

Metodologija izrade zračnog prostora

Blažić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:395677>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

METODOLOGIJA IZRADE ZRAČNOG PROSTORA

Mentor: doc. dr. sc. Biljana Juričić

Student: Luka Blažić, 0135219646

Zagreb, 2016.

METODOLOGIJA IZRADE ZRAČNOG PROSTORA

SAŽETAK:

Ovaj rad se bavi problematikom izrade odnosno izmjene određenog djela zračnog prostora. Zračni promet u većini Europe u konstantnom je porastu. Trenutni sustavi i procedure u bliskoj budućnosti predstavljat će ograničavajući faktor za daljnji ubrzani i sigurni razvoj istog. Iz tog razloga potrebno je razvijati i implementirati nove sustave i procedure. Promjena dizajna prostora nameće se kao jedno od rješenja. Fokus ovog rada stavljen je na prostor TMA Zagreb. Koristeći programski paket NEST analiziran je promet predviđen za godine koje slijede. Analiza je pokazala da će u uvjetima optimistične prognoze prometa za vrijeme vršnih opterećenja trenutna konfiguracija TMA Zagreb postati ograničavajuć čimbenik kapaciteta. Simulirana je nova sektorizacija prostora koja bi uz uvođenje tehnologija poput PBN navigacije trebala povećati kapacitet prostora, smanjiti radno opterećenje kontrolora, a samim time omogućiti siguran, ubrzan i održiv razvoj zračnog prometa.

KLJUČNE RIJEČI: porast prometa, terminalni zračni prostor, NEST, dizajn prostora, kapacitet, sektorizacija, PBN

AIRSPACE DESIGN METHODOLOGY

SUMMARY:

Air traffic in Europe is constantly increasing. Systems and procedures that are currently in use in the near future will become a limiting factor for continued development of safe and expeditious air traffic. For that reason it is necessary to develop and implement new ones. Change in design of airspace is one of possible solutions. This paper deals with TMA Zagreb in particular. Analysis of mentioned airspace and future traffic within it was performed using NEST. The analysis showed that during peak loads current configuration of TMA Zagreb will result in decrease of airspace capacity. Simulated new sectorization alongside introduction of technologies such as PBN navigation should result in increase of airspace capacity and reduction of ATC's workload.

KEY WORDS: increase of air traffic, terminal control area, NEST, airspace design, capacity, sectorization, PBN

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Učinkovitost sustava ATM-a u Europi	3
2.1. Jedinstveno europsko nebo	3
2.2 Zračni promet u Europi	5
2.3 Sigurnost	6
2.3.1 Nesreće i incidenti uzrokovani uslugama u zračnoj plovidbi	7
2.3.2 Incidenti uzrokovani upravljanjem zračnim prometom	9
2.3.3 Prijava događaja i automatsko praćenje sigurnosnih podataka	11
2.4 Kapacitet	12
2.4.1 Kašnjenja na ruti ATFM-a	13
2.5 Okoliš.....	15
2.6 Troškovna učinkovitost	18
3. Osnovni koncept zračnog prostora i PBN	21
3.1 PBN koncept.....	24
3.2 Prednosti PBN koncepta	27
4. Razrada metodologije za izradu dijela zračnog prostora	28
4.1 Referentni scenarij.....	29
4.2 Sigurnosni i kriteriji učinkovitosti.....	31
4.3 ATM/ CNS pretpostavke i ograničenja.....	33
4.4 Rute i krugovi čekanja	34
4.5 Struktura i sektorizacija zračnog prostora	36
5. Razrada scenarija i izrade novog dijela zračnog prostora u programskom paketu NEST	38
5.1 Network Strategic Tool (NEST).....	38
5.2 TMA Zagreb.....	39

5.3 Analiza prometa TMA Zagreb	43
5.4 Scenariji promjene postojećeg prostora	49
5.4.1 Scenarij vertikalne podjele prostora	50
5.4.2 Scenarij horizontalne podjele prostora.....	52
6. Provedba simulacija i analiza rezultata	57
6.1 Simulacija i analiza postojećeg prostora.....	57
6.2 Simulacija i analiza vertikalne podjele prostora	59
6.3 Simulacija i analiza horizontalne podjele prostora	63
7. Zaključak.....	66
LITERATURA	68
POPIS SLIKA.....	70
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I KRATICA.....	72

1. Uvod

Europski zračni prostor jedan je od najprometnijih na svijetu, a trend porasta prometa nastavit će se i u godinama koje slijede. Prema posljednjim prognozama STATFOR-a¹ promet će u Europi u 2016. godini porasti za 2.4% u odnosu na 2015. godinu, a u idućih sedam godina isti će rasti po godišnjoj stopi od 2.2% [1]. Tehnologije i sustavi koji su trenutno u uporabi u bliskoj budućnosti neće biti u mogućnosti prihvatiti zahtjeve sve većeg broja korisnika što će posljedično dovesti do pojave zagušenja, vršnih opterećenja i nedostatka kapaciteta odnosno mogućih ugrožavanja sigurnosnih minimuma. Zbog toga je potrebno razvijati i implementirati nove sustave i procedure koje će omogućiti siguran, efikasan i održiv razvoj zrakoplovstva u godinama koje slijede.

U ovom radu fokus je stavljen na izradu i promjenu zračnog prostora koja može doprinijeti povećanju kapaciteta za uvjete povećane prometne potražnje i to specifično na njegov terminalni dio. Terminalni zračni prostor specifični je dio zračnog prostora određenih dimenzija i oblika u kojem zrakoplovi penju nakon polijetanja i snižavaju tijekom prilaza na slijetanje čineći tako poveznicu između aerodroma i rutnog djela leta. Samim time isti nije izuzet od pojave vršnih opterećenja, nedostatka kapaciteta i svih drugih nepoželjnih produkata zasićenog zračnog prostora. Kako se u pravilu pojedini terminalni prostori ne mogu širiti bilo lateralno ili vertikalno jedno od područja u kojem je potrebno napraviti korak unaprijed zasigurno je sama preinaka dizajna prostora. Promjena dizajna može uključivati izmjenu konfiguracije prostora, preraspodjelu poslova unutar prostora ili promjenu same strukture istog. Prema tome kao jedno od rješenja za povećanje kapaciteta terminalnog zračnog prostora nameće se sektorizacija. Ista se može provesti na dva načina: vertikalno ili horizontalno. Sektorizacija odnosno podjela prostora rezultira i podjelom poslova između kontrolora odnosno njihovog radnog opterećenja. Navedeno radno opterećenje može se umanjiti i uvođenjem naprednih tehnoloških rješenja poput odlaznih i dolaznih P-RNAV² ruta koje se temelje na PBN³ konceptu.

¹ STATFOR – Statistics and Forecasts

² P-RNAV – Precision – Area Navigation

³ PBN – Performance Based Navigation

Svrha ovog diplomskog rada je razrada metodologije izmjene postojećeg prostora TMA⁴ Zagreb i detaljna analiza novonastalog prostora u programskom paketu NEST⁵ radi osiguranja sigurnog, efikasnog i ubrzanog zračnog prometa u godinama koje slijede.

Prije same izmjene i analize navedenog prostora u poglavlju 2 ovog rada opisana je učinkovitost sustava ATM-a⁶ u Europi na temelju ključnih područja učinkovitosti sigurnosti, kapaciteta, okruženja i troškovne učinkovitosti i pridruženim im ključnim pokazateljima učinkovitosti. Kao jedno od rješenja za poboljšanje učinkovitosti nameće se PBN koncept odnosno koncept navigacije baziran na performansama zrakoplova koji se temelji na uspostavi procedura i navigacijskih točaka u terminalnom prostoru čiji se podaci deriviraju iz DME/DME⁷ ili GNSS⁸ navigacijskog sustava, a koji je detaljno opisan u poglavlju 3. Razrada metodologije za izradu određenog djela zračnog prostora temeljenog na PBN-u opisana je u poglavlju 4. Odnos i međusobna zavisnost svakog od koraka metodologije, radi lakšeg razumijevanja samog postupka, sažeta je u obliku dijagrama toka. U prvom djelu poglavlja 5 objašnjen je program NEST koji će koristiti za izmjenu postojećeg prostora te se opisuje i analizira trenutni prostor i promet unutar TMA Zagreb. U ostatku poglavlja detaljno su objašnjeni postupci vertikalne i horizontalne podjele prostora u navedenom programu. U poglavlju 6 izvršene su simulacije i analize prometa nakon podjele prostora izvršenih u poglavlju prije. U konačnici, poglavlje 7 sadrži osvrt na izvršeno istraživanje, komparativnu analizu rezultata i prijedloge daljnjih aktivnosti.

⁴ TMA – Terminal Control Area

⁵ NEST – Network Strategic Tool

⁶ ATM – Air Traffic Management

⁷ DME – Distance Measuring Equipment

⁸ GNSS – Global Navigation Satellite System

2. Učinkovitost sustava ATM-a u Europi

Krajem prošlog stoljeća, zbog nepromijenjenog sustava organizacije zračnog prostora od šezdesetih godina dvadesetog stoljeća, rascjepkanosti prostora i trenda stalnog povećanja prometne potražnje, kašnjenja u zračnom prometu u Europi dostigla su svoj vrhunac. Postojeći ATM sustav u Europi nije bio u mogućnosti prihvatiti daljnje naglo povećanje prometne potražnje bez ozbiljnijih posljedica po pitanju efikasnosti zračnog prometa. Potaknuta neučinkovitošću zračnog prometa, Europska Komisija 2000. godine pokreće inicijativu o osnivanju jedinstvenog europskog neba (SES⁹).

2.1. Jedinstveno europsko nebo

Implementacija SES-a započela je prvim regulatornim paketom pokrenutim 2004. godine, a s ciljem poboljšanja sigurnosti i efikasnosti zračnog prometa u Europi, smanjenja kašnjenja racionalnijim korištenjem zračnog prostora i resursa zračni luka, poboljšanja usluga i smanjenja troškova za korisnike zračnog prijevoza smanjenjem razlika između ATM sustava u Europi te poboljšanja integracije vojnog sustava u sustav ATM-a. Prvi paket SES-a sadrži četiri osnovna propisa kojima se nastoji povećati sigurnost i poticati restrukturiranje europskog zračnog prostora i usluga u zračnoj plovidbi. Propisi pružaju i okvir za stvaranje dodatnog kapaciteta i poboljšanja učinkovitosti ATM sustava u Europi. [2]

U uredbi pod nazivom „*Regulation EC 549/2004*“ od Europske Komisije se zahtjeva periodična provjera primjene SES-a te donošenje izvješća o napretku njegove implementacije. Prvo takvo izvješće doneseno je u prosincu 2007. godine pod nazivom „*The First Report on the Implementation of the Single Sky Legislation*“. Iako je prvi regulatorni paket SES-a donio poboljšanja u određenim područjima (npr. povećanje sigurnosti, fleksibilnije korištenje i pristup vojnom zračnom prostoru, standardizacija pravila za kontrolore zračnog prometa, pokretanje SESAR¹⁰ programa itd.), u drugim važnim područjima poput integracije zračnog prostora u

⁹ SES – Single European Sky

¹⁰ SESAR – Single European Sky ATM Research

funkcionalne blokove zračnog prostora (FABs¹¹) i poboljšanja troškovne učinkovitosti (*cost-efficiency*) europskog ATM sustava nisu ostvareni očekivani rezultati. [3]

Zbog svega navedenog Europska Komisija u lipnju 2008. godine donosi dokument „*Single European Sky II – towards more sustainable and better performing aviation*” kao izmjenu i dopunu prvom regulatornom paketu SES-a s ciljem daljnjeg razvijanja europskog sustava u ključnim područjima sigurnosti, kapaciteta, troškovne učinkovitosti i okoliša. Drugi regulatorni paket SES-a temelji se na četiri faktora razvoja: regulaciji izvedbe, jedinstvenom sigurnosnom okviru, razvoju novih tehnologija te povećanju kapaciteta, sigurnosti i efikasnosti aerodroma. [4]

Shema učinkovitosti (*Performance scheme - PS*) jedan je od ključnih čimbenika jedinstvenog europskog neba s ciljem poboljšanja učinkovitosti zračnog prostora u Europi u područjima sigurnosti, kapaciteta, okoliša i troškovne učinkovitosti. PS organizirana je oko referentnih razdoblja (RPs – *Referent Periods*) za koje se postavljaju ciljevi na lokalnoj i razini cijele Europe. Takvi ciljevi zakonski su obvezni za države članice EU, a smišljeni su s ciljem poticanja pružatelja usluga u kontroli zračne plovidbe (ANSP¹²) da se bolje nose i budu efikasniji po pitanju prometne potražnje uz očuvanje visoke razine sigurnosti. [5]

U nastavku ovog poglavlja opisat će se ključna područja učinkovitosti (KPA¹³) i pridruženi im pokazatelji za mjerenje učinkovitosti (KPI¹⁴) ATM sustava pomoću podataka EUROCONTROL- a iz 2014. godine kao posljednje za koju su navedeni podaci dostupni.

¹¹ FAB – Functional Airspace Blocks

¹² ANSP - Air Navigation Service Providers

¹³ KPA – Key Performance Area

¹⁴ KPI – Key Performance Indicator

2.2 Zračni promet u Europi

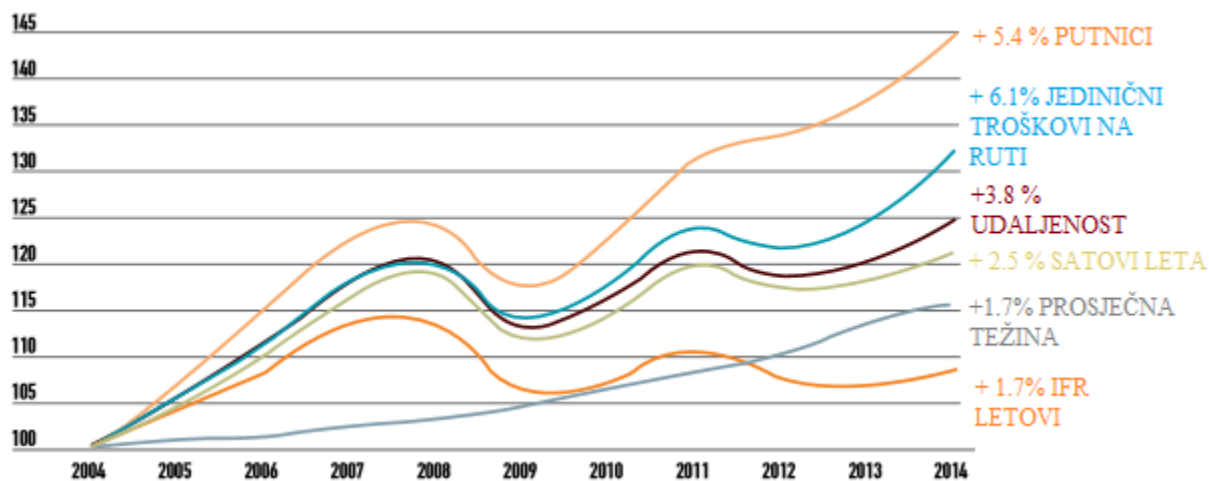
Nakon pada u 2012. i 2013. u Europi se u 2014. godini broj IFR¹⁵ letova povećao za 1.7%. Prema sedmogodišnjoj prognozi STATFOR-a u 2015. godini očekuje se porast broja letova od 1.5% , a za razdoblje od 2015. do 2022. godišnji rast od prosječno 2.2% (slika 1.) [6]

ECAC		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	AAGR 2022/2015	RP2 2019/2014 AAGR
BROJ IFR LETOVA (TISUĆE)	H	-	-	-	-	10,293	10,639	11,092	11,503	11,997	12,417	12,868	3.8%	3.3%
	B	9,710	9,603	9,770	9,917	10,153	10,364	10,578	10,818	11,091	11,301	11,535	2.2%	2.1%
	L	-	-	-	-	10,023	10,107	10,140	10,231	10,335	10,373	10,440	0.7%	0.9%
GODIŠNJI RAST (USPOREDBA S PRIJAŠNIM GODINAMA)	H	-	-	-	-	3.8%	3.4%	4.3%	3.7%	4.3%	3.5%	3.6%	3.8%	3.3%
	B	-2.2%	-1.1%	1.7%	1.5%	2.4%	2.1%	2.1%	2.3%	2.5%	1.9%	2.1%	2.2%	2.1%
	L	-	-	-	-	1.1%	0.8%	0.3%	0.9%	1.0%	0.4%	0.6%	0.7%	0.9%

Izvor: EUROCONTROL, STATFOR, 7-YEAR FORECAST FEBRUARY 2016

Slika 1. Prognoza IFR letova u Europi (2012 – 2022)

Unatoč porastu i pozitivnim predviđanjima za godine koje slijede, utjecaj gospodarske krize na zrakoplovnu industriju i dalje je značajan. U Europi je u 2014. godini bilo gotovo 3 milijuna letova manje nego li je predviđeno prije krize 2008. godine.



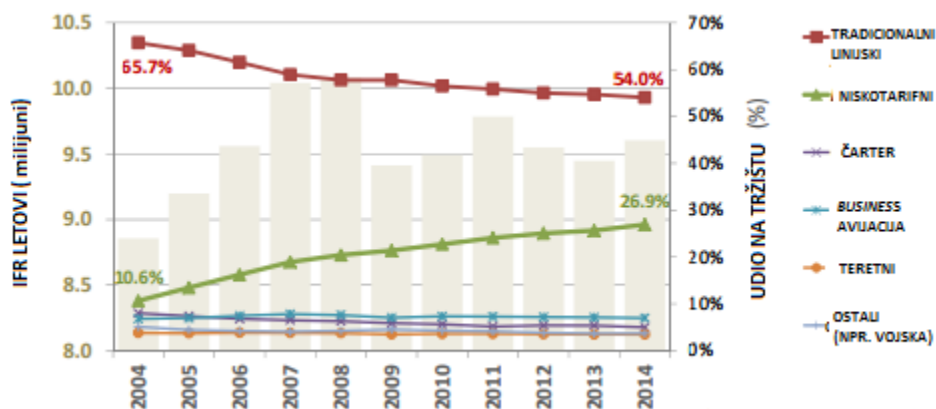
Izvor: ACI; STATFOR (ESRA2008); CRCO

Slika 2. Prometni pokazatelji u Europi

I dok je broj IFR letova u 2014. godini bio ispod razine koja je bila 2008. godine, prosječna veličina zrakoplova (prosječna težina) i broj putnika tokom istog perioda u

¹⁵ IFR – Instrument Flight Rules

konstantnoma je porastu što ukazuje na to da su zrakoplovni prijevoznici na krizu odgovorili smanjenjem broja usluga i povećanjem veličine zrakoplova (i duljine letova). Posljedica toga je i porast jediničnih troškova na ruti (6.1%) koji su znatno veći nego porast IFR letova (1.7%) u 2014.godini (slika 2.).



Izvor: EUROCONTROL, STATFOR

Slika 3. Kategorije zrakoplovnih prijevoza

Na slici 3. prikazana je promjena udjela različitih kategorija zrakoplovnog prijevoza u Europi od 2004. do 2014. godine. Iako tradicionalni linijski prijevoz (54%) i dalje čini većinu svih prijevoza u Europi, zamjetan je njegov pad kroz godine (65.7% u 2004. godini). Istovremeno udio niskotarifnih prijevoznika (*low cost airlines*) u stalnom je porastu. Udio ostalih prijevoza poput *business* avijacije i teretnog prijevoza ostaje relativno stabilan ispod 10%. [1]

2.3 Sigurnost

U sigurnosti (*safety*) kao jednom od ključnih područja učinkovitosti identificirani su sljedeći ključni pokazatelji učinkovitosti:

- učinkovitost upravljanja sigurnošću (*Safety Management Effectiveness*);
- primjena RAT¹⁶ metode za mjerenje ozbiljnosti događaja koji dovode do narušavanja sigurnosti;
- razina dobrovoljnog prijavljivanja pogrešaka – *Just Culture*. [7]

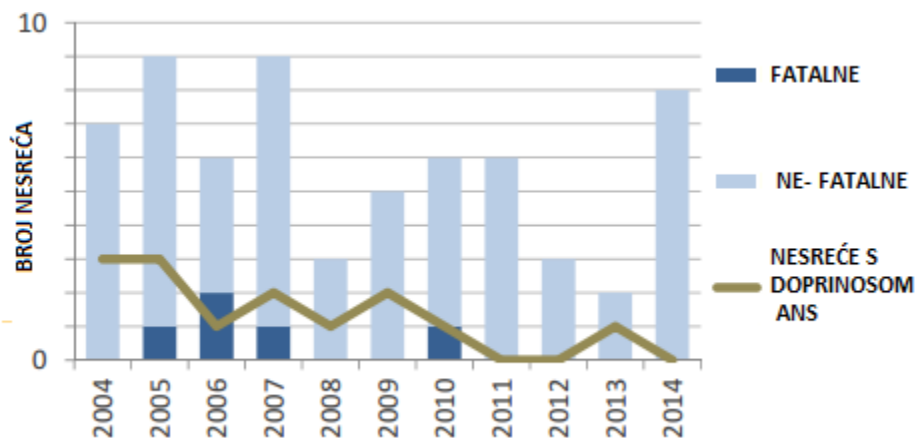
¹⁶ RAT – Risk Analysis Tool

Učinkovitost se u ovom području može mjeriti kroz broj i ozbiljnost nesreća i nezgoda (tzv. „pasivni“ indikatori) i kroz provjere učinkovitosti svih barijera postavljenih s ciljem sprečavanja pojave nesreća i nezgoda (tzv. „aktivni“ indikatori)

Metoda analize rizika (RAT) predstavlja jedan od tri glavna pokazatelja za mjerenje učinkovitosti u području sigurnosti. Ista omogućava usklađeno izvještavanje o procjenama ozbiljnosti događaja koji dovode do narušavanja sigurnosti, a u koje spadaju narušavanje minimalne separacije zrakoplova (SMI¹⁷), neodobren ulaz na uzletno-sletnu stazu (RI¹⁸), te specifični tehnički događaji tijekom upravljanja zračnim prometom (ATM *Specific Technical Events*). Isti će detaljnije biti obrađeni u nastavku ovog poglavlja. [8]

2.3.1 Nesreće i incidenti uzrokovani uslugama u zračnoj plovodbi

Broj zrakoplovnih nesreća u komercijalnom zračnom prijevozu (CAT¹⁹) u području EUROCONTROL-a za zrakoplove s fiksnim krilima i težinom većom od 2250kg između 2004. i 2014. godine prikazan je na slici 4.



Izvor: EUROCONTROL, PRR2014

Slika 4. Nesreće u zračnom prometu u području EUROCONTROL-a

¹⁷ SMI - Separate Minima Infringements

¹⁸ RI - Runway Incursion

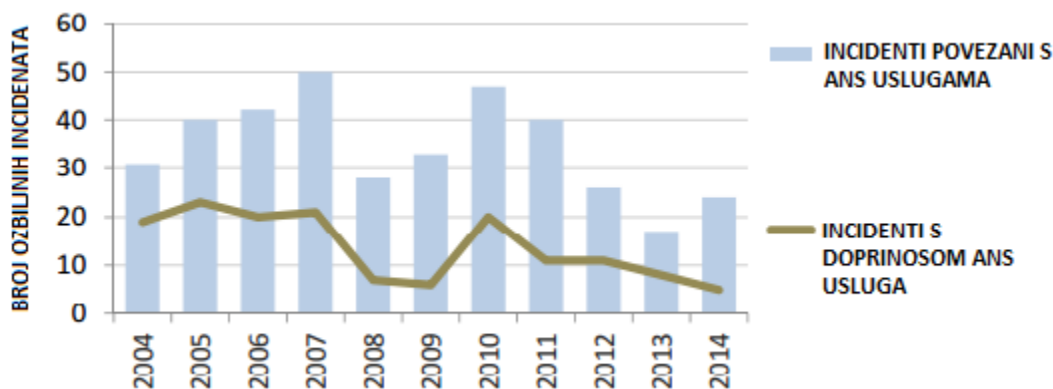
¹⁹ CAT - Commercial Air Transport

U nesreće povezane s uslugama u zračnoj plovidbi („ANS related“) spadaju one na koje usluge u zračnoj plovidbi (ANS²⁰) nisu imale utjecaja, ali u budućnosti mogu imati ulogu pri sprječavanju istih.

Nesreće s doprinosom usluga u zračnoj plovidbi („ANS contribution“) podrazumijevaju da je bar jedan od ANS faktora doveo do neželjenog događaja ili je potencijalno povećao rizik od istog.

Od 2007. do 2013. godine dolazi do pada broja nesreća povezanih s uslugama u zračnoj plovidbi, ali broj istih se u 2014. godini opet povećao. U posljednje četiri godine nije bilo fatalnih nesreća povezanih s uslugama u zračnoj plovidbi (tamno plavi stupci), te samo jedna nesreća s doprinosom ANS-a (smeđa linija).

Slika 5. prikazuje incidente povezane s ANS uslugama i incidente s doprinosom usluga u zračnoj plovidbi za CAT zrakoplove s fiksnim krilima i težinom većom od 2250kg na području EUROCONTROL-a između 2004. i 2014. godine.



