

Analiza metoda izračuna kapaciteta zračnog prostora

Soldo Jocić, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:119:434816>

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

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA METODA IZRAČUNA KAPACITETA ZRAČNOG PROSTORA ANALYSIS OF AIRSPACE CAPACITY CALCULATION METHODS

Mentor: izv. prof. dr. sc. Tomislav Mihetec

Student: Matej Soldo Jocić

JMBAG: 0135257574

Zagreb, lipanj 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 12. lipnja 2022.

Zavod: **Zavod za zračni promet**
Predmet: **Usluge u zračnoj plovidbi**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6662

Pristupnik: **Matej Soldo Jocić (0135257574)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Analiza metoda izračuna kapaciteta zračnog prostora**

Opis zadatka:

U radu je potrebno obraditi koncept kapaciteta zračnog prostora i kapaciteta kontrole zračnog prometa. Isto tako potrebno je prikazati i analizirati različite metodologije izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa te dati primjere izračuna na osnovu prikazanih metoda. Na temelju primjene različite metodologije, potrebno je napraviti komparativnu analizu različitih metoda izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za završni
ispit:

Izv. prof. dr. sc. Tomislav Mihetec

SAŽETAK

Kapacitet zračnog prostora i kapacitet kontrole zračnog prometa predstavljaju ključne aspekte za odvijanje sigurnog, efikasnog i ekonomski opravdanog zračnog prometa. Osnovni preduvjet za maksimalan protok zračnog prometa je kapacitet kontrole zračnog prometa. Pravilno uravnoteženje prometne potražnje i kapaciteta predstavlja nužnu zadaću kvalitetnog upravljanja protokom zračnog prometa. Nedostatnim kapacitetom kontrole zračnog prometa dolazi do preopterećenosti sustava, pojava kašnjenja i otkazivanja letova. Kako bi se izbjegle neučinkovitosti sustava implementirane su različite metode koje bi unaprijedile izračun kapaciteta kontrole zračnog prometa i time poboljšale cjelokupni sustav zračnog prometa. U ovom završnom radu prikazani su koncepti kapaciteta zračnog prostora i kapaciteta kontrole zračnog prometa, te su opisane različite metode izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa. Na temelju opisanih metoda, u završnom radu su prikazani primjeri izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa.

KLJUČNE RIJEČI: Kontrola zračnog prometa; Kapacitet kontrole zračnog prometa; Kapacitet zračnog prostora; Radno opterećenje; Metodologije izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa

SUMMARY

Airspace capacity and air traffic control capacity represent key aspects of safe, efficient and economically viable air traffic. The basic prerequisite for maximum air traffic flow is air traffic control capacity. Proper balancing of traffic demand and capacity is a necessary task of quality air traffic flow management. Insufficient air traffic control capacity leads to system congestion, delays and flight cancellations. In order to avoid system inefficiencies, various methods have been implemented to improve the calculation of air traffic control capacity and thus improve the overall air traffic system. In this final paper, the concepts of airspace capacity and air traffic control capacity are presented, and different methods of calculating air traffic control capacity are described. Based on the described methods, the final paper presents examples of calculation of air traffic control capacity.

KEYWORDS: Air traffic control; Air traffic control capacity; Airspace Capacity; Workload; Air traffic control capacity calculation methodologies

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Općenito o kapacitetu kontrole zračnog prometa	3
2.1. Definiranje usluge upravljanja protokom zračnog prometa	4
2.2. Definiranje kapaciteta i čimbenika kapaciteta kontrole zračnog prometa	6
2.3. Uravnoteženje prometne potražnje i kapaciteta kontrole zračnog prometa.....	9
2.3.1. Strateška faza upravljanja protokom i kapacitetom u zračnom prometu	13
2.3.2. Pred-taktička faza upravljanja protokom i kapacitetom u zračnom prometu	13
2.3.3. Taktička faza upravljanja protokom zračnog prometa.....	14
2.4. Analiza ciljeva i koristi usluge upravljanja protokom zračnog prometa	14
2.5. Europska perspektiva usluge upravljanja protokom zračnog prometa	15
3. Metodologije izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa.....	24
3.1. Metodološki modeli za procjenu kapaciteta sektora kontrole zračnog prometa.....	25
3.1.1. Model za procjenu radnog opterećenja <i>DORATASK</i>	25
3.1.2. Metodologija izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa korištena u Južnoj Americi..	26
3.1.3. Metodologija izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa korištena u Saudijskoj Arabiji	28
3.1.4. Metodologija izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa korištena u Centralnoj Americi	31
3.2. Metodologija izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa korištena u Europi	34
3.2.1. Metoda vršnog sata.....	35
3.2.2. Procjena kapaciteta regresijskom metodom	36
3.2.3. Pesimistične regresijske metode.....	37
3.2.4. Nova metodologija za procjenu kapaciteta sektora na makroskopskoj razini.....	42
3.2.5. Upravljanje podacima za analizu kompleksnosti prometa	44
3.3. Ostale metodologije za izračun kapaciteta kontrole zračnog prometa.....	46
3.4. Definiranje deklariranog, raspoređenog i planiranog kapaciteta kontrole zračnog prometa u Europi.....	47
3.4.1. Pregled deklariranog i planiranog kapaciteta	50
3.4.2. Analiza deklariranog kapaciteta oblasne kontrole Zagreb	52
4. Primjeri izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa.....	56
4.1. Primjer izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa prema metodologiji korištenoj u Južnoj Americi.....	56
4.2. Primjer izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa prema metodologiji korištenoj u Centralnoj Americi.....	59

4.3. Primjer izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa prema metodologiji korištenoj u Europi	65
4.3.1. Primjer izračuna radnog opterećenja putem težinske metodologije	66
4.3.2. Primjer izračuna radnog opterećenja putem nove metodologije na makroskopskoj razini	69
5. Zaključak	73
Literatura	76
Popis kratica.....	79
Popis slika	82
Popis tablica	84

1. Uvod

Zračni promet omogućuje brz i efikasan prijevoz ljudi i dobara. Sigurno, efikasno i ekonomski opravdano upravljanje zračnim prometom predstavlja jedno od temeljnih radnji učinkovitog sustava zračnog prometa. S obzirom na kompleksnost i broj čimbenika koji svakodnevno utječu na sustav, kapacitet zračnog prostora i kapacitet kontrole zračnog prometa su ključni za provođenje sigurnog, učinkovitog i kvalitetnog zračnog prometa.

Tijekom godina se povećavala potražnja za prijevozom zračnim putem te je došlo do pojave problematike kašnjenja, neučinkovitosti i dodatnih troškova uzrokovanih, između ostalog, zagušenjem zračnog prostora i nedovoljnim kapacitetom kontrole zračnog prometa. Kašnjenja i neučinkovitosti vrše negativan utjecaj na poslovanje zračnog sektora. Specifični zahtjevi svakog od velikog broja sudionika u ograničenom zračnom prostoru pridonose povećanom radnom opterećenju kontrolora zračnog prometa. U sljedećim godinama pokazatelji i analize predviđaju značajni porast potražnje za zračnim prometom, a rast potražnje će dodatno prouzrokovati veću kompleksnost rješavanja problematike protoka i kapaciteta u zračnom prometu.

Tema ovog završnog rada je analiza metodologija izračuna kapaciteta zračnog prostora. Cilj ovog završnog rada je definirati koncepte kapaciteta zračnog prostora i kapaciteta kontrole zračnog prometa, te prikazati različite metodologije za izračun kapaciteta kontrole zračnog prometa. Završni rad je koncipiran i podijeljen u sljedećih pet poglavlja:

1. Uvod,
2. Općenito o kapacitetu kontrole zračnog prometa,
3. Metodologije izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa,
4. Primjeri izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa,
5. Zaključak.

Prvo poglavlje opisuje problematiku istraživanja, te opisuje strukturu i koncepciju završnog rada.

Drugo poglavlje *Općenito o kapacitetu kontrole zračnog prometa* definira pojam kapaciteta kontrole zračnog prometa, te predstavlja teorijsku pozadinu usluge upravljanja protokom i kapacitetom kontrole zračnog prometa. U ovom poglavlju opisan je odnos i uravnoteženje prometne potražnje i kapaciteta, te europska perspektiva usluge upravljanja protokom i kapacitetom.

Treće poglavlje *Metodologije izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa* definira različite metodologije izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa korištene u različitim dijelovima svijeta, te dodatno pojašnjava problematiku radnog opterećenja.

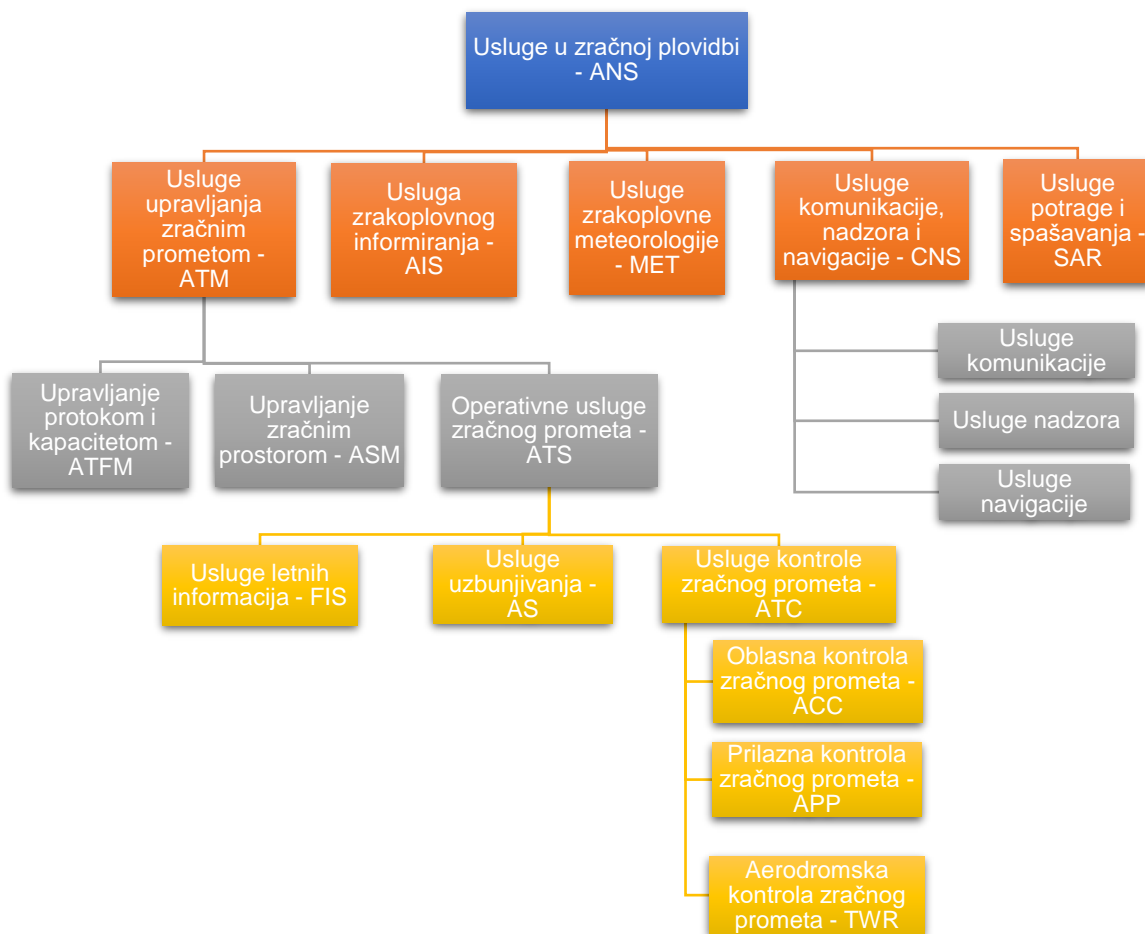
U četvrtom poglavlju *Primjeri izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa* predstavljeni su primjeri izračuna nekih od ranije opisanih metodologija.

Peto poglavlje predstavlja završni osvrt na provedeno istraživanje, opisuje uočenu problematiku, te objedinjuje sve prikupljene informacije.

2. Općenito o kapacitetu kontrole zračnog prometa

Usluge kontrole zračnog prometa (*Air Traffic Control – ATC*) se pružaju u svrhu sprječavanja sudara između zrakoplova u zračnom prostoru i sprječavanja sudara na manevarskoj površini između zrakoplova i prepreka. Kontrola zračnog prometa služi, također, za ubrzavanje i održavanje urednog protoka zračnog prometa [1]. Zračni prostor je podijeljen na sektore kontrole zračnog prometa. Sektori kontrole zračnog prometa predstavljaju zemljopisni volumen određenog zračnog prostora. Za sigurno upravljanje zračnim prometom, veliki je doprinos i značaj kontrolora zračnog prometa koji, uz pomoć tehnologije i međunarodnih pravila i propisa, osiguravaju da svi zrakoplovi pod njihovom nadležnošću održavaju sigurno razdvajanje i učinkovit protok [2].

Pružatelj usluga u zračnoj plovidbi (*Air Navigation Service Provider - ANSP*) predstavlja odgovorno tijelo koje je nadležno za pružanje usluga u zračnoj plovidbi. Jedna od temeljnih službi pružatelja usluga u zračnoj plovidbi je služba za upravljanje zračnim prometom (*Air Traffic Management - ATM*). Usluga upravljanja zračnim prometom predstavlja dinamičko i integrirano upravljanje zračnim prometom i zračnim prostorom na siguran, ekonomičan i efikasan način sa svim zainteresiranim stranama tijekom svih faza leta. Služba upravljanja zračnog prometa dijeli se na: uslugu upravljanja protokom zračnog prometa (*Air Traffic Flow Management - ATFM*), operativne usluge zračnog prometa (*Air Traffic Services - ATS*), te upravljanje zračnim prostorom (*Airspace management - ASM*) [3]. Detaljniji prikaz strukture usluga u zračnoj plovidbi prikazan je na slici 1.



Slika 1. Prikaz usluga u zračnoj plovidbi

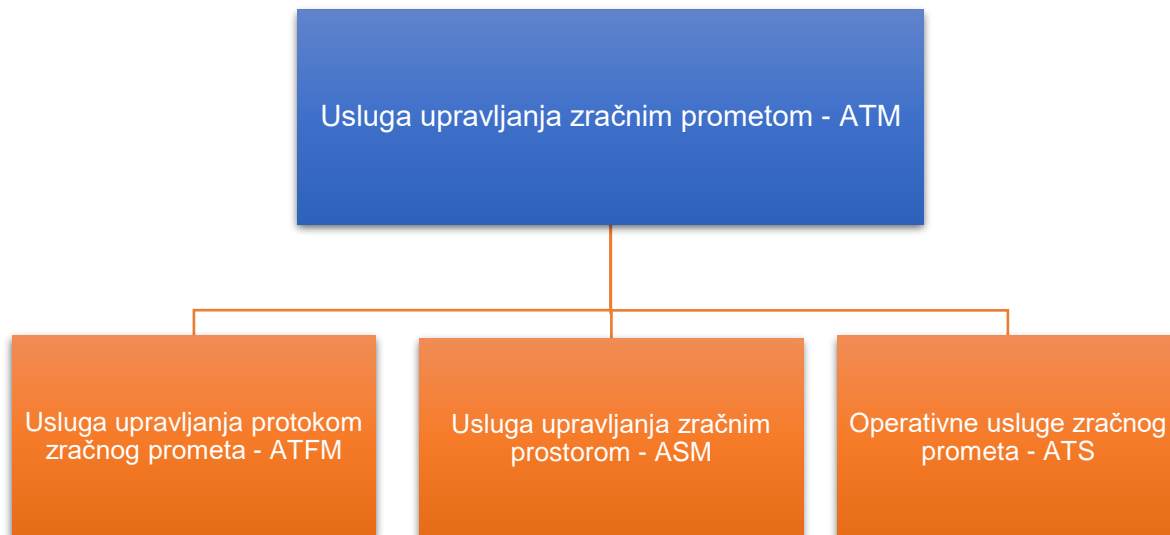
Izvor: [3]

Kapacitet sustava kontrole zračnog prometa se zapravo odnosi na kapacitet službe upravljanja zračnim prometom. Kapacitet kontrole zračnog prometa je inače izražen kao maksimalni broj zrakoplova koji se može prihvatiti tijekom danog vremenskog razdoblja unutar zračnog prostora ili aerodroma bez ugrožavanja sigurnosti zračnog prometa [1].

2.1. Definiranje usluge upravljanja protokom zračnog prometa

Usluga upravljanja protokom zračnog prometa omogućuje učinkovitost i djelotvornost usluge upravljanja zračnim prometom, isto tako pridonosi sigurnosti, isplativosti i ekološkoj održivosti sustava upravljanja zračnim prometom. Glavni pokretač globalne interoperabilnosti zračnog prometa je usluga upravljanja protokom zračnog prometa [4]. Usluga upravljanja protokom zračnog prometa omogućuje da se kapacitet kontrole zračnog prometa iskoristi maksimalno moguće, odnosno da opseg prometa bude kompatibilan sa deklariranim kapacitetom odgovarajuće službe zračnog

prometa [3]. Prikaz strukture službe upravljanja zračnim prometom prikazan je na slici 2.



Slika 2. Prikaz strukture usluge upravljanja zračnim prometom

Izvor: [3]

Usluga upravljanja protokom zračnog prometa provodi se za zračni prostor u kojem prometna potražnja prelazi definirani kapacitet kontrole zračnog prometa. Usluga upravljanja protokom zračnog prometa se provodi na temelju regionalnog sporazuma o zračnoj plovidbi ili, prema potrebi, kao multilateralni sporazum. Usluga upravljanja protokom zračnog prometa unutar regije ili drugog definiranog područja treba biti implementirana kao centralizirana ATFM organizacija, podržana pozicijama za upravljanje protokom (*Flow Management Position – FMP*) uspostavljenima u svakom centru oblasne kontrole (*Area control center - ACC*) unutar regije. Određeni letovi mogu biti izuzeti od mjera usluge upravljanja protokom zračnog prometa ili im se može dodijeliti prednost u odnosu na druge letove [1].

Načela usluge upravljanja protokom i kapacitetom zračnog prometa su [4]:

- optimizirati raspoloživi kapacitet zračne luke i zračnog prostora bez ugrožavanja sigurnosti,
- maksimizirati operativne prednosti i globalnu učinkovitost uz održavanje dogovorene razine sigurnosti,
- promicati pravovremenu i učinkovitu koordinaciju sa svim stranama,
- poticati međunarodnu suradnju koja vodi do optimalnog upravljanja zračnim prometom,

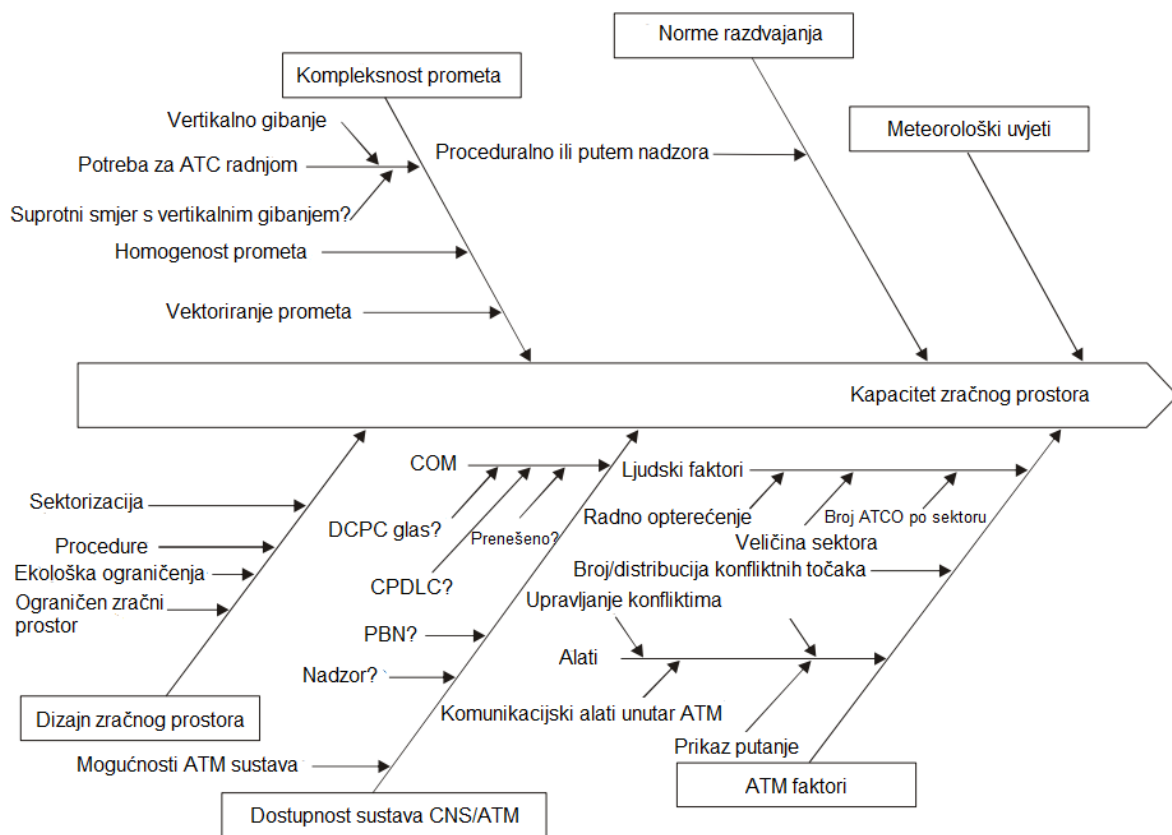
- prepoznati da je zračni prostor zajednički resurs i osigurati pravičnost i transparentnost, uzimajući u obzir sigurnosne i obrambene potrebe,
- podržati uvođenje novih tehnologija i postupaka koji povećavaju kapacitet sustava,
- poboljšati predvidljivost sustava,
- stalno razvijati uslugu upravljanja protokom zračnog prometa koja podržava gospodarsku granu zračnog prometa koja se stalno razvija i mijenja.

2.2. Definiranje kapaciteta i čimbenika kapaciteta kontrole zračnog prometa

Kapacitet kontrole zračnog prometa, odnosno kapacitet sustava upravljanja zračnog prometa ovisi o mnogim čimbenicima, uključujući gustoću i kompleksnost prometa, strukturu rute operativnih usluga u zračnom prometu, sposobnosti zrakoplova koji koriste zračni prostor, čimbenike vezane za vremenske uvjete te opremu i radno opterećenje kontrolora zračnog prometa. Potrebno je uložiti sve napore kako bi se osigurao dovoljan kapacitet za zadovoljavanje normalnog i vršnog prometa, međutim, u poduzimanju bilo kakvih radnji za povećanje kapaciteta, potrebno je da odgovorno tijelo operativnih usluga u zračnom prometu osigura dovoljnu razinu sigurnosti [4].

Kapacitet kontrole zračnog prometa je izražen kao maksimalni broj zrakoplova koji se može prihvatiti tijekom određenog vremenskog razdoblja na resursu usluge upravljanja u zračnom prometu (sektor zračnog prostora, među točka, zračna luka, itd.). Kapacitet kontrole zračnog prometa za sektor zračnog prostora se definira kao broj ulaza (*Entry Count*), odnosno maksimalnog broja zrakoplova koji mogu ući u sektor zračnog prostora u nekom vremenskom razdoblju. Komplementarna vrijednost je broj popunjenosti (*Occupancy Count*), odnosno maksimalni broj zrakoplova unutar sektora zračnog prostora u određenom vremenskom razdoblju. Istraživanja su pokazala da se broj popunjenosti može koristiti kao komplementarna vrijednost za broj ulazaka. Česte i točne nadopune nadzornih podataka koje se dodaju u sustav upravljanja protokom zračnog prometa uz uvjet da su podaci dostupni prije ulaska zrakoplova u određeni sektor, rezultiraju mogućnošću većeg broja ulazaka zrakoplova u sektor. U određenim slučajevima, broj popunjenosti se može opisati kao broj zrakoplova u određenom sektoru zračnog prostora u trenutku ili kao broj zrakoplova u određenom sektoru zračnog prostora tijekom prosječnog vremena koje određeni zrakoplov provede u sektoru [4]. Osim navedenih vrijednosti za izražavanje kapaciteta kontrole zračnog prometa, postoji još i vrijednost radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa. Radno opterećenje kontrolora zračnog prometa predstavlja zbroj svih aktivnosti koje bi kontrolor trebao napraviti bez da se prijeđe unaprijed definirani vremenski prag preopterećenja. Važno je napomenuti kako broj popunjenosti i vrijednost radnog opterećenja nisu prikladne za izražavanje kapaciteta aerodromske kontrole zračnog prometa i kapaciteta uzletno-sletne staze [5].

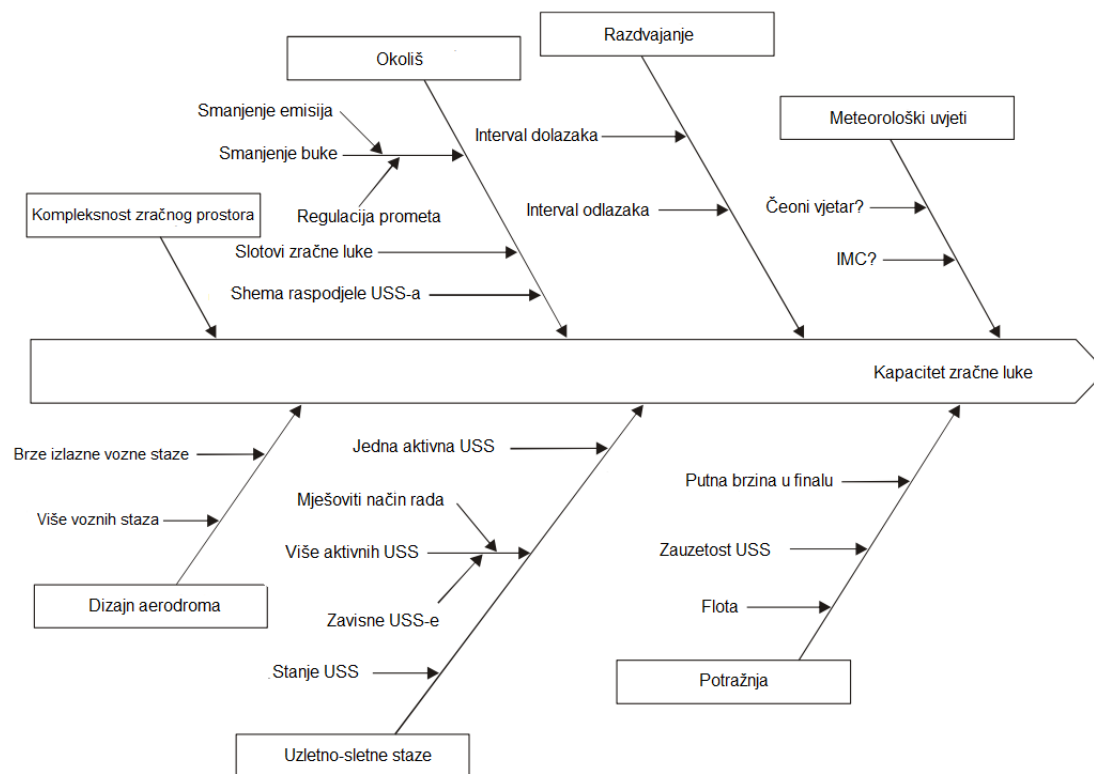
Kapaciteti kontrole zračnog prometa nisu statične vrijednosti već variraju ovisno o kompleksnosti prometa i drugim čimbenicima [4]. Potrebno je uzeti u obzir pragove tolerancije oko standardnih vrijednosti kapaciteta koji mogu varirati u oba smjera. Točna procjena kapaciteta zračnog prostora oslanja se na točnu identifikaciju čimbenika koji na nju utječu [6]. Slika 3 prikazuje različite elemente koji se obično uzimaju u obzir pri definiranju kapaciteta zračnog prostora. Neki od važnijih čimbenika su kompleksnost prometa, norme razdvajanja, meteorološki uvjeti, dizajn zračnog prostora, dostupnost sustava komunikacija, nadzora i navigacije (*Communication, navigation, surveillance – CNS*) te ATM faktori [4].



