

Komparativna prosudba ergonomskih čimbenika pilotske kabine zrakoplova Cessna 525 CJ2+ i zrakoplova Bombardier CL 350

Šunjo, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:119:682877>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Josip Šunjo

**KOMPARATIVNA PROSUDBA ERGONOMSKIH
ČIMBENIKA PILOTSKE KABINE ZRAKOPLOVA CESSNA
525 CJ2+ I ZRAKOPLOVA BOMBARDIER CL 350**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.

Zagreb, 31. kolovoza 2023.

Zavod: **Samostalne katedre**
Predmet: **Ergonomija u prometu**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7389

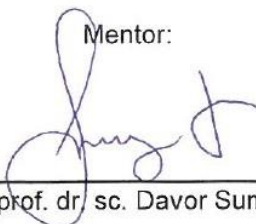
Pristupnik: **Josip Šunjo (0135243215)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Komparativna prosudba ergonomskih čimbenika pilotske kabine zrakoplova Cessna 525 CJ2+ i zrakoplova Bombardier CL 350**

Opis zadatka:

Tijekom upravljanja zrakoplovom i posluživanja komandi bitnih za održavanje kursa, brzine i visine, kao i tijekom slijetanja i polijetanja ergonomske čimbenici pilotske kabine mogu utjecati na radno opterećenje i izvedbu pilota, a samim time i na sigurnost upravljanja zrakoplovom. U radu će se usporediti ergonomske čimbenici pilotske kabine lakog mlaznog zrakoplova Cessna 525 CJ2+ te nešto naprednijeg srednjeg mlaznog zrakoplova Bombardier CL 350. Komparativna ergonomska analiza čimbenika dvije različite pilotske kabine ukazat će na ergonomske čimbenike koji mogu utjecati na razinu sigurnosti upravljanja zrakoplovom. Osim spoznaja iz dostupne stručne i znanstvene literature, prikupit će se povratne informacije (engl. feedback) od korisnika usluge odnosno pilota u formi intervjua, oboje korištenjem znanstvenih metoda komparacije i kompilacije. Za svaki zrakoplov intervjuiat će se tri muška pilota starija od 25 godina s više od godinu dana iskustva, a svi relevantni čimbenici ergonomske prosudbe i izvedbe koji mogu negativno utjecati na sigurnost dodatno će se istraživati ukoliko ih kao mogući sigurnosni problem navedu najmanje 2 od 3 pilota. S obzirom da je upravljačnica srednjeg mlaznog zrakoplova Bombardier CL 350 modernija i raspolaže naprednijim sustavima koji ne postoje u upravljačnici drugog zrakoplova, analizirat će se kako ti sustavi olakšavaju izvedbu pilota. Cilj ove komparativne analize je identificirati sve relevantne ergonomske čimbenike u upravljačnicama koji mogu ugroziti ili unaprijediti izvedbu pilota.

Mentor:



izv. prof. dr. sc. Davor Sumpor

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**KOMPARATIVNA ERGONOMSKA PROSUDBA ČIMBENIKA
PILOTSKE KABINE ZRAKOPLOVA CESSNA 525 CJ2+ I
ZRAKOPLOVA BOMBARDIER CL 350**

**COMPARATIVE EVALUATION OF ERGONOMIC FACTORS
IN THE COCKPITS OF CESSNA 525 CJ2+ AND
BOMBARDIER CL 350 AIRCRAFT**

**Mentor: izv. prof. dr. sc. Davor
Sumpor**

Student: Josip Šunjo
JMBAG: 0135243215

Zagreb, svibanj 2024.

KOMPARATIVNA ERGONOMSKA PROSUDBA ČIMBENIKA PILOTSKE KABINE ZRAKOPLOVA CESSNA 525 CJ2+ I ZRAKOPLOVA BOMBARDIER CL 350

SAŽETAK

U diplomskom radu su analizirani ergonomijski čimbenici pilotskih kabina zrakoplova Cessna 525 CJ2+ i Bombardier CL 350, uspoređujući kako dizajn pilotske kabine može utjecati na performanse i sigurnost pilota. Istraživanje se je fokusiralo na fizikalne, senzorne, kognitivne i društvene čimbenike bitne za ergonomijski dizajn kabine. Istraživalo se je kako ti čimbenici mogu utjecati na umor, učinkovitost, i kognitivno opterećenje pilota. Rezultati ukazuju na značaj primjene ergonomijskih principa tijekom dizajna pilotskih kabina, radi povećanja sigurnosti i udobnosti. Studija također naglašava potrebu za kontinuiranim unaprjeđivanjem dizajna pilotskih kabina na temelju povratnih informacija pilota kako bi se optimizirala izvedba i smanjile krive reakcije tijekom leta.

KLJUČNE RIJEČI: ergonomija; dizajn pilotske kabine; izvedba; radno opterećenje; Cessna 525 CJ2+; Bombardier CL 350

COMPARATIVE EVALUATION OF ERGONOMIC FACTORS IN THE COCKPITS OF CESSNA 525 CJ2+ AND BOMBARDIER CL 350 AIRCRAFT

SUMMARY

In this graduate thesis are analyzed ergonomic factors in the cockpits of the Cessna 525 CJ2+ aircraft and Bombardier CL 350 aircraft, comparing how cockpit design can affect pilot performance and safety. The research is focused on physical, sensory, cognitive, and social factors that are important for ergonomic cockpit design, It is investigated how these factors can reflect on fatigue, performance and cognitive workload of pilots. The results highlight the significance of implementation of ergonomic principles into cockpit design to enhance safety and comfort. The study also emphasizes the need to continuously improve cockpit design based on pilot feedback to optimize performance and reduce errors. during flight.

KEYWORDS: ergonomics; cockpit design; performance; workload; Cessna 525 CJ2+; Bombardier CL 350

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Definicija problema i predmeta istraživanja	1
1.2. Postavljanje temeljne istraživačke hipoteze	3
1.3. Osvrt na dosadašnja istraživanja	3
2. ERGONOMIJA U ZRAČNOM PROMET	4
2.1. Modeli razmatranja ergonometrije u zračnom prometu.....	6
2.2. Sigurnost.....	8
2.3. Ljudske krive reakcije	9
2.4. Utjecaj na troškove.....	11
3. ERGONOMIJSKI ČIMBENICI PILOTSKE KABINE KLJUČNI ZA IZVEDBU PILOTA.....	12
3.1. Fizikalni čimbenici.....	12
3.1.1. Ergonomija sjedala	12
3.1.2. Raspored kontrolnih uređaja i instrumenata	15
3.1.3. Klimatizacija.....	18
3.1.4. Dizajn prostora	22
3.1.5. Antropometrijska razmatranja	23
3.2. Senzorni čimbenici.....	26
3.2.1. Vizualni	26
3.2.2. Zvučni	29
3.2.3. Taktilni	33
3.3. Kognitivni čimbenici	33
3.3.1. Sustav čovjek-stroj.....	34
3.3.2. Sustavi za pomoć pri donošenju odluka	35
3.3.3. Situacijska svjesnost	37
3.3.4. Upravljanje radnim opterećenjem	40
3.4. Društveni čimbenici	42
3.4.1. Komunikacija	42
3.4.2. Osposobljavanje	44
3.4.3. Višečlana posada	45
4. ERGONOMIJSKA PROSUDBA PILOTSKE KABINE ZRAKOPLOVA CESSNA 525 CJ2+	46
4.1. Anketa za pilote zrakoplova Cessna 525 CJ2+	46
4.2. Rezultati za zrakoplov Cessna 525 CJ2+	51
5. ERGONOMIJSKA PROSUDBA PILOTSKE KABINE ZRAKOPLOVA BOMBARDIER CL 350.....	53
5.1. Anketa za pilote zrakoplova Bombardier CL 350.....	53

