

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Antonio Živko

**Procjena utjecaja pravila vizualnog letenja na  
radno opterećenje kontrolora zračne plovidbe:  
Istraživanje NASA TLX upitnikom**

Zagreb, 2023.

Ovaj rad izrađen je u Hrvatskom učilišnom središtu za kontrolu zračnog prometa na Fakultetu prometnih znanost pod vodstvom dr. sc. Brune Antulov-Fantulina i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2022./2023.

## Popis kratica

AGL	(height Above Ground Level) visina iznad zemlje
ANSP	(Air Navigation Service Provider) pružatelj usluga kontrole zračne plovidbe
ATC	(Air Traffic Controller) kontrolor zračne plovidbe
ATM	(Air Traffic Management) upravljanja zračnim prostorom
CAPAN	(Capacity Analysis methodology) metoda analize kapaciteta
CTR	(Control Zone) kontrolirana zona
DME	(Distance Measuring Equipment) oprema za mjerenje udaljenosti
FIC	(Flight Information Centre) Centar zrakoplovnih informacija
HLT	(Heavy Load Threshold) prag jakog opterećenja kontrolora zračne plovidbe
HUSK	Hrvatsko učilišno središte za kontrolu zračnog prometa
ICAO	(International Civil Aviation Organization) Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva
IFR	(Instrument Flight Rules) instrumentalna pravila leta
LOAs	(Letters of Agreements) međusektorski dogovori
MRVA	(Minimum Radar Vectoring Altitude) minimalna visina radarskog vektoriranja
NASA	(National Aeronautic and Space Administration) Američka nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir
NDB	(Non-Directional Beacon) neusmjereni radiofar
NM	(Nautical Miles) nautičke milje

STATFOR	(Eurocontrol Statistics and Forecast) Eurocontrolova statistika i prognoziranje
TLX	(Task Load Index) indeks opterećenja zadatka
TMA	(Terminal Control Area) prostor prilazne kontrole leta
VFR	(Visual Flight Rules) vizualna pravila leta
VOR	(Very high frequency Omnidirectional Radio range) visokofrekventni višesmjerni radiopredajnik

# Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Kompleksnost zračnog prometa i radno opterećenje .....	2
2.1. Kompleksnost .....	2
2.1.1. Kompleksnost kod ATC-a .....	3
2.1.2. Kognitivni zadatci ATC-a .....	5
2.2. Radno opterećenje kontrolora zračne plovidbe .....	7
2.2.1. Odnos radnog opterećenja i kompleksnosti .....	7
2.2.2. CAPAN metoda .....	8
3. NASA TLX .....	10
3.1. Totalno opterećenje .....	10
3.2. Uspoređivanje pojmova .....	12
3.3. Rezultat .....	13
4. Simulirani zračni prostor .....	15
4.1. Klasa zračnog prostora .....	15
4.2. Navigacijske točke zračnog prostora .....	17
4.3. Simulatorsko okruženje .....	19
5. Simulirani zračni promet .....	20
5.1. Pripremne vježbe .....	20
5.2. Vježba jedan .....	20
5.3. Vježbe dva i tri .....	22
6. Analiza podataka .....	24
6.1. Dobiveni podatci .....	24
6.2. Studentova t distribucija .....	31
7. Zaključak .....	35
<i>Zahvala</i> .....	36
Popis literature .....	37
Sažetak .....	39
Summary .....	40
Dodatak .....	41

# 1. Uvod

Zbog sve značajnijeg povećanja zračnog prometa pružatelji usluga kontrole zračne plovidbe nastoje propustiti što veći broj zrakoplova kroz njihov zračni prostor, a to dovodi do povećanja radnog opterećenja kontrolora zračne plovidbe. Promet koji leti po vizualnim uvjetima leta ne bilježi se u statistikama gustoće prometa te su takvi zrakoplovi oslobođeni naplate usluge kontrole zračne plovidbe. Iako je to tako, ti zrakoplovi otežavaju rad kontrolora zračne plovidbe zbog specifičnosti njihovih operacija i performansi zrakoplova koji najčešće lete u navedenim uvjetima leta.

Istraživački rad opisuje provedeno istraživanje koje je osmišljeno radi objektivnog prikazivanja utjecaja vizualnog prometa na kontrolore zračne plovidbe. Svrha je rada upozoriti na problematiku zbog kontroliranja miješanog vizualnog i instrumentalnog prometa kako bi se proaktivno mogle razviti procedure i tehnologije za što sigurniji zračni promet.

Rad je podijeljen u sedam poglavlja. Nakon uvoda slijedi drugo poglavlje koje se bavi kompleksnošću zračnog prometa i radnim opterećenjem kontrolora zračne plovidbe. Opisane su razlike između kompleksnog sustava i kompliciranog sustava, koje zadaće obavlja kontrolor zračne plovidbe i kako sve to utječe na njegovo subjektivno radno opterećenje. Treće poglavlje opisuje upitnik NASA TLX koji je korišten kao izvor podataka tijekom istraživanja. Četvrto i peto poglavlje opisuju u kojem prostoru i s kojim su prometom izrađene vježbe korištene tijekom istraživanja. Prikazan je točan simulirani prostor i objašnjeno je kakav su simulirani promet ispitanici morali kontrolirati tijekom provođenja istraživanja. U šestom poglavlju prikazani su podatci dobiveni putem upitnika NASA TLX te su opisani zaključci doneseni iz tih podataka. U zaključku su dana završna razmatranja o temi.

## 2. Kompleksnost zračnog prometa i radno opterećenje

Dokle god čovjek bude upravljao zračnim prostorom, radno opterećenje (engl. *workload*) kontrolora vjerojatno će ostati najveće funkcionalno ograničenje kapaciteta u sustavu upravljanja zračnim prostorom (engl. *air traffic management* – ATM). U Europi se za predviđanje budućeg zračnog prometa koriste prognoze Eurocontrol STATFOR (engl. *Statistics and Forecast service*). Ako pogledamo konzervativnu sedmogodišnju prognozu, vidimo da bi trebalo biti 11,9 milijuna letova u 2028. godini, što je povećanje od 7% u odnosu na najprometniju 2019. godinu [1].

S obzirom na predviđeno kontinuirano povećanje prometa, kao i odgovarajući razvoj procedura i tehnologija u kontroli zračne plovidbe, sve je više potrebno razumjeti sposobnosti kontrolora zračne plovidbe (engl. *air traffic controller* – ATC) i ustanoviti „sigurne” granice radnog opterećenja [2].

### 2.1. Kompleksnost

Shvaćanje kompleksnosti (engl. *complexity*) podrazumijeva razlikovanje između kompleksnih i kompliciranih sustava. Ako sustavu koji se sastoji od ogromnog broja dijelova ili elemenata možemo dati potpuni opis, takav sustav nije kompleksan. Zbog toga superračunala ili putnički zrakoplovi nisu kompleksni sustavi već spadaju u komplicirane sustave [3].

U kompleksnim sustavima interakcija između elemenata sustava takva je da se priroda cjeline ne može odrediti analizom nekog podskupa. Kompleksni sustavi mogu se odrediti sljedećim značajkama [2]:

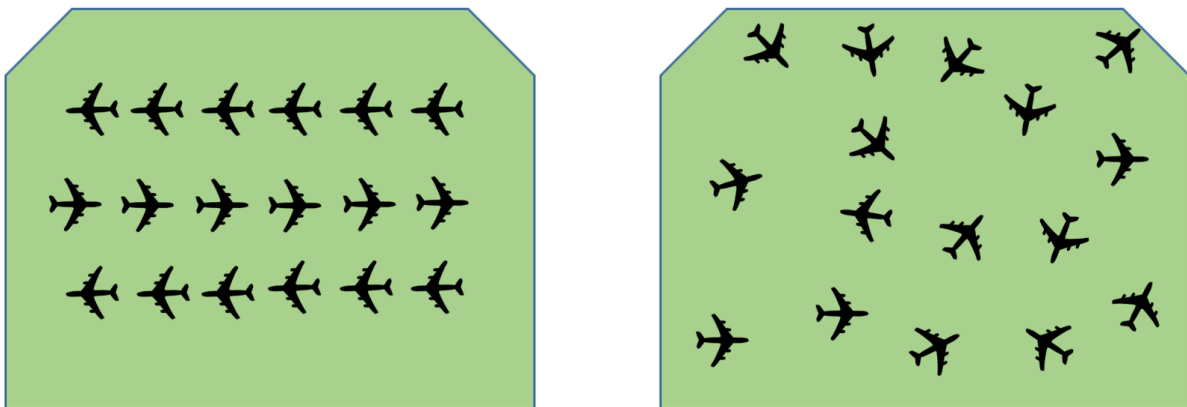
- velik broj elemenata čija interakcija prkosi tradicionalnoj analizi matematičkih sredstava
- dinamička interakcija između elemenata koja uključuje prijenos energije i/ili informacija
- redundancija koja dopušta nekom podskupu sustava da obavlja funkciju cjelina
- lokalizirana autonomija i nedostatak razmjene informacija između svih elemenata

- nelinearne interakcije između elemenata, što omogućuje malim perturbacijama da imaju velike učinke
- visoka razina slučajnosti, a time i visoka razina nesigurnosti.

### 2.1.1. Kompleksnost kod ATC-a

Gustoća prometa u prošlosti bila je najproučavaniji čimbenik koji se povezivao s kompleksnosti. Danas je sve jasnije da gustoća prometa nije dovoljan pokazatelj kompleksnosti jer isti broj zrakoplova ne označava istu razinu kompleksnosti prometa [4].

Slika 1 prikazuje zamišljeni prostor u kojem se nalazi 18 zrakoplova. Lijeva slika prikazuje zrakoplove koji unificirano lete i imaju interakciju samo sa zrakoplovima ispred i/ili iza njih. Desna slika prikazuje prostor u kojem pojedini zrakoplov ima mnogo više interakcija nego na lijevoj slici. Broj zrakoplova (gustoća prometa) ostao je nepromijenjen, ali se broj interakcija među zrakoplovima drastično povećao, što povećava kompleksnost prometa [2].



**Slika 1.** Putanje zrakoplova



Prethodni pokušaji procjene kompleksnosti oslanjali su se na geometrijske odnose između zrakoplova, proučavanje konflikata i nepoželjnih sigurnosnih događaja ili na vidljivu fizičku aktivnost kontrolora zračne plovidbe.

Cilj istraživanja kompleksnosti kod kontrolora zračne plovidbe jest smanjenje nesreća, nezgoda i sigurnosno nepoželjnih događaja. Kao što je već navedeno, većina istraživanja u prošlosti bila je fokusirana na gustoću prometa i njihovu konstelaciju pa se to smatralo većinskim čimbenikom koji je utjecao na kompleksnost i sukladno tomu na broj konflikata. Istraživanja koja su proučavala konflikte i nepoželjne sigurnosne događaje nisu uspjela povezati gustoću prometa s količinom konflikata. Upravo suprotno, konflikti i nepoželjni sigurnosni događaji, za koje su bili zaslužni kontrolori zračne plovidbe, dogodili su se tijekom niske ili normalne gustoće prometa. Ista istraživanja pronašla su veliku međuovisnost broja međusektorskih dogovora (engl. *letters of agreements* – LOA), broja aerodroma u sektoru i subjektivne kontrolorske procjene „opuštanja na poslu” s konfliktima [4].

Tijekom normalnog razgovora s kontrolorima zračne plovidbe u Hrvatskoj većina potvrđuje ta istraživanja. Sve što su kontrolori ispričali o potencijalnim konfliktima ili sigurnosno nepoželjnim događajima svodili su se na isto. Nakon razdoblja u kojem je gustoća prometa bila povećana slijedilo je razdoblje sa srednjom ili niskom gustoćom prometa. U tom razdoblju kontrolori priznaju da je došlo do grešaka koje se nikada nisu pojavljivale tijekom razdoblja u kojem je gustoća prometa visoka. Također te greške nitko nije pripisao umoru izazvanim radom u razdoblju s velikom gustoćom prometa, već kontrolori to opisuju kao pad koncentracije ili opuštanje na poslu.

Sve se više zamjećuje da u današnje vrijeme individualne razlike između kontrolora zračne plovidbe mogu prouzročiti različite reakcije na istu konstelaciju prometa, tj. došlo se do zaključka da je kompleksnost subjektivna procjena svakog kontrolora [2].

### 2.1.2. Kognitivni zadatci ATC-a

Zadaća kontrolora zračne plovidbe jest pružanje sigurnog, učinkovitog i ekspeditivnog zračnog prometa, a imperativ pružanja ATC usluge svakako je sigurnost zračnog prometa. Propisani razmak, prema Organizaciji međunarodnog civilnog zrakoplovstva (engl. *International Civil Aviation Organization* – ICAO), između zrakoplova iznosi 1000 stopa (engl. *feet* – ft) vertikalno i 5 nautičkih milja (engl. *nautical miles* – NM) horizontalno od drugih zrakoplova. Uz taj ICAO standard postoji nekolicina drugih ograničenja kojih se kontrolor mora pridržavati, ali uglavnom su ATC smjernice loše definirane [2].

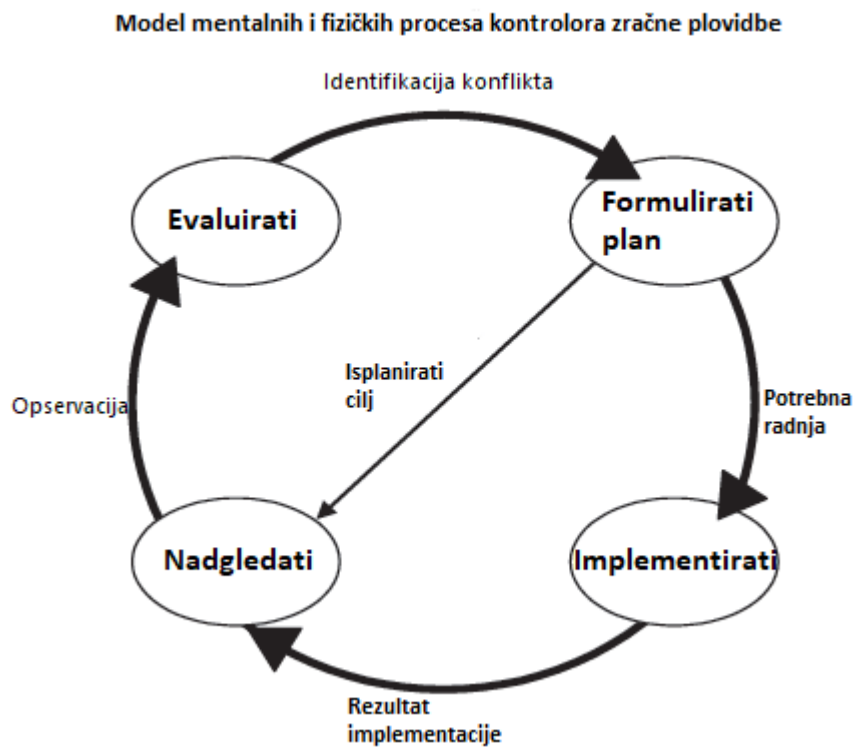
Način na koji pojedini kontrolor zračne plovidbe održava sigurnosni standard (1000 ft i 5 NM) ovisi o njemu samome. Kontrolor zračne plovidbe može utjecati na putanju zrakoplova, na visinu zrakoplova i na brzinu zrakoplova i time nastoji osigurati učinkovit i ekspeditivan zračni promet. Zbog drastičnog povećanja zračnog prometa sve se više pokušava povećati učinkovitost i ekspeditivnost zračnog prometa, tj. pokušava se propustiti sve veći broj zrakoplova kroz određeni prostor. Kao što je već navedeno, kontrolor zračnog prometa ima gotovo potpunu autonomiju glede načina na koji će postupiti sa zrakoplovom ako je zajamčena sigurnost, tj. propisani razmak. To znači da je prihvaćena bilo kakva uspješna strategija koja prati zahtjeve pružanja ATC usluge tako da je teško odrediti idealnu strategiju. S obzirom na da to ne postoje ujednačene smjernice o tome kako najbolje odrađivati posao kontrolora zračne plovidbe, i zato što svaki kontrolor radi na svoj način, iznimno je teško objektivno procijeniti kompleksnost nekog prometa s velikom točnošću [2].

