Utjecaj automatizacije na kapacitet sustava kontrole zračnog prometa

Jakšić, Zoran

Doctoral thesis / Disertacija

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:289947

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Zoran Jakšić, dipl. ing.

UTJECAJ AUTOMATIZACIJE NA KAPACITET SUSTAVA KONTROLE ZRAČNOG PROMETA

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2017.



University of Zagreb

FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC SCIENCES

Zoran Jakšić

IMPACT OF AUTOMATION ON THE AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEM CAPACITY

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2017



Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZORAN JAKŠIĆ, DIPL. ING.

UTJECAJ AUTOMATIZACIJE NA KAPACITET SUSTAVA KONTROLE ZRAČNOG PROMETA

DOKTORSKI RAD

Mentori:

izv. prof. dr. sc. Doris Novak

dr. sc. Milan Janić, znanstveni savjetnik

Zagreb, 2017.



University of Zagreb

FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC SCIENCES

Zoran Jakšić

IMPACT OF AUTOMATION ON THE AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEM CAPACITY

DOCTORAL THESIS

Supervisors:

Associate professor dr. sc. Doris Novak

dr. sc. Milan Janić, Research Professor

Zagreb, 2017

PODACI I INFORMACIJE O DOKTORANDU

1. Ime i prezime: Zoran Jakšić

2. Datum i mjesto rođenja: 16.12.1961., Zagreb

3. Naziv završenog fakulteta i godina diplomiranja: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 2006

INFORMACIJE O DOKTORSKOM RADU

1. Naziv doktorskog studija: Tehnološki sustavi u prometu i transportu

2. Naslov doktorskog rada: Utjecaj automatizacije na kapacitet sustava kontrole zračnog prometa

3. Fakultet na kojem je doktorski rad branjen: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

INFORMACIJE O DOKTORSKOM RADU

1. Datum prijave doktorskog rada: 11.10.2012.

2. Datum obrane teme doktorskog rada: 19. 01. 2017.

3. Mentori: Izvanredni profesor dr. sc. Doris Novak, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Hrvatska, dr.sc. Milan Janić, znanstveni savjetnik, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft, Nizozemska.

4. Povjerenstvo za ocjenu i obranu doktorskog rada:

   1. doc. dr. sc. Biljana Juričić, predsjednica

   2. izv. prof. dr. sc. Doris Novak, mentor, član

   3. dr. sc. Milan Janić, znanstveni savjetnik (Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft, Nizozemska), mentor, vanjski član

   4. prof. dr. sc. Sanja Steiner, član

   5. izv. prof. dr. sc. Fedja Netjasov (Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu), vanjski član

   6. prof. dr. sc. Sadko Mandžuka, zamjena

5. Lektor: Silvija Jurić

Sažetak

Neautomatizirani sustavi u kontroli zračnog prometa zahtijevaju veliko radno opterećenje kontrolora u smislu verbalne koordinacije, proračuna parametara leta, subjektivne procjene buduće pozicije zrakoplova, ručnog ispisivanja obrazaca o letu i drugoga. Svrha uvođenja automatiziranih sustava u kontrolu zračnog prometa jest povećanje kapaciteta sustava kontrole zračnog prometa smanjenjem radnog opterećenja kontrolora. Radom je obuhvaćena problematika utjecaja automatizacije na kapacitet sustava kontrole zračnog prometa, a time i na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa. Korištenjem znanstvene literature i provođenjem eksperimenta na simulatorskim uređajima koji se upotrebljavaju tijekom osposobljavanja kontrolora zračnog prometa, određen je utjecaj automatiziranih sustava na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa.

Na temelju toga definiran je model iskorištenja zračnog prostora u obliku ocjene radnog opterećenja i kapaciteta kontrolora zračnog prometa. Analizom rezultata provedenog eksperimenta, simulacija različitih scenarija neautomatiziranog i automatiziranog sustava, identificirane su prednosti i nedostaci automatiziranog sustava u kontroli zračnog prometa u odnosu na promjenu kapaciteta zračnog prostora uz minimalno zadržavanje iste razine učinkovitosti.

Ključne riječi: automatizirani sustavi, kapacitet sustava kontrole zračnog prometa, radno opterećenje

Abstract

Non-automated systems in the Air Traffic Control require high air traffic controller workload in terms of conducting the coordination with the aircrew and other controllers, calculation of flight parameters, subjective estimation of the future position of the aircraft, hand writing on the Air Traffic Control strips and other relevant activities. The purpose of the introduction of the automated systems is to increase the Air Traffic Control capacity by achieving the reduction of the controller workload. This dissertation describes the influence of the automation on the Air Traffic Control system as a whole, and by this, it includes the influence of automation on the controllers workload. By using the scientific literature and conducting the experiments on the Air Traffic Control simulators, used for the Air Traffic Controllers simulator training, the analysis of the influence of automated Air Traffic Control systems on the controller's workload is conducted.

Based on the abovementioned statements, the model for the airspace utilization was defined, with the model outputs expressed as quantitative values of the controller's workload and air traffic control capacity. With the model outputs analysed, it is possible to identify recommendations for the improvement of the Air Traffic Control system. The identification of the recommendations is based on the comparative analysis of the usage of the non-automated and automated system in air traffic control system environment. With the experiment results analysis and simulations of different exercises in non-automated and automated Air Traffic Control systems, the pros and cons of the usage of the Air Traffic Control automated systems is identified.

Key words: Automated systems, an Air Traffic Control capacity, workload.

SADRŽAJ

SADRŽAJ IV

1 UVOD 1

1.1 PREDMET ISTRAŽIVANJA 1
1.2 CILJ ISTRAŽIVANJA 2
1.3 PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA 4
1.4 ZNANSTVENE METODE 15
1.5 STRUKTURA DOKTORSKE DISERTACIJE 16

2 SUSTAV KONTROLE ZRAČNOG PROMETA 19

2.1 REGULATORNI OKVIR UPRAVLJANJA ZRAČNIM PROMETOM 19
2.2 OPERATIVNI OKVIR PRUŽANJA USLUGA U ZRAČNOJ PLOVIDBI 23
2.2.1 Upravljanje zračnim prometom 24
2.2.2 Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa 25
2.2.3 Upravljanje zračnim prostorom 27
2.2.4 Operativne usluge u zračnom prometu 28
2.3 OPIS USLUGA KONTROLE ZRAČNOG PROMETA 29
2.4 NADZORNA KONTROLA ZRAČNOG PROMETA 34
2.5 ELEMENTI NEAUTOMATIZIRANOG SUSTAVA KONTROLE ZRAČNOG PROMETA 35
2.6 ELEMENTI AUTOMATIZIRANOG SUSTAVA KONTROLE ZRAČNOG PROMETA 38
2.7 AUTOMATIZACIJA SUSTAVA KONTROLE ZRAČNOG PROMETA 41
2.7.1 Opis alata koji pomažu kontrolorima 43
2.7.1.1 Alati za detekciju konflikta 44
2.7.1.2 Pomagala za nadgledanje 45
2.7.1.3 Sustav za automatsku koordinaciju 46

3 UČINKOVITOST SUSTAVA KONTROLE ZRAČNOG PROMETA 48

3.1 KLJUČNO PODRUČJE PERFORMANSI – SIGURNOST I POKAZATELJI PERFORMANSI 49
3.2 KLJUČNO PODRUČJE PERFORMANSI – KAPACITET SUSTAVA KONTROLE ZRAČNOG PROMETA I POKAZATELJI PERFORMANSI 53
3.3 KLJUČNO PODRUČJE PERFORMANSI – TROŠKOVNA UČINKOVITOST I POKAZATELJI PERFORMANSI 55
3.4 KLJUČNO PODRUČJE PERFORMANSI – UTJECAJ NA OKOLIŠ I POKAZATELJI PERFORMANSI 57
3.5 LJUDSKI ČIMBENICI 60

4 ULOGA KONTROLORA ZRAČNOG PROMETA 65

4.1 RAD KONTROLORA U NEAUTOMATIZIRANOM SUSTAVU 67
4.2 RAD KONTROLORA U AUTOMATIZIRANOM SUSTAVU 70

5 METODOLOGIJA ZA OCJENU RADNOG OPTEREĆENJA I KAPACITETA KONTROLORA ZRAČNOG PROMETA 74

5.1 MODELI ZA IZRAČUNAVANJE KAPACITETA ZRAČNOG PROSTORA 75
5.1.1 Dosadašnji teorijski modeli 75
5.1.2 Utjecaj radnog opterećenja kontrolora na kapacitet zračnog prometa i kompleksnost zračnog prometa 81
5.1.3 Težinski faktori i izračun radnog opterećenja kontrolora 86
5.1.4 Model za izračunavanje kapaciteta zračnog prostora određen kvantifikacijom radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa 90

5.2 PRIMJENA METODOLOGIJE PROVOĐENJA EKSPERIMENTA 92
5.2.1 Scenariji odvijanja eksperimenta 92
5.2.2 Simulatorski uređaji 95
5.2.3 Definiranje radnih zadataka 96
5.2.4 Definiranje težinskih faktora radnih zadataka 97
5.2.5 Stavovi o procjeni učinkovitosti rada u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu kontrole zračnog prometa 99
5.3 OPIS I METODOLOGIJA PROVOĐENJA EKSPERIMENTA 104
5.3.1 Sudionici 104
5.3.2 Zračni prostor 104
5.3.3 Provedba eksperimenta 105
5.3.4 Rezime metodologije i njezina primjena u provođenju eksperimenta 116

6 ZAKLJUČAK 122

REFERENCE 125
ZNANSTVENA LITERATURA 132
STRUČNA LITERATURA 136
POPIS SLIKA 139
POPIS TABLICA 140
POPIS GRAFIKONA 141
PRILOG 1 OPIS VJEŽBE 142
PRILOG 2: PROCJENA UČINKOVITOSTI SUSTAVA UČINKOVITOSTI SUSTAVA PRI PROVEDBI DEFINIRANIH RADNIH ZADATAKA KONTROLORA ZRAČNOG PROMETA 149
1.1 STAV O RADNOM ZADATKU NADGLEDANJE IDENTIFICIRANOG ZRAKOPLOVA 150
1.2 STAV O RADNOM ZADATKU KOORDINACIJA 152
1.3 STAV O RADNOM ZADATKU STANDARDNA RADIOTELEFONSKA KOMUNIKACIJA 155
1.4 STAV O RADNOM ZADATKU OBRADA PODATAKA O LETU 157
1.5 STAV O RADNOM ZADATKU POTRAGA I UOČAVANJE KONFLIKATA 160
1.6 STAV O RADNOM ZADATKU NADGLEDANJE I RJEŠAVANJE RADARSKIH KONFLIKATA 163

1 UVOD

1.1 PREDMET ISTRAŽIVANJA

Provedeno istraživanje razmatra uporabu automatiziranih sustava u kontroli zračnog prometa i utjecaj na kapacitet zračnog prometa. Stalan rast zračnog prometa, koji je osobito ubrzan od sedamdesetih godina prošlog stoljeća deregulacijom zrakoplovnog tržišta u SAD-u, a zatim i u cijelom svijetu, dovodi do zagušenja i kašnjenja u svim podsustavima zračnog prometa: prijevozu, prihvatu i otpremi putnika i robe te kontroli zračnog prometa. Svaki podsustav zračnog prometa pokušava povećati kapacitete, pa su tako zrakoplovi sve veći i povećan im je dolet, zračne luke dograđuju zgrade za prihvat i otpremu putnika i robe te izgrađuju nove uzletno-sletne staze, a kontrola zračnog prometa uvodi automatizirane sustave.

Kontrola zračnog prometa kompleksan je sociotehnološki sustav u kojem su ljudi i strojevi povezani različitim strukturama i procesima. Svrha sustava kontrole zračnog prometa jest pružanje sigurnih, učinkovitih i ekonomičnih usluga svim korisnicima zračnog prostora. Unatoč tome, zbog sve većeg broja različitih korisnika dolazi do disproporcije u ponudi i potražnji kapaciteta u sustavu kontrole zračnog prometa koji rezultira sve većim kašnjenjima, koja uzrokuju povećanje troškova korisnicima, tj. zračnim prijevoznicima. Stoga, projekti, poput istraživanja upravljanja zračnim prometom u sklopu jedinstvenog europskog neba (engl. *Single European Sky ATM Research* – SESAR) u Europi i sljedeća generacija sustava zračnog prijevoza (engl. *The Next Generation Air Transportation System* ili *NextGen*) u SAD-u, uvode automatizaciju u sustav kontrole zračnog prometa radi povećanja kapaciteta i efikasnosti, uz zadržavanje postojeće ili čak povećanje sadašnje razine sigurnosti. Ciljevi zadani europskom regulativom zračnog prometa [1] uključuju poboljšanje sigurnosti za faktor 10, trostruko povećanje kapaciteta zračnog prostora, smanjenje štetnih učinaka na okoliš koje uzrokuje zračni promet za 10 % te smanjenje troškova upravljanja zračnim prometom za 50 %.

Valorizacijom implementacije automatiziranog sustava identificirat će se moguća poboljšanja postojećeg sustava kontrole zračnog prometa, tj. smanjenje radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa, a time i moguće povećanje kapaciteta kontrole zračnog prometa.

Cilj je istraživanja identificirati moguća poboljšanja ili nedostatke pri implementaciji automatiziranog sustava na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa.

Na temelju toga definiran je model iskorištenja zračnog prostora u obliku ocjene radnog opterećenja i kapaciteta kontrolora zračnog prometa te donošenja prijedloga poboljšanja sustava kontrole zračnog prometa dobivenog analizom neautomatiziranog i automatiziranog sustava kontrole zračnog prometa. Analizom rezultata provedenog eksperimenta, simulacija različitih scenarija neautomatiziranog i automatiziranog sustava, identificirane su prednosti i nedostaci automatiziranog sustava u kontroli zračnog prometa u odnosu na promjenu kapaciteta zračnog prostora uz minimalno zadržavanje iste razine učinkovitosti.

1.2 CILJ ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je provedeno radi dokazivanja osnovne hipoteze rada, a to je da automatizirani sustavi povećavaju kapacitet zračnog prostora uz zadržavanje iste učinkovitosti ostalih ključnih elemenata sustava, kao što su sigurnost, okoliš i isplativost ili povećanje te učinkovitosti. Pri definiranju hipoteze upotrijebljeni su ovi argumenti:

- uporaba automatiziranih sustava kontrole zračnog prometa koji posjeduju alate za pomoć u radu kontrolora, smanjuje radno opterećenje koje je izravno povezano s kapacitetom zračnog prostora,
- implementacija automatiziranih sustava u cjelokupni sustav kontrole zračnog prometa pozitivno utječe na percepciju – procjenu učinkovitosti kontrolora te povećava sigurnost zračnog prometa,
- automatizirani sustavi omogućuju kvalitetnije definiranje kapaciteta sektora i pripadajućih sektorskih konfiguracija zračnog prostora, čime se podiže razina učinkovitosti svih ključnih elemenata sustava.

Na temelju argumenata provedena je analiza i valorizacija implementacije određenog automatiziranog sustava kontrole zračnog prometa te komparativna analiza u odnosu na neautomatizirani sustav kontrole zračnog prometa. Tako su identificirana moguća poboljšanja i nedostaci pri implementaciji automatiziranog sustava na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa. Valorizacijom implementacije automatiziranog sustava identificirana su moguća poboljšanja postojećeg sustava kontrole zračnog prometa, tj. smanjenje radnog

opterećenja kontrolora zračnog prometa, a time i utjecaj na povećanje kapaciteta kontrole zračnog prometa.

Proveden je eksperiment na temelju različitih scenarija rada neautomatiziranog i automatiziranog sustava te su identificirane prednosti i nedostaci automatiziranog sustava u kontroli zračnog prometa. Oni su prikazani prema povećanju ili smanjenju kapaciteta zračnog prostora uz minimalno zadržavanje iste razine učinkovitosti te je definiran model iskoristivosti zračnog prostora. Scenariji se razlikuju u kompleksnosti operacija zračnog prometa, a u razradi i kreiranju parametara primijenjene su empirijske, simulacijske i matematičke metode.

Sa stajališta znanstvene metodologije, razmatranjem relevantnih znanstvenih istraživanja doprinos u polju *Tehnologija prometa i transport* jest evaluacija neautomatiziranog i automatiziranog sustava kontrole zračnog prometa. Primjenom znanstvenoistraživačkih metoda ostvaren je doprinos u donošenju teorijskih stajališta i zaključaka koji su reprezentativni i moraju biti primjenjivi u praksi. Znanstveni doprinos doktorske disertacije sastoji se u valorizaciji implementacije automatiziranog sustava kontrole zračnog prometa te njegove usporedbe s neautomatiziranim sustavom. Valorizacijom implementacije automatiziranog sustava identificirana su moguća poboljšanja postojećeg sustava kontrole zračnog prometa koja se primarno odnose na smanjenje radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa. Tako je moguće ostvariti povećanje kapaciteta kontrole zračnog prometa. Rezultati ove disertacije su aplikativni te su usmjereni na primjenu novih znanja radi ostvarenja praktičnih ciljeva pa se tako mogu primijeniti i u kontekstu modeliranja podloge iskoristivosti zračnog prometa za odabrani prometni uzorak. Doprinos je ovog rada i usporedba rada kontrolora zračnog prometa u dva potpuno različita sustava koja se trenutačno rabe u kontroli zračnog prometa, neautomatiziranog koji se bazira na obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova te automatiziranog u kojem se podaci o letu zrakoplova direktno unose u sam sustav. Tako je bilo moguće usporediti i detektirati čimbenike koji su bolji u jednom ili drugom sustavu. Konačno, rezultati istraživanja mogu se iskoristiti i u edukativne svrhe u obliku obogaćenja i nadogradnje postojećih nastavnih programa suvremenim spoznajama za profilirajuće kolegije preddiplomskih i diplomskih studija, s naglaskom na korištenje automatiziranih sustava.

1.3 PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Tema automatizacije sustava kontrole zračnog prometa nije u cijelosti obrađena u znanstvenoj i stručnoj literaturi, pri čemu se u relevantnoj literaturi često napominju mogući problemi koji će se pojaviti intenzivnim korištenjem automatiziranih sustava u zračnom prometu i operatora, pilota i kontrolora zračnog prometa koji će se koristiti tim sustavima. Za potrebe istraživanja provedeno je prikupljanje podataka iz primarnih i sekundarnih izvora. Primarni su izvori podataka objavljeni znanstveni radovi koji su poslužili kao polazna točka za istraživanje. Sekundarni su izvori podataka stručni izvještaji, analize, studije i priručnici koji se baziraju na primarnim izvornicima. Postoji više razloga za uvođenje automatizacije u sustav kontrole zračnog prometa; jedan se od njih odnosi na značajan tehnološki i navigacijski razvitak sustava koji je u stanju u realnom vremenu pružiti točnije, preciznije i pouzdanije podatke o položaju svakog zrakoplova, njegove planove i namjere te razinu, brzinu i odvijanje svakog pojedinačnog leta zrakoplova. Ostale prednosti automatizacije očituju se u povećanju sigurnosti zračnog prometa, isplativosti (smanjivanjem ukupnih troškova), povećanju kapaciteta zračnog prostora, smanjenju štetnih učinaka na okoliš te povećanju putničkog komfora.

Automatizirani sustav opremljen je alatima koji pomažu kontrolorima u predviđanjima, rješavanju problema i donošenju odluka (predvidjeti, rješavati probleme i donijeti odluke). Time se omogućuje kretanje većeg broja zrakoplova u istom zračnom prostoru uz zadržavanje iste razine sigurnosti ili njezino povećanje. Dugoročni trendovi predviđaju porast broja informacija o svakom zrakoplovu, uz ukupno smanjivanje kašnjenja i normi razdvajanja, smanjivanje udaljenosti između zrakoplova u svim fazama leta, što dovodi do toga da će kontrolori imati manje vremena za obradu podataka o pojedinačnom zrakoplovu. Prema tome, uz pravilno korištenje, automatizacija sustava može biti veliko unaprjeđenje u radu. Njezinim uvođenjem povećava se učinkovitost, unaprjeđuje sigurnost i pomaže u sprječavanju pogrešaka. Općenito, povećava se pouzdanost cijelog sustava kontrole zračnog prometa.

Početni oblici automatizirane pomoći obuhvatili su prikupljanje podataka i njihovu automatsku pohranu te mogućnost selekcije prikupljenih podataka i njihovo prikazivanja kontroloru. Kasniji razvoj uključivao je upotrebu prikupljenih podataka za izradu proračuna, uspoređivanje izvora informacija, obavljanje provjera i ekstrapolaciju u obliku predviđanja.

Daljnjim razvojem sustav je automatski detektirao odstupanje u letu zrakoplova od planirane ili zadane rute, odstupanje putanje leta zrakoplova od zadane visine, približavanje zrakoplova području s ograničenjem letenja, narušavanje minimalne sigurne visine i ulazak nenajavljenog zrakoplova u područje odgovornosti. Također, automatizacija sustava dopušta obavljanje zadatka potrage i uočavanje konflikata. Sve relevantne informacije dostupne su kontroloru u svakom trenutku.

Relevantna znanstvena literatura predlaže različite koncepte uporabe automatskih sustava u upravljanju zračnim prometom. Chaloulos [2] predlaže koncept rješavanja konflikata između zrakoplova (engl. *conflict resolution*) u vidu automatiziranog sustava pod nazivom „*Subliminal Control*“. Sustav radi paralelno i neovisno od sustava kontrole zračnog prometa, uočava potencijalno konfliktne situacije do 15 minuta prije narušavanja minimalnog razdvajanja, kategorizira ih te pokušava razriješiti primjenom posebno razvijenog algoritma. Zrakoplovima u letu, koji su nalaze u konfliktnoj situaciji, prenose se upute o podešavanju brzine leta. Predviđeno podešavanje brzine leta iznosi od -12 % do +6 % od stvarne brzine leta. Korekcija u brzini nije uočljiva pilotima ni kontrolorima, ali je dovoljna za osiguranje uspostave minimalnog potrebnog razdvajanja između zrakoplova. Koncept rješava većinu konflikata unutar definiranog volumena zračnog prostora, čime se smanjuje radno opterećenje kontrolora. „*Subliminal Control*“ koncept zamišljen je kao koristan i jednostavno provediv način povećanja kapaciteta sustava kontrole zračnog prometa, međutim, u praksi je teško ostvariv. Postojeći sustav upravljanja i vođenja zrakoplova (engl. *flight management system* ili *FMS*) zahtijeva potvrdu pilota za svaku promjenu brzine. Također, promjenom brzine leta zrakoplova mijenja se indeks troškova (engl. *cost factor*) koji prikazuje omjer cijene, vremena trajanja leta i operativnih troškova zrakoplova. Uvođenjem koncepta 4D putanja leta (engl. *4D Business trajectory*), promjenom brzine zrakoplova narušit će se odobreni planovi leta zrakoplova koji su vrlo precizni i dopuštaju vremensku toleranciju od ±30 s. Prijedlogom koncepta „*Subliminal Control*“, u kojem bi automatizirani sustav provodio neprimjetnu promjenu brzine leta zrakoplova, pilotima i kontrolorima bi se smanjila percepcija o položaju zrakoplova u prostoru. Za kontrolore bi to značilo gubitak nadzora nad odvijanjem zračnog prometa i ograničavajuću mogućnost razdvajanja zrakoplova koji se u neposrednoj budućnosti mogu naći u konfliktu. Vremenski je horizont od 15 minuta predugačak, većina sektora u europskim centrima oblasne kontrole takve je veličine da ga moderni mlazni zrakoplovi prelete u vremenskom intervalu od 12 do 15 minuta. To znači da bi automatizirani sustav morao izdavati upute zrakoplovima o korekciji brzine dok se oni

nalaze u drugom sektoru. Prema tome, s obzirom na predviđenu obvezu [3] pilota da prijave promjenu brzine od ±5 % leta zrakoplova nadležnoj jedinici kontrole zračnog prometa, predložena promjena brzina leta zrakoplova je neprovediva, pa tako i cijeli „*Subliminal Control*“ koncept.

Govorni kanali za razmjenu podataka između pilota i kontrolora sve su više zagušeni i radi poboljšanja učinkovitosti komunikacije treba ih nadopuniti podatkovnim komunikacijama između kontrolora i pilota (engl. *Controller–pilot data link communications* ili *CPDLC*). Glavnim planom upravljanja europskim zračnim prometom koji je nastao u fazi definiranja projekta SESAR na temelju Uredbe komisije [4], predviđa se brzo uvođenje usluga podatkovnih veza za dopunjavanje govorne komunikacije između pilota i kontrolora u fazi leta. Usluge podatkovnih veza uvest će se u dijelove zračnog prostora u jedinstvenom europskom nebu – funkcionalne blokove zračnog prostora (engl. *functional airspace block*) – počevši s gornjim zračnim prostorom iznad razine leta 285. Uspostava usluge podatkovnih komunikacija između kontrolora i pilota zahtijeva velika financijska ulaganja na strani pružatelja operativnih usluga u zračnom prometu i zrakoplovnih kompanija. Europska komisija predviđa da najmanje 75 % letova mora imati opremu za podatkovnu komunikaciju da bi se poboljšala učinkovitost komunikacije. No i pored takvih ulaganja, financijskih i ljudskih resursa, nije sigurno da će se postići predviđeno poboljšanje učinkovitosti komunikacije između kontrolora i pilota podatkovnim komunikacijama. Europska agencija za sigurnost zračnog prometa EASA na zahtjev Europske komisije pripremila je stručno izvješće o identifikaciji problema koji se odnose na implementaciju usluge komunikacija između kontrolora i pilota preko podatkovnih veza (engl. *Controller–pilot data link communications* ili *CPDLC*) [5]. Povod za to bila je prijava Oblasnog Centra Maastricht krajem 2008. o nenormalnom broju nepravilnosti u radu koji je deset puta veći od predviđenih performansi raspoloživosti. Tehnički problemi dijele se u tri glavne kategorije: prekid pružatelja usluge (engl. *provider abort*), korisnički prekid (engl. *user abort*) i kašnjenje u prijenosu poruke (engl. *transmission delays*). Prekid pružatelja usluge nastaje kada pružatelj usluga ima kontinuiran gubitak komunikacija između kontrolora i pilota preko podatkovnih veza duži od šest minuta, a rezultira povratkom na glasovnu komunikaciju. Korisnički prekid nastaje u slučaju prekida veze u zraku ili na zemlji, a rezultira povratkom na glasovnu komunikaciju. Kašnjenje u prijenosu poruke odgovara situaciji u kojoj dolazi do kašnjenja prijenosa poruke, ali bez prekoračenja vremenskog parametra ne nastupa Prekid pružatelja usluge. Kašnjenje

prijenosa ima operativni utjecaj jer se ne mogu prenositi instrukcije za razdvajanje zrakoplova i ostale informacije koje mogu imati utjecaj na sigurnost zračnog prometa.

Dva su pružatelja usluge za podatkovnu komunikaciju između kontrolora i pilota, SITA i AIRNC. Predviđena dostupnost podatkovne mreže za oba pružatelja iznosi 99,9 %, a gubitak dostupnosti trebao bi iznositi 0,01 %, što iznosi najviše 1 prekid pružatelja usluge tijekom 100 sati rada. Izmjereni prekidi pružatelja usluge tijekom 2013. godine iznose 34 na 100 sati, s povećanim prekidima tijekom ljetne sezone, kasnijim unaprjeđenjima prekidi su smanjeni na 10 prekida na 100 sati, što i dalje predstavlja 10 puta više od previđenih vrijednosti.

Za potrebe izrade stručnog izvješća [5] obavljeni su razgovori s kontrolorima iz oblasnih centara gdje se upotrebljava podatkovna komunikacija između kontrolora i pilota (Skygiude i Maastricht). Istraživanje je pokazalo da će razina radnog opterećenja postati neprihvatljiva ako više zrakoplova bude opremljeno podatkovnim vezama za komunikaciju. Povjerenje kontrolora u podatkovnu vezu narušeno je, većina rutinskih poruka koje se razmjenjuju putem mreže odnose se na promjenu frekvencije, rutne instrukcije i promjenu razine leta. Identificirani su mogući sigurnosni problemi koji se događaju tijekom korištenja:

- dvosmislenost namjere pilota
- povećano radno opterećenje s potrebom za uspostavu glasovne komunikacije u slučaju održavanja minimalnih norma razdvajanja
- neizvjesnost oko uspješnosti podatkovne komunikacije između kontrolora i pilota
- ako dođe do gubitka podatkovne komunikacije tijekom interakcije između kontrolora i pilota, vraća se na glasovnu komunikaciju i utvrđuje se koji se dio poruke mora ponoviti
- ako dođe do gubitka podatkovne komunikacije tijekom prebacivanja zrakoplova na drugi sektor, može doći do ugrožavanja.

Iz toga se može razaznati problematika implementacije podatkovne komunikacije između kontrolora i pilota koja će zahtijevati korištenje značajnih resursa, kako ljudskih, tako i financijskih, uz ograničenu mogućnost razmjene poruka između kontrole i pilota, samo poruke koje nisu sigurnosno i vremenski osjetljive.

Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo američkog Ministarstva prometa (engl. *Federal Aviation Administration FAA*) razvija program „Sljedeća generacija sustava zračnog

prijevoza“ (engl. *Next Generation Air Transportation System NextGen*). Taj bi program trebao povećati sigurnost i učinkovitosti nacionalnog pružatelja operativnih usluga u zračnom prometu (engl. *National Airspace System NAS*). U projektu NextGen predlaže se prelazak sa zemaljski baziranog sustava za nadzor (radarski senzori) na satelitski bazirani nadzor pomoću satelitskog nadzornog sustava (engl. *Global Positioning System* GPS). Predviđa se skraćenje ruta, ušteda vremena leta i goriva, smanjenje prometnih zagušenja i s njima povezanih troškova te povećanje kapaciteta sustava kontrole. Osnova projekta NextGen sustav je automatskog ovisnog nadzora (engl. *Automatic Dependent Surveillance ADS*). To obuhvaća automatsko slanje i primanje podataka koji se odnose na identifikaciju zrakoplova, njegovu poziciju i, prema potrebi, dodatne podatke preko podatkovne veze. Za primjenu ADS-a potrebno je instalirati mrežu zemaljskih radiopostaja, opremiti zrakoplove ADS-om koji su kalibrirani prema određenom standardu te integriranje ADS podataka u automatizirani sustav kontrole zračnog prometa.

Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo američkog Ministarstva prometa planira potrošiti preko četiri milijarde američkih dolara za izgradnju mreže zemaljskih radiopostaja i opremanje automatiziranog sustava kontrole [6]. Troškovi opremanja zrakoplova ADS-om nisu poznati, ali FAA procjenjuje da će biti potrebno opremiti približno 18 000 komercijalnih zrakoplova i više od 223 000 zrakoplova generalne avijacije. U stručnom izvješću glavnog tajnika američkog Ministarstva prometa [6] navodi se da je unatoč postavljanju velikog broja zemaljskih ADS radiopostaja „kontrolorsko i pilotsko korištenje ADS podataka putem nacionalnog pružatelja operativnih usluga u zračnom prometu još godinama daleko“. Postoji nekoliko razloga za to. Do kraja travnja 2014. godine FAA je završila s instalacijom 634 radiopostaje, no upotrebljava se samo manji dio predviđenih mogućnosti ADS-a zbog toga što nije potpuno obavljena integracija ADS podataka u automatizirani sustav kontrole zračnog prometa. Također, zbog malog broja zrakoplova koji su opremljeni ADS sustavom, nije moguće provesti operativno testiranje automatiziranih sustava kontrole zračnog prometa ondje gdje su oni već instalirani. U periodu od 2010. do 2013. godine FAA je provela seriju testova na ADS opremljenim sustavima kontrole. Tada su uočeni problemi s prikazivanjem ADS podataka na kontrolorskim pokazivačima, neki ciljevi uopće nisu bili prikazani, a neki su prikazani na krivim pozicijama. Sve je to moglo rezultirati gubitkom propisanog razdvajanja između zrakoplova.

U stručnom izvješću [6] navodi se da Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo američkog Ministarstva prometa nije završila izradu potrebnih sigurnosnih certifikata za centre kontrole zračnog prometa, ti su certifikati potrebni za korištenje ADS podataka u radarski nadziranim područjima kad dođe do otkaza radarske opreme. FAA još mora razviti i primijeniti pravila rada za kontrolora kada se koriste isključivo ADS podacima za razdvajanje zrakoplova, no ta pravila rada ne mogu biti pripremljena dok ne budu obavljena operativna testiranja i riješeni svi uočeni problemi. Poseban problem predstavlja zaštita ADS podataka od „cyber“ napada. Naime, po svojoj prirodi ADS je nezaštićen sustav u kojem se podaci ne kriptiraju. To može dovesti do napada na cijeli sustav koji mogu rezultirati slanjem krivih podataka korisnicima ADS sustava. FAA mora razviti zaštitu podataka.

Zbog velikih troškova ugradnje ADS sustava, zrakoplovne kompanije nevoljko investiraju u opremanje zrakoplova, osobito jer je trenutačno moguće samo djelomično korištenje usluga. Primijećeno je da se piloti zrakoplova generalne avijacije koji imaju kompletnu ADS opremu, koriste dobivenim podacima za letenje te je zabilježeno 8 slučajeva nenamjernog ulijetanja u zone s ograničenjem letenja zbog toga što su podaci bili krivi ili krivo interpretirani [6].

Od ADS-a se očekuje povećanje sigurnosti, kapaciteta i učinkovitosti nacionalnog pružatelja operativnih usluga u zračnom prometu, no Savezna uprava za civilni zračni promet još nije utvrdila konačnu cijenu sustava. Također, nije utvrđeno kada će sustav biti potpuno implementiran te koje će biti njegove mogućnosti i koliko će koristi u radu s njim imati piloti i kontrolori.

U znanstvenom članku Corver [7] je proveo usporedbu sustava koji se koristi fizičkim obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova i automatiziranih sustava kontrole zračnog prometa koji ne zahtijevaju sustav fizičkih obrazaca te je analizirao vrste ljudskih pogrešaka koje mogu nastati. Automatizacija može promijeniti informaciju koja se prenosi putem sučelja čovjeka i sustava, bilo da dođe do toga da se neke informacije ne prenesu uopće ili da se promijeni smisao prenijete informacije. Najveći se dio informacija prenosi iz sustava do čovjeka.

Prema Netjasovu [8] ljudske su pogreške prirodan fenomen u ljudskom ponašanju. Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva definirala je pet kategorija pogrešaka:

proceduralne pogreške, komunikacijske pogreške, pogreške u nedovoljnoj osposobljenosti, pogreške operativnih odluka i pogreške namjernog nepridržavanja [9].

U znanstvenom članku Corver [7] je usporedio dva sustava u dva oblasna centra, Ženeva i Zürich. Oblasni je centar u Ženevi rabio automatizirani sustav koji se ne koristi fizičkim obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova (engl. *stripless system*), a u oblasnom centru u Zürichu korišten je konvencionalni neautomatizirani sustav koji se koristi fizičkim obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova (engl. *strip system*). Analiza je trebala identificirati koje bi se ljudske pogreške mogle umanjiti te prepoznati nove vrste ljudskih pogrešaka, pogotovo onih koje bi mogle biti opasne i koje mogu nastati kao posljedica promjena. Trebalo je odrediti i kako automatizirani sustavi pomažu kontrolorima u rutinskim i nerutinskim poslovima.

Na temelju razgovora s kontrolorima i inženjerima koji rade u oba sustava te tijekom promatranja (engl. *over the shoulder observations*) i analize kognitivnog radnog opterećenja u oba sustava, napravljena je usporedba i analizirani su dobiveni rezultati po radnim zadacima detekcije zrakoplova, uočavanja i analize konflikta te koordinacije, obrade i unosa podataka o letu. U automatiziranom sustavu, podaci o zrakoplovu nalaze se na pokazivaču prometne situacije te je detekcija i identifikacija lakša i brža uz manju mogućnost pogreške. Primjenom sustava koji se ne koristi fizičkim obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova, a koji se upotrebljava u konvencionalnom neautomatiziranom sustavu, prikaz prometne situacije odvija se samo na pokazivaču te je potrebno pravovremeno i precizno unošenje svih podataka o zrakoplovu. Pritom je moguća pogreška pri unosu podataka u sustav. Uporabom alata za detekciju konflikata moguće je ranije i brže uočiti konflikte te pronaći učinkovitije načine za njihovo rješavanje. Potrebno je napomenuti da se alatom za detekciju konflikta ne mogu uočiti svi konflikti između zrakoplova, posebno u uvjetima složenih meteoroloških situacija, kao što su jaki vjetrovi, zato je potrebno da kontrolori temeljito razumiju prometnu situaciju jer krajnja odgovornost za uočavanje svih konflikata ostaje na njima. Uporabom alata za koordinaciju, obradu i unos podataka o letu putem sustava bitno se mijenja način obavljanja koordinacije i ažuriranje podataka o letu. Više se ne upotrebljava telefonska koordinacija te se smanjuje mogućnost pogreške zbog krivog razumijevanja ili prijenosa poruke. Koordinacija, obrada i unos podataka o letu brže je i jasnije te svi koji su uključeni u postupak imaju jasno razumijevanje dogovorenih podataka. Unošenjem podataka u sustav svi sektori kroz koje leti zrakoplov, dobivaju informaciju o

svim dogovorenim promjenama koje se odnose na taj let te nije potrebno svaki sektor posebno obavijestiti o promjenama. Greške se mogu pojaviti zbog pogrešnog unosa podataka na početku koordinacije. Također, važno je pravovremeno i precizno unošenje svih dogovorenih podataka u sustav. Nadgledanje zrakoplova automatiziranim sustavom koji se ne koristi fizičkim obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova, kontrolorima stavlja na raspolaganje alate za nadgledanje, zato je vizualno uočavanje odstupanja od odobrene putanje brže. Tako je povećana sveukupna sigurnost zračnog prometa. Također, za prosljeđivanje uputa i odobrenja pilotima primjenjuje se posebna radna metoda: „potvrdi dok govoriš“ (engl. *click as you speak*). Primjenom te metode kontrolori odmah unose u sustav uputu i odobrenje koje je dano zrakoplovu. Postoji više razloga za primjenu te metode: trenutačno ažuriranje sustava izravnim unošenjem podataka, sustav može izvršiti proračune, moguće je trenutačno upozoriti kontrolora o mogućem narušavanju normi razdvajanja koje bi se moglo dogoditi ako zrakoplov izvrši zadanu uputu/odobrenje, i drugo.

Rezultati usporedbe između dvaju sustava kontrole zračnog prometa, sustav koji se ne koristi fizičkim obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova (upotrebljava se u automatiziranom okruženju) i sustav koji se koristi fizičkim obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova (upotrebljava se u neautomatiziranom okruženju), pokazuju da je ukupna mogućnost nastajanja pogrešaka smanjena upravo u automatiziranom okruženju. Pogreške u komunikaciji uzrokovane pogrešnim razumijevanjem poruke ili krivom interpretacijom prenesene poruke smanjene su. Korištenjem alata za detekciju konflikata bitno je poboljšana mogućnost pravovremenog uočavanja konflikata između zrakoplova. Došlo je i do pomaka pogrešaka koje nastaju zbog krivog razumijevanja i prenošenja poruka na pogreške koje se događaju zbog krivog unosa podataka u sustav, no zbog nepostojanja fizičkih obrazaca za upisivanje podataka o letu zrakoplova u automatiziranom sustavu, postoji mogućnost kasnog uočavanja zrakoplova koji ulazi u sektor što može uzrokovati kasnu detekciju konflikata između zrakoplova. Analiza kognitivnog radnog opterećenja u oba sustava pokazala je da u automatiziranom sustavu dolazi do smanjenja radnog opterećenja kontrolora pri različitim radnim zadacima [7]. Ukupno smanjenje radnog opterećenja ovisi o raznim čimbenicima. Potrebno je provesti dodatna mjerenja u simuliranom okružju radi utvrđivanja mogućnosti smanjivanja radnog opterećenja u automatiziranom sustavu.

Wickens [10] je u knjizi definirao automatizaciju kao primjenu uređaja ili sustava za realizaciju (djelomično ili potpuno) funkcija ili aktivnosti koje su prethodno obavljali

(djelomično ili potpuno) ljudski operateri. Prema tome, razlozi za uvođenje automatizacije u sustav kontrole zračnog prometa jesu potreba za unaprjeđenjem sigurnosti i učinkovitosti sustava te raspoloživost novih tehnologija za pomoć u radu kontrolora zračnog prometa. Automatizacija ima više razina koji ovise o stupnju primjene automatizacije u izvršenju neke funkcije ili aktivnosti kontrolora zračnog prometa. Često se upotrebljava skala za procjenu razine automatizacije koja ima deset razina automatizacije, koju je u znanstvenom članku predložio Wickens [11]. Uprava za civilni zračni promet V. Britanije u stručnom članku [12] tvrdi da se primjenom automatizacije u sustavu kontrole zračnog prometa značajno mijenja način rada kontrolora zračnog prometa. Posljedica je toga i promjena kapaciteta zračnog prostora koji se može povećati dijeljenjem zračnog prostora u manje dijelove - sektore. Sektori su definirani geografskim i visinskim granicama. Taj način povećanja kapaciteta može se primjenjivati do određene granice, no induciranjem dodatnih radnih zadataka daljnja sektorizacija u jednom trenutku postaje kontraproduktivna. U doktorskoj disertaciji Majumdar [13] obrazlaže kako se prilikom izlaska zrakoplova iz jednog sektora i ulaska u sljedeći sektor obavljaju dodatni zadaci radiotelefonske komunikacije i koordinacije te se time povećava ukupno radno opterećenje kontrolora.

Uprava za civlini zračni promet V. Britanije [12] zaključuje kako automatizirani sustavi, kada se pravilno implementiraju i rabe, uz povećanje sigurnosti smanjuju radno opterećenje kontrolora, a time povećavaju kapacitet zračnog prostora i aerodroma.

U konceptu operacija zasnovanih na putanjama zrakoplova (eng. *Trajectory Based Operations – TBO*), putanje zrakoplova definirane su kao nizovi 4D točaka (3D + vrijeme). Takav koncept omogućuje veću predvidljivost buduće pozicije zrakoplova i uočavanje konflikta između zrakoplova unaprijed. Uz to se konflikti mogu razrješavati na strateškoj razini odabirom putanja bez konflikata. U doktorskoj disertaciji Radišić [14] zaključuje kako se operacijama zasnovanim na putanjama smanjuje broj konflikata koje kontrolori trebaju razriješiti na taktičkoj razini, a time se smanjuje kompleksnost zračnog prometa i radno opterećenje kontrolora.

Kolaborativni način donošenja odluka (engl. *Collaborative decision-making – CDM*) jest koncept u kojem se sve odluke u sustavu upravljanja zračnim prometom, osim taktičkih odluka kontrole zračnog prometa, temelje na razmjeni svih informacija između svih korisnika usluga. Razmjena informacija između korisnika radi kolaborativnog načina donošenja odluka, trebala bi se provoditi informatičkom mrežom razmjene podataka (engl. *System Wide*

Information Management – SWIM). Korištenjem mreže za razmjenu podataka osigurava se korisnicima dobivanje pravovremenih i točnih informacija neophodnih za planiranje operacija, povećanje predvidljivosti u slučaju nepredviđenih događaja te optimalna iskorištenost zračnog prostora.

Sustav za izbjegavanje sudara u zraku (engl. *Airborne collision avoidance system – ACAS*), autonomni automatizirani sustav u zrakoplovu koji radi na temelju signala Sekundarnog nadzornog radara (engl. *Secondary surveillance radar – SSR*) i ne ovisi o zemaljskoj opremi, a pruža informacije pilotu o mogućim konfliktnim situacijama sa zrakoplovima opremljenima SSR transponderom. Sustav za izbjegavanje sudara šalje upite svim zrakoplovima koji se nalaze u okolini i koji su opremljeni SSR transponderima i na temelju primljenih odgovora određuje kosi položaj, visinu i smjer zrakoplova koji se nalazi u okolici. Iz nekoliko uzastopnih odgovora ACAS izračunava vrijeme za dostizanje najbliže točke prilaza (engl. *Closest Point of Approach – CPA*) i to proračunano vrijeme glavni je parametar za izdavanje upozorenja sustava za izbjegavanje sudara u zraku.

Kapacitet sustava kontrole zračnog prometa izražava se kao maksimalan broj zrakoplova koji se mogu prihvatiti i uslužiti od odgovarajuće jedinice kontrole zračnog prometa tijekom određenog vremenskog perioda. U znanstvenom članku Janić [15] tvrdi kako tijekom 60 minuta koliko se mjeri kapacitet, valja imati u vidu količinu zahtjeva za uslugom, različite tipove zrakoplova i pripadne pogonske motore (mlazni i turbomlazni), karakteristike upravljačkih zadaća kontrolora zračnog prometa koje se prenose putem radiostanice te raspored radionavigacijskih sredstava/točaka za prostornu navigaciju i opremu koja je na raspolaganju kontrolorima zračnog prometa i o kojoj ovisi vrsta usluge koja se može pružiti korisnicima.

Kao referentni podatak pri određivanju kapaciteta sustava kontrole zračnog prometa upotrebljava se radno opterećenje kontrolora zračnog prometa. U doktorskoj disertaciji Majumdar [13] tvrdi kako je to najveće ograničenje kapaciteta sustava. Postoje različite definicije radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa u znanstvenoj literaturi. Majumdar [13] je opisao radno opterećenje kao mentalni i fizički napor potreban za kontrolu zračnog prometa. Radno opterećenje kontrolora zračnog prometa može se mjeriti izravno ili neizravno. Izravna metoda obuhvaća mjerenja raznih reakcija ljudskog organizma na uvjete povećanog stresa koji je induciran povećanjem radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa. Neizravna metoda mjerenja radnog opterećenja podrazumijeva provođenje ankete

tijekom obavljanja dužnosti i nakon nje radi subjektivne procjene radnog opterećenja od strane kontrolora. U stručnoj studiji provedenoj u *Europskoj agenciji za sigurnost zračne plovidbe* [16] procijenjeno je, prema algoritmu za određivanje kapaciteta sustava zračne kontrole, radno opterećenje pojedinog kontrolora u iznosu od ukupno 88 zadataka. Takvi zadaci uključuju obradu podataka o letu, komunikaciju s pilotima i koordinaciju sa susjednim jedinicama kontrole zračnog prometa. Svi zadaci imaju definirano vrijeme trajanja izraženo u sekundama, a ukupna se vremena zbrajaju. Ako ukupno trajanje rada kontrolora unutar jedinice od 60 minuta (3600 sekundi) prijeđe razinu od 70 % navedenog vremena, odnosno, ako ukupno iznosi 42 minute (2520 sekundi), može se govoriti o preopterećenosti kontrolora. Nakon preopterećenja ne može se prihvatiti više nijedan zrakoplov.

Na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa utječe nekoliko čimbenika. Jedan je od najvažnijih vrsta radnog okruženja (engl. *enviroment*) koje može biti nadzorno ili proceduralno. U nadzornom okruženju za razdvajanje zrakoplova upotrebljavaju se podaci koji dolaze s nadzornih senzora, računalno se obrađuju i prezentiraju kontrolorima zračnog prometa na pokazivačima prometne situacije. Kapacitet sektora u nadzornom radnom okruženju veći je jer su minimalne norme razdvajanja između zrakoplova manje nego u proceduralnom radnom okruženju. Drugi bitan čimbenik koji utječe na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa jest kompleksnost zračnog prometa. Kompleksnost nije isto što i gustoća zračnog prometa, međutim, izvjesno je da broj zrakoplova u sektoru (također poznat kao gustoća zračnog prometa, prometno opterećenje ili brojanje prometa) izravno oblikuje kompleksnost zračnog prometa. U znanastvenim člancima Kirwan [17] i Mogford [18] tvrde kako taj broj nije jedini pokazatelj razine kompleksnosti, pogotovo ako netko želi usporediti različite sektore zračnog prostora. Brojne znanstvene studije pokazuju čvrstu povezanost radnog opterećenja kontrolora i kompleksnosti. U znanstvenim člancima Christien [19] i Majumdar [20] tvrde kako zajedničko mišljenje istraživača koji proučavaju sustav kontrole zračnog prometa i operativne zajednice jest da kompleksnost zračnog prometa određuje radno opterećenje kontrolora, koje opet predstavlja osnovni ograničavajući čimbenik pri povećanju kapaciteta sektora. Mogford [18] tvrdi da kompleksnost generira radno opterećenje, a Athenes [21] zaključuje kako je funkcionalan odnos kompleksnosti i radnog opterećenja uglavnom nepoznat. Majumdar i Polak [22] tvrde da radno opterećenje kontrolora zračnog prometa predstavlja osnovni ograničavajući faktor pri povećanju kapaciteta sektora. Stručna studija Europske organizacije za sigurnost zračne plovidbe [16] zaključuje da se kapacitet sektora pritom može definirati kao najveći broj zrakoplova u jedinici vremena koji se mogu

primiti u sektor u granici prihvatljivog radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa. Prema tome, može se zaključiti da postoji višestruka povezanosti između kompleksnosti, radnog opterećenja i kapaciteta. Kao što je već napomenuto, tema automatizacije u kontroli zračnog prometa u znanstvenoj literaturi tek je djelomično obrađena. Corver [7] je usporedio sustave koji se koriste fizičkim obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova i automatiziranih sustava kontrole zračnog prometa koji ne zahtijevaju sustav fizičkih obrazaca. To je jedno od rijetkih istraživanja koje je provedeno na automatiziranim i neautomatiziranim sustavima, ali ono se nije bavilo povezanošću između radnog opterećenja i utjecaja tog opterećenja na kapacitet sustava kontrole zračnog prometa. Svrha istraživanja bila je identifikacija ljudskih pogrešaka koje bi se mogle umanjiti u automatiziranom sustavu. Informacije o neautomatiziranim i automatiziranim sustavima prikupljene su u polustrukturiranim razgovorima s deset eksperata koji rade u neautomatiziranom ili automatiziranom sustavu, a sudionici su bili kontrolori i inženjeri koji rade na tim sustavima. Daljnje su informacije prikupljene kroz nadgledanje rada kontrolora u radnoj sredini u različitim sustavima (engl. *over the shoulder observations*). Treći izvor podataka za istraživanje bile su analize izvještaja o ranije provedenim simulacijama u stvarnom vremenu (engl. *Real Time Simulations – RTS*) za automatizirane sustava kontrole zračnog prometa koji ne zahtijevaju sustav fizičkih obrazaca. Istraživanja automatiziranih sustava pretežno se bave procjenom jednog dijela rada automatiziranih sustava, a glavne su metode: ubrzane simulacije, analitičko modeliranje ili pregledne studije. Simulacije u stvarnom vremenu rijetko se upotrebljavaju za istraživanje rada automatiziranih sustava.

