilazno-odletnom segmentu.
3. Minimiziranjem interferencija između operacija zrakoplova smanjuje se kašnjenje pojedine operacije te se optimiziraju resursi i poboljšavaju performanse zračne luke.

1.4.Znanstvene metode korištene u radu

Za potrebe istraživanja i rješavanje postavljenoga problema u okviru doktorske disertacije koristit će se sljedeće znanstvene metode:

- **metoda deskripcije** – koristit će se u uvodnom dijelu disertacije u kojem će se opisati predmet i problem istraživanja;
- **metoda kompilacije** – koristit će se u dijelu disertacije kako bi se obradila dosadašnja istraživanja;
- **metoda usporedbe** – koristit će se kako bi se usporedila dosadašnja istraživanja u obrađivanom području i planirana istraživanja u doktorskoj disertaciji te u dijelu disertacije u kojem će se usporednom metodom obraditi rezultati postojećega i proaktivnoga sustava upravljanja operacijama zrakoplova;
- **metoda klasifikacije** – na temelju dosadašnjih istraživanja upotrebom metode klasifikacije problem istraživanja podijelit će se u funkcionalne cjeline;
- **metoda mjerenja** – koristit će se kako bi se izmjerili podaci koji se ne bilježe u aerodromskom sustavu i nisu sastavni dio aerodromske baze podataka niti baze podataka kontrole zračnoga prometa;
- **metoda prikupljanja podataka** – koristit će se kako bi se podaci koji su sastavni dio aerodromske baze podataka mogli koristiti za testiranje sustava proaktivnoga upravljanja aerodromskim sustavom;
- **metoda intervjua** – upotrebom ove metode izvršit će se intervjuiranje aerodromskih kontrolora kako bi se utvrdio obrazac ponašanja kontrolora pri razdvajanju pojedinih operacija zrakoplova u Zračnoj luci Split; navedeni će podaci biti opisani u upravljačkim algoritmima i implementirani u simulacijski model;
- **metoda analize i sinteze** – koristit će se za analizu prikupljenih i izmjerenih podataka te za posljedično predlaganje određenih zaključaka i rješenja;
- **metoda indukcije i dedukcije** – koristit će se kako bi se na temelju selekcije, analize i sinteze relevantnih činjenica, spoznaja, zakonitosti i teorija kreirao model proaktivnoga sustava upravljanja aerodromskim kapacitetima;
- **statistička metoda** – koristit će se za obradu prikupljenih i izmjerenih podataka te za analizu rezultata dobivenih modeliranjem sustava;
- **simulacijska metoda** – na temelju postojećega sustava upravljanja procesima na zračnoj strani zračne luke i modela proaktivnoga sustava provest će se simulacije koje će potvrditi znanstvenu hipotezu.

1.5.Znanstveni doprinos

U znanstveno-metodološkom pogledu rezultat će ciljanih istraživanja u okviru doktorske disertacije generirati sljedeće znanstvene doprinose u polju tehnologija prometa i transporta:

1. Razvoj metode za evaluaciju modela upravljanja procesima i podsustavima u zračnoj luci
2. Identifikacija kritičnih operativno-infrastrukturnih elemenata na zračnoj strani zračne luke kao ulaznih parametara za simulaciju
3. Definiranje mjerljivih indikatora za vrednovanje performansa sustava zračne luke i optimiranje procesa odvijanja operacija zrakoplova
4. Izrada modela proaktivnoga upravljanja procesima i podsustavima u zračnoj luci s ciljem smanjenja kašnjenja zrakoplova u odlasku.

1.6.Struktura rada

Uvodni dio disertacije sadrži predmet istraživanja, argumentira potrebu za navedenim istraživanjem te obrađuje pregled dosadašnjih istraživanja i njihovih rezultata. Nadalje, u uvodnom se dijelu utvrđuju svrha i cilj istraživanja. Cilj je istraživanja razviti proaktivni model koji će na temelju optimiziranih procedura upravljanja procesima, odnosno operativnim podsustavima smanjiti kašnjenja zrakoplova u zračnoj luci. Nakon postavljenih ciljeva i svrhe istraživanja dokorskoga rada definirana je znanstvena hipoteza te su navedene i opisane znanstvene metode primjenjive na problem istraživanja. U posljednjem su dijelu poglavlja definirani znanstveni doprinosi rada te je opisno prikazana struktura disertacije.

Drugi dio disertacije u uvodnom dijelu klasificira zračne luke te prikazuje čimbenike značajne za odvijanje operacija zrakoplova u okviru sustava zračne luke. Obrađena je problematika prometne potražnje u zračnoj luci s posebnim naglaskom na regionalnim zračnim lukama. U ovom su poglavlju opisane metode za izračun teoretskoga kapaciteta uzletno-sletne staze i stajanke te vremena zauzetosti uzletno-sletne staze. Navedeni su izračuni korišteni u šestom poglavlju za usporednu analizu teoretskoga i praktičnoga kapaciteta. Na kraju su poglavlja opisane operativne procedure i procesi koji se provode na zračnoj strani zračne luke. Objašnjena je uloga pojedinoga operativnoga podsustava zračne luke te međusobna interakcija i međuovisnost pojedinoga podsustava.

Treći dio obrađuje problematiku kašnjenja, koja se javljaju u sustavu zračnoga prometa, s aspekta pojedinoga sustava te definira metodologiju obrade podataka o kašnjenju. Analizirana su kašnjenja s aspekta europskoga i američkoga sustava zračnoga prometa te sustava zračnoga prometa RH i sa Zračne luke Split. Opisani su obrasci ponašanja kašnjenja na temelju usporedne analize različitih sustava.

Četvrti dio opisuje problem kašnjenja kod odlaznih operacija zrakoplova u zračnoj luci.

Kašnjenja zrakoplova u odlasku nastaju kao posljedica jednoga ili kombinacije više navedenih kašnjenja: kašnjenje na poziciji, kašnjenje na voznim stazama, kašnjenje na poziciji za čekanje te kašnjenje na poziciji za poravnanje. Kašnjenja koja se javljaju u zračnoj luci opisana su trima tipovima interferencije između operacija zrakoplova: na uzletno-sletnoj stazi, na voznim stazama i na voznim stazama i poziciji za parkiranje.

U **petom dijelu** definirana je struktura modela koja se temelji na inovativnom pristupu sektorizacije zračne luke, a matematički je prikazana Petrijevim mrežama. Algoritam optimiziranih procedura upravljanja temelji se na metodi induktivnoga zaključivanja, stablu odluke. Drugi dio ovoga poglavlja prikazuje programsko okruženje za razvoj i testiranje modela upravljanja operativnim podsustavima i procesima u zračnoj luci – programski alat CAST. Treći dio ovoga poglavlja prikazuje obrađene podatke dobivene iz triju izvora: aerodromske baze podataka Zračne luke Split, zapisa preuzetih iz baze podataka kontrole zračnoga prometa te fizičkoga bilježenja operacija zrakoplova u Zračnoj luci Split. Obrađeni su podatci strukturirani prema sljedećim tipovima: vrijeme i brzina zrakoplova u prilazu, vrijeme slijetanja zrakoplova, vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze, brzina vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku i u odlasku, vrijeme ulaska/izlaska zrakoplova na poziciju i s nje, vrijeme pokretanja motora zrakoplova te su definirani ključni indikatori performansa za testiranje modela.

Šesti dio prikazuje postojeći generički sustav upravljanja operativnim podsustavima i procesima u zračnoj luci. Sustav je zračne luke, na temelju metodologije definirane u drugom poglavlju, podijeljen na procese: slijetanja zrakoplova, uzlijetanja, vožnje zrakoplova na voznim stazama te izlaska zrakoplova s pozicije. Za svaki su podsustav napisani odgovarajući upravljački algoritmi koji se temelje na postojećim procedurama koje se provode na regionalnim zračnim lukama s ograničenim sustavom manevarske površine. Rezultati su postojećega sustava, koji je vrednovan na temelju indikatora koji su definirani u prethodnom poglavlju, prikazani u drugom dijelu ovoga poglavlja.

U **sedmom dijelu** na temelju selekcije, analize i sinteze relevantnih činjenica, spoznaja, zakonitosti i teorija kreiran je proaktivni sustav upravljanja operativnim podsustavima i procesima na zračnoj strani zračne luke i terminalne zone. Proaktivni je sustav izgrađen na temelju pristupa sektorizacije zračne luke definirane u petom poglavlju. Model kombinira problematiku najkraćega puta zasnovanoga na vremenskim okvirima i problem pronalaženja puta za višestruka sredstva predstavljanja. Proaktivni sustav dodjeljuje svakom zrakoplovu na višoj razini optimalno vrijeme pokretanja motora, a na nižoj razini optimalno vrijeme izlaska s parkirne pozicije.

U **osmom dijelu** obrađen je neposredan utjecaj sustava upravljanja operacija zrakoplova na potrošnju goriva u procesu vožnje na manevarskoj površini. Analiza je potrošnje goriva zrakoplova u procesu vožnje napravljena usporedbom dvaju sustava.

Zaključni dio doktorske disertacije analizira dobivene rezultate, testira postavljenu hipotezu i jasno ističe znanstvene doprinose dobivene u disertaciji.

2.ODVIJANJE OPERACIJA ZRAKOPLOVA U ZRAČNOJ LUCI

2.1.Sustav zračne luke

Prema definiciji Organizacije međunarodnoga civilnoga zrakoplovstva (ICAO¹¹) aerodrom je određena površina na zemlji ili vodi (uključujući objekte, instalacije i opremu) namijenjena korištenju u cijelosti ili dijelom za dolazak, odlazak i kretanje zrakoplova na zemlji [20].

Ovisno o literaturi, odnosno izvorima aerodromi se dijele prema: namjeni, vrsti zrakoplova i potrebnoj duljini staze za slijetanje i uzlijetanje, prometu, fizičkim karakteristikama uzletno-sletne staze, značenju za zračni promet države ili regije i dr.

Aerodrom predstavlja opći termin, a ICAO u Priručniku za planiranje zračnih luka [21] definira pojam zračne luke kao „aerodrom za javni zračni promet”.

Zračna je luka, prema zakonu o Zračnom prometu RH [22] i Pravilniku o aerodromima [23], „aerodrom posebno prilagođen za usluge u zračnom prijevozu”.

Zračna luka, odnosno njezini podsustavi moraju zadovoljiti standarde propisane u Dodatku 14. konvencije o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu, odnosno propise koje su donijele zrakoplovne vlasti pojedine zemlje.

Zračna luka predstavlja složen sustav s nizom podsustava, a ima zadatak prihvatiti i otpremiti zrakoplove, putnike i njihovu prtljagu, robu i poštu. Pritom su različiti podsustavi, odnosno sastavnice zračne luke, namijenjeni za obradu različitih korisnika.

Sustav zračne luke predstavlja točku interakcije triju glavnih podsustava zračnoga prometa: zračne luke (zajedno sa svim njezinim podsustavima), kontrole zračnoga prometa i zračnih prijevoznika. Planiranje procesa i operacija mora se obavljati u kolaboraciji sa svim sudionicima kako bi se postigla ravnoteža između postojećih resursa i potražnje pojedinih korisnika. Neodgovarajuća suradnja dovodi do negativnih posljedica: nerazmjera između potražnje i kapaciteta zračne luke, niže razine usluge, određene razine kašnjenja, povećanih troškova za sve korisnike, niže razine sigurnosti i dr.

Sustav se zračne luke konceptualno sastoji od:

- infrastrukturnih podsustava
- operativnih podsustava i procesa
- operativnoga osoblja i opreme.

Svaka bi zračna luka svojim infrastrukturnim, ali i operativnim i ljudskim kapacitetima trebala zadovoljiti prometnu potražnju koja se javlja u određenom vremenskom periodu, pritom osiguravajući odgovarajuću razinu usluga i sigurnosnih standarda te ekoloških norma.

¹¹ ICAO – International Civil Aviation Organization

Zračne luke mogu se klasificirati prema:

- razini prometa
- tipu prometa (velike čvorne zračne luke, nacionalne čvorne zračne luke, međunarodne zračne luke, domaće zračne luke, regionalne zračne luke)
- vrsti prometa (konvencionalni/tradicionalni zračni prijevoznici, niskotarifni zračni prijevoznici, *kargo* zračni prijevoznici, povremeni zračni prijevoznici)
- karakteristikama prometa (cjelogodišnje, sezonske zračne luke)
- razini usluge kontrole zračnoga prometa itd.

Američka savezna uprava za zrakoplovstvo (FAA¹²) u osnovi zračne luke klasificira na one koje su otvorene za javni zračni promet i na privatne [24]. Zračne luke otvorene za javni zračni promet koje opslužuju minimalno 2 500 putnika godišnje i imaju redovite putničke linije dijele se na primarne, koje opslužuju minimalno 10 000 putnika godišnje, i neprimarne, koje opslužuju između 2 500 i 10 000 putnika godišnje. Primarne se zračne luke dijele u četiri kategorije: velike čvorne zračne luke s udjelom od 1 % godišnjega prometa i više na razini Sjedinjenih Američkih Država, srednje čvorne zračne luke s udjelom između 0,25 % i 1 %, male čvorne zračne luke s udjelom između 0,05 % i 0,25 % te zračne luke koje ne pripadaju u skupinu čvornih zračnih luka, a koje u ukupnom godišnjem prometu sudjeluju s manje od 0,05 %. Američka savezna uprava za zrakoplovstvo zasebno klasificira zračne luke koje se ne koriste u nekomercijalne svrhe te zračne luke namijenjene isključivo teretnom zračnom prometu.

Velika je Britanija krajem sedamdesetih godina prošloga stoljeća za vlastite potrebe razvila sustav klasifikacija zračnih luka kao smjernice za kapitalne investicije u sustave zračnih luka [25]. Prema tom sustavu zračne su luke podijeljene u četiri kategorije: ulazno/izlazne međunarodne zračne luke (engl. *Gateway International Airport*), koje pokrivaju širok spektar međunarodnih i domaćih linija uključujući interkontinentalne linije, regionalne zračne luke, koje zadovoljavaju prometnu potražnju određene regije i uključuju kratke međunarodne (uglavnom prema skandinavskim zemljama) i domaće linije, lokalne zračne luke, namijenjene redovitom putničkom prometu manjih tipova zrakoplova (do 25 mjesta) i čarter prometu te aerodrome za generalnu avijaciju.

Odbor je regija u svojem mišljenju o kapacitetu regionalnih zračnih luka od 2. srpnja 2013. godine predložio pet kategorija europskih zračnih luka [26]. Europska je komisija u svojim smjernicama zajednice za financiranje zračnih luka i potpora za započinjanje poslovanja zračnih prijevoznika koji lete iz regionalnih zračnih luka, na temelju mišljenja Odbora regija, definirala četiri kategorije zračnih luka koje su prikazane u Tablici 2.1.

Prema stajalištu Odbora regija regionalne zračne luke ponajprije pripadaju C i D kategoriji, ali u određenim uvjetima i B kategoriji [26].

¹² FAA – Federal Aviation Administration

Tablica 2.1. Klasifikacija zračnih luka prema Europskoj komisiji

Kategorija zračne luke	Tip zračne luke	Razina prometa (broj putnika godišnje)	Broj zračnih luka	Aproksimativni udio u ukupnom prometu Europskoga sustava zračnoga prometa (%)
A	velike zračne luke zajednice	više od 10 milijuna	20	65
B	nacionalne zračne luke	između 5 i 10 milijuna	15	14
C	velike regionalne zračne luke	između 1 i 5 milijuna	57	17
D	male regionalne zračne luke	manji od 1 milijuna	67	4

Izvor: [26]

Utjecaj regionalnih zračnih luka s razinom prometa od 200 000 do 5 000 000 putnika godišnje (zračne luke kategorije C i D) na europski sustav zračnoga prometa može se razmatrati s aspekta udjela u ukupnom prometu. U tom kontekstu regionalne zračne luke čine 21 % od ukupnoga prometa i predstavljaju znatan čimbenik koji utječe na cjelokupni sustav.

Europska je organizacija za sigurnost zračne plovidbe (EUROCONTROL¹³) objavila 2013. godine listu zračnih luka koje znatno utječu na europsku mrežu zračnoga prometa [27]. Primarnim je ciljem ovoga dokumenta definirati zračne luke čije posebne karakteristike mogu imati znatan utjecaj na performanse europske mreže zračnoga prometa (Prilog 1.). Lista sadrži ukupno 191 zračnu luku unutar europskoga sustava zračnoga prometa, a definirana je na temelju četiriju osnovnih kriterija. Svaki kriterij sadrži određeni težinski faktor, a zbroj svih faktora određuje poziciju određene zračne luke na listi. Prvi je kriterij pripadnost koordiniranim zračnim lukama prema klasifikaciji koju je definirala Međunarodna udruga za zračni prijevoz (IATA¹⁴). Maksimalni težinski faktor prema ovom kriteriju iznosi 0,75. Drugi kriterij predstavlja ukupan broj IFR¹⁵ operacija te je na temelju ovoga kriterija moguće postići maksimalni težinski faktor od 1,35. Udio kašnjenja u ukupnom broju IFR operacija predstavlja treći kriterij s maksimalnim težinskim faktorom od 5,65. Posljednji je kriterij utjecaj sezonalnosti, odnosno distribucija prometa tijekom godine (ljetna/zimska vršna opterećenja). Maksimalni težinski faktor za ovaj kriterij iznosi 2,25.

Analizom je dokumenta moguće zaključiti kako u ukupnom broju zračnih luka u europskom sustavu zračnoga prometa regionalne zračne luke sudjeluju s više od 25 %. Navedene zračne luke karakteriziraju ograničeni infrastrukturni kapacitet te izražena vršna opterećenja tijekom godine.

¹³ EUROCONTROL – European Organisation for the Safety of Air Navigation

¹⁴ IATA – International Air Transport Association

¹⁵ IFR – Instrument flight rules

Redovitost odvijanja operacija zrakoplova u zračnoj luci definira se odnosom između prometne potražnje u određenom vremenskom periodu i kapaciteta sustava zračne luke koji uvjetuje i operativne procedure koje se primjenjuju na zračnoj luci, a vrednuje se na temelju vremena kašnjenja koja su zabilježena u određenim operativnim podsustavima zračne luke.

2.2. Razina i karakteristika prometne potražnje u zračnoj luci

Objekti i sadržaji u zračnoj luci dizajnirani su i planirani tako da zadovoljavaju prometnu potražnju u određenom vremenskom periodu [25]. Intencija je ovakvoga sustava planiranja da se osiguraju kapaciteti pojedinih infrastrukturnih i operativnih podsustava u zračnoj luci koji će zadovoljiti određenu prometnu potražnju na željenoj/zahtijevanoj razini usluge u određenom vremenskom periodu. Stoga razina i karakteristika prometne potražnje izravno utječe na planiranje potrebnih sadržaja, ali i na sustav upravljanja operativnim podsustavima i procesima u zračnoj luci.

Prometna se potražnja kvantitativno izražava brojem operacija zrakoplova i putnika koji se javlja u određenom vremenskom periodu. Vremenske se varijacije u prometnoj potražnji mogu razmatrati s gledišta [25]:

- godišnjih varijacija tijekom određenoga perioda (od nekoliko godina do desetak godina)
- mjesečnih opterećenja unutar godine (u većini su slučajeva vezana uz turističku potražnju određenoga geografskoga područja)
- dnevnih opterećenja u tjednu ili mjesecu
- satnih opterećenja u danu.

Ostvareni se promet može obraditi upotrebom odgovarajućega statističkoga alata te prikazati u formi grafova ili tablica. U navedenoj formi prikazuje se promet (broj putnika, operacija zrakoplova, količina tereta) u odgovarajućoj vremenskoj jedinici za zračnu luku ili za njezin dio, odnosno operativni podsustav. Analizom je grafičkih prikaza ili tablica moguće odrediti mjerodavna vršna opterećenja, a koja se dalje mogu koristiti za analizu i dimenzioniranje pojedinih fizičkih sadržaja u zračnoj luci.

U praksi se koristi više različitih mjera, odnosno metoda za opis mjerodavnih vršnih prometnih opterećenja, a najznačajnije su one vezane uz vršni satni promet: standardna satna mjera aktivnosti, n-ti vršni sat, satna mjera aktivnosti, tipični vršni sat po broju putnika, najprometniji sat po redu letenja, profil vršnoga sata, vršni sat prosječnoga dana dvaju vršnih mjeseca u godini, vršni sat 7. ili 15. najprometnijega dana u godini, vršni sat 2. najprometnijega dana za vrijeme prosječnoga tjedna u vršnom mjesecu. Navedene se mjere koriste ponajprije u putničkom prometu za dimenzioniranje sadržaja u putničkim terminalima.

Prometna potražnja predstavlja jedinstveni obrazac koji se javlja u posebnoj zračnoj luci.

Na njezinu formu i ponašanje mogu utjecati sljedeći čimbenici: vrsta i tip operacija u zračnoj luci, kapacitet zračne luke, sezonalnost, politika cijena (u određenom vremenskom periodu), okruženje u kojem se nalazi zračna luka, turistički potencijal gravitacijskoga područja. Postoji i cijeli niz drugih čimbenika koji neizravno utječu na prometnu potražnju kao što su gospodarske aktivnosti, ekonomsko stanje države, trenutačni sportski i drugi događaji i sl.

S aspekta operacija zrakoplova koje se odvijaju u zračnoj luci, a utječu na prometnu potražnju razlikuju se sljedeće vrste i tipovi operacija: domaći/međunarodni, interkontinentalni/kontinentalni, tradicionalni/čarter i niskotarifni, komercijalni/privatni letovi.

Red letenja zračnih prijevoznika u domaćem prometu prati obrazac ponašanja radnoga dana. Stoga su u zračnim lukama sa znatnim udjelom domaćega prometa vršni periodi prisutni u ranojutarnjim i večernjim satima.

Jedna je od osnovnih karakteristika čvornih zračnih luka (engl. *Hub Airports*) određeni udio „transfernih“ putnika, odnosno onih putnika koji u zračnoj luci mijenjaju let. Stoga zračni prijevoznici na čvornim zračnim lukama planiraju red letenja tako da bi zadovoljili minimalno vrijeme između dolaznih i odlaznih letova (engl. *Minimum Connection Time*). Minimalno se vrijeme između letova sastoji od vremena potrebnoga za transfer putnika i za savladavanje fizičke udaljenosti između pojedinih letova, odnosno aviona. Istraživanja koja su provedena u Zračnoj luci Amsterdam ukazuju na to kako minimalno vrijeme povezivanja između letova u toj zračnoj luci u prosjeku iznosi jedan sat [28].

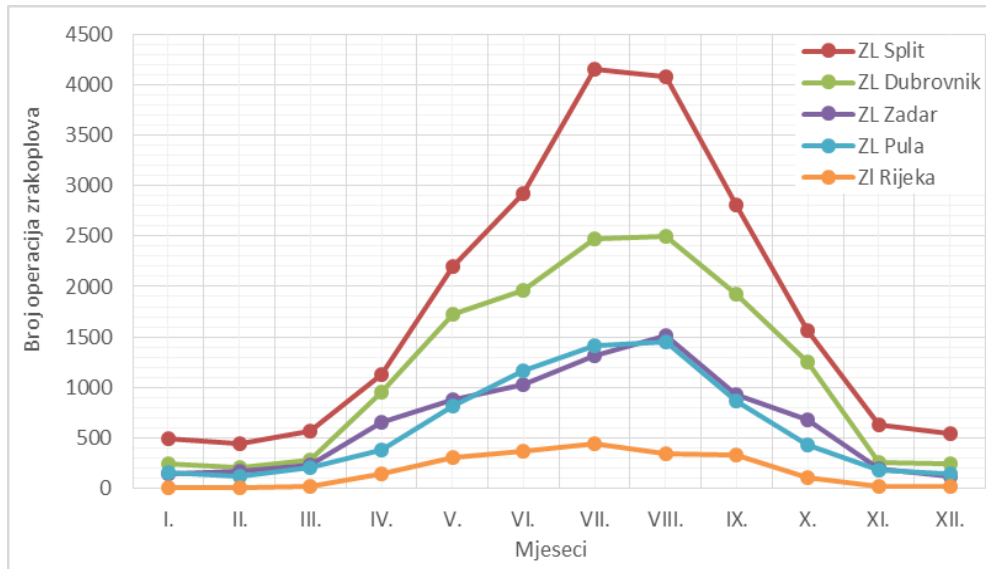
Sezonski je karakter prisutan i posebno izražen kod onih zračnih luka koje opslužuju gravitacijsko područje usko vezano uz turističku djelatnost. Sezonski se karakter zračne luke može analizirati s aspekta ljetnoga i zimskoga reda letenja. Kod mediteranskih se zračnih luka vršno opterećenje javlja u ljetnim mjesecima kada broj operacija zrakoplova višestruko premašuje broj operacija zabilježen u zimskim mjesecima (Grafikon 2.1.).

Karakteristika je regionalnih mediteranskih zračnih luka ta da su uz mjesečna vršna opterećenja prisutna i dnevna vršna opterećenja. Dnevna su vršna opterećenja posljedica ugovaranja turističkih aranžmana u kojima turisti tradicionalno odabiru kraj tjedna i vikend za početak, odnosno završetak godišnjih odmora. Primjer je dnevnih vršnih opterećenja prikazan na Grafikonu 2.2.

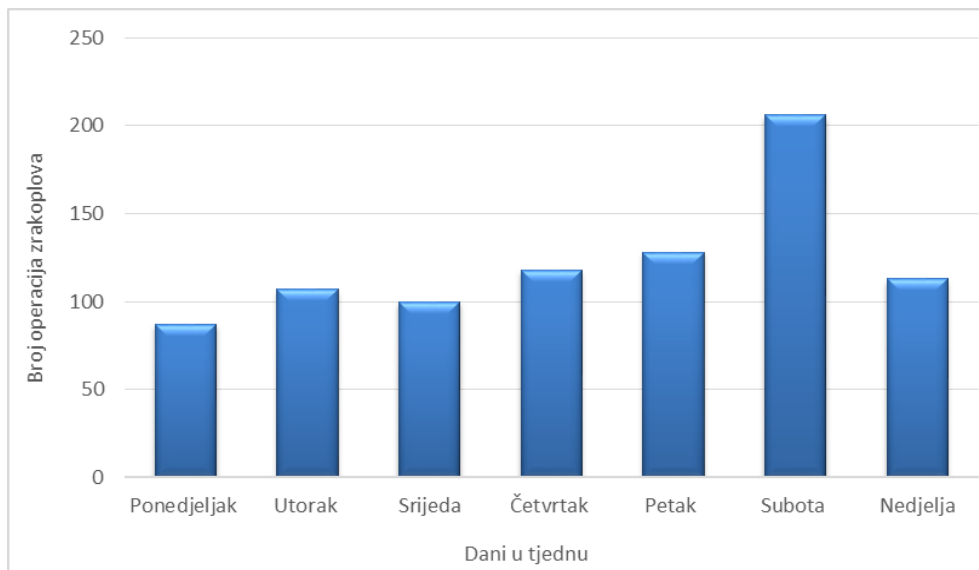
Zračne luke kod kojih je prisutna visoka razina prometa u periodima vršnih opterećenja, a ujedno imaju ograničene kapacitete najčešće uzletno-sletne staze primjenjuju aerodromske *slotove*¹⁶ (IATA Level 3, koordinirane zračne luke) ili primjenjuju proces usuglašavanja reda letenja koji se odvija između zračnoga prijevoznika i operativnoga centra zračne luke (IATA Level 2, regulirane zračne luke). Navedeni su procesi prikazani u Prilogu 2.

¹⁶ *Slot* – vrijeme rezervirano za slijetanje i uzlijetanje zrakoplova određenoga zračnoga prijevoznika u određenu zračnu luku definirano vremenskim okvirom (-5 + 10 minuta) u odnosu na predviđeno vrijeme slijetanja

Na taj način zračna luka izravno utječe na red letenja zračnih prijevoznika, a time i na prometnu potražnju koja se javlja u određenom vremenskom intervalu.



Grafikon 2.1. Distribucija operacija zrakoplova po mjesecima u hrvatskim obalnim zračnim lukama za 2015. godinu
Izvor: [29]



Grafikon 2.2. Distribucija operacija zrakoplova po danima u tjednu u Zračnoj luci Split, od 25. do 31. srpnja 2015.
Izvor: [30]

Određene su zračne luke, kako bi utjecale na prometnu potražnju tijekom vršnih opterećenja, primjenjivale model naplate u kojem je naknada za korištenje uzletno-sletne staze u određenim periodima bila uvećana za dodanu vrijednost [31]. Intencija je ovoga modela bila ravnomjerno distribuiranje prometa tijekom dana.

Britanske su zrakoplovne vlasti (BAA¹⁷/CAA¹⁸) definirale petosatni vremenski period u Zračnoj luci Heathrow u kojem su se primjenjivale posebne naknade za slijetanje i prihvat i otpremu zrakoplova kako bi potaknule zračne prijevoznike na korištenje neke od alternativnih zračnih luka. Analize su pokazale kako su prijevoznici, iako su troškovi, primjerice za zrakoplov tipa Boeing 747, bili 2,8 puta veći unutar definiranoga vremenskoga intervala, i dalje koristili Zračnu luku Heathrow umjesto neke od alternativnih zračnih luka (Gatwick, Luton, Stansted i sl.).

2.3.Utjecaj kapaciteta infrastrukturnih podsustava zračne luke na odvijanje operacija zrakoplova

Sustav se zračne luke može s infrastrukturnoga aspekta podijeliti na podsustave i procese koji se odvijaju na zračnoj strani (engl. *Airside*) i na zemaljskoj strani (engl. *Landside*).

Zračna strana zračne luke obuhvaća u širem smislu terminalnu zonu zračne luke i infrastrukturne površine poput: uzletno-sletne staze (uzletno-sletnih staza), voznih staza i ostale površine. Zemaljska strana zračne luke obuhvaća putničku zgradu (putnički terminal), zgradu robnoga prometa (teretni terminal), prometnice i parkirališta te druge infrastrukturne objekte i površine nužne za funkcioniranje zračne luke.

Termin kapaciteta može se definirati na više načina ovisno o komponenti sustava koju opisuje. U načelu kapacitet predstavlja limit koji kada je dosegnut ili premašen utječe na performanse i razinu usluge pojedine komponente ili sustava u cjelini [32].

Mjera kapaciteta koristi se u situacijama kada je potrebno provesti varijabilna mjerenja propusnosti posebnoga aerodromskoga sustava ili njegovih podsustava, odnosno komponente te sposobnosti sustava da zadovolji određenu razinu potražnje.

Kapacitet sustava zračne luke ponajprije ovisi o kapacitetu infrastrukturnih i operativnih podsustava, ali i o operativnim procedurama i vrsti i razini prometa u zračnoj luci. Infrastrukturni se kapacitet može analizirati s obzirom na operacije koje se odvijaju na zračnoj i/ili zemaljskoj strani. Fokus je ovoga rada stavljen na kapacitet zračne strane zračne luke koji ovisi o kapacitetima terminalne zone zračne luke, manevarske površine, stajanke.

2.3.1.Kapacitet manevarske površine

Kapacitet manevarske površine predstavlja mogućnost da procesira određeni broj operacija zrakoplova (dolaznih, odlaznih ili mješovitih) na sustavu manevarske površine (uzletno-sletne/ih staze/a, vozne staze) u određenom vremenskom periodu (najčešće unutar jednoga sata) [32].

¹⁷ BAA – British Aviation Authority

¹⁸ CAA – Civil Aviation Authority

De Neufville i *Odoni* [31] obrađuju kapacitet aerodromskoga sustava kroz pojedine infrastrukturne elemente te navode četiri mjere kapaciteta manevarske površine (Slika 2.1.).

Maksimalan je kapacitet ili kapacitet saturacije (engl. *Ultimate/Maximum Capacity*) broj operacija zrakoplova koji se mogu ostvariti u jednom satu na sustavu manevarske površine, bez kršenja pravila kontrole zračnoga prometa uz stalnu potražnju zrakoplova za slijetanjem i polijetanjem. Maksimalni kapacitet ne razmatra kašnjenje zrakoplova u dolasku ili odlasku te vremena čekanja zrakoplova pri operacijama slijetanja ili polijetanja (koje se može kretati od nekoliko minuta do nekoliko desetaka minuta).

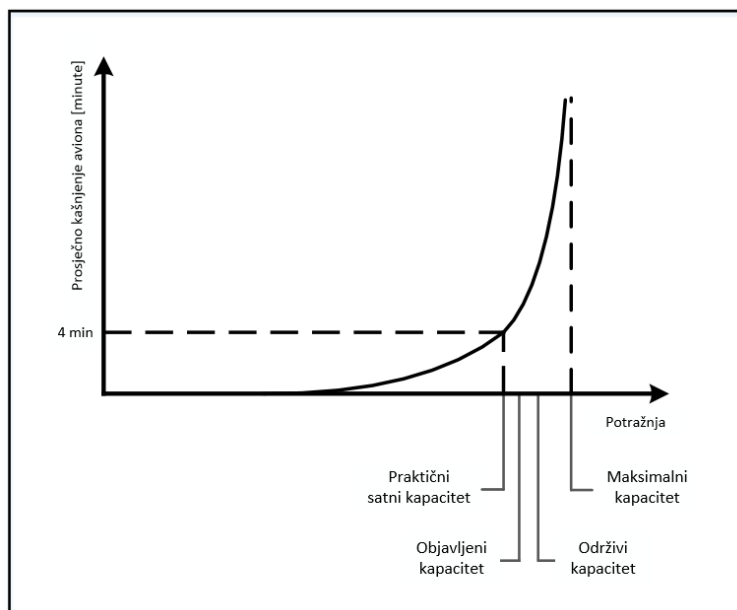
Praktični satni kapacitet (engl. *Practical Hourly Capacity*) očekivani je broj operacija zrakoplova koje se mogu ostvariti na manevarskoj površini u jednom satu uz prosječno kašnjenje od 4 minute po operaciji ili po kretanju zrakoplova. Praktični je satni kapacitet jednak broju operacija zrakoplova u kojem prosječno kašnjenje dosegne razinu od 4 minute. Praktični satni kapacitet za razliku od maksimalnoga u modelu uvodi kašnjenje te je u prosjeku 10 % – 20 % manji od maksimalnoga kapaciteta. Pored praktičnoga satnoga kapaciteta Američka savezna uprava za civilno zrakoplovstvo definira i praktični godišnji kapacitet (engl. *Practical Annual Capacity*) [33].

Navedeni kapaciteti ponajprije se koriste u svrhu planiranja aerodromskoga sustava te razmatraju vremenski period od jednoga sata. U praksi se pokazalo kako je u uvjetima vršnih opterećenja satno planiranje operacija zrakoplova nedostatno zbog činjenice da zrakoplovi nisu jednoliko distribuirani unutar jednoga sata te da u određenim slučajevima postoje preklapanja između pojedinih sati.

Održivi kapacitet (engl. *Sustained Capacity*) manevarske površine definiran je brojem operacija zrakoplova koje se mogu „razumno održivo” ostvariti u vremenskom periodu od nekoliko sati uz određenu razinu usluge. U praksi se maksimalna vrijednost održivoga kapaciteta može ostvariti najčešće u periodu od dva sata. Održivi kapacitet uzima u obzir maksimalno radno opterećenje sustava kontrole zračnoga prometa i samih kontrolora. Maksimalno radno opterećenje kontrolora u SAD-u iznosi 54 minute, što predstavlja 90 % maksimalnoga kapaciteta [31], dok u Europi iznosi 42 minute i iznosi 70 % maksimalnoga kapaciteta [34].

Deklarirani ili objavljeni kapacitet (engl. *Declared Capacity*) definiran je brojem operacija zrakoplova koje se mogu ostvariti u određenom aerodromu uz prihvatljivu razinu usluge (LOS¹⁹) u vremenskom periodu od jednoga sata. Razina je usluge određena vremenom čekanja zrakoplova na slijetanje. Ovu mjeru koriste zračne luke u procesu planiranja reda letenja. Mjera nema konkretnu definiciju niti metodologiju i primjenjuje se ponajprije u Europi i otprilike iznosi 85 % – 90 % maksimalnoga kapaciteta.

¹⁹ LOS – Level of Services



Slika 2.1. Prikaz odnosa maksimalnoga, održivoga, objavljenoga i praktičnoga kapaciteta
Izvor: [31]

Kapacitet manevarske površine izravno ovisi o kapacitetu uzletno-sletne staze, voznih staza i terminalne zone zračne luke. Kapacitet uzletno-sletne staze u većini zračnih luka predstavlja osnovno ograničenje i definira ukupni kapacitet sustava zračne luke. Kapaciteti pojedinih podsustava zračne luke (uzletno-sletne staze, voznih staza, pozicija za parkiranje zrakoplova, putničkih i teretnih terminala i sl.) moraju biti usklađeni s prometnim potrebama. Neuravnoteženost između navedenih elementa i smanjeni kapacitet pojedine komponente dovodi do kašnjenja zrakoplova i smanjenja ukupnoga kapaciteta zračne luke.

2.3.2. Kapacitet uzletno-sletne staze

Kapacitet uzletno-sletne staze ovisi o nizu čimbenika: konfiguraciji voznih staza (broju, lokaciji i tipu voznih staza), navigacijskim procedurama i opremi, razdvajanju između parova zrakoplova (u prilazu, odlasku i između zrakoplova u prilazu i odlasku), tipu i performansama zrakoplova, udjelu pojedinih zrakoplova u ukupnoj populaciji, omjeru dolaznih i odlaznih operacija zrakoplova, meteorološkim uvjetima itd.

Jedan je od osnovnih elemenata koji definira kapacitet uzletno-sletne staze vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze (ROT²⁰). Vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze predstavlja vremenski period u kojem zrakoplov koristi uzletno-sletnu stazu te je ona nedostupna za druge zrakoplove. Vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze mjeri se od trenutka kada je zrakoplov preletio prag uzletno-sletne staze do trenutka kada je isti zrakoplov izašao na voznu stazu, odnosno prošao poziciju za čekanje.

²⁰ ROT – Runway Occupancy Time

Vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze ovisi ponajprije o broju, vrsti i položaju izlaznih voznih staza te posljedično o meteorološkim uvjetima, performansama zrakoplova, iskustvu pilota, smjeru slijetanja i sl. Broj voznih staza koje povezuju uzletno-sletnu stazu sa stajankom, odnosno drugim voznim stazama, ovisi o razini prometa u zračnoj luci te se može kretati od minimalno jedne do višestrukih voznih staza. Veći broj izlaznih voznih staza, a posebno postojanje brzih izlaznih voznih staza omogućuje pilotu da u što kraćem vremenu napusti uzletno-sletnu stazu, bez obzira na ostale navedene uvjete.

Razdvajanje je između parova zrakoplova u dolasku, odlasku, i parova zrakoplova u dolasku i odlasku u nadležnosti prilazne kontrole zračnoga prometa. Vrijeme razdvajanja između pojedinih operacija zrakoplova ponajprije ovisi o procedurama kontrole zračnoga prometa i opremi, o homogenosti tipova zrakoplova te o vremenu zauzetosti uzletno-sletne staze.

Primjena navigacijskih procedura utječe na sve tipove operacija koje se izvode u specifičnoj zračnoj luci. Razdvajanje je zrakoplova u prilazu moguće ostvariti upotrebom standardnih instrumentalnih dolaznih ruta (STAR²¹) ili radarskim vektoriranjem zrakoplova. Standardne instrumentalne dolazne rute povezuju posebnu točku na ruti s točkom iz koje započinje instrumentalni prilaz i slijetanje. Razdvajanje se između dviju sukcesivnih odlaznih operacija ostvaruje radarskim vektoriranjem zrakoplova u odlasku ili upotrebom standardnih instrumentalnih odlaznih ruta (SID²²).

Sofisticiranost opreme, kao i odgovarajuće definirane procedure mogu dovesti do manjih razdvajanja između pojedinih operacija zrakoplova.

Ukoliko se zrakoplovi radarski vektoriraju u prilazu, razdvajanje između sukcesivnih dolaznih operacija zrakoplova uz procedure kontrole zračnoga prometa i opreme ovisi i o vremenu zauzetosti uzletno-sletne staze te o vrstama i tipovima zrakoplova koji se nalaze u prilazu. Smanjeno vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze (uz zadovoljenje ostalih uvjeta) može dovesti do manjih razdvajanja između zrakoplova u prilazu te posljedično do povećanja kapaciteta uzletno-sletne staze.

U kontekstu utjecaja tipa i performansa zrakoplova na kapacitet uzletno-sletne staze potrebno je razmotriti sljedeće elemente: odnos brzine i performansa u prilazu i slijetanju te u uzlijetanju. U svijetu postoji velik broj različitih tipova zrakoplova koji se nadalje dijele na podtipove ovisno o brzini, performansama, doletu i sl.

U procesu razdvajanja zrakoplova u prilazu kontrola zračnoga prometa mora primjenjivati i pravila razdvajanja zrakoplova uzrokovana pojavom turbulencije traga (engl. *Wake Vortex Turbulence*). Navedena pojava predstavlja jako vrtloženje mase zraka na krajevima krila zrakoplova, a prouzrokovana je nadstrujavanjem strujnica zraka preko aerodinamičnoga oblika krila.

²¹ STAR – Standard Instrument Arrival Route

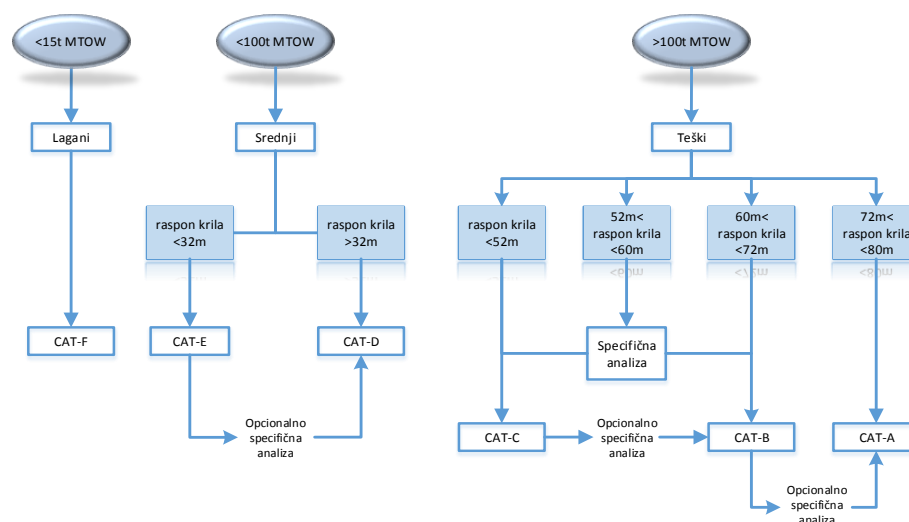
²² SID – Standard Instrument Departure

Pojava turbulencije traga može biti izrazito opasna posebno za manje zrakoplove koji slijede iza određenoga zrakoplova u slijetanju i uzlijetanju te prolaze kroz prostor turbulencije traga. Ova pojava može smanjiti upravljivost zrakoplova, destabilizirati ga i poremetiti odnos sila, a u najgorem slučaju dovesti i do pada zrakoplova. Proizvođači modernih putničkih zrakoplova odgovarajućim dizajnom krila zrakoplova (winglet²³, sharklet²⁴) umanjuju učinak turbulencije traga.

Iako svi zrakoplovi prolaskom kroz prostor ostavljaju iza sebe područje turbulencije traga, intenzitet i duljina prostora izraženiji su kod većih zrakoplova nego kod manjih. S druge strane, utjecaj je turbulencije traga na stabilnost i upravljivost zrakoplova značajnija na manje zrakoplove nego na veće.

Stoga ICAO s obzirom na pojavu turbulencije traga propisuje minimalna razdvajanja između određene skupine zrakoplova koja ne smiju biti narušena [35]. ICAO na temelju maksimalne težine zrakoplova u uzlijetanju (engl. *Maximum Take Off Weight – MTOW*) svrstava zrakoplove u tri osnovne skupine: teški/veliki, srednji i lagani.

Istraživanja su provedena u praksi pokazala kako primjena ovih separacijskih norma u prilazu i odletu u/sa zračne luke negativno utječe na učinkovitost odvijanja operacija, kao i na kapacitet uzletno-sletne staze. EUROCONTROL na temelju provedenih istraživanja u dokumentu „*European Wake Turbulence Categorisation and Separation Minima on Approach and Departure*” [36] je predložio redefinirane skupine zrakoplova (Slika 2.2.) i minimalne norme razdvajanja između skupina zrakoplova u prilazu i odletu s obzirom na pojavu turbulencije traga (Tablica 2.2. i 2.3.).



Slika 2.2. Metodologija podjele zrakoplova u odgovarajuće skupine s obzirom na pojavu turbulencije traga

Izvor: [36]

²³ Winglet – uzdignuta površina spojena na vanjski završetak krila zrakoplova, uobičajeno postavljena okomito na strukturu krila

²⁴ Sharklet – uzdignuta površina spojena na vanjski završetak krila zrakoplova, uobičajeno postavljena okomito na strukturu krila

Tablica 2.2. Razdvajanje između pojedinih skupina zrakoplova u prilazu s obzirom na pojavu turbulencije traga

[NM]			Prateći zrakoplov					
			Super teški	Gornji teški	Donji teški	Gornji srednji	Donji srednji	Lagani
			“A”	“B”	“C”	“D”	“E”	“F”
Vodeći zrakoplov	Super teški	“A”	3	4	5	5	6	8
	Gornji teški	“B”		3	4	4	5	7
	Donji teški	“C”		(*)	3	3	4	6
	Gornji srednji	“D”						5
	Donji srednji	“E”						4
	Lagani	“F”						3

(*) – označava minimalno radarsko razdvajanje (2,5 NM), primjenjuje se prema trenutnoj ICAO, doc. 4444 regulativi

Izvor: [36]

Tablica 2.3. Razdvajanje između pojedinih skupina zrakoplova u odletu s obzirom na pojavu turbulencije traga

[s]			Prateći zrakoplov					
			Super teški	Gornji teški	Donji teški	Gornji srednji	Donji srednji	Lagani
			“A”	“B”	“C”	“D”	“E”	“F”
Vodeći zrakoplov	Super teški	“A”		100	120	140	160	180
	Gornji teški	“B”				100	120	140
	Donji teški	“C”				80	100	120
	Gornji srednji	“D”						120
	Donji srednji	“E”						100
	Lagani	“F”						80

Izvor: [36]

Istraživanja su pokazala kako distribucija dolaznih i odlaznih operacija zrakoplova također može utjecati na kapacitet uzletno-sletne staze, i to u slučajevima kada se uzletno-sletna staza koristi za mješovite operacije. Odgovarajuća distribucija dolaznih operacija zrakoplova osigurava dovoljan vremenski interval između dvaju sukcesivnih slijetanja i omogućuje operacije uzlijetanja zrakoplova.

Meteorološki uvjeti pripadaju kategoriji elemenata čiji se utjecaj na uzletno-sletnu stazu nalazi u međuovisnosti s nekim od navedenih elemenata. Meteorološki uvjeti koji utječu na kapacitet uzletno-sletne staze mogu se podijeliti u tri osnovne skupine: vjetar, oborine i magla.

Utjecaj vjetra na operacije slijetanja i uzlijetanja zrakoplova može se analizirati kroz čeonu, repnu i bočnu komponente vjetra.

Čeona i repna komponenta vjetra utječu na potrebnu dužinu uzletno-sletne staze, pritom repna komponenta produžuje potrebnu dužinu staze za slijetanje te kod zračnih luka s nerazvijenim sustavom voznih staza povećava vrijeme zauzetosti uzletno- sletne staze.

ICAO preporučuje da se operacije slijetanja i uzlijetanja u normalnim uvjetima ne odvijaju onda kada bočna komponenta vjetra prelazi [37]:

- 37 km/h (20 čvorova) za avione čija je referentna duljina staze iznosi više od 1 500 m, osim kada je zbog nedovoljnoga koeficijenta trenja, a zbog toga i slaboga kočenja 24 km/h (13 čvorova);
- 24 km/h (13 čvorova) za avion čija je referentna duljina staze iznosi od 1 200 m do manje od 1 500 m;
- 19 km/h (10 čvorova) za avion čija je referentna duljina staze manja od 1 200 m.

Bočne komponente vjetra ne mogu se predvidjeti niti u potpunosti anulirati, a u slučajevima kada bočna komponenta vjetra prelazi definirane granice, rezultat je veći broj neuspjelih prilaza (engl. *Missed Approach*) i smanjeni kapacitet uzletno-sletne staze. Poseban slučaj predstavlja prostorna ili vremenska promjena smjera i/ili brzine vjetra na određenoj udaljenosti, a takva se pojava naziva smicanje vjetra (engl. *Wind Shear*). Ovisno o smjeru djelovanja i mjestu nastajanja tipovi su smicanja vjetra sljedeći: prizemno smicanje vjetra, okomito smicanje vjetra i horizontalno smicanje vjetra. Najveću opasnost pri operacijama slijetanja i uzlijetanja zrakoplova čini prizemno smicanje vjetra. Ova se pojava ostvaruje kao okomito smicanje vjetra zbog blizine čvrste podloge, a u određenim slučajevima može uzrokovati zrakoplovnu nesreću.

Oborine predstavljaju meteorološku pojavu u kojoj skupina vodenih čestica u tekućem ili krutom stanju pada iz zraka na tlo ili izravno nastaje na tlu. Od oborina najizraženiji utjecaj na kapacitet uzletno-sletne staze imaju kiša, snijeg i led tako da produžuju potrebnu dužinu uzletno-sletne staze u slijetanju i uzlijetanju te potencijalno produžuju vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze. Navedeni se učinak u slijetanju može anulirati ukoliko zračna luka ima razvijen sustav voznih staza, zatim odgovarajućim performansama zrakoplova te iskustvom pilota.

Utjecaj je magle na kapacitet uzletno-sletne staze moguć samo u slučajevima kada zračna luka i zrakoplovi koji na nju slijeću nisu opremljeni odgovarajućim sustavom za prilaz i slijetanje ili je intenzitet magle veći od vrijednosti kojima je sustav namijenjen.

Kapacitet je uzletno-sletne staze moguće izraziti upotrebom matematičkoga modela prostor – vrijeme koji je *Blumstein* razvio i prikazao u radu [38], a Harris doradio i prikazao u radu [39].

2.3.2.1. Matematički model bez uključene pogreške u poziciji zrakoplova

Za izračun je matematičkoga modela potrebno grupirati zrakoplove po kategorijama te svakoj kategoriji dodijeliti prilaznu brzinu V_k [39].

Kako bi se odredilo prosječno vremensko razdvajanje između slijetanja, potrebno je definirati matricu vremena međudolazaka zrakoplova na prag uzletno-sletne staze te toj matrici dodijeliti matricu vjerojatnosti pojavljivanja određenih kombinacija zrakoplova prema različitim kategorijama na određenoj udaljenosti od praga. Inverzni oblik prosječnoga vremenskoga razdvajanja između slijetanja daje kapacitet uzletno-sletne staze.

Stvarno vremensko razdvajanje između slijetanja izračunava se prema sljedećoj formuli:

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i = m_{ij}, \quad (2.1.)$$

gdje je:

- ΔT_{ij} – stvarno (aktualno) vremensko razdvajanje između dvaju sukcesivnih slijetanja zrakoplova tako da vodeći zrakoplov leti brzinom karakterističnom za kategoriju i , a prateći brzinom karakterističnom za kategoriju j
- T_i – vrijeme u kojem vodeći zrakoplov kategorije i preleti prag uzletno-sletne staze
- T_j – vrijeme u kojem prateći zrakoplov kategorije j preleti prag uzletno-sletne staze
- m_{ij} – minimalno vremensko razdvajanje između slijetanja na pragu uzletno-sletne staze, a koje je, u slučaju u kojem nema pogreške, jednako ΔT_{ij} .

Dakle, ako je:

$$E(\Delta T_{ij}) = \sum p_{ij} m_{ij} = \sum [p_{ij}] [M_{ij}], \quad (2.2.)$$

gdje je:

- $E(\Delta T_{ij})$ – prosječno (matematičko očekivanje) vremensko razdvajanje između slijetanja na pragu uzletno-sletne staze
- p_{ij} – vjerojatnost pojavljivanja određenoga para zrakoplova na pragu uzletno-sletne staze
- $[p_{ij}]$ – matrica vjerojatnosti pojavljivanja određenoga para zrakoplova na pragu uzletno-sletne staze
- $[M_{ij}]$ – matrica minimalnoga vremena razdvajanja između slijetanja m_{ij} ,

tada je kapacitet uzletno-sletne staze za slijetanje prikazan izrazom:

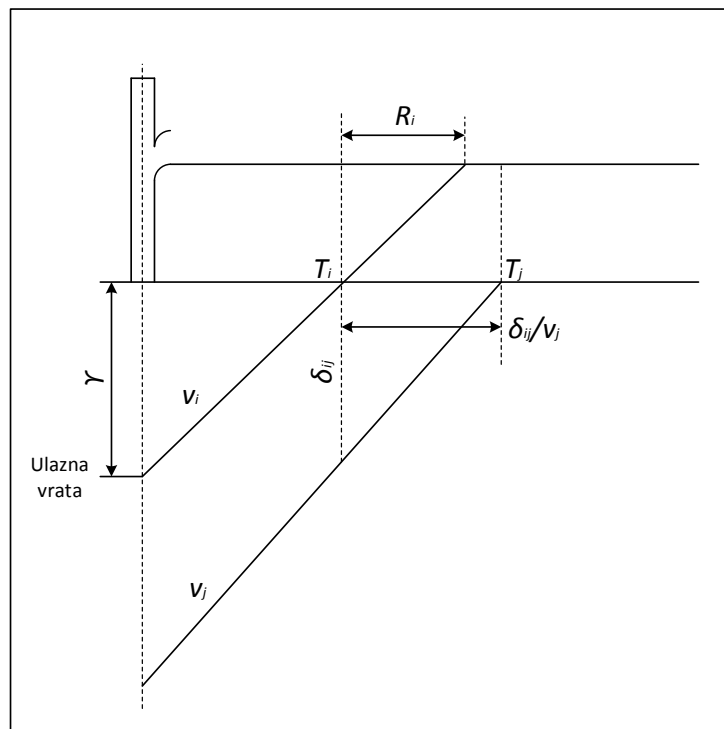
$$C_a = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})}. \quad (2.3.)$$

Za izračun je vremena međudolazaka zrakoplova na prag uzletno-sletne staze potrebno poznavati je li brzina vodećega zrakoplova veća ili manja od brzine pratećega zrakoplova jer će vrijeme međudolazaka zrakoplova biti različito ovisno o slučaju. Kako bi se moglo izračunati vrijeme međudolazaka zrakoplova na pragu uzletno-sletne staze potrebno je razmotriti dva slučaja:

- kada je prilazna brzina vodećega zrakoplova v_i manja ili jednaka prilaznoj brzini pratećega zrakoplova v_j : ($v_i \leq v_j$)
- kada je prilazna brzina vodećega zrakoplova v_i veća od prilazne brzine pratećega zrakoplova v_j : ($v_i > v_j$).

Slučaj ($v_i \leq v_j$): Kada je prilazna brzina vodećega zrakoplova v_i manja ili jednaka prilaznoj brzini pratećega zrakoplova v_j , tada minimalno vremensko razdvajanje između slijetanja na pragu uzletno-sletne staze može biti prikazano pomoću minimalnoga prostornoga razdvajanja između slijetanja δ_{ij} i brzine pratećega zrakoplova v_j (Dijagram 2.1.).

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{v_j}, \quad (2.4.)$$



Dijagram 2.1. Prostorno-vremensko razdvajanje između slijetanja za $v_i \leq v_j$ definirano minimalnim prostornim razdvajanjem između slijetanja
Izvor: [39]

U navedenom dijagramu korištene su sljedeće oznake:

γ – dužina zajedničke prilazne putanje

δ_{ij} – minimalno (stvarno) prostorno razdvajanje između slijetanja uvjetovano pojavom turbulencije traga, gdje je vodeći zrakoplov kategorije i , a prateći kategorije j

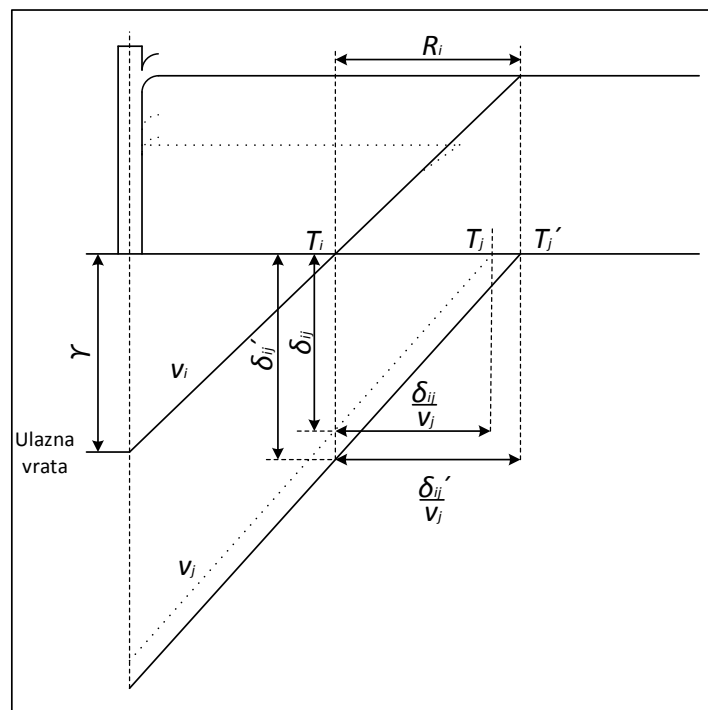
v_i – prilazna brzina vodećega zrakoplova

v_j – prilazna brzina pratećega zrakoplova

R_i – vrijeme koje je potrebno vodećem zrakoplovu da napusti uzletno-sletnu stazu.

Kada je vrijeme koje je potrebno da bi zrakoplov napustio uzletno-sletnu stazu R_i veće od vremenskoga razdvajanja zrakoplova u prilazu, tada će upravo to vrijeme R_i postati minimalno vremensko razdvajanje između slijetanja na pragu uzletno-sletne staze (Dijagram 2.2.).

$$\Delta T_{ij} = T_j' - T_i = R_i, \quad (2.5.)$$



Dijagram 2.2. Prostorno-vremensko razdvajanje između slijetanja za $v_i \leq v_j$ definirano vremenom zauzetosti uzletno-sletne staze

Izvor: [39]

U navedenom su dijagramu korištene sljedeće oznake:

γ – dužina prilazne putanje

δ_{ij} – minimalno prostorno razdvajanje između slijetanja uvjetovano pojavom turbulencije traga, gdje je vodeći zrakoplov kategorije i , a prateći kategorije j

δ_{ij}' – stvarno prostorno razdvajanje između slijetanja uvjetovano vremenom zauzetosti uzletno-sletne staze, gdje je vodeći zrakoplov kategorije i , a prateći kategorije j

v_i – prilazna brzina vodećega zrakoplova

v_j – prilazna brzina pratećega zrakoplova

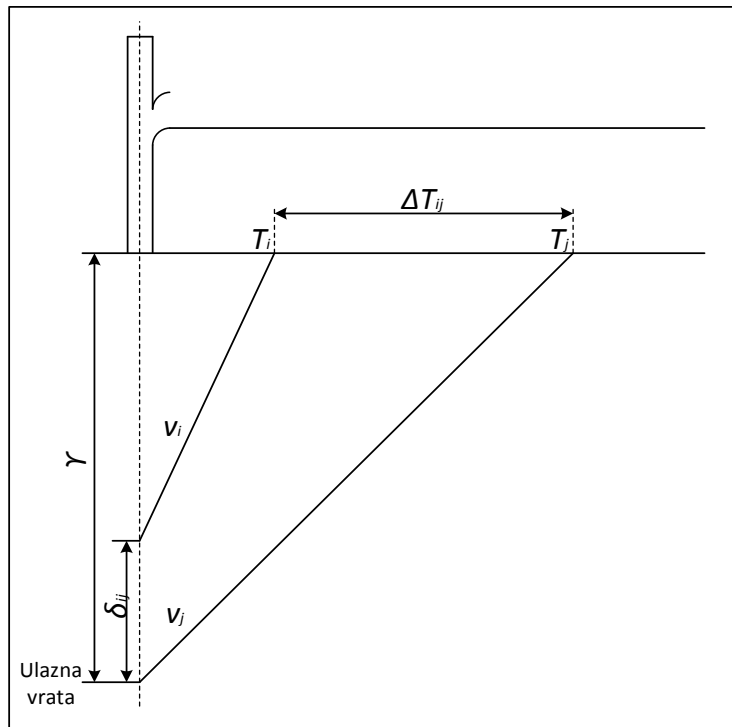
R_i – vrijeme koje je potrebno vodećem zrakoplovu da napusti uzletno-sletnu stazu.

Slučaj ($v_i > v_j$): Kada je prilazna brzina vodećega zrakoplova v_i veća od prilazne brzine pratećega zrakoplova v_j , tada minimalno vremensko razdvajanje između slijetanja na pragu uzletno-sletne staze može biti prikazano pomoću minimalnoga prostornoga razdvajanja između slijetanja δ_{ij} , dužine prilazne ravnine γ i brzina vodećega i pratećega zrakoplova v_i i v_j . U slučaju u kojem se minimalno prostorno razdvajanje između slijetanja δ_{ij} osigura iza ulaznih vrata (engl. *Entry Gate*), a unutar prilazne putanje γ (Dijagram 2.3.), minimalno će vremensko razdvajanje između slijetanja na pragu uzletno-sletne staze biti jednako:

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{v_i} + \gamma \left(\frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right). \quad (2.6.)$$

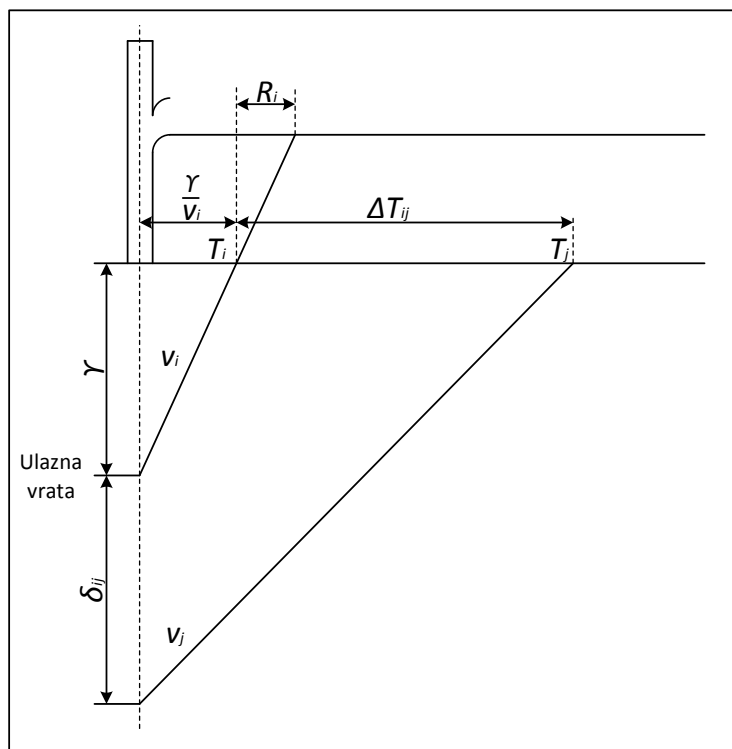
Kada se minimalno prostorno razdvajanje između slijetanja δ_{ij} osigura prije ulaznih vrata, ispred prilazne putanje γ (Dijagram 2.4.), minimalno će vremensko razdvajanje između slijetanja na pragu uzletno-sletne staze biti jednako:

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{v_j} + \gamma \left(\frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right). \quad (2.7.)$$



Dijagram 2.3. Prostorno-vremensko razdvajanje između slijetanja za $v_i > v_j$ kada je minimalno razdvajanje δ_{ij} osigurano unutar prilazne putanje γ

Izvor: [39]



Dijagram 2.4. Prostorno-vremensko razdvajanje između slijetanja za $v_i > v_j$ kada je minimalno razdvajanje δ_{ij} osigurano ispred prilazne putanje γ

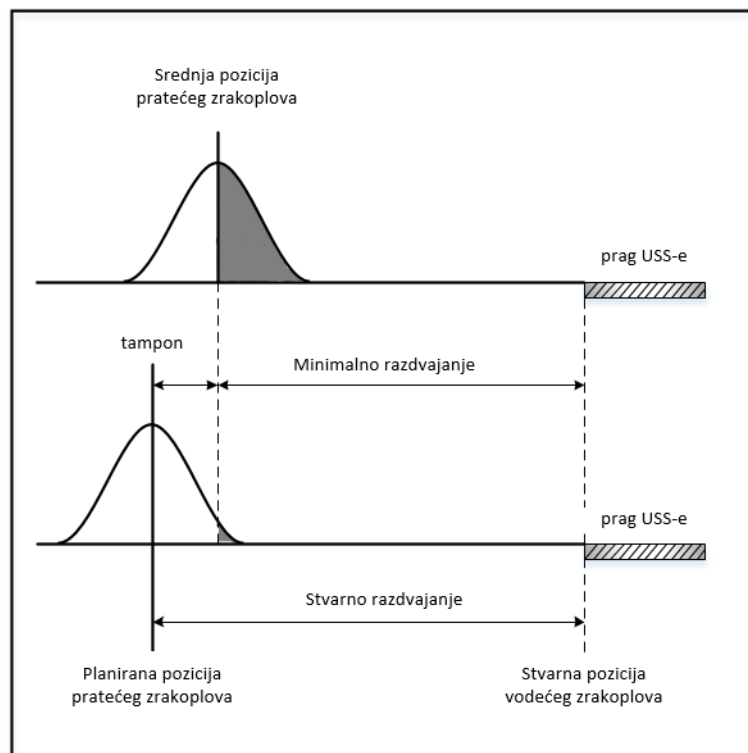
Izvor: [39]

Opisani se modeli odnose na idealne slučajeve u kojima nisu predviđene pogreške u poziciji zrakoplova. U praksi se pokazalo kako su odstupanja od predviđene pozicije zrakoplova učestala pojava te kako ih je kod proračuna kapaciteta potrebno uzeti u obzir kako bi model što vjernije opisivao stvarnu situaciju.

2.3.2.2. Matematički model s uključenom pogreškom u poziciji zrakoplova

Kako bi se kompenzirala moguća pogreška u poziciji zrakoplova, odnosno kako bi se u svim okolnostima sačuvala pravila razdvajanja zrakoplova, potrebno je minimalnom vremenskom razdvajanju između slijetanja dodati tampon vrijeme (engl. *Buffer Time*) (Slika 2.3.).

Pozicija zrakoplova u prilazu slučajna je varijabla te se pogreška pozicije zrakoplova može opisati normalnom razdiobom. Iz Slike 2.3. vidljivo je kako vjerojatnost narušavanja minimalnoga vremenskoga razdvajanja iznosi 50 % (osjenčani dio). Smanjenje vjerojatnosti narušavanja mogu se postići izmicanjem planirane pozicije pratećega zrakoplova, odnosno uvođenjem dodatnoga tampon vremena, kao što je vidljivo iz donjega prikaza na Slici 2.3. Vrijednost dodatnoga vremena ovisi o tome kolika je prihvatljiva razina vjerojatnosti narušavanja minimalnoga vremenskoga razdvajanja.



Slika 2.3. Tampon vrijeme pri razdvajanju zrakoplova

Izvor: [39]

Stoga će prosječno vremensko razdvajanje između slijetanja biti:

$$E(\Delta T_{ij}) = \sum [p_{ij}] [M_{ij} + B_{ij}], \quad (2.8.)$$

gdje je $[B_{ij}]$ matrica dodatnoga vremena.

Vjerojatnost $P(q)$ jednaka je površini ispod krivulje normalne razdiobe. Vjerojatnost $P(q)$, kako pogreška po apsolutnom iznosu ne bi bila veća od q , izračunava se pomoću integrala:

$$P(q) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^q e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (2.9.)$$

Radi lakšega proračuna u statističkim se priručnicima može pronaći tablica s izračunanim vjerojatnostima u kojoj su za određeni broj diskretnih vrijednosti pogreške q po apsolutnom iznosu izračunane vjerojatnosti $P(q)$.

Oblik je normalne razdiobe određen parametrom σ_0 koji se naziva standardna devijacija (odstupanje) pa za pogrešku pozicije zrakoplova, odnosno izračun dodatnoga vremena b_{ij} vrijedi:

$$q = \frac{b_{ij}}{\sigma_0} \Rightarrow b_{ij} = q \sigma_0. \quad (2.10.)$$

Kako bi se izračunao iznos dodatnoga vremena, mora se definirati vjerojatnost narušavanja minimalnoga vremenskoga razdvajanja P_v koju predstavlja osjenčana površina na Slici 2.3. Ako je poznata vjerojatnost narušavanja P_v , tada se $P(q)$ izračunava na sljedeći način:

$$P(q) = 1 - 2 P_v. \quad (2.11.)$$

Na temelju tako izračunane $P(q)$ u tablicama integrala vjerojatnosti može se pronaći odgovarajuću vrijednost q .

Dobiveno se dodatno vrijeme odnosi na slučaj u kojem je brzina vodećega zrakoplova manja ili jednaka brzini pratećega ($v_i \leq v_j$), dok je u slučaju u kojem je brzina vodećega zrakoplova veća od brzine pratećega ($v_i > v_j$), a kada je minimalno razdvajanje δ_{ij} osigurano ispred prilazne putanje γ , dodatno vrijeme nešto umanjeno i iznosi:

$$b_{ij} = \sigma_0 q - \delta_{ij} \left(\frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right), \quad (2.12.)$$

uz napomenu kako ne može biti negativan, odnosno kako je minimalna vrijednost nula.

2.3.2.3. Matematički model za izračun kapaciteta uzletno-sletne staze za operacije čistoga uzlijetanja

Uobičajeno je da se zrakoplovima dozvoljavaju odlasci s minimalnim razdvajanjem između dvaju sukcesivnih uzlijetanja. Tada se vremensko razdvajanje između polijetanja t_d te kapacitet uzletno-sletne staze, isključivo za operacije uzlijetanja C_d , mogu izraziti kao:

$$C_d = \frac{1}{E(t_d)}, \quad (2.13.)$$

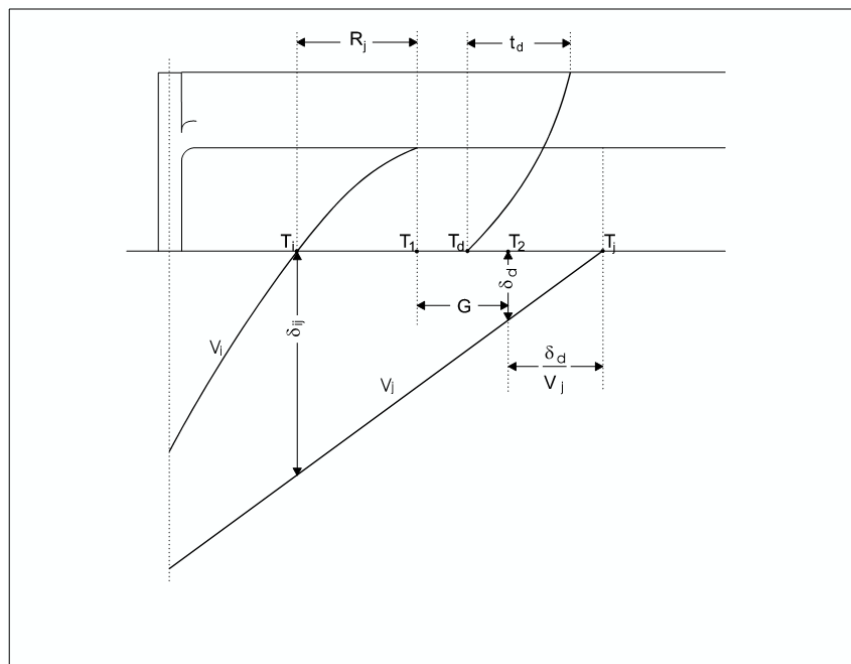
$$E(t_d) = \sum [p_{ij}] [t_d], \quad (2.14.)$$

gdje je:

- $E(t_d)$ – prosječno (matematičko očekivanje) vremensko razdvajanje između polijetanja na pragu uzletno-sletne staze
- $[p_{ij}]$ – matrica vjerojatnosti da iza vodećega zrakoplova i slijedi prateći zrakoplov j
- $[t_d]$ – matrica vremenskoga razdvajanja između polijetanja.

2.3.2.4. Matematički model za izračun kapaciteta uzletno-sletne staze za mješovite operacije

Mješovite operacije mogu se prikazati pomoću sljedećega prostorno-vremenskoga dijagrama (Dijagram 2.5.).



Dijagram 2.5. Prostorno-vremensko razdvajanje mješovitih operacija bez uračunane pogreške u poziciji zrakoplova

Izvor: [39]

U navedenom su dijagramu korištene sljedeće oznake:

T_i, T_j – vremena u kojima vodeći zrakoplov „i“ i prateći „j“ prelijeću prag uzletno-sletne staze

δ_{ij} – minimalno prostorno razdvajanje između slijetanja

T_1 – vrijeme u kojem vodeći zrakoplov u dolasku napušta uzletno-sletnu stazu

T_d – vrijeme u kojem zrakoplov u odlasku prelijeće kraj uzletno-sletne staze

δ_d – minimalna udaljenost zrakoplova u prilazu od praga uzletno-sletne staze kako bi se dozvolilo uzlijetanje zrakoplova

T_2 – vrijeme koje označava posljednji trenutak za izdavanje dozvole za uzlijetanje zrakoplova

R_i – vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze pri slijetanju zrakoplova

G – vremenski interval u kojem se može dozvoliti polijetanje zrakoplova

t_d – vremensko razdvajanje između dvaju sukcesivnih uzlijetanja.

Polijetanje se zrakoplova ne može dozvoliti sve dok ne postoji minimalni vremenski interval G između dvaju polijetanja:

$$G = T_2 - T_1 \geq 0, \quad (2.15.)$$

a budući da je:

$$T_1 = T_i + R_i \quad (2.16.)$$

i

$$T_2 = T_j - \frac{\delta_d}{v_j}, \quad (2.17.)$$

slijedi da je:

$$T_2 - T_1 \geq \left(T_j - \frac{\delta_d}{v_j} \right) - (T_i + R_i) \geq 0. \quad (2.18.)$$

Kako bi jedan zrakoplov poletio u vremenu između dvaju slijetanja, potrebno je:

$$T_j - T_i \geq R_i + \frac{\delta_d}{v_j}. \quad (2.19.)$$

Kako bi se utvrdio kapacitet uzletno-sletne staze koja se koristi i za slijetanje i za polijetanje, treba izračunati prosječno vremensko razdvajanje $E(\Delta T_{ij})$ potrebno da bi se dopustilo n_d polijetanja između dvaju slijetanja:

$$E(\Delta T_{ij}) \geq E(R_i) + E\left(\frac{\delta_d}{v_j}\right) + (n_d - 1) E(t_d), \quad (2.20.)$$

gdje je:

$E(R_i)$ – matematičko očekivanje zbroja vremenskih intervala koji su potrebni zrakoplovima u slijetanju kako bi napustili USS

$E\left(\frac{\delta_d}{v_j}\right)$ – matematičko očekivanje zbroja vremenskih intervala u kojima su zrakoplovi u prilazu bili razdvojeni

$E(t_d)$ – matematičko očekivanje zbroja vremenskih intervala vremena potrebnoga određenom zrakoplovu pri uzlijetanju.

Može se primijetiti kako će posljednji član jednadžbe uvijek biti nula kada je moguće samo jedno polijetanje između dvaju slijetanja.

Jednadžbi se još može dodati prosječna vrijednost tampona $E(B_{ij}) = \sum [p_{ij}] [B_{ij}]$ kako bi se kompenzirala moguća pogreška u poziciji zrakoplova te će onda jednadžba biti:

$$E(\Delta T_{ij}) \geq E(R_i) + E\left(\frac{\delta_d}{v_j}\right) + (n_d - 1) E(t_d) + E(B_{ij}). \quad (2.21.)$$

Konačno, kapacitet se uzletno-sletne staze, koja se koristi i za slijetanje i za polijetanje, može izraziti jednadžbom:

$$C_m = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} (1 + \sum n_d p_{nd}), \quad (2.22.)$$

gdje je:

C_m – kapacitet uzletno-sletne staze koja se koristi za mješovite operacije

$E(\Delta T_{ij})$ – prosječno vremensko razdvajanje između slijetanja

n_d – broj polijetanja koja se mogu dozvoliti u vremenskim intervalima između dvaju slijetanja

p_{nd} – vjerojatnost dopuštanja n_d polijetanja u vremenskim intervalima između dvaju slijetanja.

2.3.3. Kapacitet voznih staza

Kapacitet uzletno-sletne staze izravno ovisi o kapacitetu voznih staza, odnosno o broju, položaju (u odnosu na uzletno-sletnu stazu) i udaljenosti pojedinih voznih staza od praga uzletno-sletne staze.

Broj, položaj i udaljenost voznih staza trebao bi ovisiti o vrsti i razini prometa u zračnoj luci, performansama zrakoplova koji ih koriste (brzini pri dodiru s USS-om, brzini napuštanja USS-a, deceleraciji u zraku i na USS-u, udaljenosti točke slijetanja i sl.), *safety nets* sustavima, meteorološkim i ostalim uvjetima. Stupanj razvoja voznih staza izravno utječe na vrijeme zauzetosti i kapacitet uzletno-sletne staze.

Broj voznih staza ovisi o tipovima i karakteristikama zrakoplova te o udjelu pojedinih tipova zrakoplova u vršnom opterećenju. Primjerice, ako pojedinu zračnu luku većinom koriste uskotrupni zrakoplovi (engl. *Narrow Body*) uz jednoliko distribuirane operacije zrakoplova, dvije bi izlazne vozne staze na odgovarajućim mjestima mogle zadovoljavati prometnu potražnju.

Ukoliko uzletno-sletnu stazu operativno koriste različiti tipovi zrakoplova (širokotrupni, srednjetrupni, generalna avijacija), vjerojatno će biti potrebne minimalno četiri izlazne vozne staze.

Položaj izlazne vozne staze u odnosu na uzletno-sletnu stazu može dovesti do veće, odnosno manje brzine kojom zrakoplov napušta uzletno-sletnu stazu. Vozna staza može biti položena u odnosu na uzletno-sletnu stazu na tri načina:

1. Vozna staza zatvara s uzletno-sletnom stazom kut manji od 90° (gledano iz smjera slijetanja) – ovakav položaj vozne staze ubrzava izlazak zrakoplova s uzletno-sletne staze.
2. Vozna staza zatvara s uzletno-sletnom stazom kut od 90° – ovakav položaj vozne staze usporava izlazak zrakoplova s uzletno-sletne staze.
3. Vozna staza zatvara s uzletno-sletnom stazom kut veći od 90° (gledano iz smjera slijetanja) – ovakav položaj predstavlja najnepovoljniji slučaj jer se zrakoplov mora gotovo u potpunosti zaustaviti prije nego što napusti uzletno-sletnu stazu, odnosno znatno usporava izlazak s uzletno-sletne staze.

Lokacija je izlazne vozne staze definirana udaljenošću između praga uzletno-sletne staze i točke tangiranja izlazne vozne staze. Lokacija će izlazne vozne staze biti uvjetovana brzinom karakterističnoga zrakoplova pri preletu praga uzletno-sletne staze i inicijalnom brzinom napuštanja uzletno-sletne staze u točki u kojoj zrakoplov zaokreće s uzletno-sletne staze.

Za potrebe planiranja izlaznih voznih staza pretpostavlja se kako je brzina zrakoplova pri preletu praga jednaka $1,3 \times stall$ brzini u konfiguraciji za slijetanje pri prosječnoj težini zrakoplova koja iznosi 85 % maksimalne bruto težine zrakoplova pri slijetanju.

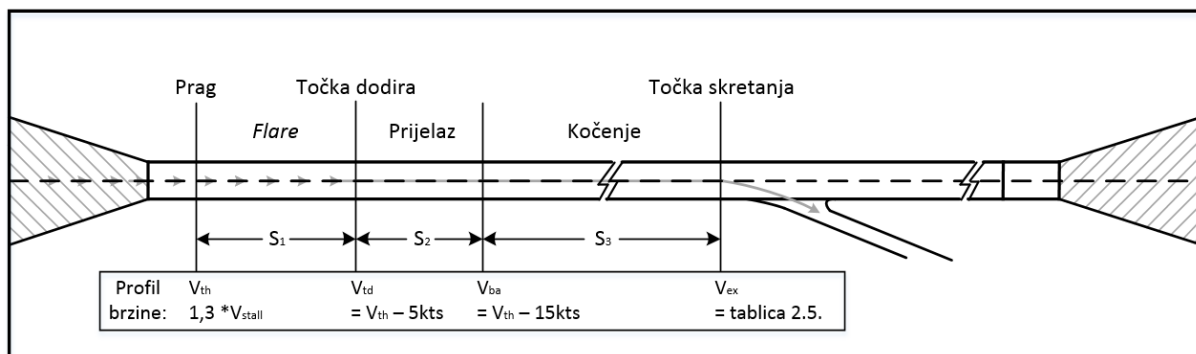
Nadalje, ICAO na temelju brzine preleta praga (u uvjetima 0 metara nad morem) svrstava zrakoplove u jednu od četiriju kategorija prikazanih u Tablici 2.4.