Izvor: EUROCONTROL, PRR2014

Slika 5. Incidenti u zračnom prometu u području EUROCONTROL-a

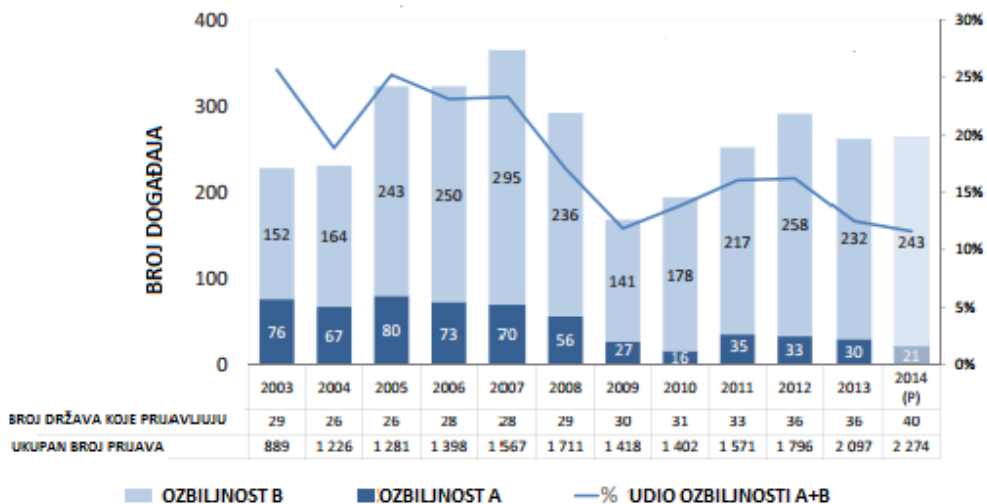
Broj incidenata povezanih s ANS uslugama u području EUROCONTROL-a bio je u padu od 2010. do 2013. godine da bi u 2014. godini opet porastao, dok je broj incidenata s doprinosom ANS usluga u konstantnome padu te je u 2014. godini dostigao najmanju razinu u razdoblju od jedanaest godina.

²⁰ ANS - Air Navigation Services

2.3.2 Incidenti uzrokovani upravljanjem zračnim prometom

U 2013. godini broj prijavljenih narušavanja minimalne separacije (SMI) porastao je za gotovo 17% u odnosu na godinu prije.

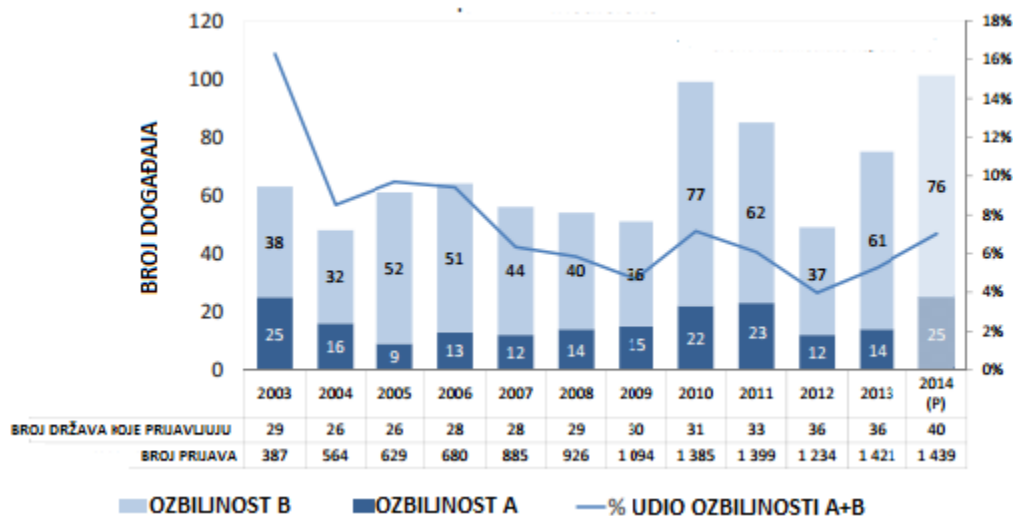
Slika 6. prikazuje broj prijavljenih SMI-a ozbiljnosti „A“ i „B“ u području EUROCONTROL-a između 2004. i 2014. godine. Nakon konstantnog porasta od 2009. do 2012. godine broj rizičnih narušavanja minimalne separacije smanjio se na 12% u odnosu na ukupni broj prijavljenih SMI-a. Općenito gledajući došlo je do smanjenja ukupnog broja ozbiljnih incidenata za obje kategorije ozbiljnosti u 2013. godini.



Izvor: SRC Intermediate Report 2015

Slika 6. Prijavljena narušavanja minimalne separacije ozbiljnosti "A" i "B"

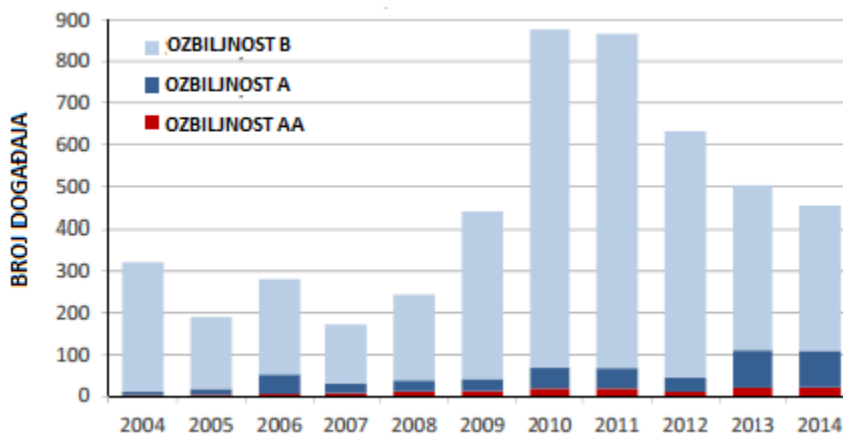
Ukupan broj neodobrenih ulazaka na USS-u prijavljenih od strane država članica EUROCONTROL-a u 2013. godini porastao je za otprilike 15%.



Izvor: SRC Intermediate Report 2015

Slika 7. Prijavljeni nezakoniti ulasci na USS-u ozbiljnosti "A" i "B"

U 2013. godini, broj RI ozbiljnosti „A“ i „B“ povećan je za 53% u odnosu na 2012. godinu. Broj prijava za obje kategorije ozbiljnosti povećan je u 2013. godini. Broj RI ozbiljnosti „A“ povećan je se sa 12 na 14 dok je onaj ozbiljnosti „B“ porastao s 37 na 61, te tako dostigao razinu iz 2011. godine (slika 7.).



Izvor: SRC Intermediate Report 2015

Slika 8. Prijavljeni specifični ATM događaji

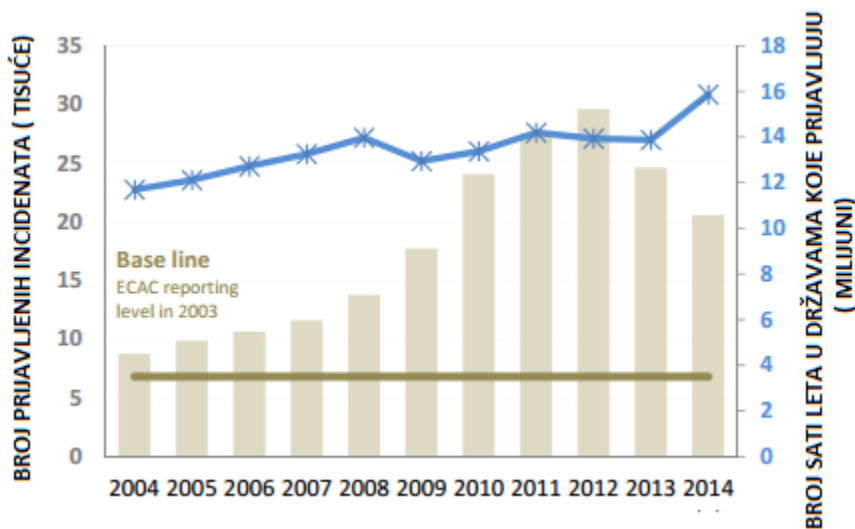
Specifični ATM događaji obuhvaćaju situacije u kojima je mogućnost pružanja sigurnih ATM usluga ugrožena. U 2013. godini ukupan broj prijavljenih specifičnih ATM događaja povećan je za 13% u odnosu na 2012. godinu. Iako se ukupni broj rizičnih ATM specifičnih

događaja u 2013. smanjio za 31% (slika 8.), broj događaja ozbiljnosti „A“ i „AA“ se povećao. [9]

2.3.3 Prijava događaja i automatsko praćenje sigurnosnih podataka

Za svaku državu članicu EUROCONTROL-a razina izvješćivanja mjeri se ukupnim brojem prijavljenih ATM događaja u odnosu na broj sati letova unutar države.

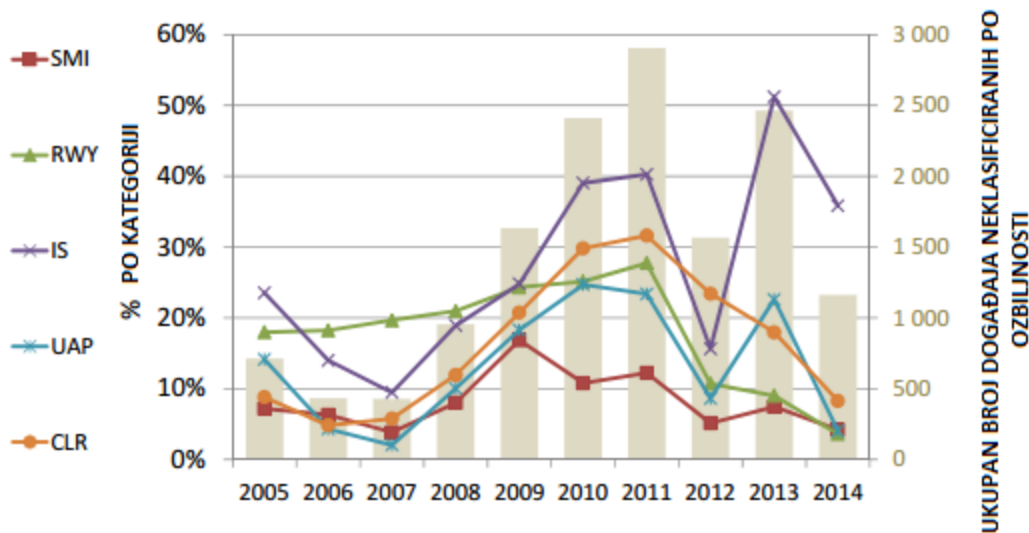
Nakon trenda stalnog povećanja između 2004. i 2012. godine, u 2013. godini došlo je do pada u broju prijavljenih incidenata od 13% . No iz dostupnih podataka ne može se preciznije odrediti da li je padu prijava u 2013. godini razlog poboljšanje sigurnosti ili smanjenje broja prijava (slika 9.).



Izvor: SRC Intermediate Report 2015

Slika 9. Kretanje broja prijavljenih događaja

Broj ATM incidenata koji nisu klasificirani po ozbiljnosti ili kod kojih klasifikacija po ozbiljnosti nije određena (ozbiljnost „D“) za različite kategorije događaja prikazan je na slici 10.



Izvor: SRC Intermediate Report 2015

Slika 10. Neodređeni i neklasificirani ATM događaji

Iako je općenito gledajući došlo do napretka u odnosu na 2012. godinu, 24% svih prijavljenih događaja u 2013. nije bilo klasificirano prema ozbiljnosti. Ako se u obzir uzme svaki od događaja odvojeno, postotak varira do 7% do 51%. [9]

Prijašnjih godina neklasificirani incidenti određeni su kao ključni faktor za napredak u području sigurnosti, no njihov udio u 2013. godini i dalje je neprihvatljivo visok. Zbog toga postoji potreba za daljnjim djelovanjem s ciljem detaljnijeg praćenja trendova i podrške sprječavanja sličnih incidenata. Također zalaganje država članica mora biti veće kako bi se osiguralo da broj prijavljenih ATM događaja koji nisu klasificirani po ozbiljnosti i dalje bude u padu.

2.4 Kapacitet

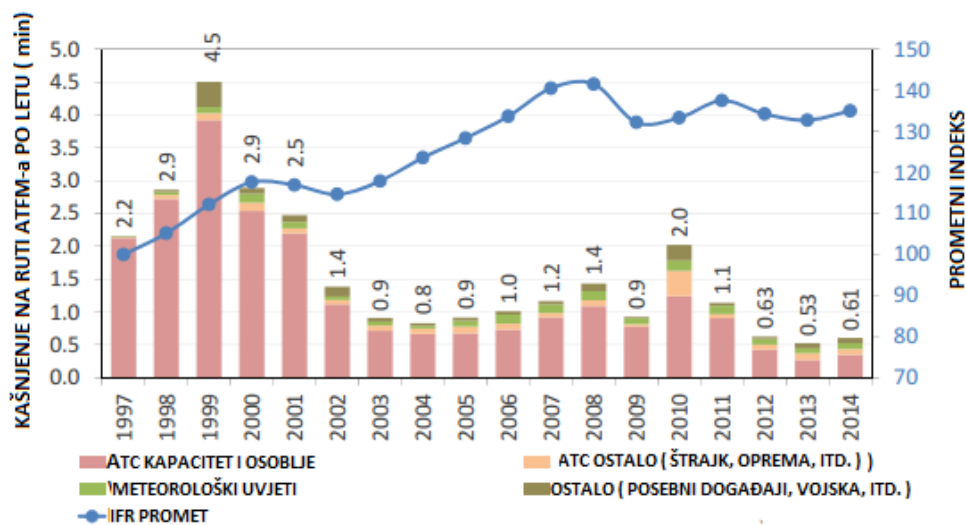
Ključni pokazatelj učinkovitosti za područje kapaciteta definira se prosječnim minutama kašnjenja na ruti ATFM-a²¹ po letu, a koje se mogu pripisati uslugama u zračnoj plovidbi. Kašnjenje na ruti ATFM-a je kašnjenje koje izračunava središnja jedinica ATFM-a. To je razlika

²¹ ATFM – Air Traffic Flow Management

između vremena uzlijetanja koje je operator zrakoplova zahtijevao u posljednjem predanom planu leta i izračunatog vremena uzlijetanja koje je dodijelila središnja jedinica ATFM-a. Ovaj pokazatelj obuhvaća sve IFR letove unutar europskog zračnog prostora i sve uzroke kašnjenja ATFM-a, osim izvanrednih događaja. Izračunava se za cijelu kalendarsku godinu i za svaku godinu referentnog razdoblja. [7]

2.4.1 Kašnjenja na ruti ATFM-a

Nakon konstantnog smanjenja između 2010. i 2013. godine, kašnjenja na ruti ATFM-a na području EUROCONTROL-a u 2014. godini povećala su se za 17.2% što odgovara prosječnom kašnjenju od 0.61 minute po letu (slika 11).

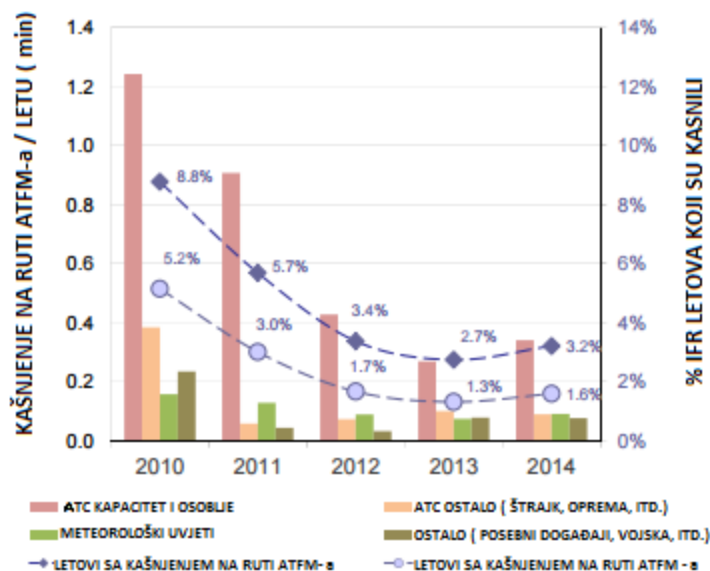


Izvor: EUROCONTROL, PRR2014

Slika 11. Prosječno ATFM kašnjenje na ruti po letu

U 2014. godini dolazi do povećanja kašnjenja uzrokovanih ATC²² kapacitetom i osobljem. Kašnjenja uzrokovana njima i dalje ostaju glavni razlog ATFM kašnjenja na ruti, nakon čega slijede meteorološki uvjeti i ostala kašnjenja uzrokovana kontrolom zračne plovidbe koja između ostalog uključuju i štrajkove istih. Kašnjenja uzrokovana štrajkovima kontrola također su se povećala u 2014. godini.

²² ATC - Air Traffic Control



Izvor: EUROCONTROL, PRR2014

Slika 12. Kašnjenja na ruti prema kategorijama

Broj IFR letova na koje je utjecalo kašnjenje na ruti ATFM-a u 2014. povećao se sa 2.7% na 3.2%. Za razliku od 2013. kada je 1.3% letova kasnilo više od 15 minuta zbog ATFM regulacija, u 2014. se postotak povećao na 1.6% (slika 12.).

U 2014. godini na upravljanje prometnim tokovima i kapacitetom u Europi utjecalo je nekoliko značajnih događaja uključujući i rušenje MH17 zrakoplova u ukrajinskom zračnom prostoru u srpnju. Posljedica nesreće bilo je zatvaranje zračnog prostora u istočnom dijelu Ukrajine koje je uzrokovalo preusmjeravanje prometnih tokova. Zbog navedenog promet se u Bugarskoj, Rumunjskoj, Mađarskoj, Turskoj i Slovačkoj povećao daleko iznad predviđenih vrijednosti, no zahvaljujući naporima pružatelja usluga u tim državama, promet je prihvaćen bez ozbiljnijih posljedica po kašnjenje.

Iako se ponekad ograničenja kapaciteta mogu pojaviti, centri oblasne kontrole ne bi smjeli redovito generirati velika kašnjenja. U 2014. godini centri oblasne kontrole (ACC²³) koji su zajedno činili 54.6% svih kašnjenja na ruti ATFM-a sa samo 17,8% ukupnih kontroliranih sati leta u Europi bili su Varšava, Lisabon, Reims, Brest i Marseille, Atena i Makedonska oblasna kontrola te Kanarski otoci. [1]

²³ ACC - Area Control Center

2.5 Okoliš

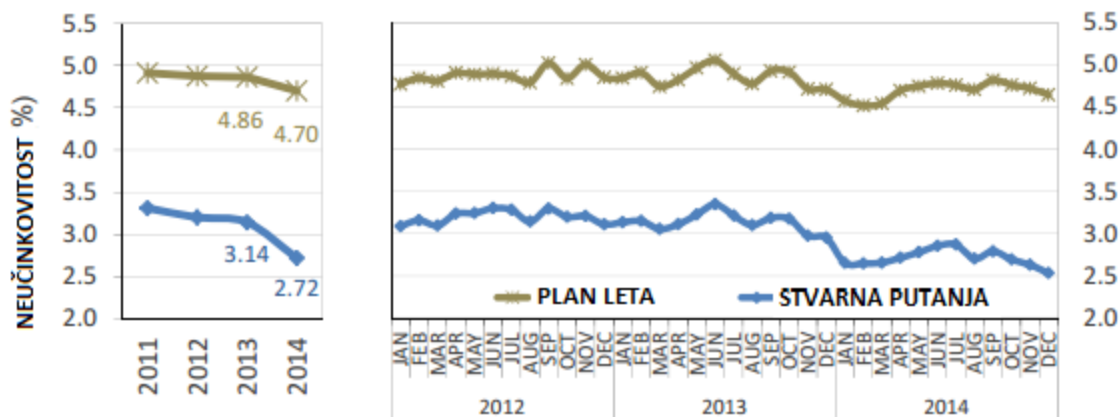
Efikasnost letova na ruti sastoji se od dvije komponente – horizontalne (udaljenost) i vertikalne (visina). U ovom poglavlju fokus je stavljen na horizontalnu komponentu koja u osnovi ima veći ekološki i ekonomski utjecaj u Europi.

Horizontalna efikasnost letova na ruti mjeri se usporedbom stvarne ili planirane duljine putanje leta s odgovarajućom „postignutom“ duljinom. Planirana putanja leta dobivena je iz planova leta kojeg korisnici zračnog prostora podnose NM-u²⁴. Stvarna putanja koju je neki zrakoplov letio dobiva se iz obrađenih radarskih podataka koje pružatelji usluga kontrole zračne plovidbe podnose EUROCONTROL-u tj. ETFMS²⁵ sustavu. Od 2015. godine, s ciljem povećanja kvalitete podataka, od država koje su podložne shemi učinkovitosti SES-a zatraženo je ažuriranje radarskih podataka svakih 30 sekundi. [7]

Odstupanja od optimalne putanje leta uzrokuju dodatno vrijeme leta, izgaranje goriva i emisije štetnih plinova s istodobnim utjecajem na povećanje troškova korisnika zračnog prostor i okoliš. Faktori koji utječu na horizontalnu efikasnost letova na ruti su dizajn mreža ruta (postojeća mreža ruta), dostupnost ruta, sposobnost planiranja letova, prioriteta korisnika (vrijeme leta, gorivo, troškovi), planiranje ruta od strane kontrolora i posebni događaji poput loših vremenskih prilika ili štrajka kontrolora.

²⁴ NM – Network Manager

²⁵ ETFMS - Enhanced Tactical Flow Management System

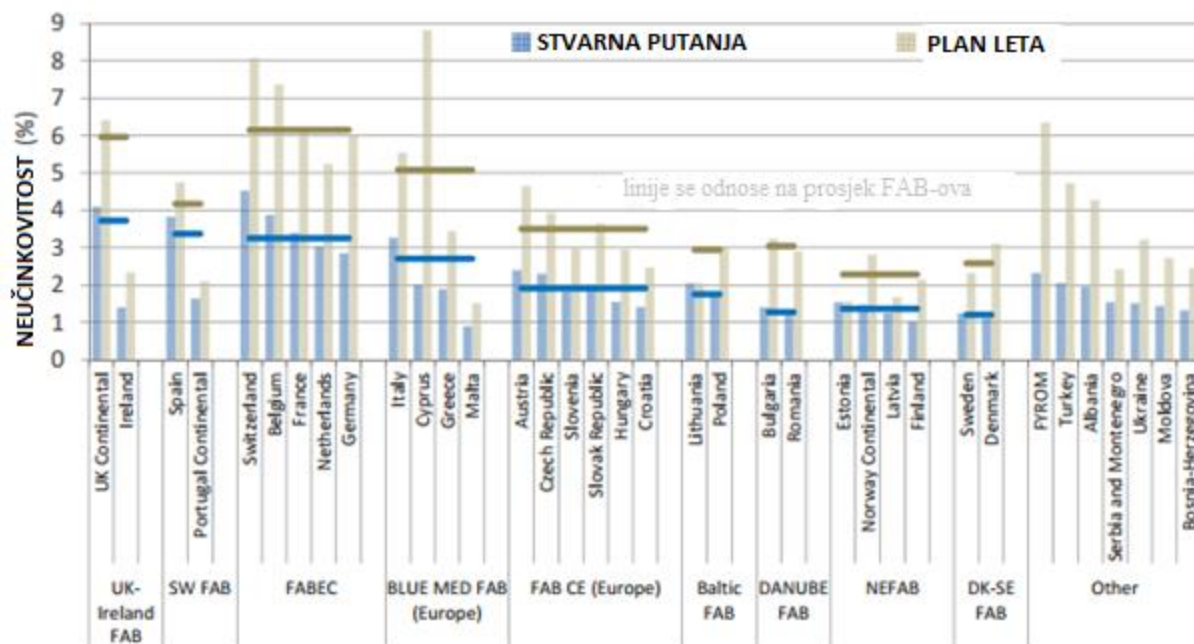


Izvor: EUROCONTROL, PRR2014

Slika 13. Horizontalna efikasnost letova na ruti u području EUROCONTROL-a

Slika 13. prikazuje horizontalnu efikasnost letova na ruti za putanje predane u planovima leta (smeđa linija) i stvarne putanje (plava linija). Vidljivo je da između 2011. i 2014. godine dolazi do stalnog poboljšanja efikasnosti. Neučinkovitosti planiranih putanja dobivenih iz planova leta smanjile su se s 4.86% do 4.70%. Neučinkovitosti stvarnih putanji također su se smanjile s 3.14% na 2.72% (lijeva strana slike 13)

Iako je došlo do poboljšanja u 2014. godini, vrijednost dodatnih nepotrebnih preletenih udaljenosti i dalje je previsoka. Ukupna dodatna preletena udaljenost u usporedbi sa referentnim putanjama za 2014. godinu iznosila je 177 milijuna kilometara (2.72%). Iako je bitno razumjeti da se razina neefikasnosti ne može svesti na nulu, prostor za napredak itekako postoji.