Slika 3. Prikaz čimbenika kapaciteta zračnog prostora

Izvor: [4]

Analizirajući čimbenike koje treba uzeti u obzir pri definiranju kapaciteta zračne luke, važno je obratiti pozornost na okoliš, kompleksnost zračnog prostora, razdvajanje prometa u dolasku i odlasku, meteorološke uvjete, dizajn aerodroma, uzletno-sletnu stazu, te prometnu potražnju [4]. Slika 4 prikazuje čimbenike koje treba uzeti u obzir pri definiranju kapaciteta zračne luke.



Slika 4. Prikaz čimbenika kapaciteta zračne luke

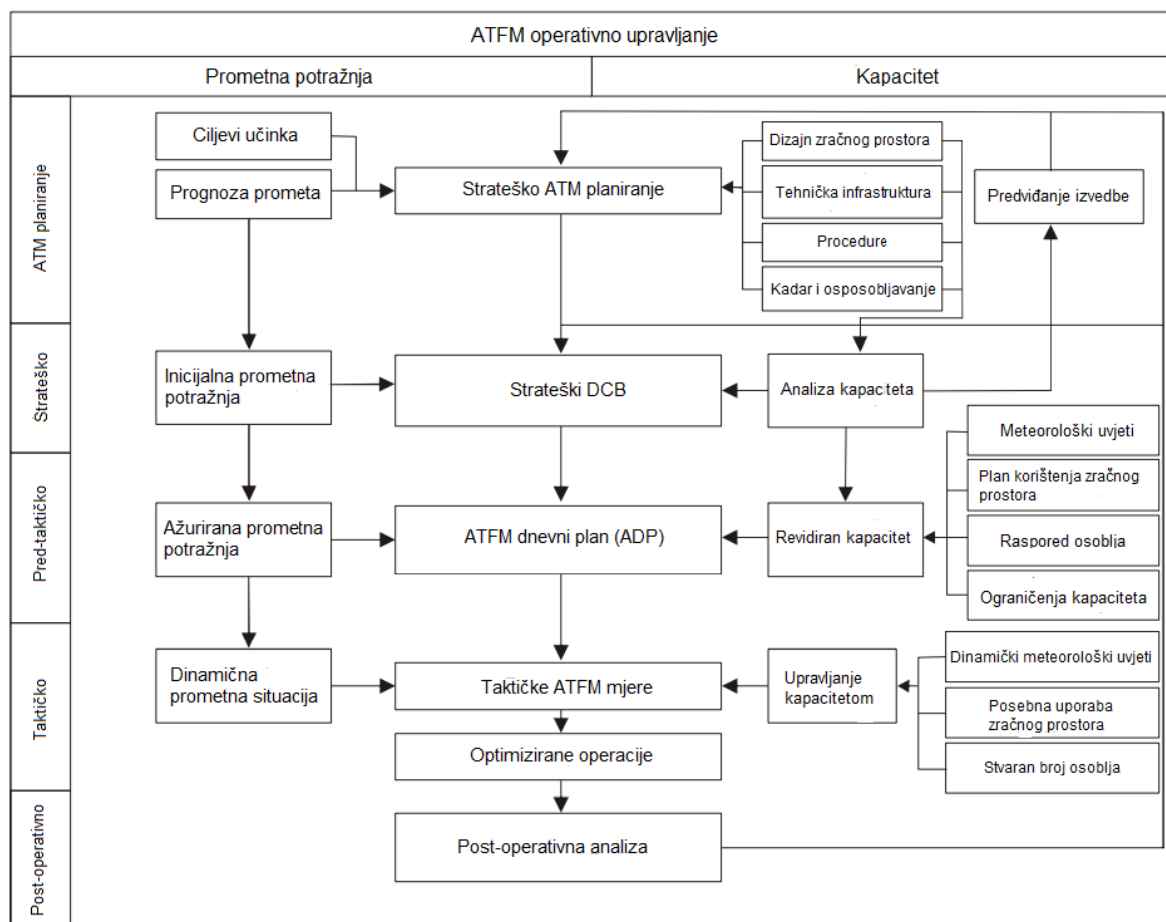
Izvor: [4]

Prilikom procjene kapaciteta kontrole zračnog prometa, važno je uzeti u obzir sljedeće čimbenike [1]:

- razina i vrsta operativnih usluga u zračnom prometu,
- strukturna složenost kontroliranog područja, kontroliranog sektora ili aerodroma,
- radno opterećenja kontrolora zračnog prometa, uključujući zadatke koje treba izvršiti,
- vrste komunikacijskih, navigacijskih i nadzornih sustava koji se koriste, te njihova dostupnost i stupanj tehničke pouzdanosti, kao i dostupnost pričuvnih sustava i/ili postupaka,
- dostupnost sustava kontrole zračnog prometa koji pružaju podršku i funkcije upozorenja kontroloru zračnog prometa,
- bilo koji drugi čimbenik koji se smatra relevantnim za radno opterećenje kontrolora zračnog prometa.

2.3. Uravnoteženje prometne potražnje i kapaciteta kontrole zračnog prometa

Metodologija za uravnoteženje kapaciteta i prometne potražnje bi se trebala implementirati kako bi se minimizirali učinci ograničenja ATM sustava. To se može postići primjenom „planiranja i upravljanja ATFM“ procesa. Proces planiranja i upravljanja je suradnički, interaktivni proces planiranja kapaciteta kontrole zračnog prometa u kojem pružatelji usluga u zračnoj plovidbi i drugi dionici rade zajedno kako bi poboljšali učinkovitost sustava upravljanja zračnim prometom. Prikaz procesa planiranja i upravljanja protokom zračnog prometa prikazan je na slici 5. Na lijevoj strani slike 5 nalaze se elementi prometne potražnje, a na desnoj strani elementi kapaciteta koji utječu na ATFM operativno upravljanje. Prema fazama operativnog upravljanja ATFM-a vidljivi su međusobni odnosi i međuovisnosti između pojedinih faza i elemenata [4].



Slika 5. Prikaz ATFM operativnog upravljanja

Izvor: [4]

Proces planiranja i upravljanja uslugom upravljanja protokom zračnog prometa omogućuje korisnicima zračnog prostora da optimiziraju svoje sudjelovanje u sustavu

upravljanja zračnim prometom uz istovremeno ublažavanje utjecaja ograničenja na zračni prostor i kapacitet zračne luke. Isto tako, proces omogućuje potpunu realizaciju prednosti poboljšanja integracije dizajna zračnog prostora, upravljanja zračnim prostorom i upravljanja protokom i kapacitetom zračnog prometa [4].

Postoje tri situacije u kojima će prometna potražnja morati biti uravnotežena u odnosu na raspoloživi kapacitet. Neke situacije imaju negativan utjecaj na raspoloživi kapacitet zračnog prostora ili aerodroma [5].

Prva situacija je gubitak informacija nadzora i operacije niske vidljivosti na aerodromu. Takvi se događaji često razmatraju unaprijed, te se izračunavaju odgovarajuća smanjenja kapaciteta u slučaju da se dogode [5].

Druga situacija se odnosi na predviđanje povećane prometne potražnje, odnosno one koja premašuje kapacitet zračnog prostora ili aerodroma, to se rješava nametanjem ograničenja prometa (ograničavanjem odlaznog prometa, preusmjeravanjem određenih tokova). Navedene radnje se odvijaju kada su iscrpljene mogućnosti za prilagođavanje povećanog prometa (na primjer, otvaranje više sektora) [5].

Posljednja situacija je povećanje kapaciteta. Postupnim rastom broja letova postaje očito da se sustav približava točki zasićenja. Ovo rezultira sve većim ograničenjima što uzrokuje smetnje u odvijanju prometa. Proces povećanja kapaciteta je dugotrajan pa se mora započeti dovoljno rano kako bi sustav bio spreman za povećanu prometnu potražnju [5].

Kako bi se riješili nedostaci kapaciteta i poboljšalo upravljanje mrežnim kapacitetom uz minimiziranje ograničenja, potrebno je razmotriti sljedeća rješenja [7]:

- optimizirati raspoložive kapacitete:
 - upravljanje sektorima:
 - konfiguracija sektora,
 - broj sektora,
 - razbijanje/cijepanje sektora,
 - balansiranje kapaciteta odlaska i dolaska,
 - procjena liste letova,
 - dogovoriti dodatne kapacitete,
 - ATFM / ASM (Civilno / vojna koordinacija),
 - smanjiti kompleksnost prometa,
 - holding.

I / ili:

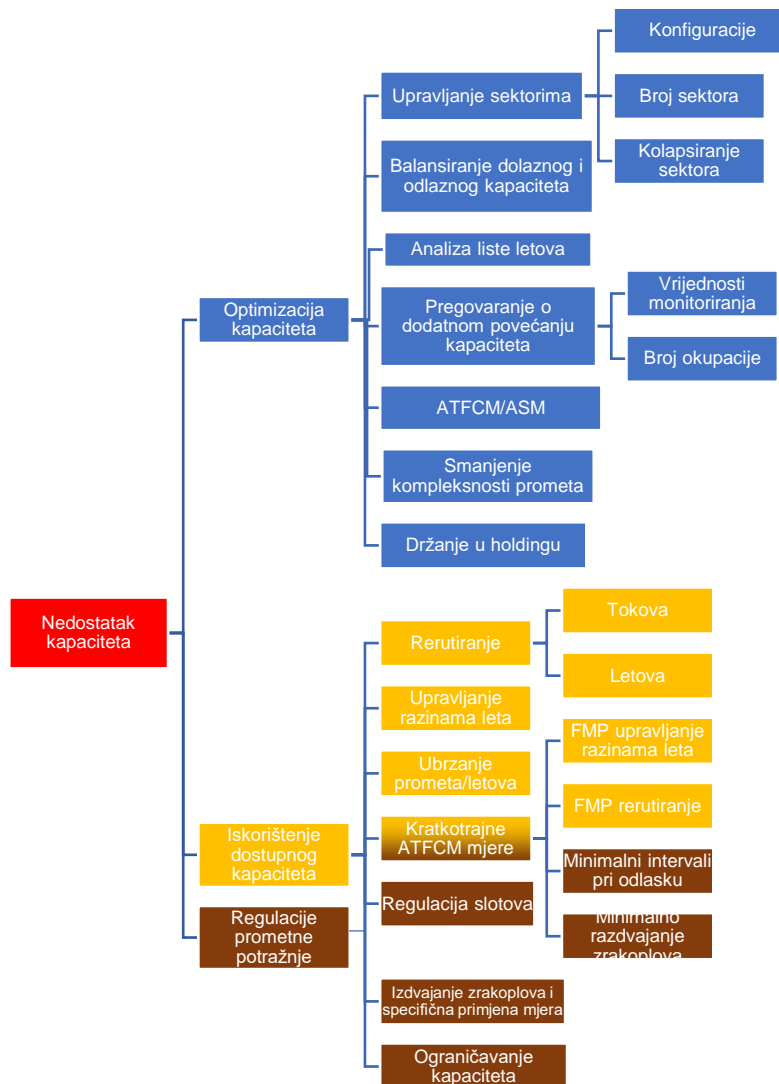
- iskoristiti druge raspoložive kapacitete:
 - rerutiranje:
 - toka prometa,
 - letova,
 - upravljanje razinama leta,

- napredovanje prometa,
- taktičke ATFM mjere pozicije za upravljanje protokom (*Flow management position* – FMP):
 - FMP upravljanje razinama leta,
 - FMP rerutiranje.

I / ili:

- regulirati potražnju:
 - regulacija,
 - mrežna „cherry-pick“ regulacija (izdvajanje zrakoplova i primjena ATFM mjera samo na njih),
 - FMP taktičke ATFM mjere:
 - Minimalni intervali pri uzlijetanju (*Minimum departure intervals* - MDI),
 - Minimalno razdvajanje zrakoplova (*Miles in Trail* - MIT),
 - ograničiti kapacitet.

Sustav upravljanja protokom zračnog prometa kontinuirano razmatra sva moguća rješenja upravljanja protokom kroz iterativni proces, od faze planiranja do izvođenja operacija. Očekivanje i predviđanje događaja prema ažuriranim podacima minimizira mogućnost utjecaja na ATM sustav [4]. Slikom 6 prikazane su ATFM rješenja i mjere u slučaju nedostatka kapaciteta.



Slika 6. ATFM rješenja i mjere za pomanjkanje kapaciteta

Izvor: [7]

Pozicija za upravljanje protokom (*Flow Management Position - FMP*) predstavlja radno mjesto uspostavljeno u odgovarajućim jedinicama kontrole zračnog prometa kako bi se osiguralo potrebno sučelje između lokalnih ATFM partnera (tj. kontrole zračnog prometa, operatera zrakoplova i zračnih luka) i središnje upravljačke jedinice o pitanjima koja se odnose na pružanje usluge upravljanja protokom zračnog prometa i kapacitetom [8].

Prema ICAO-u proces planiranja i upravljanja usluge upravljanja protokom zračnog prometa sadrži tri faze [4]:

- planiranje ATM-a,
- izvršenje ATFM-a,
- post-operativnu analiza.

U fazi planiranja ATM sustava uspostavlja se raspoloživi kapacitet, a zatim se raspoloživi kapacitet uspoređuje s predviđenom potražnjom i postavljenim ciljevima performansi. Mjere faze planiranja ATM-a su: preispitivanje dizajna zračnog prostora (struktura rute i ATS sektori) i politike iskorištavanja zračnog prostora radi traženja potencijalnih poboljšanja kapaciteta, pregled tehničke infrastrukture radi procjene mogućnosti poboljšanja kapaciteta [4].

Faza izvršenja usluge upravljanja protokom zračnog prometa se sastoji od sljedeće tri faze [4]:

- strateška faza,
- pred-taktička faza,
- taktička faza.

Ove faze se ne bi trebale smatrati odvojenim koracima, već kontinuiranim ciklusom planiranja, djelovanja i pregleda koji je u potpunosti integriran s procesima planiranja ATM-a i postoperativnih procesa. Važno je da operativni dionici budu u potpunosti uključeni u svaku fazu [4].

Posljednja faza u procesu planiranja i upravljanja ATFM-om je faza analize postoperativnih procesa. Tijekom ove faze provodi se analitički proces mjerenja, istraživanja i izvješćivanja o operativnim procesima i aktivnostima. Ovaj proces je kamen temeljac razvoja najboljih praksi koje će dodatno unaprijediti operativne procese i aktivnosti. Pokriva sve ATFM domene i sve vanjske jedinice relevantne za ATFM uslugu [4].

2.3.1. Strateška faza upravljanja protokom i kapacitetom u zračnom prometu

Strateška faza obuhvaća mjere poduzete više od jednog dana prije dana operacije. Značajan dio ove faze se obavlja dva ili više mjeseci unaprijed. Ova faza primjenjuje rezultate aktivnosti planiranja ATM-a i iskorištava prednosti povećanog dijaloga između korisnika zračnog prostora i pružatelja kapaciteta (npr. ANSP i zračne luke) kako bi se analizirala ograničenja zračnog prostora, zračne luke i operativnih usluga u zračnom prometu, sezonskih promjena meteoroloških uvjeta i značajne meteorološke pojave. Strateška faza uključuje: kontinuirani proces prikupljanja podataka, proces pregleda raspoloživih kapaciteta i niz koraka koje treba poduzeti ako se utvrde neravnoteže. Strateška faza ima za cilj maksimiziranje i optimizaciju raspoloživog kapaciteta kako bi se pružatelj usluga u zračnoj plovidbi nosio s predviđenom potražnjom [4].

2.3.2. Pred-taktička faza upravljanja protokom i kapacitetom u zračnom prometu

Pred-taktička faza obuhvaća mjere poduzete jedan dan prije dana operacije. Tijekom ove faze analizira se prometna potražnja za dan operacije i uspoređuje se s predviđenim raspoloživim kapacitetom. Plan izrađen tijekom strateške faze

prilagođava se u skladu s pred-taktičkom fazom. Glavni cilj pred-taktičke faze je optimizirati kapacitet kroz učinkovitu organizaciju resursa (na primjer, upravljanjem konfiguracije sektora, korištenje alternativnih procedura leta). Zadaci koje treba izvršiti tijekom ove faze mogu uključivati sljedeće [4]:

- odrediti raspoloživi kapacitet u različitim područjima na temelju situacije tog dana,
- odrediti ili procijeniti prometnu potražnju,
- proučiti zračni prostor ili tokove za koje se očekuje da će biti pogođene visokim prometom i zračne luke za koje se očekuje da će biti zasićene, izračunavajući stope prihvaćanja koje će se primijeniti prema kapacitetu sustava.

2.3.3. Taktička faza upravljanja protokom zračnog prometa

Taktička faza obuhvaća mjere poduzete na dan operacije. Prometnim tokovima i kapacitetima upravlja se u stvarnom vremenu. Taktička faza ima cilj osigurati da mjere poduzete tijekom strateške i pred-taktičke faze zapravo rješavaju neravnoteže potražnje i kapaciteta, također, ima za cilj osigurati da su primijenjene mjere neophodne i da se izbjegnu nepotrebne mjere i da je kapacitet maksimiziran bez ugrožavanja sigurnosti. Isto tako cilj je da se mjere primjenjuju uzimajući u obzir pravednost i ukupnu optimizaciju sustava [4].

2.4. Analiza ciljeva i koristi usluge upravljanja protokom zračnog prometa

Glavni cilj usluge upravljanja protokom zračnog prometa je poboljšati sigurnost sustava upravljanja zračnim prometom osiguravanjem isporuke sigurne gustoće zračnog prometa i minimiziranjem zagušenja prometa. Isto tako, cilj usluge je osigurati optimalan protok zračnog prometa u svim fazama leta balansirajući kapacitet i potražnju, kao i olakšati suradnju između dionika sustava kako bi se omogućio učinkovit protok prometa na pravodoban i fleksibilan način. Ostali ciljevi čine [4]:

- uravnoteženje legitimnih, ali ponekad i suprotstavljenih zahtjeva korisnika zračnog prostora,
- usklađivanje ograničenja resursa sustava upravljanja zračnim prometom s ekonomskim i ekološkim prioritetima,
- u suradnji sa svim dionicima, olakšati upravljanje ograničenjima, neučinkovitostima i nepredviđenim događajima koji utječu na kapacitet sustava kako bi se smanjili negativni utjecaji poremećaja,
- olakšanje besprijekornog i usklađenog sustava upravljanja zračnim prometom uz osiguranje kompatibilnosti s međunarodnim razvojem.

Koristi usluge upravljanja protokom zračnog prometa mogu biti operativne i društvene.

Operativne koristi usluge upravljanja protokom zračnog prometa čine [4]:

- poboljšana sigurnost ATM sustava,
- povećana operativna učinkovitost i predvidljivost sustava kroz dogovorno donošenje odluka (*Collaborative decision making* – CDM),
- učinkovito upravljanje kapacitetima i potražnjom kroz analizu i planiranje podataka,
- povećana situacijska svijest među dionicima sustava i suradnički razvoj i izvršenje operativnih planova,
- smanjenje potrošnje goriva i operativnih troškova,
- učinkovito upravljanje nepravilnim poslovanjem,
- učinkovito ublažavanje ograničenja sustava i nepredviđenih događaja.

Društvene koristi usluge upravljanja protokom zračnog prometa čine [4]:

- poboljšana kvaliteta zračnog prometa, povećanjem gospodarskog razvoja kroz učinkovite i isplative usluge na predviđene povećane razine zračnog prometa,
- smanjenje stakleničkih plinova vezanih uz zračni promet,
- suzbijanje negativnih učinaka nepredviđenih događaja i situacija smanjenog kapaciteta uz koordinaciju učinkovitih i brzih rješenja za oporavak od njih.

2.5. Europska perspektiva usluge upravljanja protokom zračnog prometa

Usluga upravljanja protokom zračnog prometa u Europi se razlikuje od perspektive Međunarodne organizacije civilnog zrakoplovstva. EUROCONTROL je paneuropska civilno-vojna organizacija posvećena podršci europskom zrakoplovstvu [9]. EUROCONTROL predstavlja Mrežnog upravitelja (*Network Manager* – NM) koji razvija i upravlja mrežom upravljanja zračnim prometom u Europi i šire [10]. Usluga upravljanja protokom i kapacitetom u zračnom prometu (*Air Traffic Flow And Capacity Management* - ATFCM) je usluga koja unapređuje ATFM s ciljem upravljanja ravnoteže potražnje i kapaciteta optimiziranjem raspoloživih resursa i koordinacijom kako bi se poboljšala usluga upravljanja zračnim prometom. Mrežni upravitelj pruža uslugu upravljanja protokom i kapacitetom zračnog prometa. Sustavi upravljanja protokom i kapacitetom čine središte te usluge Mrežnog upravitelja. Njihova svrha je pružiti informacije o trenutnoj i očekivanoj potražnji, kao i kapacitetu zračnog prometa u europskom zračnom prostoru. Isto tako, svrha im je pružiti alate za podršku u planiranju, izvršenju i praćenju mjera usluge upravljanja protokom i kapacitetom u zračnom prometu. Sustavi upravljanja protokom i kapacitetom primaju podatke iz Integriranog sustava za početnu obradu plana leta (*Initial Flight Plan Processing system* - IFPS) i središnjeg sustava baze podataka o zračnom prostoru i kapacitetu (*Central Airspace and Capacity Database System* - CACD), kao i podatke kontrole zračnog prometa u realnom vremenu od pružatelja usluga u zračnoj plovidbi, poruke izvješća zrakoplovnih operatera o položaju (*AO Position Reports* - APRs) i

meteorološke podatke (*Meteorological data* - MET) [7]. Integrirani sustav za početnu obradu plana leta (IFPS) centralizirana je usluga operativnog centra Mrežnog upravitelja (*Network Manager operations center* – NMOC). Usluga je implementirana za racionalizaciju prijema, početne obrade te distribucije podataka plana leta koji se odnose na letove po instrumentalnim pravilima letenja (*Instrument flight rules* – IFR) unutar Europske ICAO regije. Regija u kojoj se koristi IFPS usluga se također naziva IFPS zona (*Initial Flight Plan Processing System zone* – IFPZ). Planovi leta i povezane ažurirane poruke mogu se poslati kao pojedinačne poruke. Usluga IFPS će provjeriti sve zaprimljene poruke kako bi se osigurala potpunost i točnost svih podataka, te usklađenost sa svim podatkovnim konvencijama i formatima. Integrirani sustav za početnu obradu plana leta će poduzeti mjere kako bi osigurao da je plan leta prihvatljiv svim operativnim uslugama zračnog prometa. Usluga IFPS će osigurati distribuciju prihvaćenih planova leta i njihovih izmjena svim relevantnim jedinicama za pružanje usluga u zračnoj plovidbi unutar područja odgovornosti. Integrirani sustav za početnu obradu plana leta će također osigurati ponovno adresiranje prihvaćenih poruka na sve dodatne adrese zrakoplovne fiksne telekomunikacijske mreže (*Aeronautical Fixed Telecommunications Network* – AFTN) prema zahtjevu pošiljatelja poruke [11].

Sustav upravljanja protokom i kapacitetom zračnog prometa u Europskoj perspektivi uključuje sljedeće sustave [7]:

- Unaprijeđeni taktički sustav upravljanja protokom (*Enhanced Tactical Flow Management System* - ETFMS),
- sustav *PREDICT*,
- simulacijski alat *SIMulation and EXperiment*,
- funkcionalnost *OPTI-mise CON-figuration*,
- sustav distribucije podataka (*Data distribution system* - DDS),
- Portal mrežnog operativnog plana (*Network operations portal* - NOP),
- aplikacija *Collaboration Human Machine Interface*.

Unaprijeđeni taktički sustav upravljanja protokom (*Enhanced Tactical Flow Management System* - ETFMS) uspoređuje prometnu potražnju, reguliranu potražnju i opterećenje s kapacitetom kako bi procijenio moguće neravnoteže u europskom zračnom prostoru i omogućuje provedbu mjera za rješavanje tih neravnoteža u prometu, na primjer, regulacije i preusmjeravanja [7]. Sustav ETFMS pruža unaprijeđene taktičke podatke svim operativnim dionicima, bez obzira na jezik ili opremu. Unaprijeđeni taktički sustav upravljanja protokom olakšava upravljanje letom od faze pred-planiranja do dolaska leta. Isto tako, sustav omogućava ažuriranje podataka vezanih uz let i tako poboljšava stvarnu sliku određenog leta. Sustav ima dvije glavne funkcije [12]:

- izračun prometne potražnje u svakom sektoru operativnog područja Mrežnog upravitelja. Ova funkcija se temelji uporabom informacija o planu leta od operatora zrakoplova putem usluge IFPS,
- dodjela ATFCM slotova i distribucija rezultirajućih popisa svim uključenim stranama putem sustava *Computer-assisted slot allocation* (CASA).

Sustav ETFMS može pratiti samo broj letova koji ulaze u sektor jednom po satu (broj ulazaka), kao i broj letova koji su stvarno prisutni u određenom sektoru svake minute (popunjenost sektora). Korištenjem broja popunjenosti poboljšava se proces donošenja odluka, što dovodi do implementacije regulacija na tlu ili kratkoročnih mjera upravljanja kapacitetom zračnog prometa (*Short-term air traffic capacity management measures* - STAM). Unaprijeđeni taktički sustav upravljanja protokom koristi podatke o letu u stvarnom vremenu, kao i brzinu i smjer vjetra u izračunu profila ATFM plana leta kako bi se poboljšala točnost profila. Mrežni upravitelj svakih šest sati prima MET podatke koji sadrže prognozu za sljedećih 36 sati [12].