Tablica 2.4. Prikaz kategorije zrakoplova i njihove karakteristične brzine pri preletu praga uzletno-sletne staze

Skupina	Brzina zrakoplova pri preletu praga
A	manja od 169 km/h (91 kt)
B	između 169 km/h (91 kt) i 222 km/h (120 kt)
C	između 224 km/h (121 kt) i 259 km/h (140 kt)
D	između 261 km/h (141 kt) i 306 km/h (165 kt)

Izvor: [40]

Prema metodi tri segmenta, koja je prikazana na Slici 2.4., moguće je odrediti potreban položaj izlazne vozne staze u odnosu na udaljenost od praga uzletno-sletne staze. Metoda se temelji na analitičkim razmatranjima koja su dopunjena empirijskim pretpostavkama.



Slika 2.4. Prikaz metode tri segmenta

Izvor: [40]

Tablica 2.5. Vjerojatnost izlaska zrakoplova na brzu izlaznu voznu stazu s obzirom na udaljenost od praga uzletno-sletne staze

Skupina	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100%
A	1.170	1.320	1.440	1.600	1.950	2.200	2.900
B	1.370	1.480	1.590	1.770	2.070	2.300	3.000
C	1.740	1.850	1.970	2.150	2.340	2.670	3.100
D	2.040	2.190	2.290	2.480	2.750	2.950	4.000

Izvor: [40]

Ukupna je udaljenost od praga uzletno-sletne staze do točke tangiranja izlazne vozne staze određena trima segmentima:

- segment 1 – udaljenost između praga uzletno-sletne staze i točke dodira
- segment 2 – udaljenost između točke dodira i točke u kojoj je moguće postići stabilizirano kočenje
- segment 3 – udaljenost potrebna za deceleraciju pri normalnim uvjetima kočenja i za postizanje nominalne izlazne brzine.

Segment 1 definiran je položajem ciljne točke s obzirom na prag uzletno-sletne staze i propisan je u dodatku 14. konvencije o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu. Međutim, istraživanja su pokazala kako u određenom broju slučajeva zrakoplovi ne slijeću na ciljnu točku, već na određenu točku unutar područja dodira (engl. *Touch Down Zone*). Stoga se može zaključiti kako je udaljenost između praga uzletno-sletne staze i stvarne točke dodira stohastička vrijednost koja se može aproksimirati na temelju podataka o nagibu uzletno-sletne staze i repne komponente vjetra.

Segment 2 moguće je matematički izraziti na sljedeći način:

$$S_2 = 5 \times (V_{th} - 10). \quad (2.23.)$$

Segment 3 temelji se na pretpostavljenoj deceleraciji zrakoplova na zemlji, a matematički se može izraziti na sljedeći način:

$$S_3 = \frac{V_{ba}^2 - V_{ex}^2}{2a}, \quad (2.24.)$$

ili

$$S_3 = \frac{(V_{th} - 15)^2 - V_{ex}^2}{8a}, \quad (2.25.)$$

gdje je:

V_{ba} – pretpostavljena brzina u trenutku početka kočenja zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi

V_{ex} – nominalna brzina pri izlasku zrakoplova s uzletno-sletne staze

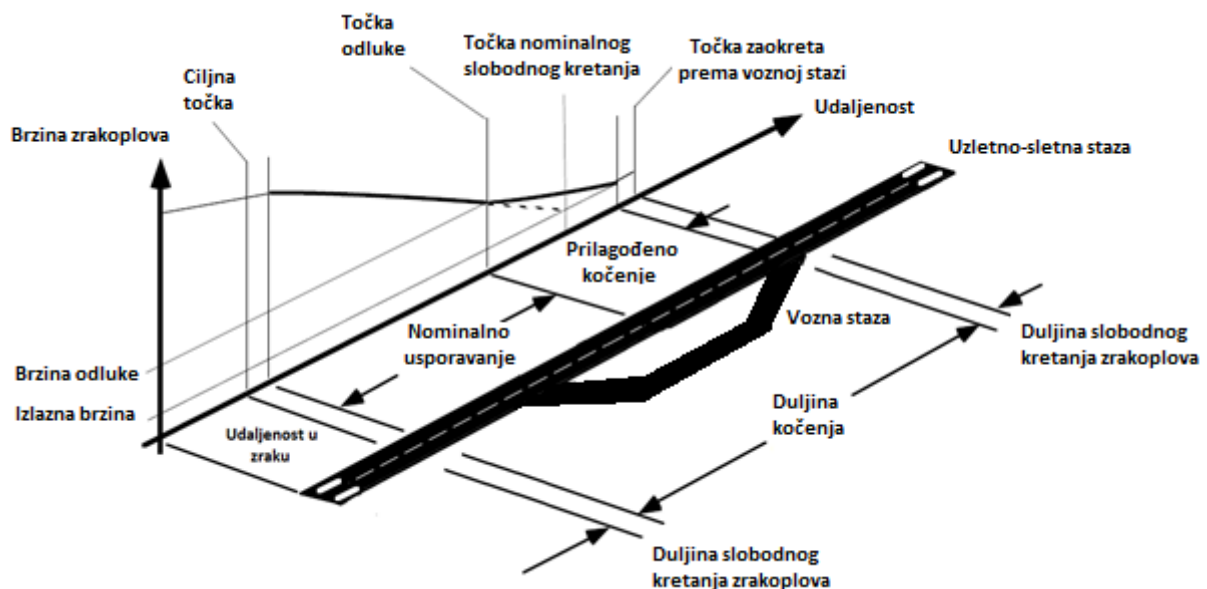
V_{th} – brzina zrakoplova pri preletu praga uzletno-sletne staze

a – deceleracija zrakoplova na zemlji

Smatra se kako je deceleracija od $1,5\text{m/s}^2$ realna vrijednost koja se javlja u operativnim uvjetima vlažne uzletno-sletne staze.

Brze izlazne vozne staze (engl. *Rapid Exit Taxiways*) predstavljaju posebnu kategoriju izlaznih staza. Njihov dizajn i položaj omogućuju zrakoplovu u slijetanju brže napuštanje uzletno-sletne staze, što dovodi do manjega vremena zauzetosti uzletno-sletne staze (ROT) i većega kapaciteta uzletno-sletne staze (ako se zadovolje ostali uvjeti). Brze se izlazne vozne staze postavljaju na uzletno-sletnu stazu pod vrlo blagim kutom ($25^\circ - 45^\circ$), što osigurava znatno veće brzine zrakoplova ($65\text{ km/h} - 93\text{ km/h}$) pri napuštanju uzletno-sletne staze u odnosu na klasične izlazne vozne staze [37]. Broj i lokacija brzih izlaznih vozni staza ovisi o vrsti i tipovima zrakoplova koji koriste uzletno-sletnu stazu. Zračne luke s višom razinom prometa imaju izgrađene brze izlazne vozne staze, štoviše, većina njih ima do tri brze izlazne vozne staze, a svaka od njih odgovara jednoj skupini zrakoplova.

Vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze može se izračunati tako da se uzletno-sletna staza podijeli na četiri elementa, kao što je prikazano na dijagramu prostor - brzina na Slici 2.5.[41].



Slika 2.5. Prikaz slijetanja zrakoplova na uzletno-sletnu stazu upotrebom dijagrama brzina – udaljenost

Izvor: [41]

Prvi element predstavlja vrijeme od trenutka preleta praga uzletno-sletne staze do trenutka dodira kotača glavnoga podvozja zrakoplova. Za potrebe izračuna pretpostavlja se kako je brzina pri dodiru kotača glavnoga podvozja $5 - 8$ čvorova manja od brzine preleta praga te da je deceleracija u zraku $2,5\text{ ft/s}^2$. Drugi je element vrijeme potrebno da nosni kotač dodirne uzletno-sletnu stazu, a statistike ukazuju na to kako ono u prosjeku iznosi 3 s . Treći je element vrijeme potrebno za postizanje izlazne brzine od trenutka dodira nosnoga kotača do trenutka zaokreta s uzletno-sletne staze.

Ovaj element karakterizira nominalno kočenje koje se ostvaruje upotrebom obrnutoga potiska motora zrakoplova i aerodinamičnih (zračnih) kočnica te prilagođenoga kočenja koje se ostvaruje hidraulički kočnicama na podvozju zrakoplova. Posljednji element predstavlja vrijeme potrebno za zaokret s uzletno-sletne staze na voznu stazu, koje u prosjeku iznosi 10 s.

Na temelju navedenih elemenata moguće je matematički definirati vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze koristeći se sljedećim izrazom:

$$ROT = \frac{V_{ot} - V_{td}}{a_1} + 3 + \frac{V_{td} - V_e}{a_2} + 10 \text{ s}, \quad (2.26.)$$

gdje je:

- V_{ot} – brzina preleta praga (5–8 kn veća od V_{td})
- V_{td} – brzina zrakoplova pri dodiru s USS-om
- V_e – izlazna brzina zrakoplova s USS-a
- a_2 – deceleracija zrakoplova na USS-u ($\sim 5 \text{ ft/s}^2$)
- a_1 – deceleracija zrakoplova u zraku ($\sim 2,5 \text{ ft/s}^2$).

2.3.4. Kapacitet stajanke

Kapacitet stajanke može se definirati kao maksimalan broj zrakoplova koji mogu biti prihvaćeni i otpremljeni na odgovarajućem broju pozicija u specifičnom vremenskom periodu uz stalnu potražnju zrakoplova [42].

U literaturi se najčešće navode dvije mjere kapaciteta stajanke: statički kapacitet stajanke i dinamički kapacitet stajanke.

Statički je kapacitet stajanke definiran maksimalnim brojem zrakoplova koji mogu biti opsluženi na odgovarajućem broju pozicija ovisno o veličini zrakoplova. Statički se kapacitet koristi u procesu planiranja zračne luke, dok se operativno u procesu kreiranja reda letenja koristi dinamički kapacitet stajanke.

Dinamički je kapacitet stajanke definiran brojem zrakoplova koji mogu biti obrađeni na određenom broju parkirnih pozicija u jedinici vremena (najčešće sat vremena), a sami kapacitet definira propusnu moć stajanke.

Dinamički kapacitet ovisi o:

- fizičkim karakteristikama stajanke, odnosno broju, veličini i tipu parkirnih pozicija
- karakteristikama potražnje
- operativnim ograničenjima
- tipu zrakoplova i vremenu zauzetosti pozicije za svaki tip.

Kapacitet pozicije za parkiranje zrakoplova (engl. *Stand/Gate*) karakteriziraju dimenzije najvećega zrakoplova koji na toj poziciji može biti prihvaćen i otpremljen u određenoj jedinici vremena (najčešće jedan sat). U slučaju fleksibilne pozicije na odgovarajućoj poziciji može biti obrađen jedan širokotrupni zrakoplov ili dva uskotrupna zrakoplova, odnosno na dvjema pozicijama namijenjenima širokotrupnim zrakoplovima mogu biti obrađena tri uskotrupna zrakoplova itd.

Karakteristika potražnje predstavlja distribuciju prometa zrakoplova unutar određenoga vremenskoga perioda te se pritom razlikuju sezonsko, mjesečno, tjedno, dnevno, satno i unutarosatno vršno opterećenje. Nadalje, karakteristiku potražnje definira udio pojedinih veličina zrakoplova u ukupnoj populaciji zrakoplova.

Operativna ograničenja koja se primjenjuju na pojedinim pozicijama mogu znatno utjecati na kapacitet pozicije ili na cjelokupni kapacitet stajanke. Prema načinu korištenja pozicije mogu biti namijenjene jednom korisniku (engl. *Exclusive Use*), dijelu korisnika (engl. *Preferential Use*) ili svim korisnicima (engl. *Shared/Common Use*). Pozicije namijenjene jednom korisniku karakteristične su za velike zračne luke (engl. *Hub Airports*) u kojima se dio pozicija ili sve pozicije na određenoj stajanci alociraju za određenoga korisnika, operativno upotreba takvih pozicija može reducirati kapacitet stajanke [42]. U slučaju pozicija koje su namijenjene dijelu korisnika, jedan korisnik koristi određene pozicije, no u slučaju da u određenom vremenskom intervalu te pozicije budu slobodne, mogu se pod propisanim uvjetima dati na korištenje i drugim korisnicima. Zajedničke pozicije ili pozicije namijenjene svim korisnicima podrazumijevaju sustav u kojem su sve pozicije dostupne svim korisnicima pod jednakim uvjetima bez ograničenja. Ovakav je sustav karakterističan za zračne luke RH.

Vrijeme zauzetosti pozicije (GOT²⁵) predstavlja vrijeme u kojem zrakoplov zauzima određenu poziciju te je ona nedostupna ostalim korisnicima [31].

$$GOT = SOT + PT + BT. \quad (2.27.)$$

Planirano vrijeme zauzetosti pozicije, odnosno planirano vrijeme prijehata i otpreme zrakoplova (SOT²⁶), predstavlja vrijeme potrebno za provođenje svih aktivnosti na zrakoplovu u okviru procesa prijehata i otpreme zrakoplova. Ovo vrijeme ovisi o nizu parametara: vrsti zrakoplova/leta, broju putnika, količini prtljage i tereta, učinkovitosti operativnoga osoblja i opreme, zahtjevima zračnoga prijevoznika i sl. Proizvođači zrakoplova u svojim priručnicima definiraju planirano vrijeme prijehata i otpreme zrakoplova, međutim, to vrijeme može varirati ovisno o zračnom prijevozniku i operativnim procedurama u pojedinim zračnim lukama. Uobičajeno planirano vrijeme zauzetosti pozicije kreće se od 20 minuta, koliko je potrebno za prihvat i otpremu zrakoplova niskotarifnoga zračnoga prijevoznika, do nekoliko sati za interkontinentalne letove.

²⁵ GOT – Gate Occupancy Time

²⁶ SOT – Scheduled Occupancy Time

Vrijeme pozicioniranja zrakoplova (PT^{27}) vrijeme je potrebno kako bi se zrakoplov parkirao ili napustio poziciju, a u kojem je ona nedostupna drugim zrakoplovima. Vrijeme izlaska zrakoplova s pozicije kreće se od 30 sekundi do 2 minute u slučajevima u kojima se koristi zaokretni ili prolazni sustav parkiranja, a kada se koriste pozicije sa sustavom izguravanja zrakoplova (engl. *Push Back*), to vrijeme može iznositi i do 10 minuta.

Međuvrijeme (BT^{28}) je dodatni vremenski interval između predviđenoga vremena odlaska jednoga zrakoplova i dolaska drugoga zrakoplova na istu poziciju. Međuvrijeme se uvodi u izračun zbog činjenice da je planirani promet u zračnoj luci podložan kašnjenju i kratkoročnim promjenama u rasporedu. Upotreba će međuvremena ovisiti o operativnim uvjetima koji se javljaju u specifičnoj zračnoj luci. Ovaj se vremenski interval u praksi kreće od nekoliko minuta za domaće i međunarodne letove do jedan sat za interkontinentalne letove.

Izračun kapaciteta stajanke može se provesti na temelju analitičkih ili grafičkih modela.

Analitički se model zasniva na principu prema kojem zahtijevano vrijeme prihvata i otpreme pojedinoga zrakoplova treba biti manje ili jednako raspoloživom vremenu za taj zrakoplov. Prema navedenom su principu razvijena dva analitička modela izračuna kapaciteta stajanke: strategija neograničenoga korištenja stajanke i strategija ograničenoga korištenja stajanke.

Model strategije neograničenoga korištenja stajanke (engl. *Unrestricted gate – use strategy*) pretpostavlja kako svi zrakoplovi mogu koristiti sve pozicije za parkiranje na stajanci.

Model strategije ograničenoga korištenja stajanke (engl. *Restricted gate – use strategy*) pretpostavlja kako određeni tipovi zrakoplova, odnosno zračni prijevoznici mogu koristiti samo one pozicije koje su namijenjene isključivo njima [25].

Model strategije neograničenoga korištenja stajanke analitički se može izraziti na sljedeći način:

$$\mu_k N \geq E(T_g) C_g, \quad (2.28.)$$

gdje je:

μ_k – faktor iskoristivosti pozicije, postotak vremena u vremenskom periodu od jednoga sata u kojem zrakoplov tipa i koristi skupinu pozicija tipa k

N – broj raspoloživih pozicija

$E(T_g)$ – očekivana vrijednost vremena zauzetosti pozicija na temelju potražnje zrakoplova koji mogu koristiti skupinu pozicija tipa k [min]

C_g – kapacitet svih pozicija [zrakoplova/h].

²⁷ PT – Positioning Time

²⁸ BT – Buffer Time

$$E(T_g) = \sum m_i T_{gi}, \quad (2.29.)$$

m_i – zastupljenost zrakoplova tipa i u floti zrakoplova koji koriste stajanku

T_{gi} – vrijeme zauzetosti pozicije potrebno za zrakoplov tipa i [min].

Model strategije ograničenoga korištenja stajanke analitički se može izraziti na sljedeći način:

$$\mu_k N_k \geq E(T_g) C_{gk}, \quad (2.30.)$$

$$C_g = \min(C_{gk}), \quad (2.31.)$$

gdje je:

μ_k – faktor iskoristivosti pozicije, postotak vremena u vremenskom periodu od jednoga sata u kojem zrakoplov tipa i koristi skupinu pozicija tipa k

N_k – broj pozicija tipa k raspoloživih za zrakoplove tipa i

$E(T_g)$ – očekivana vrijednost vremena zauzetosti pozicija na temelju potražnje zrakoplova koji mogu koristiti skupinu pozicija tipa k [min]

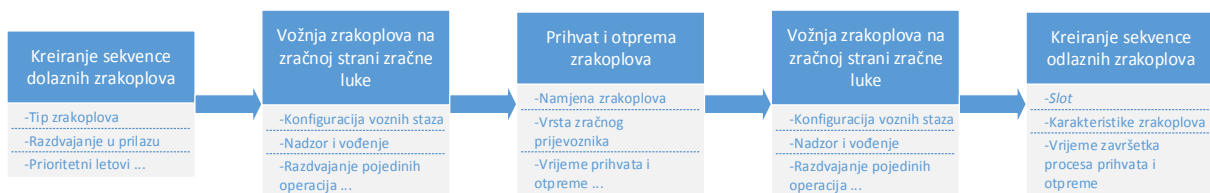
C_g – kapacitet svih pozicija [zrakoplova/h]

C_{gk} – kapacitet pozicija za zrakoplove tipa k [zrakoplova/h].

Ključni je čimbenik koji osigurava odvijanje operacija zrakoplova na vrijeme odnos između prometne potražnje u određenom periodu i potrebnih kapaciteta (infrastrukturnih i operativnih) koji bi pojedini podsustav trebao osigurati. Pritom, kako se povećava promatrani vremenski period, tako i kašnjenje koje se javlja u sustavu raste te posljedično opada pouzdanost cjelokupnoga sustava. ICAO propisuje kako bi stajanka svojim kapacitetom trebala zadovoljavati prometnu potražnju u određenom vremenskom periodu, ali i vršna opterećenja koja su prisutna u tim periodima.

2.4. Operativni podsustavi i procesi na zračnoj strani zračne luke

Operativni podsustavi i procesi (Dijagram 2.6.) koji se provode i odvijaju na zračnoj strani i u zračnom prostoru zračne luke mogu se podijeliti na: kreiranja sekvence dolaznih zrakoplova (engl. *Arrival Sequence*), vožnju zrakoplova na zračnoj strani zračne luke (engl. *Taxi Time*), prihvata i otpremu zrakoplova (engl. *Aircraft Ramp Handling*) i kreiranje sekvence odlaznih zrakoplova (engl. *Pre Departure Sequence*). Navedeni su operativni podsustavi međusobno ovisni te je važno da se pojedini procesi odvijaju na vrijeme te da budu vremenski i prostorno integrirani kako ne bi došlo do kašnjenja zrakoplova unutar sustava zračne luke.



Dijagram 2.6. Operativni podsustavi i procesi na zračnoj strani i u zračnom prostoru zračne luke

2.4.1. Proces kreiranja sekvence dolaznih zrakoplova

Proces je kreiranja sekvence dolaznih zrakoplova (engl. *Approach Sequence*) u nadležnosti prilazne kontrole zračnoga prometa koja pruža usluge kontrole i vođenja zrakoplova za sve kontrolirane letove u dolasku ili u odlasku s jednoga ili s više aerodroma [35]. Prilazna kontrola zračnoga prometa predstavlja integrativni čimbenik između oblasne kontrole zračnoga prometa i aerodromske kontrole zračnoga prometa.

Oblasna kontrola zračnoga prometa pruža usluge vođenja i nadzora na kontroliranim letovima na ruti do završne kontrolirane oblasti.

Prilazna kontrola zračnoga prometa pruža usluge vođenja i nadzora u dolasku i odlasku na/s aerodrom/a te svim ostalim letovima unutar završne kontrolirane oblasti, osim u slučajevima kada posebnim sporazumima nije drugačije dogovoreno. Završna kontrolirana oblast predstavlja jedan od najsloženijih volumena zračnoga prostora u kojem se nalazi jedna ili više zračnih luka. Oblik i veličina završne kontrolirane oblasti ovisi o broju zračnih luka unutar TMA, broju zračnih putova i rasporedu radionavigacijskih uređaja te vrsti i intenzitetu prometa. Na granicama završne kontrolirane oblasti nalaze se radionavigacijski uređaji od kojih zrakoplovi započinju proceduru prilaska aerodromu. Aerodromska kontrola zračnoga prometa ima nadležnost nad aerodromskim prometom, odnosno osigurava vođenje i nadzor nad zrakoplovima u slijetanju, polijetanju i na manevarskoj površini aerodroma te nad letovima u kontroliranoj zoni aerodroma. Kontrolirana zona zračne luke predstavlja dio zračnoga prostora koji se u pravilu prostire vertikalno od površine tla do određene granice te lateralno od središnje točke zračne luke do udaljenosti od najmanje 9,26 km (5 NM) u smjeru dolaska, odnosno odlaska zrakoplova.

U zračnim lukama za komercijalni zračni promet ponajprije se koriste postupci za instrumentalni prilaz i slijetanje. U danim okolnostima, ukoliko se ostvare operativni preduvjeti, operacije prilaza i slijetanja mogu se odvijati u vizualnim uvjetima, odnosno neinstrumentalno.

Operacije instrumentalnoga prilaza i slijetanja odvijaju se primjenom instrumenata, a temelje se na postupcima za instrumentalni prilaz i slijetanje. Postoje dvije vrste operacija instrumentalnoga prilaza i slijetanja:

- dvodimenzionalne operacije – kod njih se u procesu instrumentalnoga prilaza i slijetanja primjenjuje samo lateralno vođenje zrakoplova
- trodimenzionalne operacije – kod njih se u procesu instrumentalnoga prilaza i slijetanja primjenjuje lateralno i vertikalno vođenje zrakoplova.

Instrumentalni prilaz i slijetanje odvija se u nekoliko segmenata te se dijeli na:

- dolaženje (engl. *Arrival*)
- početno prilaženje (engl. *Initial Approach*)
- međuprilaženje (engl. *Intermediate Approach*)
- završno prilaženje (engl. *Final Approach*)
- neuspjelo prilaženje (engl. *Missed Approach*).

Instrumentalni prilaz zračnoj luci započinje s fazom dolaska zrakoplova koja podrazumijeva niz postupaka koje je potrebno izvršiti u prilazu između posljednjega radionavigacijskoga uređaja u nadležnosti oblasne kontrole zračnoga prometa i prvoga radionavigacijskoga uređaja u nadležnosti prilazne kontrole zračnoga prometa, odnosno fiksa inicijalnoga prilaza IAF²⁹.

Početno je prilaženje slijed obveznih radnja koje je potrebno obaviti u prilazu između fiksa inicijalnoga prilaza IAF i međufiksa (IF³⁰). Nadležnost je nad ovom operacijom zrakoplova na prilaznoj kontroli zračnoga prometa.

Međuprilaženje je dio postupka za instrumentalni prilaz i slijetanje od međufiksa, gdje završava proces početnoga prilaženja, do finalnoga prilaznoga fiksa (FAF³¹), gdje započinje proces završnoga prilaza. U ovoj fazi instrumentalnoga prilaza mora biti podešena konfiguracija zrakoplova za ulazak u završni prilaz.

Završno prilaženje predstavlja dio postupaka koje je potrebno provesti od završnoga prilaznoga fiksa do točke neuspjeloga prilaza (MAPt³²), a podrazumijeva usmjeravanja zrakoplova u smjeru uzletno-sletne staze i po ravnini poniranja.

²⁹ IAF – Initial Approach Fix

³⁰ IF – Intermediate fix

³¹ FAF – Final Approach Fix

³² MAPt – Missed Approach Point

Neuspjelo prilaženje (engl. *Missed Approach*) podrazumijeva točno određenu proceduru koju pilot zrakoplova mora slijediti ukoliko do određene visine ne ostvari vizualni kontakt s uzletno-sletnom stazom ili u fazi prilaza uzletno-sletnoj stazi nema odgovarajući smjer ili brzinu (ili oboje). Ova procedura omogućuje pilotu da dosegne određenu točku u prostoru s koje može sigurno ponoviti prilaz uzletno-sletnoj stazi i sletjeti ili, ako to nije moguće, nastaviti let prema alternativnoj zračnoj luci.

Određivanje sekvence dolaznih zrakoplova predstavlja jedan od osnovnih zadataka prilazne kontrole zračnoga prometa. Optimalna će sekvenca dolaznih zrakoplova osigurati maksimalan protok zračnoga prometa uz minimalnu razinu kašnjenja. Prilazna kontrola zračnoga prometa određuje sekvencu dolaznih zrakoplova prema načelu „tko prvi dođe, bit će prvi i uslužen”. Prema pravilniku o letenju izuzetak od navedenoga pravila predstavljaju sljedeći letovi [43]:

- letovi kod kojih je pilot objavio stanje nužde ili je stanje nužde očigledno, uključujući letove koji su predmetom nezakonitoga ometanja ili im nezakonito ometanje neposredno prijeti (STS/EMER);
- letovi hrvatskih vojnih zrakoplova u svrhu zaštite suvereniteta Republike Hrvatske (STS/PROTECTED);
- letovi kojima se prevoze oboljele ili ozlijeđene osobe i kojima je potrebna hitna medicinska pomoć, uključujući letove u svrhu pružanja hitne medicinske pomoći oboljelim ili ozlijeđenim osobama, kao i letove kojima se prevoze transplantati, krv i lijekovi, uključujući i letove koji se izvršavaju kako bi se u mjestu odredišta zrakoplova ukrcali pacijenti, lijekovi, transplantati ili krv (STS/HOSP);
- letovi u svrhu potrage i spašavanja te u humanitarne svrhe (STS/SAR/HUM);
- letovi kojima se prevoze poglavari država (STS/HEAD) i letovi kojima se prevoze predsjednici vlada i drugi državni dužnosnici koji imaju utvrđen takav povlašteni status (STS/STATE);
- promatrački letovi na temelju međunarodnih sporazuma koji obvezuju Republiku Hrvatsku;
- letovi koji podliježu mjerama za upravljanje protokom zračnoga prometa.

2.4.2. Proces vožnje zrakoplova na zračnoj strani

Vožnja zrakoplova predstavlja operaciju kretanja zrakoplova na aerodromu na zemlji od jednoga položaja do drugoga. Operacija vožnje zrakoplova odvija se na voznim stazama zračne luke, a kretanje zrakoplova ostvaruje se motorima zrakoplova ili upotrebom vozila za vuču zrakoplova. Kod konvencionalnih operacija kretanje zrakoplova između parking pozicije i uzletno-sletne staze ostvaruje se motorima zrakoplova. Izuzetak predstavlja slučaj u kojem je zrakoplov parkiran na poziciju s izguravanjem kada se koristi vozilo za vuču/izguravanje, i to u dijelu izlaska zrakoplova s pozicije. Također, u slučajevima u kojima je zbog tehničkoga kvara potrebno premjestiti zrakoplov na drugu poziciju ili hangar, koristi se vozilo za vuču/izguravanje.

Pored navedenih sustava kretanje bi zrakoplova po voznim stazama u budućnosti trebalo biti moguće uz upotrebu „pogonskoga sustava instaliranoga u nosnom kotaču zrakoplova”. Sustav je trenutačno u testnoj fazi, a rezultati su ukazali na to kako je moguće na ovaj način ostvariti kretanje zrakoplova [44].

U kontekstu dolaznih i odlaznih operacija proces vožnje zrakoplova na zemlji može se podijeliti na: vožnju zrakoplova u dolasku i vožnju zrakoplova u odlasku. Vožnja zrakoplova u dolasku čini kretanje zrakoplova od trenutka prelaska pozicije za čekanje (engl. *Runway Holding Point*) na izlaznoj voznoj stazi uz uzletno-sletnu stazu do parkiranja zrakoplova na određenu poziciju na stajanci zračne luke. Vožnja zrakoplova u odlasku čini kretanje zrakoplova od trenutka izlaska zrakoplova s pozicije (bilo uz uporabu opreme za izguravanje ili samostalno) do ulaska zrakoplova na uzletno-sletnu stazu. U zimskim uvjetima, ukoliko se odleđivanje i zaštita zrakoplova protiv zaleđivanja provodi na posebnoj stajanci namijenjenoj toj operaciji, u vrijeme vožnje mora se pridodati vrijeme potrebno za operaciju odleđivanja, odnosno zaštite zrakoplova protiv zaleđivanja.

U ukupno je vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku potrebno uključiti i vrijeme koje zrakoplov provede na poziciji za čekanje sve dok ne dobije odobrenje od strane kontrole zračnoga prometa za izlazak na uzletno-sletnu stazu. Prema metodologiji definiranoj u A-CDM priručniku [17] vrijeme koje zrakoplov provede na poziciji za čekanje mjeri se kao nezavisni indikator te ulazi u ukupno vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji.

U načelu je operacija vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku zbog navedenih čimbenika složenija i vremenski traje duže nego operacija vožnje zrakoplova u dolasku.

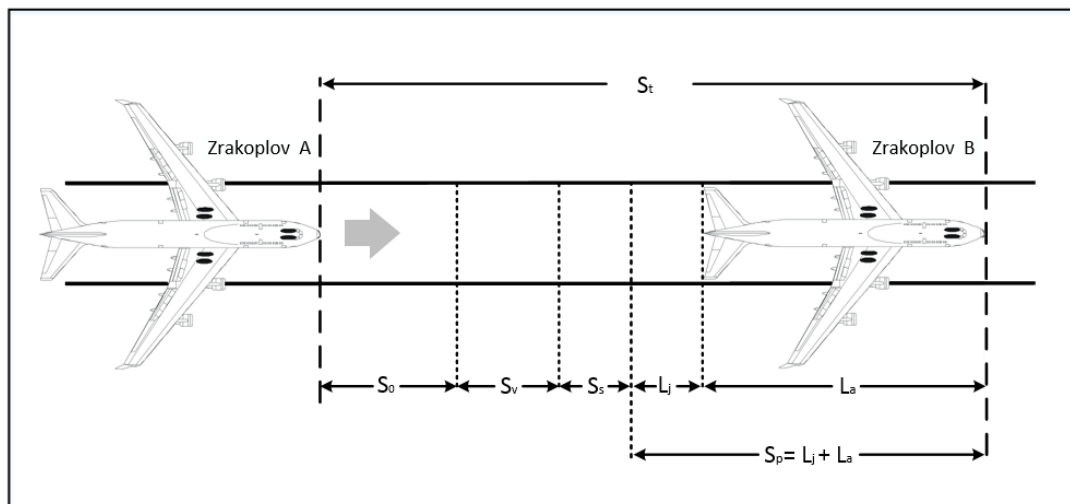
Na velikim zračnim lukama aerodromska kontrola zračnoga prometa osigurava vođenje i nadzor zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi, voznim stazama i stajanci s izuzetkom samoga parkiranja zrakoplova na poziciju.

Parkiranje zrakoplova omogućuju odgovarajuća tehnička pomagala ili operativno osoblje zračne luke koje vizualnim signalima navodi kapetana zrakoplova na poziciju.

Na regionalnim zračnim lukama (kategorija C i D) aerodromska kontrola zračnoga prometa osigurava vođenje i nadzor nad zrakoplovima na voznim stazama, dok su dolazne operacije zrakoplova na stajanci u nadležnosti aerodromskoga poduzeća. U načelu, u takvom sustavu aerodromska kontrola zračnoga prometa osigurava vođenje i nadzor nad zrakoplovom u dolasku do ruba stajanke, a nakon toga zrakoplov prelazi u nadležnost aerodromskoga poduzeća. Upotrebom odgovarajućega *follow me* vozila operativno osoblje zračne luke (*parker/starter*) osigurava vođenje i nadzor nad zrakoplovom u dolasku. U završnom segmentu operativno osoblje upotrebom vizualnih signala omogućava ulazak i parkiranje zrakoplova na poziciju. Na zračnim lukama s visokom razinom prometa zrakoplov se u dolasku kreće po manevarskoj površini i stajanci zračne luke bez navođenja *follow me* vozila, već aerodromska kontrola zračnoga prometa osigurava vođenje i nadzor.

Ukoliko je zračna luka opremljena instrumentima za završno navođenje zrakoplova na poziciju (AGNIS³³, APIS³⁴, APS³⁵, AIRPARK), kapetan zrakoplova samostalno navodi zrakoplov na odgovarajuću poziciju [20].

Proces vožnje zrakoplova na zemlji pored navedenih procedura ima određena sigurnosna ograničenja u segmentu razdvajanja između pojedinih zrakoplova na voznim stazama, a koja su propisana međunarodnom regulativom i internim procedurama pojedinih zračnih luka. ICAO u dokumentu [45] definira elemente na temelju kojih je moguće izračunati minimalnu longitudinalnu separaciju između dvaju zrakoplova na voznim stazama koji se kreću u istom smjeru (Slika 2.6.).



Slika 2.6. Elementi longitudinalne separacije između dvaju zrakoplova koji se kreću u istom smjeru na voznim stazama

Izvor: [45]

Minimalnu je longitudinalnu separaciju između dvaju zrakoplova na voznim stazama koji se kreću u istom smjeru moguće izračunati upotrebom sljedeće formule:

$$S_t = S_0 + S_v + S_s + L_j + L_a, \quad (2.32.)$$

gdje je:

S_t – minimalna longitudinalna separacija

S_0 – udaljenost na kojoj je ostvarena detekcija

S_v – udaljenost potrebna za kočenje

³³ AGNIS – Azimuth Guidance for Nose-in Stands

³⁴ APIS – Aircraft Positioning and Information System

³⁵ APS – Aircraft Positioning System

S_s – sigurnosni razmak

L_j – udaljenost iza zrakoplova koja se mora osigurati kako bi se izbjegli negativni učinci mlaza motora

L_a – duljina zrakoplova.

Pored navedenih elementa pri izračunu je longitudinalnoga razdvajanja potrebno poznavati i brzine kojima se zrakoplovi kreću, njihovu specifičnu deceleraciju, vrijeme reakcije pilota i kontrolora, vrijeme reakcije zrakoplovnih sustava.

Prema određenim istraživanjima razdvajanje između dvaju zrakoplova koji se kreću u istom smjeru na voznim stazama iznosi 50 m [46], a kontrola zračnoga prometa mora osigurati da se u istom trenutku na jednoj voznoj stazi ne nađu dva zrakoplova koji se kreću u suprotnim smjerovima. Razdvajanje između dvaju ili više zrakoplova na križanjima voznih staza osiguravaju dnevne i noćne oznake međupozicija za čekanje. Standardna brzina vožnje zrakoplova na voznim stazama kreće se do 30 km/h. Brzina ovisi o radijusima skretanja, stanju kolnika i meteorološkim uvjetima na zračnoj luci te o dobu dana.

Vođenje i nadzor zrakoplova u zračnoj luci aerodromska kontrola zračnoga prometa ostvaruje vizualno i putem sekundarnoga (engl. *Secondary Surveillance Radar*) i zemaljskoga radara (engl. *Ground Radar*), ako postoji. Od 2004. godine u razvoju je A-SMGCS³⁶ sustav koji kombinira informacije iz navedenih radarskih sustava s GPS pozicijom zrakoplova, pritom omogućava rutiranje, vođenje i nadzor zrakoplova i vozila/opreme na manevarskoj površini i stajanci zračne luke [45]. Koncept je podijeljen na četiri razine, a najviša razina omogućuje rješavanje konfliktnih situacija i automatizirano planiranje i usmjeravanje zrakoplova.

Cilj A-SMGCS sustava jest reducirati broj nezgoda koje se javljaju na manevarskoj površini zračne luke, smanjiti vrijeme vožnje zrakoplova, povećati kapacitet i protočnost prometa na manevarskoj površini zračne luke te posljedično smanjiti emisije štetnih plinova.

Ovisno o infrastrukturnim elementima na zračnoj strani zračne luke proces vožnje može se podijeliti na vožnju zrakoplova na: uzletno-sletnoj stazi, voznim stazama i stajanci.

Vrijeme koje zrakoplov provede u procesu vožnje nije jednoznačno određeno, već ovisi o cijelom nizu čimbenika: konfiguraciji voznih staza, vrsti i tipu zračne luke, vrsti i razini prometa u zračnoj luci, stanju kolnika voznih staza, vrsti i tipu zrakoplova koji koriste zračnu luku, operativnim procedurama u zračnoj luci, operativnim procedurama zračnoga prijevoznika, vremenskim uvjetima koji vladaju u zračnoj luci itd.

U pravilu, zračne luke s nižom razinom prometa imaju kraće vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji nego velike, odnosno čvorne zračne luke.

³⁶ ASMGCS – Advanced Surface Movement Guidance and Control System

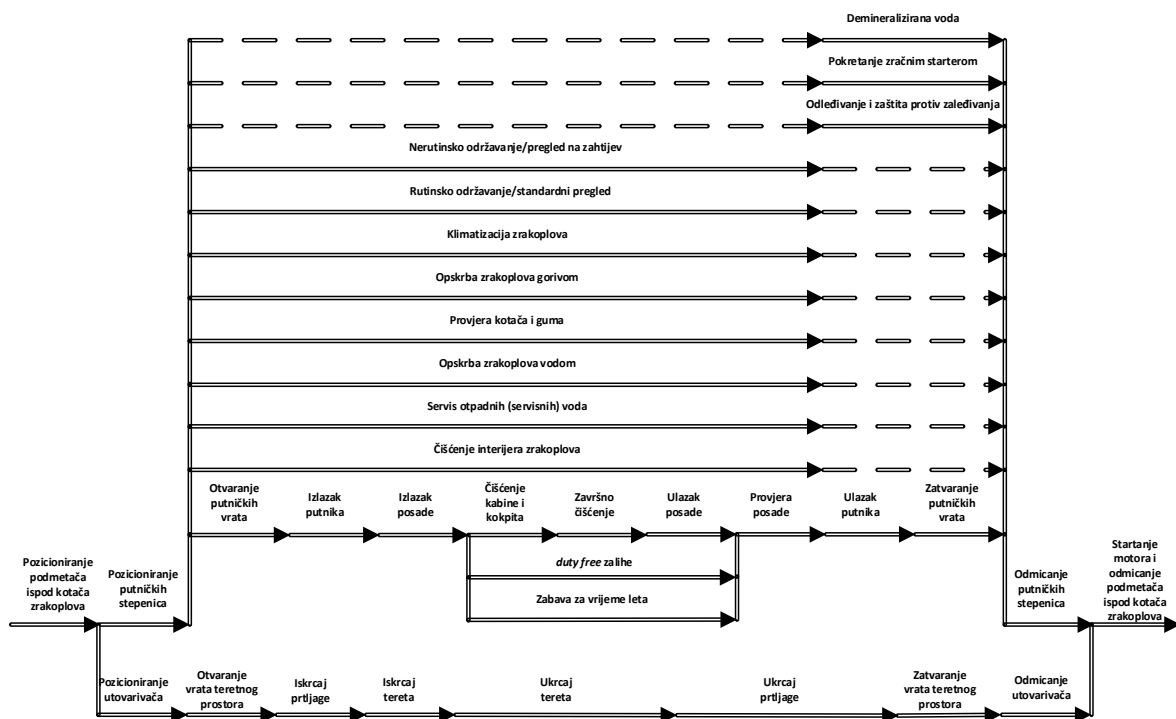
Operativno promatrano cilj je zračne luke predvidjeti potrebno vrijeme za vožnju zrakoplova te minimizirati vrijeme koje zrakoplov provede u procesu vožnje.

U praksi je vrlo složeno predvidjeti vrijeme vožnje zrakoplova, što u pojedinim slučajevima može utjecati na kašnjenje zrakoplova, kako unutar sustava zračne luke tako i na ukupno kašnjenje zrakoplova u određenom operativnom danu.

2.4.3. Proces prihvata i otpreme zrakoplova

Prihvat i otprema zrakoplova (engl. *Ramp Handling*) predstavlja tehnološki proces koji uključuje niz operativnih procedura, kao i odgovarajuće osoblje i opremu. Cjelokupni se proces odvija na unaprijed definiranoj parkirnoj poziciji na stajanci zračne luke. U okviru tehnološkoga procesa potrebno je obaviti određene aktivnosti kako bi zrakoplov završio jedan let ili dionicu leta, a započeo drugi let ili dionicu leta. Planiranje i odvijanje procesa prihvata i otpreme zrakoplova može biti u nadležnosti zračne luke, zračnoga prijevoznika, specijalizirane tvrtke vezane uz zračnu luku i specijalizirane tvrtke vezane uz zračnoga prijevoznika [47].

Tehnologija prihvata i otpreme zrakoplova s obzirom na predmet prijevoza dijeli se na: tehnologiju prihvata i otpreme putničkoga zrakoplova (Slika 2.7.) i tehnologiju prihvata i otpreme teretnoga zrakoplova. Tehnologija prihvata i otpreme putničkoga zrakoplova s obzirom na tip prijevoznika razlikuje: redovite zračne prijevoznike (konvencionalne, niskotarifne), izvanredne (povremene) zračne prijevoznike i generalnu avijaciju.



Slika 2.7. Prikaz slijeda aktivnosti tehnološkoga procesa prihvata i otpreme putničkoga zrakoplova

Izvor: [47]

Proces se sastoji od određenoga broja aktivnosti koje je potrebno provesti na zrakoplovu u unaprijed definiranom vremenskom periodu (engl. *Block Time*). Pritom tehnologija prihvata i otpreme zrakoplova vremenski i prostorno integrira aktivnosti koje je potrebno provesti na zrakoplovu.

Aktivnosti koje je potrebno provesti u okviru procesa prihvata i otpreme putničkoga zrakoplova mogu se grupirati u tri osnovne skupine: aktivnosti vezane uz putničku kabinu, aktivnosti vezane uz prtljažno-teretne prostore te aktivnosti vezane uz servis zrakoplova (Slika 2.7.). Tehnologija prihvata i otpreme teretnoga zrakoplova uključuje aktivnosti vezane uz teret, poštu i servis zrakoplova.

Aktivnosti u procesu prihvata i otpreme zrakoplova odvijaju se prema unaprijed utvrđenom redoslijedu. Pritom se određene aktivnosti odvijaju u sljedovima (izlazak putnika-čišćenje zrakoplova-ulazak putnika), vezane uz jedan prostor (u ovom slučaju putničku kabinu), dok se druge aktivnosti odvijaju paralelno (izlazak/ulazak putnika i iskrcaj/ukrcaj tereta/pošte). Kod aktivnosti koje se odvijaju u slijedu nove aktivnosti ne mogu započeti dok prethodne nisu završene (u putničkoj kabini, u teretno-prtljažnim prostorima), što nije slučaj s paralelnim aktivnostima koje se mogu odvijati istovremeno.

Potrebno je napomenuti kako se određene aktivnosti, iako su u priručnicima proizvođača zrakoplova prikazane neovisno jedna o drugoj, operativno zbog zakonskih ograničenja ne mogu istovremeno odvijati. Tako se npr. punjenje zrakoplova gorivom ne smije odvijati paralelno s izlaskom/boravkom u putničkoj kabini/ulaskom putnika zbog sigurnosne regulative, odnosno u određenim je slučajevima to moguće uz zadovoljenje propisanih uvjeta [48]. Zbog higijenskih zahtjeva punjenje zrakoplova vodom i ispušavanje otpadnih voda ne smije se odvijati paralelno [49].

Složenost tehnologije prihvata i otpreme zrakoplova ovisi o vrsti i tipu zrakoplova, a očituje se u broju aktivnosti koje je potrebno provesti na zrakoplovu. Ukupno vrijeme koje je potrebno za prihvata i otpremu zrakoplova definirano je „kritičnim aktivnostima” i brojem, odnosno vrstom aktivnosti. „Kritične aktivnosti” one su aktivnosti kod kojih nema „zalihe vremena” pa ih proizvođač zrakoplova posebno označava u svojim priručnicima.

Kašnjenje će bilo koje kritične aktivnosti dovesti do kašnjenja cjelokupnoga procesa prihvata i otpreme zrakoplova. Stoga vrijeme prihvata i otpreme zrakoplova isključivo ovisi o aktivnostima koje se nalaze na kritičnom putu.

Vrijeme je prihvata i otpreme zrakoplova definirano vrstom i tipom zrakoplova, odnosno leta, zahtjevima zračnoga prijevoznika, kao i operativnim ograničenjima koja se provode u specifičnoj zračnoj luci. U načelu, zrakoplovi niskotarifnih zračnih prijevoznika imaju kraća vremena prihvata i otpreme zrakoplova u odnosu na konvencionalne (tradicionalne) zračne prijevoznike. Prihvata i otprema zrakoplova niskotarifnoga zračnoga prijevoznika uključuje manji broj aktivnosti, prijevoznici ograničavaju broj predane prtljage, dok zrakoplovi nemaju poslovnu klasu i lete većinom na kontinentalnim linijama.

Vrijeme prijvata i otpreme zrakoplova kreće se u prosjeku od dvadesetak minuta, koliko je potrebno za prihvat i otpremu zrakoplova niskotarifnoga zračnoga prijevoznika, do nekoliko sati, koliko je potrebno za prihvat i otpremu zrakoplova konvencionalnoga (tradicionalnoga) zračnoga prijevoznika na interkontinentalnim linijama.

U praksi se razlikuju vremena koja definira proizvođač zrakoplova i stvarna vremena koja su uvjetovana navedenim ograničenjima. Proizvođač zrakoplova definira vremena prijvata i otpreme zrakoplova na temelju eksperimenata i analize u strogo kontroliranim uvjetima te su ta vremena u prosjeku nešto manja nego vremena koja se javljaju u praksi.

Ciljem je tehnološkoga procesa, koji se odvija na stajanci zračne luke, prihvatiti i otpremiti zrakoplov u planiranom vremenu predviđenim redom letenja uz zadovoljenje propisanih sigurnosnih norma.

2.4.4. Proces kreiranja sekvence odlaznih zrakoplova

Proces kreiranja sekvence odlaznih zrakoplova teoretski započinje od trenutka završetka procesa prijvata i otpreme zrakoplova (OBT³⁷), a uključuje vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku i moguće vrijeme koje zrakoplov provede u procesu odleđivanja i zaštite protiv zaleđivanja, ako se provodi u zračnoj luci. Trenutačno većina regionalnih zračnih luka operativno provodi proces kreiranja sekvence odlaznih zrakoplova po principu „tko prvi dođe, biva i prvi uslužen“ (FCFS). Trenutačni sustav upravljanja odlaznim operacijama zrakoplova podrazumijeva da se sekvenca odlaznih zrakoplova kreira na temelju redoslijeda dolazaka zrakoplova na poziciju za čekanje uz uzletno-sletnu stazu. Na regionalnim zračnim lukama, u postojećem generičkom sustavu upravljanja, kontrola zračnoga prometa ne može izraditi optimalnu sekvencu odlaznih zrakoplova jer ne posjeduje informacije o vremenu dolaska zrakoplova na poziciju za čekanje.

Osnovni je nedostatak trenutačnoga sustava upravljanja odlaznim operacijama zrakoplova neodgovarajuća komunikacija između partnera, kontrole zračnoga prometa i operatora zračne luke, odnosno specijalizirane tvrtke za prihvat i otpremu zrakoplova.

Rezultat je trenutačnoga sustava upravljanja odlaznim operacijama čekanje zrakoplova u odlasku koje se javlja na voznim stazama neposredno prije izlaska zrakoplova na uzletno-sletnu stazu.

³⁷ OBT – Off-Block Time

3.ANALIZA KAŠNJENJA U ZRAČNOM PROMETU

Odvijanje operacija zrakoplova na vrijeme u sustavu zračnoga prometa ponajprije ovisi o kapacitetu sustava zračnoga prometa zajedno s njegovim podsustavima (zračne luke, kontrola zračnoga prometa i zračni prijevoznici), prometnoj potražnji u određenom vremenskom periodu te o operativnom sustavu upravljanja i koordinaciji između pojedinih subjekata, a mjeri se u minutama kašnjenja u odnosu na specifičnu operaciju zrakoplova. Kašnjenje se u sustavu zračnoga prometa može promatrati s aspekta pojedinoga entiteta, odnosno pojedine operacije zrakoplova u specifičnom podsustavu.

Prema definiciji kašnjenje nastaje kada se planirana aktivnost ne realizira u planirano vrijeme [50]. Kašnjenje predstavlja vremenski interval između planiranoga vremena u kojem se određena aktivnost trebala odviti i stvarnoga vremena u kojem se ta aktivnost odvila. Također, kašnjenje se može razmatrati kao odstupanje od odgovarajućega vremenskoga okvira. Kontrola zračnog prometa za planirano vrijeme određene aktivnosti definira vremenski okvir (-5 + 10 minuta), i tada kašnjenje predstavlja odstupanje između vremenskoga okvira planiranoga vremena i stvarnoga vremena u kojem se ta aktivnost odvila. U načelu, kašnjenje uvijek ima pozitivan predznak.

Kašnjenje zrakoplova u sustavu zračnoga prometa ima stohastički karakter, u većini ga je slučajeva nemoguće predvidjeti, kao i njegovo trajanje te utjecaj na odvijanje operacije zrakoplova.

Problem kapaciteta zračne luke na razini mreže može se razmatrati kroz segment kašnjenja zrakoplova. Problem je kašnjenja zrakoplova izravna posljedica nedostatka kapaciteta u pojedinim segmentima sustava zračnoga prometa te neodgovarajuće komunikacije i koordinacije između pojedinih subjekata, od faze planiranja do realizacije pojedinoga leta. Kapacitet pojedinoga podsustava zračnoga prometa ponajprije ovisi o infrastrukturi, ali i o operativnom osoblju i odgovarajućim sustavima i opremi. Na kašnjenje zrakoplova mogu utjecati i različiti varijabilni elementi poput meteoroloških uvjeta koji imaju stohastički karakter te ih je u većini slučajeva nemoguće unaprijed predvidjeti.

Kašnjenje zrakoplova može nastati u svim fazama leta zrakoplova, kao i u fazi kretanja i boravka zrakoplova u zračnoj luci. Glavni je indikator koji ukazuje na to da je određeno kašnjenje nastalo nepodudaranje stvarnoga s planiranim vremenom pojedine operacije zrakoplova.

Prema IATA-inoj metodologiji, a s aspekta zračne luke i zračnih prijevoznika, sva kašnjenja koja se javljaju u sustavu zračnoga prometa mogu se podijeliti na: primarna i reaktivna kašnjenja. Primarna se kašnjenja mogu definirati kao inicijalna kašnjenja, odnosno ona kašnjenja na koja nisu utjecala kašnjenja s prethodnih letova. Ovakav tip kašnjenja može biti različit i ovisi o trenutačnom stanju u pojedinom podsustavu zračnoga prometa. Reaktivna kašnjenja nastaju kao posljedica kašnjenja s prethodnoga leta te se dalje prenose u mrežu zračnoga prometa.

Ovakav tip kašnjenja naziva se još i „akumulirano kašnjenje“ [51]. Uzrokom kašnjenja s prethodnoga leta mogu biti primarna kašnjenja ili reaktivna kašnjenja koja su se prenijela s prethodnih letova.

Na globalnoj se razini za analizu i mjerenje kašnjenja zrakoplova u sustavu zračnoga prometa operativno upotrebljavaju IATA kodovi kašnjenja (engl. *IATA Delay Codes*), a na razini Europe koriste se još i EUROCONTROL kodovi kašnjenja. EUROCONTROL-ovi kodovi kašnjenja primarno su usmjereni na kašnjenja koja nastaju u sustavu kontrole zračnoga prometa [50]. Korelacija je između IATA i EUROCONTROL kodova kašnjenja prikazana u Prilogu 4. Uz navedene kodove pojedini zračni prijevoznici koriste i vlastite kodove kojima bilježe vrstu i tip te vremena kašnjenja zrakoplova. Pojedini zračni prijevoznici pored navedenih kodova koriste i vlastite kodove zato što mogu opisati pojedine specifičnosti koje se javljaju u partikularnom procesu te posljedično analizirati kašnjenja. Kodovi su zračnih prijevoznika znatno složeniji nego IATA kodovi kašnjenja te često sadrže niz potkodova koji su vezani uz specifične aktivnosti pojedinoga zračnoga prijevoznika. Upotrebom odgovarajućih potkodova mogu se detaljno opisati slučajevi u kojima je nastalo kašnjenje. Broj je zračnih prijevoznika koji koriste vlastite kodove kojima bilježe kašnjenja izrazito mali te neće biti dijelom daljnje analize. Daljnja će se analiza temeljiti na IATA kodovima jer odgovarajuće opisuju kašnjenja koja mogu nastati u procesima koji se odvijaju u okviru aerodromskoga sustava.

IATA je, kako bi potaknula usklađeno izvještavanje između zračnih prijevoznika, objavila standardizirani sustav kodova koji opisuju vrstu i tip kašnjenja s obzirom na uzrok nastanka, a koji je objavljen u aerodromskom priručniku (engl. *Airport Handling Manual*).

IATA strukturira kodove kašnjenja u dvanaest osnovnih skupina s obzirom na uzrok kašnjenja (Tablica 3.1.).

Tablica 3.1. Prikaz IATA kodova kašnjenja prema skupinama kašnjenja

IATA KOD	DEFINICIJA KODA
0 – 9	Ostalo i interni kodovi zračnih prijevoznika
11 – 18	Prihvat i otprema putnika i prtljage
21 – 29	Prihvat i otprema robe i pošte
21 – 39	Prihvat i otprema zrakoplova
41 – 48	Tehnički problemi i zrakoplovna oprema
51 – 58	Oštećenja na zrakoplovu i kvar automatiziranih uređaja
61 – 69	Operacije zrakoplova i posada
71 – 77	Meteorološki uvjeti
81 – 84	Nedostatan kapacitet zračnoga prostora
84 – 89	Zrakoplovne vlasti
91 – 96	Reaktivno kašnjenje
97 – 99	Razno

Izvor: [52]

Unutar prikazanih skupina kašnjenja su nadalje podijeljena s obzirom na specifične uzroke kašnjenja. Primjerice, kodovi u skupinama 11 – 18 ukazuju na to kako je kašnjenje nastalo u segmentu prijema i otpreme putnika i prtljage, dok IATA kod 15 ukazuje na to kako je kašnjenje nastalo u procesu ulaska putnika u zrakoplov. Pojam je reaktivnoga kašnjenja vezan uz zakašnjeni dolazak zrakoplova s prethodnoga leta ili prethodne dionice leta, što uzrokuje daljnje kašnjenje istoga ili drugoga zrakoplova u odlasku.

U IATA kodovima kašnjenja reaktivno kašnjenje čine kodovi 91–96. Postoji šest vrsta reaktivnoga kašnjenja koja su sljedeća:

- prvi slučaj – zakašnjeni dolazak tereta s prethodnoga leta dovodi do kašnjenja istoga ili drugoga zrakoplova u odlasku na sljedećem letu ili dionici leta (IATA kod 91);
- drugi slučaj – javlja se kašnjenje putnika ili prtljage s transferno/tranzitnoga šaltera, što dovodi do kašnjenja zrakoplova u odlasku (IATA kod 92);
- treći slučaj – zrakoplov kasni u dolasku, što dovodi do kašnjenja istoga zrakoplova na sljedećem letu ili dionici leta (IATA kod 93);
- četvrti slučaj – zakašnjeni dolazak zrakoplova s prethodnoga leta posljedično djeluje na odlazni let i to kroz segment kašnjenja kabinskoga osoblja (IATA kod 94);
- peti slučaj – zakašnjeni dolazak zrakoplova s prethodnoga leta ima utjecaj na odlazni let i to kroz segment kašnjenja posade (letačke ili cjelokupne posade) (IATA kod 95);
- šesti slučaj – zrakoplov s prethodnoga leta kasni zbog preusmjerenja, skretanja (engl. *Diversion*), konsolidacije (engl. *Consolidation*) ili drugih promjena koje nisu tehničke prirode, što dovodi do kašnjenja zrakoplova u odlasku na sljedećem letu ili dionici leta.

Reaktivno kašnjenje ima znatan utjecaj na odvijanje zrakoplovnih operacija na vrijeme unutar mreže zračnoga prometa. Problem koji se javlja pri analizi navedenoga kašnjenja jest taj što se ne bilježi stvaran uzrok kašnjenja, već reaktivno kašnjenje ukazuje na to da je došlo do poremećaja u mreži zračnoga prometa.

3.1. Kašnjenja na razini Europe

Na razini je Europe, u okviru Europske organizacije za sigurnost zračne plovidbe, 2002. godine uspostavljen središnji ured za analizu kašnjenja (CODA³⁸) koji analizira i obrađuje podatke o kašnjenjima koja su nastala u državama članicama Europske konferencije civilnoga zrakoplovstva (ECAC³⁹). Cilj je središnjega ureda EUROCONTROL-a za analizu kašnjenja pružiti svim relevantnim sudionicima u europskom sustavu zračnoga prometa provjerene i sveobuhvatne informacije o trenutačnom stanju u pogledu kašnjenja.

Statistike se temelje na dobrovoljnom sustavu izvješćivanja, ponajprije od strane zračnih prijevoznika, ali i zračnih luka i pružatelja usluga u zračnoj plovidbi.

³⁸ CODA – Central Office for Delay Analysis

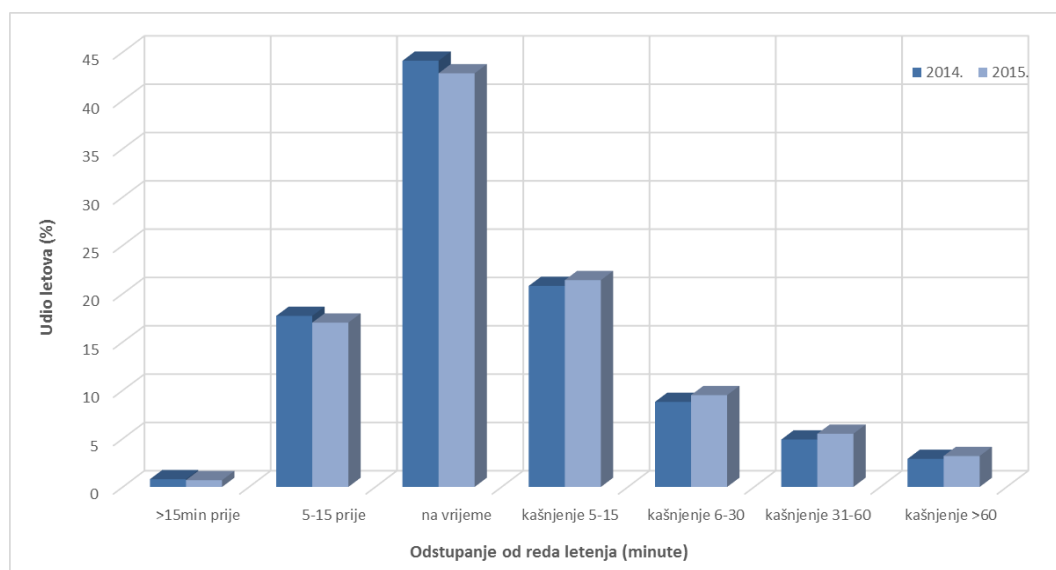
³⁹ ECAC – European Civil Aviation Conference

Prema definiranom će planu nacionalna tijela, zračne luke i zračni prijevoznici morati dostavljati podatke središnjem uredu za mjerenje kašnjenja, koji su sljedeći [53]:

- ATC pozivni znak zrakoplova, pravila letenja (IFR/VFR) vrsta leta (u skladu s planom leta)
- registracija zrakoplova i tip zrakoplova
- polazna i odredišna zračna luka
- vremena predviđena prema rasporedu
- stvarna OOOI vremena
- trajanje kašnjenja
- uzrok kašnjenja (do pet znakova)
- uzletno-sletna staza
- pozicija za parkiranje
- provođenje odleđivanja zrakoplova i zaštita protiv zaleđivanja
- stvarno vrijeme otkaza
- dobrovoljni podatci (potrošnja goriva, težina i sl.).

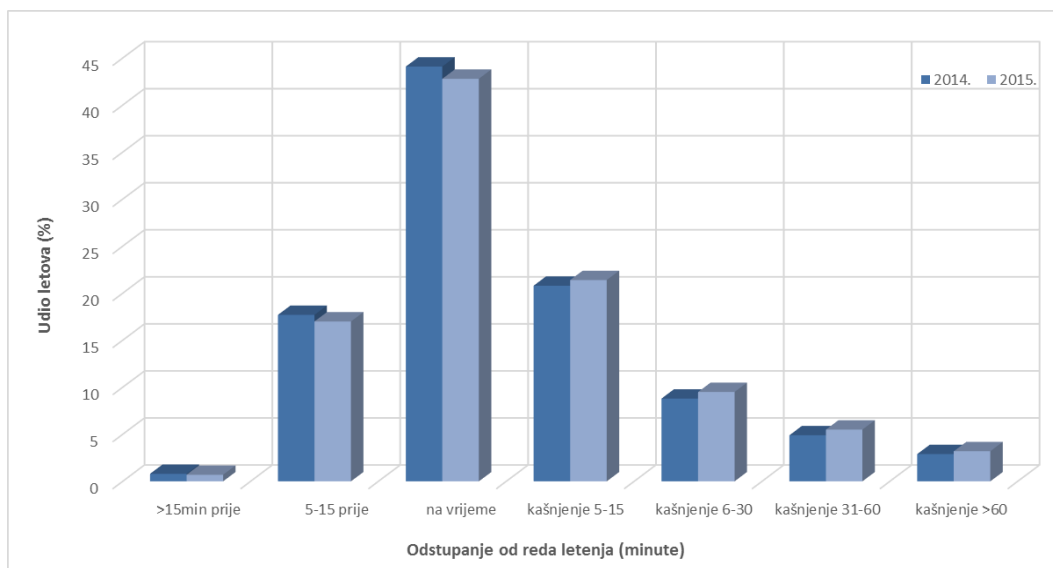
Središnji ured za analizu kašnjenja definira odstupanje od reda letenja ukoliko stvarno vrijeme dolaska/odlaska na/s pozicije se nalazi izvan vremenskog okvira -5min/+5min u odnosu na predviđeno vrijeme dolaska/odlaska zrakoplova.

Podatci Središnjega ureda za analizu kašnjenja ukazuju na to kako u sustavu zračnoga prometa Europe prosječno vrijeme kašnjenja (u 2015. godini) iznosi 10,4 minute po letu (za sve uzroke), prema podacima prikupljenima od strane zračnih prijevoznika. CODA zasebno obrađuje problematiku odstupanja od reda letenja kod dolaznih i odlaznih letova te ih dijeli u sedam skupina ovisno o vremenskom intervalu (Grafikon 3.1. i 3.2.).



Grafikon 3.1. Prikaz odstupanja od reda letenja kod dolaznih operacija zrakoplova

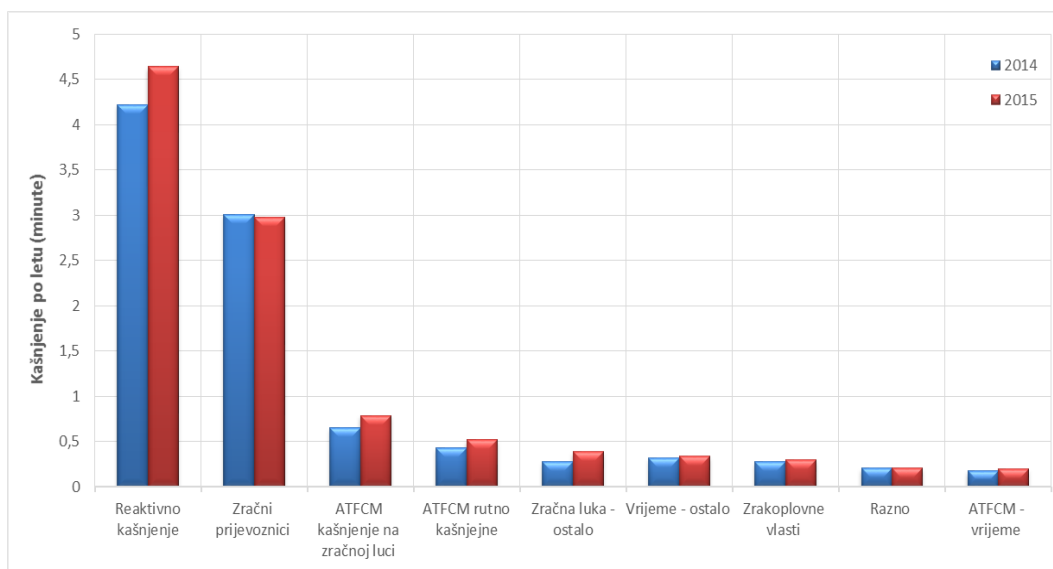
Izvor: [50]



Grafikon 3.2. Prikaz odstupanja od reda letenja kod odlaznih operacija zrakoplova
Izvor: [50]

Provedena se analiza temelji na 69 % komercijalnih letova unutar ECAC-a, a ukazuje na to kako se više od polovine obrađenih letova odvija na vrijeme ili prije planiranoga vremena. Najznačajnija su kašnjenja, koja su prisutna u europskom sustavu zračnoga prometa, zabilježena u vremenskom intervalu kašnjenja 5–15 minuta u odnosu na planirano vrijeme prema redu letenja.

Najveći udio u ukupnom kašnjenju zrakoplova po pojedinom letu za 2015. godinu čini reaktivno kašnjenje i iznosi 4,64 minute. Zatim slijedi kašnjenje koje unosi zračni prijevoznik od 2,98 minute, kapacitet zračnoga prostora zračne luke s 0,79 minute, kašnjenje prouzrokovano meteorološkim uvjetima od 0,34 minute itd. (Grafikon 3.3.).

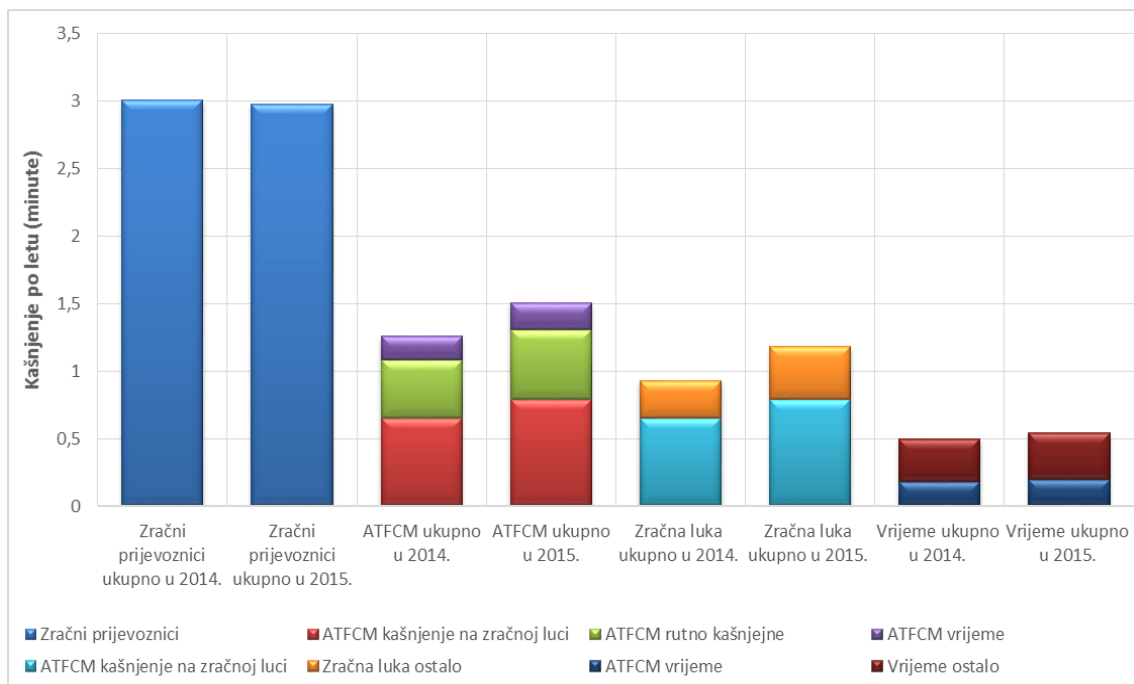


Grafikon 3.3. Odnos kašnjenja u zračnom prometu država članica ECAC-a koji je izražen u minutama po letu za 2014. i 2015. godinu
Izvor: [50]

Ukupno se kašnjenje u zračnom prometu može promatrati s aspekta četiriju glavnih čimbenika koji generiraju kašnjenje, a to su:

- zračni prijevoznik
- kontrola zračnoga prometa (aerodromska, prilazna i oblasna)
- zračne luke
- meteorološke prilike.

Na Grafikonu 3.4. prikazan je odnos četiriju glavnih čimbenika koji utječu na kašnjenja u zračnom prometu u 2015. godini te trend u odnosu na 2014. godinu prema podacima koje su prikupili zračni prijevoznici.



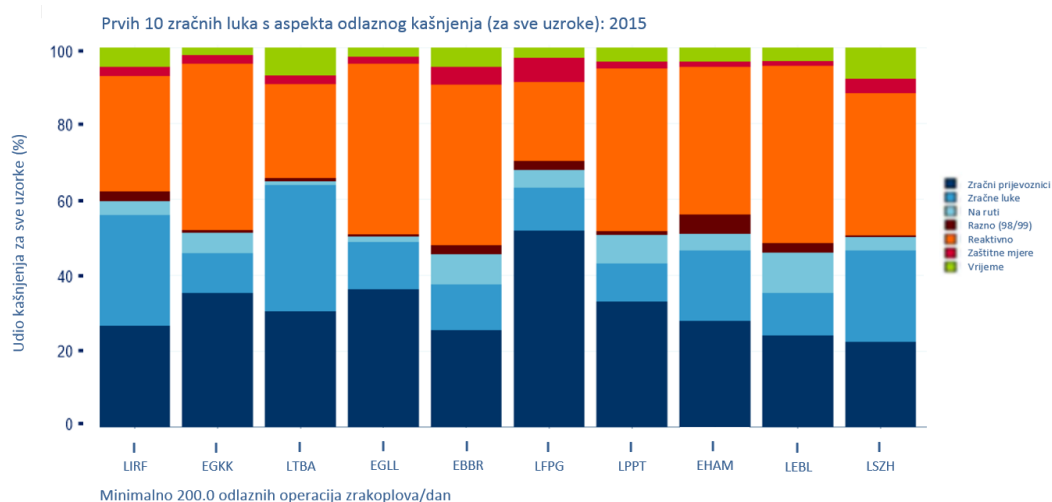
Grafikon 3.4. Odnos četiriju glavnih čimbenika koji utječu na kašnjenja u zračnom prometu država članica ECAC-a, koji je izražen u minutama za 2014. i 2015. godinu

Izvor: [50]

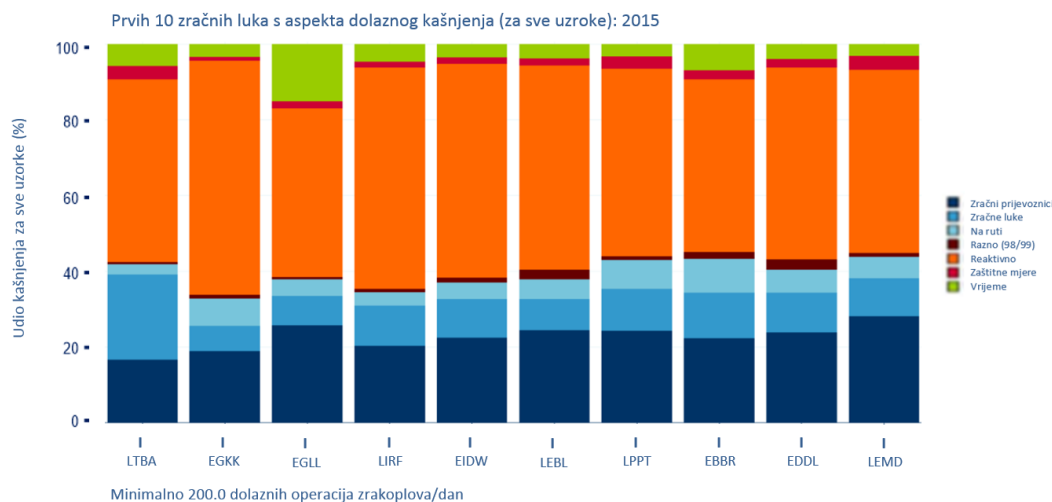
Analiza Grafikona 3.4. ukazuje na to kako su najveći udio u ukupnom kašnjenju po pojedinačnom letu u 2015. godini generirali zračni prijevoznici s 2,98 minuta, zatim slijedi kontrola zračnoga prometa s 1,51 minutom, zračne luke s 1,18 minuta te meteorološke prilike s 0,54 minute. Usporedbom trendova iz 2014. i 2015. godine može se uočiti stagnacija u segmentu kašnjenja koja su prouzročili zračni prijevoznici, porast u segmentu kašnjenja koja je prouzrokovala kontrola zračnoga prometa, zračne luke i vremenski uvjeti. U Grafikonu 3.4. vidljivo je kako zračni prijevoznici prouzrokuju više od polovine svih kašnjenja u sustavu zračnoga prometa.

Razlog visokoga udjela zračnih prijevoznika u ukupnom kašnjenju očituje se u činjenici kako je gotovo dvije trećine svih IATA kodova kašnjenja vezano uz zračne prijevoznike.

Unutar Europe operativno djeluje više od 450 zračnih luka otvorenih za javni zračni promet koje prihvaćaju i otpremaju gotovo 1,6 milijarda putnika [54]. Na Grafikonu 3.5. prikazano je prvih deset zračnih luka u Europi s aspekta dolaznoga i odlaznoga kašnjenja. Za svaku je zračnu luku prikazana distribucija kašnjenja prema pojedinim uzrocima, izražena u postocima od ukupnoga kašnjenja.



a)



b)

Grafikon 3.5. Prikaz glavnih uzroka kašnjenja u 10 najzagušenijih europskih zračnih luka u 2015. godini za: a) odlazne operacije zrakoplova, b) dolazne operacije zrakoplova [50]

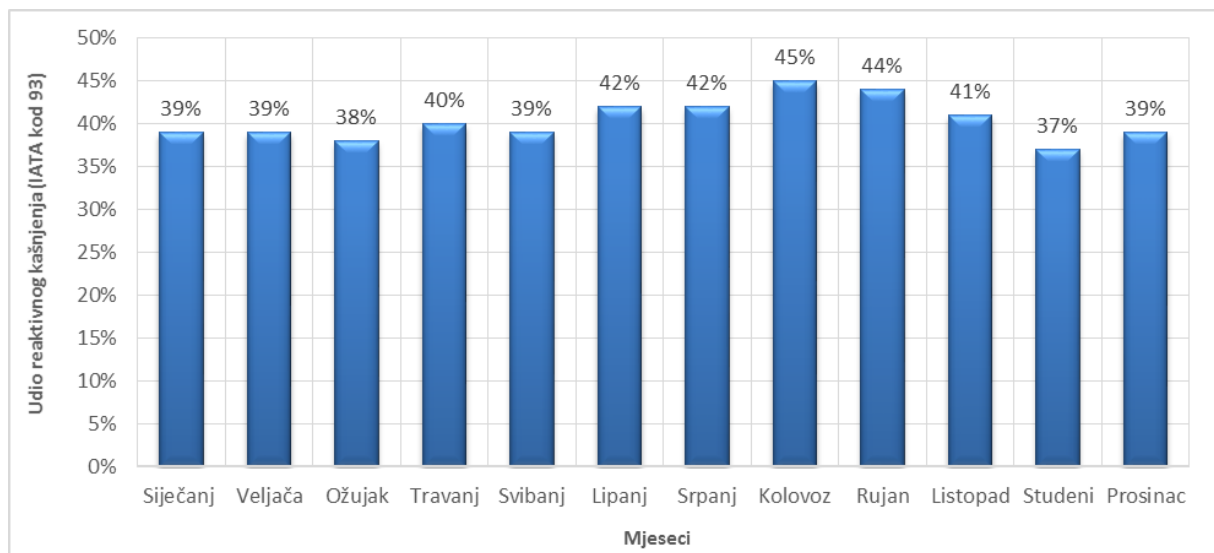
Podatci s Grafikona 3.5. ukazuju kako najzastupljenije kašnjenje kod analiziranih zračnih luka predstavlja reaktivno kašnjenje (IATA kod 93). Navedeno kašnjenje kod dolaznih operacija čini u prosjeku polovinu svih kašnjenja, dok kod odlaznih operacija čini u prosjeku trećinu kašnjenja, a na Grafikonu 3.5. prikazano je narančastom bojom.

Među deset najzagušenijih zračnih luka, s aspekta odlaznih i dolaznih operacija, nalaze se isključivo čvrne zračne luke.

Reaktivno kašnjenje predstavlja kašnjenje prouzrokovano zakašnjelim dolaskom zrakoplova s prethodnoga leta te se to kašnjenje dalje prenosi na sljedeći let ili dionicu leta. Prema tomu, postoje dva osnovna tipa reaktivnoga kašnjenja koja su sljedeća:

- kašnjenje zrakoplova u dolasku koje uzrokuje kašnjenje istoga zrakoplova u odlasku (rotacijsko kašnjenje) – IATA kod 93
- kašnjenje zrakoplova u dolasku koje uzrokuje kašnjenje drugoga zrakoplova u odlasku i to kroz segment kašnjenja: putnika, tereta, prtljage, posade (kabinske i letačke).

Udio je reaktivnih kašnjenja (IATA kod 93), po mjesecima, u odnosu na ukupan broj zabilježenih kašnjenja za 2015. godinu na razini europske mreže zračnoga prometa prikazan na Grafikonu 3.6. Statistike zasebno obrađuju reaktivno kašnjenje koda 93 jer se pokazalo da ovaj tip kašnjenja čini više od 90 % svih reaktivnih kašnjenja te ima najznačajniji utjecaj na performanse mreže zračnoga prometa u cijelosti [50].



Grafikon 3.6. Prikaz udjela reaktivnoga kašnjenja (IATA kod 93) po mjesecima za 2015. godinu; izražen u postocima u odnosu na ukupno kašnjenje u Europi

Izvor: [50]

Analiza ukazuje na to kako udio reaktivnoga kašnjenja (IATA kod 93) u ukupnoj razini kašnjenja iznosi približno 40 %. Distribucija reaktivnoga kašnjenja (IATA kod 93) po mjesecima u 2015. godini ukazuje na to kako je neznatno manja razina reaktivnoga kašnjenja (IATA kod 93) zabilježena tijekom zimskih mjeseci (od studenoga do ožujka). U navedenom periodu postoji veća mogućnost za nadoknadu reaktivnoga kašnjenja kroz aerodromske operacije zbog smanjenoga obujma prometa.

Usporedbom trendova iz 2014. i 2015. godine može se zaključiti kako je udio reaktivnoga kašnjenja (IATA kod 93) u ukupnom kašnjenju ostao na istoj razini.

Stoga se može zaključiti kako reaktivno kašnjenje (IATA kod 93) ima znatan utjecaj na odvijanje zrakoplovnih operacija na vrijeme. Navedeno je kašnjenje predmetom daljnjih analiza vodećih europskih i globalnih zrakoplovnih organizacija.

3.2. Kašnjenja na razini Sjedinjenih Američkih Država

Na razini Sjedinjenih Američkih Država djeluju dvije vladine institucije koje mjere i obrađuju kašnjenja u sustavu zračnoga prometa. To su: Ministarstvo transporta (engl. *Department of Transportation*), odnosno Državni zavod za statistiku u transportu (engl. *Bureau of Transportation Statistics*) i Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo (engl. *Federal Aviation Administration*) [55].

Državni zavod za statistiku u transportu sastavni je dio Ministarstva transporta te ima zadaću prikupiti, analizirati i publicirati podatke o američkom nacionalnom transportnom sustavu. Zavod, također, prikuplja i obrađuje podatke o sustavu zračnoga prometa SAD-a. Sustav prikupljanja podataka temelji se na dobrovoljnom izvještavanju zračnih prijevoznika koji sudjeluju s udjelom od minimalno 1 % u ukupnom domaćem zračnom prometu [56]. Statistike su za 2015. godinu izrađene na temelju izvještaja četrnaest zračnih prijevoznika te dvadeset i devet zračnih luka.

Državni zavod za statistiku u transportu bilježi dolazno/odlazno kašnjenje zrakoplova ukoliko je razlika između stvarnoga vremena dolaska/odlaska zrakoplova na poziciju i s pozicije i predviđenoga vremena dolaska/odlaska zrakoplova veća od 15 minuta.