Izvor: EUROCONTROL, PRR2014

Slika 14. Neefikasnost letova po FAB-ovima

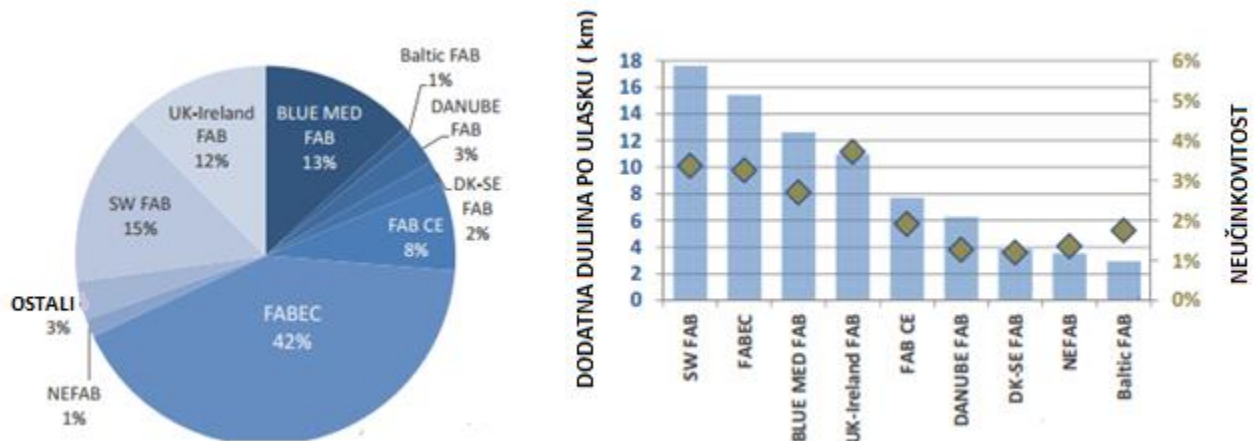
Slika 14. prikazuje razinu neefikasnosti letova po FAB²⁶-ovima za putanje predane u planovima leta (smeđi stupci) i stvarne putanje (plavi stupci). U državama u kojima je implementiran FRA²⁷, razlike između planiranih i stvarnih putanja su relativno male s niskom razinom neučinkovitosti. Najveća razlika u putanjama (3%) postoji u FABEC, nakon čega slijede Blue Med i UK/Ireland FAB-ovi. Primjetno je da neefikasnost unutar FAB područja može značajno varirati između pojedinih država (SW FAB, UK-Ireland FAB). Dostupnost ruta kao i fleksibilno korištenje zračnog prostora izdvajaju se kao faktori koji najviše pridonose razlikama između planiranih i stvarnih putanja.

Na slici 15. (lijevo) prikazana je podjela ukupne dodatne duljine letova raspoređene po FAB-ovima u 2014. godini. Najveći udio zauzima FABEC (42%), a slijede SW (15%), Blue Med (13%) i UK/Ireland FAB (12%). Na slici (desno) prikazana je prosječna dodatna udaljenost po letu u kilometrima za stvarne putanje leta. Razina neefikasnosti prikazana je u postocima, a osim o dodatnoj udaljenosti ovisi i o prosječnoj duljini postignute udaljenosti. U prosjeku, dodatna udaljenost po letu u 2014. godini najveća je u SW FAB-u (17.6 km). Iako je

²⁶ FAB - Functional Airspace Blocks

²⁷ FRA - Free Route Airspace

struktura ruta trenutno najograničavajući faktor, prikazane neefikasnosti rezultat su složenih interakcija između korisnika zračnog prostora, pružatelja usluga kontrole zračne plovidbe i NM-a. [1]



Izvor: EUROCONTROL, PRR2014

Slika 15. Podjela ukupne duljine letova po FAB-ovima

2.6 Troškovna učinkovitost

Troškovna učinkovitost mjeri se pomoću dva ključna pokazatelja učinkovitosti. Prvi pokazatelj je „prosječni utvrđeni jedinični trošak (DUC²⁸) za rutne usluge u zračnoj plovidbi“ koji se definira kao omjer između utvrđenih troškova na ruti i predviđenog prometa na ruti, izraženog u jedinicama usluge, a koji se očekuje u određenom razdoblju. Ovaj pokazatelj se izražava u eurima i u realnim vrijednostima te se daje za svaku godinu referentnog razdoblja. Drugi pokazatelj učinkovitosti je „prosječni utvrđeni jedinični trošak (DUC) za terminalne usluge u zračnoj plovidbi“ koji se definira kao omjer između utvrđenih troškova i predviđenog prometa, izražen u jedinicama terminalnih usluga. Ovaj pokazatelj se također izražava u eurima i realnim vrijednostima za svaku godinu referentnog razdoblja s time da se primjenjuje od početka treće godine drugog referentnog razdoblja. [7]

²⁸ DUC - Determined Unit Cost

	STVARNI PODACI				PROGNOZA				
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2013 vs 2012	2014 vs 2013	2009-14 AAGR
UKUPNI RUTNI ANS TROŠKOVI (milijuni)	6 648	6 477	6 453	6 510	6 426	6 640	-1.3%	3.3%	0.0%
SES DRŽAVE (EU-27+2)	6 248	6 069	5 972	6 048	5 948	6 155	-1.6%	3.5%	-0.3%
OSTALIH 9 DRŽAVA U ROUTE CHARGE SYSTEM - U	400	407	481	463	478	485	3.4%	1.4%	3.9%
UKUPNE JEDINICE NA RUTI (milijuni SU)	111	114	120	118	121	125	2.1%	3.4%	2.5%
SES DRŽAVE (EU-27+2)	98	100	105	104	105	109	1.6%	3.4%	2.1%
OSTALIH 9 DRŽAVA U ROUTE CHARGE SYSTEM - U	13	14	15	15	16	16	5.2%	3.2%	5.2%
STVARNI RUTNI TROŠKOVI PO SU	60.1	56.7	53.8	55.0	53.2	53.2	-3.3%	0.0%	-2.4%
SES DRŽAVE (EU-27+2)	63.7	60.4	56.9	58.4	56.6	56.6	-3.2%	0.1%	-2.3%
OSTALIH 9 DRŽAVA U ROUTE CHARGE SYSTEM- U	31.9	29.6	32.5	31.1	30.6	30.0	-1.8%	-1.8%	-1.2%

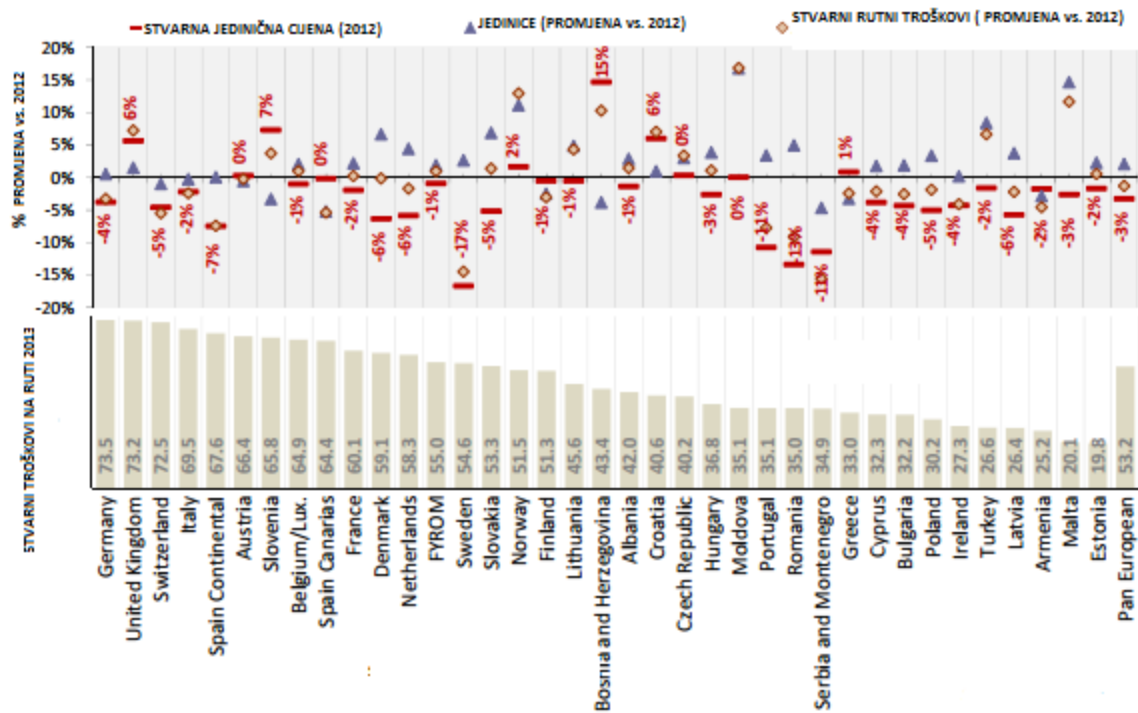
Izvor: EUROCONTROL, PRR2014

Slika 16. Stvarni rutni troškovi po jedinicama naplate

Slika 16. prikazuje stvarne podatke za troškovnu učinkovitost na ruti između 2009. i 2013. godine i predviđanja za 2014. godinu, kao i promjene u rutnim troškovima po jedinicama naplate (SU²⁹). U 2013. na europskoj razini stvarni rutni ANS troškovi (*en-route ANS costs*) smanjili su se za 1.3% dok se promet (*en-route service units*) povećao za 2.1%. Kao rezultat, stvarni rutni troškovi po SU (*en-route unit cost per SU*) u 2013. smanjeni su za 3.3% u odnosu na 2012.

Stvarni jedinični troškovi (*actual unit costs*) za svaku od država u 2013. godini varirali su od 73.5€ u Njemačkoj do 19.8€ u Estoniji. Iako je za očekivati da jedinični troškovi variraju od države do države zbog npr. različite složenosti i različitih ekonomskih faktora, razlike koje se vide na slici 17. veće su od očekivanih. Iz tog razloga postavlja se pitanje o troškovnoj učinkovitosti „skupih“ pružatelja usluga.

²⁹ SU - Service Units



Izvor: EUROCONTROL, PRR2014

Slika 17. Stvarni rutni troškovi po državama

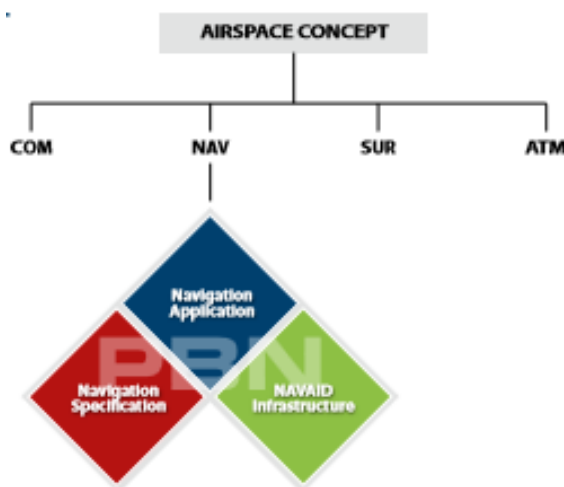
Neke države, poput Makedonije i Albanije, iako po složenosti i ekonomskim čimbenicima nebi trebale, pripadaju „skupim“ državama. Također države, npr. Slovenija, koje su već označene kao „skupe“ i dalje su povećale cijenu pružanja usluga. Bosna i Hercegovina je država među članicama EUROCONTROL-a čija je cijena jediničnih troškova najviše porasla (+15%).

Razlog tome leži u činjenici da rutne ANS troškove u BiH čine troškovi nacionalnog pružatelja usluge kontrole zračne plovidbe (BHANSA) koji je započeo s pružanjem usluga u 2014. godini, kao i troškovi za usluge koje pružaju ANSP-ovi Srbije i Hrvatske u prostoru BiH.

3. Osnovni koncept zračnog prostora i PBN

Koncept zračnog prostora (*Airspace concept*) opisuje namjeravane operacije unutar određenog zračnog prostora. Razvijen je s ciljem zadovoljavanja određenih strateških ciljeva poput očuvanja ili poboljšanja sigurnosti, povećanja kapaciteta, poboljšanja efikasnosti i smanjenja utjecaja na okoliš koje određuju korisnici zračnog prostora, sustav upravljanja zračnim prometom, aerodromi te politička struktura. I dok se ciljevi kapaciteta i smanjenja utjecaja na okoliš mogu poklapati pa se samim time mora tražiti kompromis između istih, održavanje visoke razine sigurnosti uvijek ostaje prioritet. [13]

Koncept sadrži i detalje o organizaciji zračnog prostora i korisnika koji djeluju unutar istog temeljenih na određenim ATM/CNS pretpostavkama koje će biti navedene i čija je svrha pri izradi novog odnosno promijeni postojećeg zračnog prostora detaljnije objašnjena kasnije u radu. U ovom poglavlju fokus je stavljen na navigacijsku komponentu koncepta zračnog prostora. (slika 18.)



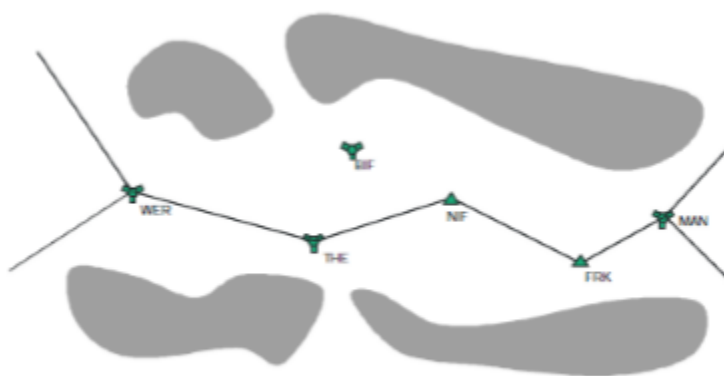
Izvor: ICAO Doc 9613

Slika 18. Koncept zračnog prostora

Instrumentalna navigacija se u svom izvornom obliku temelji na korištenju fiksnih zemaljskih radionavigacijskih uređaja (*sensor- based navigation*). Uređaji poput NDB³⁰-a,

³⁰ NDB – Non Directional Beacon

VOR³¹-a i DME-a, osnova su vođenja zrakoplova kroz zračni prostor. Mreža ruta u zračnom prostoru nad kopnom definirana je tako da zrakoplovi lete po direktnim pravcima između fiksnih zemaljskih radionavigacijskih uređaja, a pozitivna identifikacija preleta zrakoplova preko istih je obvezna (slika 19.). Zbog svog principa rada, metoda radionavigacije može dovesti do toga da se u određenom trenutku iznad nekog navigacijskog sredstva nađe velik broj zrakoplova koji lete različitim putevima i u različitim smjerovima. Samim time pojavljuju se zagušenja, a zato što je vrlo često za razdvajanje tako velikog broja zrakoplova potrebno formirati krugove čekanja, pojavljuju se i vremenska kašnjenja koja negativno utječu na odvijanje zračnog prometa i kapacitet zračnog prostora.



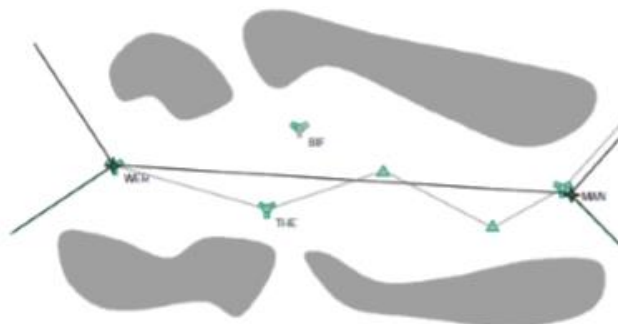
Izvor: ICAO Doc 9613

Slika 19. Radionavigacija

Tijekom 60-ih i 70-ih godina 20. stoljeća, u zrakoplove su se počeli uvoditi napredniji sustavi instrumentalne navigacije koji su koristili signale odbijenih od nekoliko zemaljskih navigacijskih sredstava za proračun pozicije zrakoplova. Ovakva metoda navigacije omogućuje let zrakoplova po željenoj putanji leta unutar mreže navigacijskih sredstava bez potrebe leta direktno od jednog sredstva prema drugome, a naziva se prostorna navigacija (RNAV³²) (slika 20.). Primjena metode prostorne navigacije omogućuje kreiranje i upotrebu određenih točaka u prostoru, koje se definiraju nazivom i geografskim koordinatama. Navedeno omogućuje bolje iskorištenje zračnog prostora u smislu fleksibilnosti ruta i ekonomičnosti leta. RNAV sustavi na zrakoplovu omogućuju i pohranjivanje unaprijed definiranih i kreiranih ruta te pripadajućih navigacijskih procedura u bazu podataka čime se smanjuje radno opterećenje posada prije i tijekom leta. [11]

³¹ VOR – VHF Omnidirectional Radio Range

³² RNAV - Area navigation



Izvor: ICAO Doc 9613

Slika 20. RNAV ruta

U Europi struktura mreže ATS ruta usko je bila povezana sa zemaljskim navigacijskim sredstvima sve dok, od strane ECAC³³-a, 1998. godine nije donesen obvezujući zahtjev za instaliranje opreme na zrakoplovima za osnovne RNAV operacije (B- RNAV³⁴) . Operacije zrakoplova prema B-RNAV rutama osiguravaju zrakoplovu bočnu točnost u vođenju prema zadanom kursu leta od najviše 5NM lijevo ili desno, koja se odnosi na najmanje 95% vremena trajanja leta na definiranoj ruti. I dok se B-RNAV navigacijska specifikacija pokazala uspješnom u rutnom dijelu leta, preciznost od +/- 5NM nije se pokazala dovoljnom u završnim kontrolnim oblastima. Iz tog razloga uvedena je precizna navigacijska specifikacija prostorne navigacije (P-RNAV) koja zahtijeva točnost u vođenju prema zadanom kursu leta (bočno odstupanje) od najviše 1NM, koje se odnosi na najmanje 95% vremena trajanja leta na definiranoj ruti.

Kako bi utjecao na razvoj RNAV aplikacija, ICAO je razvio koncept zahtijevanih navigacijskih performansi (RNP³⁵), kojim su se standardizirali zahtjevi za navigacijskom točnošću na određenim tipovima ruta. Integrirano je mnogo različitih specifikacija sa navigacijskim mogućnostima zrakoplova, a ispostavilo se da je navigacijska preciznost samo jedan od zahtjeva koji se treba standardizirati za RNAV operacije. Zbog toga je širom svijeta, velik broj rješenja po pitanju samog koncepta, terminologije i definicija popraćen nejasnoćama. S ciljem ublažavanja posljedica, ICAO³⁶ je formirao istraživačku grupu RNPSORSG³⁷, današnju “PBN Study Group”, koja je djelovala kao kontakt grupa za formuliranje pitanja u svezi

³³ ECAC – European Civil Aviation Conference

³⁴ B-RNAV – Basic RNAV

³⁵ RNP - Required Navigation Performance

³⁶ ICAO – International Civil Aviation Organization

navigacijskih performansi. Grupa je razvila i koncept jedinstvenog razumijevanja današnjeg koncepta navigacije osnovane na navigacijskim performansama kao i veze između funkcioniranja sustava i aplikacija RNP-a i RNAV-a. Cilj ove grupe bila je harmonizacija postojećih planova primjene, uspostavljanje osnove za harmonizaciju budućih operacija i ograničavanje velikog broja globalnih navigacijskih specifikacija u upotrebi.

Zahtjevi za vođenjem zrakoplova na određenim rutama ili unutar određenog zračnog prostora moraju biti definirani na jasan i sažet način. Razlog tome je mogućnost utvrđivanja, od strane posade i kontrole zračne plovidbe, sposobnosti RNAV ili RNP sustava u zrakoplovu za njegovom primjenom unutar određenog dijela zračnog prostora.

RNAV i RNP sustavi razvijali su se na način sličan konvencionalnim rutama zavisnih od zemaljskih radionavigacijskih sredstava. U nekim slučajevima bilo je potrebno identificirati specifične pojedinačne modele opreme zrakoplova koja se može koristiti unutar određenog zračnog prostora. Takvi propisani zahtjevi rezultirali su usporavanjem uvođenja novih mogućnosti RNAV sustava kao i većim troškovima održavanja certifikata o plovidbenosti zrakoplova. Kako bi se izbjegla takva specifikacija zahtjeva, predstavljena je alternativna metoda za definiranje zahtjeva za navigacijskom opremom zrakoplova. Zahtjevi su definirani tako da su precizno određene performanse koje navigacijska oprema zrakoplova treba imati, a sama metoda naziva se navigacija bazirana na performansama (PBN). [12]

3.1 PBN koncept

Koncept PBN, koji je detaljno opisan u Priručniku za navigaciju baziranu na performansama zrakoplova (*Performance Based Navigation Manual*) - ICAO Doc 9613, utvrđuje zahtjeve u svezi sposobnosti koje određeni prostorno-navigacijski sustav treba posjedovati u pogledu točnosti, cjelovitosti, raspoloživosti, kontinuiteta i funkcionalnosti potrebnih za predviđenu operaciju letenja u unaprijed određenom konceptu zračnog prostora uz podršku odgovarajuće navigacijske infrastrukture.

³⁷ RNPSORSG- Required Navigation Performance and Special Operational Requirements Study Group

PBN inicira pomak sa skupa specifikacija navigacije bazirane na senzorima (*sensor based*), na skup zahtjeva navigacije koja se bazira na performansama zrakoplova (*performance based*), a koji nisu povezani s određenim navigacijskim sustavima i instaliranim navigacijskim uređajima na zrakoplovu. Koncept se ne temelji samo na navigacijskoj sposobnosti zrakoplova, već isti ovisi o CNS infrastrukturi i konceptu određenog zračnog prostora. Također u obzir se uzima i činjenica da su se RNAV sustavi razvijali tijekom perioda od oko 40 godina što je rezultiralo velikom razlikom u njihovim mogućnostima, načinima uporabe i implementaciji u sustavu zračnog prometa. Određivanje navigacijskih zahtjeva prije određivanja načina ispunjavanja istih, omogućuje korištenje svih RNAV sustava koji ispunjavaju navedene zahtjeve nezavisno od načina na koji su postignuti.



Izvor: ICAO Doc 9613

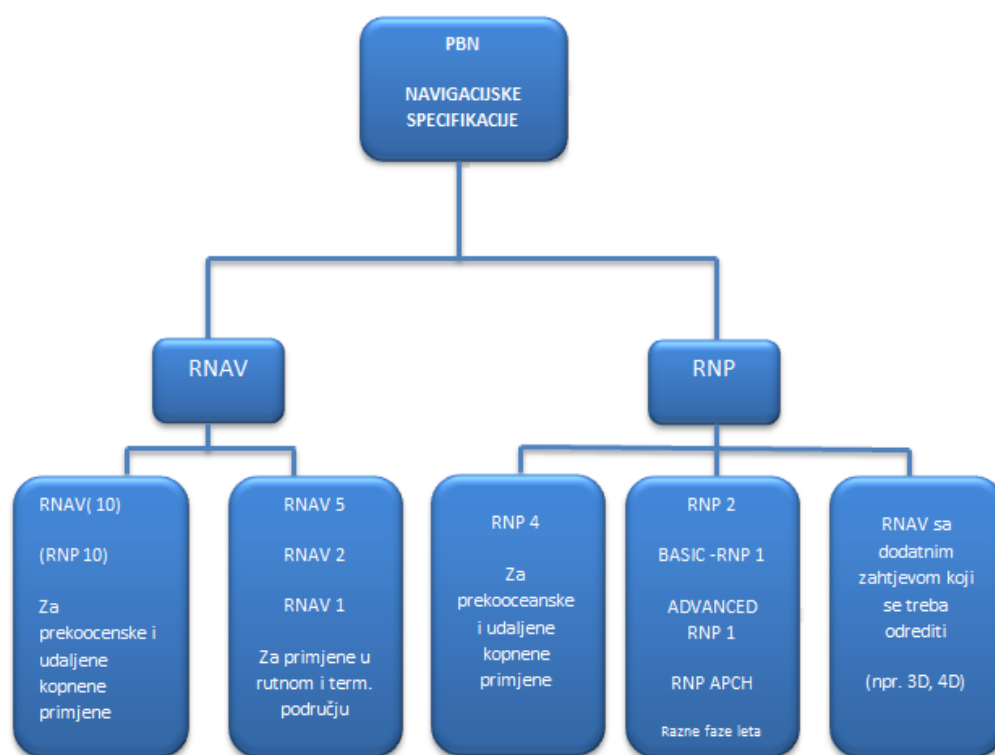
Slika 21. Komponente PBN koncepta

PBN koncept temelji se na uporabi RNAV sustava, a za njegovu primjenu potrebna su dvije osnovne komponente: navigacijska infrastruktura (*NAVAID infrastructure*) i navigacijska specifikacija (*Navigation Specification*). Kombiniranom primjenom ovih komponenata sustava u okviru određenog koncepta zračnog prostora na ATS rute i instrumentalne zrakoplovne postupke dobiva se treća komponenta ovog koncepta: navigacijska aplikacija – primjena (*Navigation Application*) (slika 21.)

Navigacijske aplikacije definiraju se kao primjena navigacijskih specifikacija i odgovarajuće navigacijske infrastrukture na rutama, procedurama i/ili dijelovima zračnog prostora u skladu s definiranim konceptom zračnog prostora. Navigacijska aplikacija je element koji zajedno sa

sustavima komunikacije, nadzora i ATM procedura ispunjava strateške ciljeve unutar definiranog koncepta zračnog prostora.