5.2. Rezultati za zrakoplov Bombardier CL 350	57
6. KOMPARATIVNA ANALIZA S OSVRTOM NA ČIMBENIKE IZVEDBE I RADNOG OPTEREĆENJE PILOTA	59
6.1. Tehničke karakteristike upravljačnice	59
6.2. Povratna informacija pilota	61
DISKUSIJA.....	62
ZAKLJUČAK.....	66
Popis literature	67
Popis slika	70
Popis tablica	71
Popis oznaka i mjernih jedinica	72
Popis kratica	73

1. UVOD

1.1. Definicija problema i predmeta istraživanja

Danas u svijetu zračni promet ima značajnu ulogu u brzom i ekonomski isplativom povezivanju ljudi, kultura i gospodarstava. Iza toga, postoji složena mreža operacija koje osiguravaju sigurno i učinkovito funkcioniranje zračnog prometa. Ovaj kompleksni sustav uvelike se oslanja na načela ergonomije (*engl. ergonomics*), proučavanje ljudskih čimbenika (*engl. human factors*) i njihove interakcije sa sustavima i prometnim okolišem. Primjenom ergonomijskih načela na dizajn i elemente izvedbe svih sudionika u zračnom prometu, istraživači i stručnjaci u području ergonomije zračnog prometa nastoje optimizirati izvedbu, ublažiti posljedice krivih reakcija i poboljšati ukupnu sigurnost i učinkovitost upravljanja zračnim prometom.

Prilikom analiziranja ranijih dizajna pilotskih kabina, može se uočiti kako su bili, danas gledano, nedorađeni jer nisu u potpunosti uzimali u obzir ljudske čimbenike, što se s godinama mijenjalo u pozitivnom smislu. Piloti su bili primorani upravljati složenim kontrolnim sustavima, instrumentima i komunikacijskim uređajima, što je dovodilo do povećanog opterećenja i razvoja potencijala za krive reakcije (*engl. errors*). S razvojem zračnog prometa, potreba za ergonomijskim dizajnom postala je nužna kako bi se unaprijedila udobnost pilota, smanjilo radno opterećenje, poboljšala izvedba i posljedično povećala ukupna sigurnost samog leta.

Ergonomijski dizajnirana pilotska kabina znatno olakšava izvedbu pilota, povećava sigurnost i optimizira operacije leta. Uzimajući u obzir ljudske čimbenike i primjenjujući ergonomijska načela, zrakoplovni inženjeri nastoje stvoriti pilotsku kabinu koja promiče dobrobit pilota, svijest o situaciji i učinkovitu interakciju između čovjeka i stroja tijekom izvedbe.

Gledajući razdoblje Drugog svjetskog rata, napredak vojnog zrakoplovstva iziskivao je razvoj ergonomijski dizajniranih pilotskih kabina. Zrakoplovi kao što su P-51 Mustang i Supermarine Spitfire napravili su značajan korak unaprijed glede ergonomijskog dizajna. Oba zrakoplova su bili dizajnirani s naglaskom na udobnost pilota, vidljivost i jednostavnost upravljanja. Tako se može reći da je ergonomija odigrala presudnu ulogu u poboljšanju izvedbi pilota i posljedično borbene učinkovitosti. Usredotočenost na udobnost, vidljivost, položaj i dostupnost komandi i instrumenata, uzrok je poboljšanja izvedbe pilota, svijest o situaciji i učinkovitost misije tijekom borbenih operacija.

Poslije Drugog svjetskog rata, u 50-im i 60-im godinama povećava se pažnja posvećena istraživanju ljudskih čimbenika u zračnom prometu. Istraživači su počeli proučavati učinke interakcije čovjeka i stroja, radnog opterećenja i kognitivnih čimbenika na izvedbu pilota. Znanstvene spoznaje i rezultati iz takvih istraživanja pridonijeli su razvoju ergonomijskih načela u holističkom integriranom dizajnu pilotske kabine.

Kako je zrakoplovna tehnologija napredovala, instrumenti i kontrolni sustavi za upravljačnicom postajali su sve složeniji. Ergonomijska razmatranja postala su ključna u osiguravanju učinkovite interakcije čovjeka i stroja. Dobro dizajnirane pilotske kabine omogućile su pilotima da učinkovito tumače i pravovremeno odgovore na kritične situacije ili izvanredne okolnosti u prometnom okolišu, smanjujući rizik od krivih reakcija i nesreća.

U kasnim 70-im godinama pojavljuje se program poznat pod nazivom Upravljanje resursima letačke posade CRM (*engl. Crew Resource Management*). Koncept CRM pojavio se kao odgovor na nekoliko zrakoplovnih nesreća visokog profila koje su se pripisivale, barem djelomično, nedostacima u komunikaciji i timskom radu unutar pilotske kabine. Te nesreće istaknule su potrebu za poboljšanom koordinacijom posade i ne tehničkim vještinama među letačkim posadama. Jedan od značajnijih incidenata koji je doveo do razvoja CRM-a bila je nesreća leta 173 United Airlinesa 1978. godine. Zrakoplov je ostao bez goriva dok je posada rješavala problem sa stajnim trapom. Istražitelji su kao čimbenike koji su pridonijeli nesreći identificirali nedostatak u komunikaciji s posadom i donošenje krivih odluka.

Nakon sličnih nesreća, nekoliko zrakoplovnih organizacija, uključujući zračne prijevoznike i regulatorne agencije, prepoznalo je važnost ljudskih čimbenika i poboljšanja izvedbe posade u pilotskoj kabini. Počeli su razvijati programe obuke koji su bili usmjereni na poboljšanje komunikacije, timskog rada i vještina donošenja odluka unutar pilotske kabine.

Područje ljudskih čimbenika (službeni naziv u Americi) ili ergonomija (službeni naziv u Europskoj Uniji), dobilo je na značaju u zračnom prometu tijekom 20. stoljeća. S povećanjem upotrebe automatizacije u modernim zrakoplovima, dizajn upravljačnice postao je izuzetno važan. Dobro dizajnirane upravljačnice s intuitivnim sučeljima i odgovarajućim razinama automatizacije omogućuju pilotima učinkovito praćenje i upravljanje automatiziranim sustavima, smanjujući rizik od krivih reakcija, uz zadržavanje situacijske svjesnosti o položaju zrakoplova.