Sustav izvješćivanja ne temelji se na IATA kodovima kašnjenja, već se kašnjenja grupiraju u jednu od sedam skupina:

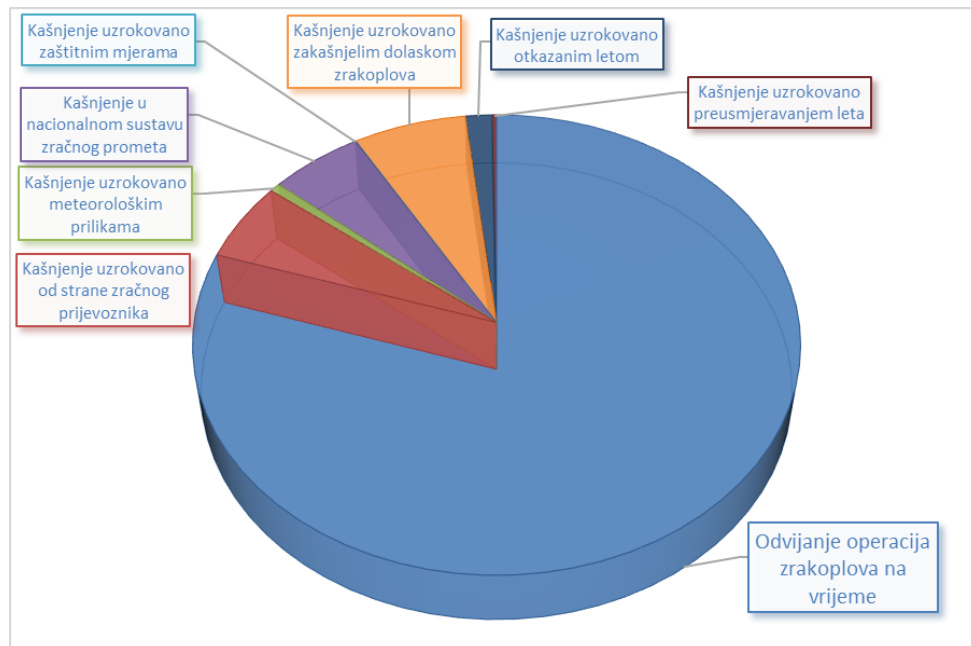
- kašnjenje prouzrokovano zračnim prijevoznicima
- kašnjenje prouzrokovano meteorološkim prilikama
- kašnjenje u nacionalnom sustavu zračnoga prometa
- kašnjenje prouzrokovano zaštitnim mjerama
- kašnjenje prouzrokovano zakašnjelim dolaskom zrakoplova
- kašnjenje prouzrokovano otkazanim letom
- kašnjenje prouzrokovano preusmjeravanjem leta.

Operacije zrakoplova koje su provedene na vrijeme svrstane su u posebnu skupinu.

Na Grafikonu 3.7. prikazan je odnos dolaznih operacija zrakoplova za 2015. godinu koje su provedene na vrijeme i pojedinih kašnjenja u sustavu zračnoga prometa SAD-a, a na temelju podataka Državnoga zavoda za statistiku u prometu. Od ukupnoga broja dolaznih operacija zrakoplova oko 79,92 % ili $\frac{4}{5}$ njih odvijalo se na vrijeme.

Najznačajniji je uzrok kašnjenja, koji se javlja u sustavu zračnoga prometa, zakašnjeli dolazak zrakoplova s prethodnoga leta koji uzrokuje daljnje kašnjenje istoga ili drugoga zrakoplova te u ukupnom broju zabilježenih operacija sudjeluje sa 6,62 %.

Kašnjenja koja generira nacionalni sustav zračnoga prometa predstavljaju kašnjenja nastala u ATM sustavu te čine 5,44 % svih zabilježenih operacija. Zračni prijevoznici uzrokuju kašnjenja zrakoplova koja u ukupnom broju zabilježenih operacija sudjeluju s 5,56 %. Kašnjenja prouzrokovana otkazanim letom (1,54 %), vremenom (0,62 %) i preusmjeravanjem leta (0,26 %) minorna su i nemaju znatan utjecaj na odvijanje zrakoplovnih operacija na vrijeme.



Grafikon 3.7. Prikaz odvijanja dolaznih zrakoplovnih operacija na vrijeme u američkom sustavu zračnoga prometa za 2015. godinu

Izvor: [55]

3.3. Kašnjenja na razini Republike Hrvatske

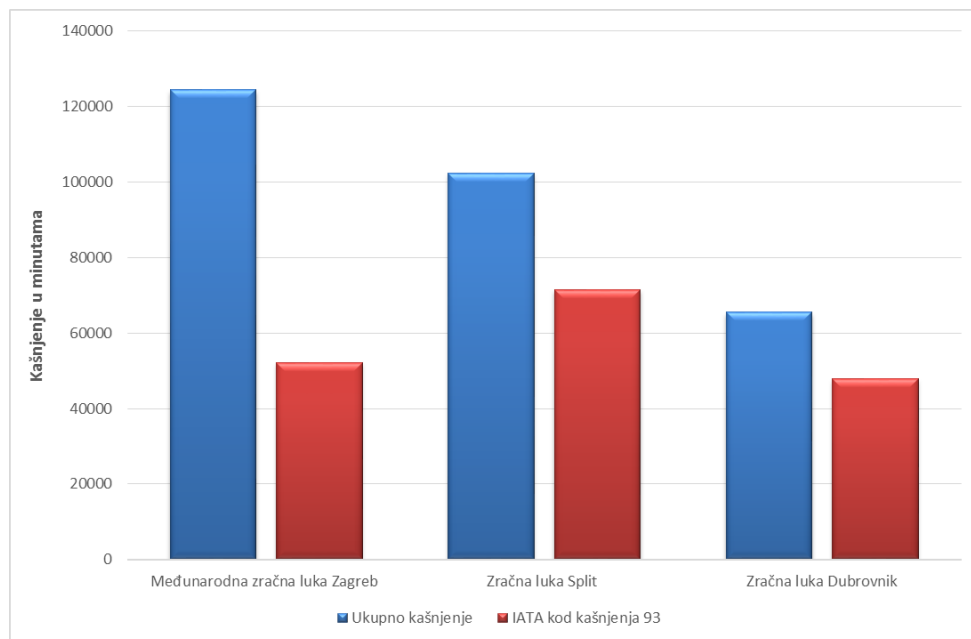
Na razini Republike Hrvatske ne postoji središnji ured koji obrađuje kašnjenja koja se javljaju u sustavu zračnoga prometa RH, već pojedine zračne luke interno bilježe i obrađuju statistiku kašnjenja. Zračne luke RH bilježe dolazno/odlazno kašnjenje zrakoplova ukoliko se stvarno vrijeme dolaska/odlaska zrakoplova na poziciju i s nje razlikuje od predviđenoga vremena dolaska/odlaska.

Analiza prvih triju zračnih luka RH, prema broju prihvaćenih i otpremljenih putnika, s aspekta kašnjenja ukazuje na to kako zračne luke RH prate trendove europskih zračnih luka. Razina kašnjenja u pojedinim zračnim lukama ovisi o razini prometa te tako zračne luke s višom razinom prometa imaju posljedično i veće ukupno kašnjenje. Reaktivno je kašnjenje čimbenik koji ima znatan utjecaj na performanse zračne luke (IATA kod 93). Udio reaktivnoga kašnjenja u ukupnom kašnjenju u zračnim lukama RH kreće se između 40 % i 70 %.

Najmanji je udio reaktivnoga kašnjenja u ukupnom kašnjenju zabilježen u Međunarodnoj zračnoj luci Zagreb, koja ima ujednačeniji promet tijekom cijele godine.

S druge strane, primorske zračne luke imaju udio reaktivnoga kašnjenja u ukupnom kašnjenju u prosjeku oko 70 %.

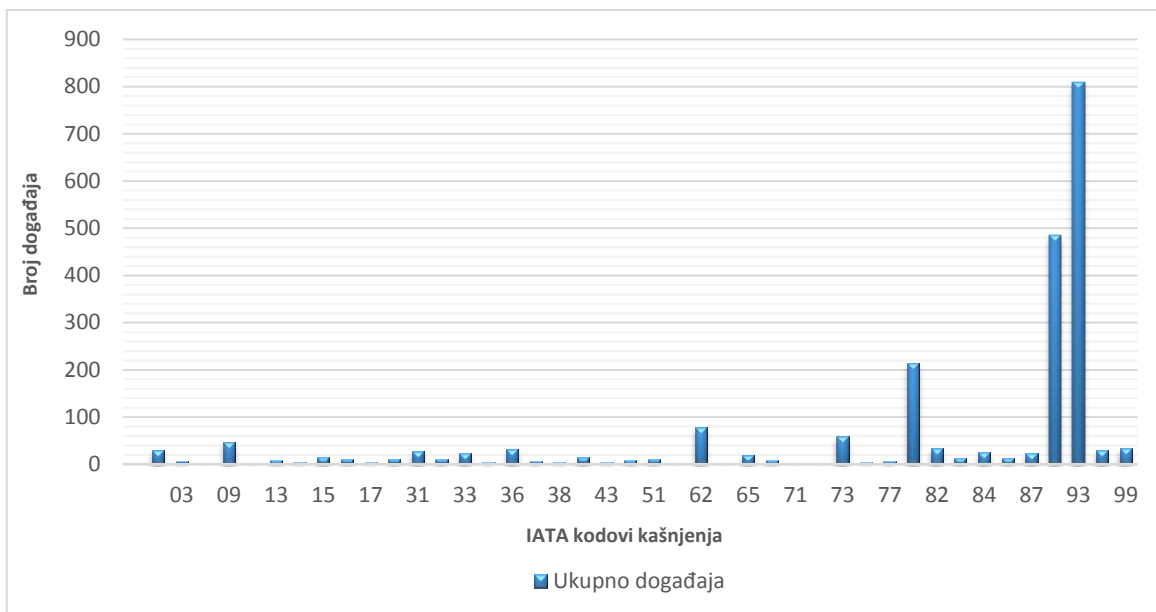
Karakteristika je primorskih zračnih luka izražen sezonski karakter, tj. promet na primorskim zračnim lukama nije jednoliko distribuiran tijekom godine. Tijekom ljetnih mjeseci broj je operacija zrakoplova, ovisno o zračnoj luci, do nekoliko desetaka puta veći nego tijekom zimskih mjeseci. U Grafikonu 3.8. prikazan je odnos reaktivnoga i ukupnoga kašnjenja za tri po prometu najveće zračne luke Republike Hrvatske.



Grafikon 3.8. Prikaz ukupnoga i reaktivnoga kašnjenja za tri vodeće zračne luke prema broju prihvaćenih i otpremljenih putnika u 2014. godini

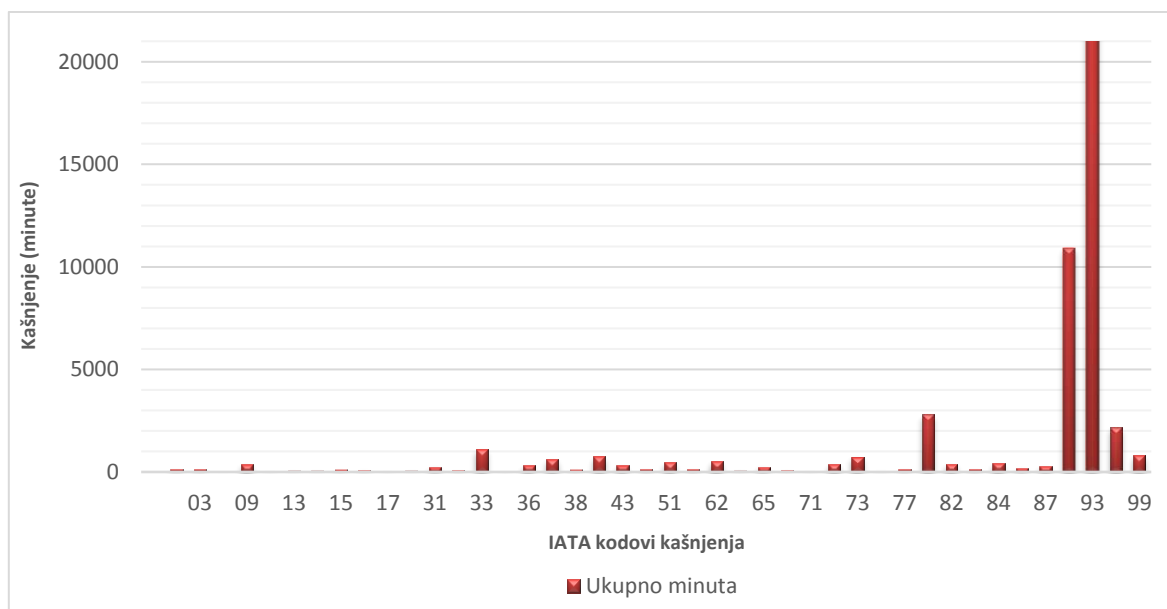
Izvor: [57][58][59]

Analiza vremena kašnjenja u Zračnoj luci Split ukazuje na to kako prosječno vrijeme kašnjenja po zakašnjelom letu za dolazne i odlazne operacije (za sve uzroke) u 2014. godini iznosi 23,5 minuta [58]. Prosječno vrijeme kašnjenja po zakašnjelom letu za dolazne i odlazne operacije (za sve uzroke) u 2015. godini iznosi 22 minute, što predstavlja pad od oko 7 % u odnosu na prethodnu godinu. Distribucija je kašnjenja prema broju događaja i vremenu kašnjenja temeljena na IATA kodovima i prikazana na Grafikonu 3.9. i 3.10.



Grafikon 3.9. Prikaz distribucije kašnjenja prema IATA kodovima izražen u broju događaja za 2015. godinu u Zračnoj luci Split
Izvor: [58]

S aspekta broja kašnjenja u 2015. godini zabilježeno je ukupno 2.151 operacija zrakoplova s kašnjenjem. Najznačajnije kašnjenje koje je zabilježeno u zračnoj luci jest reaktivno kašnjenje (IATA kod kašnjenja 93) koje je prisutno u 809 slučajeva te u ukupnom zbroju predstavlja gotovo 40 % svih kašnjenja. Od ostalih je kašnjenja potrebno izdvojiti ona prouzrokovana kapacitetima zračne luke (IATA kod 89), 485 slučajeva, te kašnjenja prouzrokovana kapacitetima zračnoga prostora (IATA kod 81), 215 slučajeva.



Grafikon 3.10. Prikaz distribucije kašnjenja prema IATA kodovima izražen u minutama za 2015. godinu u Zračnoj luci Split
Izvor: [58]

Analiza realiziranih operacija zrakoplova u zračnoj luci ukazuje na to kako je u 2015. godini zabilježeno ukupno 47.189 minuta kašnjenja.

S gledišta zračnih prijevoznika najveće kašnjenje u Zračnoj luci Split generira Croatia Airlines sa zabilježenih 739 kašnjenja od ukupno 17.294 minuta kašnjenja, što predstavlja prosječno vrijeme kašnjenja po zakašnjelom letu od 23 minute u 2015. godini. Kod ostalih su zračnih prijevoznika u 2015. godini u Zračnoj luci Split zabilježena 1.412 kašnjenja s ukupno 29.895 minuta kašnjenja.

Detaljna analiza operacija zrakoplova koje se odvijaju u zračnoj luci ukazuje na to kako na odlazna kašnjenja zrakoplova uz ograničeni kapacitet znatno utječu i dolazna kašnjenja koja se dalje promiču u mrežu zračnoga prometa, a u statistikama se bilježe pod IATA kodom kašnjenja 93.

3.4.Odstupanje od reda letenja u zračnoj luci

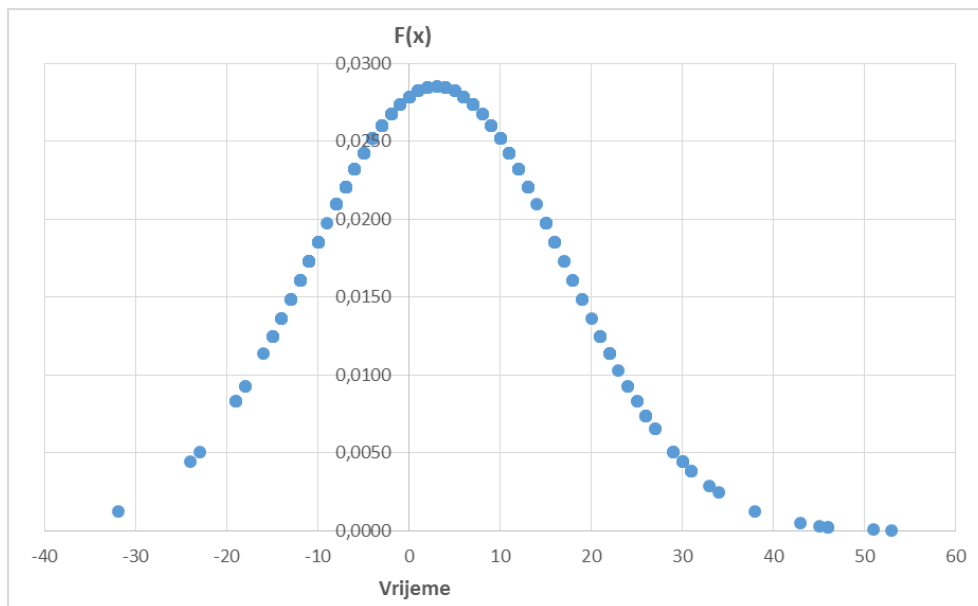
S gledišta zračne luke odstupanje od reda letenja predstavlja jedan od značajnijih čimbenika koji uzrokuju poremećaj u odvijanju operacija zrakoplova.

Kašnjenja zrakoplova u dolasku stohastičkoga su karaktera i nije ih moguće unaprijed predvidjeti zbog neodgovarajućega sustava dijeljenja informacija između entiteta u zračnom prometu, kao ni njihov utjecaj na odvijanje operacija zrakoplova.

Za potrebe analize odstupanja od reda letenja obrađeni su uzorci 600 operacija zrakoplova sa Zračne luke Split za tri operativna dana (27. kolovoza 2016., 10. rujna 2016. i 24. rujna 2016.). Analizom nisu obuhvaćeni letovi generalne avijacije te letovi Hrvatskoga ratnoga zrakoplovstva. Rezultati analize ukazuju na to kako je odstupanja od reda letenja, koja se javljaju kod dolaznih i odlaznih operacija zrakoplova, moguće prikazati krivuljom normalne distribucije.

Odstupanja od reda letenja koja su zabilježena u sustavu zračne luke moguće je razmatrati s dvaju stajališta. U prvom slučaju odstupanje od reda letenja, kod dolaznih, odnosno odlaznih operacija, nastaje kada stvarno vrijeme slijetanja/uzlijetanja (engl. *Actual Landing/Take Off Time*) ne odgovara planiranom vremenu slijetanja/uzlijetanja (engl. *Scheduled Landing/Take Off Time*). U drugom slučaju odstupanje od reda letenja nastaje ako se stvarno vrijeme slijetanja/uzlijetanja ne nalazi u vremenskom intervalu -5+10 minuta u odnosu na planirano vrijeme slijetanja/uzlijetanja.

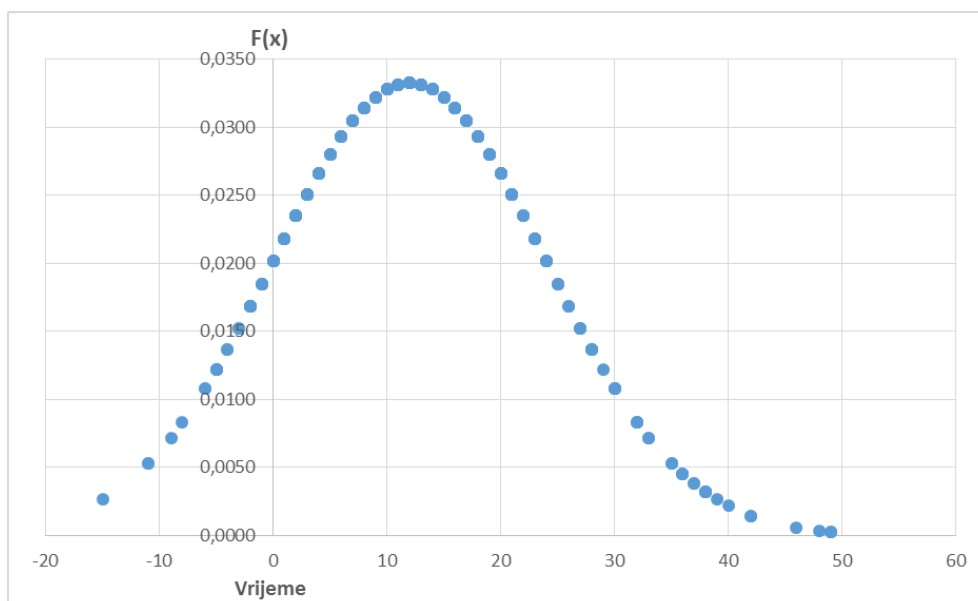
Problematika će se odstupanja od reda letenja u zračnoj luci u daljnjoj analizi temeljiti na prvom stajalištu. U analizi neće biti obrađeni zrakoplovi koji u dolasku i odlasku kasne više od jednoga sata. Na Grafikonu 3.11. prikazana su odstupanja od reda letenja kod dolaznih operacija zrakoplova. Na apscisi su prikazana odstupanja od planiranoga vremena slijetanja zrakoplova izražena u minutama, dok je na ordinati prikazana gustoća vjerojatnosti pojave toga odstupanja.



Grafikon 3.11. Odstupanje od reda letenja kod dolaznih operacija zrakoplova u Zračnoj luci Split za promatrani period

Rezultati analize ukazuju na to kako je kod dolaznih operacija zabilježeno kašnjenje koje iznosi u prosjeku 3 minute uz standardnu devijaciju od 14 minuta. Velika standardna devijacija, koja se javlja u ovom slučaju, ukazuje na to kako postoji velika varijabilnost podataka.

S gledišta zračne luke odstupanje od reda letenja kod odlaznih operacija nastaje kada se stvarno vrijeme uzlijetanja razlikuje od planiranoga vremena uzlijetanja (engl. *Scheduled Take Off Time*), a rezultati su analize prikazani u Grafikonu 3.12. Na apscisi su prikazana odstupanja od planiranoga vremena slijetanja zrakoplova izražena u minutama, dok je na ordinati prikazana gustoća vjerojatnosti pojave toga odstupanja.



Grafikon 3.12. Odstupanje od reda letenja kod odlaznih operacija zrakoplova u Zračnoj luci Split za promatrani period

Rezultati analize pokazuju kako stvarno vrijeme uzlijetanja zrakoplova u određenoj mjeri odstupa od planiranoga vremena uzlijetanja, a kašnjenje u prosjeku iznosi 12 minuta uz standardnu devijaciju od 12 minuta. Analizom je krivulje normalne distribucije moguće zaključiti kako samo u manjem broju slučajeva stvarno vrijeme uzlijetanja odgovara planiranom vremenu uzlijetanja, odnosno kako u samo manjem broju slučajeva zrakoplov ne kasni u odlasku u odnosu na planirano vrijeme.

Kašnjenja zrakoplova u odlasku nastaju u zračnoj luci kao rezultat dolaznoga kašnjenja, nedovoljnoga kapaciteta zračne luke, neodgovarajućega planiranja operacija zrakoplova, neodgovarajućih operativnih procedura te kao kombinacija navedenih uzroka.

4.OPIS PROBLEMA

Kašnjenja koja se javljaju u sustavu zračnoga prometa stohastičkoga su karaktera, različitih tipova i uzroka, sastavni su nusproizvod odvijanja operacija zrakoplova te se u većini slučajeva ne mogu predvidjeti niti u potpunosti eliminirati. Kašnjenja koja se javljaju u zračnoj luci u osnovi se mogu podijeliti na dolazna i odlazna, a mjere se u minutama u odnosu na predviđeno vrijeme odvijanja određene operacije zrakoplova.

Dolazna kašnjenja nastaju u sustavu zračnoga prometa, a s gledišta zračnih luka i zračnih prijevoznika u pravilu se razlikuju dva tipa dolaznih kašnjenja: primarna i reaktivna. Primarno kašnjenje nastaje na prethodnom letu ili prethodnoj dionici leta. Reaktivno kašnjenje nastaje u okviru određene operacije zrakoplova unutar operativnoga dana te uzrokuje kašnjenje istoga ili drugoga zrakoplova. Reaktivno se kašnjenje prenosi s jednoga leta na drugi te predstavlja kumulativno kašnjenje. Kašnjenje zrakoplova u dolasku uzrokuje poremećaj u odvijanju operacija zrakoplova u zračnoj luci tako da remeti definirani red letenja i utječe na distribuciju prometa u određenom vremenskom periodu.

Odlazna kašnjenja nastaju u zračnoj luci, a mogu ih uzrokovati nedostatni kapacitet zračne luke, neodgovarajuće planiranje operacija zrakoplova, neodgovarajuće procedure upravljanja operativnim podsustavima i procesima i kašnjenje zrakoplova u dolasku. S obzirom na činjenicu da na kašnjenja zrakoplova u dolasku i na kapacitet zračne luke nije moguće izravno utjecati, naglasak će ove doktorske disertacije biti na optimizaciji postojećih i razvoju novih procedura kako bi se umanjili negativni učinci koji utječu na kašnjenje kod odlaznih operacija zrakoplova.

Kašnjenja u sustavu zračne luke očituju se ponajprije kao zagušenja dijela manevarske površine ili stajanke. Zagušenje pojedinoga segmenta zračne strane zračne luke dovodi do smanjene iskoristivosti manevarske površine i stajanke i uzrokuje poremećaj u odvijanju operacija zrakoplova.

Nadalje, zagušenja dijela manevarske površine ili stajanke dovode do povećanja broja zrakoplova u tim segmentima zračne luke te posljedično i do smanjene, ali zadovoljavajuće minimalne razine sigurnosti.

U slučajevima u kojima su prisutna zagušenja dolazi do zadržavanja zrakoplova na određenom dijelu manevarske površine, što izravno utječe na indeks potrošnje goriva, povećanje troškovne učinkovitosti zračnoga prijevoznika te povećanje emisije stakleničkih plinova.

Kašnjenje će zrakoplova biti analizirano u kontekstu odvijanja operacija u specifičnoj zračnoj luci te se neće razmatrati utjecaj na mrežu zračnoga prometa.

Ukupno kašnjenje kod zrakoplova u odlasku s aspekta upravljačkih procedura zračne luke nastaje kao posljedica jednoga ili kombinacija više navedenih kašnjenja [60] (Slika 4.1.).

Kašnjenje zrakoplova na parkirnoj poziciji (engl. *Gate Delay*) predstavlja vremenski interval između trenutka u kojem je zrakoplov spreman za napuštanje pozicije (engl. *Off Block Time*) i stvarnoga vremena napuštanja parkirne pozicije. Kašnjenje zrakoplova na parkirnoj poziciji također se može definirati kao vremenski interval između trenutka u kojem je zrakoplov spreman za pokretanje motora (završetak procesa prihvata i otpreme zrakoplova) i stvarnoga vremena pokretanja motora zrakoplova. Navedeni je pristup usvojen u doktorskoj disertaciji.

Kašnjenje zrakoplova na voznim stazama (engl. *Taxi Out Delay*) jest razlika između stvarnoga vremena (od trenutka kada je zrakoplov započeo izlazak s pozicije do trenutka dolaska na poziciju za čekanje) i optimalnoga (neometanoga) vremena vožnje zrakoplova u odlasku. Optimalno vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku predstavlja procijenjeno vrijeme vožnje zrakoplova u idealnim uvjetima u kojima ne postoji vanjski utjecaji na odlaznu operaciju zrakoplova (zagušenje manevarske površine, meteorološki uvjeti, tehnički nedostaci i sl.). Kod zračnih će luka koje primjenjuju sustav parkirnih pozicija s izguravanjem u kašnjenje zrakoplova na voznim stazama biti uključeno i kašnjenje koje nastaje kao posljedica operacije izguravanja zrakoplova s pozicije (engl. *Push Back Delay*). Naime, ukoliko se dvije operacije izguravanja zrakoplova odvijaju u isto vrijeme, operacija izguravanja koja je prva započela može uzrokovati kašnjenje druge operacije.

Kašnjenje zrakoplova na poziciji za čekanje (engl. *Runway Holding Point Delay*) predstavlja vremenski interval od trenutka dolaska zrakoplova na poziciju za čekanje do trenutka izlaska zrakoplova na uzletno-sletnu stazu.



Slika 4.1. Prikaz kašnjenja kod odlaznih operacija zrakoplova u zračnoj luci

Kašnjenje zrakoplova u sustavu zračne luke nastaje u točkama interferencije različitih infrastrukturnih elemenata, a javlja se kada dva ili više zrakoplova u isto vrijeme ili u određenom vremenskom intervalu nastoje pristupiti jednom (istom) mjestu (resursu). U tim slučajevima odvijanje jedne operacije zrakoplova izravno utječe na kašnjenje druge/ih operacije/a zrakoplova koje se nalaze u interakciji s njom.

Točke interferencije predstavljaju spoj ili križanje različitih infrastrukturnih elemenata: spoj vozne staze s uzletno-sletnom stazom (pozicija za čekanje uz uzletno-sletnu stazu), križanje dviju ili više vozničkih staza, križanje izlazne vozne staze i pozicije za parkiranje zrakoplova i dr. U trenutku u kojem dva ili više zrakoplova nastoje pristupiti istom mjestu, odnosno resursu javlja se interferencija između tih operacija.

Stoga se kašnjenje zrakoplova u sustavu zračne luke može opisati trima osnovnim tipovima interferencija koje se mogu javiti na zračnoj strani zračne luke. To su:

- interferencija između operacija zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi
- interferencija između operacija zrakoplova na vozničkima
- interferencija između operacija zrakoplova na vozničkima i operacija zrakoplova na pozicijama za parkiranje zrakoplova.

4.1. Interferencija između operacija zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi

Interferencija između operacija zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi nastaje kada dva ili više zrakoplova nastoje pristupiti uzletno-sletnoj stazi u određenom vremenskom intervalu. Pritom interferencija na uzletno-sletnoj stazi može nastati između dviju (ili više) sukcesivnih operacija uzlijetanja zrakoplova, između dolazne i odlazne operacije zrakoplova te između dviju (ili više) sukcesivnih operacija slijetanja zrakoplova. Rezultat je interferencije između operacija zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi, osim u slučajevima u kojima su prisutne dvije (ili više) sukcesivne operacije slijetanja, zadržavanje zrakoplova na poziciji za čekanje (na Slici 4.1. prikazano kao kašnjenje 3). Razlog je tomu što operacije slijetanja uvijek imaju prednost nad operacijama uzlijetanja.

Pozicija za čekanje nalazi se na voznoj stazi neposredno uz spoj vozne staze i uzletno-sletne staze, a ima funkciju zaustavljanja zrakoplova u odlasku na sigurnosnoj udaljenosti od uzletno-sletne staze prije nego dobije odobrenje od kontrole zračnoga prometa za izlazak na uzletno-sletnu stazu.

Pozicija za čekanje kod zračnih luka s razvijenim sustavom manevarske površine nalazi se neposredno uz prag uzletno-sletne staze (promatrano longitudinalno u smjeru središnje osi uzletno-sletne staze), dok se kod regionalnih zračnih luka, odnosno onih s nerazvijenim sustavom, nalazi na određenoj udaljenosti od praga USS-a. Udaljenost između pozicije za čekanje i praga uzletno-sletne staze ovisi o lokaciji ulazno-izlazne vozne staze.

U uvjetima u kojima je pozicija za čekanje na određenoj udaljenosti od praga problem interferencije između operacija zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi postaje složeniji. Do toga dolazi jer je pri razdvajanju između pojedinih operacija zrakoplova potrebno uračunati vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku na uzletno-sletnoj stazi, od ulaska na USS do praga uzletno-sletne staze te vrijeme okretanje zrakoplova i zadržavanja na poziciji za poravnanje.

Dolazak zrakoplova na poziciju za čekanje predstavlja determinističku vrijednost koja može biti opisana krivuljom normalne razdiobe. Vrijeme dolaska zrakoplova na poziciju za čekanje ovisi o stvarnom vremenu napuštanja pozicije za parkiranje (engl. *Actual Off Block Time*) i stvarnom vremenu vožnje zrakoplova u odlasku (engl. *Actual Taxi Out Time*) koje, osim fizičke udaljenosti između navedenih pozicija, ovisi i o stanju na manevarskoj površini zračne luke te o distribuciji prometa. Sekvenca se odlaznih zrakoplova izrađuje po principu FCFS, a temelji se na vremenima dolazaka zrakoplova na poziciju za čekanje.

Operativno, problem je interferencije između operacija zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi moguće riješiti kroz algoritam koji svakom zrakoplovu dodjeljuje optimalno vrijeme pokretanja motora, odnosno optimalno vrijeme napuštanja pozicije.

Problem je interferencije između operacija na uzletno-sletnoj stazi moguće matematički definirati kao odnos kapaciteta uzletno-sletne staze i kašnjenja.

Odnos kapaciteta uzletno-sletne staze i kašnjenja

Kapacitet uzletno-sletne staze predstavlja mogućnost komponente sustava zračne luke da omogući određeni broj operacija zrakoplova (slijetanja i uzlijetanja) u definiranom vremenskom periodu. U uvjetima u kojima potražnja premašuje kapacitete pojedine komponente javljaju se kašnjenja. Za utvrđivanje odnosa između kapaciteta uzletno-sletne staze koriste se grafičke i analitičke metode. Grafička metoda predstavlja jednu od osnovnih metoda za utvrđivanje odnosa između kapaciteta i kašnjenja pojedinoga sustava.

Grafička metoda jest deterministička metoda zasnovana na modelu redova, a koristi se za procjenu kašnjenja u slučajevima u kojima potražnja premašuje kapacitet uzletno-sletne staze.

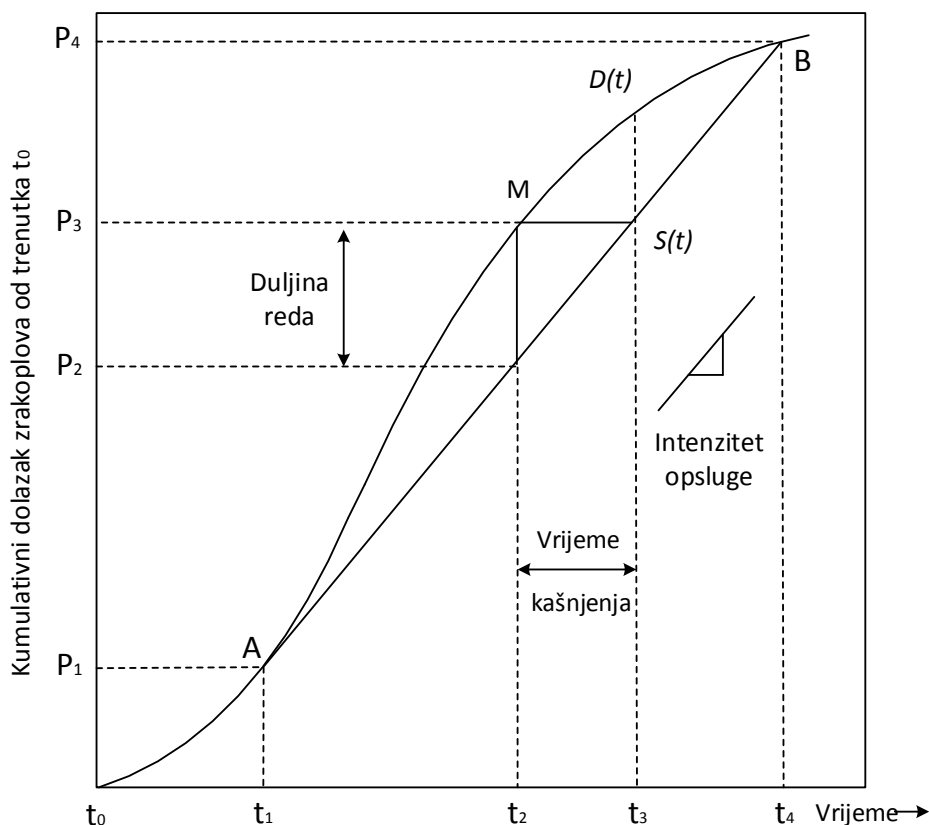
U grafičkoj metodi apscisa predstavlja analizirani vremenski interval, dok ordinata predstavlja kumulativan broj zrakoplova koji u odgovarajućem trenutku dolazi na određenu točku.

Metoda se temelji na sustavu FCFS obrade i na činjenici da je sustav prazan u trenutku kada se započinje s promatranjem događaja (niti jedan zrakoplov ne čeka na slijetanje).

Metoda se temelji na dvjema krivuljama:

- $D(t)$ krivulji – krivulji potražnje
(Ova krivulja predstavlja kumulativan broj dolaska zrakoplova.)
- $S(t)$ krivulji – krivulji funkcije usluge.
(Ova krivulja predstavlja intenzitet opsluživanja zrakoplova.)

Određena točka u krivulji $D(t)$ predstavlja kumulativan broj dolaska zrakoplova u točno određenom trenutku. Nagib i položaj krivulje $S(t)$ označava razinu usluge koju pruža uzletno-sletna staza, odnosno broj zrakoplova koji se može procesirati u određenom vremenskom periodu. Odnos je ovih dviju krivulja prikazan na Slici 4.2.



Slika 4.2. Prikaz odnosa potražnje i kapaciteta uzletno-sletne staze
Izvor: [25]

Na grafikonu točka A označava trenutak u kojem potražnja započinje premašivati kapacitet. U točki B kašnjenja i redovi koji se javljaju u prethodnom periodu nestaju, odnosno kapacitet zadovoljava potražnju. Prema tomu, kašnjenja se zrakoplova javljaju u periodu od t_1 do t_4 , a ukupan se broj zrakoplova koji čekaju u ovom periodu dobiva razlikom između točaka P_4 i P_1 . U periodu od t_1 do t_2 potražnja raste i znatno premašuje kapacitete te u točki M dostiže svoj maksimum. Točka M predstavlja točku u kojoj je red zrakoplova koji čekaju najveći, a vrijeme čekanja najduže. U periodu od t_3 do t_4 potražnja pada, broj zrakoplova koji čekaju, kao i vrijeme čekanja smanjuju se sve do trenutka t_4 u kojem kapacitet zadovoljava potražnju i ne postoje zrakoplovi koji čekaju u redu. Vrijeme čekanja zrakoplova u bilo kojem trenutku predstavlja horizontalna linija između krivulja $D(t)$ i $S(t)$. Vrijeme čekanja zrakoplova koji dolaze u trenutku t i čekaju na slijetanje može se izraziti s pomoću formule:

$$w(t) = \frac{q(t)}{s_n}, \quad (4.1.)$$

gdje je:

$w(t)$ – vrijeme čekanja u trenutku „ t ”

$q(t)$ – dužina reda u trenutku „ t ”

s_n – intenzitet opsluživanja u trenutku „ t ”.

Dužinu reda, odnosno broj zrakoplova koji čekaju na slijetanje u bilo kojem trenutku, predstavlja vertikalna linija između krivulja $D(t)$ i $S(t)$. Dužina reda u bilo kojem trenutku može se izraziti s pomoću formule:

$$q(t) = \max\{0, D(t) - S(t)\}. \quad (4.2.)$$

Prema dijagramu je područje između ovih dviju krivulja ukupno vrijeme čekanja svih zrakoplova (zrakoplova po minuti čekanja) u vremenskom intervalu od t_1 do t_4 , a može se izraziti s pomoću formule:

$$W = \int_{t_1}^{t_4} [D(t) - S(t)] dt. \quad (4.3.)$$

Ova je analiza odnosa kapaciteta i kašnjenja pogodna za planiranje aerodromskoga sustava, ali i za analizu postojećih kapaciteta, odnosno vremena čekanja, dužine redova te troškova čekanja pod pretpostavljenim operativnim uvjetima.

4.2. Interferencija između operacija zrakoplova na voznim stazama

Na sustavu voznih staza interferencija nastaje kada u istom trenutku dolazi do križanja putanje dvaju ili više zrakoplova. S obzirom na tip operacije interferencija na voznim stazama može biti između: dolaznih i dolaznih operacija, odlaznih i odlaznih operacija te kao kombinacija navedenih operacija.

Rezultatom je interferencije između operacija zrakoplova na voznim stazama zadržavanje jednoga ili više zrakoplova na međupoziciji za čekanje (na Slici 4.1. prikazano kao kašnjenje 2).

Vrsta interferencije i vrijeme čekanja zrakoplova ovise o vrsti i broju voznih staza koje se križaju u specifičnoj točki, položaju križanja na manevarskoj površini zračne luke i intenzitetu i tipu operacija u određenom vremenskom intervalu.

4.3. Interferencija između operacija zrakoplova na voznim stazama i operacija zrakoplova na pozicijama za parkiranje zrakoplova

Interferencija nastaje križanjem odlazne i dolazne operacije zrakoplova na spojevima voznih staza na stajanci i pozicija za parkiranje zrakoplova, a može se javiti u zračnim lukama kod kojih postoji samo jedna vozna staza na stajanci. U načelu se ova interferencija, s obzirom na kašnjenja koja uzrokuje, može podijeliti na: kašnjenje kod dolaznih operacija zrakoplova i kašnjenje kod odlaznih operacija zrakoplova (zadržavanje zrakoplova na parkirnoj poziciji). Problem je posebno izražen kod regionalnih zračnih luka koje u pravilu imaju samo jednu voznu stazu na stajanci.

Interferencija između operacija zrakoplova na voznim stazama i operacija zrakoplova na pozicijama za parkiranje zrakoplova, a čija je posljedica kašnjenje dolazne operacije, nastaje u slučajevima kada zračna luka primjenjuje sustav parkiranja zrakoplova s izguravanjem. Vrijeme potrebno za izguravanje zrakoplova s pozicije ovisi o tipu zrakoplova i prosječno iznosi nekoliko minuta. Stoga će za vrijeme odvijanja operacije izguravanja zrakoplova korištenje vozne staze za sve ostale zrakoplove biti onemogućeno neko određeno vrijeme. Ovaj se tip interferencije može javiti i kod zračnih luka koje primjenjuju zaokretan sustav parkiranja zrakoplova (regionalne zračne luke), no vrijeme će kašnjenja dolazne operacije biti znatno kraće. Razlogom je tomu što vrijeme potrebno za izlazak zrakoplova sa sustava zaokretnih pozicija iznosi do pola minute. U određenim se slučajevima dolazno kašnjenje može javiti ukoliko zrakoplov u dolasku koristi istu poziciju na kojoj se nalazi zrakoplov u odlasku. Ovaj će tip kašnjenja biti obrađen u okviru doktorske disertacije.

Interferencija između operacija zrakoplova na voznim stazama i operacija zrakoplova na pozicijama za parkiranje zrakoplova, a čija je posljedica kašnjenje odlazne operacije, javlja se u slučajevima u kojima zbog specifične konfiguracije vozni staza i pozicija za parkiranje zrakoplova dolazna operacija svojim kretanjem, odnosno zadržavanjem onemogućuje odvijanje odlazne operacije. Ovaj će tip kašnjenja biti obrađen u okviru doktorske disertacije. Također, ova se interferencija javlja i kod zračnih luka koje primjenjuju sustav parkiranja s izguravanjem te ukoliko se javljaju dvije odlazne operacije zrakoplova s kratkim vremenskim odmakom između njih. U tom slučaju prva operacija zrakoplova može uzrokovati kašnjenje kod druge odlazne operacije. Do toga dolazi jer će prva operacija izguravanja fizički onemogućiti odvijanje druge operacije.

4.4. Metoda evaluacije modela upravljanja operativnim podsustavima i procesima

Metoda evaluacije modela upravljanja operativnim podsustavima i procesima (Dijagram 4.1.) na regionalnim zračnim lukama temelji se na činjenici da manevarsku površinu regionalnih zračnih luka čini jedna uzletno-sletna staza i jednostavan sustav vozni staza. U takvom infrastrukturnom modelu sve se operacije zrakoplova između odgovarajuće pozicije za čekanje i pozicija za parkiranje zrakoplova odvijaju po istoj putanji. Vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku može se izraziti kao:

$$AXOT_T = AXOT_N + AXOT_{RHP} + AXOT_{TD}, \quad (4.3.)$$

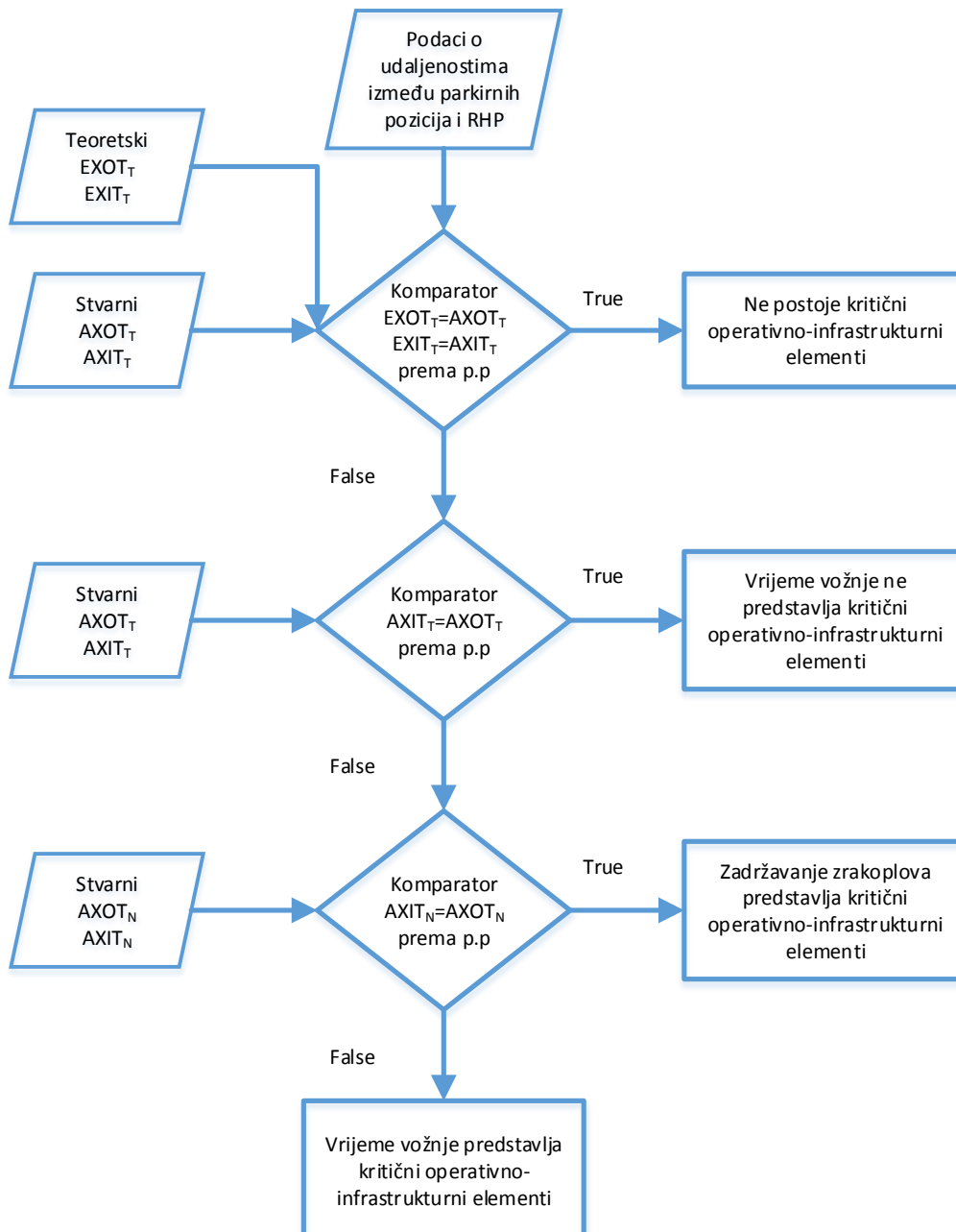
gdje je:

$AXOT_T$ – ukupno vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku na vozni stazama (od trenutka početka izlaska s pozicije do trenutka izlaska na uzletno-sletnu stazu)

$AXOT_N$ – nominalno vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku na voznim stazama, bez zadržavanja na voznim stazama i poziciji za čekanje

$AXOT_{RHP}$ – vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku u kojem je zrakoplov zadržan na poziciji za čekanje

$AXOT_{TD}$ – vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku u kojem je zrakoplov zadržan na voznim stazama.



Dijagram 4.1. Prikaz metode evaluacije modela upravljanja operativnim podsustavima i procesima

Metoda evaluacije u uvodnom dijelu statistički mjeri udaljenost između određenih pozicija za parkiranje zrakoplova i pozicija za čekanje te se izvodi grupiranje statističkih mjerenja.

U sljedećem se koraku uspoređuju procijenjena teoretska vremena dobivena simulacijom i stvarna vremena vožnje zrakoplova između pozicija za parkiranje i pozicija za čekanje. Simulirani procesi vožnje zrakoplova u dolasku i odlasku izvodi se u idealnim uvjetima u kojima se ne uključuju ograničenja kao što su meteorološki uvjeti, ostale operacije zrakoplova, zahtjevi kontrole zračnoga prometa i sl. Ova se usporedba zasebno radi za dolazne i odlazne operacije zrakoplova. Ukoliko ne postoji odstupanje između ovih dviju vrijednosti, tada rezultat evaluacije ukazuje na to kako ne postoje kritični operativno-infrastrukturni elementi. Ako postoje određena odstupanja između ovih dviju vrijednosti, tada se prelazi na sljedeći korak.

U sljedećem se koraku prema odgovarajućim parkirnim pozicijama i pozicijama za čekanje izvodi usporedba između stvarnoga vremena vožnje zrakoplova u dolasku i odlasku. Ukoliko vrijeme vožnje zrakoplova u dolasku odgovara vremenu zrakoplova u odlasku, tada rezultat evaluacije ukazuje na to kako vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku ne predstavlja kritični operativno-infrastrukturni element.

Ako postoje određena odstupanja između ovih dviju vrijednosti, tada se prelazi na sljedeći korak. U sljedećem se koraku prema odgovarajućim parkirnim pozicijama i pozicijama za čekanje izvodi usporedba između nominalnoga vremena vožnje zrakoplova u dolasku i odlasku. Ukoliko ne postoji odstupanje između ovih vremena, tada kritične operativno-infrastrukturne elemente predstavljaju elementi na kojima je zabilježeno čekanje na manevarskoj površini. Ukoliko postoji odstupanje između ovih vremena, tada je kritični operativno-infrastrukturni element vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji.

5. MODELIRANJE PROCEDURA ZA UPRAVLJANJE OPERACIJAMA ZRAKOPLOVA U ZRAČNOJ LUCI

Modeliranje u znanstveno-istraživačkom smislu predstavlja proces izgradnje (stvaranja) i oblikovanja modela. Model je oblik ili forma prikazivanja određenih sustava, objekata, pojava/događaja ili problema koji su predmetom istraživanja s ciljem predviđanja njihovoga budućega stanja [61]. Svrhom je modela kroz pojednostavljeni prikaz analizirati ponašanje toga sustava i predvidjeti učinak promjena u sustavu.

Model bi trebao biti vjeran prikaz realnoga sustava zajedno sa svim njegovim značajkama, ali ne bi trebao biti toliko složen da ga nije moguće analizirati i eksperimentirati s njim [56]. Stoga je kvalitetan model kompromis između vjernoga prikaza i jednostavnosti prikaza sustava. Znatno je čimbenik u modeliranju valjanost modela. Tehnike validacije uključuju simulacije modela tako da se pod istim ulaznim parametrima uspoređuju rezultati dobiveni simulacijom s rezultatima koji su dobiveni iz realnoga sustava.

Simulacija je imitacija operacija ili procesa stvarnoga sustava u određenom vremenskom periodu [62]. Upotrebom simulacije može se proučavati ponašanje stvarnoga sustava ili podsustava kroz analizu odvijanja pojedinih operacija unutar sustava. U najširem se smislu simulacija može koristiti za procjenu postojećega/modificiranoga ili novoga sustava kako bi se smanjila mogućnost neispunjavanja određenih specifikacija, uklonila potencijalna „uska grla“, spriječila potkapacitiranost ili prekapacitiranost određenih resursa te kako bi se optimizirale performanse sustava.

Simulacijski se modeli mogu klasificirati u skladu s općim kategorijama koje su sljedeće[63]:

- diskretni i kontinuirani simulacijski modeli
- mikroskopski, mezoskopski i makroskopski simulacijski modeli
- deterministički i stohastički simulacijski modeli.

Diskretni se simulacijski modeli zasnivaju na formi diskretnoga slijeda događaja u vremenu. Svaki se događaj javlja u određenom vremenskom trenutku i označava promjenu stanja u sustavu. Kako se pretpostavlja da između dvaju konsektivnih događaja ne postoji promjena u stanju sustava, simulacija može izravno „skočiti“ u vremenu od jednoga događaja do drugoga događaja. U praksi se javljaju dva tipa diskretnih simulacijskih modela: diskretno-vremenski simulacijski model i diskretan-slučaj simulacijski model. U sustavima koji sadrže ograničeni set entiteta (subjekata) i kod kojih rijetko dolazi do promjene stanja preporučuje se primjena diskretan-slučaj simulacijskih modela jer osiguravaju brže vrijeme provođenja algoritma [64]. S druge će strane diskretno-vremenski simulacijski modeli biti primijenjeni u sustavima kod kojih se kontinuirano u vremenu događaju promjene u stanju entiteta i u kojima model zahtijeva vrlo detaljne opise. Kontinuirani simulacijski modeli vremenski kontinuirano nadziru promjene u stanju sustava.

Ovaj je tip simulacijskoga modela zasnovan na bilježenju aktivnosti u simulaciji za razliku od diskretnoga simulacijskoga modela kod kojega se bilježe događaji. Operativno, sustav se temelji na vremenu koje je podijeljeno u male vremenske intervale te se ažuriranje sustava događa u skladu sa setom aktivnosti koje su se dogodile u tom vremenskom intervalu. U novije se vrijeme u literaturi spominje i metoda pristupa diskretnoj simulaciji u tri faze [65]. U prvoj se fazi događa skok na sljedeći kronološki događaj, u drugoj se fazi odvijaju svi događaji koji se bezuvjetno događaju u tom vremenu, dok se u trećoj fazi odvijaju svi događaji koji se uvjetno događaju u toj fazi.

Simulacijski se modeli mogu podijeliti s obzirom na razinu detalja koje obuhvaćaju na: makroskopske, mezoskopske i mikroskopske. Makroskopski simulacijski modeli opisuju entitete i njihove međusobne interakcije na vrlo niskoj razini detalja. Kod mezoskopskih simulacijskih modela entiteti su unutar sustava opisani na visokoj razini detalja, dok su njihove aktivnosti i interakcije opisane na niskoj razini detalja. Mikroskopski simulacijski modeli nude vrlo visoku razinu detalja pri prikazivanju, kako samih entiteta, tako i njihovih međusobnih interakcija.

Deterministički su simulacijski modeli konstruirani tako da su sve relacije između entiteta fiksno opisane matematičkom ili logičkom jednačbom, odnosno tako da ne postoje slučajne varijable. Stohastički simulacijski modeli uključuju neku od funkcija vjerojatnosti (Gaussovu, eksponencijalnu, uniformnu i sl.).

Razvoj je simulacijskih alata u zračnom prometu započeo sredinom sedamdesetih godina prošloga stoljeća. Jedan je od prvih simulacijskih alata ADSIM⁴¹ razvio FAA⁴², a predstavlja mikroskopski diskretno-vremenski stohastički simulacijski model. Alat je namijenjen simulaciji operacija zrakoplova u zračnoj luci i u pripadajućem zračnom prostoru te mjerenju i analizi kašnjenja koja se javljaju u tom sustavu. RDSIM⁴³ simulacijski program namijenjen je proračunu kapaciteta i analizi kašnjenja na uzletno-sletnoj stazi. Alat pretpostavlja uniformnu distribuciju dolaznih i odlaznih operacija zrakoplova te može dodijeliti prioritet određenoj operaciji zrakoplova. SIMMOD⁴⁴ predstavlja prvi simulacijski alat za modeliranje i analizu složenoga zračnoga prostora zračne luke, kao i sustava u kojem se nalazi više zračnih luka. Program omogućuje analizu kašnjenja, proračune kapaciteta pojedinih elemenata, kao i potrošnje goriva zrakoplova. Tijekom godina razvijeno je više inačica ovoga programa, a aktualna je inačica SIMMOD Plus/Pro. TAAM⁴⁵ i RAMSPlus programi su novije generacije ponajprije namijenjeni modeliranju prilaznih i odlaznih ruta te operacijama zrakoplova u gornjem zračnom prostoru.

⁴¹ ADSIM – Airfield Delay Simulation Model

⁴² FAA – Federal Aviation Administration

⁴³ RDSIM – Runway Delay Simulation

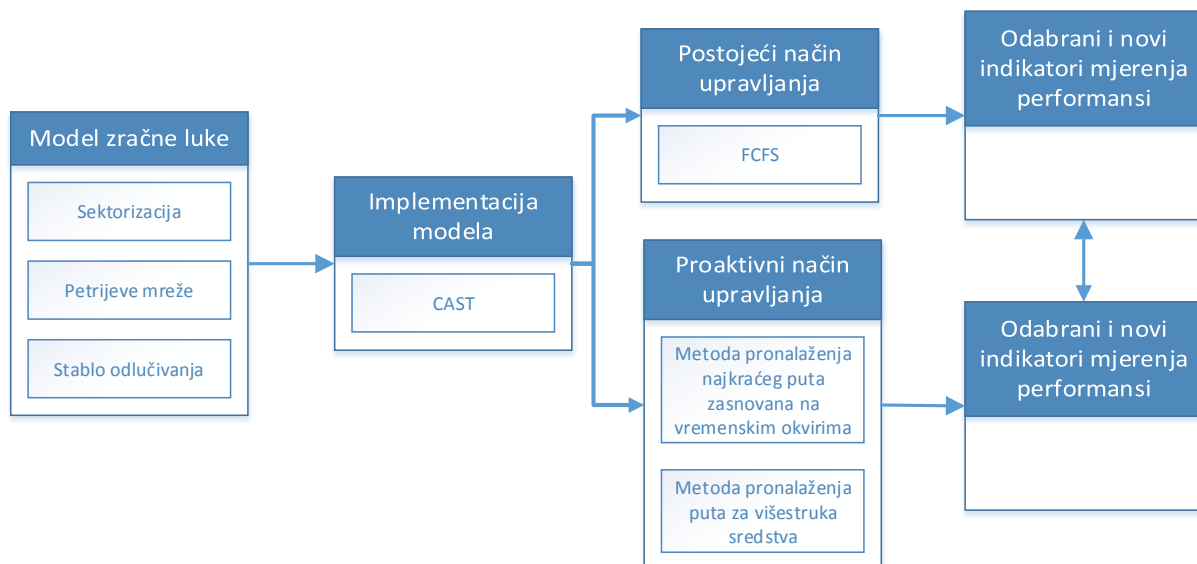
⁴⁴ SIMMOD – The Airspace and Airfield Model

⁴⁵ TAAM - Total Airspace and Airport Modeler

Također, alati posjeduju modul za simulaciju operacija na zračnoj strani zračne luke. Navedeni simulacijski paketi pripadaju u kategoriju alata za simulaciju operacija zrakoplova između više zračnih luka (engl. *Gate to Gate Simulation*).

Airtopsoft i CAST⁴⁶ sveobuhvatni su softveri nove generacije koji objedinjuju operacije u zračnom prostoru zračne luke i na zračnoj strani zračne luke s operacijama koje se odvijaju u procesu prijema i otpreme zrakoplova te na putničkom terminalu. Ovi alati omogućuju uz modeliranje, odnosno simulaciju i analizu međuovisnosti navedenih procesa.

U radu je razvijen proaktivni sustav upravljanja operacijama zrakoplova u zračnoj luci koji se temelji na inovativnom pristupu sektorizacije zračne luke, a matematički je formuliran upotrebom Petrijevih mreža (Slika 5.1.). Upravljački se algoritmi temelje na induktivnoj metodi zaključivanja, stablu odluke i u tu svrhu koriste ID3 algoritam za definiranje elemenata stabla (korijenskoga čvora, čvora odluke, krajnjega čvora i grana). Algoritam je optimiziranih procedura (proaktivni način upravljanja) utemeljen na dvama tipovima problema koji su sljedeći: problem najkraćega puta, koji je zasnovan na vremenskim okvirima, i problem pronalaženja puta za višestruka sredstva. Primjena je sustava i algoritama upravljanja operacijama zrakoplova izvedena u programskom alatu CAST. Na temelju je ključnih indikatora performansa napravljena usporedna analiza postojećega i proaktivnoga načina upravljanja te su iskazane dobiti koje je moguće ostvariti upotrebom algoritma optimiziranih procedura.



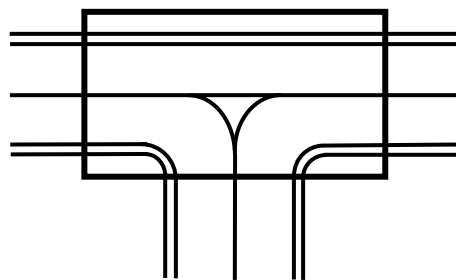
Slika 5.1. Prikaz procesa modeliranja i validacije operacija zrakoplova u regionalnim zračnim lukama

⁴⁶ CAST – Comprehensive Airport Software

5.1.Struktura modela

Modeliranje je procedura upravljanja operacijama zrakoplova u zračnoj luci temeljeno na inovativnom pristupu u kojem se zračna luka dijeli na odgovarajući broj sektora različitih veličina.

U kontekstu modeliranja upravljačkih procedura u zračnoj luci sektori predstavljaju dio manevarske površine ili stajanke, u kojem dolazi do križanja različitih infrastrukturnih elemenata, te dio prilaznih i odletnih ruta. Model se zračne luke sastoji od pripadajućega broja sektora ovisno o njezinoj veličini i infrastrukturnim karakteristikama. Svaki je sektor određen ulaznim, odnosno izlaznim točkama (WP – *Waypoint*) u kojima se definira set procedura koje će propuštati, odnosno zaustavljati zrakoplov na temelju zadanih uvjeta. U slučaju susjednih sektora izlazna točka iz jednoga sektora ujedno predstavlja ulaznu točku u drugi sektor i obrnuto, pritom svaki sektor ima najmanje jednu ulaznu i jednu izlaznu točku. Na Slici 5.2. prikazan je primjer primjene sektora na dijelu manevarske površine zračne luke, odnosno na „T” križanju dviju vozni staza.



Slika 5.2. Prikaz postupka *sektorizacije* u modelu upravljanja operacijama zrakoplova na „T” križanju dviju vozni staza

U prikazanom slučaju sektor ima tri ulazne i tri izlazne točke koje su pozicionirane na spoju ruba sektora i središnje linije vozne staze.

Primjena mrežnoga modela sektorizacije prikazana na primjeru Zračne luke Split (Slika 5.3.). U navedenom se mrežnom modelu primjenjuje pet osnovnih tipova sektora vezanih uz završne prilazne segmente, uzletno-sletnu stazu, vozne staze, parkirne pozicije i početne odlazne segmente. Sektori koji su vezani uz završne prilazne segmente označeni su u modelu oznakama OM i FAF. U slučaju zračne luke Split definirana su dva završna prilazna sektora, 05 i 23.

Navedeni sektori ujedno predstavljaju i odlazne segmente. Uzletno-sletna staza čini jedan sektor koji je označen sa SR, dok sektori vezani uz vozne staze nose oznaku ST. U navedenom je modelu definirano 12 takvih sektora. Svaka pozicija u zračnoj luci ujedno predstavlja i jedan sektor, a u modelu je ukupno definirano 15 takvih sektora koji su označeni sa SP.

Svaki je sektor definiran odgovarajućim brojem ulaznih, odnosno izlaznih točaka, a koje su prikazane u Tablici 5.1.

Tablica 5.1. Popis sektora i pripadajućih ulaznih i izlaznih točaka

Sektor	Ulazne točke	Izlazne točke	Sektor	Ulazne točke	Izlazne točke
ST0	T1_R, EXIT_B	T1_L, RHP_B			
ST1	T1_L, T2_R, P1_OUT	T1_R, T2_L, P1_IN	SP1	P1_IN	P1_OUT
ST2	T2_L, T3_R, P2_OUT	T2_R, T3_L, P2_IN	SP2	P2_IN	P2_OUT
ST3	T3_L, T4_R, P3_OUT	T3_R, T4_L, P3_IN	SP3	P3_IN	P3_OUT
ST4	T4_L, T5_R, P4_OUT	T4_R, T5_L, P4_IN	SP4	P4_IN	P4_OUT
ST5	T5_L, T6_R, P5_OUT	T5_R, T6_L, P5_IN	SP5	P5_IN	P5_OUT
ST6	T6_L, T7_R, P6_OUT	T6_R, T7_L, P6_IN	SP6	P6_IN	P6_OUT
ST7	T7_L, T11_R, P7_OUT, T8_U, EXIT_A	T7_R, T11_L, P7_IN, T8_D, RHP_A	SP7	P7_IN	P7_OUT
ST8	T8_D, T9_U, P8_OUT, P14_OUT	T8_U, T9_D, P8_IN, P14_IN	SP8	P8_IN	P8_OUT
			SP9	P9_IN	P9_OUT
ST9	T9_D, T10_U, P9_OUT, P12_OUT	T9_U, T10_D, P9_IN, P12_IN	SP10	P10_IN	P10_OUT
			SP11	P11_IN	P11_OUT
ST10	T10_D, P10_OUT, P11_OUT	T10_U, P10_IN, P11_IN	SP12	SP12_IN	SP12_OUT
			SP14	P14_IN	P14_OUT
ST11	T11_L, P15_OUT, P16_OUT	T11_R, P15_IN, P16_IN	SP15	P15_IN	P15_OUT
			SP16	P16_IN	P16_OUT
SR	RHP_A, RHP_B	EXIT_A, EXIT_B			
OM_05	OM_05_IN, DT_23	OM_05_OUT, AT_05			
OM_23	OM_23_IN, DT_05	OM_23_OUT, AT_23			
FAF_05	FAF_05_IN, OM_05_OUT	FAF_05_OUT, OM_05_IN			
FAF_23	FAF_23_IN, OM_23_OUT	FAF_23_OUT, OM_23_IN			

Ulazne i izlazne točke nalaze se na rubovima sektora, odnosno na spoju dvaju sektora. Mrežni model sektorizacije koji je primijenjen u Zračnoj luci Split sadrži ukupno 31 sektor i 64 ulaznih i izlaznih točaka. Svaka se ulazna i izlazna točka pojedinoga sektora odnosi na točno određeni smjer kretanja zrakoplova.

Metodologija je formiranja sektora u prilazno-odletnim segmentima definirana navigacijskim rutama letenja i radionavigacijskim uređajima. U slučaju prilaza pragu 05 sektori su definirani na temelju standardne prilazne rute i dvaju radionavigacijskih uređaja, a to su: neusmjereni radiofar (NDB⁴⁷) *TROGIR*, koji se nalazi na udaljenosti od 4,56 NM od praga USS-a i koji je u aeronautičkim kartama označen kao vanjski marker (OM⁴⁸), i neusmjereni radiofar (NDB) *DRVENIK*, koji se nalazi na udaljenosti od 8,4 NM i koji je u aeronautičkim kartama označen kao točka završnoga prilaza.

⁴⁷ NDB – Non-Directional Beacon

⁴⁸ OM – Out Marker

U slučaju prilaza pragu 23 definirani su sektori na temelju dviju točaka (engl. *Waypoints*), *RORKA* i *LASUL*. Upotrebom programskoga alata *DaftLogic* i standardnih prilaznih ruta, a na temelju statističkih mjerenja pojedinih putanja zrakoplova, određene su sljedeće udaljenosti: od praga 23 do točke *RORKA*, koja iznosi 6,4 NM, i od točke *RORKA* do točke *LASUL*, koja iznosi 13 NM.

Podjela je zračne luke na sektore određena dvama elementima: konfiguracijom manevarske površine i fizičkim dimenzijama zrakoplova koji se javljaju u zračnoj luci.

U modelu je sektor definiran na dijelu manevarske površine ili stajanke na kojem može doći do promjene smjera kretanja zrakoplova te na dijelovima koji predstavljaju spoj različitih infrastrukturnih elemenata zračne luke (vozna staza–pozicija za parkiranje zrakoplova, vozna staza–uzletno-sletna staza i dr.).

Drugi su ograničavajući element u postupku modeliranja sektora fizičke dimenzije zrakoplova. Jedan zrakoplov ne može istovremeno biti u dvama sektorima, odnosno pojedini sektor mora biti odgovarajuće veličine kako bi prihvatio najveći zrakoplov koji će koristiti taj sektor i koji se dovoljno često javlja u zračnoj luci. Najveći je zrakoplov koji se dovoljno često javlja u zračnoj luci *Boeing 757-300* te je za taj tip zrakoplova dizajnirana pozicija broj 6 i 7.

U Tablici 5.2. prikazani su različiti tipovi zrakoplova za koje je zračna luka dimenzionirana s njihovim fizičkim karakteristikama prema pojedinim pozicijama.

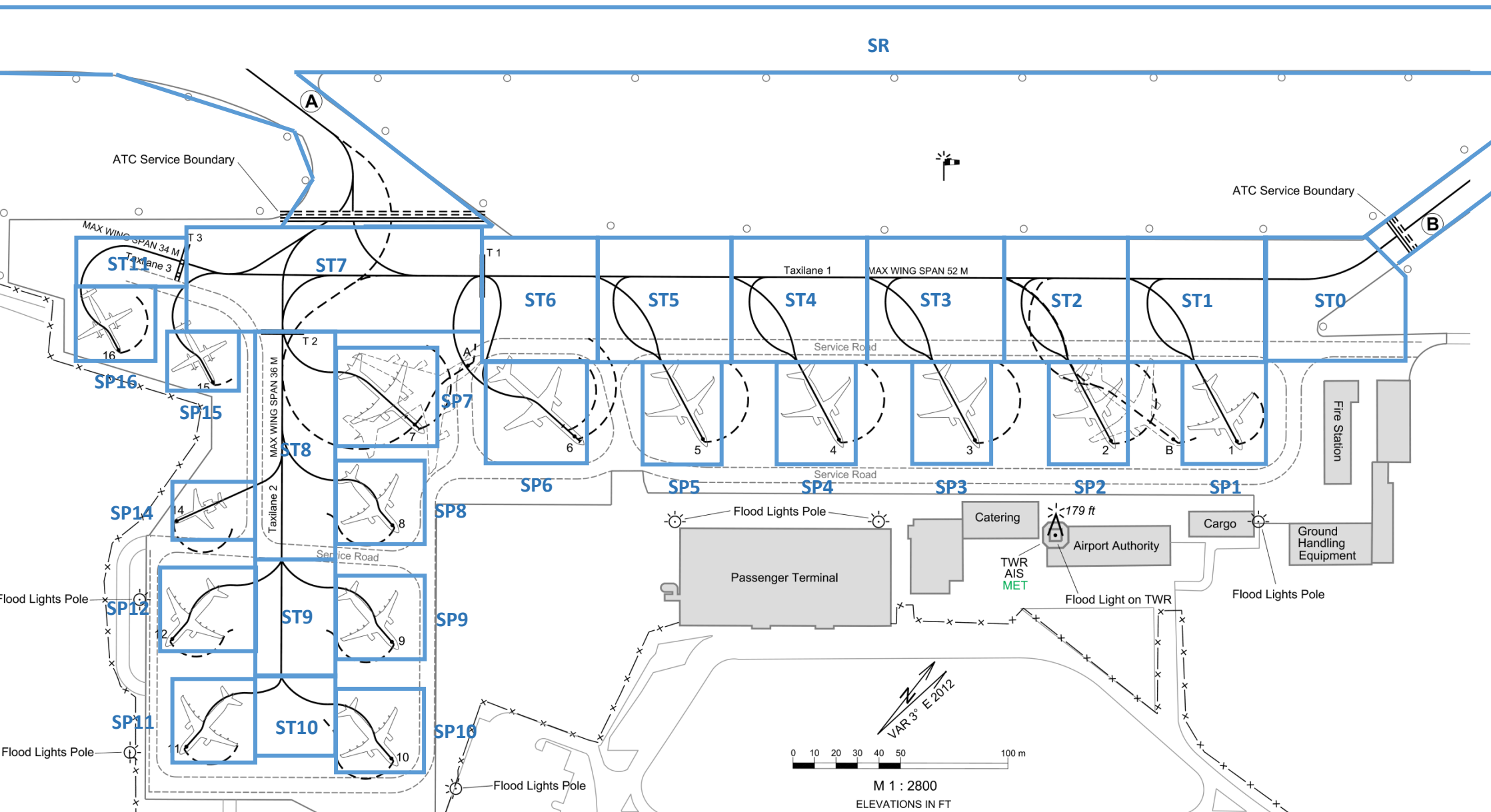
Tablica 5.2. Prikaz tipova zrakoplova u Zračnoj luci Split s njihovim fizičkim karakteristikama prema pojedinim pozicijama

Pozicija	Max zrakoplov	Dužina [m]	Raspon krila [m]
1	A320	38	36
2	A321	44	36
3	A321	44	36
4	A321	44	36
5	A321	44	36
6	B757	54	38
7	B757	47	38
8	A320	38	36
9	A320	38	36
10	A320	38	36
11	A320	38	36
12	A320	38	36
14	E135	27	20
15	Dash 8 Q400	32	28
16	Dash 8 Q400	32	28

Analiza Tablice 5.2. i Slike 5.3. ukazuje na to kako veličina sektora ST1–ST6, odnosno SP1–SP6 mora biti 54 x 38 metara, sektora ST8–ST10, odnosno SP8–SP14 mora biti 38 x 36 metara, dok veličina sektora SP15–SP16, odnosno SP11 mora biti 32 x 28 metara.

Uz pozicije navedene u Tablici 5.2. postoje i dvije alternativne pozicije, pozicija A, koja može prihvatiti zrakoplov tipa *Boeing 747-400*, i pozicija B, koja može prihvatiti zrakoplov tipa *Boeing 767-300*. Kako se operacije navedenih tipova zrakoplova ne odvijaju u redovitom prometu na regionalnoj zračnoj luci, tako i metodologija dizajna sektora neće uključivati fizičke karakteristike tih tipova zrakoplova.

Operacije su navedenih tipova zrakoplova iznimno rijetke i u pravilu se odvijaju u posebnim operativnim uvjetima (manja razina prometa, ograničenja u kretanju i parkiranju za sve ostale tipove zrakoplova i sl.).

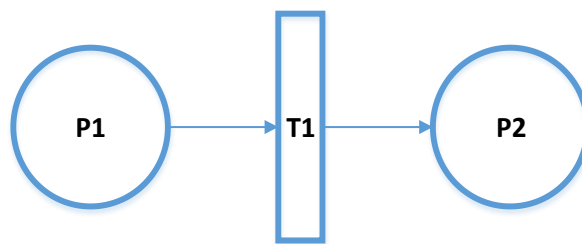


Slika 5.3. Primjena mrežnog modela sektorizacije na primjeru Zračne luke Split [66]

Mrežni se model sektorizacije zračne luke može prikazati primjenom Petrijevih mreža koje predstavljaju sredstvo za prikaz i matematički jezik za modeliranje distributivnih sustava. Primjena Petrijevih mreža nalazi se u gotovo svim dinamičkim sustavima, a najčešće se koristi za modeliranje informacijskih, upravljačkih i automatskih sustava [67].

Petrijeve mreže definirane su kao bipartitni graf sastavljen od mjesta (engl. *Places*), koja se prikazuju krugovima, prijelaza (engl. *Transitions*), koji se prikazuju pravokutnicima, i usmjerenih lukova (engl. *Directed Arcs*), koji povezuju mjesta i prijelaze (Slika 5.4.). Mjesta od kojih je luk usmjeren prema tranziciji nazivaju se ulazna mjesta, a mjesta kod kojih je luk usmjeren od tranzicije prema mjestima nazivaju se izlazna mjesta. Pritom svako mjesto može biti višestruko ulazno, odnosno izlazno za neki prijelaz.

Grafički mjesta u Petrijevoj mreži mogu sadržavati diskretan broj oznaka (engl. *Tokens*). Svaka akcija okidanja mreže uklanja oznake iz ulaznih mjesta i dodaje ih jednom izlaznom mjestu ili više njih. Broj oznaka koje su pri okidanju mreže prešle iz ulaznih u izlazna mjesta ovise o težini ulaznih, odnosno izlaznih lukova. Ako su težine svih lukova jednake 1, takva se mreža naziva ordinirana ili obična Petrijeva mreža. U suprotnom je riječ o otežanoj ili neordiniranoj Petrijevoj mreži.



Slika 5.4. Grafički prikaz Petrijevih mreža

Izvor: [67]

Standardna Petrijeva mreža uključuje sljedeće komponente: skup mjesta (P), skup prijelaza (T), funkciju ulaza (I), funkciju izlaza (O), težinske koeficijente (Φ) i početno stanje (m_0). Petrijeva mreža C uređena je šestorka oblika:

$$C=(P, T, I, O, \Phi, m_0), \quad (5.1.)$$

gdje je:

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}, n \geq 0, p_i \in P, \text{ konačan skup mjesta}$$

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}, m \geq 0, t_i \in T, \text{ konačan skup prijelaza}$$

$$P \cap T = \emptyset, P \cup T \neq \emptyset.$$

$I: T \rightarrow P$ ulazna je funkcija koja opisuje preslikavanje iz skupa prijelaza u skup mjesta (matrica veza od mjesta prema prijelazima). Mjesto p_i ulazno je mjesto za prijelaz t_j ako je $p_i \in I(t_j)$. Broj pojavljivanja p_i mjesta kao ulaznoga označava se $\#(p_i, I(t_j))$.

$O: T \rightarrow P$ izlazna je funkcija koja opisuje preslikavanje iz skupa prijelaza u skup izlaza (matrica veza od prijelaza prema mjestima). Mjesto p_i izlazno je mjesto za prijelaz t_j ako je $p_i \in O(t_j)$. Broj pojavljivanja mjesta p_i kao izlaznoga označava se $\#(p_i, O(t_j))$.

$\Phi: (I, O) \rightarrow \{1, 2, \dots\}$ težinska je funkcija (matrica svih težinskih koeficijenata).

$m_0: P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ početno je stanje vektora stanja m .

Označavanje (engl. *Marking*) je vektor $m: P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ koji dodjeljuje svakom mjestu u Petrijevoj mreži cjelobrojnu pozitivnu oznaku koja se prikazuje crnom točkom. Broj oznaka m dodijeljenih mjestima p izražen je s $m(p)$ [68]. Skup svih oznaka definiranih na mreži $N = (P, T, E)$ je $M = IN^{|P|}$, gdje je $E \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$. Petrijeva mreža označena s (N, m_0) mreža je N s početnim stanjem m_0 . Skup prijelaza $\tau \subseteq T$ omogućen je akcijom označavanja ako:

$$\forall p \in P, m(p) \geq |p^{(t)} \cap \tau|, \quad (5.2.)$$

tako da je za svako mjesto $p \in P$, $m(p)$ veće od broja prijelaza τ za koje je p ulazno mjesto. Postoje dvije osnovne pretpostavke vezane uz broj prijelaza koje mogu okidati u danom trenutku. Pod *pretpostavkom podudarnosti* (engl. *Concurrency Assumption*) više od jednoga prijelaza može provesti okidanje u svakom trenutku. Ako je skup prijelaza $\tau \subseteq T$ omogućen akcijom označavanja m , tada τ može provesti okidanje novoga označavanja:

$$m'(p) = m(p) + |{}^{(t)}p \cap \tau| - |p^{(t)} \cap \tau|. \quad (5.3.)$$

Omogućavanje okidanja skup prijelaza $\tau \subseteq T$ uzorkuje da je jedna oznaka uklonjena iz svakoga mjesta $p \in {}^{(p)}t$ i dodana svakom mjestu $p \in t^{(p)}$ za svaki $t \in \tau$. Stoga se može napisati $m[\tau \rangle$ da bi se označilo da τ može okidati u trenutku akcije označavanja m i $m[\tau \rangle m'$ da bi se označilo da τ svojim okidanjem dovodi do novoga označavanja m' .

Pretpostvka nepodudarnosti (engl. *No Concurrency Assumption*) predstavlja drugu pretpostavku koja se javlja kod Petrijevih mreža, a vezana je uz broj prijelaza koji mogu okidati u danom trenutku. Kod ove pretpostavke samo jedan prijelaz može provesti okidanje u svakom trenutku, a jednadžba okidanja (5.2.) zadržava kod prijelaza τ jednočlani skup [69].

Sekvenca okidanja iz početnoga stanja m_0 sekvenca je postavljanja prijelaza $\sigma = \tau_1 \dots \tau_n$, tako da je $m_0[\tau_1 m_1.][\tau_2 m_2] \dots [\tau_k \rangle m_k$.

Stoga se može napisati $m_0[\sigma \rightarrow m_k]$ kako bi se označilo da je moguće provesti okidanje sekvence σ pri stanju m_0 i $m_0[\sigma \rightarrow m_k]$ kako bi se označilo da se okidanjem σ dobiva m_k . Pod pretpostavkom nepodudarnosti svaki prijelaz τ_i jednočlani je skup, a σ je sekvenca prijelaza.

Označavanje m dostupno (engl. *Reachable*) je u Petrijevoj mreži $\langle N, m_0 \rangle$ ako postoji sekvenca okidanja σ takva da je $m_0[\sigma \rightarrow m]$. Za danu Petrijevu mrežu $\langle N, m_0 \rangle$ skup je dostupnih označavanja određen s $R\langle N, m_0 \rangle$. Prijelaz $\tau \subseteq T$ živ je ako za svaku oznaku $m \in R\langle N, m_0 \rangle$ postoji $m' \in R\langle N, m \rangle$ takav da je prijelaz t omogućen s m' . Petrijeva je mreža živa (engl. *Live*) ako su svi prijelazi živi. Prijelaz $\tau \subseteq T$ zaglavljen (engl. *Deadlock*) je ako pri označavanju $m \in R\langle N, m_0 \rangle$ ne postoji $R\langle N, m \rangle$. Petrijeve su mreže zaglavljene ako su svi prijelazi zaglavljene te je daljni tijek operacija u sustavu (ili dijelu sustava) onemogućen.