Navigacijske specifikacije predstavljaju skup zahtjeva za korištenje navigacije bazirane na performansama zrakoplova u određenom zračnom prostoru, a odnose se na letačko osoblje i zrakoplov. Postoje dvije vrste osnovnih navigacijskih specifikacija: RNP i RNAV (slika 22.). U osnovi obje su RNAV koncept, s time što RNP specifikacija dodatno zahtijeva da navigacijski sustav u zrakoplovu ima ugrađenu funkciju nadzora definiranih performansi kao i funkciju upozoravanja posade pri pojavi određenih odstupanja od namjeravane putanje leta, dok za RNAV navigacijske specifikacije taj sustav nije potreban. Ove navigacijske specifikacije su detaljno definirane kako bi se omogućila globalna harmonizacija i, uz pomoć obavljenih posebnih priručnika, usklađivanje implementacije u državama i od strane operatera.



Izvor: European Route Network Improvement Plan – Part I

Slika 22. ICAO PBN navigacijske specifikacije i pripadajuće oznake

Prema PBN konceptu, opći navigacijski uvjeti definirani su u skladu s operativnim zahtjevima. Zračni prijevoznici razmatraju opcije po pitanju raspoloživih tehnoloških rješenja i navigacijskih

usluga koje omogućavaju ispunjavanje operativnih zahtjeva. Time zračni prijevoznik dobiva mogućnosti odabira opcije koja je troškovno učinkovitija u odnosu na opciju koju bi morali izabrati u skladu s operativnim zahtjevima. Također tijekom vremena tehnologija se može razvijati ne zahtijevajući nužno i promjenu procedura sve dok RNAV sustav ispunjava očekivane zahtijevane performanse. [12]

3.2 Prednosti PBN koncepta

S ekonomske točke gledanja, primjena PBN koncepta eliminira potrebu za povećanjem troškova/investicija na osnovu različitih kriterija, operativnih procedura i osposobljavanja. Umjesto razvijanja operativnih procedura za potrebe samog sustava, PBN konceptom se definiraju operativne procedure u odnosu na operativne ciljeve, dok se raspoloživi sustavi ocjenjuju kako bi se odredilo da li mogu podržati takve operativne procedure. Takav postupak donosi harmonizirane i predvidljive rute što rezultira efikasnijom upotrebom postojećih zrakoplova, povećanja sigurnosti, kapaciteta zračnog prostora, efikasnijom potrošnjom goriva kao i mogućnost rješavanja problema buke i emisije plinova.

Prednosti PBN koncepta u odnosu na konvencionalne navigacijske postupke su: smanjenja potreba za održavanjem ruta i navigacijskih postupaka, te smanjenje troškova održavanja, kalibracije i ulaganja u uređaje i sredstva komercijalne navigacije; izbjegavanje potrebe za razvojem operativnih procedura koje se zasnivaju na konvencionalnoj navigaciji sa svakim novim poboljšanjem navigacijskih sustava; omogućavanje većeg broja operativnih odobrenja (certifikata o plovidbenosti) za korisnike, pružajući ograničen skup navigacijskih specifikacija namijenjenih globalnoj upotrebi; pojednostavljuje se definiranje i standardizacija načina uporabe sustava prostorne navigacije, omogućuje se bolja iskoristivost zračnog prostora (fleksibilnost u dizajnu ruta, smanjenje potrošnje goriva, smanjenje buke, itd.) [12]

4. Razrada metodologije za izradu dijela zračnog prostora

U ovom poglavlju razradit će se metodologija za izradu odnosno promjenu terminalnog dijela zračnog prostora. Završno kontrolirano područje ili terminalni zračni prostor (TMA³⁸) je kontrolirani zračni prostor određenih dimenzija i oblika u kojem zrakoplovi penju nakon polijetanja i snižavaju tijekom prilaza na slijetanje te samim time čini poveznicu između aerodroma i rutnog dijela leta. Uz zrakoplove u penjanju i spuštanju TMA uključuje i zrakoplove u preletu. Dizajn TMA prostora, uz smještaj ruta i krugova čekanja, ovisi i o broju aerodroma i uzletno- sletnih staza, geografskom položaju prostora, smještaju navigacijskih sredstava, broju ulaznih i izlaznih točaka, susjednim prostorima, odnosu vojnog i civilnog prometa, zaštiti okoliša itd. Terminalni zračni prostor „nadvisuje“ jedan ili više aerodroma te je svaki terminalni zračni prostor poseban u pogledu strukture i načina rada kontrolora.

Prognoze EUROCONTROL-a ukazuju na stalan trend povećanja zračnog prometa u Europi. Takav razvoj situacije zasigurno će pridonijeti još većem broju zrakoplova u ionako već zagušenim terminalnim zračnim prostorima. Sustavi i procedure koji su trenutno u upotrebi u TMA prostorima u bliskoj budućnosti neće se moći koristiti bez negativnih utjecaja na efikasnost i sigurnost letova unutar istih. Zbog toga su nužno potrebne preinake i optimizacija postojećih ili izrada novih terminalnih zračnih prostora.

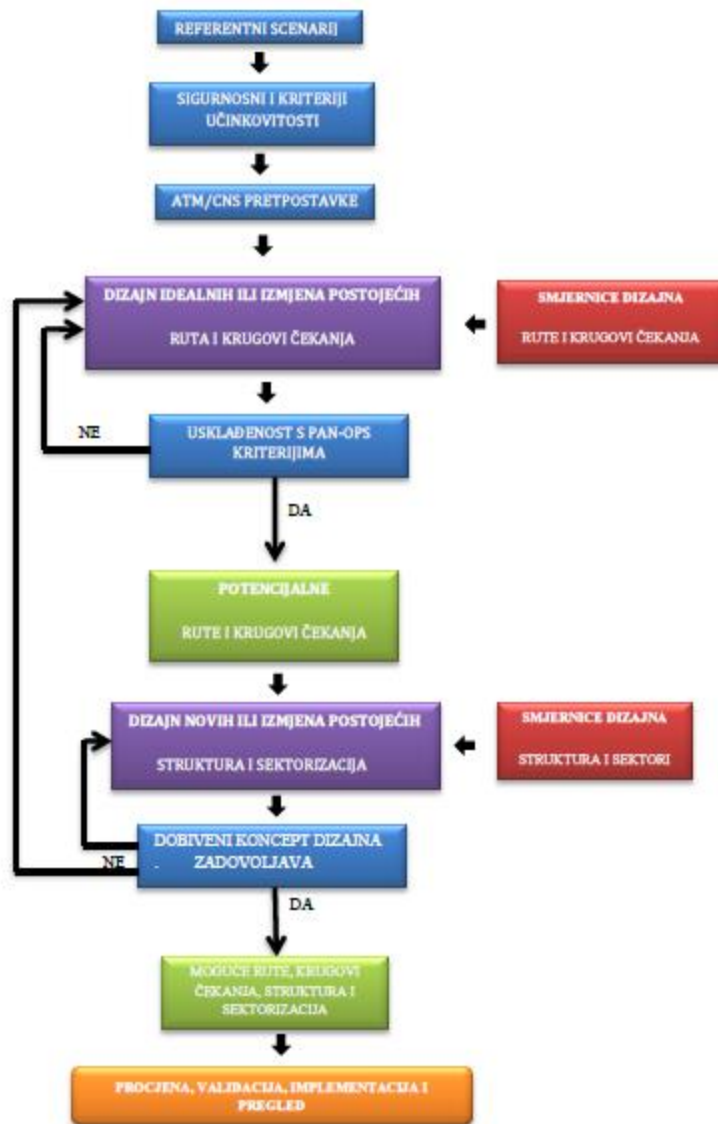
Razvoj i implementacija koncepta zračnog prostora temeljenog na PBN-u nameće se kao jedno od rješenja navedenog problema. Zbog toga što se PBN-om određuje koja navigacijska specifikacija je obvezna na rutama i unutar određenog koncepta zračnog prostora, sama primjena PBN koncepta omogućava cijeli niz prednosti u odnosu na dosadašnji razvoj navigacijske komponente koncepta zračnog prostora koja se temeljila na poziciji radionavigacijskih uređaja, a koji su opisani u poglavlju prije.

³⁸ TMA – Terminal Control Area

4.1 Referentni scenarij

Prije nego li se krene u projekt izrade i/ili promjenu novog odnosno postojećeg dijela terminalnog zračnog prostora potrebno je razumjeti i detaljno analizirati trenutne operacije koje se odvijaju unutar istog. Izgled ruta i procedura za instrumentalni prilaz, krugovi čekanja, struktura zračnog prostora, ATC sektorizacija i načini vođenja prometa unutar prostora i u odnosu na okolni zračni prostor prikupljaju se u referentnom scenariju. Referentni scenarij izrađuje se iz različitih izvora podataka, a s ciljem stvaranja kompletne slike trenutnih operacija unutar terminalnog zračnog prostora poželjno je koristiti što više izvora podataka. Kritični pregled je kvalitativni postupak koji slijedi nakon izrade referentnog scenarija, a uključuje detaljno promatranje postojećih operacija unutar prostora od strane operativnih stručnjaka. Promatra se svaki od elemenata organizacije zračnog prostora, njihov utjecaj na efikasnost i sigurnost s ciljem identificiranja područja s operativnim poteškoćama. To je faza u kojoj se identificiraju postojeća ograničenja, mjere ublažavanja i *enableri*. Kritičnim pregledom određuje se što nije u redu, ili koji čimbenici ograničavaju referentni scenarij. Također identificiraju se i elementi koji dobro funkcioniraju kako se njihov pozitivan učinak ne bi pogoršao. [13] [14]

U dijagramu 1. pojednostavljeno su prikazani svi važniji koraci metodologije za izradu odnosno promjenu terminalnog dijela zračnog prostora. Kao što je već navedeno, prvi korak, bilo pri izradi novog ili promjeni postojećeg dijela zračnog prostora, je izrada referentnog scenarija. Značaj referentnog scenarija je višestruk. Uz to što pruža mjerilo prema kojem se koncept dizajna novog dijela zračnog prostora može usporediti, referentni scenarij omogućava efikasan način određivanja ciljeva dizajna te sprječava nedostatke dizajna identificiranih u njemu samome. Ostali koraci metodologije i njihova međusobna zavisnost detaljnije će biti objašnjeni u nastavku ovog poglavlja.



Dijagram 1. Metodologija izrade i/ili promjene terminalnog dijela zračnog prostora

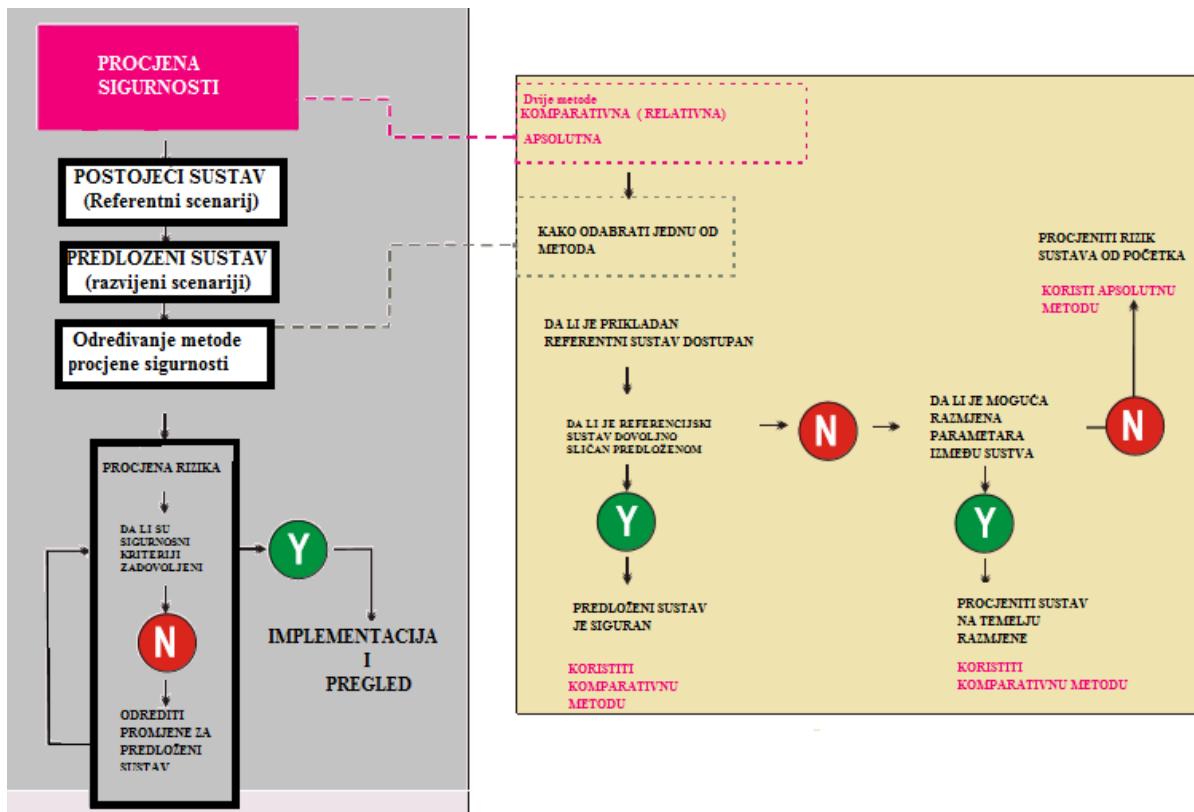
4.2 Sigurnosni i kriteriji učinkovitosti

Sigurnosni i kriteriji učinkovitosti važni su zato što pružaju mogućnost mjerenja sigurnosti i učinkovitosti predloženog dizajna zračnog prostora. Identificirani tijekom početnog planiranja projekta, ovi kriteriji mogu se prevesti u ciljeve samog dizajna i/ili projekta koji prate projekt tijekom cijelog njegovog vijeka. Kriteriji ostaju konstantni tijekom razvoja dizajna prostora, a razina do koje se oni uspješno mogu mjeriti ovisi o fazi projekta. Iako su sigurnosni i kriteriji učinkovitosti oduvijek bili važni, njihova razina značaja povećala se od uvođenja obveznih ICAO i europskih zahtjeva za procjenu sigurnosti tijekom promjene dizajna zračnog prostora.

Postoje dvije vrste procjena sigurnosti: kvalitativne i kvantitativne. Kvalitativna procjena koja započinje konceptualizacijom, a nastavlja se kroz implementaciju predstavlja i temelje za kvantitativnu procjenu. Ova vrsta procjene dizajna prostora vrši se od strane stručnjaka koji kao mjerilo koriste ICAO standarde, preporučene prakse i procedure. Kvantitativna procjena odnosi se na „kvantificiranje“ rezultata navedenih u obliku brojčanih podataka. Obje kvalitativna i kvantitativna procjena neophodne su za proces procjene sigurnosti.

Prilikom određenih modifikacija ATM sustava, ICAO Annex 11 i PANS- ATM, zahtijevaju procjenu sigurnosti (*Safety Assessment*). Zbog toga što dizajneri zračnog prostora moraju osigurati i dokazati da je dizajn zračnog prostora siguran (pružiti dokaz o sigurnosti kroz proces procjene sigurnosti), u ovom poglavlju detaljnije će se obraditi metode procjene sigurnosti.

Dvije metode koje se najčešće koriste pri procjeni sigurnosti su komparativna (relativna) i apsolutna metoda. Korištenje jedne metode ne isključuje upotrebu druge, a najčešće se i koriste u kombinaciji.



Izvor: European Route Network Improvement Plan – Part I

Slika 23. Algoritam za procjenu sigurnosti

Većina dizajnera zračnih prostora upoznata je s komparativnom metodom zato što se ista i najviše koristi. Kada se vrši procjena sigurnosti putem ove metode, sigurnost predloženog dizajna terminalnog prostora uspoređuje se s postojećim dizajnom (referentnim scenarijem). Dakle korištenjem ove metode moguće je prikazati povećanje/smanjenje ili održavanje sigurnosti predloženog dizajna u odnosu na referentni scenarij.

Suprotno relativnoj, apsolutna metoda uključuje procjenu sigurnosti s obzirom na tzv. apsolutni prag, a koristi se kada je tako zahtijevano od strane ICAO-a. To se uobičajeno događa u slučajevima kada dolazi do temeljite promjene unutar prostora poput npr. smanjenja RVSM³⁹-a. Bitno je napomenuti da zbog toga što se u većini slučajeva promjena dizajna terminalnog zračnog prostora temelji na postojećim ICAO odredbama i samim time ne zahtijeva temeljite i radikalne promjene kao navedenu u primjeru sa smanjenjem RVSM-a, metoda koja se koristi u većini slučajeva je komparativna. [14]

³⁹ RVSM – Reduced Vertical Separation Minima

4.3 ATM/ CNS pretpostavke i ograničenja

ATM/ CNS pretpostavke odnose se na elemente ATM-a/CNS-a za koje se pretpostavlja da imaju svrhu pri dizajnu zračnog prostora.

Pretpostavke u svezi prometa odnose se na prometne uzorke koji dizajneri smatraju reprezentativnima za promet koji djeluje na aerodromima unutar terminalnog zračnog prostora. Takvi prometni uzorci uključuju raspodjelu prometa kroz vrijeme, geografsku raspodjelu prometa, odnos IFR i VFR⁴⁰ letova, odnos vojnih i civilnih letova te usporedbu tipova zrakoplova (mlazni, turboprop, itd.) i njihovih performansi (brzina leta, brzina penjanja i spuštanja). Uzorak prometa kao i poznavanje flote zrakoplova od presudne je važnosti za dizajn terminalnog prostora zato što smještaj ruta mora biti takav da osigurava maksimalnu efikasnost letova i maksimalni kapacitet te minimalni utjecaj na okoliš. Odabir najreprezentativnijeg prometnog uzorka unutar terminalnog zračnog prostora najbolje se postiže kombinacijom statističkih analiza i iskustva kontrolora zračnog prometa. [13]

Uz pretpostavke prometa, od ključnog značaja za dizajn terminalnog prostora su i pretpostavke vezane uz glavnu te sporedne USS-e u upotrebi (duljina, orijentacija i dostupna navigacijska sredstva u prilaženju i slijetanju). Ostale pretpostavke uključuju pretpostavke u svezi komunikacije, nadzora, navigacije kao i one vezane uz sami ATC sustav. Odabrane od strane dizajnera sve navedene pretpostavke zahtijevaju temeljitu analizu prije početka procesa samog dizajna.

Bitno je napomenuti i da određene pretpostavke mogu biti vezane i uz faktore koji nadilaze ATM/CNS, npr. određene vremenske pojave. Pogrešno određivanje pretpostavki može naštetiti dizajnu zračnog prostora, pa s toga valja biti oprezan pri odabiru istih.

Ograničenja djeluju kao suprotnosti pretpostavkama zato što ukazuju na odsustvo pojedinih elemenata ATM-a/CNS-a ili ograničenja nastalih vanjskim čimbenicima. Tipična ograničenja uključuju visok teren, nepovoljne vremenske prilike, udovoljenje zahtjeva vezanih uz okoliš (npr. USS-a koja će se koristiti noću zbog buke) ili odsustvo brzo-izlaznih vozni staza

⁴⁰ VFR - Visual Flight Rules

(*rapid exit taxiways*) koji mogu smanjiti broj mogućih slijetanja i samim time utjecati na smještaj ruta. Općenito ograničenja imaju negativan utjecaj na operativne zahtjeve ATC za dizajn terminalnog zračnog prostora. U najboljem slučaju ograničenja se mogu ublažiti pomoću *enablera*, a u najgorem se moraju prihvatiti zbog toga što nema alternativnih rješenja.

Pretpostavke i ograničenja se određuju u različitim fazama procesa dizajna. Ograničenja ulaze u proces dizajna tijekom kritičkog pregleda referentnog scenarija dok se pretpostavke određuju prije početka konceptualnog dizajna, a ovjeravaju se tijekom različitih faza samog procesa. [14]

4.4 Rute i krugovi čekanja

Koncept dizajna započinje izradom ruta i krugova čekanja. Koristeći samo pretpostavke navedene u poglavlju prije stvara se konceptualni dizajn idealnih ili modificiranih postojećih ruta i krugova čekanja. Hoće li se dizajnirati nove idealne rute i krugovi čekanja ili raditi preinake na postojećima ovisi o tome dolazi li do značajnih promjena u operativnim uvjetima terminalnog zračnog prostora. Takve promjene uključuju npr. otvaranje ili zatvaranje uzletno-sletne staze na većim aerodromima, otvaranje ili zatvaranje aerodroma unutar terminalnog prostora, dodavanje ili uklanjanje radara ili navigacijskog sredstva od većeg značaja, itd. Bitno je napomenuti da ako i ne dolazi do takvih radikalnih promjena, dizajneri zračnog prostora mogu izraditi idealan sustav kako bi se isti koristio kao mjerilo za stvarni dizajn.

Smještaj ruta obično je određen prometnom potražnjom, uzletno- sletnom stazom u upotrebi i strateškim ciljevima, a iste se u velikoj većini slučajeva dizajniraju prije krugova čekanja. Razmak između ruta određen je operativnim zahtjevima i navigacijskim odobrenjima flote koja operira unutar zračnog prostora. [13]

Rute unutar terminalnog zračnog prostora najčešće su dolazne i odlazne rute koje mogu biti označene ili neoznačene. Označenim rutama pripadaju IFR dolazne i odlazne rute koje su uobičajeno objavljene kao SID⁴¹-ovi/STAR⁴²-ovi (na temelju RNAV ili konvencionalnih

⁴¹ SID - Standard Instrument Departure Route

navigacijskih sredstava), označene VFR rute ili VFR koridori. Rutama koje nisu označene pripadaju taktičke odluke izdane od strane kontrolora leta, a koje uključuju radarske vektore ili naredbe o nastavku leta direktno prema RNAV navigacijskoj točki.

Osnovne smjernice za dizajn ruta unutar terminalnog zračnog prostora govore da bi terminalne rute trebale biti što više odvojene (lateralno i vertikalno) jedne od drugih kako bi se poboljšala sigurnost i minimalizirali njihovi međusobni utjecaji. Također rute unutar terminalnog zračnog prostora trebale bi biti, neovisno o USS-i u upotrebi, u najvećoj mogućoj mjeri dosljedno povezane s mrežom rutnih ATS ruta te kompatibilne s terminalnim rutama iz susjednih terminalnih prostora. U konačnici objavljene rute unutar terminalnog zračnog prostora trebaju se, koliko god je to moguće, postepeno spajati prilikom pristupa terminalnim zračnom prostoru s ciljem ograničenja broja ulaznih točki (maksimalno četiri) u isti. Detaljan opis i objašnjenje navedenih smjernica i njihovih podsmjernica može se pronaći u dokumentu EUROCONTROLA-a „*European Route Network Improvement Plan -Part 1*“.

Objavljeni krugovi za čekanje trebali bi biti smješteni na način kojim bi osigurali minimalnu operativnu složenost između rutnog i terminalnog zračnog prostora (i susjednog terminalnog zračnog prostora).

Prednost krugova za čekanja je u tome što se pri postavljanju istih na određene strateške točke prije ulaska u terminalni zračni prostor održava stalan „pritisak“ na prostor, te je samim time smanjen zračni prostor koji će se uzaludno koristiti („praćenje“ zrakoplova vrši se bliže samom slijetanju). Prema tome, u slučajevima kada se koriste krugovi za čekanje, praćenje i određivanje slijeda zrakoplova izvršava se na taktičkoj razini i odgovara stvarnom vremenu i prometnoj situaciji. [14]

Dizajn ruta i krugova čekanja unutar terminalnog zračnog prostora u potpunosti mora biti usklađen s PANS- OPS kriterijima. Također u ovom koraku metodologije određuju se ograničenja i *enableri* prema kojima se dizajn ruta i krugova za čekanje prilagođava i po potrebama mijenja, a ista se mogu odnositi na npr. teren, ILS kategorije, područja osjetljiva na buku, minimalne visine leta i sl.

⁴² STAR – Standard Arrival Route

4.5 Struktura i sektorizacija zračnog prostora

Nakon dizajna idealnih ili modificiranih postojećih ruta i krugova za čekanje usklađenih s PANS-OPS kriterijima i identificiranim ograničenjima i *enablerima* slijedi dizajn struktura i sektorizacija. Kao što je slučaj s rutama i krugovima za čekanje, struktura i sektorizacija također moraju biti podvrgnute kvalitativnoj procjeni u odnosu na odabrane sigurnosne i kriterije učinkovitosti.

Koristeći već određene pretpostavke stvara se konceptualni dizajn strukture, koja služi kao zaštita IFR rutama i krugovima čekanja te sektorizacije kao jednog od najefikasnijeg načina raspodjele radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa.

Zato što dizajn terminalnog zračnog prostora ovisi o rutama i krugovima čekanja koje se nalaze unutar istog, a te rute i krugovi čekanja se temelje određenim pretpostavkama, struktura svakog terminalnog zračnog prostora je jedinstvena.

Za dizajn strukture i sektorizacije terminalnog zračnog prostora EUROCONTROL je propisao nekoliko osnovnih smjernica koje glase: lateralne i vertikalne granice sektora trebali bi biti, u najvećoj mogućoj mjeri, dizajnirane tako da se izbjegnu zahtjevi za izdavanjem postepenog spuštanja, posebno na kraćim udaljenostima; zaštićeni zračni prostor oko kruga za čekanje trebao bi biti uključen geografski u jedan definirani sektor; s ciljem osiguranja minimalne operativne složenosti sektor nebi trebao biti dizajniran neovisno od drugih sektora koji ga okružuju, itd. Detaljan opis svih osnovnih smjernica i njihovih podsmjernica, kao što je i slučaj s rutama i krugovima čekanja, može se pronaći u dokumentu „*European Route Network Improvement Plan -Part 1*“ i kao takav neće se obrađivati u ovom radu.