1.4 ZNANSTVENE METODE

Problematika istraživanja doktorske disertacije obuhvaća izbor metoda koje će biti upotrebljavane u izradi modela. Uvjetovanost problema istraživanja i učinak različitih znanstvenoistraživačkih metoda osigurava se pravilnim odabirom metoda i jasno definiranom metodologijom istraživanja. Sukladno postavljenoj hipotezi i cilju istraživanja, u disertaciji će se upotrebljavati ove znanstvene metode:

- metoda deskripcije kojom se predstavljaju elementi sustava kontrole zračnog prometa s posebnim osvrtom na opis neautomatiziranih i automatiziranih sustava uz opis alata koji smanjuju radno opterećenje kontrolora zračnog prometa i tako izravno utječu na povećanje kapaciteta zračnog prostora,
- metoda komparacije kojom se uspoređuje neautomatizirani sustav s fizičkim obrascem za upisivanje podataka o letu zrakoplova (konvencionalni) i automatizirani sustav koji ne zahtijeva sustav fizičkih obrazaca, već se podaci o letu interaktivno unose i obrađuju izravno u samom sustavu prostora radi utvrđivanja novih znanstvenih spoznaja i činjenica,
- empirijska metoda kojom se na temelju iskustvenih spoznaja dolazi do zaključaka o problemu i predmetu istraživanja,
- kvantitativna metoda, od kojih je jedna od metoda matematička, tj. metoda simulacije u stvarnom vremenu kojom se na egzaktan način prikazuje i objašnjava zakonitost pojava različitih simuliranih scenarija,
- metoda anketiranja koja se rabi za istraživanje i prikupljanje podataka, informacija, stavova i mišljenja o predmetu istraživanja upotrebom anketnih upitnika,
- metoda mjerenja kao metodski postupak kojom se prikupljaju, verificiraju i analiziraju podaci o različitim scenarijima radi dobivanja pouzdanih znanstvenih vrijednosti,
- metoda analize i sinteze kojima se prema prikupljenim činjenicama i spoznajama raščlanjuju trenutačni procesi kontrole zračnog prometa.

1.5 STRUKTURA DOKTORSKE DISERTACIJE

Povećanje kapaciteta zračnog prostora ovisi o radu automatiziranih sustava u kontroli zračne plovidbe. Pritom je moguće zadržati istu ili povećati razinu učinkovitosti ključnih elemenata sustava, kao što su sigurnost, okoliš i isplativost. Cilj istraživanja jest valorizacija automatiziranog sustava i neautomatiziranog (konvencionalnog) sustava kontrole zračnog prometa. Na temelju toga određena je ova struktura rada:

1. Uvod
2. Sustav kontrole zračnog prometa
3. Učinkovitost sustava kontrole zračnog prometa

4. Uloga kontrolora zračnog prometa
5. Metodologija za ocjenu radnog opterećenja i kapaciteta kontrolora zračnog prometa
6. Zaključak.

U uvodnom dijelu sadržana je argumentacija i elaboracija znanstvenog problema, ciljeva i očekivanih rezultata istraživanja, pregled dosadašnjih istraživanja i primjenjivih znanstvenih metoda te strukturalni opis disertacije. Također, dan je pregled očekivanih rezultata istraživanja, očekivanoga znanstvenog doprinosa u polju *Tehnologija prometa i transport* i očekivane primjene rezultata istraživanja.

U drugom dijelu disertacije, *Sustav kontrole zračnog prometa*, opisani su i prikazani postojeći sustavi kontrole zračnog prometa. Na početku je prikazan neautomatizirani sustav koji rabi fizičke obrasce za upisivanje podataka o letu zrakoplova (engl. *strip system*). Slijedi prikaz automatiziranih sustava kontrole zračnog prometa koji ne zahtijevaju sustav fizičkih obrazaca, već se podaci o letu interaktivno unose i obrađuju izravno u samom sustavu (engl. *stripless system*). Pri opisu sustava korištena je deskriptivna metoda te su prikazani i objašnjeni alati koji smanjuju radno opterećenje kontrolora zračnog prometa i tako izravno povećavaju kapacitet sustava kontrole zračnog prometa.

U dijelu disertacije *Učinkovitost sustava kontrole zračnog prometa* analiziraju se performanse sustava kontrole s naglaskom na ključna područja učinkovitosti definirana europskom regulativom za stvaranje jedinstvenoga europskog neba, koja uključuju domene sigurnosti, kapaciteta, troškovne učinkovitosti i utjecaja na okoliš. Također, dodatno se analiziraju i ljudski čimbenici u navedenom kontekstu.

U četvrtom dijelu disertacije, *Uloga kontrolora zračnog prometa*, opisan je rad kontrolora u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu s posebnim naglaskom na aktivnosti kontrolora zračnog prometa, radno opterećenje i utjecaj radnog opterećenja na kapacitet zračnog prometa. Pretpostavka je da će radno opterećenje kontrolora ostati primarno operativno ograničenje kapaciteta sustava kontrole zračnog prometa.

U petom dijelu disertacije, *Metodologija za ocjenu radnog opterećenja i kapaciteta kontrolora zračnog prometa*, opisana je metodologija provođenja eksperimenta, simulacije u stvarnom vremenu te analiza dobivenih rezultata.

Eksperiment je proveden u fazama, najprije su identificirani radni zadaci koji doprinose radnom opterećenju kontrolora zračnog prometa, zatim je svakom radnom zadatku dodijeljen težinski faktor. Nakon toga su izrađene simulatorske vježbe koje su se upotrebljavale tijekom simulacija te je proveden eksperiment. Izvedene su simulacije u stvarnom vremenu u oba sustava, neautomatiziranom i automatiziranom, na odgovarajućim simulatorskim uređajima.

Simulacije su provedene na osnovi tri različita scenarija: bez konflikta između zrakoplova koji se nalaze u preletu, s konfliktima između zrakoplova samo u horizontalnoj ravnini (u dvije dimenzije), s konfliktima između zrakoplova u prostoru i vremenu. Scenariji se razlikuju u kompleksnosti operacija zračnog prometa, a u razradi i kreiranju parametara upotrijebljene su empirijske i matematičke metode. Dodatno je analiziran subjektivni doživljaj učinkovitosti automatiziranog sustava u odnosu na neautomatizirani sustav pri provedbi različitih radnih zadataka svih sudionika simulacija u stvarnom vremenu, Prilog 2. Na temelju spoznaja do kojih se došlo nakon provedenog eksperimenta, predložen je model iskorištenja zračnog prostora u obliku ocjene radnog opterećenja i kapaciteta kontrolora zračnog prometa.

U šestom poglavlju disertacije, *Zaključku*, analiziraju i sintetiziraju se temeljni rezultati do kojih se došlo provedenim znanstvenim istraživanjem, znanstveni doprinos, kao i mogućnost njihove primjene. Na temelju dobivenih spoznaja, u pojedinim dijelovima disertacije, predložene su mogućnosti daljnjeg istraživanja.

2 SUSTAV KONTROLE ZRAČNOG PROMETA

U ovom je poglavlju dan opis sustava kontrole zračnog prometa deskriptivnom metodom postojećih sustava i komponenata koje podupiru upravljanje zračnim prometom. Deskriptivnom će se metodom najprije prikazati neautomatizirani sustav koji se koristi fizičkim obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova (engl. *strip system*), a zatim slijedi prikaz automatiziranih sustava kontrole zračnog prometa koji ne zahtijevaju sustav fizičkih obrazaca, već se podaci o letu interaktivno unose i obrađuju izravno u samom sustavu (engl. *stripless system*). Uz opis automatiziranih sustava dan je i opis alata koji smanjuju radno opterećenje kontrolora zračnog prometa (iako se indikatori kompleksnosti zračnog prometa ne mijenjaju) i tako izravno utječu na povećanje protočnosti zračnog prometa i kapaciteta zračnog prostora. Na taj će se način provesti identifikacija elemenata automatiziranih i neautomatiziranih sustava kontrole zračnog prometa.

2.1 REGULATORNI OKVIR UPRAVLJANJA ZRAČNIM PROMETOM

Sustav kontrole zračnog prometa nije zaseban sustav, već čini komplementaran dio sustava upravljanja zračnim prometom (engl. *Air Traffic Management– ATM*). Upravo je zato potrebno opisati širi aspekt upravljanja zračnim prometom te sve pripadajuće elemente. Prema Organizaciji međunarodnog civilnog zrakoplovstva (engl. *International Civil Aviation Organisation – ICAO*), Europskoj organizaciji za sigurnost zračne plovidbe (engl. *European Organisation for the Safety of Air Navigation – EUROCONTROL*) i Zakonu o zračnom prometu, upravljanje zračnim prometom predstavlja skup funkcija u zrakoplovu i na zemlji (operativne usluge u zračnom prometu, upravljanje zračnim prostorom i upravljanje protokom zračnog prometa) potrebnih radi osiguranja sigurnog i učinkovitog kretanja zrakoplova tijekom svih faza operacija zrakoplova [23], [24].

Ujednačeni globalni sustav zrakoplovne navigacije pretpostavlja siguran i efikasan međunarodni zračni promet. Osnovna međunarodna pravila za planiranje i implementaciju

usluga zračne plovidbe (engl. *Air Navigation Services* – ANS) u cijelom su svijetu regulirana Konvencijom o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu te mogu imati globalnu i regionalnu primjenu. Planiranje koncepta upravljanja zračnim prometom / komunikacije, navigacije i nadzora (engl. *Air Traffic Management/ Communication, Navigation and Surveillance – ATN/CNS*) primarno se temelji na standardima i preporučenim praksama (engl. *Standard and Recommended Pratices – SARP*) koji su inkorporirani u međunarodno prometno pravo u 19 dodataka Čikaške konvencije (engl. *ICAO Annex*). Osim standarda i preporučenih praksi Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva razvila je i procedure za pružanje navigacijskih usluga (*Procedures for Air Navigation Services – PANS*) koje više specificiraju aktualne procedure nego standardi i preporučene prakse te nisu obvezujuće naravi.

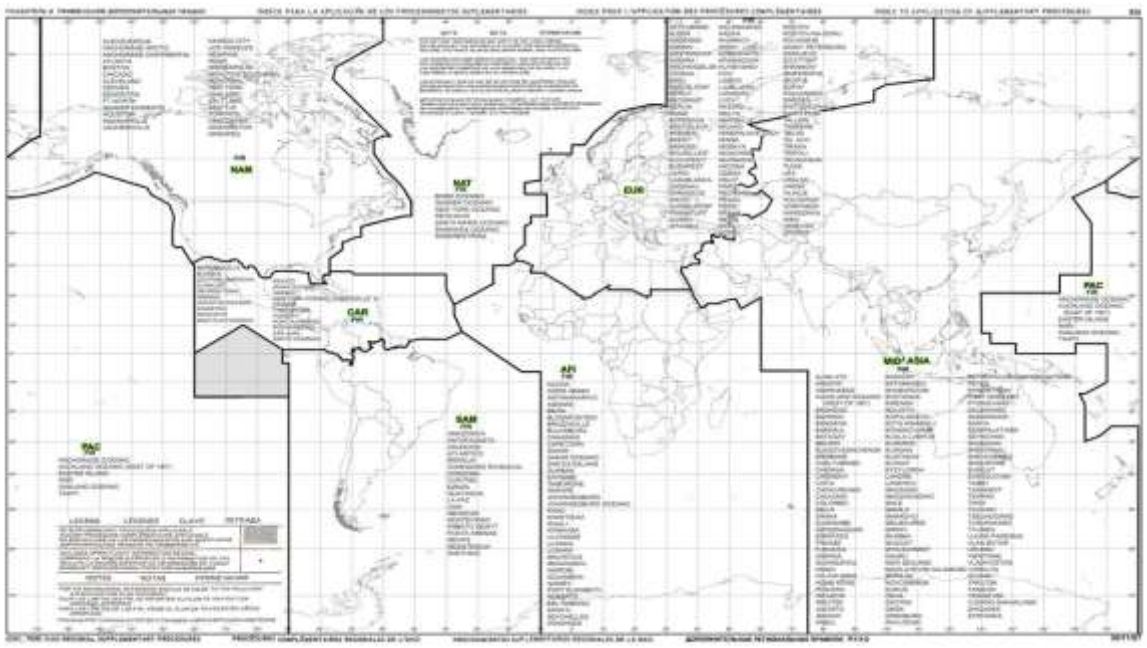
Iako Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva donosi međunarodne i regionalne smjernice i strategiju razvoja zračnog prometa na globalnoj i regionalnoj razini, planiranje i implementacija sustava upravljanja zračnim prometom / komunikacije, navigacije i nadzora jest odgovornost države koja je potpisnica Čikaške konvencije. U skladu s tim razvijen je materijal za nacionalno planiranje sustava upravljanja zračnim prometom / komunikacije, navigacije i nadzora, koji pomaže državama pri strukturiranju, formulaciji, nadopuni vlastitih individualnih tranzicijskih planova sustava upravljanja zračnim prometom / komunikacije, navigacije i nadzora. Države same trebaju razviti nacionalne planove koji moraju biti usklađeni s regionalnim i globalnim osnovnim navigacijskim planom (engl. *Air Navigation Plan – ANP*).

Početkom 1997. godine Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva odlučila je regionalne planove publicirati u dva volumena: osnovni navigacijski plan i dokument implementacije sadržaja i usluga (engl. *Facilities and Services Implementation Document – FASID*). Osnovni navigacijski plan sadrži:

- geografsko područje (određen broj područja letnih informacija (engl. *Flight information region FIR*) koje plan obuhvaća
- osnovne operativne zahtjeve i kriterije planiranja
- smjernice implementacije i planiranja u regiji zahvaljujući prijedlozima dobivenim na regionalnim sastancima.

Dokument implementacije sadržaja i usluga predstavlja komplementarni dio osnovnog navigacijskog plana te dinamičan materijal planiranja navigacijskih sredstava i usluga u

regiji. Na slici 1. prikazana je raspodjela regija Organizacije međunarodnog civilnog zrakoplovstva na globalnoj razini.



Slika 1. ICAO regije planiranja Globalnog navigacijskog plana

U Europi se planiranje Organizacije međunarodnog civilnog zrakoplovstva ATM/CNS koncepta temelji na Europskom navigacijskom planu (engl. *European Air Navigation Plan – EANP*) koji izrađuje grupa za planiranje europskog navigacijskog plana. Europski navigacijski plan temelji se na Globalnom navigacijskom planu te se planira i izrađuje u okviru Europske regije od strane menadžmenta regionalne grupe zadužene za planiranje i implementaciju (engl. *Planning and Implementation Regional Group – PIRG*).

Europska regija (ICAO EUR) prostire se od sjevernog Atlantika (zapadna granica) pa do obala Tihog oceana istočnog Sibira. U samoj regiji značajne su varijacije gustoće te strukture prometa, kao i geografski i socioekonomski okviri. Kao i u sjevernoj Americi, u Europi je početkom 80-ih godina prošlog stoljeća došlo do značajne ekspanzije i rasta zračnog prometa koji je u okvirima nedostatnih ulaganja u ljudske resurse i tehnološka rješenja, rezultirao degradacijom pružanja usluga u zračnoj plovidbi, povećavši kašnjenja, i otkazivanjem letova. Prema strategiji upravljanja zračnim prometom glavni izazovi s kojima se europski sustav upravljanja zračnim prometom mora suočiti u nadolazećem periodu jesu:

- povećati učinkovitost mreže upravljanja zračnim prometom

- generiranje dodatnih kapaciteta (koji bi zadovoljili povećanu potražnju u zračnom prometu)
- održati i, ako je moguće, povećati razinu sigurnosti
- doprinijeti većoj zaštiti zračnog prometa
- doprinijeti ekološkoj održivosti zračnog prometa.

Postojeća ograničenja sadašnjeg načina upravljanja zračnim prometom ogledaju se u neujednačenim uslugama i procedurama upravljanja zračnim prometom. Rezultat toga su različiti i fragmentirani sustavi kojima se koristi kontrola zračnog prometa. Postoji velika zagušenost glasovne komunikacija između kontrole zračnog prometa i zrakoplova. Struktura je zračnog prostora i zračnih putova nefleksibilna te se poklapa s nacionalnim potrebama, a ne s potrebama korisnika usluga. Primjetan je nedostatak dogovornog planiranja te ograničeni resursi u pružanju trenutačnih informacija između upravljanja zračnim prometom, zračnih luka i operatora, kao i između civilnih i vojnih korisnika zračnog prostora. To dovodi do nemogućnosti iskorištenja punog potencijala novih modela zrakoplova u smislu povećanja učinkovitosti i kapaciteta sustava kontrole zračnog prometa. U većem broju država vlada nedostatak kontrolora te je izraženo veliko radno opterećenje kontrolora zračnog prometa.

Početkom 2004. godine Europska je komisija donijela niz regulatornih paketa koji objedinjeno nose naziv Jedinstveno europsko nebo (engl. *Single European Sky – SES*) [25]. Akomodiranje prometnih tokova, generiranje dodatnih kapaciteta te povećanje ukupne učinkovitosti sustava upravljanja zračnim prometom predstavljaju glavnu svrhu uspostave Jedinstvenog europskog neba. Glavni ciljevi uspostave Jedinstvenog europskog neba jesu: uspostava harmoniziranog regulatornog okvira, optimizacije kapaciteta, smanjivanje kašnjenja, povećanje razine sigurnosti te unaprjeđenje ukupne učinkovitosti općeg zračnog prometa u Europi.

S obzirom na to da prvi regulatorni paket iz 2004. godine nije ostvario predviđene rezultate u pogledu implementacije funkcionalnih blokova zračnog prostora i povećanja učinkovitosti sustava kontrole zračnog prometa, Europska komisija donijela je tzv. SES II regulatorni paket koji se sastoji od pet stupova – performanse, sigurnost, inovacije, zračne luke i ljudski čimbenik. U sklopu drugog regulatornog paketa definiran je velik broj novih funkcija: nezavisno tijelo praćenja performansi (engl. *Performance Review Body – PRB*) – asistira Komisiji i nacionalnim nadzornim tijelima u provedbi propisa, funkcija Upravitelja mreže (engl. *Network Management function – NM*) – nadopunjuje regionalne usluge na razini

mreže, funkcija koordinatora funkcionalnih blokova zračnog prostora – uspostavlja suradnju između sudionika koji su zaduženi za integraciju ATM usluga, Europska agencija za sigurnost zračnog prometa (engl. *European Aviation Safety Agency – EASA*) – teži osnažiti sigurnosnu dimenziju upravljanja zračnim prometom [26].

2.2 OPERATIVNI OKVIR PRUŽANJA USLUGA U ZRAČNOJ PLOVIDBI

Prema Čikaškoj konvenciji sve države potpisnice, koje su istovremeno i članice Organizacije međunarodnog civilnog zrakoplovstva, trebaju odrediti u kojem će obujmu zračnog prostora, za područje nad kojim država potpisnica ima neotuđiv suverenitet, pružati usluge zračne plovidbe (engl. *Air Navigation Services – ANS*). U skladu s međunarodnim propisima države koje su nadležne za pružanje usluga odgovorne su za certificiranje i imenovanje pružatelja usluga u zračnoj plovidbi [28].

Prema Organizaciji međunarodnog civilnog zrakoplovstva usluge u zračnoj plovidbi dijele se na pet osnovnih kategorija:

1. upravljanje zračnim prometom (engl. *Air Traffic Management – ATM*)
2. usluge komunikacije, navigacije i nadzora (engl. *Communication, Navigation and Surveillance – CNS*)
3. usluge meteorologije (engl. *Meteorlogical – MET*)
4. usluge zrakoplovnog informiranja (engl. *Aeronautical Information Services –AIS*)
5. usluge traganja i spašavanja (engl. *Search and Rescue – SAR*).

Potrebno je naglasiti da se navedene usluge pružaju u svim fazama leta zrakoplova.

Prema međunarodnim propisima [28], pripadajućoj europskoj legislativi [29] te dokumentaciji Organizacije međunarodnog civilnog zrakoplovstva [30] usluge u zračnoj plovidbi obuhvaćaju:

1) operativne usluge u zračnom prometu

2) usluge komunikacija, navigacije i nadzora

3) usluge zrakoplovnog informiranja

4) usluge zrakoplovne meteorologije.

Osnovni su ciljevi pružanja usluga u zračnoj plovidbi: sprječavanje sudara između zrakoplova tijekom leta i zrakoplova s terenom, sprječavanje sudara između zrakoplova na manevarskim površinama zračne luke i prepreka, vozila i osoba u njihovoj okolini, omogućenje redovnog toka zračnog prometa, pružanje savjeta i informacija potrebnih za sigurno i učinkovito izvođenje letova te notifikacija odgovarajućih organizacija u pogledu pokretanja aktivnosti potrage i spašavanja [28], [31]. Potreba za pružanjem operativnih usluga u zračnom prometu ovisi o vrsti prometa koji bi trebao biti uslužen. Zračni promet koji se sastoji od velikog broja zrakoplova s različitim rasponom brzina, iziskuje potrebu za uspostavom kontrole zračnog prometa. Također, gustoća zračnog prometa ima utjecaj na uspostavu operativnih usluga. Povećanjem gustoće prometa u određenom geografskom području raste potreba za uspostavom sigurnog razdvajanja između zrakoplova. Intenzivne i česte promjene meteoroloških uvjeta u području redovnog zračnog prometa imaju velik utjecaj na redovitost i sigurnost odvijanja zračnih operacija.

2.2.1 Upravljanje zračnim prometom

Sustav upravljanja zračnim prometom jest sustav koji kroz kolaborativnu integraciju čovjeka, informacija, tehnologije, opreme i usluga, uz potporu zrakoplovnih i zemaljskih komunikacijskih, navigacijskih i nadzornih sustava, omogućuje dinamičko, integrirano upravljanje zračnim prometom i prostorom na siguran, ekonomičan i učinkoviti način, u suradnji sa svim strankama tijekom svih faza leta zrakoplova [23], [24], [28].

Prema Organizaciji međunarodnog civilnog zrakoplovstva i Europskoj organizaciji za sigurnost zračne plovidbe upravljanje zračnim prometom dijeli se na tri vrste usluga [23], [24], [33]:

1. upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa (engl. *Air Traffic Flow Management – ATFM*)
2. upravljanje zračnim prostorom (engl. *Airspace Management –ASM*)
3. operativne usluge u zračnom prometu (engl. *Air Traffic Services – ATS*).

Svaka vrsta usluga ima posebno definiranu svrhu. Usluge upravljanja kapacitetom i protokom zračnog prometa trebaju osigurati optimalan protok zračnog prometa u vremenu kada

potražnja za uslugama premaši dostupni kapacitet kontrole zračnog prometa. Usluge upravljanja zračnim prostorom trebaju osigurati dostupnost struktura zračnog prostora svim zainteresiranim korisnicima, ovisno o različitoj prometnoj potražnji. Operativne usluge u zračnom prometu imaju svrhu organiziranja zračnog prostora (sektorizacija i konfiguracije) u skladu s dostupnostima zračnog prostora i rutne mreže.

2.2.2 Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa

Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa osigurava usklađivanje prometne potražnje i kapaciteta zračnog prometa optimizirajući upotrebu dostupnih resursa te koordinacijom adekvatnih akcija radi povećanja kvalitete usluge i učinkovitosti sustava upravljanja zračnim prometom. Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa sastoji se od četiri faze: strateška, predtaktička, taktička i postoperativna.

1. Strateška faza izvršava se sedam ili više dana prije dana operacije te sadrži aktivnosti istraživanja, planiranja i koordinacije. U europskom zračnom prostoru rezultat je te faze Plan mrežnih operacija (engl. *Network operations plan – NOP*) koji sadrži informacije o prometnoj potražnji i planovima kapaciteta za cijelu sezonu, identifikaciju „uskih grla“ te mjere upravljanja kapacitetom i protokom zračnog prometa i upravljanje zračnim prostorom koje bi trebale ublažiti nedostatak kapaciteta [33]. Prema Organizaciji međunarodnog civilnog zrakoplovstva strateško planiranje upravljanja kapacitetom i protokom zračnog prometa vrši se u suradnji s kontrolom zračnog prometa i zrakoplovnim operatorima. Strateška se faza sastoji od analize prometne potražnje za sljedeću sezonu i procjene u kojim bi područjima prometna potražnja mogla nadmašiti kapacitet kontrole zračnog prometa. Koraci koji se poduzimaju u strateškoj fazi jesu:
    - dogovor s pružateljem usluga u zračnoj plovidbi o pružanju adekvatnog kapaciteta
    - uspostava prometne orijentacije (rerutiranje određenih tokova)
    - raspored reda letenja prema dostupnim kapacitetima
    - identifikacija potrebe za taktičkim ATFCM mjerama [24].
2. Predtaktička se faza primjenjuje između šest dana do dana prije izvođenja operacije te se sastoji od aktivnosti planiranja i koordinacije. U toj fazi Pozicija za upravljanje

protokom (engl. *Flow Management Position – FMP*) zajedno s Upraviteljem mreže vrši analizu i donosi odluke o optimalnom iskorištenju dostupnih resursa te primjeni optimalnih mjera upravljanja kapacitetom i protokom zračnog prometa. Rezultat su te faze dnevni plan upravljanja kapacitetom i protokom zračnog prometa (engl. *ATFCM daily plan – ADP*) koji se publicira s notifikacijskom porukom (engl. *ATFCM Notification message – ANM*) kroz portal mrežnih operacija. Prema Organizaciji međunarodnog civilnog zrakoplovstva predtaktičko planiranje upravljanja kapacitetom i protokom zračnog prometa sastoji se od:

- rerutiranje određenih tokova
- koordinacija rasterećenih ruta
- odluka o taktičkim mjerama
- detaljna razrada plana upravljanja kapacitetom i protokom zračnog prometa za sljedeći dan [24].

3. Taktička se faza odvija na dan operacije te se vrši ažuriranje dnevnog plana prema stvarnom prometu, kapacitetima i vrijednostima nadgledanja kapaciteta. Taktičke operacije upravljanja kapacitetom i protokom zračnog prometa sastoje se od:
   - izvršavanja dogovorenih taktičkih mjera radi pružanja reduciranog toka zračnog prometa kada potražnja nadmaši kapacitet kontrole zračnog prometa,
   - nadgledanja evolucije zračnog prometa kako bi bili sigurni da su aplicirane mjere upravljanja kapacitetom i protokom zračnog prometa dale željene rezultate te poduzimanja akcija kada dolazi do kašnjenja, uključujući rerutiranje zrakoplova i alokaciju razine leta.
4. Postoperativna analiza vrši se dan nakon operacije [33].

Proces upravljanja protokom i kapacitetom zračnog prostora kontinuirano i proaktivno analizira i traži rješenja u iterativnom procesu, od strateške faze pa sve do postoperativne analize. Predviđanje bilo koje moguće situacije koja bi utjecala na protok zračnog prometa ovisno o dostupnosti novih informacija omogućuje smanjenje njezina utjecaja na mrežu.

Europska komisija je 2010. godine izdala regulativu 255/2010 [34] koja definira primjenu upravljanja protokom zračnog prometa u Europskom zračnom prostoru. U Europi trenutačno postoji 37 pružatelja usluga u zračnoj plovidbi, u kojima radi otprilike 20 000 kontrolora zračnog prometa. Oni su raspoređeni u 63 centra oblasne kontrole zračnog prometa koji mogu imati do 716 sektora te u njima radi 9 709 kontrolora, 260 prilaznih kontrola i 425 aerodromskih kontrola. Zajedno godišnje uslužuju 32 020 171 kontroliranih

letova koji lete po pravilima instrumentalnog letenja (engl. *Instrument Flight Rules – IFR*) [35]. Dnevno se iznad Europe obavi preko 87 700 letova koje je potrebno uskladiti kako bi imali najveću kvalitetu usluge uz najmanje kašnjenja. Upravo sagledavajući tu činjenicu dolazi na vidjelo važnost upravljanja protokom i kapacitetima zračnog prometa U europskom zračnom prostoru pružanje usluga upravljanja protokom i kapacitetom zračnog prostora pod nadležnošću je Upravitelja mreže (engl. *Network Manager – NM*) koji ima funkciju definiranu u regulativi Europske komisije [34].

2.2.3 Upravljanje zračnim prostorom

Upravljanje zračnim prostorom predstavlja funkciju upravljanja zračnim prometom kojoj je cilj učinkovita upotreba zračnog prostora civilnih i vojnih korisnika. Prema europskoj regulativi upravljanje zračnim prostorom temelji se na konceptu fleksibilne upotrebe zračnog prostora (engl. *Flexible Use of Airspace – FUA*) gdje zračni prostor nije smatran kao zasebno civilni ili vojni, već se smatra kao jedan kontinuum koji se rabi fleksibilno na dnevnoj osnovi [24], [36]. Principi fleksibilnog upravljanja zračnim prostorom opisani u regulativi Europske komisije zasnivaju se na sljedećem: koordinacija između civilnih i vojnih institucija bit će organizirana na strateškoj, predtaktičkoj i taktičkoj razini; uspostavit će se konzistentnost na sve tri razine između upravljanja zračnim prostorom ASM, upravljanja kapacitetom i protokom zračnog prometa ATFM i operativnim uslugama u zračnom prometu ATS; rezervacija zračnog prostora zasnivat će se na ograničenom vremenskom periodu – stvarnom korištenju struktura zračnog prostora. Tri razine upravljanja zračnim prostorom korespondiraju sa zadaćama civilno-vojnih korisnika, gdje svaka razina upravljanja direktno utječe na drugu razinu. Upravljanje zračnim prostorom na području Europe dijeli se na stratešku, predtaktičku i taktičku razinu.

1. Strateška se razina sastoji od zajedničkih civilno-vojnih procesa unutar Nacionalnog tijela za upravljanje zračnim prostorom (engl. *High Level Airspace Planning Body – HLAPB*) kojemu je zadatak formulirati nacionalnu politiku upravljanja zračnim prostorom.
2. Predtaktička se razina sastoji od dnevnog upravljanja i privremene alokacije zračnog prostora kroz Jedinicu za upravljanje zračnim prostorom (engl. *Airspace Management Cell – AMC*) u koordinaciji s Upraviteljem mreže. Jedinice za

upravljanje zračnim prostorom predstavljaju zajedničku civilno-vojnu cjelinu koja ima ovlast vršiti procese Upravljanja zračnim prostorom.

3. Taktičko upravljanje zračnim prostorom sastoji se od aktivacije, deaktivacije ili realokacije zračnog prostora alociranog na predtaktičkoj razini upravljanja zračnim prostorom te rješavanja specifičnih problema u zračnom prostoru između civilnih i vojnih jedinica kontrole zračnog prometa.

2.2.4 Operativne usluge u zračnom prometu

Operativne usluge u zračnom prometu (engl. *Air Traffic Services – ATS*) jesu različite usluge uspostavljene radi:

- prosljeđivanja letnih informacija (engl. *Flight Information Services – FIS*)
- uzbunjivanja (engl. *Alerting Services – ALRS*)
- savjetodavne usluge u zračnom prometu (*Air Traffic Advisory Service – ATAD*)
- usluge kontrole zračnog prometa – aerodromske, prilazne i oblasne kontrole (engl. *Air Traffic Control – ATC*) [23], [24], [28].

Usluge prosljeđivanja letnih informacija služe za pružanje savjeta i informacija koje su potrebne za sigurno i učinkovito izvođenje letova. Usluge zrakoplovnog informiranja pružaju se svim zrakoplovima o kojima kontrola zračnog prometa ima neku informaciju, a ne samo zrakoplovima koji su pod nadležnošću kontrole zračnog prometa [24], [28].

Usluge uzbunjivanja jesu usluge uspostavljene radi izvješćivanja nadležnih subjekata o zrakoplovu kojemu je potrebna pomoć potrage i spašavanja te, prema potrebi, pružanja pomoći tim subjektima tijekom potrage i spašavanja zrakoplova [23], [24]. Usluge uzbunjivanja pružaju se svim zrakoplovima o kojima kontrola zračnog prometa ima neku informaciju, zrakoplovima za koje se zna ili se pretpostavlja da su subjektom otmice, kao i zrakoplovima koji su pod nadležnošću kontrole zračnog prometa.

Savjetodavna usluga ima cilj pružati savjetovanje unutar savjetodavnog zračnog prostora koliko je god moguće praktično, kako bi se osiguralo razdvajanje zrakoplova koji lete po pravilima instrumentalnog letenja [24].

Radi sigurnog, redovitog i nesmetanog odvijanja zračnog prometa, obavljanjem poslova i zadaća kontrole zračnog prometa, provodi se nadzor i upravlja kretanjima svih civilnih i

vojnih zrakoplova u zračnom prostoru i na manevarskim površinama kontroliranih aerodroma. Usluge kontrole zračnog prometa pružaju se radi sprječavanja:

- sudara između zrakoplova u zraku i između zrakoplova na manevarskim površinama aerodroma
- sudara zrakoplova i vozila te sudara zrakoplova i ostalih prepreka na manevarskim površinama aerodroma.

2.3 OPIS USLUGA KONTROLE ZRAČNOG PROMETA

Primarna svrha kontrole zračnog prometa jest spriječiti sudare između zrakoplova koji operiraju u sustavu te organizacija sigurnog i ekspeditivnog toka zračnog prometa [28]. Iako je to njezina primarna funkcija, kontrola zračnog prometa može pružati dodatne usluge. Nadležne kontrole zračnog prometa obavljaju poslove i zadaće u utvrđenim područjima odgovornosti, a u skladu s utvrđenim operativnim postupcima. Operativne postupke utvrđuje pružatelj usluga u zračnoj plovidbi. Za kontrolu nekog zrakoplova u svakom trenutku, odgovorna je samo jedna nadležna kontrola zračnog prometa.

Usluge kontrole zračnog prometa mogu biti [28]:

1. usluge aerodromske kontrole zračnog prometa, za koje je nadležan aerodromski kontrolni toranj
2. usluge prilazne kontrole zračnog prometa, za koje je nadležan
    a) aerodromski kontrolni toranj
    b) posebna organizacijska jedinica prilazne kontrole zračnog prometa, odnosno posebna organizacijska jedinica završne kontrolirane oblasti
    c) centar oblasne kontrole zračnog prometa
3. usluge oblasne kontrole zračnog prometa, za koje je nadležan centar oblasne kontrole zračnog prometa.

Svaka od tih usluga kontrole zračnog prometa i njezinih odgovarajućih jedinica ima svoje specifične zadatke pri čijem se izvršenju kontrolori zračnog prometa koriste odgovarajućim uređajima i opremom i pridržavaju se odgovarajućih procedura rada.

Kontrola zračnog prometa obavlja se:

- za letove koji lete po pravilima instrumentalnog letenja (IFR) u kontroliranom zračnom prostoru
- za aerodromski promet na kontroliranim aerodromima
- za letove koji lete po pravilima vizualnog letenja (VFR) u kontroliranom zračnom prostoru, ako prema odredbama propisa kojim se uređuju uvjeti, način, pravila i postupci letenja zrakoplova, podliježu kontroli zračnog prometa.

Kontrola zračnog prometa može se obavljati i za druge letove i promet, ako je to potrebno radi sprječavanja ugrožavanja i opasnosti za sigurnost zračnog prometa. Kao što je već navedeno, ciljevi kontrole zračnog prometa jesu sigurno, redovito i ekspeditivno odvijanje zračnog prometa. Radi postizanja tih ciljeva kontrola zračnog prometa treba imati informacije o predviđenom kretanju svakog zrakoplova, s trenutačnim informacijama o aktualnom kretanju zrakoplova. Također je potrebno odrediti relativnu poziciju između zrakoplova na osnovi dostupnih informacija te izdati odobrenje i informacije radi sprječavanja kolizija/sudara između zrakoplova koji je pod nadležnošću kontrole zračnog prometa. Odobrenja i informacije treba, prema potrebi, koordinirati s drugim jedinicama kada god bi mogla nastati konfliktna situacija između dvaju ili više zrakoplova koji su pod nadležnošću druge jedinice, prije transferiranja zrakoplova istoj jedinici.

Informacije o kretanju zrakoplova zajedno sa zapisom o izdavanju odobrenja zrakoplova omogućuju analizu radi održavanja učinkovitog protoka zrakoplova i adekvatnog razdvajanja između zrakoplova.

Prema Babiću i Netjasovu [31] kontrola zračnog prometa sastoji se od sljedećih elemenata:

- kontrolora zračnog prometa i pilota zrakoplova s vlastitim ulogama i funkcijama koje se vrše unutar sustava (nadzor, komunikacija, navigacija) te s karakteristikama koje unose u sustav (radno opterećenje, situacijska svjesnost, pogreške itd.)

- uređaja i sustava za komunikaciju, navigaciju i nadzor, kao i opreme i alata namijenjenih otkrivanju i rješavanju konfliktnih situacija i alata za pomoć u odlučivanju
- procedura koje predstavljaju pravila kojih se moraju pridržavati kontrolori zračnog prometa i piloti.

S obzirom na osnovne ciljeve omogućavanja sigurnog, redovnog i ekspeditivnog odvijanja zračnog prometa u svojoj nadležnosti, definirani su specifični zadaci kontrole zračnog prometa [28]:

- prikupljanje i obrađivanje podataka o planiranim i odobrenim letovima zrakoplova
- prikupljanje i obrađivanje podataka o stvarnom položaju i kretanju tih zrakoplova u zračnom prostoru za koji je nadležan
- određivanje međusobnih položaja zrakoplova u zračnom prostoru za koji je nadležan i osiguravanje propisnog razdvajanja zrakoplova, osim za letove koji lete po pravilima vizualnog letenja
- vođenje zrakoplova izdavanjem instrukcija posadama o smjeru kretanja, visini i brzini leta zrakoplova
- sprječavanje sudara između zrakoplova, na manevarskim površinama i između zrakoplova i prepreka na njima
- obavještavanje posade zrakoplova o značajnim informacijama koje osiguravaju sigurno letenje te izdavanje instrukcija u svezi s letom
- održavanje i ubrzavanje nesmetanog odvijanja zračnog prometa i koordiniranje rada sa susjednim službama
- identifikacija zrakoplova te pružanje pomoći zrakoplovima u nuždi i pokretanje i koordiniranje akcije traganja i spašavanja.

Prema Saveznoj upravi za civilno zrakoplovstvo američkog Ministarstva prometa [37] radni zadaci oblasnog nadzornog kontrolora jesu:

- komunikacija sa zrakoplovima
- nadgledanje zrakoplova
- održavanje normi razdvajanja – potraga i rješavanje konfliktnih situacija

- koordinacija s ostalim kontrolorima, u susjednim kontrolama zračnog prometa i radnim mjestima (sektorima)
- obrada podataka o letu zrakoplova.

Europska organizacija za sigurnost zračne plovidbe za potrebe proračuna kapaciteta sektora (engl. *Capacity Analyser – CAPAN*) odredila je pet glavnih kategorija radnih zadataka kontrolora [38]. Te su kategorije:

- obrada podataka o letu
- potraga i uočavanje konflikata
- koordinacija, primitak i prosljeđivanje prema radnim mjestima (sektorima) u istoj jedinici kontrole, susjednim jedinicama kontrole zračnog prometa
- standardna radiotelefonska komunikacija
- rješavanje radarskih konflikata.

Rodgers [40] je opisao radne zadatke te ih grupirao u ove skupine:

- provođenje nadzora:
  - provjera i evaluacija razdvajanja
  - analiza inicijalnog zahtjeva za odobrenje
  - obrada odlazne/rutne vremenske informacije
  - obrada zahtjeva za let
  - rutinski poslovi;
- rješavanje konflikata između zrakoplova:
  - provođenje rješavanja konflikata između zrakoplova
  - obrada minimalne sigurne visine
  - obrada zona s ograničenjem letenja
  - odgovor na poruke upozorenja;
- upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa:
  - provođenje zahtjeva optimalnog protoka zračnog prometa
  - obrada odstupanja
  - odgovaranje na zahtjeve za posebnu uporabu zračnog prostora
  - uspostavljanje sljedova za prilaz

- upravljanje odlaznim tokovima
- nadzor nekontroliranih letova
- odobravanje zahtjeva za privremeno ustupanje zračnog prostora
- postavljanje zahtjeva za privremeno ustupanje zračnog prostora;

- planiranje i upravljanje letovima:

  - planiranje odobrenja i instrukcija
  - upravljanje u slučajevima opasnosti i kriznim situacijama
  - upravljanje u posebnim situacijama
  - pregled planova leta
  - izmjena i dopuna planova leta
  - primitak prijenosa kontrole / radarske identifikacije
  - započinjanje prijenosa kontrole / radarske identifikacije
  - odobravanje označavanja zrakoplova
  - traženje označavanja zrakoplova
  - izdavanje odobrenja i instrukcija
  - uspostava, održavanje ili završetak standardne radiotelefonske komunikacije
  - uspostava radarske identifikacije;

- procjena utjecaja meteorološke situacije:

  - odgovaranje na značajne meteorološke informacije
  - obrada izvješća o meteorološkoj situaciji;

- upravljanje sektorskim resursima:

  - brifirati kontrolora koji preuzima sektor
  - preuzeti sektorske odgovornosti
  - provoditi propisane procedure u slučaju otkaza opreme
  - provoditi propisane procedure u slučaju otkaza navigacijske opreme
  - provoditi propisane procedure u slučaju otkaza radiokomunikacijske opreme
  - upravljati osobnim radnim opterećenjem
  - provoditi posebne procedure za otvaranje/zatvaranje sektora.

2.4 NADZORNA KONTROLA ZRAČNOG PROMETA

U nadzornom sustavu kontrole zračnog prometa kontrolori zračnog prometa dobivaju informaciju o položaju zrakoplova s radarskih senzora ili putem automatskog zavisnog nadzora. Upotreba nadzornih podataka uvelike je povećala preciznost informacije o položaju zrakoplova jer je frekvencija osvježavanja podataka o položaju zrakoplova veća (5 do 12 puta u minuti), a navigacijske pogreške pilota lakše se mogu detektirati. To je omogućilo bitno smanjivanje norme razdvajanja između zrakoplova i veliko povećanje kapaciteta sustava kontrole zračnog prometa.

Da bi razumjeli norme razdvajanja, potrebno je općenito opisati vrste razdvajanja zrakoplova. Razdvajanje zrakoplova od strane kontrole zračnog prometa ovisi o klasi zračnog prostora u kojem se odvija let zrakoplova (Klase A, B, C, D, E), načinu kontrole zračnog prometa (proceduralni ili nadzorni), primjeni pravila letenja i vrste usluge kontrole zračnog prometa. Prema Organizaciji međunarodnog civilnog zrakoplovstva [28] razdvajanje zrakoplova može se odvijati na jedan od ovih načina:

- vertikalno razdvajanje, koje se osigurava dodjelom razina leta prema definiranim tablicama,
- horizontalno razdvajanje, koje se osigurava pružanjem longitudinalnog razdvajanja, održavanjem intervala između zrakoplova koji operiraju na istoj, konvergirajućoj ili reciprocitetnoj trajektoriji leta ili lateralnim razdvajanjem držeći zrakoplove na različitim rutama ili u različitim geografskim područjima,
- kompozitno razdvajanje koje se sastoji od kombinacije vertikalnog i horizontalnog razdvajanja zrakoplova (rijetko se upotrebljava).

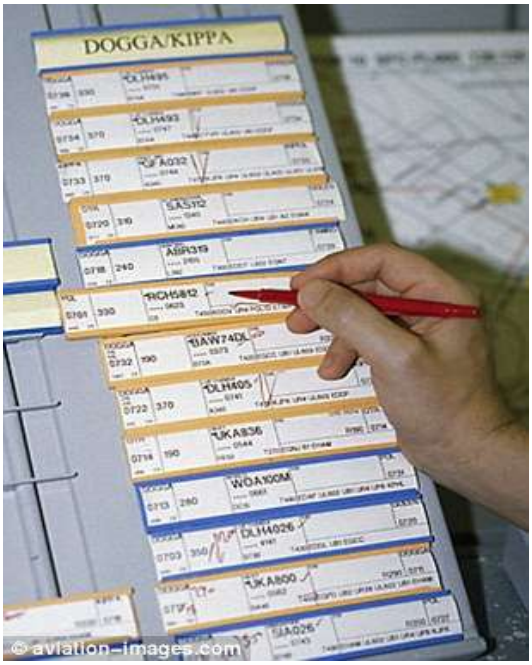
Vertikalno razdvajanje općenito iznosi 1000 stopa do razine leta (engl. *Flight Level – FL*) 290 i 2000 stopa iznad FL 290. Na normu razdvajanja od 2000 stopa iznad FL 290 primarno utječe točnost visinomjera na većim visinama. Budući da veća norma razdvajanja smanjuje veličinu upotrebljivog zračnog prostora, a time i kapacitet sustava, zbog sve veće prometne potražnje te zbog preciznijeg načina mjerenja visine zrakoplova, smanjena je vertikalna norma razdvajanja zrakoplova s 2000 stopa na 1000 stopa iznad FL 290 do uključivo FL 410.

Horizontalno razdvajanje, longitudinalno može biti vremensko ili razdvajanje koje se temelji na udaljenosti između dvaju zrakoplova. Vremenske norme razdvajanja upotrebljavaju se u proceduralnom sustavu kontrole zračnog prometa te iznose između 3 i 30 min, ovisno o regiji u kojoj se primjenjuju. U proceduralnom se sustavu rabi i razdvajanje koje se temelji na čestoj provjeri udaljenosti između dvaju zrakoplova koji upotrebljavaju isti radionavigacijski DME uređaj, tada razdvajanje može biti od 10 do 20 NM, ovisno o brzini zrakoplova i prenošenju informacija o tim udaljenostima kontrolorima zračnog prometa. Lateralno se razdvajanje odnosi na razdvajanje zračnih putova, najčešće mjerenjem azimuta pozicije zrakoplova u odnosu na referentnu poziciju korištenjem radionavigacijskog uređaja VOR (engl. *Very High Frequency Omni-directional Radio Range*) ili određivanje pozicije zrakoplova u prostoru VOR/DME radionavigacijskim uređajima.

Nadzorno razdvajanje primjenjuje norme razdvajanja koje se temelje na udaljenosti između zrakoplova na istoj visini te iznose 5 NM u oblasnoj kontroli zračnog prometa i 3 NM u zračnom prostoru završne kontrolirane oblasti.

2.5 Elementi neautomatiziranog sustava kontrole zračnog prometa

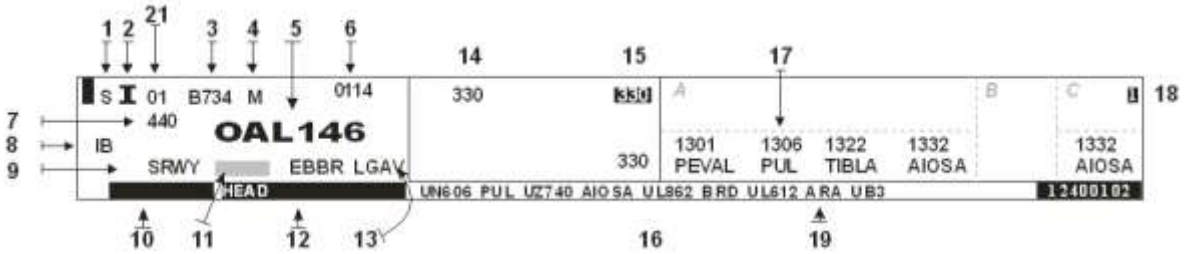
Osnovni element neautomatiziranog sustava jest obrazac za upisivanje podataka o letu zrakoplova (engl. *strip*). On može bit prezentiran kontroloru u papirnatom ili elektroničkom obliku. Obrazac za upisivanje podataka sadrži sve podatke o letu zrakoplova koje u svojem radu upotrebljava kontrolor zračnog prometa. Ovisno o načinu prezentacije, papirnatom ili elektroničkom, obrasci se slažu na posebnim pokazivačima, slika 2.



Slika 2. Pokazivač za papirnate obrasce za upisivanje podataka o letu zrakoplova [Izvor: aviation-images.com]

Korištenjem standardiziranih procedura i označavanja, kontrolori mogu rabiti obrasce za vizualizaciju relativne pozicije svakog zrakoplova te primjenu adekvatne procedure za razdvajanje zrakoplova. Kada god kontrolor zračnog prometa izdaje instrukciju pilotu ili pilot daje informaciju o poziciji zrakoplova ili visini zrakoplova, kontrolor zapisuje dobivenu informaciju na obrazac za upisivanje podataka o letu. Kada je obrazac za upisivanje podataka prezentiran na taj način, on se može interpretirati kao informacija o statusu kretanja zrakoplova. Informacija o kretanju zrakoplova omogućuje kontroloru da vizualizira poziciju svakog zrakoplova te drugim kontrolorima da evaluiraju promet u zračnom prostoru sektora pod njihovom nadležnošću. Obrazac za upisivanje podataka o letu također služi kao snimka instrukcija koje su izdate od strane kontrolora zračnog prometa i informacija dobivenih od pilota, što je iznimno važno u slučajevima kada dođe do istrage o zrakoplovnoj sigurnosti. Pri ispunjavanju obrazaca za upisivanje podataka o letu, odgovornost je kontrolora zračnog prometa da konstantno ažurira informacije koje se odnose na praćenje leta zrakoplova kako bi mogao vizualizirati sadašnju, ali i planirati buduću poziciju svakog zrakoplova koji je pod njegovom odgovornošću. Rad s fizičkim obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova omogućuje kontrolorima lakše sporazumijevanje jer ga istovremeno mogu čitati i po njemu može pisati više kontrolora istovremeno [41]. Fizički obrazac za upisivanje podataka o letu zrakoplova, slika 3., može biti zamijenjen elektroničkim obrascem. Tranzicija s papirnatog na

elektronički obrazac nije jednostavna budući da fizičke karakteristike papirnatog obrasca nije moguće jednostavno pohraniti na informatičke sustave. U informatičkom sustavu transfer kontrole zrakoplova s jednog sektora na drugi sektor (engl. *handoff*) potječe iz starijih tehnika gdje je jedan kontrolor fizički predao obrazac za upisivanje podataka o letu drugom kontroloru kako bi osigurao prijenos odgovornosti nad zrakoplovom. Ta se tehnika primjenjuje i danas.



Slika 3. Papirnati obrazac za upisivanje podataka o letu zrakoplova

Papirnati obrazac za upisivanje podataka o letu zrakoplova sastoji se od ovih polja:

1) Vrsta leta (S, N, G, M, X)

2) Pravila letenja (I = IFR, V = VFR, Y = promjena na VFR, Z = promjena na IFR)

3) Tip zrakoplova

4) Oznaka vrtložne turbulencije (L, M, H)

5) Pozivni znak zrakoplova

6) Kod sekundarnog nadzornog radara

7) Brzina zrakoplova

8) Oznaka sustava za "on-line" razmjenu podataka (engl. *On-Line Data Interchange – OLDI*)

9) Oprema zrakoplova, npr.:

   S – Standardna komunikacijska oprema COM/NAV

   R – Oprema za prostornu navigaciju RNAV

   Y – Oprema za 8.33 KHz razmak frekvencija

U – Oprema za ultravisoke frekvencije UHF

W – Oprema za let u zračnom prostoru sa smanjenim minimumom vertikalnog razdvajanja RVSM

10) Polje za upozorenje o nedostatku opreme državnih zrakoplova RVSM i 8.33 opreme

11) Vrijeme polijetanja zrakoplova

12) Oznaka statusa leta HEAD i/ili STATE

13) Oznaka aerodroma polijetanja i slijetanja (ICAO)

14) Ulazna ili početna razina leta

15) Zahtijevana razina leta FL (FPL)

16) Izlazna razina leta FL (ako je određena koordinacijskim ugovorom)

17) Prve četiri točke rute (pri strojnoj obradi upisuje se i predviđeno vrijeme iznad)

18) Oznaka sektora za koji se tiska obrazac

19) Predviđena ruta zrakoplova

20) Vrijeme i datum tiskanja obrasca

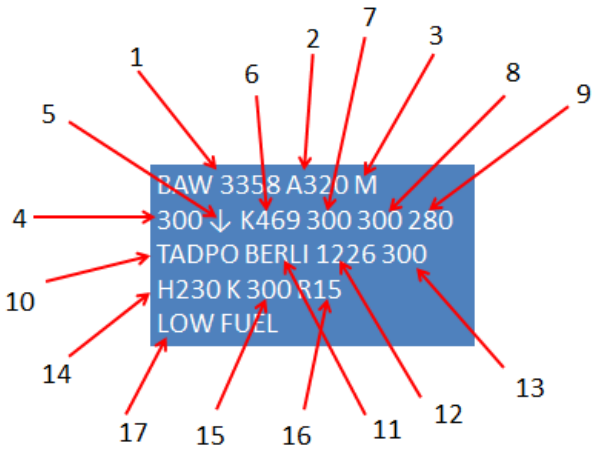
21) Broj zrakoplova.