Sustav *PREDICT* uspoređuje predviđeni promet i kapacitet kako bi procijenio stanje opterećenja za sljedeće dane (do 6 dana unaprijed). Mjere ATFCM-a se mogu implementirati u ovaj sustav kako bi se procijenio njihov učinak prije primjene u ETFMS-u [8].

Alat za simulaciju *SIMulation and EXperiment* se koristi u strateškim, predtaktičkim i taktičkim ATFCM operacijama. Alat omogućuje osoblju mrežnih informacija da simulira ATFCM mjere ili ograničenja prije nego što ih primijeni na prethodne sustave [7].

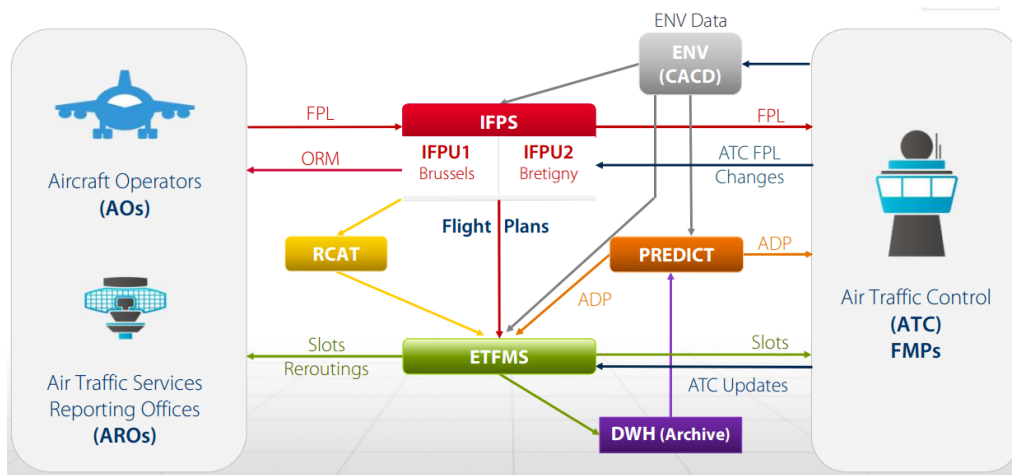
OPTI-mise CON-figuration (OPTICON) pomaže u odabiru konfiguracije sektora i omogućava bolju procjenu utjecaja promjene konfiguracije. OPTICON je pružen od strane PREDICT, ETFMS i SIMEX [7].

Sustav distribucije podataka (*Data distribution system* - DDS) koristi se za distribuciju ETFMS podataka o letu (*EFTMS Flight Data* - EFD) dotičnim operativnim dionicama mrežnog upravitelja u stvarnom vremenu. Funkcionalnost sustava distribucije podataka osigurava ETFMS [7].

Portal mrežnog operativnog plana (*Network Operations Portal* - NOP) je sučelje koje pruža konsolidirani pogled na različite aspekte NOP-a i daje pristup skupu usluga za podršku aktivnosti i širenje NOP-a [7].

Sučelje za suradnju stroja i čovjeka (*Collaboration Human Machine Interface* - CHMI) je samostalna aplikacija koja pruža sučelje za mrežne operativne sustave omogućujući korisnicima prikaz podataka (kao što su informacije o propisima, propisi letova, itd.) i grafičkih informacija (kao što su rute, atributi rute, zračni prostori, tragovi plana leta) putem prikaza na karti. Ove informacije omogućuju zajedničko donošenje odluka između svih partnera. Dogovorno donošenje odluka (*Collaborative decision making* – CDM) je proces koji omogućuje da odluke donose oni subjekti koji su u najboljoj poziciji da ih donesu na temelju najopsežnijih, ažurnih i točnih informacija pri tom osiguravajući da se svim zainteresiranim dionicima pruži prilika da utječu na odluku [7].

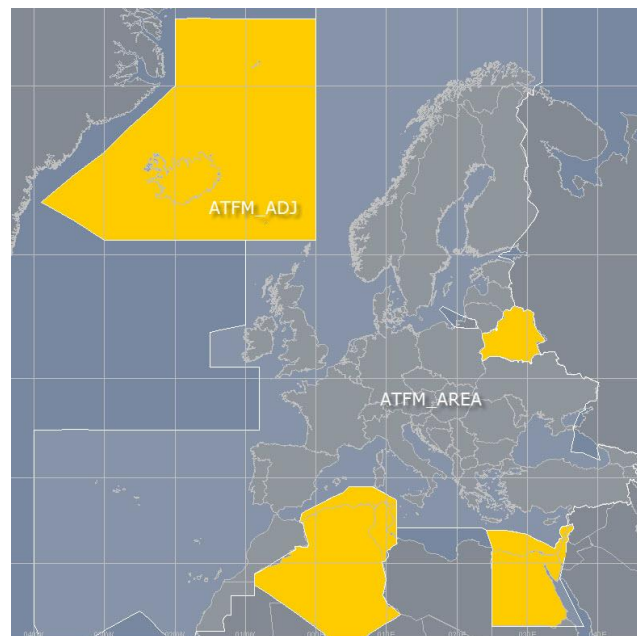
Prikaz sustava upravljanja protokom i kapacitetom zračnog prometa u Europi, te glavni tok podataka opisan je na slici 7.



Slika 7. Prikaz glavnog toka podataka sustava ATFCM

Izvor: [13]

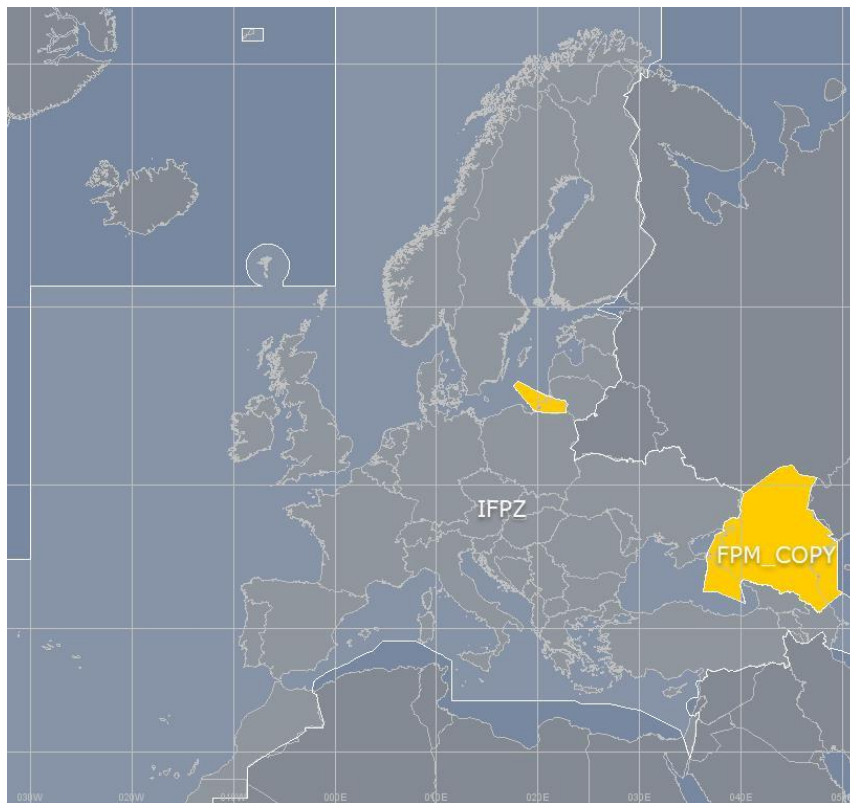
Pružanje usluge upravljanja protokom i kapacitetom u zračnom prometu u regiji Europske konferencije civilnog zrakoplovstva (*European Civil Aviation Conference – ECAC*) provodi se u četiri faze: strateška faza, pred-taktička faza, taktička faza i postoperativna analiza [8]. Kraticom ATFM_AREA na slici 8 prikazano je područje u kojem Mrežni upravitelj pruža uslugu upravljanja protokom i kapacitetom u zračnom prometu. Žutom bojom i kraticom ATFM_ADJ, označeno je područje u kojem svaki let koji napušta i ulazi u ATFM područje može biti podložan ATFM mjerama [14].



Slika 8. Prikaz područja pružanja usluge ATFM

Izvor: [14]

Područje u kojem je Mrežni upravitelj odgovoran za prijem, provjeru valjanosti i naknadnu distribuciju poruka planova leta operativnim uslugama u zračnom prometu označeno je kraticom IFPZ na slici 9. Isto tako, žutom bojom i kraticom FPM_COPY označeno je područje u kojem IFPS šalje kopije primljenih i relevantnih planova leta. Međutim, Mrežni upravitelj nije odgovoran za prijam, provjeru valjanosti, ispravke niti za cjelovitost poruka planova leta distribuirane zemljama u označenom području [14].



Slika 9. Prikaz područja IFPZ

Izvor: [14]

Strateška faza (*Strategic flow management*) odvija se sedam ili više dana prije dana operacije i uključuje aktivnosti istraživanja, planiranja i koordinacije kroz proces dogovornog donošenja odluka (*Collaborative decision making - CDM*) [8]. Strateška faza na Portalu mrežnih operacija prikazana je na slici 10.

The screenshot displays the Network Operations Portal (NOP) interface, specifically the Strategic phase. The top header shows the current date and time as 31/07/2022, 13:50 UTC, along with a target date of 07/08/2022 and a search bar. The interface is organized into several columns and sections:

- Left Column:** Contains sections for 'Airspace and Route Structure', 'NOP Updates', 'Incident Management Tool', 'Network Events', 'ATFCM Measures (Scenarios)', 'Claims', 'SAAM', 'OneSky Online', 'RAD', 'CCMS Web', 'NEST', 'Contacts', and 'EAD'. Each section provides detailed information and links related to network operations.
- Top Right:** Features a search bar with the text 'Userame: guest' and a 'SEARCH' button.
- Center:** Displays a calendar for July 2022, showing dates from 27 to 31. The 13th is highlighted in red.
- Bottom:** Includes a 'Contacts' section with a 'Depending on the nature of your enquiry you can get direct contact with NIMOC or make a search to send a message to NIMOC via different language' note.

Slika 10. Prikaz strateške faze na Portalu mrežnih operacija

Izvor: [15]

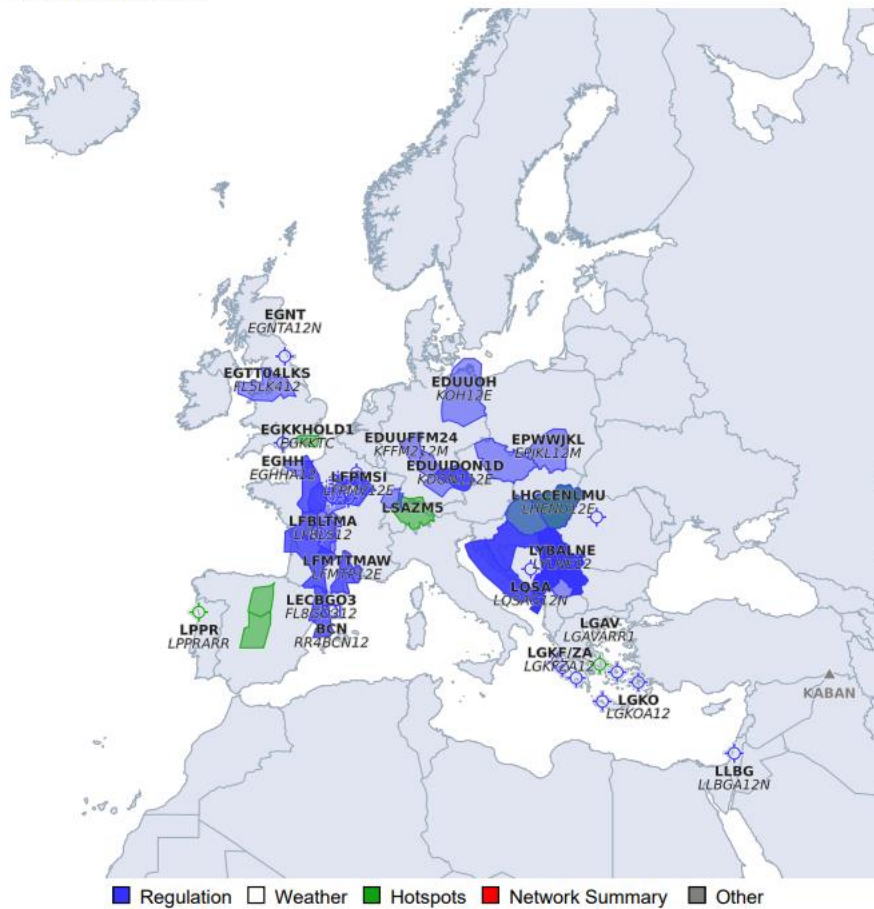
Strateška faza uključuje kontinuirano prikupljanje podataka s pregledom postupaka i mjera usmjerenih na ranu identifikaciju velikih neravnoteža (vojne vježbe, veliki sportski događaji, zračne priredbe). Kada se utvrde neravnoteže, Mrežni upravitelj je odgovoran za cjelokupnu koordinaciju i izvođenje strateškog ATFCM planiranja kako bi se optimizirali svi raspoloživi kapaciteti i postigli ciljevi performansi. Rezultat ove faze je Plan mrežnih operacija (*Network Operations Plan - NOP*) [8].

Pred-taktičko upravljanje protokom primjenjuje se tijekom šest dana prije dana operacije i sastoji se od aktivnosti planiranja i koordinacije. Ova faza proučava potražnju za dan operacije, uspoređuje je s predviđenim raspoloživim kapacitetom na taj dan i vrši sve potrebne prilagodbe plana koji je izrađen tijekom strateške faze. Glavni cilj pred-taktičke faze je optimizirati učinkovitost i uravnotežiti potražnju kroz učinkovitu organizaciju resursa. Rezultat je Dnevni ATFCM plan (*ATFCM Daily Plan – ADP*) [8]. Dnevni ATFCM plan je prikazan na slici 11.



Initial Network Plan

Friday, 12 August 2022



Slika 11. Prikaz početne stranice Dnevnog ATFCM plana

Izvor: [16]

Dnevni plan usluge upravljanja protokom i kapacitetom zračnog prometa je skup taktičkih mjera upravljanja protokom zračnog prometa pripremljen tijekom pred-taktičke faze objavljen putem ATFCM obavijesti (*ATFCM notification message - ANM*) i preko Plana mrežnih operacija [8]. Slika 12 prikazuje ATFCM obavijesti.

Target Date 31/07/2022 Set			
D (Tactical)			
Type:	All	FMP:	Sort By: FMP Identifier and Regulation Number
			Valid On 31/07/2022 Released 31/07/2022 14:05
31/07/2022 14:09:00 - 219 regulations			
Seq no	098	State	CHANGE
FMP	EDGGFMP1	Published	31/07/2022 07:42
Regulations Id	EDDSA31M	WEF	31/07/2022 08:00
Flight Level	ALL	UNT	31/07/2022 11:00
Reason	ATC Staffing ARRIVALS EDDS		
Seq no	186	State	NEW
FMP	EDGGFMP1	Published	31/07/2022 10:49
Regulations Id	EDG4K31A	WEF	31/07/2022 13:20
Flight Level	245-	UNT	31/07/2022 15:00
Reason	ATC Capacity COLLAPSED SECTOR KOENIG AND DINKELSBUEHL, WHEN IN EDDF RWY25 IS IN USE		
Seq no	172	State	NEW
FMP	EDMMFMPPE	Published	31/07/2022 09:52
Regulations Id	EDMHO31M	WEF	31/07/2022 10:00
Flight Level	195 - 315	UNT	31/07/2022 12:00
Reason	Others UKRAINIAN CRISIS		
RMK	HOF BAMBERG COMBINED SECTOR		
Seq no	107	State	NEW
FMP	EDMMFMPVW	Published	31/07/2022 04:51
Regulations Id	EDMCN31M	WEF	31/07/2022 07:00
Flight Level	315-	UNT	31/07/2022 08:00
Reason	Special Event ICAS 2 TRNG		
RMK	EDMWCN3 (ALB+RDG+EGG) SECTOR GND-FL315		
Seq no	115	State	NEW
FMP	EDMMFMPVW	Published	31/07/2022 05:35
Regulations Id	EDMCS31M	WEF	31/07/2022 08:30
Flight Level	315-	UNT	31/07/2022 11:00
Reason	Special Event ICAS 2 TRNG		
RMK	TEG+TRU+STA		
Seq no	185	State	CHANGE
FMP	EDMMFMPVW	Published	31/07/2022 12:11
Regulations Id	EDMWCN31A	WEF	31/07/2022 13:45
Flight Level	315-	UNT	31/07/2022 17:20
Reason	Special Event ICAS 2 TRAINING		
RMK	EDMWCN3 (ALB+RDG+EGG) SECTOR GND-FL315		

Slika 12. Prikaz ATFCM obavijesti

Izvor: [15]

Taktičko upravljanje odvija se na dan operacije i uključuje razmatranje, u stvarnom vremenu, onih događaja koji utječu na Dnevni ATFCM plan i uvođenje potrebnih modifikacija na njega. Ova faza ima za cilj osigurati da mjere poduzete tijekom strateške i pred-taktičke faze predstavljaju minimum koji je potreban za rješavanje neravnoteže potražnje/kapaciteta. Potreba za prilagodbom izvornog plana može proizaći iz poremećaja nedostatka osoblja, značajnih meteoroloških pojava u zračnom prostoru, kriza i izvanrednih događaja, neočekivanih ograničenja vezana uz zemaljsku ili zračnu infrastrukturu. Pružanje točnih informacija od vitalne je važnosti u ovoj fazi, jer omogućuje kratkoročne prognoze, uključujući utjecaj bilo kojeg događaja i maksimizira postojeće kapacitete bez ugrožavanja sigurnosti [8].

Postoperativna analiza je posljednji korak u procesu planiranja i upravljanja ATFCM-om. Analiza se odvija nakon taktičke faze operacija. Tijekom faze postoperativne analize provodi se analitički proces koji mjeri, istražuje i izvještava o operativnim procesima i aktivnostima u svim domenama, kao i vanjskim jedinicama relevantnim za ATFCM uslugu. Svi dionici unutar ATFCM usluge bi trebali dati povratne informacije o učinkovitosti Dnevnog plana ATFCM-a, planiranju leta i pitanjima podataka o zračnom prostoru. Ova faza uspoređuje očekivani ishod (gdje je procijenjen) sa stvarnim izmjerenim ishodom, općenito u smislu kašnjenja i produljenja rute, uzimajući u obzir ciljeve izvedbe. Konačni rezultat ove faze je razvoj najboljih

praksi i/ili naučenih lekcija za poboljšanje tih operativnih procesa i aktivnosti [8]. Postoperativna faza na portalu mrežnih operacija prikazana je na slici 13.

Current Network Situation
Last update: 05/07/2022 10:17

ATFCM Situation Data
Last update: 04/07/2022 23:54

Flights	
Total	31,271
Landed	29,264 (94%)
Airborne	1,982 (6%)
Expected	25 (0%)

Delays (in minutes)	
Cumulated	108,837.0
Average/Flight	3.5
En-route	93,693 (86%)
Airport	15,144 (14%)
>= 30 min	1,100

Delay Causes		
Reason	Delay	Delay (%)
Weather	44552	41%
ATC Capacity	32814	30%
Special Event	14744	14%
ATC Staffing	5113	5%
Aerodrome Capacity	4935	5%
Others	3673	3%
ATC Equipment	1663	2%
Airspace Management	1343	0%
Accident / Incident	0	0%
De-icing	0	0%

EAD
The European AIS Database (EAD) is the world's largest Aeronautical Information System (AIS); it is a centralized reference database of quality-assured aeronautical information and, simultaneously, a fully integrated, state-of-the-art AIS solution. EAD is a single source for aeronautical data needs. It is a safer, faster, more accurate and more cost-effective solution than older, non-harmonized methods of AIS data collection and delivery. Besides, it increases the availability and accessibility of AIS information. EAD offers instant access, no matter where you are, to the most up-to-date digital aeronautical information from the ECAC area, NOTAM (Notices to Airmen), Pre-flight Information Bulletins (PIBs) from around the world. For more info please see on the EAD link.

Slika 13. Prikaz postoperativne faze na portalu mrežnih operacija.

Izvor: [15]

3. Metodologije izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa

Kapacitet zračnog prostora nije neograničen, ali se može optimizirati ovisno o mnogim čimbenicima. Neki od čimbenika su [17]:

- dizajn i fleksibilnost zračnog prostora,
- kapacitet kontrole zračnog prometa,
- broj sektora i njihova kompleksnost
- dostupnost, obuka i sposobnosti osoblja kontrole zračnog prometa,
- dostupnost infrastrukture usluge komunikacije, nadzora i navigacije (*Communication, Navigation and Surveillance - CNS*),
- stupanj automatizacije sustava,
- opremljenost i tip zrakoplova u floti zračnog prijevoznika.

Analizirajući kapacitet zračnog prostora potrebno je, zapravo, razmotriti kapacitet kontrole zračnog prometa. Prilikom izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa važno je uzeti u obzir određene pokazatelje, kao što je radno opterećenje kontrolora zračnog prometa i važnost uočljivih i neuočljivih zadataka kontrolora zračnog prometa. Potrebno je analizirati utjecaj radnog opterećenja kontrolora na mjerenje kapaciteta kontrole zračnog prometa u danom sektoru zračnog prostora, te primijeniti tehnike potrebne za proračun upravljanja prometom u automatiziranom sustavu koristeći modele. Uložen je veliki napor kako bi se izmjerilo radno opterećenje kontrolora zračnog prometa dodjeljivanjem različitih zadataka koje kontrolor obavlja. Također, potrebno je uzeti u razmatranje sve studije koje uzimaju u obzir ljudski faktor, u kojima su situacijska svijest, otkrivanje pogrešaka, nadzor sustava, timski rad, odgovarajuća obuka i ljudska pogreška uzeti u obzir. Prilikom analize kapaciteta kontrole zračnog prometa važno je uzeti u obzir prirodu zadataka koji čine radno opterećenje kontrolora zračnog prometa, zato što postoje zadaci koji se mogu promatrati i kvantificirati, kao i zadaci koji se ne mogu promatrati i zahtjevno ih je kvantificirati. Ipak, moguće je utvrditi neke konstantne vrijednosti za zadatke koji se ne mogu kvantificirati na temelju statističkih analiza i na taj način ih uračunati u metodologiju korištenu u nekim modelima [17].

Poznavanje kapaciteta sektora kontrole zračnog prometa ili jedinice kontrole zračnog prometa potrebno je iz dva razloga. Prvo, prilikom dugoročnog planiranja potrebno je adekvatno upozorenje o svakom budućem manjku kapaciteta kontrole zračnog prometa. Drugo, ako već postoji manjak kapaciteta kontrole zračnog prometa koji zahtjeva primjenu kontrole protoka, potrebno je znati koliki je kapacitet sustava kako bi se zračni promet ograničio na razinu koja ne preopterećuje cjelokupni sustav [18].

U sljedećim potpoglavljima bit će prikazani modeli i metodologije za mjerenje i procjenu parametara koji se koriste za određivanje kapaciteta kako bi se zadovoljila potražnja zračnog prometa.

3.1. Metodološki modeli za procjenu kapaciteta sektora kontrole zračnog prometa

Metodološki modeli predstavljaju matematičke modele korištene za procjenu kapaciteta sektora kontrole zračnog prometa koji se oslanjaju na procjenu radnog opterećenja kontrolora u sektoru zračnog prostora i temelje se na mjerenjima obavljenim unaprijed. Cilj je prikazati, opisati i analizirati različite metodologije za procjenu i izračun kapaciteta zračnog prostora korištene diljem svijeta [17]. Idealna metoda za procjenu kapaciteta zračnog prostora bi bila izravno promatranje kontrolora zračnog prometa u radu u operativnom okruženju kontrole zračnog prometa. Promatrajući kontrolore koji kontroliraju kombinaciju različitih prometnih scenarija, u različitim sektorima, može se odrediti kapacitet sektora kontrole zračnog prometa. Za valjanost bilo koje statističke analize iz takvih podataka, potrebno je prikupljati podatke u dovoljno velikom vremenskom razdoblju i za nekoliko kontrolora zračnog prometa. Statistički model izveden na takav način predstavlja stvarni kapacitet sektora i zračnog prostora. Međutim, postoje mnoge poteškoće takvog pristupa, na primjer, potrebno je što nenametljivije promatrati kontrolora zračnog prometa na radu. Također, ogromna uložena sredstva bi bila potrebna za transkripciju zabilježenih podataka. Zbog visokih troškova ova metoda se često isključuje iz istraživanja procjene kapaciteta sektora kontrole zračnog prometa [2].

3.1.1. Model za procjenu radnog opterećenja *DORATASK*

Model koji se najčešće koristi za procjenu i analizu radnog opterećenja je model *DORATASK*. Ovo je analitički model temeljen na simulaciji koja daje jasne primjere i logičke izračune. Radno opterećenje se računa zbrajanjem vremena koje je potrebno kontroloru zračnog prometa da izvrši sve potrebne zadatke, uočljive i neuočljive, koji su povezani s protokom zračnog prometa u njegovom sektoru zračnog prostora. Kapacitet sektora se određuje dodavanjem ukupnog opterećenja zadatka parametru koji pokazuje količinu vremena potrebnog za oporavak kontrolora zračnog prometa. Uočljivi zadaci kontrolora zračnog prometa predstavljaju rutinske zadatke koje obavlja kontrolor, kao što su zadaci koji se primjenjuju na sve zrakoplove, bez obzira na broj zrakoplova u sektoru kontrole zračnog prometa (na primjer, standardna komunikacija), kao i oni zadaci usmjereni na rješavanje konflikta kada se zrakoplov suočava s potencijalnim ili stvarnim konfliktom. Neuočljivi zadaci kontrolora zračnog prometa su zadaci planiranja i mentalni zadaci koji su potrebni za otkrivanje ili predviđanje konflikta. No, važno je napomenuti da se neki zadaci ne mogu promatrati u proceduralnim sustavima kontrole zračnog prometa, ali se mogu promatrati u automatiziranim sustavima (na primjer, planiranje i predviđanje konflikta). Iako je planiranje neuočljivi zadatak kontrolora zračnog prometa, *DORATASK* model sadrži algoritme koji procjenjuju radno opterećenje kontrolora koje uključuje vrijeme koje kontrolor troši na planiranje. Ovakve procjene i primjeri se temelje na statističkim podacima koji daju konstantne vrijednosti koje se koriste za prilagodbu analitičkih foruma. U slučaju proračuna kapaciteta područja terminala, *DORATASK* model

identificira dva neuočljiva zadaka: početnu obradu (*Initial processing*), te radarsko praćenje. Ovi zadaci se modeliraju korištenjem radarskih pokazivača i kombinacija parova zrakoplova koji se moraju provjeriti. Budući da su ovi zadaci, po definiciji, linearni i kvadratni s obzirom na broj zrakoplova, svaka od ovih mjera se množi s nepoznatim brojem (konstantnom vrijednošću) koji procjenjuje svaki analitičar nakon usporedbe sa sektorima poznatog kapaciteta. *DORATASK* model služio je kao osnova za mnoge druge modele izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa koje uzimaju u obzir radno opterećenje kontrolora. Međutim, *DORATASK* nije jedini model koji treba uzeti u obzir zato što posjeduje ograničenja. Ipak, ovaj model je prikladan za studije izračuna kapaciteta sektora kontrole zračnog prometa i, uz neke odgovarajuće izmjene, može se prilagoditi i automatiziranim sustavima [17].