Kao što je već navedeno, sektorizacija terminalnog zračnog prostora jedna je od najčešćih načina raspodjele radnog opterećenja između kontrolora, a samim time i osiguranja sigurnog i efikasnog vođenja zračnog prometa unutar određenog volumena zračnog prostora. Da li je sektorizacija potrebna ovisi gotovo isključivo o radnom opterećenju kontrolora. Zato što učestalost i broj kretanja zračnog prometa čine jedan od ključnih faktora po pitanju radnog opterećenja kontrolora, važnost odabira realističnog prometnog uzorka kao i određivanje

uzletno- sletne staze koja je većinu vremena u upotrebi ne može biti prenaplašena. Jednom kada je pravilno analizirana (po pitanju vremena i geografske podjele), sektorizacija se dodjeljuje izmijenjenim ili novim dizajniranim terminalnim rutama. Kada se identificira potreba za sektorizacijom, postavlja se pitanje da li je ista i moguća. Ta mogućnost ovisi od određenog kvalificiranog osoblja, dostupnosti radnih mjesta i mogućnostima ATM sustava.

U terminalnom zračnom prostoru koriste se dvije vrste sektorizacija. Geografska sektorizacija pri kojoj se volumen zračnog prostora dijeli na „blokove“ , a svaki od kontrolora zadužen je za sav promet unutar istog. Ovakav tip sektorizacije najčešće se koristi u rutnom dijelu zračnog prostora. Funkcionalna sektorizacija dijeli volumen prostora prema fazama leta. Ovaj tip sektorizacije najčešće se primjenjuje u terminalnom dijelu zračnog prostora pri čemu je jedan od kontrolora odgovoran za dolazne, a drugi za odlazne zrakoplove. Bitno je napomenuti da je u stvarnosti vrlo rijetko koji terminalni zračni prostor sektoriziran bilo geografski ili funkcionalno. U većini terminalnih zračnih prostora koristi se kombinacija ovih dviju sektorizacija. [14]

Kao i što je slučaj s rutama i krugovima čekanja, ograničenja i *enableri* određuju se i za strukturu i sektorizaciju terminalnog prostora, a ovisno o utjecaju na iste mogu dovesti do promijene u samom dizajnu strukture odnosno sektorizacije prostora.

Nakon što je u ovisnosti od raznih pretpostavki, pripadajućih ograničenja i *enablera* dizajn ruta, krugova čekanja, strukture i sektorizacije završen, kao rezultat proizlazi koncept dizajna koji je nadalje, prije same implementacije podvrgnut procjeni i validaciji.

5. Razrada scenarija i izrade novog dijela zračnog prostora u programskom paketu NEST

U ovom poglavlju, kao primjer aktivnosti koje se moraju poduzeti u izmjeni ili izradi zračnog prostora, razradit će se scenarij promjene postojećeg zračnog prostora TMA Zagreb, kao i analiza istog radi osiguranja sigurnog, efikasnog i ubrzanog zračnog prometa u godinama koje slijede. Definirat će se opće smjernice i tehničke specifikacije, zatim izraditi nova struktura prostora koja će se koristiti pri provedbi simulacija prometa u kreiranom promijenjenom dijelu zračnog prostora koristeći programski paket NEST.

Neki od koraka metodologije za izradu/ili promjenu novog odnosno postojećeg zračnog prostora, koji su detaljnije opisani u poglavlju prije, a koji zbog opsežnosti i kompleksnosti postupaka koji ih čine zahtijevaju velik broj stručnjaka iz različitih područja zrakoplovstva i šire, uvelike nadilaze svrhu ovog rada te se isti neće nadalje opisivati i koristiti pri analizi promjene postojećeg terminalnog zračnog prostora Zagreb.

5.1 Network Strategic Tool (NEST)

NEST je aplikacija razvijena od strane EUROCONTROL-a u koordinaciji s ANSP-ovima cijelog ECAC područja. Aplikacija objedinjuje druga dva alata EUROCONTROL-a: SAAM⁴³ i NEVAC⁴⁴. Inicijalna verzija NEST-a objavljena je početkom 2013. godine.

Aplikacija se koristi od strane NM-a ili ANSP-ova za razvijanje i dizajn strukture zračnog prostora, planiranje i analizu kapaciteta, određivanje tokova prometa u strateškoj fazi, pripremu scenarija u realnom i ubrzanom vremenu te istraživanja na lokalnoj (ACC ili aerodromi) i globalnoj razini. NEST može obraditi i ujediniti veliku količinu podataka u rasponu od više godina, ali omogućava i detaljniju analizu i promatranja podataka u rasponu od 10 minuta. Korisnici mogu raditi preinake originalnih podataka ili referentnih scenarija kako bi se

⁴³ SAAM - The System for traffic Assignment and Analysis at a Macroscopic level

⁴⁴ NEVAC - Network Estimation Visualization of ACC Capacity

ispitale neograničene različite operativne mogućnosti. Osnovne ulazne podatke koji se koriste u NEST-u, a koji uključuju paneuropski zračni prostor i mrežu ruta, potražnju i raspodjelu prometa kao i prognoze prometa dobivene od STATFOR-a, pruža EUROCONTROL na kraju svakog AIRAC⁴⁵ ciklusa (28 dana). [15]

5.2 TMA Zagreb

TMA Zagreb smješten je na sjeveru Republike Hrvatske te kao takav graniči s nekoliko susjednih država te odgovarajućim im zračnim prostorima. To su zračni prostori Slovenije, Austrije, Mađarske , Bosne i Hercegovine kao i donji zračni prostor same Republike Hrvatske. Ovisno o koncentraciji prometa, a samim time i o sektorizaciji, TMA Zagreb može graničiti s nekoliko sektora unutar FIR⁴⁶-a Zagreb, s centrom zrakoplovnih informacija (FIC⁴⁷ Zagreb) te vršiti koordinaciju s vojnom kontrolom unutar FIR-a Zagreb.

U većem dijelu TMA Zagreb vertikalno se proteže od donje granice koja se nalazi na 1000ft AGL⁴⁸ do gornje granice na FL 205. Izuzetak su dvije kontrolirane zone, CTR⁴⁹ Zagreb i Lučko, koje se protežu od zemlje pa do gornje granice od 2500ft što ujedno predstavlja i donju granicu TMA Zagreb te dio zračnog prostora iznad prilazne kontrole Banja Luka gdje je donja granica TMA Zagreba FL 125. Gornja granica je u cijelom prostoru prilazne kontrole Zagreb FL 205. Iznad FL 205, nadležnost preuzima centar oblasne kontrole, a ispod 1000ft AGL nalazi se nekontrolirani G sloj zračnog prostora.

Zračni prostor TMA Zagreb prema ICAO klasifikaciji prostora pripada klasi C zračnog prostora. Prema tome unutar istog dozvoljene su operacije IFR, VFR i specijalnih VFR (SVFR) pravila letenja. Svi zrakoplovi moraju imati predan plan leta i dozvolu kontrole zračnog prometa za obavljanje istog. Zadaća prilaznog kontrolora u klasi C je da održi separaciju između IFR letova, IFR i SVFR letova te IFR i SVFR od VFR letova. VFR je letovi se međusobno ne

⁴⁵ AIRAC - Aeronautical Information Regulation And Control

⁴⁶ FIR – Flight Information Region

⁴⁷ FIC – Flight Information Center

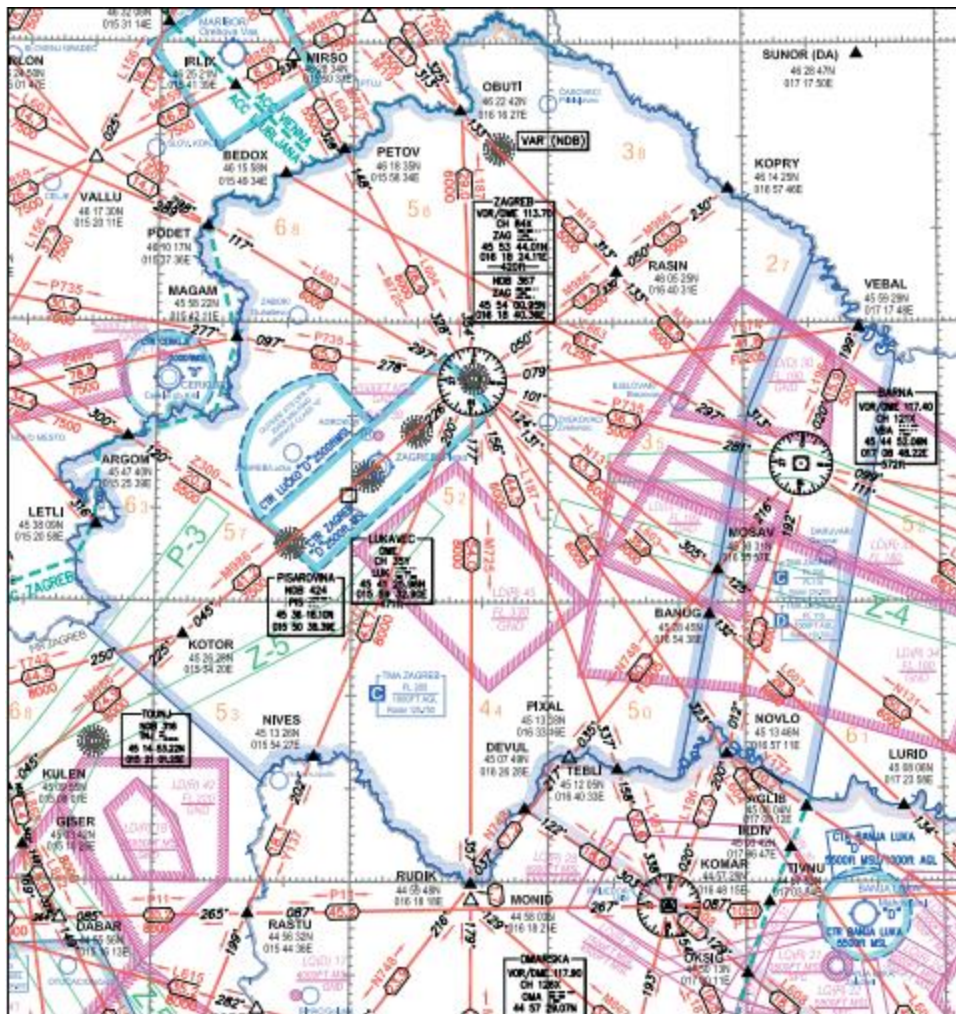
⁴⁸ AGL- Above Ground Level

⁴⁹ CTR – Control Zone

razdvajaju već se istima daje informacija o svim drugim VFR letovima. Osim klase C i već navedenog nekontroliranog sloja G, unutar zračnog prostora TMA Zagreb nalaze se i dvije kontrolirane zone, CTR Zagreb i CTR Lučko, koje pripadaju D klasi zračnog prostora, a u kojoj su ograničenja nešto manja nego li u C klasi.

Osim nekoliko manjih aerodroma i letjelišta na kojima operira zanemarivo malo letova, unutar TMA Zagreb nalazi se i međunarodna zračna luka Zagreb s uzletno- sletnom stazom u odnosu na magnetni sjever smjera 05-23 koja je u 2015. godini imala nešto više od 38 000 IFR letova. [17] Točke unutar prostora TMA Zagreb dijele se na ulazne točke, izlazne točke i točke koje se koriste u preletima. Također, može ih se podijeliti na obavezne točke javljanja i neobavezne točke javljanja. Najvažnije točke su: LETLI, ARGOM, MAGAM, PODET, GORPA (Slovenija); PETOV, OBUTI (Austrija); KOPRY, VEBAL (Mađarska); TEBLI, DEVUL, RUDIČ, NIVES, OKSIG, EVTON, ETOBI (BiH); KOTOR, RASIN, VBA, MOSAV, BANUG (RH). Točke preko kojih prolazi najviše prometa u dolasku i odlasku su ARGOM odnosno PODET.

Na slici 24. prikazan je TMA Zagreb na karti donjeg zračnog prostora FIR-a Zagreb. Osim već navedenih aerodroma, kontroliranih zona, ulaznih, izlaznih i točaka koje se koriste u preletima, na karti su jasno vidljiva i navigacijska sredstva od kojih su najznačajniji NDB PIS, NDB ZAG i NDB VAR, dva kombinirana sredstva VOR/DME ZAG i VOR/DME VBA, te lokatori VG i SK. Osim navedenog mogu se uočiti rute kao i vojne zone (označene ružičastim rubovima) Lekenik, Garešnica i Šandrovac koje, kada su aktivirane, uvelike utječu na radno opterećenje kontrolora odnosno kapacitet samog terminalnog prostora.



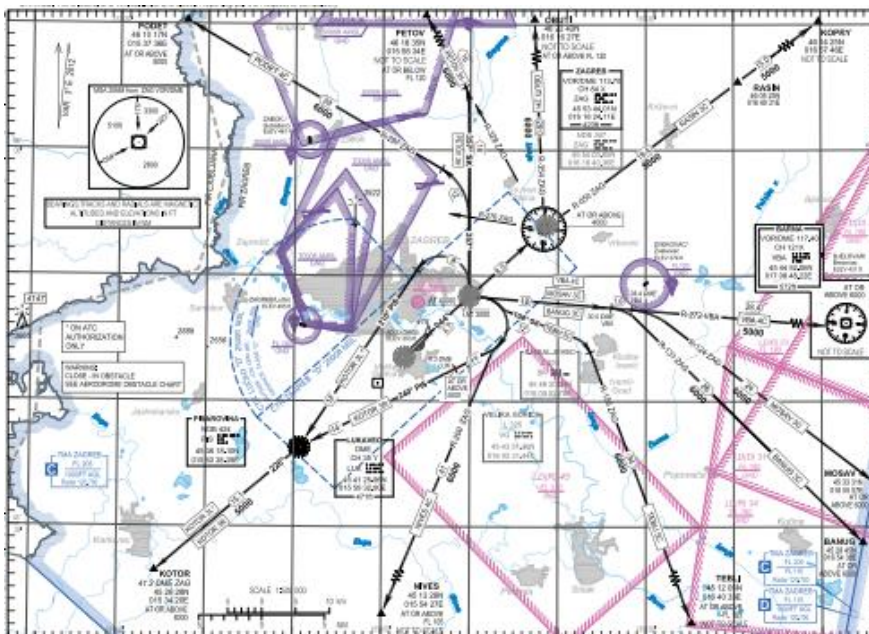
Izvor :AIP Hrvatska; ENR 6.1-1 ENROUTE CHART – ICAO LOWER AIRSPACE; 2016.

Slika 24. TMA Zagreb na karti donjeg zračnog prostora FIR-a Zagreb

Standardni instrumentalni odlazak (SID) je utvrđena instrumentalna odlazna ruta koju zrakoplov koristi nakon polijetanja, a koja osigurava nadvišavanje prepreka i pruža sigurnost u penjanju zrakoplova s ciljem povezivanja segmenta polijetanja i rutnog dijela leta. Pri dizajnu SID-ova u obzir se mora uzeti konfiguracija terena, utjecaj buke, a ista mora zadovoljavati i performanse svih kategorije zrakoplova za koje je i namijenjena.

Slika 25. prikazuje kartu sa SID procedurama za stazu 05. Zrakoplovi u odlasku u većini slučajeva od strane toranjskih kontrolora dobivaju odobrenje za let prema standardnim

procedurama odlaska (SID⁵⁰) koje prilazni kontrolor pri prvom kontaktu potvrđuje ili ovisno o prometnoj situaciji poništava te izdaje novo taktičko odobrenje.



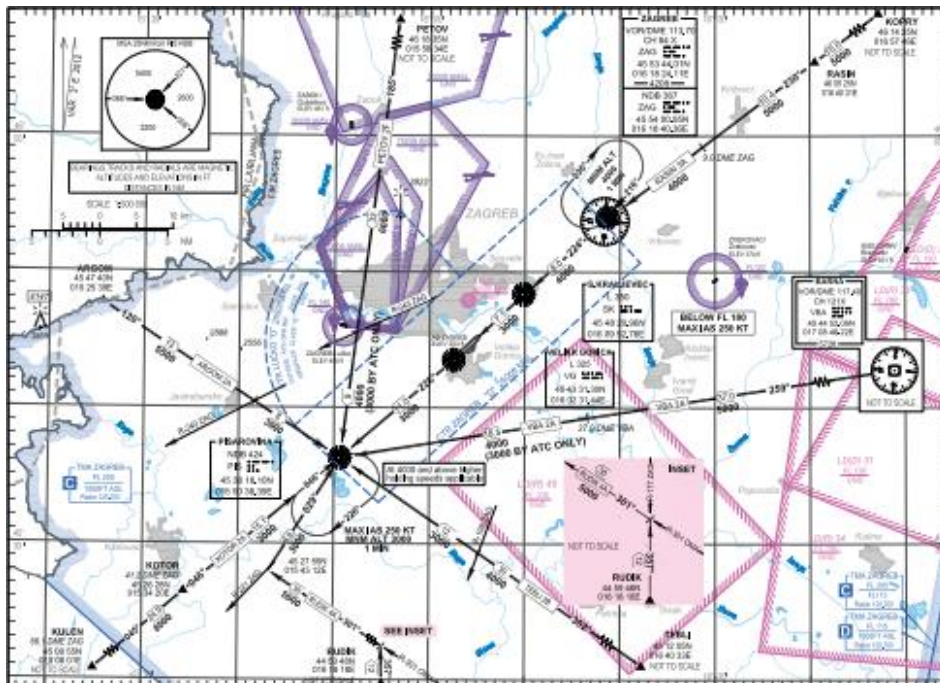
Izvor : AIP Hrvatska; AD 2 LDZA Standard Departure Chart - Instrument (SID) - ICAO - RWY 05; 2016

Slika 25. Standardne procedure odlazaka za stazu 05

Standardni instrumentalni dolasci (STAR) su određene instrumentalne dolazne rute koje povezuju specifičnu točku na nekoj ruti s točkom iz koje može započeti siguran instrumentalni prilaz. Glavni zahtjev STAR-ova je da smanje potrebu za vektoriranjem, a samim time i opterećenje prilaznih kontrolora uz očuvanje sigurnosnog vertikalnog razmaka od svih prepreka koji ne smije biti manji od minimalne visine za nadvišavanje prepreka. STAR procedure za stazu 05 u Zagrebu prikazane su na slici 26.

Za razliku od SID-ova koji se u velikoj većini slučajeva koriste, STAR procedure se unutar TMA Zagreb, uglavnom zbog kompleksnosti prostora, upotrebljavaju puno rjeđe. Kod dolaska zrakoplova u TMA Zagreb češće se koristi vektoriranje nego li standardne procedure dolaska. S većine točaka postoje tzv. standardni vektori, odnosno vektori koji se koriste u većini slučajeva.

⁵⁰ SID- Standard Instrument Departure



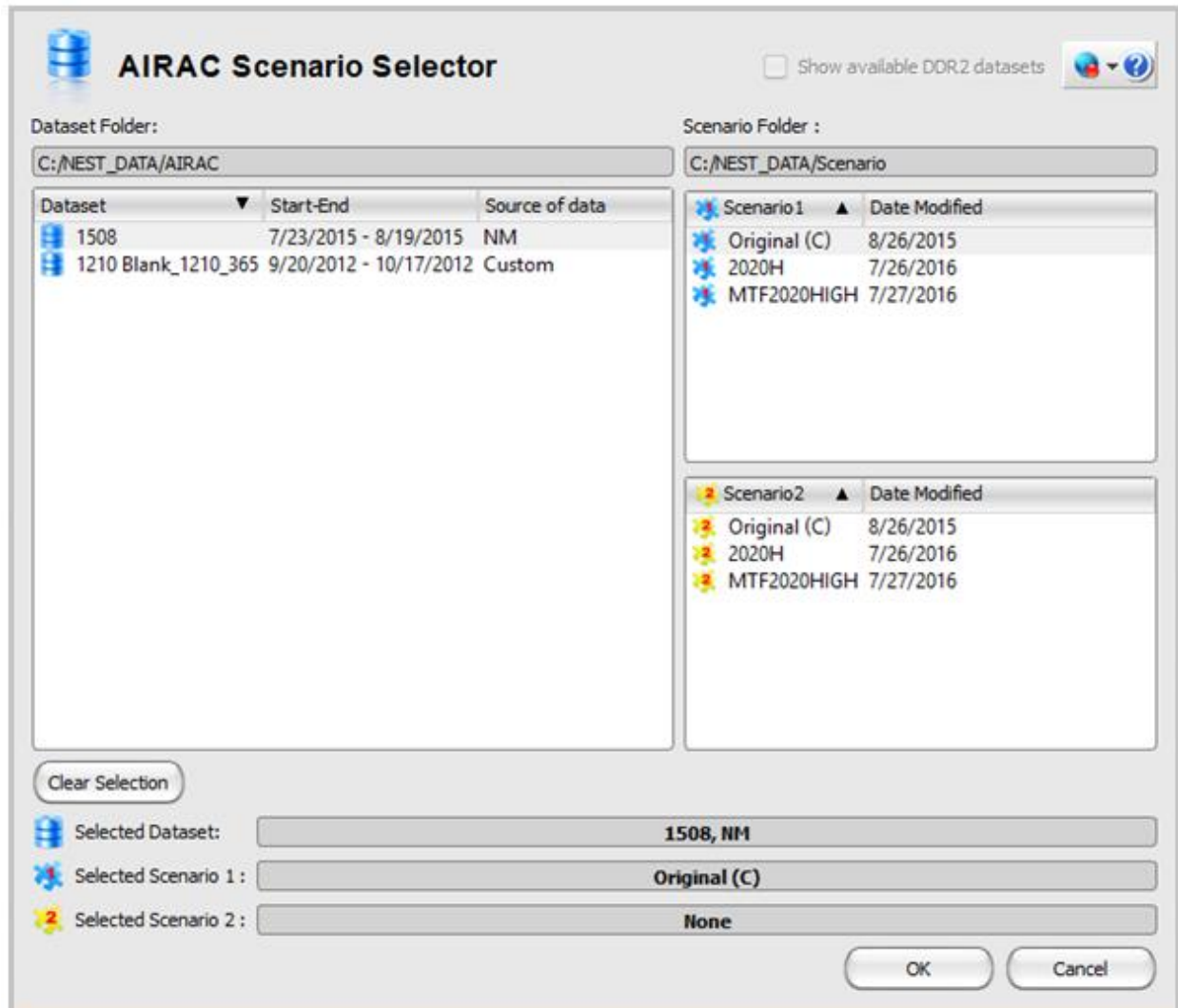
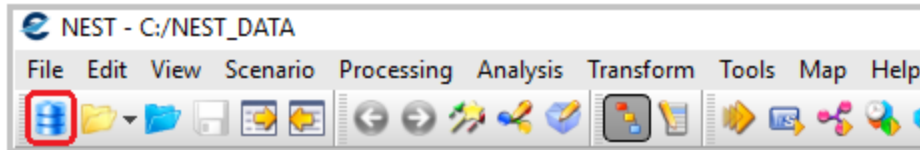
AIP Hrvatska; AD2 LDZA Standard Arrival Chart – Instrument (STAR) – ICAO – RWY 05; 2016

Slika 26. Standardne procedure dolazaka za stazu 05

5.3 Analiza prometa TMA Zagreb

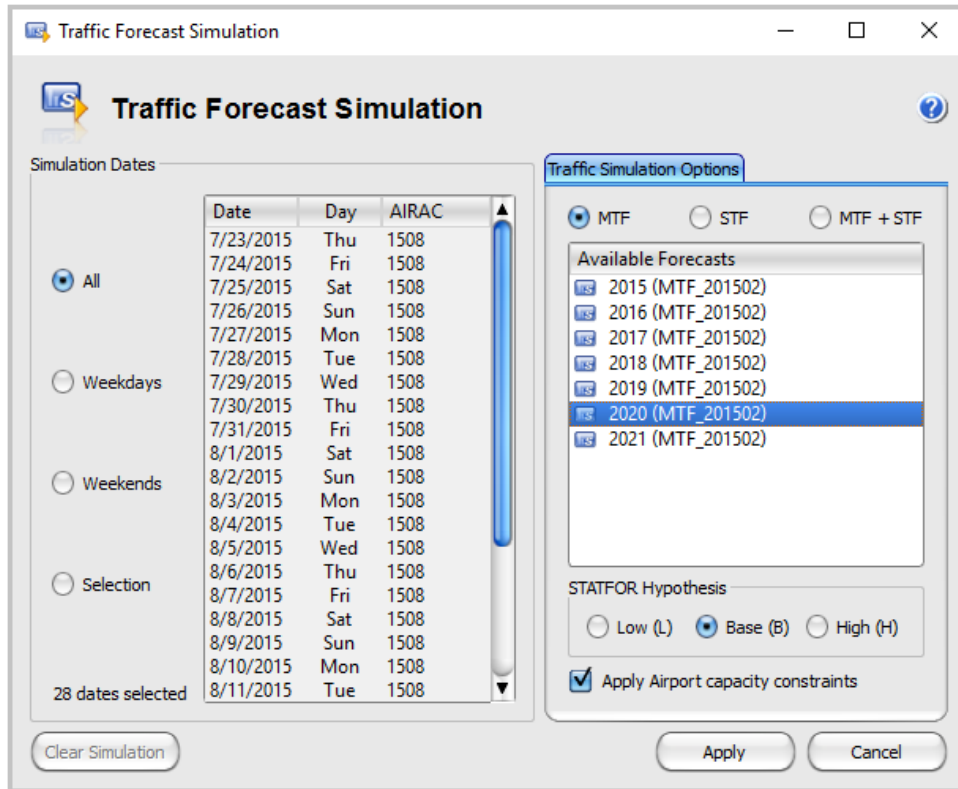
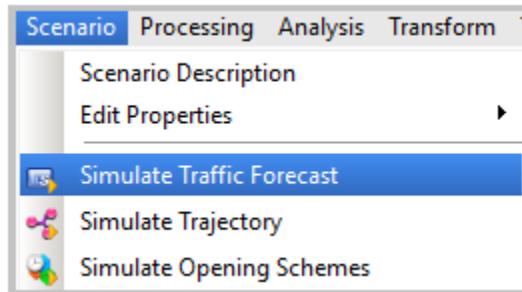
Kao ulazni podaci za analizu prometa unutar TMA Zagreb koristit će se podaci EUROCONTROL-a (STATFOR) dati u AIRAC-u 1508. Isti uključuje datume od 23.7.2015 do 19.8.2015 godine, a odabran je na principu vršnog mjeseca po prometu u godini unutar TMA Zagreb te kao takav najbolje odgovara za potrebe simulacija koje će se izvršiti u okviru ovog poglavlja.