Razumijevanje izgleda, karakteristika i načina rada s obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova važno je za provedeno istraživanje jer odražava karakteristike neautomatiziranih sustava.

2.6 ELEMENTI AUTOMATIZIRANOG SUSTAVA KONTROLE ZRAČNOG PROMETA

Automatizirani sustavi ne upotrebljavaju fizičke obrasce za upisivanje podataka o letu zrakoplova pa je potrebno na drugačiji način kontrolorima dostaviti osnovne podatke iz

planova leta o svakom pojedinačnom letu zrakoplova. Na pokazivačima prometne situacije kontrolorima se dostavljaju elektronički označeni ciljevi, slika 4., kojima su pridruženi osnovni podaci o svakom zrakoplovu koji se nalazi u utvrđenim područjima odgovornosti. Svi se podaci u sustav unose pomoću korisničkog sučelja – (engl. *Human Machine Interface HMI*), sva odobrenja i instrukcije pilotima moraju se unijeti u sustav radnom metodom „potvrdi dok govoriš“ (engl. *click as you speak*), kao i podaci o koordinaciji. Bez pravovremenog unošenja podataka u automatizirani sustav, ne mogu se pravilno obavljati predviđeni zadaci te, isto tako, informacije koje su prikazane na pokazivačima nemaju zahtijevanu pouzdanost i integritet.



Slika 4. Elektronička oznaka o letu zrakoplova

Elektronička oznaka o letu zrakoplova sastoji se od ovih polja:

1) Pozivni znak zrakoplova, najviše 7 znakova

2) Tip zrakoplova

3) Oznaka vrtložne turbulencije (L, M, H)

4) Stvarna visina leta koju emitira Mode C (engl. *Actual Flight Level AFL*)

5) Indikator promjene visine, strelica gore za penjanje, strelica dolje za poniranje, bez strelice u horizontalnom letu

6) Brzina leta u odnosu na zemaljsku površinu u nautičkim miljama (engl. *Ground Speed GS*)

7) Polje za odobrenu razinu leta za zrakoplove pod nadležnošću / predviđena razina leta za koordinirane zrakoplove, (engl. *Cleared Flight Level CFL / Predicted Entry Level PEL*)

8) Zahtijevana razina leta (engl. *Requested Flight Level RFL*)

9) Postavljena razina leta (engl. *Set Flight Level SFL*), za zrakoplove koji rabe Mode S

10) Sljedeća točka rute

11) Izlazna točka iz sektora (engl. *Sector Exit Waypoint COPX*)

12) Predviđeno vrijeme izlaska iz sektora (engl. *Estimated Time for COPX*)

13) Izlazna razina leta ako je određena koordinacijskim ugovorom (engl. *Exit Flight Level XFL*)

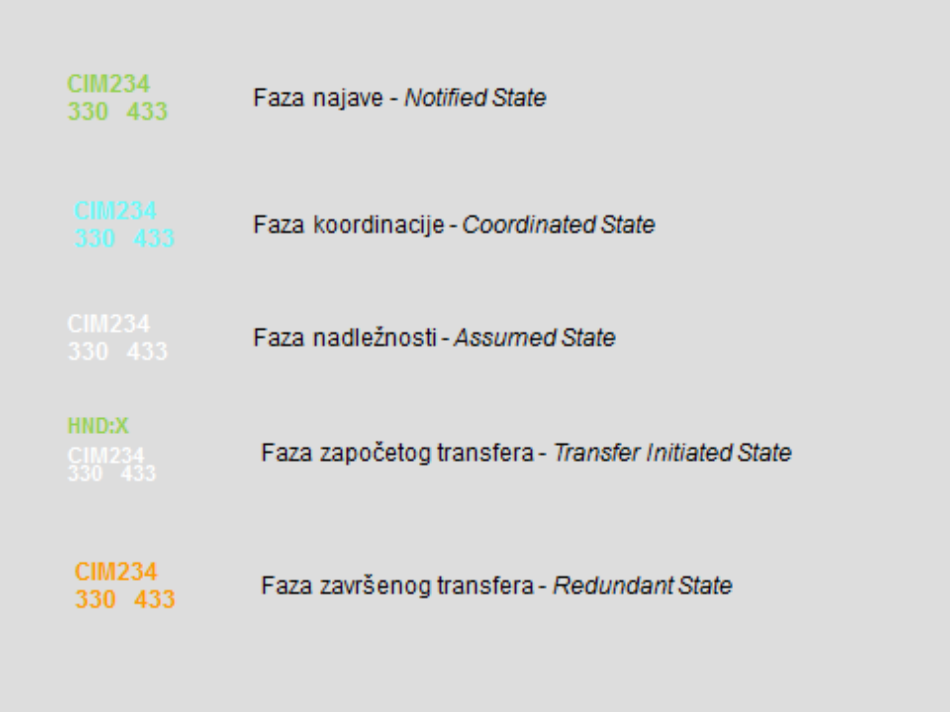
14) Zadani vektor smjera, slovo H ispred (engl, *Assigned Heading AHDG*)

15) Zadana putna brzina, slovo K za brzinu izraženu u nautičkim miljama ili M za Machov broj (engl. *Assigned Speed ASP*)

16) Zadana vertikalna brzina, u stotinama stopa, slovo R ispred (engl. *Assigned Rate of Change ROC*)

17) INFOTEKST, polje za upisivanje teksta.

Postoji nekoliko faza tijekom leta zrakoplova kroz određeni sektor. Svaka faza leta kodirana je određenom bojom, slika 5.



Slika 5. Faze u „životnom“ ciklusu leta zrakoplova kroz sektor

Kodiranje bojom omogućuje brzo identificiranje zrakoplova koji trebaju ući u određeni sektor, bržu koordinaciju između različitih sektora jer je predmetni zrakoplov vidljiv u oba sektora (drugačije boje), a status zrakoplova u određenoj fazi leta lako je uočljiv prema bojama oznaka. Ta činjenica značajno pridonosi radu automatiziranog sustava i važna je odrednica pri određivanju radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa.

2.7 AUTOMATIZACIJA SUSTAVA KONTROLE ZRAČNOG PROMETA

Primjena odgovarajuće razine automatizacije na sustav kontrole zračnog prometa jest složen problem zbog velikog broja različitih podataka i parametara koji su potrebni kontroloru za donošenje odluke. Ne postoji univerzalno rješenje za razinu automatizacije sustava, već se ona mora prilagoditi karakteristikama specifičnog zračnog prostora [15]. Za kategoriju odabira odgovarajućih odluka i akcija mogu se primijeniti različite razine (skale) automatizacije [10]. Prva razina odgovara potpunom odsustvu automatizacije i potpunom

izvršenju funkcija od strane ljudskog operatera, a deseta razina potpunoj automatizaciji, tablica 1., odnosno odsustvu ljudskog operatera u izvršenju neke aktivnosti.

Tablica 1. Skala razine automatizacije [10]

Razina	*Opis stupnjeva automatizacije*
NISKA *1.*	*Računalo ne nudi nikakvu pomoć, ljudski operator mora raditi sve;*
2.	*Računalo nudi kompletan skup alternativnih akcija;*
3.	*Računalo sužava selekciju na nekoliko alternativnih akcija;*
4.	*Računalo sugerira odgovarajuću akciju;*
5.	*Računalo izvršava sugeriranu akciju ako je ljudski operator odobri;*
6.	*Računalo dopušta operatoru da ne odobri izvršenje akcije u određenom vremenu prije automatskog izvršenja akcije;*
7.	*Računalo automatski izvršava akciju, a nakon toga obvezno informira operatora;*
8.	*Računalo informira operatora poslije izvršenja akcije samo ako on to traži;*
9.	*Računalo informira operatora poslije izvršenja akcije samo ako računalo odluči da je potrebno;*
VISOKA *10.*	*Računalo odlučuje o svemu i postupa autonomno, ignorira ljudskog operatora.*

Automatizaciju u sustavu kontrole zračnog prometa čine tri međusobno povezane kategorije aktivnosti kontrolora zračnog prometa:

1) odabir (selekcije) odgovarajućih odluka i akcija
2) prikupljanje informacija neophodnih za rad kontrolora zračnog prometa
3) implementacija odabranih akcija na osnovi prikupljenih i obrađenih informacija.

Primjenom automatizacije u sustavu kontrole zračnog prometa mijenja se način rada kontrolora zračnog prometa, a time i kapacitet zračnog prostora.

2.7.1 Opis alata koji pomažu kontrolorima

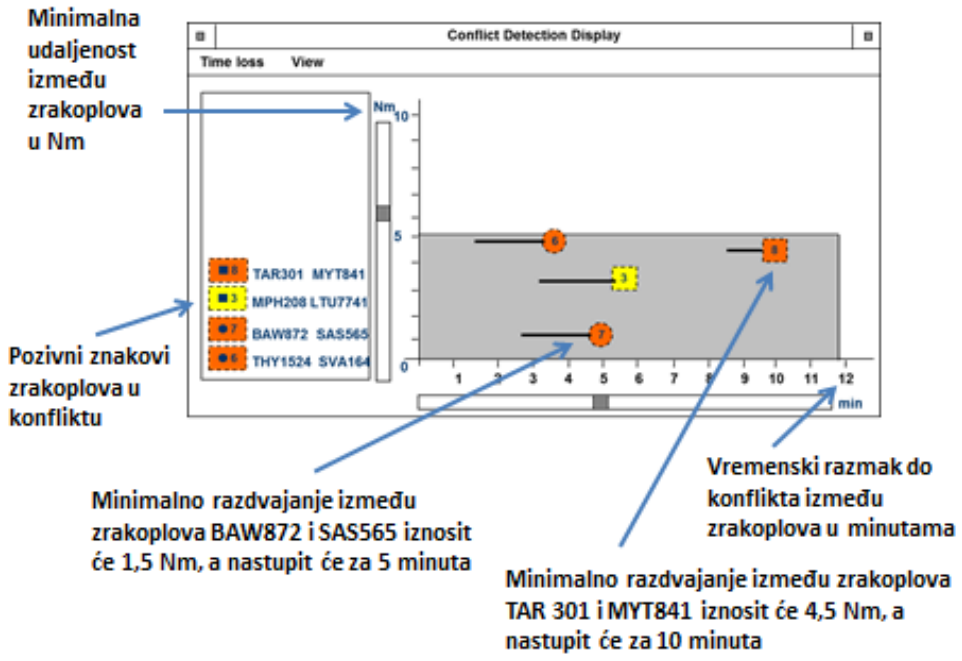
Kako bi se olakšao rad kontrolora u zahtjevnom okruženju, u automatizirane se sustave implementiraju određeni alati i pomagala. To su:

1) alati za detekciju konflikta (engl. *Conflict Detection Tools*)
2) pomagala za nadgledanje (engl. *Monitoring Aids*)
3) sustav za automatsku koordinaciju (engl. *System supported co-ordination – SYSCO*).

Narušavanje minimalnog razdvajanja, ponekad se naziva konfliktna situacija, između zrakoplova u letu jest svaka situacija između dvaju ili više zrakoplova u kojoj su zahtijevani minimumi razdvajanja u kontroliranom zračnom prostoru narušeni [8]. Sve informacije koje su potrebne kontroloru prikazuju se na pokazivaču prometne situacije te, prema potrebi, na dodatnom informativnom pokazivaču. Podaci o ruti zrakoplova koji kontroloru služe za planiranje leta zrakoplova kroz sektor sadržani su u elektroničkoj oznaci o letu zrakoplova te se mogu na zahtjev kontrolora, putem sučelja, prikazati na pokazivaču prometne situacije. Konflikti između zrakoplova u letu koje u neautomatiziranom sustavu pronalazi kontrolor zračnog prometa, mogu se detektirati alatom za detekciju konflikta. Pomagala za nadgledanje omogućuju praćenje leta zrakoplova koji se nalazi u sektoru te upozoravaju kontrolora u slučaju odstupanja zrakoplova od zadane ruta čime je povećana sigurnost zračnog prometa. Sustav za automatsku koordinaciju ubrzava međusektorsku koordinaciju, ne zahtijeva govornu komunikaciju između kontrolora, a transferiranje zrakoplova između sektora olakšano je i ubrzano jer je svaki zrakoplov koji dolazi iz susjednog sektora označen posebnom bojom. Također, kodiranje bojom omogućuje kontroloru lakše planiranje jer su zrakoplovi koji ulaze u njegovo područje nadležnosti označeni posebnim bojama, a ostali su zrakoplovi koji nisu bitni za planiranje, označeni sivom bojom. Važno je naglasiti da unatoč implementaciji alata i pomagala za olakšanje rada, krajnja odgovornost za uočavanje i rješavanje konfliktnih situacija između zrakoplova ostaje na kontroloru zračnog prometa.

2.7.1.1 Alati za detekciju konflikta

Za izvršavanje zadataka detekcije (potraga i uočavanje) konflikata kontrolor se koristi alatom koji mu pomaže u detekciji konflikta između dvaju ili više zrakoplova, slika 6. Sustav detektira potencijalne konflikte unutar zadanog vremena (podesiv parametar, npr. do 20 minuta). Na temelju podataka iz planova leta sustav preliminarno obavlja potragu za konfliktima. U trenutku dobivanja aktivacijske poruke (engl. *Activation message* ACT) putem sustava za razmjenu podataka u kojoj se dostavlja putna razina i vrijeme planiranog dolaska na određenu točku za svaki pojedinačni let, sustav uspoređuje različite letne putanje zrakoplova te uočava konflikte između dvaju ili više zrakoplova. Kada sustav detektira konflikt, on se grafički prikazuje na pokazivaču prometne situacije putem posebnog prozora, u obliku minimalne proračunane udaljenosti između zrakoplova zajedno s preostalim vremenom do konflikta. Isto je tako moguće prikazati zrakoplove u konfliktu na pokazivaču prometne situacije. Moguće je, doduše, u rijetkim i ekstremnim situacijama, da alat ne detektira konflikte između zrakoplova pa je odgovornost za uočavanje konfliktnih situacija između zrakoplova na kontroloru zračnog prometa.

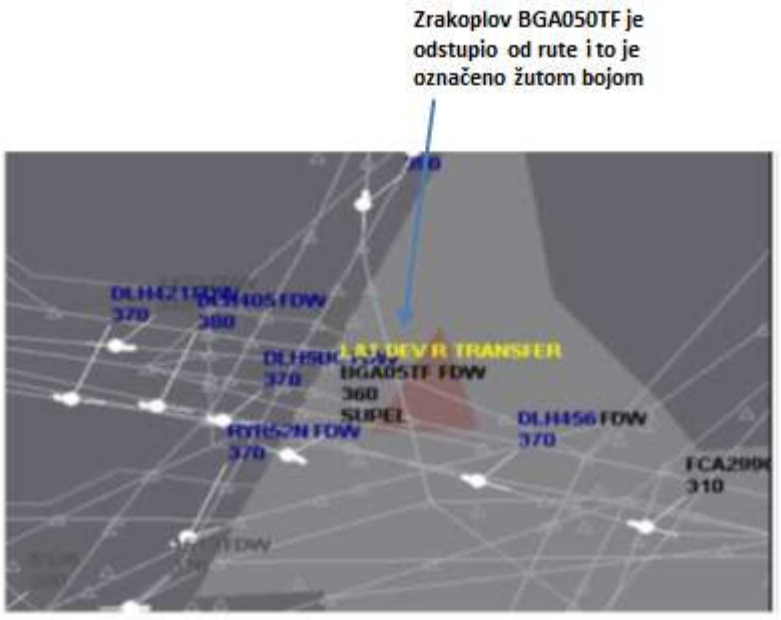


Slika 6. Prikaz alata za detekciju konflikta

Na slici 6. prikazan je generički izgled alata za detekciju konflikta. U tekstualnom dijelu nabrojani su parovi zrakoplova koji se nalaze u konfliktnoj situaciji, crvenom su bojom označeni stvarni konflikti, a žutom potencijalni. Stvarni su konflikti između parova zrakoplova oni kod kojih zrakoplovi lete putanjama koje se približavaju na udaljenost manju od propisanog minimalnog razdvajanja, 5 nautičkih milja, ili im se putanje sijeku. Potencijalni konflikti između parova zrakoplova jesu oni kod kojih zrakoplovi lete putanjama koje se ne približavaju, ali u slučaju promjene visine leta nastupit će stvarni konflikt. U grafičkom dijelu kontrolor može vidjeti koliko će iznositi najmanja udaljenost između para zrakoplova koji su u konfliktnoj situaciji te preostalo vrijeme do nje.

2.7.1.2 Pomagala za nadgledanje

Ova vrsta alata, slika 7., pomaže kontroloru u praćenju leta zrakoplova koji se nalazi u prihvaćenom stanju (engl. *Assumed*). U slučaju odstupanja zrakoplova od zadanih parametara leta u elektroničkoj se oznaci automatski generira upozorenje, ovisno o vrsti odstupanja, te omogućuje kontroloru lakše izvršavanje zadataka nadgledanja identificiranog zrakoplova.



Slika 7. Prikaz pomagala za nadgledanje

Na slici 7. prikazano je odstupanje leta zrakoplova od odobrene rute. Elektroničkoj oznaci zrakoplova dodano je tekstualno upozorenje, lateralno odstupanje (engl. *Lateral deviation*), te je dodatno označeno žutom bojom.

Alat može generirati različita upozorenja kontroloru, jedno je od njih upozorenje o približavanju području s ograničenjem letenja (engl. *Area Proximity Warning – APW*). Zrakoplov će se, ako nastavi predviđenim kursom i visinom leta, približiti području s ograničenjem letenja ili u njega ući.

Upozorenje o minimalnoj sigurnoj visini (engl. *Minimum Safe Altitude Warning – MSAW*) jest alat koji upozorava kontrolora da će određeni zrakoplov, ako nastavi predviđenim kursom i visinom leta, ući u područje u kojem će letjeti ispod minimalne sigurne visine.

Upozorenje o odstupanju od planirane rute (engl. *Route Adherence Monitoring*) predstavlja alat kojemu početne informacije za rad dostavlja sustav za obradu podataka o planovima leta, koji ima pohranjenu rutu i vrši usporedbu pohranjene rute i pozicije zrakoplova koju je uočio sustav za obradu radarskih podataka. Ako se pozicija zrakoplova razlikuje od planirane rute, alat upozorava kontrolora da se zrakoplov nalazi u odstojanju od planirane rute za +/-5 NM. Sustav također upozorava kontrolora kada zrakoplov ne slijedi odobrenu rutu nakon radarskog vektoriranja zrakoplova.

Upozorenje o nepridržavanju dodijeljene visine (engl. *Cleared Level Adherence*) upozorava kontrolora da zrakoplov kojem je izdana instrukcija o promjeni visine ne postupa u skladu s instrukcijom.

2.7.1.3 Sustav za automatsku koordinaciju

Sustav za automatsku koordinaciju upotrebljava se za direktnu koordinaciju između nekoliko sektora unutar istog ATM sustava, s mogućnosti proširenja na koordinaciju među ACC centrima. Sustav podupire automatsku koordinaciju pomoću OLDI specifikacije (engl. *Online Data Interchange*). Ovisno o fazi leta zrakoplova generiraju se različite poruke kojima se obavljaju zadaci koordinacije.

Proces počinje s automatskim obavijestima o letu – ABI poruka (engl. *Advance Boundary Information*) – koju šalje jedinica kontrole zračnog prometa iz koje zrakoplov dolazi. Time se osigurava da sljedeća jedinica ima podatke o letu prije faze koordinacije, let se nalazi u fazi najave (engl. *Notified State*). U unaprijed definiranom vremenu (od 12 do 15 minuta) prije nego što let dostiže granicu sektora, dolaskom aktivacijske poruke ATC (engl. *Activation message*) započinje faza koordinacije. Aktivacijska poruka sadrži podatke o točnom vremenu i visini – razini leta na kojoj će zrakoplov ući u sektor. Svaka daljnja promjena u uvjetima koordinacije može se priopćiti pomoću poruke za reviziju REV (engl. *Revision message*). Sljedeći sektor može prihvatiti promjenu putem poruke prihvaćanja – ACP (engl. *Acceptance message*) poruke ili odbiti porukom odbijanja – RJC (engl. *Rejection message*) porukom ili predložiti drugo rješenje porukom kontrakoordinacije – CDN (engl. *Counter Coordination message*) porukom. Ulaskom zrakoplova u sektor započinje faza nadležnosti (engl. *Assumed State*). U toj fazi moguće je mijenjanje parametara leta, visine, smjera i podešavanje brzine zrakoplova, ali samo do određenog vremena koje je unaprijed definirano, a koje ovisi o vremenu do ulaska u sljedeći sektor. Ako se želi promijeniti neke od parametara leta nakon zadanog vremena, onda se to radi telefonskom koordinacijom sa sljedećim sektorom.

Faza transfera počinje slanjem poruke započinjanja transfera TIM (engl. *Transfer Initiation Message*). Tada kontrolor izdaje zrakoplovu uputu o promjeni frekvencije i prelasku na sljedeći sektor, sustav šalje poruku promjene frekvencije COF (engl. *Change of Frequency message*) te započinje faza započetog transfera (engl. *Transfer Initiated State*). Nakon što sljedeći sektor prihvati zrakoplov, nastupa faza završenog transfera (engl. *Redundant State*). Svaka faza u sustavu automatske koordinacije označena je različitom bojom radi povećavanja situacijske svjesnosti kontrolora.

3 UČINKOVITOST SUSTAVA KONTROLE ZRAČNOG PROMETA

Radi određivanja učinkovitosti pružatelj usluga obvezan je pratiti i analizirati vlastiti sustav kontrole zračnog prometa. Učinkovitost (engl. *performance*) se definira kao ostvarenje zadanog zadatka mjerenog prema unaprijed poznatim standardima točnosti, potpunosti, troškova i brzine [42]. Kako bi se učinkovitost usluga u zračnom prometu sustavno mjerila, pratila i analizirala te dosegla zadovoljavajuću razinu, postavljaju se određeni zadaci – planovi performansi na svjetskoj, europskoj razini te na nacionalnoj ili razini funkcionalnih blokova zračnog prostora. Planovi performansi trebali bi doprinijeti održivom razvoju sustava zračnog prometa poboljšanjem cjelokupne učinkovitosti usluga na ključnim područjima performansi; sigurnost, okoliš, kapacitet i isplativost – troškovna učinkovitost, a u ovoj doktorskoj disertaciji dodatno će se analizirati ljudski čimbenici.

Na svjetskoj razini mnogobrojni pružatelji usluga kontrole zračnog prometa imaju različite zahtjeve i prioritete pri definiranju performansi sustava, stoga planove performansi predlaže Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva. Od svih performansi sustava, pružateljima usluga najvažnija je sigurnost [43]. Mjerenje performansi sigurnosti teško je izvedivo jer je sigurnost više mjerljiva svojim odsustvom nego svojim prisustvom. Naime, puno je lakše mjerenje, praćenje i analiziranje događaja koji mogu imati negativan utjecaj na sigurnost, nego razumijevanje procesa koji vode do njihova izbjegavanja. Sigurnost pružatelja usluga ocjenjuje se po broju i težini negativnih rezultata koji se događaju u određenom razdoblju. Nadalje, neki pružatelji usluga imaju eksplicitna ekonomska očekivanja, dok je ostalima važna učinkovitost i redovitost. Za optimalne performanse sustava, svaki od tih, ponekad suprotstavljenih, zadataka treba biti uravnotežen. Za mjerenje performansi sustava Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva predložila je koncept zahtijevane ukupne učinkovitosti sustava (engl. *Required Total System Performance – RTSP*). Taj koncept predviđa zadavanje i mjerenje performansi kako bi se projektirao, razvio, upravljao i održavao sustav koji može zadovoljiti očekivanja svojih korisnika. Uz to, utvrđuje se da sustav radi u skladu sa svojom namjenom i određuje kada i gdje treba poduzeti aktivnosti kako bi se poboljšala razina performansi kada sustav ne ispunjava, ili se predviđa da neće ispuniti, očekivanja.

Izuzetno je važno da se mjerenja mogu primijeniti ravnomjerno na cjelokupnom sustavu kontrole zračnog prometa, dok potrebna razina performansi može biti promjenjiva.

Europska je komisija Uredbom br. 549/2004 [29] predvidjela uspostavljanje plana performansi za usluge u zračnoj plovidbi te je na temelju te Uredbe donijela Provedbenu uredbu br. 390/2013 [44] o utvrđivanju plana performansi za usluge u zračnoj plovidbi i mrežne funkcije. Predloženi Plan performansi trebao bi poboljšati učinkovitost usluga u zračnom prometu na ključnim područjima performansi: sigurnost, okoliš, kapacitet i isplativost – troškovna učinkovitost. Pri provedbi plana performansi Europskoj komisiji pomaže Tijelo za reviziju performansi (engl. *Performance Review Body*) koje daje savjete Komisiji u svim područjima koja utječu na performanse usluga. Planom performansi predviđaju se pokazatelji i obvezujući ciljevi u svim ključnim područjima performansi, uz potpuno postizanje i održavanje zahtijevanih razina sigurnosti. Planovi performansi donose se za referentno razdoblje (engl. *Reference period – RP*). To je razdoblje valjanosti i primjene ciljeva performansi i planova performansi na razini cijele Europske unije. Prvo referentno razdoblje za plan performansi obuhvaća kalendarske godine od 2012. do uključivo 2014. Drugo referentno razdoblje obuhvaća kalendarske godine od 2015. do uključivo 2019., a daljnja referentna razdoblja traju pet kalendarskih godina.

3.1 KLJUČNO PODRUČJE PERFORMANSI – SIGURNOST I POKAZATELJI PERFORMANSI

Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva u Priručniku za upravljanje sigurnošću [45] definirala je sigurnost (engl. *Safety*) kao stanje u kojem je rizik od nanošenja štete osobama ili imovini umanjen i održavan na prihvatljivoj razini rizika ili ispod nje, kroz kontinuirani postupak prepoznavanja opasnosti i upravljanja rizikom. Rizicima se treba upravljati kako bi ih se zadržalo na prihvatljivoj razini. Pritom je opasnost (engl. *hazard*) stanje ili objekt koji potencijalno može dovesti do ozljede osoba, oštećenja opreme ili strukture, gubitka sredstava ili smanjenja sposobnosti za izvođenje definirane funkcije. Rizik (engl. *Risk*) je procjena posljedica opasnosti, iskazana terminima predviđene vjerojatnosti i ozbiljnosti, koja za referencu uzima najgoru moguću situaciju.

Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva zahtijeva [43] od država članica uspostavu Nacionalnog programa sigurnosti u zračnom prometu (engl. *State Safety Program – SSP).* Taj program predstavlja integrirani set regulative i aktivnosti radi podizanja razine sigurnosti država članica. U skladu sa zahtjevima Organizacije međunarodnog civilnog zrakoplovstva standarda [45] svaka država treba definirati i uspostaviti prihvatljivu razinu performansa sigurnosti (*Acceptable Level of Safety Performance – ALoSP*). Prihvatljiva razina performanse sigurnosti jest minimalna razina performanse sigurnosti u zračnom prometu neke države, izražena u terminima ciljeva performanse sigurnosti i pokazatelja performanse sigurnosti.

Događaji koji ugrožavaju sigurnost povezani s upravljanjem zračnog prometa jesu:

i. narušavanje minimalne separacije (engl. *separation minima infringements*)
ii. neodobreni ulaz na uzletno-sletnu stazu (engl. *runway incursions*)
iii. događaji specifični za upravljanje zračnim prometom (engl. *ATM specific occurrences*).

Svi događaji koji ugrožavaju sigurnost zračnog prometa klasificiraju se metodologijom za analizu rizika (engl. *Risk Analysis Tool – RAT*). Pri izvješćivanju pružatelji usluga u zračnoj plovidbi upotrebljavaju ove razrede ozbiljnosti:

i. ozbiljna nezgoda

ii. veća nezgoda

iii. značajna nezgoda

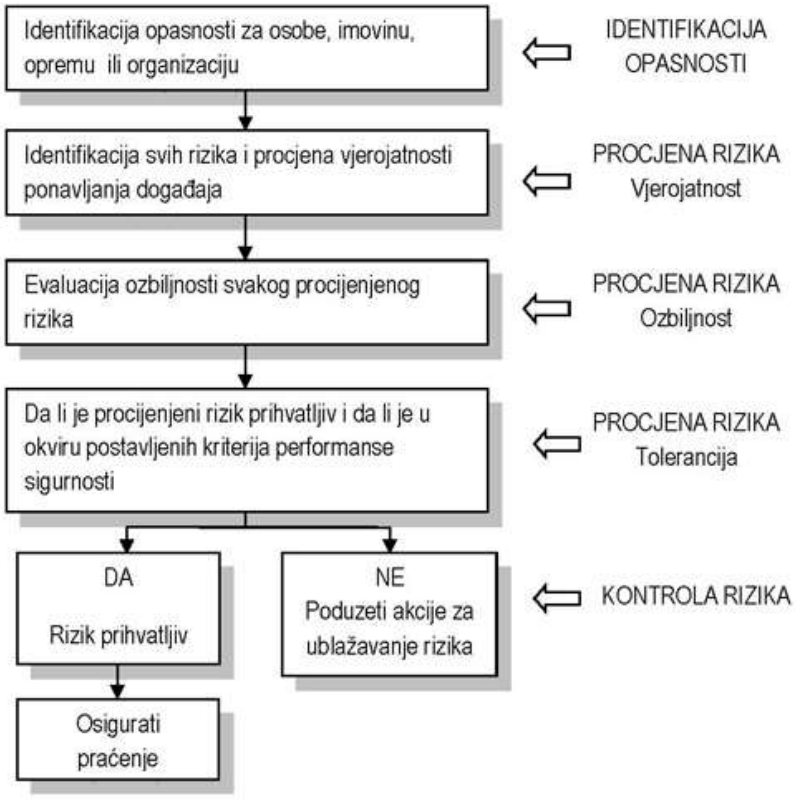
iv. bez učinka na sigurnost

v. nije utvrđeno; na primjer, utvrđivanje je onemogućeno zbog toga što na raspolaganju nema dovoljno informacija ili su dokazi nejasni ili proturječni.

Pružatelji usluga u zračnom prometu, u skladu s obvezama koje proizlaze iz Nacionalnog programa sigurnosti u zračnom prometu, dužni su uspostaviti i održavati sustav upravljanja sigurnošću (engl. *Safety Management System – SMS*). Sustav upravljanja sigurnošću bazira se na prikupljanju podataka. Analizom podataka o događajima povezanima sa sigurnošću identificiraju se opasnosti i utvrđuju nesigurni uvjeti. Korištenjem metodologije za procjenu rizika utvrđuju se prioriteti za smanjivanje potencijalnih opasnosti. Razvijaju se i odobravaju strategije za ublažavanje ili eliminaciju utvrđenih sigurnosnih rizika s jasnom

podjelom odgovornosti za njihovu provedbu. Situacija se procjenjuje i prikupljaju se dodatni podaci, postupak se ponavlja u redovitim ciklusima i po potrebi se poduzimaju dodatne mjere.

Procedura procjene rizika sigurnosti, slika 8., za Republiku Hrvatsku opisana je Nacionalnim programom sigurnosti u zračnom prometu [46].

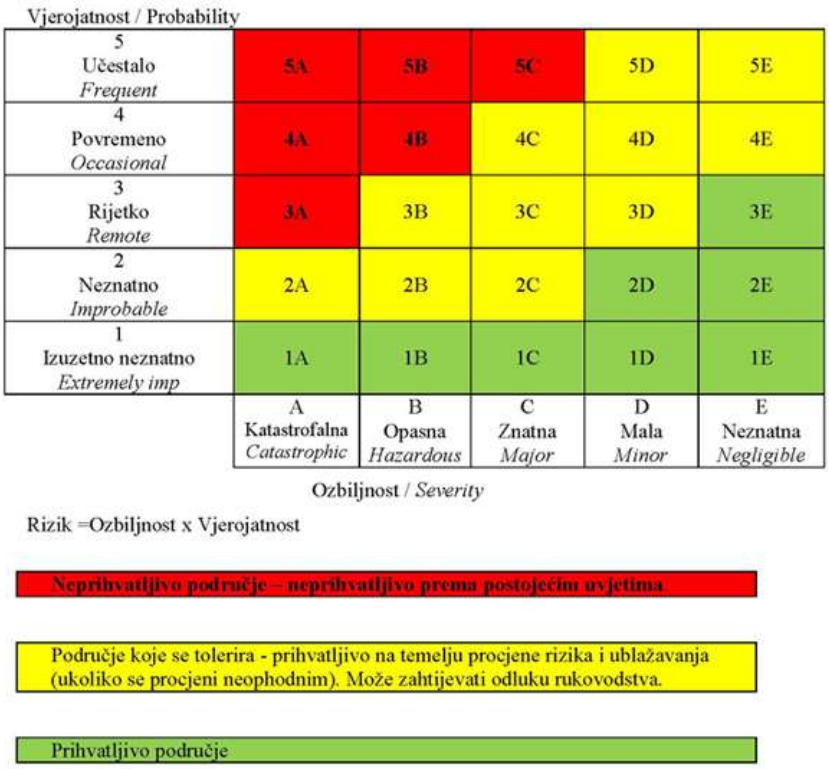


Slika 8. Dijagram procesa analize opasnosti i procjene rizika

Procedura procjene rizika započinje identifikacijom opasnosti za osobe, imovinu, opremu ili organizaciju. Ulazni su podaci pregledi događaja povezanih sa sigurnošću. Svrha nije detaljna analiza, već samo početna klasifikacija. Prikupljeni podaci pohranjuju se u bazu podataka i rabe se za analizu i praćenje trendova. Slijedi procjena vjerojatnosti ponavljanja događaja i evaluacija ozbiljnosti svakog procijenjenog rizika. Praćenje trendova može ukazati na potrebu poduzimanja nekih preventivnih ili korektivnih akcija/mjera i bez formalne procjene rizika. Ključni je korak procjena je li rizik prihvatljiv i je li u okviru postavljenih kriterija performanse sigurnosti, tj. identifikacija je li to slučaj koji može utjecati na sigurnost (engl. *Safety Issue*). Slijedi kontrola rizika, je li rizik prihvatljiv, te se osigurava praćenje

rizika. Ako rizik nije prihvatljiv, onda se poduzimaju mjere za ublažavanje rizika – mitigacije.

Identifikacija rizika slučaja, slika 9., koji može utjecati na sigurnost vrši se putem modela Organizacije međunarodnog civilnog zrakoplovstva.



Slika 9. Identifikacija rizika putem ICAO modela

Područja označena crvenom bojom predstavljaju neprihvatljiv rizik, bilo da je ozbiljnost prevelika ili vjerojatnost pojavljivanja prečesta. Procjena rizika u obzir uzima vjerojatnost i ozbiljnost bilo koje negativne posljedice koja može biti rezultat identificirane opasnosti. Poduzimaju se mjere ublažavanja rizika prema žutom ili zelenom području. Područja označena žutom bojom predstavljaju prihvatljiv rizik, uz mjere praćenja rizika. Neki rizici mogu biti prihvatljivi uz odluku rukovodstva. Područja označena zelenom bojom predstavljaju prihvatljiv rizik. Rizicima se treba upravljati tako da se balansira između vremena, troškova i teškoće provođenja mjera radi smanjenja ili eliminiranja rizika.

Tijekom prvog referentnog razdoblja nisu postavljeni ciljevi za povećanje sigurnosti, nego će se samo razmatrati ključni pokazatelji učinkovitosti vezani za sigurnost.

Iskustvo je pokazalo da nesrećama u zračnom prometu često prethode nezgode i događaji povezani sa sigurnošću te nedostaci koji otkrivaju postojanje opasnosti za sigurnost. Podaci povezani sa sigurnošću stoga su važno sredstvo za otkrivanje postojećih ili potencijalnih opasnosti za sigurnost. Osim toga, iako je sposobnost učenja iz nesreće presudna, isključivo reaktivni, klasični, sigurnosni sustavi pokazali su se ograničenima u kontinuiranom ostvarenju poboljšanja. Reaktivne sustave trebalo bi, stoga, dopuniti proaktivnim, novim, sustavima sigurnosti koji se koriste svim prikupljenim podacima povezanim sa sigurnošću radi ostvarenja učinkovitih poboljšanja u sigurnosti zračnog prometa. Sustav upravljanja zračnim prometom i njegova najvažnija komponenta, kontrola zračnog prometa, jest visokorizična djelatnost s rijetkom pojavom incidentnih događaja, ali s katastrofalnim posljedicama. Sigurnost kontrole zračnog prometa izravno je suprotstavljena troškovnoj učinkovitost zbog čega je usvajanje sigurnosnih normi oduvijek praćeno opiranjima i teškim postizanjem konsenzusa, no taj proces nema alternative.

3.2 KLJUČNO PODRUČJE PERFORMANSI – KAPACITET SUSTAVA KONTROLE ZRAČNOG PROMETA I POKAZATELJI PERFORMANSI

Kapacitet sustava kontrole zračnog prometa izražava se kao maksimalan broj zrakoplova koji se mogu prihvatiti i uslužiti od odgovarajuće jedinice kontrole zračnog prometa tijekom određenog vremenskog perioda, najčešće 60 minuta [15]. Globalni sustav upravljanja zračnim prometom treba zadovoljiti zahtjeve svih korisnika zračnog prostora za dostatnim kapacitetima tijekom vršnih perioda te zadržati minimalna ograničenja u pogledu upravljanja protokom zračnog prometa. Zračni prostor predstavlja ograničen resurs čija je optimalna i učinkovita upotreba moguća samo ako se u obzir uzmu zahtjevi svih korisnika, civilnih i vojnih. Sustav upravljanja zračnim prometom treba biti otporan na mogućnost prekida pružanja usluge koji rezultira privremenim gubitkom kapaciteta [43]. Optimalno je rješenje uravnoteženo korištenje raspoloživih kapaciteta za kontrolu zračnog prometa, tj. izjednačavanje ponude i potražnje kapaciteta. Kada nastupi nerazmjer u ponudi i potražnji raspoloživih kapaciteta sustava kontrole zračnog prometa, manjak kapaciteta, onda se uvode mjere upravljanja protokom zračnog prometa. Mjere upravljanja protokom zračnog prometa temelje se na načelima koja je utvrdila Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva i

uzimaju u obzir raspoloživost ruta i zračnog prostora te potiču primjenu fleksibilne uporabe zračnog prostora (engl. *Flexible use of the airspace*). Fleksibilna uporaba zračnog prostora [36] jest koncepcija upravljanja zračnim prostorom koju je opisala Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva, a razvila Europska organizacija za sigurnost zračne plovidbe, prema kojoj se zračni prostor ne bi trebao određivati niti kao posve civilni niti kao posve vojni, nego ga je bolje smatrati jednom cjelinom u kojoj se moraju smjestiti potrebe svih korisnika u najvećem mogućem stupnju. Cilj je koncepta fleksibilne uporabe zračnog prostora povećati kapacitet sustava upravljanja zračnim prometom i smanjiti kašnjenja, odnosno skratiti putanje leta zrakoplova, a time i troškove te emisiju štetnih plinova u okoliš.

Porast potražnje u zračnom prometu uvjetuje povećanje kapaciteta (zračnih luka, zračnog

prostora), ali zbog manjaka kapaciteta, i pored uvedenih mjera upravljanja protokom zračnog prometa, dolazi do kašnjenja. Kašnjenja mogu nastati kombinacijom i djelovanjem niza čimbenika:

- nepovoljna meteorološka situacija (turbulencija, planinski valovi, vjetar, zaleđivanje, smanjenje vidljivosti, grmljavina i grmljavinska nevremena, oborine itd.)
- razni poremećaji u zračnom prostoru (nastanak vulkanskog pepela, uvođenje „zabranjenih zona“ pojedinih zemalja (no-fly zone), otkazi opreme koji imaju utjecaj na kapacitet zračnog prostora, štrajkovi i socijalne tenzije)
- manjak kapaciteta sustava kontrole zračnog prometa zbog nedostataka kontrolora zračnog prometa (oblasnih i aerodromskih).

Ključni pokazatelj performansi za područje kapaciteta jesu prosječne minute kašnjenja na ruti po letu koje se mogu pripisati uslugama u zračnoj plovidbi. Minute kašnjenja definiraju se ovako:

i. kašnjenje na ruti je kašnjenje koje izračunava središnja jedinica upravljanja protokom zračnog prometa koje se izražava kao razlika između vremena uzlijetanja koje je operator zrakoplova zahtijevao u posljednjem predanom planu leta i izračunanog vremena uzlijetanja koje je dodijelila središnja jedinica upravljanja protokom zračnog prometa;
ii. ovaj pokazatelj obuhvaća sve letove koji lete po pravilima instrumentalnog letenja unutar europskog zračnog prostora i sve uzroke kašnjenja, osim izvanrednih događaja;

iii. ovaj se pokazatelj izračunava za cijelu kalendarsku godinu i za svaku godinu referentnog razdoblja.

Za prvo referentno razdoblje postavljeni ciljevi za prosječne minute kašnjenja na ruti po letu iznose:

- za 2012. godinu – planirano 0,7 minuta prosječnog kašnjenja po letu, ostvareno 0,63 minuta prosječnog kašnjenja po letu
- za 2013. godinu – planirano 0,6 minuta prosječnog kašnjenja po letu, ostvareno 0,53 minuta prosječnog kašnjenja po letu
- za 2014. godinu – planirano 0,5 minuta prosječnog kašnjenja po letu, ostvareno 0,61 minuta prosječnog kašnjenja po letu.

3.3 KLJUČNO PODRUČJE PERFORMANSI – TROŠKOVNA UČINKOVITOST I POKAZATELJI PERFORMANSI

Postoji stalan sukob između zahtjeva za troškovnom učinkovitosti i većom sigurnosti. Oba su zahtjeva važna i postavljaju zahtjeve pred ograničene resurse, ali zapravo predstavljaju sukobljene ciljeve. Povećanje učinkovitosti može dovesti u pitanje održavanje dostignute razine sigurnosti te je potrebno održavati stalnu ravnotežu između tih dvaju zahtjeva.

Korisnici usluga kontrole zračnog prometa moraju platiti naknadu za pružene usluge za svaki let obavljen u skladu s pravilima i propisima Organizacije međunarodnog civilnog zrakoplovstva, opći zračni promet. Troškovi pružatelja usluga sastoje se od troškova infrastrukture, osoblja i ostalih operativnih troškova. Postoji nekoliko vrsta naknada za pružanje usluga u zračnoj plovidbi:

- operativnih usluga u zračnom prometu
    - rutne
    - terminalne
- komunikacije, navigacije i nadzora
- zrakoplovnog informiranja

- zrakoplovne meteorologije.

U europskom zračnom prostoru obračun naknada vrši se sukladno zahtjevima Uredbe 391/2013 [53] kojom se utvrđuje zajednički način obračuna naknada za usluge u zračnoj plovidbi. Jedan od osnovnih ciljeva uspostave jedinstvenog europskog neba i poboljšanje performansi usluga u zračnoj plovidbi jest regulacija sustava obračuna naknada za pružanje usluga u zračnoj plovidbi. Sustav obračuna naknada trebao bi omogućiti optimalnu upotrebu zračnog prostora uzimajući u obzir tokove zračnog prometa te odražavati troškove direktno ili indirektno povezane s pružanjem usluga, uključujući primjenu podjele rizika povezanog s prometom.

Ključni su pokazatelji performansi i pokazatelji za troškovnu učinkovitost:

a) utvrđeni jedinični trošak (engl. *determined unit cost – DUC*) za rutne usluge u zračnoj plovidbi koji se ovako definira:
    i. ovaj je pokazatelj omjer između utvrđenih troškova na ruti i predviđenog prometa u naplatnoj zoni, izražen u jedinicama usluge koje se očekuju tijekom određenog razdoblja na lokalnoj razini;
    ii. ovaj se pokazatelj izražava u realnim vrijednostima i u nacionalnoj valuti;
    iii. ovaj se pokazatelj daje za svaku godinu referentnog razdoblja.
b) utvrđeni jedinični trošak za terminalne usluge u zračnoj plovidbi koji se ovako definira:
    i. ovaj je pokazatelj rezultat omjera između utvrđenih troškova i predviđenog prometa, izražen u jedinicama terminalnih usluga;
    ii. ovaj se pokazatelj izražava u realnim vrijednostima i u nacionalnoj valuti;
    iii. ovaj se pokazatelj daje za svaku godinu referentnog razdoblja.

Planom performansi za prvo referentno razdoblje planirano je smanjenje troškova na ruti. Planirano smanjenje rutnog jediničnog troška iznosi – 1,5 % godišnje, s 57,88 eura 2012. na 53,92 eura u 2014.

3.4 KLJUČNO PODRUČJE PERFORMANSI – UTJECAJ NA OKOLIŠ I POKAZATELJI PERFORMANSI

Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva [43] zahtijeva da sustav kontrole zračnog prometa doprinosi zaštiti okoliša u smislu smanjenja razine buke i emisije štetnih plinova. Stalan rast zračnog prometa najprogresivniji je svjetski izvor stakleničkih plinova koji uzrokuju klimatsku promjenu [48].

Emisija stakleničkih plinova koje ispuštaju zrakoplovni motori sastoji se od ugljičnog dioksida, dušičnih oksida, vodene pare te čestica čađe i sumpora. Jedan je od najvećih izvora ugljičnog dioksida izgaranje goriva. Smanjivanje potrošnje goriva izravno utječe na smanjivanje količine ugljičnog dioksida koji se ispušta u atmosferu. Sukladno podacima Međunarodne udruge za zračni prijevoz (engl. *International Air Transport Association, IATA*) zračni je promet u 2013. godini proizveo 705 milijuna tona ugljičnog dioksida, što predstavlja 2 % ukupne emisije, od ukupno 36 milijardi tona godišnje, koliko ugljičnog dioksida nastaje ljudskim djelovanjem Sadašnja flota mlaznih zrakoplova, otprilike 1397 zrakoplovnih kompanija s ukupno oko 25 000 zrakoplova, troši oko 240 milijuna tona goriva godišnje. Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva [49] izračunala je da se izgaranjem 1 kg avionskog goriva oslobađa 3,157 kg ugljičnog dioksida. Tijekom zadnjih 50 godina značajno je povećana učinkovitost i smanjena ukupna potrošnja goriva, moderni putnički zrakoplovi smanjili su ukupnu potrošnju za 70 % po putničkom sjedalu u odnosu na prve mlazne zrakoplove iz 1960-ih godina. Zrakoplovi najnovije generacije Airbus A380, Boeing 787, ATR-600 troše manje od 3 litre mlaznog goriva na 100 putničkih kilometara.

Zrakoplov kao izvor buke koja se odražava na zemlji, stvara buku [50] u nekoliko segmenata: polijetanje, slijetanje i vožnja zrakoplova po tlu. Buka koju stvaraju zrakoplovi može se podijeliti u tri grupe. U prvu grupu spada buka koju proizvodi pogonska grupa zrakoplova, u drugu uzajamni utjecaj između motora i strukture zrakoplova te u treću struktura (oblik) zrakoplova. Početkom 60-ih godina prošlog stoljeća u civilni zračni promet uvodi se prva generacija mlaznih zrakoplova te se pojavljuje problem zrakoplovne buke i njezina štetnog djelovanja, posebno u blizini velikih aerodroma te u području iznad prilaznih i odlaznih putanja. Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva 1971. izdala je Annex 16 [51] u kojem su opisani prvi standardi za buku zrakoplova u blizini aerodroma. Unutar njega definirane su i metode mjerenja buke zrakoplova, kao i dopuštene granice buke za sve tipove zrakoplova i helikoptera, izrađeni su modeli za certifikaciju zrakoplova prema buci te dane smjernice za operacije polijetanja i slijetanja s obzirom na redukciju buke. Novim

izdanjima Annex-a 16 prvobitni standardi za buku zrakoplova stalno se poboljšavaju i traži se smanjenje ukupne razine buke.

Provedbenom uredbom br. 390/2013 [44] ključni pokazatelj performansi okoliša jesu:

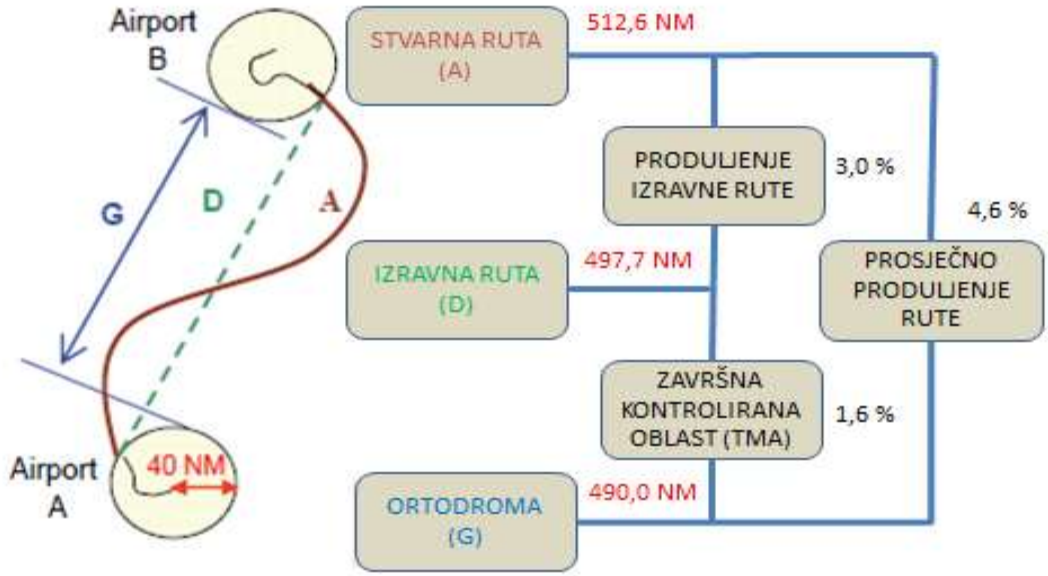
Prosječna učinkovitost horizontalnog leta na ruti za stvarnu putanju koja se definira kao:

i. usporedba između duljine rutnog dijela stvarne putanje dobivene iz podataka prikupljenih nadzorom i odgovarajućeg dijela razdaljine velike kružnice, zbrojeno za sve letove koji lete po pravilima instrumentalnog letenja koji se obavljaju unutar europskog zračnog prostora ili koji prolaze kroz europski zračni prostor;
ii. „na ruti" se definira kao preletena udaljenost izvan kružnice od 40 NM oko zračne luke;
iii. ako let uzlijeće s mjesta ili slijeće na mjesto izvan europskog zračnog prostora, u obzir se uzima samo onaj dio koji je unutar europskog zračnog prostora.