3.1.2. Metodologija izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa korištena u Južnoj Americi

U Brazilu, kapacitet oblasne kontrole zračnog prometa (*Area Control Centre - ACC*) se procjenjuje analizom kapaciteta njegovih sektora. Procijenjena vrijednost kapaciteta sektora smatra se maksimalnim brojem zrakoplova koji svaki kontrolor zračnog prometa može istovremeno kontrolirati u određenom sektoru, čime se osigurava kapacitet koji primjenjuje jedinica kontrole zračnog prometa. Odjel za kontrolu zračnog prometa (*The Airspace Control Department - DECEA*) koristi metodologiju za određivanje kapaciteta prilaznih i oblasnih sektora kontrole zračnog prometa. Metodologija korištena u regiji Južne Amerike (*South American Region – SAM*) se sastoji od dobivanja vrijednosti kapaciteta na temelju matematičke formule. Osnovni podaci za ovakvu formulu se prikupljaju putem posebne radne skupine u jedinici kontrole zračnog prometa, uzimajući u obzir vršno opterećenje u kojem se promatraju i mjere radnje kontrolora zračnog prometa prilikom upravljanja sektorom. Ovaj proces daje uzorak podataka koji će se kasnije koristiti u metodologiji izračuna kapaciteta sektora kontrole zračnog prometa. Važno je da prikupljanje podataka bude kvalitetno kako bi se razrijedila privremena stohastička odstupanja i da bi podaci predstavljali pouzdane vrijednosti za pružatelja usluga u zračnoj plovidbi. Metodologija koja se koristi za određivanje kapaciteta sektora uzima u obzir radno opterećenje kontrolora zračnog prometa prilikom obavljanja njegovih zadaća za vrijeme vršnog prometnog opterećenja, kao što je vidljivo u *DORATASK* modelu [17].

Prema SAM metodologiji, radno opterećenje kontrolora zračnog prometa je zbroj vremena provedenog na [17]:

- komunikaciji (prijenos/prijem),
- ručnim aktivnostima (ispunjavanje letnih stripova) i koordinacija,
- planiranju i raspodjeli prometa

Metodologija korištena u Južnoj Americi primjenjuje koncept faktora dostupnosti (ϕ), koji je definiran kao postotak vremena kontrolora zračnog prometa

koje je raspoloživo za razdvajanje prometa. Faktor raspoloživosti se, obično, nalazi između minimalne vrijednosti od 40% za proceduralno upravljanje zračnim prometom i 60% za radarsko upravljanje zračnim prometom. Cilj je povećanje faktora dostupnosti (φ). Povećanje faktora raspoloživosti se može postići samo ako se smanje aktivnosti komunikacije i ručnih aktivnosti. Postotak faktora raspoloživosti bi se mogao povećati poboljšanjem sučelja čovjek/stroj (*Man/Machine interface* - MMI), odnosno povećanjem razine automatizacije u nekim zadacima. Studije provedene od brazilskih stručnjaka pokazale su da je preporučljivo napraviti najmanje 30 mjerenja svakog parametra za svakog kontrolora zračnog prometa tijekom vršnog prometa, poštujući minimalni broj kontrolora zračnog prometa određen tehnikom uzorkovanja. Važno je prikupiti što više kontrolora zračnog prometa i izvesti što više opažanja kako bi se eliminirale ekstremne vrijednosti i potencijalni trendovi (na primjer, slučajevi kontrolora ili pilota koji su prespori ili prebrzi u komunikaciji, što utječe na aritmetičku sredinu) [17].

Prema [17], broj zrakoplova koji mogu biti kontrolirani istodobno od jednog kontrolora zračnog prometa u sektoru izračunava se formulom (1):

$$N = \varphi \cdot \delta \cdot (\eta \cdot \tau_m \cdot v_m)^{-1} \quad (1)$$

Značenje parametra SAM formule za izračun kapaciteta kontrolora zračnog prometa kao i dodatna objašnjenja svakog parametra opisane su u tablici 1.

Tablica 1. Prikaz parametara formule za izračun kapaciteta kontrole zračnog prometa prema SAM metodologiji

Parametar	Objašnjenje
φ – Faktor dostupnosti kontrolora zračnog prometa	Postotak raspoloživog vremena za planiranje postupaka razdvajanja zrakoplova
δ – Prosječna udaljenost koju zrakoplovi lete u sektoru	Rezultat putanje leta i procedura kontrole zračnog prometa utvrđene za svaki sektor
η – broj komunikacija za svaki zrakoplov u sektoru	Parametar mora biti ograničen na najmanji mogući broj potreban za razumijevanje između pilota i kontrolora. Ovaj broj se može svesti na minimum izdavanjem potpune dozvole unaprijed za planiranje leta
τ_m – srednje vrijeme trajanja svake poruke (uputa, odobrenje, informacija itd.)	Ovaj parametar se može minimizirati izdavanjem objektivnih poruka, bez dugih objašnjenja koja su štetna za razumijevanje između pilota i kontrolora zračnog prometa
v_m – srednja brzina zrakoplova u sektoru	-

Izvor: [17]

Prema [17], ako se parametri δ i v_m zamijene prosječnim vremenom leta zrakoplova u sektoru T, ova se formula može zamijeniti pojednostavljenom formulom (2):

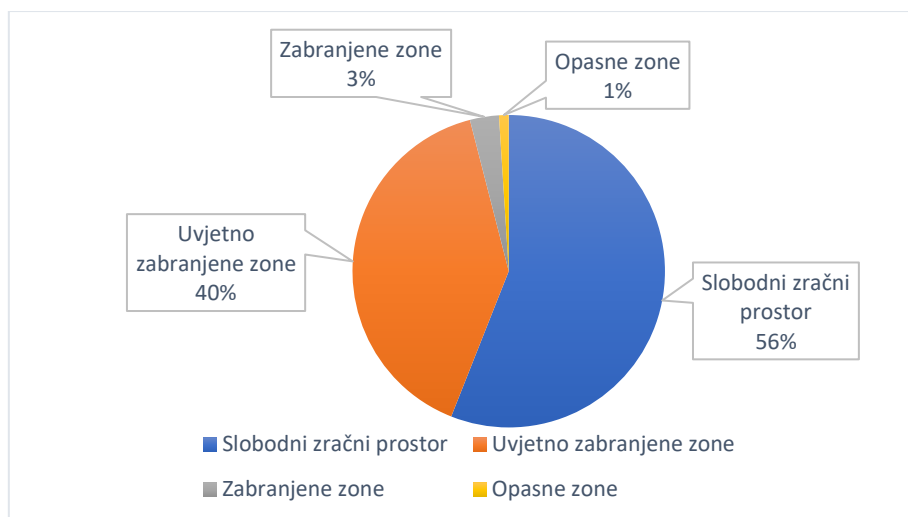
$$N = \varphi \cdot T \cdot (\eta \cdot \tau_m)^{-1} \quad (2)$$

Vrijednosti faktora φ , T, η i τ_m dobivaju se empirijski prema standardnim postupcima. Na primjer, može se uzeti u obzir T = 12 minuta, τ_m = 9 sekundi, φ = 60%, η = 6, što daje broj zrakoplova N = 8 kojima istovremeno upravlja kontrolor zračnog prometa u danom sektoru. Odnosno, pod zadanim uvjetima kontrolor zračnog prometa bi mogao istovremeno upravljati prometnom situacijom od osam zrakoplova. Postoji nekoliko čimbenika koji neprestano utječu na parametar N i koji su izravno povezani, poput veličine sektora ili izmjena rute leta. Prema tome, prilikom svake značajne promjene, dobivenu vrijednost je potrebno ažurirati. U idealnim uvjetima, prikupljanje podataka se mora obaviti tijekom vršnog prometnog opterećenja. Stoga je odabir idealnog vremenskog razdoblja čimbenik koji treba uzeti u obzir, jer ima izravan utjecaj na konačni rezultat izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa [17].

3.1.3. Metodologija izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa korištena u Saudijskoj Arabiji

Pružatelj usluga u zračnoj plovidbi Saudijske Arabije (*Saudi Air Navigation Services* - SANS) koristi sličnu metodologiju izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa kao i Južno Američka regija. Usluga upravljanja protokom i kapacitetom kontrole zračnog prometa (*Air Traffic Flow and Capacity Management* - ATFCM) pružatelja usluga u zračnoj plovidbi Saudijske Arabije smještena je pod centralnom jedinicom za upravljanje protokom (*Central Flow Management Unit* - CFMU) [19].

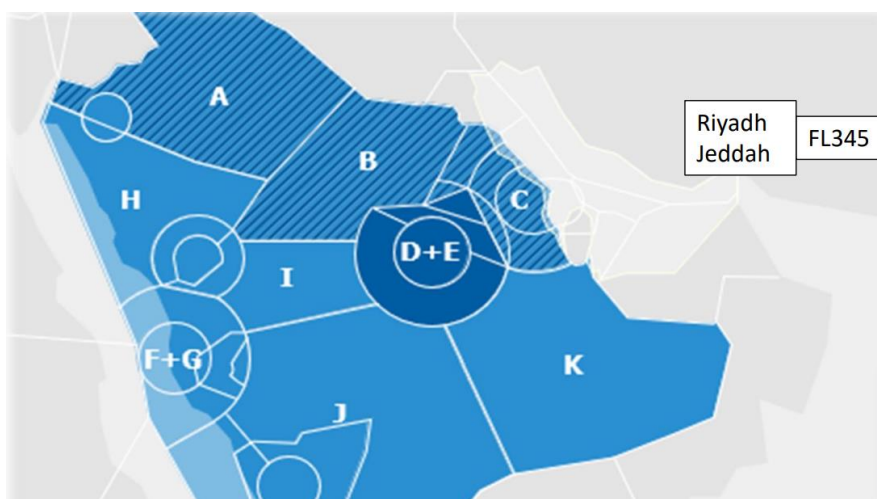
Analizirajući cjelokupni zračni prostor Saudijske Arabije i zone u kojima je posebno regulirano letenje, samo 56% zračnog prostora je slobodno za upotrebu od strane civilnih korisnika zračnog prostora. Znatna količina zračnog prostora Saudijske Arabije otpada na zabranjene zone, uvjetno zabranjene zone, kao i opasne zone [19]. Prikaz udjela zabranjenih, uvjetno zabranjenih, kao i opasnih zona u zračnom prostoru Saudijske Arabije nalazi se na slici 14.



Slika 14. Prikaz udjela zona posebno reguliranog letenja u Saudijskoj Arabiji

Izvor: [19]

Sektori oblasne kontrole zračnog prometa Saudijske Arabije su podijeljeni između dva centra oblasne kontrole zračne plovidbe Riyadh i Jeddah. Riyadh se sastoji od pet sektora, a Jeddah od devet sektora kontrole zračnog prometa [19]. Detaljniji prikaz rasporeda sektora u zračnom prostoru Saudijske Arabije prikazan je na slici 15.



Slika 15. Prikaz rasporeda sektora zračnog prostora Saudijske Arabije

Izvor: [19]

Prema [19], kapacitet kontrole zračnog prometa Saudijske Arabije izračunava se formulom (3) u kojoj parametar N predstavlja broj zrakoplova koji može istodobno kontrolirati kontrolor zračnog prometa. Ostali parametri formule za izračun kapaciteta kontrole zračnog prometa objašnjeni su u prethodnom poglavlju.

$$N = \frac{\varphi * T}{\eta * \tau m} \quad (3)$$

Analizirajući stvarne ulazne podatke pružatelja usluga u zračnoj plovidbi SANS, moguće je izračunati maksimalni broj zrakoplova u sektoru kontrole zračnog prometa. Ulazni podaci uključuju raspoloživost kontrolora zračnog prometa, prosječno vrijeme leta zrakoplova u sektoru, broj komunikacija (poruka) za svaki zrakoplov u sektoru i prosječno trajanje svake poruke [17]. Ulazni podaci pružatelja usluga u zračnoj plovidbi SANS su prikazani u tablici 2.

Tablica 2. Prikaz ulaznih podataka za izračun kapaciteta pružatelja usluga u zračnoj plovidbi Saudijske Arabije

Riyadh Center				
Ime sektora	Broj poruka	Prosječno vrijeme trajanje poruke	Raspoloživost:	
			Kontrolora zračnog prometa	Kontrolora zračnog prometa i planera
ACC – N	6	6	50%	70%
ACC - E	5	5	50%	70%
ACC – NE	5	5	50%	70%
APU	5	6	50%	70%

Izvor: [19]

Pružatelj usluga u zračnoj plovidbi Saudijske Arabije implementirao je model/alat za izračun kapaciteta sektora kontrole zračnog prometa. Alat se temelji na prethodno spomenutoj formuli koja definira teoretski broj zrakoplova kojim kontrolor zračnog prometa može upravljati u zračnom prostoru [19]. Alat za izračun kapaciteta sektora kontrole zračnog prometa je prikazan na slici 16.



Slika 16. Prikaz alata za izračun kapaciteta kontrole zračnog prometa u Saudijskoj Arabiji

Izvor: [19]

Daljnju provjeru valjanosti izračuna kapaciteta obavlja jedinica operativnih usluga u zračnom prometu tako da formira skupinu stručnjaka za provjeru kapaciteta. Također, skupina stručnjaka razmatra sve moguće čimbenike koji mogu utjecati na kapacitet kontrole zračnog prometa. Za daljnje planiranje, potvrđeni kapacitet se priopćava nadležnom tijelu zračne luke kako bi se održala pravilna ravnoteža između prometne potražnje i kapaciteta [19].

3.1.4. Metodologija izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa korištena u Centralnoj Americi

U ICAO Sjeverno Američkoj regiji (*North America - NAM*), Centralnoj Americi i Karibima (*Central America and Caribbean - CAR*) koriste se različite metodologije za planiranje kapaciteta kontrole zračnog prometa, kao i broja operacija koje kontrolor zračnog prometa može obavljati po smjeni u trajanju od osam sati. Kako bi se pokrivala pozicije u skladu s potrebama pružatelja usluga u zračnoj plovidbi, važno je napomenuti da je potrebno minimalno tri kontrolora zračnog prometa za svaku poziciju kontrole zračnog prometa. Zadatak ove metodologije je izračunati prosječni broj operacija s kojim kontrolori zračnog prometa mogu upravljati u smjeni [20]. Prema [20],

formula (4) prikazuje prosječan broj operacija u smjeni u mjernoj jedinici operacija po satu.

$$SA = \left(\frac{3600}{Nc * Tc} \right) * 0,8 * 0,5 * Nh \quad (4)$$

Popis svih parametara korištenih u formuli (4), te opis značenja parametara i mjernih jedinica nalazi su u tablici 3.

Tablica 3. Prikaz parametara formule za izračun prosječnog broja operacija po smjeni

Parametar	Značenje	Mjerna jedinica
SA	Prosječni broj operacija po smjeni	Operacija po satu
3600	Broj sekundi u satu	-
0.8	80% procijenjenog vremena rukovanja prometom	-
0.5	Faktor maksimalnog kapaciteta u vršnom satu (Vršni kapacitet/sat)	-
Nh	Broj sati po smjeni	Sat
Nc	Prosječni broj poruka od zrakoplova	-
Tc	Procijenjeno prosječno vrijeme poruke	Sekunda

Izvor: [20]

Prema [20], formula (5) se odnosi na izračun prosječnog broja operacija kojima može upravljati kontrolor zračnog prometa uporabom radara u jednom satu. Konačna vrijednost izračuna se izražava u mjernoj jedinici operacija po satu [20].

$$C = \frac{3600}{TC + COM + S} \quad (5)$$

Popis svih parametara korištenih u formuli (5), te opis značenja parametara i mjernih jedinica nalazi su u tablici 4.

Tablica 4. Prikaz parametara formule za izračun prosječnog broja operacija u satu uporabom radara

Parametar	Značenje	Mjerna jedinica
TC	Trajanje zadatka transfera komunikacija	Sekunda
COM	Trajanje komunikacija	Sekunda
S	Trajanje zadatka razdvajanja	Sekunda
C	Kapacitet	Operacija po satu

Izvor: [20]

Prema [20], formula (6) je vezana za prosječni broj operacija kojima može upravljati kontrolor zračnog prometa bez uporabe radara u jednom satu. Konačna vrijednost izračuna se izražava u mjernoj jedinici operacija po satu. Dobivenu vrijednost kapaciteta moguće je pomnožiti s osam (broj sati u smjeni) i dobiti prosječni broj operacija koji kontrolor zračnog prometa može obraditi u jednoj smjeni od osam sati [20].

$$C = \frac{3600}{COR + CO + S + TCO} \quad (6)$$

Popis svih parametara korištenih u formuli (5), te opis značenja parametara i mjernih jedinica nalazi su u tablici 5.

Tablica 5. Prikaz parametara formule za izračun prosječnog broja operacija u satu bez uporabe radara

Parametar	Značenje	Mjerna jedinica
COR	Trajanje zadatka koordinacije	Sekunda
CO	Trajanje komunikacije	Sekunda
S	Trajanje zadatka razdvajanja	Sekunda
TCO	Trajanje zadatka transfera komunikacija	Sekunda
C	Kapacitet	Operacija po satu

Izvor: [20]

Uzimajući u obzir broj dana godišnjeg odmora koji iznosi 130 dana (dva slobodna dana u tjednu, godišnji odmor i blagdani), moguće je izračunati broj dostupnih dana kontrolora zračnog prometa u godini. Broj dostupnih dana u godini iznosi 235 dana. Na temelju izračunatih dostupnih dana, potrebno je izračunati faktor kapaciteta (*Required covering capacity* - CRR). Faktor kapaciteta je dobiven dijeljenjem potražnje (130 dana) i kapaciteta (235 dana), nakon izračunate vrijednosti, potrebno je pomnožiti broj kontrolora zračnog prometa u smjeni s faktorom kapaciteta i dodati dobivenu vrijednost ukupnom broju osoblja u smjeni kako bi se dobio ukupni broj potrebnog osoblja. Važno je napomenuti kako ova metodologija ne predviđa dodatno radno opterećenje kontrolora zračnog prometa niti ne uzima u obzir sektore kontrole zračnog prometa. Procjena kapaciteta se temelji prema pravilima letenja (instrumentalna pravila letenja ili vizualna pravila letenja) a metodologija ne uzima u obzir CPDLC niti pomoćno osoblje (planersko, organizacijsko, nadzorno i administrativno osoblje). Ukupna vrijednost bi se trebala izračunati po smjeni uzimajući u obzir razdoblje godišnjih odmora i druge predviđene varijable odsutnosti [20].

3.2. Metodologija izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa korištena u Europi

Metodologija *Capacity Analysis* (CAPAN) je razvijena od strane EUROCONTROL-a i prvenstveno se primjenjuje na području Europe, a koristi se kako bi podržala razvoj, validaciju i provedbu prijedloga za poboljšanje zračnog prostora i procjenu kapaciteta kontrole zračnog prometa [21]. Metodologija se temelji na simulaciji za izračunavanje procijene radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa putem danog uzorka prometa. Radno opterećenje kontrolora zračnog prometa je vrijeme utrošeno za obradu svih zadataka u vremenskom razdoblju za jednu poziciju kontrole zračnog prometa. Potreban je velik broj ulaznih podataka za izračun procijene radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa [22].

Ulazni podaci uključuju [22]:

- opis okruženja zračnog prostora,
- uzorak prometa s pripadajućim planovima leta, radarskim tragovima i performansama zrakoplova,
- kontrolni parametri (procedure i tehnike) za djelovanje kontrole zračnog prometa, dogovoreni od strane operativnih stručnjaka kako bi prikazali realne radne uvjete,
- trajanje unaprijed definiranih zadataka (u sekundama).

Tijekom odvijanja simulacije, pojave unaprijed definiranih diskretnih događaja pokreću dodjelu odgovarajućih zadataka izvršnom i/ili planerskom kontroloru zračnog prometa, u skladu s dužnostima određenim za svaki sektor. Primjeri ovakvih događaja su [22]:

- ulazak ili izlazak zrakoplova u sektor kontrole zračnog prometa,
- traženje i rješavanje konflikta,
- zahtjev za novom razinom leta,
- eksterne i interne koordinacije.

Stoga, svaka pozicija kontrole zračnog prometa ima popis zadataka. Uzimajući u obzir da je trajanje svakog zadatka prethodno utemeljeno, može se izračunati vrijeme provedeno na zadacima kontrolora zračnog prometa u jednom satu. Ovo vrijeme se naziva radno opterećenja kontrolora zračnog prometa po satu [22].

3.2.1. Metoda vršnog sata

Prag radnog opterećenja (*Workload threshold*) je postotak vremena proveden na satnom radnom opterećenju. Na primjer, satno radno opterećenje koje traje 30 minuta daje 50% praga radnog opterećenja. Ovo radno opterećenje definirano je za svaku poziciju kontrole zračnog prometa. Neke studije u realnom vremenu i operativna ispitivanja su kvantitativno potvrdile vrijednosti praga i njihovu kvalitativnu interpretaciju kao što je prikazano u tablici 6 koristeći CAPAN metodologiju. Satni kapacitet sektora je maksimalni broj ulazaka zrakoplova u sektor u jednom satu koji se mogu sigurno dodijeliti kontroloru zračnog prometa. Odnosno, kontrolor zračnog prometa može obraditi sve ove letove bez da premaši prag radnog opterećenja [22].

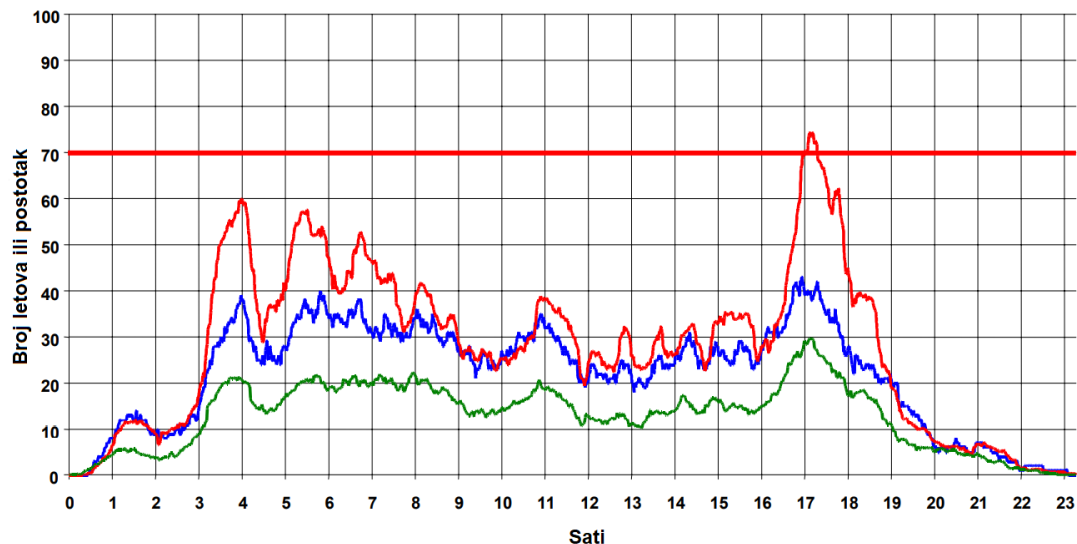
Tablica 6. Vrijednosti praga radnog opterećenja

Prag	Interpretacija	Zabilježeno radno vrijeme u jednom satu
70% ili iznad	Preopterećenje	42 minute +
54% - 69%	Teško opterećenje	32 - 41 minuta
30% - 53%	Srednje opterećenje	18 – 31 minuta
18% - 29%	Slabo opterećenje	11 – 17 minuta
0% - 17%	Jako slabo opterećenje	0 – 10 minuta

Izvor: [22]

Metoda CAPAN izvodi nekoliko simulacija tijekom 24-satnog uzorka prometa, primjenjujući nasumična vremena ulaska i performanse zrakoplova za svaku simulaciju. Potom se izračunava prosjek radnog opterećenja generiranog za svaku radnu poziciju kako se bi se smanjio utjecaj osobitosti uzorka prometa [22].

Period jednog sata tijekom kojeg je zabilježeno maksimalno radno opterećenje se naziva vršni sat. Krivulja radnog opterećenja, označena crvenom bojom na slici 17, prikazuje vršno radno opterećenje u 17 sati i 15 minuta. Ako radno opterećenje u vršnom satu dosegne unaprijed definirani prag preopterećenja, tada je kapacitet sektora, zapravo, broj zrakoplova koji su prouzrokovali taj vršni sat [22].