Simulirat će se prometna potražnja u sadašnjim uvjetima te u uvjetima osnovne i optimistične prognoze povećanja prometa za 2020. godinu. Odredit će se vršni dan za svaki od navedenih scenarija i izvršiti komparativna analiza dobivenih rezultata kako bi se dobila što bolja predodžba prometa u godinama koje slijede.



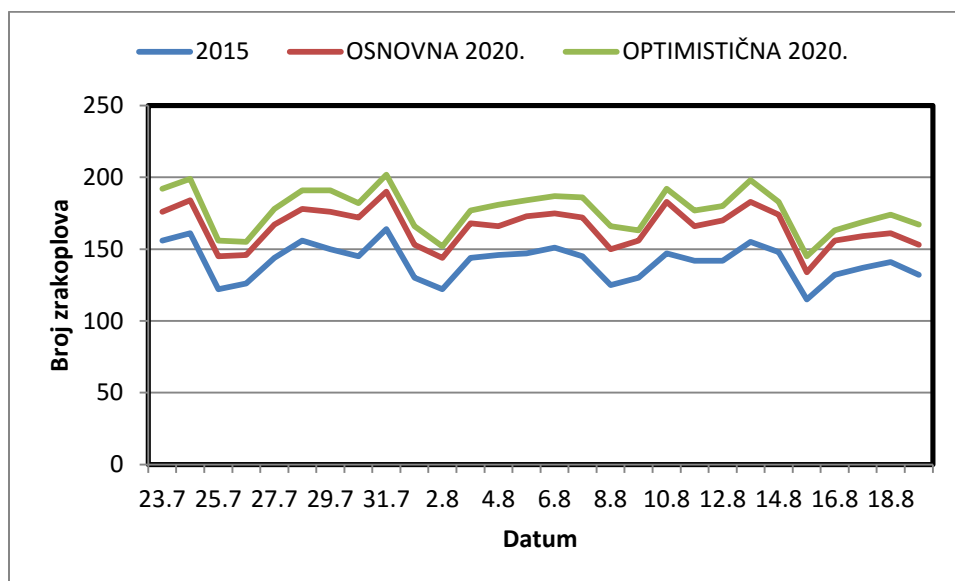
Slika 27. Odabir AIRAC-a i scenarija

Na slici 27. prikazan je postupak odabira željenog AIRAC-a i scenarija. Klikom na plavu bačvicu na alatnoj traci (označena crveno na gornjoj slici), otvara se prozor u kojem se odabire AIRAC ciklus i scenarij koji će se koristiti u radu. Na primjeru je odabran AIRAC 1508 s originalnim scenarijem. Po potrebama korisnika scenarij se može izmijeniti. Istodobno se mogu selektirati, a samim time i uspoređivati najviše dva scenarija.



Slika 28. Postupak simulacije prognoze prometne potražnje

Opcijom *Simulate Traffic Forecast* omogućena je simulacija prometne potražnje. Osim odabira datuma unutar samog AIRAC-a koji se žele simulirati, opcija nam nudi i odabir vrste prognoze (kratkoročna - STF, srednjoročna – MTF ili kombinacija istih) kao i razinu porasta (pesimistična – *Low*, osnovna – *Base* i optimistična – *High*). Kada je, kao u slučaju na slici, aktivirana opcija *Apply Airport capacity constraints*, u simulacijama se u obzir uzima kapacitet aerodroma. Ako prometna potražnja nadilazi navedeni kapacitet promet se usmjerava na aerodrome koji su najbliže preopterećenom i u mogućnosti su prihvatiti promet.

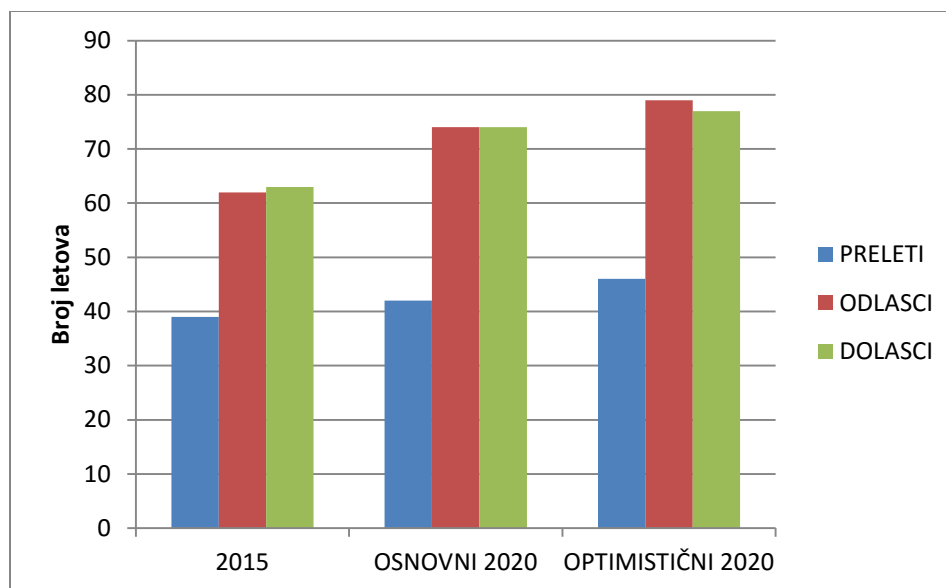


Slika 29. Prometna potražnja unutar TMA Zagreb

Slika 29. prikazuje prometnu potražnju unutar TMA Zagreb za originalni scenarij (2015. godina) te prognoze prometa za osnovni i optimistični scenarij za 2020. godinu. Kao što je i slučaj u većini europskih zemalja, unutar TMA Zagreb u godinama koje slijede predviđa se značajan porast prometa. U 2015. godini u navedenom periodu unutar TMA Zagreb bilo je 3955 letova, dok se za 2020. predviđa 4630 za osnovni odnosno 4956 letova za optimistični scenarij. Drugim riječima osnovni scenarij predviđa porast prometa od 3,14%, a optimistični porast od prosječno 4,51% godišnje. Prosječan broj letova unutar prostora u jednom danu u navedenom periodu iznosio je 142 zrakoplova u originalnom scenariju odnosno 166 i 177 u prognozama za 2020. Vršni dan za sva tri scenarija je 31.7, a isti ima 164, 190 odnosno 202 letova zrakoplova.

Daljnje analize i usporedbe te same simulacije izmjene zračnog prostora za sva tri scenarija vršit će se u odnosu na navedeni vršni dan.

Na slici 30. prikazane su vrste letova unutar TMA Zagreb u vršnom danu za sva tri navedena scenarija. Kao što je i za očekivati unutar terminalnog zračnog prostora prevladavaju dolasci i odlasci koji čine 38,67% odnosno 38,49% ukupnog prometa, dok su preleti zastupljeni u nešto manjoj mjeri (22,84%).



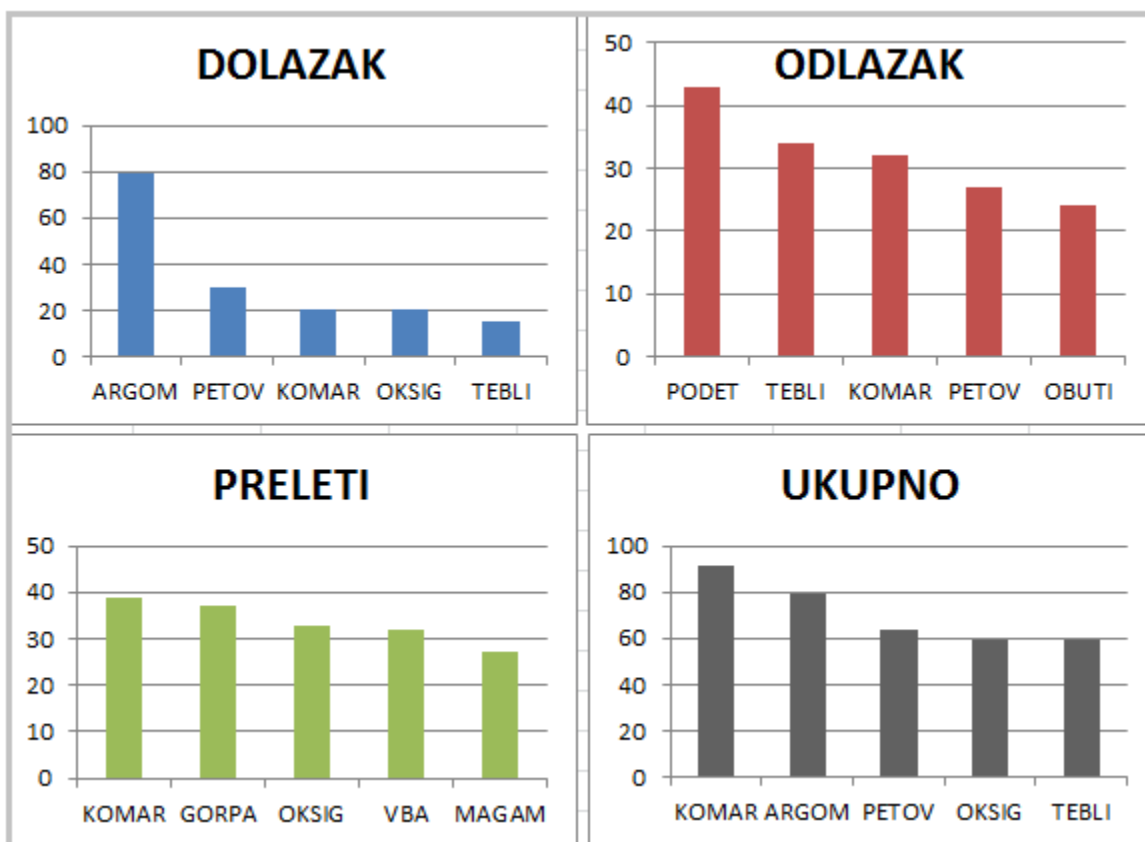
Slika 30. Vrste letova unutar TMA Zagreb

Na slici 31. prikazana je analiza prometne potražnja po točkama za dolaske, odlaske, prelete te ukupna potražnja za najopterećenije točke unutar TMA Zagreb. U obzir su uzete samo granične točke TMA, dok su točke odnosno navigacijska sredstva unutar samog prostora izuzeti iz analize. Podaci se odnose na vršni dan za sva tri scenarija zajedno.

U promatranom periodu u TMA Zagrebu bilo je 556 letova od čega ih je 214 završavalo unutar samog prostora (slijetanja na aerodrom). Oko 20% svih dolazaka čine letovi iz ostalih terminalnih prostora unutar FIR-a Zagreb. Pet točaka preko kojih su zrakoplovi najčešće ulazili za slijetanje su redom ARGOM PETOV, KOMAR, OKSIG i TEBLI. Najopterećenija točka s 79 odnosno 37% svih dolazaka uvjerljivo je ARGOM. Slijede PETOV (30), KOMAR(20), OKSIG (20) i TEBLI (15). Na temelju ovih podataka može se zaključiti da najviše dolaznog prometa unutar TMA Zagreb čine letovi iz srednje i zapadne Europe.

Od 215 odlazaka najviše ih se odvijalo preko točaka PODET, TEBLI, KOMAR, PETOV i OBUTI. Najopterećenija točka je PODET s 43 odnosno 20% svih odlazaka. Slijede TEBLI (34), KOMAR (32), PETOV (27) i OBUTI (24). Primjetno je da, za razliku od dolazaka gdje je ARGOM u odnosu na ostale točka s daleko najviše letova, potražnja po točkama u odlasku ravnomjernije raspoređena. Oko 28% svih letova je prema aerodromima unutar FIR-a Zagreb, a najviše odlazaka je, kao što je i slučaj kod dolazaka, prema srednjoj i zapadnoj Europi.

Preleti, koji su unutar terminalnog prostora zastupljeni u manjem broju od odlazaka i dolazaka, čine 127 od ukupnih 556 letova. Kao što je i slučaj s odlascima, prometna potražnja pri preletima prilično je ravnomjerno raspoređena između točaka unutar prostora. Bitno je napomenuti da se za razliku od dolazaka i odlazaka gdje se u obzir uzimala samo jedna točka za jedan let, preleti mogu uključivati i dvije točke – ulaznu i izlaznu iz prostora. Prema tome najopterećenije točke su KOMAR (39), GORPA (37), OKSIG (33), VBA (32) i MAGAM (27).



Slika 31. Prometna potražnja po točkama

Na donjem desnom grafikonu na slici 31. prikazana je ukupna prometna potražnja po točkama unutar TMA Zagreb. Ista uključuje sumu letova u odlascima, dolascima i preletima. Iako je točka ARGOM uvjerljivo najopterećenija točka ako se u obzir uzima samo jedna od navedenih kategorija, ukupno gledajući KOMAR (91) je najopterećenija točka unutar cijelog prostora. Slijede ARGOM (79), PETOV (64), OKSIG (59) i TEBLI (59).

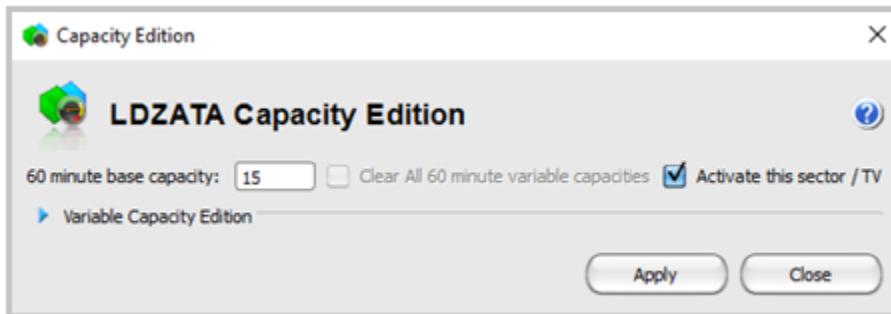
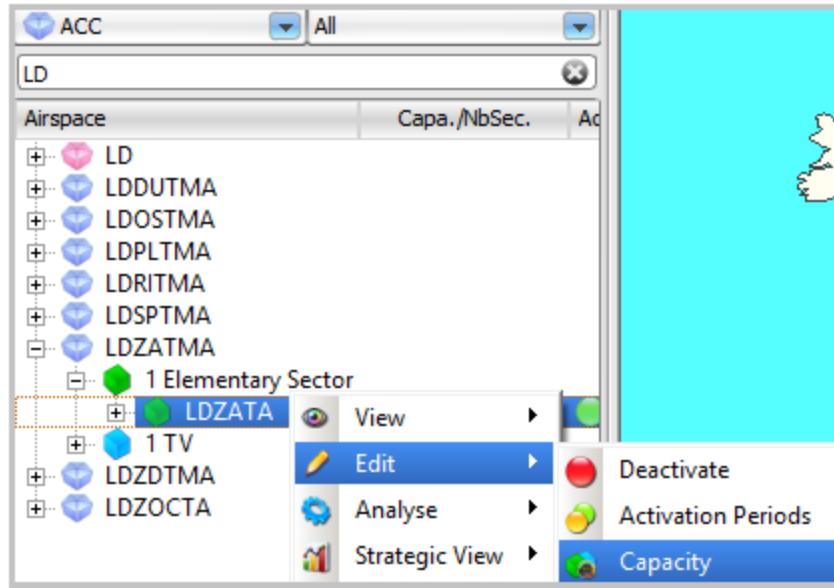
5.4 Scenariji promjene postojećeg prostora

Kapacitet zračnog prostora definiran je kao maksimalan broj zrakoplova koji može stati u određeni sektor kontrole zračnog prometa ne ugrožavajući sigurnosne norme. Vrijednost kapaciteta nekog terminalnog zračnog prostora ovisi o mnogo faktora: dizajnu terminalnih ruta, korištenju označenih dolaznih i odlaznih ruta poput SID-ova/STAR-ova, točnosti navigacijskih performansi zrakoplova, fazama leta itd.

Iako neki prostor većinu vremena može zadovoljavati prometnu potražnju, problem predstavlja mogućnost pojave višestrukih zahtjeva za prostorom u vrlo kratkom vremenskom periodu. Za vrijeme vršnih opterećenja prometna potražnja može nadilaziti kapacitet samog prostora što za posljedicu ima povećanje radnog opterećenja kontrolora odnosno pojavu kašnjenja ili u još gorem slučaju narušavanje sigurnosnih normi. Kao jedno od rješenja za povećanje kapaciteta terminalnih prostora nameće se promjena strukture istih.

Trenutni kapacitet TMA Zagreb u slučaju kada radi samo izvršni kontrolor iznosi 15 operacija na sat. U slučaju kada zajedno s njime na sektoru radi i kontrolor planer kapacitet se može povećati do 18 operacija na sat. [18] U simulacijama i analizama u okviru ovog rada koristit će se kapacitet od 15 operacija po satu.

Slika 32. prikazuje postupak postavke kapaciteta za TMA Zagreb. Gornji dio slike prikazuje postupak otvaranja zasebnog prozora koji se dobiva desnim klikom miša na željeni sektor.



Slika 32. Postupak postavke kapaciteta

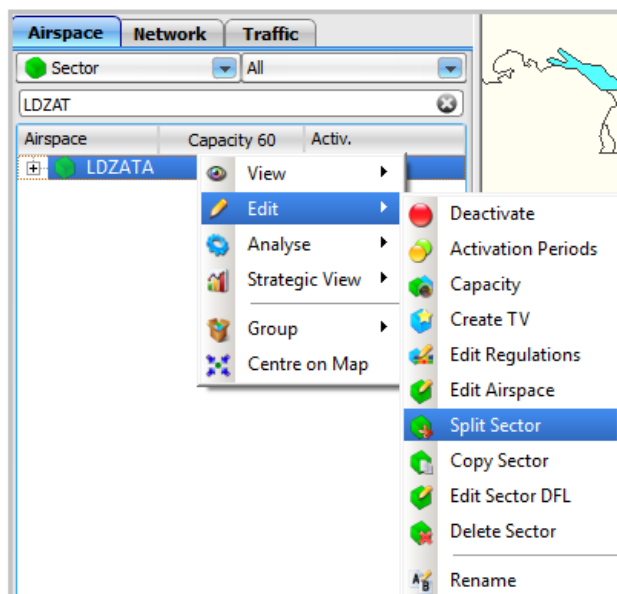
Odabirom funkcije *Edit* i *Capacity* u padajućem izborniku, otvara se prozor *Capacity Edition* u kojem jednostavnim upisom željenog broja omogućena postavka kapaciteta odabranog sektora. Funkcijom *Variable Capacity Edition* moguća je detaljnija postavka kapaciteta na način da se isti može postaviti za svaki od odabranih dana i sati unutar AIRAC ciklusa.

5.4.1 Scenarij vertikalne podjele prostora

U ovom scenariju izvršit će se vertikalna podjela postojećeg zračnog prostora TMA Zagreb. Pri određivanju razine leta (FL-a) podjele nastojat će se postići što sličnija opterećenost novonastalih dvaju sektora.

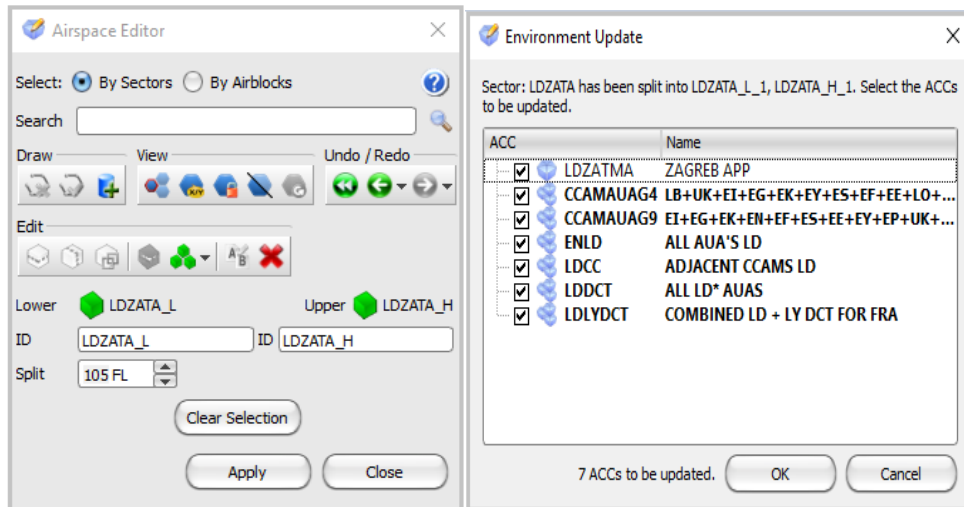
Analizom optimistične prognoze prometa za 2020. godinu za sve datume unutar AIRAC ciklusa i sve visine od FL 95 do FL 185 gdje se uspoređivala razlika u broju operacija između novonastalih dvaju sektora ustanovljeno je da je ukupna razlika između opterećenja istih najmanja kada je granica postavljena na FL 105. Zbog velike razlike u opterećenosti dvaju sektora podjela prostora ispod FL 95 i iznad FL 185 nije dolazila u obzir.

Slika 33. prikazuje postupak vertikalne podjele TMA Zagreb. Prvi korak pri bilo kakvoj promijeni postojećeg prostora je odabir istog. Nakon odabira željenog sektora odnosno prostora, u ovom slučaju LDZATA, desnim klikom miša na isti otvara se izbornik u kojem se nudi funkcija *Edit* odnosno *Split Sector*.



Slika 33. Postupak vertikalne podjele TMA Zagreb – korak 1

Klikom na *Split Sector* otvara se *Airspace Editor* u kojem je moguće raditi promjene samo na prostorima odnosno sektorima koji su označeni odnosno prikazani na mapi.



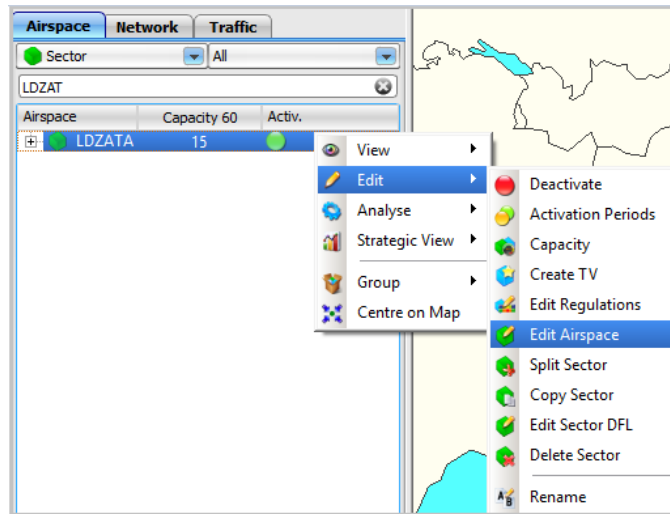
Slika 34. Postupak vertikalne podjele TMA Zagreb – korak 2

Navedeni *Airspace Editor* nudi nekolicinu funkcija za izmjenu postojećeg ili izradu novog prostora od kojih je za vertikalnu podjelu istog dovoljna samo funkcija *Split* kojom se postojeći označeni sektor, na odabranoj razini (u ovom slučaju FL105), dijeli na dva dijela. Opcijom *Apply* potvrđuju se napravljene izmjene. Na slici desno prikazani su sektori na koje podjela prostora TMA Zagreb ima utjecaj, odnosno sektori koji će zbog iste biti ažurirani.

5.4.2 Scenarij horizontalne podjele prostora

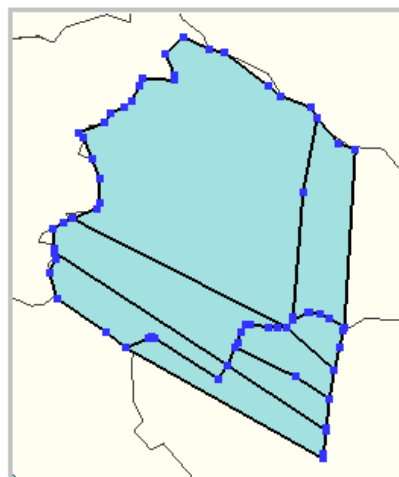
U ovom scenariju opisat će se postupak horizontalne podjela postojećeg zračnog prostora TMA Zagreb. Kako se u terminalnim prostorima većina operacija, osim manje količine preleta, dijeli na odlazne i dolazne, idealno (po pitanju kapaciteta) bi bilo da svaki od novonastalih sektora u što većoj mjeri bude opterećen jednom vrstom istih. Međutim kako veliku većinu točaka koriste zrakoplovi i u odlasku i u dolasku (analiza pod točkom 5.3), takva stroga podjela u NEST-u nije moguća. Zbog toga će se pri određivanju granice dvaju sektora, kao i kod vertikalne podjele prostora u scenariju prije, nastojati postići što sličnija opterećenost novonastalih dvaju sektora.