U radu će se usporediti ergonomijski čimbenici pilotske kabine lakog mlaznog zrakoplova Cessne 525 CJ2+ te nešto naprednijeg srednjeg mlaznog zrakoplova Bombardier CL 350. Komparativna ergonomijska analiza dviju različitih pilotskih kabina ukazat će na ergonomijske čimbenike koji mogu utjecati na razinu sigurnosti upravljanja zrakoplovom. Osim spoznaja iz dostupne stručne i znanstvene literature, prikupit će se i povratne informacije od korisnika usluge, odnosno pilota u formi anketa. Za svaki zrakoplov anketirat će se po šest muška pilota, tri kapetana te tri prva časnika, starija od 27 godina s više od dvije godine iskustva, a svi relevantni čimbenici ergonomijske prosudbe i izvedbe koji mogu negativno utjecati na sigurnost dodatno će se istražiti ukoliko ih kao mogući sigurnosni problem navedu najmanje tri pilota. Kod obrade rezultata anketa, zbog vrlo malenog broja dostupnih pilota za ovo istraživanje (samo tri pilota i samo tri kopilota za svaki zrakoplov) nisu se mogle koristiti matematičko statističke metode za obradu rezultata, a za odgovore na 12 pitanja gdje su odgovori ponuđeni u obliku skale, kao i za tri otvorena pitanja gdje su ispitanici upisivali svoje primjedbe ili prijedloge kao odgovore. Rezultati anketiranja pilota i prvih časnika su se obrađivali na način da se analiziralo koliko je pilota zaokružilo isti ponuđeni odgovor ili je dalo sličnu primjedbu za isti čimbenik ergonomijske prosudbe. Konačni zaključci na temelju

dominantnog odgovora među svim pilotima i prvim časnicima na pojedino pitanje donosili su se uz uvažavanje znanstvenih i stručnih spoznaja iz dostupne literature.

S obzirom da je upravljačnica zrakoplova Bombardier CL 350 modernija te raspolaže naprednijim sustavima koji ne postoje u upravljačnici Cessne 525 CJ2+, analizirat će se kako ti sustavi utječu te olakšavaju izvedbu pilota. Cilj ove komparativne analize je identificirati sve relevantne ergonomijske čimbenike u upravljačnicama koji mogu ugroziti ili unaprijediti izvedbu pilota lakih i srednjih mlaznih zrakoplova. U okviru ovog diplomskog rada, termin prvi časnik bit će zamijenjen izrazom kopilot radi usklađivanja izraza s odgovorima anektiranih pilota. Također, u svrhu očuvanja autentičnosti odgovora anketa, termin kokpit korišten je umjesto izraza pilotska kabina isključivo u dijelovima teksta koji se referiraju na izjave pilota, kako bi se izbjeglo mijenjanje izvornog teksta koji su piloti koristili.

1.2. Postavljanje temeljne istraživačke hipoteze

U radu će se istražiti hipoteza da implementacija ergonomijskih načela i dizajn pilotske kabine, upravljačkih sučelja i sustava interakcije čovjek-stroj značajno utječu na izvedbu pilota, sigurnost i ukupnu učinkovitost letačkih operacija. Od pilotske kabine koja je ergonomijski dizajnirana, uzimajući u obzir čimbenike kao što su jednostavnost upotrebe, udobnost i intuitivna sučelja, očekuje se da osigura situacijsku svjesnost pilota, smanji kognitivno radno opterećenje i poboljša sposobnost brzog donošenja ispravnih odluka, što je preduvjet uspješne izvedbe.

Posljedično, očekivani rezultat istraživanja (pretežito metodama komparacije i kompilacije) u ovome radu je da visoka razina ergonomije u pilotskoj kabini pozitivno utječe na poboljšanu izvedbu pilota, smanjenjem broja krivih reakcija i povećanom sigurnošću leta.

1.3. Osvrt na dosadašnja istraživanja

Za pojedine vrste i tipove zrakoplova postoji iscrpna znanstvena i stručna literatura pretežito na engleskom jeziku, kako o čimbenicima pilotske kabine koji mogu utjecati na izvedbu pilota i posljedično na sigurnost upravljanja zrakoplovom, tako i o čimbenicima prometnih nesreća za pojedine vrste zrakoplova kojima su doprinijele krive reakcije pilota a zbog nedostataka i propusta u dizajnu upravljačnica pojedinih zrakoplova. Od vrlo velikog broja javno dostupnih znanstvenih i stručnih izvora na hrvatskom i engleskom jeziku, koristili su se u pojedinim poglavljima ovoga rada oni izvori koji su povezani s pojedinim čimbenicima ergonomijske prosudbe, a koji su se i istraživali u tim poglavljima.

Ova tema nije još dovoljno obrađena u Republici Hrvatskoj, pogotovo u segmentu završnih i diplomskih radova, jer postoji samo nekoliko diplomskih radova na ovu temu, međutim do sada nije rađena komparativna analiza dvije upravljačnice lakih i srednjih mlaznih aviona u sklopu diplomskog rada, između ostalog i na temelju povratnih informacija od korisnika usluga (*engl. feedback*), odnosno pilota.

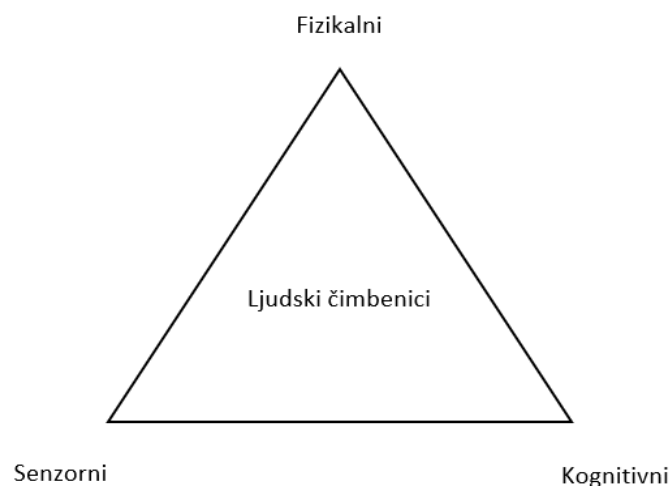
2. ERGONOMIJA U ZRAČNOM PROMET

Prema Pheasantu [1] riječ ergonomija dolazi od grčkih riječi ergos, što znači rad te nomos, odnosno zakon prirode. Riječ je osmislio pokojni britanski profesor Hywell Murrell, kao rezultat sastanka radne grupe, koji je održan u sobi 1101 zgrade Admiralty u dvorcu kraljice Anne 8. srpnja 1949., na kojem je odlučeno da se osnuje Organizacija za proučavanje ljudskih bića u njihovom radnom okolišu.

Radi interdisciplinarnosti prirode ergonomije i različitih perspektiva iz kojih joj se pristupa, postoji više različitih definicija riječi ergonomija. U ovome radu će se definirati na način da je ergonomija znanost o projektiranju opreme i uređaja koji najbolje odgovaraju ljudskom tijelu, njegovim pokretima i kognitivnim sposobnostima. Ergonomija se bavi fizičkim radnim okolišem, dizajnom alata i tehnologije, dizajnom radnih stanica, zahtjevima posla te fiziološkim i bio-mehaničkim opterećenjem tijela. Cilj ergonomije nije samo poboljšati radni učinak, već i poboljšati ljudsku udobnost i sigurnost, te na kraju i osobnu dobrobit (*engl. personal well-being*). Ako se ne uzmu u obzir ergonomijski čimbenici kod dizajna sustava, izvedba sustava bit će loša te će efektivno radno vrijeme biti smanjeno.