Kontrolirana Petrijeva mreža (engl. *Controlled Petri nets CtIPNs*) klasa je Petrijevih mreža s vanjskim okidačem, kontrolnim mjestom (engl. *Control Places*) povezanim s prijelazom T koji na temelju propisanih uvjeta omogućuje okidanje prijelaza T [70].

Formalno kontrolirana Petrijeva mreža uređena je trojka oblika:

$$N^c = (N, C, \theta), \quad (5.4.)$$

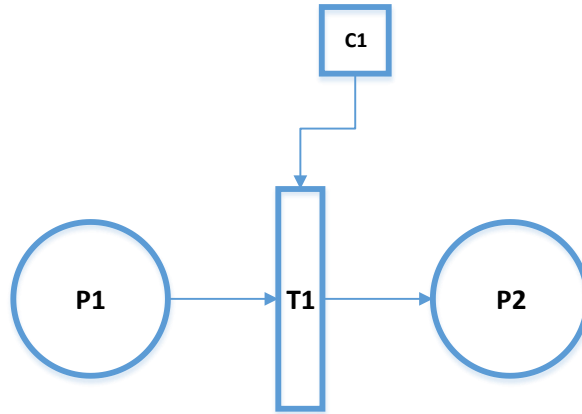
gdje je:

$N = (P, T, E)$ – ordinirana Petrijeva mreža

C – konačan skup kontrolnih mjesta

$B \subseteq (C \times T)$ – skup usmjerenih lukova koji spajaju kontrolna mjesta i prijelaze.

U kontekstu kontroliranih Petrijevih mreža element P označava stanje mjesta (engl. *State Places*). Za prijelaz $\tau \in T$ označava se skup ulaznih kontrolnih mjesta ${}^{(c)}t := \{c \mid (c, t) \in \beta\}$, i za svako kontrolno mjesto $c \in C$ označava se skup izlaznih prijelaza $c^{(t)} := {}_{(c)}\{t \mid (c, t) \in \beta\}$. Prijelaz t smatra se kontroliranim prijelazom (engl. *Controlled Transitions*) ako je skup ulaznih kontrolnih mjesta ${}^{(c)}t$ pun. Skup kontroliranih prijelaza označava se s T_c . Slika 5.5. prikazuje kontroliranu Petrijevu mrežu u kojoj krugovi označavaju mjesta, pravokutnici prijelaz, a kvadrati kontrolna mjesta.



Slika 5.5. Grafički prikaz kontroliranih Petrijevih mreža

Izvor: [70]

Analogno s ordiniranom Petrijevom mrežom stanje je kontrolirane Petrijeve mreže prikazano s odgovarajućim označavanjem koje predstavlja distribuciju oznaka u mjestima. Skup prijelaza $\tau \subseteq T$ omogućen je ako je zadovoljena jednačba (5.1.).

Upravljanje je kontroliranom Petrijevom mrežom omogućeno funkcijom $u: C \rightarrow \{0,1\}$, a koja je povezana s binarnom vrijednosti svakoga kontrolnoga mjesta. Skup takvih kontrola označava se s U . Skup prijelaza $\tau \subseteq T$ smatra se upravljivim (engl. *Control Enabled*) ako vrijedi $t \in \tau, u(c) = 1$, za svaki $c \in {}^{(c)}t$.

Kontrola $u \in U$ smatra se propusnijom (engl. *Permissive*) nego kontrola $w \in U$ ako je $u(c) \geq w(c)$, za svaki $c \in C$. Kontrola u smatra se više propusnom nego kontrola w ako je u propustljivo kao w i ako je $u(c) \geq w(c)$ za određeni $c \in C$. Najpropustljivija je kontrola $u_{one} := 1$, a najmanje je propustljiva kontrola $u_{zero} := 0$. Kontrolirana Petrijeva mreža koristi se pod *pretpostavkom podudarnosti*. Ako se s $T_e(m, n) \subseteq 2^T$ označi set prijelaza kod kojih su omogućena oba stanja s $m \in M$ i omogućena kontrola s $u \in U$, svaki set prijelaza $t \in T_e(m, u)$ može okidati čime se mijenja označavanje mreže u m' , kako je definirano u jednačbi (5.2.). Za dani skup označavanja $m \in M$ i $u \in U$ definiran je set *trenutno dostupnih označavanja* (engl. *Immediately Reachable Markings*) $R_1(m, u)$:

$$R_1(m, u) = \{m\} \cup \{m' \in M \mid m' \text{ definirano je u jednačbi (5.3.) za } \tau \in T_e(m, u)\}.$$

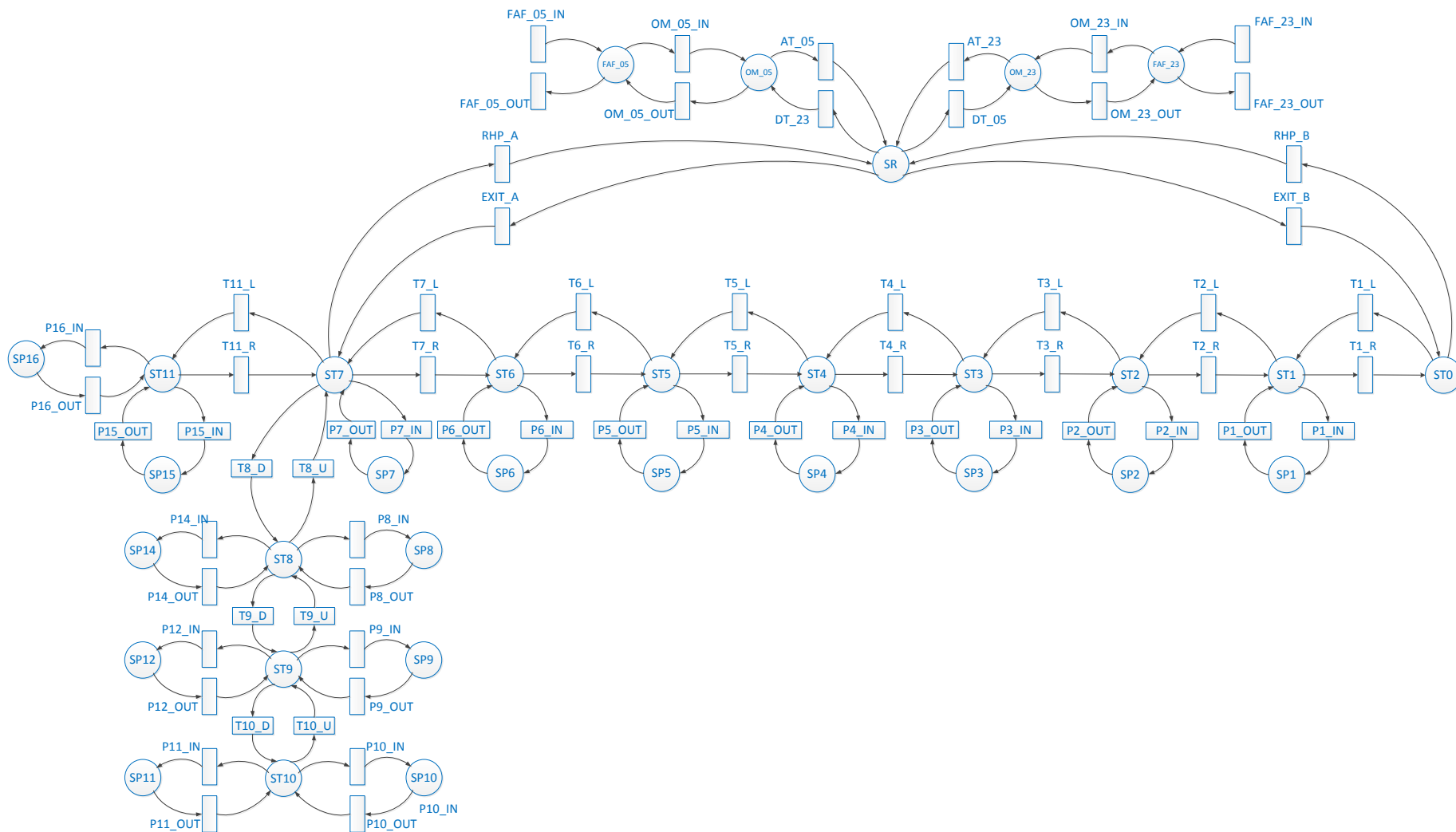
Skup dostupnih označavanja u proizvoljnom broju prijelaza koji provode akciju okidanja za $m \in M$ s konstantnom kontrolom $u \in U$ označen s $R_\infty(m, u)$ definiran je na sljedeći način:

1. $m \in R_\infty(m, u)$
2. ako je $m' \in R_\infty(m, u)$, tada je $R_1(m', u) \subseteq R_\infty(m, u)$
3. svi $m' \in R_\infty(m, u)$ definirani su u (5.2.) i (5.3.).

Za modeliranje odvijanja operacija zrakoplova u zračnoj luci koristit će se klasa Petrijevih mreža – kontrolirane Petrijeve mreže. U mrežnom su modelu sektori prikazani kao ulazna i izlazna mjesta P , dok je set ulaznih i izlaznih točaka u/iz sektora prikazan setom kontroliranih prijelaza $\tau \subseteq T$ koji je zasnovan na *Booleovoj* algebri. U modelu za upravljanje seta prijelaza koristi se set kontrolnih mjesta C čije je upravljanje omogućeno funkcijom $u: C \rightarrow \{0, 1\}$, a koja je povezana s binarnom vrijednosti svakoga kontrolnoga mjesta. Prijelaz t smatra se kontroliranim prijelazom ako je set ulaznih kontrolnih mjesta ${}^{(c)}t$ potpun. Skup kontroliranih prijelaza označava se s T_c .

Sva su kontrolna mjesta međusobno povezana sa svim kontroliranim prijelazima, odnosno s mjestima. U svakom je kontrolnom mjestu definiran skup pravila koji je zasnovan na stablu odluke, a na temelju kojega izlazna funkcija kontrolnoga mjesta pridodaje binarnu vrijednost pojedinom kontroliranom prijelazu. U modelu su korištena dva tipa kontrole: najpropustljivija kontrola $u_{one} := 1$ i najmanje propustljivija kontrola $u_{zero} := 0$.

Zrakoplovi su u mrežnom modelu definirani oznakama, dok se operacije zrakoplova definiraju označavanjem mreže gdje $m(p)$ predstavlja broj oznaka (zrakoplova) dodijeljenih od strane m mjestima p (sektorima). Ako je set prijelaza $\tau \subseteq T$ omogućen akcijom označavanja m , tada τ može provesti okidanje novoga označavanja $m'(p)$ prema jednadžbi (5.2.). Model sektorizacije zračne luke uključuje *pretpostavku podudarnosti* jer se smatra kako više prijelaza može istovremeno okinuti u danom trenutku ako je zadovoljena jednadžba (5.2.), odnosno u danom trenutku istovremeno više zrakoplova može napraviti prijelaz iz jednoga sektora u drugi. Na Slici 5.6. prikazan je model sektorizacije Zračne luke Split upotrebom Petrijevih mreža.



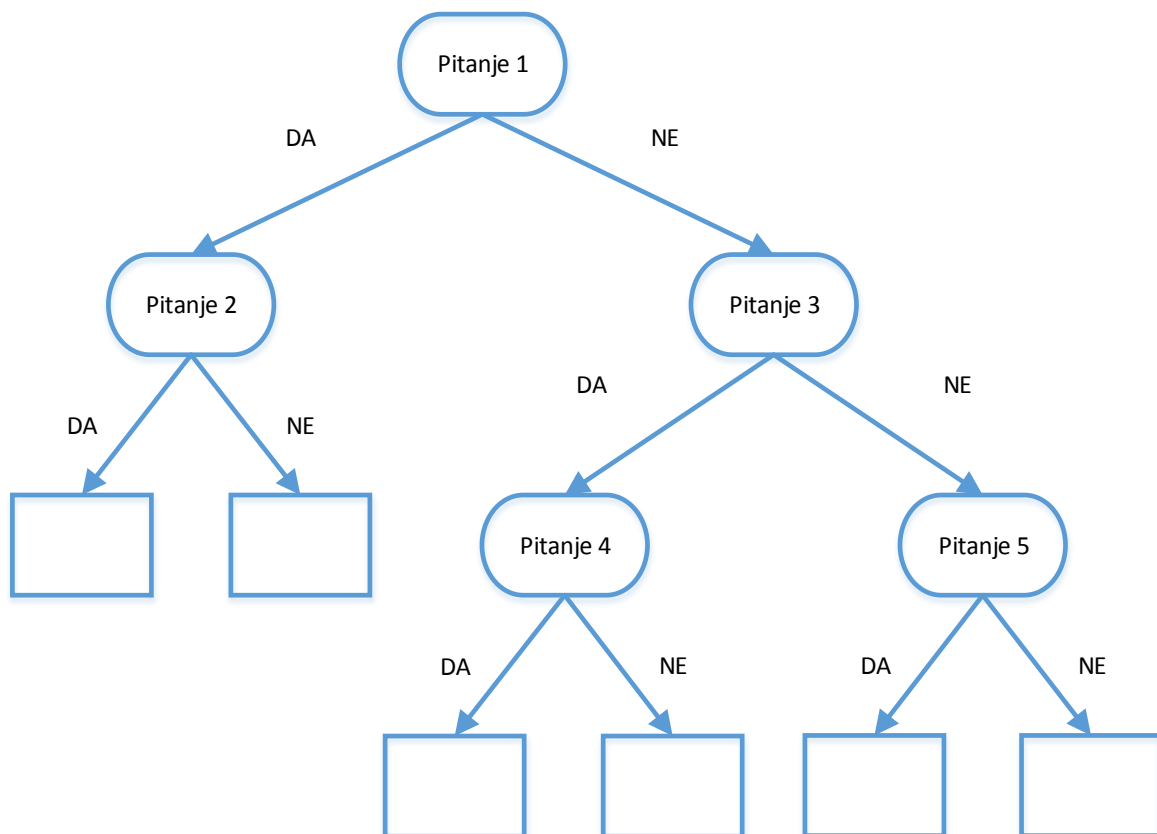
Slika 5.6. Prikaz modela sektorizacije Zračne luke Split upotrebom Petrijevih mreža

Stablo odluke predstavlja jednu od najkorištenijih metoda induktivnoga odlučivanja, a koristi se za rješavanje prediktivnih problema koji uključuju predviđanje ciljnih atributa, prepoznavanje uzoraka, razlikovnu analizu i sl. [71]. Stabla odluke najčešće se upotrebljavaju za rješavanje prediktivnih problema u kojima ciljna funkcija poprima diskretne vrijednosti (*Boolova* klasifikacija: DA ili NE).

Značajno je svojstvo stabla odluke to što omogućuje čitanje podataka u razumljivom obliku, odnosno koristi skup ako – onda pravila (engl. *if – else*). Stabla odluke predstavljaju disjunktivnu normalnu formu kod koje je potrebno napisati logičke izraze za danu tablicu istinitosti. Stablo odluke predočava se uz pomoć klasifikacijskoga algoritma upotrebom čvorova povezanih s granama koje tvore formu/oblik stabla. Postoje dva tipa čvora (engl. *Node*) koji se koriste u stablu odluke:

- **čvor odluke** – predstavlja unutarnji čvor u stablu odluke u kojem se izvodi testiranje ulaznih atributa/varijabla
- **krajnji čvor** – predstavlja završetak određene grane stabla i definira klasu koja pripada primjeru koji zadovoljava uvjete na toj grani stabla.

Iz jednoga je čvora moguće definirati dvije ili više grane (engl. *Branch*) koje odgovaraju vrijednosti atributa. Svaki list predstavlja vrijednost ciljne varijable danih vrijednosti ulaznih varijabla koje predstavljaju put od korijena do lista. Primjer je stabla odluke prikazan na Slici 5.7.



Slika 5.7. Prikaz stabla odluke

Stablo odluke ima sposobnost generiranja razumljivih modela koje je moguće grafički prikazati [71]. Metoda koristi sve tipove atributa, a za programsku realizaciju zahtijeva relativno male računalne resurse. Stablo je odluke prikladno za probleme kod kojih su primjeri predstavljeni parovima atribut-vrijednost, a ciljna funkcija poprima diskretne vrijednosti. Stablo odluke prirodno predstavlja disjunktivan izraz, a podatci za učenje mogu sadržavati pogreške.

S druge su strane stabla odluke manje prikladna za probleme kod kojih se traži predikcija kontinuiranih vrijednosti ciljanoga atributa. Negativan se aspekt očituje i u nestabilnosti strukture, odnosno male promjene ulaznih varijabla mogu uzrokovati znatne promjene u topologiji stabla. U određenim slučajevima sortiranje kandidata za testiranje čvorova može predstavljati zahtijevan problem kao i metode za skraćivanje stabla.

ID3 (engl. *Induction of Decision Trees*) predstavlja algoritam za izgradnju stabla odlučivanja iz skupa podataka [72]. ID3 pripada u skupinu pohlepnih algoritama jer nikada ne razmatra prethodne izbore. ID3 algoritam rješava problem tako da u svakom koraku bira lokalno optimalno rješenje s tendencijom da će se na taj način realizirati globalni optimum.

Za potrebe odabira atributa na temelju kojega će se provesti testiranje u pojedinom čvoru koristi se informacijska dobit koja predstavlja mjeru kako dobro pojedini atributi odjeljuju primjere za učenje u skladu s ciljanom klasifikacijom.

ID3 algoritam moguće je prikazati generaliziranim slučajem u kojem postoji skup s N primjera koji su podijeljeni na podskupove koji pripadaju određenim razredima C_i , gdje je $i = 1, 2, 3, \dots$. Broj slučajeva u razredu C_i predstavljen je s N_i . Svaki slučaj ima K atributa, a svaki atribut J_k vrijednosti [72].

ID3 algoritam započinje s izvornim skupom S , koji se sastoji od N slučajeva, kao korijenskim čvorom te se izračunava početna vrijednost entropije prema sljedećoj formuli:

$$\text{Entropija}(S) = \sum_{i=1}^C - \left(\frac{N_i}{N}\right) \log_2 \left(\frac{N_i}{N}\right) = \sum_{i=1}^C -p_i \log_2 p_i. \quad (5.4.)$$

U sljedećem je koraku potrebno odrediti atribut koji će predstavljati korijen stabla odluke tako da se za svaki atribut A_k , gdje je $k = 1, 2, 3, \dots$, razdijeli originalni skup primjera na skupove prve razine prema vrijednosti a_{kj} od mogućih J vrijednosti atributa A_k . Postoji n_{kj} primjera u a_{kj} grani, ali ti uzorci ne moraju nužno biti iz jednoga razreda. Za svaki podskup grane n_{kj} broj primjera koji pripadaju u razred C_i jest $n_{kj}(i)$. Zatim je potrebno izračunati entropiju prema sljedećoj formuli:

$$\text{Entropija}(S, A_k, j) = \sum_{i=1}^C - \left(\frac{n_{kj}(i)}{n_{kj}}\right) \log_2 \left(\frac{n_{kj}(i)}{n_{kj}}\right). \quad (5.5.)$$

Entropija sustava nakon testiranja atributa A_k dobije se upotrebom sljedeće formule:

$$Entropija(S, A_k) = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^C \left(\frac{n_{kj}}{\sum_j n_{kj}} \right) \cdot \left[- \left(\frac{n_{kj(i)}}{n_{kj}} \right) \log_2 \left(\frac{n_{kj(i)}}{n_{kj}} \right) \right]. \quad (5.6.)$$

Informacijska je dobit (pad entropije), koja se dobiva kao rezultat testiranja atributa A_k i izražena sljedećom formulom:

$$Informacijska_{dobit(k)} = Entropija(S) - Entropija(S, A_k). \quad (5.7.)$$

Nakon što je za svaki atribut izračunana entropija, izabire se atribut koji ima najveću informacijsku dobit za svaki $k = 1, 2, 3, \dots, k$ različito od k_0 te atribut A_{k_0} postaje korijen stabla odluke. Skup se nakon toga dijeli od odabranoga atributa te se izgrađuje sljedeća razina stabla odluke gdje će se atribut $A_{k'}$ koristiti kao čvor prve razine takav da se nakon testiranja $A_{k'}$ u svim granama dobije maksimalna informacijska dobit. Postupak se ponavlja dok svi podskupovi ne budu iz jednoga razreda, odnosno dok entropija sustava ne bude jednaka 0.

5.2. Programsko okruženje za razvoj i testiranje modela upravljanja procesima i sustavima u zračnoj luci – CAST

Modeliranje sustava odvijanja operacija u zračnoj luci predstavlja složen proces koji, ako se programira u višim programskim jezicima opće namjene, zahtijeva složenu algoritamsku strukturu.

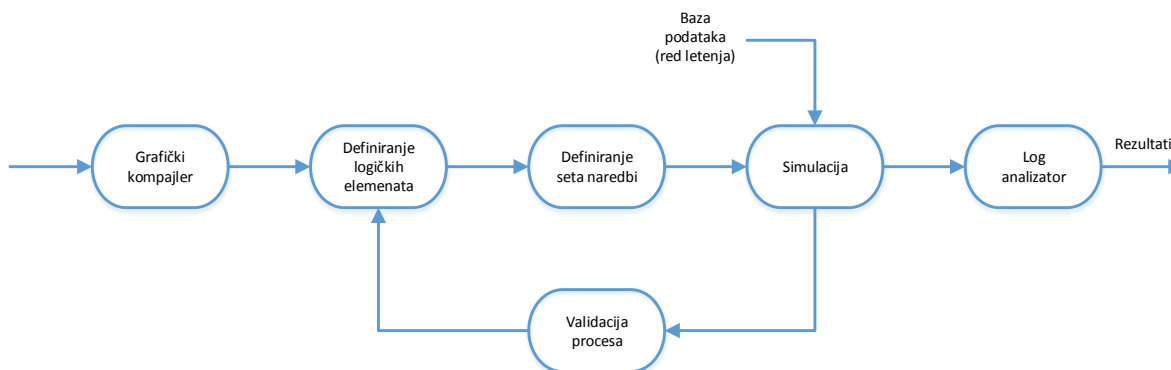
Primjenom metodologije sektorizacije zračne luke povećava se broj ulaznih (upravljačkih) elemenata, a integracijom pojedinih sektora broj operatora, odnosno relacije između pojedinih upravljačkih elemenata. Stoga se, za potrebe modeliranja operacija u zračnoj luci, u ovoj doktorskoj disertaciji koristi programski paket CAST koji omogućuje izradu makroskopskih diskretno-vremenskih determinističkih simulacijskih modela.

Programski paket CAST objedinjuje grafičko sučelje za dizajn infrastrukturnih elemenata zračne luke te interaktivnu definiciju problema i logičko sučelje za razvoj algoritama koji rješavaju problem odvijanja operacija zrakoplova.

Programski paket sadrži i simulacijski dio za vrednovanje modela, kao i vizualnu prezentaciju rješenja.

5.2.1. Osnovna struktura programskoga alata CAST

Osnovna programska struktura alata CAST sastoji se od međusobno integriranoga grafičkoga i logičkoga sučelja. Proces je razvoja i validacije modela u programskom paketu CAST moguće definirati kroz nekoliko koraka, kao što je prikazano na Slici 5.8.



Slika 5.8. Prikaz rada programskoga paketa CAST

Programski alat sadrži razvojno okruženje u kojem je moguće izgraditi infrastrukturne površine luke (manevarsku površinu, stajanku te pripadajuće zračne putove) i objekte prema definiranim elementima ili izravnim uvoženjem .dxf datoteke izrađene u AutoCAD-u. Uvoženjem .dxf datoteke kompajler će infrastrukturne elemente izrađene u AutoCAD-u prilagoditi grafičkom prikazu programskoga alata pritom zadržavajući sve definirane elemente (dužine, širine, radijuse i sl.).

U osnovnom je modelu, koji je dobiven uvoženjem .dxf nacрта, potrebno definirati logičke elemente na odgovarajućem dijelu modela koji će na temelju seta naredaba upravljati operacijama zrakoplova. Za potrebe logičke validacije pojedinih setova naredaba koristi se simulacijski dio paketa koji na temelju baze podataka realno prikazuje način na koji se odvijaju operacije zrakoplova. Bazu podataka korisnik kreira u programskom alatu *Excel* te u CSV⁴⁹ formi „uvozi“ u programski paket CAST. Format CSV podrazumijeva takvu strukturu da su u svakom redu pojedini podatci odijeljeni zarezom. Baza podataka sadrži osnovne informacije (Slika 5.9.) o pojedinoj operaciji zrakoplova koja se odvija u modelu, a temelji se na planiranom redu letenja, odnosno na planiranim vremenima dolaska (engl. *Scheduled On Block Time*) i odlaska (engl. *Scheduled Off Block Time*) zrakoplova na poziciju i s nje.

Svaki se planirani red letenja sastoji od sljedećih podataka:

- datuma i vremena – datum se unosi u obliku (dd:mm:yyyy), dok se vrijeme unosi u obliku (hh:mm);
- tipa zrakoplova – zapisuje se u kodu definiranom od strane IATA-e ili ICAO-a;
- dolazne/odlazne zračne luke – zapisuje se u kodu definiranom od strane IATA-e ili ICAO-a (U alatu se fizički unosi samo jedna dolazna/odlazna zračna luka koja simulira sve zračne luke unesene u redu letenja.);
- dolazne/odlazne pozicije za parkiranje zrakoplova – predstavlja poziciju s dolazne zračne luke (ukoliko je riječ o dolaznom letu), odnosno poziciju s odlazne zračne luke (ukoliko je riječ o odlaznom letu) (Ukoliko je riječ o odlaznoj poziciji, u većini se slučajeva ovo polje ostavlja prazno.);

⁴⁹ CSV – Comma Separated Value

- operacije zrakoplova – program prepoznaje dvije osnovne operacije zrakoplova, dolazne i odlazne;
- broja leta – za svaki je let potrebno definirati jedinstveni broj leta koji se sastoji od kombinacije slova i brojeva;
- koda zračnoga prijevoznika – zapisuje se u obliku oznake s dvama slovima;
- registracije zrakoplova – vezana je uz određeni tip zrakoplova, a podatak se koristi kako bi se u bazi podataka dolazni let povezao s odlaznim;
- lokalne pozicije za parkiranje zrakoplova – predstavlja parkirnu poziciju na simuliranoj zračnoj luci (Ovaj podatak može ostati prazan ukoliko nije unaprijed određena pozicija za parkiranje zrakoplova, već se raspored parkiranja zrakoplova određuje u posebnom modulu programa).

RefTimestamp [Date/Time]	AircraftType [String]	RemoteStand [String]	RemoteAPT [String]	FlightDirection [Enumeration]	FlightNumber [String]	Operator [String]	Registration [String]	LocalStand [String]
12.02.2009 09:25:00	AT72	XXX	DRS	A	LH 1276	LH	AF_148	D5
12.02.2009 10:08:00	AT72	XXX	DRS	D	LH 1277	LH	AF_148	D5
12.02.2009 12:36:00	A321	XXX	AMS	A	LH 1278	LH	AF_149	A1
12.02.2009 13:26:00	A321	XXX	AMS	D	LH 1279	LH	AF_149	A1
12.02.2009 13:36:00	AT72	XXX	CDG	A	BA 1344	BA	AF_150	B6
12.02.2009 14:49:00	AT72	XXX	CDG	D	BA 1345	BA	AF_150	B6
12.02.2009 16:01:00	B731	XXX	EWR	A	BA 1346	BA	AF_151	D5
12.02.2009 16:49:00	B731	XXX	ORD	D	BA 1347	BA	AF_151	D5

Slika 5.9. Prikaz baze podataka u programskom paketu CAST

Ako simulacija ukaže na to kako određeni skup naredaba nije logički ispravno definiran, tada se izvodi korekcija određenoga segmenta ili cijeloga seta naredaba te se postupak ponavlja. Ako simulacija ukaže na to kako je skup logičkih naredaba ispravno definiran, tada se pristupa posebnom modulu za prikaz rezultata simulacije.

5.2.2. Korisničko okruženje programskoga alata CAST

Radni se prostor programsko-razvojnoga okruženja CAST sastoji od jednoga osnovnoga prozora u kojem se prikazuje radna površina zajedno sa svim pripadajućim elementima (Slika 5.10.). Alatna traka, koja se nalazi u radnom prostoru, sadrži naredbe koje su grupirane s obzirom na to jesu li vezane uz: osnovni izbornik, modeliranje objekata, prikaz modela, upravljanje simulacijom, „izvoženje” rezultata, prozor s porukama upozorenja i statusni prozor.

U osnovnom je prozoru moguće modelirati infrastrukturu zračne strane zračne luke prema definiranim elementima ili izravno uvoženjem .dxf⁵⁰ datoteke, a dodavanjem je logičkih elemenata (WP⁵¹) moguće upravljati operacijama zrakoplova u modelu. Logički se elementi mogu dodati na specifični dio modela, a izborom funkcije *uredi ograničenje prolaza* (engl. *Edit Passage Constraints*) moguće je kreirati algoritam koji će pod propisanim uvjetima propustiti ili zadržati zrakoplov.

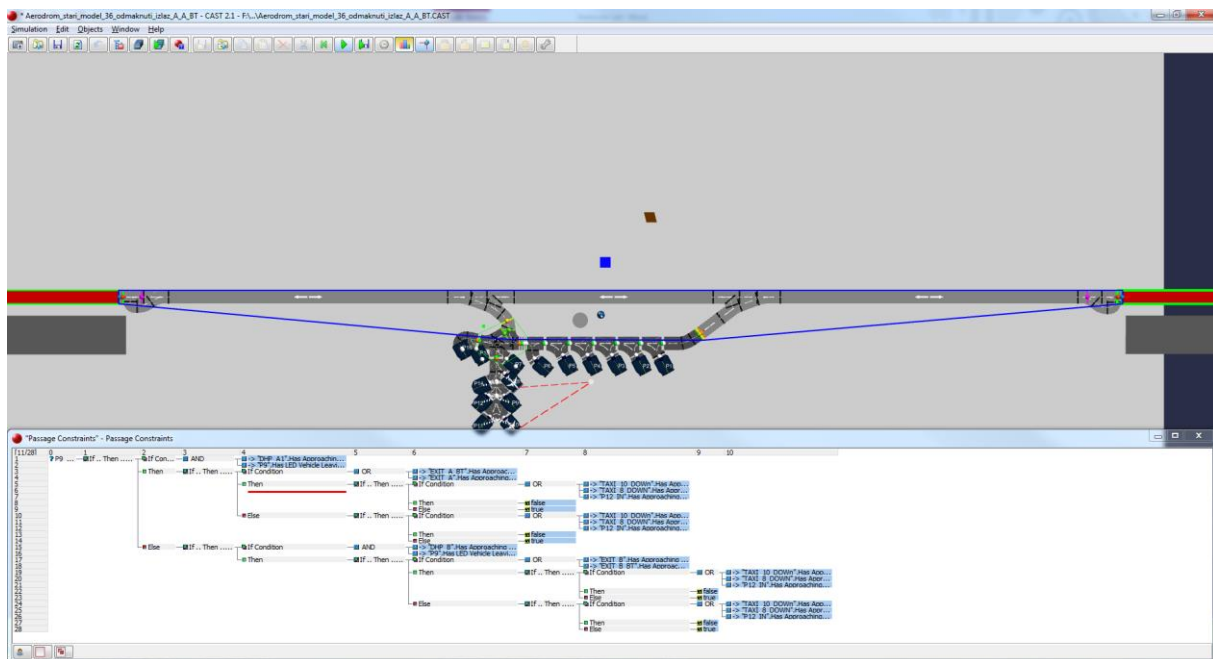
⁵⁰ .dxf – Drawing Interchange Format

⁵¹ WP – Waypoint

Logički se elementi mogu dodavati na bilo koji dio manevarske površine, stajanke ili zračnih putova, a osnovna im je karakteristika usmjerenost, tj. djeluju u smjeru u kojem su uneseni. Naredbom *poveži objekte* (engl. *Link Objects*) moguće je povezati dva ili više logičkih elemenata i u pojedinom algoritmu postaviti uvjetne relacije između njih.

Izrađeni je model moguće prikazati iz deset različitih perspektiva, a objektima u simulaciji (zrakoplovi) dodavati određene dodatne informacije (npr. prikaz putanje zrakoplova). Cjelokupnu je simulaciju moguće snimiti u videozapis te kasnije reproducirati u jednom od programa za prikaz videa. Prozor s porukama upozorenja ukazuje na postojanje sintaktičke ili semantičke neispravnosti u programu, dok je u statusnom prozoru moguće pratiti osnovne parametre simulacije.

Programski alat nudi vizualno oblikovanje modela dodavanjem popratnih objekata, mijenjanjem boja i veličina, mijenjanjem položaja objekata, dodavanjem pozadina i određenih efekata poput magle i sl.



Slika 5.10. Prikaz radnoga okruženja programskoga alata CAST

5.2.3. Sintaksa programskoga jezika

Sintaksa je programskoga jezika CAST temeljena na dvama formalizmima: sintaksnim dijagramima i *Backus Naur Form* [73]. Sintakсни dijagrami predstavljaju način prikazivanja kontekstualno-slobodne gramatike, a *Backus Naur* forma predstavlja tehniku zapisivanja pravila (metasintaksa) kontekstualno-slobodnih jezika.

Sintakсни su dijagrami sredstva za formalni prikaz sintakse programskih jezika, a omogućuju veću preglednost i lakše razumijevanje sintakse jezika.

Navedeni se dijagrami sastoje od usmjerenih grafova s jednom ulaznom i izlaznom granom kojima se prikazuju putovi pri generiranju neke programske strukture.

Usmjereni se grafovi u sintaksnim dijagramima mogu sastojati od simbola kružnih, ovalnih i pravokutnih oblika međusobno povezanih prema određenom redosljedu. Svaki put kroz sintakсни dijagram čini jedno sintakšno pravilo na temelju kojega se grade sintaksne konstrukcije.

Jedan je od načina opisa programskih jezika korištenje kontekstualno-slobodne gramatike. *Backus Naur* forma formalni je metajezik koji služi za predstavljanje kontekstualno-slobodnih gramatika, tj. formalni način opisa umjetnih jezika. Metajezik se koristi kako bi se s pomoću njega opisao neki drugi programski jezik. *Backus Naur* forma sastoji se od metasimbola, metaoperacija i formula.

Složeni objekti pripadaju u osnovne metasimbole te se još nazivaju i *neterminalima*. Njihovi nazivi mogu se sastojati od više simbola, a kako bi se pokazalo da je riječ o jednom metasimbolu između znakova se stavlja simbol < i >. Primjer složenoga objekta u *Backus Naur* formi može biti: <naredba if> , <naredba case>, <sekvenca> i sl.

U *Backus Naur* formi pored složenih objekata koriste se i terminali koji se prikazuju originalnim simbolima bez dodataka, odnosno onim simbolima koji ih opisuju u konkretnom jeziku. Primjer terminala može biti: 123, abc i sl.

Metaoperacija dodjele odgovara operaciji zamjenjivanja u produkciji, a prikazuje se oznakom ::= . Ekskluzivna je disjunkcija metaoperator koji ulazi u metaizraz i ima jednako značenje kao i općenita ekskluzivna disjunkcija. Metaoperacija repeticija označava da se neki podizraz ponavlja više puta pri čemu se mogu, ali i ne moraju definirati granice. Ovaj se izraz prikazuje u vitičastima zagradama.

Proširena je *Backus Naur* forma (EBNF⁵²) izvedena iz osnovne *Backus Naur* forme, a uključuje više operatora i jednostavniji zapis pravila gramatike.

U EBNF-u javljaju se sljedeće izmjene: neterminali se označavaju bez ograničavala (<i>), terminali se pišu pod navodnim znakovima, koristi se običan znak jednakosti, konstrukcija {*metaizraz*} podrazumijeva pojavu metaizraza ili više puta, dok konstrukcija [*metaizraz*] znači pojavljivanje nikad ili jednom, uvedene su male zagrade za grupiranje metaizraza te formula završava točkom.

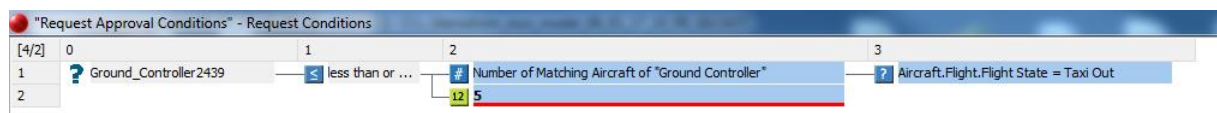
⁵² EBNF - Extended Backus Naur Form

5.2.4. Standardne programske strukture

Programski alat CAST sadrži standardne programske strukture koje su prisutne i u drugim višim programskim jezicima opće namjene. Programska struktura definira redoslijed provođenja naredaba pri izvođenju programa, a razlikuju se: linijska (pravocrtna) struktura, razgranata struktura (struktura grananja) i struktura petlje (ciklička struktura).

Linijska struktura

Linijsku strukturu čine naredbe koje se izvode jedna iza druge prema definiranom redoslijedu. Karakteristika je linijske strukture ta da se svi elementi izvode samo jednom, a koraci se odvijaju u nizu bez ponavljanja ili „skretanja“. U slučaju primjene linijske strukture nakon izvođenja jedne naredbe prelazi se na izvođenje naredbe koja slijedi u algoritmu te se postupak ponavlja do kraja programa (Slika 5.11.). U određenom slučajevima, kada se javljaju jednostavni programi, cjelokupni algoritam može tvoriti linijsku strukturu.



Slika 5.11. Prikaz linijske strukture programa u programskom alatu CAST

Razgranata struktura

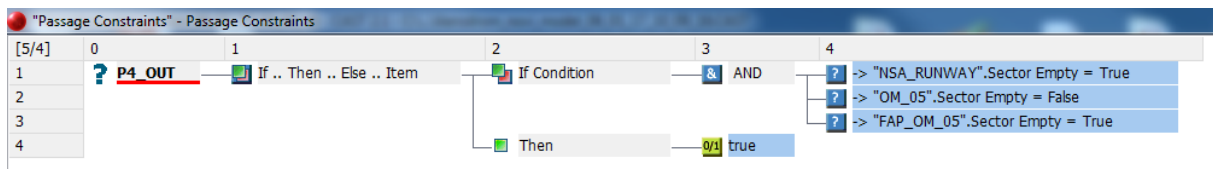
Razgranata će se struktura javiti kod algoritma koji ima blok odlučivanja pri čemu se izvodi testiranje određenoga uvjeta (IF/CASE) prema rezultatu (obično TRUE ili FALSE), a algoritam se grana i nastavlja tijekom jednom od grana, odnosno opcija. Naredbe koje omogućuju promjenu tijekom izvođenja naredaba nazivaju se naredbe prelaska, a dijele se na: naredbe bezuvjetnoga prelaska i naredbe uvjetnoga prelaska.

Osnovni su tipovi grananja koji su primijenjeni u programskom alatu CAST sljedeći: if-else i switch grananja. U alatu je moguće koristiti tri vrste grananja:

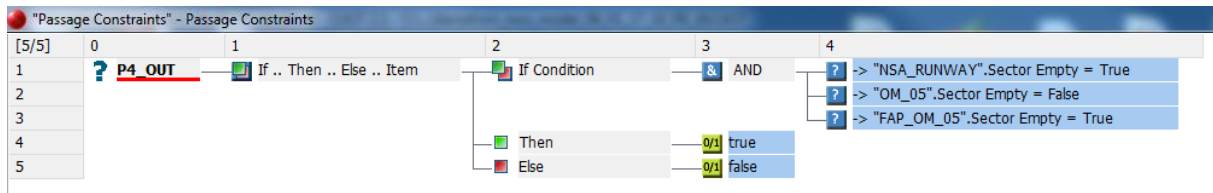
1. Grananje uz izvođenje naredaba samo ako je uvjet ispunjen (Slika 5.12. a) – predstavlja jednostavnu selekciju u kojoj se programski blok izvodi ili se preskače. U ovom slučaju koristi se samo jedna grana bloka za provjeru uvjeta („DA“ grana bloka) te se, ako je uvjet zadovoljen, izvodi blok naredaba, u protivnom se blok naredaba preskače.

2. Grananje uz izvođenje naredaba za oba slučaja ispunjenosti uvjeta (Slika 5.12. b) – predstavlja selekciju s mogućnošću izvođenja dvaju različitih programskih blokova.

U ovom se slučaju koriste obje grane bloka za provjeru uvjeta, ako je uvjet zadovoljen („DA“ grana bloka), tada se izvodi jedan blok naredaba, a ako uvjet nije zadovoljen („NE“ grana bloka), tada se izvodi drugi blok naredaba.



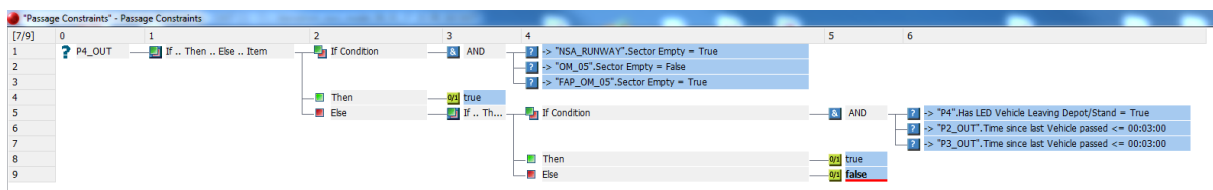
a)



b)

Slika 5.12. Prikaz grananja: a) uz izvođenje naredaba ako je uvjet zadovoljen, b) uz naredbe za oba slučaja ispunjenosti uvjeta, u programskom alatu CAST

3. Grananje uz više uvjeta (Slika 5.13.) – predstavlja selekciju s mogućnošću izvođenja triju ili više različitih programskih blokova. Kod ovoga tipa grananja pojedina if struktura može imati unutar sebe više if struktura grananja. Uvjeti se ispituju u sljedovima tako da ukoliko uvjet nije ispunjen, prelazi se na sljedeći uvjet sve do trenutka u kojem je jedan uvjet ispunjen.



Slika 5.13. Prikaz grananja uz više uvjeta u programskom alatu CAST

Switch grananje tip je upravljačke naredbe koja omogućuje procjenu izraza ili varijable i na temelju te vrijednosti prelazak na odgovarajuću granu. Vrijednost izraza ili varijable koja se procjenjuje mora biti cjelobrojna i konstanta (engl. *Byte*, *Short*, *Integer* ili *Character*). Ova naredba omogućuje provjeravanje više uvjeta odjednom te izvodi blokove naredaba iz uvjeta koji su zadovoljeni. U uvjetnom se dijelu ne može se nalaziti logički izraz jer naredba *switch* utvrđuje vrijednost izraza u određenom trenutku i prelazi na blok naredaba koji je označen vrijednošću dobivene cjelobrojne konstante (Slika 5.14.).

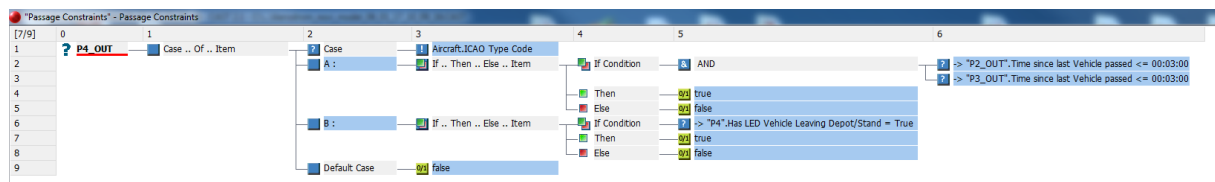
U većini je programskih jezika sintaksa takva da prva linija koda sadrži ključnu riječ <switch> koja predstavlja upravljačku varijablu i nakon koje slijedi varijabla ili izraz koji se ispituje. Nakon toga slijede linije koda koje započinju ključnom riječju <case> i koje definiraju jedan ili više blokova naredaba. Pored naredbe <case> nalazi se vrijednost koju upravljački izraz ili varijabla može sadržavati.

Ako vrijednost upravljačke varijable odgovara ovoj vrijednosti, tada će program prijeći na tu granu te će se provesti blok naredaba koji se nalazi u toj grani.

Ako vrijednost upravljačke varijable ne odgovara toj vrijednosti, tada slijedi ispitivanje vrijednosti u sljedećoj grani. Posljednja linija koda započinje ključnom riječju <default> i označava blok naredaba u grani koji će se provesti ako niti jedna vrijednost varijable ili izraza u <case> granama ne odgovara vrijednosti upravljačke varijable.

Sintaksa naredbe *switch* u programskom jeziku CAST razlikuje se u odnosu na ostale programske jezike opće namjene. U prvoj liniji koda nalazi se ključna riječ <case> nakon koje slijedi varijabla ili izraz koji se ispituje.

Naredne linije koda započinju vrijednošću koju upravljačka varijabla ili izraz može sadržavati, a nakon njih se nalazi blok naredaba koje se izvode u slučaju da vrijednost te varijable odgovara vrijednosti upravljačke varijable. Posljednja linija koda započinje ključnom riječju <default case> i označava blok naredaba koji će se provesti ako niti jedna vrijednost varijable u prethodnim granama ne odgovara vrijednosti upravljačke varijable.



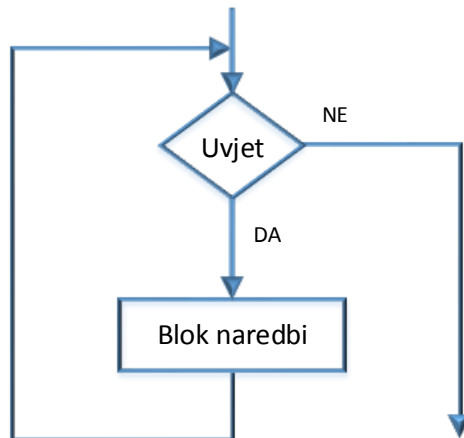
Slika 5.14. Prikaz *Switch* grananja u programskom alatu CAST

Struktura petlje

Većina viših programskih jezika opće namjene koristi tri osnovna tipa petlje: *for*, *while*, *do while*. Programski alat CAST koristi beskonačnu *while* petlju u programskoj sintaksi.

While petlja predstavlja naredbu upravljanja tijekom programskoga jezika koja dopušta uzastopno ponavljanje koda ovisno o diskretnoj vrijednosti (*Booleova* algebra). Petlja se koristi u slučajevima u kojima broj ponavljanja petlje nije unaprijed poznat, već ovisi o ispunjenju zadanoga uvjeta.

Petlja se sastoji od uvjeta (logičkoga izraza) i bloka naredaba. Na početku koda ispituje se uvjet. Ako je on istinit (logička 1), izvodi se zadani blok naredaba. Petlja se ponavlja sve dok zadani uvjet ne postane neistinit (logička 0), kada se preskače blok naredaba. Kod *while* petlje uvjet se uvijek provjerava prije izvođenja bloka naredaba. Kako se kod *while* petlje uvjet ispituje na početku, u određenim je slučajevima moguće da se blok naredaba nikada ne izvede. U slučajevima u kojima je uvjet, odnosno logički izraz uvijek zadovoljen, odnosno nikada ne poprima vrijednost logičke 0, javlja se beskonačna petlja. Osnovna je struktura petlje *while* prikazana na Slici 5.15.



Slika 5.15. *While* petlja

5.3. Elementi za razvoj modela upravljanja operativnim podsustavima i procesima u zračnoj luci

Za potrebe je razvoja modela upravljanja operativnim podsustavima i procesima na zračnoj strani zračne luke izrađena baza podataka na temelju triju izvora: zapisa preuzetih iz aerodromske baze podataka Zračne luke Split, zapisa preuzetih iz sustava kontrole zračne plovidbe te fizičkoga bilježenja operacija zrakoplova u Zračnoj luci Split.

Obrađeni su podatci strukturirani prema sljedećim tipovima:

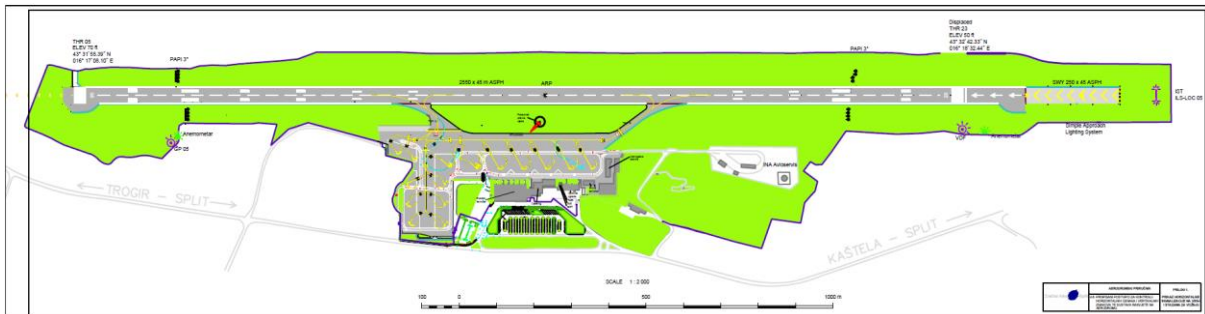
- vrijeme i brzina zrakoplova u prilazu
- vrijeme slijetanja zrakoplova
- vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze
- brzina vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku i u odlasku
- vrijeme ulaska/izlaska zrakoplova na/s pozicije
- brzina vožnje zrakoplova u odlasku na uzletno-sletnoj stazi
- vrijeme potrebno za pokretanje motora zrakoplova i izlazak sa sustava zaokretnih pozicija.

Prikupljeni su i izmjereni podatci korišteni za oblikovanje ponašanja zrakoplova u modelu i osiguravaju koherenciju između realiziranih operacija zrakoplova u zračnoj luci i operacija zrakoplova simuliranih u modelu.

Primjenom je navedenih podataka u modelu osiguran vjeran prikaz odvijanja operacija zrakoplova u zračnoj luci i u segmentu završnoga prilaza i početnoga odlaska postojećega generičkoga načina upravljanja, ali su i ostvareni preduvjeti za razvoj proaktivnoga načina upravljanja.

5.3.1. Infrastrukturni model

Infrastrukturni grafički model predstavlja osnovu za izradu modela upravljanja operativnim podsustavima i procesima u zračnoj luci. Navedeni 2D model izrađen je u programskom alatu AutoCAD, a na temelju geodetskih mjerenja zračne luke (Slika 5.16.).



Slika 5.16. Prikaz infrastrukturnoga modela Zračne luke Split

Uvoženjem je grafičkoga modela u programski alat CAST u mjerilu 1:1 osiguran funkcionalni prikaz infrastrukturnih elemenata zračne luke zajedno sa svim širinama, dužinama, radijusima i sl.

Nakon primjene grafičkoga modela u programskom alatu CAST provedena je daljnja nadogradnja osnovnoga modela. U model su dodani zračni putovi zasebno za svaki prag uzletno-sletne staze, primijenjen je generički aerodrom koji će „simulirati“ sve dolazne i odlazne aerodrome te su redizajnirane pozicije za parkiranje zrakoplova. Pozicije za parkiranje zrakoplova u Zračnoj luci Split izvedene su u formi zaokretnoga sustava parkiranja gdje zrakoplov ulazi i izlazi snagom vlastitih motora. Kako primjena navedenoga tipa pozicija u programskom alatu CAST dovodi do nepreglednosti modela, pozicije za parkiranje zrakoplova zamijenjene su tipom pozicija u kojima zrakoplov ulazi snagom vlastitih motora, a izlazi izguravanjem. U logičkom je dijelu vrijeme izguravanja zrakoplova usklađeno s vremenom koje je potrebno kako bi zrakoplov izašao s pozicije zaokretnoga sustava parkiranja snagom vlastitih motora.

5.3.2. Vrijeme i brzina zrakoplova u prilazu

Brzina zrakoplova u prilazu ovisi o određenim elementima, a to su: faze prilaza, vrste prilaza (IFR, VFR), stanja u zračnom prostoru, razdvajanja između sukcesivnih operacija i sl.

Za potrebe modeliranja operacija u prilaznim segmentima prikupljeni su podatci o ulaznim brzinama zrakoplova zasebno za svaki prilaz te vremena preleta. Ukupno je prikupljeno i statistički obrađeno 150 operacija zrakoplova koje su se odvale u vremenskom periodu od mjesec dana. Prosječna brzina zrakoplova u smjeru prilaza pragu 05 u trenutku preleta FAF-a iznosi 184 kt, dok prosječna brzina zrakoplova u trenutku preleta OM iznosi 138 kt za sve tipove zrakoplova.

Prosječno vrijeme kod prilaznih operacija zrakoplova između točaka FAF i OM iznosi 1 minutu i 35 sekundi, a prosječno vrijeme kod prilaznih operacija zrakoplova između točaka OM i praga 05 iznosi 1 minutu i 32 sekunde.

U slučaju prilaza pragu 23 prosječna brzina zrakoplova u trenutku preleta točke LASUL iznosi 217 kt, dok prosječna brzina zrakoplova u trenutku preleta točke RORKA iznosi 173 kt. Prosječno vrijeme kod prilaznih operacija zrakoplova između točaka LASUL i RORKA iznosi 2 minute, a prosječno vrijeme kod prilaznih operacija zrakoplova između točaka RORKA i praga 23 iznosi 2 minute i 47 sekunda.

5.3.3. Vrijeme slijetanja zrakoplova

Vrijeme slijetanja zrakoplova mjeri se u trenutku preleta praga uzletno-sletne staze. Ovaj tip podatka predstavlja osnovu za modeliranje operacija zrakoplova vezanih uz uzletno-sletnu stazu. Vremena su slijetanja zrakoplova uvjetovana redom letenja u zračnoj luci, distribucijom prometa u određenom vremenu te postupcima razdvajanja koje provodi prilazna kontrola zračnoga prometa.

U sklopu istraživanja koja su provedena u Zračnoj luci Split izvedena su mjerenja vremena slijetanja zrakoplova za svaki prag zasebno te su prikazana u formatu hh:mm:ss.

Iako aerodromska baza podataka sadrži vremena slijetanja zrakoplova, testiranja su u programskom alatu ukazala na to kako ta vremena nisu odgovarajuća za izgradnju modela jer bilježe vrijeme dodira zrakoplova s uzletno-sletnom stazom i iskazuju se u formatu hh:mm. Stoga su vremena slijetanja zrakoplova iz aerodromske baze podataka korištena kao kontrolni element za usporednu analizu mjerenih podataka.

5.3.4. Vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze

Vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze jedan je od ključnih elemenata koji utječe na razdvajanje između pojedinih operacija zrakoplova, a posljedično i na kapacitet uzletno-sletne staze. Vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze predstavlja vrijeme u kojem određeni zrakoplov koristi uzletno-sletnu stazu te je ona nedostupna za sve ostale zrakoplove. Vrijeme zauzetosti USS-a mjeri se od trenutka u kojem zrakoplov preleti prag uzletno-sletne staze do trenutka u kojem isti zrakoplov prijeđe poziciju za čekanje na ulaznoj voznoj stazi.

Za potrebe su istraživanja provedena mjerenja u Zračnoj luci Split na uzorku od 182 dolazne operacije zrakoplova za dva operativna dana, za subote 10. rujna 2016. i 24. rujna 2016. Mjerenja su provedena zasebno za svaki prag i za svaku skupinu zrakoplova (Tablica 5.3). Zrakoplovi su grupirani u tri kategorije prema maksimalnoj težini zrakoplova u uzlijetanju [35].

Tablica 5.3. Prikaz korištenja izlaznih voznih staza s obzirom na skupinu zrakoplova i smjer slijetanja, subote 10. rujna 2016. i 24. rujna 2016.

Prag USS-a	Skupina zrakoplova	Vozna staza	Broj slučajeva	Udio, [%]
05	Uskotrupni zrakoplov	A – izravno	0	0
		A – povratno	0	0
		B – izravno	91	68,42
		B – povratno	35	26,32
	Lagani zrakoplov	A – izravno	0	0
		A – povratno	0	0
		B – izravno	7	5,26
		B – povratno	0	0
Ukupno			133	100,00
23	Uskotrupni zrakoplov	A – izravno	30	61,22
		A – povratno	12	24,49
		B – izravno	0	0
		B – povratno	0	0
	Lagani zrakoplov	A – izravno	7	14,29
		A – povratno	0	0
		B – izravno	0	0
		B – povratno	0	0
Ukupno			49	100,00

Sva su mjerenja provedena u istim meteorološkim uvjetima. Rezultati mjerenja ukazuju na to kako u promatranom periodu nisu zabilježeni zrakoplovi koji pripadaju skupini „teških” te oni nisu prikazani u statističkoj analizi.

Distribuciju je vremena zauzetosti uzletno-sletne staze moguće opisati normalnom razdiobom koja predstavlja jednu od osnovnih teoretskih distribucija vjerojatnosti za opisivanje empirijskih pojava (Grafikon 5.1.). Za svaku se pojedinu skupinu zrakoplova i odgovarajuću izlaznu vožnju stazu, a na temelju vremena zauzetosti uzletno-sletne staze, izračunava funkcija gustoće vjerojatnosti i opisuje zasebnom krivuljom normalne razdiobe.

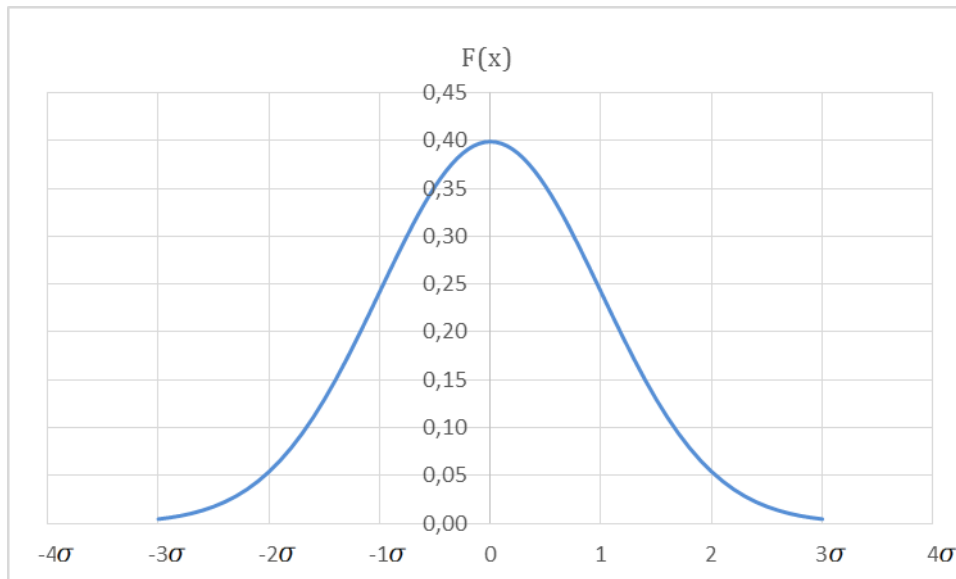
Normalna se razdioba prikazuje upotrebom krivulje normalne razdiobe dobivene funkcijom gustoće vjerojatnosti, a sama krivulja ima zvonoliki oblik [74].

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (5.8.)$$

gdje je:

μ – srednja vrijednost ili očekivana vrijednost distribucije

σ – standardna devijacija.



Grafikon 5.1. Prikaz idealne krivulje normalne razdiobe i udio pojedinih rezultata u ukupnom broju s obzirom na standardnu devijaciju

U krivulji normalne razdiobe u intervalu $\mu + 1 \sigma$ standardno odstupanje nalazi se 68,26% svih rezultata, u intervalu $\mu + 2 \sigma$ standardno odstupanje 95,44% svih rezultata, a u intervalu $\mu + 3 \sigma$ standardna odstupanja 99,73% svih rezultata.

Kako bi određena statistička mjerenja tvorila krivulju normalne razdioba potrebno je zadovoljiti sljedeće uvjete:

1. Uzorci mjerenja moraju biti raspoređeni prema normalnoj razdiobi, odnosno grafički prikaz svih uzorka mjerenja mora tvoriti krivulju u obliku zvona.
2. Mora postojati velik broj mjerenja (rezultata).
3. Sva mjerenja moraju biti provedena istom metodom i u sličnim vanjskim uvjetima.
4. Skupina na kojoj se izvode mjerenja mora biti heterogena po svojstvu koje se mjeri, a homogena po svim ostalim svojstvima.

Provedena statistička analiza ukazuje na to kako u slučaju slijetanja uskotrupnoga zrakoplova na prag 05 i izravnoga izlaska na voznu stazu „B” srednja vrijednost zauzetosti uzletno-sletne staze iznosi 1 minutu i 18 sekunda uz standardnu devijaciju od 12 sekunda. U slučaju u kojem uskotrupni zrakoplov slijeće na prag 05, zaokreće na uzletno-sletnoj stazi, povratno se kreće (engl. *Backtrack*) i izlazi na voznu stazu „B” prosječno vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze iznosi 2 minute i 1 sekundu uz standardnu devijaciju od 28 sekunda.

Srednje vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze, ukoliko se razmatra slijetanje zrakoplova na prag 05, a koji pripadaju u skupinu laganih i izravnoga izlaska na voznu stazu „B”, iznosi 1 minutu i 20 sekunda uz standardnu devijaciju od 20 sekunda. Mali je statistički uzorak razlogom relativno velikoj standardnoj devijaciji u konkretnom slučaju.

Ukoliko se analizira slijetanje na prag 23, tada u slučaju uskotrupnih zrakoplova i izravnoga izlaska na voznu stazu „A” srednja vrijednost zauzetosti uzletno-sletne staze iznosi 1 minutu i 10 sekunda uz standardnu devijaciju od 10 sekunda, dok u slučaju povratne vožnje i izlaska na voznu stazu „A” iznosi 2 minute i 15 sekunda uz standardnu devijaciju od 36 sekunda.

U slučaju slijetanja zrakoplova, koji pripadaju skupini lagani, na prag 23 i izravnoga izlaska na voznu stazu „A” srednje vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze iznosi 1 minutu i 14 sekunda uz standardnu devijaciju od 22 sekunde.

Rezultati testiranja statističkih mjerenja vremena zauzetosti uzletno-sletne staze prema definiranim skupinama zrakoplova i izlaznim voznim stazama ukazuju na to kako je navedena vremena moguće opisati krivuljom koja odgovara krivulji normalne razdiobe.

5.3.5. Brzina vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku i odlasku

Brzina je vožnje zrakoplova na sustavu manevarske površine zračne luke uvjetovana konfiguracijom i fizičkim stanjem manevarske površine, meteorološkim uvjetima na zračnoj luci, tehničkim karakteristikama zrakoplova, obučeniosti osoblja, operativnim procedurama, razini prometa i sl.

Metodologija izračuna prosječne brzine vožnje zrakoplova dobivena je na način da je za svaki pojedini let zabilježeno stvarno vrijeme vožnje, od trenutka izlaska zrakoplova sa uzletno – sletne staze (prelazak pozicije za čekanje), do trenutka ulaska na poziciju za parkiranje i obratno. Zatim je za svaku putanju izmjerena prijeđena udaljenost, a dijeljenjem dviju vrijednosti dobivena je prosječna brzina vožnje. Prosječna brzina zrakoplova u dolasku na voznim stazama iznosi 4,472 m/s uz standardnu devijaciju od 1,2575 m/s dok prosječna brzina zrakoplova u odlasku na voznim stazama iznosi 3,34 m/s uz standardnu devijaciju od 1,296 m/s.

Za potrebe izgradnje modela statistički su obrađena prosječna vremena vožnje zrakoplova u dolasku i odlasku između parkirnih pozicija i pozicija za čekanje (tablica 5.4. i 5.5.) Baza programskog alata sadrži tehničke karakteristike zrakoplova koje zajedno sa implementiranim brzinama u određenim segmentima leta/kretanja zrakoplova osiguravaju realan prikaz odvijanja operacija zrakoplova.

Tablica 5.4. Prosječno vrijeme vožnje zrakoplova u dolasku između parkirnih pozicija i pozicija za čekanje

Pozicija za parkiranje zrakoplova	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16
Vrijeme vožnje do RHP A (s)	77	84	61	61	43	31	28	49	57	84	75	63	40	30	70
Vrijeme vožnje do RHP B (s)	43	53	64	86	83	117	131	126	162	209	127	213	100	77	135

Tablica 5.5. Prosječno vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku između parkirnih pozicija i pozicija za čekanje

Pozicija za parkiranje zrakoplova	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16
Vrijeme vožnje do RHP A (s)	123	128	96	96	72	61	42	94	123	148	74	59	65	88	48
Vrijeme vožnje do RHP B (s)	47	66	86	87	98	100	97	211	174	169	160	128	108	61	60

Iz navedenog je vidljivo da postoje odstupanja u prosječnoj brzini vožnje zrakoplova u dolasku i odlasku na zemlji. Razlog leži u činjenici da se zrakoplovi u odlasku u pojedinim slučajevima namjerno kreću manjom brzinom zbog ostalog prometa na manevarskoj površini (npr. zrakoplov u odlasku se nalazi na poziciji za čekanje). Vrlo visoka standardna devijacija koja se javlja u pojedinim operativnim danima posljedica je statističke obrade podataka, u kojoj nije uzeta u obzir udaljenost između pozicija za parkiranje i pozicija za čekanje. U daljnjoj razradi zasebno će biti statistički obrađena vremena prema pojedinim pozicijama.

5.3.6. Brzina vožnje zrakoplova u odlasku na uzletno-sletnoj stazi

Zračne luke s nerazvijenim sustavom staza za vožnju imaju smještenu poziciju za čekanje na određenom dijelu uzletno-sletne staze (promatrano longitudinalno u smjeru središnje osi uzletno-sletne staze), za razliku od razvijenoga sustava manevarske površine gdje se pozicija za čekanje nalazi na stazi za vožnju uz prag uzletno-sletne staze.

Stoga je u procesu modeliranja operacija potrebno posebno obraditi brzinu vožnje zrakoplova u odlasku na uzletno-sletnoj stazi iz više razloga. Prosječna je brzina vožnje na uzletno-sletnoj stazi znatno veća nego na voznim stazama jer ne postoji interakcija s ostalim operacijama zrakoplova, a i zbog činjenice da je širina uzletno-sletne staze znatno veća nego širina voznih staza.

Nadalje, brzina vožnje, odnosno vrijeme vožnje zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi u odlasku izravno utječe na razdvajanje između dolaznih i odlaznih operacija zrakoplova, a time i na kapacitet uzletno-sletne staze.

Prosječna je brzina vožnje zrakoplova u odlasku na uzletno-sletnoj stazi dobivena tako da je izmjerena udaljenost između odgovarajuće pozicije za čekanje i pozicije za poravnanje te su izmjerena vremena potrebna za svladavanje te udaljenosti. Dijeljenjem udaljenosti s vremenom dobivene su prosječne brzine vožnje zrakoplova u odlasku na uzletno-sletnoj stazi, a rezultati su statističke analize prikazani u Tablici 5.5.

Tablica 5.6. Prosječne brzine vožnje zrakoplova u odlasku na uzletno-sletnoj stazi

Operativni dan	Prosječna brzina vožnje u odlasku na uzletno-sletnoj stazi [m/s]	Standardna devijacija [m/s]
10. rujna 2016.	7,881	1,536
24. rujna 2016.	7,491	1,227

5.3.7. Vrijeme dolaska zrakoplova na poziciju i odlaska s nje

S aspekta programskoga alata predviđena vremena ulaska zrakoplova na poziciju (engl. *Scheduled In Block Time*) i predviđena vremena izlaska zrakoplova s pozicije (engl. *Scheduled Off Block Time*) predstavljaju osnovni podatak za izradu reda letenja na temelju kojega se odvijaju sve ostale operacije zrakoplova.

U sklopu mjerenja provedenih na zračnoj luci zabilježena su stvarna vremena dolaska, odnosno odlaska zrakoplova na/s pozicije, a izražena su u vremenskom formatu hh:mm:ss. Stvarno je vrijeme dolaska zrakoplova na poziciju zabilježeno tako da je promatran trenutak zaustavljanja nosnoga kotača na za to predviđenom mjestu na parkirnoj poziciji. Stvarno je vrijeme odlaska zrakoplova zabilježeno tako da je promatran trenutak pokretanja nosnoga kotača s parkirne pozicije.

5.3.8. Vrijeme potrebno za pokretanje motora zrakoplova i izlazak s pozicije

Vrijeme potrebno za pokretanje motora zrakoplova predstavlja vremenski interval od trenutka u kojem aerodromska kontrola zračnoga prometa odobri pokretanje motora zrakoplova do trenutka u kojem je zrakoplov spreman za izlazak s pozicije. U ovo je vrijeme uključen vremenski interval koji je potreban kako bi se ostvario stabiliziran rad motora (engl. *Engine Warm up Time*).

Statistička mjerenja u Zračnoj luci Split ukazuju na to kako prosječno vrijeme potrebno za pokretanje motora zrakoplova iznosi 3 minute. U Zračnoj luci Split primjenjuje se zaokretan način parkiranja zrakoplova, stoga potrebno vrijeme izlaska zrakoplova s pozicije i poravnanja sa središnjom linijom vozne staze iznosi u prosjeku 30 sekunda.

5.4. Ključni indikatori za mjerenje performansa sustava zračne luke

Performanse sustava zračne luke predstavljaju skup mjerljivih indikatora koji definiraju operativnu učinkovitost zračne luke. Za potrebe validacije i mjerenja performansa zračne luke, a na temelju aktivnosti koje se odvijaju u sustavu zračne luke, koriste se ključni indikatori performansa (KPI⁵³)[75]. Pritom se validacija performansa može razmatrati s obzirom na dva tipa usporedbe, a to su: interna i eksterna.

Kod interne validacije performanse sustava uspoređuju se samo KPI određene zračne luke sa samim sobom, odnosno izvodi se usporedba KPI za odgovarajući vremenski period. Kod eksterne validacije uspoređuju se KPI određene zračne luke s KPI-jem drugih zračnih luka ili KPI-jem dobivenim „najboljom praksom“.

⁵³ KPI – Key Performance Indicators

Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo u dokumentu [76] obrađuje problematiku identifikacije ključnih indikatora performansa i dijeli ih u 11 ključnih skupina performansa (engl. *Key Performance Areas*). U dokumentu „EUR Region Performance Framework” na temelju odredaba ICAO te inicijativa na regionalnoj i nacionalnoj razini definirana je lista svrsishodnih, realističnih i mjerljivih indikatora primjenjivih u cijeloj EUR regiji koja obuhvaća 52 zemlje [77]. U dokumentu je identificirano šest ključnih skupina performansa: sigurnost, kapacitet, učinkovitost, okoliš, troškovna učinkovitost i participacija ATM zajednice.

ACI obrađuje KPI tako da su svi indikatori svrstani u jednu od šest ključnih skupina performansa: osnovna/bazna, sigurnost i zaštita, kvaliteta usluge, produktivnost/učinkovitost, financije i ekologija [75].

Performanse su aerodromskoga sustava u tehnološkom smislu mjerljive kroz parametar vremena zadržavanja zrakoplova na određenim pozicijama u zračnoj luci te kroz parametar kašnjenja zrakoplova unutar aerodromskoga sustava. Pritom treba naglasiti kako zrakoplov može u aerodromski sustav unijeti kašnjenje i tada je riječ o reaktivnom kašnjenju. U tom je slučaju potrebno razlučiti reaktivno kašnjenje od kašnjenja koje generira aerodromski sustav.

Ukoliko je kašnjenje koje zrakoplov ima u odlasku veće od kašnjenja koje je isti zrakoplov unio u aerodromski sustav, tada je kašnjenje koje generira aerodromski sustav razlika između dolaznoga i odlaznoga kašnjenja.

U doktorskoj su disertaciji preuzeti oni indikatori koji su vezani uz aktivnosti koje se odvijaju na zračnoj strani zračne luke, a obrađeni su s aspekta kvalitete usluga, učinkovitosti sustava i, posredno, utjecaja na okoliš. Na temelju tih indikatora moguće je provesti usporednu analizu postojećega generičkoga i proaktivnoga načina upravljanja te ukazati na dobite koje su ostvarene optimiziranim procedurama.

Pored preuzetih indikatora razvijeni su i novi indikatori mjerenja performansa: vrijeme zauzetosti sektora, broj zrakoplova u sektoru, vremenski interval u kojem je odgođeno pokretanje motora zrakoplova te broj zrakoplova kojima je odgođeno pokretanje motora.

Vrijeme čekanja zrakoplova na poziciji za čekanje vremenski je interval koji se mjeri od trenutka dolaska zrakoplova na poziciju za čekanje do trenutka izlaska istoga zrakoplova na uzletno-sletnu stazu. Kod zračnih luka s nerazvijenim sustavom manevarske površine ovaj indikator značajan, ne samo s aspekta odlaznih, već i s aspekta dolaznih operacija jer u određenim slučajevima zrakoplov na poziciji za čekanje može prouzrokovati kašnjenje kod dolazne operacije zrakoplova.

Broj zrakoplova na poziciji za čekanje indikator je koji prikazuje broj zrakoplova koji stoje u redu ispred pozicije za čekanje u određenom vremenskom periodu, najčešće unutar jednoga sata, a predstavlja komplementarni indikator prethodno navedenom indikatoru.

Vrijeme vožnje zrakoplova vremenski je interval od trenutka u kojem zrakoplov napusti poziciju za parkiranje do trenutka u kojem zrakoplov dođe do pozicije za čekanje ili do uzletno-sletne staze, a mjeri se u minutama. Zračne luke s ograničenim infrastrukturnim kapacitetom razlikuju još i vrijeme **vožnje zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi**, kada zrakoplov ulazi na određenoj poziciji na uzletno-sletnu stazu, kreće se po njoj te se zaokreće na okretištu i poravnava u smjeru uzlijetanja. Navedeno kretanje predstavlja vremenski interval od trenutka ulaska zrakoplova na uzletno-sletnu stazu do trenutka početka zaleta zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi.

Kapacitet uzletno-sletne staze definira se kao mogućnost uzletno-sletne staze da procesira određeni broj operacija zrakoplova (dolaznih, odlaznih, mješovitih) u određenom vremenskom periodu, najčešće unutar jednoga sata.

Kapacitet stajanke definira se kao maksimalan broj zrakoplova koji mogu biti prihvaćeni i otpremljeni na odgovarajućem broju pozicija u specifičnom vremenskom periodu uz stalnu potražnju.

Vrijeme zauzetosti sektora vremenski je interval u kojem je sektor zauzet od strane određenoga zrakoplova i nedostupan za sve ostale zrakoplove. Ovaj indikator jasno ukazuje na to u kojim je slučajevima došlo do interferencije između pojedinih putanja zrakoplova te na kojem je dijelu manevarske površine taj slučaj zabilježen. Pod pojmom interferencija putanja zrakoplova podrazumijeva se slučaj u kojem određeni zrakoplov svojim operativnim djelovanjem onemogućuje kretanje drugim zrakoplovima.

Broj zrakoplova u sektoru predstavlja kontrolni indikator modela sektorizacije. Svaki je sektor dizajniran tako da se u bilo kojem trenutku unutar pojedinoga sektora može nalaziti samo jedan zrakoplov. Ukoliko model zabilježi više od jednoga zrakoplova u sektoru, indikator ukazuje na to kako je došlo do pogreške u upravljačkom algoritmu.

Vremenski interval u kojem je odgođeno pokretanje motora zrakoplova indikator je koji je razvijen u okviru doktorske disertacije, a označava one slučajeve u kojima je odgođeno pokretanje motora zrakoplova kako bi se izbjegla čekanja i zagušenje manevarske površine zračne luke. U sustavu proaktivnoga upravljanja on predstavlja signifikantni indikator za izravan prikaz rezultata, ali i za kalibraciju samoga modela. Produženi vremenski interval u kojem je odgođeno pokretanje motora zrakoplova ukazuje na to kako procedure u modelu nisu odgovarajuće definirane.

Broj zrakoplova kojima je odgođeno pokretanje motora predstavlja komplementarni indikator prethodno navedenom indikatoru, a označava broj slučajeva u kojima je odgođeno pokretanje motora zrakoplova kako bi se izbjegla čekanja i zagušenje manevarske površine zračne luke. Na temelju je ovoga indikatora moguće provesti kvantitativnu usporednu analizu između postojećega generičkoga i proaktivnoga načina upravljanja operacijama zrakoplova.

6.POSTOJEĆI GENERIČKI SUSTAV UPRAVLJANJA PROCESIMA I PODSUSTAVIMA U ZRAČNOJ LUCI

Sustav upravljanja operativnim podsustavima i procesima na zračnoj strani zračne luke ponajprije ovisi o infrastrukturnim karakteristikama zračne luke, operativnim zahtjevima i restrikcijama, karakteristikama prometa, zračnim prijevoznicima, tipovima zrakoplova koji se javljaju na zračnoj luci i dr.

S obzirom na navedene čimbenike svaka zračna luka primjenjuje specifičan sustav upravljanja procesima i podsustavima, a temelji se na planiranom redu letenja i kapacitetu pojedinoga podsustava.

U načelu, generički sustav upravljanja procesima i podsustavima na regionalnoj zračnoj luci karakteriziraju tri osnovne činjenice:

1. Sustav upravljanja operativnim procesima i podsustavima temelji se na principu FCFS.
2. Pojedini operativni podsustavi nisu međusobno integrirani.
3. Princip planiranja temelji se na predviđenom redu letenja.

Osnovna je karakteristika postojećega generičkoga sustava upravljanja operacijama zrakoplova na zračnoj strani, koji se trenutno koristi na većini regionalnih zračnih luka, upravljanje procesima koje se temelji na FCFS principu. U navedenom će sustavu prvi zrakoplov koji ulazi u pojedini proces biti i prvi obrađen. Rezultatom je takvoga upravljanja operativnim podsustavima i procesima zračne luke stvaranje redova na pojedinim infrastrukturnim elementima zračne luke, a ponajprije na poziciji za čekanje.

Sve aktivnosti koje se odvijaju na zračnoj strani zračne luke mogu se svrstati u jedan od četiriju osnovnih procesa: kreiranje sekvence dolaznih zrakoplova, vožnja zrakoplova na zemlji, prihvat i otprema zrakoplova i kreiranje sekvence odlaznih zrakoplova. Navedeni se procesi nalaze u međuovisnosti, odnosno kašnjenje zrakoplova ili stvaranje redova u jednom procesu izravno će utjecati na odvijanje ostalih procesa i na smanjenje performansa zračne luke u cjelini. Uravnoteženo i holističko upravljanje osigurava stabilnost procesa u okviru sustava zračne luke i neometano odvijanje tokova. U postojećem je generičkom sustavu nadležnost nad upravljanjem pojedinim procesima na različitim subjektima. Operacije zrakoplova koje se odvijaju u završnom prilazu te na uzletno-sletnoj stazi i voznim stazama u nadležnosti su aerodromske kontrole zračnoga prometa. Aktivnosti koje se odvijaju na stajanci u nadležnosti su zračne luke.

Kod regionalnih zračnih luka na predtaktičkoj i taktičkoj razini pojedini subjekti ne dijele signifikantne informacije o statusu pojedine operacije zrakoplova unutar pojedinoga procesa.

Također, u pojedinim procesima operativne su procedure temeljene na statusu operacija zrakoplova u specifičnom procesu, što uz nedostatne informacije iz ostalih procesa uzrokuje zagušenje kod pojedinih operacija zrakoplova.

Zračne luke na temelju postojećega infrastrukturnoga i operativnoga kapaciteta te podataka o najavljenim operacijama zrakoplova planiraju na godišnjoj, mjesečnoj, tjednoj i dnevnoj razini procese na zračnoj strani zračne luke, odnosno operativni postupci i procedure temelje se na planiranom redu letenja.

Operativne procedure koje se primjenjuju u regionalnoj zračnoj luci većinom nisu unaprijed definirane, već ovise o trenutačnom stanju na manevarskoj površini, na stajanci i u zračnom prostoru zračne luke. U postojećem su generičkom sustavu procedure prikazane ovisno o dolaznim i odlaznim operacijama zrakoplova. Nadalje, procedure se dijele s obzirom na dio manevarske površine/stajanke na kojem se primjenjuju te se razlikuju procedure vezane uz: slijetanje, uzlijetanje, zadržavanje zrakoplova na manevarskoj površini i odlazak zrakoplova s parkirne pozicije. Postojeći sustav uključuje procedure koje se provode na manevarskoj površini zračne luke i na stajanci i u završnom prilaznom segmentu.

6.1.Slijetanje zrakoplova

Operacije slijetanja zrakoplova sastoje se od niza radnja koje je potrebno provesti kako bi se zrakoplov postavio na odgovarajući pravac i nagib prilaženja pri slijetanju te kako bi se osiguralo sigurno slijetanje na uzletno-sletnu stazu. Predmet istraživanja rada obuhvatit će segment završnoga prilaza i slijetanja.

U navedenom je segmentu, kako bi se ostvarila operacija slijetanja zrakoplova, potrebno zadovoljiti minimalne propisane uvjete razdvajanja između dvaju zrakoplova u prilazu te osigurati da je u trenutku u kojem zrakoplov obavlja operaciju završnoga prilaza uzletno-sletna staza slobodna. Kod regionalnih zračnih luka s nerazvijenim sustavom manevarske površine ograničavajući je element koji definira razdvajanje između dvaju sukcesivnih slijetanja vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze.

Točke u kojima je moguće upravljati operacijama slijetanja zrakoplova jesu FAF⁵⁴/FAP⁵⁵ i točka prekinutoga prilaza (MP⁵⁶). FAF/FAP predstavlja upravljačku točku u kojoj je moguće, ukoliko nisu ostvareni uvjeti za slijetanje, preusmjeriti zrakoplov u petlju čekanja (engl. *Holding*), a ukoliko su ostvareni uvjeti, dozvoliti slijetanje zrakoplova.