Prosječna učinkovitost horizontalnog leta na ruti za putanju iz posljednjeg predanog plana leta koja se definira kao:

i. razlika između duljine rutnog dijela putanje iz posljednjeg predanog plana leta i odgovarajućeg dijela razdaljine velike kružnice, zbrojeno za sve letove koji lete po pravilima instrumentalnog letenja, letove koji se obavljaju unutar europskog zračnog prostora ili koji prolaze kroz europski zračni prostor;
ii. „na ruti" se definira kao preletena udaljenost izvan kružnice od 40 NM oko zračne luke;
iii. ako let uzlijeće s mjesta ili slijeće na mjesto izvan europskog zračnog prostora, u obzir se uzima samo onaj dio koji je unutar europskog zračnog prostora.

Prosječno produljenje rute u 2011. godini koje je iznosilo 4,6 % (22,6 NM) po letu, od čega je 3,0 % (14,9 NM) bilo povezano s neučinkovitošću i nepravilnostima izravnog produljenja rute, a 1,6 % (7,7 NM) s povezanošću krajnjih područja (završnih kontroliranih oblasti), slika 10 [52].



Slika 10. Učinkovitost horizontalnog leta

Svako odstupanje od optimalne putanje produžava trajanje leta i stvara dodatnu potrošnju goriva i emisiju ugljičnog dioksida što utječe na okoliš, ali i na povećanje troškova.

Ključni pokazatelj učinkovitosti performansi za okoliš predstavlja horizontalna učinkovitost leta, koja se sastoji od dvije komponente – horizontalne i vertikalne. Za potrebe mjerenja uzima se samo horizontalna komponenta. Prilikom mjerenja učinkovitosti horizontalne komponente razmatra se produljenje rute, koje predstavlja razliku između duljine stvarne trajektorije i duljine ortodrome. Ortodroma je kraći luk velike kružnice koja prolazi kroz dvije točke na Zemlji. Kroz dvije točke na Zemlji može prolaziti samo jedna ortodroma.

Dobivena je razlika zapravo dodatni trošak jer uzrokuje dodatno vrijeme leta, veću potrošnju goriva i veću emisiju stakleničkih plinova. Na horizontalnu učinkovitost utječu razni čimbenici, neki od njih su:

- struktura i dostupnost ruta
- dostupnost zračnog prostora (korištenje civilnih/vojnih struktura)
- mogućnost planiranja leta
- indeks troškova koji ima veze s cijenom goriva i vremenom trajanja leta (engl. *cost index*)

- odobrenja kontrole zračnog prometa
- posebni događaji (nepogodne meteorološke situacije, otkazi opreme, štrajkovi).

Za prvo referentno razdoblje cilj je bio povećanje učinkovitosti horizontalnog leta za 0,75 %. Početna vrijednost iz 2009. godine iznosila je 5,42 %, a ciljana vrijednost za 2014. godinu iznosila je 4,67 %, stvarna vrijednost na kraju 2014. bila je 4,90 %.

3.5 LJUDSKI ČIMBENICI

Ljudski čimbenik ima važnu, a gdje je to potrebno i glavnu ulogu u svjetskom sustavu upravljanja zračnim prometom. Ljudi su odgovorni za upravljanje sustavom, nadgledanje njegova rada te, kada je to potrebno, interveniraju radi osiguranja željenog ishoda [43]. Sustav zračnog prometa sastoji se od tri bitna čimbenika [8] slika 11.



Slika 11. Čimbenici sustava zračnog prometa

Prvi i najvažniji čimbenik sustava zračnog prometa jest zrakoplovno osoblje koje uključuje sve ljude koji rade na operativnim radnim mjestima u sustavu, kontrolori zračnog prometa, piloti, kao i ostali radnici u sustavu: otpravnici, inženjeri i tehničari koji rade na održavanju. Čimbenik zrakoplovno osoblje ima svoje uloge, odgovornosti i funkcije u sustavu, kao i karakteristike koje unose u sustav zračnog prometa. Glavne karakteristike su:

- radno opterećenje

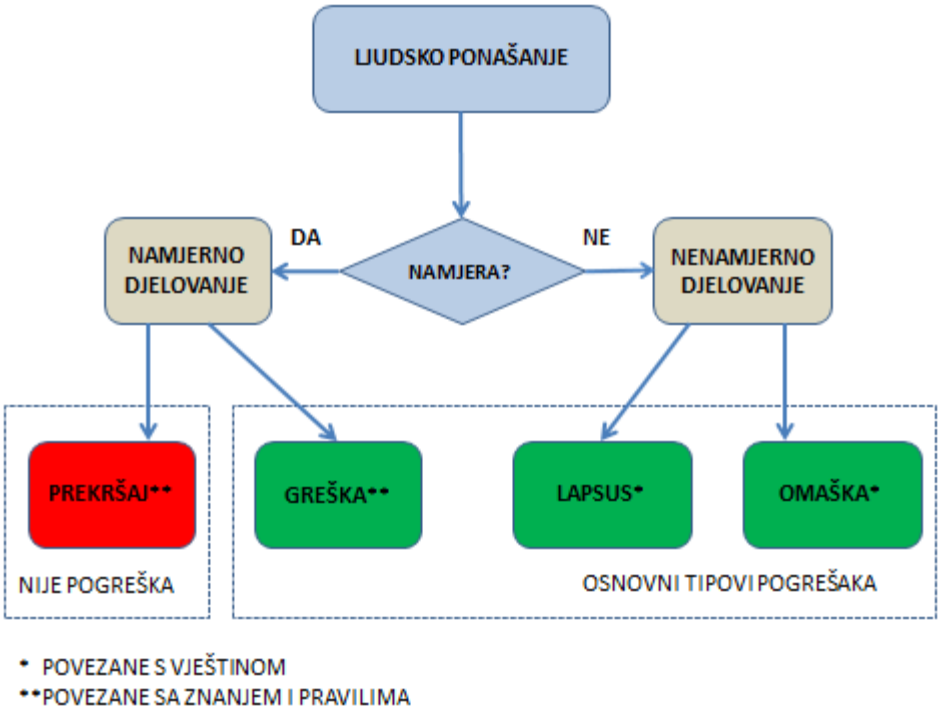
- situacijska svjesnost
- umor
- pogreške u radu
- dosada
- povjerenje i samozadovoljstvo
- stres.

Čimbenik oprema uključuje, pored zrakoplova, zrakoplovnu i zemaljsku opremu i uređaje za navođenje, nadzor, komunikaciju, navigaciju, održavanje, prihvat i opremu putnika i robe. Također, uključuje i alate za potragu i uočavanje konflikata između zrakoplova kojima se koriste kontrolori i piloti.

Čimbenik procedure predstavlja skup pravila koje zrakoplovno osoblje upotrebljava u radu koristeći raspoloživu opremu.

Analiza nesreća pokazuje da je ljudski čimbenik odgovoran za većinu nesreća i događaja povezanih s ugrožavanjem sigurnosti letenja [9]. Kada rabimo termin ljudski čimbenik, onda je to obično u kontekstu ljudske pogreške i učinkovitosti u radu [8]. Ljudske se pogreške [9] mogu podijeliti na sljedeće kategorije, slika 12:

- Proceduralne pogreške, nenamjerne pogreške koje uključuju omaške, lapsuse ili greške u provođenju zrakoplovnih pravila i/ili kompanijskih procedura. Namjera je dobra, ali provođenje je pogrešno. To uključuje i pogreške koje se dogode kada ljudi zaborave nešto napraviti;
- Komunikacijske pogreške, nenamjerna pogreška koja može biti pogrešno protumačena komunikacija, krivo interpretirana komunikacija, krivo komuniciranje primjerene informacije između članova posade ili posade i zemaljske posade;
- Pogreške u vještini, nenamjerne pogreške koje ukazuju na nedostatak znanja ili tjelesnih spretnosti;
- Pogrešne operativne odluke, nenamjerne pogreške u donošenju operativnih odluka koje nisu opisane zrakoplovnim pravilima i/ili kompanijskim procedurama, ali mogu nepotrebno ugroziti sigurnost;
- Namjerno nepridržavanje, svjesno odstupanje od zrakoplovnih pravila i/ili kompanijskih procedura. Ako je pogreška napravljena samo jednom, onda spada pod proceduralne pogreške, ali ako se ista pogreška ponavlja, posrijedi je pogreška namjernog nepridržavanja – prekršaj.



Slika 12. Vrste ljudskih pogrešaka

Postoji nekoliko razloga za uvođenje automatizacije u sustav kontrole zračnog prometa, kao što je potreba za unaprjeđenjem sigurnosti i učinkovitosti sustava te raspoloživost novih tehnologija za pomoć u radu kontrolora zračnog prometa. Automatizacija se uvodi uz očekivanje smanjenja ljudske pogreške, no često se događa da se ljudske pogreške jednostavno premještaju na nova područja. Corver [7] opisuje da se ljudske pogreške u automatiziranom sustavu javljaju zbog novih, dodatnih, zadataka. Njegovo je istraživanje pokazalo da se ukupna količina pogrešaka smanjila, ali zbog uvođenja novih alata za uočavanje konflikata i elektroničku koordinaciju, pojavili su se novi zadaci koji sa sobom donose i nove vrste pogrešaka, kao što je kasno uočavanje novih podataka na pokazivaču. Reason [55] tvrdi da je ljudska varijabilnost i sposobnost trenutačne prilagodbe na nove okolnosti ono što čuva sigurnost sustava u neizvjesnim i dinamičkim promjenama. Ljudske su pogreške dio normalnog ljudskog ponašanja pa zbog toga nije moguća njihova potpuna eliminacija. Rijetko ljudske pogreške dovode od neželjenih posljedica jer se na vrijeme uočavaju i ispravljaju [8]. Glavni je izazov naučiti kako sigurno upravljati pogreškama kada one nastanu, a ne pokušavati spriječiti njihovo nastajanje. Zbog toga je Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva [9] razvila strategije za suzbijanje pogrešaka:

- Strategija reduciranja pogrešaka, najčešće korištena strategija, namjena joj je direktna intervencija na samom izvoru pogreške, reduciranjem ili eliminacijom čimbenika koji doprinose pojavi pogreške;
- Hvatanje pogrešaka, pretpostavlja da je pogreška već napravljena, a namjera je da se pogreška „uhvati“ prije nego što se osjete njezine štetne posljedice;
- Tolerancija pogreške, odnosi se na sposobnost sustava da prihvati pogrešku bez težih posljedica.

Očito je da je svaki sustav kontrole zračnog prometa, neautomatiziran ili automatiziran, podložan ljudskim pogreškama koje se ne mogu izbjeći, ali se njima može upravljati i ublažavati njihove posljedice. Zbog toga se nastoji djelovati proaktivno, zabilježiti svaki događaj koji ima utjecaj na sigurnost zračnog prometa, bez obzira je li bilo posljedica ili ne. Na taj se način mogu utvrditi čimbenici koji najviše doprinose nastajanju ljudskih pogrešaka te ih smanjiti ili eliminirati. U slučaju događaja bez posljedica ljudi ne priznaju i ne prijavljuju takve situacije, i svoje moguće pogreške, zbog straha da takva izvješća mogu dovesti do disciplinskih mjera. Za uspostavu sigurnosne kulture prvi je korak uspostava kulture izvješćivanja jer bez saznanja o nekom događaju nije moguće analizirati događaj i utvrditi uzroke. Važno je shvatiti da zrakoplovno osoblje treba prijavljivati sve događaje, bez bojazni od mogućih sankcija jer je bit sigurnosne kulture dobivanje podataka kako bi se u budućnosti slični događaju mogli izbjeći ili barem umanjile njegove posljedice. Uspostava sigurnosne kulture leži u prihvaćanju činjenice da je ona rezultat više potkultura koje su međusobno povezane. Kultura informiranja može biti izgrađena samo na temeljima kulture izvješćivanja, a ona pak ovisi o uspostavi kulture pravednosti. Ostali elementi sigurnosne kulture jesu fleksibilna kultura i kultura učenja koje ovise o uspostavi prethodnih dviju.

Korištenje automatizacije u sustavu kontrole zračnog prometa donosi veliku prednost u pogledu smanjivanja pogrešaka, povećanja pouzdanosti i učinkovitosti. Pravi je izazov pronalaženje optimalne ravnoteže u spajanju automatiziranih alata s ljudskim sposobnostima te prilagodbom čovjeka i stroja radi potpunog iskorištavanja prednosti svakoga od njih. U automatiziranom sustavima čovjek će ostati ključni element sustava, odnosno stroj će pomagati čovjeku, a ne suprotno. Provedeno istraživanje razmatra uporabu automatiziranih sustava u kontroli zračnog prometa i utjecaj na kapacitet zračnog prometa. Automatizacija sustava kontrole zračnog prometa omogućuje ispunjavanje zadanih planova performansi jer povećava kapacitet i isplativost te smanjuje zagađivanje okoliša, uz zadržavanje postojeće ili čak povećanje sadašnje razine sigurnosti. U istraživanju je provedena valorizacija

implementacije automatiziranog sustava kontrole zračnog prometa te njegova usporedba s neautomatiziranim sustavom.

4 ULOGA KONTROLORA ZRAČNOG PROMETA

Način rada kontrolora zračnog prometa od bitnog je značaja za određivanje utjecaja automatizacije. Način rada definiran je aktivnostima i radnim opterećenjem kontrolora zračnog prometa. Radno opterećenje uvelike utječe na kapacitet zračnog prostora.

Za potrebe istraživanja definirani su radni zadaci koji se mogu opisati i mjeriti u oba sustava. Prema Janiću [56] postoje dvije glavne aktivnosti kontrolora:

- nadgledanje (engl. *monitoring*)
- izvršavanje (engl. *executing*).

Radni zadaci koji doprinose opterećenju kontrolora odabrani su na temelju proučavanja znanstvene literature i mišljenja autora koje je dodatno potkrijepljeno metodom intervjuiranja kontrolora. Razmatrani su i adaptirani radni zadaci koje rabi Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo američkog Ministarstva prometa i Europska organizacija za sigurnost zračne plovidbe (tablica 2.) te su odabrani sljedeći radni zadaci kontrolora zračnog prometa koji su se upotrebljavali pri provođenju eksperimenta:

1. Nadgledanje identificiranog zrakoplova (engl. *Monitoring identified aircraft Tasks*)
2. Koordinacija – primitak/prosljeđivanje prema (engl. *Coordination Tasks*):
    - susjednim oblasnim kontrolama zračnog prometa
    - jedinicama prilazne i aerodromske kontrole zračnog prometa
    - radnim mjestima (sektorima) u istoj jedinici kontrole zračnog prometa
3. Standardna radiotelefonska komunikacija (engl. *Standard R/T Communication Tasks*)
4. Obrada podataka o letu (engl. *Flight Data Management Tasks*)
5. Potraga i uočavanje konflikata (engl. *Conflict Search and detection Tasks*)
6. Nadgledanje i rješavanje radarskih konflikata (engl. *Radar conflict monitoring and resolution Tasks*).

Tablica 2. Pregled radnih zadataka kontrolora zračnog prometa

Radni zadaci oblasnog nadzornog kontrolora koje je definirala Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo američkog Ministarstva prometa:	Radni zadaci koje je definirala Europska organizacija za sigurnost zračne plovidbe za potrebe proračuna kapaciteta sektora:
Komunikacija sa zrakoplovima.	Standardna radiotelefonska komunikacija.
Nadgledanje zrakoplova.	Potraga i uočavanje konflikata.
Održavanje normi razdvajanja – potraga i rješavanje konfliktnih situacija.	Rješavanje radarskih konflikata.
Koordinacija s ostalim kontrolorima, u susjednim kontrolama zračnog prometa i radnim mjestima (sektorima).	Koordinacija, primitak i prosljeđivanje prema radnim mjestima (sektorima) u istoj jedinici kontrole, susjednim jedinicama kontrole zračnog prometa.
Obrada podataka o letu zrakoplova.	Obrada podataka o letu zrakoplova.

U radnim zadacima koje je definirala Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo američkog Ministarstva prometa zajedno su grupirani zadaci održavanja normi razdvajanja te potraga i rješavanje konfliktnih situacija. Sukladno Rodgersu [40] to grupiranje sadrži više različitih aktivnosti. Potraga za konfliktima uključuje nekoliko aktivnosti, prva je mentalna projekcija buduće pozicije zrakoplova, u smislu visine i putanje, zatim određivanje hoće li taj zrakoplov predstavljati mogući konflikt zrakoplovu koji je već u sektoru ili treba ući u sektor, pri čemu je potrebno usporediti putanje obaju zrakoplova. Kada se utvrdi da se putanje poklapaju, u većem ili manjem dijelu, potrebno je odrediti da li će doći do mogućeg narušavanja minimalnih norma razdvajanja. Kada kontrolor utvrdi da se putanje preklapaju, ali da neće doći do narušavanja minimalnih normi razdvajanja, onda će samo nadgledati parove zrakoplova koji lete takvim putanjama. Ta aktivnost zahtijeva manje radnog opterećenja i zato se posebno razmatra. Kada kontrolor ocijeni da bi moglo nastupiti narušavanje minimalnih normi razdvajanja, uočena konfliktna situacija koja zahtijeva aktivno nadgledanje i rješavanje, najprije se mora odrediti koju tehniku razdvajanja zrakoplova treba rabiti. Odabir tehnike razdvajanja ovisi o više čimbenika: karakteristikama zrakoplova, broju zrakoplova pod nadzorom, odredištima zrakoplova, utjecaju vjetra, vertikalnim i horizontalnim granicama sektora. Nakon odabira odgovarajuće tehnike razdvajanja, potrebno

je formulirati plan razdvajanja, primijeniti plan, nadgledati njegovo provođenje i procijeniti ga te, po potrebi, promijeniti ili izabrati novu tehniku razdvajanja. Pritom kontrolor treba osigurati da se minimalne norme razdvajanja stalno održavaju. Aktivnost nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata zahtijeva puno više radnog opterećenja od potrage i uočavanja konflikata te se ne prakticira više od tri aktivnosti nadgledanja i rješavanja konflikata u sektoru istovremeno, dok aktivnosti potrage i uočavanja konflikata ovise o trenutačnom broju zrakoplova u sektoru. Zbog toga se u ovom istraživanju posebno vrednuju zadaci potrage i uočavanje konflikata (generira manje radno opterećenje) i nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata (generira veće radno opterećenje).

Radni zadaci koje je definirala Europska organizacija za sigurnost zračne plovidbe za potrebe proračuna kapaciteta sektora, ne razmatraju posebno broj zrakoplova koji se nalaze u sektoru, a ne predstavljaju konfliktne zrakoplove, pa stoga nemaju određeni težinski faktor. Kada se provode mjerenja radnog opterećenja, takvi zrakoplovi se ne uzimaju u obzir te se generirano radno opterećenje vezano uz njih ne registrira. Svaki zrakoplov koji se nalazi sektoru zahtijeva poduzimanje određenih aktivnosti. Ako se ne registrira radno opterećenje za zrakoplove koji su pod nadzorom, ali nisu konfliktni, onda takvo mjerenje nije valjano. Zbog toga se u ovom istraživanju posebno vrednuju zadaci nadgledanja identificiranog zrakoplova.

4.1 RAD KONTROLORA U NEAUTOMATIZIRANOM SUSTAVU

Fizički obrazac za upisivanje podataka o letu zrakoplova u neautomatiziranom sustavu kontrole zračnog prometa predstavlja neprocjenjivi alat koji kontrolorima zračnog prometa pomaže u izvođenju vlastitih aktivnosti, a posebno se upotrebljava pri razdvajanju zrakoplova. Za vizualizaciju relativne pozicije svakog zrakoplova kontrolori se koriste fizičkim obrascem (elektronički) za upisivanje podataka o letu zrakoplova. Na njemu su upisani svi podaci koji su potrebni za vođenje zrakoplova, skraćeni plan leta, koji označava namjere zrakoplova, ruta, željena visina i brzina zrakoplova. Isto se tako mogu upisati sve zadane instrukcije pilotu i sve informacije o poziciji zrakoplova ili visini zrakoplova koje daje pilot. Fizički obrasci slažu se na poseban pokazivač, ovisno o načinu rada, po visini ulaska u sektor ili radionavigacijskom sredstvu ili se rabi elektronički pokazivač u slučaju elektroničkih obrazaca. Fizički obrasci služe kao snimka instrukcija koje su izdate od strane

kontrolora zračnog prometa i informacija dobivenih od pilota, što je iznimno važno u slučajevima kada dođe do istrage o zrakoplovnoj sigurnosti. Odgovornost je kontrolora zračnog prometa konstantno ažuriranje informacija koje se upisuju u fizički obrazac za upisivanje podataka o letu zrakoplova, kako bi mogao vizualizirati sadašnju, ali i planirati buduću poziciju svakog zrakoplova koji je pod njegovom odgovornošću.

Faza najave započinje ispisivanjem fizičkog obrasca (ručno ili strojno), 2 – 3 sata prije planiranog dolaska zrakoplova u sektor te se fizički obrazac odlaže na konzolu operatora obrade podataka o letu zrakoplova i nalazi se u neaktivnom stanju. U slučaju elektroničkih obrazaca oni se pohranjuju u bazu podataka iz koje se može aktivirati. Na obrascu se nalaze svi važniji podaci o letu zrakoplova: vrsta leta, pravila letenja, tip zrakoplova, oznaka vrtložne turbulencije, pozivni znak zrakoplova, brzina zrakoplova, oprema zrakoplova, oznaka statusa leta, aerodrom polijetanja i slijetanja, zahtijevana razina leta i predviđena ruta zrakoplova.

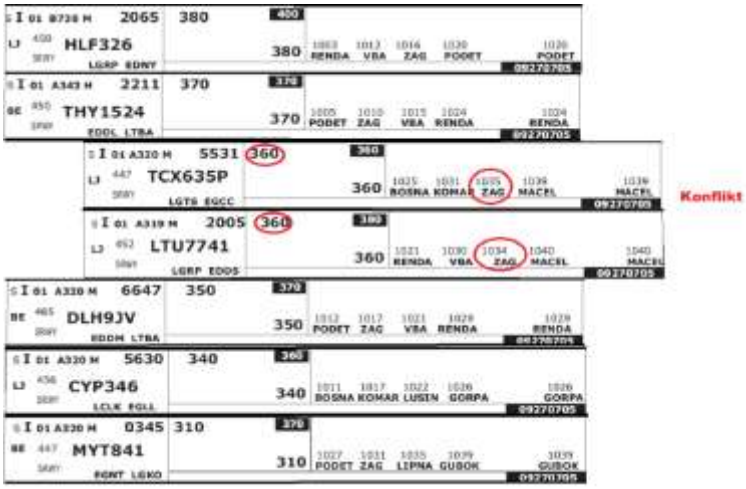
Faza koordinacije započinje telefonskom koordinacijom (ili nekom drugom vrstom). Sastoji se od dobivanja podataka o svakom letu zrakoplova od susjedne jedinice kontrole, oblasne ili prilazne, a to su:

1) kod sekundarnog nadzornog radara
2) ulazna ili početna razina leta
3) predviđeno vrijeme iznad prve točke rute u sektoru.

Upisom tih podataka na fizički obrazac on postaje aktivan te se distribuira na odgovarajući sektor i/ili sektore. Dostavljanjem fizičkog obrasca na odgovarajući sektor kontrolor pozicionira fizički obrazac na poseban pokazivač, što predstavlja važan dio informacije jer oblasni i prilazni kontrolori zračnog prometa slažu fizičke obrasce prema razini leta ili visini, dok ih toranjski kontrolori slažu prema poziciji zrakoplova (na zemlji, u zraku i na uzletno-sletnoj stazi) [57].

Nakon dobivanja aktivnog obrasca i njegova pozicioniranja na posebnom pokazivaču, kontrolor obavlja **zadatke potrage i uočavanje konflikata** uspoređivanjem trajektorije leta kroz sektor i računanjem vremena preleta pojedinih točaka javljanja na ruti, koje mogu biti i točke ukrštanja zračnih putova. Istovremeno se obavljaju i **zadaci obrade podataka o letu.** Da bi kontrolor mogao izvršiti potragu i uočavanje konflikata, mora znati mrežu zračnih putova u svojem području nadležnosti, točke gdje se ukrštaju zračni putovi, udaljenost između točaka na ruti te također mora biti upoznat s utjecajem vjetra da bi mogao obavljati

korekcije u računanju vremena preleta pojedinih točaka javljanja na ruti. Kada kontrolor zračnog prometa uoči konflikt, izvlači fizičke obrasce udesno, slika 13., i pokušava obavljanjem **zadataka koordinacije primitak/prosljeđivanje** sa susjednim sektorima ili oblasnim kontrolama zračnog prometa riješiti konflikt (obično je posrijedi promjena visine ulaska zrakoplova), a ako to nije moguće, onda obrasci ostaju izvučeni udesno kao oznaka konflikta između zrakoplova.



Slika 13. Označavanje konflikata pomoću fizičkih obrazaca

Faza nadležnosti započinje obavljanjem **zadataka standardne radiotelefonske komunikacije** sa zrakoplovom koji ulazi u sektor. U slučaju da za pojedini let zrakoplova kroz sektor pod nadležnošću kontrolora nema konflikta, onda se vrijeme preleta i visina zadnje točke javljanja u sektoru prosljeđuje sljedećem sektoru ili susjednim oblasnim kontrolama zračnog prometa, na isti način na koji je došla najava ulaska zrakoplova u sektor (izlazna procjena – engl. *exit estimate*). U tom slučaju kontrolor obavlja **zadatke nadgledanja identificiranog zrakoplova.** Ako uočeni konflikt između zrakoplova nije riješen tijekom **faze koordinacije**, kontrolor će izvršiti **zadatke nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata**. Metode rješavanja radarskih konflikata između zrakoplova ovise o različitim čimbenicima koje kontrolor mora uzeti u obzir. U slučaju povećanog radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa [60], koje se očituje u velikom broju zrakoplova u sektoru, velikom broju konflikata koje kontrolor treba riješiti, puno slijetanja i uzlijetanja, u zrakoplovima s različitim brzinama i radu zona s ograničenjem letenja, kontrolor može odlučiti primijeniti rješavanje radarskih konflikata između zrakoplova odmah nakon ulaska

zrakoplova u sektor. Kada je radno opterećenje manje, kontrolor može odlučiti da radarske konflikte između zrakoplova riješi kasnije kada se zrakoplovi nalaze tri minute do točke najmanjeg razdvajanja (otprilike 20 NM) ili da stalno nadgleda zrakoplove u konfliktu i održava najmanju dopuštenu mogućnost razdvajanja.

Faza započetog transfera i završenog transfera u neautomatiziranom se sustavu obavljaju istovremeno, tj. ne razdvajaju se. Fizički obrazac za upisivanje podataka o letu zrakoplova nakon izlaska zrakoplova iz sektora odlaže se u poseban spremnik.

4.2 RAD KONTROLORA U AUTOMATIZIRANOM SUSTAVU

U svojem radu kontrolor se koristi podacima koje dobiva s pokazivača prometne situacije. Pokazivač prometne situacije prikazuje podatke s različitih nadzornih senzora. To su radarski senzori ili podaci dobiveni putem automatskog zavisnog nadzora (engl. *Automatic Dependant Surveillance – ADS-B*), a odnosi se na sve zrakoplove koji se nalaze u utvrđenim područjima odgovornosti. Svi se podaci u sustav unose pomoću korisničkog sučelja (engl. *Human Machine Interface HMI*), sva odobrenja i instrukcije pilotima moraju se unijeti u sustav, kao i podaci o koordinaciji. Primjenjuje se posebna radna metoda pod nazivom „potvrdi dok govoriš“ (engl. *click as you speak*). Ta radna metoda je zapravo mana sustava jer bez pravovremenog unošenja podataka u automatizirani sustav, sustav nije u stanju pravilno proračunati predviđenu putanju zrakoplova kroz sektor te alat za detekciju konflikata neće pravilno detektirati konflikte između zrakoplova. Zbog toga ni kontrolor neće moći pravilno obavljati predviđene zadatke.

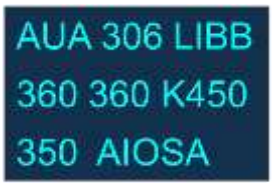
Faza najave započinje automatskom obavijesti o letu (ABI poruka) putem OLDI sustava, najmanje 30 minuta prije ulaska zrakoplova u sektor zračnog prostora. Time se aktivira plan leta u sustavu za obradu podataka (engl. *Flight Data Processing*) te se na pokazivaču prometne situacije generira cilj, slika 14., koji sadrži osnovne podatke o letu zrakoplova: pozivni znak zrakoplova, tip zrakoplova (po potrebi), oznaka vrtložne turbulencije (po potrebi), stvarna visina leta koju emitira Mode C, brzina leta u odnosu na zemaljsku površinu u čvorovima i ulaznu točku u sektor. Generirani je cilj označen posebnom

(zelenom) bojom kako bi se razlikovao od ostalih ciljeva na pokazivaču i kako bi pomogao kontroloru u lakšem uočavanju zrakoplova koji će ući u njegov sektor.



Slika 14. Oznaka za fazu najave

Dolaskom aktivacijske poruke (ACT poruka) započinje **faza koordinacije,** slika 15.

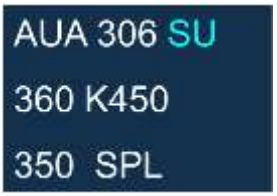


Slika 15. Oznaka za fazu koordinacije

ACT poruka sadrži sljedeće podatke o letu zrakoplova: pozivni znak zrakoplova, tip zrakoplova (po potrebi), oznaka vrtložne turbulencije (po potrebi), stvarna visina leta koju emitira Mode C, brzina leta u odnosu na zemaljsku površinu u čvorovima i izlazna točka iz sektora.

Ulaskom zrakoplova u fazu koordinacije automatizirani sustav započinje obradu cilja. Cilj je označen plavom bojom, slika 15., a njegova se trajektorija izračunava i uspoređuje s ostalim trajektorijama zrakoplova u sektoru, obavljaju se **zadaci potrage i uočavanje konflikata**. Kada sustav detektira konflikt, pomoću alata za detekciju konflikta, on se grafički prikazuje na pokazivaču prometne situacije putem posebnog prozora. Kontrolor može korištenjem automatske koordinacije obavljati **zadatke koordinacije** sa susjednim sektorom kroz automatizirani sustav i zatražiti promjenu razine leta ili smjera leta zrakoplova radi rješavanja konflikta.

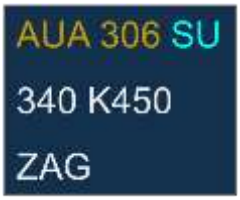
Kada se zrakoplov javi na ulasku u sektor, započinje **faza nadležnosti** obavljanjem **zadataka standardne radiotelefonske komunikacije** sa zrakoplovom koji ulazi u sektor, a cilj je označen bijelom bojom, slika 16.



Slika 16. Oznaka za fazu nadležnosti

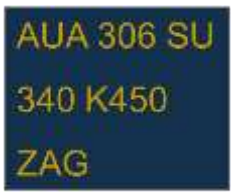
U slučaju da za pojedini let zrakoplova kroz sektor pod nadležnošću kontrolora nema konflikta, podaci o letu zrakoplova putem OLDI sustava prosljeđuju se sljedećem sektoru ili susjednim oblasnim kontrolama zračnog prometa, na isti način na koji je došla najava ulaska zrakoplova u sektor. Ovisno o prometnoj situaciji u sljedećem sektoru, moguće je traženje promjene parametara leta od sljedećeg sektora. Kontrolor samo obavlja **zadatke nadgledanja identificiranog zrakoplova.** Ako uočeni konflikt između zrakoplova nije riješen tijekom **faze koordinacije,** kontrolor će izvršiti **zadatke nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata**. Metode rješavanja radarskih konflikata ovise o različitim čimbenicima koje kontrolor mora uzeti u obzir.

Faza transfera počinje slanjem poruke započinjanja transfera, nakon čega kontrolor izdaje zrakoplovu uputu o promjeni frekvencije i prelasku na sljedeći sektor, sustav šalje poruku promjene frekvencije te započinje **faza započetog transfera**, a cilj mijenja boju, slika 17.



Slika 17. Oznaka za fazu započetog transfera (pozivni je znak promijenio boju)

Nakon što sljedeći sektor prihvati zrakoplov, nastupa **faza završenog transfera**, a cilj prelazi u drugačiju boju, slika 18.



Slika 18. Oznaka za fazu završenog transfera

Nakon propisanog vremenskog intervala cilj postaje sive boje, slika 19., što je oznaka da više nije od posebnog značaja za sektor iz kojeg je izašao.



Slika 19. Oznaka za cilj koji nema značaja za sektor

5 METODOLOGIJA ZA OCJENU RADNOG OPTEREĆENJA I KAPACITETA KONTROLORA ZRAČNOG PROMETA

U ovom dijelu disertacije postavit će se osnovne pretpostavke za provođenje eksperimenta – komparativna analiza automatiziranog sustava u odnosu na neautomatizirani sustav kontrole zračnog prometa. Simulatorskim vježbama, različite kompleksnosti, izmjerit će se radno opterećenje kontrolora zračnog prometa u neautomatiziranom sustavu, a zatim, koristeći iste simulatorske vježbe, izmjerit će se radno opterećenje kontrolora zračnog prometa u automatiziranom sustavu. Nadalje, postavit će se teorijski okvir i karakteristike eksperimenta te će se prezentirati rezultati eksperimenta. Osnovna pretpostavka jest da je kapacitet zračnog prostora funkcija radnog optrećenja kontrolora zračnog prometa. Zbog toga je potrebno odrediti radno opterećenje kontrolora u određenim uvjetima. Te uvjete definiraju karakteristika sektora, scenariji simulatorskih vježbi, simulatorski uređaji na kojima se provodi eksperiment, definirani radni zadaci, stavovi o radnim zadacima te sudionici eksperimenta. Za dobivanje rezultata koristit će se Littleova formula [76]. Pretpostavka je da su varijable koje se rabe međusobno neovisne.

Prikazat će se način prikupljanja podataka, faze provođenja eksperimenta i izrada modela iskorištenja zračnog prostora u obliku ocjene radnog opterećenja i kapaciteta kontrolora zračnog prometa.

Očekivani rezultati trebali bi dokazati osnovnu hipotezu rada, to jest da automatizirani sustavi, koji posjeduju alate za pomoć u radu kontrolora koji smanjuje radno opterećenje, povećavaju kapacitet zračnog prostora uz zadržavanje iste ili povećanje učinkovitosti ostalih ključnih elemenata sustava, kao što su sigurnost, okoliš i isplativost.

5.1 MODELI ZA IZRAČUNAVANJE KAPACITETA ZRAČNOG PROSTORA

5.1.1 Dosadašnji teorijski modeli

Stalan rast zračnog prometa posebno je ubrzan sedamdesetih godina prošlog stoljeća deregulacijom globalnog zrakoplovnog tržišta (Zakon o deregulaciji zrakoplovnih kompanija SAD, 1978.) te pojavom niskotarifnih zrakoplovnih kompanija. Primjetno je stalno povećanje ukupnog broja zrakoplova koje upotrebljava komercijalno zrakoplovstvo, 2005. godine ukupno je korišteno 20 356 zrakoplova, a 2014. godine taj je broj porastao na 26 653 što iznosi preko 30 % povećanja [59]. Statistika Organizacije međunarodnog civilnog zrakoplovstva za 2013. godinu pokazuje porast broja prevezenih putnika/kilometara od 5,5 % u odnosu na 2012. godinu, a za razdoblje od 2014 do 2016 rast će iznositi preko 6 %. Problem je što porast prometa nije jednako raspoređen na cijelome svijetu. Azijsko-pacifička regija bilježi porast od 9,4 %, regija Srednji istok bilježi porast od čak 14 %, a europski porast iznosi 5,9 %. Takav porast prometne potražnje postavlja pred pružatelje usluga zahtjeve za dodatnim povećanjem kapaciteta zračnog prostora te njegovih manjih dijelova sektora (sektor zračnog prostora manji je dio kontroliranog zračnog prostora). Kako je već prije navedeno, kapacitet sektora može se definirati kao maksimalan broj zrakoplova u jedinici vremena koji se mogu primiti u sektor u granici prihvatljivog radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa.

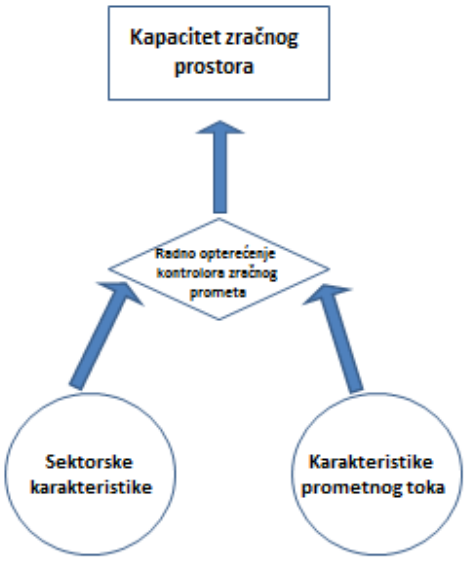
Kapacitet zračnog prostora, pa tako i određenog sektora, ovisi o dva čimbenika (slika 20.):

- sektorskim karakteristikama
- karakteristikama prometnog toka koji prolazi kroz taj sektor.

Sektorske se karakteristike izražavaju kao minimalne norme razdvajanja između zrakoplova koje ovise o navigacijskoj opremi koja se upotrebljava (nadzorni uređaji na zemlji, oprema za navigaciju na zrakoplovu) i geografskom izgledu sektora (oblik i horizontalne i vertikalne granice).

Prometni tok ovisi o tipovima zrakoplova (mlazni i turbomlazni pogonski motori) i manevrima zrakoplova (let na razini krstarenja, penjanje i spuštanje).

Pri određivanju kapaciteta određenog sektora / zračnog prostora velik utjecaj ima radno opterećenje kontrolora zračnog prometa, slika 20., [13], [56].



Slika 20. Utjecaj radnog opterećenja kontrolora na kapacitet zračnog prostora

Kada svi zrakoplovi lete konstantnom brzinom unutar određenog sektora, na istoj razini bez presijecanja putanja zrakoplova, onda je generirano radno opterećenje kontrolora malo, no kada zrakoplovi mijenjaju visinu i brzinu (penjanje i spuštanje), a putanje im se presijecaju, generirano radno opterećenje raste. Najjednostavniji način prikazivanja kapaciteta sektora jest iskazivanje numeričke vrijednosti broja zrakoplova u jedinici vremena koji prolaze kroz određeni sektor. Pri takvom prikazivanju kapaciteta sektora uglavnom se ne razmatraju karakteristike prometnog toka, kao ni radno opterećenje kontrolora, nego samo sektorske karakteristike. Kada uvrstimo varijablu ljudskog faktora opisanog kao radno opterećenje kontrolora, utvrđivanje kapaciteta postaje nelinearno, kompleksno s teško iskazivim kriterijima.

U europskom zračnom prostoru rabi se termin deklarirani sektorski kapacitet [13], koji prikazuje najveći broj zrakoplova koji mogu proći kroz sektor u vršnom satu (vršni se sat dobiva kao prosjek tri uzastopna najprometnija sata). Ta se vrijednost velikim dijelom utvrđuje na osnovi iskustva kontrolora zračnog prometa za promatrani sektor u dužem vremenskom periodu, najčešće nekoliko mjeseci. Deklarirani sektorski kapacitet predstavlja maksimalni broj zrakoplova u satu i zapravo je mjera za radno opterećenje kontrolora po satu. Deklarirani satni kapacitet može se izmjeriti prema sljedećoj formuli:

$$C_i = f(W_i) \qquad (1)$$

gdje je C_i deklarirani kapacitet u vršnom satu, a W_i radno opterećenje kontrolora za sektor *i* u vršnom satu.

Problem s takvim mjerenjem i izražavanjem kapaciteta jest taj da se ne zna predstavlja li deklarirani kapacitet najveći mogući broj zrakoplova koji se mogu kontrolirati u određenom sektoru. Stvarno radno opterećenje kontrolora pri deklariranoj vrijednosti kapaciteta ne mora biti najveće radno opterećenje kontrolora koji zapravo može imati još raspoloživih kognitivnih resursa za prihvaćanje više zrakoplova nego što je deklarirana vrijednost, no pošto ne postoje pokazatelji radnog opterećenja, to se ne može znati ni iskoristiti. Drugi hendikep vezan uz deklarirani kapacitet jest taj da je vrijednost deklariranog kapaciteta subjektivne prirode, zasnovan je na znanju, odnosno iskustvu kontrolora o prometnom toku kroz određeni sektor, gdje nisu date informacije o tipovima zrakoplova (mlazni i turbomlazni pogonski motori) i manevrima zrakoplova (let na razini krstarenja, penjanje i spuštanje).

Pregledom stručne literature utvrđene su glavne metode utvrđivanja kapaciteta sektora [60]:

1. simulacije u stvarnom vremenu (engl. *Real Time Simulations – RTS*)
2. ubrzane simulacije (engl. *Fast time techniques FST*)
3. analitičko modeliranje
4. pregledne studije (engl. *Survey studies*).

Simulacije u stvarnom vremenu uključuju ljudske čimbenike (engl. *Human-in-the-loop*). Vrsta je to eksperimenata koja uključuje kontrolore zračnog prometa koji obavljaju radne zadatke u radnom okruženju. Odvijaju se na simulatorskim uređajima koji vjerno oponašaju let zrakoplova u određenom dijelu zračnog prostora na isti način na koji se to odvija u stvarnim situacijama. Ta metoda daje analitičarima široku paletu mogućnosti za prikupljanje podataka koji se odnose na sigurnost, radno opterećenje, situacijsku svjesnost (engl. *situation awareness*), učinkovitost, određivanje kapaciteta i slično. Podaci dobiveni tom metodom imaju visoku vrijednost jer se temelje na radu kvalificiranog osoblja koje obavlja radne zadatke u stvarnom okruženju. Mogući su nedostatak resursi potrebni za izvođenje simulatorskih vježbi. Potrebno je učešće velikog broja kontrolora te odgovarajući simulatorski uređaji koji vjerno oponašaju radno okruženje.

Ubrzane simulacije ne zahtijevaju sudjelovanje kontrolora, a mogu se upotrebljavati za studije ponašanja kontrolora pri obavljanju određenih radnih zadataka koji su opisani

određenim kombinacijama i učestalosti pojavljivanja. Izrađuju se scenariji koji opisuju određeni pobuđujući događaj, njegovo trajanje te se programiraju moguće posljedice tog događaja. Analizom dobivenih rezultata iz nekoliko scenarija predlaže se optimalno rješenje. Ta se metoda može primjenjivati pri određivanju radnog opterećenja kontrolora pri uvođenju novih sektorskih kombinacija. Prednost joj je brzina provođenja analize, no rezultati dobiveni tom metodom mogu značajno odstupati od stvarnih podataka.

Analitička studija jest raščlanjivanje radnih zadataka na osnovne čimbenike i dodjeljivanje određenih brojčanih vrijednosti svakom čimbeniku. Time se omogućuje vrednovanje i uspoređivanje različitih radnih zadataka te se određuju vrijednosti za provođenje simulacija, bilo u stvarnom vremenu ili ubrzanih simulacija.

Pregledne studije sastoje se od prikupljanja odgovora putem ankete sudionika. Obično su dio većeg istraživanja u kojem se sudionici intervjuiraju nakon sudjelovanja u simulaciji u stvarnom vremenu.

Mjerenje kapaciteta koji osim standardnih veličina uključuje i nestandardne subjektivne veličine, kao što su broj zrakoplova koje kontrolor može sigurno provesti, a ovisi o kognitivnim sposobnostima kontrolora, razvila je britanska vojska MAlvern Capacity Estimate (MACE) [61]. Pri mjerenju kapaciteta prvi je korak bio provođenje simulacija u stvarnom vremenu radi utvrđivanja vrijednosti standardnog kapaciteta sektora. Nakon toga se provelo anketiranje kontrolora o mogućnosti vođenja većeg ili manjeg broja zrakoplova kroz sektor, temeljenog na njihovom iskustvu.

Izračun kapaciteta MACE metodom prikazan je izrazom (4):

$$C_{abs} = \alpha\, C_{act} \qquad (2)$$

gdje je C_{abs} apsolutni mogući kapacitet u vršnom satu za sektor ***i***, C_{act} broj prolaska zrakoplova kroz sektor ***i*** u vršnom satu, α očekivanje kontrolora (u postotcima) koliko će više ili manje zrakoplova biti spremni prihvatiti nakon simulacijskih vježbi.

Istraživanja [62] su pokazala da je MACE metoda bila dobro prihvaćena od strane kontrolora. Također, primijećena je razlika između „laboratorijskih uvjeta“ i stvarnih situacija kada je radno opterećenje u krajnjim slučajevima bilo i do 30 % veće. Razlika može biti uzrokovana povećanim radnim opterećenjem koje generira koordinacija operativnog osoblja, kvaliteta i pouzdanost telefonskih veza, stanjem opreme itd. Prednost MACE metode jest direktno mjerenje kapaciteta sektora koje je povezano sa subjektivnom kontrolorskim ocjenom radnog

opterećenja koje se temelji na netom provedenim radnim zadacima, no posjeduje i određena ograničenja. Jedno je od njih subjektivno mjerenje radnog opterećenja i nedostatak objektivnosti u samom ocjenjivanju. Ne postoje, također, definirani radni zadaci i načini njihova ocjenjivanja pa se ne može zaključiti kako će promjene u sektorskim karakteristikama ili karakteristikama prometnog toka koji prolazi kroz taj sektor, utjecati na kapacitet sektora.

Metoda Vrijeme – radni zadatak često se rabi u europskom zračnom prostoru za simulacijski proračun kapaciteta zračnog prostora [13], a bazira se na definiranju radnih zadataka i vremena za njihovo izvođenje. Osnova te metode za određivanje kapaciteta sektora uključuje identificiranje pojedinačnih radnih zadatka koje kontrolor mora izvršiti, vrijeme potrebno za izvršavanje svakog radnog zadatka i učestalost ponavljanja za određeni prometni tok. Zbrajanjem vremena svih radnih zadataka, ukupno radno opterećenje može se prikazati

$$Vrijeme - radni\ zadatak = \sum_i^j ni\ Ti \qquad (3)$$

gdje je *ni* učestalost radnog zadatka, *Ti* trajanje radnog zadatka, a *j* ukupan broj radnih zadataka.

Predviđeno radno opterećenje ne smije prijeći unaprijed određeni prag kontrolorskog zasićenja koje je izraženo brojem minuta/sati u kojima kontrolor obavlja radne zadatke. Različiti su modeli DORATASK [63] i RAMS [64] za ubrzane simulacije definirali prag kontrolorskog zasićenja na 80 % ili 70 %. Dakle, kada vrijeme trajanja svih radnih zadataka iznosi 48 ili 42 minute unutar jednog sata, nastupa radno preopterećenje, kontrolor ne može sigurno prihvatiti više niti jedan zrakoplov u „svoj“ zračni prostor.

Majumdar [13] i Histon [65] razmatraju je li referentna mjera za kapacitet zračnog prostora brojčana vrijednost toka zrakoplova po satu ili mjera za maksimalni trenutačni broj zrakoplova u zračnom prostoru/sektoru. Uz podatak o trenutačnom broju zrakoplova potrebni su dodatni indikatori kojima se objašnjava o kojim je tipovima zrakoplova riječ (mlazni ili turbomlazni pogonski motori) i vrste manevra koje zrakoplovi izvode (penjanje, spuštanje ili let na razini krstarenja). Veliki broj zrakoplova u sektoru ne mora uvijek predstavljati veliko

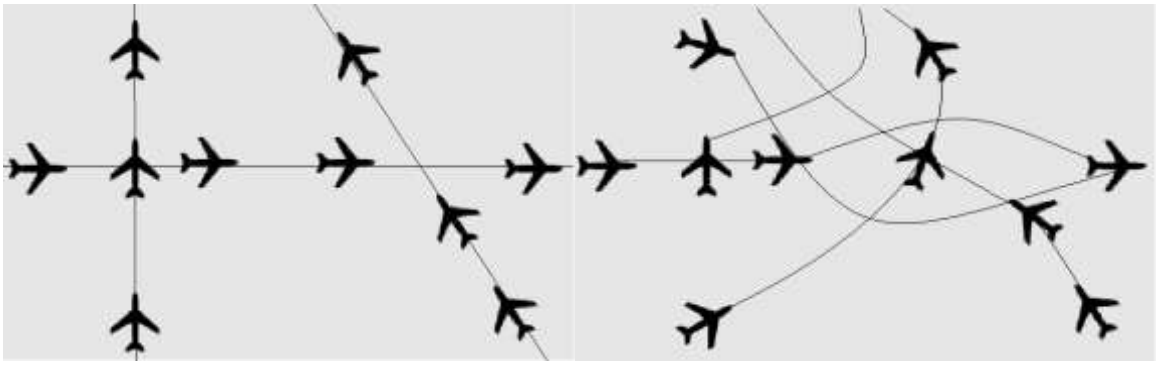
radno opterećenje za kontrolora, osobito ako se radi o zrakoplovima koji lete na različitim putnim razinama bez penjanja ili spuštanja te na putanjama koje se ne ukrštaju. S druge strane, kada se mali broj zrakoplova nalazi grupiran u jednom dijelu sektora i lete putanjama koje se ukrštaju, kontrolor može biti izložen velikom radnom opterećenju. U oba slučaja, bilo da je kapacitet izražen kao satni ili trenutačni, on mora biti povezan s radnim opterećenjem kontrolora. U pogledu čimbenika radnog opterećenja, satni se protok može odnositi na rutinske radne zadatke koje obavlja kontrolor kada zrakoplov leti kroz zračni prostor bez obzira na kompleksnost prometne situacije, dok je trenutačni kapacitet povezan s nadzorom i potragom za konfliktnim zrakoplovima koje obavlja kontrolor.

Slavica [66] je utvrdio prostorno uvjetovane čimbenike koji uvjetuju subjektivno radno opterećenje. To su:

- protočna organizacija sektora (Arad 1964.)
- broj prometnih problema (Kalsbeek 1976.)
- broj vertikalnih tranzicija (Cardosi & Murphy 1995.)
- prosječna brzina zrakoplova (Hurst & Rose, 1978.)
- područje sektora (Arad 1964.)
- prosječna separacija zrakoplova (Arad 1964.)
- vrsta prometa/zrakoplova, odnosno performansi
- varijacija smjera zrakoplova (Wyndemere 1996.)
- vrijeme (Scott, Dargue & Goka 1991., Mogford 1994.)
- NASA indeks radnog opterećenja (NASA TLX, 2006.).

Detaljnim proučavanjem relevantne literature može se zaključiti da ne postoji općeprihvaćena definicija radnog opterećenja, iako ono ima velik utjecaj na kapacitet zračnog prostora. Za određivanje kapaciteta sektora upotrebljavaju se dvije vrste procjenjivanja radnog opterećenja [67]. Prva je procjena na temelju percepcije kontrolora (engl. *workload*), odnosno, utvrđuje se koliko je radnog opterećenja potrebno za različita prometna kretanja kroz određeni sektor. Druga se vrsta procjene temelji na promatranju radnih zadataka (engl. *taskload*) i vremena koja su potrebna kontrolorima za obavljanje kontrole tog prometa. Radi objektivnosti i izbjegavanja pristranosti koji su svojstveni u percepciji vlastitog radnog opterećenja, prednost ima procjena temeljena na promatranju radnih zadataka i vremena koja su potrebna za njihovo obavljanje.