Kada se govori o ergonomiji, najvažniji pojam su ljudski čimbenici (slika 2.1) koji uzimaju u obzir sposobnosti, ograničenja i karakteristike ljudi u odnosu na dizajn sustava i radnog okoliša. Ljudski čimbenici su široko područje koje obuhvaća proučavanje načina na koji ljudi stupaju u interakciju sa sustavima, proizvodima, prometnim okolišem i zadacima. Prema Sumporu (2018) postoje tri osnovne vrste ljudskih čimbenika [2]:

- Fizikalni;
- Senzorni;
- Kognitivni.



Slika 2.1 Ljudski čimbenici

Izvor: [2]

Fizikalni čimbenici odnose se na karakteristike i sposobnosti ljudskog tijela i fizičkog okruženja koji utječu na ljudsku izvedbu, udobnost i sigurnost. Ovi čimbenici igraju ključnu ulogu u projektiranju sustava i radnog okoliša koji se prilagođavaju fizičkim potrebama i ograničenjima pojedinaca. Za sve dionike zračnog prometa, cilj je stvoriti ugodan, siguran i učinkovit radni okoliš uzimajući u obzir antropometriju, bio-mehaniku, dizajn radne stanice i organizaciju rada.

Senzorni čimbenici, u kontekstu ljudskih čimbenika, odnose se na ljudske senzorne sposobnosti i način na koji one utječu na ljudsku izvedbu, percepciju i interakciju s radnim okolišem. Sa senzornim čimbenicima zračnog prometa mogu se povezati dizajn vizualnog zaslona, uvjeti osvjetljenja, zvučni znakovi i upozorenja, kontrola čujne buke i taktilna povratna informacija kako bi se optimizirala ljudska percepcija i obrada informacija.

Kognitivni čimbenici se odnose na mentalne procese i sposobnosti pojedinaca koji utječu na njihovu percepciju, pažnju i pamćenje. Cilj je optimizirati ljudske kognitivne sposobnosti i minimizirati kognitivno radno opterećenje dizajnom sučelja, zaslona i sustava koji su usklađeni s ljudskim kognitivnim sposobnostima. Kognitivna ergonomija uključuje čimbenike kao što su prikaz i organizacija informacija, pažnja i percepcija, situacijska svjesnost, upravljanje kognitivnim radnim opterećenjem te sustavi za podršku.

Također u nekim varijacijama podjela navode se i društveni čimbenici koji obuhvaćaju proučavanje načina na koji ljudi komuniciraju sa sustavima, drugim dionicima i zadacima. Društveni čimbenici odnose se na interakcije, odnose i komunikaciju između pojedinaca ili grupa u različitim društvenim kontekstima. Razumijevanje i rješavanje ovih čimbenika od iznimne je važnosti za osiguravanje dobre suradnje, timskog rada i komunikacije, u konačnici povećavanja angažmana korisnika i ukupne izvedbe.

Podjelom ljudskih čimbenika u ova četiri dijela može se primijeniti sveobuhvatan pristup za rješavanje različitih aspekata ljudskih čimbenika i stvaranje radnog okoliša i sustava koji optimiziraju izvedbu, sigurnost i dobrobit svih dionika zračnog prometa.

Cilj same ergonomije u prometu, pa tako i u zračnom prometu, je oblikovati radno mjesto koje će biti u skladu s fiziološkim, psihološkim i bihevioralnim sposobnostima svih dionika. Ergonomija može pridonijeti rješavanju velikog broja problema vezanih uz sigurnost, zdravlje, udobnost i učinkovitost. Sumpor [2] tvrdi da postoje dva osnovna pravila ergonomije:

- Čovjeka treba prilagoditi radnom zadatku u sustavu čovjek – stroj – okoliš;
- Radni zadatak treba prilagoditi čovjeku u sustavu stroj – čovjek – okoliš.

Prvo pravilo ističe da treba izabrati čovjeka koji će odgovarati svojim karakteristikama postavljenom mu zadatku. Na primjer, u fizički zahtjevnim poslovima, poput upravljanja zrakoplovom, koji iziskuju značajnu koncentraciju ili izdržljivost, potrebno je odabrati pojedince koji posjeduju fizičku spremnost i sposobnosti potrebne za sigurno i učinkovito obavljanje zadataka.

Slično tome, zadaci koji uključuju posebne motoričke vještine ili osjetilnu oštrinu mogu zahtijevati pojedince s posebnim senzornim sposobnostima ili pojedince s razvijenom pozornosti na detalje. U tim slučajevima, razmatranje osobina pojedinca postaje ključno za

osiguranje da osoba može uspješno izvršiti zadatke i izbjeći potencijalne zdravstvene rizike ili krive reakcije. Spajanjem pojedinaca s odgovarajućim atributima za radne zadatke, organizacije, odnosno kompanije mogu optimizirati produktivnost i minimalizirati rizik od ozljeda ili krivih reakcija povezanih s radom.

Nadalje, iako mogu postojati situacije u kojima je nužno uzeti u obzir određene osobine pojedinaca za specifične radne zadatke, sveobuhvatno načelo ergonomije je stvoriti radni sustav koji je prilagodljiv i podržava širok raspon pojedinaca, osiguravajući njihovu sigurnost, udobnost i produktivnost. Stoga nam drugo pravilo sugerira važnost oblikovanja zadataka te dizajniranja opreme i radnog okoliša tako da odgovaraju sposobnostima, ograničenjima i karakteristikama pojedinaca koji ih obavljaju. Uključuje razmatranje utjecaja čimbenika kao što su tjelesne dimenzije, snaga, pokretljivost te senzorne i kognitivne sposobnosti.

Cilj ergonomijskog dizajna je optimizirati udobnost, učinkovitost, sigurnost i opću dobrobit. Može se reći da uzima u obzir raznolik raspon pojedinaca koji mogu komunicirati s određenim zadatkom ili radnim prostorom, osiguravajući univerzalnost i prilagođavajući se različitim potrebama korisnika. Ergonomija uključuje dizajniranje radnih okoliša, alata i zadataka za prilagodbu raznolikom rasponu pojedinaca, omogućavajući fleksibilnost i promičući dobrobit i optimalnu izvedbu svih dionika. Za primjer možemo uzeti sjedala u pilotskoj kabini koja su obično dizajnirana tako da se mogu prilagoditi s ciljem pružanja udobnog i sigurnog radnog okoliša za pilote različitih tjelesnih visina i tipova tijela.

2.1. Modeli razmatranja ergonomije u zračnom prometu

Postoji jako puno pojmova vezanih za znanost i praksu ljudskih čimbenika, ali s praktičnog stajališta, od najveće pomoći je imati jedinstven pogled na izvedbu. Korištenje modela može pružiti strukturiran i sustavan pristup pregledu ergonomije, olakšavajući prepoznavanje i rješavanje ergonomijskih razmatranja. Modeli pružaju okvir koji pomaže u vođenju procesa evaluacije, osiguravajući da se važni čimbenici uzmu u obzir. Oni mogu pomoći organizirati informacije, istaknuti relevantne aspekte i olakšati komunikaciju među sudionicima prometnog procesa.

Prema [2], model koji se koristi već više od desetljeća naziva se PEAR (*engl. People, environment, actions, resources*). Takav model je korišten kao pokretač pamćenja ili mnemotehnika za karakterizaciju ljudskih čimbenika u održavanju zrakoplova. PEAR model je okvir koji se često koristi u ergonomiji zračnog prometa čija kratica predstavlja ljude, radni okoliš, aktivnosti i resurse. Pomaže u identificiranju i rješavanju pitanja ljudskih čimbenika u zrakoplovnim sustavima i promiče holistički pristup poboljšanju sigurnosti, izvedbe i dobrobiti. U nastavku slijedi pregled svake komponente modela PEAR u kontekstu ergonomije zračnog prometa.