Postupak horizontalne podjele prostora započinje odabirom željenog sektora. Za razliku od vertikalne podjele gdje se u padajućem izborniku odabirala opcija *Split Sectors*, u ovom slučaju odabire se *Edit Airspace* (slika 35.)



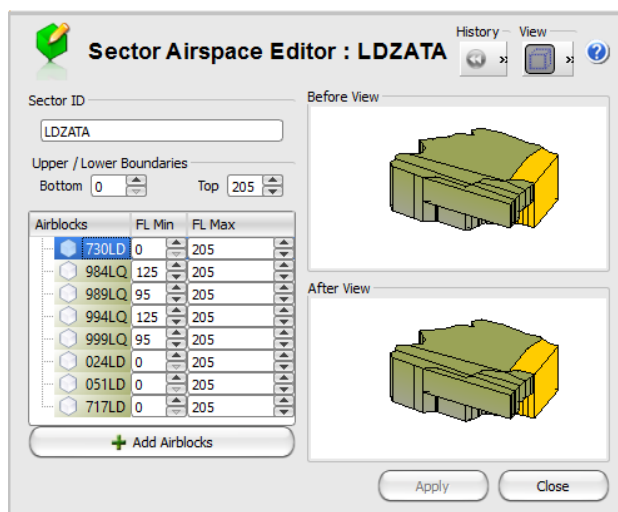
Slika 35. Postupak horizontalne podjele TMA Zagreb

Odabirom funkcije *Edit Airspace* otvara se *Airspace Editor* u kojem se izgled mape odnosno sektora pritiskom tipke *Space* na tipkovnici može mijenjati između *View* i *Edit* moda. U *View* modu koji je u 3D načinu prikaza, a koji je automatski postavljen pri pokretanju programa, omogućeno je kretanje po mapi u svim smjerovima no bilo kakve izmjene osim postavki donje i gornje granice prostora nisu omogućene. Mod *Edit* koji je u 2D načinu prikaza i u kojem su vidljive sve granične točke sektora omogućuje označavanje željenih sektora i točaka, dodavanje novih ili promjenu pozicije postojećih točaka, pomicanje granica sektora, izradu novih ili izmjenu postojećih blokova prostora, itd.



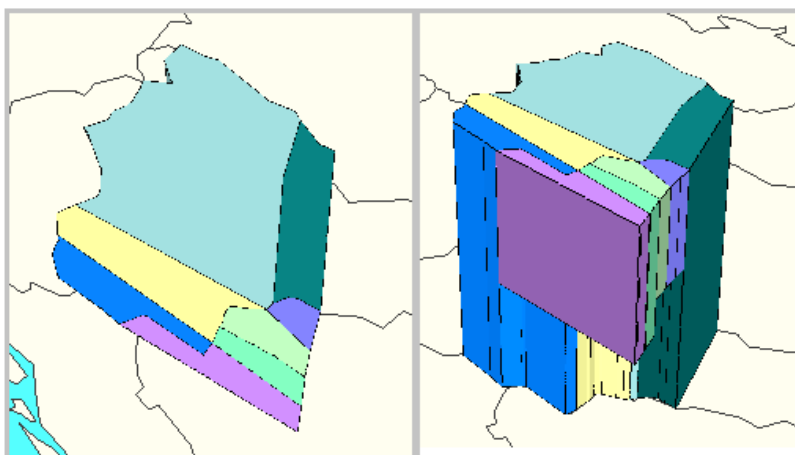
Slika 36. Izgled prostora u *Edit* modu

Prostor TMA Zagreb se u stvarnosti sastoji od 8 blokova zračnog prostora. Isti su prikazani na slici 37. na kojoj se mogu uočiti njihova imena, smještaj u odnosu na ostale blokove te donja i gornja visinska granica. U prozoru *Before View* prikazani su blokovi prije bilo kakve izmjene visine ili dodavanja novog bloka dok se u prozoru *After View* prikazuju navedene promjene ako iste i postoje.



Slika 37. Blokovi zračnog prostora TMA Zagreb

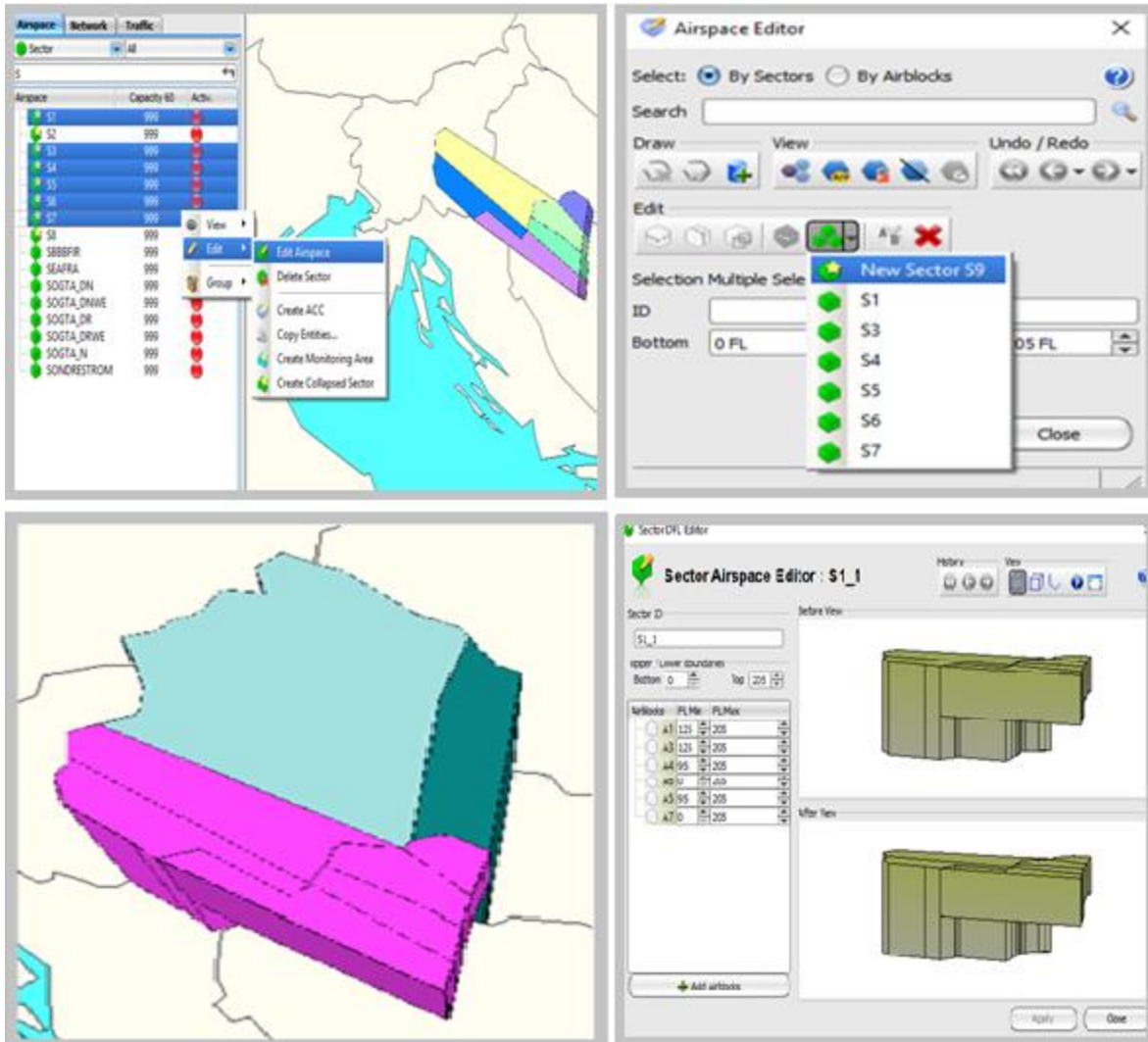
Kako bi podjela unutar ovog poglavlja bila što realnija visine blokova ostat će identične i nakon podjele prostora. Ono što će se mijenjati su njihove lateralne granice. Izmjenu istih moguće je ostvariti u već spomenutom *Edit* modu gdje se lijevim klikom miša na graničnu točku ista može povlačiti proizvoljno čime se mijenja i granica samog bloka. Kako su u NEST-u blokovi unutar TMA Zagreb spojeni u cjelinu i nije ih moguće razdvojiti, radi lakše podjele prostora svaki od blokova unutar navedenog prostora bit će izrađen zasebno. Također bitno je napomenuti da će svaki od postojećih blokova nakon ponovne izrade činiti zaseban sektor. Najjednostavniji način za navedeno je precrtavanje svake od točki na već izrađenim blokovima. U *Edit* modu tipkom “Ctrl” i lijevim klikom miša izrađuje se nova točka. Kako bi novonastali sektori bili identični blokovima u stvarnosti potrebno je svaku točku izraditi na mjestu na kojem se ista nalazi i u stvarnosti. Dakle jednostavnom kombinacijom navedene tipke i klikom miša na već postojeće granične točke nekog bloka izrađuju se nove koje će tvoriti novi sektor identičan odgovarajućem bloku u stvarnosti. Isti postupak se ponavlja za svaki od blokova odnosno sektora. Gornja i donja visinska granica postavljaju se u već spomenutom *Airspace Editoru*.



Slika 38. Blokovi unutar TMA Zagreb

Slika 38. prikazuje nove sektore unutar prostora TMA Zagreb identične po visini i geografskom položaju blokovima u stvarnosti. Imena sektora generirana su automatski pri čemu ista mogu biti promijenjena, a nazivi dodijeljeni proizvoljno.

Dva ili više sektora međusobno se mogu spajati tvoreći tako jedan ili više zasebnih. Postupak za navedeno je prikazan na slici 39. Odaberu se sektori koji se žele spojiti (lijeva gornja slika) i otvori se već spomenuti *Airspace Editor* u kojem se odabire funkcija *Group In Sector* (desna gornja slika). Rezultat su spojeni odabrani sektori S1, S3, S4, S5, S6 i S7 koji sada postaju blokovi (s istim visinskim granicama) i tvore novi sektor S9 (odnosno S1_1), dok su sektori S2 i S8 ostali zasebno (donje slike).



Slika 39. Postupak spajanja sektora

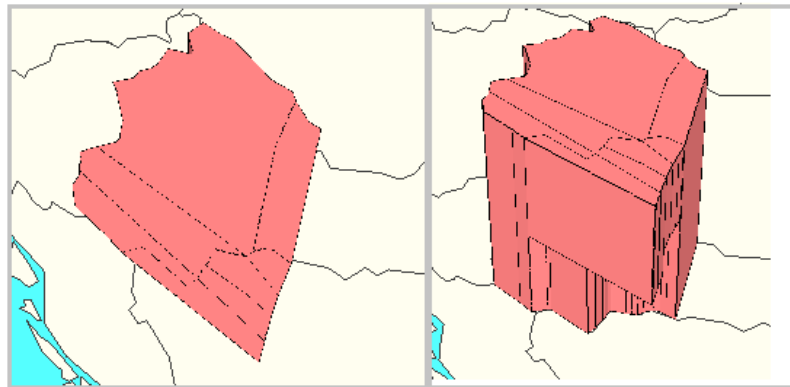
Novi sektori se naravno mogu izraditi i neovisno o postojećim blokovima prostora. Postupak za navedeno je isti kao i gore opisani s iznimkom što se granične točke ne izrađuju na već postojećim točkama na granicama blokova već se postavljaju i na posljetku spajaju proizvoljno. Podjela prostora za potrebe simulacija unutar ovog rada izvršit će se izradom novih sektora kao i grupiranjem istih na načine objašnjene u tekstu neposredno iznad.

6. Provedba simulacija i analiza rezultata

Nakon razrade scenarija i postupaka podjele postojećeg zračnog prostora TMA Zagreb, u ovom poglavlju izvršit će se simulacija i analiza postojećeg prostora kao i onih nastalih vertikalnom ili horizontalnom podjelom. Usporedit će se postojeći prostor s novonastalima, a dobiveni rezultati pokazat će da li je neka od podjela rješenje za povećanje prometa unutar prostora TMA Zagreb u godinama koje slijede.

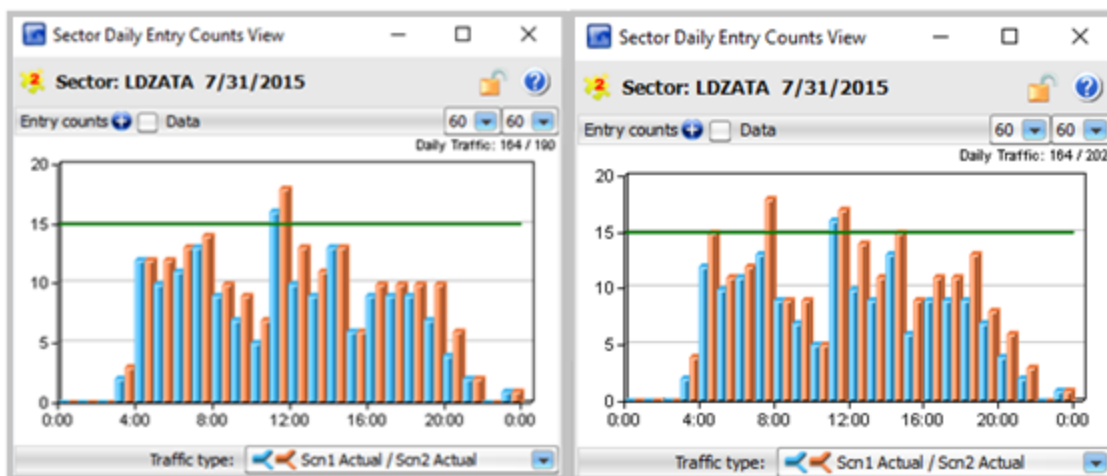
6.1 Simulacija i analiza postojećeg prostora

TMA Zagreb je u stvarnosti, neovisno o prometnoj potražnji i opterećenju kontrolora, uvijek konfiguriran kao jedan sektor (slika 40.)



Slika 40. Postojeći izgled TMA Zagreb

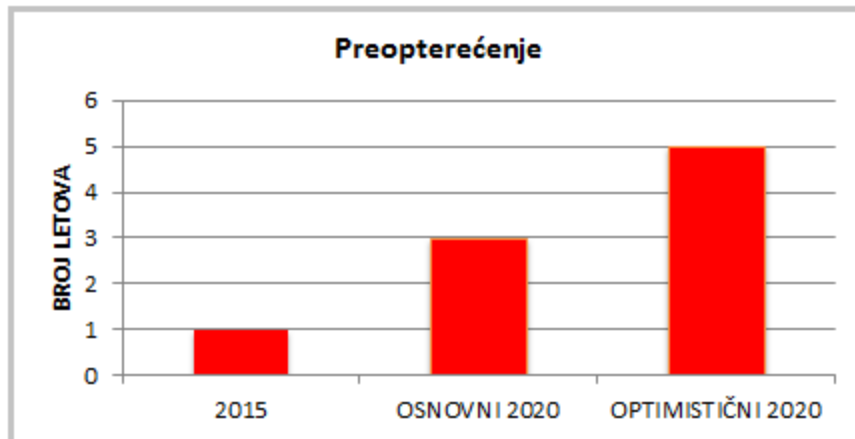
U ovom poglavlju analizirat će se sadašnji prostor TMA Zagreb za već navedeni vršni dan u sadašnjim uvjetima, i u uvjetima osnovne i optimistične prognoze prometa za 2020. godinu.



Slika 41. Usporedba prometa u 2015. te prognozama za 2020. godinu

Na lijevoj strani slike 41 prikazana je usporedba prometa iz 2015. godine i prometa prema osnovnoj prognozi za 2020. godinu unutar TMA Zagreb za već navedeni vršni dan. Plavim stupcima prikazan je promet (broj zrakoplova koji ulaze u sektor svakih sat vremena) iz 2015. godine, a narančastim prognoza istog za 2020. godinu. U gornjem desnom kutu može se očitati ukupni promet za oba scenarija (164/190). Zelena linija označava kapacitet prostora. Vršni sat unutar navedenog dana, u kojem je ujedno i prekoračen kapacitet prostora od 15 zrakoplova/h, bio je od 11:00h – 12:00h za oba scenarija. Broj zrakoplova koji su se u navedenom satu našli u prostoru iznosio je 16 za promet u 2015. odnosno 18 za 2020. godinu.

Na desnoj strani slike 41 uz već analiziran promet vršnog dana 2015. godine prikazan je i promet prema optimističnoj prognozi za 2020. godinu. Za razliku od osnovne prognoze za 2020. godinu u kojoj se u samo jednom satu predviđa prekoračenje kapaciteta, optimistična prognoza predviđa dva sata u vršnom danu koji će uzrokovati preopterećenje. 18 zrakoplova se predviđa između 7:00h i 8:00h, a 17 od 11:00h do 12:00h.



Slika 42. Preopterećenje TMA Zagreb pri trenutnoj konfiguraciji

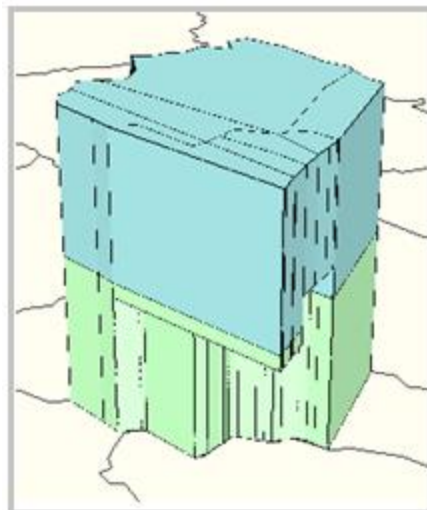
Slika 42. prikazuje opterećenje TMA Zagreb u vršnom danu pri konfiguraciji s jednim sektorom za promet 2015. godine te za obje prognoze 2020. godine. Navedeno preopterećenje može se vidjeti i na slici 44, a čine ga svi stupci koji nadilaze zelenu liniju odnosno kapaciteta prostora.

Konfiguracija zračnog prostora TMA Zagreb kao jednog sektora za trenutnu prometnu potražnju ne predstavlja ograničavajući faktor. Potražnja rijetko prelazi 10 operacija na sat čime je i radno opterećenje kontrolora na zadovoljavajućoj razini. Međutim u godinama koje slijede za predviđenu prometnu potražnju za vrijeme vršnih perioda trenutni kapacitet, karakteristike prostora i organizacija poslova mogu predstavljati ograničavajući faktor.

Kao jedno od rješenja za povećanje kapaciteta nameće se i promjena sektorizacije trenutnog prostora TMA. Ista može biti provedena na dva načina: vertikalno ili horizontalno. U nastavku ovog poglavlja izvršit će se promjena trenutne sektorizacije na oba načina, analizirat će se dobiveni rezultati i ovisno njima donijet će se zaključak da li je promjena sektorizacije prikladno rješenje za smanjenje preopterećenosti unutar TMA Zagreb u godinama koje slijede.

6.2 Simulacija i analiza vertikalne podjele prostora

Kao što je navedeno u poglavlju 5.4.1 vertikalna podjela prostora na FL105 nudi najmanju razliku u opterećenosti između novonastalih dvaju sektora.



Slika 43. Izgled TMA Zagreb nakon vertikalne podjele

Postojeći prostor podijeljen je na dva nova sektora pri čemu LDZATA_H predstavlja sektor iznad FL 105, a LDZATA_L predstavlja sektor ispod FL 105. Ukupno opterećenje sektora kroz AIRAC ciklus za LDZATA_H iznosi 3998 operacija, a LDZATA_L 3942 operacije. U vršnom danu odnos je 164 (LDZATA_H) naprema 163 (LDZATA_L) operacija.

Group by:	Show:	Sector	Nb Flight	City Pair
● Sector	<input type="radio"/> All <input checked="" type="radio"/> Selected	LDZATA_ALL	164	
		LDZATA_H	132	
		LDZATA_L	132	

Group by:	Show:	Sector	Nb Flight	City Pair
● Sector	<input type="radio"/> All <input checked="" type="radio"/> Selected	LDZATA_ALL	190	
		LDZATA_H	152	
		LDZATA_L	156	

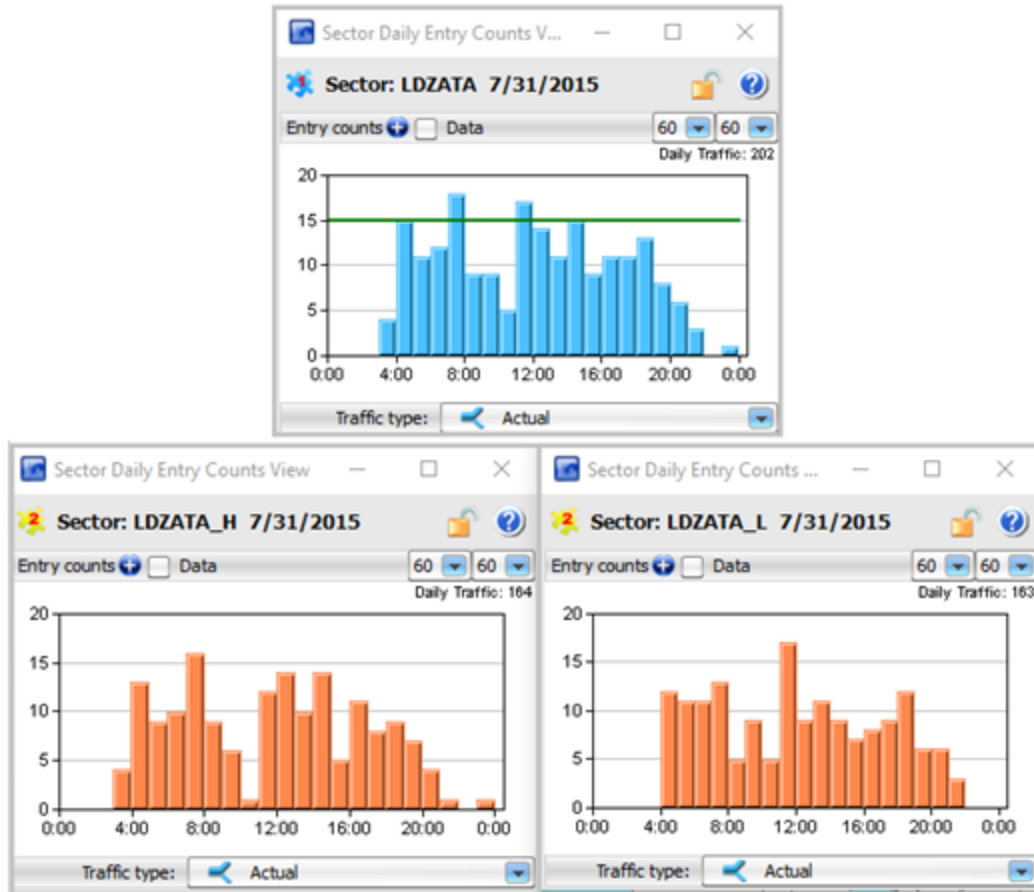
Group by:	Show:	Sector	Nb Flight	City Pair
● Sector	<input type="radio"/> All <input checked="" type="radio"/> Selected	LDZATA_ALL	202	
		LDZATA_H	164	
		LDZATA_L	163	

Slika 44. Opterećenje po sektorima – podjela FL 105

Na slici 44. LDZATA_ALL uključuje ukupan promet unutar prostora za 2015.godinu i obje prognoze za 2020. godinu. Zbroj prometa u sektorima LDZATA_H i LDZATA_L se ne poklapa s ukupnim brojem prometa (LDZATA_ALL) zbog toga što u većini slučajeva zrakoplov

prilikom operacija unutar terminalnog zračnog prostora penje i spušta od aerodroma do zadane mu razine leta i obrnuto prolazeći tako kroz oba sektora i predstavljajući time opterećenje za svaki od sektora zasebno. Izuzetak su većina preleta te letovi koji npr. polijeću s nekog aerodroma unutar TMA no unutar prostora ne postignu visinu veću od FL 100 čineći opterećenje za samo jedan od sektora.

Za razliku od prostora TMA Zagreb kao jednog sektora čiji je kapacitet što je preciznije moguće izračunat u radu [18], kapacitet novonastalih sektora nakon vertikalne podjele postojećeg prostora nije moguće točno odrediti. Iako postoje alati (ne i u NEST-u) koji omogućavaju detaljan unos podataka vezanih uz neki prostor s ciljem izračuna kapaciteta, točan iznos nije moguće u potpunosti odrediti. I dok se za prostore odnosno sektore koji se koriste u stvarnosti kapacitet može približno odrediti npr. mjerenjima na samom radnom mjestu ili procjenom kontrolora zračnog prometa, za navedene novonastale sektore to nije slučaj. Izračun kapaciteta određenih sektora ovisi o mnogo čimbenika i potrebne su kompleksne i detaljne analize stručnjaka kontrole zračne plovidbe za izračun istog što nije cilj ovog rada. Također kako se pojedini terminalni zračni prostori u pravilu međusobno jako razlikuju, uspoređivanje istih i uzimanje približnih vrijednosti kao referenci nije moguće. Iz navedenih će se razloga vrijednosti kapaciteta novonastalih sektora postaviti na vrijednost 999, odnosno kapacitet neće biti određen, a analiza prometne potražnje (za optimističnu prognozu) analizirat će se bez određene vrijednosti istog.