Iako se ne može točno procijeniti kompleksnost nekog prometa, ona se može otprilike odrediti. Da bismo razumjeli mentalne i/ili fizičke procese kontrolora zračne plovidbe, a tako i kompleksnost zračnog prometa, moramo razumjeti neke zadatke koje odrađuje kontrolor, a to su: [5]

- održavanje situacijske svjesnosti
- razvijanje i revidiranje plana kontrole cijelog kontroliranog prostora
- rješavanje sukoba zrakoplova
- preusmjeravanje zrakoplova
- upravljanje dolaznim zrakoplovima
- upravljanje odlaznim zrakoplovima
- upravljanje preletima

- primanje primopredaje
- započinjanje primopredaje.

Shematska analiza zadaća kontrolora zračne plovidbe prikazana je na slici 2. Skica prikazuje četiri glavne vrste zadataka koje kontrolor zračne plovidbe odrađuje: evaluacija, formulacija plana, implementacija i nadgledanje. Iako se većina kognitivnih resursa kontrolora zračne plovidbe koristi u ostala tri zadatka, samo je implementacija mjerljiv zadatak [2].



**Slika 2.** Model mentalnih i fizičkih procesa kontrolora zračne plovidbe [6]

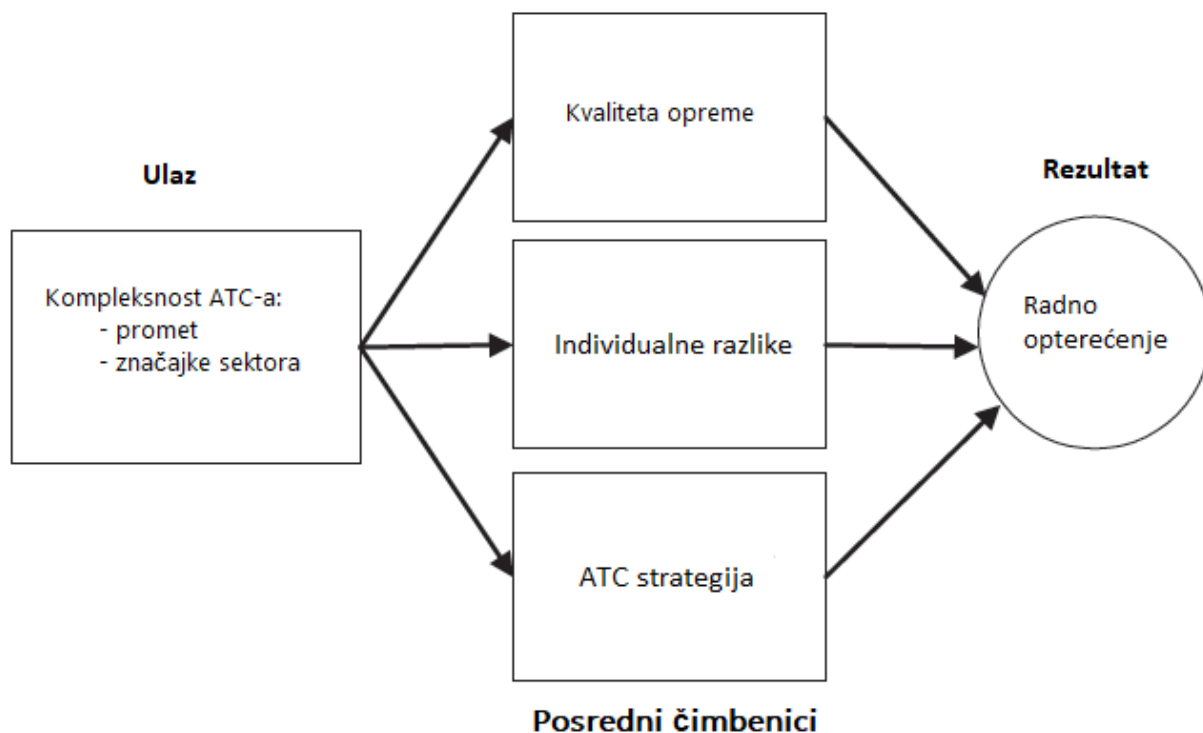
## **2.2. Radno opterećenje kontrolora zračne plovidbe**

Radno opterećenje ukupno je vrijeme potrebno za provedbu svih radnih zadataka koje odradi kontrolor zračne plovidbe te može biti fizičke ili mentalne prirode. Kontrolori zračne plovidbe najčešće doživljavaju radno opterećenje mentalne prirode. Čimbenici kao što su buka, vremenski pritisak, stres ili ikakva vrsta ometanja doprinosi „trošenju” kontrolora zračne plovidbe. Suprotno od toga čimbenici kao što su iskustvo, vještine i sposobnosti pojedinog kontrolora imaju značajnu mogućnost smanjenja radnog opterećenja [2].

### **2.2.1. Odnos radnog opterećenja i kompleksnosti**

Konsenzus između pružatelja usluga zračne plovidbe i istraživača jest u tome da kompleksnost pokreće radno opterećenje kontrolora zračne plovidbe, što u konačnici postaje ograničavajući čimbenik u kapacitetu sektora. Sektor u kontroli zračne plovidbe označava određeni prostor u zraku i/ili na zemlji u kojem je odgovoran samo jedan kontrolor zračne plovidbe. Kapacitet određenog sektora ovisi o brojnim varijablama kao što su horizontalne i vertikalne granice sektora, prepreke unutar sektora, broj zračnih puteva u sektoru, broj ulazno-izlaznih točaka unutar sektora, dogovori s drugim sektorima itd. [2]

Radi pojednostavljenja uzet će se da su sektor i promet kroz taj sektor identični. Ako u tom sektoru postavimo dva različita kontrolora zračne plovidbe, njihovo radno opterećenje neće biti jednako jer je to subjektivna reakcija na kompleksnost odrađenih zadataka. Kao što je prikazano na slici 3, kompleksnost nije jedini čimbenik koji utječe na radno opterećenje kontrolora zračne plovidbe. Osim o kompleksnosti radno opterećenje ovisi o kvaliteti opreme kojom se kontrolori zračne plovidbe koriste, o individualnim razlikama i o strategiji koju je kontrolor zračne plovidbe odlučio primijeniti [2].



**Slika 3.** Odnos kompleksnosti i radnog opterećenja kontrolora zračne plovidbe [7]

S obzirom na to da radno opterećenje ovisi o subjektivnim čimbenicima (o individualnim razlikama i strategiji koju je kontrolor zračne plovidbe odlučio primijeniti), precizna procjena radnog opterećenja nije moguća. Iako radno opterećenje ne ovisi samo o kompleksnosti, kompleksnost je i dalje najznačajniji čimbenik koji utječe na radno opterećenje. Povećanje kompleksnosti dovodi do povećanja radnog opterećenja, što u konačnici znači manji kapacitet sektora i obrnuto [2].

### 2.2.2. CAPAN metoda

Otvaranje novih sektora ili podjela zračnog prostora ključna je metoda kontrole radnog opterećenja kontrolora zračne plovidbe. Metoda analize kapaciteta (engl. *capacity analysis methodology* – CAPAN) najčešća je metoda koju primjenjuju europski pružatelji usluga kontrole zračne plovidbe (engl. *air navigation service provider* – ANSP). CAPAN metoda temelji se na određivanju radnog opterećenja kontrolora zračne plovidbe korištenjem

simulacija s ubrzanim vremenom. Svaka zadaća kontrolora zračne plovidbe ima prosječno vrijeme izvršavanja, a ukupno se vrijeme potrebno za izvršavanje svih zadaća u satu zbraja. Kategorije radnih zadaća u CAPAN metodi sljedeće su [8]:

- upravljanje podacima zrakoplova
- traženje konflikata
- koordinacija
- standardna frazeologija
- radarske zadaće.

**Tablica 1. Pragovi opterećenja u CAPAN metodi [8]**

Prag	Značenje	Vrijeme rada unutar 1 sata
70 % ili više	preopterećenje	42 minute +
54 % – 69 %	visoko opterećenje	32 – 41 minute
42 % – 53 %	srednje opterećenje	25 – 31 minute
18 % – 41 %	nisko opterećenje	11 – 24 minute
0 % – 17 %	vrlo nisko opterećenje	0 – 10 minuta

Radno opterećenje kontrolora zračne plovidbe u CAPAN metodi iskazano je u sekundama ili postotkom u satu. Kao što je prikazano u tablici 1, sektor je preopterećen ako je prag 70 % ili 42 minute i više. To se naziva prag jakog opterećenja kontrolora zračne plovidbe (engl. *heavy load threshold* – HLT) i nastoji ga se ne prelaziti. S obzirom na to da je uzeto prosječno vrijeme za izvršavanje radnih zadaća, taj prag uzima se kao smjernica i nije precizan [8].

### 3. NASA TLX

Za potrebe ovog istraživačkog rada provedeno je istraživanje u kojem se procjenjuje radno opterećenje ispitanika koji su završili osnovno osposobljavanje za kontrolora zračne plovidbe. Za procjenu radnog opterećenja ispitanika korišten je indeks opterećenja zadatka (engl. *task load index* – TLX) koji je razvila Američka nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir (engl. *National Aeronautic and Space Administration* – NASA). Široko primjenjivan, subjektivan, višedimenzionalni alat za procjenu koji ocjenjuje percipirano radno opterećenje radi procjene učinkovitosti zadataka, sustava, tima ili drugih aspekata naziva se NASA TLX. Upitnik NASA TLX ima dva dijela: totalno opterećenje i uspoređivanje pojmova [9].

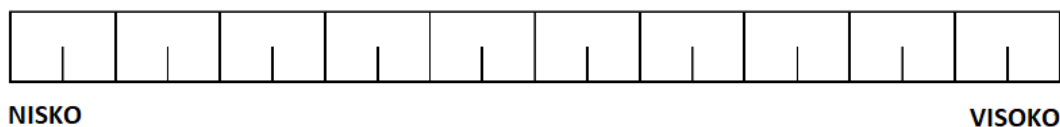
#### 3.1. Totalno opterećenje

Prvi dio upitnika naziva se totalno opterećenje. U tom dijelu, kao što je prikazano na slici 4, izrađeno je šest ljestvica i svaka ima 20 praznih mjesta. Svaka ljestvica ima pojam i objašnjenje pojma koji se ispituje [9]:

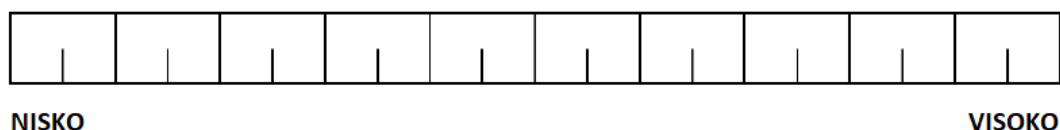
- **Mentalni zahtjev** (engl. *mental demand*). Koliko je mentalne i perceptivne aktivnosti bilo potrebno? Je li zadatak bio lagan ili zahtjevan, jednostavan ili složen?
- **Fizički zahtjev** (engl. *physical demand*). Koliko je fizičke aktivnosti bilo potrebno? Je li zadatak bio lagan ili zahtjevan, mlitav ili naporan?
- **Vremenski zahtjev** (engl. *temporal demand*). Koliki ste vremenski pritisak osjećali zbog tempa kojim su se zadatci ili elementi zadatka odvijali? Je li tempo bio spor ili brz?
- **Izvođenje** (engl. *performance*). Koliko ste bili uspješni u izvršenju zadatka? Kako ste bili zadovoljni svojom izvedbom?
- **Napor** (engl. *effort*). Koliko ste naporno morali raditi (mentalno i fizički) da biste postigli svoju razinu izvedbe?
- **Frustracija** (engl. *frustration*). Koliko ste se tijekom zadatka osjećali razdraženo, pod stresom i uzrujano u odnosu na zadovoljno, opušteno i samozadovoljno?

Ispitanik za svaku od ponuđenih ljestvica označava jedno mjesto na ljestvici ovisno o subjektivnom dojmu traženog pojma [9].

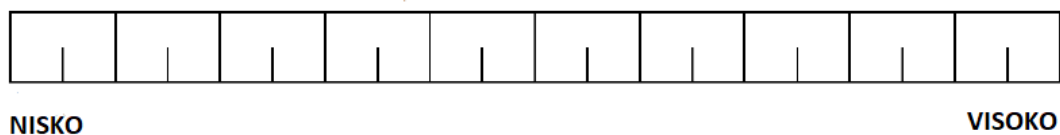
### MENTALNI ZAHTJEV



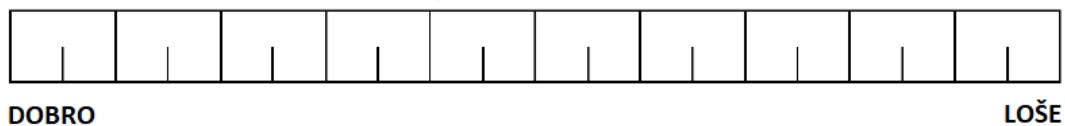
### FIZIČKI ZAHTJEV



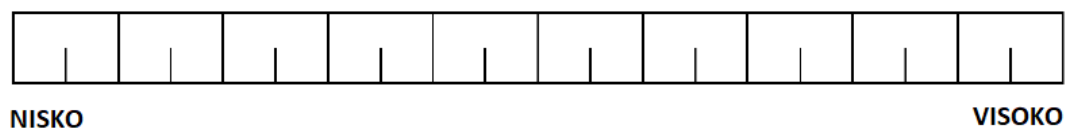
### VREMENSKI ZAHTJEV



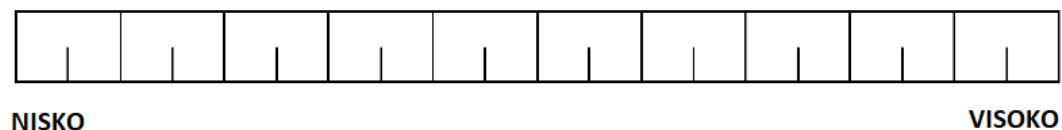
### IZVOĐENJE



### NAPOR



### FRUSTRACIJA



Slika 4. Prvi dio upitnika NASA TLX [9]



### 3.2. Uspoređivanje pojmova

Drugi dio upitnika, koji se naziva uspoređivanje pojmova, namjerava stvoriti pojedinačno ponderiranje pojmova iz prvog dijela upitnika. Ispitanicima se dopušta uspoređivanje parova pojmova na temelju njihove percipirane važnosti, kao što je prikazano na slici 5. Od ispitanika se zahtijeva da odaberu koji je od pojmova imao veći utjecaj na njihovo radno opterećenje tijekom izvođenja zadatka. Koliko je puta (broj) neki pojam bio odabiran uzima se u konačnom rezultatu [9].

NAPOR ili IZVOĐENJE	FIZIČKI ZAHTJEV ili VREMENSKI ZAHTJEV
VREMENSKI ZAHTJEV ili NAPOR	VREMENSKI ZAHTJEV ili MENTALNI ZAHTJEV
IZVOĐENJE ili FRUSTRACIJA	IZVOĐENJE ili MENTALNI ZAHTJEV
FIZIČKI ZAHTJEV ili NAPOR	MENTALNI ZAHTJEV ili NAPOR
FRUSTRACIJA ili NAPOR	MENTALNI ZAHTJEV ili FIZIČKI ZAHTJEV
IZVOĐENJE ili VREMENSKI ZAHTJEV	NAPOR ili FIZIČKI ZAHTJEV
VREMENSKI ZAHTJEV ili FRUSTRACIJA	FRUSTRACIJA ili MENTALNI ZAHTJEV
FIZIČKI ZAHTJEV ili FRUSTRACIJA	

Slika 5. Drugi dio upitnika NASA TLX [9]

### 3.3. Rezultat

Ovo će potpoglavlje opisati papirnatu/ručni način na koji ispitivači dobiju rezultate upitnika NASA TLX. Prvi dio upitnika sastoji se od šest ljestvica (jedna ljestvica za jedan pojam koji se ispituje) i svaka se ljestvica dijeli na 20 praznih mjesta. Ljestvica kreće od 0, označeno kao nisko (engl. *low*), sve do 100, označeno kao visoko (engl. *high*), a svako mjesto iznosi 5. Ako ispitanik zabilježi oznaku na crtu, uvijek se uzima veći broj. Sve su ljestvice iste osim za pojam izvođenje (engl. *performance*), za taj je pojam ljestvica obrnuta [9].