Prva komponenta su ljudi te se ona usredotočuje na karakteristike, sposobnosti i ograničenja pojedinaca uključenih u ergonomijsku analizu. U ovu komponentu u užem smislu spadaju pojedinci uključeni u zrakoplovne operacije, kao što su piloti, kontrolori zračnog prometa, zemaljsko osoblje i posada za održavanje. Uključuje razmatranje čimbenika kao što

su fizičke osobine, kognitivne sposobnosti, senzorne sposobnosti, antropometrija i individualne razlike. Svaka osoba u zrakoplovno okruženje donosi svoje jedinstvene vještine, znanje, iskustvo i ograničenja.

Druga komponenta je radni okoliš koja se odnosi se na fizički i organizacijski kontekst u kojem se odvija ergonomijska analiza. To uključuje čimbenike kao što su osvjetljenje, čujna buka, temperatura, ventilacija, raspored radnog prostora i propisi koji se odnose na ergonomiju. Na primjer pilot tijekom leta obavlja brojne radnje, kao što su provođenje provjera prije leta, izvršavanje procedura polijetanja i slijetanja, komunikacija s kontrolom zračnog prometa i reagiranje u hitnim slučajevima.

Komponenta aktivnosti fokusirana je na zadatke, aktivnosti i tijekom rada koji se izvode unutar sustava. To uključuje analizu fizičkih i kognitivnih zahtjeva zadataka, učestalost i trajanje aktivnosti te interakciju između ljudi i tehnologije. Procjena ergonomijskih aspekata aktivnosti pomaže u prepoznavanju potencijalnih rizika, neučinkovitosti i prilika za poboljšanje.

Posljednja komponenta su resursi koja uključuje ispitivanje alata, opreme, tehnologije i drugih resursa koji se koriste unutar sustava. Također, uključuje razmatranje dizajna, upotrebljivosti i funkcionalnosti resursa, kao i dostupnost sustava podrške i obuke. Ocjenjivanje resursa pomaže osigurati da su prikladni, dobro održavani i pravilno integrirani kako bi osigurali učinkovit i siguran rad.

Uzimajući u obzir svaku komponentu modela PEAR, sveobuhvatno se mogu analizirati ergonomijski čimbenici unutar danog konteksta. Ovaj sustavni pristup pomaže identificirati potencijalne probleme, odrediti prioritete intervencija i dizajnirati ergonomijska rješenja koja povećavaju sigurnost, učinkovitost i zadovoljstvo korisnika. PEAR model je fleksibilan i može se prilagoditi različitim industrijama i postavkama, omogućavajući prilagođenu analizu ergonomijskih razmatranja u specifičnim primjenama.

Dok se PEAR model koncentrira na pojedinačne ljudske čimbenike na mikrorazini, s druge strane SHELL (*engl. Hardware, software, environment, liveware*) model ima širi i sustavniji pristup, uzimajući u obzir interakciju između ljudi, tehnologije, procedura i organizacijskih čimbenika. Model SHELL pruža sveobuhvatniji okvir za razumijevanje i rješavanje ljudskih čimbenika u složenim sustavima kao što je kontrola zračnog prometa ili upravljanje zrakoplovom, pomažući u prepoznavanju i ublažavanju potencijalnih izvora krivih reakcija i incidenata. U tablici 2.1 je prikazana interakcija u kontekstu pilotske kabine između softvera, hardvera, radnog okoliša i ljudi s ciljem stvaranja optimalnog radnog okoliša za pilote. Svaki element igra značajnu ulogu u određivanju načina na koji piloti komuniciraju sa zrakoplovom i njegovim sustavima.

Tablica 2.1 SHELL model

Softver	U kontekstu pilotske kabine, softver se odnosi na dizajn i funkcionalnost sustava upravljanja letom, avionike, zaslona i drugih softverskih alata. Softver u pilotskoj kabini trebao bi biti jednostavan za korištenje, intuitivan i podržavati učinkovitu interakciju pilota. Ispravno dizajniran softver može smanjiti kognitivno radno opterećenje i poboljšati svijest o situaciji.
Hardver	Hardver uključuje fizičke elemente kao što su kontrole, zaslone, sjedala i druga oprema. Hardver pilotske kabine trebao bi biti dizajniran da se prilagodi različitim antropometrijskim mjeranjima i omogući lak doseg, čitljivost i rad. Kontrole trebaju imati odgovarajuću veličinu, oblik i taktilnu povratnu informaciju kako bi piloti mogli učinkovito komunicirati s njima.
Radni Okoliš	Radni okoliš pilotske kabine uključuje čimbenike poput osvjetljenja, razine čujne buke, temperature i ukupnog prostornog rasporeda. Dobro osmišljeni radni okoliš kabine uzima u obzir udobnost i sigurnost pilota. Pravilna pozadinska rasvjeta i kontrola čujne buke doprinose smanjenju umora, dok regulacija temperature osigurava ugodni radni okoliš.
Ljudi	Komponenta ljudi se odnosi na pilote i druge članove posade koji rade za upravljačnicom. Razumijevanje ljudskih sposobnosti, ograničenja i ponašanja presudno je za ergonomiju pilotske kabine. To uključuje razmatranja ljudske antropometrije, kognitivnog opterećenja, procesa donošenja odluka i dinamike timskog rada. Programi obuke ključni su kako bi se osiguralo da piloti mogu učinkovito komunicirati sa sustavima u kabini i nositi se s različitim scenarijima.

Izvor: [3]

Važno je napomenuti da se oba modela, PEAR i SHELL (više zastupljen u literaturi i recentniji model), uglavnom nadovezuju na drugo recentno načelo ergonomije: radni zadatak treba prilagoditi čovjeku u sustavu stroj – čovjek – radni okoliš.

2.2. Sigurnost

Upravljanje zračnim prometom zajednički je napor koji uključuje više dionika koji rade zajedno kako bi osigurali sigurne i učinkovite operacije. Primjena ergonomijskih rješenja u zrakoplovnoj industriji može poboljšati sigurnost i dobrobit za sve sudionike.

Za pilote, ergonomijska rješenja igraju ključnu ulogu u dizajnu pilotske kabine i upravljačkih sučelja. Raspored kontrola, zaslona i instrumenata treba optimizirati kako bi se fizičko, senzorno i kognitivno radno opterećenje svelo na najmanju moguću mjeru, omogućavajući pilotima pristup informacijama i učinkovito obavljanje zadataka. Ergonomijska razmatranja također se odnose na udobnost sjedala, prilagodljivost i podršku za smanjenje umora i promicanje budnosti tijekom dugih letova.

Li i Harris [4] navode da sve veću važnost dobiva integracija ljudskih čimbenika i ergonomije s tehnološkim napretkom, što je ključno za osiguranje visoke razine sigurnosti letenja. Pristup koji obuhvaća sustavno razmatranje svih čimbenika u operacijama letenja postaje neophodan, a posebno se ističe u kontekstu distribuiranog upravljanja posadom. Ovaj

koncept omogućava da se dio posade nalazi na zemlji dok drugi upravlja zrakoplovom, što može značajno utjecati na upravljanje izvanrednim situacijama kao što je brza dekompresija.