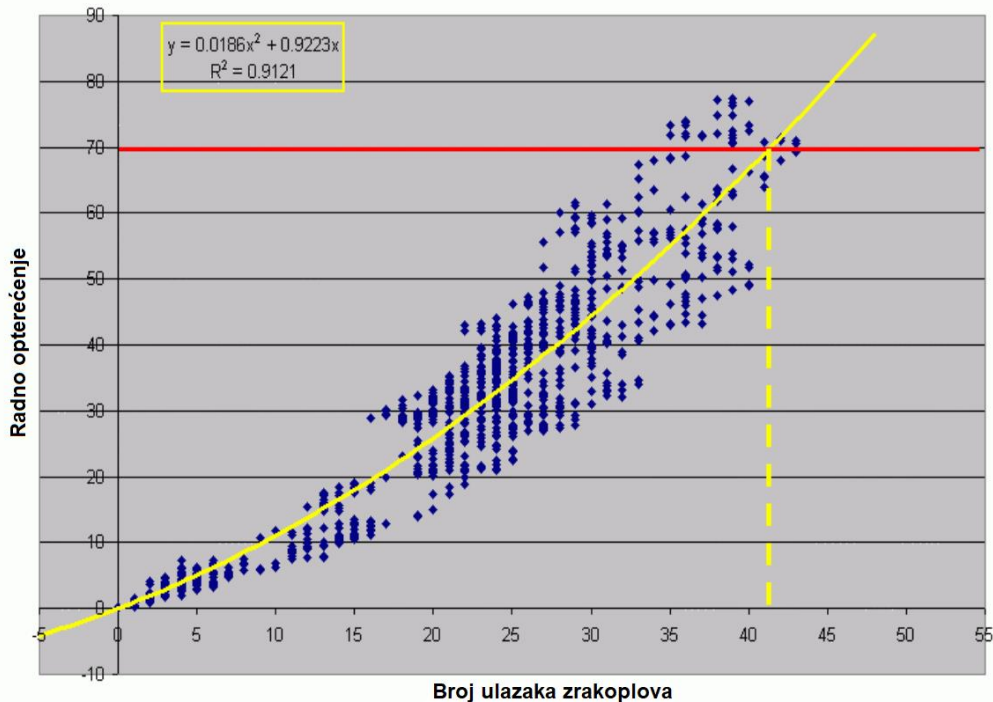
Slika 17. Prikaz vršnog radnog opterećenja

Izvor: [22]

Radno opterećenje zabilježeno tijekom vršnog sata može biti više (u suprotnom slučaju, niže) od unaprijed definiranog praga radnog opterećenja. Promet će se tada smanjiti (u suprotnom slučaju, povećati) dok radno opterećenje vršnog sata ne dostigne ovaj prag. Letovi koji se dodaju ili uklanjaju moraju sačuvati distribuciju performansi zrakoplova, kao i drugu vremensku i prostornu distribuciju. Korisnici CAPAN-a primijetili su da određeni broj letova može generirati različite brojke radnog opterećenja. Također, broj letova nije jedini aspekt koji ima utjecaj na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa, kompleksnost ima znatan utjecaj na kapacitet, koji čak može varirati i tijekom dana. Iz tih razloga, CAPAN metodi su potrebne komplementarne metode [22].

3.2.2. Procjena kapaciteta regresijskom metodom

Povezanost između radnog opterećenja i prometa (broj letova koji ulaze) koji su ga generirali, prikazana je na slici 18. Postoji nekoliko točaka na svakom stupcu zato što isti broj letova može generirati različito radno opterećenje. To je posljedica varijacije kompleksnosti prometa, odnosno, kada je situacija kompleksna, radno opterećenje je veće za isti broj letova. Žuta krivulja na slici 18 je parabolična regresija između prometne potražnje i radnog opterećenja izvršnog kontrolora zračnog prometa. Apscisa sjecišta između žute krivulje i unaprijed definiranog praga radnog opterećenja je vrijednost kapaciteta prema regresiji [22].



Slika 18. Prikaz povezanosti između radnog opterećenja i prometne potražnje

Izvor: [22]

Stručnjaci CAPAN metodologije su analizirali razlike između regresijskih metoda i metoda unaprijed definiranog praga radnog opterećenja, te su zaključili [22]:

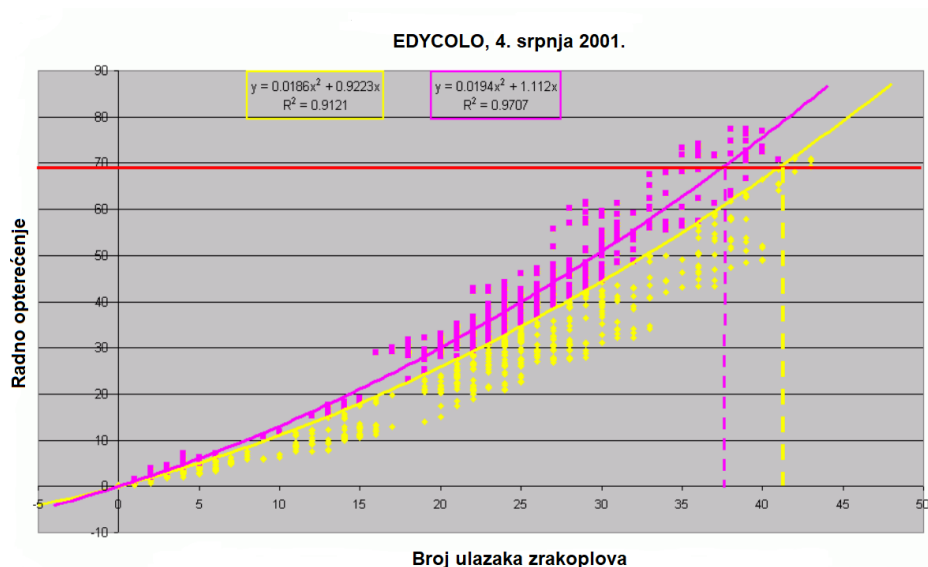
- vrijednost kapaciteta prema regresiji će općenito biti veća od vrijednosti CAPAN kapaciteta kada vršni sat sektora odgovara najkompleksnijoj prometnoj situaciji u sektoru.
- vrijednost kapaciteta prema regresiji može biti niža od vrijednosti CAPAN kapaciteta kada vršni sat odgovara visokoj prometnoj potražnji za ne kompleksnim letovima koji generiraju standardno radno opterećenje kontrolora zračnog prometa,
- kada je vrijednost kapaciteta prema regresiji blizu vrijednosti CAPAN-a, ovo prikazuje da vršni sat sektora predstavlja prosječnu prometnu kompleksnost tijekom dana,
- ako je zabilježeno radno opterećenje tijekom 24 satne simulacije nisko, tada vrijednost kapaciteta prema regresiji može biti prevelika.

3.2.3. Pesimistične regresijske metode

Značajka regresijske metode je što daje jednaku „težinu“ kompleksnom i manje kompleksnom prometu u sektoru kontrole zračnog prometa. Međutim, kontrolori zračnog prometa imaju odgovornost omogućiti sigurno odvijanje zračnog prometa i njihova dužnost zahtjeva da su „pesimistični“ u očekivanjima. Iz tog razloga postoje

metode koje omogućavaju izdvajanje kompleksnijih situacija prije procjene kapaciteta putem radnog opterećenja i broja ulazaka zrakoplova [22].

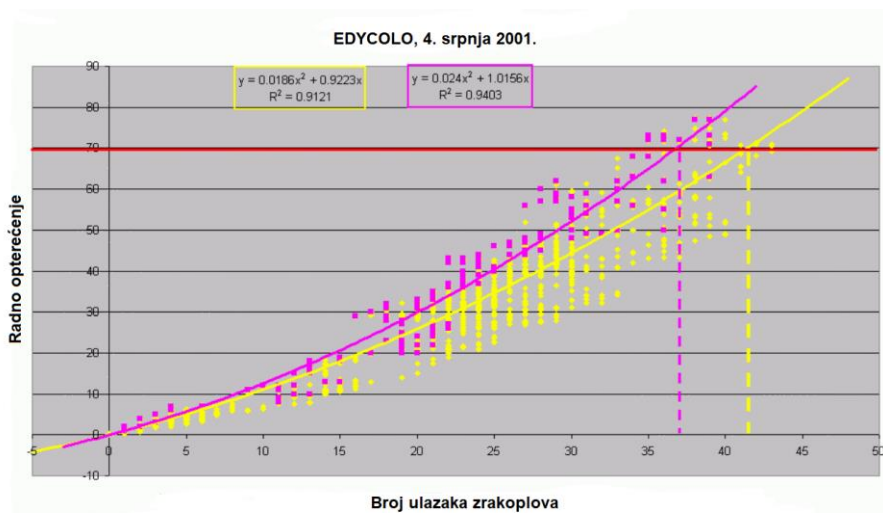
Pesimistični način razmatranja radnog opterećenja je analizirati samo gornju polovicu iznad krivulje na grafu. Na slici 19, žuta krivulja predstavlja standardnu paraboličnu regresiju iz koje bi CAPAN metoda direktno procijenila vrijednost kapaciteta. Potrebno je zanemariti sve točke ispod žute krivulje, te potom izračunati regresiju za gornju polovicu (ljubičasta krivulja). Apscisa križanja nove regresije i unaprijed definiranog praga radnog opterećenja je nova procjena kapaciteta. Jasno je kako ova metoda uklanja jednostavnije situacije kontrole zračnog prometa koje su se odvile prilikom simulacija, odnosno one situacije u kojima je određen broj letova izazvao radno opterećenje niže od prosječnog [22].



Slika 19. Prikaz radnog opterećenja prve regresijske metode

Izvor: [22]

Sljedeća pesimistična metoda procjene kapaciteta je obrnuta. Za dani prag radnog opterećenja, zadržavaju se samo točke koje odgovaraju najmanjem broju letova koji su ga proizveli. Slika 20 prikazuje primjer ove metode primijenjene na simulaciji EDYCOLO sektora kontrole zračnog prometa. Izabrane su tri najmanje vrijednosti prometa za svaku razinu radnog opterećenja. Ljubičasta regresijska krivulja daje manju procjenu kapaciteta nego standardna žuta krivulja [22].



Slika 20. Prikaz radnog opterećenja druge regresijske metode

Izvor: [22]

Kako je CAPAN procijenio vrijednost koja je uobičajeno viša nego deklarirana vrijednost kapaciteta centralne jedinice za upravljanje protokom (*Central flow management unit – CFMU*), obje pesimistične metode poboljšavaju točnost predviđanja sektorskog kapaciteta. Tablica 7 prikazuje usporedbu između vrijednosti kapaciteta izračunate putem regresije koristeći podatke dobivene od CAPAN stručnjaka (*RegressWithPtsCapan*) i deklariranih vrijednosti (*regressCapan*) [22].

Tablica 7. Usporedba vrijednosti deklariranog kapaciteta i vrijednost dobivene putem regresije

Naziv sektora	regressCapan	RegressWithPtsCAPAN
EBMALNL	52	51
EBMAWS2	49	49
EBMAWSL	47	50
EBMALUX	51	49
EDYCOHI	42	49
EDYCOLO	44	44
EDYALOH	56	56
EDYMNNS	51	51
EDYYRHR	45	45
EHDELMD	46	46

Izvor: [22]

U tablici 7 uočljivo je da postoji velika razlika između procjene kapaciteta za EDYCOHI sektor i manja razlika između procjena za EBMALNL, EBMAWSL i EMBALUX sektora.

Pesimistične metode uzrokuju prilagodbe regresiji, ovisno o raštrkanosti točaka na grafikonu. Postoje dva slučaja, redovita progresija radnog opterećenja: svaki mali interval vrijednosti radnog opterećenja je dosegnut od broja letova koji su u tom malom intervalu. U ovom slučaju prva pesimistična metoda daje najbolje rezultate. Drugi slučaj je neredovita progresija radnog opterećenja: postoje mali intervali u vrijednostima radnog opterećenja koji su generirani od različitih količina prometa [22].

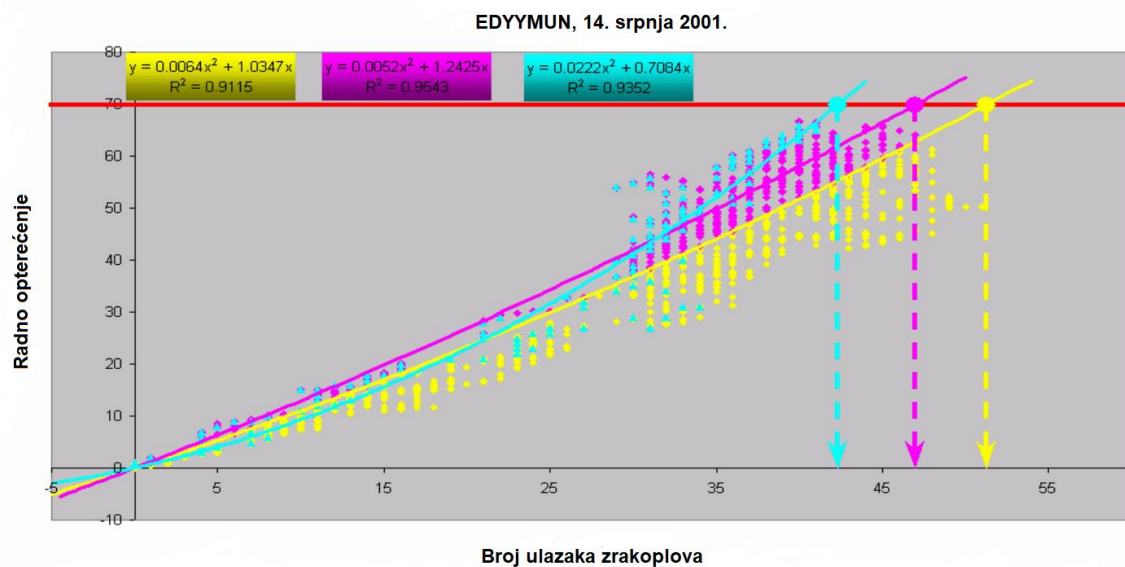
Korekcija pesimističnim metodama ovisi o širini oblaka točaka grafikona, u slučaju da je oblak širi, veća je korekcija pesimističnim metodama. Korekcija, također, ovisi i o pravilnosti oblaka [22]. Vrijednosti korekcija pesimističkim metoda prikazana je u tablici 8.

Tablica 8. Vrijednosti korekcija pesimističnim metodama

Naziv sektora	RegPtsCapans - prva metoda	RegPtsCapans – druga metoda
EBMALNL	4	6
EBMAWS2	1	1
EBMAWSL	3	4
EBMALUX	7	10
EDYCOHI	5	4
EDYCOLO	3	4
EBMALOH	4	7
EDYHALO	2	4
EDYEEDHI	2	7
EDYSOLO	2	1
EDYYMNS	4	9
EDYYRHR	3	5
EHDELHI	2	2
EHDELM	5	4

Izvor: [22]

Analizirajući EDYYMNS sektor, uočljivo je da su tri vrijednosti kapaciteta dobivene od regresijske metode i dvije pesimistične metode različite. Standardna regresijska metoda je postigla vrijednost 51, prva pesimistička metoda 47 i druga pesimistička metoda vrijednost 42. Zbog širine oblaka točaka na grafikonu, prva pesimistička metoda dobiva četiri kapacitetna boda. No, uočljivo je kako oblak točaka nije pravilan, mali interval postotka radnog opterećenja (50 do 55) odgovara različitim količinama prometa, od 29 do 51 let. Zbog toga druga pesimistička metoda, prikazana plavom linijom na slici 21, daje značajnu korekciju kapaciteta, čak 7 bodova [22].



Slika 21. Prikaz korekcije druge pesimističke metode

Izvor: [22]

U slučaju da je oblak točaka nepravilan, tada je prilagodba kapaciteta dobivena od druge pesimistične metode veća od one dobivene od prve metode. Kako ovaj učinak može dovesti do različitih procjena kapaciteta, potrebno je pronaći kompromis između njih ili odlučiti koja je metoda vjerojatnija uzimajući u obzir dodatne parametre kao što su povijesne statistike sektora ili operativno znanje [22].

Moguće rješenje je uzeti srednju vrijednost od dvije vrijednosti pesimističkih metoda. U slučaju da je lijeva strana oblaka točki pravilna, onda obje metode daju sličnu procjenu kapaciteta. Inače, druga metoda temelji procjenu na najgorim slučajevima koji nisu dovoljno česti da bi bili značajni. U ovom slučaju, uzima se srednja vrijednost dviju metoda kao procjena kapaciteta [22]. Dobivene vrijednosti vidljive su u tablici 9.

Tablica 9. Usporedba vrijednosti kapaciteta s kapacitetom srednjih vrijednosti pesimističkih metoda

	RegressWithPtsCapan	MeanPessMethod	Capa Capan	Capa CFMU
EBMALNL	51	46	45	40
EBMAWS2	49	49	47	50
EBMAWSL	50	46	45	50
EBMALUX	49	41	36	-
EDYCOHI	49	44	42	33
EDYCOLO	44	41	38	37
EBMALOH	56	51	52	-
EDYHALO	46	42	42	44
EDYEEHI	48	43	45	40
EDYSOLO	45	43	46	44
EDYMNNS	51	45	44	45
EDYYRHR	45	41	45	45
EHDELHI	44	42	39	38
EHDELMD	46	42	43	40

Izvor: [22]

3.2.4. Nova metodologija za procjenu kapaciteta sektora na makroskopskoj razini

Procjene radnog opterećenja i kapaciteta su temelji studija EUROCONTROL-a. Radno opterećenje predstavlja ključni dio ispitivanja novog procesa ili novog dizajna rute. Ove procjene moraju biti brzo obrađene, u različitim vremenskim razmjerima i područjima ovisno o različitim zahtjevima. Izrada studije izračuna radnog opterećenja CAPAN metodologijom je dosta zahtjevna. Prilikom izrade studije, operativni stručnjaci trebaju utvrditi mnoge unaprijed definirane zadatke, ujedno s vremenskim zabilješkama u sekundama i svim kontrolnim parametrima koji izazivaju radnje kontrolora zračnog prometa. Metoda CAPAN predstavlja kompleksan i dugačak proces, stoga je razvijena pojednostavljena formula. Pojednostavljena formula je manje točna od *Re-organized ATC mathematical Simulator* (RAMS) metodologije, ali može biti poboljšana optimizacijom parametara radnog opterećenja i sektorskom klasifikacijom prema njihovoj kompleksnosti prometa [22].

Pojednostavljena formula se temelji na pretpostavci da svaka radnja kontrolora zračnog prometa spada u jedno od ove tri kategorije zadataka [22]:

- rutinski zadaci,
- zadaci praćenja promjene razine leta,
- zadaci praćenja konflikta.

Za svaki zadatak su potrebni sljedeći parametri kontrolora zračnog prometa:

- duljina zadatka – mjereno u sekundama za izvršenje zadatka,
- pojava zadatka – broj rutinskih zadataka, broj zadataka vezanih za penjanje i poniranje i pojava zadataka vezanih za rješavanje konflikta.

Prema [22], formula (7) prikazuje pojednostavljenu formulu izračuna radnog opterećenja uzimajući u obzir prethodno navedene parametre.

$$WL = t_{Fl} * O_{Fl} + t_{Cnf} * O_{Cnf} + t_{Cl} * O_{Cl} \quad (7)$$

U tablici 10 su navedeni i objašnjeni pojedini parametri formule (7) za izračun radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa [22].

Tablica 10. Popis i značenje parametara pojednostavljene formule

Parametar	Značenje
WL	Radno opterećenje
O _{Fl}	Broj pojava rutinskih zadataka
O _{Cnf}	Broj pojava zadataka penjanja/poniranja
O _{Cl}	Broj pojava zadataka rješavanja konflikta
T _{Fl}	Trajanje rutinskih zadataka
T _{Cnf}	Trajanje zadataka penjanja/poniranja
T _{Cl}	Trajanje zadataka rješavanja konflikta

Izvor: [22]

Formula (7) je razvijena kako bi izolirala glavne pokretače radnog opterećenja, isto tako, razvijena je zbog izračuna nužnih parametara za cijelu Europu i kako bi izgubila što manje točnosti u usporedbi s RAMS metodologijom [22].

RAMS je generator događaja kontrole zračnog prometa koji izvješćuje o svojim diskretnim događajima, čime se omogućuje programiranje jedinstvenog skupa

aktivnosti, uključujući korisnički definirane skupove zadataka i sudionike kontrole zračnog prometa prema potrebi za izradu simulacijske studije [22].

Kako bi procijenili težinu ova tri makro zadataka u pojednostavljenoj formuli, stručnjaci RAMS-a su podijelili svaki „elementarni“ zadatak u tri komponente (rutinska komponenta, komponenta razine leta i komponente rješavanja konflikata). Svaka od ovih komponenti dobila je prosjek težine svojih pod zadataka kao koeficijent radnog opterećenja. Potom su stručnjaci usporedili dvije krivulje radnog opterećenja, jedna proizlazi iz mikro zadataka, a druga koristeći povezanost između mikro i makro zadataka. Dobivene krivulje su potvrdile koncept pojednostavljene formule [22].

3.2.5. Upravljanje podacima za analizu kompleksnosti prometa

Alat *Wide Object-Oriented Data Standard Traffic Observable Complexity Knowledge* (WOODSTOCK) razvijen je kako bi se zadovoljili ciljevi razvijanja pojednostavljene formule i proizveli prikladni podaci za analizu kompleksnosti. Ulazni podaci WOODSTOCK alata su [22]:

- plan leta,
- konfiguracija oblasne kontrole zračnog prometa (na primjer, sektorizacija prilikom različitih dijelova dana),
- geometrijski opis strukture oblasne kontrole zračnog prometa (popis točki i radiofarova).

Izlazni podaci alata WOODSTOCK su [22]:

- broj letova,
- gustoća prometa,
- broj ulazaka u sektor po letu,
- broj konflikata,
- prosječna udaljenost leta,
- prometna distribucija po tipu zrakoplova.

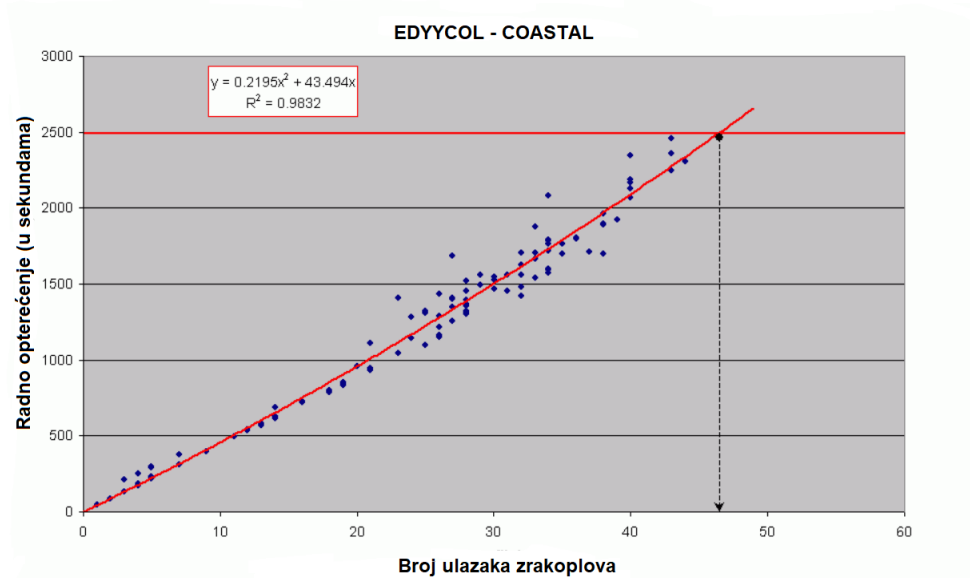
Na temelju unesenih podataka, alat WOODSTOCK izračunava vrijednost u obliku tri glavna pojavljivanja zadataka (ulazak u sektor, promjene razine leta, konflikti) pojednostavljenom formulom za četrnaest sektora oblasne kontrole Maastricht (*Maastricht Upper Area Centre* - MUAC). Za ovaj primjer korišteno je standardno trajanje zadataka. Standardno trajanje zadataka definirano je kao prosječno trajanje zadataka izračunate za neke referentne oblasne kontrole zračnog prometa. Vrijednost trajanja zadataka rješavanja konflikta podijeljene su u tri kategorije. Vremenske vrijednosti koje su korištene u primjeru su [22]:

- trajanje rutinskih zadataka = 43 sekunde,
- praćenje zadataka penjanja i poniranja = 15 sekundi,
- trajanje zadataka rješavanja konflikta (križajući konflikt = 70 sekundi, konflikt duž smjera = 10 sekundi, konflikt suprotnog smjera = 10 sekundi).

Primjenom formule (8) izračunava se vrijednost radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa, pod pretpostavkom da se primjenjuju standardne procedure i koristi standardna oprema [22].

$$WL = 43 * nbFL + 70 * nbCnfCross + 10 * nbCnf(Tr + Opp) + 15 * nbMcl \quad (8)$$

Prilikom izračuna vrijednosti radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa pojednostavljenom formulom, potrebno je iscrtavati vrijednosti na grafu, kao što je prikazano na slici 22. Zatim, potrebno je nacrtati paraboličnu regresiju kroz dobiveni oblak točaka. Apscisa križanja te krivulje i unaprijed definiranog praga radnog opterećenja je kapacitet sektora prema regresiji [22].



Slika 22. Prikaz iscrtavanja vrijednosti dobivene putem pojednostavljene formule

Izvor: [22]

Analizirajući krivulje radnog opterećenja korištenjem pojednostavljene formule izračunate WOODSTOCK-om i krivulje radnog opterećenja koristeći sve zadatke izračunate putem CAPAN simulacijske metode uočljivo je da su te dvije krivulje slične. Tablica 11 prikazuje usporedbu između različitih vrijednosti kapaciteta dobivenih koristeći pojednostavljenu formulu za izračunavanje radnog opterećenja i drugih metoda opisanih ranije [22].

Tablica 11. Usporedba vrijednosti kapaciteta dobivene s različitim metodama

Naziv sektora	Regresijska formula	CapaPessFormula	CAPA CFMU	CAPA	CapaPessFormula
		Prva metoda		CAPAN	Druga metoda
EBMALNL	46	43	40	45	44
EBMAWS2	46	43	50	47	45
EBMAWSL	47	45	50	45	47
EDYCOHI	54	51	33	42	53
EDYCOLO	47	45	50	45	47
EBMALOH	49	44	-	52	48
EDYHALO	44	42	44	42	42
EDYEEHI	50	49	-	45	48
EDYSOLO	50	47	44	46	47
EDYYMNS	50	47	45	44	49
EDYYRHR	51	50	45	45	50
EHDELHI	43	39	38	39	41
EHDELMD	45	43	40	43	44

Izvor: [22]

3.3. Ostale metodologije za izračun kapaciteta kontrole zračnog prometa

Postoje dvije glavne *Fast time simulation* (FTS) metodologije za simulaciju opterećenja kontrolora zračnog prometa; RAMS i *Total Airspace Airport Modeller* (TAAM). Preteča metodologija RAMS-a je CAPAN. Osim navedenih modela, pružatelj usluga u zračnoj plovidbi Ujedinjenog Kraljevstva, National Air Traffic Services (NATS), razvio je model koji se temelji na kongitivnim zadacima kontrolora zračnog prometa, *Performance and Usability Modelling in ATM* (PUMA). U konačnici svi FTS modeli su diskretni (kritični) simulacijski modeli događaja. Tijekom simulacije, model uzima u obzir niz definiranih događaja tijekom leta, na primjer, ulazak u prvi simulirani sektor, izlazak iz sektora, traženje i rješavanje konflikta [23].

U Sjedinjenim Američkim Državama razvijen je analitički model opterećenja kontrolora zračnog prometa *Sector Design and Analysis Tool* (SDAT). *Sector Design and Analysis Tool* se ne temelji na simulacijama, ali se koristi za pružanje prometnih i drugih podataka za procjenu kapaciteta sektora kontrole zračnog prometa. SDAT je

ograničen na izračune putanje leta bez uzimanja u obzir konflikata letova, a temelji se na povijesnim radarskim tragovima i komunikacijskim podacima za pojedini sektor. *Sector Design and Analysis Tool* nadopunjuje FTS koji provodi *Federal Aviation Authority (FAA)* za procjenu kapaciteta sektora. Alat pruža razne metrike koje se koriste kao pokazatelji kapaciteta sektora kontrole zračnog prometa, uključujući [23]:

- gustoću sektora (broj istovremenih letova unutar sektora,
- propusnost sektora (broj letova koji ulaze/izlaze u sektor),
- postotak letova koji se penju, krstare i poniru,
- trajanje leta u sektoru i klasifikacija (pretjecanje, horizontalno križanje i vertikalno križanje).