Na slici 21. vidljivo je da pri jednakom broju zrakoplova u sektoru njihov međusobni odnos nije isti. Na lijevom dijelu zrakoplovi lete po zračnom putu i na propisanoj udaljenosti dok na desnom lete po konceptu slobodnog leta (engl. *free flight*), udaljenosti između zrakoplova i smjerovi leta neprekidno se mijenjaju pa je nadzor i upravljanje istog broja zrakoplova puno zahtjevnije i kompleksnije.



Slika 21. Zračni tokovi s mrežom putova i bez nje

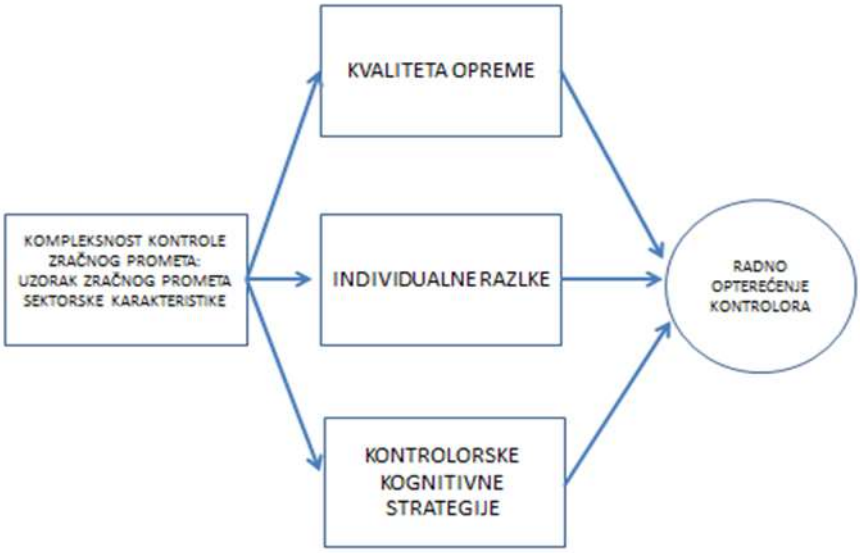
5.1.2 Utjecaj radnog opterećenja kontrolora na kapacitet zračnog prometa i kompleksnost zračnog prometa

Studije [67], [69] i [70] pokazuju čvrstu povezanost između radnog opterećenja kontrolora i kompleksnosti zračnog prometa. Radno opterećenje kao rezultat ovisi o kompleksnosti kontrole zračnog prometa, a čimbenici koji ga mogu umanjiti jesu:

- individualne razlike kontrolora
- kontrolorske kognitivne strategije
- kvaliteta opreme kojom se kontrolori koriste.

Prvi i drugi čimbenik može se ocijeniti kao konstanta koja se ne mijenja, ali treći čimbenik – oprema kojom se koriste kontrolori – stalno se unaprjeđuje, što je posebno slučaj s automatizacijom. Automatizacija je proces, a njezin je rezultat prenošenje zadataka i aktivnosti koje su prije obavljali ljudi na računala [71]. Delegiranjem jednog dijela radnih zadataka, koje je obavljao kontrolor, automatiziranom sustavu, smanjuje se ukupno radno opterećenje kontrolora. U terminologiji razlikujemo pojam zadaća („taskload“) koji predstavlja objektivne zahtjeve te radno opterećenje („workload“) koji predstavlja subjektivne zahtjeve koji su uvjetovani objektivnim zahtjevom. Iz slike 22. vidljiv je utjecaj

kvalitete uređaja kojom se koriste kontrolori na radno opterećenje. Uvođenjem novih uređaja i tehničkim poboljšavanjem opreme, kao što je nadzor zračnog prometa (radarski senzori, multilateracija), kontrolori imaju precizniju informaciju o položaju i frekvencija osvježavanja informacije o položaju zrakoplova je češća. Smanjivanjem minimalnog vertikalnog razdvajanja zrakoplova (engl. *Reduced vertical separation minimum RVSM*) dobiveno je više dodatnih razina letenja, podjelom radiokomunikacijskih kanala (8,33 KHz razmak) omogućeno je otvaranje većeg broja sektora. Utjecaj ostalih čimbenika, individualne razlike i kontrolorskih kognitivnih strategija, ostaje isti, ali se ukupno radno opterećenje kontrolora smanjuje i u istom vremenskom intervalu može se prihvatiti više zrakoplova u istom zračnom prostoru i povećava se kapacitet zračnog prostora.



Slika 22. Povezanost radnog opterećenja i kompleksnosti

Istraživanja kojima bi se definirale varijable kompleksnosti provode se već nekoliko desetljeća. Davis [72] je istraživao čimbenike koji imaju utjecaj na kompleksnost u prilaznoj kontroli zračnog prometa te je proučavao utjecaj kompleksnosti zračnog prometa na radno opterećenje kontrolora. Utvrdio je da odnosi između dolaznog/odlaznog prometa i preleta znatno utječu na radno opterećenje, pri većem broju dolazaka/odlazaka ukupno, a manjem broju preleta ukupno radno opterećenje kontrolora je veće.

Arad [73] je istraživao utjecaj varijable zračnog prostora na radno opterećenje kontrolora koristeći analitičku i empirijsku metodu. U svom radu Arad [73] dijeli radno opterećenje na:

- pozadinsko opterećenje kontrolora
- rutinsko opterećenje kontroliranja standardnog zrakoplova
- opterećenje zračnog prostora uvjetovano minimalnim normama razdvajanja.

Arad [73] je definirao jednadžbu za sektorsko opterećenje:

$$\text{Sektorsko opterećenje} = 2\,a\,V\,N^{2-N}/gS \qquad (4)$$

gdje je a norme razdvajanja u smislu NM po zrakoplovu, V prosječne brzine zrakoplova NM/h, N broj zrakoplova pod kontrolom, S veličina sektora u NM^2, g struktura zračnih ruta kroz sektor.

Sektorsko opterećenje raste s povećanjem normi razdvajanja, brzine zrakoplova i broja zrakoplova. Manji sektori i bolja organizacija protoka zrakoplova kroz sektor smanjuju sektorsko opterećenje. Tom se studijom pokazalo da izgled sektora ima neprijeporan utjecaj na opterećenje kontrolora zračnog prometa. Arad [73] je zaključio da obrada malih razina prometa nema bitnog utjecaja na sektorsko opterećenje, no da obrada visokih razina prometa generira dodatnu kompleksnost koja se ne može prikazati jednadžbom.

Schmidt [74] opisuje model mjerenja opterećenja kontrolora koji bi trebao pomoći u dizajniranju sektora, koji je zasnovan na frekvenciji događaja koji zahtijevaju odluku, radne zadatke koje mora poduzeti kontrolor te vrijeme potrebno za provođenje radnih zadataka. Kategorije su radnih zadataka: potencijalni konflikti između zrakoplova na rutama koje se presijecaju, potencijalno pretjecanje zrakoplova na rutama te rutinski radni zadaci.

Schmidt je postavio jednadžbu za izračun kompleksnosti koju je nazvao kontrola indeks težine kontroliranja (engl. *Control Difficulty Indeks – CDI*).

$$CDI = \sum_i Wi\,Ei \qquad (5)$$

gdje je W_i težina radnog zadatka i (bazirano na vremenu potrebnom za provođenje radnog zadataka), a E_i očekivani broj radnih zadataka po satu.

Napravljena je pregledna studija i mjerenje aktivnosti za određivanje relativnih težina radnih zadataka [74] te su radni zadaci rangirani po težini:

1. sprječavanje konflikata između zrakoplova na rutama koje se presijecaju

2. sprječavanje konflikata između zrakoplova koji se pretječu
3. primopredaja
4. označavanje (konfliktne situacije ili ostalih bitnih zadaća)
5. koordinacija s drugim kontrolorima
6. odgovaranje na zahtjeve pilota
7. uklapanje zračnog prometa.

Stein [67] je proveo simulaciju u stvarnom vremenu za određivanje povezanosti između čimbenika zračnog prometa i radnog opterećenja kontrolora. Kontrolori koji su sudjelovali u simulacijama, bili su izloženi malom, umjerenom i visokom radnom opterećenju. Radni su zadaci bili izraženi gustoćom prometa (broj zrakoplova), grupiranjem zrakoplova u manjem dijelu zračnog prostora, primopredajom zrakoplova u odlasku i dolasku te ukupnim brojem obrađenih zrakoplova. Tehnikom regresijske analize studija je ustanovila da prometna gustoća i primopredaja zrakoplova u odlasku i dolasku ima značajan utjecaj na radno opterećenje kontrolora. Dodatno, kontrolori su mogli u stvarnom vremenu procijeniti percepciju radnog opterećenja bez utjecaja na izvedbu simulacija.

Mogford [39] je proveo studiju za određivanje kognitivnih procesa povezanih s kontrolom zračnog prometa. Sudjelovali su kontrolori iz pet različitih centara, a svrha je studije bila identifikacija čimbenika kompleksnosti povezanih s kontrolom zračnog prometa te usporedba dvije metode koje su korištene za identifikaciju čimbenika:

- Direktna, korištenje upitnika i razgovor s kontrolorima koji su predlagali i vrednovali čimbenike kompleksnosti, a nakon toga su kontrolori ocjenjivali kako ti čimbenici određuju koji su sektori lakši ili teži za kontroliranje;
- Indirektna, statistička, kontrolori su uspoređivali kompleksnost u pet različitih sektora.

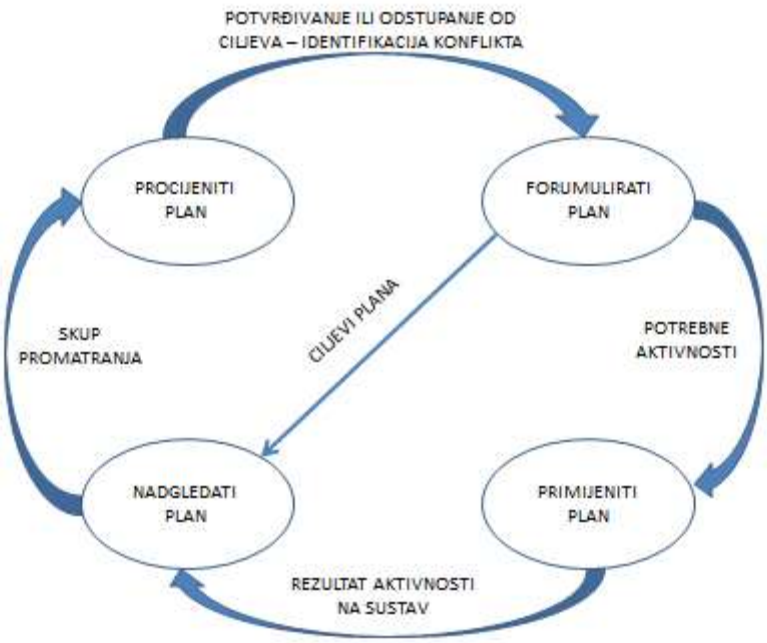
Rezultati studije identificirali su 16 čimbenika za opisivanje sektorske kompleksnosti:

1. broj zrakoplova koji mijenjaju visinu, penjanje ili spuštanje
2. utjecaj različitih zrakoplovnih tipova (klipni, turbomlazni i mlazni pogonski motori)
3. broj putanja koje se presijecaju
4. broj različitih zadataka koje kontrolor mora izvesti
5. broj potrebnih procedura koje se moraju izvesti

6. broj vojnih zadaća
7. broj koordinacije ili suradnje s ostalim partnerima (susjedni sektori, prilazne i oblasne kontrole, vojne jedinice)
8. utjecaj velikih aerodromskih čvorišta na rad kontrolora (veliki aerodromi ili terminalni prostori)
9. utjecaj meteoroloških čimbenika na rad kontrolora
10. utjecaj kompleksnih ruta zrakoplova
11. utjecaj zona s ograničenjem zračnog prometa na rad kontrolora
12. veličina sektora
13. norme razdvajanja koje se upotrebljavaju
14. dostupnost i pouzdanost radiofrekvencijskog i nadzornog pokrivanja
15. radiofrekvencijsko zagušenje
16. prosječan broj zrakoplova (koje je potrebno nadzirati).

Mogfordova studija dala je značajan doprinos na polju utvrđivanja čimbenika kompleksnosti kontrole zračnog prometa. Lista identificiranih čimbenika uključivala je i zračni promet i varijable sektora te predstavlja jedan od najdetaljnijih popisa čimbenika koji utječu na radno opterećenje kontrolora.

Pawlak [75] implementira ljudski čimbenik kao varijablu koju je pri utvrđivanju kompleksnosti nužno analizirati. Njegov model, slika 23., definirao je četiri glavna zadatka koje kontrolor mora izvršiti. Jedino je proces primjene plana vidljiv pri promatranju, no ostali zadaci: formulacija, nadgledanje i procjena plana, također tvore mentalni napor kontrolora.



Slika 23. Model potrebnih mentalnih i fizičkih procesa u kontroli zračnog prometa

Pawlakov je model primjenjiv pri provođenju razdvajanja zrakoplova koji se nalaze u konfliktnoj situaciji. Nakon odabira odgovarajuće tehnike razdvajanja, formulira se plan razdvajanja, slijedi primjena tog plana te se obavlja nadgledanje plana. Procjenjuju se rezultati plana da se utvrdi ispunjava li se plan, ako to nije slučaj, formulira se novi plan koji se onda primjenjuje.

5.1.3 Težinski faktori i izračun radnog opterećenja kontrolora

Za potrebe provođenja eksperimenta primijenjen je pojednostavljeni način izračuna radnog opterećenja kontrolora. Najprije su definirani radni zadaci koji doprinose radnom opterećenju kontrolora zračnog prometa u oba sustava, neautomatiziranom i automatiziranom, a zatim je svakom radnom zadatku dodijeljen pripadajući težinski faktor u oba sustava. Pojednostavljen način mjerenja i izračuna radnog opterećenja primijenjen je zbog ograničenih resursa (razine stručnosti sudionika istraživanja: kontrolori zračnog prometa – studenti i vremenskog ograničenja) i činjenice da je istraživanje provedeno pomoću simulacije u stvarnom vremenu. Simulacije u stvarnom vremenu provedene su u

neautomatiziranim i automatiziranim sustavima što je posebno zahtjevno zbog složenosti rada na različitim sustavima.

Za svaki radni zadatak u oba sustava potrebno je odrediti pripadajući težinski faktor na temelju međusobne usporedbe svih definiranih radnih zadataka, autor je koristio vlastito radno iskustvo i konzultacije s iskusnim kontrolorima i instruktorima kontrole zračnog prometa - ekspertima znanja. U automatiziranom sustavu koji se koristio tijekom izvođenja simulacija u stvarnom vremenu razina automatizacije bila je na razini 3. – 4. prema Wickens-u (Tablica 10). Uloga i odgovornosti kontrolora bile su iste u oba sustava, da je razina automatizacije bila 7. ili više utjecaj automatizacije bio bi znatno drugačiji.

Izvođenje radnog zadatka nadgledanja identificiranog zrakoplova koji leti u sektoru na ruti koja se ne poklapa s rutom drugog zrakoplova i ne zahtijeva promjenu smjera niti visinu leta, generira manje radnog opterećenja nego, na primjer, nadgledanje i rješavanje radarskih konflikata. Zbog toga se za zadatak nadgledanja identificiranog zrakoplova određuje najmanji težinski faktor jer njegovo izvođenje generira najmanje radno opterećenje kontrolora. To je dodatno izraženo pri radu u automatiziranom sustavu gdje se kontrolor koristi pomagalom za nadgledanje (opisano u 2.7.1.2) koje ga upozorava kada zrakoplov odstupi od planirane i zadane rute. Pritom se generira manje radno opterećenje kontrolora i taj se zadatak još lakše obavlja.

Izvođenje radnog zadataka koordinacija – primitak i prosljeđivanje prema oblasnim kontrolama, prilaznim kontrolama i sektorima unutar iste jedinice kontrole zračnog prometa generira određeno radno opterećenje. U neautomatiziranom sustavu potrebno je poznavati partnere za koordinaciju te rabiti propisani postupak za koordinaciju. Zbog toga ovaj radni zadatak generira višestruko veće radno opterećenje nego zadatak nadgledanje identificiranog zrakoplova pa mu se dodjeljuje veći težinski faktor. U automatiziranom sustavu, kada je kontroloru na raspolaganju sustav za automatsku koordinaciju (opisano u 2.7.1.3), međusektorska je koordinacija znatno olakšana i ubrzana jer se obavlja putem sučelja unošenjem zahtjeva za promjenu dogovorenih podataka u sustav, a kontrolor u sljedećem sektoru može prihvatiti, odbiti ili ponuditi nove uvjete bez potrebe za telefonskom komunikacijom. Zbog toga je generirano radno opterećenje manje te je manji i težinski faktor.

Zadatak obavljanja standardne radiotelefonske komunikacije zahtijeva poznavanje propisanih postupaka te pažljivo izdavanje uputa i instrukcija pilotima i, još važnije,

potvrđivanje (engl. *read back*) ponovljenih uputa i instrukcija od strane pilota. Na kontoloru je krajnja odgovornost da intervenira i upozori pilota koji je krivo ponovio dobivenu uputu i instrukciju. Zato ovaj radni zadatak generira određeno radno opterećenje i pripadajući težinski faktor.

Zadatak obrade podataka o letu generira radno opterećenje jer se sve izdane upute i instrukcije pilotima moraju upisati i ažurirati. U neautomatiziranom sustavu to se obavlja upisivanjem na fizičke obrasce za upisivanje podataka o letu zrakoplova te, po potrebi, prenošenjem novih podataka sljedećem sektoru. U automatiziranom sustavu taj se zadatak obavlja direktno na pokazivaču prometne situacije ili na pomoćnom informatičkom ekranu, bez potrebe za dodatnim ažuriranjem i prenošenjem novih podataka sljedećem sektoru. Time se smanjuje radno opterećenje pa je manji i težinski faktor.

Za izvođenje zadataka potraga i uočavanje konflikata određen je veći težinski faktor nego za prethodne radne zadatke jer ovaj radni zadatak zahtijeva veće radno opterećenje kontrolora. U oba sustava kontrolor mora stalno ažurirati prometnu situaciju te analizirati kako će promjena smjera ili visine zrakoplova koji su u sektoru ili tek trebaju ući u sektor, imati utjecaj na ostale zrakoplove. Zadaci potrage i uočavanje konflikata stalno se provode i generiraju radno opterećenje. U neautomatiziranom sustavu kontrolor se koristi položajem fizičkih obrazaca za upisivanje podataka o letu zrakoplova i slikom s pokaživača prometne situacije kako bi stvorio sliku prometne situacije te obavio zadatake potrage i uočavanje konflikata između zrakoplova. U automatiziranom sustavu kontrolor se može koristiti alatom za detekciju konflikta (opisano u 2.7.1.1) koji upozorava kontrolora na konflikte između zrakoplova, a kontrolor procjenjuje je li predviđeno razdvajanje između zrakoplova dovoljno te treba li poduzeti dodatne aktivnosti. Pri korištenju alata za detekciju konflikata kontrolor mora obratiti pažnju je li alat registrirao sve konflikte jer zbog samog rada alata osvježavanje podataka ponekad traje i nekoliko minuta. Zbog toga alat može detektirati konflikt između zrakoplova svega nekoliko minuta prije njegova nastanka, a odgovornost za uočavanje svih konflikata je na kontroloru bez obzira je li ih detektirao alat za detekciju ili ne. Radno je opterećenje djelomično smanjeno pa je i težinski faktor manji.

Izvođenje zadataka nadgledanje i rješavanje radarskih konflikata ocijenjeno je kao najteži radni zadatak u oba sustava te mu je dodijeljen najveći težinski faktor. Rješavanje radarskih konflikata generira najveće radno opterećenje jer se razdvajaju zrakoplovi između kojih ne postoji minimalna norma razdvajanja te, ako se pravilno ne izvrši ovaj zadatak, može

doći do ugrožavanja sigurnosti zračnog prometa. Kontrolor mora odabrati odgovarajuću tehniku razdvajanja, formulirati plan razdvajanja, radiotelefonskom komunikacijom izdati upute i instrukcije pilotima za izvršavanje plana razdvajanja te nadgledati izvršavanje plana razdvajanja. Nakon toga kontrolor procjenjuje rezultate plana da utvrdi je li plan izvršen, a ako to nije slučaj, formulira se novi plan, koji se onda primjenjuje. Pri izdavanju uputa i instrukcija pilotima zrakoplova koji se razdvajaju, mora se voditi računa o utjecaju vjetra na let zrakoplova, blizini granica sektora ili zona s ograničenjem letenja, manevarskim sposobnostima zrakoplova te se mora osigurati da pri izvođenju uputa i instrukcija zrakoplovi koji se razdvajaju ne dođu u konflikt s drugim zrakoplovima u sektoru.

Određivanje težinskog faktora za radni zadatak zahtijeva dobro poznavanje problematike, specifično znanje koje posjeduju iskusni kontrolori i instruktori kontrole zračnog prometa, eksperti znanja. Pri određivanju težinskih faktora eksperti znanja oslanjaju se na empirijsko iskustvo, procjenjuje se radno opterećenje za izvođenje jednog radnog zadatka i uspoređuje se s izvođenjem drugog radnog zadatka. Bilo koji sustav bodovanja ima smisla ako se njime može vjerno prikazati relativna vrijednost ili jačina različitih elemenata, tj. njihova težina. Apsolutne vrijednosti bodova nemaju veliku važnost, nego je važno dobro odrediti njihove relativne odnose. Minimalna se razlika može tolerirati. Varijacijom radnog opterećenja, povećavanjem i smanjivanjem kompleksnosti, simulatorskom vježbom dobivamo graf radnog opterećenja (engl. *Workload Graph*) koji prikazuje raspodjelu opterećenja tijekom trajanja vježbe. Graf radnog opterećenja može se oblikovati prema zahtjevima kompleksnosti za određenu vježbu.

Ako s ***wf*** označimo težinski faktor (engl. *Work Load Factors*) u vremenu ***Δt*** (u praksi primjenjujemo intervale od 1 min), tada možemo definirati radno opterećenje (engl. *Work Load WL)* kao

$$WL = \frac{\sum wf}{\Delta t} \qquad (6)$$

Odluka o radnim zadacima koji doprinose radnom opterećenju donosi se pojedinačno za zadatak. Konfliktna situacija između dvaju ili više zrakoplova stvara veće radno opterećenje pa treba na to obratiti veliku pažnju. Rješavanje konfliktne situacije vektoriranjem zrakoplova zahtijeva više pažnje i vještine nego jednostavna promjena razina leta. Kada zrakoplovi lete po planiranoj trajektoriji, mijenjaju visinu, penju se ili spuštaju, stalno se nadziru. Također,

broj zrakoplova koji mijenjaju visinu, a trenutačno se nadziru, doprinose povećanju radnog opterećenja.

Težinski faktori za radne zadatke u automatiziranom sustavu, koji je opremljen alatima i pomagalima za kontrolore zračnog prometa, manji su od težinskih faktora u neautomatiziranom sustavu. Korištenjem alata i pomagala kontroloru je olakšano i ubrzano izvođenje pojedinih radnih zadataka.

5.1.4 Model za izračunavanje kapaciteta zračnog prostora određen kvantifikacijom radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa

Model za izračunavanje kapaciteta zračnog prostora određen kvantifikacijom radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa koji se upotrebljava u ovom istraživanju specifičan je. Razlog je za to činjenica da se mjerenje radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa provodi u dva potpuno različita sustava koja se trenutačno rabe u kontroli zračnog prometa. Eksperiment se najprije provodi na neautomatiziranom sustavu koji se bazira na obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova, a nakon toga na automatiziranom sustavu u kojem se podaci o letu zrakoplova direktno unose u sam sustav.

Za određivanje kapaciteta koristila se je Littleova formula za teoriju čekanja zbog svoje jednostavnosti i mogućnosti primjene u bilo kojem sustavu u kojem postoji potreba za izračunom kapaciteta. Littleovom formulom može se odrediti kapacitet sektora zračnog prostora.

$$N^* = \lambda^* * \tau_s \qquad (7)$$

gdje je N^* broj zrakoplova koji su istovremeno pod kontrolom u sektru, a $\boldsymbol{\lambda^*}$ maksimalni intenzitet toka zrakoplova koji se mogu propustiti kroz sektor u jedinici vremena (obično 60 minuta) – kapacitet sektora, a τ_s prosječno vrijeme leta zrakoplova kroz određeni sektor izražen u minutama.

Ako je broj dolazaka zrakoplova u sustav manji od njegova kapaciteta, onda je sustav stabilan. Takav se sustav naziva nezasićeni (nesaturirani) ili stacionarni sustav. U slučaju da je broj dolazaka veći od kapaciteta, onda dolazi do kašnjenja i sustav više nije vremenski

nezavisan. Tada se izraz (7) ne može primijeniti za određivanje kapaciteta te se ne može rabiti izraz za određivanje kapaciteta.

Najveći broj zrakoplova u sektoru treba provesti u ograničenom vremenu kada je kontrolor izložen radnom opterećenju na sljedeći način:

$$N^* * m_{WL/ac} * t_{WL} \leq u * \tau_0 \qquad (8)$$

gdje je $m_{WL/ac}$ broj jedinica radnog opterećenja obavljenih za zrakoplov u određenom sektoru, a t_{WL} prosječno vrijeme za obradu jedinice radnog opterećenja u minutama, τ_0 vremenski period za koji se računa sektorski kapacitet (60 minuta), u koeficijent opterećenja kontrolora zračnog prometa tijekom vremenskog perioda (τ_0). (u = 0.7). Prema Eurocontrolovom dokumentu „*Fast time simulation to assess the impact of data link on sector capacity*“ [16] preopterećenje kontrolora nastupa kada izmjereno vrijeme za izvršavanje radnih zadataka prekorači prag od 70 % ukupnog vremena. Prag od 70 % tijekom jednog sata iznosi 42 minute izmjerenog radnog vremena u jednom satu, ostavljajući kontroloru na raspolaganju 18 minuta za druge poslove koji nisu obuhvaćeni definiranim radnim zadacima. Nakon prekoračenja praga od 70 % ne može se prihvatiti više niti jedan zrakoplov u sektor.

Prema izrazima (7) i (8) može se zapisati:

$$\lambda^* * \tau_s * m_{WL/ac} * t_{WL} \leq u * \tau_0 \qquad (9)$$

Iz izraza (9) sektorski kapacitet $\boldsymbol{\lambda^*}$ može se odrediti:

$$\lambda^* \leq \frac{u * \tau_0}{\tau_s * m_{WL/ac} * t_{WL}} \left[\frac{\min}{\min * \frac{WL}{ac} * \frac{\min}{WL}} \right] = \left[\frac{ac}{\min} \right] * 60 = \left[\frac{ac}{h} \right] \qquad (10)$$

Sektorski kapacitet $\boldsymbol{\lambda^*}$ u funkciji je radnog opterećenja kontrolora. S povećanjem radnog opterećenja sektorski kapacitet se smanjuje. Sektorski kapacitet ovisi i o vremenu leta zrakoplova kroz sektor. Što je trajanje leta kroz sektor duže, sektorski se kapacitet smanjuje.

5.2 PRIMJENA METODOLOGIJE PROVOĐENJA EKSPERIMENTA

5.2.1 Scenariji odvijanja eksperimenta

Eksperiment kojim se mjerilo radno opterećenje kontrolora sastojao se od simulatorskih vježbi koje su provedene prema trima scenarijima, i to:

- bez konflikta između zrakoplova koji se nalaze u preletu
- s konfliktima između zrakoplova samo u horizontalnoj ravnini (u dvije dimenzije)
- s konfliktima između zrakoplova u prostoru i vremenu.

Simulatorske vježbe započinju definicijom cilja. Mjereno je radno opterećenje kontrolora zračnog prometa u neautomatiziranom i u automatiziranom sustavu. Cilj je bio potvrditi temeljnu hipotezu, a to je da automatizirani sustav u kontroli zračnog prometa smanjuje radno opterećenje kontrolora i povećava kapacitet zračnog prostora. Za potrebe eksperimenta razvijen je model određivanja radnog opterećenja kontrolora (na temelju simulacija u stvarnom vremenu). Najprije su identificirani čimbenici – radni zadaci koji doprinose radnom opterećenju kontrolora. Zbog činjenice da se simulatorske vježbe izvode u dva različita sustava, neautomatiziranom i automatiziranom, odabrani su zadaci koji se mogu izvoditi i mjeriti u jednom i u drugom sustavu. Radni zadaci koji doprinose opterećenju kontrolora odabrani su na temelju proučavanja znanstvene literature i iskustva autora, koje je dodatno potkrijepljeno metodom intervjuiranja kontrolora. Svakom radnom zadatku dodijeljen je težinski faktor izražen u bodovima. Određivanje težinskog faktora napravljeno je na temelju relativne usporedbe radnih zadataka. Potom je za svaki zrakoplov izračunano generirano radno opterećenje kontrolora, koristeći izraz (6). Na kraju su zbrojena sva radna opterećenja i napravljeni grafovi radnog opterećenja kontrolora za svaku vježbu u oba sustava.

Mjerenje radnog opterećenja kontrolora nije moglo biti provedeno na operativnim radnim pozicijama radi izbjegavanja utjecaja mjerenja na sigurnost zračnog prometa (ne može se provesti mjerenje pri različitim razinama kompleksnosti zračnog prostora bez utjecaja na sigurnost) te zbog činjenice da se u operativnom radu može rabiti samo jedan sustav.

Za mjerenje radnog opterećenja proveden je eksperiment, simulacija u stvarnom vremenu. Odabran je zračni prostor Zagreb Gornji Sjeverni sektor (engl. *Zagreb Upper North*).

Posrijedi je zračni prostor sličnih dimenzija i slične rutne mreže, kao i u zračnom prostoru Zagreb Gornji Sjeverni. Razlika između stvarnog i simuliranog zračnog prostora vrlo je mala, odnosi se na zračne puteve koji su bili uvedeni nakon provedenih simulacija i nemaju utjecaj na radno opterećenje kontrolora. Rabila se slična mreža zračnih putova i raspored radionavigacijskih sredstava, jednake vertikalne granice, FL 285 – FL 660. Modeli zrakoplova vjerno prikazuju let zrakoplova sa stvarnim brzinama leta, vertikalnim brzinama penjanja i spuštanja te odgovaraju tipovima zrakoplova koji svakodnevno lete u sektoru Zagreb Gornji Sjeverni. Također, odabrane su destinacije koje realno prikazuju prometnu situaciju te potrebe za snižavanje zrakoplova za određene destinacije koje se nalaze u neposrednoj blizini zračnog prostora Zagreb Gornji Sjeverni. Simulatorske vježbe podijeljene su u vježbe relativno niske, srednje i visoke kompleksnosti. U sklopu simulatorskih vježbi konflikti između zrakoplova mogli su se razriješiti korištenjem različitih strategija: radarskim vektoriranjem, promjenom visine zrakoplova i promjenom brzine zrakoplova. U simulatorskim vježbama nisu bile korištene mogućnosti aktivacije zona s ograničenjem letenja, utjecaj vjetra ili turbulencije te izvanredni događaji u letu zrakoplova. Potrebno je naglasiti da bi svaki od tih faktora značajno mogao utjecati na kompleksnost zračnog prostora u sektoru. Simulacije u stvarnom vremenu najprije su provedene na simulatorskom uređaju koji se koristi sustavom fizičkih obrasca za upisivanje podataka o letu zrakoplova, gdje su odrađene tri simulatorske vježbe. Zatim su na interaktivnom simulatorskom uređaju koji se ne koristi sustavom fizičkih obrasca, već se podaci direktno unose u sustav (elektroničkim mišem i tipkovnicom), odrađene tri jednake simulatorske vježbe. Nakon svake odrađene simulatorske vježbe provedeno je anketiranje sudionika kako bi se prikupili stavovi o definiranim radnim zadacima radi analize rezultata eksperimenata. Pretpostavka je da se sudionici eksperimenta, kontrolori studenti, ponašaju na jednak način te da nema razlike u njihovim vještinama i iskustvu. Mjerenje radnog opterećenja provelo se u dva različita sustava, neautomatiziranom i automatiziranom, što postavlja dodatne poteškoće u provođenju eksperimenta zbog različitog načina rada u svakom sustavu. Pri radu u neautomatiziranom sustavu koji se koristi fizičkim obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova (engl. *strip system*) svi podaci o zrakoplovu upisuju se na fizički obrazac. Pri radu s fizičkim obrascima kontrolori se mogu lakše sporazumijevati, istovremeno ga može čitati i po njemu pisati više kontrolora istovremeno, što, ukratko, ubrzava sektorsku komunikaciju [41]. U automatiziranom sustavu komunikacija se pretežno obavlja kroz sam sustav, zato je razvijena posebna radna metoda pod nazivom „potvrdi dok govoriš“ (engl. *click as you speak*). Primjenom te metode kontrolori odmah unose u sustav izdanu uputu ili odobrenje. Za rad u

svakom sustavu potrebno je provesti osposobljavanje kontrolora koje može trajati do 400 radnih sati [77], [78], a za prelazak na rad s drugačijim sustavom potrebno je provesti dodatno osposobljavanje. Sva ta osposobljavanja doprinose favoriziranju jednog ili drugog sustava i rezultati dobiveni eksperimentom mogu biti neobjektivni i podložni favoriziranju radnog sustava na kojem kontrolor trenutačno radi. Da bi se izbjegla moguća neobjektivnost, za provođenje ovog eksperimenta odabrano je 14 kontrolora zračnog prometa – studenata – koji su uspješno završili Osnovno osposobljavanje kontrolora zračnog prometa. Razlog za odabir kontrolora zračnog prometa – studenata – objašnjen je u točki 5.3.1. Svi oni posjeduju podjednaka temeljna znanja i vještine te se nisu koristili niti jednim sustavom, bilo neautomatiziranim ili automatiziranim.

Scenariji se razlikuju po relativnoj kompleksnosti operacija zračnog prometa, a u razradi i kreiranju parametara rabile su se empirijske i matematičke metode. Kompleksnost je prema [79] kategorizirana kao niska, srednja i visoka. Čimbenici koji utječu na kompleksnost jesu: broj zrakoplova, promjena visine zrakoplova i konflikti između zrakoplova.

Temeljni problem koji je obrađen u doktorskoj disertaciji jest radno opterećenje kontrolora zračnog prometa pri korištenju automatiziranih sustava te prezentacija njegova konkretnog i mjerljivog doprinosa u povećanju kapaciteta zračnog prostora. Korištenjem znanstvene literature i provođenjem eksperimenta na simulatorskim uređajima kojima se koristi tijekom osposobljavanja kontrolora zračnog prometa, utvrđen je utjecaj automatiziranih sustava na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa.

Provedena je usporedna analiza na simulatorskim uređajima prema različitim scenarijima. Ispitanici su najprije proveli posebno pripremljene simulatorske vježbe na simulatorskom uređaju koji se koristi sustavom fizičkih obrasca za upisivanje podataka o letu zrakoplova „Rediffusion Simulation Ltd.“ (engl. *The Flexible Independent Radar Skills Trainer* F.I.R.S.T.). Opis uređaja nalazi se u točki 5.2.2.

Prvi scenarij sadržavao je zrakoplove koji su letjeli rutama koje se međusobno ne presijecaju. Uz to zrakoplovi nisu mijenjali visinu. Takav scenarij bio je osnova za simulatorske vježbe relativno niske kompleksnosti jer je korišten samo jedan čimbenik kompleksnosti, a to je broj zrakoplova [79].

Drugi scenarij sadržavao je zrakoplove koji su letjeli na rutama koje se međusobno presijecaju te su se pojavljivali konflikti između zrakoplova. Konflikti između zrakoplova rješavavali su se vektoriranjem zrakoplova, bez promjena visine. To je simulatorska vježba

relativno srednje kompleksnosti jer je sadržavala dva čimbenika kompleksnosti – broj zrakoplova i konflikti između njih u horizontalnoj ravnini [79].

Treći scenarij sadržavao je zrakoplove koji su letjeli na rutama koje se presijecaju te su se pojavljivali konflikti između zrakoplova. Konflikti između zrakoplova rješavali su se vektoriranjem ili promjenom visine zrakoplova. To je simulatorska vježba relativno visoke kompleksnosti, u odnosu na ostale simulacijske vježbe, jer je sadržavala tri čimbenika kompleksnosti – broj zrakoplova, konflikti između njih i promjene visine zrakoplova [79].

Slijedom provedenih scenarija ponovile su se iste simulatorske vježbe na simulatorskom uređaju za *Thales ATM/Croatian Air Traffic Management System CroATMS*. CroATMS je automatizirani simulatorski uređaj koji ne zahtijeva sustav fizičkih obrazaca, već se podaci o letu interaktivno unose i obrađuju izravno u samom sustavu. To je simulatorski sustav visoke vjernosti/pouzdanosti jer omogućuje vjerno prikazivanje svih funkcionalnosti radne pozicije i radnih procedura u operativnom okruženju. Opis uređaja nalazi se u točki 5.5.2.

5.2.2 Simulatorski uređaji

Simulacije su se provodile na dvije vrste simulatorskih uređaja. Oni su vjerno simulirali letove zrakoplova u određenom dijelu zračnog prostora.

Simulatorski uređaj F.I.R.S.T. (engl. *The Flexible Independent Radar Skills Trainer*) elementarni je uređaj za vježbanje. To je simulatorski uređaj koji se koristi sustavom fizičkih obrasca za upisivanje podataka o letu zrakoplova, a sastoji se od odvojenog kontrolorskog i pseudopilotskog dijela, s po dvije povezane radne pozicije. Rad može biti samostalan ili umrežen. Uređaj podržava neovisni analogni komunikacijski sustav.

Simulatorski uređaj CroATMS (engl. *Croatian Air Traffic Management System*) uređaj je za vježbanje visoke vjernosti koji omogućuje vjerno prikazivanje svih funkcionalnosti radne pozicije i radnih procedura u operativnom okruženju. To je interaktivni simulatorski uređaj koji se ne koristi sustavom fizičkih obrasca, već se podaci direktno unose u sustav (elektroničkim mišem i tipkovnicom), sastoji se od odvojenog kontrolorskog i pseudopilotskog dijela, s po dvije povezane radne pozicije. Rad može biti organiziran tako da istovremeno rade od dva do četiri kontrolora i posebna radna pozicija koja zamjenjuje ostale

susjedne simulirane jedinice kontrole zračnog prometa. Uređaj podržava neovisni digitalni komunikacijski sustav s mogućnošću snimanja.

5.2.3 Definiranje radnih zadataka

Nakon proučavanja znanstvene literature i adaptacijom radnih zadataka kojima se koristi Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo američkog Ministarstva prometa [37], Europska organizacija za sigurnost zračne plovidbe [38], te studija Mogford [39] i Rodgers [40], a za potrebe provođenja mjerenja tijekom izvođenja simulatorskih vježbi, definirani su radni zadaci koje kontrolor zračnog prometa treba izvršiti i koji se mogu izvoditi i mjeriti u neautomatskom i automatskom sustavu.

Definirani su sljedeći radni zadaci:

1. nadgledanje identificiranog zrakoplova (engl. *Monitoring identified aircraft Tasks*)
2. koordinacija – primitak/prosljeđivanje prema (engl. *Coordination Tasks*):
    - susjednim oblasnim kontrolama zračnog prometa
    - jedinicama prilazne i aerodromske kontrole zračnog prometa
    - radnim mjestima (sektorima) u istoj jedinici kontrole zračnog prometa
3. standardna radiotelefonska komunikacija (engl. *Standard R/T Communication Tasks*)
4. obrada podataka o letu (engl. *Flight Data Management Tasks*)
5. potraga i uočavanje konflikata (engl. *Conflict Search and detection Tasks*)
6. nadgledanje i rješavanje radarskih konflikata (engl. *Radar conflict monitoring and resolution Tasks*).

Metodologija za definiranje radnih zadataka, kako je navedeno u četvrtom poglavlju, razmatrala je radne zadatke koje je definirala Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo američkog Ministarstva prometa i Europska organizacija za sigurnost zračne plovidbe za potrebe proračuna kapaciteta sektora. Na temelju radnog iskustva autora radni su zadaci

grupirani u šest navedenih skupina. Navedni radni zadaci definirani su tako da objedinjuju osnovne aktivnosti kontrolora u oba sustava. Za svaki zrakoplov unutar područja vlastite odgovornosti potrebno je provoditi zadatke nadzora, koordinacije sa susjednim jedinicama, radiotelefonske komunikacije, obrade podataka o letu te potrage i uočavanja konflikata. Radni zadatak nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata odabran je zato jer se pomoću njega može povećavati kompleksnost zračnog prometa. U prvoj simulatorskoj vježbi koja ima relativno nisku kompleksnost taj radni zadatak nije se provodio, a u vježbama relativno srednje i visoke kompleksnosti sudionici su provodili i taj radni zadatak. Razlog za to jest postupno povećanje kompleksnosti zračnog prometa. Naime, obavljanjem zadatka nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata, u drugoj simulatorskoj vježbi događali su se konflikti između zrakoplova te se zadatak nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata obavljao bez promjene visine leta zrakoplova, što predstavlja povećanje kompleksnosti. U trećoj simulatorskoj vježbi događali su se konflikti između zrakoplova te se zadatak nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata obavljao s promjenom visine leta zrakoplova čime je još više povećana kompleksnost.

5.2.4 Definiranje težinskih faktora radnih zadataka

Kako je opisano u četvrtom poglavlju, nakon definiranja radnih zadataka koji doprinose radnom opterećenju kontrolora zračnog prometa u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu, bilo je potrebno svakom radnom zadatku dodijeliti pripadajući težinski faktor, tablica 3. Pritom je posebna pažnja posvećena međusobnoj usporedbi radnih zadataka pri čemu se autor koristio metodom intervjuiranja kontrolora zračnog prometa kao eksperata znanja i vlastitim iskustvom stečenim pri radu u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu kontrole zračnog prometa. Intervjuirani su kontrolori koji posjeduju radno iskustvo u oba sustava, jer oni mogu procijeniti razliku u radu, ukupno se je razgovarao sa pet kontrolora, a neki od njih su instruktori ispitivači.

Tablica 3. Težinski faktori

	Težinski faktor / Radni zadatak	Neautomatizirani sustav	Automatizirani sustav
1	Nadgledanje identificiranog zrakoplova	2	1
2	Primitak/prosljeđivanje koordinacije: • vanjska (telefonska) • međusektorska (telefonska)	 5 5	 5 3
3	Standardna radiotelefonska komunikacija	5	5
4	Obrada podataka o letu	6	3
5	Potraga i uočavanje konflikata	7	5
6	Nadgledanje i rješavanje radarskih konflikata	10	10

Izvođenju radnog zadatka nadgledanja identificiranog zrakoplova dodijeljen je težinski faktor 2 za neautomatizirani sustav i 1 za automatizirani sustav jer je procijenjeno da je to najlakši radni zadatak.

Radnom zadatku koordinacija – primitak i prosljeđivanje dodijeljen je težinski faktor 5 za sustav za automatsku koordinaciju jer je koordinacija olakšana i ubrzana bez potrebe za telefonskom komunikacijom.

Zadatku obavljanja standardne radiotelefonske komunikacije u oba sustava dodijeljen je isti težinski faktor 5 jer je generirano radno opterećenje podjednako.

Radnom zadatku obrade podataka o letu u neautomatiziranom sustavu dodijeljen je težinski faktor 6, a u automatiziranom sustavu 3 jer je generirano radno opterećenje manje za automatizirani sustav gdje se taj zadatak obavlja direktnim unosom podataka u sustav bez potrebe za slanjem novih podataka sljedećem sektoru.

Radni zadatak potraga i uočavanje konflikata generira veće radno opterećenje u neautomatiziranom sustavu jer se kontrolor koristi položajem fizičkih obrazaca za upisivanje podataka o letu zrakoplova i slikom s pokazivača prometne situacije za obavljanje ovog zadatka te mu je dodijeljen težinski faktor 7. U automatiziranom sustavu kontroloru je na raspolaganju alat za detekciju konflikta koji mu pomaže u obavljanju ovog zadatka te je radno opterećenje manje i težinski faktor iznosi 5.

Izvođenje zadatka nadgledanje i rješavanje radarskih konflikata predstavlja najteži radni zadatak koji generira najveće radno opterećenje pa mu je u oba sustava dodijeljen težinski faktor 10.

5.2.5 Stavovi o procjeni učinkovitosti rada u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu kontrole zračnog prometa

Nakon svake provedene simulatorske vježbe svi sudionici eksperimenta bili su anketirani o procjeni učinkovitosti rada u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu kontrole zračnog prometa. Pri promatranju procjene učinkovitosti u dvama promatranim sustavima, korištena je Likertova skala od 1 do 5, pri čemu 1 znači potpuno neslaganje s tvrdnjom, a 5 potpuno slaganje.

Anketa o procjeni učinkovitosti rada sadržavala je tvrdnje koje je priredio autor:

1. Količina alata adekvatna je za nadgledanje identificiranih zrakoplova.
2. Zadatak nadgledanja identificiranih zrakoplova može biti jednostavno izvršen.
3. Broj aktivnosti poduzetih za izvršavanje zadatka nadgledanje identificiranih zrakoplova prevelik je.
4. Zadatak koordinacije, primitak/prosljeđivanje (vanjska – telefonom i međusektorska – telefonom ili kroz automatizirani sustav) može biti jednostavno izvršen.
5. Broj aktivnosti poduzetih za izvršavanje zadatka koordinacije, primitak/prosljeđivanje (vanjska – telefonom i međusektorska – telefonom ili kroz automatizirani sustav) prevelik je.

6. U ovom se sustavu obavlja suvišna koordinacija (vanjska – telefonom i međusektorska – telefonom ili kroz automatizirani sustav).

7. Zadatak standardne radiotelefonske komunikacije može biti jednostavno izvršen.

8. Broj poduzetih aktivnosti za izvršavanje zadataka standardne radiotelefonske komunikacije prevelik je.

9. Informacije na pokazivaču prometne situacije jednostavno je pronaći.

10. Zadatak obrade podataka o letu može biti jednostavno izvršen.

11. Broj poduzetih aktivnosti za izvršavanje zadatka – obrade podataka o letu prevelik je.

12. Boje koje se upotrebljavaju u sustavu odgovarajuće su i omogućuju potragu za konfliktima.

13. Alati za obavljanje zadataka potrage i uočavanja konflikata adekvatni su.

14. Broj poduzetih aktivnosti za izvršavanje zadatka – potraga i uočavanje konflikata prevelik je.

15. Zadatak potrage i uočavanja konflikata može biti jednostavno izvršen.

16. Alati za nadziranje i rješavanje radarskih konflikata adekvatni su.

17. Broj poduzetih aktivnosti za izvršavanje zadatka – nadgledanje i rješavanje radarskih konflikata prevelik je.

18. Zadatak nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata može biti jednostavno izvršen.

Ukupna procjena učinkovitosti rada u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu pri izvršavanju svakog radnog zadatka, čini kompozit pojedinih tvrdnji. Drugim riječima, procjena učinkovitosti rada u dva sustava pri izvršavanju svakog radnog zadatka oblikovana je zbrojem vrijednosti odgovarajućih tvrdnji, podijeljenih brojem tvrdnji koje ga čine, čime zadržava vrijednost u okviru izvorne, ranije opisane skale (od 1 do 5). Slijedom toga, logika je da veći rezultat odražava rad u učinkovitijem sustavu. Tvrdnje na kojima veća vrijednost odražava stav o manjoj učinkovitosti rada u sustavu pri izvršavanju radnog zadatka, transformirane su. Transformacija, odnosno rotacija podrazumijeva zamjenu vrijednosti tako

da odgovor 1 poprima vrijednost 5, odgovor 2 vrijednost 4, odgovor 3 vrijednost 3, odgovor 4 vrijednost 2 te odgovor 5 vrijednost 1. Transformacija se provodi kako bi se dobiveni rezultati mogli međusobno uspoređivati te kako bi se slijedio smisao skale.

Stav o procjeni učinkovitosti rada u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu pri izvršavanju zadatka nadgledanje identificiranog zrakoplova čine ove tvrdnje:

1. Količina alata adekvatna je za nadgledanje identificiranih zrakoplova.
2. Zadatak nadgledanja identificiranih zrakoplova može biti jednostavno izvršen.
3. Broj aktivnosti poduzetih za izvršavanje zadatka – nadgledanje identificiranih zrakoplova prevelik je.

Smjer posljednje tvrdnje transformacijom je usklađen sa smjerom ostalih tvrdnji.

Stav o procjeni učinkovitosti rada u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu pri izvršavanju zadatka koordinacija – primitak/prosljeđivanje čine ove tvrdnje:

4. Zadatak koordinacije – primitak/prosljeđivanje (vanjska – telefonom i međusektorska – telefonom ili kroz automatizirani sustav) može biti jednostavno izvršen.
5. Broj aktivnosti poduzetih za izvršavanje zadatka koordinacije – primitak/prosljeđivanje (vanjska – telefonom i međusektorska – telefonom ili kroz automatizirani sustav) prevelik je.
6. U ovom sustavu obavlja se suvišna koordinacija (vanjska – telefonom i međusektorska – telefonom ili kroz automatizirani sustav).

Smjer posljednjih dviju tvrdnji transformacijom je usklađen s prvom tvrdnjom.

Stav o procjeni učinkovitosti rada u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu pri izvršavanju zadatka standardna radiotelefonska komunikacija čine ove tvrdnje:

7. Zadatak standardne radiotelefonske komunikacije može biti jednostavno izvršen.
8. Broj poduzetih aktivnosti za izvršavanje zadataka standardne radiotelefonske komunikacije prevelik je.

Prije stvaranja kompozita, odnosno ukupnog stava o zadatku, posljednja je tvrdnja transformirana.

Stav o procjeni učinkovitosti rada u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu pri izvršavanju zadatka obrada podataka o letu čine ove tvrdnje:

9. Informacije na pokazivaču prometne situacije jednostavno je pronaći.
10. Zadatak obrade podataka o letu može biti jednostavno izvršen.
11. Broj poduzetih aktivnosti za izvršavanje zadatka – obrada podataka o letu prevelik je.

Smjer posljednje tvrdnje transformacijom je usklađen sa smjerom prethodnih dviju tvrdnji.

Stav o procjeni učinkovitosti rada u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu pri izvršavanju zadatka potraga i uočavanje konflikata čine ove tvrdnje:

12. Boje koje se rabe u sustavu odgovarajuće su i omogućuju potragu za konfliktima.
13. Alati za obavljanje zadataka potrage i uočavanja konflikata adekvatni su.
14. Broj poduzetih aktivnosti za izvršavanje zadatka potrage i uočavanja konflikata prevelik je.
15. Zadatak potrage i uočavanja konflikata može biti lako izvršen.

Prije stvaranja kompozita koji odražava ukupan stav o zadatku, tvrdnja „Broj poduzetih aktivnosti za izvršavanje zadatka potrage i uočavanja konflikata prevelik je.“ transformacijom je usklađena sa smjerom ostale tri tvrdnje, odnosno smjerom mjerne skale.