Distribuirano upravljanje posadom zahtijeva temeljite promjene u operacijama letenja i dizajnu zrakoplova kako bi se osiguralo da se hitne situacije mogu efikasno upravljati s različitih lokacija. Piloti u zrakoplovstvu su zadnja linija obrane protiv mogućih nesreća. Stoga, kontroliranje i evaluacija izvedbe pilota tijekom kritičnih faza leta, poput polijetanja i slijetanja, koristeći podatke iz Brzo-pristupnog snimača QAR (*Quick Access Recorder*), postaju esencijalni. Evaluacijski modeli kao što su Sustav za ocjenjivanje učinkovitosti operacija slijetanja zrakoplova FLOPES (*engl. Flight Landing Operation Performance Evaluation System*) razvijeni su kako bi omogućili zrakoplovnim kompanijama kvantitativno upravljanje rizicima i poboljšanje sustava za upravljanje sigurnošću.

Uz to, analiza nesreća i identifikacija zaštitnih čimbenika pomoću Rasmussenovog okvira za upravljanje rizicima može pružiti dragocjene uvide u to kako se nesreće mogu spriječiti. Rasmussenov okvir za upravljanje rizicima koristi se za analizu i razumijevanje kako piloti upravljaju rizicima i donose odluke u složenim i često nepredvidljivim situacijama tijekom leta. Okvir se oslanja na Rasmussenovu kategorizaciju ljudskog ponašanja u tri razine: vještine, pravila i znanje SRK (*Skills, rules, knowledge*). Kroz proučavanje uspješnih sigurnosnih ishoda i normalnih operativnih performansi, može se bolje razumjeti i ojačati sigurnosne mreže unutar zrakoplovne industrije. Sveobuhvatni pristup koji uključuje ljudske čimbenike, tehnologiju i organizacijske procese, temelj je za izgradnju otpornijeg i sigurnijeg sustava zrakoplovstva.

2.3. Ljudske krive reakcije

Početkom 20. stoljeća, istraživači su utvrdili da je izazov tumačenja instrumenata složen radnim opterećenjem i vremenskim pritiskom (kao najintenzivnijim čimbenikom radnog opterećenja) s kojim se suočava pilot. Kako navodi Sumpor [2], prema većini recentnih autora, glavne grupe čimbenika radnog opterećenja su:

- Vremenski pritisak tj. kratki vremenski period za izvedu pojedinog zadatka;
- Više istovremenih zadataka;
- Kompleksnost pojedinog zadatka.

U kontekstu letenja, svaki segment leta, od polijetanja do slijetanja, mora se odvijati prema preciznom rasporedu kako bi se osigurala efikasnost i sigurnost zračnog prometa. Kada piloti upravljaju zrakoplovom pod velikim radnim opterećenjem, moraju brzo i učinkovito reagirati na niz zadataka, uključujući navigaciju, komunikaciju s kontrolom leta i upravljanje potencijalnim nepredviđenim situacijama.

Instrumenti moraju biti napravljeni za najlakše moguće očitavanje i manipulaciju izuzetno kratkog vremena koje pilot ima na raspolaganju za podešavanje. Prema [2], ljudska kriva reakcija (*engl. human error*) može se podijeliti u 4 osnovne kategorije:

- Preuranjena reakcija – nema podražaja, ispitanik prijevremeno reagira;

- Omaška – ima podražaja, ispravna namjera, kriva izvedba;
- Propust – ima podražaja, ispravna namjera, propust u izvedbi;
- Pogreška – ima podražaja, kriva namjera, kriva izvedba.

Ne postoji ništa pogrešno ili problematično u krivoj reakciji, ali kada spojite krivu reakciju s upravljanjem zrakoplova i negativnim posljedicama koje uzrokuje, ona postaje izuzetno problematična. Osposobljavanja, procjene rizika, sigurnosne inspekcije i ostalo ne bi se smjelo ograničiti na pokušaj izbjegavanja krivih reakcija, već radije da ih učine vidljivima te ih treba pokušati identificirati prije nego što proizvedu štetu. Jednostavno rečeno, ljudska kriva reakcija se ne može izbjeći, ali se njome može upravljati.

Prema Salvendyju [5], izvješće iz 1924. godine je označavalo ljudske krive reakcije kao najveći pojedinačni uzrok ozbiljnih nesreća, s gotovo dvije trećine takvih nesreća povezanih s krivom reakcijom pilota tijekom obuke. Općenito, te se nesreće nisu smatrale problemom interakcije pilota i zrakoplova, već su se, kao što je i danas čest slučaj, pripisivale lošim pilotskim vještinama i prosuđivanju. Predloženo rješenje za takve probleme smatrala se obuka, a ne bolji dizajn upravljačnice. Stoga je Salvendy predložio vrlo jednostavna rješenja pri dizajniranju pilotske kabine:

- Usmjeravanje kontrola tako da ih slučajni kontakt s njima neće aktivirati, na primjer, ako su prirodni ili najčešći pokreti pilotove ruke u određenom području u pilotskoj kabini u ravnini gore/dolje, treba osigurati da su svi prekidači okrenuti u lijevo/desno ravnini;
- Omogućavanje dovoljnog otpora upravljanju kako bi se spriječilo slučajno uključivanje, drugim riječima, kontrola treba biti kruta tako da zahtijeva namjeran, trajan napor da se njome upravlja;
- Za aktivaciju kontrole potreban je složen pokret, potrebno je pomicanje po dvije osi od strane pilota prilikom unosa kontrole. Primjeri za to uključuju potrebu povlačenja i istovremenog okretanja okretnog gumba za promjenu postavke ili podizanje ogrlice prije promjene položaja na prekidaču;
- Korištenje blokade, npr. upravljanje ručicom mjenjača nema učinka ako je zrakoplov na zemlji sa sustavom koji detektira težinu na kotačima zrakoplova;
- Ograničavanje pristupa kontroli, što se može učiniti postavljanjem kontrole u udubljenje, ili postavljanjem fizičke zaštite oko kontrole koja se najprije mora ukloniti ili postavljanjem kontrole izvan normalnog dosega pilota.

U lipnju 2014. [6] godine zrakoplov Cessna 525 CJ1 pretrpio je značajniju štetu u nesreći pri slijetanju u zračnu luku Aruana u Brazilu. Sedam osoba u zrakoplovu zadobilo je lakše ozljede. Zračna luka Aruana ima jednu uzletno sletnu stazu dugu 1280 m. Zrakoplov je sletio na uzletno sletnu stazu 24 i prešao oko 350 m od kraja asfaltirane površine dok se nije zaustavio na ogradi u blizini autoceste GO-530. Unatoč velikom iskustvu u zrakoplovstvu, pilot nije bio iskusan na tom tipu zrakoplova te još uvijek nije znao osnovne funkcije poput upotrebe kočnice u nuždi i gašenja motora kroz proceduru za evakuaciju. Ručica kočnice u nuždi zrakoplova nalazila se izvan vidnog polja pilota, što je, uz nedostatak znanja o ispravnoj ručici koju treba aktivirati za kočenje u nuždi, pogodovalo automatskom odgovoru pilota

aktiviranjem poluge koja je bila najprilagođenija i vizualno dostupno na ploči - poluga stajnog trapa u nuždi.