Postoji još jedna metodologija procjene kapaciteta s drugačijim pristupom od ostalih metodologija. Metoda EUROCONTROL CARE-INTEGRA ističe se s inovativnim pristupom problematici [24]. Metoda se temelji na modeliranju koncepta opterećenja obrade zadataka (*Information Processing Load - IPL*). Ovaj koncept modelira ATM sustav kao kombinaciju nekoliko agenata koji obrađuju informacije ovisno o događanjima. Svaki agent ima vrijednost praga za IPL iznad koje agent postaje preopterećen. Prag preopterećenja IPL lako je odrediti za strojne agente, ali potrebna je procjena stručnjaka (*Subject matter expert – SME*) za ljudske agente. Kada agent sustava postane preopterećen, kapacitet sustava je dostignut. Ova tehnika je jedinstvena po sposobnosti određivanja uskog grla sustava, umjesto da modelira sustav na temelju pretpostavke da je usko grlo poznato [25].

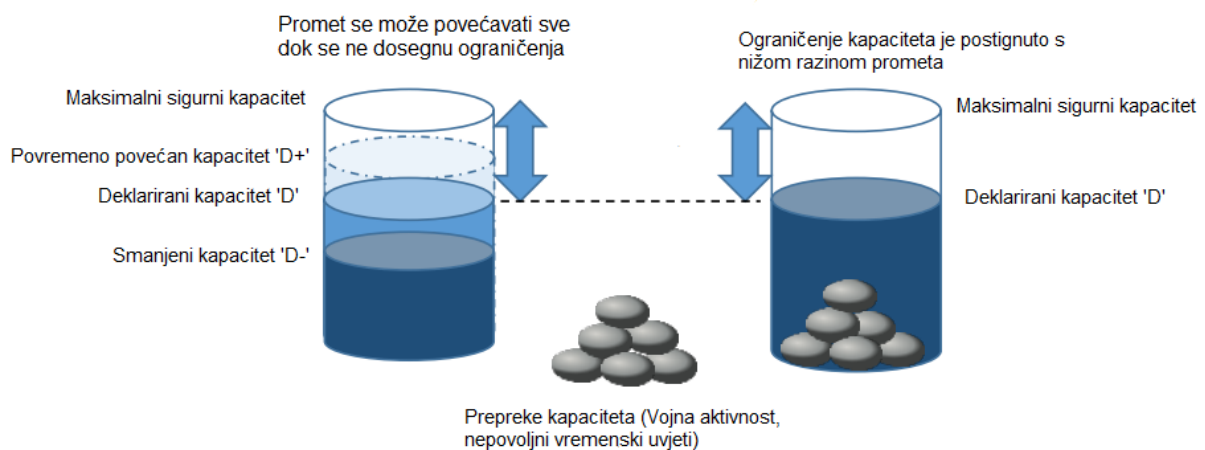
3.4. Definiranje deklariranog, raspoređenog i planiranog kapaciteta kontrole zračnog prometa u Europi

Kako bi se zadovoljila prometna potražnja u zračnom prometu potrebno je osigurati dovoljno kapaciteta. Kapacitet je određen raspoloživim kapacitetom u određenim sektorima i konfiguracijom sektora. Deklarirani kapacitet je vrijednost koja predstavlja broj zrakoplova koje elementarni sektor može primiti u jednom satu. Ova vrijednost ovisi o operativnim karakteristikama kao što su struktura zračnog prostora, tehnička oprema i/ili stručnost kontrolora zračnog prometa. Pružatelj usluga u zračnoj plovidbi određuje vrijednost deklariranog kapaciteta [26].

Postoje slučajevi kada će broj puštenih zrakoplova u sektor po satu biti manji od vrijednosti deklariranog kapaciteta. Slučajevi koji mogu prouzrokovati ovu pojavu su uglavnom vanjski čimbenici, kao što su nepovoljne vremenske prilike, također, može biti zbog vojnih aktivnosti ili unutarnjih faktora pružatelja usluga u zračnoj plovidbi kao što je održavanje opreme. Ova vrijednost kapaciteta se naziva raspoređeni kapacitet. Raspoređivanje manje od deklariranog kapaciteta postaje problematično samo kada je potražnja za prometom veća od razine raspoređenog kapaciteta. Pružatelji usluga u zračnoj plovidbi će grupirati elementarne sektore u veće, spojene sektore zbog ekonomskih razloga. Otvaranje manjeg broja sektora

unutar određenog zračnog prostora zahtijeva prisustvo manjeg broja kontrolora zračnog prometa, što omogućuje raspoređivanje većeg broja kontrolora zračnog prometa tijekom razdoblja najveće prometne potražnje (učinkovitije korištenje postojećih resursa). Međutim spojeni sektori imaju manje vrijednosti deklariranog kapaciteta nego što imaju njihovi sastavni elementi otvoreni istovremeno, stoga je važno osigurati da raspoređeni kapacitet bude dovoljan kako bi zadovoljio prometnu potražnju [26].

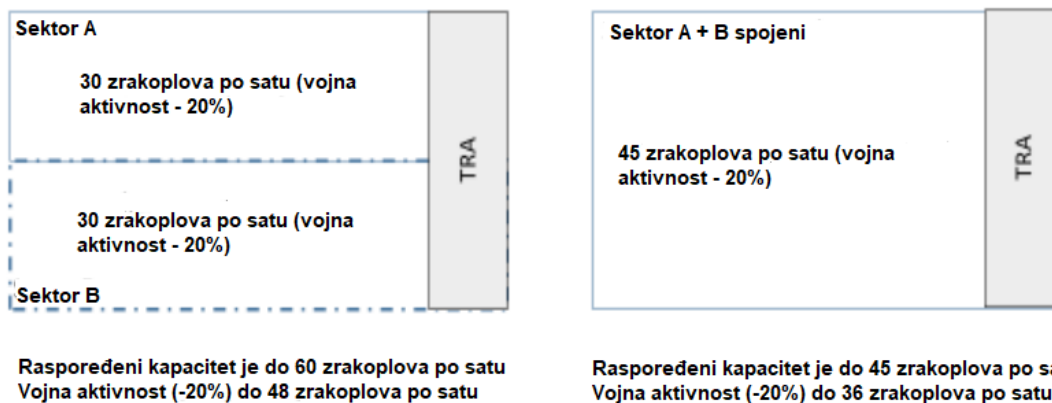
Slika 23 prikazuje da spremnik može primiti različite količine tekućine (količinu prometa) do maksimuma, te da deklarirani kapacitet nije ni minimalan, a ni maksimalan limit. Nadalje, slika 23 prikazuje da prepreke (vojna aktivnost, meteorološki uvjeti) smanjuju količinu tekućine (količinu prometa) unutar deklariranog kapaciteta [26].



Slika 23. Prikaz utjecaja prepreka na kapacitet

Izvor: [26]

Slika 24 prikazuje potencijalnu razliku kapaciteta za isti volumen zračnog prostora. Ako su oba sektora otvorena istovremeno, moguće je primiti do 60 zrakoplova u sektore (48 zrakoplova ako postoji vojna aktivnost) [26].



Slika 24. Prikaz potencijalne razlike kapaciteta za isti volumen zračnog prostora

Izvor: [26]

Ako pružatelj usluga u zračnoj plovidbi, umjesto oba sektora, može otvoriti jedan kolapsirani sektor (prikazano na desnoj strani slike 17), tada se može uslužiti najviše 45 zrakoplova (36 tijekom vojnih aktivnosti). Ovakva konfiguracija pridonosi smanjenju kapaciteta od 25% jer kontrolori zračnog prometa nisu raspoređeni za otvaranje oba sektora. U konačnici, kao odgovor na zahtjeve budućeg rasta zračnog prometa i kako bi se riješili postojeći nedostaci kapaciteta, pružatelji usluga u zračnoj plovidbi trebaju osigurati da se dodatni kapacitet planira i implementira u zračnom prostoru gdje prometna potražnja premašuje ili je vjerojatno da će premašiti raspoloživi kapacitet tijekom vršnih razdoblja. Povećanje kapaciteta moglo bi zahtijevati sljedeće radnje [26]:

- cijepanje trenutnih elementarnih sektora na dva ili više potencijalnih sektora u vrijeme najveće prometne potražnje,
- prilagodba sheme otvaranja sektora prema prometnoj potražnji,
- u slučaju potrebe i postojanja fleksibilne sheme otvaranja sektora - angažirati dodatne kontrolore zračnog prometa,
- otklanjanje uskih grla stvorenih kroz postojeća područja odgovornosti oblasne kontrole zračnog prometa kroz dizajn graničnih sektora koji uzimaju u obzir prometne tokove,
- usklađivanje operativnih postupaka između jedinica kontrole zračnog prometa i usklađivanje korištenja potencijala raspoložive infrastrukture za povećanje kapaciteta sektora,
- povećanje deklariranih kapaciteta elementarnih i spojenih sektora kroz primjenu gore navedenih rješenja.

Navedena rješenja dio su različitih inicijativa koje je EUROCONTROL (Mrežni upravitelj) pokrenuo s pružateljima usluga u zračnoj plovidbi (Restrukturiranje zračnog prostora, operativna izvrsnost, CAPAN studije, proces planiranja kapaciteta, itd.). Preporučuje se provedba rješenja u potpunosti kako bi se ostvarile očekivane koristi

od kapaciteta. Jednokratna investicija (obuka, oprema, projekt redizajniranja zračnog prostora) za provedbu planiranog kapaciteta rezultirat će trajnim povećanjem kapaciteta za korisnike zračnog prostora, pod uvjetom da ga pružatelj usluga u zračnoj plovidbi implementira [26].

3.4.1. Pregled deklariranog i planiranog kapaciteta

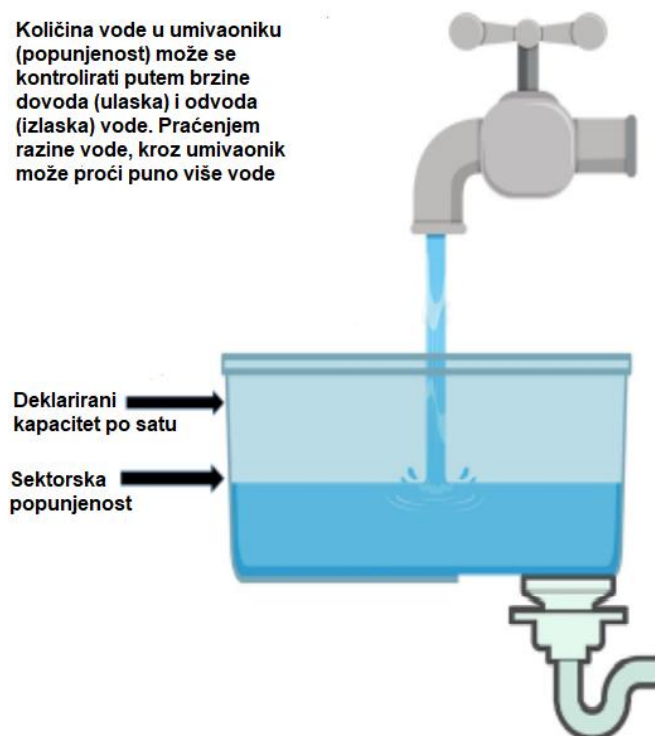
Kako se ukupni zračni promet povećava, tada se i kapacitet mora povećati. Kapacitet se može povećati na sljedeće načine [26]:

- poboljšanjem opreme kontrole zračnog prometa,
- poboljšanjem vještina kontrolora zračnog prometa putem odgovarajuće obuke
- boljom civilno-vojnom suradnjom za oslobađanje kapaciteta u vršnom prometnom opterećenju,
- smanjenjem zahtjeva za razdvajanjem unutar sektora, pri ulasku ili izlasku iz sektora, ili redizajniranjem zračnog prostora – uključujući podjelu pojedinačnih sektora na dva ili više dijelova radi povećanja kapaciteta, što zahtijeva dodatno osoblje za razdoblje rada.

Deklarirani kapacitet može se smatrati sposobnošću kontrole zračnog prometa da na siguran način rukuje s određenim brojem zrakoplova tijekom redovnih operacija. To je vrijednost koja odražava vještine kontrolora zračnog prometa tijekom redovnih operacija. Važno je napomenuti da deklarirani kapacitet nije maksimalni limit, kontrolor zračnog prometa ga može sigurno prekoračiti ako se radi u dobrim uvjetima s povoljnim prometom. Isto tako, vrijednost ne predstavlja ni minimalni limit, jer bi se mogla smanjiti zbog vremenskih uvjeta, vojnih aktivnosti, ograničenja opreme kontrole zračnog prometa, kao i neuobičajenim prometnim situacijama. U svakom slučaju smanjenja kapaciteta, ograničenje koje smanjuje kapacitet treba biti jasno zabilježeno u ATFM uredbi (ako je potrebno) kao vrijeme, upravljanje zračnim prostorom, ATC osoblje, ATC oprema ili posebna aktivnost. Korisnicima zračnog prostora, koji plaćaju infrastrukturu za povećanje kapaciteta, treba dostaviti dokaz da je kapacitet poboljšan. To se može vidjeti iz povećanja ukupne propusnosti kapaciteta oblasne kontrole zračnog prometa i deklariranog kapaciteta za svaki sektor koji ima koristi od poboljšanja. Kapaciteti sektora su evidentirani u sustavima Mrežnog upravitelja, odnosno u Repozitoriju podataka potražnje (*Demand Data Repository* - DDR) i N.E.S.T bazi podataka. Komisija za ocjenu performansi (*Performance Review Commission* – PRC) je svjesna da mnogi pružatelji usluga u zračnom prometu ne koriste broj ulazaka u sektor za praćenje i regulaciju prometa. Umjesto toga, pružatelji usluga u zračnoj plovidbi koriste koncept popunjenosti sektora. Koncept popunjenosti sektora je broj zrakoplova koji se nalaze unutar referentnog sektora istovremeno, ovaj koncept točnije razmatra radno opterećenje kontrolora zračnog prometa. Koncept popunjenosti sektora omogućuje smještaj većeg broja zrakoplova unutar sektora nego oslanjanje na statične vrijednosti ulazaka zrakoplova u sektor po satu. Međutim, zbog propisa se provodi kao broj ulaska zrakoplova u sektor po satu. Kada bi pružatelji

usluga u zračnoj plovidbi objavili podatke o deklariranoj popunjenosti sektora za pojedinačne sektore, to bi pomoglo korisnicima i dionicima da prate poboljšanja deklariranog kapaciteta, praćenjem razvoja deklariranih vrijednosti popunjenosti sektora za pojedinačne sektore [26].

Na slici 25 radno opterećenje kontrolora zračnog prometa određuje stupanj popunjenosti. Ako kontrolor zračnog prometa može lako upravljati prometom, tada se popunjenost može povećati. Stopa ulaska zrakoplova u sektor se može podudarati sa stopom izlaska kako bi se održalo radno opterećenje kontrolora zračnog prometa. Povećanje radnog opterećenja će zahtijevati smanjenje stope ulaska tako da kontrolori zračnog prometa nisu preopterećeni [26].



Slika 25. Deklarirani kapacitet i sektorska popunjenost

Izvor: [26]

Vrijednost popunjenosti sektora općenito je znatno niža od odgovarajućeg deklariranog kapaciteta po satu, na primjer, deklarirani kapacitet iznosi 50 zrakoplova po satu, a popunjenost sektora je 10 zrakoplova, a to dovodi do veće propusnosti. Mnogi pružatelji usluga u zračnoj plovidbi redovito upravljaju prometom koji je znatno iznad deklariranih kapaciteta sektora. Komisija za procjenu performansi je, također, dala preporuke upravi EUROCONTROL-a da pružatelji usluga u zračnoj plovidbi trebaju pregledati sektorske kapacitete kako bi osigurali da korisnici zračnog prostora mogu koristiti bilo koji latentni kapacitet u sustavu. Ažuriranjem deklariranih sektorskih kapaciteta kako bi kapacitet bio strateški dostupan korisnicima zračnog prostora,

pruža dodatni kapacitet bez ikakvih troškova za pružatelja usluga u zračnoj plovidbi, budući da oni već osiguravaju kapacitet. Neki pružatelji usluga u zračnoj plovidbi su naznačili PRC-u da ne žele podići deklarirane vrijednosti kapaciteta na razinu na kojoj redovito upravljaju prometom unutar sektora, zbog zabrinutosti da će biti obavezni uvijek osigurati veći kapacitet. Komisija za ocjenu performansi uvažava ove pojave zabrinutosti. Međutim, deklarirani kapacitet sektora nije minimalna razina. Pružatelj usluga u zračnoj plovidbi može smanjiti raspoloživi raspoređeni kapacitet kao odgovor na nepovoljne meteorološke uvjete, kvar opreme kontrole zračnog prometa, vojne aktivnosti i obuku. Razlog smanjenja raspoloživog kapaciteta trebao bi biti identificiran u svakom zahtjevu za ATFM regulaciju [26].

3.4.2. Analiza deklariranog kapaciteta oblasne kontrole Zagreb

Prilikom analize deklariranog kapaciteta oblasne kontrole Zagreb, važno je napomenuti da analiza kapaciteta uzima u obzir samo sektorske konfiguracije koje su imale više od 1000 minuta ATFM kašnjenja. Kašnjenje zbog kapaciteta kontrole zračnog prometa označeno je slovom 'C'. Sektori zabilježeni kao elementarni sektori u sustavu N.E.S.T Mrežnog upravitelja su označeni plavom bojom. Kašnjenje zbog operativnog osoblja kontrole zračnog prometa u tim osnovnim sektorima su moguća u svrhu obuke, na primjer, smanjenje raspoloživih kapaciteta (stvaranje prometnih regulacija i kašnjenja), jer kontrolor zračnog prometa u obuci nije u stanju nositi se s razinom deklariranog kapaciteta. Poboljšanja u deklariranom kapacitetu su označena zelenom bojom, smanjenja deklariranog kapaciteta su označena svijetlo crvenom bojom, a znatna smanjenja (>10) su označena crvenom bojom. Kapacitet kontrole zračnog prometa i nepovoljni vremenski uvjeti ostaju nepromijenjeni u revidiranom postupku raspodjele kašnjenja u elementarnim sektorima. Analiza se temelji na sektorima u kojima su ATFM regulacije osoblja kontrole zračnog prometa činile više od 1000 minuta kašnjenja od 2017. do 2019. godine. Zbog odabrane metodologije, kašnjenje zbog nepovoljnih vremenskih uvjeta ili kapaciteta kontrole zračnog prometa u kolapsiranim sektorima i dalje će se pojavljivati kako su izvorno pripisane, ako pružatelj usluga u zračnoj plovidbi nije pripisao nikakva kašnjenja osoblju kontrole zračnog prometa za isti sektor. Stoga, čak i u revidiranoj atribuciji kašnjenja, se mogu potencijalno dodatno ublažiti zapošljavanjem dodatnog osoblja [26].

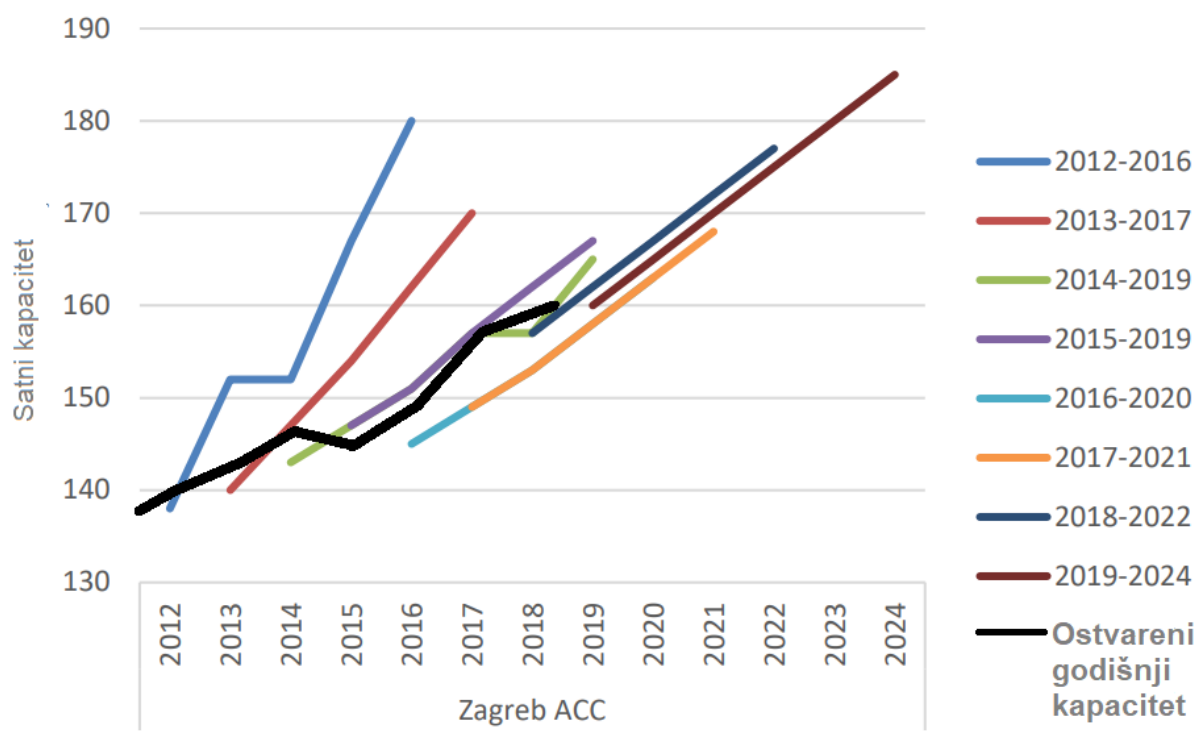
U slučaju Hrvatske kontrole zračne plovidbe i sektora oblasne kontrole Zagreb, u tablici 12 prikazana je evolucija deklariranog kapaciteta oblasne kontrole zračnog prometa Zagreb u periodu od 2012. godine do 2020. godine. Nakon dvije godine (2012./2013. i 2013./2014.) pretežno uzlaznog trenda deklariranog kapaciteta, bilo je nekoliko padova deklariranog kapaciteta kontrole zračnog prometa 2015. godine. Godina 2016./2017. bilježi povećanja deklariranog kapaciteta. Također, pet sektora su deklarirali kapacitet na nižoj razini 2020. godine nego što je to prethodno deklarirano za iste sektore u prethodnih sedam godina. Četiri od dvadeset sektora s najvećim kašnjenjima vezanih za kapacitet kontrole zračnog prometa su osnovni sektori prema sustavima upravitelja mreže, a ostali su spojeni sektori [26].

Tablica 12. Evolucija deklariranog kapaciteta oblasne kontrole Zagreb

Ukupno kašnjenje ATFM		128k	44k	162k	285k	22k	70k	389k	627k	
Ime sektora	'C' kašnjenje	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
LDZOHW	244921				35	35	35	35	37	37
LDZOULW	178823	35	38	38	38	38	40	40	40	40
LDZON	86813	37	40	40	40	40	42	42	42	42
LDZOULA	65765	34	37	37	37	37	37	37	37	37
LDZOULN	46142	36	36	36	36	36	38	38	38	37
LDZOULN36	44217					38	38	38	38	37
LDZOTHW	41297		38	40	40	40	40	40	40	40
LDZOTHS	40653		36	36	36	36	38	38	38	38
LDZOTHN	38142		40	40	40	40	42	42	40	40
LDZOUW	32313	34	35	35	35	35	37	37	37	37
LDZOHA	30901		30	34	31	31	33	33	35	35
LDZOULS	19611	35	37	37	34	34	37	37	37	37
LDZOHULSX	15056									37
LDZOTHN37	13241					38	38	38	38	38
LDZOS	10744	37	37	37	37	37	37	37	37	37
LDZOHULNX	10460									37
LDZOHN	10270		36	40	37	37	37	37	37	37
LDZOTA	10265	33	33	34	34	34	38	38	38	38
LDZOTHA	6598		34	34	34	34	36	36	36	36
LDZOLW	5447	33	34	37	34	34	34	34	34	34
LDZOT	3691	36	40	40	40	40	40	40	40	40
LDZOTW	2907	36	36	36	36		36	36	36	36
LDZOUL36	2606						35	35	36	36
LDZOLA	1915	35	35	36	36	36	38	38	38	38
LDZOW	1187	37	37	37	37	37	37	37	37	37
LDZOUA	1016	34	35	35	35	35	35	35	35	35

Izvor: [26]

Što se tiče planiranja kapaciteta, na slici 19 prikazani su planovi kapaciteta i njihova evolucija od 2012. do 2019. godine za oblasnu kontrolu Zagreb. Spuštanje duž okomite osi ukazuje na smanjenje planiranog kapaciteta, pomicanje iste vertikalne vrijednosti udesno ukazuje na odgodu planiranja kapaciteta. Polazna točka za svaku godinu je razina kapaciteta osigurana tijekom prethodne godine. Na slici 26 crnom bojom označen je satni kapacitet ostvaren u pojedinim godinama [26].



Slika 26. Evolucija planova kapaciteta oblasne kontrole zračnog prometa Zagreb.

Izvor: [26]

U tablici 13 je prikazan godišnji postotak promjene satnog kapaciteta oblasne kontrole zračnog prometa Zagreb u odnosu na ostvareni kapacitet prethodne godine.

Tablica 13. Prikaz godišnje promjene satnog kapaciteta oblasne kontrole zračnog prometa

Godina	Ostvareni satni kapacitet	Postotak promjene u odnosu na prethodnu godinu
2011.	138	-
2012.	140	+1,44%
2013.	143	+2,14%
2014.	147	+2,80%
2015.	145	-1,36%
2016.	149	+2,76%
2017.	157	+5,37%
2018.	160	+1,91%

Izvor: [26]

4. Primjeri izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa

Na temelju prethodno spomenutih metodologija za proračun i procjenu kapaciteta kontrole zračnog prometa, u ovom poglavlju bit će prikazano nekoliko primjera izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa. Primjeri izračuna broja zrakoplova koji mogu biti usluženi od tima kontrolora zračnog prometa (izvršni i planerski kontrolor zračnog prometa), kao i primjeri izračuna prosječnog broja operacija po smjeni opisani su u slijedećim potpoglavljima. U konačnici je opisan primjer izračuna radnog opterećenja putem CAPAN metodologije korištene u Europi.