Stav o procjeni učinkovitosti rada u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu pri izvršavanju zadatka nadgledanje i rješavanje radarskih konflikata čine ove tvrdnje:

16. Alati za nadziranje i rješavanje radarskih konflikata adekvatni su.
17. Broj poduzetih aktivnosti za izvršavanje zadatka nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata prevelik je.
18. Zadatak nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata može biti lako izvršen.

Pritom je tvrdnja „Broj poduzetih aktivnosti za izvršavanje zadatka nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata prevelik je.“ u suprotnom smjeru te je pri oblikovanju ukupnog stava o zadatku transformirana.

Na taj je način dobivena procjena učinkovitosti rada u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu pri obavljanju svakog pojedinog radnog zadatka.

Za obradu rezultata ankete o procjeni učinkovitosti korištena je statistička tehnika analiza varijance (*engl. Analysis of Variance – ANOVA – Program IBM SPSS Statistics 20*). Ta se tehnika upotrebljava za istodobno dijeljenje svih varijanci skupa podataka na komponente koje se mogu pripisati različitim izvorima varijacija i koristiti za testiranje razlika između nekoliko uzoraka. Stavovi (varijable) su mjerila procjene učinkovitosti pri izvršavanju pojedinih radnih zadataka u dva sustava kontrole zračnog prometa, neautomatiziranom i automatiziranom.

Analiza varijance razmatranjem različitih komponenti varijance omogućuje usporedbu više aritmetičkih sredina i testiranje učinka većeg broja nezavisnih varijabli. Analitičke procedure analize varijance koje omogućuju takvu usporedbu temelje se na usporedbi dviju procjena varijance. Jedna procjena ukazuje na međusobne razlike unutar grupa i smatra se slučajnim variranjem, odnosno rezultatom nesistematskih varijacija (*engl. error variance*) dok se druga temelji na razlikama aritmetičkih sredina promatranih grupa (razlika između grupa) i smatra se rezultatom efekta tretmana, odnosno stvarne razlike među grupama u promatranom obilježju (sistematske varijacije, varijanca objašnjena modelom). Razlika tih dviju varijanca iskazana je omjerom u kojem je varijanca između grupa (sistematske varijacije) u brojniku, a varijanca unutar grupa (nesistematske varijacije) u nazivniku. Taj omjer naziva se F omjer i služi za testiranje nul-hipoteze.

$$(H_0)\text{: } \mu_{AiCi} = \mu_{KiCi}\ (\mu_1 = \mu_2 = \ldots = \mu_k) \qquad (11)$$

U ovom radu provedena je dvosmjerna analiza varijance s ponovljenim mjerenjima u dvije promatrane nezavisne varijable. Nezavisne varijable; razina kompleksnosti i sustav sastoje se od triju, odnosno dviju razina. Razlikujemo tri razine kompleksnosti (varijabla: Kompleksnost), niska, srednja i visoka, koje podrazumijevaju tri razine jedne nezavisne varijable dok dva sustava, neautomatizirani i automatizirani, podrazumijevaju dvije razine druge varijable (varijabla Sustav). Oznaka je uz ovakav nacrt, stoga, 3 x 2 s ponovljenim mjerenjem u obje varijable, pri čemu dva broja (3 i 2) označavaju dvije nezavisne varijable s razinama u vrijednosti pojedinog broja (3 razine jedne nezavisne varijable i 2 razine druge nezavisne varijable). Utvrđen efekt jedne nezavisne varijable (statistički značajan glavni efekt) ukazuje na postojanje statistički značajne razlike u mjernom obilježju među razinama te nezavisne varijable. Sadrži li ona dvije razine kao, primjerice, varijabla Sustav u ovom istraživanju, efekt je jasan, odnosno postoji razlika u mjerenom obilježju (procjena učinkovitosti) među dva promatrana sustava. Ako pak varijabla sadrži više od dvije razine,

statistički značajan glavni efekt ukazuje na postojanje razlike među razinama, međutim, nismo u mogućnosti u potpunosti zaključivati o razlikama među svim razinama.

5.3 Opis i metodologija provođenja eksperimenta

5.3.1 Sudionici

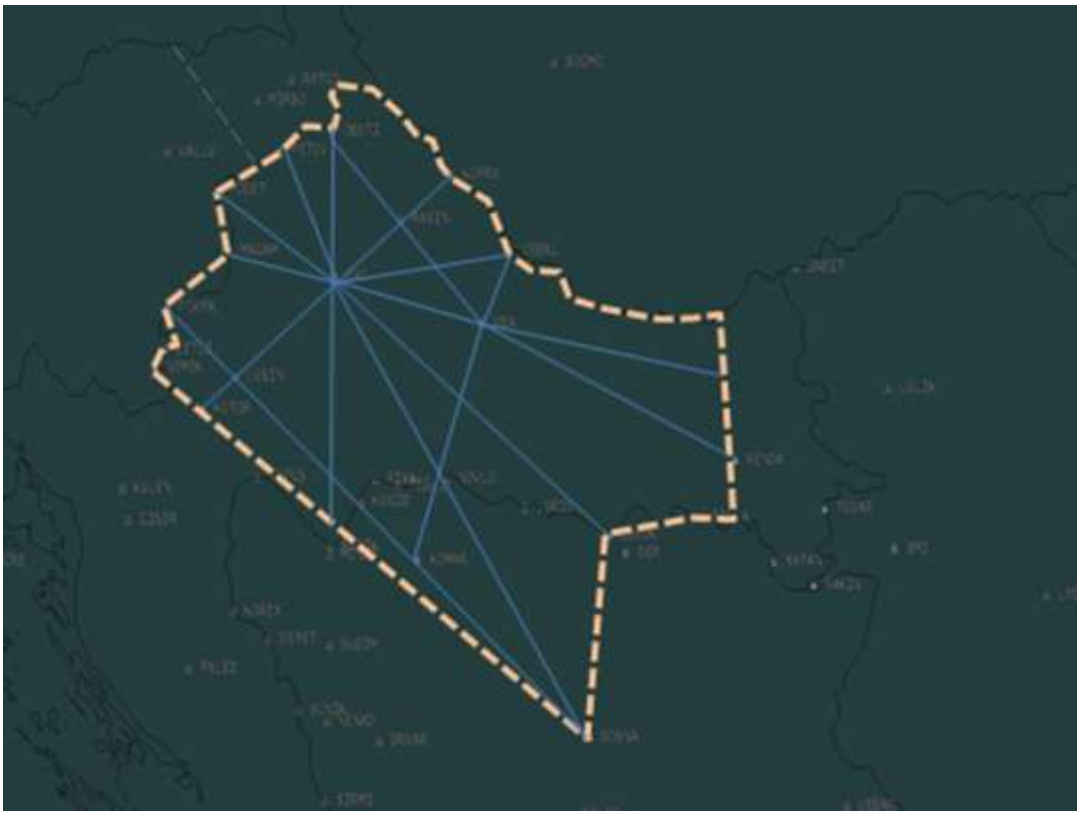
Za provođenje eksperimenta na simulatorskim uređajima odabrano je 14 kontrolora zračnog prometa – studenata. Svi su oni uspješno završili Osnovno osposobljavanje kontrolora zračnog prometa (engl. *Basic Training*) koje se sastoji od teorijskih predavanja i omogućuje kandidatima stjecanje temeljnih znanja i vještina radi nastavka osposobljavanja za stjecanje dozvole kontrolora zračnog prometa (engl. *Air Traffic Controller Licence*). Osnovno osposobljavanje provedeno je u Hrvatskom učilišnom središtu za kontrolu zračnog prometa (HUSK), Fakulteta prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu. Za provođenje eksperimenta odabrani su kontrolori zračnog prometa – studenti koji nemaju nikakvo radno iskustvo na bilo kojoj vrsti simulatorskih uređaja niti operativno iskustvo da bi se izbjegla pristranost i favoriziranje određenog sustava kontrole zračnog prometa.

Svi su sudionici bili upoznati s načinom funkcioniranja simulatorskih uređaja i proveli su po dvije pripremne vježbe na neautomatiziranom i automatiziranom simulatorskom uređaju kako bi se izbjegao utjecaj različite brzine prilagodbe studenata na simulator i na rezultate.

5.3.2 Zračni prostor

Zračni prostor koji se upotrebljavao tijekom eksperimenta – simulatorskih vježbi – imao je vertikalne granice FL 285 – 660, slika 24. Sjeverni sektor u sebi sadržava najopterećenije presjecište ruta (VOR ZAG) u ovom dijelu Europe, s preko 500 operacija u danu te kroz njega prolazi jedan od najopterećenijih zračnih koridora koji zračni promet iz zapadne i centralne Europe transferira prema Bliskom istoku i dalje. Sjeverni sektor ima kraće vrijeme preleta (engl. *flying time*), nego ostali geografski sektori u području nadležnosti Centra oblasne kontrole Zagreb. Vrijeme leta modernih mlaznih zrakoplova jest približno 15

minuta leta od zapadne do istočne granice i 10 minuta leta od sjeverne do južne granice sektora. Sjeverni sektor sadrži rute koje su stalne tijekom cijele godine i većinom ispunjava zahtjeve o adekvatnoj veličini sektora za pojedine vježbe koje su opisane u dokumentu „*Guidance for Developing ATCO Basic Training Plans*“ [80]. Prometno je opterećenje konstantno tijekom cijele godine i najmanje od svih elementarnih sektora podložno je sezonskim promjenama.

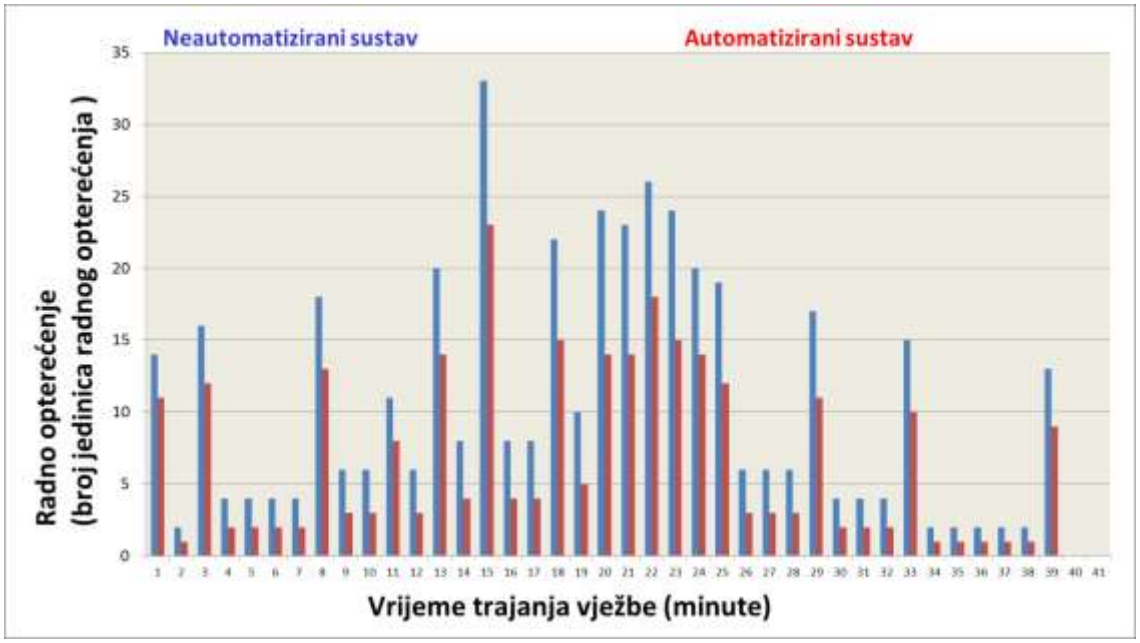


Slika 24. Zračni prostor Zagreb Gornji Sjeverni sektor i pripadajuće navigacijske rute koje su se upotrebljavale tijekom simulatorskih vježbi

5.3.3 Provedba eksperimenta

Eksperiment je najprije proveden na neautomatiziranom simulatorskom uređaju, gdje su se rabili fizički obrasci za upisivanje podataka o letu zrakoplova te je svaki kontrolor zračnog prometa proveo tri simulatorske vježbe. Nakon toga je svaki kontrolor zračnog prometa ponovio iste simulatorske vježbe na automatiziranom simulatorskom uređaju, gdje su se podaci o letu zrakoplova direktno unosili u sustav. Provedeno je ukupno 84 simulatorske vježbe, s tri različita scenarija kompleksnosti, niska, srednja i visoka, u dva različita sustava, neautomatiziranom i automatiziranom, s 14 sudionika.

Simulatorske vježbe kreirane su prema zahtjevima dokumenta *Guidance for Developing ATCO Basic Training Plans* [80], gdje na sektoru radi samo jedna osoba (engl. *single person operation*), a radno opterećenje primjereno je znanjima i vještinama kontrolora zračnog prometa – studenata. Preporučeno trajanje simulatorske vježbe iznosi između 30 i 45 minuta. Sveukupni je broj zrakoplova u simulatorskoj vježbi najviše deset, od toga je najviše četiri zrakoplova istovremeno na vezi i pojavljuju se najviše tri konfliktna slučaja po vježbi (samo jedan problem odjednom). Detaljan opis simulatorskih vježbi nalazi se u Prilogu 1. Na grafikonu 1 prikazano je radno opterećenje kontrolora u prvoj simulatorskoj vježbi.



Grafikon 1. Radno opterećenje kontrolora u prvoj simulatorskoj vježbi

Prvi scenarij, u kojoj zrakoplovi koji lete rutama koje se ne presijecaju te ne mijenjaju visinu, predstavlja vježbu relativno niske kompleksnosti u odnosu na sljedeće dvije vježbe. Vježba sadrži samo jedan čimbenik kompleksnosti, broj zrakoplova. Zrakoplovi se javljaju na ulaznim točkama u sektor nadležnosti i kontrolor obavlja zadatke nadgledanja identificiranog zrakoplova, koordinacije – primitak/prosljeđivanje prema, standardne radiotelefonske komunikacije, obrade podataka o letu te potragu i uočavanje konflikata. Pri radu u neautomatiziranom sustavu generira se veće radno opterećenje nego u automatiziranom sustavu, grafikon 1.

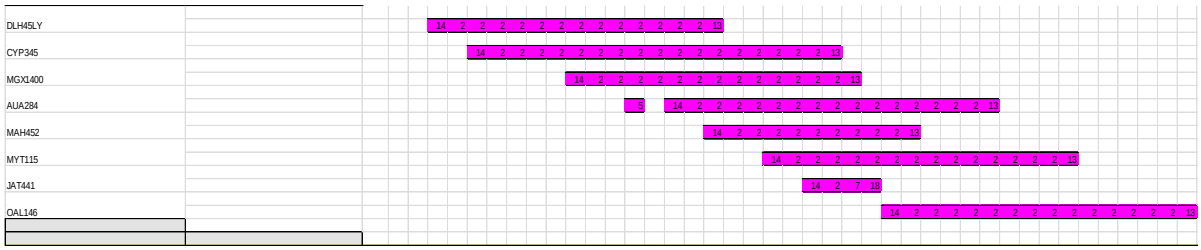
Na početku vježbe javlja se jedan zrakoplov te se simultano obavljaju zadaci nadgledanja zrakoplova, radiotelefonska komunikacija i zadaci potrage i uočavanja

konflikata. Za neautomatizirani sustav ti zadaci generiraju radno opterećenje od 14 jedinica radnog opterećenja (2 + 5 + 7 = 14), a za automatizirani sustav generirano radno opterećenje iznosi 11 jedinica radnog opterećenja (1 + 5 + 5 = 11). U drugoj se minuti obavlja zadatak nadgledanja zrakoplova. U trećoj se minuti javlja drugi zrakoplov na ulazu u sektor i radno opterećenje raste na 16 jedinica radnog opterećenja, odnosno 12 jedinica radnog opterećenja jer se i za drugi zrakoplov obavljaju isti radni zadaci. U osmoj minuti javlja se treći zrakoplov i radno opterećenje raste na 18 jedinica radnog opterećenja, odnosno 13 jedinica radnog opterećenja. U jedanaestoj minuti dodatno se obavljaju zadaci prosljeđivanja koordinacije prema susjednom sektoru koji imaju težinski faktor 5, odnosno 3 te je ukupno opterećenje 11 jedinica radnog opterećenja i 8 jedinica radnog opterećenja, a u sektoru se nalaze tri zrakoplova. U petnaestoj je minuti najviše radno opterećenje u vježbi i iznosi 33 jedinice radnog opterećenja za neautomatizirani sustav te 23 jedinice radnog opterećenja za automatizirani sustav. Razlog je tomu taj što se za zrakoplov koji izlazi iz sektora obavljaju zadaci radiotelefonske komunikacije i obrada podataka o letu (5 + 6 + 2 = 13), a u sektor ulazi još jedan zrakoplov (2 + 5 + 7 = 14) te je ukupno pet zrakoplova u sektoru (3 * 2 = 6, 13 + 14 + 6 = 33). U automatiziranom sustavu generirano radno opterećenje iznosi 23 jedinice radnog opterećenja, odnosno 5 + 3 + 1 = 9, 1 + 5 + 5 = 11 i 3 * 1 = 3, što je ukupno 9 + 11 + 3 = 23. U dvadesetoj minuti u sektor ulazi još jedan zrakoplov te je ukupno šest zrakoplova u sektoru pa radno opterećenje iznosi 24 jedinice radnog opterećenja, odnosno 14 jedinica radnog opterećenja. Pritom je zanimljivo da najveći broj zrakoplova na vezi ne generira najveće radno opterećenje koje je dostignuto kada je na vezi bilo pet zrakoplova, radno opterećenje od 33 jedinice radnog opterećenja, odnosno 23 jedinice radnog opterećenja, prema šest zrakoplova s ukupnim opterećenjem od 24 jedinice radnog opterećenja, odnosno 14 jedinica radnog opterećenja. U dvadeset drugoj minuti radno opterećenje raste do 26 jedinica radnog opterećenja, odnosno 18 jedinica radnog opterećenja jer se obavljaju zadaci koordinacije. Broj zrakoplova u sektoru pada s pet na jedan na kraju vježbe.

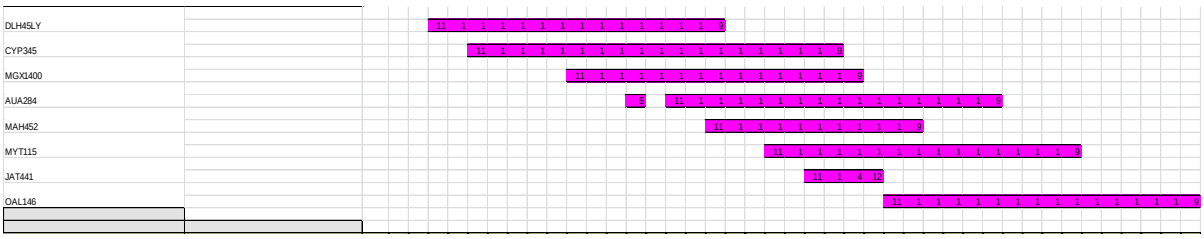
U tablici 4. i grafikonu 2. i 3. prikazano je radno opterećenje kontrolora u prvoj simulatorskoj vježbi.

Tablica 4. Radno opterećenje kontrolora u prvoj simulatorskoj vježbi

Pozivni znak zrakoplova	Vrijeme leta zrakoplova kroz sektor (minute)	Broj jedinica radnog opterećenja (number of Workload Units)		Prosječni broj jedinica radnog opterećenja po minutama	
		Neautomatizirani sustav	Automatizirani sustav	Neautomatizirani sustav	Automatizirani sustav
DLH45LY	15	53	33	3,53	2,20
CYP345	19	61	37	3,21	1,94
MGX1400	15	53	33	3,53	2,20
AUA284	17	62	40	3,64	2,35
MAH452	11	45	29	4,09	2,63
MYT115	16	55	34	3,43	2,12
JAT441	4	41	28	10,25	7
OAL146	16	55	34	3,43	2,12
Ukupno	113	425	268	35,11	22,56
Prosječno	14,12	53,12	33,50	4,38	2,82



Grafikon 2. Trajanje leta i radno opterećenje kontrolora u prvoj simulatorskoj vježbi za neautomatizirani sustav

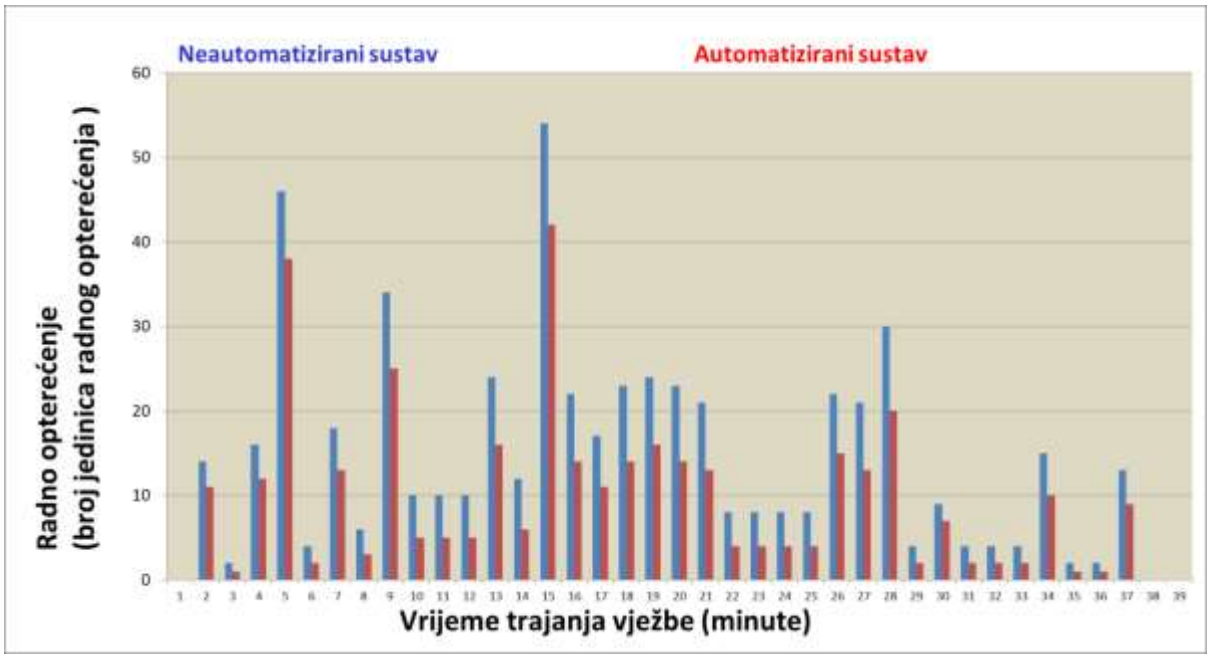


Grafikon 3. Trajanje leta i radno opterećenje kontrolora u prvoj simulatorskoj vježbi za automatizirani sustav

Zrakoplovi su tijekom vježbe koja traje 40 minuta, ukupno 113 minuta na vezi, prosječno 2,82 zrakoplova/minuti. Najveća je gustoća šest zrakoplova na vezi u istom vremenskom periodu (grafikon 2. i grafikon 3.). Prosječno je svaki zrakoplov u sektoru bio 14,12 minute (tablica 4.).

Prosječno radno opterećenje tijekom vježbe za neautomatizirani sustav iznosi 10,36 (425/40), a za automatizirani sustav iznosi 6,70 (268/40).

Na grafikonu 4 prikazano je radno opterećenje kontrolora u drugoj simulatorskoj vježbi.



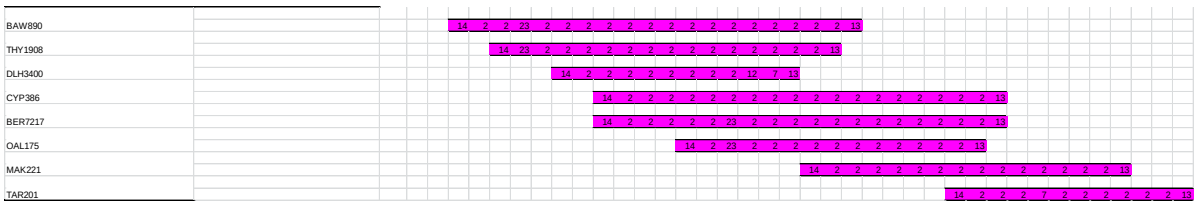
Grafikon 4. Radno opterećenje kontrolora u drugoj simulatorskoj vježbi

Druga simulatorska vježba također sadrži zrakoplove koji lete rutama koje se presijecaju. Dolazi do dva konflikta između zrakoplova. Zrakoplovi ne mijenjaju visinu te druga simulatorska vježba predstavlja vježbu relativno srednje kompleksnosti. Vježba sadržava dva čimbenika kompleksnosti – broj zrakoplova i konflikti između njih. Zrakoplovi se javljaju na ulaznim točkama u sektor nadležnosti i kontrolor obavlja zadatke nadgledanja identificiranog zrakoplova, koordinacije – primitak/prosljeđivanje prema, standardne radiotelefonske komunikacije, obrade podataka o letu, potragu i uočavanje konflikata te nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata. Kao i u prvoj simulatorskoj vježbi u neautomatiziranom sustavu generira se veće radno opterećenje nego u automatiziranom sustavu (grafikon 4.).

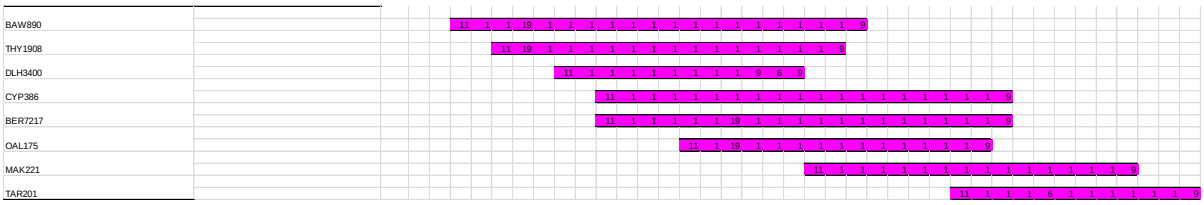
U tablici 5. i grafikonu 5. i 6. prikazano je radno opterećenje kontrolora u drugoj simulatorskoj vježbi.

Tablica 5. Radno opterećenje kontrolora u drugoj simulatorskoj vježbi

Pozivni znak zrakoplova	Vrijeme leta zrakoplova kroz sektor (minute)	Broj jedinica radnog opterećenja (number of Workload Units)		Prosječni broj jedinica radnog opterećenja po minutama	
		Neautomatizirani Sustav	Automatizirani sustav	Neautomatizirani sustav	Automatizirani sustav
BAW890	20	84	56	4,20	2,80
THY1908	17	78	53	4,58	3,11
DLH3400	12	62	43	5,16	3,58
CYP386	20	63	38	3,15	1,90
BER7217	20	84	56	4,20	2,80
OAL175	15	74	51	4,93	3,40
MAK221	16	55	34	3,43	2,12
TAR201	12	52	35	4,33	2,91
Ukupno	132	552	366	33,98	22,62
Prosječno	16,50	69	45,75	4,24	2,82



Grafikon 5. Trajanje leta i radno opterećenje kontrolora u drugoj simulatorskoj vježbi za neautomatizirani sustav

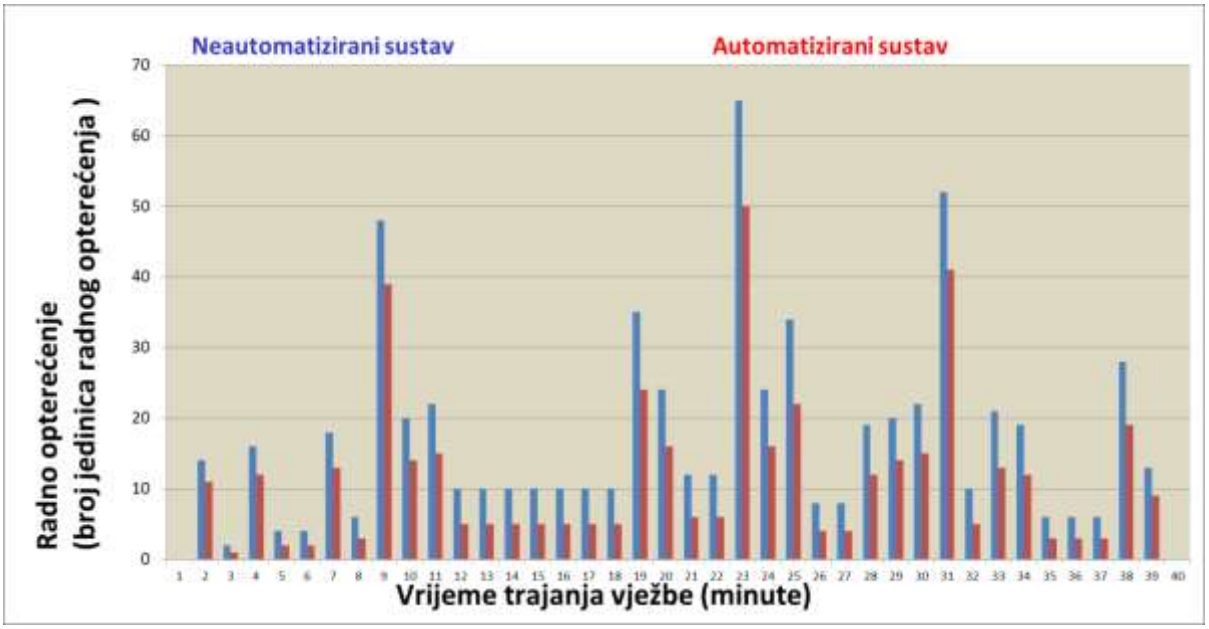


Grafikon 6. Trajanje leta i radno opterećenje kontrolora u drugoj simulatorskoj vježbi za automatizirani sustav

Zrakoplovi su tijekom vježbe koja traje 40 minuta, ukupno 132 minute na vezi, prosječno 3,30 zrakoplova/minuti. Najveća je gustoća šest zrakoplova na vezi u istom vremenskom periodu (grafikon 5. i grafikon 6.). Prosječno je svaki zrakoplov bio 16,50 minute u sektoru (tablica 5.).

Prosječno radno opterećenje tijekom vježbe za neautomatizirani sustav iznosi 13,80 (552/40), a za automatizirani sustav iznosi 9,15 (366/40).

Na grafikonu 7 prikazano je radno opterećenje kontrolora u trećoj simulatorskoj vježbi.



Grafikon 7. Radno opterećenje kontrolora u trećoj simulatorskoj vježbi

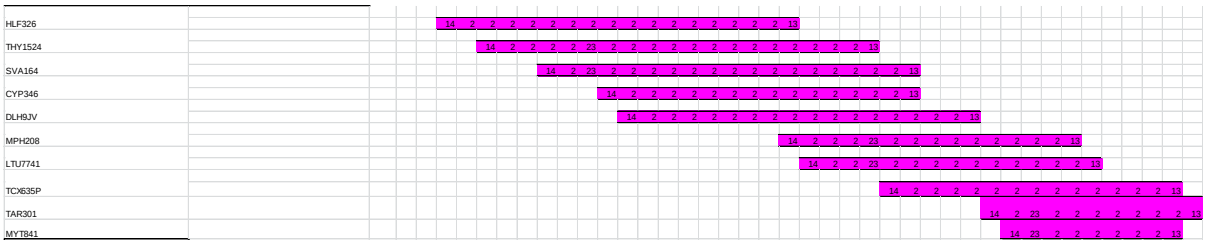
U trećem scenariju najviše zrakoplova leti rutama koje se presijecaju te istovremeno mijenjaju visinu. Vježba s tim scenarijem ima relativno visoku kompleksnost jer obuhvaća tri čimbenika kompleksnosti – broj zrakoplova, konflikti između njih i promjene visine zrakoplova.

U ovom se scenariju najveće radno opterećenje poklapa s najvećim brojem zrakoplova na vezi i izvršavanjem radnih zadataka koji generiraju najveće opterećenje (grafikon 7.).

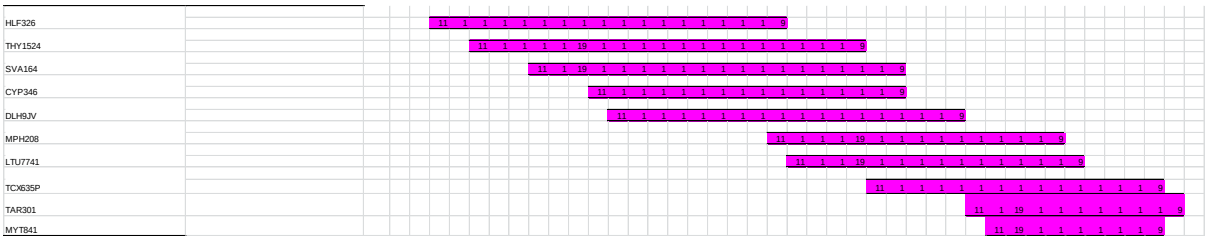
U tablici 6. i grafikonu 8. i 9. prikazano je radno opterećenje kontrolora u trećoj simulatorskoj vježbi.

Tablica 6. Radno opterećenje kontrolora u trećoj simulatorskoj vježbi

Pozivni znak zrakoplova	Vrijeme leta zrakoplova kroz sektor (minute)	Broj jedinica radnog opterećenja (number of Workload Units)		Prosječni broj jedinica radnog opterećenja po minutama	
		Neautomatizirani Sustav	Automatizirani sustav	Neautomatizirani sustav	Automatizirani sustav
HLF326	18	59	36	3,20	2
THY1524	20	84	56	4,20	2,80
SVA164	19	82	55	4,31	2,89
CYP346	16	55	34	3,43	2,12
DLH9JV	18	59	36	3,20	2
MPH208	15	74	51	4,93	3,40
LTU7741	15	74	51	4,93	3,40
TCX635P	15	53	33	3,53	2,20
TAR301	11	66	47	6	4,27
MYT841	9	62	45	6,88	5
Ukupno	157	668	444	44,68	30,08
Prosječno	15,70	66,8	44,4	4,46	3,00



Grafikon 8. Trajanje leta i radno opterećenje kontrolora u trećoj simulatorskoj vježbi za neautomatizirani sustav



Grafikon 9. Trajanje leta i radno opterećenje kontrolora u trećoj simulatorskoj vježbi za automatizirani sustav

Zrakoplovi su tijekom vježbe koja traje 40 minuta, ukupno 157 minuta na vezi, prosječno 3,92 zrakoplova/minuti. Najveća je gustoća šest zrakoplova na vezi u istom vremenskom periodu (grafikon 8. i grafikon 9.). Prosječno je svaki zrakoplov bio 15,70 minuta u sektoru (tablica 6.).

Prosječno radno opterećenje tijekom vježbe za neautomatizirani sustav iznosi 16,70 (668/40), a za automatizirani sustav iznosi 11,10 (444/40).

Korištenjem podataka iz tablica 4., 5. i 6., a prema izrazu (10) može se izračunati sektorski kapacitet za svaku pojedinu simulatorsku vježbu.

Sektorski kapacitet za neautomatizirani sustav za prvu vježbu prema izrazu (10) iznosi:

$\lambda * \leq \frac{0,7*60}{14,12*53,12*0,265}$ * 60 = **12,67** ≈ **12** zrakoplova po satu.

Izračun sektorskog kapaciteta za neautomatizirani sustav za drugu vježbu iznosi:

$\lambda * \leq \frac{0,7*60}{16,50*69*0,239}$ *60 = **9,26** ≈ **9** zrakoplova po satu.

Izračun sektorskog kapaciteta za neautomatizirani sustav za treću vježbu iznosi:

$\lambda * \leq \frac{0,7*60}{15,70*66,80*0,235}$ *60 = **10,22** ≈ 1**0** zrakoplova po satu.

Izračun sektorskog kapaciteta za automatizirani sustav za prvu vježbu jest:

$\lambda * \leq \frac{0,7*60}{14,12*33,50*0,42}$ * 60 = **12,68** ≈ **12** zrakoplova po satu.

Izračun sektorskog kapaciteta za automatizirani sustav za drugu vježbu jest:

$\lambda * \leq \frac{0,7*60}{16,50*45,75*0,36}$ *60 = **9,27** ≈ **9** zrakoplova po satu.

Izračun sektorskog kapaciteta za automatizirani sustav za treću vježbu jest:

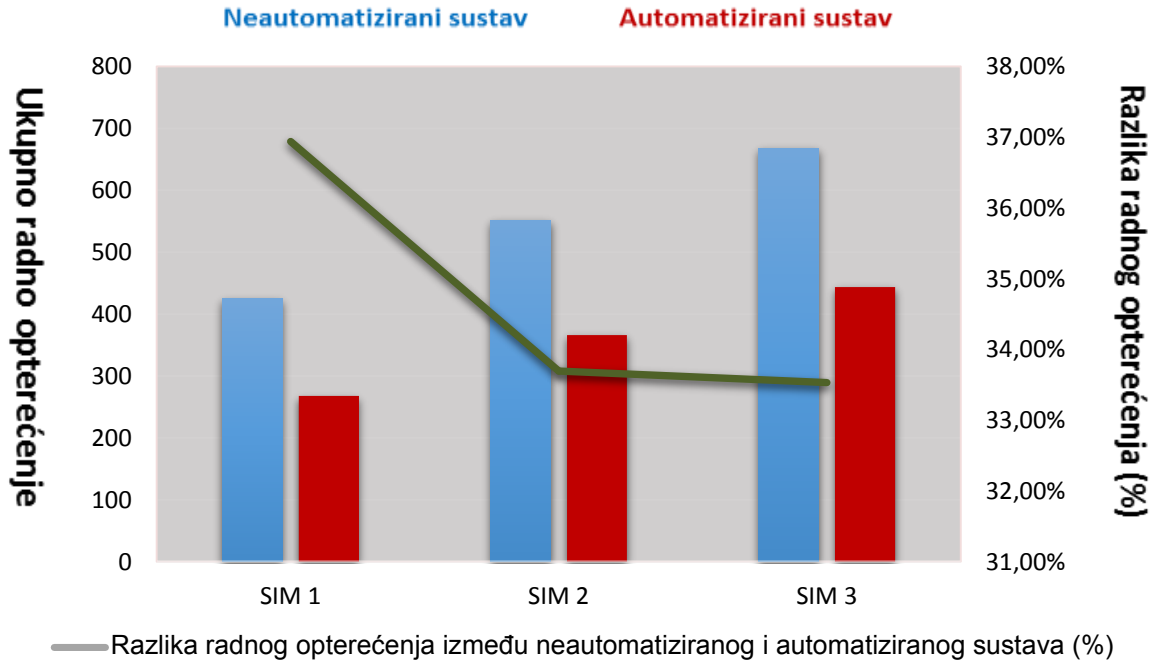
$\lambda * \leq \frac{0,7*60}{15,70*44,4*0,353}$ *60 = **10,24** ≈ **10** zrakoplova po satu.

Vrijednosti sektorskog kapaciteta zaokružene su na cijeli broj, niža vrijednost. Vidljivo je da je rezultat približno isti. Naime, izračun sektorskog kapaciteta korištenjem Littlove formule

za oba je sustava približno isti jer su simulatorske vježbe bile jednake, odnosno sadržavale su isti broj zrakoplova.

Analizom podataka može se utvrditi da je razlog za dobivanje približno istog sektorskog kapaciteta u oba sustava prosječno vrijeme obrade jedne jedinice radnog opterećenja: **0.265** min/WL (**15.9** sat/WL) u neautomatiziranom sustavu i **0.42** min/WL (**25.2** sat/WL) u automatiziranom sustavu.

Analiza prve simulatorske vježbe pokazuje da je potrebno obraditi više jedinca radnog opterećenja, prosječno **53.12** WL/ac u neautomatiziranom sustavu te je potrebno raditi brže u okviru ograničenog vremena, prosječno **14.12** minuta leta kroz sektor, a prosječno vrijeme obrade jedne jedinice radnog opterećenja iznosi **0.265** min/WL. U automatiziranom sustavu potrebno je obraditi manje jedinca radnog opterećenja, prosječno **33.5** WL/ac, za isto prosječno vrijeme leta kroz sektor, **14.12** minuta te je moguće raditi sporije (trošiti više vremena po jedinici radnog opterećenja), a prosječno vrijeme obrade jedne jedinice radnog opterećenja iznosi **0.42** min/WL. Grafikon 10. prikazuje radno opterećenje kontrolora zračnog prometa u sve tri simulatorske vježbe u oba sustava.



Grafikon 10. Razlika radnog opterećenja u sve tri simulatorske vježbe

Iz grafikona 10. vidljivo je da postoji razlika izmjerenog radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu, izraženog u jedinicama radnog opterećenja. U prvoj vježbi razlika izmjerenog radnog opterećenja u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu iznosi gotovo 37 %, dok se s povećanjem kompleksnosti prometa u sljedeće dvije vježbe razlika smanjuje na 34 %, odnosno 33 %.

Osnovni razlog uvođenja automatizacije u sustav kontrole zračnog prometa jest povećanje kapaciteta zračnog prostora uz zadržavanje dostignute razine sigurnosti. To je moguće jer su automatizirani sustavi opremljeni alatima koji pomažu kontrolorima u obavljanju radnih zadataka te smanjuju radno opterećenje kontrolora zračnog prometa. Iz provedenog eksperimenta vidljivo je da je radno opterećenje kontrolora zračnog prometa u automatiziranom sustavu manje nego u neautomatiziranom sustavu, tj. isti radni zadaci obavljaju se uz manje radno opterećenje.

Ako bi se povećalo radno opterećenje u automatiziranom sustavu na istu razinu kao u neautomatiziranom sustavu tako da se ubrza prosječno vrijeme obrade jedne jedinice radnog opterećenja uz zadržavanje iste složenosti radnih zadataka, došlo bi do povećanja sektorskog kapaciteta, tj. kapaciteta zračnog prostora.

Kada u izraz (10) unesemo isto prosječno vrijeme obrade jedne jedinice radnog opterećenja kao i u neautomatiziranom sustavu, dobivamo sljedeće razultate za izračun sektorskog kapaciteta u automatiziranom sustavu.

Izračun sektorskog kapaciteta za automatizirani sustav za prvu vježbu jest:

$\lambda * \leq \frac{0,7*60}{14,12*33,50*0.265}$ *60 = **20,10** $\approx$ **20** zrakoplova po satu.

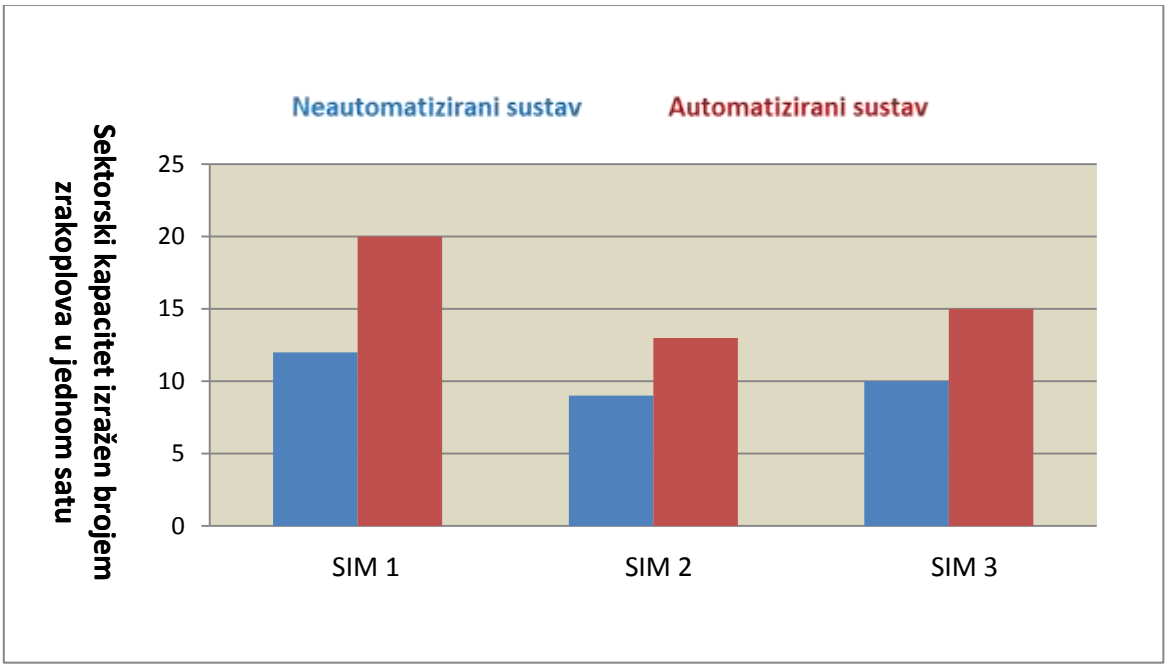
Izračun sektorskog kapaciteta za automatizirani sustav za drugu vježbu jest:

$\lambda * \leq \frac{0,7*60}{16,50*45,75*0,239}$ *60 = **13,96** $\approx$ **13** zrakoplova po satu.

Izračun sektorskog kapaciteta za automatizirani sustav za treću vježbu jest:

$\lambda * \leq \frac{0,7*60}{15,70*44,40*0,235}$ *60 = **15,38** $\approx$ **15** zrakoplova po satu.

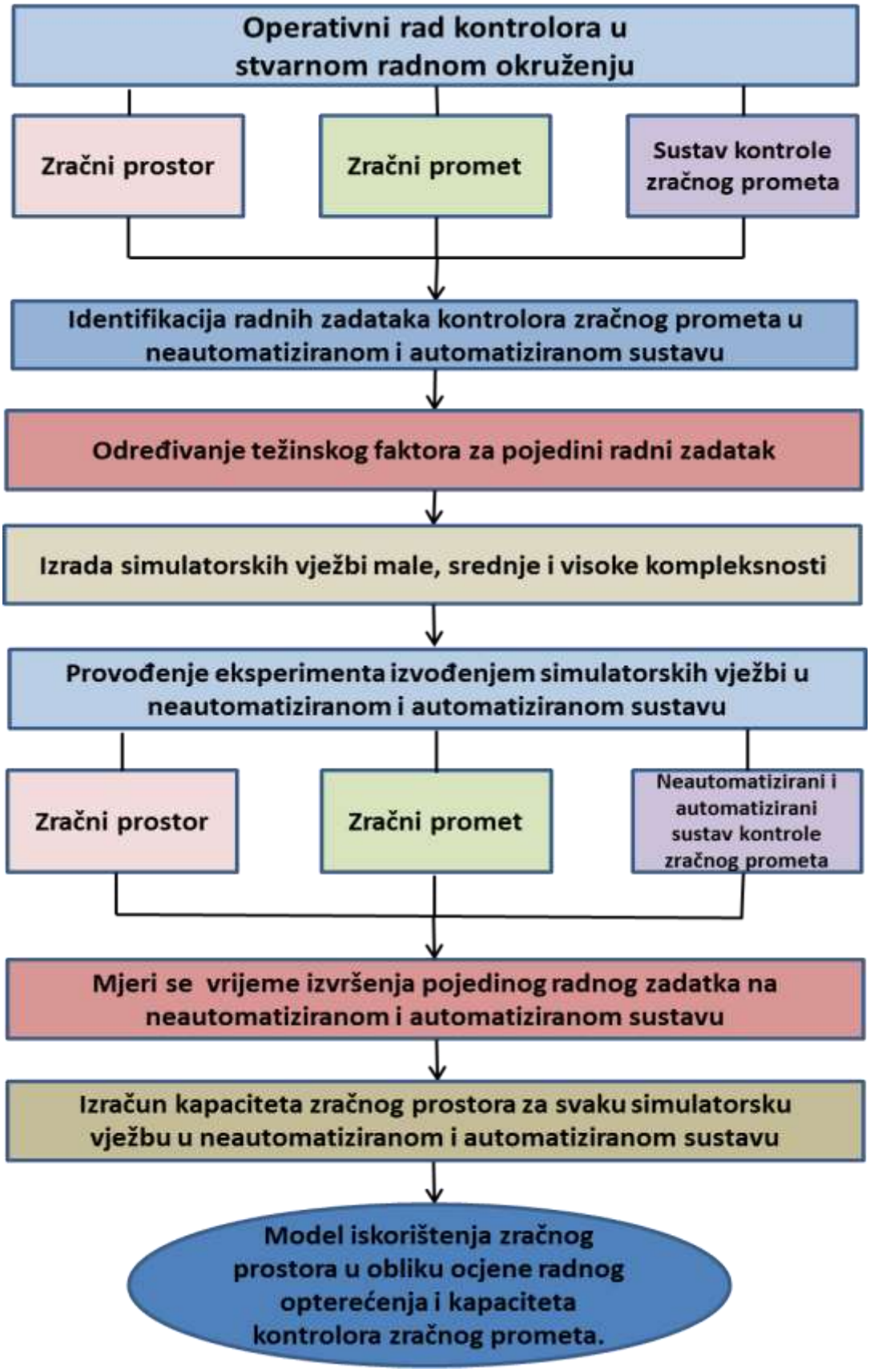
Grafikon 11. pokazuje moguće povećanje sektorskog kapaciteta koji odgovara kapacitetu zračnog prostora pri povećanju radnog opterećenja u automatiziranom sustavu na istu razinu kao u neautomatiziranom sustavu.



Grafikon 11. Razlika radnog opterećenja u sve tri simulatorske vježbe

5.3.4 Rezime metodologije i njezina primjena u provođenju eksperimenta

Primjena metodologije moguća je u okviru modela određivanja radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa. Model je prikazan na slici 25. i sastoji se od identifikacije radnih zadataka, nakon čega se određuju težinski faktori za pojedini zadatak. Mjerenjem vremena izvršenja pojedinog radnog zadatka na automatiziranom i neautomatiziranom sustavu provodi se kategorizacija kompleksnosti zračnog prometa prema različitim scenarijima. Rezultat modela identificirao je radne zadatke, koji se korištenjem alata za pomoć u radu kontrolora, u uvjetima visoke kompleksnosti zračnog promet mogu učinkovitije obavljati u automatiziranom sustavu. To su zadaci nadgledanje identificiranog zrakoplova, koordinacija – primitak/prosljeđivanje, obrada podataka o letu i potraga i uočavanje konflikata. Zadaci obavljanja standardne radiotelefonske komunikacije i nadgledanje i rješavanje radarskih konflikata obavljaju se gotovo podjednako učinkovito u oba sustava te ne ovise o razini kompleksnosti.



Slika 25. Model iskorištenja zračnog prostora

Karakteristike sustava kontrole zračnog prometa definirale su se proučavanjem znanstvene i stučne literature te radnim iskustvom autora koji se u svojem operativnom radu koristio neautomatiziranim sustavom, a nakon toga nastavio operativni rad koristeći automatizirani sustav kontrole zračnog prometa. Stečena su proširena znanja o oba sustava kontrole zračnog prometa koja su poslužila kao temelj za definiranje karakteristika sustava, a ona obuhvaćaju:

- zračni prostor: zračne rute, horizontalne i vertikalne granice sektora
- zračni promet
- sustav kontrole zračnog prometa
    - neautomatizirani sustav koji se koristi fizičkim obrascima za upisivanje podataka o letu zrakoplova,
    - automatizirani sustav kontrole zračnog prometa koji ne zahtijeva sustav fizičkih obrazaca, već se podaci o letu interaktivno unose i obrađuju izravno u samom sustavu.