U drugom dijelu upitnika, kao što je navedeno u prethodnom potpoglavlju, ispitanik zaokružuje pojam koji je više pridonio subjektivnom radnom opterećenju zadatka. Drugi dio upitnika ima 15 parova (prikazano na slici 5) od kojih ispitanik zaokružuje samo jedan. Zbraja se koliko je puta (broj) neki pojam bio zaokružen i taj zbroj može biti 0 (pojam nije relevantan) sve do 5 (pojam je važniji od ikojeg drugog pojma) [9].

	Ocjena	Pojedinačni zbroj	Težina
Mentalni zahtjev			
Fizički zahtjev			
Vremenski zahtjev			
Izvođenje			
Napor			
Frustracija			

Ukupni rezultat

**Slika 6.** Tablica za NASA TLX ispitivače [9]

Ispitivač upisuje rezultate u tablicu kakva je prikazana na slici 6. Rezultati prvog dijela upitnika upisuju se u tablicu ocjena (engl. *rating*). Iz drugog dijela upitnika ispitivač upisuje pojedinačni zbroj (engl. *tally*) za svaki pojam i taj zbroj dijeli brojem 15. Dijeljenjem zbroja zaokruženog pojma s 15 ispitivač dobiva težinu (engl. *weight*) određenog pojma koji je ispitanik doživljavao izvodeći zadatak. Ukupni rezultat (engl. *overall score*), tj. ocjena radnog opterećenja dobiva se zbrajanjem umnoška ocjena s težinom za svaki pojam. Primjer jedne takve popunjene ispitivačke tablice prikazan je na slici 7 [9].

	Ocjena	Pojedinačni zbroj	Težina
Mentalni zahtjev	75	5	0,33333
Fizički zahtjev	30	1	0,06666
Vremenski zahtjev	60	4	0,26666
Izvođenje	35	2	0,13333
Napor	85	3	0,2
Frustracija	30	0	0

**Ukupni rezultat**

**64,667**

**Slika 7.** Ispunjena tablica za NASA TLX ispitivače [9]

## 4. Simulirani zračni prostor

Zbog podjele zračnog prostora unutar Republike Hrvatske oblasni kontrolori zračne plovidbe vrlo se rijetko susreću s prometom koji podliježe vizualnim pravilima leta (engl. *Visual Flight Rules* – VFR) jer VFR promet najčešće ne leti na visinama iznad 12 000 ft. Iz tog razloga, za potrebe ovog istraživanja, procjenjivao se utjecaj VFR prometa u prostoru prilazne kontrole (engl. *terminal control area* – TMA). Izrađene vježbe i samo istraživanje provedeno je u simuliranom prostoru Zagrebačke prilazne kontrole.

### 4.1. Klasa zračnog prostora

Svaki zračni prostor, pravi ili simulirani, ima svoju klasu. Klase zračnog prostora mogu biti podijeljene na kontrolirane (klase od A do E) i nekontrolirane (klasa F i klasa G). Tablica 2 prikazuje razlike između pojedinih klasa zračnog prostora [10].

Prostor prilazne kontrole najčešće se nalazi oko kontrolirane zone (engl. *control zone* – CTR). Kontrolirana zona kontrolirani je dio zračnog prostora, najčešće oko kontroliranog aerodroma, proteže se od zemlje (engl. *ground*) do određene visine, a služi za sigurno prometovanje dolaznih i odlaznih zrakoplova s aerodroma. U simuliranom zračnom prostoru TMA Zagreb (LDZA), koji je korišten za istraživanje, postoje CTR Zagreb i CTR Lučko (LDZL). Oba imaju visine granice od zemlje do 2500 ft i oba prostora imaju klasu prostora D. Tijekom provedenog istraživanja i jedan i drugi CTR imali su aktivnu kontrolu zračne plovidbe s kojima su ispitanici morali vršiti koordinaciju. Ispitanici su morali komunicirati i sa Zagrebačkim centrom za zrakoplovne informacije (engl. *Flight Information Centre* – FIC) jer u vježbama postoji VFR polijetanje s Varaždinskog letjelišta (LDVA) koje nema kontrolu zračne plovidbe. Prostor Zagrebačkog TMA ima visinske granice od 1000 ft iznad zemlje (engl. *height Above Ground Level* – AGL) do 20 500 ft te ima klasu zračnog prostora C.

**Tablica 2.** Klase zračnog prostora [11]

Klasa	Pravila leta	Razdvajanje	Pružena usluga	Ograničenje brzine ispod 3 050 m (10 000 ft) AMSL*	Mogućnost radiokomunikacije	Stalna dvosmjerna govorna komunikacija zrak-zemlja	Potrebno ATC odobrenje
A	Samo IFR	Svi zrakoplovi	ATC usluga	Nema	Da	Da	Da
B	IFR	Svi zrakoplovi	ATC usluga	Nema	Da	Da	Da
	VFR	Svi zrakoplovi	ATC usluga	Nema	Da	Da	Da
C	IFR	IFR od IFR IFR od VFR	ATC usluga	Nema	Da	Da	Da
	VFR	VFR od IFR	1. ATC usluga kod odvajanja od IFR 2. Informacije o drugim VFR letovima (te, na zahtjev, savjet o izbjegavanju)	250 kts	Da	Da	Da
D	IFR	IFR od IFR	1. ATC usluga kod odvajanja od IFR 2. Informacije o drugim VFR letovima (te, na zahtjev, savjet o izbjegavanju)	250 kts	Da	Da	Da
	VFR	Nema	Informacije o drugim letovima (te, na zahtjev, savjet o izbjegavanju)	250 kts	Da	Da	Da
E	IFR	IFR od IFR	ATC usluga kod odvajanja od IFR, te, koliko je moguće, informacije o drugim VFR letovima.	250 kts	Da	Da	Da
	VFR	Nema	Informacije o drugim letovima, koliko je moguće	250 kts	Ne	Ne	Ne
F	IFR	IFR od IFR koliko je moguće	Savjetodavna usluga, te, na zahtjev, usluga letnih informacija.	250 kts	Da	Ne	Ne
	VFR	Nema	Usluga letnih informacija, na zahtjev	250 kts	Ne	Ne	Ne
G	IFR	Nema	Usluga letnih informacija, na zahtjev	250 kts	Da	Ne	Ne
	VFR	Nema	Usluga letnih informacija, na zahtjev	250 kts	Ne	Ne	Ne

## 4.2. Navigacijske točke zračnog prostora

Na horizontalnoj granici TMA Zagreb te unutar prostora postoje točke koje zrakoplovi koriste u planovima leta i za navigaciju. Točke korištene tijekom istraživanja [12]:

- ARGOM (45°47'40"N, 015°25'39"E)
- ROLBA (45°50'25"N, 015°39'18"E)
- MAGAM (45°58'22"N, 015°42'11"E)
- PODET (46°10'17"N, 015°37'36"E)
- PETOV (46°18'35"N, 015°58'34"E)
- OBUTI (46°22'42"N, 016°16'27"E)
- KOPRY (46°14'25"N, 016°57'46"E)
- RASIN (46°05'25"N, 016°40'31"E)
- TEBLI (45°12'05"N, 016°40'33"E)
- RUDIČ (44°59'48"N, 016°18'18"E)
- NIVES (45°13'26"N, 015°54'27"E)
- KOTOR (45°26'28"N, 015°34'20"E).

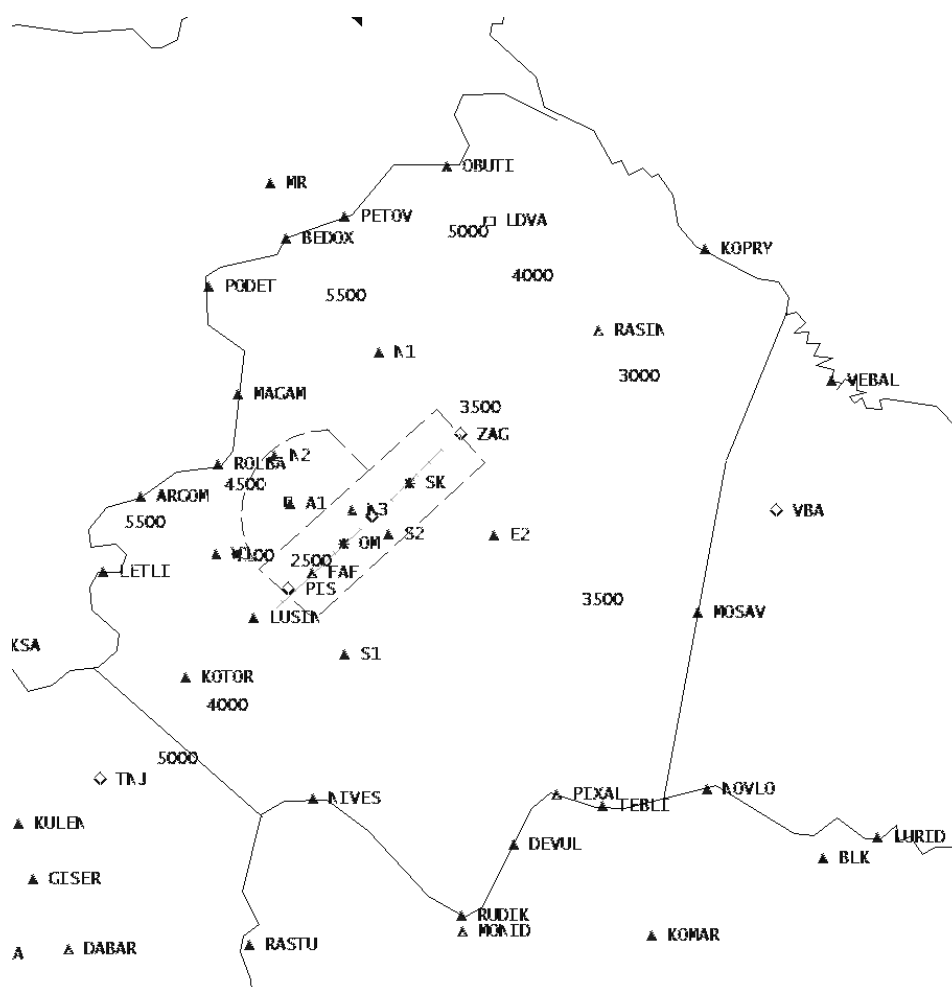
Također su korištene točke koje odgovaraju radionavigacijskom sredstvu neusmjerenog radiofara (engl. *Non-Directional Beacon* – NDB), opremi za mjerenje udaljenosti (engl. *Distance Measuring Equipment* – DME) i visokofrekventnom višesmjernom radiopredajniku (engl. *Very high frequency Omnidirectional Radio range* – VOR). Te su točke [12]:

- PIS (NDB: 45°36'18"N, 015°50'38"E)
- SK (Lokator: 45°48'20"N, 016°09'52"E)
- ZAG (VOR/DME: 45°53'44"N, 016°18'24"E)
- VBA (VOR/DME: 45°44'52"N, 017°08'48"E).

Uz prethodno navedene točke dodatno su korištene točke samo za vizualne procedure [12]:

- N1 (grad Zlatar Bistrica: 46°02'57"N, 016°05'04"E)
- N2 (grad Zaprešić: 45°51'22"N, 015°48'22"E)
- S1 (selo Pokupsko: 45°29'07"N, 015°59'31"E)
- S2 (jezero Čiče: 45°42'30"N, 016°06'34"E)
- E2 (Ivanić-Grad: 45°42'23"N, 016°23'37"E)
- W1 (grad Jastrebarsko: 45°40'19"N, 015°39'04"E).

Slika 8 prikazuje simulirani prostor TMA Zagreb u kojem se vide i jedan i drugi CTR te njihovi aerodromi, letjelište Varaždin, minimalne visine radarskog vektoriranja (engl. *Minimum Vectoring Altitude* – MRVA), horizontalne granice prostora (puna crna crta) i navigacijske točke.



Slika 8. Simulirani prostor TMA Zagreb

### 4.3. Simulatorsko okruženje

Istraživanje opisano u ovom znanstvenom radu provedeno je u sklopu Hrvatskog učilišnog središta za kontrolu zračnog prometa (HUSK) na Fakultetu prometnih znanosti. Simulator korišten tijekom istraživanja jest *Micronav* BEST simulator za radarsku kontrolu zračnog prometa koji je utemeljen na osobnim računalima. Organizacija HUSK posjeduje dvije pozicije na kojim je sučelje za kontrolora zračne plovidbe i dvije pozicije na kojima je pseudopilotsko sučelje. Spomenute pozicije, kao što je prikazano na slici 9, imaju pripadajuću opremu potrebnu za uspješno obavljanje posla kontrolora zračne plovidbe poput zaslona s dodirnikom (engl. *touch display*) na kojem je sučelje za radiokomunikaciju, periferije (miševi, tipkovnice i slušalice), dodatnog zaslona za upravljanje stripovima (engl. *flight progress strips*) i pripadajuće karte zračnog prostora Republike Hrvatske. Iako organizacija ima mogućnosti istovremenog provođenja dviju simulatorskih vježbi, zbog konzistentnosti rezultata u isto vrijeme provedena je samo jedna simulatorska vježba, a posao pseudopilota obavljala je samo jedna osoba. S obzirom na to da je pseudopilot tijekom svake opisane vježbe u ovom znanstvenom radu bio isti, taj je čimbenik zanemaren u analizi dobivenih podataka [13].



**Slika 9.** Pozicija kontrolora zračne plovidbe u HUSK-u [13]



## 5. Simulirani zračni promet

Zračni promet, simulirani ili pravi, dijeli se na zračni promet koji podliježe vizualnim pravilima leta ili instrumentalnim pravilima leta (engl. *Instrument Flight Rules – IFR*). VFR promet izvršava letačke operacije gledanjem terena izvan zrakoplova, dok IFR promet izvršava letačke operacije gledanjem u instrumente. Uz VFR i IFR planove leta postoje planovi leta *Yankee* i *Zulu*. Plan leta *Yankee* upućuje na to da zrakoplov polijeće kao IFR let, a tijekom leta mijenja se u VFR let. Plan leta *Zulu* upućuje na to da zrakoplov polijeće kao VFR let, a tijekom leta mijenja se u IFR let.

Zrakoplovi, osim što se mogu podijeliti na pravila leta, dijele se i prema ICAO kategoriji vrtložnih turbulencija (engl. *ICAO Wake Turbulence Category*) [14]:

- Lagani (engl. *Light – L*) zrakoplovi do 7000 kg ili manje
- Srednji (engl. *Medium – M*) zrakoplovi s više od 7000 kg, a manje od 136 000 kg
- Teški (engl. *Heavy – H*) zrakoplovi s više od 136 000 kg
- Super teški (engl. *Super – J*) zrakoplovi s 560 000 kg.

Zrakoplovi koji podliježu vizualnim pravilima letenja najčešće pripadaju Laganoj kategoriji vrtložne turbulencije.

### 5.1. Pripremne vježbe

Radi što bolje pripreme polaznika izrađene su dvije pripremne vježbe PREP1 i PREP2, koje su ispitanici rješavali uz pomoć Zagrebačkog kontrolora zračne plovidbe s valjanom instruktorskom dozvolom. Instruktor je prije, tijekom i nakon pripremnih vježbi davao savjete koje su polaznici kasnije uspjeli primijeniti u vježbama korištenim za istraživanje. U tablici 3 prikazani su planovi leta pripremnih vježbi. Pripremne vježbe sastavljene su nakon istraživačkih vježbi tako da se svi elementi iz istraživačkih vježbi prvo odrade u pripremnim vježbama. Prva pripremna vježba ima jedanaest zrakoplova od kojih su dva VFR leta, a ostatak su IFR letovi. Druga pripremna vježba ima trinaest zrakoplova od kojih su dva VFR leta, jedan plan leta *Zulu*, a ostatak su IFR letovi.