2.4. Utjecaj na troškove

Prema Khayalu [7] ergonomija ima utjecaj i na troškove te tako primjena ergonomijskih načela može imati pozitivan učinak na smanjenje troškova za zrakoplovne kompanije. U nastavku je navedeno nekoliko načina doprinosa ergonomijskih načela smanjenju operativnih troškova:

- Povećanje kvalitete i smanjenje broja krivih reakcija;
- Povećana produktivnost;
- Smanjenje izostanaka s posla i ozljede povezane s radom;
- Zadržavanje djelatnika i osobno zadovoljstvo zaposlenika.

Ergonomijski dizajniran radni prostor i procesi mogu minimalizirati krive reakcije. Manje krivih reakcija znači manje popravni radnji, smanjujući troškove ispravljanja krivih reakcija i potencijalne štete uzrokovane krivim reakcijama. Samim time se povećava kvaliteta što može dovesti do značajnih ušteda troškova za kompanije. Kada se pojedinci u sustavu osjećaju ugodno, to može rezultirati smanjenim umorom i sigurnijem obavljanju zadataka. Povećana produktivnost može dovesti do većeg učinka i smanjenog vremena provedenog na zadacima, što u konačnici smanjuje troškove rada.

Ukoliko zaposlenici rade u dobro dizajniranom i ergonomijskom radnom okolišu, manja je vjerojatnost da će doživjeti smetnje, nelagodu ili umor koji mogu doprinijeti krivim reakcijama. Ergonomija pomaže smanjiti krive reakcije optimiziranjem dizajna zadataka, smanjenjem kognitivnog opterećenja i osiguravanjem jasnih sustava komunikacije i povratnih informacija. Ukoliko se zaposlenici osjećaju cijenjeno, ugodno i podržano, veća je vjerojatnost da će ostati u tvrtki, smanjujući promet i troškove povezane sa zapošljavanjem i obukom novih zaposlenika.

Kako bi neka kompanija provela implementaciju ergonomijskih rješenja, potrebna su početna ulaganja, ali se takva ulaganja smatraju isplativim zbog potencijalnih koristi i dugoročnih ušteda troškova koje može donijeti. Uvođenje ergonomijskih mjera može uključivati početne troškove poput kupnje ergonomijske opreme, redizajniranja radnih mjesta u zračnom prometu ili pružanja obuke za zaposlenike. Međutim, početna ulaganja često nadmašuju dugoročne koristi i uštede troškova koje je moguće postići.

3. ERGONOMIJSKI ČIMBENICI PILOTSKE KABINE KLJUČNI ZA IZVEDBU PILOTA

U kontekstu ergonomije, četiri bitna čimbenika igraju ključnu ulogu u oblikovanju dizajna i funkcionalnosti različitih sustava: fizikalni, senzorni, kognitivni i društveni čimbenici. Svaki čimbenik obuhvaća različite aspekte ljudskog ponašanja, percepcije i interakcije, a njihovo međusobno djelovanje značajno utječe na pilotsku izvedbu te sigurnost. Proučavanje i integracija navedenih čimbenika temeljni su za postizanje ergonomijski ispravnog dizajna i prakse pilotske kabine.

Razumijevanje načina na koji piloti komuniciraju s radnim okolišem omogućuje stvaranje sustava koji optimiziraju njihovu izvedbu, sigurnost i zadovoljstvo. Primjenom načela znanstvenih spoznaja proizašlih iz svakog od ova četiri kritična ergonomijska čimbenika, zračni prijevoznici mogu primijeniti rješenja usmjerena na dobrobit pilota koja povećavaju produktivnost, minimaliziraju krive reakcije i promiču dobrobit, u konačnici poboljšavajući individualne i kolektivne rezultate u njihovom radnim okolišima.

3.1. Fizikalni čimbenici

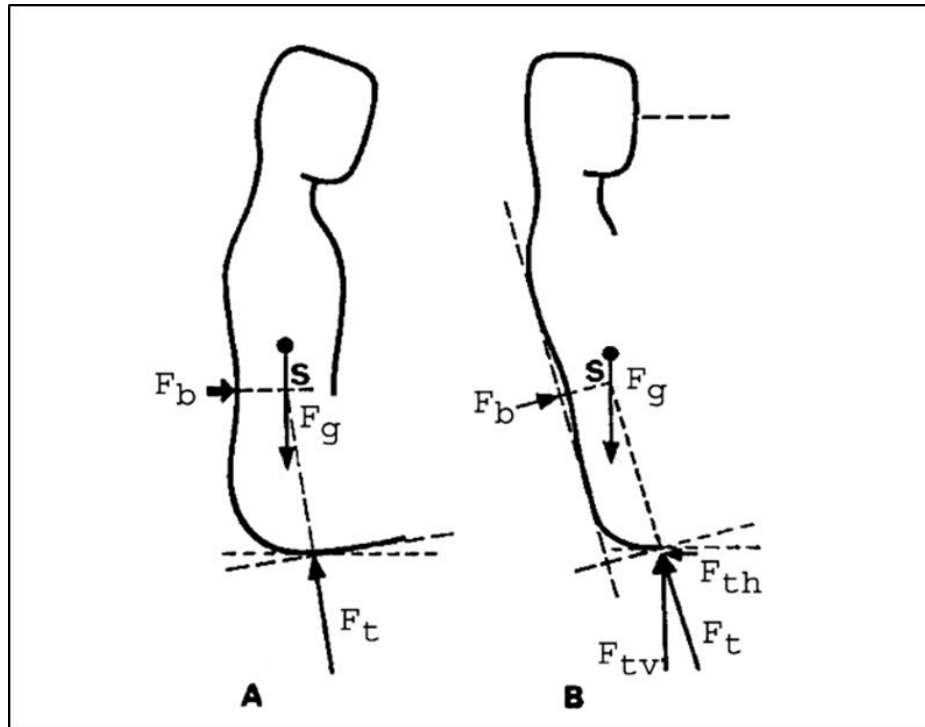
Fizikalni čimbenici su oni koji imaju utjecaj na ljudsko tijelo i njegovu interakciju s radnim okolišem pilotske kabine. Ovi čimbenici igraju ključnu ulogu u dizajniranju jer izravno utječu na udobnost pilota tijekom leta, odnosno sigurnost i ukupnu izvedbu. Razumijevanjem i razmatranjem fizičkih dimenzija, sposobnosti i ograničenja pilota, inženjeri mogu stvoriti radni okoliš koji unaprjeđuje ergonomiju, smanjuje umor i promiče učinkovito upravljanje zrakoplovom.

3.1.1. Ergonomija sjedala

Piloti provode vrijeme satima sjedeći u kabini, često tijekom dužih letova. Udobna sjedala mogu utjecati na smanjenje umora i promicanje budnosti, omogućavajući pilotima da se učinkovito usredotoče na svoje zadatke. Samo shvaćanje važnosti sjedala za ergonomiju razvijalo se tijekom vremena. U početku, dizajn i ergonomija sjedala možda nisu dobivali toliko pažnje ili znanstvenog razumijevanja kao danas. Istraživačke studije, napredak u ergonomiji i lekcije naučene iz nesreća pridonijeli su shvaćanju da sjedala igraju ključnu ulogu u izvedbi pilota tijekom njihovih zahtjevnih zadataka.