⁵⁴ FAF – Final Approach Fix

⁵⁵ FAP – Final Approach Point

⁵⁶ MP – Missed Approach Point

Točka prekinutoga prilaza predstavlja točku u kojoj se u danim uvjetima može prekinuti operacija slijetanja. Kako je navedena radnja stohastičkoga karaktera, ona u modelu neće biti opisana određenim procedurama.

U modelu neće biti primijenjena problematika rutiranja zrakoplova u dolasku unutar terminalne zone zračne luke, odnosno određivanje sekvence dolaznih zrakoplova.

6.2. Uzlijetanje zrakoplova

Operacija uzlijetanja zrakoplova izvodi se u korelaciji i interakciji s operacijom slijetanja, a posebno u slučajevima u kojima se jedna uzletno-sletna staza koristi za obje operacije. Uzlijetanje zrakoplova provodi se nakon završetka procesa vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku, a model uključuje samo segment početnoga odlaska zrakoplova.

Upravljanje je operacijama zrakoplova u uzlijetanju u modelu definirano u dvjema točkama: poziciji za čekanje uz uzletno-sletnu stazu (engl. *Runway Holding Point*) i poziciji za poravnanje (engl. *Line Up Position*). Na poziciji za čekanje moguće je zadržati zrakoplov u odlasku ukoliko se zrakoplov u prilazu nalazi na udaljenosti koja je manja od minimalnoga propisanoga razdvajanja i/ili ukoliko je uzletno-sletna staza zauzeta. U ostalim se slučajevima zrakoplovu u odlasku daje dozvola za izlazak na uzletno-sletnu stazu. Na poziciji za poravnanje zrakoplov se postavlja u središnju os uzletno-sletne staze te čeka odobrenje kontrole zračnoga prometa za uzlijetanje (engl. *ATC Take Off Clearance*). Ova pozicija također predstavlja upravljačku točku. Ukoliko se zrakoplov koji je prethodno uzletio nalazi na udaljenosti većoj od minimalnoga razdvajanja propisanoga procedurama kontrole zračnoga prometa, zrakoplov u uzlijetanju neće dobiti odobrenje sve dok se ne zadovolji navedena vrijednost. Navedene su procedure uvjetovane pravilima razdvajanja koja propisuje kontrola zračnoga prometa. U modelu je uz navedene upravljačke točke definirana i pretpozicija za čekanje koja se koristi ako se na poziciji za čekanje nalazi više od jednoga zrakoplova u uzlijetanju.

Algoritam koristi *while* petlju jer broj ponavljanja nije unaprijed poznat, već izvođenje programskoga koda ovisi o broju ulaznih varijabla (kod 6.1.). Sve dok postoje ulazne varijable, programski će se kod izvoditi bez obzira na to je li došlo do ispunjenja logičkih uvjeta ili nije. Algoritam je u modelu primijenjen u upravljačkim točkama *RHP_A* i *RHP_B*, a se sastoji od dvaju dijelova: u prvom se dijelu upravlja operacijom ulaska zrakoplova na uzletno-sletnu stazu, dok se u drugom dijelu upravlja operacijom uzlijetanja zrakoplova.

U prvom uvjetnom dijelu algoritam ispituje nalazi li se na poziciji za čekanje zrakoplov, je li u završnom prilazu pragu 05 ili 23 prisutan zrakoplov (sektor 05/23). Ukoliko je odgovor potvrđan, ispituje na kojoj se udaljenosti nalazi i je li uzletno-sletna staza slobodna (sektor *SR*). Ukoliko su logički uvjeti ispunjeni, algoritam će omogućiti izlazak zrakoplova na uzletno-sletnu stazu. Drugi se uvjetni dio algoritma odnosi na poziciju za poravnanje na kojoj se ispituje je li prethodni zrakoplov na uzlijetanju na odgovarajućoj udaljenosti (prostornoj i vremenskoj). Ukoliko su obje varijable zadovoljene, algoritam omogućuje uzlijetanje zrakoplova.

Pri određivanju sekvence odlaznih operacija zrakoplova razmatrat će se samo stanje na manevarskoj površini i na stajanci zračne luke te model neće razmatrati status zračnoga prostora i njegov utjecaj na odlazne operacija zrakoplova.

```

1 //Procedura za zrakoplov u odlasku
2 -----
3
4 i = Zrakoplov_u_prilazu_trenutni; //Postoji zrakoplov u prilazu, oznake 000001
5 j = Zrakoplov_u_odlasku_trenutni; //Postoji zrakoplov u odlasku, oznake 000001
6 j - 1 = Zrakoplov_u_odlasku_prethodni; //Postoji prethodni zrakoplov u odlasku
7 oi = Zrakoplov_u_prilazu_dopustena_udaljenost_prethodni; //1-Unutar dopustene udaljenosti, 0-Izvan dopustene udaljenosti
8 Yj = 0; // Zrakoplov_u_odlasku_dopustena_udaljenost_prethodni //1-Unutar dopustene udaljenosti, 0-Izvan dopustene udaljenosti
9
10 PRHPj=j; //Zrakoplov u odlasku se nalazi na predpoziciji za cekanje
11 RHPj=0; //Pozicija za cekanje je slobodna
12 RWY=0; //Uzletno sletna staza je slobodna
13 Lup =0; //Pozicija za poravnavanje je slobodna
14
15 while (1)
16 {
17     // Zrakoplov u odlasku se nalazi na predpoziciji za cekanje
18     if (RHPj == 1 & PRHPj=j) //Pozicija za cekanje je zauzeta
19         (break);
20     elseif (RHPj == 0 & PRHPj=j) //Pozicija za cekanje je slobodna
21     {
22         RHPj = j;
23         PRHPj = 0; //Predpozicija za cekanje se oslobada
24         break;
25     }
26     // Zrakoplov u odlasku se nalazi na pozicija za cekanje
27     elseif (RHPj == j)
28     {
29         if (i == 0) //Ne postoji zrakoplov u prilazu
30         {
31             if (RWY == 1) //Uzletno sletna staza je zauzeta
32                 (break);
33             elseif (RWY == 0) //Uzletno sletna staza je slobodna
34             {
35                 Lup = j;
36                 RHPj = 0; //Pozicija za cekanje se oslobada
37                 break;
38             }
39         }
40         elseif (i == 1) //Postoji zrakoplov u prilazu
41         {
42             if (oi == 1) //Zrakoplov je unutar dopustene udaljenosti
43                 (break);
44             elseif (oi == 0) //Zrakoplov je izvan dopustene udaljenosti
45             {
46                 if (RWY == 1) //Uzletno sletna staza je zauzeta
47                     (break);
48                 elseif (RWY == 0) //Uzletno sletna staza je slobodna
49                 {
50                     Lup = j;
51                     RHPj = 0; //Pozicija za cekanje se oslobada
52                     break;
53                 }
54             }
55         }
56     }
57     // Zrakoplov u odlasku se nalazi na poziciji za poravnavanje
58     elseif (Lup == j)
59     {
60         if (j - 1 == 0) //Nepostoji prethodni zrakoplov u odlasku
61         {
62             //Dopustenje za uzlijetanje
63             j=j+1; //Zrakoplov u odlasku je uzletio
64             PRHPj = j;
65             Lup = 0; // Pozicija za poravnavanje se oslobada
66             break;
67         }
68         elseif (j - 1 == 1) //Postoji prethodni zrakoplov u odlasku
69         {
70             if (Yj == 1) //Zrakoplov je unutar dopustene udaljenosti
71                 (break);
72             elseif (Yj == 0) //Prethodni zrakoplov je izvan dopustene udaljenosti
73             {
74                 //Dopustenje za uzlijetanje
75                 j = j+1; //Zrakoplov u odlasku je uzletio
76                 PRHPj = j;
77                 Lup = 0; // Pozicija za poravnavanje se oslobada
78                 break;
79             }
80         }
81     }
82 }
83

```

Kod 6.1. Algoritam (pseudokod) za upravljanje operacijama zrakoplova u uzlijetanju

6.3.Zadržavanje zrakoplova na manevarskoj površini

Kretanje je zrakoplova po manevarskoj površini zračne luke određeno dolaznim, odnosno odlaznim operacijama zrakoplova, kao i predviđenom pozicijom za parkiranje. Ovisno o složenosti sustava manevarske površine postoji jedna ili više ruta kojom je moguće realizirati operaciju vožnje zrakoplova. Zadržavanje zrakoplova na manevarskoj površini odvija se na točkama interakcije različitih infrastrukturnih elemenata, odnosno na križanju uzletno-sletne staze i voznih staza, voznih staza, voznih staza i pozicija za parkiranje zrakoplova.

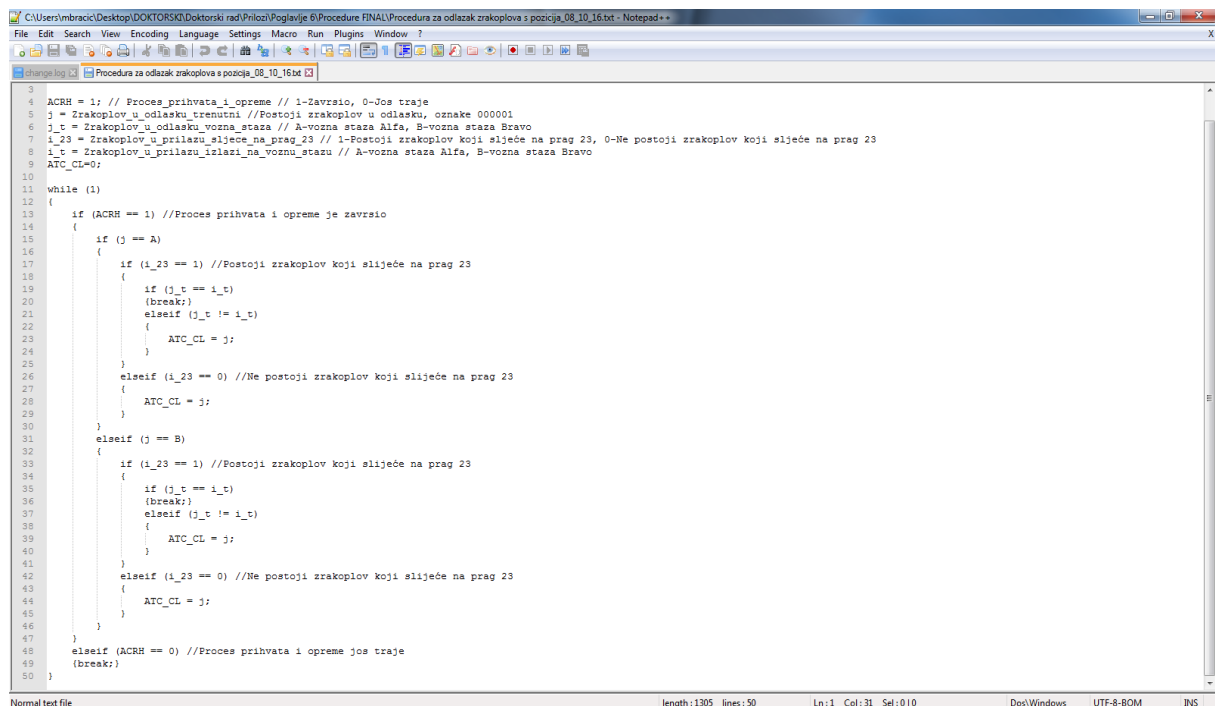
Procedure koje se primjenjuju u navedenim točkama nisu unaprijed definirane, već se primjenjuju *ad hoc*, tj. ukoliko se putanje dvaju ili više zrakoplova križaju u istoj točki, kontrola će zračnoga prometa na temelju statusa pojedinoga zrakoplova, ali i stanja na manevarskoj površini i stajanci zaustaviti jedan ili više zrakoplova te propustiti odgovarajući zrakoplov.

Razina prometa, vrsta i tip operacija na manevarskoj površini i broj točaka interakcije definiraju kako broj zadržavanja tako i vrijeme zadržavanja zrakoplova te posljedično i ukupno vrijeme vožnje pojedinoga zrakoplova. Kako je u postojećem sustavu upravljanja operacijama zrakoplova zadržavanje zrakoplova u točkama interferencije stohastičkoga karaktera i ovisi o *ad hoc* procedurama, ovi postupci neće biti definirani određenim algoritmom.

6.4. Odobrenje za pokretanje motora i odlazak zrakoplova s pozicije

Odobrenje je za pokretanje motora i odlazak zrakoplova s pozicije uvjetovano završetkom procesa prihvata i otpreme zrakoplova. U postojećem generičkom sustavu nisu definirane procedure na temelju kojih se određuje vrijeme izlaska zrakoplova s pozicije, već se procedure provode *ad hoc* na temelju statusa zrakoplova, stanja na manevarskoj površini i stajanci zračne luke te predviđenim odlaznim *slotom* (ako postoji). Postojeći sustav upravljanja ne razmatra pitanje odgode odobrenja za pokretanje motora zrakoplova kako bi se spriječilo produženo vrijeme vožnje zrakoplova i zadržavanja na dijelu manevarske površine zračne luke.

Algoritam, koji upravlja izlaskom zrakoplova s pozicije, u modelu je primijenjen u upravljačkim točkama P1_OUT – P16_OUT. Algoritam u uvjetnom dijelu samo ispituje javlja li se zrakoplov u dolasku koji izlazi na istu voznu stazu koju će operativno koristiti zrakoplov u odlasku (kod 6.2.).



```
3
4 ACRH = 1; // Proces prihvata i otpreme // 1-Završio, 0-Jos traje
5 j = Zrakoplov_u_odlasku_trenutni //Postoji zrakoplov u odlasku, oznake 000001
6 j_t = Zrakoplov_u_odlasku_vozna_staza // A-vozna staza Alfa, B-vozna staza Bravo
7 i_23 = Zrakoplov_u_prilazu_slijeće_na_prag_23 // 1-Postoji zrakoplov koji slijeće na prag 23, 0-Ne postoji zrakoplov koji slijeće na prag 23
8 i_t = Zrakoplov_u_prilazu_izlazi_na_voznu_stazu // A-vozna staza Alfa, B-vozna staza Bravo
9 ATC_CL=0;
10
11 while (1)
12 {
13     if (ACRH == 1) //Proces prihvata i otpreme je završio
14     {
15         if (j == A)
16         {
17             if (i_23 == 1) //Postoji zrakoplov koji slijeće na prag 23
18             {
19                 if (j_t == i_t)
20                 {
21                     (break);
22                 }
23                 else if (j_t != i_t)
24                 {
25                     ATC_CL = j;
26                 }
27             }
28             else if (i_23 == 0) //Ne postoji zrakoplov koji slijeće na prag 23
29             {
30                 ATC_CL = j;
31             }
32         }
33         else if (j == B)
34         {
35             if (i_23 == 1) //Postoji zrakoplov koji slijeće na prag 23
36             {
37                 if (j_t == i_t)
38                 {
39                     (break);
40                 }
41                 else if (j_t != i_t)
42                 {
43                     ATC_CL = j;
44                 }
45             }
46             else if (i_23 == 0) //Ne postoji zrakoplov koji slijeće na prag 23
47             {
48                 ATC_CL = j;
49             }
50         }
51     }
52     else if (ACRH == 0) //Proces prihvata i otpreme jos traje
53     {
54         (break);
55     }
56 }
```

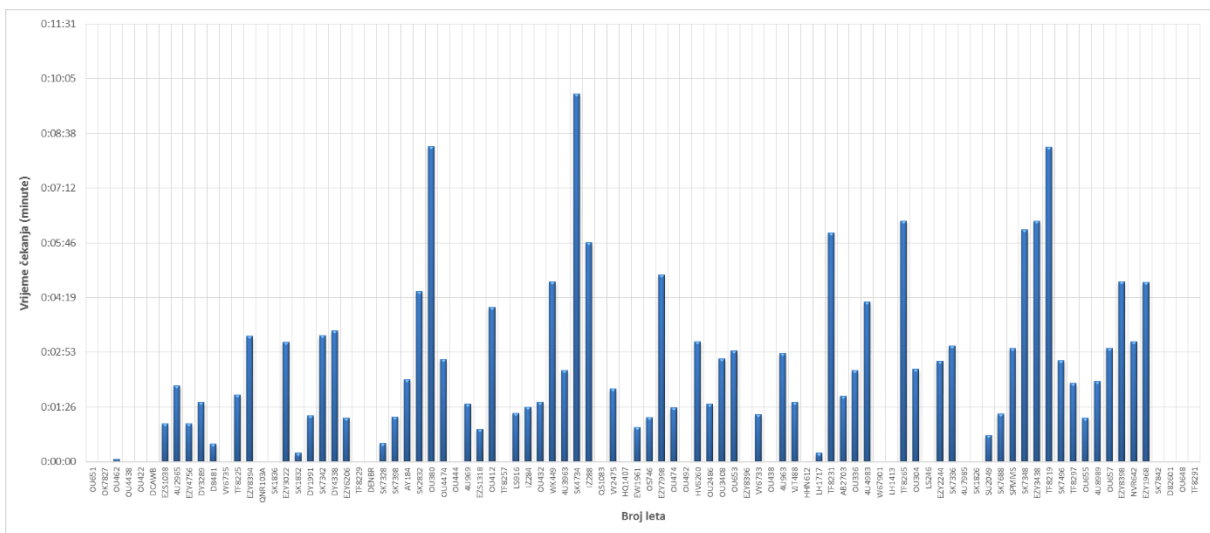
Kod 6.2. Algoritam (pseudokod) za izlazak zrakoplova s pozicije

6.5. Rezultati generičkoga sustava upravljanja

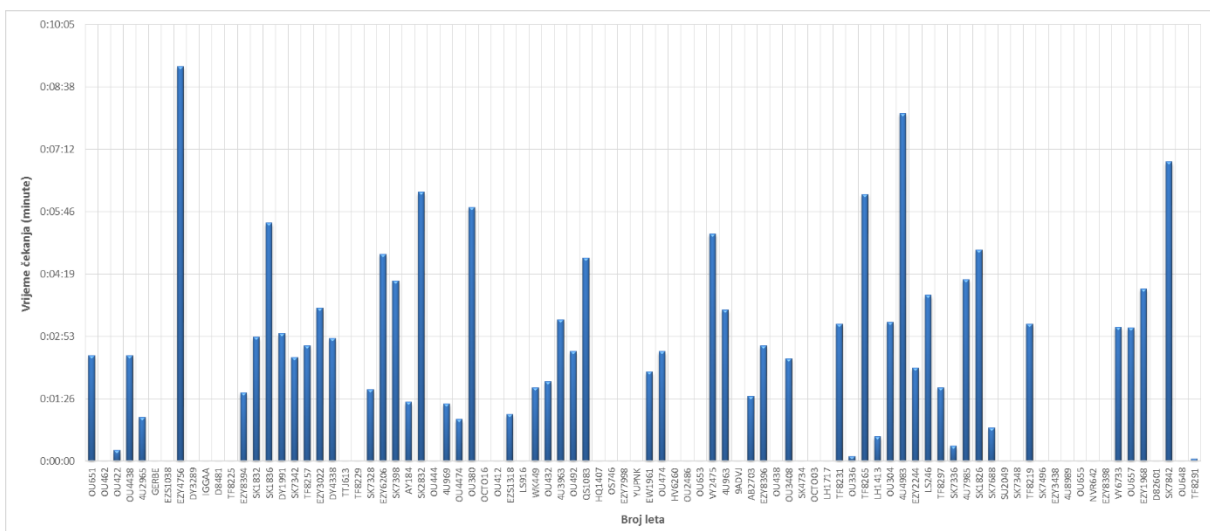
Analiza postojećega, odnosno generičkoga sustava upravljanja operativnim podsustavima i procesima u zračnoj luci provest će se na temelju indikatora koji su definirani u Poglavlju 5.4. Pritom je većina indikatora definirana u svrhu mjerenja i vrednovanja performansa sustava upravljanja, dok je manji broj indikatora vezan uz testiranje i kalibraciju samoga modela.

6.5.1. Vrijeme zadržavanja i broj zrakoplova na poziciji za čekanje

Vrijeme zadržavanja zrakoplova na poziciji za čekanje predstavlja najznačajniji indikator za validaciju sekvence odlaznih zrakoplova. Analiza je vremena zadržavanja zrakoplova na poziciji za čekanje provedena za svaki prag, a iskazana je u minutama čekanja zrakoplova u određenom vremenskom intervalu (Grafikon 6.1. i 6.2.).



Grafikon 6.1. Prikaz vremena zadržavanja zrakoplova na pozicijama za čekanje, za pojedini let, subota 10. rujna 2016.



Grafikon 6.2. Prikaz vremena zadržavanja zrakoplova na pozicijama za čekanje, za pojedini let, subota 24. rujna 2016.

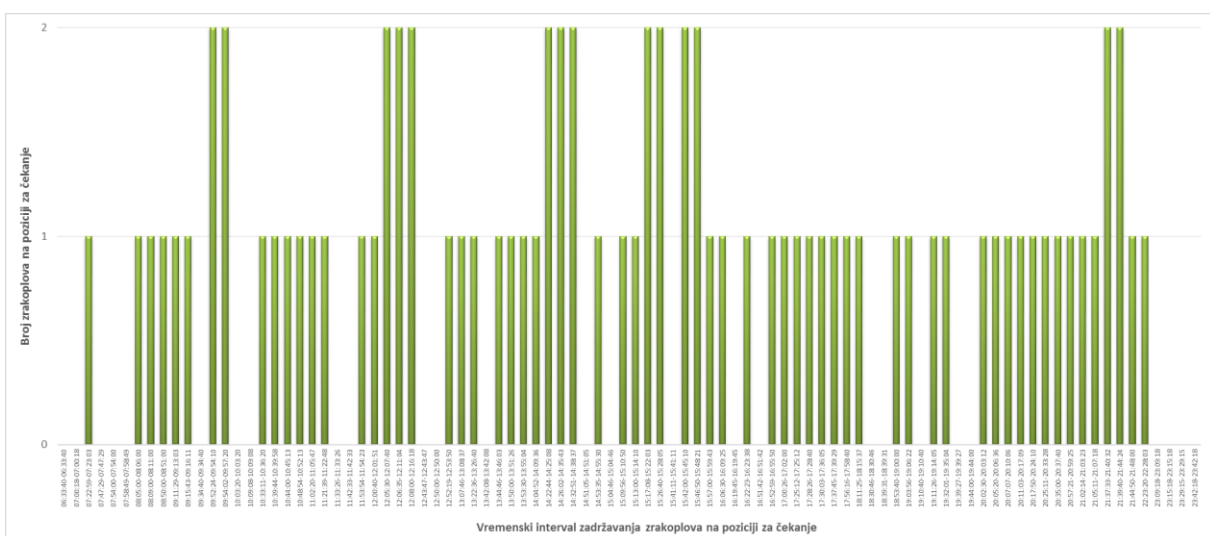
Na temelju rezultata dobivenih iz navedenih grafikona napravljena je usporedna analiza između pojedinih operativnih dana te su rezultati prikazani u Tablici 6.1.

Tablica 6.1. Usporedba rezultata vremena zadržavanja zrakoplova na pozicijama za čekanje između pojedinih operativnih dana (izražena u minutama)

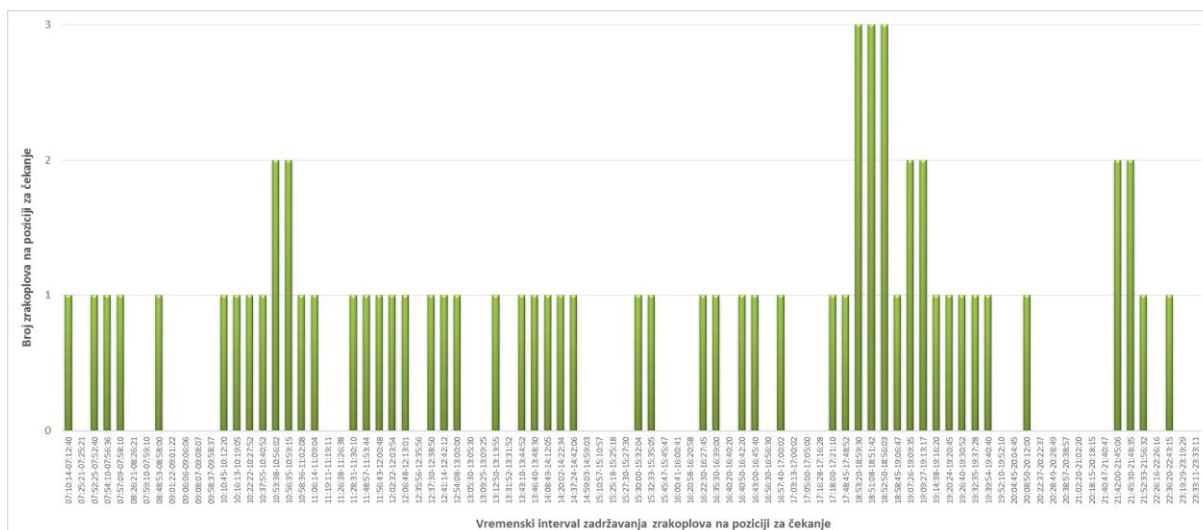
Operativni dan	Prosječno vrijeme zadržavanja	Standardna devijacija	Minimalno vrijeme zadržavanja	Maksimalno vrijeme zadržavanja
10. rujna 2016.	00:01:55	00:00:37	00:00:00	00:09:41
24. rujna 2016.	00:01:49	00:02:08	00:00:00	00:09:07

Analiza rezultata simulacije postojećega generičkoga sustava upravljanja, koja se temelji na dvama operativnim danima, ukazuje na koherentnost između rezultata istraživanja. Prosječno vrijeme čekanja na ulazak na uzletno-sletnu stazu iznosi gotovo 2 minute po odlaznoj operaciji zrakoplova. Raspon vrijednosti kreće se od perioda u kojem zrakoplov ne čeka na izlazak na uzletno-sletnu stazu do perioda u kojem zrakoplov u odlasku čeka više od 9 minuta. Analize ukazuju kako prosječno vrijeme zadržavanja ne ovisi o poziciji za čekanje. Kumulativno vrijeme zadržavanja na poziciji za čekanje za dva operativna dana iznosi gotovo 6 sati, odnosno u prosjeku oko 3 sata po danu.

Broj zrakoplova na poziciji za čekanje predstavlja komplementarni indikator vremenu zadržavanja zrakoplova na poziciji za čekanje. Zbog nerazvijenoga sustava manevarske površine u zračnoj luci ovaj indikator ukazuje na to u koliko je slučajeva potencijalno moglo doći do interferencije između dolaznih i odlaznih operacija zrakoplova. Na Grafikonima 6.3. i 6.4. prikazan je broj zrakoplova koji su u određenom vremenskom intervalu zadržani na pozicijama za čekanje.



Grafikon 6.3. Prikaz broja zrakoplova u određenom vremenskom intervalu na poziciji za čekanje prema pojedinom letu, subota 10. rujna 2016.



Grafikon 6.4. Prikaz broja zrakoplova u određenom vremenskom intervalu na poziciji za čekanje prema pojedinom letu, subota 24. rujna 2016.

Broj zrakoplova koji su se nalazili na poziciji za čekanje značajan je ne samo s aspekta odlaznih operacija zrakoplova nego i s aspekta dolaznih operacija zrakoplova. U slučajevima u kojima se slijetanje zrakoplova odvijalo na prag 05 uzletno-sletne staze i ukoliko je zrakoplov u dolasku potencijalno bio parkiran na pozicijama 7–14, broj zrakoplova i vremenski interval zadržavanja na voznoj stazi „A” ukazuje na to u koliko bi slučajeva potencijalno došlo do zaustavljanja zrakoplova u dolasku prije nego bi zrakoplov u odlasku napustio poziciju za čekanje. Stoga se operativno pozicije 7–14 znatno manje koriste, što dovodi do nebalansiranoga korištenja kapaciteta stajanke. U slučajevima u kojima se slijetanje zrakoplova odvijalo na prag 23 uzletno-sletne staze, broj zrakoplova i vremenski interval zadržavanja na voznoj stazi „B” ukazuje na to u koliko bi slučajeva i u kojem vremenskom intervalu došlo do potencijalnoga onemogućavanja korištenja pozicija 1 i 2.

Sekvenca odlaznih zrakoplova u postojećem generičkom sustavu upravljanja operacijama zrakoplova temelji se na sustavu FCFS. Završetak procesa prihvata i otpreme zrakoplova, odnosno pokretanje motora zrakoplova nije koordinirano s ostalim operacijama na manevarskoj površini i u završnom prilaznom segmentu, što dovodi do određenoga vremena zadržavanja zrakoplova na poziciji za čekanje.

6.5.2. Vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji

Vrijeme je vožnje zrakoplova moguće analizirati s aspekta dolaznih, odnosno odlaznih operacija zrakoplova. U vrijeme vožnje zrakoplova uključena su čekanja zrakoplova na određenim dijelovima manevarske površine. Vožnja zrakoplova na zemlji predstavlja značajan čimbenik koji utječe na odvijanje operacija zrakoplova u zračnoj luci, a time i na kašnjenje zrakoplova te na ukupni kapacitet zračne luke. Indirektno vrijeme vožnje zrakoplova utječe na troškove zračnoga prijevoznika te na emisiju stakleničkih plinova.

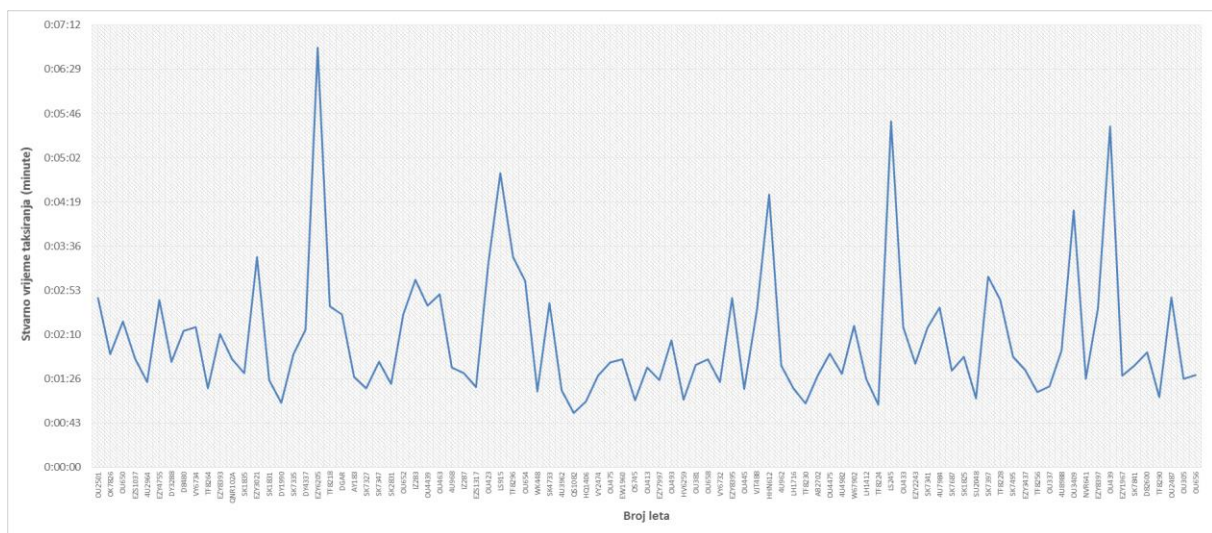
Analiza je vremena vožnje zrakoplova na zemlji obuhvatila dolazne/odlazne operacije zrakoplova na/s prag/a 05 i 23 i sve pozicije za parkiranje zrakoplova.

Vožnja zrakoplova u dolasku predstavlja vremenski interval od trenutka izlaska s uzletno-sletne staze do trenutka zaustavljanja na poziciji za parkiranje.

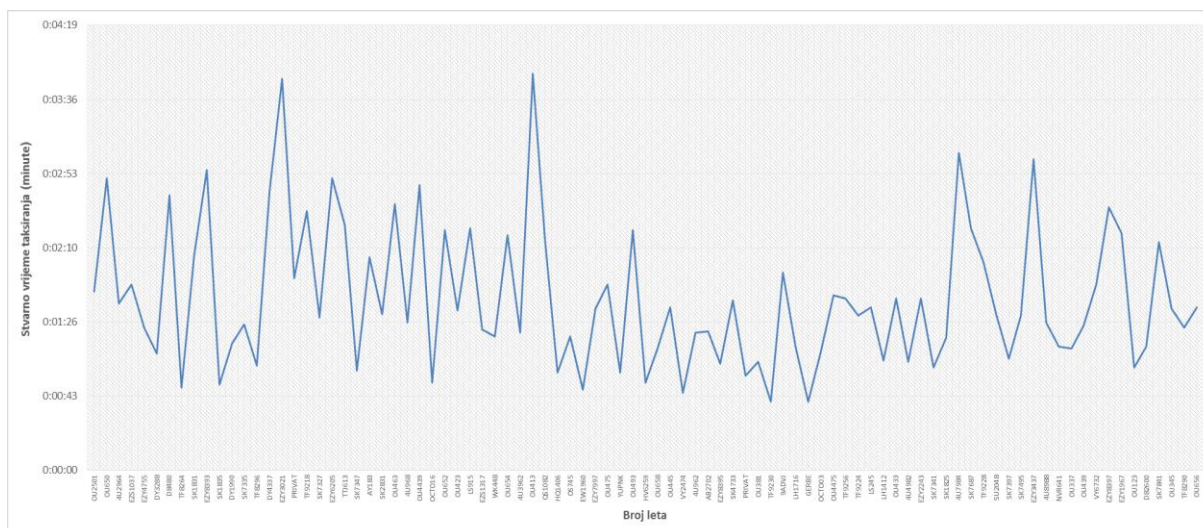
Vožnja zrakoplova u dolasku sastoji se od sljedećih aktivnosti:

1. Slijetanje zrakoplova i izlazak s uzletno-sletne staze (kod zračnih luka s nerazvijenom manevarskom površinom u ovu je aktivnost uključena i povratna vožnja po uzletno-sletnoj stazi)
2. Kretanje na voznim stazama zračne luke
3. Zaokret s vozne staze prema poziciji za parkiranje zrakoplova
4. Ulazak i zaustavljanje na poziciji za parkiranje zrakoplova.

Na Grafikonima 6.5. i 6.6. prikazana su vremena vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku po letovima za pojedine operativne dane, gdje su na x-osi prikazana vremena stvarnoga (zabilježenoga) zrakoplova u dolasku od trenutka izlaska zrakoplova s USS-a (prelaska pozicije za čekanje) do trenutka zaustavljanja na parkirnoj poziciji (aktivnosti 2 do 4), dok su na y-osi prikazani brojevi letova. Statistički promatrano vrijeme vožnje zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi (povratno voženje) može se razmatrati kao sastavni dio vremena zauzetosti uzletno-sletne staze, ali i kao dio vremena vožnje zrakoplova na zemlji. U doktorskoj je disertaciji odabran pristup u kojem je vrijeme vožnje zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi statistički obrađeno u okviru vremena zauzetosti uzletno-sletne staze. Razlogom je tomu sektorski pristup problematici gdje uzletno-sletna staza čini jednu funkcionalnu cjelinu.



Grafikon 6.5. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku za pojedini let, subota 10. rujna 2016.



Grafikon 6.6. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku za pojedini let, subota 24. rujna 2016.

Tablica 6.2. Usporedba rezultata vremena vožnje zrakoplova u dolasku između pojedinih operativnih dana, izražena u minutama

Operativni dan	Prosječno vrijeme vožnje	Standardna devijacija	Minimalno vrijeme vožnje	Maksimalno vrijeme vožnje
10. rujna 2016.	00:02:05	00:01:04	00:00:53	00:06:50
24. rujna 2016.	00:01:40	00:00:41	00:00:40	00:03:51

Analiza rezultata (Tablica 6.2.) pokazuje kako prosječno vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku za oba operativna dana iznosi 1 minutu i 53 sekunde. Prikazana odstupanja, koja su vidljiva na grafikonima, rezultat su čekanja zrakoplova u dolasku na dijelu manevarske površine te mogu dostići vrijednosti od gotovo 7 minuta, što predstavlja odstupanje od 250 % od prosječne vrijednosti vožnje zrakoplova u dolasku.

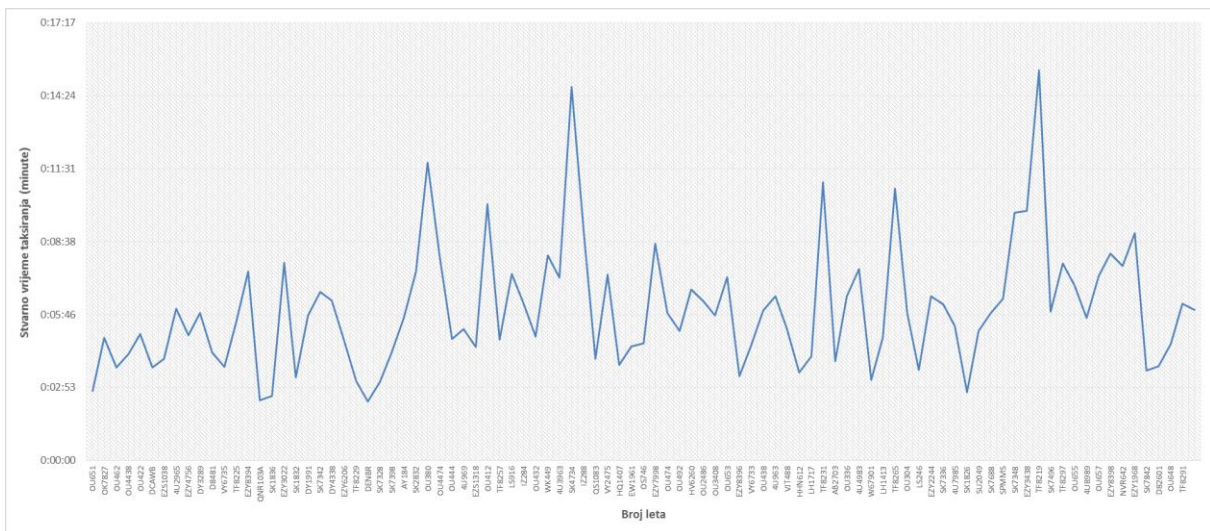
Navedena se odstupanja javljaju u slučaju dolaznoga leta koji slijeće na prag 05, izlazi preko vozne staze „B” te se parkira na pozicije 7–14. U tom slučaju dolazna ruta uključuje prolazak kroz sektor S7, a ukoliko se u tom sektoru nalazi zrakoplov u odlasku koji je zadržan na poziciji za čekanje, zrakoplov u dolasku morat će biti zadržan odgovarajući vremenski period sve dok sektor nije slobodan.

Vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku predstavlja vrijeme od trenutka izlaska zrakoplova s pozicije do dolaska zrakoplova na poziciju za poravnanje na uzletno-sletnoj stazi.

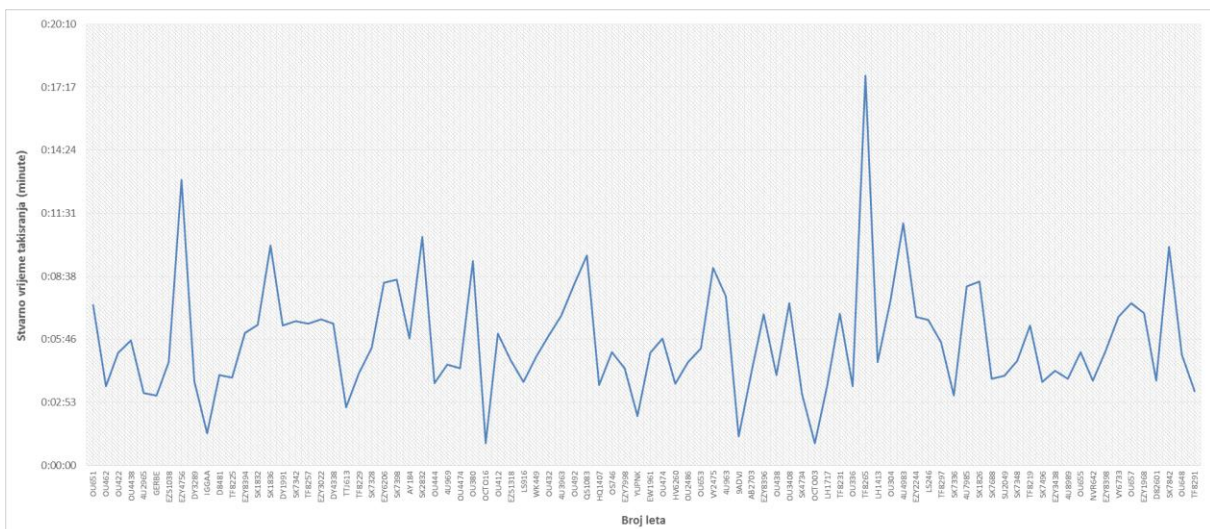
Vožnja zrakoplova na zemlji u odlasku sastoji se od sljedećih aktivnosti:

1. Napuštanje pozicije za parkiranje zrakoplova na stajanci
2. Kretanje na voznim stazama zračne luke
3. Dolazak na poziciju za čekanje
4. Izlazak na uzletno-sletnu stazu
5. Kretanje po uzletno-sletnoj stazi (ova je aktivnost prisutna samo kod zračnih luka s nerazvijenom manevarskom površinom gdje se pozicija za čekanje ne nalazi uz prag uzletno-sletne staze)
6. Poravnavanje na liniju uzlijetanja i čekanje dozvole za uzlijetanje.

Na Grafikonima 6.7. i 6.8. prikazana su vremena vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku po letovima za pojedine operative dane.



Grafikon 6.7. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku za pojedini let, subota 10. rujna 2016.



Grafikon 6.8. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku za pojedini let, subota 24. rujna 2016.

Na temelju rezultata koji su dobiveni iz navedenih grafikona napravljena je usporedna analiza između pojedinih operativnih dana te su rezultati prikazani u Tablici 6.3.

Tablica 6.3. Usporedba rezultata vremena vožnje zrakoplova u odlasku između pojedinih operativnih dana (izražena u minutama)

Operativni dan	Prosječno vrijeme vožnje	Prosječno vrijeme vožnje na voznim stazama	Prosječno vrijeme vožnje na USS-u	Standardna devijacija prosječnoga vremena vožnje	Minimalno vrijeme vožnje	Maksimalno vrijeme vožnje
10. rujna 2016.	00:06:00	00:03:37	00:02:23	00:02:27	00:02:20	00:15:24
24. rujna 2016.	00:05:41	00:03:21	00:02:20	00:02:39	00:01:20	00:17:48

Analiza vremena vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku ukazuje na to kako je prosječno vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku veće nego vrijeme vožnje zrakoplova u dolasku i iznosi približno 6 minuta. Pritom prosječno vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku na voznim stazama iznosi 3 minute i 30 sekunda, dok prosječno vrijeme vožnje na uzletno-sletnoj stazi iznosi 2 minute i 20 sekunda. U prosječno su vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku na voznim stazama uključena vremena čekanja zrakoplova na poziciji za čekanje.

Ukoliko se uspoređuju prosječna vremena vožnje zrakoplova u dolasku i odlasku, uviđa se kako prosječno vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku traje 4 minute duže.

Nerazmjer između prosječnoga vremena vožnje zrakoplova u dolasku i odlasku rezultat je neodgovarajućega sustava upravljanja operacijama zrakoplova u zračnoj luci, ali i veće udaljenosti koju zrakoplovi u odlasku moraju prijeći. Neodgovarajući je sustav upravljanja posebno izražen u periodima unutar vršnoga satnoga opterećenja u kojima vremena vožnje zrakoplova u odlasku dosežu vrijednost od čak 17 minuta.

Distribucija vremena vožnje zrakoplova u odlasku ima stohastički karakter jer su pojedinačni uzorci podložni utjecaju slučajnih kombinacija brojnih čimbenika, a njihovo je ponašanje slučajne prirode. Iako uzorci za pojedine dane imaju obilježja stohastičkih procesa može se uočiti veza između različitih uzoraka. Tako je za sve navedene dane prisutno vršno opterećenje u poslijepodnevnom satima koje je posljedica reaktivnoga kašnjenja nagomilanoga tijekom dana.

Vožnja zrakoplova u odlasku u velikim zračnim lukama ponajprije ovisi o udaljenosti pozicije na kojoj je parkiran zrakoplov i praga uzletno-sletne staze, što može dovesti do vremena vožnje i do 20 minuta. Razina i distribucija prometa kao i kapacitet manevarske površine mogu znatno utjecati na vrijeme vožnje u segmentu zaustavljanja zrakoplova na međupoziciji za čekanje i poziciji za čekanje uz uzletno-sletnu stazu. Iznimno, u nepovoljnim meteorološkim uvjetima, a posebno kada su nepovoljni meteorološki uvjeti prisutni noću, brzina vožnje zrakoplova može biti znatno reducirana te se posljedično povećava vrijeme vožnje zrakoplova.

Na regionalnim zračnim lukama s nerazvijenim sustavom manevarske površine udaljenost pozicije za parkiranje zrakoplova i praga uzletno-sletne staze ne mora predstavljati ograničavajući čimbenik koji određuje vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku.

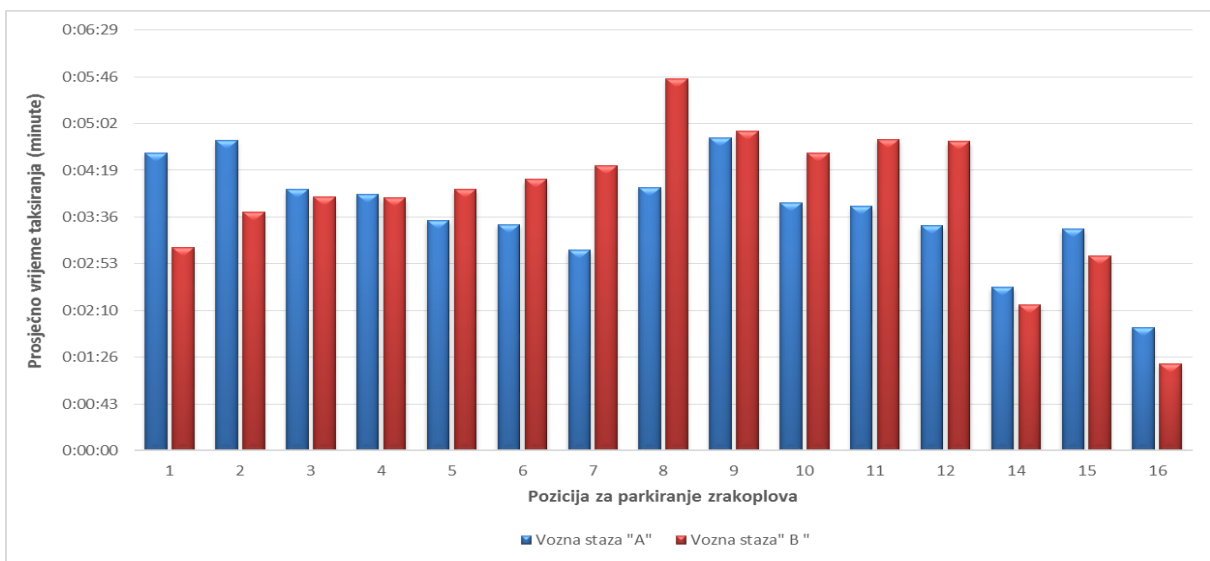
Analiza provedena u Zračnoj luci Split uključuje korelaciju udaljenosti između pojedinih parkirnih pozicija i praga uzletno-sletne staze s prosječnom vrijednosti vremena vožnje zrakoplova na zemlji (Tablica 6.4. i Grafikon 6.9.).

Tablica 6.4. Udaljenost pozicija za parkiranje zrakoplova od praga 05 i 23 u Zračnoj luci Split

Pozicija za parkiranje zrakoplova	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16
Udaljenost do praga 05 (metara)	1488	1430	1366	1303	1241	1201	1164	1202	1258	1311	1301	1258	1202	1152	1195
Udaljenost do praga 23 (metara)	1071	1130	1191	1255	1320	1403	1495	1531	1590	1644	1641	1589	1616	1531	1580

Za navedenu su zračnu luku analizirana vremena vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku (za dva operativna dana, 10. i 24. rujna 2016.) za svaku od parkirnih pozicija te su iz analize izuzeta vremena čekanja zrakoplova na manevarskoj površini, kako bi se obradila samo vremena kretanja zrakoplova po manevarskoj površini. U analizu su uključeni svi tipovi zrakoplova prema pojedinim pozicijama.

Statistike prosječnoga vremena vožnje zrakoplova u odlasku (Grafikon 6.9.) ukazuju na to kako prosječno vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku nije u korelaciji s udaljenošću između pragova uzletno-sletne staze i odgovarajuće pozicije, već je posljedica ograničenoga kapaciteta manevarske površine i distribucije prometa u odgovarajućem vremenskom periodu.



Grafikon 6.9. Prikaz prosječnoga vremena vožnje zrakoplova na zemlji prema pozicijama za parkiranje

Vozne staze izvedene su pravolinijski s malim brojem i relativno kratkim radijusom skretanja, što ukazuje na to kako ograničavajući čimbenik predstavlja križanje vozni staza, kao i križanje vozni staza i uzletno-sletne staze.

Na odgovarajućim točkama interakcije u određenim slučajevima dolazi do zaustavljanja zrakoplova, što dovodi do povećanja vremena vožnje zrakoplova na zemlji. Odstupanja koja se javljaju posljedica su statističkoga uzorka na temelju kojega je provedena analiza. Za pozicije 1–6 postoji veći broj mjerenja nego za pozicije 7–16, kod kojih u određenim slučajevima postoji samo jedan statistički podatak. Nadalje, pozicije 14, 15 i 16 uglavnom koriste zrakoplovi generalne avijacije koji uzlijeću s određenoga dijela USS-a (engl. *Runway Intersection Take off*), što dovodi do smanjenja vremena vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku.

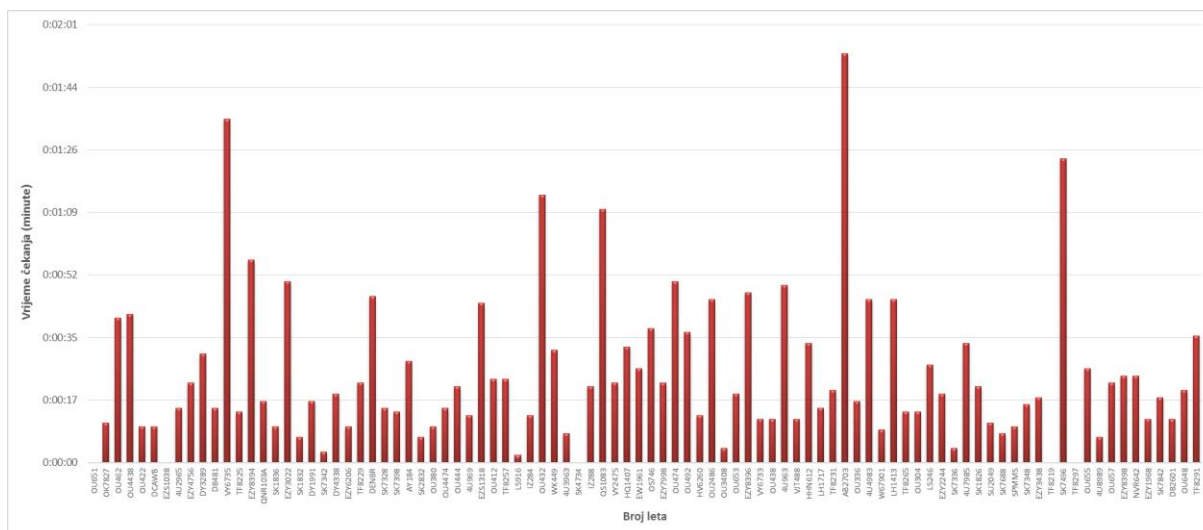
6.5.3. Vrijeme čekanja na poziciji za poravnanje

Zrakoplov u odlasku, prije nego započne postupak uzlijetanja, mora se poravnati na uzletno-sletnoj stazi u smjeru uzlijetanja na predviđenom mjestu (engl. *Line Up Position*) koje se nalazi na pragu uzletno-sletne staze te mora dobiti odobrenje nadležne kontrole zračnoga prometa za uzlijetanje. Kako bi kontrola zračnoga prometa dodijelila odobrenje za uzlijetanje, pojedinom zrakoplovu moraju biti zadovoljeni sljedeći uvjeti:

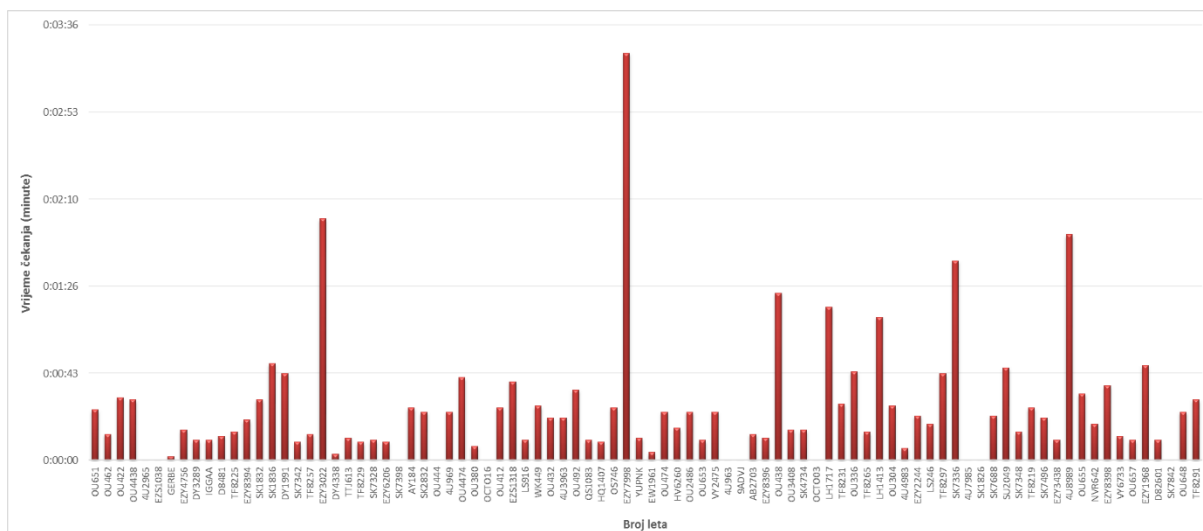
1. Prethodni zrakoplov u odlasku mora se nalaziti na odgovarajućoj udaljenosti.
2. Stanje prometa unutar TMA mora biti takvo da se omogući sigurno uzlijetanje pritom poštujući sve propisane norme razdvajanja između zrakoplova.

Prolaskom kroz prostor svi zrakoplovi iza sebe ostavljaju područje turbulencije traga te je potrebno između dvaju sukcesivnih uzlijetanja primijeniti vremensko razdvajanje kako bi se osiguralo sigurno uzlijetanje zrakoplova. Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo, s obzirom na maksimalnu težinu zrakoplova u uzlijetanju, definira odgovarajuća vremenska razdvajanja [35]. Zrakoplovi koji pripadaju u skupinu „teški“ ostavljaju intenzivnije područje turbulencije traga te je kod te skupine zrakoplova potrebno osigurati nešto duže vremensko razdvajanje. Također, određeni tipovi zrakoplova zbog svojih karakteristika imaju manju maksimalnu vertikalnu komponentu brzine te je u slučaju pojave tih tipova potrebno osigurati nešto duže vremensko razdvajanje ukoliko konfiguracija terena to zahtijeva.

Na Grafikonima 6.10. i 6.11. prikazana su vremena čekanja zrakoplova na poziciji za poravnanje po letovima za obrađene operativne dane.



Grafikon 6.10. Vremena čekanja zrakoplova na poziciji za poravnanje po letovima, subota 10. rujna 2016.



Stoga se može zaključiti kako operativne procedure koje provodi aerodromska kontrola zračnoga prometa ne predstavljaju ograničavajući čimbenik, već vrijeme čekanja na poziciji za poravnanje izravno ovisi o procedurama koje prije uzlijetanja provode određeni zračni prijevoznici.

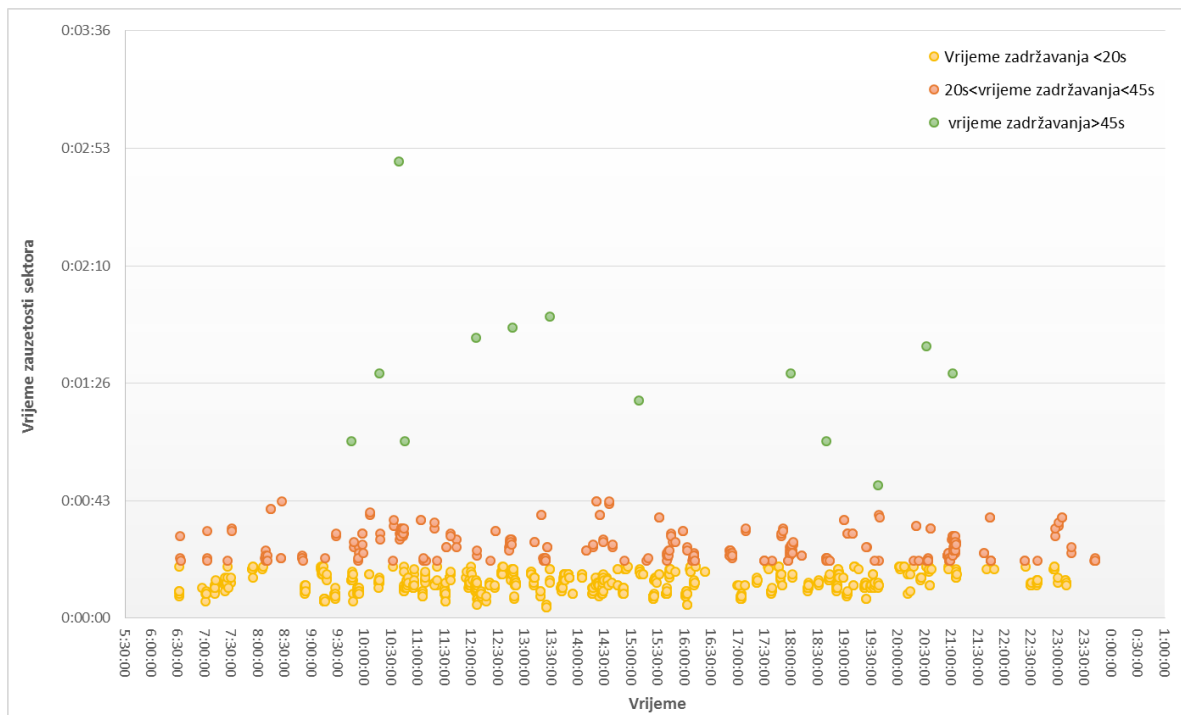
Izuzetak predstavljaju slučajevi u kojima se javljaju zrakoplovi tipa Avro RJ/BAe 146, a koji su uzlijetanje izveli s praga 05. U slučaju sukcesivnih uzlijetanja s praga 05, zbog konfiguracije terena, kod odlaznih operacija nije moguće primijeniti prostorno razdvajanje, već se primjenjuje vremensko razdvajanje. Kako navedeni tip zrakoplova zbog svojih tehničkih karakteristika ima izrazito malu vertikalnu komponentu brzine, tako je potrebno osigurati veće vremensko razdvajanje ukoliko postoji sukcesivno uzlijetanje nakon njega. Također, ukoliko se u navedenim uvjetima javlja zrakoplov B757 potrebno je primijeniti dodatno vremensko razdvajanje zbog pravila razdvajanja zrakoplova uzrokovana pojavom turbulencije traga.

6.5.4. Vrijeme zauzetosti i broj zrakoplova u sektoru

Vrijeme zauzetosti sektora predstavlja indikator razvijen u okviru doktorske disertacije koji je namijenjen mjerenju performansa zračne luke, ali i validaciji i kalibraciji samoga modela.

U kontekstu modela sektorizacije zračne luke svi se sektori mogu svrstati u jednu od četiriju skupina vezanih uz: prilazne/odlazne sektore, sektor uzletno-sletne staze, sektore voznih staza, sektore pozicija.

U daljnjoj će analizi biti obrađeno devet sektora vezanih uz vozne staze. Iz analize su isključeni sektori S0 i S7 jer su oni obrađeni u Poglavlju 6.5.1. Za svaki je sektor iskazano prosječno vrijeme zauzetosti, kao i broj zrakoplova koji se u određenom vremenskom intervalu nalazio u sektoru. Prosječno vrijeme zauzetosti sektora pokazuje učinkovitost sustava upravljanja operacijama zrakoplova, dok broj zrakoplova u pojedinom sektoru predstavlja kontrolni element. Ukoliko broj zrakoplova u pojedinom sektoru u bilo kojem trenutku premašuje jedan, potrebno je izvesti provjeru upravljačkih procedura modela. Cilj je operativnoga sustava upravljanja zračnom lukom smanjiti vrijeme zauzetosti pojedinoga sektora kako bi se osigurao neometani tok zrakoplova u zračnoj luci. Analizirani su sektori prikazani skupno u Grafikonu 6.12. za dva operativna dana (10. rujna 2016. i 24. rujna 2016.).



Grafikon 6.12. Prikaz vremena zauzetosti sektora

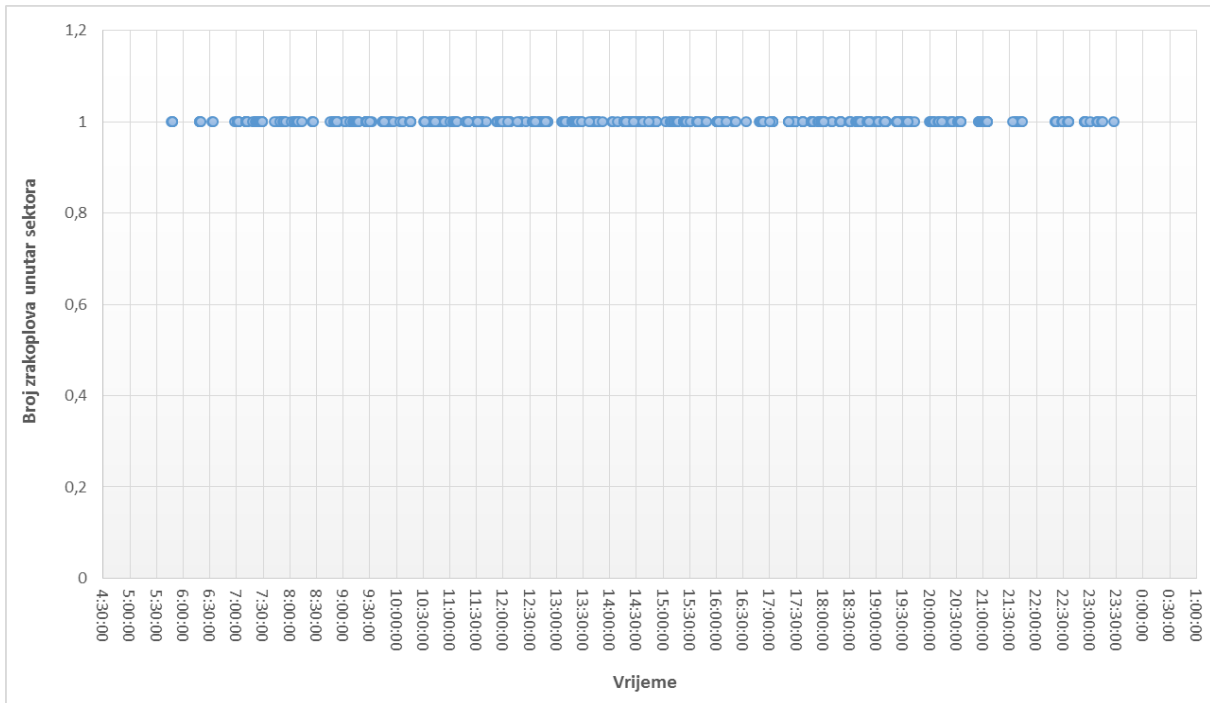
Statistička analiza provedena na 1.387 uzoraka ukazuje na to kako prosječno vrijeme zadržavanja zrakoplova unutar sektora iznosi 23 sekunde uz standardnu devijaciju od 16 sekunda.

Prema rezultatima analize svi su zrakoplovi grupirani u tri skupine:

1. **Prva skupina** (na grafikonu je označena žutim točkama) predstavlja one zrakoplove koji imaju prosječno vrijeme zadržavanja unutar sektora do 20 sekunda.
2. **Druga skupina** (na grafikonu je označena crvenim točkama) predstavlja one zrakoplove koji imaju prosječno vrijeme zadržavanja unutar sektora između 20 i 45 sekunda. Ova skupina uzoraka predstavlja zrakoplove koji imaju manju brzinu kretanja na manevarskoj površini te kod kojih je prisutno kraće zadržavanje na manevarskoj površini.
3. **Treća skupina** (na grafikonu je označena zelenim točkama) predstavlja one zrakoplove koji imaju prosječno vrijeme zadržavanja unutar sektora iznad 45 sekunda. Ovu skupinu uzoraka karakteriziraju značajnija kašnjenja na voznim stazama, a posljedica su neodgovarajućih procedura upravljanja operativnim podsustavima.

U modelu sektorizacije zračne luke fizički dizajn sektora ne pruža mogućnost da se u određenom trenutku u sektoru istovremeno nalazi više zrakoplova. Stoga je ovaj indikator u modelu ponajprije namijenjen validaciji i potencijalnoj korekciji određenih procedura upravljanja operacijama zrakoplova.

U slučaju da su u bilo kojem vremenskom trenutku u određenom sektoru zabilježene dvije operacije zrakoplova, potrebno je ispitati upravljačke procedure vezane uz specifični sektor. Na Grafikonu 6.13. prikazan je ukupni rezultat broja zabilježenih operacija zrakoplova po pojedinom sektoru.



Grafikon 6.13. Prikaz broja zabilježenih operacija zrakoplova unutar sektora, subote 10. i 24. rujna 2016.

Analiza Grafikona pokazuje kako je na temelju mjerenja 2.527 uzoraka zabilježeno 360 operacija kretanja zrakoplova kroz sektore. U svim se analiziranim slučajevima, u svakom vremenskom trenutku, nalazio samo jedan zrakoplov u pojedinom sektoru.

6.5.5. Vrijeme i broj zrakoplova kojima je odgođeno vrijeme pokretanja motora

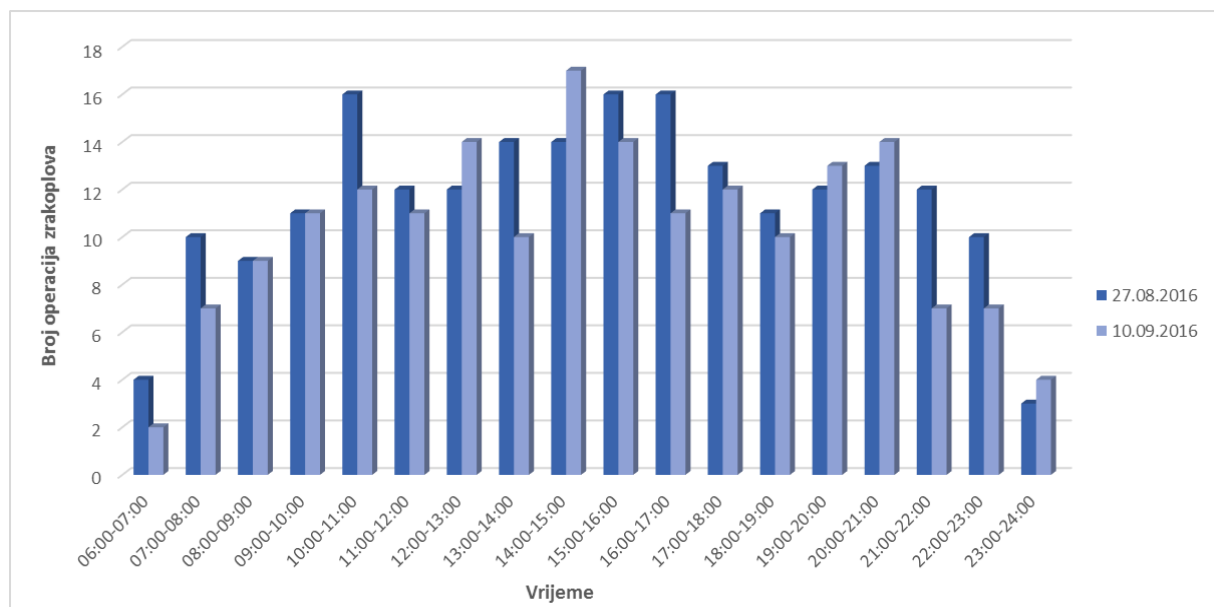
U postojećem generičkom sustavu upravljanja, na temelju zahtjeva kapetana zrakoplova (nakon završetka procesa prijeha i otpreme), kontrola zračnoga prometa odobrava pokretanje motora zrakoplova. Pritom kontrolori ne posjeduju odgovarajući alat kojim bi se osiguralo optimalno vrijeme pokretanja motora, već trenutačno na temelju zahtjeva odobravaju pokretanje motora. U analiziranim operativnim danima zabilježena su tri slučaja u kojima kontrolori nisu trenutačno odobrili pokretanje motora zrakoplova, već su taj postupak odgodili za određeni vremenski period. Ovi slučajevi predstavljaju izuzetak od standardne kontrolorske prakse i provode se *ad hoc* na temelju trenutačne situacije na manevarskoj površini. U navedenim trima slučajevima kontrolori su odgodili odobrenje za pokretanje motora jer se u istom vremenskom trenutku nekoliko zrakoplova nalazilo u odlasku i u dolasku.

6.5.6. Kapacitet i iskoristivost uzletno-sletne staze

Uzletno-sletna staza predstavlja ograničavajući element kod dolaznih i odlaznih operacija zrakoplova te definira ukupni kapacitet sustava zračne luke. U uvjetima u kojima se uzletno-sletna staza koristi za mješovite operacije, a da bi se osigurala maksimalna iskoristivost, potrebno je ostvariti uravnotežen odnos između dolaznih i odlaznih operacija zrakoplova uz kontinuiranu potražnju. Nadalje, uz uravnoteženi je odnos između dolaznih i odlaznih operacija na satnoj razini potrebno na unutarosatnoj razini planirati odlazne operacije tako da zrakoplov u odlasku bude na poziciji za čekanje u odgovarajućem intervalu između dviju operacije slijetanja zrakoplova.

Upotrebom formula (2.1.–2.16.) izračunan je teoretski kapacitet uzletno-sletne staze Zračne luke Split u koji je uključena pogreška u poziciji zrakoplova u prilazu. U uvjetima mješovitih operacija kapacitet iznosi 17 operacija zrakoplova na sat.

Na Grafikonu 6.14. prikazana je distribucija broja operacija zrakoplova (slijetanja i uzlijetanja) po satima za dva analizirana dana. Analiza je provedena tako da su zabilježena stvarna vremena slijetanja (trenutak preleta praga USS-a) i uzlijetanja zrakoplova (trenutak odvajanja kotača glavnoga podvozja od USS-a).



Grafikon 6.14. Prikaz broja operacija na uzletno-sletnoj stazi Zračne luke Split za odabrane dane

Analiza ukazuje na to kako postoji velika varijacija u broju operacija po satima tijekom vršnih dana. U prosjeku se broj zabilježenih operacija na uzletno-sletnoj stazi u vremenima vršnih perioda unutar dana kreće u granicama 10–17 operacija po satu. Iznimno se u određenim slučajevima javlja i veći broj operacija koje su rezultatom kašnjenja zrakoplova tijekom dana.

Odvijanje operacija zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi karakteriziraju tri vršna perioda tijekom dana: jutarnji, u vremenskom intervalu 10:00–12:00 sati, poslijepodnevni, u vremenskom intervalu 14:00–17:00 sati i večernji, 19:00–21:00 sat.

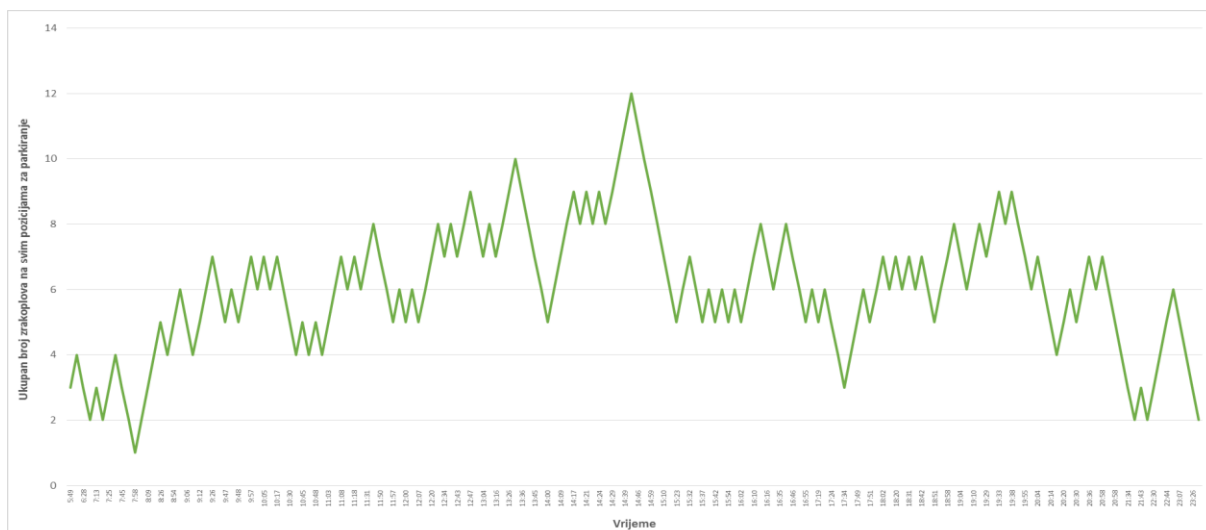
Usporedbom teoretskoga i praktičnoga kapaciteta može se zaključiti kako u uvjetima vršnih opterećenja praktični kapacitet gotovo odgovara teoretskom kapacitetu uzletno-sletne staze.

6.5.7. Kapacitet i iskoristivost stajanke

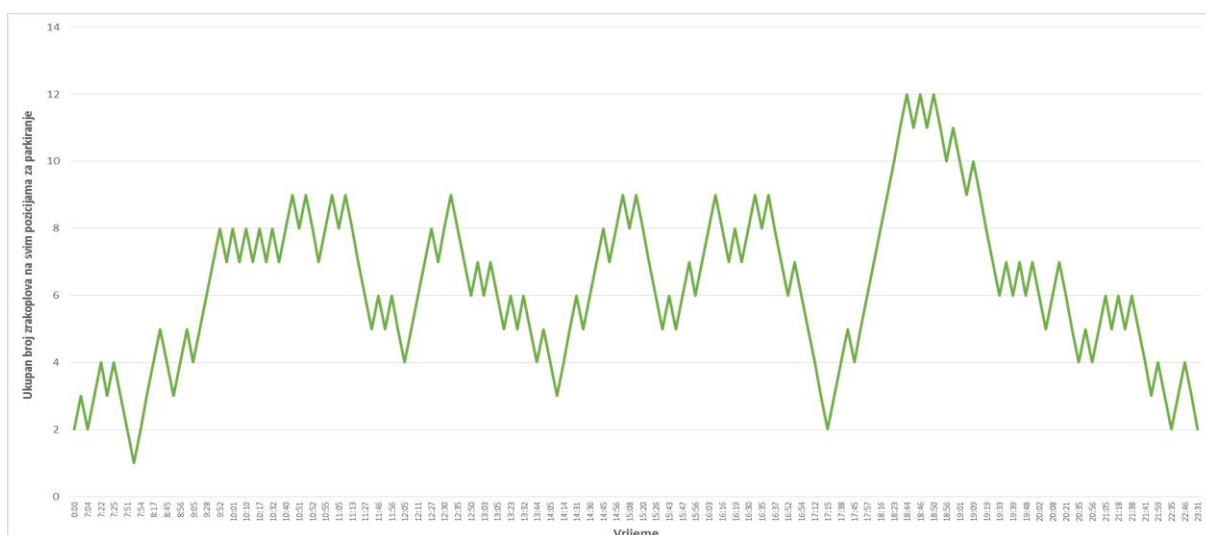
Ograničavajući element u okviru sustava zračne luke uz kapacitet uzletno-sletne staze može biti i kapacitet stajanke. Problem je posebno izražen u periodima vršnih opterećenja te u uvjetima dužega parkiranja zrakoplova. Pozicije za parkiranje zrakoplova prema fizičkim se karakteristikama na regionalnim zračnim lukama mogu podijeliti na: pozicije za parkiranje uskotrupnih zrakoplova te zrakoplova poslovne i generalne avijacije. Pozicije namijenjene širokotrupnim zrakoplovima iznimno se rijetko koriste te će biti izuzete iz daljnjega izračuna. Problematika je kapaciteta pozicija za parkiranje zrakoplova poslovne i generalne avijacije vezana uz trend povećanja tipa zrakoplova. Stoga se u novije vrijeme za opsluživanje zrakoplova poslovne i generalne avijacije koriste pozicije koje pripadaju u kodno slovo *B*, a u određenim slučajevima i u kodno slovo *C* [16]. Operativno, zračne luke s ograničenim kapacitetom pozicija za parkiranje zrakoplova ne dopuštaju duže parkiranje za određene tipove zrakoplova. Kapacitet je stajanke Zračne luke Split razmatran s obzirom na veličinu i namjenu pozicija.

Dvanaest pozicija na zračnoj luci koristi se za prihvat i otpremu zrakoplova u linijskom i čarter prometu, dok se preostale tri koriste za zrakoplove generalne avijacije. Kako korištenje pozicija za generalnu avijaciju karakterizira duže parkiranje zrakoplova i fleksibilna upotreba u određenim slučajevima, nije moguće egzaktno izračunati teoretski kapacitet tih pozicija. Stoga je izračunan teoretski kapacitet za dvanaest pozicija koje se koriste za prihvat i otpremu zrakoplova u linijskom i čarter prometu. Operativno ne postoje ograničenja u korištenju navedenih pozicija te je teoretski kapacitet pozicija izračunan na temelju modela strategije neograničenoga korištenja. Statističkom je obradom podataka dobiveno da razmatrane pozicije u 98 % slučajeva koriste uskotrupni zrakoplovi koji imaju prosječno vrijeme zauzetosti pozicije (GOT) od 44 minute, a ostatak čine lagani tipovi zrakoplova koji imaju prosječno vrijeme zauzetosti pozicije od 20 minuta. Na temelju formule (2.28. i 2.31.) dobiven je teoretski kapacitet za dvanaest pozicija od 17 operacija zrakoplova po satu.

Praktični je kapacitet stajanke dobiven analizom zabilježenih operacija na dvanaest pozicija za dva operativna dana. Iz analize su isključeni zrakoplovi generalne avijacije. Statistički su obrađena vremena dolaska zrakoplova na poziciju, odnosno izlaska zrakoplova s pozicije, a rezultati su prikazani na Grafikonima 6.15. i 6.16.



Grafikon 6.15. Prikaz broja zrakoplova na stajanci Zračne luke Split po satima, 10. rujna 2016.



Grafikon 6.16. Prikaz broja zrakoplova na stajanci Zračne luke Split po satima, 24. rujna 2016.

Analiza iskoristivosti kapaciteta stajanke ukazuje na postojanje određene korelacije između broja operacija zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi i na stajanci.

Usporedba teoretskoga i praktičnoga kapaciteta stajanke ukazuje na to kako je, u postojećim uvjetima, kapacitet stajanke neodgovarajući prema broju zabilježenih operacija zrakoplova te se u određenim vremenskim intervalima javlja saturacija. Iako je vrijeme zauzetosti pozicije razmjerno kratko zbog velikoga udjela zrakoplova niskotarifnih zračnih prijevoznika, kašnjenja koja se javljaju u sustavu zračnoga prometa uzrokuju pomicanje stvarnoga vremena dolaska i odlaska s pozicije i akumulaciju velikoga broja zrakoplova na stajanci u određenom vremenskom intervalu.

7. PROAKTIVNI SUSTAV UPRAVLJANJA PROCESIMA I PODSUSTAVIMA U ZRAČNOJ LUCI

Rezultati analize postojećega sustava upravljanja operativnim procesima i podsustavima u regionalnoj zračnoj luci, provedeni u prethodnom poglavlju, ukazuju na to da procedure kojima se upravlja operacijama zrakoplova nisu unaprijed propisane, već se provode *ad hoc* na temelju stanja na manevarskoj površini i na stajanci zračne luke. Rezultat su takvoga sustava čekanja zrakoplova na točkama interakcije različitih infrastrukturnih elemenata, a problem je posebno izražen u periodima vršnih opterećenja. Stoga se javlja potreba za razvojem novih procedura na zračnoj strani zračne luke koje će osigurati optimalno odvijanje zrakoplovnih operacija uz znatno smanjenje zagušenja.

Metodologija je razvoja proaktivnoga sustava zasnovana na procedurama koje u realnom vremenu integriraju vremenski i funkcionalno operativne podsustave i procese u zračnoj luci zajedno sa segmentom završnoga prilaza i segmentom uzlijetanja. Optimizirane procedure uključuju različite scenarije koji se javljaju na manevarskoj površini i na stajanci te za svaki od njih odgovarajuće akcije koje je potrebno provesti. Ovaj pristup predstavlja holistički sustav koji objedinjuje operativne podsustave u zračnoj luci u jedinstvenu funkcionalnu cjelinu i osigurava u realnom vremenu podršku pri odlučivanju kontrole zračnoga prometa.