Tablica 3. Planovi leta vježbe PREP1 i vježbe PREP2

PREP1	POZIVNI ZNAK	TIP ZRAKOPLOVA	TIP LETA	VRJEME POČETKA	MJESTO POLIJETANJA	MJESTO SLIJETANJA	TRAŽENA VISINA	SSR	POČETNA POZICIJA	POČETNA VISINA	RTA
1	9ADDM	C172	VFR	00:00:15	LDZL	LDZL	A030	0001	LDZL	A010	W1 PIS ZAG
2	9AOFK	C172	VFR	00:03:00	LDZL	LDVA	A065	0002	LDZL	A010	N2 N1
3	AUA497	A320	IFR	00:08:00	LOWW	LDZA	A000	6656	4643.5782N01559.4562E	F170	PETOV PIS
4	BAW3467	B738	IFR	00:03:40	EGLL	LDZA	A000	4343	DOL	F140	ARGOM PIS
5	CTN22P	DHC8C	IFR	00:01:30	LDZD	LDZA	A000	6535	4452.4723N01510.4700E	F130	KULEN KOTOR PIS
6	EWG1210	B737	IFR	00:17:00	EDDN	LDZA	A000	5464	DOL	F140	ARGOM PIS
7	EZY231	A320	IFR	00:14:00	LDDU	LDZA	A000	3636	4457.3844N01709.7022E	F160	TEBLI PIS
8	KLM767C	B744	IFR	00:00:00	LDZA	EHAM	F360	6321	LDZA	A000	SK PODET KFT
9	QTR754Q	B744	IFR	00:16:00	OEKK	LDZA	A000	5575	4542.1468N01727.5906E	F160	VBA PIS
10	RYR303	B738	IFR	00:00:00	LDZA	HECA	F380	5563	LDZA	A000	SK NIVES SONIK
11	WZZ33G	B738	IFR	00:02:00	LHBP	LDZA	A000	5465	4621.5489N01715.7666W	F220	KOPRY PIS

PREP2	POZIVNI ZNAK	TIP ZRAKOPLOVA	TIP LETA	VRJEME POČETKA	MJESTO POLIJETANJA	MJESTO SLIJETANJA	TRAŽENA VISINA	SSR	POČETNA POZICIJA	POČETNA VISINA	RTA
1	EWG32N	A320	IFR	00:04:30	EDDF	LDZA	A000	4544	DOL	F140	ARGOM PIS
2	CTN2110	A320	IFR	00:01:40	LDDU	LDZA	A000	3321	4448.9697N01629.2125E	F130	RUDIK PIS
3	9AWGH	C172	Z	00:15:00	LDVA	LDOS	A060	0002	4619.9717N01620.4528E	A010	RASIN VBA CE
4	THY343	B738	IFR	00:00:00	LDZA	LTBA	F360	5656	LDZA	A000	SK TEBLI DOBOT
5	CTN998	A320	IFR	00:00:00	LDZA	LIRF	F330	6555	LDZA	A000	SK KOTOR KULEN NIKOL
6	BAW21NQ	A333	IFR	00:00:00	LDZA	EGLL	F380	1113	LDZA	A000	SK PODET KFT
7	9ABBQ	C172	VFR	00:00:15	LDZL	LDZL	A060	0003	LDZL	A010	N2 A1
8	9AOFK	C172	VFR	00:03:00	LDZL	LDRI	A065	0001	LDZL	A010	W1 TNJ RJK
9	WZZ500	B738	IFR	00:01:00	LHBP	LDZA	A000	5655	4626.3587N01720.6385E	F220	KOPRY PIS
10	QTR669	A380	IFR	00:12:15	LLBG	LDZA	A000	4676	4540.8411N01720.6385E	F160	VBA PIS
11	AUA767	DHC8C	IFR	00:02:00	LOWW	LDZA	A000	6231	4639.7886N01553.9832E	F170	PETOV PIS
12	IBE89	A320	IFR	00:22:00	LSZH	LDZA	A000	3121	4506.7536N01450.6436	F130	KULEN KOTOR PIS
13	RYR74	B738	IFR	00:18:00	LWSK	LDZA	A000	3673	4446.5442N01641.0000E	F130	RUDIK PIS

## 5.2. Vježba jedan

Izrađene su tri vježbe po kojim se provodilo istraživanje pod nazivima EXP1, EXP2 i EXP3. Prva vježba tijekom istraživanja, pod nazivom EXP1, sastoji se od miješanog IFR i VFR prometa. U toj vježbi ukupno je dvanaest zrakoplova od kojih su dva VFR plana leta, jedan plan leta *Zulu* i devet IFR planova leta. Tablica 4 prikazuje sve planove leta tijekom istraživanja.

U prvoj vježbi dvadeset pet posto zrakoplova mali su trenažni zrakoplovi koji podliježu vizualnim pravilima leta i svi imaju isti tip zrakoplova *Cessna 172 (C172)*. C172 pripada u Laganu kategoriju vrtložnih turbulencija te su tijekom vježbe ti zrakoplovi održavali brzinu od 100 kt u horizontalnom letu, a tijekom penjanja/spuštanja 80 kt. VFR zrakoplovi postavljeni su u vježbu svaki s točno određenom svrhom. Zrakoplov 9ADMB pojavljuje se iznad aerodroma Lučko i traži dva prilaza na Zagrebu radi treninga. Svrha tog zrakoplova jest upozoriti na poteškoću postavljanja VFR zrakoplova u sekvencu za prilaz zbog velike razlike u brzinama u odnosu na IFR zrakoplove. Tijekom istraživanja IFR zrakoplovi održavaju brzinu prilaza između 180 i 200 kt, što je razlika više od 100 kt u prilazu naspram VFR prometa. Zrakoplov 9ADDD pojavljuje se iznad aerodroma Lučko i traži odobrenje za penjanje do 7000 ft zbog izbacivanja padobranaca. Svrha ovog zrakoplova jest smetnja ostalom prometu koji dolaze sa sjeverne strane, a planiraju sletjeti na Zagreb. Zrakoplov 9AZAO pojavljuje se iznad aerodroma Varaždin, leti za aerodrom Osijek i planirao je taj let kao plan leta *Zulu*. Pseudopilot simulira da taj zrakoplov ima lošiju, tj. nesigurniju komunikaciju koja se vrlo često može čuti od trenažnih letova u stvarnom prometu. Takva nesigurnija komunikacija povećava frustraciju kontrolorima zračnog prometa, pogotovo ako ima dosta prometa.

Ostatak prometa, tj. sedamdeset pet posto prometa, čine IFR letovi. U prvoj vježbi dva su IFR odlazaka sa Zagreba i šest IFR dolazaka na Zagreb. Zrakoplov THY34 je IFR prelet koji su ispitanici trebali spuštati s 21 000 ft do 14 000 ft unutar prostora TMA Zagreb. Od tih devet IFR zrakoplova sedam je zrakoplova Srednje kategorije vrtložnih turbulencija, a dva su zrakoplova Teške kategorije vrtložnih turbulencija. Prva vježba ima četiri zrakoplova tipa *Airbus A320 (A320)*, dva zrakoplova *Boeing 737-800 (B738)*, dva zrakoplova *Boeing 747-400 (B744)* i jedan *De Havilland Canada Dash 8 (DHC8C)*.

**Tablica 4. Planovi leta vježbe EXP1**

EXP1	POZIVNI ZNAK	TIP ZRAKOPLOVA	TIP LETA	VRIJEME POČETKA	MJESTO POLIJETANJA	MJESTO SLIJETANJA	TRAŽENA VISINA	SSR	POČETNA POZICIJA	POČETNA VISINA	RUTA
1	9ADDD	C172	VFR	00:03:30	LDZL	LDZL	A070	0004	LDZL	A010	N2 A1 N2 A1
2	9ADMB	C172	VFR	00:00:05	LDZL	LDZL	A030	0001	LDZL	A010	W1 PIS ZAG
3	9AZAO	C172	Z	00:05:00	LDVA	LDOS	A060	0002	LDVA	A010	RASIN VBA CE
4	AUA668	DHC8C	IFR	00:00:00	LDZA	LOWW	F210	4333	LDZA	A000	SK OBUTI GRZ
5	BAW36R	A320	IFR	00:04:00	LDZD	LDZA	A000	4321	4509.7058N01435.4369E	F130	KULEN KOTOR PIS
6	CTN101	A320	IFR	00:00:00	LDZA	LIRF	F310	6567	LDZA	A000	SK KOTOR GISER
7	EWG89	B738	IFR	00:06:30	EHAM	LDZA	A000	6751	DOL	A140	DOL ARGOM PIS
8	KLM977	B744	IFR	00:12:00	EEDF	LDZA	A000	3233	4644.3354N01548.0057E	F170	PETOV PIS
9	LOT321	B738	IFR	00:12:00	LHBP	LDZA	A000	5454	4626.3032N01730.1478E	F220	KOPRY PIS
10	RZR55C	B744	IFR	00:10:00	LLBG	LDZA	A000	3214	4459.1201N01709.2876E	F170	TEBLI PIS
11	RZR7879	A320	IFR	00:00:00	LDZA	LDSP	F260	4443	LDZA	A000	SK NIVES UNIPA
12	THY34	A320	IFR	00:18:00	LZBA	LJLJ	A000	5554	4540.8825N01734.0161E	F210	VBA ROLBA DOL

### 5.3. Vježbe dva i tri

Druga i treća vježba, koje su provedene tijekom istraživanja, sastoje se isključivo od IFR prometa. Druga vježba, naziva EXP2, ima isti broj zrakoplova kao što ima i EXP1, ali su VFR zrakoplovi zamijenjeni istim brojem IFR zrakoplova. Da bi se održala ista količina kontrolorskog posla, IFR zrakoplovi koji mijenjaju VFR zrakoplove imaju ekvivalentnu svrhu VFR zrakoplovima. Zrakoplov CTN335 zamjenjuje 9ADMB tako da ispitanik mora postaviti taj zrakoplov negdje u sekvenciju u kojoj je bio zrakoplov 9ADMB iz vježbe EXP1. Zrakoplov DLH663 zamjenjuje padobranca 9ADDD jer nakon polijetanja skreće prema sjeveru i stvara isti konflikt kao što je stvarao 9ADDD u vježbi EXP1. Zadnja zamjena bio je zrakoplov WZZ554 koji zamjenjuje 9AZAO tako da ne stvara nikakav konflikt već samo komunicira s kontrolorom.

Svi ostali zrakoplovi isti su kao u vježbi EXP1. Vježba EXP2, kao što je prikazano u tablici 5, ima devet zrakoplova Srednje kategorije vrtložnih turbulencija i dva zrakoplova Teške kategorije vrtložnih turbulencija. Nadodana su dva tipa zrakoplova A320 i jedan tip B738. Druga vježba ima četiri IFR odlazaka sa Zagreba, sedam IFR dolazaka na Zagreb i jedan IFR prelet za aerodrom Ljubljana (LJLJ).

Trećom vježbom, naziva EXP3, pokušalo se postići povećanje radnog opterećenja tako da su se dodala dva IFR zrakoplova, što povećava ukupni broj zrakoplova na četrnaest. Vježba EXP3 identična je kao i EXP2, ali su nadodani zrakoplovi EWG66P i RAC0003. Zrakoplov EWG66P pojavljuje se u sredini vježbe, s destinacijom Zagreb, te su ga ispitanici morali postaviti u sekvencu za Zagreb. Zrakoplov RAC0003 prelet je koji se trebao spuštati s 15 000 ft do 11 000 ft unutar prostora TMA Zagreb te označava konflikt s ostalim preletom i odlascima sa Zagreba.

Vježba EXP3 ima jedanaest zrakoplova Srednje kategorije vrtložnih turbulencija i dva zrakoplova Teške kategorije vrtložnih turbulencija. Nadodan je jedan tip zrakoplova A320 i jedan tip ATR 72 (AT72). Treća vježba ima četiri IFR odlazaka sa Zagreba, osam IFR dolazaka na Zagreb, jedan IFR prelet za Ljubljanu i jedan IFR prelet za Banja Luku (LQBK).

**Tablica 5. Planovi leta vježbe EXP2 i vježbe EXP3**

EXP2	POZIVNI ZNAK	TIP ZRAKOPLOVA	TIP LETA	VRIJEME POČETKA	MJESTO POLIJETANJA	MJESTO SLIJETANJA	TRAŽENA VISINA	SSR	POČETNA POZICIJA	POČETNA VISINA	RTA
1	AUA668	DHC8C	IFR	00:00:00	LDZA	LOWW	F210	4333	LDZA	A000	SK OBUTI GRZ
2	BAW36R	A320	IFR	00:02:00	LDZD	LDZA	A000	4321	KULEN	F130	KULEN KOTOR PIS
3	CTN101	A320	IFR	00:00:00	LDZA	LIRF	F310	6567	LDZA	A000	SK KOTOR GISER
4	CTN335	A320	IFR	00:03:15	LWSK	LDZA	A000	3335	4503.4125N01704.2494E	F160	TEBLI PIS
5	DLH663	A320	IFR	00:00:00	LDZA	EDDF	A340	6636	LDZA	A000	SK PODET KFT
6	EWG89	B738	IFR	00:04:30	EGAM	LDZA	A000	6751	4602.7666N01500.8211E	F140	ARGOM PIS
7	KLM977	B744	IFR	00:10:00	EEDF	LDZA	A000	3233	4637.7517N01558.1071E	F170	PETOV PIS
8	LOT321	B738	IFR	00:11:00	LHBP	LDZA	A000	5454	4623.7893N01714.1605E	F220	KOPRY PIS
9	RYR55C	B744	IFR	00:12:00	LLBG	LDZA	A000	3214	4503.9324N01651.9347E	F170	TEBLI PIS
10	RYR7879	A320	IFR	00:00:00	LDZA	LDSP	F260	4443	LDZA	A000	SK NIVES UNIPA
11	THY34	A320	IFR	00:16:00	LTBA	LJLJ	A000	5554	4543.7174N01728.2398E	F210	VBA ROLBA DOL
12	WZZ554	B738	IFR	00:00:00	LDZA	LHBP	A320	5544	LDZA	A000	SK KOPRY SVR

EXP3	POZIVNI ZNAK	TIP ZRAKOPLOVA	TIP LETA	VRIJEME POČETKA	MJESTO POLIJETANJA	MJESTO SLIJETANJA	TRAŽENA VISINA	SSR	POČETNA POZICIJA	POČETNA VISINA	RTA
1	AUA668	DHC8C	IFR	00:00:00	LDZA	LOWW	F210	4333	LDZA	A000	SK OBUTI GRZ
2	BAW36R	A320	IFR	00:02:00	LDZD	LDZA	A000	4321	KULEN	F130	KULEN KOTOR PIS
3	CTN101	A320	IFR	00:00:00	LDZA	LIRF	F310	6567	LDZA	A000	SK KOTOR GISER
4	CTN335	A320	IFR	00:03:15	LWSK	LDZA	A000	3335	4503.4125N01704.2494E	F160	TEBLI PIS
5	DLH663	A320	IFR	00:00:00	LDZA	EDDF	A340	6636	LDZA	A000	SK PODET KFT
6	EWG89	B738	IFR	00:04:30	EGAM	LDZA	A000	6751	4602.7666N01500.8211E	F140	ARGOM PIS
7	KLM977	B744	IFR	00:10:00	EEDF	LDZA	A000	3233	4637.7517N01558.1071E	F170	PETOV PIS
8	LOT321	B738	IFR	00:11:00	LHBP	LDZA	A000	5454	4623.7893N01714.1605E	F220	KOPRY PIS
9	RYR55C	B744	IFR	00:12:00	LLBG	LDZA	A000	3214	4503.9324N01651.9347E	F170	TEBLI PIS
10	RYR7879	A320	IFR	00:00:00	LDZA	LDSP	F260	4443	LDZA	A000	SK NIVES UNIPA
11	THY34	A320	IFR	00:16:00	LTBA	LJLJ	A000	5554	4543.7174N01728.2398E	F210	VBA ROLBA DOL
12	WZZ554	B738	IFR	00:00:00	LDZA	LHBP	A320	5544	LDZA	A000	SK KOPRY SVR
13	RAC0003	AT72	IFR	00:14:00	LDBP	LQBK	A000	1112	4621.1442N01707.5080E	F150	KOPRY TEBLI KOMAR
14	EWG66P	A320	IFR	00:18:00	EHAM	LDZA	A000	1115	4623.5471N01600.7781E	F170	PETOV PIS

## 6. Analiza podataka

Cjelokupno istraživanje provedeno je unutar pet vježbi te je ukupno bilo devet ispitanika. Svi ispitanici završili su osnovno osposobljavanje za kontrolora zračne plovidbe. Prve dvije vježbe (PREP1 i PREP2) nisu dio istraživanja nego su služile ispitanicima kao priprema za istraživanje. Kako bi se ispitanici što bolje pripremili, dvije pripremne vježbe odrađene su uz nadzor zagrebačkog prilaznog kontrolora zračne plovidbe koji posjeduje valjanu instruktorsku dozvolu. Prije, tijekom i poslije tih vježbi instruktor je ispitanicima davao naputke koje su oni primjenjivali tijekom istraživačkih vježbi. Ostale tri simulatorske vježbe, za koje su ispitanici bili dužni riješiti upitnik NASA TLX i iz kojih se uzimaju podatci, provedene su samostalno bez pomoći instruktora.