Nakon toga provedena je identifikacija radnih zadataka kontrolora zračnog prometa koji se mogu promatrati i mjeriti u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu. Proučavanjem znanstvene literature i adaptacijom radnih zadataka te iskustvom autora definirano je šest radnih zadataka koji su se upotrebljavali tijekom provođenja eksperimenta. Definiranim radnim zadacima određeni su težinski faktori u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu. Vrijednosti težinskih faktora dodatno su potvrđeni metodom intervjuiranja kontrolora zračnog prometa koji imaju radno iskustvo u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu kontrole zračnog prometa. Na temelju međusobne usporedbe definiranih radnih zadataka određeni su težinski faktori. Vrijednost težinskih faktora prikazuje generirano radno opterećenje kontrolora zračnog prometa. Karakteristike sustava kontrole zračnog prometa poslužile su kao temelj za izradu simulatorskih vježbi male, srednje i visoke kompleksnosti. Upotrebljavale su se identične simulatorske vježbe na uređajima za vježbanje koji su simulirali rad u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu. Za povećanje kompleksnosti u drugoj i trećoj simulatorskoj vježbi dodani su konflikti između zrakoplova samo u horizontalnoj ravnini (u dvije dimenzije) te konflikti između zrakoplova u prostoru i vremenu. Proveden je eksperiment putem simulatorskih vježbi u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu. Simulacije su se provodile u stvarnom vremenu uz korištenje realnog zračnog prostora i zračnog prometa, sa sudionicima koji su bili nepristrani i nisu favorizirali određeni sustav kontrole zračnog prometa. Mjerilo se je vrijeme

izvršenja pojedinog radnog zadatka na neautomatiziranom i automatiziranom sustavu korištenjem izraza (6) te su se izradili grafikoni radnog opterećenja za svaku simulatorsku vježbu u oba sustava. Korištenjem izraza (10) izračunao se je sektorski kapacitet za svaku pojedinu simulatorsku vježbu. Dobiveni rezultat predstavlja model – optimalnog iskorištenja zračnog prostora za odabrani prometni uzorak.

Pod uvjetom da se je radno opterećenje kontrolora u automatiziranom sustavu povećalo na istu razinu kao u neautomatiziranom sustavu, tako da se ubrza prosječno vrijeme obrade jedne jedinice radnog opterećenja uz zadržavanje iste složenosti radnih zadataka, povećan je kapacitet zračnog prostora.

Za simulatorsku vježbu niske kompleksnosti izračunano je najveće povećanje kapaciteta zračnog prostora. U neautomatiziranom sustavu sektorski kapacitet iznosi 12 zrakoplova po satu, a u automatiziranom sustavu sektorski kapacitet povećava se na 20 zrakoplova po satu, odnosno **66,66 %**.

Za simulatorsku vježbu srednje kompleksnosti izračunano je povećanje kapaciteta zračnog prostora. U neautomatiziranom sustavu sektorski kapacitet iznosi 9 zrakoplova po satu, a u automatiziranom sustavu sektorski kapacitet povećava se na 13 zrakoplova po satu, odnosno **44,44 %**.

Za simulatorsku vježbu najveće kompleksnosti izračunano je povećanje kapaciteta zračnog prostora. U neautomatiziranom sustavu sektorski kapacitet iznosi 10 zrakoplova po satu, a u automatiziranom sustavu sektorski kapacitet povećava se na 15 zrakoplova po satu, odnosno **50 %**.

Sektorski kapacitet za prvu simulatorsku vježbu jest najveći. Razlog je tomu manji broj jedinica radnog opterećenja, a simulatorska je vježba relativno manje kompleksnosti u odnosu na ostale dvije vježbe. U drugoj simulatorskoj vježbi, relativno srednje kompleksnosti u odnosu na ostale dvije vježbe, važan utjecaj na sektorski kapacitet ima prosječno vrijeme leta zrakoplova kroz sektor. Ono iznosi 16,5 minuta, što je za 16,85 % više nego u prvoj vježbi i 5,09 % više nego u trećoj vježbi.

U trećoj simulatorskoj vježbi, relativno visoke kompleksnosti u odnosu na ostale dvije vježbe, sektorski je kapacitet najmanji. Razlog tomu jest povećanje broja jedinica radnog opterećenja i broja zrakoplova u vježbi.

Pri niskoj kompleksnosti simulatorskih vježbi, što odgovara uvjetima u sektorima zračnog prometa na većim visinama, razina leta 350 i više, kapacitet sektora je najveći, i to za automatizirani sustav. U sektorima zračnog prometa na većim visinama pretežno se nalaze zrakoplovi koji u preletu ne mijenjaju visinu te su izloženi konfliktima na istoj razini leta. Pri srednjoj i visokoj kompleksnosti simulatorskih vježbi, što odgovara uvjetima u sektorima zračnog prometa na manjim visinama, razine leta do 350, kapacitet sektora veći je u automatiziranom sustavu. U sektorima zračnog prometa na manjim visinama nalaze se zrakoplovi koji polijeću i slijeću te mijenjaju visinu i izloženi su konfliktima u penjanju i spuštanju.

Iz toga se može zaključiti da je uporabom automatiziranog sustava moguće postići značajno povećanje kapaciteta zračnog prostora, u usporedbi s neautomatiziranim sustavom. Potrebno je napomenuti da, što je i vidljivo iz grafikona 7., s povećanjem kompleksnosti simulatorskih vježbi i samog zračnog prometa, dolazi i do povećanja radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa, što u konačnici može dovesti do saturacije sustava. Iako u sve tri simulatorske vježbe nije došlo do saturacije sustava, možemo reći da se upotrebom automatiziranog sustava može povećati kapacitet, ali ne unedogled. Izvođenje nekih od definiranih radnih zadataka bitno je olakšano, pa samim time i ubrzano u automatiziranom sustavu. To su zadaci nadgledanje identificiranog zrakoplova, koordinacija – primitak/prosljeđivanje, obrada podataka o letu i potraga i uočavanje konflikata. Zadaci obavljanja standardne radiotelefonske komunikacije i nadgledanje i rješavanje radarskih konflikata obavljaju se gotovo podjednako u oba sustava.

Značajan čimbenik koji doprinosi povećanju kapaciteta zračnog prostora jest dijeljenje sektora u manje jedinice, vertikalno i geografski. U automatiziranom sustavu podaci o letu zrakoplova puno se brže i lakše dostavljaju na novootvorene sektore. Kada novootvoreni sektori postaju premali, visinski (dvije razine leta, na primjer FL 360 i FL 370) i geografski, do 50 NM, značajno se povećavaju zadaci koordinacije između sektora te radno opterećenje kontrolora raste. Istovremeno se smanjuje kapacitet zračnog prostora. U provedenom se eksperimentu nije posebno mjerio utjecaj zadataka koordinacije pri radu s više sektora zbog toga što je za takvo mjerenje potrebno provesti simulacije u stvarnom vremenu na većem broju sektora, najmanje četiri. Takvo bi mjerenje zahtijevalo veći broj sudionika eksperimenta i simulatorske uređaje koji omogućuju istovremeni rad na četiri sektora, a za to nije bilo preduvjeta.

Povećanje kapaciteta zračnog prometa, u oba sustava ograničeno je do mjere do koje kontrolor zračnog prometa može provesti vlastite aktivnosti na siguran način. Razlog je tomu taj što se povećanjem kompleksnosti prometa i posljedično povećanjem radnog opterećenja smanjuje ukupan broj zrakoplova koje kontrolor može na siguran način nadzirati.

6 ZAKLJUČAK

U radu je analiziran utjecaj upotrebe automatiziranih sustava u kontroli zračnog prometa s aspekta povećanja kapaciteta zračnog prostora. Temeljni problem istraživanja bilo je odrediti radno opterećenje kontrolora zračnog prometa pri korištenju automatiziranih sustava u odnosu na neautomatizirani sustav. Nadalje, u istraživanju je detektiran konkretan doprinos povećanja kapaciteta zračnog prostora uporabom automatiziranog sustava. Korištenjem znanstvene literature i provođenjem eksperimenta na simulatorskim uređajima koji se upotrebljavaju tijekom osposobljavanja kontrolora zračnog prometa, određen je utjecaj automatiziranih sustava na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa uz mjerljivu razinu povećanja kapaciteta sustava kontrole zračnog prometa.

Neautomatizirani sustavi generiraju veće radno opterećenje kontrolora u smislu verbalne koordinacije, proračuna parametara leta, subjektivne procjene buduće pozicije zrakoplova, ručnog ispisivanja obrazaca o letu i drugoga. Svrha uvođenja automatiziranih sustava jest smanjenje radnog opterećenja kontrolora i, samim time, povećanje kapaciteta sustava kontrole zračnog prometa.

S obzirom na svrhu uvođenja automatiziranih sustava, temeljna hipoteza doktorske disertacije bila je da automatizirani sustavi u kontroli zračnog prometa povećavaju kapacitet zračnog prostora uz zadržavanje iste ili povećavanje razine učinkovitosti ostalih ključnih elemenata sustava (sigurnost, okoliš i isplativost). U provedenom se eksperimentu nisu se eksplicitno razmatrali ključni elementi sustava: sigurnost, okoliš i isplativost. Za razmatranje tih elemenata bilo bi potrebno provesti simulacije u stvarnom vremenu na većem broju sektora, te posebno mjerenje u operativnom radu na operativnim sektorima. To bi zahtijevalo izradu posebne sigurnosne studije, a za to nije bilo preduvjeta. U radu je dokazano da upotreba automatiziranih sustava kontrole zračnog prometa koji posjeduju alate za pomoć u radu kontrolora zračnog prometa, smanjuje radno opterećenje kontrolora. Također, istraživanjem je utvrđeno da je radno opterećenje izravno povezano s kapacitetom zračnog prostora te je moguće povećati kapacitet zračnog prostora djelomičnim delegiranjem radnih zadataka automatiziranim sustavima. Analizom radnog opterećenja pomoću definiranih radnih zadataka utvrđeno je da se delegiranjem radnih zadataka automatiziranim sustavima i

korištenjem pripadajućih alata, u uvjetima povećane kompleksnosti zračnog prometa (veći broj konfliktnih situacija između zrakoplova) smanjuje radno opterećenje kontrolora.

Implementacija automatiziranih sustava u sustav kontrole zračnog prometa pozitivno utječe na procjenu kontrolora zračnog prometa te povećava sigurnost zračnog prometa. Uz to, automatizirani sustavi omogućuju kvalitetnije definiranje kapaciteta sektora i pripadajućih sektorskih konfiguracija zračnog prostora, čime se podiže razina učinkovitosti svih ključnih elemenata sustava.

Analizom neautomatiziranog i automatiziranog sustava kontrole zračnog prometa razvijen je model iskorištenja zračnog prostora u kojem se ocjenom radnog opterećenja kontrolora može zaključiti da je u automatiziranom sustavu najveće povećanje kapaciteta zračnog prostora moguće pri uvjetima niske kompleksnosti zračnog prometa, i to kada su konflikti između zrakoplova rijetki i kada zrakoplovi ne mijenjaju visinu. Povećanjem kompleksnosti zračnog prometa, češći konflikti između zrakoplova i mijenjanje visine zrakoplova, sektorski kapacitet pada, ali je i dalje 44 % veći nego u neautomatiziranom sustavu kontrole zračnog prometa.

Dodatno su sudionici eksperimenta bili anketirani o procjeni učinkovitosti rada u neautomatiziranom i automatiziranom sustavu kontrole zračnog prometa. Napravljena je analiza ukupne procjene učinkovitosti pri izvršavanju svakog radnog zadatka u oba sustava, (opisano u Prilogu 2.).

Analiza radnog zadatka **nadgledanje identificiranog zrakoplova**, potvrđuje hipotezu o procjeni veće učinkovitosti u automatiziranom sustavu u odnosu na neautomatizirani sustav pri čemu sudionici učinkovitost automatiziranog sustava u odnosu na neautomatizirani sustav procjenjuju još većom na višim razinama kompleksnosti.

Analiza radnog zadatka **koordinacija,** potvrđuje hipotezu o procjeni veće učinkovitosti automatiziranog sustava u usporedbi s neautomatiziranim sustavom, pri čemu sudionici pri izvršavanju ovog zadatka automatizirani sustav u odnosu na neautomatizirani procjenjuju još učinkovitijim na višim razinama kompleksnosti.

Analiza radnog zadatka **obrada podataka o letu** potvrđuje hipotezu o većoj učinkovitosti automatiziranog sustava na različitim razinama kompleksnosti pri čemu je dobivena razlika konzistentna na različitim razinama kompleksnosti.

Analiza radnog zadatka **potraga i uočavanje konflikata** potvrđuje hipotezu o procjeni veće učinkovitosti automatiziranog sustava u odnosu na procjenu učinkovitosti neautomatiziranog sustava pri čemu sudionici pri izvršavanju zadatka automatizirani sustav u odnosu na neautomatizirani procjenjuju još izraženijim na višim razinama kompleksnosti.

Analiza radnog zadatka **standardna radiotelefonska komunikacija** upućuje da dobivena razlika ne ovisi o povišenoj kompleksnosti, odnosno konzistentna je na svim promatranim razinama kompleksnosti. Potvrđena je pretpostavljena razlika u procjeni učinkovitosti automatiziranog sustava u odnosu na neautomatizirani sustav pri izvršavanju ovog radnog zadatka, ali ona nije značajna.

Analiza radnog zadatka **nadgledanje i rješavanje radarskih konflikata** podupire hipotezu o procjeni veće učinkovitosti automatiziranog sustava u odnosu na neautomatizirani sustav. Sudionici automatizirani sustav procjenjuju jednako više učinkovitijim u odnosu na neautomatizirani sustav na svim razinama kompleksnosti. Drugim riječima, razlika u procjeni učinkovitosti dvaju sustava pri izvršavanju ovog zadatka ne ovisi o razini kompleksnosti.

Iz analize je vidljivo da je procjena veće učinkovitosti automatiziranog sustava u odnosu na neautomatizirani sustav posebno izražena pri izvršavanju radnih zadatka, posebno u uvjetima povišene kompleksnosti zračnog prometa:

- nadgledanje identificiranog zrakoplova
- koordinacija
- obrada podataka o letu
- potraga i uočavanje konflikata.

Moguće je povećati kapacitet zračnog prostora delegiranjem tih radnih zadataka, naravno, uz nadzor kontrolora, automatiziranim sustavima i korištenjem pripadajućih alata.

Pri izvršavanju radnih zadatka:

- standardna radiotelefonska komunikacija
- nadgledanje i rješavanje radarskih konflikata

postoji procjena veće učinkovitosti automatiziranog sustava u odnosu na neautomatizirani, no ona ne ovisi o razini kompleksnosti zračnog prometa.

Konačno, dobiveni rezultati uz teorijsku podlogu, mogu biti doprinos za izradu modela iskoristivosti zračnog prostora za odabrani prometni uzorak.

REFERENCE

[1] The European Union Council decision endorsing the European Air Traffic Management Master Plan of the Single European Sky ATM Research (SESAR) project 2009/320/EC, 2009.

[2] G. Chaloulos, E. Crück, J. Lygero, "A simulation based study of subliminal control for air traffic management", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 18, Issue no. 6, pages: 963-974, 2010.

[3] Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation. Rules of the Air, 10th edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, 2005.

[4] Uredba komisije (EZ) br. 29/2009 o utvrđivanju zahtjeva u vezi s uslugama podatkovnih veza za jedinstveno europsko nebo, 2009.

[5] European Aviation Safety Agency, Report, Technical issues in the implementation of Regulation No. 29/2009 (Data Link), Köln, Germany, 2014.

[6] United States Department of Transportation, ADS-B benefits are limited due to a lack of advanced capabilities and delays in user equipage, Federal Aviation Administration, Report Number: AV-2014-105, Washington, D.C., USA, 2014.

[7] S. C. Corver, O. N. Aneziris, "The impact of controller support tools in enroute air traffic control on cognitive error modes; A comparative analysis in two operational environments", Safety Science, vol. 71, no. Part A, pp. 2-15, 2015.

[8] F. Netjasov, "Air transport safety: an introduction", New York, Nova Publishers, 2015.

[9] ICAO Doc. 9806, Human Factors Guidelines for Safety Audits Manual, 1st edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, 2002.

[10] C. D. Wickens, A. S. Mavor, R. Parasuraman, J. P. McGee, "The Future of Air Traffic Control: Human Operators and Automation", National Research Council, The National Academies Press, Washington, DC, USA, 1998.

[11] C. D. Wickens, "Automation in Flight to the Future: Human Factors in Air Traffic Control", National Academies Press, Washington DC, USA, 1997.

[12] Civil Aviation Authority United Kingdom, ATM Automation: Guidance on human-technology integration, CAP 1377, United Kingdom, 2016.

[13] A. Majumdar, " A Framework for Modelling the Capacity of Europe's Airspace Using a Model of Air Traffic Controller Workload", PhD Thesis, University of London Centre for Transport Studies Imperial College of Science, Technology and Medicine South Kensington, UK, 2003.

[14] T. Radišić, "The Effect of Trajectory-based Operations on Air Traffic Complexity" PhD Thesis, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 2014.

[15] M. Janic, "Air Transport System Analysis and Modelling: Capacity, Quality of Service and Economics", Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 2000.

[16] Eurocontrol. Link2000+. Fast time simulation to assess the impact of data link on sector capacity. Brussels, Belgium, 1999.

[17] B. Kirwan, R. Scaife, R. Kennedy, "Investigating complexity factors in UK air traffic management", Human Factors and Aerospace Safety, vol. 1, no. 2, pp. 125-144, 2001.

[18] R. H. Mogford, J. A. Guttman, S. L. Morrow, P. Kopardekar, "The Complexity Construct in Air Traffic Control: A review and synthesis of the literature", Atlantic City, 1995.

[19] R. Christien, A. Benkouar, T. Chaboud, P. Loubieres, "Air traffic complexity indicators & ATC sectors classification", in US/Europe 3rd Air Traffic Management Seminar, Budapest, Hungary, 2003.

[20] A. Majumdar, W. Y. Ochieng, "The factors affecting air traffic controller workload: a multivariate analysis based upon simulation modelling of controller workload", Centre for Transport Studies, Imperial College, London, 2000.

[21] S. Athènes, P. Averty, S. Puechmorel, D. Delahaye, and C. Collet, "Complexity and Controller Workload: Trying to Bridge the Gap", in Proceedings of the 2002 International Conference on Human-Computer Interaction in Aeronautics (HCI-Aero 2002), Cambridge, MA, USA, 2002.

[22] A. Majumdar, J. W. Polak, “Estimating the Capacity of Europe's Airspace Using a Simulation Model of Air Traffic Controller Workload”, Transportation Research Record, vol. 1744, Pages: 30-43, Washington, USA, 2001.

[23] Republika Hrvatska, Narodne novine 127/13, Zakon o zračnom prometu, 2013.

[24] ICAO Doc 4444 Procedures for Air Traffic Management, 15th edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, 2007.

[25] http://ec.europa.eu/transport/modes/air/single_european_sky/doc/2010_02_12_ses_I_and_II_consolidated.pdf, 17/11/2015.

[26] Commission regulation (EU) No 691/2010, laying down a performance scheme for air navigation services and network functions, 2010.

[27] Commission regulation (EC) No 550/2004 of the European parliament and of the Council, on the provision of air navigation services in the single European sky (the service provision Regulation), 2004.

[28] Annex 11 to the Convention on International Civil Aviation, Air Traffic Services, 13th edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, 2001.

[29] Commission regulation (EC) No 549/2004 of the European parliament and of the Council, laying down the framework for the creation of the single European sky (the framework Regulation), 2004.

[30] ICAO Doc 9161. Manual on Air Navigation Services Economics, 5th edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, 2013.

[31] B. Obrad, F. Netjasov, Kontrola letenja, I izdanje, ISBN 978-86-7395-289-5. Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, 2011.

[32] ICAO Doc 9082 ICAO’s Policies on Charges for Airports and Air Navigation Services 9th edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, 2012.

[33] Eurocontrol, ATFCM User Manual, Brussels, Belgium, 2013.

[34] Commission Regulation (EC) No 255/2010, laying down common rules on air traffic flow management, 2010.

[35] ATM Cost-Effectiveness (ACE) Benchmarking Report with 2013- 2017 outlook, Performance Review Unit (PRU) Final Report, 2014, EUROCONTROL, Brussels, Belgium, 2012.

[36] Commission Regulation (EC) No 2150/2005, laying down common rules for the flexible use of airspace, 2005.

[37] Federal Aviation Administration, Air Traffic Controller Staffing in the En Route Domain, A Review of the Federal Aviation Administration's Task Load Model, Committee for a Review of the En Route Air Traffic Control Complexity and Workload Model, Transportation Research Board Washington, D. C., page 19, 2010.

[38] ICAO, The Fourth Meeting of ICAO Asia /Pacific Air Traffic Flow Management Steering Group (ATFM/SG/4), Bangkok, Thailand, 2014.

[39] R. H. Mogford, J. A. Guttman, S. L. Morrow, P. Kopardekar, "The Complexity Construct in Air Traffic Control: A review and synthesis of the literature", Atlantic City, 1995.

[40] M. D. Rodgers, G. K. Drechsler, Conversion of the CTA Inc., E Route Operations Concepts database into a formal sentence outline job task taxonomy. DOT/FAA/AM-93/1., Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Aviation Medicine, Washington, D. C.,1993.

[41] C. Hurter, R. Lesbordes, C. Letondal, J. Vinot, S. Conversy, "Strip'TIC: Exploring Automatic Paper Strip for Air Traffic Controllers", Advanced Visual Interface. AVI 2012, Capri, Italy, ACM Press, 2012.

[42] P. Bierbusse, T. Siesfeld, "Measures that matter", Journal of Strategic Performance Measurement, vol. 1, no. 2, pp. 6–11, 1997.

[43] ICAO Doc. 9854 Global Air Traffic Management Operational Concept 1st Edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, 2005.

[44] Commission Implementing Regulation (EC) No 390/2013, laying down a performance scheme for air navigation services and network functions, 2013.

[45] ICAO Doc. 9859, Safety management Manual, 3rd Edition, International Civil Aviation Organisation, Montreal, Canada, 2013.

[46] Vlada Republike Hrvatske, Odluka o donošenju Nacionalnog programa sigurnosti u zračnom prometu, Narodne novine broj 141/15, 2015.

[47] European Aviation Safety Agency, Annex to ED Decision 2014/035/R, Issue 2, Cologne, Germany, 2014.

[48] S. Steiner, J. Božičević, S. Kaštela, "Ekološki aspekti zračnog prometa", Zbornik radova, Saobraćaj i komunikacije, Društvo za izdavačku djelatnost, Sarajevo, pp. 33-40, 2003.

[49] ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology, Version 7, International Civil Aviation Organisation, Montreal, Canada, 2014.

[50] I. Štimac, "Implementacija sustava praćenja i analiza buke na zračnoj luci Zagreb", Magistarski rad, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 2009.

[51] Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, Environmental protection, Aircraft engine emissions, 3rd edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, 2008.

[52] Performance Review Commission: Performance Review Report 2011, EUROCONTROL, Brussels, Belgium, 2012.

[53] Commission Regulation (EC) No No 391/2013, laying down a common charging scheme for air navigation services, 2013.

[54] Eurocontrol: Establishing Route Charges, 2013. http://www.eurocontrol.int/articles/establishing-route-charges 27/11/2015.

[55] J. Reason, "Managing the Risks of Organizational Accidents", Hampshire, England, Ashgate Publishing Limited, 1997.

[56] M. Janić, "A model of Air Traffic Control sector capacity based on air traffic controller workload", Transportation Planning and Technology, vol. 20, pp. 311-335, 1997.

[57] M. S. Nolan, "Fundamentals of Air Traffic Control", 5th edition, Publisher: Brooks/Cole Publishing Co. Published, 2011.

[58] J. Vogt, T. Hagemann, M. Kastner, "The Impact of Workload on Heart Rate and Blood Pressure in En-Route and Tower Air Traffic Control", Journal of psychophysiology : an

international journal; official publication of the Federation of European Psychophysiology Societies vol. 20, no. 4, p. 297-314, 2006.

[59] http://www.icao.int/sustainability/pages/factsfigures.aspx 17/11/2015

[60] G. Tobaruela, A. Majumdar, W. Y. Ochieng, "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, UK, pp. 219-224, 2012.

[61] P.Goillau, C. Kelly, "MAlvern Capacity Estimate (MACE) – a proposed cognitive measure for complex systems", Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, vol. 1:Transportation Systems, Ashgate Publishers, pp 219-225, 1997.

[62] C. J. Kelly, P. J. Goillau, "Cognitive Aspects of ATC: Experience from the CAER and PHARE Simulations", ATC Systems Group, Defence Research Agency, Malvern, UK, 1996.

[63] R. G. Stamp, "The DORATASK method of assessing ATC sector capacity – an overview, DORA Communication 8934", Issue 2, Civil Aviation Authority, London, 1992.

[64] Eurocontrol, Model simulation of Bulgarian airspace, EEC Note 4/99, Project SIM- F-E1 (F7), ATM Operational & Simulation Expertise Group, EUROCONTROL, Bretigny-sur-Orge, France, 1999.

[65] J. M. Histon, R. J. Hansman, "The impact of structure on cognitive complexity in air traffic control", Report No. ICAT-2002-4, MIT International Center for Air Transportation Department of Aeronautics & Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA, 2002.

[66] D. Slavica, "Dinamički model sektorizacije zračnog prostora", Magistarski rad, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 2014.

[67] E. S. Stein, "Air traffic controller workload: An examination of workload probe", FAA, Atlantic City, New Jersey, USA, Report DOT/FAA/CT-TN84/24, 1985.

[68] R. Van Gent, J. M. Hoekstra, R. C. J. Ruigrok, Free flight with airborne separation assurance. In Proceedings of the Confederation of European Aerospace Societies (CEAS) 10th European Aerospace Conference, Amsterdam, The Netherlands, 1997. p.81

[69] M. W. Hurst, R. M. Rose, Objective job difficulty, behavioral response, and sector characteristics in air route traffic control centres. Ergonomics, Edition 21, 1978. p 697-708.

[70] I. Laudeman, S. Shelden, R. Branstrom, C. Brasil, Dynamic Density: An Air Traffic Management Metric. Report NAS/TM-1998-112226. Ames Research Center, Moffett Field, NASA, California, 1998.

[71] Y. Hauss, K. P. Timpe, "Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System", Mensch-Maschine-Systemtechnik, Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation, pp. 41-62, Düsseldorf, 2000.

[72] C. G. Davis, J. W. Danaher, and M. A. Fischl, "The influence of selected sector characteristics upon ARTCC controller activities", Arlington, 1963.

[73] B. A. Arad, "The control load and sector design", Journal of Air Traffic Control, pp. 12-31, Bainbridge, 1964.

[74] D. K. Schmidt, "On Modeling ATC Work Load and Sector Capacity", Journal of Aircraft, vol. 13, no. 7, pp. 531-537, 1976.

[75] W. S. Pawlak, C. R. Brinton, K. Crouch, K. M. Lancaster, "A Framework for the Evaluation of Air Traffic Control Complexity", In Proceeding of 1996 AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, USA, 1996.

[76] J. D. C. Little, „A Proof for the Queuing Formula: L = λW", Operations Research, Volume 9, Issue 3, pp 383 – 387, 1961.

[77] Annex 1 to the Convention on International Civil Aviation, Personnel Licensing , 11th edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, 2011.

[78] Uredba Komisije (EU) 2015/340 o utvrđivanju tehničkih zahtjeva i administrativnih postupaka koji se odnose na dozvole i certifikate kontrolora zračnog prometa u skladu s Uredbom (EZ) br. 216/2008 Europskog parlamenta i Vijeća, 2015.

[79] B. Hilburn, Cognitive Complexity in Air Traffic Control – A Literature Review, Center for Human Performance Research, The Netherlands, 2004. p 14.

[80] Eurocontrol, Guidance for Developing ATCO Basic Training Plans, Brussels, Belgium, 2010.

ZNANSTVENA LITERATURA

S. Athènes, P. Averty, S. Puechmorel, D. Delahaye, and C. Collet, "Complexity and Controller Workload: Trying to Bridge the Gap", in Proceedings of the 2002 International Conference on Human-Computer Interaction in Aeronautics (HCI-Aero 2002), Cambridge, MA, USA, 2002.

P. Bierbusse, T. Siesfeld, "Measures that matter", Journal of Strategic Performance Measurement, vol. 1, no. 2, pp. 6–11, 1997.

G. Chaloulos, E. Crück, J. Lygero, "A simulation based study of subliminal control for air traffic management", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 18, Issue no. 6, pages: 963-974, 2010..

R. Christien, A. Benkouar, T. Chaboud, and P. Loubieres, "Air traffic complexity indicators & ATC sectors classification", in US/Europe 3rd Air Traffic Management Seminar, Budapest, Hungary, June, 2003.

S. C. Corver, O. N. Aneziris, "The impact of controller support tools in enroute air traffic control on cognitive error modes; A comparative analysis in two operational environments", Safety Science, vol. 71, no. Part A, pp. 2-15, 2015.

C. G. Davis, J. W. Danaher, and M. A. Fischl, "The influence of selected sector characteristics upon ARTCC controller activities", Arlington, 1963.

R. Van Gent, J. M. Hoekstra, R. C. J. Ruigrok, Free flight with airborne separation assurance. In Proceedings of the Confederation of European Aerospace Societies (CEAS) 10th European Aerospace Conference, Amsterdam, The Netherlands, 1997. p.81

P. Goillau, C. Kelly, "MAlvern Capacity Estimate (MACE) – a proposed cognitive measure for complex systems", Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, vol. 1:Transportation Systems, Ashgate Publishers, pp 219-225, 1997.

Y. Hauss, K. P. Timpe, "Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System", Mensch-Maschine-Systemtechnik, Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation, pp. 41-62, Düsseldorf, 2000.

B. Hilburn, Cognitive Complexity in Air Traffic Control – A Literature Review, Center for Human Performance Research, The Netherlands, 2004. p 14.

J. M. Histon, R. J. Hansman, “The impact of structure on cognitive complexity in air traffic control”, Report No. ICAT-2002-4, MIT International Center for Air Transportation Department of Aeronautics & Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA, 2002.

M. W. Hurst, R. M. Rose, Objective job difficulty, behavioral response, and sector characteristics in air route traffic control centres. Ergonomics, Edition 21, 1978. p 697-708.

C. Hurter, R. Lesbordes, C. Letondal, J. Vinot, S. Conversy, “Strip'TIC: Exploring Automatic Paper Strip for Air Traffic Controllers”, Advanced Visual Interface. AVI 2012, Capri, Italy, ACM Press, 2012.

M. Janić, “A model of Air Traffic Control sector capacity based on air traffic controller workload”, Transportation Planning and Technology, vol. 20, pp. 311-335, 1997.

M. Janic, “Air Transport System Analysis and Modelling: Capacity, Quality of Service and Economics”, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 2000.

C. J. Kelly, P. J. Goillau, “Cognitive Aspects of ATC: Experience from the CAER and PHARE Simulations”, ATC Systems Group, Defence Research Agency, Malvern, UK, 1996.

B. Kirwan, R. Scaife, and R. Kennedy, “Investigating complexity factors in UK air traffic management”, Human Factors and Aerospace Safety, vol. 1, no. 2, pp. 125-144, 2001.

J. D. C. Little, “A Proof for the Queuing Formula: L = λW”, Operations Research, Volume 9, Issue 3, pp 383-387, 1961.

A. Majumdar, J. W. Polak, “A Framework for the Estimation of European Airspace Capacity using a Model of Controller Workload”, Transportation Research Records, pp. 30-43, 2001.

A. Majumdar, W. Y. Ochieng, “The factors affecting air traffic controller workload: a multivariate analysis based upon simulation modelling of controller workload”, Centre for Transport Studies, Imperial College, London, 2000.

A. Majumdar, “A Framework for Modelling the Capacity of Europe’s Airspace Using a Model of Air Traffic Controller Workload”, PhD Thesis, University of London Centre for Transport Studies Imperial College of Science, Technology and Medicine South Kensington, UK, 2003.

A. Majumdar, J. W. Polak, “Estimating the Capacity of Europe's Airspace Using a Simulation Model of Air Traffic Controller Workload”, Transportation Research Record, vol. 1744, Pages: 30-43, Washington, USA, 2001.

R. H. Mogford, J. A. Guttman, S. L. Morrow, P. Kopardekar, “The Complexity Construct in Air Traffic Control: A review and synthesis of the literature”, Atlantic City, 1995.

I. Laudeman, S. Shelden, R. Branstrom, C. Brasil, Dynamic Density: An Air Traffic Management Metric. Report NAS/TM-1998-112226. Ames Research Center, Moffett Field, NASA, California, 1998.

F. Netjasov, “Air transport safety: an introduction“, New York, Nova Publishers, 2015.

M. S. Nolan, “Fundamentals of Air Traffic Control”, 5th edition, Publisher: Brooks/Cole Publishing Co. Published, 2011.

B. Obrad, F. Netjasov, Kontrola letenja, I izdanje, ISBN 978-86-7395-289-5. Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, 2011.

W. S. Pawlak, C. R. Brinton, K. Crouch, K. M. Lancaster, “A Framework for the Evaluation of Air Traffic Control Complexity”, In Proceeding of 1996 AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, USA, 1996.

J. Reason, “Managing the Risks of Organizational Accidents”, Hampshire, England, Ashgate Publishing Limited, 1997.

M. D. Rodgers, G. K. Drechsler, Conversion of the CTA Inc., En Route Operations Concepts database into a formal sentence outline job task taxonomy. DOT/FAA/AM-93/1., Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Aviation Medicine, Washington, D. C.,1993.

D. K. Schmidt, “On Modeling ATC Work Load and Sector Capacity”, Journal of Aircraft, vol. 13, no. 7, pp. 531-537, 1976.

D. Slavica, “Dinamički model sektorizacije zračnog prostora”, Magistarski rad, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 2014.

R. G. Stamp, “The DORATASK method of assessing ATC sector capacity – an overview, DORA Communication 8934”, Issue 2, Civil Aviation Authority, London, 1992.

E. S. Stein, “Air traffic controller workload: An examination of workload probe”, FAA, Atlantic City, New Jersey, USA, Report DOT/FAA/CT-TN84/24, 1985.

S. Steiner, J. Božičević, S. Kaštela, “Ekološki aspekti zračnog prometa”, Zbornik radova, Saobraćaj i komunikacije, Društvo za izdavačku djelatnost, Sarajevo, pp. 33-40, 2003.

I. Štimac, “Implementacija sustava praćenja i analiza buke na zračnoj luci Zagreb”, Magistarski rad, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 2009.

G. Tobaruela, A. Majumdar, W. Y. Ochieng, “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, UK, pp. 219-224, 2012.

T. Radišić,”The Effect of Trajectory-based Operations on Air Traffic Complexity” PhD Thesis, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 2014.

J. Vogt, T. Hagemann, M. Kastner, “The Impact of Workload on Heart Rate and Blood Pressure in En-Route and Tower Air Traffic Control”, Journal of psychophysiology: an international journal; official publication of the Federation of European Psychophysiology Societies vol. 20, no. 4, p. 297-314, 2006.

C. D. Wickens, “Automation in Flight to the Future: Human Factors in Air Traffic Control”, National Academies Press, Washington DC, USA, 1997.

C. D. Wickens, A. S. Mavor, R. Parasuraman, J. P. McGee, “The Future of Air Traffic Control: Human Operators and Automation”, National Research Council, The National Academies Press, Washington, DC, USA, 1998.

STRUČNA LITERATURA

Eurocontrol, “ATFCM User Manual, 17.2”, Eurocontrol, Brussels, Belgium, 2013.

Eurocontrol, “ATM Cost-Effectiveness (ACE) 2012 Benchmarking Report with 2013- 2017 outlook”, Performance Review Unit (PRU) Final Report, Eurocontrol, Brussels, Belgium, 2014.

Eurocontrol, “Establishing Route Charges”, Eurocontrol, Brussels, Belgium, 2013.

Eurocontrol, “Link2000+. Fast time simulation to assess the impact of data link on sector capacity”, Eurocontrol, Brussels, Belgium, 1999.

Eurocontrol, “Model simulation of Bulgarian airspace, EEC Note 4/99, Project SIM- F-E1 (F7), ATM Operational & Simulation Expertise Group”, Eurocontrol, Bretigny-sur-Orge, France, 1999.

Eurocontrol, Guidance for Developing ATCO Basic Training Plans, Brussels, Belgium, 2010.

Eurocontrol, “Performance Review Commission: Performance Review Report 2011”, Eurocontrol, Brussels, Belgium, 2012.

European Aviation Safety Agency Report, Technical issues in the implementation of Regulation No. 29/2009 (Data Link), 2014.

European Aviation Safety Agency, “Annex to ED Decision 2014/035/R”, Issue 2, Cologne, Germany, 2014.

European Commission, Commission Implementing Regulation (EC) No 390/2013 laying down a performance scheme for air navigation services and network functions, of 3 May 2013.

European Commission, Commission Regulation (EC) No 1794/2006 laying down a common charging scheme for air navigation services, of 6 December 2006.

European Commission, Commission Regulation (EC) No 2150/2005 laying down common rules for the flexible use of airspace, of 23 December 2005.

European Commission, Commission Regulation (EC) No 255/2010 laying down common rules on air traffic flow management, of 25 March 2010.

European Commission, Commission Regulation (EC) No 29/2009 laying down requirements on data link services for the single European sky, January 17, 2009.

European Commission, Commission Regulation (EU) 2015/340 laying down technical requirements and administrative procedures relating to air traffic controllers' licences and certificates pursuant to Regulation (EC) No 216/2008 of the European Parliament and of the Council, of 20 February 2015.

European Commission, Commission Regulation (EU) No 691/2010 laying down a performance scheme for air navigation services and network function, 29 July, 2010.

Federal Aviation Administration, "Air Traffic Controller Staffing in the En Route Domain, A Review of the Federal Aviation Administration's Task Load Model", Committee for a Review of the En Route Air Traffic Control Complexity and Workload Model, Transportation Research Board Washington, D. C., page 19, 2010.

http://ec.europa.eu/transport/modes/air/single_european_sky/doc/2010_02_12_ses_I_and_II_consolidated.pdf, 17/11/2015

http://www.icao.int/sustainability/pages/factsfigures.aspx 27.11.2015

ICAO, "Annex 1 to the Convention on International Civil Aviation, Personnel Licensing", 2011.

ICAO, "Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation: Rules of the Air", 2005.

ICAO, "Annex 11 to the Convention on International Civil Aviation: Air Traffic Services", 2001.

ICAO, "Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation: Environmental protection, Aircraft engine emissions", 2008.

ICAO "Carbon Emissions Calculator Methodology", 2014.

ICAO, "Doc 4444, Procedures for Air Traffic Management", 2007.

ICAO, "Doc. 9806, Human Factors Guidelines for Safety Audits Manual", 2002.

ICAO "Doc 9082 ICAO's Policies on Charges for Airports and Air Navigation Services", 2012.

ICAO "Doc 9161. Manual on Air Navigation Services Economics", 2013.

ICAO “Doc. 9854 Global Air Traffic Management Operational Concept”, 2005.

ICAO “Doc. 9859, Safety management Manual”, 2013.

ICAO, “The Fourth Meeting of ICAO Asia /Pacific Air Traffic Flow Management Steering Group (ATFM/SG/4)”, Bangkok, Thailand, 2014.

Regulation of the European parliament and of the Council (EC) No 550/2004 on the provision of air navigation services in the single European sky (the service provision Regulation) of 10 March 2004.

Regulation of the European parliament and of the Council (EC) No 549/2004 laying down the framework for the creation of the single European sky (the framework Regulation) of 10 March 2004.

Republika Hrvatska, Narodne novine 127/13, Zakon o zračnom prometu, 2013.

The European Union Council decision endorsing the European Air Traffic Management Master Plan of the Single European Sky ATM Research (SESAR) project 2009/320/EC, 2009.

United States Department of Transportation, ADS-B benefits are limited due to a lack of advanced capabilities and delays in user equipage, Federal Aviation Administration, Report Number: AV-2014-105, Washington, D. C., USA, 2014.

Vlada Republike Hrvatske, Odluka o donošenju Nacionalnog programa sigurnosti u zračnom prometu, Narodne novine broj 141/15, 2015.

POPIS SLIKA

Slika 1. ICAO regije planiranja Globalnog navigacijskog plana 21

Slika 2. Pokazivač za papirnate obrasce za upisivanje podataka o letu zrakoplova [Izvor: aviation-images.com] 36

Slika 3. Papirnati obrazac za upisivanje podataka o letu zrakoplova 37

Slika 4. Elektronička oznaka o letu zrakoplova 39

Slika 5. Faze u „životnom“ ciklusu leta zrakoplova kroz sektor 41

Slika 6. Prikaz alata za detekciju konflikta 44

Slika 7. Prikaz pomagala za nadgledanje 45

Slika 8. Dijagram procesa analize opasnosti i procjene rizika 51

Slika 9. Identifikacija rizika putem ICAO modela 52

Slika 10. Učinkovitost horizontalnog leta 59

Slika 11. Čimbenici sustava zračnog prometa 60

Slika 12. Vrste ljudskih pogrešaka 62

Slika 13. Označavanje konflikata pomoću fizičkih obrazaca 69

Slika 14. Oznaka za fazu najave 71

Slika 15. Oznaka za fazu koordinacije 71

Slika 16. Oznaka za fazu nadležnosti 72

Slika 17. Oznaka za fazu započetog transfera (pozivni je znak promijenio boju) 72

Slika 18. Oznaka za fazu završenog transfera 73

Slika 19. Oznaka za cilj koji nema značaja za sektor 73

Slika 20. Utjecaj radnog opterećenja kontrolora na kapacitet zračnog prostora 76

Slika 21. Zračni tokovi s mrežom putova i bez nje 81

Slika 22. Povezanost radnog opterećenja i kompleksnosti 82

Slika 23. Model potrebnih mentalnih i fizičkih procesa u kontroli zračnog prometa 86

Slika 24. Zračni prostor Zagreb Gornji Sjeverni sektor i pripadajuće navigacijske rute koje su se upotrebljavale tijekom simulatorskih vježbi 105

Slika 25. Model iskorištenja zračnog prostora 117

POPIS TABLICA

Tablica 1. Skala razine automatizacije 42

Tablica 2. Pregled radnih zadataka kontrolora zračnog prometa 66

Tablica 3. Težinski faktori 98

Tablica 4. Radno opterećenje kontrolora u prvoj simulatorskoj vježbi 108

Tablica 5. Radno opterećenje kontrolora u drugoj simulatorskoj vježbi 110

Tablica 6. Radno opterećenje kontrolora u trećoj simulatorskoj vježbi 112

Tablica 7. Deskriptivna statistika i rezultati testiranja razlika u stavu o radnom zadatku nadgledanja identificiranog zrakoplova 151

Tablica 8. Deskriptivna statistika i rezultati testiranja razlika u stavu o radnom zadatku koordinacije 153

Tablica 9. Deskriptivna statistika i rezultati testiranja razlika u stavu o radnom zadatku standardna radiotelefonska komunikacija 156

Tablica 10. Deskriptivna statistika i rezultati testiranja razlika u stavu o radnom zadatku obrada podataka o letu 159

Tablica 11. Deskriptivna statistika i rezultati testiranja razlika u stavu o radnom zadatku potraga i uočavanje konflikata 161

Tablica 12. Deskriptivna statistika i rezultati testiranja razlika u stavu o radnom zadatku nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata 164

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Radno opterećenje kontrolora u prvoj simulatorskoj vježbi 106

Grafikon 2. Trajanje leta i radno opterećenje kontrolora u prvoj simulatorskoj vježbi za neautomatizirani sustav 108

Grafikon 3. Trajanje leta i radno opterećenje kontrolora u prvoj simulatorskoj vježbi za automatizirani sustav 108

Grafikon 4. Radno opterećenje kontrolora u drugoj simulatorskoj vježbi 109

Grafikon 5. Trajanje leta i radno opterećenje kontrolora u drugoj simulatorskoj vježbi za neautomatizirani sustav 110

Grafikon 6. Trajanje leta i radno opterećenje kontrolora u drugoj simulatorskoj vježbi za automatizirani sustav 110

Grafikon 7. Radno opterećenje kontrolora u trećoj simulatorskoj vježbi 111

Grafikon 8. Trajanje leta i radno opterećenje kontrolora u trećoj simulatorskoj vježbi za neautomatizirani sustav 112

Grafikon 9. Trajanje leta i radno opterećenje kontrolora u trećoj simulatorskoj vježbi za automatizirani sustav 112

Grafikon 10. Razlika radnog opterećenja u sve tri simulatorske vježbe 114

Grafikon 11. Razlika radnog opterećenja u sve tri simulatorske vježbe 116

Grafikon 12. Prikaz prosječnih vrijednosti stava o prikladnosti radnog zadatka nadgledanja identificiranog zrakoplova 152

Grafikon 13. Prikaz prosječnih vrijednosti stava o prikladnosti radnog zadatka koordinacije 154

Grafikon 14. Prikaz prosječnih vrijednosti stava o prikladnosti radnog zadatka standardna radiotelefonska komunikacija 157

Grafikon 15. Prikaz prosječnih vrijednosti stava o prikladnosti radnog zadatka obrada podataka o letu 159

Grafikon 16. Prikaz prosječnih vrijednosti stava o prikladnosti radnog zadatka potraga i uočavanje konflikata 162

Grafikon 17. Prikaz prosječnih vrijednosti stava o prikladnosti radnog zadatka nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata 165

PRILOG 1 OPIS VJEŽBE

Konflikt između zrakoplova može biti kada zrakoplovi lete:

na istoj putanji i u istom smjeru

oba zrakoplova su na istoj visini

jedan zrakoplov je na visini krstarenja, a jedan je u penjanju ili spuštanju

oba zrakoplova su u penjanju ili spuštanju

na istoj putanji i u suprotnom smjeru

oba zrakoplova su na istoj visini

jedan zrakoplov je na visini krstarenja, a jedan je u penjanju ili spuštanju

oba zrakoplova su u penjanju ili spuštanju

na putanjama koje se ukrštaju

oba zrakoplova su na istoj visini

jedan je zrakoplov na visini krstarenja, a jedan je u penjanju ili spuštanju

oba zrakoplova su u penjanju ili spuštanju.

Načini rješavanja radarskih konflikata:

- zadavanje brzine zrakoplovima (SPEED)
- radarsko vektoriranje zrakoplova (VECTORING)
- penjanje/spuštanje zrakoplova (CLIMB/DESCEND)

Simulacijska vježba, Scenarij – s konfliktima zrakoplova u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini (HUSK EX – 3), uz korištenje fizičkih obrazaca za upisivanje podataka o letu zrakoplova

Vrijeme	Pozivni znak	Događaj ili potrebna radnja	Specifična zadaća	Faktor težine
			Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Određivati potreban prioritet radnih zadataka Ažuriranje podataka o letu zrakoplova	
Prije početka		Provjera i podešavanje radne pozicije	Osigurati integritet radne pozicije	
10.03	HLF326	CLEARED TO PODET VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 380 (ODOBRENO DO PODET-a PO PLANIRANOJ RUTI, FL 380)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	2 + 5 + 7 = 14
10.05	THY1524	CLEARED TO RENDA VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 370 (ODOBRENO DO RENDA PO PLANIRANOJ RUTI, FL 370)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	2 + 5 + 7 = 14
10.08	SVA164	CLEARED TO RENDA VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 370 (ODOBRENO DO RENDA PO PLANIRANOJ RUTI, FL 370)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	2 + 5 + 7 = 14
10.10	SVA164	Issue climb instruction (Izdavanje upute za penjanje) "CLIMB TO FLIGHT LEVEL 390" (PENJITE NA FL390)	*Konflikt 1:* Uočavanje i rješavanje konflikta 1 (ZAG 10.12, THY1524, FL 370) Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	10 + 5 + 6 + 2 = 23
10.11	CYP346	CLEARED TO GORPA VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 340 (ODOBRENO DO GORPA PO PLANIRANOJ RUTI, FL 340)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	2 + 5 + 7 = 14
10.12	DLH9JV	CLEARED TO RENDA VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 350 (ODOBRENO DO RENDA PO PLANIRANOJ RUTI, FL 350)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	2 + 5 + 7 = 14
10.20	MPH208	CLEARED TO PETOV VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 360 (ODOBRENO DO PETOV-a PO PLANIRANOJ RUTI, FL 360)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	2 + 5 + 7 = 14
10.20	HLF326	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju	5 + 6 + 2 = 13

		sljedećeg sektora	Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	
10.21	LTU7741	CLEARED TO PETOV VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 360 (ODOBRENO DO PETOV-a PO PLANIRANOJ RUTI, FL 360)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	2 + 5 + 7 = 14
10.24	LTU7741	Issue climb instruction (Izdavanje upute za penjanje) "CLIMB TO FLIGHT LEVEL 380" (PENJITE NA FL380)	*Konflikt 2:* Uočavanje i rješavanje konflikta 2 (ZAG 10.33, MPH 208, FL 360) Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	10 + 5 + 6 + 2 = 23
10.24	THY1524	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	5 + 6 + 2 = 13
10.25	TCX635P	CLEARED TO PETOV VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 360 (ODOBRENO DO PETOV-a PO PLANIRANOJ RUTI, FL 360)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	2 + 5 + 7 = 14
10.26	SVA164	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	5 + 6 + 2 = 13
10.26	CYP346	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	5 + 6 + 2 = 13
10.29	DLH9JV	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	5 + 6 + 2 = 13
10.30	TAR301	CLEARED TO KOMAR VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 330 (ODOBRENO DO KOMARA PO PLANIRANOJ RUTI, FL 330)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	2 + 5 + 7 = 14
10.31	MYT841	CLEARED TO GUBOK VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 330 (ODOBRENO DO GUBOKA PO PLANIRANOJ RUTI, FL 330)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	2 + 5 + 7 = 14
10.32	TAR301	Izdati jedno odobernje za radarsko	*Konflikt 3:*	10 + 5 + 6 + 2 =

		vektoriranje TURN LEFT BY 20 DEGREES, (OKRENITE LIJEVO ZA 20 STUPNJEVA)	Uočavanje i rješavanje konflikta (ZAG 10.35, MYT841, FL 330) Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	23
10.34	MPH208	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	5 + 6 + 2 = 13
10.35	LTU7741	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	5 + 6 + 2 = 13
10.39	TCX635P	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	5 + 6 + 2 = 13
10.39	MYT841	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	5 + 6 + 2 = 13
10.40	TAR301	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	5 + 6 + 2 = 13

Simulacijske vježbe, Scenarij – s konfliktima zrakoplova u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini (HUSK EX – 3), bez korištenje fizičkih obrazaca za upisivanje podataka o letu zrakoplova

Vrijeme	Pozivni znak	Događaj ili potrebna radnja	Specifična zadaća	Faktor težine
			Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Određivati potreban prioritet radnih zadataka Ažuriranje podataka o letu zrakoplova	
Prije početka		Provjera i podešavanje radne pozicije	Osigurati integritet radne pozicije	
10.03	HLF326	CLEARED TO PODET VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 380 (ODOBRENO DO PODET-a PO PLANIRANOJ RUTI, FL 380)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	1 + 5 + 5 = 11
10.05	THY1524	CLEARED TO RENDA VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 370 (ODOBRENO DO RENDA PO PLANIRANOJ RUTI, FL 370)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	1 + 5 + 5 = 11
10.08	SVA164	CLEARED TO RENDA VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 370 (ODOBRENO DO RENDA PO PLANIRANOJ RUTI, FL 370)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	1 + 5 + 5 = 11
10.10	SVA164	Issue climb instruction (Izdavanje upute za penjanje) "CLIMB TO FLIGHT LEVEL 390" (PENJITE NA FL390)	*Konflikt 1:* Uočavanje i rješavanje konflikta 1 (ZAG 10.12, THY1524, FL 370) Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	1 + 5 + 3 + 10 = 19
10.11	CYP346	CLEARED TO GORPA VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 340 (ODOBRENO DO GORPA PO PLANIRANOJ RUTI, FL 340)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	1 + 5 + 5 = 11
10.12	DLH9JV	CLEARED TO RENDA VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 350 (ODOBRENO DO RENDA PO PLANIRANOJ RUTI, FL 350)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	1 + 5 + 5 = 11
10.20	MPH208	CLEARED TO PETOV VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 360 (ODOBRENO DO PETOV-a PO PLANIRANOJ RUTI, FL 360)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	1 + 5 + 5 = 11
10.20	HLF326	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju	1 + 3 + 5 = 9

		sljedećeg sektora	Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	
10.21	LTU7741	CLEARED TO PETOV VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 360 (ODOBRENO DO PETOV-a PO PLANIRANOJ RUTI, FL 360)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	1 + 5 + 5 = 11
10.24	LTU7741	Issue climb instruction (Izdavanje upute za penjanje) "CLIMB TO FLIGHT LEVEL 380" (PENJITE NA FL380)	*Konflikt 2:* Uočavanje i rješavanje konflikta 2 (ZAG 10.33, MPH 208, FL 360) Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	1 + 5 + 3 + 10 = 19
10.24	THY1524	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	1 + 3 + 5 = 9
10.25	TCX635P	CLEARED TO PETOV VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 360 (ODOBRENO DO PETOV-a PO PLANIRANOJ RUTI, FL 360)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	1 + 5 + 5 = 11
10.26	SVA164	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	1 + 3 + 5 = 9
10.26	CYP346	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	1 + 3 + 5 = 9
10.29	DLH9JV	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	1 + 3 + 5 = 9
10.30	TAR301	CLEARED TO KOMAR VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 330 (ODOBRENO DO KOMARA PO PLANIRANOJ RUTI, FL 330)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	1 + 5 + 5 = 11
10.31	MYT841	CLEARED TO GUBOK VIA FLIGHT PLANNED ROUTE, FL 330 (ODOBRENO DO GUBOKA PO PLANIRANOJ RUTI, FL 330)	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Nadgledanje zrakoplova Provođenje zadataka potrage i uočavanja konflikata	1 + 5 + 5 = 11
10.32	TAR301	Izdati odobrenje za radarsko	*Konflikt 3:*	1 + 5 + 3 + 10 =

		vektoriranje TURN LEFT BY 20 DEGREES, (OKRENITE LIJEVO ZA 20 STUPNJEVA)	Uočavanje i rješavanje konflikta (ZAG 10.35, MYT841, FL 330) Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	19
10.34	MPH208	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	1 + 3 + 5 = 9
10.35	LTU7741	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	1 + 3 + 5 = 9
10.39	TCX635P	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	1 + 3 + 5 = 9
10.39	MYT841	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	1 + 3 + 5 = 9
10.40	TAR301	Prebacivanje zrakoplova na frekvenciju sljedećeg sektora	Upotrebljavati odobrenu frazeologiju Ažuriranje podataka o letu zrakoplova Nadgledanje zrakoplova	1 + 3 + 5 = 9

PRILOG 2: PROCJENA UČINKOVITOSTI SUSTAVA UČINKOVITOSTI SUSTAVA PRI PROVEDBI DEFINIRANIH RADNIH ZADATAKA KONTROLORA ZRAČNOG PROMETA

Na temelju provedene analize neautomatiziranog i automatiziranog sustava kontrole zračnog prometa, testirana je hipoteza o subjektivnom doživljaju (procjeni) učinkovitosti sustava pri provedbi radnih zadataka kontrolora zračnog prometa te izraženijoj razlici u procjeni automatiziranog i neautomatiziranog sustava na višoj razini kompleksnosti. Oblik nul-hipoteze (H_0) i direktivne (alternativne) hipoteze (H_1) u svakom pojedinom zadatku, matematički se može zapisati u sljedećim oblicima (*Ai* – zadaci primijenjeni u automatiziranom sustavu kontrole zračnog prometa, *Ni* – zadaci primijenjeni u neautomatiziranom sustavu kontrole zračnog prometa, *Ki* – razine kompleksnosti vježbi).

$$H_0: \mu_{AiNi} = \mu_{KiNi} \quad (11)$$

$$H_1: \mu_{AiNi} > \mu_{KiNi} \quad (12)$$

Nul-hipoteza bi značila jednak stav o procjeni učinkovitosti u automatiziranom i neautomatiziranom sustavu. Alternativna ili direktivna hipoteza pak ukazuje na procjenu veće učinkovitosti pri izvršavanju definiranog radnog zadatka u automatiziranom sustavu u odnosu na neautomatizirani sustav pri čemu je razlika u procjeni učinkovitosti izraženija na višim razinama kompleksnosti (veća razlika u stavu o primjerenosti pojedinog zadatka na višim razinama kompleksnosti).