Sustav proaktivnoga upravljanja temeljit će se na inovativnom pristupu sektorizacije zračne luke koji je opisan u Poglavlju 5. U sektorima će se parkirnih pozicija u referentnim točkama definirati skup procedura koje se temelje na stablu odluke. Integracijom je sektora primjenom formalizma Petrijevih mreža moguće u svakoj referentnoj točki sektora definirati skup procedura koje će optimizirati odvijanje operacija zrakoplova u zračnoj luci. Optimizirane se procedure moraju uskladiti s ATFM⁵⁷ slotovima, odnosno upravljanje operacijom zrakoplova u odlasku sektorski se mora koordinirati s ciljem njegovoga dolaska na poziciju za uzlijetanje u vremenskom periodu $-5 + 10$ minuta u odnosu na predviđeno vrijeme uzlijetanja zrakoplova.

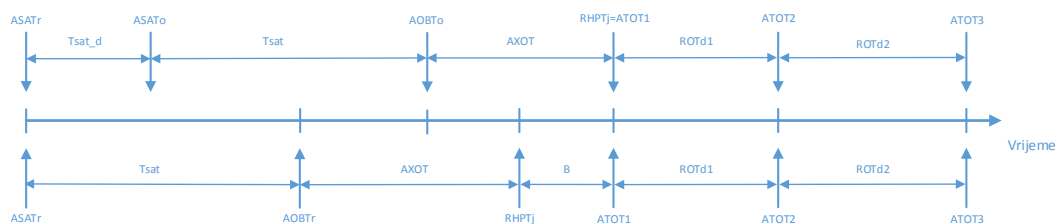
Naglasak je proaktivnoga sustava na sektorima koji kontroliraju vrijeme pokretanja motora zrakoplova i izlaska zrakoplova s pozicije. Osnovni je koncept proaktivnoga sustava upravljanja da se nakon završetka procesa prihvata i otpreme zrakoplova upotrebom bazičnih scenarija izračuna optimalno vrijeme pokretanja motora zrakoplova, odnosno napuštanja parkirne pozicije. Navedena vremena predstavljaju kritični element koji utječe na odvijanje operacija zrakoplova te općenito na stanje na manevarskoj površini. Ovisno o stanju na stajanci, manevarskoj površini i prilazno/odletnim segmentima zrakoplovu će se izračunati optimalno vrijeme pokretanja motora, odnosno vrijeme izlaska s pozicije.

⁵⁷ ATFM - Air Traffic Flow Management

Dobiti koje se ostvaruju kroz ovakvo upravljanje operacijama zrakoplova očituju se u smanjenom zagušenju manevarske površine (posebno u stvaranju redova ispred pozicije za čekanje), smanjenoj potrošnji goriva po pojedinoj operaciji zrakoplova te posljedično u smanjenju emisije ispušnih plinova.

Sustav upravljanja operacijama zrakoplova na manevarskoj površini kombinira problematiku kreiranja sekvenca dolaznih i odlaznih operacija zrakoplova.

Na Grafikonu 7.1. prikazani su vremenski segmenti operacije zrakoplova u odlasku te je napravljena usporedna analiza između postojećega generičkoga i proaktivnoga sustava upravljanja operacijama zrakoplova.



Grafikon 7.1. Prikaz vremenskih segmenata zrakoplova u odlasku postojećega generičkoga i proaktivnoga sustava upravljanja operacijama zrakoplova,

gdje je:

$AOBT_o$ – optimalno vrijeme početka vožnje

$AOBT_r$ – najranije vrijeme početka vožnje

$ASAT_o$ – optimalno vrijeme pokretanja motora zrakoplova

$ASAT_r$ – najranije vrijeme pokretanja motora zrakoplova

$ATOT_1$ – optimalno vrijeme ulaska zrakoplova na uzletno-sletnu stazu

$ATOT_2$ – optimalno vrijeme dolaska zrakoplova na poziciju za poravnanje

$ATOT_3$ – optimalno vrijeme uzlijetanja zrakoplova

$AXOT$ – vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku do pozicije za čekanje

$RHPT_j$ – vrijeme dolaska zrakoplova na poziciju za čekanje

ROT_{d1} – vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze u uzlijetanju od ulaska na uzletno-sletnu stazu do pozicije za poravnanje

ROT_{d2} – vrijeme zauzetosti uzletno-sletne staze u uzlijetanju od pozicije za poravnanje do uzlijetanja.

B – vrijeme čekanja zrakoplova na poziciji za čekanje

T_{SAT_d} – vremenski interval u kojem je odgođeno pokretanje motora zrakoplova

T_{SAT} – vrijeme potrebno za pokretanje motora zrakoplova

U postojećem FCFS sustavu nakon završetka prijehva i otpreme zrakoplova u trenutku $ASAT_r$ zrakoplov pokreće motore, dok u $AOBT_r$ započinje proces vožnje zrakoplova u odlasku koji ima određeno vremensko trajanje $AXOT$, a završava u trenutku dolaska zrakoplova na poziciju za čekanje $RHPT_j$. Trajanje vremenskoga intervala $AXOT$ ovisi o stanju na manevarskoj površini, udaljenosti pozicije za parkiranje zrakoplova te o tomu nalazi li se na poziciji za čekanje zrakoplov.

Vremenski tampon B nastaje u slučajevima u kojima zrakoplov u odlasku mora čekati određeno vrijeme prije nego dobije dozvolu za ulazak na uzletno-sletnu stazu. Razlog tomu može biti zauzetost uzletno-sletne staze od prethodnoga zrakoplova u odlasku ili zrakoplova u dolasku.

Nakon ulaska zrakoplova na uzletno-sletnu stazu potreban je vremenski interval ROT_{d1} da bi zrakoplov došao do pozicije za poravnanje, odnosno vremenski interval ROT_{d2} da bi ostvario uzlijetanje.

Proaktivni sustav upravlja odlaznim operacijama zrakoplova tako da svakom zrakoplovu u odlasku dodjeljuje optimalno vrijeme pokretanja motora $ASAT_o$, odnosno početka vožnje $AOBT_o$. Na taj se način smanjuje vrijeme vožnje zrakoplova $AXOT$ jer se izbjegavaju potencijalne interferencije između zrakoplova na manevarskoj površini. Nadalje, optimalno vrijeme vožnje osigurava da zrakoplov u odlasku izravno ulazi na uzletno-sletnu stazu bez čekanja, odnosno ne javlja se vremenski tampon B ili će on biti minimalan. Nakon ulaska zrakoplova na uzletno-sletnu stazu prisutna su dva vremenska intervala ROT_{d1} i ROT_{d2} koja u odnosu na prethodni slučaj ostaju nepromijenjena.

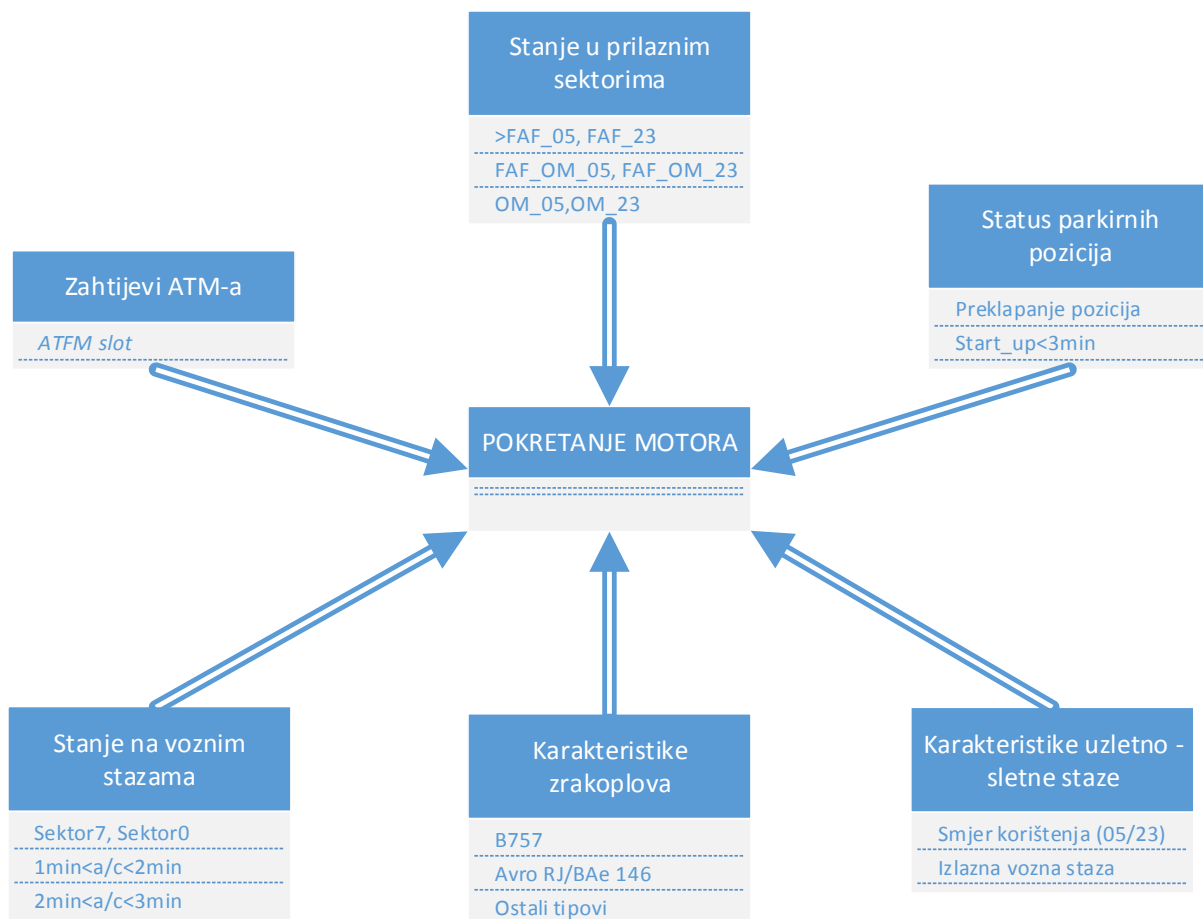
Ovakvim se upravljanjem odlaznim operacijama zrakoplova smanjuje vrijeme čekanja pojedinih zrakoplova na manevarskoj površini i potencijalno zagušenje manevarske površine zračne luke.

Proaktivni sustav upravljanja u metodološkom smislu koristi određene elemente sustava kolaborativnoga upravljanja zračnom lukom. Za razliku od A-CDM sustava koristi novu paradigmu upravljanja operativnim podsustavima zračne luke s naglaskom na regionalnim zračnim lukama. Optimalno upravljanje odlaznim operacijama zrakoplova, kod složenoga sustava manevarske površine i stajanke, koji su karakteristični za zračne luke kategorije A i B temelji se na stanju na manevarskoj površini i na dolaznim operacijama zrakoplova. Pritom je potrebno posjedovati informaciju o budućoj operaciji slijetanja zrakoplova gotovo tri sata unaprijed. Kod regionalnih je zračnih luka optimalno vrijeme pokretanja motora zrakoplova, odnosno izlaska s pozicije moguće izračunati na temelju trenutnoga stanja na manevarskoj površini, na stajanci i na prilazno-odletnim segmentima.

Razlog tomu leži u činjenici da je od trenutka pokretanja motora zrakoplova do trenutka dolaska na poziciju za čekanje potreban vrlo kratak vremenski interval koji iznosi nekoliko minuta, za razliku od zračnih luka kategorije A i B gdje taj interval iznosi desetak minuta, a može dosezati i do pola sata.

7.1. Arhitektura proaktivnoga sustava upravljanja

Arhitekturu proaktivnoga sustava upravljanja operativnim procesima i podsustavima zračne luke čini algoritam koji se temelji na optimiziranim procedurama pokretanja motora zrakoplova. Algoritam koristi različite tipove podataka kako bi partikularnoj odlaznoj operaciji zrakoplova primarno dodijelio optimalno vrijeme pokretanja motora (Slika 7.1.), a sekundarno optimalno vrijeme izlaska s pozicije.



Slika 7.1. Arhitektura proaktivnoga sustava upravljanja operativnim podsustavima

Algoritam obrađuje podatke na temelju ostvarene informacijske dobiti svakoga pojedinoga tipa podatka. Model koristi tri tipa podataka:

- podatci s manevarske površine i stajanke – dobiveni monitoringom stanja u pojedinim sektorima
- podatci iz sustava kontrole zračne plovidbe – određuju smjer korištenja USS-a, stanje u prilazno-odletnim sektorima i zahtjeve vezane uz ATFM *slot*
- podatci iz aerodromske baze podataka – sadrže planirano vrijeme slijetanja/uzlijetanja te karakteristike pojedinih tipova zrakoplova.

Optimizirane se procedure upravljanja, između ostaloga, temelje na vremensko-prostornim elementima koji objedinjavaju dvije prostorne (x,y) i jednu vremensku komponentu. Uz navedeno vremensko-prostorni element osigurava i dodatnu informaciju o statusu pojedine operacije zrakoplova.

AOBT – 12:43:16

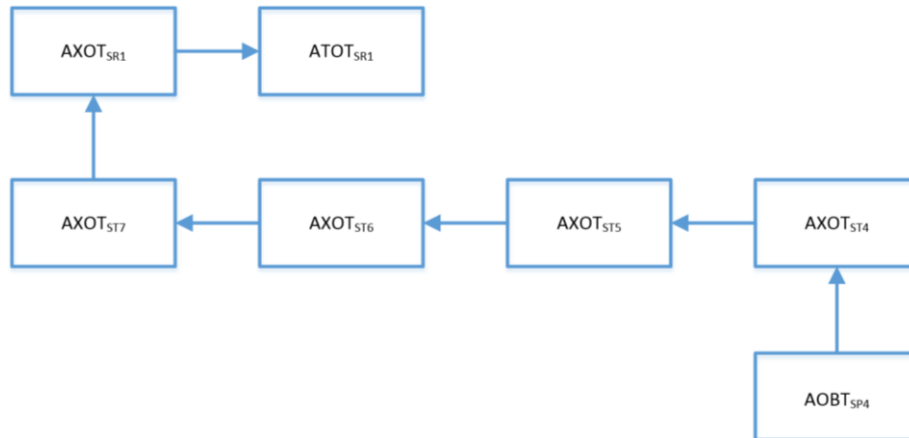
Slika 7.2. Prikaz vremensko-prostornoga elementa

Vremensko-prostorni element prikazan na Slici 7.2. označava odlaznu operaciju zrakoplova koja se trenutačno odvija prema navedenom lokalnom vremenu (12:43:16). Zrakoplov se nalazi na poziciji za parkiranje te je završio proces prihvata i otpreme.

Sustav je zasnovan na optimiziranim procedurama koje upravljaju odlaznim operacijama zrakoplova kroz automatsko kolaborativno upravljanje operativnim podsustavima i procesima u zračnoj luci.

Optimizirane procedure upravljaju pojedinim rutama tako da se predvide vremensko-prostorne interferencije te kroz integrirano upravljanje rješavaju potencijalne interferencije. Ciljem je sustava u potpunosti ukloniti situacije u kojima se javljaju interferencije. Alternativno, ukoliko nije moguće izbjeći vremensko-prostornu interferenciju, model nastoji minimizirati vrijeme koje zrakoplovi provedu u navedenom slučaju. Svaka procedura sadrži skup ograničenja koji uvjetuju konfiguracija manevarske površine i stajanke te stanje na njoj. Stanja se na manevarskoj površini mogu predočiti različitim scenarijima na temelju kojih je potrebno poduzeti odgovarajuće akcije.

U modelu su definirane rute koje predstavljaju specifičnu operaciju zrakoplova koja je određena kretanjem zrakoplova kroz pojedine sektore. Svaka se ruta sastoji od sekvencionalno povezanih vremensko-prostornih elemenata. Na Dijagramu 7.2. prikazana ruta za odlaznu operaciju zrakoplova s pozicije 04, preko vozne staze A na prag 05 uzletno-sletne staze.



Dijagram 7.1. Prikaz elemenata rute za odlaznu operaciju zrakoplova s pozicije 04 na prag 05 uzletno-sletne staze

U modelu su rute podijeljene na dolazne i odlazne, a s aspekta upravljivosti na upravljive i neupravljive. Upravljanje rutom, odnosno operacijom zrakoplova, podrazumijeva zaustavljanje, odnosno propuštanje zrakoplova kroz odgovarajuće sektore. Ukoliko ruta nije upravljiva, tada se zrakoplov slobodno kreće manevarskom površinom poštujući pritom sigurnosna ograničenja koja su propisana međunarodnim zrakoplovnim standardima.

U modelu je početak svake odlazne rute unaprijed definiran te se nalazi na poziciji za parkiranje zrakoplova, dok je početak svake dolazne rute definiran u sektoru ispred točke završnoga prilaza. Dolazne rute u načelu imaju prvenstvo nad odlaznim rutama te u pravilu nisu upravljive, osim u slučajevima u kojima se upravljanjem dolaznim rutama mogu ostvariti znatne uštede u odlaznim rutama. Odlazne su rute u pravilu upravljive, a upravljačke će procedure biti opisane u sljedećim poglavljima.

Rute predstavljaju dinamički sustav gdje se ponašanje svake rute modificira ovisno o stanju na manevarskoj površini, a zasnovano je na automatskom kolaborativnom upravljanju operativnim podsustavima i procesima u zračnoj luci.

7.2. Definicija algoritma

Problematika proaktivnoga upravljanja operacijama zrakoplova kombinira problem pronalaženja najkraćega puta zasnovanoga na vremenskim okvirima (engl. *Shortest Path Problem with Time Windows*) i problem pronalaženja puta za višestruka sredstva (engl. *Multi agent Pathfinding Problem*). Ovaj problem uključuje usmjeravanje zrakoplova od pozicija za parkiranje do uzletno-sletne staze, tako da algoritam na višoj razini dodjeljuje svakom zrakoplovu optimalno pokretanje motora i na nižoj razini optimalno vrijeme napuštanja pozicije, kako bi se izbjegla vremenska interferencija između pojedinih ruta, odnosno operacija zrakoplova.

Formalna definicija problema pronalaženja najkraćega puta zasnovanoga na vremenskim okvirima

Problem pronalaženja najkraćega puta zasnovanoga na vremenskim okvirima kroz mrežu temelji se na izračunu optimalnoga vremena polaska s određene pozicije u transportnoj mreži, s ciljem smanjenja vremena putovanja između dviju pozicija. Transportna mreža predstavlja dinamički sustav gdje se stanje mreže mijenja tijekom vremena [78][79].

Definicija 1.

Transportnu je mrežu moguće prikazati s pomoću vremenski ovisnoga grafa G_T koji se definira kao $G_T(V, E, W)$, gdje $V = \{v_i\}$ predstavlja set čvorova, $E \subseteq V \times V$ set je rubnih vrijednosti te W funkcija pozitivnih vrijednosti [78]. Sve rubne vrijednosti $(v_i, v_j) \in E$ određene su funkcijom $w_{i,j}(t) \in W$, gdje je t vremenska varijabla u domeni \mathbb{T} . Rubna funkcija kašnjenja $w_{i,j}(t)$ određuje koliko je potrebno vremena od v_i do v_j ukoliko je vrijeme polaska v_i u trenutku t . Stoga je potrebno pronaći najmanje ukupno vrijeme putovanja (engl. *Least Total Travel Time – LTTT*) od izvorišnoga čvora v_s do odredišnoga čvora v_e kada startno vrijeme t iz izvorišnoga čvora može biti izabrano u određenom polaznom vremenskom intervalu $T = [t_s, t_e] \subseteq \mathbb{T}$. Vrijeme putovanja predstavlja razliku između dolaznoga vremena i početnoga vremena t . Kako bi se odredilo najmanje ukupno vrijeme putovanja, potrebno je definirati vrijeme čekanja $w(v_i)$ u svakom čvoru. U slučaju dolaska sredstva u čvor v_i moguće je definirati određeni vremenski period čekanja u funkciji smanjenja ukupnoga vremena putovanja.

Stoga se za svaki čvor v_i može definirati:

$$\text{odlazak}(v_i) = \text{dolazak}(v_i) + w(v_i).$$

Neka je $p = (v_1, v_2)(v_2, v_3) \dots (v_{k-1}, v_k)$ fiksni put s vremenom čekanja $w(v_i)$ u čvoru v_i . Ukoliko postoji fiksno početno vrijeme t , tada je:

$$\text{dolazak}(v_1) = t,$$

$$\text{dolazak}(v_2) = \text{odlazak}(v_2) + w_{1,2}(\text{odlazak}(v_1)),$$

...

$$\text{dolazak}(v_k) = \text{odlazak}(v_{k-1}) + w_{k-1,k}(\text{odlazak}(v_{k-1})),$$

$$g_p(t) = \text{odlazak}(v_k).$$

$g_p(t)$ vremenska je funkcija dolaska koja predstavlja vrijeme dolaska od v_1 do v_k po putu p i moguća čekanja u određenim čvorovima na putu ukoliko je polazak u čvoru v_1 pri početnom vremenu t . Funkcija je vremena putovanja po putu p $g_p(t) - t$.

Definicija 2.

U slučaju u kojem postoji vremenski ovisan graf $G_T(V, E, W)$ i upit LTT (v_s, v_e, T) , gdje je $v_s, v_e \in V$ i $T \subseteq \uparrow$ startno vrijeme intervala, ciljem je pronalaženja najkraćega puta zasnovanoga na vremenskim okvirima minimizirati LTT:

$$g_{p^*}(t^*) = \min_{p, w(\cdot), t} \{g_p(t) - t\}.$$

Pronalaženje puta $p^*(v_s-v_e)$ s vremenskim intervalom čekanja $w^*(v_i)$ zajedno s optimalnim startnim vremenom t^* koje će rezultirati minimalnim vremenom putovanja $g_p(t) - t$ između svih startnih vremena $t \subseteq T$ i svih putova $p^*(v_s-v_e)$.

Formalna definicija problema pronalaženja puta za višestruka sredstva

Problem pronalaženja puta za višestruka sredstva predstavlja NP – teški problem i pripada u skupinu problema usmjeravanja vozila (VRP⁵⁸). MAPF⁵⁹ problem definiran je skupom sredstava koja moraju kroz kolaborativnu suradnju planirati putanje pojedinih sredstava od početnoga do odredišnoga mjesta tako da putanje međusobno ne interferiraju [80].

MAPF je temeljen na teoriji grafova gdje je $G(V, E)$ i određenom broju sredstva k koji su označeni s $a_1, a_2 \dots a_k$. Svako je sredstvo definirano polaznim $s_i \in V$ i odredišnim mjestima $g_i \in V$. U inicijalnom vremenskom trenutku $t=0$ svako sredstvo a_i nalazi se u s_i . U određenom vremenskom intervalu svako se sredstvo može pomaknuti u susjedno mjesto ili može ostati u postojećem mjestu. Osnovno je ograničenje koje se javlja to da svako sredstvo može zauzimati samo jedno mjesto u određenom vremenskom trenutku [79].

Kretanje sredstva definirano je vremensko-prostornim elementom ($s-t$ element) kao par (v, t) gdje je v mjesto (čvor) u grafu, a t predstavlja vremenski trenutak [79]. Put $p_i = \langle (s_i = v_0, 0), (v_1, 1), (g_i = v_g, g) \rangle$ za svako sredstvo a_i sekvenca je $s-t$ elemenata koja rezultira kretanjem sredstva od polaznoga do odredišnoga mjesta gdje je sredstvo a_i locirano na mjestu v_t u vremenskom trenutku t .

Primjerice, ako su x i y susjedna mjesta, dva različita sredstva ne mogu putovati s istim linkom u različitim smjerovima (od x do y i od y do x). Sredstva mogu međusobno slijediti jedan drugoga, ako se sredstvo a_i pomakne od mjesta x do mjesta y , istovremeno se sredstvo a_j mora pomaknuti od y do z .

⁵⁸ VRP – Vehicle Routing Problem

⁵⁹ MAPF – Multi agent Pathfinding Problem

Cilj je definirati takvu sekvencu {akcije kretanja i stajanja} za svako sredstvo tako da svako sredstvo bude na ciljnom mjestu pri čemu će ciljna funkcija biti minimizirana. MAPF nastoji kreirati skup ruta za određeni skup vozila koja međusobno ne interferiraju.

U određenim varijantama problema ciljna funkcija može biti da broj svih vremenskih koraka, koje pojedino sredstvo mora napraviti, bude što manji.

Problem upravljanja operacijama zrakoplova u zračnoj luci pripada parcijalno u MAPF problematiku. Sredstva u navedenom problemu zrakoplovi su za koje je potrebno kreirati skup ruta od pozicija za parkiranje do uzletno-sletne staze i obrnuto, tako da pojedinačne rute međusobno vremenski i prostorno ne interferiraju. Svako sredstvo ima unaprijed definirano početno i završno mjesto. Modifikacija koja je prisutna u odnosu na MAPF problematiku jest da su za skup odlaznih ruta za svako sredstvo definirana različita početna mjesta i zajedničko odredišno mjesto, dok je za skup dolaznih ruta definirano jedno zajedničko početno mjesto i različita odredišna mjesta. U sustavu sredstva se kreću kroz sektore prema definiranim uvjetima pritom poštujući navedena ograničenja.

Algoritam će upravljanja operacijama zrakoplova na manevarskoj površini zračne luke koristiti elemente definirane u algoritmima: algoritam pretraživanja na temelju interferencije sredstva (CBS⁶⁰) i WHCA⁶¹.

Pretraživanje na temelju interferencije sredstava (CBS) algoritam je temeljen na dvjema razinama. Na višoj se razini pretraga vrši na stablu ograničenja (CT⁶²) čiji čvorovi uključuju ograničenja poput vremena i mjesta za jedno sredstvo. Na nižoj se razini izvodi pretraga na stablu ograničenja kako bi se pronašle nove rute za pojedina sredstva pritom poštujući ograničenja koja su definirana u čvorovima na višoj razini.

Algoritam koristi naziv *put* u kontekstu jednoga sredstva i naziv *rješenje* kako bi označio set k ruta za dani skup k sredstva. Ograničenje je za svako sredstvo a_i definirano s (a_i, v, t) , gdje je sredstvu a_i zabranjeno zauzeti mjesto v u vremenskom trenutku t . Za vrijeme izvođenja algoritma sredstva su povezana s pojedinačnim ograničenjima. Interferencija je sredstva definirana s a_i, a_j, v, t , gdje sredstvo a_i i sredstvo a_j zauzimaju mjesto v u vremenskom trenutku t . Rješenje je važeće ako sve putanje nemaju interferencije.

CBS algoritam temelji se na konceptijskoj osnovi ograničenja koja se definiraju za svako sredstvo te se pronalaze rute koje zadovoljavaju ta ograničenja. Ako pojedinačne rute imaju interferencije, one se smatraju nevažećima te se problem rješava dodavanjem novih ograničenja.

⁶⁰ CBS – Conflict Based Search Algorithm

⁶¹ WHCA – Windowed Hierarchical Cooperative A*

⁶² CT – Constraint tree

Na višoj razini algoritam CBS pretražuje stablo ograničenja koje je prikazano u formi binarnoga stabla (Slika 7.3.). Svaki čvor N sadrži skup ograničenja (N . constraints).

Korijen stabla ograničenja sadrži prazan skup ograničenja. Dijete čvora u stablu ograničenja nasljeđuje ograničenja od roditelja i dodaje po jedno novo ograničenje za svako sredstvo. Rješenje (N .solution) predstavlja skup ruta gdje je svaka ruta definirana za određeno sredstvo. Ruta određena za sredstvo a_i mora zadovoljavati sva ograničenja koja su vezana uz to sredstvo. Ukupni trošak trenutnoga rješenja (N .cost) jednak je zbroju svih troškova sredstava na pojedinačnim rutama. Čvor N u stablu ograničenja ciljni je čvor za slučaj u kojem postoji rješenje, odnosno u kojem između svih ruta pojedinačnih sredstava ne postoje interferencije. Na višoj razini algoritam pretražuje stablo ograničenja upotrebom *best-first search* pretrage, a čvorovi su poredani prema njihovim troškovima.

Algorithm 1: high-level of CBS

Input: MAPF instance

- 1 $R.constraints = \emptyset$
- 2 $R.solution =$ find individual paths using the low-level()
- 3 $R.cost = SIC(R.solution)$
- 4 insert R to OPEN
- 5 **while** OPEN *not empty* **do**
- 6 $P \leftarrow$ best node from OPEN // lowest solution cost
- 7 Validate the paths in P until a conflict occurs.
- 8 **if** P has no conflict **then**
- 9 **return** P.solution // P is goal
- 10 $C \leftarrow$ first conflict (a_i, a_j, v, t) in P
- 11 **foreach** agent a_i in C **do**
- 12 $A \leftarrow$ new node
- 13 $A.constraints \leftarrow$ P.constraints + (a_i, s, t)
- 14 $A.solution \leftarrow$ P.solution.
- 15 Update A.solution by invoking low-level(a_i)
- 16 $A.cost = SIC(A.solution)$
- 17 Insert A to OPEN

Slika 7.3. Prikaz pseudokoda CBS algoritma [79]

Na nižoj razini pretraga se izvodi tako da se za svako sredstvo a_i traži najkraći put, pritom moraju biti zadovoljena sva ograničenja koja su vezana uz to sredstvo u čvoru N . U trenutku u kojem je za svako sredstvo pronađena ruta u skladu s ograničenjima te se rute vrednuju jedne u odnosu na druge. Vrednovanje se izvodi tako da se simuliraju pojedinačne rute k , ukoliko sva sredstva dođu na svoja odredišna mjesta bez međusobne interferencije, čvor N u stablu ograničenja postaje ciljani čvor te se dobiva rješenje (N .solution) koje sadrži skup ruta.

Međutim, ako se tijekom simulacije javi interferencija $C = (a_i, a_j, v, t)$ između dva a_i i a_j ili više sredstava, vrednovanje se zaustavlja i čvor N proglašava se neciljnim čvorom. U tom slučaju najviše jedno sredstvo (od a_i i a_j) zauzima mjesto v u trenutku t . Stoga se najviše jedno ograničenje (a_i, v, t) ili (a_j, v, t) mora dodati u set ograničenja (N . constraints). Kako bi se osigurala optimalnost rješenja, obje se vjerojatnosti vrednuju te se čvor N dijeli na dva čvora. Lijevi čvor rješava interferenciju dodavanjem ograničenja (a_i, v, t), a desni čvor dodavanjem ograničenja (a_j, v, t).

Potrebno je naglasiti da za određeno stablo ograničenja čvor N ne zapisuje sva kumulativna ograničenja, već umjesto toga zapisuje samo posljednje ograničenje i ekstrakt drugih ograničenja pronalaženjem puta od N do korijena.

Algoritam WHCA⁶³ predstavlja varijantu algoritma HCA* koji se temelji na planiranje – kretnji ciklusima. WHCA* koristi dva parametra: W za fazu planiranja i K za fazu kretanja sredstva. U fazi planiranja sredstva su poredana proizvoljno i za svako se sredstvo izvodi pretraga kako bi se pronašla odgovarajuća ruta prema odredišnom mjestu. Stoga rute koje su generirane osiguravaju samo da će rute biti bez međusobnih interferencija za sljedećih W vremenskih koraka.

U fazi kretanja svako sredstvo prati svoju rezerviranu rutu do kraja vremenskoga intervala K (predstavlja parametar koji označava trajanje faze kretanja sredstva). Kako su rute izračunane bez međusobnih interferencija za W vremenskih koraka, jednadžba $K \leq W$ uvijek mora biti zadovoljena. Nakon izvođenja K koraka rezervacijska se tablica briše (čak i za vremenski korak k), gdje je $k < t \leq W$, i novi ciklus počinje u vremenskom trenutku k od trenutačnoga mjesta gdje se nalazi sredstvo. Pseudokod algoritma prikazan je na Slici 7.4.

U prvoj je liniji koda inicijalizirana prazna rezervacijska tablica T . Nakon toga su izračunane rute za svako sredstvo i spremljene u rezervacijsku tablicu. U fazi kretanja sredstva se kreću kroz mrežu u vremenskim koracima K svaki paralelno.

Algorithm 1: WHCA* pseudo-code

```

1 Input: MAPF,  $W, K$ 
2 reset  $\mathcal{T}$ 
3 while some agents are not at their goal do
4   for each agent  $a_i$  do
5      $findPath(a_i, \mathcal{T})$ 
6     Reserve first  $W$  steps
7   for each agent  $a_i$  in parallel do
8     Move  $a_i$   $K$  time steps
9   reset  $\mathcal{T}$ 

```

Slika 7.4. Prikaz pseudokoda WHCA* algoritma [81]

WHCA* ne razmatra interferencije između pojedinih sredstava, stoga se javljaju određeni nedostaci. Svako sredstvo WHCA* rezervira W s-t točke za narednih W vremenskih koraka bez obzira na to jesu li te iste točke potrebne nekom drugom sredstvu. Za primjer se mogu uzeti individualne optimalne rute za svako sredstvo u kojima ne postoji interferencija između sredstava. U tom je slučaju rezervacija pojedine s-t točke neupotrebljiva.

⁶³ WHCA – Windowed Hierarchical Cooperative A*

Nadalje, ako se pretpostavi da će se prva interferencija između dvaju sredstava dogoditi u vremenskom koraku $W + 1$, tada će ta dva sredstva izračunati svoje kompletne rute, ali će rezervirati samo W s-t točke.

U fazi kretnje kroz W s-t točke ta dva sredstva neće biti obaviještena o potencijalnoj interferenciji. Kada započne novi ciklus, interferencija će biti detektirana u vremenskom koraku $W + 1$.

7.3. Programska izvedba

Upravljački algoritam sustava proaktivnoga upravljanja temelji se na objektno orijentiranom programiranju, koje predstavlja programsku paradigmu zasnovanu na konceptu objekata koji sadrže podatke u formi polja i koji se nazivaju atributi, i kodu u obliku procedura koje se nazivaju metode. Objektno orijentirano programiranje izvodi se upotrebom skupa objekata koji međusobno izmjenjuju informacije, za razliku od ostalih pristupa rješavanju problema usmjeravanja zrakoplova na manevarskoj površini kojima je težište na akcijama koje se izvode na podatkovnim strukturama [76].

Svaki je objekt definiran stanjem i ponašanjem. Objekt je u modelu sektor, a njegovo je stanje određeno zauzećem ili oslobađanjem, dok njegovo ponašanje može poprimiti dvije vrijednosti: propuštanje ili zaustavljanje zrakoplova.

Objekt je u programskom okruženju skup varijabla i pripadajućih metoda. Varijable određuju stanje, a metode ponašanje objekta. Varijable objekta nazivaju se i varijable primjerka (engl. *Instance Variables*) jer svaki primjerak određenoga objekta sadrži vlastitu kopiju varijabla primjerka. Metode mijenjaju stanje objekta, a prema potrebi mogu stvarati nove umjetne objekte. Objekti međusobno razmjenjuju informacije te traže jedan od drugoga usluge.

U objektno orijentiranim jezicima objekti se opisuju upotrebom klasa koje predstavljaju skup objekata sličnih osobina. Programski jezici moraju omogućiti kreiranje objekata iz klasa kao i metoda individualnih objekata. Klasa mora omogućiti alokaciju, odnosno dealokaciju memorijskoga prostora objekta. Važno je svojstvo objektno orijentiranih jezika nasljeđivanje koje podrazumijeva mogućnost izvođenja novih klasa iz postojećih i njihovu modifikaciju umjesto ponovne izrade novih objekata.

Polimorfizam je svojstvo koje u izravnom prijevodu znači „poprimiti više oblika”. Sami objekt ne može poprimiti svojstvo polimorfizma, ali varijabla koja ga predstavlja i koja može pokazivati na sami objekt može imati više tipova.

Proaktivno upravljanje operacijama zrakoplova na zračnoj strani zračne luke odvija se na dvjema razinama: na višoj razini algoritam izračunava optimalno vrijeme pokretanja motora zrakoplova, dok na nižoj razini algoritam izračunava optimalno vrijeme izlaska zrakoplova s parkirne pozicije.

7.3.1. Algoritam upravljanja optimalnim vremenom pokretanja motora zrakoplova

Upravljački algoritam za proračun optimalnoga pokretanja motora zrakoplova pripada u kategoriju prediktivnih algoritama jer za svaku poziciju ciklički ispituje buduće stanje na temelju trenutačnoga statusa u pojedinim sektorima, a ciljna funkcija poprima diskretne vrijednosti (*Booleova* klasifikacija: Da ili Ne).

Vrijeme je pokretanja motora zrakoplova određeno vremenskim intervalom s ciljem smanjenja ukupnoga vremena putovanja od izvorišnoga do odredišnoga sektora. Prolazak je zrakoplova kroz sektore određen rubnim vrijednostima definiranim funkcijom kašnjenja koja određuje koliko je vremena potrebno od izvorišnoga do odredišnoga sektora ukoliko je vrijeme polaska iz izvorišnoga sektora u trenutku t . Funkcija kašnjenja definirana je pretraživanjem na temelju interferencije sredstava.

Algoritam je temeljen na algoritmu ID3 koji je opisan u Poglavlju 5.1., a konstruiran je u formi stabla odluke. Za potrebe razvoja algoritma definirani su atributi vezani uz potencijalna stanja na stajanci, manevarskoj površini i u prilazno/odletnim segmentima te potrebnom vremenu vožnje zrakoplova u odlasku između parkirnih pozicija i pozicije za čekanje.

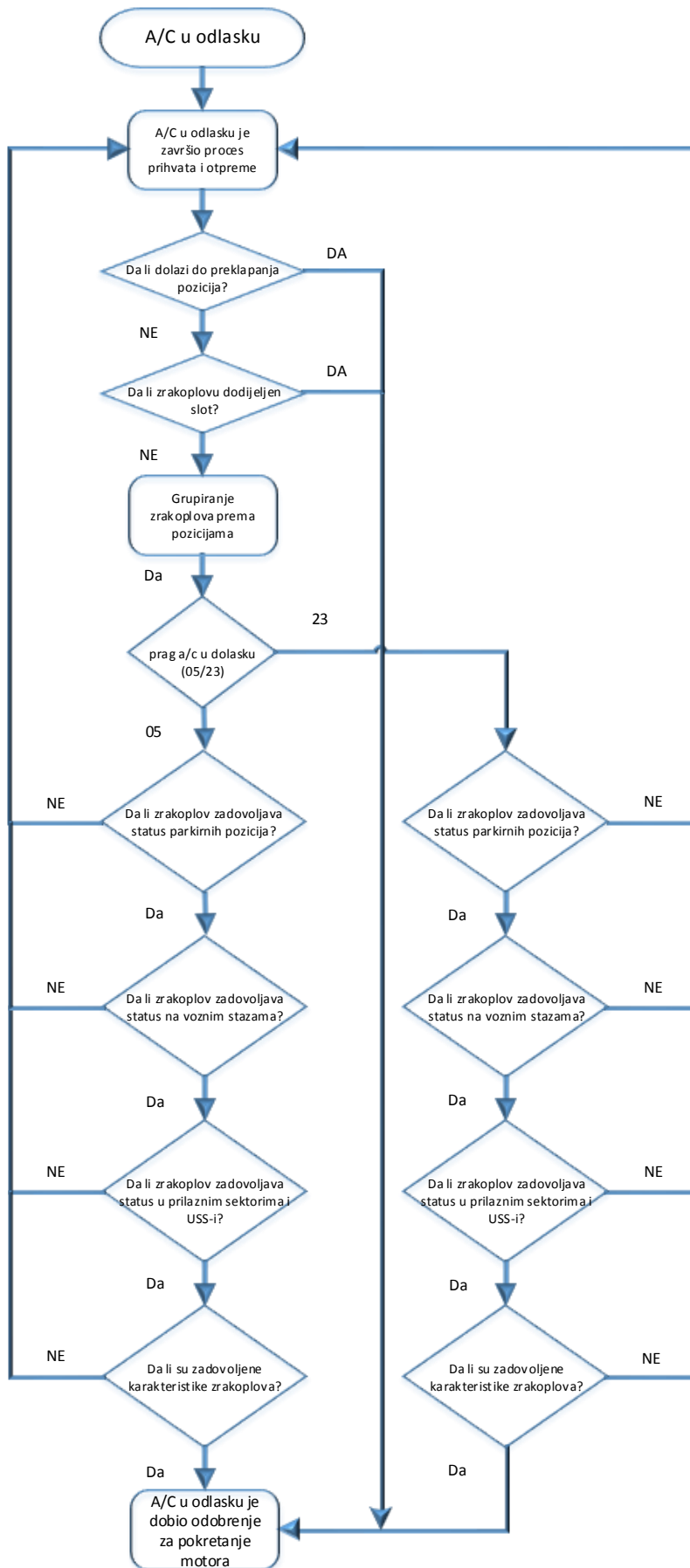
Pored mogućih stanja koja se mogu javljati u sustavu zračne luke algoritam razmatra i mogućnost preklapanja pozicija, zadržavanje zrakoplova na poziciji za poravnanje, kao i ograničenja u pogledu ATC *slotova*.

Ukupno je razvijeno 3.500 bazičnih scenarija te je za svaki scenarij izvedena tablica logičkih izraza. Rezultati su razvijenih bazičnih scenarija prikazani u Tablici 7.1. za slučaj uzlijetanja s praga 05, odnosno izlaska na voznu stazu „A“, dok za slučaj uzlijetanja s praga 23, odnosno izlaska na voznu stazu „B“ rezultati su prikazani u Tablici 7.2. Rezultati su grupirani tako da opisuju scenarije koje je potrebno ostvariti kako bi zrakoplov s pojedine pozicije dobio dozvolu za pokretanje motora. U tablicama su prikazani samo oni scenariji kod kojih je na temelju specifičnoga stanja u pojedinim sektorima moguće odobriti pokretanje motora zrakoplova, dok u ostalim scenarijima zrakoplovi u odlasku neće dobiti odobrenje za pokretanje motora.

Tablica 7.1. Prikaz rezultata bazičnih scenarija za slučaj uzlijetanja s praga 05

No.	Sektori pozicija																A/C odlazak vs	Sektori vozne staze				Prilazni sektori prag 05				Prilazni sektori prag 23				Pokretanje motora					
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	SP7	SP8	SP9	SP10	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15	SP16		P_start_up	0<P_RHP<1min	1<P_RHP<2min	P_RHP	USS_05	OM_05	FAP_OM_05	0<FAF<1min	1<FAF<4min	USS_23	OM_23	FAP_OM_23		0<FAF<1min	1<FAF<4min			
1	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	SP7	SP8	SP9	SP10	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15	SP16	A	NE	NE	NE	NE	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
2	SP1	SP2						SP9									A	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
3	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	SP7	SP8	SP9	SP10	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15	SP16	A	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
4	SP1	SP2						SP9									A	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
5	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	SP7	SP8	SP9	SP10	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15	SP16	A	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
6	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6		SP8	SP9	SP10	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15	SP16	A	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
7	SP1	SP2						SP9									A	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
8	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	SP7	SP8	SP9	SP10	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15	SP16	A	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
9	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6		SP8	SP9	SP10	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15	SP16	A	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
10	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	SP7	SP8	SP9	SP10	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15	SP16	A	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
11	SP1							SP9									A	NE	NE	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
12	SP1	SP2															A	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
13	SP1	SP2										SP12					A	NE	DA	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
14	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6		SP8	SP9	SP10	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15		A	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA
15	SP1	SP2															A	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	NE	NE	NE	NE	DA*
16	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	SP7	SP8	SP9	SP10	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15	SP16	A	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA*
17	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	SP7	SP8	SP9	SP10	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15	SP16	A	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	DA*

* križanje dolazne i odlazne operacije, dozvola za pokretanje ovisi o parkirnoj poziciji zrakoplova u dolasku



Dijagram 7.2. Algoritam za dodjeljivanje optimalnoga vremena pokretanja motora zrakoplova

Općenito, postoje dvije osnovne procedure u korijenu stabla, a koje se aktiviraju kod dvaju tipova scenarija: kada postoji preklapanje pozicija i kada zrakoplov u odlasku ima dodijeljen *slot*.

Scenarij preklapanja pozicija podrazumijeva slučajeve u kojima zrakoplov u dolasku koristi istu poziciju na kojoj je parkiran zrakoplov u odlasku. Osnova je proaktivnoga sustava da svojim upravljanjem ne generira dodatno kašnjenje neke druge operacije zrakoplova. Stoga algoritam u uvjetnom dijelu korijenskoga čvora ispituje nalazi li se u prilaznim sektorima *OM_05* i *OM_23* te u sektoru uzletno-sletne staze *SR* zrakoplov kojemu je prema redu letenja planirana pozicija na kojoj se nalazi zrakoplov u odlasku. Ukoliko je uvjet istinit, algoritam će provesti blok naredaba kojima se dozvoljava pokretanje motora zrakoplova te se *while* petlja prekida i vraća na početni blok naredaba. Ovaj je uvjet postavljen u korijen stabla jer bez obzira na stanje ostalih uvjeta i stanja u sektoru, ukoliko je istinit, dovest će do izvođenja bloka naredaba koje se nalaze iza njega.

Operativno, ovaj uvjet u određenim slučajevima implicira mogućnost dodjeljivanja neoptimalnoga vremena pokretanja motora zrakoplova, ali ga nije moguće izbjeći ukoliko se ne želi generirati dolazno kašnjenje. Neoptimalno vrijeme pokretanja motora zrakoplova potencijalno može dovesti do zadržavanja zrakoplova na manevarskoj površini što rezultira smanjenim performansama zračne luke u tom segmentu.

U određenim slučajevima zrakoplov u odlasku ima dodijeljen *ATFM slot* te u tim slučajevima u uvjetnom dijelu algoritma ispituje stanje u sektorima, no dozvoljeno je zadržavanje zrakoplova na pozicijama ograničeno. Navedeno vremensko ograničenje ovisi o udaljenosti pozicije i praga uzletno-sletne staze. U nastavku (Kod 7.1.) je prikazan dio upravljačkoga algoritma za dodjeljivanje optimalnoga vremena pokretanja motora zrakoplova za parkirnu poziciju 7. Cjelokupni je pseudokod koji opisuje upravljački algoritam za dodjeljivanje optimalnoga vremena pokretanja motora zrakoplova prikazan u Prilogu 5.

```

685         elseif (j_tren_poz == SP7)
686         {
687             if (j_pret == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku
688             {
689                 if (j_pret_st_up == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku je dobio start up
690                 {break;}
691                 elseif (j_pret_st_up == 0) //Postoji prethodni A/C u odlasku nije dobio start up
692                 {
693                     if (j_tren_poz == 1) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi na RHP
694                     {
695                         if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
696                         {
697                             if (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
698                             {
699                                 if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
700                                 {
701                                     if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
702                                     {break;}
703                                     elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
704                                     {
705                                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
706                                         break;
707                                     }
708                                     else
709                                     {break;}
710                                 }
711                                 elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
712                                 {
713                                     if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
714                                     {break;}
715                                     elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
716                                     {
717                                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
718                                         break;
719                                     }
720                                     else
721                                     {break;}
722                                 }
723                                 else
724                                 {break;}
725                             }
726                         }
727                     }
728                     elseif (i_tren == 0) //Nepostoji A/C u dolasku
729                     {
730                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
731                         break;
732                     }
733                 }
734                 else
735                 {break;}
736             }
737         }
738         elseif (j_pret == 0) //Nepostoji prethodni A/C u odlasku
739         {
740             if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
741             {
742                 if (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
743                 {
744                     if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
745                     {
746                         if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
747                         {break;}
748                         elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
749                         {
750                             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
751                             break;
752                         }
753                         else
754                         {break;}
755                     }
756                     elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
757                     {
758                         if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
759                         {break;}
760                         elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
761                         {
762                             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
763                             break;
764                         }
765                         else
766                         {break;}
767                     }
768                 }
769                 else
770                 {break;}
771             }
772             elseif if (i_tren == 0) //Nepostoji A/C u dolasku
773             {
774                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
775                 break;
776             }
777         }
778     }

```

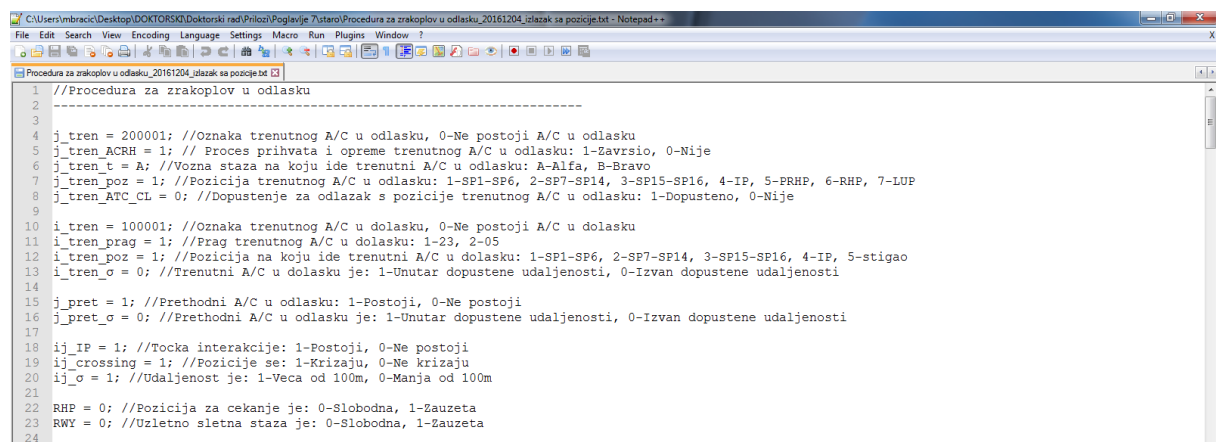
Kod 7.1. Dio algoritma (pseudokoda) za dodjeljivanje optimalnoga vremena pokretanja motora zrakoplova – parkirana pozicija 7

7.3.2. Algoritam upravljanja optimalnim vremenom izlaska zrakoplova s pozicije

Optimalno vrijeme izlaska zrakoplova s pozicije i upravljanje operacijama na manevarskoj površini predstavlja komplementarni algoritam koji razmatra trenutno stanje u pojedinim sektorima i ne pripada klasi predikcijskih algoritama. Algoritam razmatra isključivo stanje na manevarskoj površini i stajanci zračne luke s ciljem optimalnoga odvijanja operacija zrakoplova. Za svaku se poziciju u trenutku završetka procesa pokretanja motora zrakoplova ispituje trenutačno stanje dolaznih i odlaznih operacija zrakoplova. Ukoliko proces ispitivanja sektora pokaže kako postoji zrakoplov u dolasku na manevarskoj površini te ukoliko zrakoplov u odlasku svojim kretanjem može potencijalno uzrokovati zadržavanje zrakoplova u dolasku, on će se zadržati na poziciji s ciljem smanjenja interferencija između tih dviju operacija. Upravljački dio algoritma vezan za uzletno-sletnu stazu temelji se na postojećim procedurama koje se primjenjuju u regionalnim zračnim lukama.

Algoritam je konstruiran u formi *while* beskonačne petlje jer unaprijed nije poznat broj iteracija. Sami je algoritam podijeljen u dva dijela: u prvom se dijelu ispituju uvjeti za izlazak zrakoplova s pozicije ,dok se u drugom dijelu razmatraju status na voznim stazama, mogućnost izlaska na uzletno-sletnu stazu i uzlijetanja zrakoplova.

U uvodnom dijelu algoritma inicijalizira se šesnaest varijabla vezanih uz stanja na pozicijama za parkiranje zrakoplova i na manevarskoj površini (Kod 7.2.1.).



```
1 //Procedura za zrakoplov u odlasku
2
3
4 j_tren = 200001; //Oznaka trenutnog A/C u odlasku, 0-Ne postoji A/C u odlasku
5 j_tren_ACRH = 1; // Proces prihvata i opreme trenutnog A/C u odlasku: 1-Završio, 0-Nije
6 j_tren_t = A; //Vozna staza na koju ide trenutni A/C u odlasku: A-Alfa, B-Bravo
7 j_tren_poz = 1; //Pozicija trenutnog A/C u odlasku: 1-SP1-SP6, 2-SP7-SP14, 3-SP15-SP16, 4-IP, 5-PRHP, 6-RHP, 7-LUP
8 j_tren_ATC_CL = 0; //Dopuštenje za odlazak s pozicije trenutnog A/C u odlasku: 1-Dopušteno, 0-Nije
9
10 i_tren = 100001; //Oznaka trenutnog A/C u dolasku, 0-Ne postoji A/C u dolasku
11 i_tren_prag = 1; //Prag trenutnog A/C u dolasku: 1-23, 2-05
12 i_tren_poz = 1; //Pozicija na koju ide trenutni A/C u dolasku: 1-SP1-SP6, 2-SP7-SP14, 3-SP15-SP16, 4-IP, 5-stigao
13 i_tren_σ = 0; //Trenutni A/C u dolasku je: 1-Unutar dopustene udaljenosti, 0-Izvan dopustene udaljenosti
14
15 j_pret = 1; //Prethodni A/C u odlasku: 1-Postoji, 0-Ne postoji
16 j_pret_σ = 0; //Prethodni A/C u odlasku je: 1-Unutar dopustene udaljenosti, 0-Izvan dopustene udaljenosti
17
18 ij_IP = 1; //Točka interakcije: 1-Postoji, 0-Ne postoji
19 ij_crossing = 1; //Pozicije se: 1-Krizaju, 0-Ne krizaju
20 ij_σ = 1; //Udaljenost je: 1-Veca od 100m, 0-Manja od 100m
21
22 RHP = 0; //Pozicija za cekanje je: 0-Slobodna, 1-Zauzeta
23 RWY = 0; //Uzletno sletna staza je: 0-Slobodna, 1-Zauzeta
24
```

Kod 7.2.1. Dio pseudokoda za dodjeljivanje optimalnoga vremena izlaska zrakoplova s pozicija i upravljanje operacijama na manevarskoj površini – definicija i inicijalizacija varijabla

U prvom se bloku naredaba ispituje status odlaznih operacija zrakoplova, odnosno provjerava se postoji li zrakoplov u odlasku koji se nalazi na manevarskoj površini (Kod 7.2.2.). Ukoliko su oba uvjeta negativna, prelazi se na sljedeći blok naredaba

Algoritam dodjeljivanja optimalnoga vremena izlaska zrakoplova s pozicije temelji se na konfiguraciji manevarske površine zračne luke te za svaku specifičnu konfiguraciju grupira parkirne pozicije na temelju njihovoga prostornoga položaja.

Na temelju konfiguracije manevarske površine Zračne luke Split parkirne su pozicije grupirane u tri skupine:

1. Parkirne pozicije 1 – 6
2. Parkirne pozicije 7 – 14
3. Parkirne pozicije 15 – 16.

Optimalno je vrijeme izlaska zrakoplova sa svake skupine pozicija u algoritmu opisano odgovarajućim blokom naredaba. U algoritmu je prvi blok naredaba vezan za upravljanje optimalnim vremenom izlaska zrakoplova s pozicija od jedan do šest (Kod 7.2.2.) jer se ta skupina pozicija znatno češće koristi od ostalih pozicija. Nakon toga slijede pozicije od 7 do 14 (Kod 7.2.3.) te na kraju pozicije 15 i 16 (Kod 7.2.4.) koje se na dnevnoj razini operativno koriste za tek nekoliko operacija prihvata i otpreme zrakoplova. Ovakva konstrukcija algoritma u kojoj se skupine pozicija rangiraju prema učestalosti korištenja smanjuje vrijeme izvođenja algoritma.

Zbog nesimetričnosti manevarske površine algoritam također zasebno razmatra prag slijetanja, promatra nalazi li se na manevarskoj površini drugi zrakoplov u uzlijetanju te neposrednu interferenciju između dolaznih i odlaznih operacija zrakoplova koja je definirana kao udaljenost od 100 m.

S aspekta upravljanja odlaznim operacijama dodjeljivanje optimalnoga vremena izlaska zrakoplova s pozicija od jedan do šest zahtijeva složeniju algoritamsku strukturu (Kod 7.2.2.). Razlog leži u činjenici da se parkirne pozicije od jedan do šest nalaze na višestrukim putanjama, kako za dolazne, tako i za odlazne operacije zrakoplova.

Blok naredaba koji upravlja optimalnim vremenom izlaska zrakoplova s parkirnih pozicija od jedan do šest u uvodnom dijelu ispituje smjer uzlijetanja zrakoplova, odnosno koja se vozna staza koristi od odlazne operacije zrakoplova. Nadalje, blok naredaba razmatra smjer slijetanja zrakoplova te koje su parkirne pozicije prema rasporedu namijenjene zrakoplovu u dolasku.

U pravilu zrakoplovi koji uzlijeću s praga 05 u odlasku koriste voznu stazu „A”, dok zrakoplovi koji uzlijeću s praga 23 koriste voznu stazu „B”. U iznimnim je slučajevima zbog zagušenja manevarske površine moguće da zrakoplov koji uzlijeće s praga 05 u odlasku koristi voznu stazu „B”, dok zrakoplovi koji uzlijeću s praga 23 koriste voznu stazu „A”.

Problematika koja se javlja kod upravljanja odlaznim operacijama zrakoplova s ovih pozicija jest njihov položaj u konfiguraciji manevarske površine. U slučajevima u kojima se operativno koristi prag 05 za operacije slijetanja i uzlijetanja, položaj ovih parkirnih pozicija dovodi do potencijalnih interakcija između dolaznih i odlaznih operacija. Naime, sve dolazne operacije zrakoplova interferiraju s ovom skupinom pozicija jer putanje zrakoplova u dolasku prolaze voznim stazama neposredno uz ovu skupinu pozicija.

U ovom bloku naredaba primijenjeni su uvjeti neposredne interferencije između dviju operacija zrakoplova koje se kreću u istom smjeru bez obzira na tip tih dviju operacija. Neposredna je interferencija definirana kao vrijednost od 100 m između dviju operacija.

U slučajevima u kojima postoji zrakoplov u dolasku koji je udaljen od upravljane parkirne pozicije manje od 100 m, zrakoplov će na parkirnoj poziciji biti zaustavljen do trenutka prolaska zrakoplova u dolasku. Na ovaj se način onemogućuje odlaznoj operaciji da svojim kretanjem ili zadržavanjem na dijelu manevarske površine uzrokuje kašnjenje kod dolazne operacije.

```
25 while (1)
26 {
27     if (j_tren == 0 || j_tren_ACRH == 0) //Ne postoji A/C u odlasku ili ACRH nije završio
28     {
29         break;
30     }
31
32     //1. Odlazak zrakoplova s pozicije
33     elseif (j_tren != 0 && j_tren_ACRH == 1 && j_tren_ATC_CL == 0) //Postoji A/C u odlasku, ACRH je završio i nema dopuštenje za odlazak s pozicije
34     {
35         if (j_tren_poz == 1) //A/C u odlasku nalazi se na SP1-SP6
36         {
37             if (j_tren_t == A) //A/C u odlasku ide na Alfa
38             {
39                 if (i_tren == 0) //A/C u odlasku ne postoji
40                 {
41                     j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za odlazak s pozicije
42                     j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
43                     break;
44                 }
45                 elseif (i_tren != 0 && i_tren_prag == 1) //A/C u odlasku ide na prag 23
46                 {
47                     if (i_tren_poz == 1) //A/C u odlasku ide na poziciju SP1-SP6
48                     {
49                         if (ij_IP == 1) //Postoji točka interakcije
50                         {
51                             j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za odlazak s pozicije
52                             j_tren_poz = 4; //A/C u odlasku dolazi na IP
53                             break;
54                         }
55                         elseif (ij_IP == 0) //Ne postoji točka interakcije
56                         {
57                             break;
58                         }
59                     }
60                     elseif (i_tren_poz == 2 || i_tren_poz == 3) //A/C u odlasku ide na poziciju SP7-SP14 ili SP15-SP16
61                     {
62                         j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za odlazak s pozicije
63                         j_tren_poz = 4; //A/C u odlasku dolazi na IP
64                         break;
65                     }
66                 }
67             }
68             elseif (i_tren != 0 && i_tren_prag == 2) //A/C u odlasku ide na prag 05
69             {
70                 if (i_tren_poz == 1) //A/C u odlasku ide na poziciju SP1-SP6
71                 {
72                     if (ij_crossing == 1) //Pozicije se krizaju
73                     {
74                         if (ij_σ == 1) //Udaljenost je veća od 100m
75                         {
76                             j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za odlazak s pozicije
77                             j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
78                             break;
79                         }
80                         elseif (ij_σ == 0) //Udaljenost je manja od 100m
81                         {
82                             break;
83                         }
84                     }
85                     elseif (ij_crossing == 0) //Pozicije se nekrizaju
86                     {
87                         j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za odlazak s pozicije
88                         j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
89                         break;
90                     }
91                 }
92                 elseif (i_tren_poz == 2 || i_tren_poz == 3) //A/C u odlasku ide na poziciju SP7-SP14 ili SP15-SP16
93                 {
94                     if (ij_σ == 1) //Udaljenost je veća od 100m
95                     {
96                         j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za odlazak s pozicije
97                         j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
98                         break;
99                     }
100                     elseif (ij_σ == 0) //Udaljenost je manja od 100m
101                     {
102                         break;
103                     }
104                 }
105             }
106         }
107     }
108 }
```



```

103     }
104   }
105 }
106   elseif (j_tren_t == B) //A/C u odlasku ide na Bravo
107   {
108     if (i_tren == 0) //A/C u dolasku ne postoji
109     {
110       j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za odlazak s pozicije
111       j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
112       break;
113     }
114   elseif (i_tren != 0 && i_tren_prag == 1) //A/C u dolasku ide na prag 23
115   {
116     if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku ide na poziciju SP1-SP6
117     {
118       if (ij_crossing == 1) //Pozicije se krizaju
119       {
120         if (ij_o == 1) //Udaljenost je veca od 100m
121         {
122           j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za odlazak s pozicije
123           j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
124           break;
125         }
126         elseif (ij_o == 0) //Udaljenost je manja od 100m
127         {
128           break;
129         }
130       }
131       elseif (ij_crossing == 0) //Pozicije se nekrizaju
132       {
133         j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za odlazak s pozicije
134         j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
135         break;
136       }
137     }
138   elseif (i_tren_poz == 2 || i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku ide na poziciju SP7-SP14 ili SP15-SP16
139   {
140     j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za odlazak s pozicije
141     j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
142     break;
143   }
144 }
145   elseif (i_tren != 0 && i_tren_prag == 2) //A/C dolasku ide na prag 05
146   {
147     if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku ide na poziciju SP1-SP6
148     {
149       if (ij_IP == 1) //Postoji tocka interakcije
150       {
151         j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za odlazak s pozicije
152         j_tren_poz = 4; //A/C u odlasku dolazi na IP
153         break;
154       }
155       elseif (ij_IP == 0) //Ne postoji tocka interakcije
156       {
157         break;
158       }
159     }
160   elseif (i_tren_poz == 2 || i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku ide na poziciju SP7-SP14 ili SP15-SP16
161   {
162     break;
163   }
164 }
165 }
166 }

```

Kod 7.2.2. Dio pseudokoda za dodjeljivanje optimalnoga vremena izlaska zrakoplova s pozicija i upravljanje operacijama na manevarskoj površini – izlazak s pozicija 1 – 6

Blok naredaba koji upravlja optimalnim vremenom izlaska zrakoplova sa skupine pozicije od 7 do 14 (Kod 7.2.3.) u uvjetnom dijelu mora zadovoljiti prostorne zahtjeve ove skupine pozicija. To se posebno odnosi na slučaj u kojem se planirane parkirne pozicije za dolazne zrakoplove nalaze u skupini pozicija od 7 do 14. Upravljanje optimalnim vremenom izlaska zrakoplova s ove skupine pozicija zahtijeva složenije uvjete ukoliko se koristi vozna staza „A” nego vozna staza „B”.

```

167     elseif (j_tren_poz == 2) //A/C u odlasku nalazi se na SP7-SP14
168     {
169         if (j_tren_t == A) //A/C u odlasku ide na Alfa
170         {
171             if (i_tren == 0) //A/C u dolasku ne postoji
172             {
173                 j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
174                 j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
175                 break;
176             }
177             elseif (i_tren != 0 && i_tren_prag == 1) //A/C u dolasku ide na prag 23
178             {
179                 if (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku ide na poziciju SP7-SP14
180                 {
181                     break;
182                 }
183                 elseif (i_tren_poz == 1 || i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku ide na poziciju SP1-SP6 ili SP15-SP16
184                 {
185                     j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
186                     j_tren_poz = 4; //A/C u odlasku dolazi na IP
187                     break;
188                 }
189             }
190             elseif (i_tren != 0 && i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku ide na prag 05
191             {
192                 if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku ide na poziciju SP1-SP6
193                 {
194                     j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
195                     j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
196                     break;
197                 }
198                 elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku ide na poziciju SP7-SP14
199                 {
200                     j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
201                     j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
202                     i_tren_poz = 4; //A/C u odlasku dolazi na IP
203                     break;
204                 }
205                 elseif (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku ide na poziciju SP5-SP16
206                 {
207                     j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
208                     j_tren_poz = 4; //A/C u odlasku dolazi na IP
209                     break;
210                 }
211             }
212         }
213     }
214     elseif (j_tren_t == B) //A/C u odlasku ide na Bravo
215     {
216         if (i_tren == 0) //A/C u dolasku ne postoji
217         {
218             j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
219             j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
220             break;
221         }
222         elseif (i_tren != 0 && (i_tren_prag == 1 || i_tren_prag == 2)) //A/C u dolasku ide na prag 23 ili na prag 05
223         {
224             if (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku ide na poziciju SP7-SP14
225             {
226                 break;
227             }
228             elseif (i_tren_poz == 1 || i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku ide na poziciju SP1-SP6 ili SP15-SP16
229             {
230                 j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
231                 j_tren_poz = 4; //A/C u odlasku dolazi na IP
232                 break;
233             }
234         }
235     }

```

Kod 7.2.3. Dio pseudokoda za dodjeljivanje optimalnoga vremena izlaska zrakoplova s pozicija i upravljanje operacijama na manevarskoj površini – izlazak s pozicija 7 – 14

Blok naredaba koji upravlja izlaskom zrakoplova s pozicija 15 i 16 (Kod 7.2.4.) zahtijeva jednostavniju algoritamsku strukturu jer su navedene pozicije dislocirane u odnosu na ostatak pozicija te se ne nalaze na presjecištima višestrukih putanja zrakoplova. Kao i u prethodnim blokovima naredaba kreiraju se zasebni uvjeti za odlaznu operaciju zrakoplova ovisno o korištenoj voznoj stazi te o statusu dolaznih operacija zrakoplova.

```

236     elseif (j_tren_poz == 3) //A/C u odlasku nalazi se na SP15-SP16
237     {
238         if (j_tren_t == A) //A/C u odlasku ide na Alfa
239         {
240             if (i_tren == 0) //A/C u dolasku ne postoji
241             {
242                 j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
243                 j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
244                 break;
245             }
246             elseif (i_tren != 0 && i_tren_prag == 1) //A/C u dolasku ide na prag 23
247             {
248                 if (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku ide na poziciju SP15-SP16
249                 {
250                     break;
251                 }
252                 elseif (i_tren_poz == 1 || i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku ide na poziciju SP1-SP6 ili SP7-SP14
253                 {
254                     j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
255                     j_tren_poz = 4; //A/C u odlasku dolazi na IP
256                     break;
257                 }
258             }
259             elseif (i_tren != 0 && i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku ide na prag 05
260             {
261                 if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku ide na poziciju SP1-SP6
262                 {
263                     j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
264                     j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
265                     break;
266                 }
267                 elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku ide na poziciju SP7-SP14
268                 {
269                     j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
270                     j_tren_poz = 4; //A/C u odlasku dolazi na IP
271                     break;
272                 }
273                 elseif (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku ide na poziciju SP5-SP16
274                 {
275                     j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
276                     j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
277                     i_tren_poz = 4; //A/C u odlasku dolazi na IP
278                     break;
279                 }
280             }
281         }
282     }
283     elseif (j_tren_t == B) //A/C u odlasku ide na Bravo
284     {
285         if (i_tren == 0) //A/C u dolasku ne postoji
286         {
287             j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
288             j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
289             break;
290         }
291         elseif (i_tren != 0 && (i_tren_prag == 1 || i_tren_prag == 2)) //A/C u dolasku ide na prag 23 ili na prag 05
292         {
293             if (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku ide na poziciju SP15-SP16
294             {
295                 break;
296             }
297             elseif (i_tren_poz == 1 || i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku ide na poziciju SP1-SP6 ili SP7-SP14
298             {
299                 j_tren_ATC_CL = 1; //A/C u odlasku je dobio dopunjenje za odlazak s pozicije
300                 j_tren_poz = 4; //A/C u odlasku dolazi na IP
301                 break;
302             }
303         }
304     }
305 }
306

```

Kod 7.2.4. Dio pseudokoda za dodjeljivanje optimalnoga vremena izlaska zrakoplova s pozicija i upravljanje operacijama na manevarskoj površini – izlazak s pozicija 15 i 16

Drugi dio algoritma upravlja operacijama na manevarskoj površini te je podijeljen u četiri bloka naredaba koje upravljaju operacijama zrakoplova na: točkama interakcije, pretpoziciji za čekanje, poziciji za čekanje (ulazak na uzletno-sletnu stazu), točki uzlijetanja zrakoplova (pozicija za poravnanje).

Algoritam upravljanja optimalnim pokretanjem motora zrakoplova na višoj razini ne dozvoljava da se u istom trenutku odobri pokretanje motora za više od jednoga zrakoplova te posljedično onemogućuje istovremeni izlazak zrakoplova s više pozicija.

Na nižoj razini u bloku naredaba vezanih za upravljanje operacijama zrakoplova na manevarskoj površini definirana je pretpozicija za čekanje koja služi kao kontrolni element.

Ukoliko na višoj razini algoritma dođe do pogreške, ovaj blok naredaba omogućuje da se jedan zrakoplov zadrži na poziciji za čekanje te da se jedan ili više zrakoplova zadrži na pretpoziciji za čekanje.

Upravljanju je operacijama zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi namijenjen blok naredaba koji ispituje status dolaznih operacija zrakoplova. Procedure razdvajanja između odlaznih i dolaznih operacija zrakoplova koje su primijenjene u ovom bloku naredaba temeljene su na postojećim separacijskim normama koje se primjenjuju u regionalnim zračnim lukama.

Posljednji je blok naredaba vezan za upravljanje odlaznim operacijama zrakoplova kada se zrakoplov nalazi na poziciji za poravnanje. U ovom se bloku ispituje samo prethodna operacija uzlijetanja, odnosno nalazi li se prethodni zrakoplov u odlasku na odgovarajućoj udaljenosti.

```
307 //2. Prelazak preko tocaka interakcije
308 elseif (j_tren_ATC_CL == 1 && j_tren_poz == 4) //A/C u odlasku ima ATC_CL i dosao je na IP
309 {
310     if (i_tren_poz == 5) //A/C u dolasku je dosao na svoju poziciju
311     {
312         j_tren_poz = 5; //A/C u odlasku dolazi na PRHP
313         break;
314     }
315     elseif (i_tren_poz != 5) //A/C u dolasku nije dosao na svoju poziciju
316     {
317         break;
318     }
319 }
320
321 //3. Pozicija za cekanje, izlazak na USS-u, uzlijetanje
322 elseif (j_tren_ATC_CL == 1 && j_tren_poz == 5) //A/C u odlasku ima ATC_CL i dosao je na PRHP
323 {
324     if (RHP == 1) //RHP je zauzeta
325     {
326         break;
327     }
328     elseif (RHP == 0) //RHP je slobodna
329     {
330         RHP = 1; //RHP se zauzima
331         j_tren_poz = 6; //A/C u odlasku dolazi na RHP
332         break;
333     }
334 }
335
336 elseif (j_tren_ATC_CL == 1 && j_tren_poz == 6) //A/C u odlasku ima ATC_CL i dosao je na RHP
337 {
338     if (i_tren == 0) //A/C u dolasku ne postoji
339     {
340         if (RWY == 1) //USS je zauzeta
341         {
342             break;
343         }
344         elseif (RWY == 0) //USS je slobodna
345         {
346             RWY = 1; //RWY se zauzima
347             RHP = 0; //RHP se oslobada
348             break;
349         }
350     }
351     elseif (i_tren != 0) //A/C u dolasku postoji
352     {
353         if (i_tren_σ == 1) //A/C je unutar dopustene udaljenosti
354         {
355             break;
356         }
357         elseif (i_tren_σ == 0) //A/C je izvan dopustene udaljenosti
358         {
359             if (RWY == 1) //USS je zauzeta
360             {
361                 break;
362             }
363             elseif (RWY == 0) //USS je slobodna
364             {
365                 j_tren_poz = 7; //A/C u odlasku dolazi na LUP
366                 RWY = 1; //RWY se zauzima
367                 RHP = 0; //RHP se oslobada
368                 break;
369             }
370         }
371     }
372 }
373
374 elseif (j_tren_ATC_CL == 1 && j_tren_poz == 7) //A/C u odlasku ima ATC_CL i dosao je na LUP
375 {
376     if (j_pret == 0) //Ne postoji prethodni A/C u odlasku
377     {
378         j_tren = 0; //Trenutni A/C u odlasku je uzletio
379         j_tren_ACRH = 0;
380         j_tren_ATC_CL = 0;
381         RWY = 0; //RWY se oslobada
382         break;
383     }
384     elseif (j_pret == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku
385     {
386         if (j_pret_σ == 1) //Prethodni A/C je unutar dopustene udaljenosti
```

```

385         {
386             break;
387         }
388     }
389     elseif (j_pret_o == 0) //Prethodni A/C je izvan dopustene udaljenosti
390     {
391         j_tren = 0; //Trenutni A/C u odlasku je uzletio
392         j_tren_ACRH = 0;
393         j_tren_ATC_CL = 0;
394         RWY = 0; //RWY se oslobada
395         break;
396     }
397 }
398 }
399 }
400

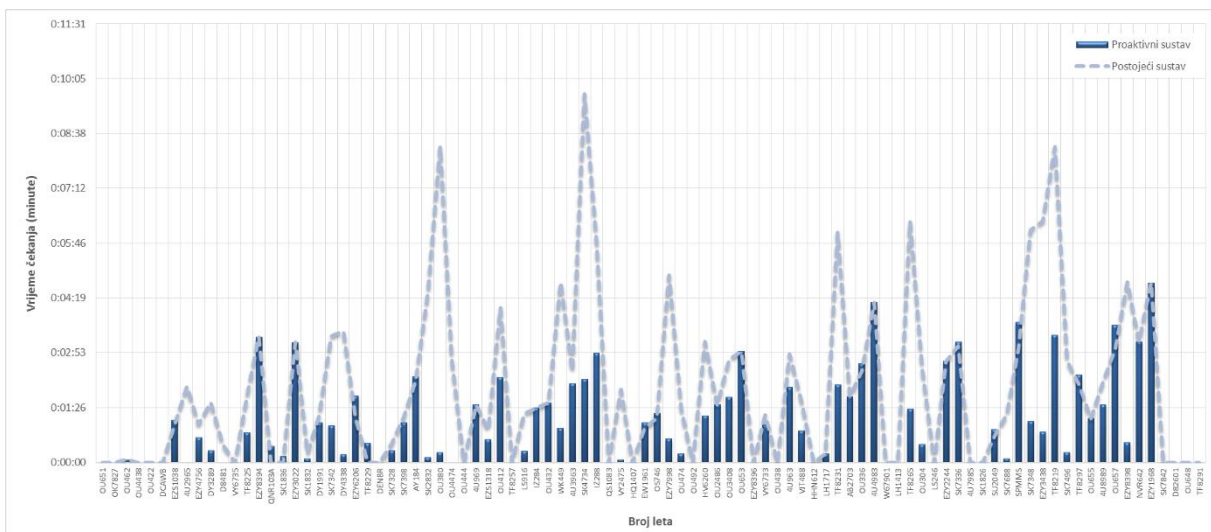
```

Kod 7.2.5. Dio pseudokoda za dodjeljivanje optimalnoga vremena izlaska zrakoplova s pozicija i upravljanje operacijama na manevarskoj površini

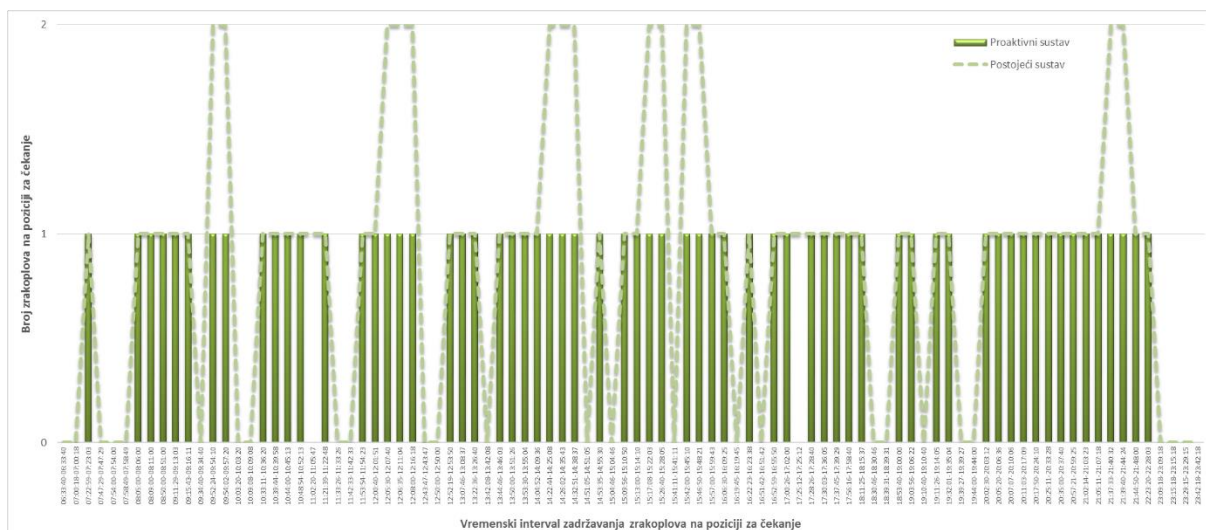
7.4. Rezultati sustava proaktivnoga upravljanja operacijama zrakoplova

7.4.1. Vrijeme zadržavanja i broj zrakoplova na poziciji za čekanje

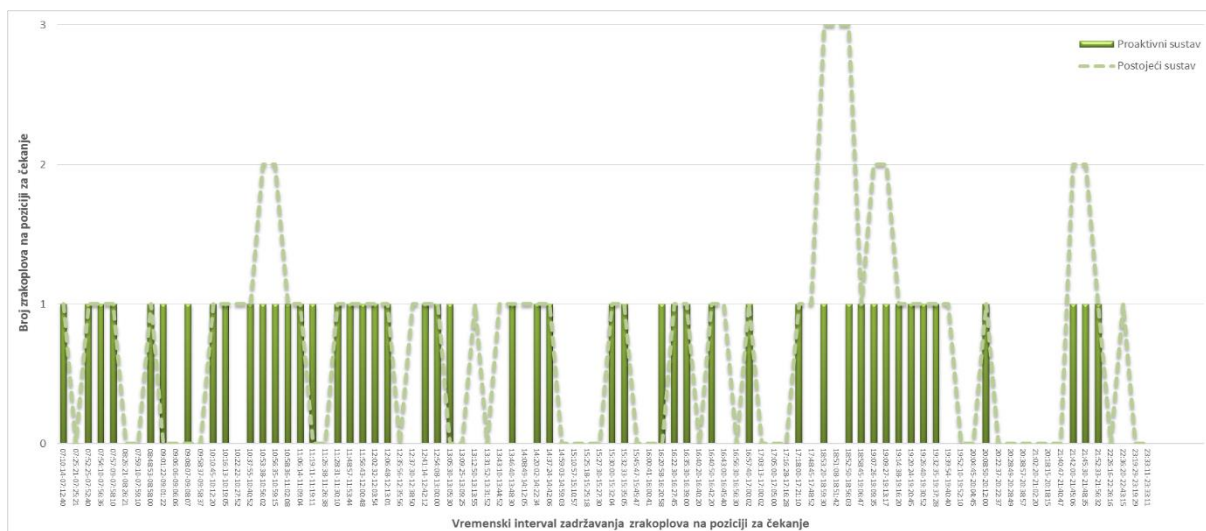
Sustav proaktivnoga upravljanja prvotno je usmjeren na optimiranje odlaznih operacija zrakoplova. Dobiti koje su ostvarene optimiziranim procedurama posebno se očituju u segmentima zadržavanja zrakoplova na manevarskoj površini. Vremena zadržavanja zrakoplova na poziciji za čekanje koja se javljaju u postojećem sustavu izravna su posljedica neodgovarajućih procedura upravljanja operacijama zrakoplova. Na Grafikonima 7.2. i 7.3. usporedno su prikazana vremena zadržavanja zrakoplova na poziciji za čekanje dvaju sustava upravljanja za pojedine dane.



Grafikon 7.2. Usporedni prikaz vremena zadržavanja zrakoplova na pozicijama za čekanje prema pojedinom letu za dva sustava upravljanja, subota 10. rujna 2016.



Grafikon 7.4. Usporedni prikaz broja zrakoplova u određenom vremenskom intervalu na poziciji za čekanje prema pojedinom letu za dva sustava upravljanja, subota 10. rujna 2016.



Grafikon 7.5. Usporedni prikaz broja zrakoplova u određenom vremenskom intervalu na poziciji za čekanje prema pojedinom letu za dva sustava upravljanja, subota 24. rujna 2016.