### 6.1. Dobiveni podatci

Nakon istraživačkih vježbi (EXP1, EXP2 i EXP3) ispitanici su ispunjavali upitnik NASA TLX te su usmeno prenosili razmišljanja i kritike o tome kako je bila odrađena vježba i što su mogli bolje odraditi. Razmišljanja i kritike, nakon odrađene vježbe EXP1, uglavnom su bili vezani uz VFR promet. Često ponavljani komentari bili su:

- zagušenje frekvencije zbog dugačke VFR komunikacije
- brzina kretanja VFR prometa znatno otežava vježbu
- velika disperzija pažnje zbog IFR dolazaka i odlazaka kojima je VFR promet potencijalni konflikt
- rad s VFR prometom vrlo nepredvidljiv zbog brojnih zahtjeva
- velika frustracija izazvana čestom komunikacijom, kontinuiranim zahtjevima i nesigurnošću na frekvenciji.

Pri završetku istraživanja pregledani su rezultati upitnika te su izrađene tablice i grafikoni iz kojih su se donosili zaključci. U poglavlju Dodatak od priloga 1 do priloga 18 prikazane su tablice pripremnih i ispitivačkih vježbi zasebno za svakog ispitanika. Tablica 6 prikazuje prosječne rezultate upitnika NASA TLX za vježbe EXP1, EXP2 i EXP3.

**Tablica 6.** Prosječni NASA TLX rezultati ispitivanih vježbi

<b>EXP1 prosječno</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	62.22222	3.888888889	0.25925926
Fizički zahtjev	37.77778	0.111111111	0.00740741
Vremenski zahtjev	52.77778	2.888888889	0.19259259
Izvođenje	36.11111	3.222222222	0.21481481
Napor	65	2.666666667	0.17777778
Frustracija	60.55556	2.222222222	0.14814815
<b>55.33333333</b>			

<b>EXP2 prosječno</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	53.88889	4.333333333	0.288888889
Fizički zahtjev	28.33333	0.444444444	0.02962963
Vremenski zahtjev	43.33333	2.666666667	0.177777778
Izvođenje	35	3.555555556	0.237037037
Napor	50	2.777777778	0.185185185
Frustracija	38.88889	1.222222222	0.081481481
<b>46.07407407</b>			

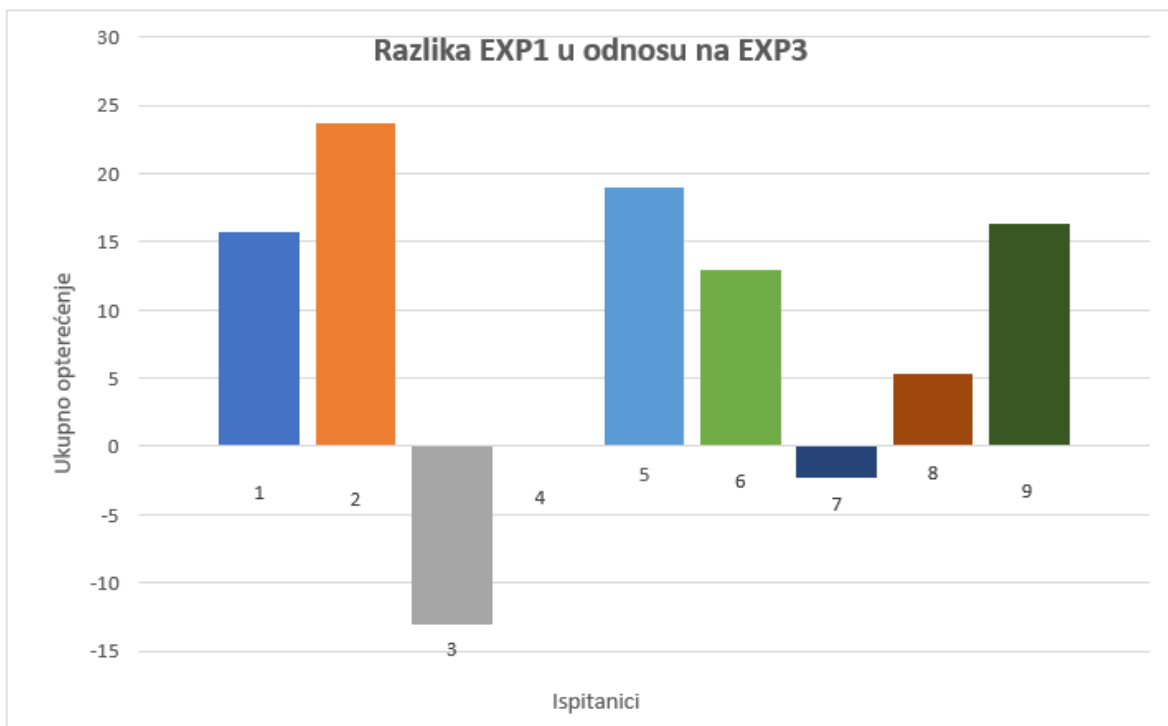
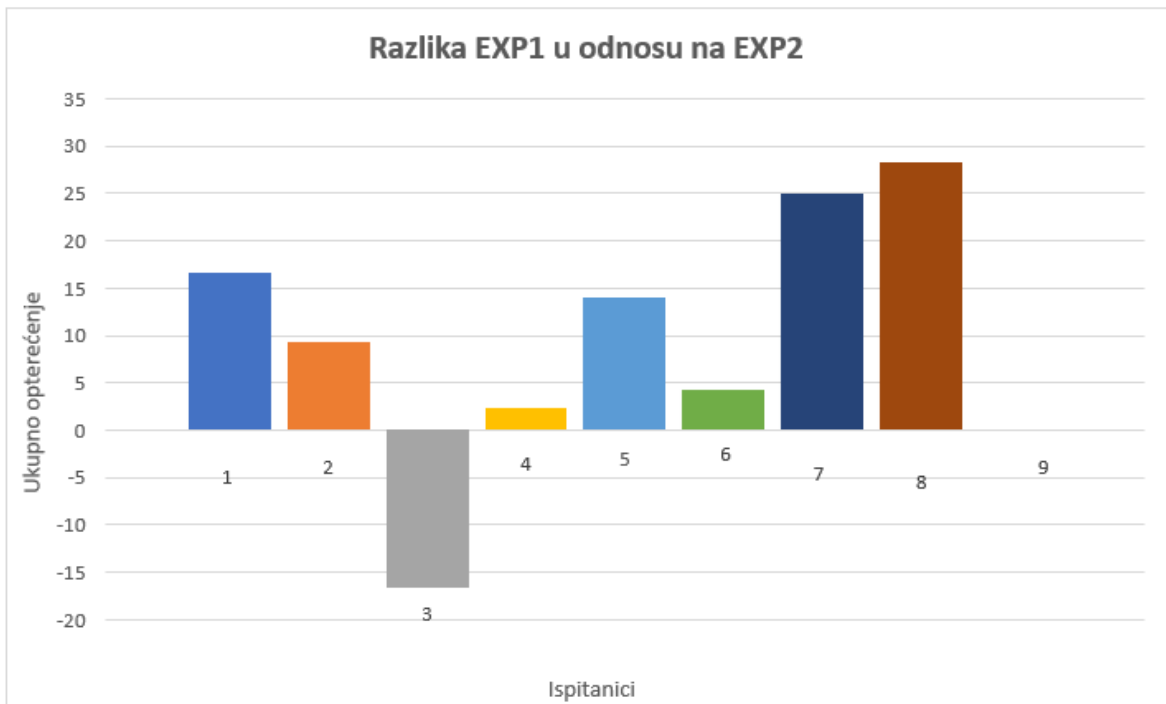
<b>EXP3 prosječno</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	53.33333	3.888888889	0.259259259
Fizički zahtjev	25	0.333333333	0.022222222
Vremenski zahtjev	46.11111	3.444444444	0.22962963
Izvođenje	39.44444	3.777777778	0.251851852
Napor	51.66667	2.333333333	0.155555556
Frustracija	27.77778	1.222222222	0.081481481
<b>46.7037037</b>			



Iz tablice 6 može se primijetiti da je prosječna razlika u ocjeni napora veća za 15 u vježbi EXP1 nego što je u vježbi EXP2. Uz ocjenu napora može se primijetiti velika razlika u ocjeni frustracije koja je prosječno veća za 21,667 u prvoj vježbi nego u drugoj. Ta dva podatka upućuju na to da su ispitanici ulagali više truda u vježbu EXP1 te da im je frustracija odrađivanja vježbe EXP1 bila veća u odnosu na vježbu EXP2. To je dodatno potvrđeno u komentarima koje su ispitanici usmeno prenosili nakon odrađene prve istraživačke vježbe.

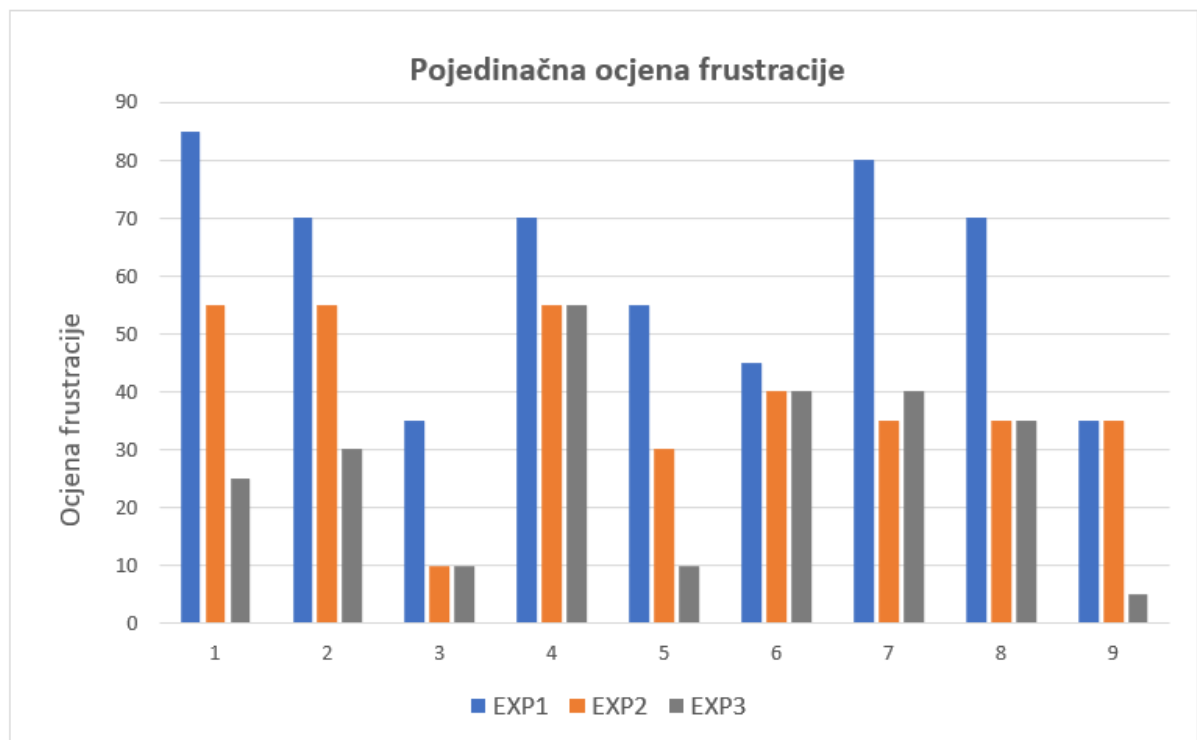
Ako se usporede podatci vježbe EXP1 i vježbe EXP3, razlika u ocjeni napora smanjena je na 13,3334. Iz toga se može zaključiti da je ispitanicima vježba EXP3 bila napornija od vježbe EXP2 zbog povećane gustoće prometa. Ako se usporedi ocjena frustracije iz vježbe EXP1 s vježbom EXP3, razlika se povećala na 32,778, što upućuje na to da su ispitanici bili manje frustrirani vježbom EXP3 nego vježbom EXP2. Svi prosječni podatci razlike EXP1 na EXP2 i EXP3 prikazani su u prilogu 22 i prilogu 23.

Slika 10 prikazuje grafikon razlike ukupnog opterećenja vježbe EXP2 i vježbe EXP3 u odnosu na vježbu EXP1 za svakog kandidata posebno. Negativan graf pokazuje da je ukupno opterećenje vježbe EXP2/EXP3 bilo veće nego ukupno opterećenje prve vježbe. Ako nema grafa, tj. graf ima vrijednost 0, to upućuje na to da je ukupno opterećenje vježbe EXP2/EXP3 bilo jednako kao ukupno opterećenje vježbe EXP1. Razlika u prosječnom ukupnom opterećenju između vježbe EXP1 i vježbe EXP2 jest **9,2594**, a razlika u prosječnom ukupnom opterećenju između vježbe EXP1 i vježbe EXP3 jest **8,6296**. Graf prosječne ukupne razlike opterećenja između ispitivačkih vježbi može se iščitati iz grafa u prilogu 21. Prilog 19 u poglavlju Dodatak prikazuje grafikon ukupnog opterećenja vježbe EXP2 i u odnosu na EXP3.