Kako bi se utvrdila razlika u procjeni učinkovitosti dvaju sustava pri primjeni zadataka na različitim razinama kompleksnosti, korištena je dvosmjerna analiza varijance s ponovljenim mjerenjima u obje varijable (3 x 2). Navedeni statistički postupak testira dva glavna efekta i interakciju. Glavni efekti, stoga, podrazumijevaju promatranje razlike u procjeni dvaju sustava (glavni efekt sustava) te promatranje razlike između triju razina kompleksnosti (glavni efekt kompleksnosti), a interakcija podrazumijeva promatranje ovisnosti razlike u procjeni učinkovitosti dvaju sustava o pojedinoj razini kompleksnosti (Sustav x Kompleksnost). U radu je od posebnog interesa glavni efekt sustava te interakcija sustava i kompleksnosti jer odgovara na pitanje postoje li razlike u procjeni učinkovitosti

dvaju sustava pri izvođenju svakog pojedinog radnog zadatka i raste li (mijenja li se) razlika u procjena učinkovitosti s porastom kompleksnosti. Uz to je razmotren i glavni efekt kompleksnosti. Dokle god se kontrola zračnog prometa obavlja na taktičkoj razini, kapacitet zračnog prostora ovisit će o radnom opterećenju kontrolora zračnog prometa. Jedan od mogućih načina povećanja kapaciteta zračnog prostora jest smanjivanje radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa delegiranjem dijela radnih zadataka automatiziranim sustavima [13].

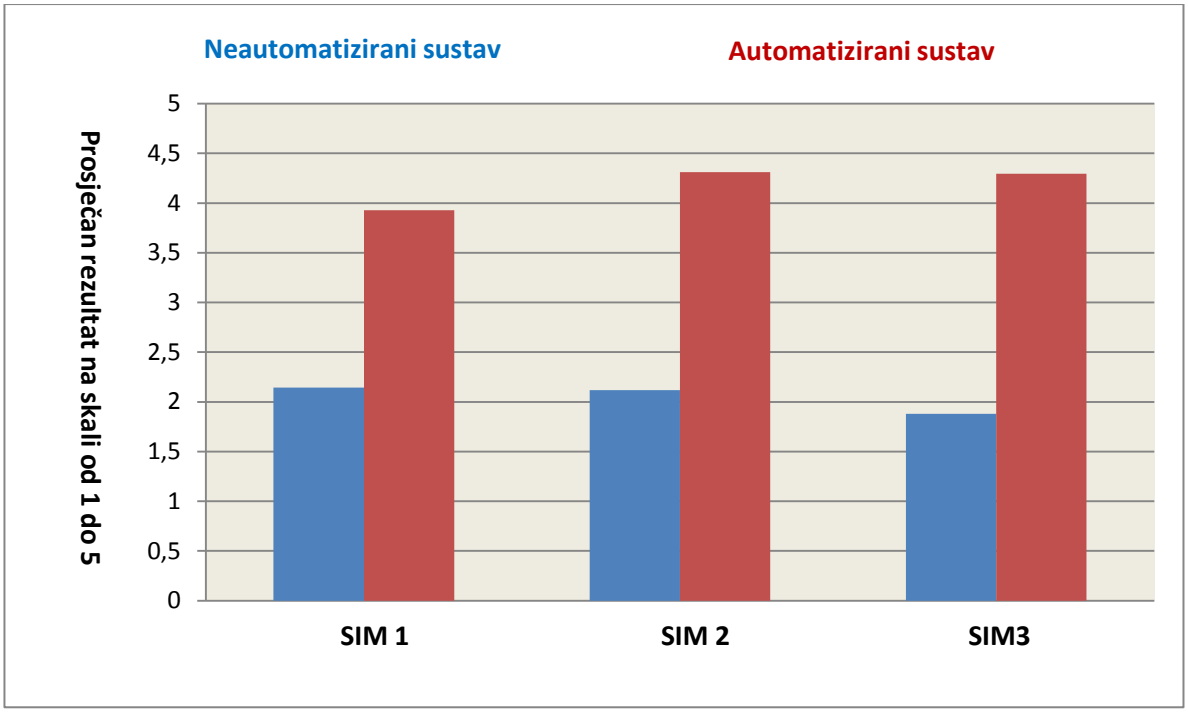
1.1 STAV O RADNOM ZADATKU NADGLEDANJE IDENTIFICIRANOG ZRAKOPLOVA

Kako bi se dobio uvid u procjenu učinkovitosti automatiziranog i neautomatiziranog sustava pri izvođenju radnog zadatka nadgledanja identificiranog zrakoplova na različitim razinama kompleksnosti, prikazane su aritmetičke sredine i standardne pogreške aritmetičkih sredina na korištenoj skali. Sferičnost, kao preduvjet za provedbu korištene složene analize varijance, zadovoljena je kako pri testiranju interakcije, $\chi^2(2) = 0{,}943$, $p = .711$, tako i pri promatranju različitih razina kompleksnosti $\chi^2(2)$ 0,683, $p = .711$. Rezultati dobiveni dvosmjernom analizom varijance s ponovljenim mjerenjima u obje varijable (3 x 2) pokazuju statistički značajan glavni efekt sustava, odnosno procjenu veće učinkovitosti automatiziranog sustava pri izvođenju radnog zadatka nadgledanja identificiranog zrakoplova (M = 4,294) u odnosu na neautomatizirani sustav (M = 2,048) na svim razinama kompleksnosti zajedno $F(1,13) = 788{,}16$; $p < .001$, $\eta^2 = .984$. Utvrđena statistički značajna interakcija dvaju promatranih sustava i kompleksnosti ukazuje na ovisnost razlike u procjeni učinkovitosti dvaju sustava pri izvršavanju zadatka $F(2,26) = 300{,}25$, $p < .001$, $\eta^2 = .699$. Jednostavni efekti pobliže objašnjavaju dobivenu interakciju i pokazuju da s povećanjem kompleksnosti pri izvršavanju radnog zadatka nadgledanja identificiranog zrakoplova raste razlika u procjeni učinkovitosti automatiziranog i neautomatiziranog sustava ($p < .001$). Drugim riječima, razlika je najizraženija pri visokoj kompleksnosti (treća vježba) te, iako nešto manje, i dalje snažno izražena pri srednjoj i niskoj kompleksnosti (grafikon 12.). Promatra li se procjena učinkovitosti pri izvođenju zadatka nadgledanja identificiranog zrakoplova na različitim razinama kompleksnosti (Tablica 7), neovisno koji je sustav posrijedi, rezultati pokazuju različitu procjenu učinkovitosti dvaju sustava pri izvršavanju na

različitim razinama kompleksnosti, F (2,26) = 10,55; p < .001, η^2 = .448. Bonferroni post hoc pokazuje da se ta razlika pojavljuje između niske kompleksnosti (M = 3,038) u odnosu na srednju (M = 3,214) i visoku (M = 3,263) razinu kompleksnosti (p < .05), pri čemu se stav na srednjoj i visokoj razini ne razlikuje statistički značajno (p > .05).

Tablica 8. Deskriptivna statistika i rezultati testiranja razlika u stavu o radnom zadatku nadgledanja identificiranog zrakoplova

	Sustav		
	Neautomatiziran	Automatiziran	Ukupno
Kompleksnost	M (SD_M)	M (SD_M)	M (SD_M)
Niska	2,143 (0,058)	3,929 (0,075)	3,036 (0,056)
Srednja	2,119 (0,066)	4,310 (0,089)	3,214 (0,056)
Visoka	1,881 (0,075)	4,963 (0,095)	3,262 (0,052)
Ukupno	2,048 (0,045)	4,294 (0,073)	
Efekt	**F**	**P**	**η^2**
Sustav	788,16	0,000	0,984
Kompleksnost	10,55	0,000	0,448
Interakcija Sustav x Kompleksnost	300,25	0,000	0,699



Grafikon 12. Prikaz prosječnih vrijednosti stava o prikladnosti radnog zadatka nadgledanja identificiranog zrakoplova

Neparametrijsko testiranje (Wilcoxonov test ekvivalentnih parova) potvrđuje pronađen efekt sustava, odnosno razliku u procjeni učinkovitosti automatiziranog i neautomatiziranog sustava pri izvršavanju radnog zadatka nadgledanja identificiranog zrakoplova. Time svjedoči o prikladnosti primjene analize varijance kao parametrijskog statističkog postupka.

Dobiveni rezultati potvrđuju hipotezu o različitoj procjeni učinkovitosti dvaju sustava pri izvršavanju radnog zadatka nadgledanja identificiranog zrakoplova, odnosno procjeni veće učinkovitosti provedbe zadatka u automatiziranom sustavu u odnosu na neautomatizirani sustav pri čemu sudionici učinkovitost automatiziranog sustava u odnosu na neautomatizirani sustav procjenjuju još većom na višim razinama kompleksnosti.

1.2 Stav o radnom zadatku koordinacija

Procjena učinkovitosti neautomatiziranog i automatiziranog sustava pri izvršavanju radnog zadatka koordinacije na različitim razinama kompleksnosti vidljiva je iz aritmetičkih sredina i standardnih pogrešaka aritmetičkih sredina na korištenoj skali. Prije testiranja

razlike u procjeni dvaju sustava pri izvršavanju radnog zadatka koordinacije na različitim razinama kompleksnosti dvosmjernom analizom varijance na ponovljenim mjerenjima u obje varijable (3 x 2), promotrena je sferičnost pri promatranju interakcije i različitih razina kompleksnosti. Zadovoljena je i pri razmatranju interakcije sustava i kompleksnosti $\chi^2(2) = 0{,}623$, $p = .732$ i pri promatranju različitih razina kompleksnosti $\chi^2(2)$ 2,163, $p = .339$.

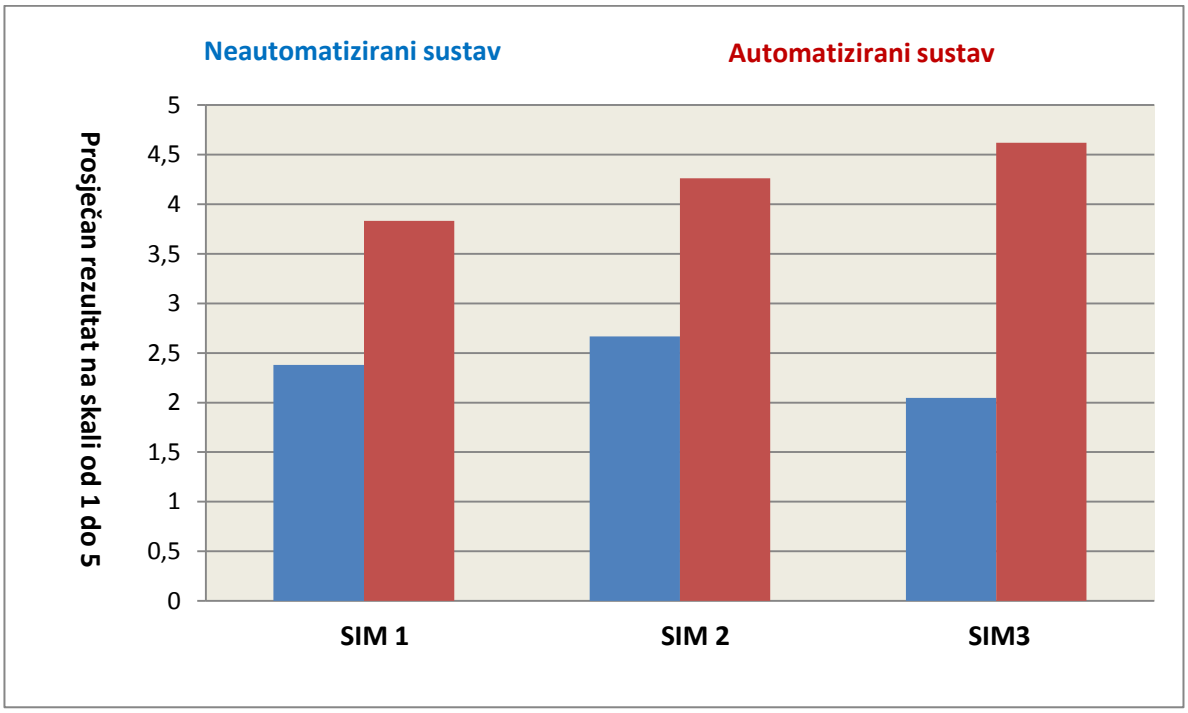
Rezultati analize varijance (3 x 2) pokazali su statistički značajan glavni efekt sustava što pokazuje procjenu veće učinkovitosti automatiziranog sustava u izvršavanju radnog zadatka koordinacije (M = 4,238) u odnosu na neautomatizirani sustav (M = 2,365) na svim razinama kompleksnosti zajedno, $F(1,13) = 340{,}889$; $p < .001$, $\eta^2 = .963$. Dobivena statistički značajna interakcija dvaju promatranih sustava i kompleksnosti ukazuje na to kako razlika u procjeni učinkovitosti dvaju sustava pri izvršavanju radnog zadatka koordinacije ovisi o razini kompleksnosti $F(2,26) = 50{,}939$, $p < .001$, $\eta^2 = .797$. Jednostavni efekti pokazuju da utvrđena razlika u procjeni učinkovitosti neautomatiziranog i automatiziranog sustava raste s povećanjem kompleksnosti ($p < .001$). Drugim riječima, razlika je snažno izražena na svim razinama kompleksnosti, a najizraženija je pri visokoj kompleksnosti (grafikon 13.).

Promatra li se glavni efekt kompleksnosti, odnosno ovisnost procjene učinkovitosti obaju sustava zajedno pri izvršavanju radnog zadatka koordinacije o kompleksnosti (Tablica 8), rezultati pokazuju da se procjena učinkovitosti razlikuje na različitim razinama kompleksnosti $F(2,26) = 23{,}338$; $p < .001$, $\eta^2 = .686$. Bonferroni post hoc pokazuje da se razlika u procjeni pojavljuje između niske kompleksnosti (M = 3,107) u odnosu na srednju (M = 3,464) i visoku (M = 3,333) razinu kompleksnosti ($p < .05$), pri čemu se procjena učinkovitosti na srednjoj i visokoj razini ne razlikuje statistički značajno ($p > .05$).

Tablica 9. Deskriptivna statistika i rezultati testiranja razlika u stavu o radnom zadatku koordinacije

	Sustav		
Kompleksnost	Neautomatiziran M (SD_M)	Automatiziran M (SD_M)	Ukupno M(SD_M)
Niska	2,381 (0,085)	3,833 (0,109)	3,107 (0,057)
Srednja	2,667	4,262	3,464

	(0,061)	(0,071)	(0,050)
Visoka	2,048 (0,069)	4,619 (0,085)	3,333 (0,052)
Ukupno	2,365 (0,054)	4,238 (0,080)	
Efekt	**F**	**P**	**η^2**
Sustav	340,889	0,000	0,936
Kompleksnost	28,338	0,000	0,686
Interakcija Sustav x Kompleksnost	50,936	0,000	0,797



Grafikon 13. Prikaz prosječnih vrijednosti stava o prikladnosti radnog zadatka koordinacije

Efekt sustava, odnosno razliku u procjeni učinkovitosti neautomatiziranog i automatiziranog sustava pri izvršavanju radnog zadatka koordinacije na različitim razinama kompleksnosti potvrđuje neparametrijsko testiranje (Wilcoxonov test ekvivalentnih parova). Kao i u razmatranju razlike u procjeni učinkovitosti dvaju sustava pri izvršavanju zadatka, takav rezultat ide u prilog prikladnosti primjene analize varijance kao parametrijskog statističkog postupka.

Dobiveni rezultati također upućuju na potvrđivanje hipoteze o procjeni veće učinkovitosti automatiziranog sustava u usporedbi s neautomatiziranim sustavom pri provedbi radnog zadatka koordinacije, pri čemu sudionici pri izvršavanju tog zadatka automatizirani sustav u odnosu na neautomatizirani procjenjuju još učinkovitijim na višim razinama kompleksnosti.

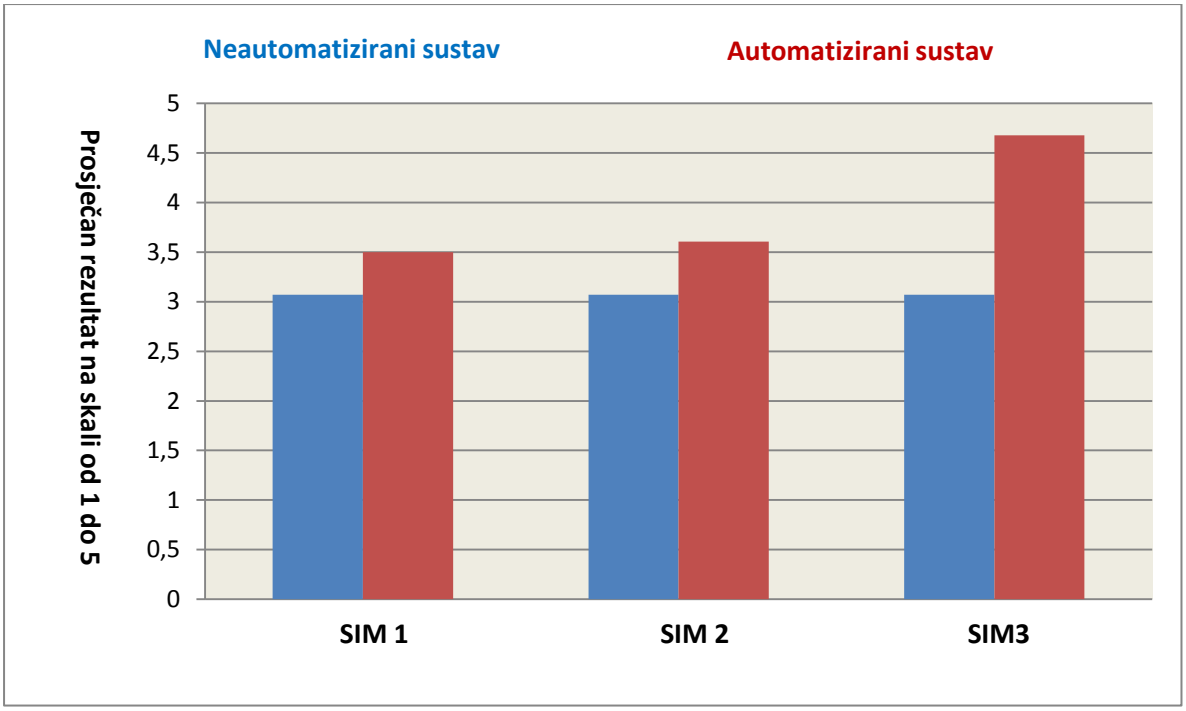
1.3 STAV O RADNOM ZADATKU STANDARDNA RADIOTELEFONSKA KOMUNIKACIJA

U tablici 9. prikazane su aritmetičke sredine i standardne pogreške aritmetičkih sredina koje na korištenoj skali pokazuju procjenu učinkovitosti neautomatiziranog i automatiziranog sustava pri izvršavanju radnog zadatka standardna radiotelefonska komunikacija. U Tablici 9. vidljivi su i rezultati testiranja razlike u procjeni dvaju sustava na različitim razinama kompleksnosti koji su dobiveni dvosmjernom analizom varijance s ponovljenim mjerenjima u obje varijable (3 x 2). Pritom je pokazano zadovoljenje sferičnosti pri promatranju interakcije sustava i kompleksnosti $\chi^2(2) = 1{,}423$, $p = .491$, i pri promatranju različitih razina kompleksnosti $\chi^2(2) = 0{,}163$, $p = .922$ Utvrđen je nešto drugačiji obrazac razlike u procjeni učinkovitosti neautomatiziranog i automatiziranog sustava pri izvršavanju zadatka standardne radiotelefonske komunikacije, $F(1,13) = 41{,}124$; $p < .001$, $\eta^2 = .760$. Drugim riječima, dobiven statistički značajan glavni efekt sustava pokazuje procjenu veće učinkovitosti automatiziranog sustava nadzora pri izvršavanju radnog zadatka standardna radiotelefonska komunikacija ($M = 3{,}595$) u odnosu na neautomatizirani sustav ($M = 3{,}071$) na svim razinama kompleksnosti zajedno pri čemu statistički neznačajna interakcija $F(2,26) = 0{,}576$, $p > .05$) sustava i kompleksnosti pokazuje da je razlika u procjeni (pod)jednaka na svim razinama kompleksnosti (grafikon 14.).

Utvrđen je i statistički neznačajan glavni efekt kompleksnosti, odnosno neovisnost procjene učinkovitosti dvaju sustava pri primjeni radnog zadatka standardna radiotelefonska komunikacija o kompleksnosti $F(2,26) = 0{,}946$; $p > .05$, što ukazuje na jednaku procjenu učinkovitosti obaju sustava na svim razinama kompleksnosti.

Tablica 10. Deskriptivna statistika i rezultati testiranja razlika u stavu o radnom zadatku standardna radiotelefonska komunikacija

	Sustav		
Kompleksnost	Neautomatiziran M (SD_M)	Automatiziran M (SD_M)	Ukupno M(SD_M)
Niska	3,071 (0,089)	3,500 (0,091)	3,286 (0,044)
Srednja	3,071 (0,071)	3,607 (0,107)	3,339 (0,067)
Visoka	3,071 (0,071)	4,679 (0,066)	3,375 (0,051)
Ukupno	3,071 (0,049)	3,594 (0,065)	
Efekt	**F**	**P**	**η^2**
Sustav	41,124	0,000	0,760
Kompleksnost	0,946	0,401	0,068
Interakcija Sustav x Kompleksnost	0,576	0,569	0,042



Grafikon 14. Prikaz prosječnih vrijednosti stava o prikladnosti radnog zadatka standardna radiotelefonska komunikacija

Utvrđen efekt sustava, odnosno pokazana razlika u procjeni učinkovitosti neautomatiziranog i automatiziranog sustava pri izvršavanju radnog zadatka potvrđena je i neparametrijskim statističkim postupkom (Wilcoxonov test ekvivalentnih parova). Drugim riječima, kao i pri promatranju procjene pri izvršavanju prethodnih dvaju zadataka, rezultati dvaju statističkih postupaka podudaraju se.

Na temelju dobivenih rezultata, kao i pri promatranju procjene učinkovitosti dvaju sustava pri primjeni prethodnih dvaju zadataka, može se zaključiti da je potvrđena razlika u procjeni učinkovitosti automatiziranog sustava u odnosu na neautomatizirani sustav pri izvršavanju radnog zadatka standardna radiotelefonska komunikacija. Nalazi, nadalje, upućuju da dobivena razlika ne ovisi o povišenoj kompleksnosti, odnosno konzistentna je na svim promatranim razinama kompleksnosti.

1.4 Stav o radnom zadatku obrada podataka o letu

Kao i u prethodnim radnim zadacima, za utvrđivanje razlika u procjeni učinkovitosti dvaju sustava na različitim razinama kompleksnosti, pri izvršavanju radnog zadatka obrada

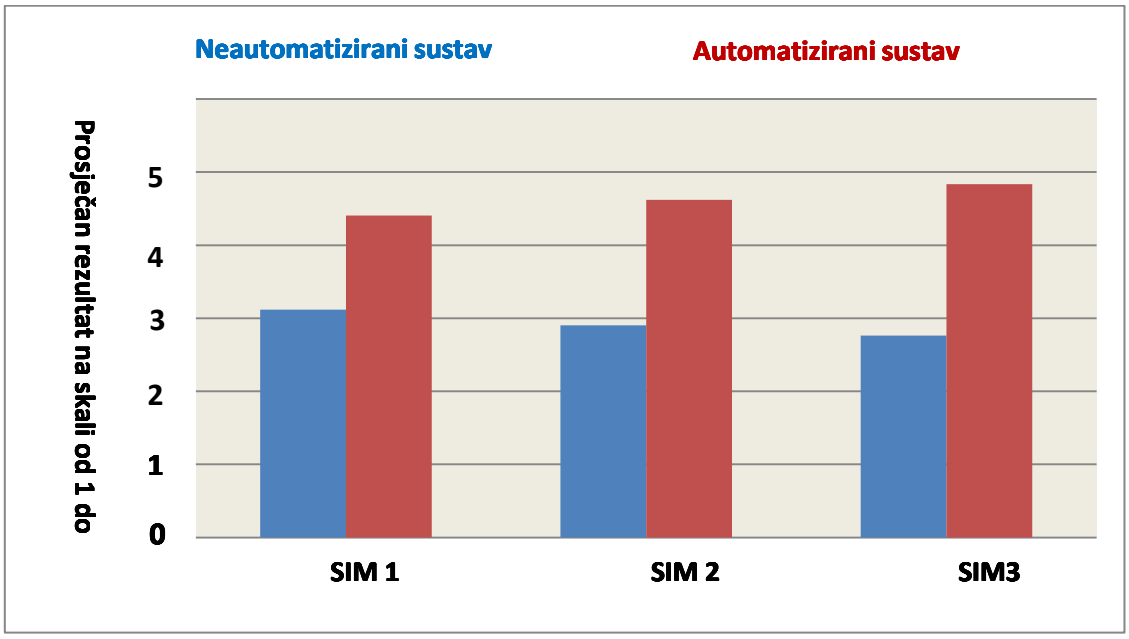
podataka o letu, korištena je složena analiza varijance (3 x 2) pri čemu je provjerena sferičnost pri promatranju interakcije sustava i kompleksnosti i razina kompleksnosti.

Sferičnost je zadovoljena kako pri interakciji, $\chi^2(2) = ,203$, $p = .904$, tako i pri promatranju različitih razina kompleksnosti, $\chi^2(2) = 3,025$, $p = .220$ te je i u ovom zadatku kao u prethodna tri zadatka pokazan statistički značajan glavni efekt sustava, odnosno različita procjena učinkovitosti neautomatiziranog i automatiziranog sustava pri izvršenju radnog zadatka obrada podataka o letu na svim razinama kompleksnosti zajedno $F (1,13) = 335,943$; $p < .001$, $\eta^2 = .965$. Rezultati (Tablica 10) pokazuju prosječno veću procjenu učinkovitosti automatiziranog sustava pri izvršavanju radnog zadatka obrada podataka o letu ($M = 4,619$) u odnosu na neautomatizirani sustav ($M = 2,929$) na svim razinama kompleksnosti zajedno. Nadalje, statistički značajna interakcija sustava i kompleksnosti ukazuje na ovisnost razlike u procjeni učinkovitosti dvaju sustava pri izvršavanju radnog zadatka obrada podataka o letu o razini kompleksnosti $F (2,26) = 20,836$, $p < .001$, $\eta^2 = .616$. Jednostavni efekti ukazuju na izrazitu razliku u procjeni učinkovitosti dvaju sustava pri izvršavanju radnog zadatka obrada podataka o letu na svim razinama kompleksnosti pri čemu je vidljivo da je razlika najizraženija pri visokoj kompleksnosti (grafikon 15.). Drugim riječima, što je veća kompleksnost, to je razlika u procjeni učinkovitosti dvaju sustava izraženija.

Dobiven statistički neznačajan efekt kompleksnosti pokazuje da procjena efikasnosti neovisno o kojem se sustavu radi, odnosno u oba sustava zajedno, ne ovisi o kompleksnosti, $F = 0,258$, $p > .05$. Drugačije rečeno, procjena učinkovitosti dvaju sustava zajedno pri izvršavanju radnog zadatka obrada podataka o letu podjednaka je na sve tri razine kompleksnosti.

Tablica 11. Deskriptivna statistika i rezultati testiranja razlika u stavu o radnom zadatku obrada podataka o letu

	Sustav		
Kompleksnost	Neautomatiziran M (SD_M)	Automatiziran M (SD_M)	Ukupno M(SD_M)
Niska	3,119 (0,096)	4,405 (0,071)	3,762 (0,054)
Srednja	2,905 (0,081)	4,619 (0,059)	3,762 (0,052)
Visoka	2,762 (0,081)	4,833 (0,046)	3,798 (0,036)
Ukupno	2,929 (0,068)	4,619 (0,043)	
Efekt	**F**	**P**	**η^2**
Sustav	355,946	0,000	0,965
Kompleksnost	0,258	0,774	0,019
Interakcija Sustav x Kompleksnost	20,836	0,000	0,616



Grafikon 15. Prikaz prosječnih vrijednosti stava o prikladnosti radnog zadatka obrada podataka o letu

Kao i na primjeru ranijih zadataka, utvrđena razlika u procjeni potvrđena je neparametrijskim testiranjem (Wilcoxonov test ekvivalentnih parova).

Dobiveni rezultati potvrđuju hipotezu o različitoj procjeni učinkovitosti neautomatiziranog i automatiziranog sustava pri izvršavanju radnog zadatka obrada podataka o letu na različitim razinama kompleksnosti pri čemu je dobivena razlika konzistentna na različitim razinama kompleksnosti.

1.5 STAV O RADNOM ZADATKU POTRAGA I UOČAVANJE KONFLIKATA

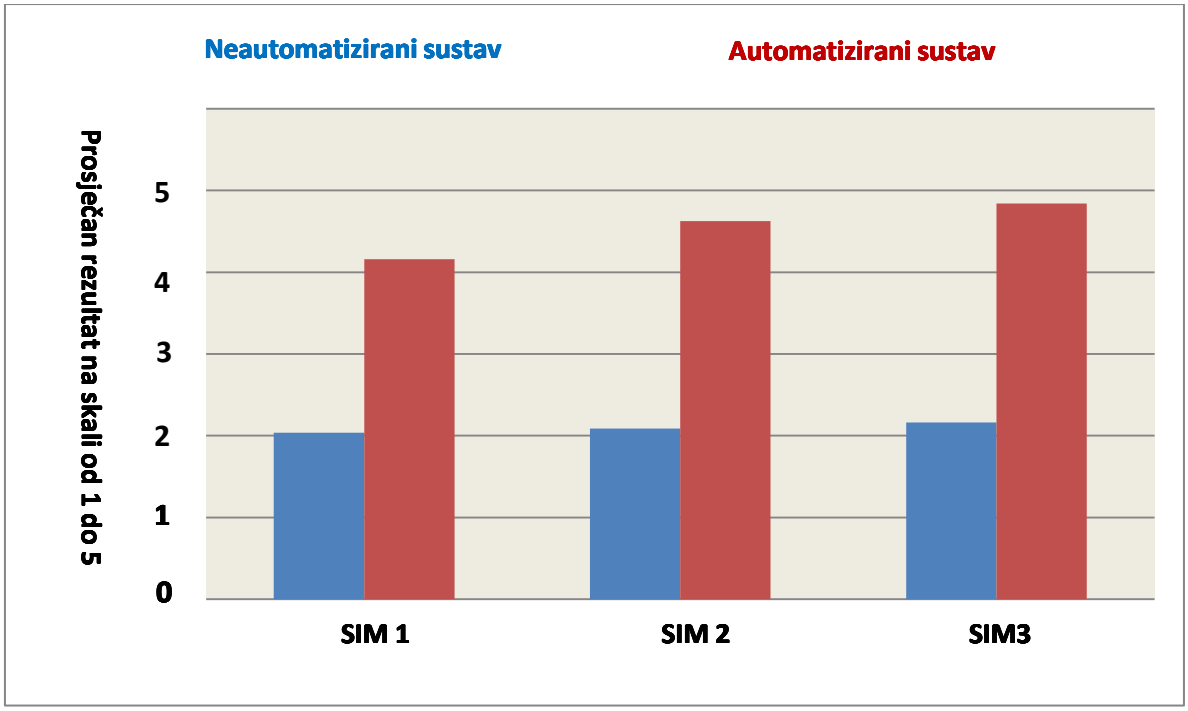
Prosječna procjena učinkovitosti neautomatiziranog i automatiziranog sustava pri izvršavanju radnog zadatka potraga i uočavanje konflikata na različitim razinama kompleksnosti prikazana je u Tablici 11. Uz prosječnu izraženost u obliku aritmetičke sredine, prikazane su standardne pogreške aritmetičkih sredina. Prije promatranja rezultata složene analize varijance, kao i u ranijim primjerima, promotren je preduvjet sferičnosti. Sferičnost je zadovoljena pri promatranju interakcije sustava i kompleksnosti $\chi^2(2) = 1{,}135$, $p = .567$, dok pri promatranju razina kompleksnosti nije zadovoljena, $\chi^2(2) = 6{,}738$, $p = .034$. Stoga je u primjeru kompleksnosti primijenjena Greenhouse-Geisser korekcija. Rezultati analize varijance pokazuju statistički značajan glavni efekt sustava čime se zaključuje o procjeni veće učinkovitosti automatiziranog sustava pri izvršavanju radnog zadatka potraga i uočavanje konflikata ($M = 4{,}542$) u odnosu na neautomatizirani sustav ($M = 2{,}095$) na svim razinama kompleksnosti zajedno $F(1,13) = 1988{,}138$; $p < .001$, $\eta^2 = .993$. Utvrđena statistički značajna interakcija sustava i kompleksnosti ukazuje na ovisnost razlike u procjeni učinkovitosti o razini kompleksnosti $F(2,36) = 17{,}386$ $p < .001$, $\eta^2 = .572$. Razlika raste s povećanjem kompleksnosti, odnosno uz to što je snažno izražena na svim razinama kompleksnosti, razlika je k tome izraženija na srednjoj i visokoj razini kompleksnosti ($p < .001$) (grafikon 16.).

Rezultati analize varijance pokazuju i značajan efekt kompleksnosti koji ukazuje na to da procjena učinkovitosti obaju sustava zajedno pri izvršavanju radnog zadatka potraga i uočavanje konflikata ovisi o razini kompleksnosti $F(2,26) = 19{,}199$; $p < .001$, $\eta^2 = .596$.

Bonferroni post hoc pokazuje da se ta razlika ponešto očituje između svih razina kompleksnosti ($p < .05$).

Tablica 12. Deskriptivna statistika i rezultati testiranja razlika u stavu o radnom zadatku potraga i uočavanje konflikata

	Sustav		
Kompleksnost	Neautomatiziran M (SD_M)	Automatiziran M (SD_M)	Ukupno M(SD_M)
Niska	2,036 (0,073)	4,161 (0,062)	3,098 (0,057)
Srednja	2,089 (0,062)	4,625 (0,068)	3,357 (0,045)
Visoka	2,161 (0,062)	4,839 (0,050)	3,500 (0,045)
Ukupno	2,095 (0,044)	4,542 (0,040)	
Efekt	**F**	**P**	**η^2**
Sustav	19801386	0,000	0,993
Kompleksnost	19,199	0,000	0,596
Interakcija Sustav x Kompleksnost	17,386	0,001	0,572



Grafikon 16. Prikaz prosječnih vrijednosti stava o prikladnosti radnog zadatka potraga i uočavanje konflikata

U skladu s nalazima analize varijance, odnosno utvrđenim glavnim efektom sustava, neparametrijskim statističkim postupkom (Wilcoxonov test ekvivalentnih parova) potvrđuje se pronađen efekt sustava, odnosno razliku u procjeni učinkovitosti automatiziranog sustava u odnosu na neautomatizirani sustav pri izvršavanju radnog zadatka potraga i uočavanje konflikata.

U primjeru radnog zadatka potraga i uočavanje konflikata rezultati također podupiru hipotezu o različitoj procjeni učinkovitosti njegova izvršavanja u automatiziranom i neautomatiziranom sustavu. Drugim riječima, procjena učinkovitosti automatiziranog sustava pri izvršavanju radnog zadatka potraga i uočavanje konflikata veća je u odnosu na procjenu učinkovitosti neautomatiziranog sustava pri čemu sudionici pri izvršavanju radnog zadatka potraga i uočavanje konflikata automatizirani sustav u odnosu na neautomatizirani procjenjuju još izraženijim na višim razinama kompleksnosti.

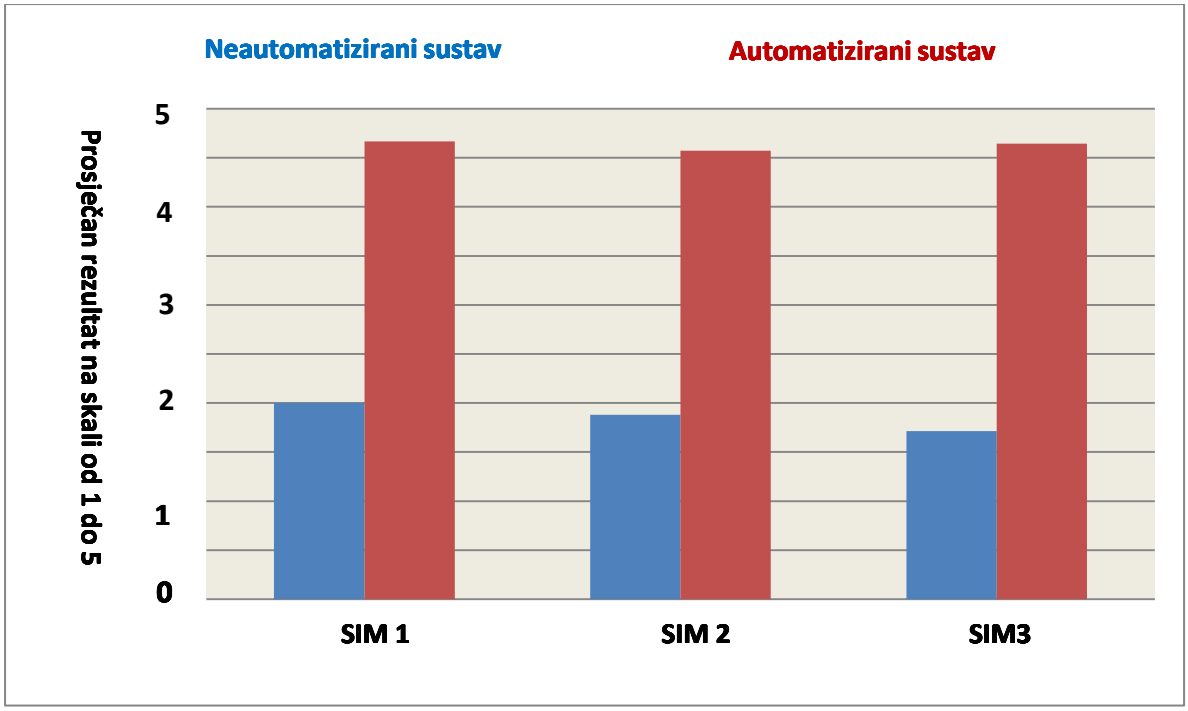
1.6 STAV O RADNOM ZADATKU NADGLEDANJE I RJEŠAVANJE RADARSKIH KONFLIKATA

Zabilježeno povećanje razlike u procjeni učinkovitosti dvaju sustava pri primjeni zadataka 1, 2, 4 i 5 s povećanjem kompleksnosti, nije se očitovalo u radnom zadatku nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata. Zabilježen je sličan učinak kao pri promatranju izvršavanja radnog zadatka standardna radiotelefonska komunikacija. Sferičnost je narušena pri promatranju interakcije te je korištena Greenhouse-Geisser korekcija $\chi^2(2) = 6{,}194$, $p = .045$, dok je sferičnost zadovoljena pri promatranju razina kompleksnosti $\chi^2(2) = 3{,}571$, $p = .168$. Utvrđen statistički značajan efekt sustava pokazuje da se procjena učinkovitosti dvaju sustava pri izvršavanju radnog zadatka nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata razlikuje pri čemu je u prosjeku procjena učinkovitosti automatiziranog sustava veća, Tablica 12, ($M = 4{,}627$) u odnosu na neautomatizirani sustav ($M = 1{,}865$), $F(1,13) = 526{,}187$; $p < .001$, $\eta^2 = .976$. Statistički neznačajna interakcija sustava i kompleksnosti pokazuje da je utvrđena razlika u procjeni učinkovitosti automatiziranog i neautomatiziranog sustava pri izvršavanju radnog zadatka nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata konzistentna u sve tri razine kompleksnosti $F(1{,}425, 18{,}529) = 3{,}117$, $p > 0{,}05$. Drugim riječima, razlika u procjeni učinkovitosti dvaju sustava ne ovisi o kompleksnosti (grafikon 17.). Uz rezultate dvosmjerne analize varijance s ponovljenim mjerenjima u obje varijable (3 x 2), u tablici 12. prikazane su aritmetičke sredine i standardne pogreške aritmetičkih sredina.

Utvrđen je i statistički značajan efekt kompleksnosti koji ukazuje da se procjena učinkovitosti dvaju sustava zajedno pri izvršavanju radnog zadatka nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata razlikuje na pojedinim razinama kompleksnosti, $F(2,26) = 5{,}744$; $p < .001$, $\eta^2 = .306$. Bonferroni post hoc pokazuje različitu procjenu učinkovitosti na visokoj razini kompleksnosti ($M = 3{,}179$) u odnosu na nisku ($M = 3{,}333$) i srednju razinu ($M = 3{,}226$) ($p < .05$), dok razlika u procjeni nije statistički značajna između niske i srednje razine kompleksnosti ($p > .05$).

Tablica 13. Deskriptivna statistika i rezultati testiranja razlika u stavu o radnom zadatku nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata

	Sustav		
Kompleksnost	Neautomatiziran M (SD_M)	Automatiziran M (SD_M)	Ukupno M(SD)
Niska	2,000 (0,086)	4,667 (0,070)	3,333 (0,049)
Srednja	1,881 (0,103)	4,571 (0,074)	3,326 (0,038)
Visoka	1,714 (0,077)	4,643 (0,074)	3,179 (0,041)
Ukupno	1,865 (0,076)	4,627 (0,061)	
Efekt	**F**	**P**	**η^2**
Sustav	526,187	0,000	0,976
Kompleksnost	5,744	0,009	0,306
Interakcija Sustav x Kompleksnost	3,117	0,083	0,193



Grafikon 17. Prikaz prosječnih vrijednosti stava o prikladnosti radnog zadatka nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata

U skladu s nalazima analize varijance, odnosno glavnim efektom sustava, neparametrijskim statističkim postupkom (Wilcoxonov test ekvivalentnih parova) potvrđuje se različita procjena učinkovitosti automatiziranog i neautomatiziranog sustava pri izvršavanju radnog zadatka nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata.

Dobiveni rezultati podupiru hipotezu o procjeni veće učinkovitosti automatiziranog sustava u odnosu na neautomatizirani sustav pri izvršavanju radnog zadatka nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata. Sudionici automatizirani sustav pri izvršavanju radnog zadatka nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata procjenjuju jednako više učinkovitijim u odnosu na neautomatizirani sustav na svim razinama kompleksnosti. Drugim riječima, razlika u procjeni učinkovitosti dvaju sustava pri izvršavanju radnog zadatka nadgledanja i rješavanja radarskih konflikata ne ovisi o razini kompleksnosti.

Životopis autora:

Rođen u Zagrebu 16.12.1961.

Obrazovanje:

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zračni promet, diplomirani inženjer prometa

Radno iskustvo:

2015. – oblasni radarski kontrolor – instruktor ispitivač – specijalist za sigurnost

2006. – rukovoditelj Odjela za osposobljavanje kontrolora zračnog prometa u Centru oblasne kontrole zračnog prometa Zagreb

1998. – instruktor kontrole zračnog prometa

1987. – radarski kontrolor zračnog prometa u Centru oblasne kontrole zračnog prometa Zagreb ACS/RAD LDZO

1984. – toranjski kontrolor zračnog prometa TWR/LDZA

Popis javno objavljenih radova autora

1. T. Mihetec, Z. Jakšić, S. Steiner, „Air Space Management Procedures in Europe“, 14th International Conference on Transport Science. Maritime, Transport and Logistics, Conference Proceedings 1-13, University of Ljubljana, Faculty of Maritime Studies and Transport, Portorož, Slovenija 2011.

2. T. Mihetec, S. Steiner, Z. Jakšić, „Analysis of expected ATM processes changes in Central Europe“, III International Scientific Conference "Transport Problems", Conference Materials 475-486, Silesian University of Technology Faculty of Transport, Katowice, Poljska, 2011.

3. Z. Jakšić, T. Mihetec, Ž. Oreški, „The Harmonisation of Training and Competence Keeping in Functional Airspace Block Environment“. In: 14th International Conference on Transport: Maritime, Transport and Logistics Science, 2011.

4. M. Tomislav, J. Zoran, S. Sanja. „Implications in the Implementation of Functional Airspace Block Central Europe“. In: Air Transport Research Society 14th ATRS Conference, 2010.

5. Z. Jakšić, D. Slavica, Ž. Oreški. „Harmonization of national legislation with european directives and standards“, 17th International Symposium on Electronics in Transport (ISEP

2009)-Sustainable transport and mobility. In: 17th International Symposium on Electronics in Transport. Electrotechnical Association of Slovenia, 2009.

6. I. Štimac, Z. Jakšić, T. Bucak, D. Novak, K. Jambrošić, „Monitoring and Analysis of Local Aircraft Noise at Zagreb Airport“. Proceedings of the European Conference on Noise Control (EURONOISE 2009), Edinburgh , UK, 2009.

7. D. Slavica, Z. Jakšić, Ž. Oreški, „Analysis of Air Traffic Controllers Automation Adoption“. Proceedings of the 7th EUROCONTROL Innovative Research Workshop & Exhibition EUROCONTROL, Innovative ATM Research Workshop and Exhibition 2008.

8. D. Novak, T. Bucak, Z. Jakšić, I. Štimac, „Analysis of influence of navigation procedures on the reduction of aircraft noise during final approach“. In International Congress and exhibition on Noise Control Engineering, 37. Shanghai, People's Republic of China, 2008.

9. Z. Jakšić, E. Bazijanac, B. Juričić, „Practical Training in ATC Module of the Study of Aeronautics“, Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje Pravci razvoja transporta, inteligentnih transportnih sustava i logistike (ZIRP'08), Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.

10. D. Novak, T. Bucak, Z. Jakšić, „Influence of R-NAV routes on the Zagreb FIR capacity“, Proceedings of the Navigation Conference and exhibition (NAV07), Royal Institute of Navigation , London, UK, 2007.

11. D. Slavica, Z. Jakšić, S. Steiner, „Kontrola upravljanja tokovima zračnog prometa u realnom vremenu“, Znanstveni skup "Nezgode i nesreće u prometu i mjere za njihovo sprječavanje", zbornik radova 209-216. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, 2007.

12. S. Propadalo, D. Bekavac, Z. Jakšić. „Spare Modules Management Optimization of Airspace Surveillance System“, Prethodno priopćenje, Promet – Traffic&Transportation, Vol.24 No.2, 119-124. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012.