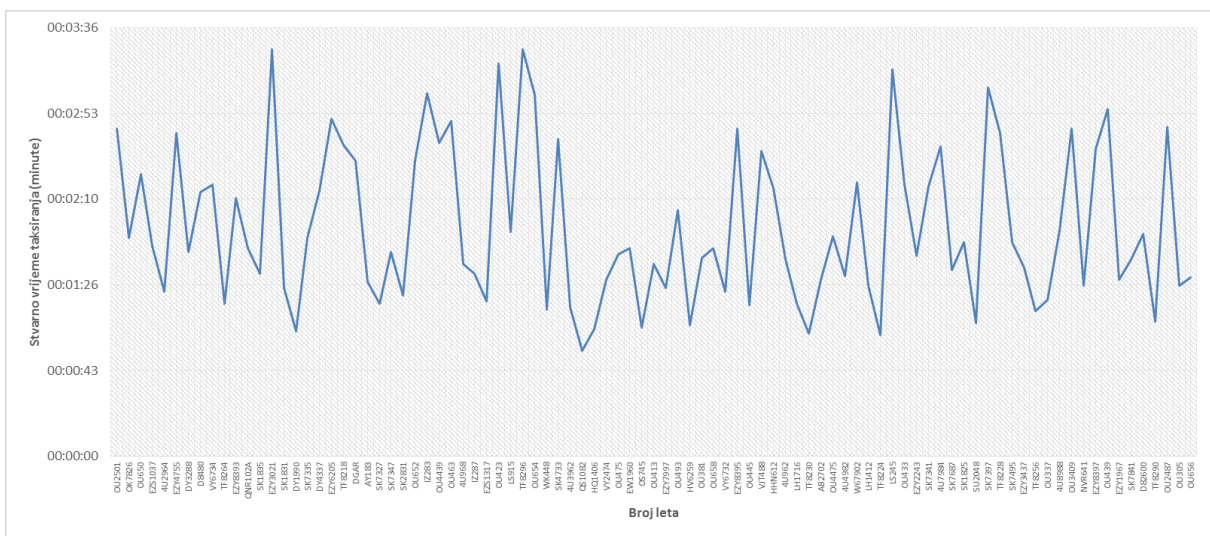
Svrha je optimiziranih procedura uz smanjenje vremena zadržavanja zrakoplova na poziciji za čekanje i reduciranje broja zrakoplova koji se javljaju u odgovarajućem vremenskom intervalu te smanjenje kumulativnoga kašnjenja pojedinoga zrakoplova. Optimizacija ovoga parametra dovodi do smanjenja zagušenja manevarske površine, odnosno broja zrakoplova koji se javljaju na određenom dijelu manevarske površine u odgovarajućem vremenskom intervalu, što izravno utječe na odvijanje ostalih dolaznih operacija te neposredno na razinu sigurnosti.

Analiza dobivenih rezultata ukazuje na to kako su uklonjeni ekstremni slučajevi koji se javljaju u postojećem sustavu upravljanja, gdje su u određenim vremenskim intervalima zabilježena i do tri zrakoplova na poziciji, odnosno međupoziciji za čekanje.

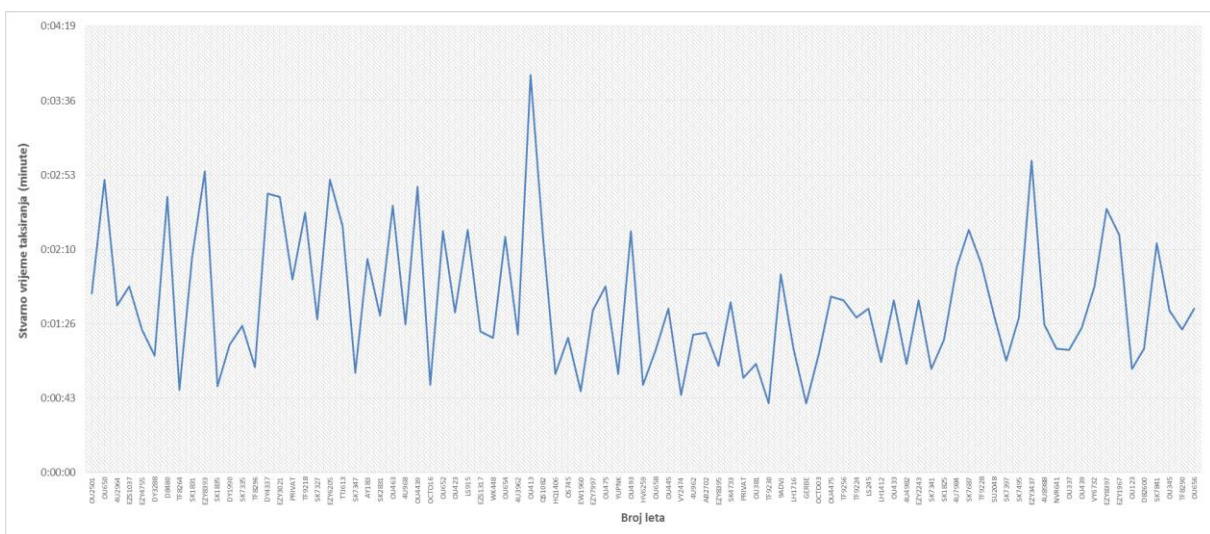
Uklanjanjem tih slučajeva osigurano je neometano korištenje svih pozicija za parkiranje te potencijalne interferencije između dolaznih i odlaznih operacija. Općenito, reduciran je broj slučajeva u kojima je zrakoplov zadržan ispred pozicije za čekanje.

7.4.2. Vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji

Vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji predstavlja indikator koji objedinjuje sve ostale indikatore te daje općenitu analizu za razliku od ostalih indikatora koji djelomično opisuju određeni segment u odvijanju operacija zrakoplova. Iako su procedure prvotno usmjerene na optimizaciju odlaznih operacija, dobili su ovakvoga upravljanja vidljive i kod određenih dolaznih operacija. U segmentu su dolaznih operacija rezultati simulacija provedenih optimiziranih procedura prikazani na Grafikonu 7.6. i 7.7.



Grafikon 7.6. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku za pojedini let dobiven upotrebom proaktivnoga sustava upravljanja, subota 10. rujna 2016.

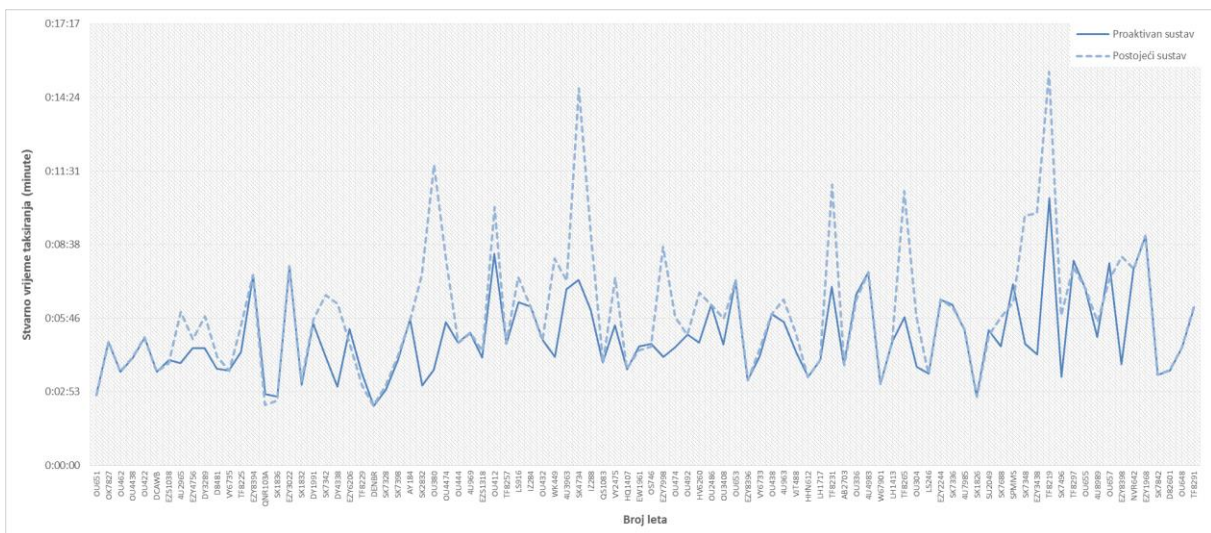


Grafikon 7.7. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku za pojedini let dobiven upotrebom proaktivnoga sustava upravljanja, subota 24. rujna 2016.

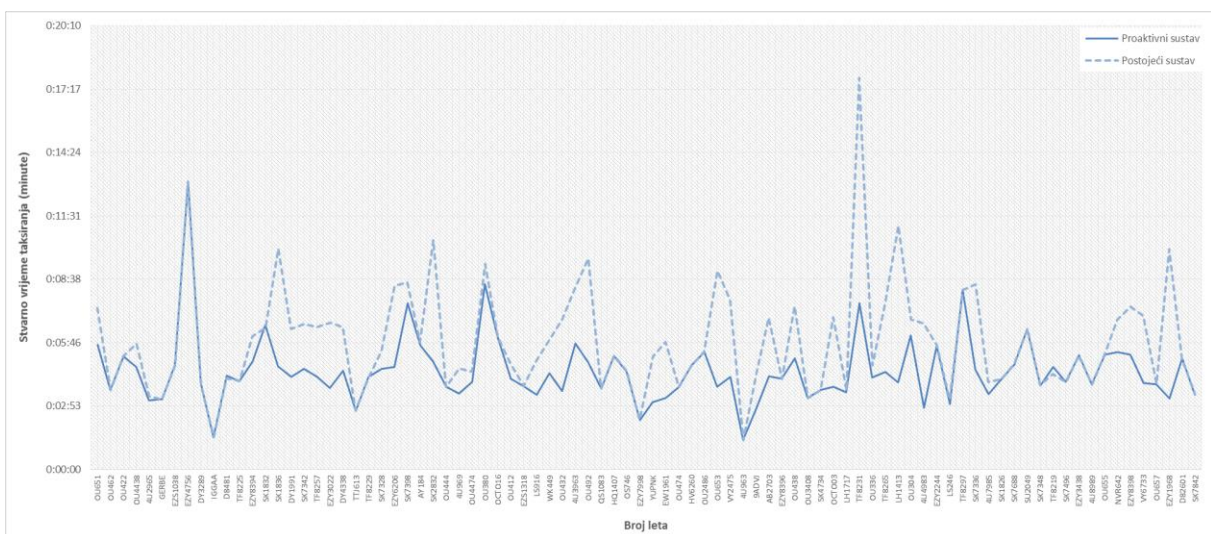
Iz Grafikona 7.6. i 7.7. vidljivo je kako je u segmentu dolaznih operacija u većini slučajeva zadržana postojeća brzina kretanja zrakoplova po manevarskoj površini, odnosno vrijeme vožnje u dolasku.

Izuzetak od navedenoga obrasca predstavlja 8 slučajeva u kojima je eliminacijom prostorno-vremenskih interferencija između dolaznih i odlaznih operacija zrakoplova reducirano vrijeme vožnje zrakoplova u dolasku. Dolazni letovi, u kojima je optimizirano vrijeme vožnje na zemlji, vezani su uz slučajeve slijetanja na prag 05 te parkiranja na pozicije od 7 do 14. U proaktivnom je sustavu za navedene slučajeve izračunano dodatno vrijeme zadržavanja zrakoplova u odlasku na poziciji.

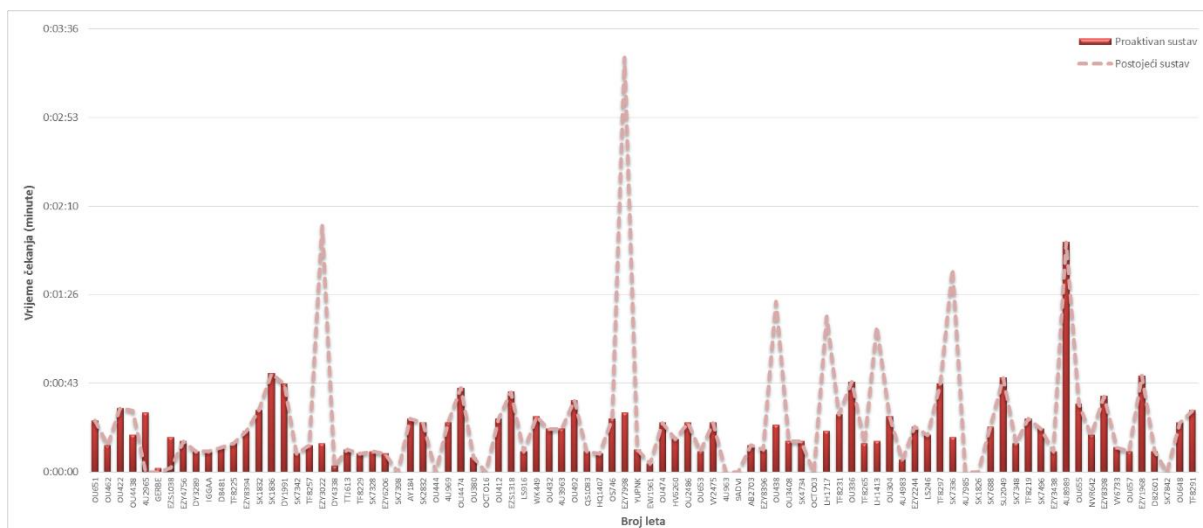
Rezultati su provedenih simulacija za pojedini sustav upravljanja prikazani usporedno na Grafikonu 7.8. i 7.9, a temeljeni su na uzorku od dvaju operativnih dana.



Grafikon 7.8. Usporedni prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku prema pojedinom letu za dva sustava upravljanja, subota 10. rujna 2016.



Grafikon 7.9. Usporedni prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku prema pojedinom letu za dva sustava upravljanja, subota 24. rujna 2016.



Grafikon 7.11 Usporedni prikaz vremena čekanja zrakoplova na poziciji za poravnanje prema pojedinom letu za dva sustava upravljanja, subota 24. rujna 2016.

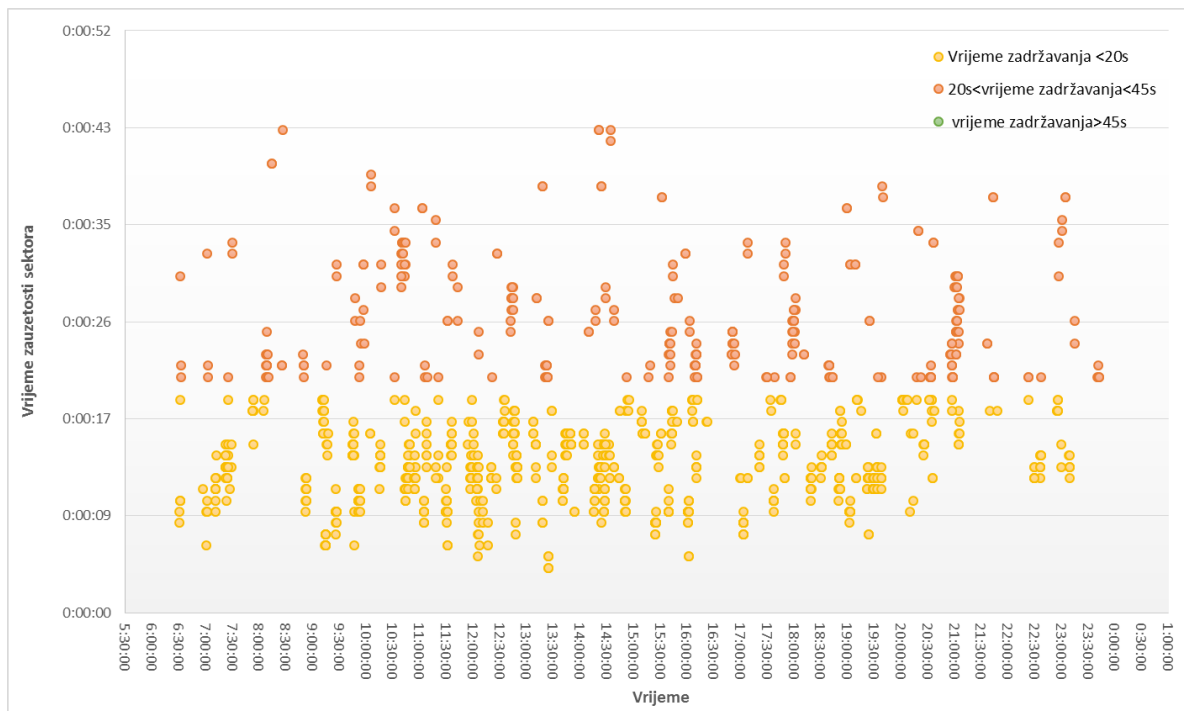
Optimizacijom procedura upravljanja minimizirano je vrijeme zadržavanja na poziciji za poravnanje koje je bilo prisutno u 10 slučajeva u postojećem modelu te je time izravno reducirano ukupno vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku za te slučajeve. U određenim analiziranim slučajevima, iako je prisutno relativno dugo vrijeme zadržavanja na poziciji za čekanje, ne postoji logički obrazac koji bi predvidio takve situacije.

7.4.4. Vrijeme zauzetosti i broj zrakoplova u sektoru

Upotrebom sektorizacije zračne luke kretanje zrakoplova, odnosno zadržavanje na dijelu manevarske površine, prikazano je vremenom zauzimanja određenoga sektora. U procesu analize rezultata postojećega generičkoga sustava upravljanja pojedina su vremena u kojima zrakoplov zauzima određeni sektor grupirana u jednu od triju skupina. Prve dvije skupine na Grafikonu 7.12. prikazuju slučajeve u kojima se pojedina operacija zrakoplova odvija bez ograničenja, dok treća skupina prikazuje one slučajeve kod kojih se javlja interferencija između dolaznih i odlaznih operacija i na grafikonu su prikazane zelenim točkama.

U tim slučajevima određena operacija zrakoplova izravno usporava odvijanje druge operacije zrakoplova, što je dovelo do vremena zadržavanja unutar sektora više od 45 sekunda.

Optimizirane procedure upravljanja operacijama zrakoplova prvotno su usmjerene na slučajeve u kojima dolazi do interferencije između operacija zrakoplova, a rezultati su optimizacije prikazani na Grafikonu 7.12.



Grafikon 7.12. Prikaz vremena zauzetosti sektora upotrebom proaktivnoga sustava upravljanja za dva operativna dana, subote 10. i 24. rujna 2016.

Simulacija provedena na dvama operativnim danima ukazuje na to kako je upotrebom proaktivnoga sustava upravljanja moguće u potpunosti ukloniti slučajeve u kojima su se dogodile vremensko–prostorne interferencije na voznim stazama.

Iako je udio slučajeva u kojima dolazi do interferencije između dolaznih i odlaznih operacija razmjerno mali u odnosu na ukupnu populaciju broja operacija zrakoplova, reduciranje tih slučajeva dovodi do smanjenjem ukupnoga vremena taksiranja zrakoplova.

7.4.5. Vrijeme i broj zrakoplova kojima je odgođeno pokretanje motora

Zadržavanje zrakoplova na poziciji za parkiranje predstavlja osnovu sustava proaktivnoga upravljanja operativnim podsustavima i procesima. Kako u postojećem sustavu upravljanja ne postoje propisane procedure na temelju kojih bi kontrolori u odgovarajućim slučajevima odgodili pokretanje motora zrakoplova, tako ne postoji referentni uzorak za usporednu analizu dvaju sustava. Vrijeme i broj slučajeva u kojima je odgođeno pokretanje motora zrakoplova za dva operativna dana prikazano je na Grafikonima 7.13. i 7.14.

Iako u većini slučajeva optimizirane procedure daju odgovarajuće rezultate, u simulaciji se javljaju određeni slučajevi kod kojih algoritam ne daje zadovoljavajuće rezultate, a ponajprije su vezani uz slučajeve u kojima se javljaju letovi generalne avijacije (zrakoplovi koji pripadaju kategoriji „lagani“) te u kojima postoji velika separacija između dvaju sukcesivnih dolaznih letova.

Dizajn i izgradnja modela temeljeni su na operacijama uskotrupnih zrakoplova koji čine 97 % ukupne flote zrakoplova u zračnoj luci. Navedene se operacije u fazi prilaza odvijaju prema unaprijed utvrđenim putanjama na temelju kojih su dizajnirani sektori. S druge strane, prilazne putanje zrakoplova generalne avijacije (zrakoplovi koji pripadaju kategoriji „lagani“) u većini slučajeva ne odgovaraju putanjama uskotrupnih zrakoplova, već se prilaz odvija iz različitih smjerova. Kako ne postoji koherencija između ovih dviju operacija, u model prema trenutačnim spoznajama nije moguće ugraditi upravljački algoritam koji bi logički povezo ove operacije.

Sustav je proaktivnoga upravljanja dizajniran tako da integrira procese u zračnoj luci, zajedno s prilaznim segmentom, u jednu funkcionalnu cjelinu. Problem koji je prisutan u modelu jest obuhvat prilaznoga segmenta.

U određenim slučajevima u kojima algoritam dodjeljuje optimalno vrijeme pokretanja motora zrakoplova, a u prilazu se javljaju dvije sukcesivne dolazne operacije kod kojih je drugi zrakoplov razmaknut na relativno velikoj separaciji, algoritam zbog svojega obuhvata neće dati odgovarajuće rezultate.

Nadalje, u određenim je slučajevima u intervalima vršnih opterećenja prisutna pojava preklapanja pozicija. Provedene simulacije ukazuju na to kako u tim slučajevima nije moguće odgoditi vrijeme pokretanja motora zrakoplova zbog činjenice da je zrakoplovu u dolasku, koji se nalazi u prilaznom segmentu, prema rasporedu dodijeljena ista pozicija na kojoj se nalazi zrakoplov u odlasku. Ukupno su zabilježena četiri slučaja u kojima je došlo do preklapanja pozicija.

Posebna je problematika vezana uz optimizirane algoritme primijenjene na pozicijama 15 i 16. Kako se navedene pozicije isključivo koriste za zrakoplove generalne avijacije te kako većina njih pripada kategoriji „lagani“, tako ne postoji odgovarajući logički obrazac ponašanja pilota i kontrolora. U određenim slučajevima zrakoplovi generalne avijacije uzlijeću s određenoga dijela USS-a prije zrakoplova u dolasku, dok se u drugim slučajevima zadržavaju na poziciji za čekanje do trenutka slijetanja zrakoplova u dolasku.

Ulazak je zrakoplova na uzletno-sletnu stazu modeliran prema postojećim procedurama koje primjenjuje aerodromska kontrola zračnoga prometa. Analizom je simulacije uočeno kako postoji određena varijacija pri odobravanju ulaska na uzletno-sletnu stazu.

Dok u određenim slučajevima kontrolori daju odobrenje za ulazak na uzletno-sletnu stazu zrakoplovu u odlasku kada se zrakoplov u dolasku nalazi na USS-u (zrakoplov u dolasku povratno se kreće po USS-u), u drugim slučajevima kontrolori zadržavaju zrakoplov u odlasku na poziciji za čekanje sve do trenutka u kojem USS-a nije zauzeta. U prvom se slučaju u odnosu na drugi javljaju manja kašnjenja koja iznose u prosjeku od 15 do 30 sekunda, ovisno o operaciji zrakoplova.

Smjernice bi budućega istraživanja trebale biti prvotno usmjerene na daljnje modeliranje predikcije brzine vožnje zrakoplova na zemlji jer su rezultati statističke analize pokazali, u određenim slučajevima, veliko odstupanje od srednje vrijednosti. Daljnja je nadogradnja modela moguća u segmentu revaluacije postojećih procedura razdvajanja zrakoplova u prilazu i ugradnje istih u model. Rezultati su simulacije pokazali kako je u određenim slučajevima, ukoliko se zrakoplovi u prilazu vektorski razdvajaju tako da se poveća separacija između dviju dolaznih operacija, moguće ostvariti jednu operaciju uzlijetanja.

8. UTJECAJ AERODROMSKIH OPERACIJA NA POTROŠNJU GORIVA ZRAKOPLOVA

Operacije zrakoplova koje se odvijaju u zračnoj luci i u prilazno-odletnom segmentu ponajprije utječu na redovitost odvijanja operacija u cjelokupnoj mreži zračnoga prometa. Neposredan je utjecaj aerodromskih operacija moguće razmatrati kroz aspekt troškova zračnih prijevoznika, odnosno potrošnje goriva po pojedinoj operaciji zrakoplova i negativnoga utjecaja na okoliš.

ICAO u Dodatku 16. konvencije o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu razmatra specifičnu potrošnju goriva na temelju procjena proizvođača motora i kroz četiri postavke snage motora (izražene u postotcima u odnosu na ukupnu snagu motora) koje su sljedeće:

- 7 % u fazi vožnje zrakoplova na zemlji, odnosno u radu motora u praznom hodu (engl. *Idle*)
- 30 % u fazi prilaza
- 85 % u fazi penjanja
- 100 % u fazi uzlijetanja.

Indeks je potrošnje goriva prema pojedinim tipovima zrakoplova prikazan u ICAO bazi podataka emisija motora zrakoplova.

Rezultati istraživanja [82] i [83] ukazuju na to kako postoji odstupanje između procijenjenih vrijednosti potrošnje goriva od strane ICAO-a i stvarnih vrijednosti potrošnje goriva i to posebno u segmentu operacije zrakoplova na zemlji. Osnovnim je uzrokom ovih odstupanja pretpostavka ICAO-a da tipična postavka snage motora u procesu vožnje zrakoplova na zemlji iznosi 7 % od ukupne snage motora.

Operativno na specifičnu potrošnju goriva u fazi vožnje zrakoplova na zemlji uz tehničke karakteristike samoga motora i težine zrakoplova utječu i sljedeći čimbenici:

- ponašanje pilota
- broj promjena smjera kretanja zrakoplova
- broj zaustavljanja.

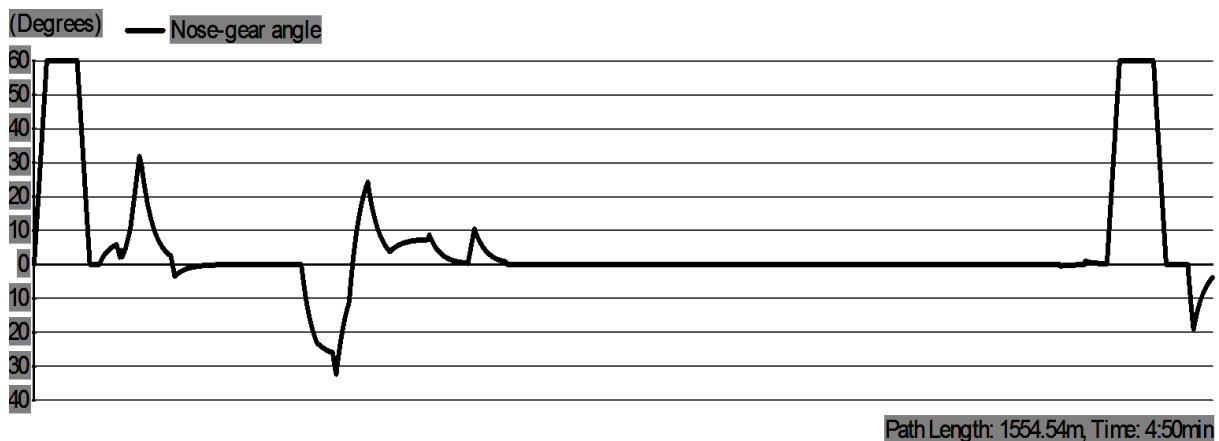
Ponašanje pilota u fazi vožnje zrakoplova na zemlji predstavlja kritični element koji utječe na potrošnju goriva, a neposredno i na emisije ispušnih plinova. U praksi postoji velika varijacija u korištenju postavke snage motora u procesu vožnje zrakoplova na zemlji. Dok određeni piloti kroz isti segment manevarske površine reguliraju brzinu upotrebom kočnica (i pritom ne mijenjaju postojeću postavku snage motora), drugi piloti reguliraju brzinu promjenom postavaka snage motora.

Poseban slučaj predstavlja zaustavljanje zrakoplova na dijelu manevarske površine (međupozicija za čekanje, pozicija za čekanje) gdje određeni piloti zadržavaju postojeće postavke snage motora i kočnicama zadržavaju zrakoplov na mjestu, dok drugi piloti mijenjaju postavke snage motora.

U prvom slučaju, kada pilot zadržava zrakoplov na određenoj poziciji upotrebom postojećih postavaka snage motora i kočnicama, specifična potrošnja goriva ostaje na istoj razini kao i u segmentu kretanja. U drugom slučaju, u trenutku smanjenja snage motora dolazi do smanjenja indeksa potrošnje goriva, ali u trenutku ponovnog pokretanja zrakoplova (engl. *Breakaway/Burst Power*) dolazi do nagloga povećanja potrošnje goriva koje prelazi vrijednosti zabilježene u segmentu kretanja zrakoplova.

Optimalno rješenje predstavlja kombinacija ovih dviju procedura tako da se operativno koristi prva procedura ukoliko je prisutno kraće zadržavanje (međupozicija za čekanje), a druga procedura u slučajevima u kojima je prisutno duže zadržavanje (pozicija za čekanje).

Promjenu smjera kretanja zrakoplova proizvođač zrakoplova definira kao zaokret od 30° od pravolinijskoga kretanja zrakoplova [84]. Broj i karakteristika promjene smjera kretanja utječu na potrošnju goriva jer zrakoplov u tim slučajevima prvo mora usporiti, a nakon prelaska krivine ponovno ubrzati. Analiza regionalnih zračnih luka s nerazvijenim sustavom manevarske površine ukazuje na mali broj promjena smjera kretanja zrakoplova te posljedično i na minoran utjecaj na potrošnju goriva. Na Slici 8.1. prikazana je putanja kretanja uskotrupnoga zrakoplova B737-800 od parkirališne pozicije 3 do pozicije za poravnanje na pragu 05 Zračne luke Split upotrebom programskoga alata *Pathplanner*.



Slika 8.1. Simulacija kretanja zrakoplova B737-800 od pozicije 3 do pozicije za poravnanje, prag 05

Na Slici 8.1. prikazano je odstupanje nosnoga kotača izraženoga u stupnjevima u odnosu na pravolinijsko kretanja zrakoplova koje je označeno s 0. U navedenoj je analizi zabilježeno pet slučajeva u kojima je došlo do promjene smjera kretanja zrakoplova, što ukazuje na minoran utjecaj voznih staza na indeks potrošnje goriva.

Najznačajnija su odstupanja od pravolinijskoga kretanja zabilježena na parkirališnoj poziciji i pragu jer su parkirališne pozicije samomanevarske, dok na pragu ne postoji ulazno/izlazna vozna staza, već se zrakoplov mora povratno kretati po USS-u i zaokrenuti na pragu.

Konfiguracija manevarske površine definira potencijalan broj zaustavljanja zrakoplova u dolasku i odlasku, a izravno utječe na potrošnju goriva u fazi vožnje zrakoplova na zemlji. Ovaj je element u izravnoj korelaciji s razinom prometa u zračnoj luci, kao i s operativnim modelom upravljanja. Kod nerazvijenoga sustava manevarske površine, kao što je slučaj kod regionalnih zračnih luka, broj potencijalnih zaustavljanja nije definiran samo brojem pozicija i međupozicija za čekanje, već i brojem križanja vozne staze i parkirališnih pozicija. Pored navedenih zaustavljanja signifikantan podatak predstavlja i vrijeme koje zrakoplov provede u toj fazi.

Upotrebom odgovarajućega operativnoga sustava upravljanja operacijama zrakoplova moguće je reducirati ne samo broj zaustavljanja zrakoplova na manevarskoj površini nego i vrijeme koje zrakoplov provede u toj fazi.

Za potrebe analize odlaznih operacija zrakoplova s aspekta potrošnje goriva u fazi vožnje na zemlji koristit će se podatci zračnoga prijevoznika *Croatia Airlinesa* koji u svojoj floti operativno koristi dva tipa zrakoplova s turboventilatorskim motorima (A319, A320) i jedan tip zrakoplova s turboprop/turboelisnim motorima (DASH8 Q400).

Croatia Airlines u sastavu svoga odjela za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, a na temelju uređaja za snimanje podataka o letu (engl. *Flight Data Recorder*), bilježi i analizira potrošnju goriva zrakoplova. Analize se posebno izrađuju za fazu leta i kretanja zrakoplova po zemlji.

Analize odjela za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost ukazuju na to kako prosječna potrošnja goriva u fazi kretanja na zemlji za zrakoplove s turboventilatorskim motorima iznosi 23,6 kg/min, dok za zrakoplove s turbopropelerskim motorima iznosi 14,6 kg/min, u slučajevima u kojima oba motora rade. Pritom analize ne razmatraju zasebno slučajeve u kojima se zrakoplov nalazi na poziciji za čekanje, odnosno u kojima je snaga motora postavljena na rad u praznom hodu.

Stoga je ukupna količina utrošenoga goriva u fazi vožnje zrakoplova u odlasku na zemlji dobivena kao produkt prosječne potrošnje goriva prema tipu motora i ukupnoga vremena vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku prema pojedinim danima, a rezultat je prikazan u Tablici 8.1. Vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku razmatra vremenski period od trenutka izlaska zrakoplova s pozicije do trenutka dolaska na poziciju za poravnanje. Iz analize su isključeni zrakoplovi generalne avijacije.

Tablica 8.1. Prikaz indeksa potrošnje goriva u fazi vožnje zrakoplova u odlasku na zemlji za dva operativna dana izražen u kilogramima

Tip motora	Ukupna količina utrošenoga goriva (postojeći sustav)	Ukupna količina utrošenoga goriva (proaktivni sustav)	Ušteda ukupno dan
Turboventilatorski	21.287,2	17.062,8	4.224,4
Turboprop	2.131,6	1.854,2	277,4

Usporednom analizom dvaju sustava upravljanja mogu se uočiti značajna smanjenja u potrošnji goriva u procesu vožnje zrakoplova na zemlji. Kako su većinu zabilježenih operacija realizirali zrakoplovi s turboventilatorskim motorima, tako i ostvarena ušteda kod tih operacija predstavlja signifikantnu vrijednost. U prosjeku je kod operacija zrakoplova s turboventilatorskim motorima ostvareno smanjenje od oko 20 % u segmentu potrošnje goriva u procesu vožnje zrakoplova na zemlji, dok kod zrakoplova s turboprop motorima ta vrijednost iznosi oko 13 %.

9.ZAKLJUČAK

Aktualan problem zračnoga prometa u Europi predstavlja kapacitet sustava koji zajedno s postojećim sustavom upravljanja nije odgovarajući prometnoj potražnji. Operativne se implikacije očituju u kašnjenju zrakoplova s negativnim posljedicama za sve subjekte u sustavu.

Analiza trenutačnoga stanja europskoga sustava zračnoga prometa ukazuje na to kako je najznačajniji uzrok koji utječe na redovito odvijanje operacija zrakoplova reaktivno kašnjenje. Navedeno kašnjenje zrakoplova nastaje zbog zakašnjeloga dolaska zrakoplova (i/ili posade) s prethodnoga leta. Statistike temeljene na podacima triju vodećih zračnih luka RH ukazuju na to kako u segmentu kašnjenja zračne luke RH bilježe slične trendove kao i europske zračne luke.

Kako bi umanjila učinak kašnjenja u europskom sustavu zračnoga prometa, Europska je organizacija za sigurnost zračnoga prometa 2000. godine započela s razvojem koncepta kolaborativnoga odlučivanja (A-CDM) kojim bi se kroz suradnju različitih subjekata u zračnom prometu smanjila ukupna kašnjenja zrakoplova. Koncept je trenutačno primijenjen na dvadesetak, ponajprije, europskih čvornih zračnih luka. Problematika vezana uz A-CDM koncept očituje se u činjenici kako je navedeni koncept ponajprije razvijan i namijenjen čvornim zračnim lukama.

U okviru europskoga sustava zračnoga prometa operativno djeluju 124 regionalne zračne luke koje čine 21 % ukupnoga prometa cjelokupnoga sustava. Provedeno istraživanje ukazuje na to kako regionalne zračne luke nemaju primijenjen odgovarajući sustav upravljanja operativnim podsustavima, već koriste postojeći FCFS sustav.

Upotreba odgovarajućega sustava upravljanja operativnim podsustavima i procesima, zajedno s odgovarajućim kapacitetima i distribuiranom prometnom potražnjom, omogućuje optimalno odvijanje operacija zrakoplova u zračnoj luci.

Izravni se utjecaj očituje u kašnjenjima zrakoplova na manevarskoj površini zračne luke, dok se neposredni utjecaj reflektira na cjelokupnu mrežu zračnoga prometa.

Analiza postojećega sustava upravljanja operacijama zrakoplova, koji se trenutačno upotrebljava u većini regionalnih zračnih luka, ukazuje na to kako postojeći generički sustav upravljanja operacijama zrakoplova sustavno ne razmatra mogućnost dodjeljivanja optimalnoga vremena pokretanja motora zrakoplova u funkciji smanjenja zadržavanja zrakoplova na manevarskoj površini. Problematika koja je vezana uz postojeći generički sustav upravljanja očituje se u činjenici da ne postoji odgovarajući alat koji će upotrebom propisanoga algoritma odrediti optimalno vrijeme pokretanja motora zrakoplova, odnosno izlaska zrakoplova s pozicije. Stoga kontrola zračnoga prometa u postojećim procedurama ne primjenjuje postupak odgode pokretanja motora.

Upotreba postojećega sustava upravljanja operativnim podsustavima i procesima dovodi do kašnjenja na manevarskoj površini i na stajanci zračne luke.

Komparativna analiza indikatora mjerenja performansa ukazuje na to da se najznačajnije kašnjenje javlja uz poziciju za čekanje te ono u većini slučajeva predstavlja ograničavajući element neometanom odvijanju operacija zrakoplova. Negativni aspekt koji proizlazi iz ovoga kašnjenja ponajprije je vezan uz odlazne operacije, ali kod zračnih luka s nerazvijenim sustavom manevarske površine i uz dolazne operacije. Zadržavanje zrakoplova na poziciji za čekanje uzrokuje produljenje vožnje zrakoplova na zemlji za gotovo trećinu vremena.

Stoga je u radu razvijen proaktivni sustav koji se temelji na inovativnom pristupu sektorizacije zračne luke, a matematički je formuliran upotrebom Petrijevih mreža. Ciljem je modela kroz optimizirane procedure smanjiti kašnjenja, odnosno zadržavanja zrakoplova na manevarskoj površini.

Upravljački se algoritmi temelje na induktivnoj metodi zaključivanja, stablu odluke i u tu svrhu koriste ID3 algoritam za definiranje elemenata stabla (korijenskoga čvora, čvora odluke, krajnjega čvora i grana).

Procedure primijenjene u upravljačkim algoritmima vezane su uz dodjeljivanje optimalnoga vremena pokretanja motora zrakoplova, odnosno izlaska zrakoplova s pozicije. Algoritam kombinira dva tipa problema: problem pronalaženja puta zasnovanoga na vremenskim okvirima te problem pronalaženja puta za višestruka sredstva.

Optimizirane procedure upravljana operacijama zrakoplova upotrebom odgovarajućega vremensko-prostornoga pomaka uklanjaju interferencije između pojedinih operacija zrakoplova.

Primjena je modela provedena u programskom alatu CAST koji pored izgradnje realnoga infrastrukturnoga modela omogućuje i primjenu upravljačkih algoritama na određenim segmentima manevarske površine i stajanke zračne luke.

Na temelju je ključnih indikatora performansa napravljena usporedna analiza postojećega i proaktivnoga sustava te su iskazane dobiti koje je moguće ostvariti upotrebom algoritma optimiziranih procedura. Razvijeni je sustav ponajprije namijenjen regionalnim zračnim lukama s ograničenim sustavom manevarske površine.

Postavljena hipoteza o poboljšanju performansa zračne luke kroz proaktivno upravljanje operativnim podsustavima i procesima s ciljem optimalnoga odvijanja operacija zrakoplova provjerena je upotrebom novorazvijenoga modela i optimiziranih procedura.

Rezultati istraživanja ukazuju na opravdanost upotrebe predloženoga proaktivnoga sustava upravljanja procesima i podsustavima koji na temelju optimiziranih procedura reducira vremena zadržavanja zrakoplova na manevarskoj površini i ukupno vrijeme vožnje zrakoplova na zemlji za 20 %.

Optimalno je odvijanje operacija zrakoplova vidljivo i u segmentu vremena zadržavanja na poziciji za čekanje, koje je reducirano za oko 50 %.

Znanstveni se doprinos očituje u razvijenoj metodi za evaluaciju sustava upravljanja procesima i podsustavima u zračnoj luci. Upotrebom navedene metode identificirani su kritični operativno-infrastrukturni elementi kao ulazni parametri za simulaciju. Analiza ukazuje na to da vremena zadržavanja zrakoplova na manevarskoj površini predstavljaju kritične operativno-infrastrukturne elemente koji usporavaju odvijanje operacija zrakoplova. Primjenom metode sektorizacije za modeliranje sustava upravljanja operativnim podsustavima omogućeno je definiranje dodatnih pokazatelja performansa sustava zračne luke, a to su: vrijeme zauzetosti i broj zrakoplova unutar sektora. Predloženi model i razvijeni algoritam provjereni su na testnim uzorcima te stvarnim operacijama zrakoplova u Zračnoj luci Split. U tu su svrhu korišteni podatci koji su preuzeti iz aerodromske baze podataka, podatci iz sustava kontrole zračne plovidbe i izmjereni podatci u Zračnoj luci Split. Referentni se uzorak temelji na dvama operativnim danima.

Aplikativna se primjena rezultata istraživanja očituje u razvoju novih procedura upravljanja procesima i podsustavima u zračnoj luci. Pod pretpostavkom kako zračna luka ima primijenjen sustav monitoringa zrakoplova na manevarskoj površini i stajanci, s pomoću dostupnih je podataka rezultata istraživanja središnje jedinice upravljanja protokom zračnoga prometa (engl. Network Manager Operations Centre) moguće izraditi realan sustav i primijeniti ga na regionalne zračne luke.

Popis literature

- [1] Ashford, N. J.; Stanton, H.P.M.; Moore, C.A.; Coutu, P.; Beasley, J.R. 2013. *Airport Operation*. Third Edition. McGraw-Hill. USA. (ISBN 978-0-07-177584-7).
- [2] Arrival Manager. 2010. *Implementation Guidelines and Lessons Learned European, Organization for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL)*. Edition Number 0.1. Brussels. Belgium.
- [3] Zhou, J.; Cafieri, S.; Delahaye, D.; Sbihi, M. May 2014. *Optimization of Arrival and Departure Routes in Terminal Maneuvering Area*. 6th International Conference on Research in Air Transportation. Istanbul. Turkey.
- [4] Tancredi, U.; Accardo D.; Fasano, G.; Renga, A.; Rufino, G.; Maresca, G. 2013. *An Algorithm for Managing Aircraft Movement on an Airport Surface*. Algorithms 6. 494–511. (ISSN 1999-4893).
- [5] Changyou, L.; Yongcheng, W. 2011. *Aircraft Taxi Path Optimization Based on Ant Colony*. Algorithm. Fourth International Symposium on Computational Intelligence and Design.
- [6] Nogueira, K. B.; Aguiar, P. H. C.; Weigang, L. August 2014. *Using Ant Algorithm to Arrange Taxiway Sequencing in Airport*. International Journal of Computer Theory and Engineering. Vol. 6. No. 4.
- [7] Rathinam, S.; Montoya, J.; Jung, Y. September 2008. *An Optimization Model for Reducing Aircraft Taxi Times at the Dallas Fort Worth International Airport*. 26th International congress of the aeronautical sciences. Anchorage.
- [8] Gotteland, J. B.; Durand, N.; Alliot, J.M.; Page, E. December 2001. *Aircraft Ground Traffic Optimization*. 4th ATM Seminar. USA-EUROPE. Santa Fe. USA.
- [9] Vidosavljević, A.; Tošić, V. 2010. *Modelling of Turnaround Process Using Petri Nets*. In proceeding of: 2010. World Conference of Air Transport Research Society. Porto. Portugal.
- [10] Oreschko, B.; Schultz, M.; Elflein, J.; Fricke, H. 2010. *Significant Turnaround Process Variations due to Airport Characteristics*. Air Transport & Operations Symposium. Delft University of Technology. The Netherlands.
- [11] de Vicente, S. S. 2010. *Ground Handling Simulation with CAST*. Department of Automotive and Aeronautical Engineering, Hamburg University of Applied Sciences. Germany.
- [12] Dongxuan, W.; Changyou, L. 18. – 21. August 2007. *Optimizing Gate Assignment at Airport Based on Genetic – Tabu Algorithm*. Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics. Jinan. China.

- [13] Luethi, M.; Kisseleff, B.; Nash, A. 15. – 17. October 2008. *De-peaking strategies for improving airport ground operations productivity at mid-sized hubs*. 8th Swiss Transport Research Conference. Monte Verità / Ascona.
- [14] *The EUROCONTROL DMAN Prototype – Description of DMAN in the A-CDM context*. December 2010. European Organization for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). Edition Number 0.4. Brussels. Belgium.
- [15] Jetzki, M. 2009. *The Propagation of Air Transport Delays in Europe, Department of Airport and Air Transportation Research*. RWTH Aachen University. Aachen. Germany.
- [16] Deau, R.; Gotteland, J.B.; Durand, N. June – July 2009. *Airport Surface Management and Runways Scheduling*. Eighth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2009). California. USA.
- [17] European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). 2003. *Airport CDM Guide Applications*. Brussels.
- [18] European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). 2006. *Total Airport Management: a Step Beyond Airport Collaborative Decision Making*. Brussels.
- [19] European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL), DLR. 2006. *TOTAL AIRPORT MANAGEMENT (Operational Concept & Logical Architecture) Version 1.0*. Brussels.
- [20] Pavlin, S. 2011. *Aerodromi I*. Sveučilišni udžbenik. Fakultet prometnih znanosti. Zagreb.
- [21] International Civil Aviation Organization. 1987. *Airport Planning Manual. Part I*. Master planning. Second edition. Montreal. Canada.
- [22] *Zakon o zračnom prometu*. Narodne novine 69/09, 84/11, 54/13, 127/13, 92/14. Zagreb. Hrvatska.
- [23] *Pravilnik o aerodromima*. Narodne novine 69/09, 84/11, 54/13, 127/13, 58/14. Zagreb. Hrvatska.
- [24] Federal Aviation Administration. 2008. *National Plan of Integrated Airport System 2009-2013*. US. Department of Transport. Washington D.C.
- [25] Horonjeff, R.; McKelvey, F. X.; Sproule, W.J.; Young, S. 2010. *Planning and Design of Airports – Fifth Edition*. McGraw-Hill. Inc. New York.
- [26] Europska Unija. 2005. *KOMUNIKACIJA KOMISIJE, smjernice zajednice za financiranje zračnih luka i potpora za započinjanje poslovanja zračnih prijevoznika koji lete iz regionalnih zračnih luka*. SLUŽBENI LIST EUROPSKE UNIJE C 312/1. Brussels. Belgium.

- [27] Melvan, M.; Bračić, M.; Pavlin, S. 2014. *IMPROVEMENT OF ON-TIME PERFORMANCE AT SPLIT AIRPORT*. International, Conference on Traffic and Transport Engineering. Belgrade. Serbia.
- [28] Bubalo, B. 2011. *Airport Evolution and Capacity Forecasting*. German Airport Performance Research Project Working Paper Series. GAP.
- [29] Agencija za civilno zrakoplovstvo (CCAA). 2016. *Statistički podaci o prometu na aerodromima u Republici Hrvatskoj*. Zagreb.
- [30] Zračna luka Split. 2016. *Godišnje statistike*.
- [31] De Neufville, R.; Odoni, A. 2003. *Airport System*. McGraw-Hill. United States of America.
- [32] International Air Transport Association. 2004. *Airport Development Reference Manual*. 9th Edition. Montreal.
- [33] *Airfield and Airspace Capacity/Delay Policy Analysis*. FAAPO-81-14 (Washington, DC: Federal Aviation Administration, Office of Aviation Policy and Plans, December 1981). Airside Capacity Criteria Used in Preparing the National Airport pLAN. AC 150/5060-IA (Washington, DC: Federal Aviation Administration. July 1968.
- [34] *European Organisation for the Safety of Air Navigation*. November 2003. EUROCONTROL EXPERIMENTAL CENTRE. Pessimistic sector capacity estimation. ECC Note No. 21/03. Brussels. Belgium.
- [35] *Procedures for Air Navigation Services – Air Traffic Management*. 2016. Doc 4444. Sixteenth Edition. Montreal.
- [36] European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). July 2015. *European Wake Turbulence Categorisation and Separation Minima on Approach and Departure*. Edition: 1.1. Brussels. Belgium.
- [37] *Aerodromes*. Annex 14 to the convention on international Civil Aviation. 2013. Aerodromes. Volume I. Aerodrome design and operations. Montreal. Canada. 6th editing.
- [38] Blumstein, A. 1959. *The Landing Capacity of a Runway*. Operations Research 7 (1). 752–763.
- [39] Harris, R. M. May 1974. *Models for Estimating Runway Landing Capacity Analysis*. MITRE Corporation. Report No. FAA- EM-73-5. Federal Aviation Administration. Washington. D.C.
- [40] International Civil Aviation Organization. 2005. *Aerodrome Design Manual*. Part 2. doc 9157. Fourth edition. Montreal. Canada.
- [41] Trani, A. A. June 2002. *Analysis of Air Transportation Systems*. Advanced Airport and Airspace Capacity Seminar.

- [42] Mirković, B. 2013. *BALANSIRANO KORIŠĆENJE KAPACITETA I PLANIRANJE RAZVOJA ELEMENATA AERODROMA*. Doktorska disertacija. Srbija.
- [43] MINISTARSTVO POMORSTVA, PROMETA I INFRASTRUKTURE. 2014. *PRAVILNIK O LETENJU ZRAKOPLOVA*. Narodne novine. 128/2014. Zagreb. Hrvatska.
- [44] http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10204/296_read931/#/gallery/2079 (pristupljeno dana 13.2.2017.)
- [45] International Civil Aviation Organization. 2004. *Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS) Manual*. Doc. 9830. First edition. Montreal. Canada.
- [46] Liu, C.; Wang, Y. 2011. *Aircraft Taxi Path Optimization Based on Ant Colony Algorithm*. 2011 Fourth International Symposium on Computational Intelligence and Design. Hangzhou. China. (DOI 10.1109/ISCID.2011.158).
- [47] Ashford, N. J.; Stanton, H. P. M.; Moore, C. A.; Coutu, P.; Beasley, J. R. 2013. *Airport Operation*. Third Edition. McGraw-Hill. USA. 2013. (ISBN 978-0-07-177584-7).
- [48] Joint Aviation Authorities. 2007. *JAR-OPS 1, Commercial Air Transport (Aeroplanes)*. The Netherlands.
- [49] International Air Transport Association. 2009. *Airport Handling Manual*. Effective 1 Januar – 31 December 2009. Montreal – Geneva. IATA.
- [50] European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). Central Office of Delay Analysis (CODA). 2015. *CODA Digest, Delays to Air Transport in Europe*. Brussels.
- [51] European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). September 2007. *Trends in Air Traffic I Volume 2, A Matter of Time: Air Traffic Delay in Europe*. (ISSN 1993-1425).
- [52] International Air Transport Association. 2009. *Airport Handling Manual*. Effective 1 Januar – 31 December 2009. Montreal – Geneva. IATA.
- [53] EUROCONTROL. 14 – 16 October 2014. *CODA Building the delay-analysis system for Europe*. ICAO Business Class Symposium. Montréal. Canada.
- [54] <http://www.anna.aero/> (pristupljeno dana 13.2.2017.).
- [55] http://www.transtats.bts.gov/OT_Delay/OT_DelayCause1.asp?pn=1 (pristupljeno dana 13.2.2017.).
- [56] <http://www.rita.dot.gov/bts/help/aviation/html/understanding.html#q4> (pristupljeno dana 13.2.2017.).

- [57] Zračna luka Zagreb. 2015. *Godišnje statistike*.
- [58] Zračna luka Split. 2015. *Godišnje statistike*.
- [59] Zračna luka Dubrovnik. 2015. *Godišnje statistike*.
- [60] Office of Aviation Policy and Plans. September 1997. *Documentation For The Consolidated Operations And Delay Analysis System*. FAA. Washington. D.C. 25–28.
- [61] <http://www.businessdictionary.com/definition/model.html> (pristupljeno dana 13.2.2017.).
- [62] Maria, A. 1997. *INTRODUCTION TO MODELING AND SIMULATION*. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference ed. S. Andradóttir, K. J. Healy; D. H. Withers and B. L. Nelson.
- [63] J. Banks; J. Carson; B. Nelson; D. Nicol. 2001. *Discrete-Event System Simulation*. Prentice Hall. p. 3. ISBN 0-13-088702-1.
- [64] Lieberman, E.; Rathi, A. K. 1997. *Traffic simulation, Traffic flow theory*.
- [65] Cassel, R. A.; Pidd, M. 2001. *Distributed discrete event simulation using the three-phase approach and Java*. Simulation Practice and Theory 8. 491–507. Elsevier.
- [66] <https://www.ead.eurocontrol.int/eadcms/eadsite/index.php.html> (pristupljeno dana 13.2.2017.).
- [67] https://www.fer.unizg.hr/download/repository/FPS_predavanja_2%5B1%5D.pdf (pristupljeno dana 13.2.2017.).
- [68] <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/> (pristupljeno dana 13.2.2017.).
- [69] Velagić, J. Petrijeve mreže. Lekcija 13. Kolegij distributivni sustavi. Elektrotehnički fakultet Sarajevo.
- [70] Holloway, L. E.; Krogh, B. H. May 1990. *Synthesis of Feedback Control Logic for a Class of Controlled Petri Nets*. IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL.VOL. 35. NO. 5.
- [71] Williams, G. 2011. *Data Mining with Rattle and R. Florida*. Springer.
- [72] J. Ross Quinlan. 1975. *Induction of decision trees*. Machine Learning. Vol. 1. No. 1. 81–106.
- [73] Nauer, P. 1960. *Revised Report on the Algorithmic Language ALGOL 60*. Communication of the ACM 3. 5. 299–341.
- [74] Zrno, Ž. 2011. *Some applications of the normal (Gaussian) distribution*. UDK 311.
- [75] Airport Council International. February 2012. *Guide to Airport Performance Measures*.

- [76] International Civil Aviation Organization. 2008. *Manual on Air Traffic Management System Requirements*. Doc. 9882. 1st edition. Montreal. Canada.
- [77] International Civil Aviation Organization. *EUR Region Performance Framework Document*. Doc. 030. 1st edition. Montreal. Canada.
- [78] Glenn, A. M. June 2001. *Algorithms for the Shortest Path Problem with Time Windows and Shortest Path Reoptimization in Time-Dependent*. Massachusetts Institute of Technology.
- [79] Chabini, I. 1998. *Discrete dynamic shortest path problems in transportation applications: complexity and algorithms with optimal run time*. Transportation Research Record. 1645. 170–175.
- [80] Goldenberg, M; Felner, A; Stern, R; Sharon, G; Schaeffer, J. *A* Variants for Optimal Multi-Agent Pathfinding*. Multiagent Pathfinding. AAAI Technical Report WS-12-10. Association for the Advancement of Artificial Intelligence.
- [81] Bnaya, Z.; Felner, A. May 31. – June 7. 2014. *Conflict-Oriented Windowed Hierarchical Cooperative A**. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Hong Kong. China.
- [82] Senzig, D.; Fleming, G.; Iovinelli, R. 2009. *Modeling of Terminal-Area Airplane Fuel Consumption*. Journal of Aircraft. 46. No. 4.
- [83] Patterson, J.; Noel, G.; Senzig, D.; Roof, C.; Fleming, G. 2009. *Analysis of Departure and Arrival Profiles Using Real-Time Aircraft Data*. Journal of Aircraft. 46. No. 4.
- [84] *Boeing Commercial Airplanes, Airplane Characteristics for Airport Planning*. September 2013.
- [85] International Air Transport Association. 2014. *Worldwide Slot Guidelines*. 6th Edition. Montreal.
- [86] Grahm, A. 2008. Managing airports. Third edition. *An international perspective*. Routledge.

Popis slika

Slika 2.1. Prikaz odnosa maksimalnoga, održivoga, objavljenoga i praktičnoga kapaciteta....	20
Slika 2.2. Metodologija podjele zrakoplova u odgovarajuće skupine s obzirom na pojavu turbulencije traga.....	22
Slika 2.3. Tampon vrijeme pri razdvajanju zrakoplova	30
Slika 2.4. Prikaz metode triju segmenata.....	36
Slika 2.5. Prikaz slijetanja zrakoplova na uzletno-sletnu stazu upotrebom dijagrama brzina – vrijeme.....	38
Slika 2.6. Elementi longitudinalne separacije između dvaju zrakoplova koji se kreću u istom smjeru na voznim stazama.....	47
Slika 2.7. Prikaz slijeda aktivnosti tehnološkoga procesa prihvata i otpreme putničkoga zrakoplova	49
Slika 3.1. Prikaz izvješćivanja prema pojedinim zemljama koja su izražena prema udjelu zabilježenih IFR letova	55
Slika 4.1. Prikaz kašnjenja kod odlaznih operacija zrakoplova u zračnoj luci	69
Slika 4.2. Prikaz odnosa potražnje i kapaciteta uzletno-sletne staze.....	72
Slika 5.1. Prikaz procesa modeliranja i validacije operacija zrakoplova u regionalnim zračnim lukama	79
Slika 5.2. Prikaz postupka <i>sektorizacije</i> u modelu upravljanja operacijama zrakoplova na „T” križanju dviju voznih staza.....	80
Slika 5.3. Primjena mrežnoga modela sektorizacije na primjeru Zračne luke Split	84
Slika 5.4. Grafički prikaz Petrijevih mreža	85
Slika 5.5. Grafički prikaz kontroliranih Petrijevih mreža	88
Slika 5.6. Prikaz modela sektorizacije Zračne luke Split upotrebom Petrijevih mreža	90
Slika 5.7. Prikaz stabla odluke	91
Slika 5.8. Prikaz rada programskoga paketa CAST	94
Slika 5.9. Prikaz baze podataka u programskom paketu CAST	95
Slika 5.10. Prikaz radnoga okruženja programskoga alata CAST	96
Slika 5.11. Prikaz linijske strukture programa	98
Slika 5.12. Prikaz grananja: a) uz izvođenje naredaba ako je uvjet zadovoljen b) uz naredbe za oba slučaja ispunjenosti uvjeta	99
Slika 5.13. Grananje uz više uvjeta	99
Slika 5.14. <i>Switch</i> grananje	100
Slika 5.15. <i>While</i> petlja	101
Slika 5.16. Prikaz infrastrukturnoga modela Zračne luke Split.....	102
Slika 7.1. Arhitektura proaktivnoga modela upravljanja.....	135
Slika 7.2. Prikaz vremenskoga prostornoga elementa.....	136
Slika 7.3. Prikaz pseudokoda CBS algoritma.....	141
Slika 7.4. Prikaz pseudokoda WHCA* algoritma	142

Slika 8.1. Simulacija kretanja zrakoplova B737-800 od pozicije 3 do pozicije za poravnanje, praga 05.....	168
---	-----

Popis tablica

Tablica 2.1. Klasifikacija zračnih luka prema Europskoj komisiji.....	14
Tablica 2.2. Razdvajanje između pojedinih skupina zrakoplova u prilazu s obzirom na pojavu turbulencije traga.....	23
Tablica 2.3. Razdvajanje između pojedinih skupina zrakoplova u odletu s obzirom na pojavu turbulencije traga.....	23
Tablica 2.4. Prikaz kategorije zrakoplova i njihove karakteristične brzine pri preletu praga uzletno-sletne staze.....	36
Tablica 3.1. Prikaz IATA kodova kašnjenja prema skupinama kašnjenja.....	53
Tablica 5.1. Popis sektora i pripadajućih ulaznih i izlaznih točaka.....	81
Tablica 5.2. Prikaz tipova zrakoplova u Zračnoj luci Split s njihovim fizičkim karakteristikama.....	82
prema pojedinim pozicijama.....	82
Tablica 5.3. Prikaz korištenja izlaznih vozničkih staza s obzirom na skupinu zrakoplova i smjer.....	104
slijetanja, subote 10. rujna 2016. i 24. rujna 2016.....	104
Tablica 5.4. Prosječno vrijeme vožnje zrakoplova u dolasku između parkirnih pozicija i pozicija za čekanje.....	106
Tablica 5.5. Prosječno vrijeme vožnje zrakoplova u odlasku između parkirnih pozicija i pozicija za čekanje.....	107
Tablica 5.6. Prosječne brzine vožnje zrakoplova u odlasku na uzletno-sletnoj stazi.....	107
Tablica 6.1. Usporedba rezultata vremena zadržavanja zrakoplova na pozicijama za čekanje.....	117
između pojedinih operativnih dana (izražena u minutama).....	117
Tablica 6.2. Usporedba rezultata vremena vožnje zrakoplova u dolasku između pojedinih operativnih dana, izražena u minutama.....	120
Tablica 6.3. Usporedba rezultata vremena vožnje zrakoplova u odlasku između pojedinih operativnih dana (izražena u minutama).....	122
Tablica 6.4. Udaljenost pozicija za parkiranje zrakoplova od praga 05 i 23 u Zračnoj luci Split.....	123
Tablica 7.1. Prikaz rezultata bazičnih scenarija za slučaj uzlijetanja s praga 05.....	144
Tablica 7.2. Prikaz rezultata bazičnih scenarija za slučaj uzlijetanja s praga 23.....	145
Tablica 7.3. Usporedba rezultata između pojedinih operativnih dana za dva sustava upravljanja.....	157
Tablica 8.1. Prikaz indeksa potrošnje goriva u fazi vožnje zrakoplova u odlasku na zemlji za dva operativna dana izražen u kilogramima.....	170

Popis grafikona

Grafikon 2.1. Distribucija operacija zrakoplova po mjesecima na hrvatskim obalnim zračnim lukama za 2015. godinu	17
Grafikon 2.2. Distribucija operacija zrakoplova po danima u tjednu u Zračnoj luci Split, 25. do 31. srpanja 2015.....	17
Grafikon 3.1. Prikaz odstupanja od reda letenja kod dolaznih operacija zrakoplova.....	56
Grafikon 3.2. Prikaz odstupanja od reda letenja kod odlaznih operacija zrakoplova.....	57
Grafikon 3.3. Odnos kašnjenja u zračnom prometu država članica ECAC-a, izražen u minutama po letu, za 2014. i 2015. godinu	57
Grafikon 3.4. Odnos četiriju glavnih čimbenika koji utječu na kašnjenja u zračnom prometu država članica ECAC-a, izražen u minutama za 2014. i 2015. godinu	58
Grafikon 3.5. Prikaz glavnih uzroka kašnjenja u 10 najzagušenijih europskih zračnih luka u 2015. godini za: a) odlazne operacije zrakoplova b) dolazne operacije zrakoplova.....	59
Grafikon 3.6. Prikaz udjela reaktivnoga kašnjenja (IATA kod 93) po mjesecima za 2015. godinu, izražen u postotcima u odnosu na ukupno kašnjenje u Europi	60
Grafikon 3.7. Prikaz odvijanja dolaznih zrakoplovnih operacija na vrijeme u američkom sustavu zračnoga prometa za 2015. godinu	62
Grafikon 3.8. Prikaz ukupnoga i reaktivnoga kašnjenja za tri vodeće zračne luke prema broju prihvaćenih i otpremljenih putnika za 2014. godinu	63
Grafikon 3.9. Prikaz distribucije kašnjenja prema IATA kodovima izražen u broju događanja za 2015. godinu u Zračnoj luci Split	64
Grafikon 3.10. Prikaz distribucije kašnjenja prema IATA kodovima izražen u minutama za 2015. godinu u Zračnoj luci Split	64
Grafikon 3.11. Odstupanje od reda letenja kod dolaznih operacija zrakoplova u Zračnoj luci Split za promatrani period.....	66
Grafikon 3.12. Odstupanje od reda letenja kod odlaznih operacija zrakoplova u Zračnoj luci Split za promatrani period.....	66
Grafikon 5.1. Prikaz idealne krivulje normalne razdiobe i udio pojedinih rezultata u ukupnom broju s obzirom na standardnu devijaciju.....	105
Grafikon 6.1. Prikaz vremena zadržavanja zrakoplova na pozicijama za čekanje za pojedini let, subota 10. rujna 2016.	116
Grafikon 6.2. Prikaz vremena zadržavanja zrakoplova na pozicijama za čekanje za pojedini let, subota 24. rujna 2016.	116
Grafikon 6.3. Prikaz broja zrakoplova u određenom vremenskom intervalu na poziciji za čekanje prema pojedinom letu, subota 10. rujna 2016.....	117
Grafikon 6.4. Prikaz broja zrakoplova u određenom vremenskom intervalu na poziciji za čekanje prema pojedinom letu, subota 24. rujna 2016.....	118
Grafikon 6.5. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku za pojedini let, subota 10. rujna 2016.	119

Grafikon 6.6. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku za pojedini let, subota 24. rujna 2016.	120
Grafikon 6.7. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku za pojedini let, subota 10. rujna 2016.	121
Grafikon 6.8. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku za pojedini let, subota 24. rujna 2016.	121
Grafikon 6.9. Prikaz prosječnoga vremena vožnje zrakoplova na zemlji prema pozicijama za parkiranje	123
Grafikon 6.10. Vremena čekanja zrakoplova na poziciji za poravnanje po letovima, subota 10. rujna 2016.	125
Grafikon 6.11. Vremena čekanja zrakoplova na poziciji za poravnanje po letovima, subota 24. rujna 2016.	125
Grafikon 6.12. Prikaz vremena zauzetosti sektora.....	127
Grafikon 6.13. Prikaz broja zabilježenih operacija zrakoplova unutar sektora, subota 10. rujna 2016.....	128
Grafikon 6.14. Prikaz broja operacija na uzletno-sletnoj stazi Zračne luke Split za odabrane dane.....	129
Grafikon 6.15. Prikaz broja zrakoplova na stajanci Zračne luke Split po satima, 10. rujna 2016.	131
Grafikon 6.16. Prikaz broja zrakoplova na stajanci Zračne luke Split po satima, 24. rujna 2016.	131
Grafikon 7.1. Prikaz vremenskih segmenata zrakoplova u odlasku postojećega generičkoga i proaktivnoga modela upravljanja operacijama zrakoplova.....	133
Grafikon 7.2. Prikaz vremena zadržavanja zrakoplova na pozicijama za čekanje za pojedini let, subota 10. rujna 2016.	156
Grafikon 7.3. Prikaz vremena zadržavanja zrakoplova na pozicijama za čekanje za pojedini let, subota 24. rujna 2016.	157
Grafikon 7.4. Prikaz broja zrakoplova u određenom vremenskom intervalu na poziciji za čekanje prema pojedinom letu, subota 10. rujna 2016.....	158
Grafikon 7.5. Prikaz broja zrakoplova u određenom vremenskom intervalu na poziciji za čekanje prema pojedinom letu, subota 24. rujna 2016.....	158
Grafikon 7.6. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku za pojedini let, subota 10. rujna 2016.	159
Grafikon 7.7. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u dolasku za pojedini let, subota 24. rujna 2016.	159
Grafikon 7.8. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku za pojedini let, subota 10. rujna 2016.	160
Grafikon 7.9. Prikaz vremena vožnje zrakoplova na zemlji u odlasku za pojedini let, subota 24. rujna 2016.	160
Grafikon 7.10. Vremena čekanja zrakoplova na poziciji za poravnanje po letovima, subota 10. rujna 20.	161

Grafikon 7.11 Vremena čekanja zrakoplova na poziciji za poravnanje po letovima, subota 24. rujna 2016.	162
Grafikon 7.12. Prikaz vremena zauzetosti sektora.....	163
Grafikon 7.13. Prikaz vremena zadržavanja zrakoplova na poziciji	164
Grafikon 7.14. Prikaz vremena zadržavanja zrakoplova na poziciji	164

Popis dijagrama

Dijagram 2.1. Prostorno-vremensko razdvajanje između slijetanja za $v_i \leq v_j$ definirano minimalnim prostornim razdvajanjem između slijetanja	26
Dijagram 2.2. Prostorno-vremensko razdvajanje između slijetanja za $v_i \leq v_j$ definirano vremenom zauzetosti uzletno-sletne staze	29
Dijagram 2.3. Prostorno-vremensko razdvajanje između slijetanja za $v_i > v_j$ kada je minimalno razdvajanje δ_{ij} osigurano unutar prilazne putanje γ	29
Dijagram 2.4. Prostorno-vremensko razdvajanje između slijetanja za $v_i > v_j$ kada je minimalno razdvajanje δ_{ij} osigurano ispred prilazne putanje γ	29
Dijagram 2.5. Prostorno-vremensko razdvajanje mješovitih operacija bez uračunate pogreške u poziciji zrakoplova.....	32
Dijagram 2.6. Operativni podsustavi i procesi na zračnoj strani i u zračnom prostoru zračne luke.....	42
Dijagram 4.1. Prikaz metode evaluacije modela upravljanja operativnim podsustavima i procesima.....	75
Dijagram 7.1. Algoritam za dodjeljivanje optimalnoga vremena pokretanja motora zrakoplova	137

Popis kratica

A-CDM – Airport Collaborative Decision Making

ADSIM – Airfield Delay Simulation Model

AGNIS – Azimuth Guidance for Nose-in Stands

AMANs – Arrival Management Systems

APIS – Aircraft Positioning and Information System

APS – Aircraft Positioning System

ASMGCS – Advanced Surface Movement Guidance and Control System

ATFM – Air Traffic Flow Management

BAA – British Aviation Authority

B&B – Branch and Bound

BT – Buffer Time

CAA – Civil Aviation Authority

CAST – Comprehensive Airport Software

CBS – Conflict Based Search Algorithm

CFMU – Control Flow Management Unit

CODA – Central Office for Delay Analysis

CO-WHCA – Conflict Oriented Windowed Hierarchical Cooperative A*

CPA – Collaborative Pathfinding Algorithm

CSV. – Comma Separated Value

DMAN – Departure Manager

dxf – Drawing Interchange Format,

EBNF – Extended Backus Naur Form

ECAC – European Civil Aviation Conference

EUROCONTROL – European Organisation for the Safety of Air Navigation

FAA – Federal Aviation Administration

FAF – Final Approach Fix

FCFS – First Come First Serve

GOT – Gate Occupancy Time

KPI – Key Performance Indicators

IATA – International Air Transport Association

ICAO – International Civil Aviation Organization

IAF – Initial Approach Fix

IF – Intermediate fix

IFR – Instrument flight rules

LOS – Level of Services

MAPF – Multiagent Pathfinding Problem

MAPt – Missed Approach Point

NDB – Non-Directional Beacon

OBT – Off-Block Time

OOOI time – Out of the gate, Off the ground, On the ground, and Into the gate

OM – Out Marker

PT – Positioning Time

RDSIM – Runway Delay Simulation

ROT – Runway Occupancy Time

SID – Standard Instrument Departure

SIMMOD – The airspace and airfield model

SMAN – Surface Management System

SOT – Scheduled Occupancy Time

STAR – Standard Instrument Arrival Route

TAAM – Total Airspace and Airport Modeler

TMA – Terminal Manoeuvring Area

TSAT – Target Start-up Time

TTOT – Target Take Off Time

VRP – Vehicle Routing Problem

USS – Uzletno-sletna staza

WHCA – Windowed Hierarchical Cooperative A*

WP – Waypoint

Prilog 1. Popis zračnih luka značajnih za Europsku mrežu zračnoga prometa

ADES	AIRPORT_NAME	APT_COORD	TOTAL_IFR_ARR	DLY_ARR_RATIO	SEASONALITY	TOTAL
LGSA	KHANIA/SOUDA	0,750	0,270	3,955	1,575	6,550
LGMK	MIKONOS	0,750	0,270	2,825	2,250	6,095
LGZA	ZAKINTHOS	0,750	0,270	2,825	2,250	6,095
LGSK	SKIATHOS	0,750	0,270	1,695	2,250	4,965
LFMD	CANNES MANDELIEU	0,750	0,270	2,260	1,575	4,855
LGIR	IRAKLION/NIKOS/KAZANTZAKIS	0,750	0,675	1,130	2,250	4,805
LFKF	FIGARI	0,000	0,270	2,260	2,250	4,780
LEIB	IBIZA	0,675	0,675	1,130	2,250	4,730
LGRP	DIAGORAS	0,750	0,405	1,130	2,250	4,535
LEPA	PALMA DE MALLORCA	0,750	0,945	1,695	1,125	4,515
LGKF	KEFALLINIA	0,750	0,270	1,130	2,250	4,400
LGKO	KOS	0,750	0,270	1,130	2,250	4,400
LGPZ	PREVEZA/LEVKAS AKTIO	0,750	0,270	1,130	2,250	4,400
LGSR	SANTORINI	0,750	0,270	1,130	2,250	4,400
LGKL	KALAMATA	0,750	0,270	0,565	2,250	3,835
LGKR	IOANNIS/KAPODISTRIAS	0,750	0,270	0,565	2,250	3,835
EGLL	LONDON/HEATHROW	0,750	1,215	1,695	0,113	3,773
LCPH	PAPHOS	0,225	0,270	2,825	0,450	3,770
LEMH	MAHON	0,675	0,270	0,565	2,250	3,760
LTAI	ANTALYA	0,675	0,945	0,565	1,575	3,760
LSZH	ZURICH	0,750	0,945	1,695	0,113	3,503
LFKC	CALVI STE CATHERINE	0,000	0,270	1,130	2,025	3,425
LGKV	MEGAS/ALEXANDROS	0,750	0,270	0,283	2,025	3,328
LDSP	SPLIT	0,150	0,270	0,565	2,250	3,235
LFMN	NICE	0,750	0,675	1,130	0,675	3,230
LIEO	OLBIA COSTA SMERALDA	0,000	0,405	0,565	2,250	3,220
EHAM	AMSTERDAM	0,750	1,215	1,130	0,113	3,208
LGRX	ARAXOS/PATROS	0,750	0,135	0,283	2,025	3,193
LTFE	MILAS/BODRUM	0,225	0,405	0,283	2,250	3,163
LTFG	ANTALYA-GAZIPASA	0,000	0,270	0,565	2,250	3,085
EDDL	DUSSELDORF	0,750	0,945	1,130	0,225	3,050
LEAL	ALICANTE	0,750	0,675	1,130	0,450	3,005
LEMG	MALAGA	0,750	0,675	1,130	0,450	3,005
EBBR	BRUSSELS	0,750	0,945	1,130	0,113	2,938
LFPO	PARIS/ORLY	0,750	0,945	1,130	0,113	2,938
LSGG	GENEVA	0,750	0,945	1,130	0,113	2,938
LEBZ	BADAJOS	0,225	0,135	0,283	2,250	2,893
LPFR	FARO	0,675	0,405	1,130	0,675	2,885
LGSM	SAMOS	0,750	0,270	0,283	1,575	2,878
LDU	DUBROVNIK	0,000	0,270	0,565	2,025	2,860
LDPL	PULA	0,000	0,270	0,565	2,025	2,860
LBBG	BURGAS	0,000	0,270	0,283	2,250	2,803
LBWN	VARNA	0,000	0,270	0,283	2,250	2,803
LYTV	TIVAT	0,000	0,270	0,283	2,250	2,803
UKFB	SEVASTOPOL/BEL'BEK	0,000	0,270	0,283	2,250	2,803
LFLL	LYON/SARTOLAS	0,750	0,675	1,130	0,225	2,780
LERS	REUS	0,225	0,270	1,130	1,125	2,750
ESSA	STOCKHOLM/ARLANDA	0,750	0,945	0,565	0,450	2,710
ESNZ	ARE OSTERSUND	0,075	0,270	0,283	2,025	2,653
EDDF	FRANKFURT	0,750	1,215	0,565	0,113	2,643
EDDM	MUNICH	0,750	1,215	0,565	0,113	2,643
LFPG	PARIS/CHARLES-DE-GAULLE	0,750	1,215	0,565	0,113	2,643
EHGG	GRONINGEN-EELDE	0,000	0,270	0,283	2,025	2,578
ESSL	LINKOPING/SAAB	0,000	0,270	0,283	2,025	2,578
UKFF	SIMFEROPOL	0,000	0,270	0,283	2,025	2,578
ESSB	STOCKHOLM-BROMMA	0,750	0,405	0,283	1,125	2,563
LPPR	PORTO	0,750	0,405	1,130	0,225	2,510
EGCC	MANCHESTER	0,750	0,945	0,565	0,225	2,485
EGKK	LONDON/GATWICK	0,750	0,945	0,565	0,225	2,485
EIDW	DUBLIN	0,750	0,945	0,565	0,225	2,485
ENGM	OSLO/GARDERMOEN	0,750	0,945	0,565	0,225	2,485
LEBL	BARCELONA	0,750	0,945	0,565	0,225	2,485
LIMC	MILAN/MALPENSA	0,750	0,945	0,565	0,225	2,485
LIRF	ROME/FIUMICINO	0,750	0,945	0,565	0,225	2,485
UKBB	KIEV - BORISPOL	0,750	0,675	0,565	0,450	2,440
LCLK	LARNACA	0,225	0,405	1,130	0,675	2,435
BIKF	KEFLAVIK	0,750	0,270	0,283	1,125	2,428
LGKP	KARPATHOS	0,750	0,270	0,283	1,125	2,428
LICG	PANTELLERIA	0,750	0,270	0,283	1,125	2,428
LSZG	GRENCHEN	0,000	0,270	1,695	0,450	2,415
LDZD	ZADAR	0,000	0,270	0,565	1,575	2,410
LFKJ	AJACCIO	0,000	0,270	0,565	1,575	2,410
LIEE	CAGLIARI ELMAS	0,750	0,405	0,565	0,675	2,395
EDDT	BERLIN-TEGEL	0,750	0,945	0,565	0,113	2,373
LEMD	MADRID/BARAJAS	0,750	0,945	0,565	0,113	2,373
LOWW	VIENNA	0,750	0,945	0,565	0,113	2,373
LTBA	ISTANBUL/ATATURK	0,750	1,215	0,283	0,113	2,360
LIPX	VERONA VILLAFRANCA	0,225	0,405	0,565	1,125	2,320
EDDB	SCHOENEFELD-BERLIN	0,750	0,675	0,565	0,225	2,215
EDDS	STUTTART	0,750	0,675	0,565	0,225	2,215
EGLC	LONDON/CITY	0,750	0,675	0,565	0,225	2,215
EPWA	WARSAW/OKECIE	0,750	0,675	0,565	0,225	2,215
GCLP	GRAN CANARIA	0,750	0,675	0,565	0,225	2,215

ADES	AIRPORT_NAME	APT_COORD	TOTAL_IFR_ARR	DLY_ARR_RATIO	SEASONALITY	TOTAL
LIME	BERGAMO/ORIO ALSERIO	0,750	0,675	0,565	0,225	2,215
LIPZ	VENICE/TESSERA	0,750	0,675	0,565	0,225	2,215
LKPR	PRAGUE/RUZYNE	0,750	0,675	0,565	0,225	2,215
LPPT	LISBON	0,750	0,675	0,565	0,225	2,215
GCFV	FUERTEVENTURA	0,750	0,405	0,565	0,450	2,170
GCTS	TENERIFE SUR/REINA SOFIA	0,750	0,405	0,565	0,450	2,170
LIML	MILAN/LINATE	0,750	0,675	0,283	0,450	2,158
EGCN	DONCASTER SHEFFIELD	0,075	0,270	1,130	0,675	2,150
EDXW	WESTERLAND SYLT	0,000	0,270	0,283	1,575	2,128
EFVA	VAASA	0,000	0,270	0,283	1,575	2,128
ESGJ	JONKOPING	0,000	0,270	0,283	1,575	2,128
ESNN	SUNDSVALL/HARNOSAND	0,000	0,270	0,283	1,575	2,128
ESOW	VASTERAS/HASSLO	0,000	0,270	0,283	1,575	2,128
LIPR	RIMINI MIRAMARE	0,000	0,270	0,283	1,575	2,128
LKMT	OSTRAVA	0,000	0,270	0,283	1,575	2,128
EGSS	LONDON/STANSTED	0,750	0,675	0,565	0,113	2,103
LFPB	PARIS/LE BOURGET	0,000	0,405	0,565	1,125	2,095
EKCH	COPENHAGEN/KASTRUP	0,750	0,945	0,283	0,113	2,090
EDLV	NIEDERRHEIN	0,000	0,270	1,695	0,113	2,078
LEGE	GERONA	0,225	0,270	1,130	0,450	2,075
LELL	SABADELL	0,225	0,135	0,565	1,125	2,050
LEJR	JEREZ DE LA FRONTERA	0,750	0,270	0,283	0,675	1,978
LGMT	MITILINI	0,750	0,270	0,283	0,675	1,978
EDRZ	PIRMASENS-ZWEIBR.	0,000	0,270	0,565	1,125	1,960
LFKB	BASTIA	0,000	0,270	0,565	1,125	1,960
LFMU	BEZIERS	0,000	0,270	0,565	1,125	1,960
LFMV	AVIGNON CAUMONT	0,000	0,270	0,565	1,125	1,960
LFPN	TOUSSUS LE NOBLE	0,000	0,270	0,565	1,125	1,960
LFRH	LORIENT LANN BIHQUE	0,000	0,270	0,565	1,125	1,960
LFTH	HYERES LA PALYVESTRE	0,000	0,270	0,565	1,125	1,960
LSGS	SION	0,000	0,270	0,565	1,125	1,960
EDDB	SCHOENEFELD-BERLIN	0,750	0,405	0,565	0,225	1,945
EKBI	BILLUND	0,750	0,405	0,565	0,225	1,945
GCCR	LANZAROTE	0,750	0,405	0,565	0,225	1,945
GCXO	TENERIFE NORTE	0,750	0,405	0,565	0,225	1,945
LEBB	BILBAO	0,750	0,405	0,565	0,225	1,945
LIRA	ROME/CIAMPINO	0,750	0,405	0,565	0,225	1,945
ENBR	BERGEN/FLESAND	0,750	0,675	0,283	0,225	1,933
ENZV	STAVANGER/SOLA	0,750	0,675	0,283	0,225	1,933
LFBS	BASLE/MULHOUSE	0,000	0,675	1,130	0,113	1,918
EGBB	BIRMINGHAM	0,225	0,675	0,565	0,450	1,915
LEPP	NOAIN PAMPLONA	0,225	0,270	0,283	1,125	1,903
LGKC	KITHIRA	0,750	0,135	0,565	0,450	1,900
LGTS	MAKEDONIA	0,750	0,405	0,283	0,450	1,888
LICC	CATANIA FONTANAROSSA	0,750	0,405	0,283	0,450	1,888
LICJ	PALERMO PUNTA RAISI	0,750	0,405	0,283	0,450	1,888
LIRN	NAPOLI CAPODICHINO	0,750	0,405	0,283	0,450	1,888
EDLP	PADERBORN LIPPSTADT	0,000	0,270	1,130	0,450	1,850
EGKB	BIGGIN HILL	0,000	0,270	1,130	0,450	1,850
LXGB	GIBALTAR	0,000	0,270	1,130	0,450	1,850
LGBL	NEA ANGHALOS	0,750	0,135	0,283	0,675	1,843
EFHK	HELSINKI-VANTAA	0,750	0,675	0,283	0,113	1,820
EHEH	EINDHOVEN	0,750	0,270	0,565	0,225	1,810
EHRD	ROTTERDAM	0,750	0,270	0,565	0,225	1,810
LPMA	MADEIRA	0,750	0,270	0,565	0,225	1,810
LEBA	CORDOBA	0,225	0,135	0,283	1,125	1,768
ESSV	VISBY	0,075	0,270	0,283	1,125	1,753
LGHI	CHIOS	0,750	0,270	0,283	0,450	1,753
LECO	LA CORUNA	0,225	0,270	0,565	0,675	1,735
LZIB	BRATISLAVA IVANKA	0,225	0,270	0,565	0,675	1,735
LEAM	ALMERIA	0,675	0,270	0,565	0,225	1,735
LOWI	INNSBRUCK	0,675	0,270	0,565	0,225	1,735
LFBO	TOULOUSE/BLAGNAC	0,000	0,675	0,565	0,450	1,690
EDDK	COLOGNE/BONN	0,225	0,675	0,565	0,225	1,690
EDDV	HANOVER	0,225	0,675	0,565	0,225	1,690
EGGW	LONDON/LUTON	0,225	0,675	0,565	0,225	1,690
EGPF	GLASGOW	0,225	0,675	0,565	0,225	1,690
EGPH	EDINBURGH	0,225	0,675	0,565	0,225	1,690
LHBP	BUDAPEST/FERIHEGY	0,225	0,675	0,565	0,225	1,690
EFOU	OULU	0,000	0,270	0,283	1,125	1,678
LFBI	POITIERS BIARD	0,000	0,270	0,283	1,125	1,678
LFGR	RODEZ MARCILLAC	0,000	0,270	0,283	1,125	1,678
LKTB	BRNO TURANY	0,000	0,270	0,283	1,125	1,678
LIMF	TORINO/CASELLE	0,750	0,405	0,283	0,225	1,663
LIRQ	FIRENZE/PERETOLA	0,750	0,405	0,283	0,225	1,663
EGNM	LEEDS AND BRADFORD	0,225	0,405	0,565	0,450	1,645
LIRP	PISA SAN GIUSTO	0,225	0,405	0,565	0,450	1,645
LMML	MALTA/LUQA	0,225	0,405	0,565	0,450	1,645
LGAV	ATHENS	0,225	0,675	0,283	0,450	1,633
LTBJ	IZMIR-ADNAN-MENDERES	0,225	0,675	0,283	0,450	1,633
LTFJ	ISTANBUL/SABIHA GOKCEN	0,225	0,675	0,283	0,450	1,633
LGST	SITIA	0,750	0,135	0,283	0,450	1,618
EGFF	CARDIFF	0,075	0,270	0,565	0,675	1,585

ADES	AIRPORT_NAME	APT_COORD	TOTAL_IFR_ARR	DLY_ARR_RATIO	SEASONALITY	TOTAL
EDDH	HAMBURG	0,225	0,675	0,565	0,113	1,578
LIPE	BOLOGNA	0,225	0,675	0,565	0,113	1,578
LBSF	SOFIA	0,750	0,405	0,283	0,113	1,550
EGNX	EAST MIDLANDS	0,075	0,675	0,565	0,225	1,540
GCLA	LA PALMA	0,750	0,270	0,283	0,225	1,528
EBOS	OOSTENDE	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
EDNY	FRIEDRICHSHAFEN	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
EDTY	SCHWAEB.HALL-HESSENT	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
EGLF	FARNBOROUGH CIV	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
EGNH	BLACKPOOL	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
EGTK	OXFORD/KIDLINGTON	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
EGWU	NORTHOLT	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
EPBY	BYDGOSZCZ	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
LFBH	LA ROCHELLE LALEU	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
LFBL	LIMOGES BELLEGARDE	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
LFBT	TARBES OSSUN LOURDES	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
LFJL	METZ/NANCY	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
LFLC	CLERMONT-FERRAND	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
LFly	LYON/BRON	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
LFMT	MONTPELLIER	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
LFST	STRASBOURG/ENTZHEIM	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
LIEA	ALGHERO	0,000	0,270	0,565	0,675	1,510
LEAS	ASTURIAS	0,225	0,270	0,565	0,450	1,510
LELC	MURCIA SAN JAVIER	0,225	0,270	0,565	0,450	1,510
LEVT	VITORIA	0,225	0,270	0,565	0,450	1,510
EDDW	BREMEN	0,225	0,405	0,565	0,225	1,420
EGAA	BELFAST/ALDERGROVE	0,225	0,405	0,565	0,225	1,420
EGGD	BRISTOL/LULSGATE	0,225	0,405	0,565	0,225	1,420
EGNT	NEWCASTLE	0,225	0,405	0,565	0,225	1,420
LEVC	VALENCIA	0,225	0,405	0,565	0,225	1,420
LEZL	SEVILLA	0,225	0,405	0,565	0,225	1,420
LYBE	SURCIN-BEOGRAD	0,000	0,405	0,283	0,675	1,363
LFML	MARSEILLE/PROVENCE	0,000	0,675	0,565	0,113	1,353

Prilog 2. Definicija aerodromskih *slotova*

U zračnim lukama, koje zbog ograničenoga kapaciteta ne mogu zadovoljiti prometnu potražnju, bilo da je riječ o sezonskoj ili cjelogodišnjoj prometnoj potražnji, kako bi se umanjili učinci kašnjenja i zagušenja zračnih luka primjenjuju se *slotovi*, odnosno vremenski okviri (vremenski period između - 5 min do + 10 min) u odnosu na izračunano vrijeme slijetanja i polijetanja⁶⁴ u kojima zrakoplov mora ostvariti navedenu operaciju, a pritom se razlikuju *slotovi* zračne luke i ATFM *slotovi*.