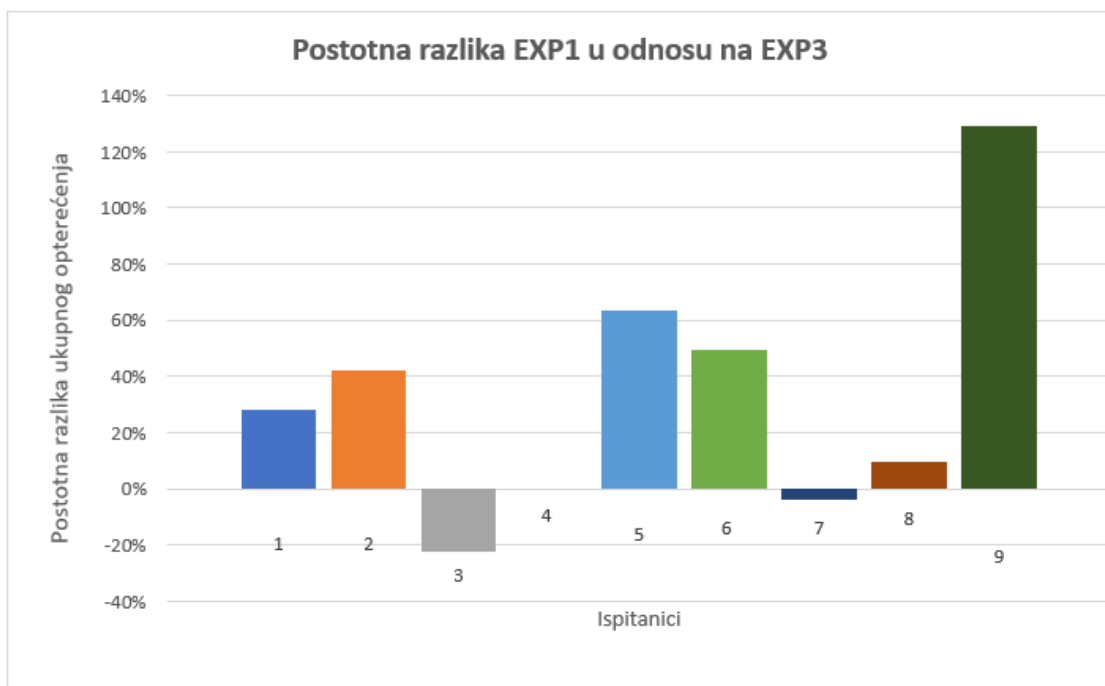
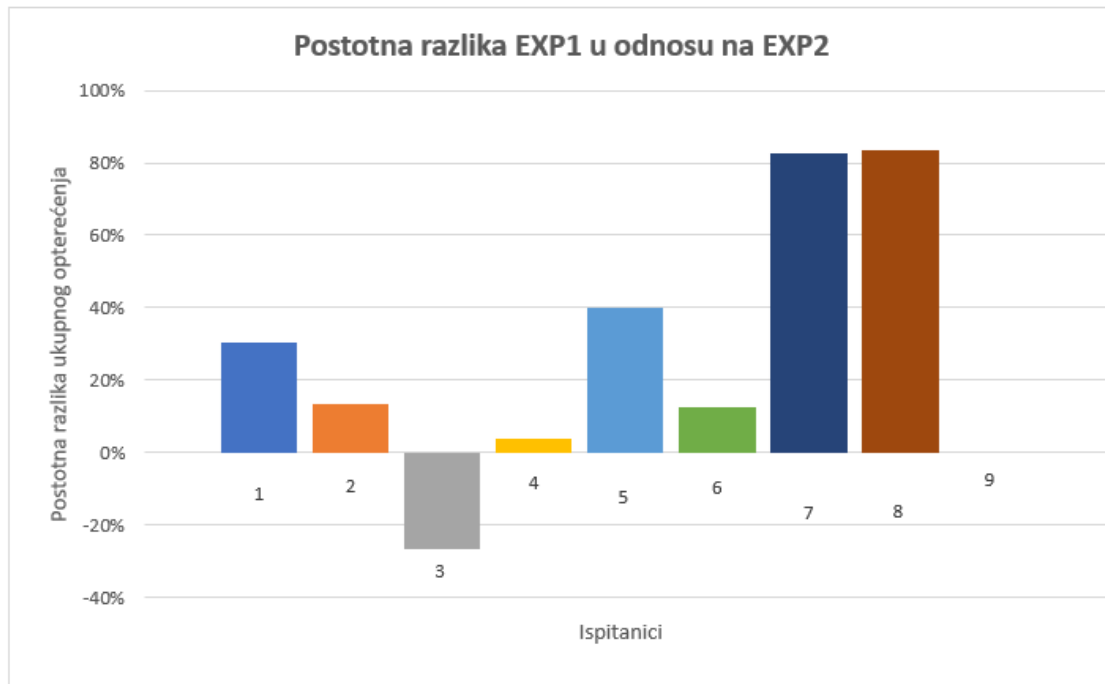
**Slika 10.** Grafikon individualnih razlika ukupnog opterećenja

Slika 11 prikazuje grafikon pojedinačne ocjene frustracije za svakog kandidata i za svaku vježbu. Ocjena frustracije za vježbu EXP1 prikazana je plavom bojom, za vježbu EXP2 prikazana je narančastom bojom te za vježbu EXP3 tamnosivom. Vidi se na grafikonu da je ocjena frustracije bila veća kod svakog ispitanika osim kod ispitanika broj devet. Prosječna ocjena frustracije za vježbu EXP1 jest 60,5556, za vježbu EXP2 je 38,8889 i za vježbu EXP3 je 27,7778. Kao što je objašnjeno u prethodnom poglavlju, vježba EXP1 i vježba EXP2 identične su u svakom pogledu osim što su u vježbi EXP1 bili prisutni VFR zrakoplovi. To znači da VFR zrakoplovi imaju značajan utjecaj na subjektivni doživljaj frustracije kontrolora zračne plovidbe.



**Slika 11.** Grafikon pojedinačne ocjene frustracije

Slika 12 prikazuje grafikon individualnih postotnih razlika ukupnog opterećenja. Ako je graf pozitivan, to znači da je vježba EXP1 imala ukupno opterećenje veće od vježbe EXP2 i vježbe EXP3. Kao što je već navedeno, vježba EXP1 ima veće prosječno ukupno opterećenje od vježbe EXP2 i vježbe EXP3. Prosječna postotna razlika ukupnog opterećenja jest 33% kada se gleda razlika između EXP1 i EXP2, a 16% ako gledamo prosječnu postotnu razliku ukupnog opterećenja između vježbe EXP1 i EXP2. Drugim riječima, ispitanici su u prosjeku subjektivno doživljavali da je vježba EXP1 teža za 33% od vježbe EXP2 i 16% od vježbe EXP3. Glavna razlika u vježbi EXP1 u odnosu na ostale bila je prisutnost VFR prometa. S obzirom na to da su vježbe EXP1 i EXP2 identične, osim što vježba EXP1 ima VFR promet, nameće se zaključak da VFR promet može otežati rad kontrolora zračne plovidbe za više od 30%. Prilog 20 prikazuje grafikon postotne razlike ukupnog opterećenja vježbe EXP2 i u odnosu na EXP3.



**Slika 12.** Grafikon postotnih individualnih razlika ukupnog opterećenja

## 6.2. Studentova t distribucija

Kako bi se statistički utvrdila značajnost VFR prometa i koliko ona iznosi, koristio se neovisni t-test s dva uzorka. Uzorci su izvučeni iz vježbe EXP1 (koja ima i IFR i VFR promet) i iz vježbe EXP2 (koja ima samo IFR promet). Prije početka izračuna t-testa, moraju se odrediti nul ili početna hipoteza i alternativna hipoteza. U dolje raspisanom izračunu nul-hipoteza je definirana da je radno opterećenje jednako između dva pravila leta (IFR prometa i VFR prometa), a alternativna hipoteza je da je radno opterećenje veće uz prisutnost VFR prometa. S obzirom na dvije skupine podataka (VFR i IFR), ovaj test je primjenjiv samo kada:

- su dvije veličine uzorka jednake (broj ispitanika)
- može se pretpostaviti da dvije distribucije imaju istu ili sličnu varijancu.

Testna statistika za testiranje se računa na sljedeći način [15]:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s_p \sqrt{\frac{2}{n}}} \quad (1)$$

i ona slijedi Studentovu t distribuciju s  $2n - 2$  stupnjeva slobode pod pretpostavkom da je nul-hipoteza istinita, gdje je  $\bar{X}_1$  prosječno opterećenje iz vježbe EXP1 za svih devet ispitanika, a  $\bar{X}_2$  prosječno opterećenje iz vježbe EXP2 za svih devet ispitanika,  $n$  je broj ispitanika i  $s_p$  je standardno odstupanje izračunato prema formuli [15]:

$$s_p = \sqrt{\frac{s_{X_1}^2 + s_{X_2}^2}{2}} \quad (2)$$

$s_{X_1}^2$  - standardna varijanca vježbe EXP1

$s_{X_2}^2$  - standardna varijanca vježbe EXP2

Da bi se dobila standardna varijanca za obadvije vježbe, koristi se sljedeća formula [15]:

$$s^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{(n - 1)} \quad (3)$$

Ispod je prikazan postupak dobivanja t-testa koristeći se gore navedenim formulama i podacima dobivenih iz istraživanja koji se mogu iščitati iz priloga 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 i 18.

$$\bar{X}_1 = \frac{71,333 + 79,666 + 45,666 + 66,333 + 49 + 39,333 + 55,333 + 62,333 + 29}{9} = 55,333$$

$$\bar{X}_2 = \frac{54,666 + 70,333 + 62,333 + 64 + 35 + 35 + 30,333 + 34 + 29}{9} = 46,074$$

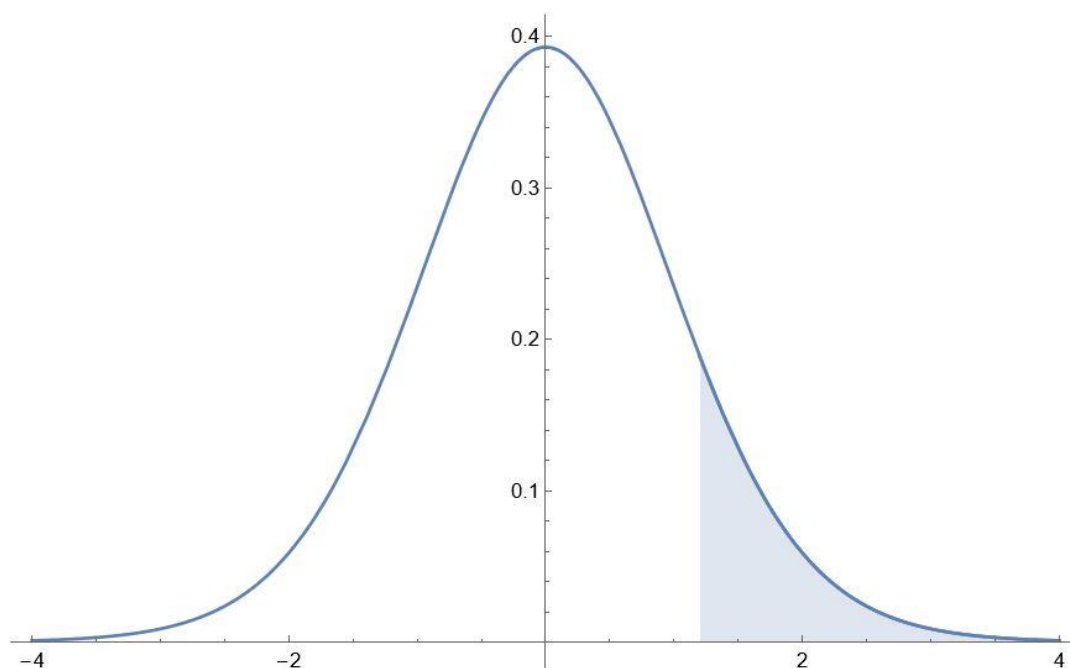
$$s_{\bar{X}_1}^2 = \frac{(71,333 - 55,333)^2 + (79,666 - 55,333)^2 + \dots + (29 - 55,333)^2}{9 - 1} = 262,639$$

$$s_{\bar{X}_2}^2 = \frac{(54,666 - 46,074)^2 + (70,333 - 46,074)^2 + \dots + (29 - 46,074)^2}{9 - 1} = 272,299$$

$$s_p = \sqrt{\frac{262,639 + 272,299}{2}} = 16,354$$

$$t = \frac{55,333 - 46,074}{16,354 \sqrt{\frac{2}{9}}} = 1,201$$

Nakon što je izračunata vrijednost testne statistike  $t$ , ubacivanjem u kalkulator t-test dobivamo vjerojatnost od 12,36% da odbacimo nul-hipotezu kada je ona istinita. Ako želimo povećati snagu testa trebalo bi sagledati veći broj uzoraka jer sva značajnost preko 10% se smatra velikom da se odbaci nul-hipoteza. Slika 10. prikazuje graf Studentove t distribucije sa šesnaest stupnjeva slobode. Plavo osjenčani dio ispod grafa prikazuje nam značajnost od 12,36%.



**Slika 10.** Graf Studentove t distribucije s označenom značajnosti odbacivanja nul-hipoteze prvog testa

Osim toga načinjen je t-test pomoću istog postupka za vježbe EXP2 i EXP3. Nul-hipoteza tog izračuna jest ta da je radno opterećenje jednako kada se poveća broj zrakoplova s istim pravilima letenja (IFR u ovom slučaju).

$$\bar{X}_3 = \frac{55,666 + 56 + 58,666 + 66,333 + 30 + 26,333 + 57,666 + 57 + 12,666}{9} = 46,703$$

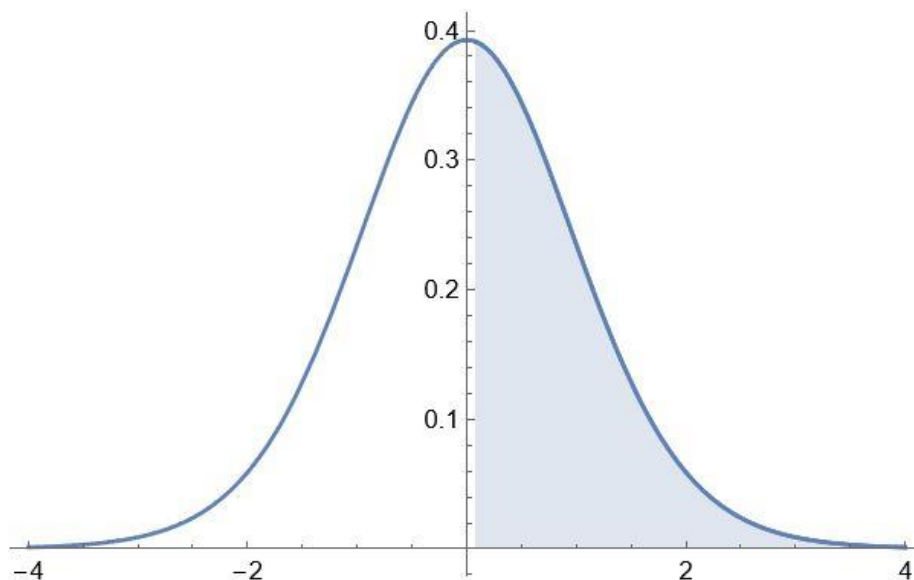


$$s_{X_3}^2 = \frac{(55,666 - 46,703)^2 + (56 - 46,703)^2 + \dots + (12,666 - 46,703)^2}{9 - 1} = 346,735$$

$$s_p = \sqrt{\frac{272,299 + 346,735}{2}} = 17,593$$

$$t = \frac{46,703 - 46,074}{17,593 \sqrt{\frac{2}{9}}} = 0,076$$

Nova vrijednost testne statistike  $t$ , nam daje vjerojatnost od 47,02% da odbacimo nul-hipotezu kada je ona istinita. Jasno je da ovako velika značajnost odbacuje alternativnu hipotezu te da bi je mogli potvrditi trebat će prikupiti i analizirati veći uzorak ispitanika i vježbi s većim brojem zrakoplova. Iako dva zrakoplova brojčano ne čine veliku razliku, kada je prometna situacija kompleksna samo po sebi i jedan zrakoplov može značajno doprinijeti potvrđivanju alternativne hipoteze. Slika 11. prikazuje graf Studentove  $t$  distribucije sa šesnaest stupnjeva slobode. Plavo osjenčani dio ispod grafa prikazuje značajnost od 47,02%



**Slika 11.** Graf Studentove  $t$  distribucije s označenom značajnosti odbacivanja nul-hipoteze drugog testa

## 7. Zaključak

Radno opterećenje kontrolora zračne plovidbe vjerojatno će ostati najveće funkcionalno ograničenje kapaciteta u sustavu upravljanja zračnim prostorom, stoga se moraju izraditi procedure koje će zajamčiti sigurnu razinu radnog opterećenja. U istraživanju, koje je provedeno za potrebe istraživačkog rada, sudjelovalo je devet ispitanika od kojih je svatko napravio dvije pripremne vježbe i tri istraživačke vježbe u simuliranom zračnom prostoru Zagrebačke prilazne kontrolore. Sve provedene vježbe izvedene su originalno i isključivo u svrhu istraživanja te su trebale reprezentirati promet s kojim se svakodnevno susreću prilazni kontrolori zračne plovidbe. Pripremne vježbe služile su tomu da se ispitanici što bolje, uz pomoć instruktora kontrole zračne plovidbe, pripreme za vježbe korištene u svrhu istraživanja. Od tri istraživačke vježbe, prva je vježba bila osmišljena kao mješavina IFR i VFR prometa, dok su druga i treća istraživačka vježba bile napravljene isključivo s IFR prometom.