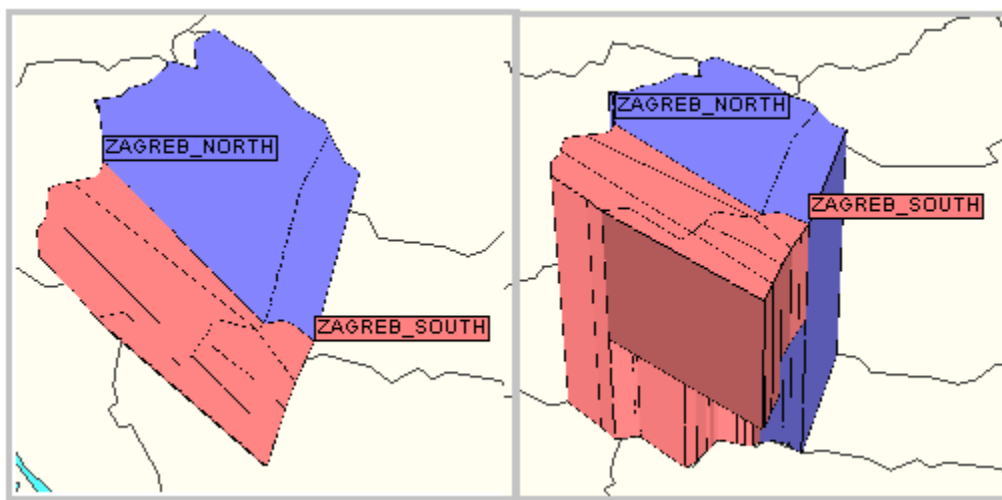
Slika 45. Usporedba optimistične prognoze prometa nakon vertikalne sektorizacije

Slika 45. prikazuje usporedbu prometa za optimističnu prognozu za već navedeni vrši dan. Prikazan je promet koji ulazi u određeni sektor u jednom danu u razmaku od sat vremena. Gornja slika odnosi se na TMA Zagreb kao jednog sektora, dok donje dvije prikazuju sektore nakon vertikalne podjele. Donja lijeva prikazuje sektor iznad FL 105, a desna ispod FL 105. Promet za TMA Zagreb kao jednog sektora već je analiziran u poglavlju 6.1, a ovdje je stavljen zbog usporedbe s novonastalim sektorima. Kapacitet za jedan sektor iznosi 15 operacija na sat pri čemu u dva sata u danu dolazi do prekoračenja (plavi stupci iznad zelene linije). Vidljivo je da ukoliko bi kapacitet svakog od novonastalih sektora i nakon podjele iznosio 15 operacija na sat (povećanje kapaciteta cijelog prostora od 100%), broj sati u danu u kojima bi došlo do preopterećenja ili u kojima bi broj zrakoplova bio blizu određenog kapaciteta bi se donekle smanjio. Naravno takvo što u stvarnosti nije moguće jer nije realno za očekivati da će svaki od novonastalih sektora imati kapacitet kao jedan zasebni sektor. Ukoliko bi suma kapaciteta svakog od prostora iznosila približno kao kapacitet jednog zasebnog sektora (npr. 8 operacija na

sat za svaki od novonastalih sektora, odnosno ukupno 16 operacija), broj sati u danu u kojem bi došlo do preopterećenja sektora bi se uvelike povećao i samim time bi odabrana vertikalna podjela imala negativan utjecaj na povećanje kapaciteta.

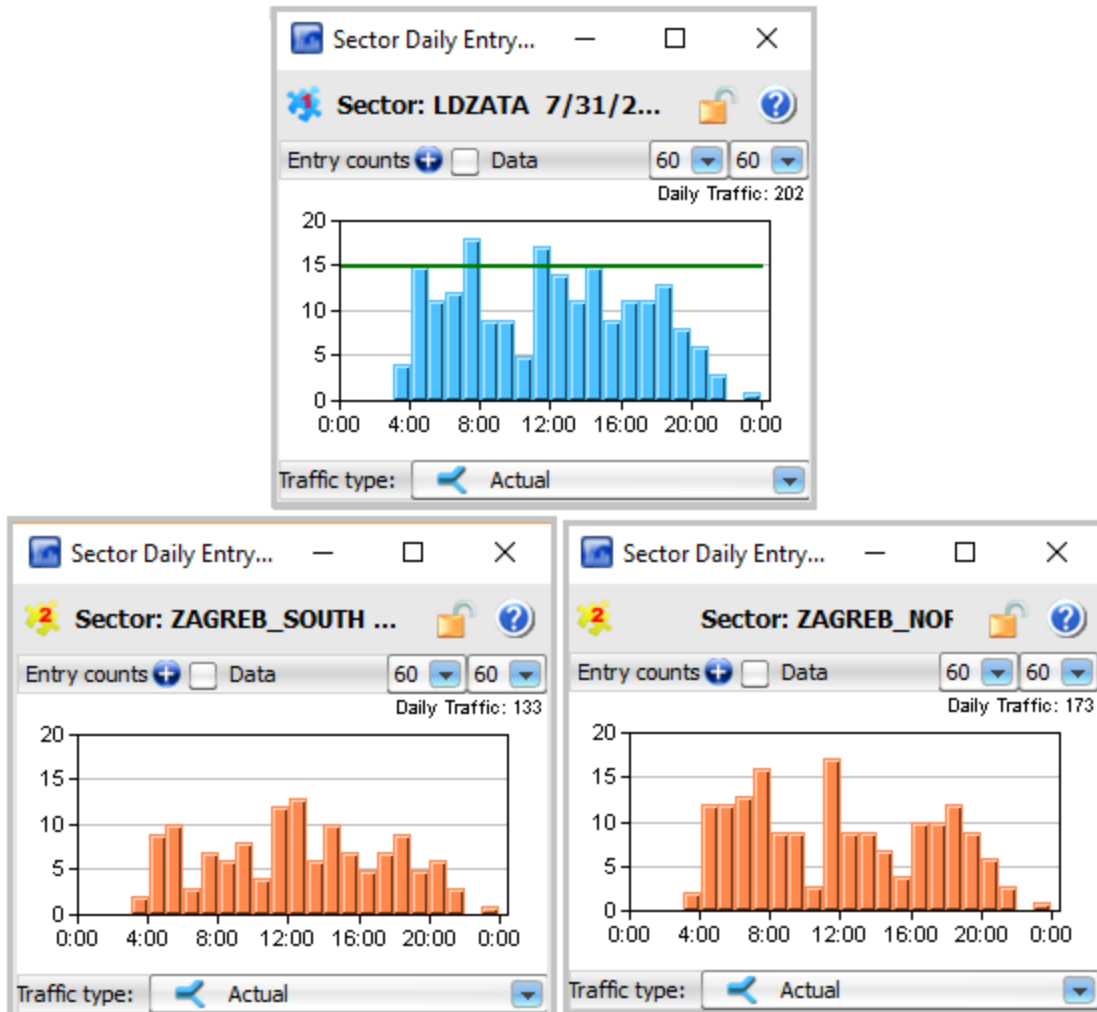
6.3 Simulacija i analiza horizontalne podjele prostora

Horizontalna podjela prostora izvršena je tako da se postojeći jedan sektor podijelio na dva nova sektora tako da navedeni budu što sličniji prema opterećenju. Kako se promet unutar TMA Zagreb uglavnom kreće u smjeru sjeverozapad – jugoistok i obrnuto, podjela prostora izvršena je i na temelju navedenog.



Slika 46. Izgled TMA Zagreb nakon horizontalne podjele

Slika 46. prikazuje izgled TMA Zagreb nakon horizontalne podjele. ZAGREB_SOUTH (crvena) i ZAGREB_NORTH (plava) predstavljaju novonastale sektore. Problem s određivanjem kapaciteta novonastalih sektora je identičan onom pri vertikalnoj podjeli prostora. Kako su novonastali sektori hipotetski tj. ne koriste se u stvarnosti, mjerenja na radnom mjestu ili procjene kontrolora zračnog prometa po pitanju kapaciteta prostora nije moguće sprovesti. Iz navedenih će se razloga vrijednosti kapaciteta novonastalih sektora postaviti na vrijednost 999, odnosno kapacitet neće biti određen, a analiza prometne potražnje (za optimističnu prognozu) analizirat će se bez određene vrijednosti istog.



Slika 47. Usporedba optimistične prognoze prometa nakon horizontalne separacije

Na slici 47. prikazan je promet koji ulazi u određeni sektor u jednom danu u razmaku od sat vremena. Gornja slika odnosi se na TMA Zagreb kao jednog sektora, dok donje dvije prikazuju sektore nakon horizontalne podjele. Donja lijeva prikazuje sektor ZAGREB_SOUTH, a desna ZAGREB_NORTH. Promet za TMA Zagreb kao jednog sektora već je analiziran u poglavlju 6.1, a ovdje je stavljen zbog usporedbe s novonastalim sektorima. Vidljivo je da u navedenom vršnom danu broj operacija u sektoru ZAGREB_NORTH iznosio 173 , a u sektoru ZAGREB_SOUTH 133. Kako iz već spomenutih razloga nije moguće odrediti točan kapacitet novonastalih sektora vrijednost istih možemo pretpostaviti. Tako bi se u slučaju da kapacitet svakog od sektora nakon podjele iznosi 15 operacija na sat opterećenje u sektoru ZAGREB_SOUTH značajno smanjilo dok bi se za sektor ZAGREB_NORTH također smanjilo no u nešto manjoj mjeri. Naravno opet je važno naglasiti da je gotovo nemoguće očekivati da će

svaki od novonastalih sektora imati kapacitet kao jedan zasebni sektor uglavnom zbog manjeg prostora koji je kontrolorima dostupan za razdvajanje još većeg broja zrakoplova. Ukoliko bi kapacitet svakog od sektora iznosio oko polovice vrijednosti istog u slučaju jednog sektora, dakle oko 8 operacija na sat, broj sati u danu u kojem bi došlo do opterećenja bi se višestruko povećao i samim time horizontalna podjela sektora simulirana u ovom poglavlju ne bi imala smisla.

7. Zaključak

Zbog povećanja zračnog prometa na prostoru Europe tehnologije i sustavi koji su trenutno u upotrebi predstavljat će ograničavajuće faktore za siguran, ubrzan i održiv razvoj zračnog prometa u godinama koje slijede. Iz tog razloga potrebno je razvijati i implementirati nove sustave i procedure koje će udovoljiti svim budućim zahtjevima. Jedno od područja u kojem postoji prostor za napredak je dizajn (konfiguracija, struktura) zračnog prostora. U ovom diplomskom radu fokus je stavljen na dizajn prostora TMA Zagreb.

Analizom prometne situacije unutar TMA Zagreb ustanovljeno je da trenutna konfiguracija istog kao jednog sektora za trenutnu potražnju ne predstavlja ograničavajući faktor. S kapacitetom od 15, a potražnjom koja rijetko prelazi 10-tak operacija na sat, radno opterećenje kontrolora i protočnost prostora na zadovoljavajućoj je razini. Međutim kako se predviđa konstantan porast prometa u godinama koje slijede, u programu NEST izvršena je simulacija povećanja prometne potražnje za 2020. godinu prema dvama scenarijima, osnovnom i optimističnom, kako bi se ustanovilo da li će trenutna konfiguracija prostora TMA Zagreb zadovoljavati pri navedenom porastu prometa. Ustanovljeno je da za vrijeme vršnih perioda trenutni kapacitet, karakteristike prostora i organizacija poslova mogu predstavljati ograničavajući faktor. Kao jedno od rješenja za navedeni problem nameće se promjena sektorizacije prostora koja se može sprovesti na dva načina – vertikalno i horizontalno. Obje podjele, kao i analize koje su uslijedile, izvršene su u odnosu na optimističnu prognozu prometa za 2020. godinu. Pri objema podjelama prostora nastojalo se postići da novonastali sektori budu što je više moguće sličniji po opterećenosti. Analizom opterećenosti novonastalih sektora za vertikalnu podjelu je ustanovljeno da je najmanja razlika u navedenom na FL105. Uz što sličniju opterećenost novonastalih sektora, pri horizontalnoj podjeli prostora u obzir se uzimao i smjer kretanja većine prometa unutar prostora. Kako se isti unutar TMA Zagreb uglavnom kreće u smjeru sjeverozapad – jugoistok i obrnuto, podjela prostora izvršena je na temelju navedenog. Problem pri analizi nakon obje podjele javio se u vidu određivanja kapaciteta novonastalih sektora. Kako je u stvarnosti određivanje istog dugotrajan i kompleksan proces koji uključuje stručnjake iz raznih područja kontrole zračne plovidbe u ovom radu nije bilo moguće odrediti vrijednosti istih. Iz tog razloga kapaciteta svakog od novonastalih sektora postavljen je na vrijednost 999 što u NEST-u predstavlja

neodređen kapacitet. Analizom se ispostavilo da ukoliko bi kapacitet novonastalih sektora, bilo pri vertikalnoj ili horizontalnoj podjeli, ostao približno oko vrijednosti istog pri konfiguraciji s jednim sektorom (oko 15 operacija na sat), podjele prostora na navedeni način dovele bi do određenog smanjenja preopterećenja sektora. Međutim bitno je naglasiti da svaka podjela prostora za sobom vuče određene posljedice. Možda i najbitnija je činjenica da bi podjela prostora, bilo vertikalna ili horizontalna, dovela do potrebe za otvaranjem još jedne kontrolorske pozicije odnosno još većim brojem prilaznih kontrolora koje bi trebalo školovati i osposobiti za rad na novouspostavljenim sektorima što za sobom povlači pitanje isplativosti takvog postupka. Ukoliko bi kapacitet novonastalih sektora iznosio 10 operacija na sat ili manje, navedene podjele prostora ne bi imale smisla. Uz promjenu sektorizacije prostora kao jedno od tehnoloških rješenja za povećanje kapaciteta unutar TMA Zagreb nameće se uvođenje PBN navigacije koja bi omogućila bolju iskoristivost zračnog prostora, izradu ruta vezanih uz smanjenje buke, smanjen broj radio-transmisija, mogućnosti implementacije prilaza s neprekinutim snižavanjem, smanjenog radnog opterećenja kontrolora itd. Koje god od rješenja se odabere prije same implementacije potrebne su detaljne analize i istraživanja u realnom vremenu i uvjetima.

LITERATURA

- [1.] Performance Review Commission: Performance Review Report 2014 (PRR2014), EUROCONTROL, Bruxelles, 2015
- [2.] IATA: A Blueprint for the Single European Sky , IATA, 2013.
- [3.] COMMISSION REGULATION (EC) No 549/2004: Framework for the creation of the single European sky, 2004
- [4.] EUROPEAN COMMISSION: Single European Sky II: towards more sustainable and better performing aviation, EC, Bruxelles, 2008
- [5.] EUROCONTROL: The Performance Scheme of the Single European Sky <https://www.eurocontrol.int/articles/performance-scheme-single-european-sky>
- [6.] Forecast of Annual Number of IFR Flights (2015 - 2021), EUROCONTROL, Bruxelles, February 2015.
- [7.] COMMISSION REGULATION (EC) No 691/2010: Performance scheme for Air Navigation Services and Network Functions in Europe, 2010.
- [8.] Safety Regulation Commission: Annual Safety Report 2014.
- [9.] Safety Regulation Commission: Intermediatel Safety Report 2015
- [10.] Comparison of Air Traffic Management-Related Operational Performance: U.S./Europe, FAA/EUROCONTROL, June 2014.
- [11.] Novak, D.: Zrakoplovna prostorna navigacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [12.] ICAO Doc 9613 Performance- Based Navigation Manual, Advanced Fourth Edition
- [13.] EUROCONTROL, European Airspace Concept Handbook for PBN Implementation, 2013
- [14.] European Route Network Improvement Plan (ERNIP) - PART 1 European Airspace Design Methodology Guidelines - General principles and technical specifications for airspace design, EUROCONTROL, June 2015.
- [15.] NEST Modelling Tool Factsheet, EUROCONTROL, 2012 <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/nest-factsheet.pdf>

- [16] HKZP d.o.o.; AIP Hrvatska; ENR 2.1 FIR, UIR, TMA; 2016)
- [17] <http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=3552> 17.7.2016
- [18] Juričić, B.: Influence of the Terminal Airspace and the Manoeuvring Area on the Flow of Air Traffic, doctoral dissertation, Zagreb, 2009

POPIS SLIKA

Slika 1. Prognoza IFR letova u Europi (2012 – 2022).....	5
Slika 2. Prometni pokazatelji u Europi	5
Slika 3. Kategorije zrakoplovnih prijevoza	6
Slika 4. Nesreće u zračnom prometu u području EUROCONTROL-a	7
Slika 5. Incidenti u zračnom prometu u području EUROCONTROL-a.....	8
Slika 6. Prijavljena narušavanja minimalne separacije ozbiljnosti "A" i "B"	9
Slika 7. Prijavljeni nezakoniti ulasci na USS-u ozbiljnosti "A" i "B"	10
Slika 8. Prijavljeni specifični ATM događaji	10
Slika 9. Kretanje broja prijavljenih događaja	11
Slika 10. Neodređeni i neklasificirani ATM događaji	12
Slika 11. Prosječno ATFM kašnjenje na ruti po letu	13
Slika 12. Kašnjenja na ruti prema kategorijama	14
Slika 13. Horizontalna efikasnost letova na ruti u području EUROCONTROL-a	16
Slika 14. Neefikasnost letova po FAB-ovima.....	17
Slika 15. Podjela ukupne duljine letova po FAB-ovima.....	18
Slika 16. Stvarni rutni troškovi po jedinicama naplate	19
Slika 17. Stvarni rutni troškovi po državama.....	20
Slika 18. Koncept zračnog prostora	21
Slika 19. Radionavigacija	22
Slika 20. RNAV ruta.....	23
Slika 21. Komponente PBN koncepta	25
Slika 22. ICAO PBN navigacijske specifikacije i pripadajuće oznake	26
Slika 23. Algoritam za procjenu sigurnosti.....	32
Slika 24. TMA Zagreb na karti donjeg zračnog prostora FIR-a Zagreb.....	41
Slika 25. Standardne procedure odlazaka za stazu 05	42
Slika 26. Standardne procedure dolazaka za stazu 05	43
Slika 27. Odabir AIRAC-a i scenarija	44
Slika 28. Postupak simulacije prognoze prometne potražnje	45
Slika 29. Prometna potražnja unutar TMA Zagreb.....	46

Slika 30. Vrste letova unutar TMA Zagreb	47
Slika 31. Prometna potražnja po točkama.....	48
Slika 32. Postupak postavke kapaciteta	50
Slika 33. Postupak vertikalne podjele TMA Zagreb – korak 1.....	51
Slika 34. Postupak vertikalne podjele TMA Zagreb – korak 2.....	52
Slika 35. Postupak horizontalne podjele TMA Zagreb.....	53
Slika 36. Izgled prostora u <i>Edit</i> modu	53
Slika 37. Blokovi zračnog prostora TMA Zagreb	54
Slika 38. Blokovi unutar TMA Zagreb	55
Slika 39. Postupak spajanja sektora	56
Slika 40. Postojeći izgled TMA Zagreb.....	57
Slika 41. Usporedba prometa u 2015. te prognozama za 2020. godinu.....	58
Slika 42. Preopterećenje TMA Zagreb pri trenutnoj konfiguraciji.....	59
Slika 43. Izgled TMA Zagreb nakon vertikalne podjele.....	60
Slika 44. Opterećenje po sektorima – podjela FL 105.....	60
Slika 45. Usporedba optimistične prognoze prometa nakon vertikalne sektorizacije	62
Slika 46. Izgled TMA Zagreb nakon horizontalne podjele.....	63
Slika 47. Usporedba optimistične prognoze prometa nakon horizontalne separacije	64

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I KRATICA

ACC	Centar oblasne kontrole <i>ili</i> oblasna kontrola (engl. <i>Area Control Center or Area Control</i>)
AGL	Iznad razine tla (engl. <i>Above Ground Level</i>)
AIRAC	Uređivanje i kontrola zrakoplovnih informacija (engl. <i>Aeronautical Information Regulation And Control</i>)
ANS	Usluge u zračnoj plovidbi (engl. <i>Air Navigation Services</i>)
ANSP	Pružatelji usluga u zračnoj plovidbi (engl. <i>Air Navigation Service Providers</i>)
ATC	Kontrola zračnog prometa (engl. <i>Air Traffic Control</i>)
ATFM	Upravljanje protokom zračnog prometa (engl. <i>Air Traffic Flow Management</i>)
ATM	Upravljanje zračnim prometom (engl. <i>Air Traffic Management</i>)
B-RNAV	Osnovna navigacijska specifikacija prostorne navigacije (engl. <i>Basic RNAV</i>)
CAT	Komercijalni zračni prijevoz (engl. <i>Commercial Air Traffic</i>)
CDA	Prilaženje s neprekinutim snižavanjem (engl. <i>Continuous Descent Approach</i>)
CFIT	Nadzirani let u teren (engl. <i>CFIT – Controlled Flight Into Terrain</i>)
CFMU	Središnja jedinica upravljanja protokom zračnog prometa (engl. <i>Central Flow Management Unit</i>)
CNS	Komunikacija, navigacija, nadzor (engl. <i>Communication, Navigation, Surveillance Control Area</i>)
CTA	Kontrolirano područje (engl. <i>Control Area</i>)
CTR	Kontrolirana zona (engl. <i>Control Zone</i>)
DME	Uređaj za mjerenje udaljenosti (engl. <i>Distance Measuring Equipment</i>)
DUC	Utvrđeni jedinični trošak (engl. <i>Determined Unit Cost</i>)
EC	Europska Komisija (engl. <i>European Commission</i>)
ECAC	Europska konferencija civilnog zrakoplovstva (engl. <i>European Civil Aviation Conference</i>)

FAB	Funkcionalni blokovi zračnog prostora (engl. <i>Functional Airspace Blocks</i>)
FIC	Centar pružanja letnih informacija (engl. <i>Flight Information Center</i>)
FIR	Područje pružanja letnih informacija (engl. <i>Flight Information Region</i>)
FRA	Prostor slobodnih ruta(engl. <i>Free Route Airspace</i>)
FUA	Fleksibilno korištenje zračnog prostora (engl. <i>Flexible Use of Airspace</i>)
GNSS	Globalni navigacijski satelitski sustav (engl. <i>Global Navigation Satellite System</i>)
ICAO	Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo (engl. <i>International Civil Aviation Organization</i>)
IFR	Pravila instrumentalnog letenja (engl. <i>Instrument Flight Rules</i>)
ILS	Sustav za instrumentalno slijetanje (engl. <i>Instrument Landing System</i>)
KPA	Ključna područja učinkovitosti (engl. <i>Key Performance Areas</i>)
KPI	Ključni pokazatelji učinkovitosti (engl. <i>Key Performance Indicators Management Unit</i>)
NDB	Svesmjereni radio far (engl. <i>Non Directional Beacon</i>)
NM	Mrežni upravitelj (engl. <i>Network Manager</i>)
PBN	Koncept navigacije bazirane na performansama (engl. <i>Performance Based Navigation</i>)
RAT	Alat za analizu rizika (engl. <i>Risk Analysis Tool</i>)
RI	Neodobren ulaz na uzletno-sletnu stazu (engl. <i>Runway Incursion</i>)
RNAV	Prostorna navigacija (engl. <i>Area Navigation</i>)
RNP	Navigacijske specifikacije PBN koncepta (engl. <i>Required Navigation Performance</i>)
SES	Jedinstveno europsko nebo (engl. <i>Single European Sky</i>)
SESAR	Istraživanje o upravljanju zračnim prometom jedinstvenog europskog neba (engl. <i>Single European Sky ATM Research</i>)
SID	Standardni instrumentalni odlazak (engl. <i>Standard Instrument Departure Route</i>)

SMI	Narušavanje minimalne separacije (engl. <i>Separation Minima Infringement</i>)
STAR	Standardni instrumentalni dolazak (engl. <i>Standard Arrival Route</i>)
SU	Jedinica naplate (engl. <i>Service Unit</i>)
TMA	Terminalni zračni prostor (engl. <i>Terminal Maneuvering Area/Terminal Control Area</i>)
VFR	Pravila vizualnog letenja (engl. <i>Visual Flight Rules</i>)
VOR	VHF svesmjerni radio far (engl. <i>VHF Omnidirectional Radio Range</i>)

METAPODACI

Naslov rada: Metodologija izrade zračnog prostora

Student: Luka Blažić

Mentor: doc. dr. sc. Biljana Juričić

Naslov na drugom jeziku (engleski):

Airspace design methodology

Povjerenstvo za obranu:

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

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

Zavod: Zavod za aeronautiku

Vrsta studija: diplomski

Studij: Aeronautika (npr. Promet, ITS i logistika, Aeronautika)

Datum obrane diplomskog rada: 27. rujna 2016.

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