4.1. Primjer izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa prema metodologiji korištenoj u Južnoj Americi

Analizirajući metodologiju za izračun kapaciteta kontrole zračnog prometa korištene u Južnoj Americi, potrebno je napraviti izračun broja zrakoplova koji može biti obrađen od strane tima kontrolora zračnog prometa u jednom sektoru kontrole zračnog prometa. Potrebno je nekoliko parametara za izračun konačne vrijednosti. U ovom potpoglavljju korištena je skraćena verzija formule izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa. Skraćena formula zamjenjuje parametre srednje brzine zrakoplova u sektoru (v_m) i prosječne udaljenosti koje zrakoplovi lete u sektoru (δ) s parametrom prosječnog vremena leta zrakoplova u sektoru (T). Prethodno spomenuta formula (2) prikazuje izračun parametra N , odnosno broja zrakoplova koji može biti obrađen od jednog kontrolora zračnog prometa u jednom sektoru kontrole zračnog prometa. Za potrebe ovog primjera, formula (2) je ponovno ispisana ispod.

$$N = \varphi \cdot T \cdot (\eta \cdot \tau_m)^{-1} \quad (2)$$

Popis svih parametara korištenih u formuli (2), te opis značenja parametara i mjernih jedinica nalazi su u tablici 14.

Tablica 14. Parametri skraćene formule SAM metodologije

Parametar	Značenje	Mjerna jedinica
φ	Faktor dostupnosti kontrolora zračnog prometa	-
η	Broj komunikacija za svaki zrakoplov u sektoru	-
τ_m	Srednje vrijeme trajanja svake poruke (uputa, odobrenje, informacija itd.)	Sekunda
T	Prosječno vrijeme leta zrakoplova u sektoru	Sekunda

Izvor: [27]

Parametar broja komunikacija za svaki zrakoplov u sektoru (N) se dobije na način da se izračuna aritmetička sredina broja komunikacija u sektoru za svaki zrakoplov. Tablica 16 prikazuje zrakoplove s lijeve strane (plavom bojom) i kontrolore zračnog prometa za referentni sektor (žuta boja). U tablici su zabilježene vrijednosti broja komunikacija sa zrakoplovom u promatranom vremenskom razdoblju od 30 minuta s nekoliko kontrolora zračnog prometa. Na temelju zabilježenih vrijednosti, moguće je izračunati aritmetičku sredinu broja komunikacija u promatranom vremenskom razdoblju za svakog kontrolora zračnog prometa. Nakon toga, potrebno je izračunati aritmetičku sredinu broja komunikacija svih kontrolora zračnog prometa, ova vrijednost predstavlja konačni parametar broja komunikacija za svaki zrakoplov u sektoru. Za potrebe ovog primjera, izračunata vrijednost parametra broja komunikacija za svaki zrakoplov u sektoru iznosi 2,0.

Tablica 16. Zabilježene vrijednosti broja komunikacija metodologije SAM

Prosječni broj komunikacija u sektoru za svaki zrakoplov									
Zrakoplov	Kontrolor zračnog prometa								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	2	4	2	2	3	2	3	3	1
2	2	1	2	3	4	4	6	2	3
3	2	6	1	5	1	4	5	2	4
4	2	1	1	2	1	3	2	3	3
5	2	1	2	5	1	1	3	2	1
6	2	2	2	4	1	1	2	4	2
7	2	2	2	4	6	1	1	4	2
8	1	1	3	1	2	2	1	1	1
9	1	1	5	1	2	1	1	1	2
10	1	1	1	1	3	3	1	2	3
11	3	1	1	1	3	2	1	1	3
12	1	2	1	1	2	1	1	2	1
13	2	2	1		1	1	2	1	1
14	1	3	2			1	1	1	1
15	1	2	2			2		1	1
16	2	1	1			1			1
17	1		1						
18	2								
19	2								
20	1								
21	2								
22									
23									
24									
25									
Aritmetička sredina po kontroloru zračnog prometa	1,666667	1,9375	1,764706	2,5	2,307692	1,875	2,142857	2	1,875
Aritmetička sredina broja komunikacija	2,0								

Tablica 17 prikazuje konačne vrijednosti svakog parametra koji je korišten za primjer izračuna broja zrakoplova koji može biti obrađen od jednog kontrolora zračnog prometa u jednom sektoru kontrole zračnog prometa.

Tablica 17. Konačne vrijednosti primjera izračuna metodologije SAM

Parametar	Vrijednost
φ	60%
η	2,0
T_m	15,8 sekundi
T	15,1 minutu (906 sekundi)

Na temelju vrijednosti navedenih u tablici 17, izračunata je konačna vrijednost broja zrakoplova koji mogu biti obrađeni od jednog kontrolora zračnog prometa u jednom sektoru. Prilikom izračuna važno je obratiti pozornost na parametar trajanja svake poruke u sektoru koji se mora uvrstiti u sekundama. Konačna vrijednost iznosi 17 zrakoplova u sektoru.

4.2. Primjer izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa prema metodologiji korištenoj u Centralnoj Americi

Analizirajući metodologiju za izračun kapaciteta kontrole zračnog prometa korištene u Centralnoj Americi, možemo izračunati nekoliko parametara. Prvenstveno, moguće je izračunati parametar prosječnog broja operacija kojim kontrolor zračnog prometa može upravljati u smjeni (SA). Za izračun navedene vrijednosti, potrebno je nekoliko dodatnih parametara. Formula (4) prikazuje prosječan broj operacija kojim kontrolor zračnog prometa može upravljati u smjeni. Za potrebe ovog primjera, formula (4) je ponovno ispisana ispod.

$$SA = \left(\frac{3600}{N_c * T_c} \right) * 0,8 * 0,5 * Nh \quad (4)$$

Kako bi se izračunao parametar prosječnog broja operacija po smjeni (SA), potrebno je uzeti vrijednosti za dodatne parametre. Za potrebe ovog primjera, vrijednost procijenjenog vremena rukovanja prometom u nekom promatranom vremenskom razdoblju iznosi 80%, faktor maksimalnog kapaciteta u vršnom satu iznosi 0.5, a broj sati po smjeni iznosi 8 sati (Nh). Za parametar prosječnog broja poruka od zrakoplova (Nc) potrebno je izmjeriti broj poruka između zrakoplova i

kontrola zračnog prometa. U tablici 18 prikazan je broj zrakoplova u sektoru kontrole zračnog prometa na lijevoj strani (svjetlo narančastom bojom) i na gornjoj strani su označeni slovom pojedini kontrolori zračnog prometa. Analizirajući podatke iz tablice 18, moguće je izračunati aritmetičku sredinu broja komunikacija po kontroloru zračnog prometa. U konačnici, moguće je izračunati ukupnu aritmetičku sredinu broja komunikacija svih kontrolora zračnog prometa u mjerenju, što zapravo, predstavlja parametar prosječnog broja poruka od zrakoplova. Ukupna aritmetička sredina broja komunikacija za navedeni sektor iznosi 2,4.

Tablica 18. Zabilježene vrijednosti broja poruka metodologije CAR

Prosječni broj komunikacija u sektoru za svaki zrakoplov									
Kontrolor zračnog prometa									
Zrakoplov	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	3	4	1	1	3	2	3	3	1
2	3	5	3	3	4	4	6	2	3
3	1	1	1	1	1	4	5	2	4
4	1	2	1	4	1	3	2	3	3
5	2	2	2	4	1	1	3	2	1
6	1	5	3	3	1	1	2	4	2
7	2	5	3	4	6	1	1	4	2
8	1	5	3	2	2	2	1	1	1
9	2	6	2	4	2	1	1	1	2
10	1	4	2	4	3	3	1	2	3
11	1	7	3	2	3	2	1	1	3
12	1	6	4	3	2	1	1	2	1
13	2	4	3	3	1	1	2	1	1
14	2	3	2	4		1	1	1	1
15	1	2	3			2		1	1
16	3	5	4			1			1
17	2		4						
18	1		2						
19	1		4						
20	2		1						
21	1		2						
22			2						
23									
24									
25									
Aritmetička sredina po kontroloru zračnog prometa	1,619048	4,125	2,588235	2,916667	2,307692	1,875	2,142857	2	1,875
Aritmetička sredina broja komunikacija	2,4								

Analizirajući parametar prosječnog trajanja poruke (T_c) u formuli za izračun prosječnog broja operacija po smjeni, potrebno nam je nekoliko ulaznih podataka. Tablica 19 prikazuje podatke prosječnog trajanja svake poruke između kontrolora zračnog prometa i zrakoplova za promatrano vremensko razdoblje od 30 minuta. Na lijevoj strani tablice 19 prikazani su pozivni znakovi zrakoplova koji se nalaze u sektoru u promatranom vremenskom razdoblju. Gornji dio tablice 19 prikazuje svaku minutu unutar promatranog vremenskog razdoblja od 30 minuta. Žutom bojom su zabilježena vremena trajanja svake poruke svakog zrakoplova koji se u promatranom

vremenskom razdoblju nalazio u sektoru kontrole zračnog prometa. Na temelju podataka o trajanja svake poruke zrakoplova u promatranom sektoru za promatrano vremensko razdoblje, moguće je izračunati parametar prosječnog trajanja svake poruke (Tc). Parametar prosječnog trajanja svake poruke (Tc) za navedeni sektor iznosi 14,971 sekundi.

Tablica 19. Zabilježene vrijednosti trajanja svake poruke metodologije SAM

Zrakoplov	Prosječno trajanje svake poruke																													
	Promatrano vremensko razdoblje po minuti																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
CTN340	14																	7							4					
TDR320					22								12									34								4
CTN380																														
CTN414								10																						
THY415																5									17					
DLH005																						34								
KLM9971															14														21	
AFR980							6																							
RYR454																4														
RYR782																			34											
ASL490																														25
ASL380																								23						
UAE512									18							7														
WZZ8891	8						7																							
BAW534								31																						
BAW712			9	22																				7						
CTN002													25												5					
LOT495																							4							
LOT320								16																						
EZZ7862				4																					32					
WZZ235												15																		
	Prosječno trajanje svake poruke (Tc)																													= 14,971

Tablica 20 prikazuje konačne vrijednosti svakog parametra koji je korišten za primjer izračuna prosječnog broja operacija zrakoplova po smjeni, kao i konačnu vrijednost parametra prosječnog broja operacija zrakoplova po smjeni. Uvrštavanjem navedenih konačnih parametara u formulu za izračun prosječnog broja operacija zrakoplova po smjeni, dobije se konačni parametar broja operacija kojim kontrolor zračnog prometa može upravljati u smjeni.

Tablica 20. Konačne vrijednosti primjera izračuna broja operacija kojim kontrolor zračnog prometa može upravljati u smjeni

Parametar	Vrijednost	Mjerna jedinica
Nh	8	Sat
Nc	2,4	-
Tc	14,971	Sekunda
SA	320,6	Operacija po smjeni

sektoru u promatranom vremenskom razdoblju. Na lijevoj strani tablice 22 nalaze se pozivni znakovi zrakoplova u sektoru, a na gornjoj strani tablice se nalazi promatrano vremensko razdoblje u trajanju od 30 minuta. Potom, iz zabilježenih podataka, potrebno je izračunati aritmetičku sredinu trajanja komunikacija (instrukcija) od svakog pojedinog zrakoplova. Na temelju zabilježenih podataka, parametar trajanja komunikacija (instrukcija) iznosi 37 sekundi u ovom sektoru.

Tablica 22. Zabilježene vrijednosti trajanja zadatka komunikacija (instrukcija)

Zrakoplov	Trajanje komunikacija (instrukcija)																													
	Promatrano vremensko razdoblje																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
AFR614					59			10																						
CTN675	45	25																												
DLH455			45				5																							
CTN414											51			43																
CTN4427												22																		
TDR9971								43								56														
	Trajanje zadatka transfera komunikacija																													= 37

Kako bi se procijenio parametar trajanja zadatka razdvajanja (S) potrebno je zabilježiti trajanje zadatka razdvajanja za svaki pojedini zrakoplov u sektoru u nekom promatranom vremenskom razdoblju. Tablica 23 prikazuje zabilježene podatke trajanja zadatka razdvajanja za svaki zrakoplov u promatranom vremenskom razdoblju od 30 minuta. Na lijevoj strani tablice 23 nalaze se pozivni znakovi zrakoplova u sektoru, a na gornjoj strani tablice se nalazi promatrano vremensko razdoblje u minutama. Iz zabilježenih podataka potrebno je izračunati aritmetičku sredinu kako bi se odredio konačni parametar trajanja zadatka razdvajanja u promatranom vremenskom razdoblju od 30 minuta. Na temelju zabilježenih podataka, parametar trajanja zadatka razdvajanja zrakoplova iznosi 44 sekunde.

Tablica 23. Zabilježene vrijednosti trajanja zadatka razdvajanja

Zrakoplov	Trajanje zadatka razdvajanja																													
	Promatrano vremensko razdoblje																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
AFR614			45																											
CTN675		34																												
DLH455				22																										
CTN414											43																			
CTN4427					58																									
TDR9971												60																		
	Trajanje zadatka razdvajanja																													= 44

Uvrštavanjem dobivenih podataka iz tablice 24 u formulu (5), izračunata je konačna vrijednost parametra kapaciteta, odnosno broja operacija kojim kontrolor zračnog prometa može upravljati koristeći radar (C). Konačna vrijednost broja operacija kojim kontrolor zračnog prometa može upravljati koristeći radar navedena je u tablici 24 i iznosi 32 operacije po satu.

Tablica 24. Konačne vrijednosti primjera izračuna broja operacija kojim kontrolor zračnog prometa može upravljati koristeći radar

Parametar	Vrijednost	Mjerna jedinica
TC	32	Sekunda
COM	37	Sekunda
S	44	Sekunda
C	32	Operacija po satu

Analizirajući izračun prosječnog broja operacija kojim kontrolor zračnog prometa može upravljati ne koristeći radar, koristimo iste ulazne podatke kao i za radarsku kontrolu, samo što je potrebno dodati parametar trajanja koordinacije kontrolora zračnog prometa. Parametar trajanja koordinacije se dobiva na sličan način kao i svi ostali parametri u formuli (6). Formula (6) predstavlja izračun prosječnog broja operacija kojim kontrolor zračnog prometa može upravljati ne koristeći radar. Za potrebe ovog primjera, formula (6) je ponovno ispisana ispod.

$$C = \frac{3600}{COR + CO + S + TCO} \quad (6)$$

Kako bi se procijenio parametar trajanja koordinacije (COR) potrebno je zabilježiti trajanje koordinacije za svaki pojedini zrakoplov u sektoru u nekom promatranom vremenskom razdoblju. Tablica 25 prikazuje zabilježene podatke trajanja koordinacije za svaki zrakoplov u promatranom vremenskom razdoblju od 30 minuta. Na lijevoj strani tablice 25 navedeni su pozivni znakovi zrakoplova u sektoru, a na gornjoj strani tablice se nalazi promatrano vremensko razdoblje u minutama. Računanjem aritmetičke sredine trajanja koordinacija za sve zrakoplove u sektoru dobiva se parametar trajanja koordinacije (COR) koji iznosi 24 sekunde.

4.3.1. Primjer izračuna radnog opterećenja putem težinske metodologije

Izračun radnog opterećenja putem težinske metodologije se temelji na „dodjeli“ bodova/težine pojedinim zadacima kontrolora zračnog prometa u nekom referentnom sektoru u nekom vremenskom razdoblju. Na lijevu stranu tablice 27 se upisuju pojedini letovi, uključujući njihov pozivni znak, tip i brzinu, potom je potrebno upisati rutu leta kojom zrakoplov leti od polazišta do odredišta. Nakon upisivanja podataka o zrakoplovima i njihovim rutama, potrebno je dodijeliti težinu/bodove kako bi se izračunalo radno opterećenje kontrolora zračnog prometa [28].

Tablica 27. Prikaz alata za simulaciju radnog opterećenja

Ukupni broj zrakoplova		0	12:00			12:05			12:10
No	Letovi (Pozivni znak , tip, brzina itd)	Ruta leta							
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									

Izvor: [28]

Na vrhu tablice 28 se nalazi promatrano vremensko razdoblje ispod kojeg se dodjeljuju težinski bodovi svakog pojedinog zadatka kontrolora zračnog prometa. Tablica 28 prikazuje popis, kao i težinske bodove za svaki pojedini zadatak kontrolora zračnog prometa.

Tablica 28. Tablica težinskih bodova zadatka kontrolora zračnog prometa

Identifikator zadatka	Opis	Težina
Zrakoplov		
SSR	Praćenje identificiranog SSR zrakoplova	2
I_SSR	Identificiranje SSR zrakoplova	3
PSR	Praćenje identificiranog ne-SSR zrakoplova	3
I_PSR	Identificiranje ne-SSR zrakoplova	4
UNKN	Praćenje neidentificiranog zrakoplova	5
Rizik konflikta (pred radnje)		
LARGE	Konflikt oko minimuma razdvajanja	2
SHORT	Konflikt iznad minimuma razdvajanja	3
Koordinacija		
COO_S	Standardna koordinacija za jedinicu (npr. transfer)	4
COO_A	Dodatna koordinacija , promjene etc	5
TEL_HVR	Radarska primporedaja za svaki zrakoplov	6
Vertikalni profil		
C_D	Zrakoplov u penjanju/poniranju - praćenje FL/mode C	3
Konfliktirajući promet		
SAME	Konfliktirajući promet u istom smjeru	6
RECIP	Konfliktirajući promet u recipročnom smjeru	6
C_30	Konfliktirajući promet pod kutem od 30 stupnjeva	8
C_60	Konfliktirajući promet pod kutem od 60 stupnjeva	8
C_90	Konfliktirajući promet pod kutem od 90 stupnjeva	10
C_120	Konfliktirajući promet pod kutem od 120 stupnjeva	9
Razlika u brzinama		
S_60	Konfliktirajući zrakoplov iza, brži za 60 čvorova	3
S_120	Konfliktirajući zrakoplov iza, brži za 120 čvorova	6
S_240	Konfliktirajući zrakoplov iza, brži za 240 čvorova	9
Vektoriranje		
VEC	Vektoriranje zrakoplova	10
WIND	Dodatnih 5 bodova VEC ako je zanošenje vjetra značaj	3
SEQ	Dodatnih 5 bodova za VEC ako je zbog sekvence	4
Upravljanje brzinom		
SPD	Dodatnih 5 bodova ako je zbog separacije ili sekvence	3
Izvanredne situacije		
UNKN_INFO	Za prijenos informacija za nepoznati promet	7
RCFSSR	RCF - odašiljač U/S ali SSR/squaw k ok	8
RCFPSR	RCF - odašiljač U/S ali nema SSR/squaw k	10
SSROFF	SSR je ugašen (Nema oznaka) - added to every acft	5
NEWROUTE	Planiranje preusmjerenja , Prekinuti prilaz ...	10
EMERGENCY	Za zrakoplov u opasnosti, traženje prioriteta	20

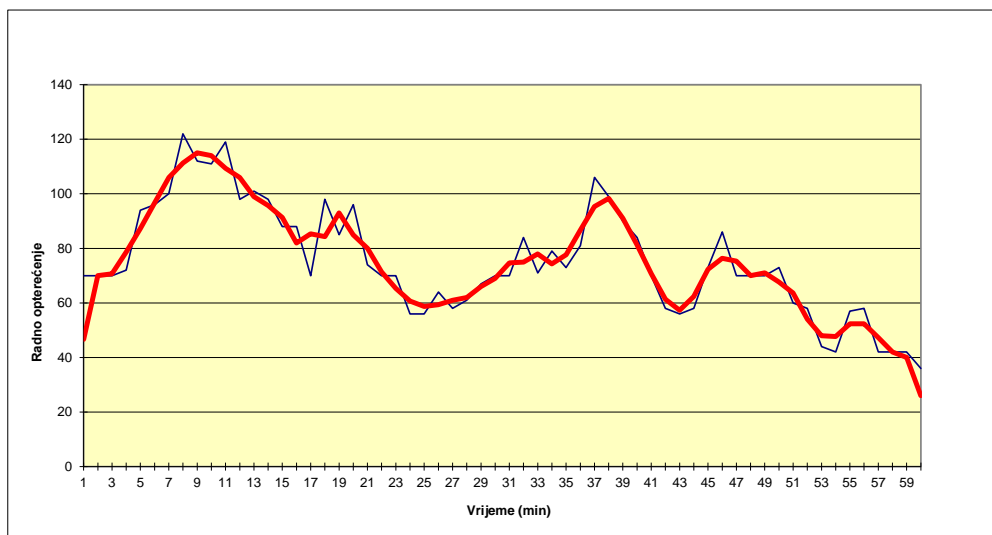
Izvor: [28]

U tablici 29 prikazani su uneseni podaci za letove (uključujući pozivne znakove, tipove zrakoplova, brzinu), ruta svakog leta, te su dodijeljeni težinski bodovi za svaku pojedinu minutu zrakoplova u sektoru. Dodijeljeni težinski bodovi predstavljaju zahtjevnost zadatka kontrolora zračnog prometa, a dodijeljeni zadaci čine radarsko praćenje putem SSR radara, koordinacije, vektoriranje zrakoplova i slično.

Tablica 29. Prikaz unesenih podataka u alat za simulaciju radnog opterećenja

Ukupni broj zrakoplova =		15	12:00				12:05			
r.br	Letovi (Pozivni znak , tip, brzina itd)	Ruta leta								
1	IBE5823 DC10 ESSA LEBL F350 R350	FILAN B5 R15 ESPAN		2	2	2	3	2	2	2
2	AFR4412 EA32 LFPG EDDF F330 R330	FRANS W11 GERMA		2	2	2	3	10	8	2
3	TAP521 EA34 LPPT EFHK F330 R330	PORTO B5 FILAN		2	2	2	2	10	8	2
4	BAW8711 BA46 EGSS LIRF F270 R290	GEBEE A3 ITALI							2	2
5	CRX3511 BA46 LSZH EGKK F280 F280	ITALI A3 GEBEE		2	2	2	2	10		4
6	EIN755 B747 EINN LIRF F370 R270	GEBEE A3 ITALI							2	2
7	CTN340 A320 LDZA LDSP F250 R270	NIVES OKLAX		2	2	2	2	2	2	2
8	CTN350 A320 LDSP LDZA F240 R270	OKLAX NIVES								
9	DAL103 B757 LIRF KJFK F350 R350	ITALI A3 GEBEE								
10	SAS998 DC10 EFHK F350 R350	FILAN R15 ESPAN								
11	BAF214 C130 ESSA EBOS F240 R240	FILAN B5 PORTO								
12	ECBMN DA50 LEMD ESSA F260 R370	PORTO B5 FILAN								
13	LTU155 EA33 EDDL LFPO F260 R390	GERMA W11 FRANS								
14	EIN872 EA33 EINN EDDF F290 R290	GEBEE A3 ITALI								
15	N200N LR25 EGKK LOWW F290 F290	USANI G9 A3 ITALI								
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										

Na temelju unesenih podataka dobiva se graf koji prikazuje stvarno radno opterećenje kontrolora zračnog prometa u svakoj minuti promatranog vremenskog razdoblja, te prosječno radno opterećenje kontrolora zračnog prometa u svakoj minuti promatranog vremenskog razdoblja. Na slici 27 prikazano je stvarno radno opterećenje kontrolora zračnog prometa označeno crnom bojom i prosječno radno opterećenje označeno crvenom bojom za svaku minutu promatranog vremenskog razdoblja.



Slika 27. Prikaz radnog opterećenja prema težinskoj metodologiji

4.3.2. Primjer izračuna radnog opterećenja putem nove metodologije na makroskopskoj razini

Pojednostavljena formula za izračun radnog opterećenja CAPAN metodologije na makroskopskoj razini se temelji na pretpostavci da sve operativne zadaće kontrolora zračnog prometa spadaju u ove tri kategorije [22]:

- rutinski zadaci,
- zadaci praćenja promjene razine leta,
- zadaci praćenja i rješavanja konflikta.

Kako bi se izračunalo radno opterećenje putem ove metodologije potrebno je posjedovati podatke o trajanju, kao i broju pojava rutinskih zadataka, zadataka praćenja promjene razine leta i zadataka praćenja konflikata [22]. Formula (8) se koristi za izračun radnog opterećenja. Za potrebe ovog primjera, formula (8) je ponovno ispisana ispod.

$$WL = 43 * nbFL + 70 * nbCnfCross + 10 * nbCnf(Tr + Opp) + 15 * nbMcl \quad (8)$$

Metodologija predviđa razdvajanje kategorija zadataka praćenja konflikta na tri potkategorije [11]:

- praćenje križajućih konflikta,
- praćenje konflikata istog smjera,
- praćenje konflikata suprotnog smjera.

Za potrebe ovog primjera izračuna, korištene su standardne vrijednosti trajanja rutinskih zadataka, te zadataka praćenja promjene razine leta referentnog pružatelja usluga u zračnoj plovidbi. Što se tiče vrijednosti trajanja rješavanja konflikta, CAPAN uvodi devet različitih vrsta konflikta prikazanih u tablici 30. Za svaku vrstu konflikta navedeno je vrijeme izvršenja za radarski nadzor i radarsku intervenciju.

Tablica 30. Prikaz vrsta konflikta

Vrsta konflikta	Opis
Tip 1	Dva zrakoplova na istoj putanji na istoj razini leta
Tip 2	Dva zrakoplova na istoj putanji, jedan zrakoplov u penjanju / poniranju
Tip 3	Dva zrakoplova na istoj putanji, oba u penjanju / poniranju
Tip 4	Dva zrakoplova se križaju na istoj razini leta
Tip 5	Dva zrakoplova se križaju, jedan zrakoplov u penjanju / poniranju
Tip 6	Dva zrakoplova se križaju, oba u penjanju / poniranju
Tip 7	Dva zrakoplova na suprotnoj putanji na istoj razini leta
Tip 8	Dva zrakoplova na suprotnoj putanji, jedan zrakoplov u penjanju / poniranju
Tip 9	Dva zrakoplova na suprotnoj putanji, oba u penjanju / poniranju

Izvor: [29]

Metodologija CAPAN bilježi radarsku intervenciju kada je udaljenost između dva zrakoplova ispod praga navedenog u modelu. Ti su pragovi određeni prema vrsti konflikta. Uobičajene vrijednosti su između osam i 15 nautičkih milja. Kada CAPAN identificira da je radarska intervencija neophodna za rješavanje konflikta, sustav bilježi zadatak radarskog nadzora (otkrivanje i nadzor potencijalnog konflikta), te zadatak radarske intervencije (akcija za rješavanje konflikta). Nedavna poboljšanja sustava kao što su Mode S transponder i ADS-B potakli su reviziju standardnih trajanja zadataka za ACC sektore. Revidirano koraci i trajanje zadataka za sektore kontrole zračnog prometa prikazani su u tablici 31.