Putem upitnika NASA TLX prikupljeni su subjektivni podatci od svakog ispitanika koji su korišteni kao podloga za statističku obradu podataka i donošenje zaključaka. Pomoću Studentove  $t$  distribucije dobiveno je da VFR promet povećava radno opterećenje kontrolora zračne plovidbe u 87,64% slučajeva. Značajnost da se odbaci nul-hipoteza u tom slučaju iznosi 12,36% što nažalost ne potvrđuje alternativnu hipotezu. Da bi s velikom razinom sigurnosti mogli potvrditi alternativni hipotezu, a to je da VFR promet povećava radno opterećenja kontrolora zračnog prometa, potrebno je provesti veći broj uzoraka kroz iste eksperimente. Na isti način provjerilo se da li za ista pravila letenja (IFR) povećan broj zrakoplova utječe na radno opterećenje i značajnost u tom slučaju je iznosila 47,02%. Iako dva zrakoplova brojčano ne čine veliku razliku, kada je prometna situacija kompleksna samo po sebi, intuitivno, i jedan zrakoplov može značajno doprinijeti potvrđivanju alternativne hipoteze. Iz toga se da zaključiti da dodana dva zrakoplova nisu utjecala na samu kompleksnost zračnog prometa, a time i na radno opterećenje. Isto kao i u prethodnom slučaju, za bolju kvantifikaciju alternativne hipoteze potreban je veći statistički uzorak. Intuitivno se nameće zaključak da bi kombinacija VFR i IFR prometa trebala povećavati radno opterećenje te da bi za takve slučajeve u praksi trebalo naći adekvatno rješenje po pitanju smanjenja radnog opterećenja kontrolora zračne plovidbe. Kroz daljnja istraživanja planira se detaljnije utvrditi utjecaj VFR prometa na radno opterećenje kontrolora zračne plovidbe i moguća rješenja smanjenja istog.

## ***Zahvala***

Zahvaljujem instruktorigi, kontrolorki leta, Skaniji Lukar koja je moju ideju za istraživanjem upotpunila i omogućila mi praćenje školovanja prilaznih kontrolora zračne plovidbe. To dobiveno znanje i njen golem trud razlog su postojanja ovog istraživačkog rada s ovom temom. Zahvaljujem instrukturu, kontroloru leta, Aleksandru Jaziću koji je nadgledao svaku izrađenu vježbu te mentorirao ispitanike kako bi ovo istraživanje imalo što bolje rezultate. Zahvaljujem svim ispitanicima koji su dobrovoljno prisustvovali istraživanju te dolazili u kasnim satima kada je to bilo potrebno. Zahvaljujem organizaciji HUSK koja mi je ustupila na korištenje simulator za potrebe istraživanja. Zahvaljujem asistentici Tei Rogošić koja me naučila tehničkom dijelu izrade simulatorskih vježbi te je tijekom cijelog istraživanja uvijek bila dostupna za savjete ili tehničku pomoć. Zahvaljujem svima koji su mi pomogli pri izradi ovog rada svojim savjetima, preporukama i što su uvijek bili pružiti podršku. Posebnu zahvalu zaslužuje moj mentor dr. sc. Bruno Antulov-Fantulin koji je bio prisutan u svakoj odluci te me savjetovao u svemu što je bilo potrebno – od osmišljavanja teme sve do kraja pisanja ovog rada.

Velika hvala svima!

## Popis literature

- [1] EUROCONTROL, »EUROCONTROL - Forecast update 2022-2028,« [Mrežno]. Available: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2022-10/eurocontrol-seven-year-forecast-2022-2028-october-2022.pdf>.
- [2] B. Hilburn, »EUROCONTROL,« 3. 2004.. [Mrežno]. Available: [https://www.eurocontrol.int/archive\\_download/all/node/9861](https://www.eurocontrol.int/archive_download/all/node/9861).
- [3] P. Cilliers, »Complexity & Postmodernism,« [Mrežno]. Available: <https://uberty.org/wp-content/uploads/2015/04/Paul-Cilliers-Complexity-and-Postmodernism-Understanding-Complex-Systems-1998.pdf>.
- [4] R. S. R. K. R. K. Barry Kirwan, »Investigating complexity factors in UK Air Traffic Management,« [Mrežno]. Available: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315094472-22/investigating-complexity-factors-uk-air-traffic-management-barry-kirwan-richard-scaife-richard-kennedy-richard-kennedy>.
- [5] T. L. Seamster, »Cognitive Task Analysis of Expertise in Air Traffic Control,« 1993.
- [6] W. S. Pawlak, »A framework for the evaluation of air traffic control complexity,« 1996.
- [7] R. H. Mogford, »The complexity construct in air traffic control,« 1995.
- [8] B. Juričić, »Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa\_Autorizirana predavanja,« 2021..
- [9] NASA, »NASA Task Load Index (TLX),« [Mrežno]. Available: [https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/TLX\\_pappen\\_manual.pdf](https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/TLX_pappen_manual.pdf).
- [10] »Classification of Airspace,« SKYbrary, [Mrežno]. Available: <https://www.skybrary.aero/articles/classification-airspace>.
- [11] »ANNEX: Rules of the Air SECTION 6 Airspace Classification,« EASA, [Mrežno]. Available: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/online-publications/easy-access-rules-standardised-european?page=13>.
- [12] C. Control, »Republic of Croatia Aeronautical Information Publication,« [Mrežno]. Available: <https://www.crocontrol.hr/UserDocsImages/AIS%20produkti/eAIP/2022-11-03-AIRAC/html/index-en-HR.html>.
- [13] F. p. znanosti, »Katalog laboratorijske opreme,« 2021.. [Mrežno].

[14] »ICAO wake turbulence category,« SKYbrary, [Mrežno]. Available:  
<https://www.skybrary.aero/articles/icao-wake-turbulence-category>.

[15] »Students t-test,« [Mrežno]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Student%27s\\_t-test#Equal\\_sample\\_sizes\\_and\\_variance](https://en.wikipedia.org/wiki/Student%27s_t-test#Equal_sample_sizes_and_variance).

## Sažetak

**Autor:** Antonio Živko, univ. bacc. ing. aeronaut.

**Naslov rada:** Procjena utjecaja pravila vizualnog letenja na radno opterećenje kontrolora zračne plovidbe: Istraživanje NASA TLX upitnikom

Radno opterećenje kontrolora zračne plovidbe postaje sve veći inhibirajući čimbenik u zračnom prometu. Sigurnost je prioritet u pružanju usluge kontrole zračne plovidbe, ali se stalno nastoji balansirati sigurnost s brojem zrakoplova koji prolaze kroz određeni zračni prostor, tj. pokušava se propustiti najveći mogući broj zrakoplova koji neće narušavati sigurnost zračnog prometa. Iako zrakoplovi koji lete vizualno ne ulaze u većinu statistika promatranih tijekom procjene kvalitete usluge kontrole zračne plovidbe, oni su itekako prisutni te imaju veliku ulogu u radnom opterećenju koje kontrolor zračnog prometa doživljava.

U ovom istraživačkom radu opisano je što je kompleksnost, a što je radno opterećenje. Također su opisani čimbenici koji utječu na subjektivno radno opterećenje kontrolora zračne plovidbe. Opisano je istraživanje koje je provedeno u svrhu istraživačkog rada te na koji je način provedeno. Istraživanje je provedeno s vježbama koje su izvorno izrađene za potrebe istraživačkog rada i opisana je logika upotrijebljena u izradi tih istraživačkih vježbi. Upitnik NASA TLX bio je korišten za prikupljanje subjektivnih podataka svakog ispitanika koji je sudjelovao u provedenom istraživanju. Na kraju su se iz tih subjektivnih podataka izvukli objektivni zaključci, koji su opisani.

**Ključne riječi:** kontrolor zračne plovidbe, radno opterećenje, kompleksnost, VFR promet, NASA TLX upitnik.

## Summary

**Author:** Antonio Živko, univ. bacc. ing. aeronaut.

**Research title:** Assessing the impact of visual flight rules traffic on air traffic controller workload: A NASA TLX questionnaire-based study

The workload of air traffic controllers is becoming an increasing inhibiting factor in air traffic. Safety is a priority when providing air traffic control services. However, there is an ongoing effort to balance safety with the number of aircraft passing through particular airspace, i.e., trying to let through most aircraft without sacrificing safety. Although aircraft that fly visually are not included in most of the statistics that are looked at during the assessment of the quality of the air traffic control service, they are very present and play a significant role in the workload that the air traffic controller experiences.

This research describes what complexity is and what workload is. Also, factors influencing the subjective workload of air traffic controllers are described. It describes the research carried out and how it was carried out. The research was conducted with exercises originally created for this research, and the logic used during the creation of these same research exercises was described. The NASA TLX questionnaire was used to collect subjective data from each respondent who attended the conducted research. In the end, objective conclusions were drawn from these subjective data, and they were described.

**Key words:** Air traffic controller; Workload; Complexity; VFR traffic; NASA TLX questionnaire

## Dodatak

### Prilog 1. Rezultati pripremnih vježbi ispitanika 1

<b>PREP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	65	3	0.2
Fizički zahtjev	60	1	0.066666667
Vremenski zahtjev	60	4	0.266666667
Izvođenje	50	3	0.2
Napor	55	1	0.066666667
Frustracija	50	3	0.2
<b>56.66666667</b>			

<b>PREP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	80	5	0.333333333
Fizički zahtjev	65	0	0.00
Vremenski zahtjev	75	3	0.2
Izvođenje	45	1	0.066666667
Napor	65	4	0.266666667
Frustracija	60	2	0.133333333
<b>70</b>			



*Prilog 2.* Rezultati istraživačkih vježbi ispitanika 1

<b>EXP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	70	4	0.266666667
Fizički zahtjev	70	1	0.066666667
Vremenski zahtjev	75	2	0.133333333
Izvođenje	30	2	0.133333333
Napor	85	4	0.266666667
Frustracija	85	2	0.133333333
<b>71.33333333</b>			

<b>EXP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	55	5	0.333333333
Fizički zahtjev	15	1	0.066666667
Vremenski zahtjev	60	2	0.133333333
Izvođenje	50	3	0.2
Napor	65	4	0.266666667
Frustracija	55	0	0
<b>54.66666667</b>			

<b>EXP3</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	55	4	0.266666667
Fizički zahtjev	25	1	0.066666667
Vremenski zahtjev	55	4	0.266666667
Izvođenje	75	3	0.2
Napor	60	2	0.133333333
Frustracija	25	1	0.066666667
<b>55.66666667</b>			

*Prilog 3.* Rezultati pripremnih vježbi ispitanika 2

<b>PREP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	75	4	0.26666667
Fizički zahtjev	25	2	0.13333333
Vremenski zahtjev	65	3	0.2
Izvođenje	25	0	0
Napor	75	5	0.33333333
Frustracija	30	1	0.06666667
<b>63.33333333</b>			

<b>PREP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	70	5	0.33333333
Fizički zahtjev	55	1	0.06666667
Vremenski zahtjev	55	3	0.2
Izvođenje	25	0	0
Napor	65	4	0.26666667
Frustracija	15	2	0.13333333
<b>57.33333333</b>			

*Prilog 4.* Rezultati istraživačkih vježbi ispitanika 2

<b>EXP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	90	4	0.266666667
Fizički zahtjev	65	0	0.00
Vremenski zahtjev	75	4	0.266666667
Izvođenje	55	1	0.066666667
Napor	90	3	0.2
Frustracija	70	3	0.2
<b>79.66666667</b>			

<b>EXP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	75	5	0.333333333
Fizički zahtjev	70	1	0.066666667
Vremenski zahtjev	75	4	0.266666667
Izvođenje	50	1	0.066666667
Napor	75	2	0.133333333
Frustracija	55	2	0.133333333
<b>70.33333333</b>			

<b>EXP3</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	60	5	0.333333333
Fizički zahtjev	35	0	0
Vremenski zahtjev	55	4	0.266666667
Izvođenje	40	2	0.133333333
Napor	70	3	0.2
Frustracija	30	1	0.066666667
<b>56</b>			

*Prilog 5.* Rezultati pripremnih vježbi ispitanika 3

<b>PREP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	70	4	0.26666667
Fizički zahtjev	60	1	0.06666667
Vremenski zahtjev	55	4	0.26666667
Izvođenje	35	3	0.2
Napor	80	2	0.13333333
Frustracija	5	1	0.06666667
<b>55.33333333</b>			

<b>PREP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	75	3	0.2
Fizički zahtjev	65	4	0.26666667
Vremenski zahtjev	65	3	0.2
Izvođenje	25	2	0.13333333
Napor	90	3	0.2
Frustracija	50	0	0
<b>66.66666667</b>			

*Prilog 6.* Rezultati istraživačkih vježbi ispitanika 3

<b>EXP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	45	4	0.26666667
Fizički zahtjev	30	0	0.00
Vremenski zahtjev	55	3	0.2
Izvođenje	25	2	0.13333333
Napor	75	2	0.13333333
Frustracija	35	4	0.26666667
<b>45.66666667</b>			

<b>EXP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	80	5	0.33333333
Fizički zahtjev	30	1	0.06666667
Vremenski zahtjev	55	4	0.26666667
Izvođenje	30	2	0.13333333
Napor	75	3	0.2
Frustracija	10	0	0
<b>62.33333333</b>			

<b>EXP3</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	75	5	0.33333333
Fizički zahtjev	40	0	0
Vremenski zahtjev	70	4	0.26666667
Izvođenje	25	3	0.2
Napor	70	2	0.13333333
Frustracija	10	1	0.06666667
<b>58.66666667</b>			

*Prilog 7. Rezultati pripremnih vježbi ispitanika 4*

<b>PREP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	65	4	0.26666667
Fizički zahtjev	65	1	0.06666667
Vremenski zahtjev	60	3	0.2
Izvođenje	65	5	0.33333333
Napor	60	2	0.13333333
Frustracija	60	0	0
<b>63.33333333</b>			

<b>PREP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	55	3	0.2
Fizički zahtjev	45	0	0
Vremenski zahtjev	60	4	0.26666667
Izvođenje	60	5	0.33333333
Napor	60	2	0.13333333
Frustracija	60	1	0.06666667
<b>59</b>			

*Prilog 8.* Rezultati istraživačkih vježbi ispitanika 4

<b>EXP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	80	3	0.2
Fizički zahtjev	60	0	0.00
Vremenski zahtjev	75	4	0.2666667
Izvođenje	45	5	0.3333333
Napor	80	2	0.1333333
Frustracija	70	1	0.0666667
<b>66.33333333</b>			

<b>EXP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	75	4	0.2666667
Fizički zahtjev	45	0	0
Vremenski zahtjev	65	2	0.1333333
Izvođenje	60	5	0.3333333
Napor	60	2	0.1333333
Frustracija	55	2	0.1333333
<b>64</b>			

<b>EXP3</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	75	3	0.2
Fizički zahtjev	40	1	0.0666667
Vremenski zahtjev	70	5	0.3333333
Izvođenje	60	4	0.2666667
Napor	70	2	0.1333333
Frustracija	55	0	0
<b>66.33333333</b>			

*Prilog 9.* Rezultati pripremnih vježbi ispitanika 5

<b>PREP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	55	5	0.33333333
Fizički zahtjev	25	0	0
Vremenski zahtjev	30	3	0.2
Izvođenje	70	4	0.26666667
Napor	70	2	0.13333333
Frustracija	15	1	0.06666667
<b>53.33333333</b>			

<b>PREP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	60	4	0.26666667
Fizički zahtjev	20	0	0
Vremenski zahtjev	35	2	0.13333333
Izvođenje	25	4	0.26666667
Napor	50	3	0.2
Frustracija	15	2	0.13333333
<b>39.33333333</b>			



*Prilog 10.* Rezultati istraživačkih vježbi ispitanika 5

<b>EXP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	55	5	0.33333333
Fizički zahtjev	25	0	0.00
Vremenski zahtjev	40	4	0.26666667
Izvođenje	25	2	0.13333333
Napor	65	3	0.2
Frustracija	55	1	0.06666667
	<b>49</b>		

<b>EXP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	45	5	0.33333333
Fizički zahtjev	15	1	0.06666667
Vremenski zahtjev	35	4	0.26666667
Izvođenje	15	3	0.2
Napor	50	2	0.13333333
Frustracija	30	0	0
	<b>35</b>		