Prema IATA dokumentu „Worldwide Slot Guidelines” [85] zračne se luke s aspekta aerodromskih *slotova* dijele na: *LEVEL 1*, *LEVEL 2*, *LEVEL 3*.

Kod zračnih luka *IATA LEVEL 1* infrastrukturni je kapacitet zadovoljavajući, odnosno odgovarajući prometnoj potražnji zračnih prijevoznika i drugih korisnika zračne luke.

Zračne luke *IATA LEVEL 2* (engl. *Schedules Facilitates Airports*) zbog neodgovarajućega infrastrukturnoga kapaciteta s jedne strane i povećane prometne potražnje u određenom vremenskom periodu bilježe kašnjenja koja su vezana uz periode vršnih prometnih opterećenja (dan, tjedan, mjesec...). U ovim se zračnim lukama *slotovi* primjenjuju samo u određenom vremenskom periodu. Problem je dodjele *slotova* u ovim zračnim lukama moguće riješiti kooperacijom između zračnih prijevoznika i zračne luke koja se temelji na dobrovoljnoj bazi.

U zračnim lukama *IATA LEVEL 3* (engl. *Coordinated Airports*) prometna potražnja znatno premašuje aerodromske kapacitete u relevantnom vremenskom periodu, a izgradnja dodatnih infrastrukturnih kapaciteta nije moguća u kratkom vremenskom periodu.

Na ovim zračnim lukama postoje formalne procedure za dodjelu *slotova* [86]. Najznačajnije je pravilo u ovim procedurama tzv. „povijesno pravilo” (engl. *Grandfather Rights*). Ovo pravilo omogućuje zračnom prijevozniku koji je u određenoj zračnoj luci u prethodnom periodu (najčešće prethodne sezone ili godine) realizirao 80 % letova da u sljedećem periodu i dalje koristi iste *slotove*. Upotrebom ove procedure omogućuje se aktivno korištenje *slotova*, odnosno oni prijevoznici koji ne koriste svoje *slotove*, gube pravo na njih. Zračni prijevoznici ne moraju koristiti *slotove* za iste operacije svake godine, već ih, primjerice, mogu mijenjati između domaćih i međunarodnih ruta.

Svaka *IATA LEVEL 3* zračna luka ima koordinatora koji upravlja procesom dodjele *slotova*, a tradicionalno je to nacionalni zračni prijevoznik.

Proces dodjele *slotova* temelji se na dobrovoljnoj bazi, a u tu se svrhu dva puta godišnje organizira tzv. *Slot* konferencija i to posebno za ljetni, odnosno zimski red letenja.

⁶⁴ CTOT – Calculated Take Off Time

Konferencija predstavlja svojevrsan forum na kojem se provodi proces alokacije *slotova* između zračnih luka *IATA LEVEL 2 i 3* te zračnih prijevoznika. Aerodromski se *slotovi* definiraju unaprijed za odgovarajući vremenski period (primjerice za ljetnu sezonu).

S druge strane, Europska organizacija za sigurnost zračne plovidbe (EUROCONTROL), kako bi povećala kapacitet i protok u europskoj mreži zračnih putova, na zračnim lukama primjenjuje ATFM *slotove*. EUROCONTROL na temelju trenutačnoga statusa, odnosno prometa u mreži zračnih putova, a kako bi se osigurao slobodan tok zračnoga prometa primjenjuje ATFM *slotove*.

U načelu bi aerodromski i ATFM *slotovi* trebali biti usklađeni, ali zbog neodgovarajuće koordinacije između sustava zračne luke i sustava kontrole zračnoga prometa dolazi do određenih odstupanja u navedenim *slotovima*.

Prema podacima IATA u 2007. godini na globalnoj je razini 139 zračnih luka deklarirano kao *IATA LEVEL 3* i 87 zračnih luka kao *IATA LEVEL 2* [86].

Analize koje su provedene u Europskom sustavu zračnoga prometa ukazuju na to kako primjena *slotova* u zračnim lukama umanjuje učinak zagušenja zračnih luka, ali i ta mjera nije dostatna za smanjenje kašnjenja zrakoplova u sustavu zračnoga prometa.

Prilog 3. Tablica IATA kodova kašnjenja

IATA DELAY CODES

Others		
6	OA	NO GATE/STAND AVAILABLE Due to own airline activity
9	SG	SCHEDULED GROUND TIME Planned turnaround time less than declared minimum

Passenger and baggage		
11	PD	LATE CHECK-IN Check-in reopened for late passengers
12	PL	LATE CHECK-IN Check-in not completed by flight closure time
13	PE	CHECK-IN ERROR Error with passenger or baggage details
14	PO	OVERSALES Booking errors – not resolved at check-in
15	PH	BOARDING Discrepancies and paging, missing checked in passengers
16	PS	COMMERCIAL PUBLICITY /PASSENGER CONVENIENCE Local decision to delay for VIP or press; delay due to offload of passengers following family bereavement
17	PC	CATERING ORDER Late or incorrect order given to supplier
18	PD	BAGGAGE PROCESSING Late or incorrectly sorted baggage

Cargo and Mail		
21	CD	DOCUMENTATION Late or incorrect documentation for booked cargo
22	CP	LATE POSITIONING Late delivery of booked cargo to airport/aircraft
23	CC	LATE ACCEPTANCE Acceptance of cargo after deadline
24	CI	INADEQUATE PACKING Repackaging and / or re-labelling of booked cargo
25	CO	OVERSALES Booked load in excess of saleable load capacity (weight or volume), resulting in reloading or off-load

Mail only		
27	CE	DOCUMENTATION, PACKING Incomplete and / or inaccurate documentation
28	CL	LATE POSITIONING Late delivery of mail to airport / aircraft
29	CA	LATE ACCEPTANCE Acceptance of mail after deadline

Aircraft and Ramp Handling		
31	GD	LATE / INACCURATE AIRCRAFT DOCUMENTATION Late or inaccurate mass and balance documentation, general declaration, passenger manifest
32	GL	LOADING / UNLOADING Bulky items, special load, lack loading staff

Flight Operations and Crewing		
61	FP	FLIGHT PLAN Late completion of or change to flight plan
62	FF	OPERATIONAL REQUIREMENT Late alteration to fuel or payload
63	FT	LATE CREW BOARDING OR DEPARTURE PROCEDURES Late flight deck, or entire crew, other than standby; late completion of flight deck crew checks
64	FS	FLIGHT DECK CREW SHORTAGE Sickness, awaiting standby, flight time limitations, valid visa, health documents, etc.
65	FR	FLIGHT DECK CREW SPECIAL REQUEST Requests not within operational requirements
66	FL	LATE CABIN CREW BOARDING OR DEPARTURE PROCEDURES Late cabin crew other than standby; late completion of cabin crew checks
67	FC	CABIN CREW SHORTAGE Sickness, awaiting standby, flight time limitations, valid visa, health documents
68	FA	CABIN CREW ERROR OR SPECIAL REQUEST Requests not within operational requirements
69	FB	CAPTAIN REQUEST FOR SECURITY CHECK Extraordinary requests outside mandatory requirements

Weather		
71	WO	DEPARTURE STATION Below operating limits
72	WT	DESTINATION STATION Below operating limits
73	WR	EN-ROUTE OR ALTERNATE Below operating limits
75	WI	DE-ICING OF AIRCRAFT Removal of ice and / or snow; excludes equipment – lack of or breakdown
76	WS	REMOVAL OF SNOW, ICE, WATER, AND SAND FROM AIRPORT Runway, taxiway conditions
77	WG	GROUND HANDLING IMPAIRED BY ADVERSE WEATHER CONDITIONS High winds, heavy rain, blizzards, monsoons etc.

Air Traffic Flow Management Restrictions		
81	AT	ATFM DUE TO ATC EN-ROUTE DEMAND / CAPACITY Standard demand / capacity problems
82	AX	ATFM DUE TO ATC STAFF / EQUIPMENT ENROUTE Reduced capacity caused by industrial action or staff shortage, equipment failure, military exercise or extraordinary demand due to capacity reduction in neighbouring area

33	GE	LOADING EQUIPMENT Lack of and / or breakdown; lack of operating staff
34	GS	SERVICING EQUIPMENT Lack of and / or breakdown; lack of operating staff
35	GC	AIRCRAFT CLEANING Late completion of aircraft cleaning
36	GF	FUELLING / DEFUELLING Late delivery of fuel; excludes late request
37	GB	CATERING Late and / or incomplete delivery; late loading
38	GU	ULD Lack of and / or unserviceable ULD's or pallets
39	GT	TECHNICAL EQUIPMENT Lack and / or breakdown; lack of operating staff; includes GPU, air start, pushback tug, de-icing

Technical and Aircraft Equipment		
41	TD	TECHNICAL DEFECTS Aircraft defects including items covered by MEL
42	TM	SCHEDULED MAINTENANCE Late release from maintenance
43	TN	NON-SCHEDULED MAINTENANCE Special checks and / or additional works beyond normal maintenance schedule
44	TS	SPARES AND MAINTENANCE Lack of spares, lack of and / or breakdown of specialist equipment required for defect rectification
45	TA	AOG SPARES Awaiting AOG spare(s) to be carried to another station
46	TC	AIRCRAFT CHANGE For technical reasons, e.g. a prolonged technical delay
47	TL	STANDBY AIRCRAFT Standby aircraft unavailable for technical reasons

Damage to Aircraft		
51	DF	DAMAGE DURING FLIGHT OPERATIONS Bird or lightning strike, turbulence, heavy or overweight landing, collisions during taxiing
52	DG	DAMAGE DURING GROUND OPERATIONS Collisions (other than taxiing), loading / offloading damage, towing, contamination, extreme weather conditions

EDP / Automated Equipment Failure		
55	ED	DEPARTURE CONTROL Failure of automated systems, including check-in; load control systems producing mass and balance
56	EC	CARGO PREPARATION DOCUMENTATION Failure of documentation and / or load control systems covering cargo
57	EF	FLIGHT PLANS Failure of automated flight plan systems

83	AE	ATFM DUE TO RESTRICTION AT DESTINATION AIRPORT Airport and / or runway closed due to obstruction, industrial action, staff shortage, political unrest, noise abatement, night curfew, special flights
84	AW	ATFM DUE TO WEATHER AT DESTINATION

Airport and Government Authorities		
85	AS	MANDATORY SECURITY Passengers, baggage, crew, etc.
86	AG	IMMIGRATION, CUSTOMS, HEALTH Passengers, crew
87	AF	AIRPORT FACILITIES Parking stands, ramp congestion, lighting, buildings, gate limitations etc.
88	AD	RESTRICTIONS AT DESTINATION AIRPORT Airport and / or runway closed due to obstruction industrial action, staff shortage, political unrest, noise abatement, night curfew, special flights
89	AM	RESTRICTIONS AT AIRPORT OF DEPARTURE Including air traffic services, start-up and pushback, airport and / or runway closed due to obstruction or weather (restriction due to weather in case of ATFM only) industrial action, staff shortage, political unrest, noise abatement, night curfew, special flights

Reactionary		
91	RL	LOAD CONNECTION Awaiting load from another flight
92	RT	THROUGH CHECK-IN ERROR Passenger or baggage check-in error at originating station
93	RA	AIRCRAFT ROTATION Late arrival of aircraft from another flight or previous sector
94	RS	CABIN CREW ROTATION Awaiting cabin crew from another flight
95	RC	CREW ROTATION Awaiting flight deck, or entire crew, from another flight
96	RO	OPERATIONS CONTROL Re-routing, diversion, consolidation, aircraft change for reasons other than technical

Miscellaneous		
97	MI	INDUSTRIAL ACTION WITHIN OWN AIRLINE
98	MO	INDUSTRIAL ACTION OUTSIDE OWN AIRLINE Industrial action (except Air Traffic Control Services)
99	MX	MISCELLANEOUS No suitable code; explain reason(s) in plain text

Prilog 4. Tablica korelacije IATA kodova kašnjenja i EUROCONTROL NM kodova

Correlation between IATA Delay Codes and the NM Regulation Reasons					
NM				IATA	
Regulation cause	CODE	Regulation Location	GUIDELINES	Code	Delay Cause
ATC capacity	C	D	En Route: Demand exceeds or complexity reduces declared or expected ATC capacity Airport: Demand exceeds declared or expected ATC capacity.	89	RESTRICTIONS AT AIRPORT OF DEPARTURE
		E		81	ATFM due to ATC ENROUTE DEMAND / CAPACITY
		A		83	ATFM due to RESTRICTION AT DESTINATION AIRPORT
ATC industrial action	I	D	Reduction in any capacity due to industrial action by ATC staff	89	RESTRICTIONS AT AIRPORT OF DEPARTURE
		E		82	ATFM due to ATC STAFF / EQUIPMENT ENROUTE
		A		83	ATFM due to RESTRICTION AT DESTINATION AIRPORT
ATC routings	R	E	Network solutions / scenarios used to balance demand and capacity	81	ATFM due to ATC ENROUTE DEMAND / CAPACITY
ATC staffing	S	D	Unplanned staff shortage reducing expected capacity.	89	RESTRICTIONS AT AIRPORT OF DEPARTURE
		E		82	ATFM due to ATC STAFF / EQUIPMENT ENROUTE
		A		83	ATFM due to RESTRICTION AT DESTINATION AIRPORT
ATC equipment	T	D	Reduction of expected or declared capacity due to the non-availability or degradation of equipment used to provide an ATC service.	89	RESTRICTIONS AT AIRPORT OF DEPARTURE
		E		82	ATFM due to ATC STAFF / EQUIPMENT ENROUTE
		A		83	ATFM due to RESTRICTION AT DESTINATION AIRPORT
Accident / incident	A	D	Reduction of expected ATC capacity due to an aircraft accident / incident.	89	RESTRICTIONS AT AIRPORT OF DEPARTURE
		A		83	ATFM due to RESTRICTION AT DESTINATION AIRPORT
Aerodrome capacity	G	D	Reduction in declared or expected capacity due to the degradation or non-availability of infrastructure at an airport. e.g. Work in Progress, shortage of aircraft stands etc. Or when demand exceeds expected aerodrome capacity.	89	RESTRICTIONS AT AIRPORT OF DEPARTURE
		A		83	ATFM due to RESTRICTION AT DESTINATION AIRPORT
Aerodrome Services	E	D	Reduced capacity due to the degradation or non-availability of support equipment at an airport e.g. Fire Service, De-icing / snow removal equipment or other ground handling equipment.	99	OTHER
		A		99	OTHER
Industrial action NON-ATC	N	D	A reduction in expected / planned capacity due to industrial action by non ATC personnel.	98	INDUSTRIAL ACTION OUTSIDE OWN AIRLINE
		A		98	INDUSTRIAL ACTION OUTSIDE OWN AIRLINE
Airspace management	M	D	Reduction in declared or expected capacity following changes in airspace / route availability due to small scale military activity	89	RESTRICTIONS AT AIRPORT OF DEPARTURE
		E		82	ATFM due to ATC STAFF/EQUIPMENT ENROUTE
		A		83	ATFM due to RESTRICTION AT DESTINATION AIRPORT
Special event	P	D	Reduction in planned, declared or expected capacity or when demand exceeds the above capacities as a result of a major sporting, governmental or social event. It may also be used for ATM system upgrades and transitions. Large multinational military exercises may also use this reason. This category should only be used with prior approval during the planning process.	89	RESTRICTIONS AT AIRPORT OF DEPARTURE
		E		82	ATFM due to ATC STAFF / EQUIPMENT ENROUTE
		A		83	ATFM due to RESTRICTION AT DESTINATION AIRPORT
Weather	W	D	Reduction in expected capacity due to any weather phenomena. This includes where weather impacts airport infrastructure capacity, but where aerodrome services are operating as planned / expected.	89	RESTRICTIONS AT AIRPORT OF DEPARTURE
		E		81	ATFM due to ATC ENROUTE DEMAND / CAPACITY
		A		84	ATFM due to WEATHER AT DESTINATION
Environmental issue	V	D	Reduction in any capacity or when demand exceeds any capacity due to agreed local noise, runway usage or similar procedures. This category should only be used with prior agreement in the planning process.	89	RESTRICTIONS AT AIRPORT OF DEPARTURE
		E		81	ATFM due to ATC ENROUTE DEMAND / CAPACITY
		A		83	ATFM due to RESTRICTION AT DESTINATION AIRPORT
Other	O	D	This should only be used in exceptional circumstances when no other category is sufficient. An explanatory ANM remark MUST be given to allow post ops analysis.	89	RESTRICTIONS AT AIRPORT OF DEPARTURE
		E		81	ATFM due to ATC ENROUTE DEMAND / CAPACITY
		A		83	ATFM due to RESTRICTION AT DESTINATION AIRPORT

Prilog 5. Pseudokod algoritma dodjeljivanja optimalnoga vremena pokretanja motora zrakoplova

```
1 //Procedura za zrakoplov u odlasku
2
3
4 j_tren = 200001; //Oznaka trenutnog A/C u odlasku, 0-Ne postoji A/C u odlasku
5 j_tren_ACRH = 1; // Proces prihvata i opreme trenutnog A/C u odlasku: 1-Zavrasio, 0-Nije
6 j_tren_vs = A; //Vozna staza na koju ide trenutni A/C u odlasku: A-Alfa, B-Bravo
7 j_tren_poz = SP1; //Pozicija trenutnog A/C u odlasku: SP1-SP16
8 j_tren_st_up = 0; //Dopustenje za pokretanje motora trenutnog A/C u odlasku: 1-Dopusteno, 0-Nije
9
10 i_tren = 100001; //Oznaka trenutnog A/C u dolasku, 0-Ne postoji A/C u dolasku
11 i_tren_prag = 1; //Prag trenutnog A/C u dolasku: 1-23, 2-05
12 i_tren_poz = 1; //Pozicija A/C u dolasku: 1-Prosao prag, 2-Nalazi se između OM i praga, 3-Nalazi se između FAP i OM, 4-Nalazi se između 0<FAF<1min, 5-Nalazi se između 1<FAF<4min
13
14 i_sljed = 1; // Sljedeci A/C u dolasku: 1-Postoji, 0-Ne postoji
15 i_sljed_prag = 1; //Prag sljedeceg A/C u dolasku: 1-23, 2-05
16 i_sljed_poz = 1; //Pozicija sljedeceg A/C u dolasku: 1-Prosao prag, 2-Nalazi se između OM i praga, 3-Nalazi se između FAP i OM, 4-Nalazi se između 0<FAF<1min, 5-Nalazi se između 1<FAF<4min
17
18 i_treci = 1; // Treci A/C u dolasku: 1-Postoji, 0-Ne postoji
19 i_treci_prag = 1; //Prag treceg A/C u dolasku: 1-23, 2-05
20 i_treci_poz = 1; //Pozicija treceg A/C u dolasku: 1-Prosao prag, 2-Nalazi se između OM i praga, 3-Nalazi se između FAP i OM, 4-Nalazi se između 0<FAF<1min, 5-Nalazi se između 1<FAF<4min
21
22 j_pret = 1; //Prethodni A/C u odlasku: 1-Postoji, 0-Ne postoji
23 j_pret_st_up = 0; //Dopustenje za pokretanje motora prethodnog A/C u odlasku: 1-Dopusteno, 0-Nije
24 j_tren_poz = 1; //Pozicija trenutnog A/C u odlasku: 1-RHP, 2-0<RHP<1min, 3-1<RHP<2min, 4-RHP>2min
25
26
27 while (1)
28 {
29     if (j_tren == 0 || j_tren_ACRH == 0) //Ne postoji A/C u odlasku ili ACRH nije zavrasio
30     {
31         break;
32     }
33     elseif (j_tren != 0 && j_tren_ACRH == 1) //Postoji A/C u odlasku i ACRH je zavrasio
34     {
35         if (j_tren_vs == A) //A/C u odlasku ide na Alfa
36         {
37             if (j_tren_poz == SP1 || j_tren_poz == SP2 || j_tren_poz == SP9)
38             {
39                 if (j_pret == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku
40                 {
41                     if (j_pret_st_up == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku je dobio start up
42                     {break;}
43                     elseif (j_pret_st_up == 0) //Postoji prethodni A/C u odlasku nije dobio start up
44                     {
45                         if (j_tren_poz == 1) //Prethodni A/C u odlasku se nalazi na RHP
46                         {
47                             if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
48                             {
49                                 if (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
50                                 {
51                                     if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
52                                     {
53                                         if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
54                                         {
55                                             if (i_sljed_poz == 3) // Sljedeci A/C u dolasku se nalazi između FAP i OM
56                                             {
57                                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
58                                                 break;
59                                             }
60                                             elseif (i_sljed_poz == 4) // Sljedeci A/C u dolasku se nalazi između 0<FAF<1min
61                                             {
62                                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
63                                                 break;
64                                             }
65                                             else
66                                             {break;}
67                                         }
68                                     }
69                                     elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
70                                     {
71                                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
72                                         break;
73                                     }
74                                     else
75                                     {break;}
76                                 }
77                             }
78                         }
79                     }
80                 }
81             }
82         }
83     }
84 }
```

```

76         elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi između OM i praga
77         {
78             if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeći A/C u dolasku koji slijeće na prag 05
79             {
80                 if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeći A/C u dolasku se nalazi između FAP i OM
81                 {
82                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
83                     break;
84                 }
85                 elseif (i_sljed_poz == 4) // Slijedeći A/C u dolasku se nalazi između 0<FAF<lmin
86                 {
87                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
88                     break;
89                 }
90                 else
91                 {break;}
92             }
93             elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeći A/C u dolasku koji slijeće na prag 05
94             {
95                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
96                 break;
97             }
98             else
99             {break;}
100         }
101         elseif (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku se nalazi između FAP i OM
102         {
103             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
104             break;
105         }
106         elseif (i_tren_poz == 4) //A/C u dolasku se nalazi između 0<FAF<lmin
107         {
108             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
109             break;
110         }
111         else
112         {break;}
113     }
114 }
115 elseif (i_tren == 0) //N postoji A/C u dolasku
116 {
117     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
118     break;
119 }
120 }
121 elseif (j_tren_poz == 2) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi između 0<RHP<lmin
122 {
123     if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
124     {
125         if (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
126         {
127             if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
128             {
129                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeći A/C u dolasku koji slijeće na prag 05
130                 {
131                     if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeći A/C u dolasku se nalazi između FAP i OM
132                     {
133                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
134                         break;
135                     }
136                     elseif (i_sljed_poz == 4) // Slijedeći A/C u dolasku se nalazi između 0<FAF<lmin
137                     {
138                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
139                         break;
140                     }
141                     else
142                     {break;}
143                 }
144                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeći A/C u dolasku koji slijeće na prag 05
145                 {
146                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
147                     break;
148                 }
149                 else
150                 {break;}
151             }
152             elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi između OM i praga
153             {
154                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeći A/C u dolasku koji slijeće na prag 05
155                 {
156                     if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeći A/C u dolasku se nalazi između FAP i OM
157                     {
158                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
159                         break;
160                     }
161                     elseif (i_sljed_poz == 4) // Slijedeći A/C u dolasku se nalazi između 0<FAF<lmin
162                     {
163                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
164                         break;
165                     }
166                     else
167                     {break;}
168                 }
169                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeći A/C u dolasku koji slijeće na prag 05
170                 {
171                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
172                     break;
173                 }
174                 else
175                 {break;}
176             }
177             elseif (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku se nalazi između FAP i OM
178             {
179                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
180                 break;
181             }
182             elseif (i_tren_poz == 4) //A/C u dolasku se nalazi između 0<FAF<lmin
183             {
184                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopuštenje za pokretanje motora
185                 break;
186             }
187             else
188             {break;}
189         }
190     }
191     elseif (i_tren == 0) //N postoji A/C u dolasku
192     {

```

```

193     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
194     break;
195 }
196 }
197 elseif (j_tren_poz == 3) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi izmedu 1<RHP<2min
198 {
199     if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
200     {
201         if (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
202         {
203             if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
204             {
205                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
206                 {
207                     if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
208                     {
209                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
210                         break;
211                     }
212                     elseif (i_sljed_poz == 4) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu 0<FAP<1min
213                     {
214                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
215                         break;
216                     }
217                     else
218                     {break;}
219                 }
220                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
221                 {
222                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
223                     break;
224                 }
225                 else
226                 {break;}
227             }
228             elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
229             {
230                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
231                 {
232                     if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
233                     {
234                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
235                         break;
236                     }
237                     elseif (i_sljed_poz == 4) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu 0<FAP<1min
238                     {
239                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
240                         break;
241                     }
242                     else
243                     {break;}
244                 }
245                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
246                 {
247                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
248                     break;
249                 }
250                 else
251                 {break;}
252             }
253             elseif (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
254             {
255                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
256                 break;
257             }
258             elseif (i_tren_poz == 4) //A/C u dolasku se nalazi izmedu 0<FAP<1min
259             {
260                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
261                 break;
262             }
263             else
264             {break;}
265         }
266     }
267     elseif (i_tren == 0) //Nepostoji A/C u dolasku
268     {
269         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
270         break;
271     }
272     else
273     {break;}
274 }
275 }
276 }
277 elseif (j_pret == 0) //Nepostoji prethodni A/C u odlasku
278 {
279     if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
280     {
281         if (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
282         {
283             if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
284             {
285                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
286                 {
287                     if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
288                     {
289                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
290                         break;
291                     }
292                     elseif (i_sljed_poz == 4) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu 0<FAP<1min
293                     {
294                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
295                         break;
296                     }
297                     else
298                     {break;}
299                 }
300                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
301                 {
302                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
303                     break;
304                 }
305                 else
306                 {break;}
307             }
308             elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
309             {

```

```

310         if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
311         {
312             if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
313             {
314                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
315                 break;
316             }
317             elseif (i_sljed_poz == 4) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu 0<FAP<1min
318             {
319                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
320                 break;
321             }
322             else
323             {break;}
324         }
325         elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
326         {
327             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
328             break;
329         }
330         else
331         {break;}
332     }
333     elseif (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
334     {
335         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
336         break;
337     }
338     elseif (i_tren_poz == 4) //A/C u dolasku se nalazi izmedu 0<FAP<1min
339     {
340         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
341         break;
342     }
343     else
344     {break;}
345 }
346
347 elseif if (i_tren == 0) //Nepostoji A/C u dolasku
348 {
349     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
350     break;
351 }
352 }
353
354 elseif (j_tren_poz != SP1 || j_tren_poz != SP2 || j_tren_poz != SP7 || j_tren_poz != SP9 || j_tren_poz != SP12 || j_tren_poz != SP16)
355 {
356     if (j_pret == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku
357     {
358         if (j_pret_st_up == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku je dobio start up
359         {break;}
360         elseif (j_pret_st_up == 0) //Postoji prethodni A/C u odlasku nije dobio start up
361         {
362             if (j_tren_poz == 1) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi na RHP
363             {
364                 if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
365                 {
366                     if (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijece na prag 05
367                     {
368                         if (i_tren_poz == 1) //A/C u odlasku je prosao prag
369                         {
370                             if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
371                             {
372                                 if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
373                                 {
374                                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
375                                     break;
376                                 }
377                                 else
378                                 {break;}
379                             }
380                             elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
381                             {
382                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
383                                 break;
384                             }
385                             else
386                             {break;}
387                         }
388                     }
389                     elseif (i_tren_poz == 4) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
390                     {
391                         if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
392                         {
393                             if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
394                             {
395                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
396                                 break;
397                             }
398                             else
399                             {break;}
400                         }
401                     }
402                     elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
403                     {
404                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
405                         break;
406                     }
407                     else
408                     {break;}
409                 }
410                 elseif (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
411                 {
412                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
413                     break;
414                 }
415                 else
416                 {break;}
417             }
418             elseif (i_tren == 0) //Nepostoji A/C u dolasku
419             {
420                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
421                 break;
422             }
423         }
424     }
425     elseif (j_tren_poz == 2) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi izmedu 0<RHP<1min
426     {
427         if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
428         {

```

```

427         if (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
428         {
429             if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
430             {
431                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
432                 {
433                     if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
434                     {
435                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
436                         break;
437                     }
438                     else
439                     {break;}
440                 }
441                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
442                 {
443                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
444                     break;
445                 }
446                 else
447                 {break;}
448             }
449             elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
450             {
451                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
452                 {
453                     if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
454                     {
455                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
456                         break;
457                     }
458                     else
459                     {break;}
460                 }
461                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
462                 {
463                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
464                     break;
465                 }
466                 else
467                 {break;}
468             }
469             elseif (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
470             {
471                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
472                 break;
473             }
474             else
475             {break;}
476         }
477     }
478     elseif (i_tren == 0) //N postoji A/C u dolasku
479     {
480         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
481         break;
482     }
483 }
484 else
485 {break;}
486 }
487 }
488 elseif (j_pret == 0) //N postoji prethodni A/C u odlasku
489 {
490     if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
491     {
492         if (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
493         {
494             if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
495             {
496                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
497                 {
498                     if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
499                     {
500                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
501                         break;
502                     }
503                     else
504                     {break;}
505                 }
506                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
507                 {
508                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
509                     break;
510                 }
511                 else
512                 {break;}
513             }
514             elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
515             {
516                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
517                 {
518                     if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
519                     {
520                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
521                         break;
522                     }
523                     else
524                     {break;}
525                 }
526                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
527                 {
528                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
529                     break;
530                 }
531                 else
532                 {break;}
533             }
534             elseif (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
535             {
536                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
537                 break;
538             }
539             else
540             {break;}
541         }
542     }
543     elseif if (i_tren == 0) //N postoji A/C u dolasku

```



```

544     {
545         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
546         break;
547     }
548 }
549 }
550 elseif (j_tren_poz == SP12 || j_tren_poz == SP16)
551 {
552     if (j_pret == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku
553     {
554         if (j_pret_st_up == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku je dobio start up
555         {break;}
556         elseif (j_pret_st_up == 0) //Postoji prethodni A/C u odlasku nije dobio start up
557         {
558             if (j_tren_poz == 1) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi na RHP
559             {
560                 if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
561                 {
562                     if (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
563                     {
564                         if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
565                         {
566                             if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
567                             {
568                                 if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi između FAP i OM
569                                 {
570                                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
571                                     break;
572                                 }
573                                 else
574                                 {break;}
575                             }
576                             elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
577                             {
578                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
579                                 break;
580                             }
581                             else
582                             {break;}
583                         }
584                     }
585                     elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi između OM i praga
586                     {
587                         if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
588                         {
589                             if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi između FAP i OM
590                             {
591                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
592                                 break;
593                             }
594                             else
595                             {break;}
596                         }
597                         elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
598                         {
599                             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
600                             break;
601                         }
602                         else
603                         {break;}
604                     }
605                     elseif (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku se nalazi između FAP i OM
606                     {
607                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
608                         break;
609                     }
610                     else
611                     {break;}
612                 }
613             }
614             elseif (i_tren == 0) //Nepostoji A/C u dolasku
615             {
616                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
617                 break;
618             }
619         }
620         else
621         {break;}
622     }
623 }
624 elseif (j_pret == 0) //Nepostoji prethodni A/C u odlasku
625 {
626     if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
627     {
628         if (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
629         {
630             if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
631             {
632                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
633                 {
634                     if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi između FAP i OM
635                     {
636                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
637                         break;
638                     }
639                     else
640                     {break;}
641                 }
642                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
643                 {
644                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
645                     break;
646                 }
647                 else
648                 {break;}
649             }
650             elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi između OM i praga
651             {
652                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
653                 {
654                     if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi između FAP i OM
655                     {
656                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
657                         break;
658                     }
659                     else
660                     {break;}
661                 }
662             }
663         }
664     }

```

```

661         elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
662         {
663             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za pokretanje motora
664             break;
665         }
666         else
667             (break;);
668     }
669     elseif (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
670     {
671         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za pokretanje motora
672         break;
673     }
674     else
675         (break;);
676 }
677
678 elseif if (i_tren == 0) //N postoji A/C u dolasku
679 {
680     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za pokretanje motora
681     break;
682 }
683 }
684
685 elseif (j_tren_poz == SP7)
686 {
687     if (j_pret == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku
688     {
689         if (j_pret_st_up == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku je dobio start up
690             (break;);
691         elseif (j_pret_st_up == 0) //Postoji prethodni A/C u odlasku nije dobio start up
692         {
693             if (j_tren_poz == 1) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi na RHP
694             {
695                 if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
696                 {
697                     if (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijece na prag 05
698                     {
699                         {f (i_tren_noz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
700                         {
701                             if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
702                             (break;);
703                             elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
704                             {
705                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za pokretanje motora
706                                 break;
707                             }
708                             else
709                                 (break;);
710                         }
711                         elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
712                         {
713                             if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
714                             (break;);
715                             elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
716                             {
717                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za pokretanje motora
718                                 break;
719                             }
720                             else
721                                 (break;);
722                         }
723                         else
724                             (break;);
725                     }
726                 }
727                 elseif (i_tren == 0) //N postoji A/C u dolasku
728                 {
729                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za pokretanje motora
730                     break;
731                 }
732             }
733             else
734                 (break;);
735         }
736     }
737 }
738
739 elseif (j_pret == 0) //N postoji prethodni A/C u odlasku
740 {
741     if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
742     {
743         if (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijece na prag 05
744         {
745             if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
746             {
747                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
748                 (break;);
749                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
750                 {
751                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za pokretanje motora
752                     break;
753                 }
754                 else
755                     (break;);
756             }
757             elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
758             {
759                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 2); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
760                 (break;);
761                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
762                 {
763                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za pokretanje motora
764                     break;
765                 }
766                 else
767                     (break;);
768             }
769             else
770                 (break;);
771         }
772     }
773     elseif if (i_tren == 0) //N postoji A/C u dolasku
774     {
775         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopusjenje za pokretanje motora
776         break;
777     }
778 }

```

```

778 }
779 elseif (j_tren_sv == B) //A/C u odlasku ide na Bravo
780 {
781     if (j_tren_poz == SP8 || j_tren_poz == SP9 || j_tren_poz == SP10 || j_tren_poz == SP11)
782     {
783         if (j_pret == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku
784         {
785             if (j_pret_st_up == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku je dobio start up
786             {break;}
787             elseif (j_pret_st_up == 0) //Postoji prethodni A/C u odlasku nije dobio start up
788             {
789                 if (j_tren_poz == 1) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi na RHP
790                 {
791                     if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
792                     {
793                         if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
794                         {
795                             if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 1); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
796                             {
797                                 if (i_sljed_poz == 2) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
798                                 {
799                                     if (i_treci == 0 && i_treci_prag = 1); // N postoji treci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
800                                     {
801                                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
802                                         break;
803                                     }
804                                     else
805                                     {break;}
806                                 }
807                                 else
808                                 {break;}
809                             }
810                             elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
811                             {
812                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
813                                 break;
814                             }
815                             else
816                             {break;}
817                         }
818                     elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
819                     {
820                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
821                         break;
822                     }
823                     else
824                     {break;}
825                 }
826             elseif (i_tren == 0) //N postoji A/C u dolasku
827             {
828                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
829                 break;
830             }
831         }
832     }
833     elseif (j_tren_poz == 2) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi izmedu 0<RHP<1min
834     {
835         if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
836         {
837             if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
838             {
839                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 1); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
840                 {
841                     if (i_sljed_poz == 2) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
842                     {
843                         if (i_treci == 0 && i_treci_prag = 1); // N postoji treci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
844                         {
845                             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
846                             break;
847                         }
848                         else
849                         {break;}
850                     }
851                     else
852                     {break;}
853                 }
854                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
855                 {
856                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenja za pokretanje motora
857                     break;
858                 }
859                 else
860                 {break;}
861             }
862             elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
863             {
864                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
865                 break;
866             }
867             else
868             {break;}
869         }
870         elseif (i_tren == 0) //N postoji A/C u dolasku
871         {
872             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
873             break;
874         }
875     }
876     elseif (j_tren_poz == 3) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi izmedu 1<RHP<2min
877     {
878         if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
879         {
880             if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
881             {
882                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 1); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
883                 {
884                     if (i_sljed_poz == 2) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
885                     {
886                         if (i_treci == 0 && i_treci_prag = 1); // N postoji treci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
887                         {
888                             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
889                             break;
890                         }
891                         else
892                         {break;}
893                     }
894                     else
895                     {break;}
896                 }
897             }
898         }

```

```

895         }
896         elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
897         {
898             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
899             break;
900         }
901         else
902         {break;}
903     }
904     elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
905     {
906         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
907         break;
908     }
909     else
910     {break;}
911 }
912 elseif (i_tren == 0) //N postoji A/C u dolasku
913 {
914     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
915     break;
916 }
917 }
918 else
919 {break;}
920 }
921 }
922 elseif (j_pret == 0) //N postoji prethodni A/C u odlasku
923 {
924     if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
925     {
926         if (i_tren_prag == 1) //A/C u dolasku slijeće na prag 23
927         {
928             if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
929             {
930                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 1); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
931                 {
932                     if (i_sljed_poz == 2) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
933                     {
934                         if (i_treci == 1 && i_treci_prag = 1); // Postoji treci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
935                         {
936                             if (i_treci_poz == 3) // Treci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
937                             {
938                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
939                                 break;
940                             }
941                             else
942                             {break;}
943                         }
944                         elseif (i_treci == 0 && i_treci_prag = 1); // N postoji treci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
945                         {
946                             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
947                             break;
948                         }
949                     }
950                     elseif (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
951                     {
952                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
953                         break;
954                     }
955                     else
956                     {break;}
957                 }
958                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
959                 {
960                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
961                     break;
962                 }
963                 else
964                 {break;}
965             }
966             elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
967             {
968                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 1); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
969                 {
970                     if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
971                     {
972                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
973                         break;
974                     }
975                     else
976                     {break;}
977                 }
978                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
979                 {
980                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
981                     break;
982                 }
983                 else
984                 {break;}
985             }
986             elseif (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
987             {
988                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
989                 break;
990             }
991             else
992             {break;}
993         }
994     }
995     elseif (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
996     {
997         if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
998         {
999             if (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
1000             {
1001                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1002                 break;
1003             }
1004             else
1005             {break;}
1006         }
1007         elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
1008         {
1009             if (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
1010             {
1011                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora

```

```

1012         }
1013         else
1014         {break;}
1015     }
1016     else
1017     {break;}
1018 }
1019 }
1020 else if (i_tren == 0) //Nepostoji A/C u dolasku
1021 {
1022     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1023     break;
1024 }
1025 }
1026 }
1027 elseif (j_tren_poz == SP12 || j_tren_poz == SP14)
1028 {
1029     if (j_pret == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku
1030     {
1031         if (j_pret_st_up == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku je dobio start up
1032         {break;}
1033         elseif (j_pret_st_up == 0) //Postoji prethodni A/C u odlasku nije dobio start up
1034         {
1035             if (j_tren_poz == 1) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi na RHP
1036             {
1037                 if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
1038                 {
1039                     if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
1040                     {
1041                         if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 1); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1042                         {
1043                             if (i_sljed_poz == 2) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
1044                             {
1045                                 if (i_treci == 0 && i_treci_prag = 1); // Nepostoji treci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1046                                 {
1047                                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1048                                     break;
1049                                 }
1050                                 else
1051                                 {break;}
1052                             }
1053                             else
1054                             {break;}
1055                         }
1056                         elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1057                         {
1058                             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1059                             break;
1060                         }
1061                         else
1062                         {break;}
1063                     }
1064                     elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
1065                     {
1066                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1067                         break;
1068                     }
1069                     else
1070                     {break;}
1071                 }
1072                 elseif (i_tren == 0) //Nepostoji A/C u dolasku
1073                 {
1074                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1075                     break;
1076                 }
1077             }
1078             elseif (j_tren_poz == 2) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi izmedu 0<RHP<1min
1079             {
1080                 if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
1081                 {
1082                     if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
1083                     {
1084                         if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 1); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1085                         {
1086                             if (i_sljed_poz == 2) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
1087                             {
1088                                 if (i_treci == 0 && i_treci_prag = 1); // Nepostoji treci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1089                                 {
1090                                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1091                                     break;
1092                                 }
1093                                 else
1094                                 {break;}
1095                             }
1096                             else
1097                             {break;}
1098                         }
1099                         elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1100                         {
1101                             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1102                             break;
1103                         }
1104                         else
1105                         {break;}
1106                     }
1107                     elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
1108                     {
1109                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1110                         break;
1111                     }
1112                     else
1113                     {break;}
1114                 }
1115                 elseif (i_tren == 0) //Nepostoji A/C u dolasku
1116                 {
1117                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1118                     break;
1119                 }
1120             }
1121             elseif (j_tren_poz == 3) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi izmedu 1<RHP<2min
1122             {
1123                 if (i_tren == 0) //Nepostoji A/C u dolasku
1124                 {
1125                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1126                     break;
1127                 }
1128                 else

```

```

1129         {break;}
1130     }
1131     else
1132     {break;}
1133 }
1134 }
1135 elseif (j_pret == 0) //Nepostoji prethodni A/C u odlasku
1136 {
1137     if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
1138     {
1139         if (i_tren_prag == 1) //A/C u dolasku slijeće na prag 23
1140         {
1141             if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
1142             {
1143                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 1); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1144                 {
1145                     if (i_sljed_poz == 2) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi između OM i praga
1146                     {
1147                         if (i_treci == 0 && i_treci_prag = 1); // Nepostoji treci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1148                         {
1149                             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1150                             break;
1151                         }
1152                     }
1153                     else
1154                     {break;}
1155                 }
1156                 else
1157                 {break;}
1158             }
1159             elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1160             {
1161                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1162                 break;
1163             }
1164             else
1165             {break;}
1166         }
1167         elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi između OM i praga
1168         {
1169             if (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1170             {
1171                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1172                 break;
1173             }
1174             else
1175             {break;}
1176         }
1177         else
1178         {break;}
1179     }
1180     elseif (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
1181     {
1182         if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
1183         {
1184             if (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
1185             {
1186                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1187                 break;
1188             }
1189             else
1190             {break;}
1191         }
1192         elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi između OM i praga
1193         {
1194             if (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
1195             {
1196                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1197                 break;
1198             }
1199             else
1200             {break;}
1201         }
1202         else
1203         {break;}
1204     }
1205 }
1206 }
1207 }
1208 }
1209 }
1210 }
1211 }
1212 }
1213 }
1214 }
1215 }
1216 }
1217 }
1218 }
1219 }
1220 }
1221 }
1222 }
1223 }
1224 }
1225 }
1226 }
1227 }
1228 }
1229 }
1230 }
1231 }
1232 }
1233 }
1234 }
1235 }
1236 }
1237 }
1238 }
1239 }
1240 }
1241 }
1242 }
1243 }
1244 }
1245 }

```

```

1246     {
1247         if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
1248         {
1249             if (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1250             {
1251                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1252                 break;
1253             }
1254             else
1255             {break;}
1256         }
1257         else
1258         {break;}
1259     }
1260     elseif (i_tren == 0) //N postoji A/C u dolasku
1261     {
1262         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1263         break;
1264     }
1265 }
1266 else
1267 {break;}
1268 }
1269 }
1270 elseif (j_pret == 0) //N postoji prethodni A/C u odlasku
1271 {
1272     if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
1273     {
1274         if (i_tren_prag == 1) //A/C u dolasku slijeće na prag 23
1275         {
1276             if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
1277             {
1278                 if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 1); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1279                 {
1280                     if (i_sljed_poz == 2) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
1281                     {
1282                         if (i_treci == 1 && i_treci_prag = 1); // Postoji treci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1283                         {
1284                             if (i_treci_poz == 3) // Treci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
1285                             {
1286                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1287                                 break;
1288                             }
1289                             else
1290                             {break;}
1291                         }
1292                         elseif (i_treci == 0 && i_treci_prag = 1); // N postoji treci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1293                         {
1294                             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1295                             break;
1296                         }
1297                     }
1298                     elseif (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
1299                     {
1300                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1301                         break;
1302                     }
1303                     else
1304                     {break;}
1305                 }
1306                 elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1307                 {
1308                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1309                     break;
1310                 }
1311                 else
1312                 {break;}
1313             }
1314         }
1315         elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
1316         {
1317             if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 1); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1318             {
1319                 if (i_sljed_poz == 3) // Slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
1320                 {
1321                     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1322                     break;
1323                 }
1324                 else
1325                 {break;}
1326             }
1327             elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1328             {
1329                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1330                 break;
1331             }
1332             else
1333             {break;}
1334         }
1335         elseif (i_tren_poz == 3) //A/C u dolasku se nalazi izmedu FAP i OM
1336         {
1337             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1338             break;
1339         }
1340         else
1341         {break;}
1342     }
1343 }
1344 elseif (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
1345 {
1346     if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
1347     {
1348         if (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
1349         {
1350             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1351             break;
1352         }
1353         else
1354         {break;}
1355     }
1356     elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
1357     {
1358         if (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
1359         {
1360             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1361             break;
1362         }
1363         else
1364         {break;}
1365     }

```

```

1363     }
1364     else
1365     {break;}
1366     }
1367 }
1368
1369     elseif (i_tren == 0) //Nepostoji A/C u dolasku
1370     {
1371         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1372         break;
1373     }
1374 }
1375
1376     elseif (j_tren_poz == SP1 || j_tren_poz == SP2)
1377     {
1378         if (j_pret == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku
1379         {
1380             if (j_pret_st_up == 1) //Postoji prethodni A/C u odlasku je dobio start up
1381             {break;}
1382             elseif (j_pret_st_up == 0) //Postoji prethodni A/C u odlasku nije dobio start up
1383             {
1384                 if (j_tren_poz == 1) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi na RHP
1385                 {
1386                     if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
1387                     {
1388                         if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
1389                         {
1390                             if (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1391                             {
1392                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1393                                 break;
1394                             }
1395                             else
1396                             {break;}
1397                         }
1398                         else
1399                         {break;}
1400                     }
1401                     elseif (i_tren == 0) //Nepostoji A/C u dolasku
1402                     {
1403                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1404                         break;
1405                     }
1406                 }
1407                 elseif (j_tren_poz == 2) //Predhodni A/C u odlasku se nalazi izmedu 0<RHP<lmin
1408                 {
1409                     if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
1410                     {
1411                         if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
1412                         {
1413                             if (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1414                             {
1415                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1416                                 break;
1417                             }
1418                             else
1419                             {break;}
1420                         }
1421                         else
1422                         {break;}
1423                     }
1424                     elseif (i_tren == 0) //Nepostoji A/C u dolasku
1425                     {
1426                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1427                         break;
1428                     }
1429                 }
1430                 else
1431                 {break;}
1432             }
1433         }
1434     }
1435     elseif (j_pret == 0) //Nepostoji prethodni A/C u odlasku
1436     {
1437         if (i_tren != 0) //Postoji A/C u dolasku
1438         {
1439             if (i_tren_prag == 1) //A/C u dolasku slijeće na prag 23
1440             {
1441                 if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag
1442                 {
1443                     if (i_sljed == 1 && i_sljed_prag = 1); // Postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1444                     {
1445                         if (i_sljed_poz == 2) // slijedeci A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
1446                         {
1447                             if (i_treci == 0 && i_treci_prag = 1); // Nepostoji treci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1448                             {
1449                                 j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1450                                 break;
1451                             }
1452                             else
1453                             {break;}
1454                         }
1455                         else
1456                         {break;}
1457                     }
1458                     elseif (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1459                     {
1460                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1461                         break;
1462                     }
1463                     else
1464                     {break;}
1465                 }
1466                 elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi izmedu OM i praga
1467                 {
1468                     if (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 1); // Nepostoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 23
1469                     {
1470                         j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1471                         break;
1472                     }
1473                     else
1474                     {break;}
1475                 }
1476                 else
1477                 {break;}
1478             }
1479             elseif (i_tren_prag == 2) //A/C u dolasku slijeće na prag 05
1480             {
1481                 if (i_tren_poz == 1) //A/C u dolasku je prosao prag

```



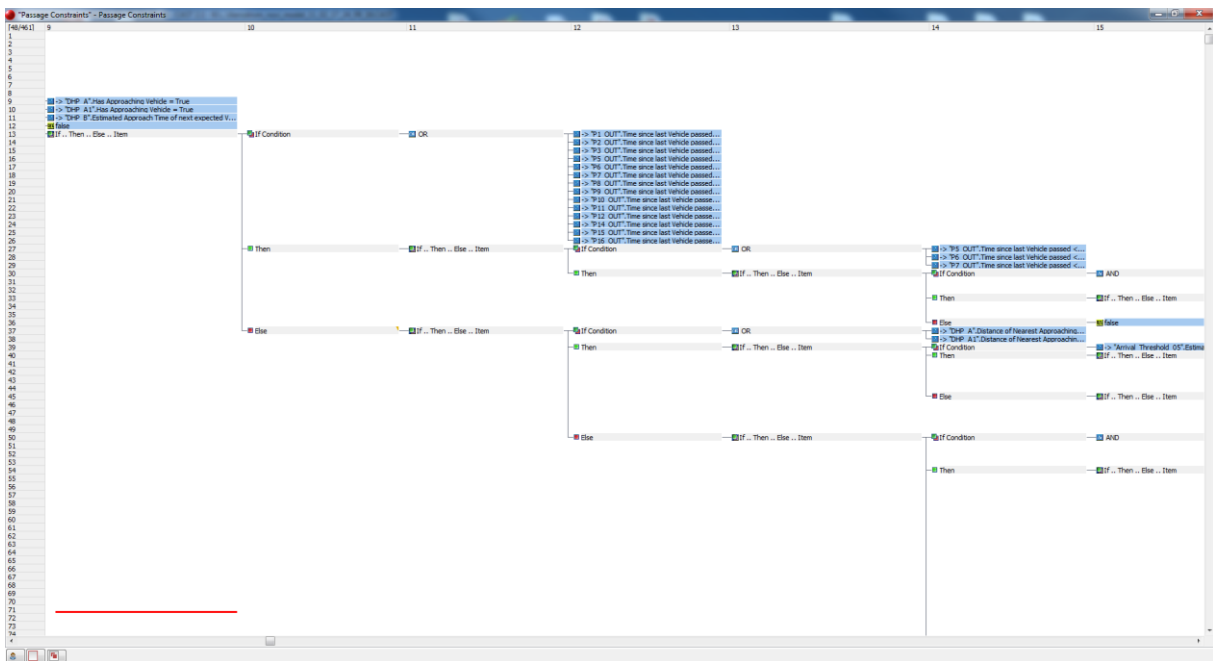
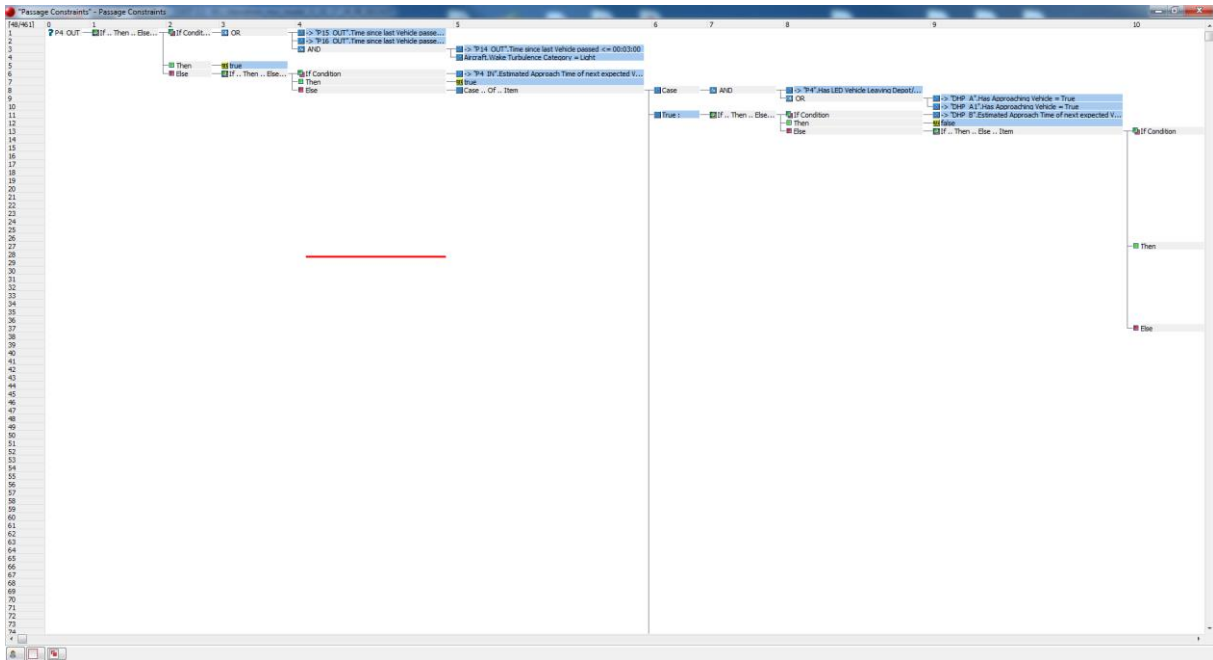
```

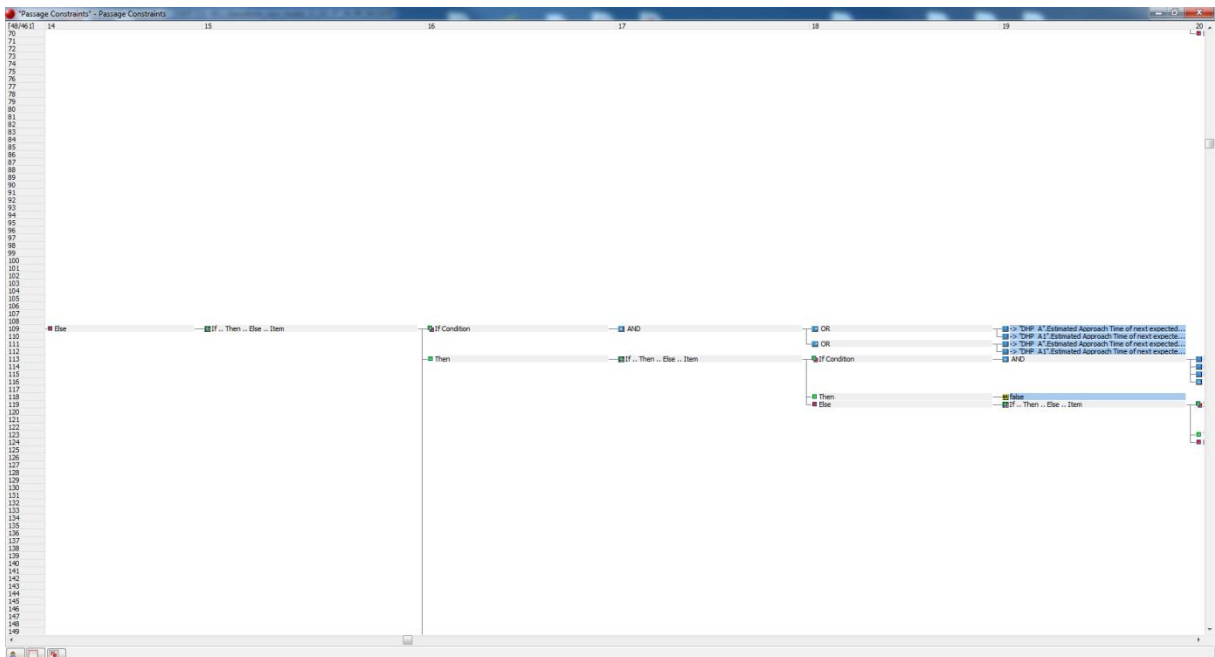
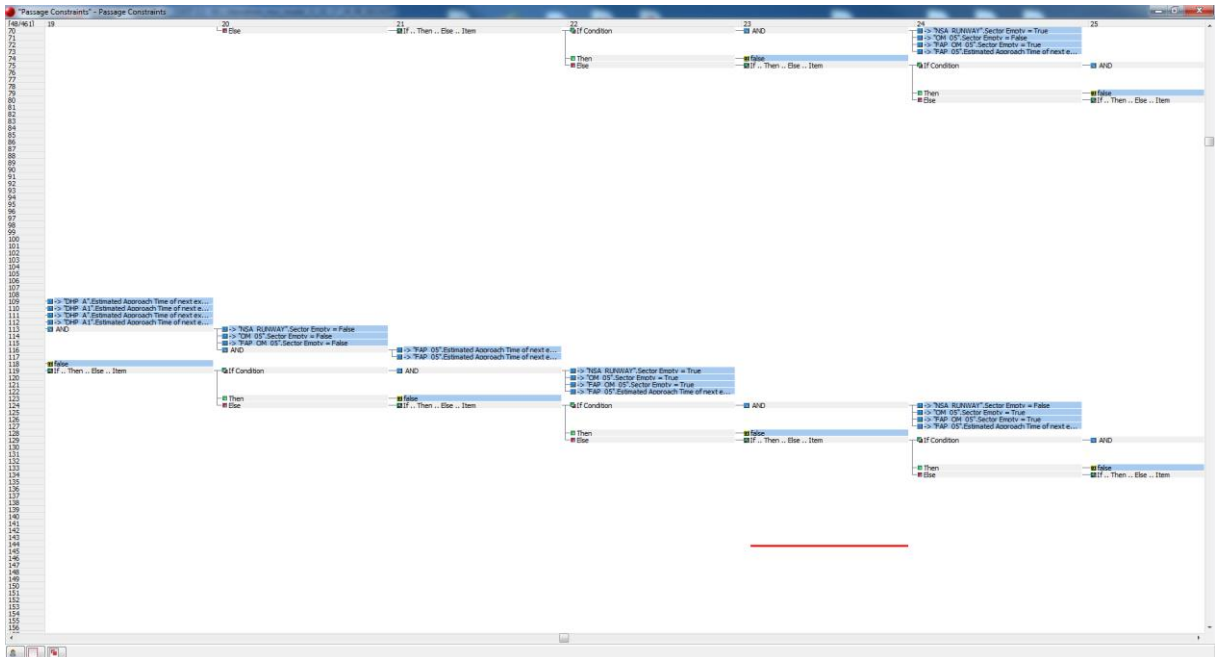
1480     {
1481         if (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
1482         {
1483             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1484             break;
1485         }
1486         else
1487             {break;}
1488     }
1489     elseif (i_tren_poz == 2) //A/C u dolasku se nalazi između OM i praga
1490     {
1491         if (i_sljed == 0 && i_sljed_prag = 2); // N postoji sljedeci A/C u dolasku koji slijece na prag 05
1492         {
1493             j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1494             break;
1495         }
1496         else
1497             {break;}
1498     }
1499     else
1500         {break;}
1501     }
1502 }
1503 elseif if (i_tren == 0) //N postoji A/C u dolasku
1504 {
1505     j_tren_st_up = 1; //A/C u odlasku je dobio dopustenje za pokretanje motora
1506     break;
1507 }
1508 }
1509 }
1510 }
1511 }
1512 ]

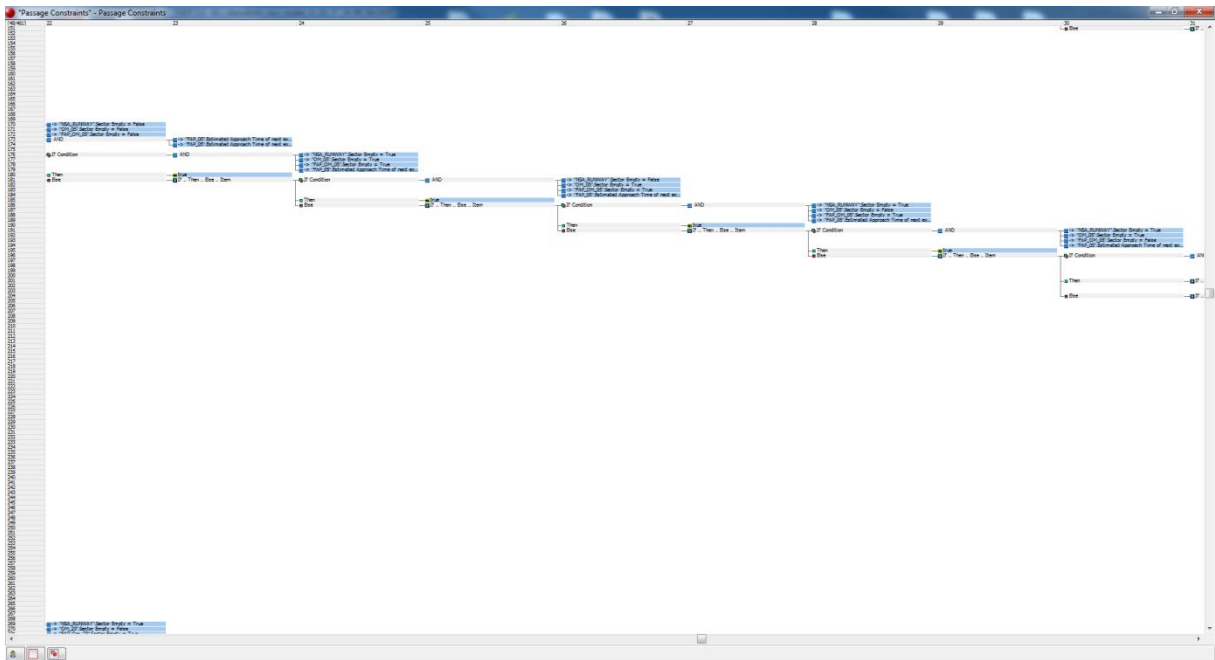
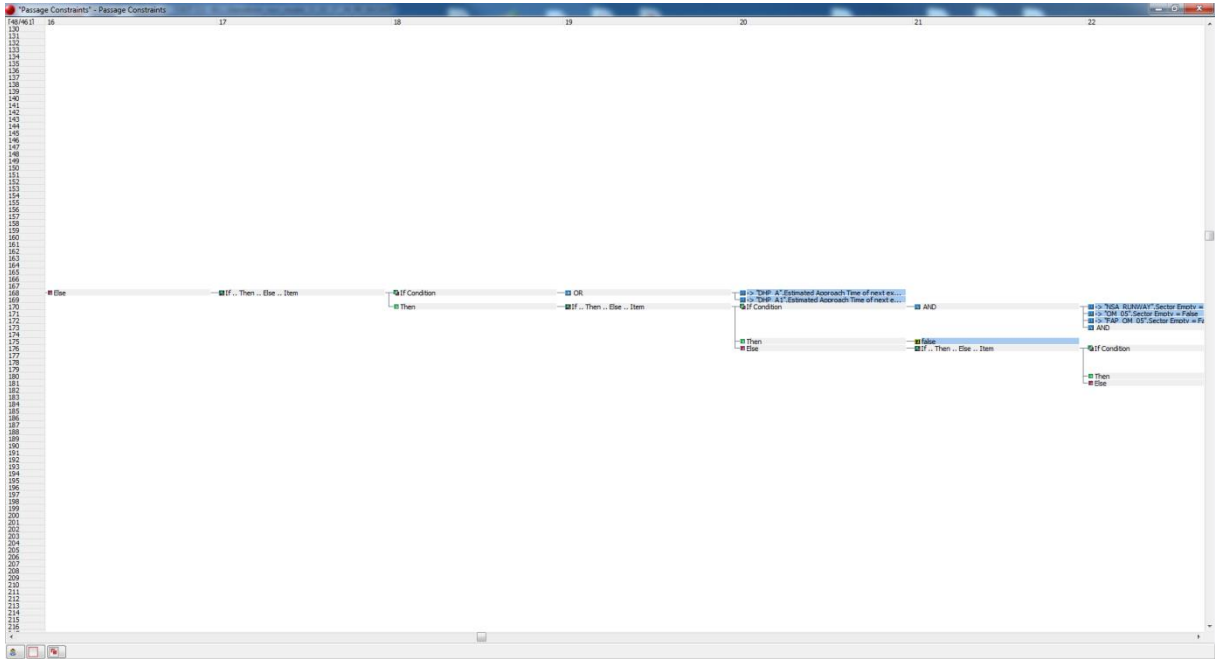
```

Normal text file length:53176 lines:1516 Ln:1470 Col:34 Sel:0 | 0 Dos:Windows UTF-8-BOM IN\$

Prilog 6. Dio upravljačkoga algoritma za parkirnu poziciju broj 4 (prag 05) kodiran u programskom jeziku CAST







Životopis

Ime i Prezime:	MATIJA BRAČIĆ
Matični broj znanstvenika:	329340
Znanstveno područje u kojem imate izbor:	TEHNIČKE ZNANOSTI
Znanstveno polje u kojem imate izbor:	TEHNOLOGIJA PROMETA I TRANSPORT
Životopis:	
<p>Matija Bračić rođen je 1985. godine u Zagrebu u Republici Hrvatskoj. Nakon završene osnove škole upisuje srednju elektrotehničku školu Nikola Tesla. Po završetku srednje škole upisuje Fakultet prometnih znanosti i Tehničko veleučilište u Zagrebu (Elektrotehnički odjel). Na Tehničkom je veleučilištu u Zagrebu, na Elektrotehničkom odjelu, diplomirao 2010. godine i stekao akademsku titulu stručnoga prvostupnika (baccalaureus) inženjera elektrotehnike. Godine 2011. diplomirao je na Fakultetu prometnih znanosti, Aeroprometni smjer na temu „JAVNE SIGURNOSNE ZONE U NEPOSREDNOJ BLIZINI ZRAČNIH LUKA“ (mentor: prof. dr. sc. Stanislav Pavlin) te stekao titulu diplomiranoga inženjera zračnoga prometa. Od 1. lipnja 2011. godine zaposlen je na Fakultetu prometnih znanosti u suradničkom zvanju asistenta. Na Fakultetu prometnih znanosti angažiran je na sljedećim kolegijima: Aerodromi, Osnove aerodroma, Planiranje aerodroma, Aerodromske operacije, Tehnologija zračnoga prometa, Tehnologija prihvata i otpreme zrakoplova, Planiranje uzračnom prometu, Izvanredni događaji u zrakoplovstvu te Simulacije u prometu.</p> <p>Voditelj je laboratorija za modeliranje i simulacije u zračnom prometu / upravljanje zračnim prometom, član Odbora za međunarodnu suradnju Fakulteta prometnih znanosti te recenzent u časopisu PROMET – Traffic&Transportation.</p> <p>Matija Bračić bio je angažiran kao istraživač na znanstvenoistraživačkom projektu Ministarstva znanosti obrazovanja i sporta „Strategijsko modeliranje razvoja zračnoga prometa“ pod vodstvom prof. dr. sc. Sanje Steiner (šifra projekta: 135-1352339-3045) s projektnom zadaćom istraživanja aerodromske operative. U periodu od 2013. do 2014. godine sudjelovao je na projektu WINGS, nositelja Zračne luke Zagreb d.o.o., a koji je financiran i odobren od strane Europske unije u okviru programa IPA. Matija Bračić bio je voditelj/koordinator za Fakultet prometnih znanosti koji je participirao u projektu WINGS u svojstvu partnera. U 2014. godini sudjelovao je u projektu kratkoročne financijske potpore istraživanju Sveučilišta u Zagrebu pod nazivom „Istraživanje utjecaja novih operativnih koncepcija upravljanja zračnim prometom u srednjoj i jugoistočnoj Europi“ glavnoga istraživača prof. dr. sc. Sanje Steiner s projektnom zadaćom istraživanja aerodromskih kapaciteta. Nositelj je dviju potpora Sveučilišta u Zagrebu za istraživanja u području doktorske disertacije (2014. i 2015. godine).</p> <p>Suautor je preliminarnoga izvješća (elaborata) „Utjecaj izgradnje vjetroelektrane Konavoska brda na sigurnost slijetanja i uzlijetanja u Zračnoj luci Dubrovnik“, stručnoga projekta „Prostorni plan uređenja grada Varaždina / Razvojni plan aerodroma Varaždin“ te stručnoga projekta „Programska studija razvoja Aerodroma Sinj za razdoblje 2015. – 2030.“.</p> <p>U 2012. godini pohađao je znanstveno-stručnu specijalizaciju u Zračnoj luci Split gdje je bio angažiran u procesu planiranja i upravljanja aerodromskim operacijama. U okviru je doktorskoga istraživanja u 2014. godini pohađao znanstveno-stručnu specijalizaciju u <i>Airport Research Centre</i> u <i>Aachenu</i>, gdje je sudjelovao u provođenju simulacija vezanih uz zračnu luku u softverskom alatu CAST.</p>	

Autorom je i suautorom više od četrnaest međunarodnih i domaćih znanstvenih radova, posjeduje međunarodne certifikate iz područja aerodroma te certifikate metodičko-stručnoga usavršavanja u tehničkom području.

Znanstveno-istraživački rad usmjeren mu je u područje kapaciteta sustava zračne luke, kašnjenja te optimizacije aerodromskih operacija.

Popis radova

1. Pavlin, S.; Modić, A.; Bračić, M. 2017. **SOUTH EAST EUROPE HUB AND SPOKE AIR NETWORK RECONFIGURATION.** // *Promet - Traffic & Transportation*. Vol. 29. 121–129. (članak, ostalo).
2. Pavlin, Stanislav; Bračić, Matija; Modić, Arijana. 2016. **Primjena sigurnosnih površina kraja uzletno-sletnih staza na zračnim lukama Hrvatske i Slovenije.** // *Automation in Transportation 2016. 36th Conference on Transportation Systems with International Participation. Proceedings* / Šakić, Željko (ur.) Zagreb. 108–111. (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
3. Pavlin, Stanislav; Moritz, Mladen; Bračić, Matija. 2015. **RESCUE IN THE EVENT OF AIRCRAFT ACCIDENT AT SEA.** // *23th International Symposium on Electronic in Traffic ISEP 2015* / Rijavec, Robert; Hernavis, Boštjan; Godec, Andrej; Gostiša, Blaž; Gorup, Savin; Anžek, Mario; Kos, Serdjo; Meše, Pavel (ur.). Ljubljana. Slovenija: Electrotechnical Association of Slovenia. A2-A2. (međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
4. Bračić, Matija; Melvan, Mate; Pavlin, Stanislav; Steiner, Sanja. 2014. **Implementation Assessment of Airport Collaborative Decision Making at Split Airport.** // *6th International Maritime Science Conference IMSC 2014. Book of Proceedings* / Vidan, Pero; Twrdy, Elen; Leder, Nenad; Mulić, Rosanda (ur.). Split: Faculty of Maritime Studies Split. 470–476. (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
5. Melvan, Mate; Bračić Matija; Pavlin Stanislav. 2014. **IMPROVEMENT OF ON-TIME PERFORMANCE AT SPLIT AIRPORT.** // *INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRAFFIC AND TRANSPORT ENGINEERING* / Čokorilo, O. (ur.). Beograd: City Net Scientific Research Center Ltd. Belgrade. 451–457. (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
6. Pavlin, Stanislav; Bračić, Matija; Melavn, Mate. 2013. **Passenger Terminal Flow Adjustment According to Accession of Croatia to EU – A Case Study of Split Airport.** // *International Scientific Conference Modern Safety Technologies in Transportation MOSATT 2013. Proceedings* / Breda, Robert; Ceskovic, Marek; Draganova, Katarina; Kmec, Frantisek (ur.). Kosice: PERPETIS s.r.o. 204–209. (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
7. Paljetak, Josip; Bartulović, Dajana; Bračić, Matija. 2012. **Safety Management System as the tool for airport benchmarking process.** // *Proceedings of the First International Conference on Traffic and Transport Engineering ICTTE* / Čokorilo, Olja; Trgovčević, Maja; Čavka, Ivana (ur.). Beograd: Scientific Research Center Ltd. 479–488. (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).

8. Pavlin, Stanislav; Bračić, Matija; Celio, Cega, Ivan; Dudić, Ana; Milaković, Sanja. 2012. **Aerodrome Areas Analysis in Function of Aircraft Operation Safety.** // RAZVITAK LOGISTIČKOG POSLOVANJA I PROMETNOG SUSTAVA UZ POTPORU EU FONDOVA / Pavlin, Stanislav; Šafran, Mario (ur.). Zagreb. Fakultet prometnih znanosti. 351–356. (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
9. Pavlin, Stanislav; Starčević, Martin; Bračić, Matija. 2012. **Possible Solutions of Connecting Zagreb Airport with the City of Zagreb by Rail.** // RAZVITAK LOGISTIČKOG POSLOVANJA I PROMETNOG SUSTAVA UZ POTPORU EU FONDOVA / Pavlin, Stanislav; Šafran, Mario (ur.). Zagreb. Fakultet prometnih znanosti. 116–122. (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
10. Pavlin, Stanislav; Bračić, Matija; Celio Cega, Ivan; Dudić, Ana; Milaković, Sanja. **Aerodromske površine u funkciji sigurnog slijetanja i uzlijetanja.** // (poster, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
11. Pavlin, Stanislav; Bračić, Matija; Celio, Cega, Ivan; Dudić, Ana; Milaković, Sanja. **Ramena uzletno-sletne staze kao element sigurnosti pri slijetanju i uzlijetanju.** // (poster, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
12. Pavlin, Stanislav; Bračić, Matija. 2011. **Runway end safety area.** // *International Scientific Conference Modern safety technologies in Transport-MOSSAT 2011 Impact of airport public safety zone on spatial planning 19th International Symposium on Electronic in Traffic ISEP 2011.*
13. Pavlin, Stanislav; Bračić, Matija. 2011. **Impact of airport public safety zone on spatial planning.** // 19th International Symposium on Electronic in Traffic ISEP 2011 / Anžek, Mario (ur.). Ljubljana. Electrotechnical Association of Slovenia. A2 – 5p. (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
14. Pavlin, Stanislav; Bračić, Matija; Škurla Babić, Ružica. 2012. **Problematika Zračne luke Zagreb u novoj strategiji prometnog razvitka Republike Hrvatske.** // *Ocjena dosadašnjeg prometnog razvitka Hrvatske i osnovne smjernice daljnjeg razvoja. Zbornik radova /* Steiner, Sanja; Božičević, Josip; Bukljaš Skočibušić, Mihaela (ur.). Zagreb. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti. 150–158. (predavanje, domaća recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
15. Pavlin, Stanislav; Šimecki, Ana; Bračić, Matija. 2012. **Polazne osnove za izradbu nove strategije prometnog razvitka Hrvatske s posebnim osvrtom na aerodrome.** // *Ocjena dosadašnjeg prometnog razvitka Hrvatske i osnovne smjernice daljnjeg razvoja. Zbornik radova /* Steiner, Sanja; Božičević, Josip; Bukljaš Skočibušić, Mihaela (ur.). Zagreb. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti. 184–188. (predavanje, domaća recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
16. Pavlin, Stanislav; Bračić, Matija. 2011. **Utjecaj aerodromskog prometa na prostorno planiranje u okolini zračne luke.** // Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti. Međunarodni znanstveni skup Ekološki problemi prometnog razvoja. Zbornik radova / Steiner, Sanja (ur.). Zagreb. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti. 293–298. (predavanje, domaća recenzija, objavljeni rad, znanstveni).