Tablica 31. Prikaz revidiranih koraka i trajanja zadataka za sektore kontrole zračnog prometa

Opis koraka i trajanje (u sekundama) po vrsti konflikta		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Prva instrukcija zrakoplovu jedan (novi smjer)	13	13	13	13	13	13	13	13	13
2	Prva instrukcija zrakoplovu dva (novi smjer / zadržati smjer)	13	13	13	13	13	13	13	13	13
3	Provjera usklađenosti zrakoplova s instrukcijom	5	5	5	7	7	7	7	7	7
4	Druga instrukcija zrakoplovu jedan (paralelni smjer)	8	8	8	8	8	8	8	8	8
5	Provjera usklađenosti zrakoplova jedan s instrukcijom	2	2	2	0	0	0	2	2	2
6	Nadzor zrakoplova sa novim smjerom	4	4	4	7	7	7	9	9	9
7	Treća instrukcija zrakoplova jedan (nastavi putanju)	8	8	8	8	8	8	8	8	8
8	Druga instrukcija zrakoplovu dva (normalna navigacija)	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	Nadzor izvršenja	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Ukupno	65	65	65	68	68	68	72	72	72

Izvor: [29]

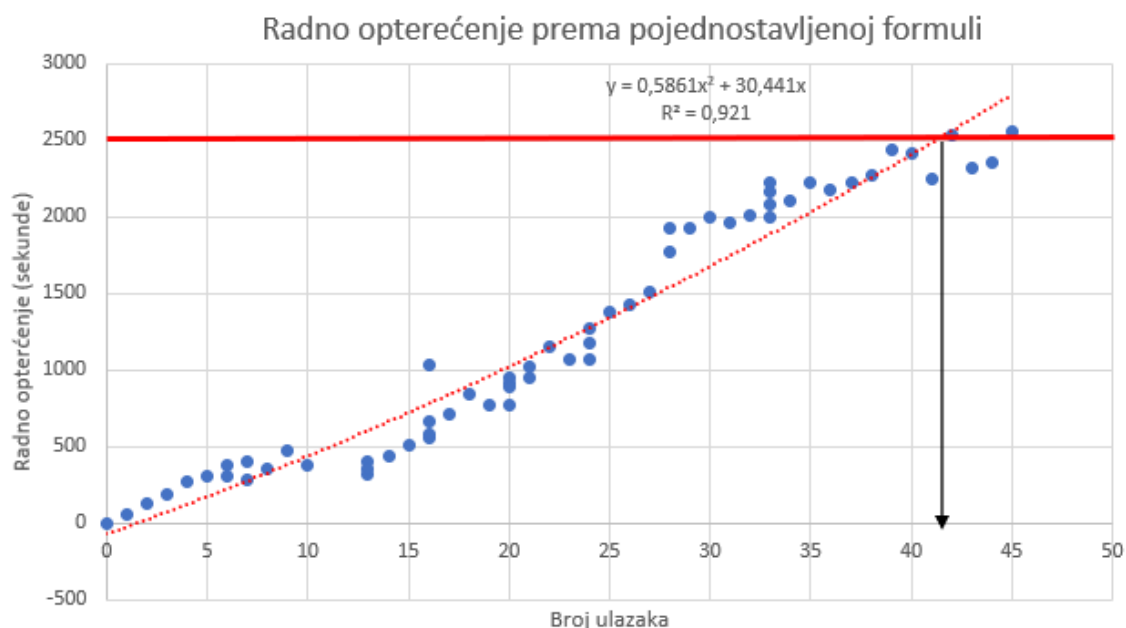
Za potrebe ovog primjera korištena je vrijednost tipa 1 za vrijednost konflikta istog smjera, kao i vrijednost tipa 5 za vrijednost križajućeg konflikta, te tip 9 za vrijednost konflikta suprotnog smjera. Tablica 32 prikazuje korištene vrijednosti parametara za izračun radnog opterećenja prema pojednostavljenoj formuli.

Tablica 32. Standardne vrijednosti korištene za primjer izračuna radnog opterećenja

Parametar	Vrijednost
Trajanje rutinskih zadataka (nbFL)	43 sekunde
Trajanje zadataka promjene razine leta (nbMcl)	15 sekundi
Križajući konflikti (nbCnfCross)	68 sekundi
Konflikti istog smjera (Tr)	65 sekunde
Konflikti suprotnog smjera (Opp)	72 sekunde

Izvor: [21]

Prilikom računanja vrijednosti radnog opterećenja, potrebno ih je unijeti na graf, kao što je prikazano na slici 28. Nakon što se izračunaju i unesu vrijednosti u graf, potrebno je nacrtati paraboličnu regresiju kroz oblak točaka koji je dobiven. Sjecište apscise i unaprijed definiranog praga radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa na slici 21, zapravo predstavlja kapacitet sektora kontrole zračnog prometa.



Slika 28. Prikaz radnog opterećenja prema pojednostavljenoj formuli

5. Zaključak

Zračni promet predstavlja jednu od najvažnijih grana prometa, te se svakim danom potražnja za zračnim prometom povećava. Efikasan i siguran protok zračnog prometa omogućen je djelovanjem usluge upravljanja protokom i kapacitetom zračnog prometa. Ona predstavlja temeljnu i neizostavnu službu pružatelja usluga u zračnoj plovidbi. Usluga upravljanja protokom zračnog prometa ima za cilj maksimizirati kapacitet kontrole zračnog prometa i smanjiti zagušenja prometa putem kratkoročnog, srednjoročnog i dugoročnog planiranja zračnog prometa. U slučaju pojave nedostatka kapaciteta kontrole zračnog prometa, potrebno je poduzeti odgovarajuće mjere kako bi se suzbio negativni utjecaj nedostatka kapaciteta na odvijanje sigurnog zračnog prometa. Mjere za situacije pomanjkanja kapaciteta se uglavnom temelje na optimiziranju raspoloživih kapaciteta, iskorištavanju drugih kapaciteta, te reguliranju prometne potražnje.

Implementacijom usluge upravljanja protokom i kapacitetom u zračnom prometu, europska perspektiva upravljanja protokom zračnog prometa predstavlja napredak u sustavu. Uvođenjem Mrežnog upravitelja (EUROCONTROL) sa sjedištem u Bruxellesu, koji predstavlja središte za koordinaciju i provođenje mjera usluge upravljanja protoka i kapaciteta, dodatno se racionalizirao i poboljšao protok zračnog prometa na europskom nebu. Europska perspektiva, također, implementira određen broj inovativnih sustava i simulacijskih alata za dodatno poboljšanje usluge upravljanja protokom i kapacitetom zračnog prometa.

Kapacitet zračnog prostora ovisi o mnogo čimbenika. Neki od čimbenika su broj sektora zračnog prostora, kapacitet kontrole zračnog prometa, dizajn zračnog prostora, te dostupnost, obuka i raspoloživost osoblja kontrole zračnog prometa. Analizirajući kapacitet zračnog prostora, potrebno se osvrnuti na kapacitet kontrole zračnog prometa. Metodologije izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa predstavljaju uloženi napor i težnju za poboljšanjem efikasnosti cjelokupnog sustava zračnog prometa. Ključan aspekt kapaciteta kontrole zračnog prometa je radno opterećenje kontrolora zračnog prometa prilikom izvršenja zadaća, kao što su koordinacija, komunikacija, predviđanje ili rješavanje konflikta. Radno opterećenje kontrolora zračnog prometa ne smije biti prekoračeno zbog potencijalne ugroze sigurnosti zračnog prometa. Mjerenje radnog opterećenje kontrolora zračnog prometa je iznimno zahtjevan zadatak koji ovisi o mnogo čimbenika, kao što je kompleksnost prometne situacije i vještine samog kontrolora zračnog prometa. Važno je napomenuti kako je za ovu vrstu mjerenja radnog opterećenja potreban veliki broj ulaznih parametara i podaci prikupljeni od većeg broja kontrolora zračnog prometa.

Metodologije izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa su prilagođene pojedinim pružateljima usluga u zračnoj plovidbi. Istraživanja i procjene kapaciteta kontrole zračnog prometa su dugotrajna, te iziskuju visoka financijska ulaganja. Analizom i usporedbom metodologija, može se zaključiti da metodologije korištene u Južnoj Americi, Saudijskoj Arabiji i Centralnoj Americi zahtijevaju slične ulazne

podatke. Metodologije korištene u Južnoj Americi i Saudijskoj Arabiji uvode parametre kao što su dostupnost kontrolora zračnog prometa, prosječno vrijeme koje zrakoplov provede u promatranom sektoru, prosječno trajanje poruke, te broj komunikacija. Metodologije izračuna kapaciteta kontrole zračnog prometa korištene u Južnoj Americi i Saudijskoj Arabiji daju rezultate vrijednosti broja zrakoplova koji čine prometnu situaciju kojom kontrolor zračnog prometa može sigurno i efikasno upravljati. Analizirajući ulazne podatke koji su potrebni za izračun kapaciteta kontrole zračnog prometa putem ovih metodologija, može se zaključiti kako se radi o jednostavnijim metodologijama za izračun kapaciteta kontrole zračnog prometa. Model za procjenu radnog opterećenja *DORATASK* se temelji na uočljivim i neuočljivim zadacima kontrolora zračnog prometa. Model je razvijen u Velikoj Britaniji i služio je kao baza za razvoj ostalih modela procjene radnog opterećenja. Model *DORATASK* ima nekoliko ograničenja, ali uz odgovarajuće modifikacije model može biti implementiran u mnoge sustave. Metodologija korištena u Centralnoj Americi uvodi parametre kao što su broj sati po smjeni, prosječno trajanje poruke, prosječan broj poruka, te trajanje pojedinih vrsta zadaća kontrolora zračnog prometa. Na temelju navedenih parametara se određuje kapacitet kontrole zračnog prometa u Centralnoj Americi. Metodologija daje rezultate prosječnog broja operacija u smjeni, prosječnog broja operacija putem radarske kontrole zračnog prometa, te prosječnog broja operacija putem ne radarske kontrole zračnog prometa.

Capacity Analysis (CAPAN) metodologija koja se koristi u Europi, implementira prag radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa. Prag radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa iznosi 70% apsolutnog radnog vremena, odnosno 42 minute u satu. Prag radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa, zapravo, predstavlja kapacitet zračnog prostora, te se putem regresijskih i pesimističnih regresijskih metoda vrši procjena kapaciteta sektora zračnog prostora. Ovisno o prometnoj situaciji, regresijska ili pesimistična regresijska metoda procjenjuje najvjerodostojniji kapacitet sektora zračnog prostora. Opisana metodologija je uvela pojednostavljenu formulu s kojom je moguće procijeniti radno opterećenje putem jednostavnih ulaznih parametara. Pojednostavljena formula uvodi parametre kao što su broj i vremensko trajanje pojedinih zadaća kontrolora zračnog prometa. Osim pojednostavljene formule, metodologija je implementirala sustav dodjeljivanja težinskih bodova vezanih za pojedine zadaće kontrolora zračnog prometa kako bi se točnije procijenilo radno opterećenje. *Capacity Analysis* metodologija uzima u obzir prilagodljiv popis zadaća kontrolora zračnog prometa, te je zbog toga prihvatljiva većini pružatelja usluga u zračnoj plovidbi. Uzimajući u obzir fleksibilnost, kontinuiranu ažuriranost, te široku primjenu *Capacity Analysis* metodologije, može se zaključiti kako se radi o vrlo efikasnoj i točnoj metodologiji za procjenu radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa. Procjena radnog opterećenja čini metodologiju *Capacity Analysis* posebno korisnom u slučaju promjene strukture zračnog prostora ili promjene procedura kontrole zračnog prometa. Ova metodologija omogućuje potvrdu očekivanih beneficija prije i nakon provedenih promjena strukture zračnog prostora ili procedura kontrole zračnog prometa.

Vrijedi napomenuti kako postoje različiti simulacijski modeli za procjenu radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa diljem svijeta koji uzimaju različite parametre u obzir. Na temelju navedenog može se zaključiti da različite metodologije daju različite konačne parametre za procjenu i definiranje kapaciteta zračnog prostora. Isto tako, zaključuje se kako je radno opterećenje kontrolora zračnog prometa usko vezano s kapacitetom sektora zračnog prostora i u konačnici, kapacitetom kontrole zračnog prometa.

Literatura

- [1] International Civil Aviation Organization. *Doc 4444, Procedures for Air Navigation Services — Air Traffic Management*. Montreal; 2016.
- [2] Majumdar A, Polak JW. Estimating Capacity of Europe's Airspace Using a Simulation Model of Air Traffic Controller Workload. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*. 1744(1):30-43. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/241545956_Estimating_Capacity_of_Europe%27s_Airspace_Using_a_Simulation_Model_of_Air_Traffic_Controller_Workload [Pristupljeno: 11. lipnja 2022.]
- [3] Mihetec T. *Usluge u zračnoj plovidbi*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2021.
- [4] International Civil Aviation Organization. *Doc 9971, Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management*. Montreal; 2014.
- [5] SKYbrary. *Capacity Management*. Preuzeto s: <https://skybrary.aero/articles/capacity-management> [Pristupljeno: 11. lipnja 2022.]
- [6] Tobaruela G, Majumdar A, Ochieng WY. Identifying Airspace Capacity Factors in the Air Traffic Management System. *2nd International Conference on Application and Theory of Automation in Command and Control Systems*. London; 2012. pp. 219-224.
- [7] EUROCONTROL. *ATFCM User Manual*. Preuzeto s: <https://www.public.nm.eurocontrol.int/PUBPORTAL/gateway/spec/PORTAL.26.0.0.7.113/res/ATFCM-Users-Manual-26.0v2.pdf> [Pristupljeno: 11. lipnja 2022.]
- [8] EUROCONTROL. *ATFCM Operations Manual*. Preuzeto s: <https://www.public.nm.eurocontrol.int/PUBPORTAL/gateway/spec/PORTAL.26.0.0.7.113/res/ATFCM-Operations-Manual-26.0-External.pdf> [Pristupljeno: 11. lipnja 2022.]
- [9] EUROCONTROL. *About us*. Preuzeto s: <https://www.eurocontrol.int/about-us> [Pristupljeno: 11. lipnja 2022.]
- [10] EUROCONTROL. *Network Manager*. Preuzeto s: <https://www.eurocontrol.int/network-manager> [Pristupljeno: 11. lipnja 2022.]
- [11] EUROCONTROL. *Integrated initial flight plan processing system*. Preuzeto s: <https://www.eurocontrol.int/system/integrated-initial-flight-plan-processing-system> [Pristupljeno 12. kolovoza 2022.]
- [12] EUROCONTROL. *Enhanced tactical flow management system*. Preuzeto s: <https://www.eurocontrol.int/system/enhanced-tactical-flow-management-system> [Pristupljeno: 12. kolovoza 2022.]
- [13] EUROCONTROL. *Why Air traffic Flow & Capacity Management*. [Prezentacija] ACAO/ICAO ATFM workshop. Casablanca. 18. ožujka 2019.
- [14] EUROCONTROL. *NM Main Areas of Operations*. Preuzeto s: https://www.nm.eurocontrol.int/STATIC/NM_AREA/ [Pristupljeno: 12. kolovoza 2022.]

- [15] EUROCONTROL. *Network Operations Portal*. Preuzeto s: <https://www.public.nm.eurocontrol.int/PUBPORTAL/gateway/spec/> [Pristupljeno: 12. kolovoza 2022.]
- [16] EUROCONTROL. Initial network plan. Preuzeto s: https://www.public.nm.eurocontrol.int/PUBPORTAL/gateway/spec/res/20220812/20220812-052622.pdf?APPID=initial_network_plan [Pristupljeno: 12. kolovoza 2022.]
- [17] Jaurena RA. *Guide for The Application of a Common Methodology to Estimate Airport and ATC Sector Capacity for the SAM Region*. Version 1.0: Lima; 2009.
- [18] International Civil Aviation Organization. *Doc 9326, Air Traffic Services Planning Manual*. Montreal; 1984.
- [19] Saudi Air Navigation Services. *Air Traffic Flow and Capacity Management*. [Prezentacija] Jeddah. 2020.
- [20] Hernandez V. *Methodology to assess ATS Capacity*. [Prezentacija] ATFM Seminar for NAM/CAR Regions. ICAO NACC Office; 2006.
- [21] EUROCONTROL. *Capacity analysis methodology*. Preuzeto s: <https://www.eurocontrol.int/methodology/capacity-analysis-methodology> [Pristupljeno: 11. lipnja 2022.]
- [22] EUROCONTROL Experimental Centre. *Pessimistic Sector Capacity Estimation*. Brétigny-sur-Orge: EUROCONTROL Agency; 2003.
- [23] Majumdar A, Ochieng WY, Bentham J, Richards M. En-route sector capacity estimation methodologies: An international survey. *Journal of Air Transport Management*. 2005;11: 375-378. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969699705000396> [Pristupljeno: 11. lipnja 2022.]
- [24] Hudgell AJ, Gingell RM. *Metrics & Methodologies Detailed Specification of Capacity Metric Inputs – Processing – Outputs, in EATMP*. Bruxelles: EUROCONTROL; 2000.
- [25] Tobaruela G, Majumdar A, Ochieng WY. Identifying Airspace Capacity Factors in the Air Traffic Management System. *2nd International Conference on Application and Theory of Automation in Command and Control Systems*. London; 2012. pp. 219-224.
- [26] EUROCONTROL. *Technical note on En Route Capacity*. Preuzeto s: <https://www.eurocontrol.int/publication/technical-note-en-route-capacity> [Pristupljeno: 10. lipnja 2022.]
- [27] Brazilian Air Navigation Management Center. *Methodology adopted by Brazil to calculate the control capacity of ACC of Brazilian FIR*. Lima: International Civil Aviation Organization; 2010. Preuzeto s: https://www.icao.int/SAM/Documents/2010/SAMIG6/samig6_ip03_ATC%20Capacity%20CGNA%20Bra.pdf [Pristupljeno: 11. lipnja 2022.]

[28] EUROCONTROL. *Radar Simulation Exercise Design*. [Prezentacija] Workload. Bruxelles. 7. lipnja 1998.

Popis kratica

ACC	(Area control center) Oblasna kontrola zračnog prometa
ADP	(ATFCM daily plan) Dnevni ATFCM plan
ANM	(ATFCM notification message) ATFCM obavijesti
ANSP	(Air navigation service provider) Pružatelj usluga u zračnoj plovidbi
AO	(Aircraft operator) operator zrakoplova
APR	(AO position report) izvješće o poziciji operatera zrakoplova
ASM	(Airspace management) Upravljanje zračnim prostorom
ATFCM	(Air traffic flow and capacity management) Upravljanje protokom i kapacitetom zračnog prometa
ATFM	(Air traffic flow management) Upravljanje protokom zračnog prometa
ATM	(Air traffic management) Upravljanje zračnim prometom
ATS	(Air traffic services) Operativne usluge u zračnom prometu
CACD	(Central Airspace and Capacity Database System) Središnji sustav baze podataka o zračnom prostoru i kapacitetu
CAR	(Central America and Carribean) Centralna Amerika i Karibi
CDM	(Collaborative decision making) Dogovorno donošenje odluka
CFMU	(Central flow management unit) Centralna jedinica za upravljanje protokom
CHMI	(Collaboration human machine interface) Sučelje „čovjek-stroj“
CNS	(Communication, Navigation, Surveillance) Komunikacija, nadzor, navigacija
CPDLC	(Controller Pilot Data-Link Communications) Komunikacija veze podataka kontroler – pilot
CRR	(Required covering capacity) Faktor kapaciteta

DDR	(Demand data repository) Repozitorij podataka potražnje
DDS	(Data distribution system) Sustav distribucije podataka
DECEA	(The Airspace Control Department) Odjel za kontrolu zračnog prometa
ECAC	(European civil aviation conference) Europska konferencija civilnog zrakoplovstva
EFD	(EFTMS Flight Data) ETFMS podaci o letu
ETFMS	(Enhanced tactical flow management system) Unaprjeđeni taktički sustav upravljanja protokom
FMP	(Flow management position) Pozicija za upravljanje protokom
FTS	(Fast time simulation) Brza simulacija
ICAO	(International civil aviation organization) Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva
IFPS	(Integrated initial flight plan processing system) Integrirani sustav početne obrade plana leta
IPL	(Information processing load) Opterećenje obrade informacija
MDI	(Minimum departure intervals) Minimalni intervali pri uzlijetanju
MET	(Meteorological data) Meteorološki podaci
MIT	(Miles in trail) Minimalno razdvajanje zrakoplova
NAM	(North America) Sjeverna Amerika
NATS	(National Air Traffic Services) Nacionalna služba zračnog prometa
NM	(Network manager) Mrežni upravitelj
NOP	(Network operations plan) Plan mrežnih operacija
PRC	(Performance Review Commission) Komisija za ocjenu performansi
RAMS	(Re-organized ATC mathematical Simulator) Reorganizirani ATC matematički simulator

SAM	(South America) Južna Amerika
SANS	(Saudi Air Navigation Services) Saudijske usluge u zračnoj plovidbi
SME	(Subject matter experts) Stručnjaci za predmet
MUAC	(Maastricht Upper Area Control Centre) Centar gornje oblasne kontrole Maastricht

Popis slika

Slika 1. Prikaz usluga u zračnoj plovidbi.....	4
Slika 2. Prikaz strukture usluge upravljanja zračnim prometom.....	5
Slika 3. Prikaz čimbenika kapaciteta zračnog prostora.....	7
Slika 4. Prikaz čimbenika kapaciteta zračne luke	8
Slika 5. Prikaz ATFM operativnog upravljanja	9
Slika 6. ATFM rješenja i mjere za pomanjkanje kapaciteta.....	12
Slika 7. Prikaz glavnog toka podataka sustava ATFCM	18
Slika 8. Prikaz područja pružanja usluge ATFM	18
Slika 9. Prikaz područja IFPZ	19
Slika 10. Prikaz strateške faze na Portalu mrežnih operacija	20
Slika 11. Prikaz početne stranice Dnevnog ATFCM plana	21
Slika 12. Prikaz ATFCM obavijesti.....	22
Slika 13. Prikaz postoperativne faze na portalu mrežnih operacija.....	23
Slika 14. Prikaz udjela zona posebno reguliranog letenja u Saudijskoj Arabiji	29
Slika 15. Prikaz rasporeda sektora zračnog prostora Saudijske Arabije.....	29
Slika 16. Prikaz alata za izračun kapaciteta kontrole zračnog prometa u Saudijskoj Arabiji	31
Slika 17. Prikaz vršnog radnog opterećenja	36
Slika 18. Prikaz povezanosti između radnog opterećenja i prometne potražnje	37
Slika 19. Prikaz radnog opterećenja prve regresijske metode	38
Slika 20. Prikaz radnog opterećenja druge regresijske metode	39
Slika 21. Prikaz korekcije druge pesimističke metode	41
Slika 22. Prikaz iscrtavanja vrijednosti dobivene putem pojednostavljene formule..	45
Slika 23. Prikaz utjecaja prepreka na kapacitet	48

Slika 24. Prikaz potencijalne razlike kapaciteta za isti volumen zračnog prostora ...	49
Slika 25. Deklarirani kapacitet i sektorska popunjenost	51
Slika 26. Evolucija planova kapaciteta oblasne kontrole zračnog prometa Zagreb.	54
Slika 27. Prikaz radnog opterećenja prema težinskoj metodologiji	68
Slika 28. Prikaz radnog opterećenja prema pojednostavljenoj formuli.....	72

Popis tablica

Tablica 1. Prikaz parametara formule za izračun kapaciteta kontrole zračnog prometa prema SAM metodologiji	27
Tablica 2. Prikaz ulaznih podataka za izračun kapaciteta pružatelja usluga u zračnoj plovidbi Saudijske Arabije	30
Tablica 3. Prikaz parametara formule za izračun prosječnog broja operacija po smjeni	32
Tablica 4. Prikaz parametara formule za izračun prosječnog broja operacija u satu uporabom radara.....	33
Tablica 5. Prikaz parametara formule za izračun prosječnog broja operacija u satu bez uporabe radara	33
Tablica 6. Vrijednosti praga radnog opterećenja	35
Tablica 7. Usporedba vrijednosti deklariranog kapaciteta i vrijednost dobivene putem regresije	39
Tablica 8. Vrijednosti korekcija pesimističnim metodama.....	40
Tablica 9. Usporedba vrijednosti kapaciteta s kapacitetom srednjih vrijednosti pesimističkih metoda.....	42
Tablica 10. Popis i značenje parametara pojednostavljene formule	43
Tablica 11. Usporedba vrijednosti kapaciteta dobivene s različitim metodama	46
Tablica 12. Evolucija deklariranog kapaciteta oblasne kontrole Zagreb	53
Tablica 13. Prikaz godišnje promjene satnog kapaciteta oblasne kontrole zračnog prometa	55
Tablica 14. Parametri skraćene formule SAM metodologije	56
Tablica 15. Zabilježene vrijednosti trajanja svake poruke metodologije SAM.....	57
Tablica 16. Zabilježene vrijednosti broja komunikacija metodologije SAM	58
Tablica 17. Konačne vrijednosti primjera izračuna metodologije SAM	59
Tablica 18. Zabilježene vrijednosti broja poruka metodologije CAR.....	60
Tablica 19. Zabilježene vrijednosti trajanja svake poruke metodologije SAM.....	61

Tablica 20. Konačne vrijednosti primjera izračuna broja operacija kojim kontrolor zračnog prometa može upravljati u smjeni	61
Tablica 21. Zabilježene vrijednosti trajanja zadatka transfera komunikacija.....	62
Tablica 22. Zabilježene vrijednosti trajanja zadatka komunikacija (instrukcija)	63
Tablica 23. Zabilježene vrijednosti trajanja zadatka razdvajanja	63
Tablica 24. Konačne vrijednosti primjera izračuna broja operacija kojim kontrolor zračnog prometa može upravljati koristeći radar	64
Tablica 25. Zabilježene vrijednosti trajanja koordinacije za ne radarsku kontrolu ...	65
Tablica 26. Konačne vrijednosti primjera izračuna broja operacija kojim kontrolor zračnog prometa može upravljati ne koristeći radar	65
Tablica 27. Prikaz alata za simulaciju radnog opterećenja	66
Tablica 28. Tablica težinskih bodova zadataka kontrolora zračnog prometa.....	67
Tablica 29. Prikaz unesenih podataka u alat za simulaciju radnog opterećenja	68
Tablica 30. Prikaz vrsta konflikta	70
Tablica 31. Prikaz revidiranih koraka i trajanja zadataka za sektore kontrole zračnog prometa	71
Tablica 32. Standardne vrijednosti korištene za primjer izračuna radnog opterećenja	72

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ **završni rad**
(vrsta rada)

isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom _____ **Analiza metoda izračuna kapaciteta zračnog prostora** _____, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 23.8.2022.

Student/ica:

Matej Soldo Jocić
(ime i prezime, potpis)