<b>EXP3</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	40	5	0.33333333
Fizički zahtjev	15	0	0
Vremenski zahtjev	30	4	0.26666667
Izvođenje	20	3	0.2
Napor	30	2	0.13333333
Frustracija	10	1	0.06666667
	<b>30</b>		

*Prilog 11.* Rezultati pripremnih vježbi ispitanika 6

<b>PREP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	75	4	0.266666667
Fizički zahtjev	60	0	0
Vremenski zahtjev	35	3	0.2
Izvođenje	30	2	0.133333333
Napor	75	3	0.2
Frustracija	85	3	0.2
	<b>63</b>		

<b>PREP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	90	4	0.266666667
Fizički zahtjev	70	0	0
Vremenski zahtjev	70	3	0.2
Izvođenje	25	4	0.266666667
Napor	65	1	0.066666667
Frustracija	75	3	0.2
	<b>64</b>		

*Prilog 12.* Rezultati istraživačkih vježbi ispitanika 6

<b>EXP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	50	4	0.26666667
Fizički zahtjev	25	0	0.00
Vremenski zahtjev	35	2	0.13333333
Izvođenje	20	3	0.2
Napor	35	1	0.06666667
Frustracija	45	5	0.33333333
<b>39.33333333</b>			

<b>EXP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	40	5	0.33333333
Fizički zahtjev	35	0	0
Vremenski zahtjev	25	2	0.13333333
Izvođenje	30	3	0.2
Napor	25	1	0.06666667
Frustracija	40	4	0.26666667
<b>35</b>			

<b>EXP3</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	25	3	0.2
Fizički zahtjev	15	0	0
Vremenski zahtjev	25	2	0.13333333
Izvođenje	10	4	0.26666667
Napor	30	1	0.06666667
Frustracija	40	5	0.33333333
<b>26.33333333</b>			

*Prilog 13.* Rezultati pripremnih vježbi ispitanika 7

<b>PREP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	75	2	0.13333333
Fizički zahtjev	30	0	0
Vremenski zahtjev	75	3	0.2
Izvođenje	55	4	0.26666667
Napor	85	3	0.2
Frustracija	65	3	0.2
<b>69.66666667</b>			

<b>PREP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	75	5	0.33333333
Fizički zahtjev	35	0	0
Vremenski zahtjev	85	3	0.2
Izvođenje	45	2	0.13333333
Napor	85	3	0.2
Frustracija	65	2	0.13333333
<b>73.66666667</b>			

*Prilog 14.* Rezultati istraživačkih vježbi ispitanika 7

<b>EXP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	65	2	0.13333333
Fizički zahtjev	40	0	0.00
Vremenski zahtjev	40	3	0.2
Izvođenje	40	5	0.33333333
Napor	75	4	0.26666667
Frustracija	80	1	0.06666667
<b>55.33333333</b>			

<b>EXP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	35	3	0.2
Fizički zahtjev	25	0	0
Vremenski zahtjev	25	2	0.13333333
Izvođenje	25	5	0.33333333
Napor	35	4	0.26666667
Frustracija	35	1	0.06666667
<b>30.33333333</b>			

<b>EXP3</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	65	2	0.13333333
Fizički zahtjev	35	0	0
Vremenski zahtjev	65	4	0.26666667
Izvođenje	45	5	0.33333333
Napor	70	3	0.2
Frustracija	40	1	0.06666667
<b>57.66666667</b>			

*Prilog 15.* Rezultati pripremnih vježbi ispitanika 8

<b>PREP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	80	5	0.333333333
Fizički zahtjev	20	0	0
Vremenski zahtjev	55	3	0.2
Izvođenje	50	3	0.2
Napor	75	2	0.133333333
Frustracija	90	2	0.133333333
	<b>69.66666667</b>		

<b>PREP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	60	5	0.333333333
Fizički zahtjev	15	2	0.133333333
Vremenski zahtjev	40	1	0.066666667
Izvođenje	40	4	0.266666667
Napor	70	2	0.133333333
Frustracija	45	1	0.066666667
	<b>47.66666667</b>		

Prilog 16. Rezultati istraživačkih vježbi ispitanika 8

<b>EXP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	70	5	0.33333333
Fizički zahtjev	20	0	0.00
Vremenski zahtjev	65	1	0.06666667
Izvođenje	50	4	0.26666667
Napor	60	3	0.2
Frustracija	70	2	0.13333333
<b>62.33333333</b>			

<b>EXP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	55	3	0.2
Fizički zahtjev	15	0	0
Vremenski zahtjev	25	2	0.13333333
Izvođenje	20	5	0.33333333
Napor	40	4	0.26666667
Frustracija	35	1	0.06666667
<b>34</b>			

<b>EXP3</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	70	4	0.26666667
Fizički zahtjev	15	1	0.06666667
Vremenski zahtjev	30	2	0.13333333
Izvođenje	70	5	0.33333333
Napor	50	3	0.2
Frustracija	35	0	0
<b>57</b>			

*Prilog 17.* Rezultati pripremnih vježbi ispitanika 9

<b>PREP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	35	5	0.3333333333
Fizički zahtjev	10	0	0
Vremenski zahtjev	20	2	0.1333333333
Izvođenje	15	3	0.2
Napor	35	4	0.2666666667
Frustracija	5	1	0.0666666667
	<b>27</b>		

<b>PREP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	25	3	0.2
Fizički zahtjev	5	2	0.1333333333
Vremenski zahtjev	25	2	0.1333333333
Izvođenje	15	3	0.2
Napor	50	4	0.2666666667
Frustracija	10	1	0.0666666667
	<b>26</b>		



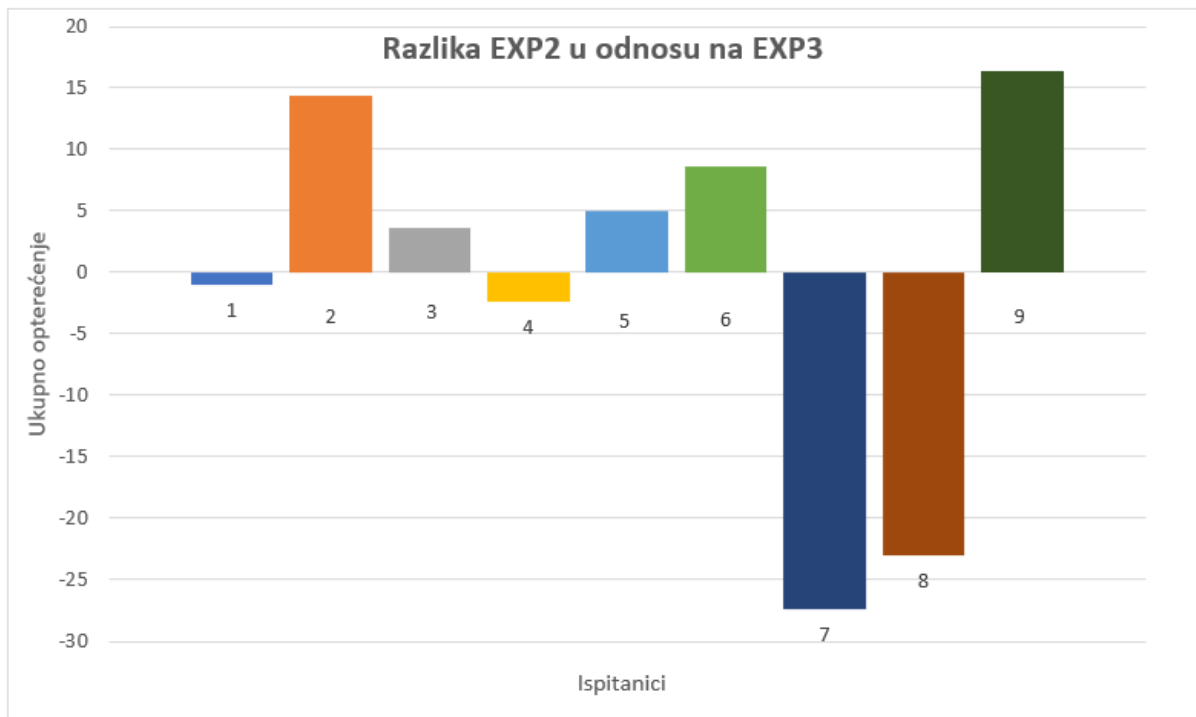
*Prilog 18.* Rezultati istraživačkih vježbi ispitanika 9

<b>EXP1</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	35	4	0.266666667
Fizički zahtjev	5	0	0.00
Vremenski zahtjev	15	3	0.2
Izvođenje	35	5	0.333333333
Napor	20	2	0.133333333
Frustracija	35	1	0.066666667
	<b>29</b>		

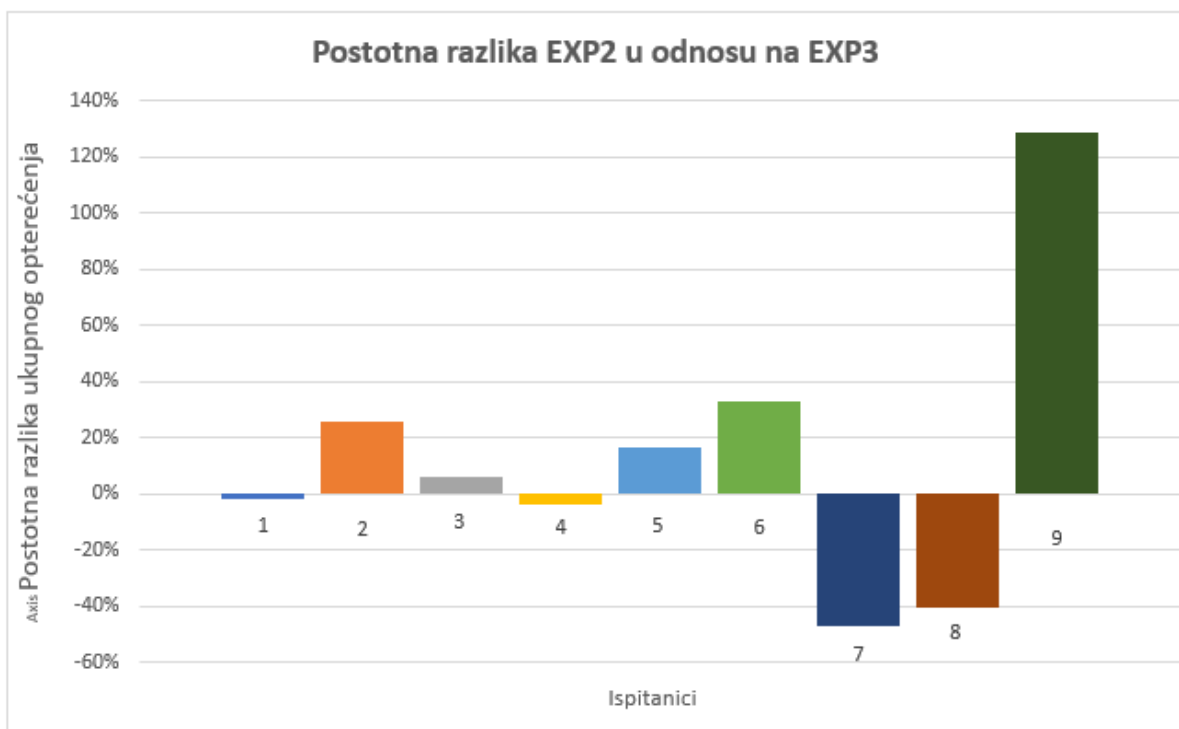
<b>EXP2</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	25	4	0.266666667
Fizički zahtjev	5	0	0
Vremenski zahtjev	25	2	0.133333333
Izvođenje	35	5	0.333333333
Napor	25	3	0.2
Frustracija	35	1	0.066666667
	<b>29</b>		

<b>EXP3</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	15	4	0.266666667
Fizički zahtjev	5	0	0
Vremenski zahtjev	15	2	0.133333333
Izvođenje	10	5	0.333333333
Napor	15	3	0.2
Frustracija	5	1	0.066666667
	<b>12.66666667</b>		

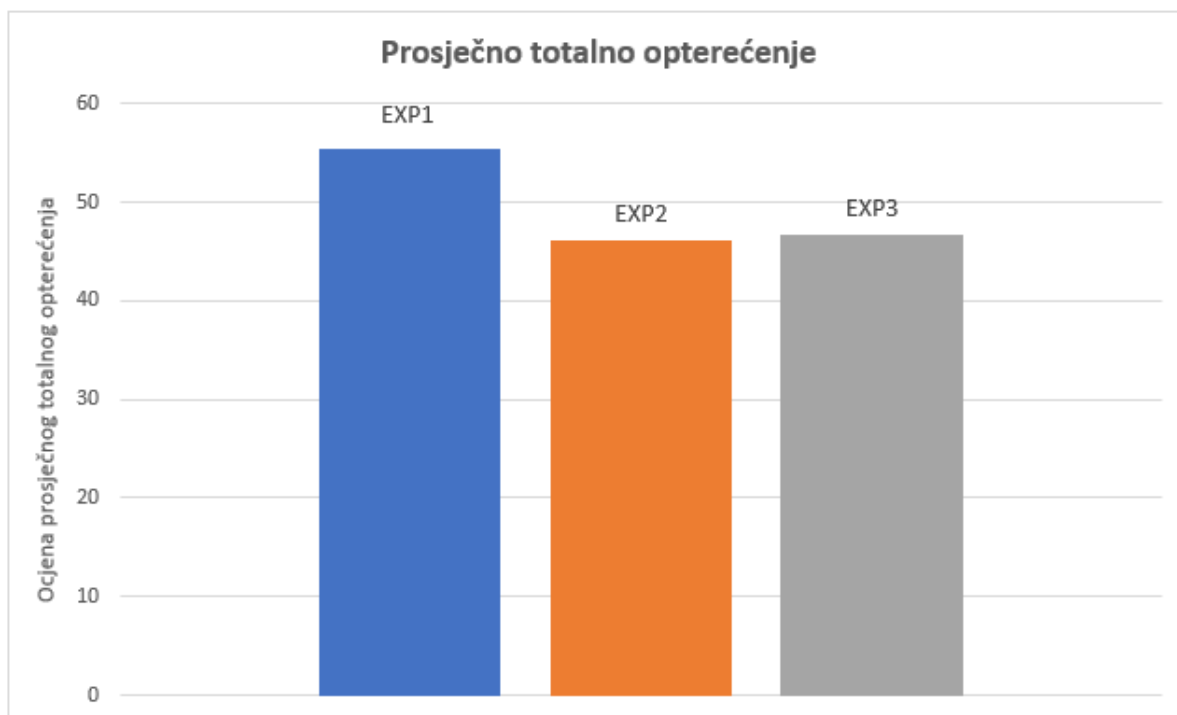
**Prilog 19.** Grafikon razlike ukupnog opterećenja vježbe EXP2 u odnosu na EXP3



**Prilog 20.** Grafikon postotne razlike ukupnog opterećenja vježbe EXP2 u odnosu na EXP3



**Prilog 21.** Grafikon prosječnog totalnog opterećenja



**Prilog 22.** Tablica razlike prosječnih podataka vježbe EXP1 i EPX2

Razlika EXP1 prosječno i EXP2 prosječno	ocjena	pojedinačni zbroj	težina
Mentalni zahtjev	8.333333333	-0.444444444	-0.02962963
Fizički zahtjev	9.444444444	-0.333333333	-0.022222222
Vremenski zahtjev	9.444444444	0.222222222	0.014814815
Izvođenje	1.111111111	-0.333333333	-0.022222222
Napor	15	-0.111111111	-0.007407407
Frustracija	21.66666667	1	0.066666667
<b>9.259259259</b>			

**Prilog 23.** Tablica razlike prosječnih podataka vježbe EXP1 i EPX3

<b>Razlika EXP1 prosječno i EXP3 prosječno</b>	<b>ocjena</b>	<b>pojedinačni zbroj</b>	<b>težina</b>
Mentalni zahtjev	8.888888889	0	0
Fizički zahtjev	12.77777778	-0.222222222	-0.014814815
Vremenski zahtjev	6.666666667	-0.555555556	-0.037037037
Izvođenje	-3.333333333	-0.555555556	-0.037037037
Napor	13.33333333	0.333333333	0.022222222
Frustracija	32.77777778	1	0.066666667
<b>8.62962963</b>			