Prvobitno korišteno sjedalo s vertikalnim naslonom koje se odnosi na površinu za sjedenje kojoj nedostaje naslon za leđa pod kutom, drugim riječima, naslona za leđa ili nema ili je postavljen okomito bez ikakvog nagiba ne pruža istu razinu potpore za leđa kao sjedala pod kutom. Mogu se naći u nekim osnovnim konfiguracijama sjedala gdje ergonomija i povećana udobnost nisu primarno razmatrana.

Bio-mehanički model gornjeg dijela tijela na slici 3.1 shematski prikazuje razliku djelovanja sila na vertikalni u odnosu na naslon s inklinacijom. U lijevom dijelu slike (A) je prikazan gornji dio tijela (uključujući masu ruku, glave i trupa) na ravnom sjedalu dok u desnom dijelu slike (B) je prikazan gornji dio tijela kada se koristi sjedalo pod kutom.



Slika 3.1 Ergonomija sjedenja pri radu za upravljačnicom

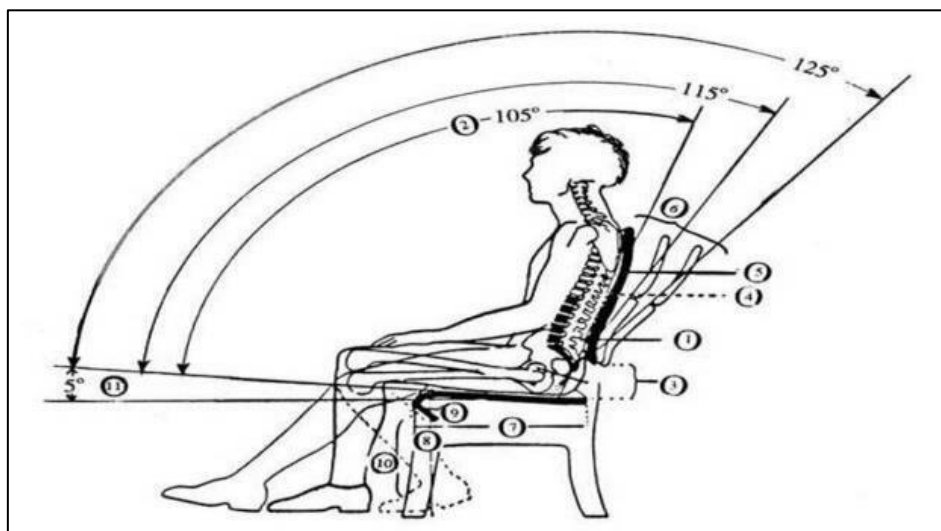
Izvor: Preuzeto od Goossens, R. et al., 2000. [8]

Prema Goossensu et al. [8], kod vertikalnog naslona javlja se sila smicanja između kože i naslona. Kako bi uklonili taj problem, potrebno je postaviti naslon pod određenim kutom. Posljedično, reakcija sile na išijalnu izbočinu na leđima nije vertikalna što uzrokuje stvaranje nove, posmične sile između sjedne plohe i stražnjice što uzrokuje otklizavanje tijela iz sjedne plohe. U teoriji, takva sila može biti potpuno eliminirana postavljanjem sjedne plohe i naslona pod kutom od 90-100°. Prema standardu AS290B, kut naslona pilotskog sjedala tijekom leta trebao bi biti između 65° i 85°, posljedično, kut pilotskog sjedala trebao bi biti između 5° i 15°. Prednosti naslona pod kutom uključuju:

- Poboljšanu udobnost: kut naslona omogućuje osobi koja sjedi da se lagano nagne unatrag, raspoređujući težinu i smanjujući pritisak na donji dio leđa i kralježnicu;
- Bolje držanje: nagib naslona za leđa potiče uspravnije držanje i podržava prirodnu zakrivljenost kralježnice ;
- Smanjeni umor: ergonomijski dizajn nagnutog sjedala može pomoći u smanjenju umora mišića i nelagode pružanjem odgovarajuće lumbalne potpore i smanjenjem naprezanja mišića leđa i vrata;

- Stabilnost: kut naslona u nagnutom sjedalu može ponuditi veću stabilnost i kontrolu, budući da pruža površinu na koju se osoba koja sjedi može oslanjati ili gurati.

Andrade [9] u svojoj doktorskoj disertaciji dokazuje važnost dizajna sjedala te naglašava da postoji jedanaest temeljnih zahtjeva koji su prikazani na slici 3.2. Ti zahtjevi moraju biti ispunjeni kako bi se osigurala udobnost i sigurnost sjedala. Fiziološki, patološki i anatomske razlozi boli i nelagode u donjem dijelu leđa su oni o kojima ti zahtjevi ovise, a to su: dovoljan prostor za noge, mogućnost promjene položaja; ugradnja naslona za ruke; podešavanje visine sjedišta; ugradnja oslonca za donji dio leđa; uspravno držanje kralježnice; ugradnja oslonca za ramena; zakrivljenost sjedišta; ugradnja naslona za leđa; specifičan kut između bedara i trupa te mogućnost podešavanja nagiba sjedala.



Slika 3.2 Jedanaest temeljnih zahtjeva za ostvarenje udobnosti i sigurnosti sjedala

Izvor: Preuzeto od Andrade Y., 2013. [9]

Danas su sjedala u pilotskoj kabini dizajnirana da imaju jasnu vidljivost ploče s instrumentima, kontrola i prometnog okoliša bez prepreka. Pravilan položaj sjedala i mogućnost podešavanja omogućuju pilotima da zadrže liniju vidljivosti i učinkovit pristup potrebnim informacijama. Dizajn sjedala u pilotskoj kabini uzima u obzir sigurnosne aspekte, posebno tijekom izvanrednih situacija. Može se reći kako su sjedala otporna na sudar i visoka ubrzanja jer su dizajnirana da apsorbiraju udarne sile, pružajući zaštitu pilotima u slučaju sudara ili druge nepredviđene situacije. Sjedala su također integrirana sa sigurnosnim sustavima, kao što su sigurnosni pojasevi i rameni pojasevi, kako bi osigurali pilote tijekom turbulencija ili neočekivanih događaja.

Postoji 9 stupnjeva podešavanja sjedala u pilotskoj kabini, a to su: kut naslona za glavu, visina naslona za glavu, naslon za leđa (nagib), kut naslona za ruke, visina naslona za ruke, pomicanje cijelog sjedala po horizontalnoj osi, visina sjedećeg dijela, kut sjedećeg dijela te mehanički podesiv lumbalni podupirač.

Podesivi nasloni za ruke omogućuju pilotima da optimiziraju svoj položaj sjedenja za različite faze leta ili osobne preferencije. Isto tako, podesivi naslon za glavu (visina i kut naslona) osiguravaju adekvatnu potporu za vrat i glavu. Sve prilagodbe bi trebale biti brze i jednostavne pilotima u realitetu.

U pravilu, dizajn sjedala uzima u obzir dostupnost bitnih kontrola i instrumenata. Pravilan položaj sjedala osigurava da piloti mogu lako dohvatiti i upravljati kontrolama bez naprezanja ili pretjeranih pokreta tijela, promičući učinkovitu i preciznu kontrolu leta. Sjedala u pilotskoj kabini često su izrađena od samogasivih materijala otpornih na vatru kako bi se zadovoljili sigurnosni propisi i smanjio rizik od širenja vatre.

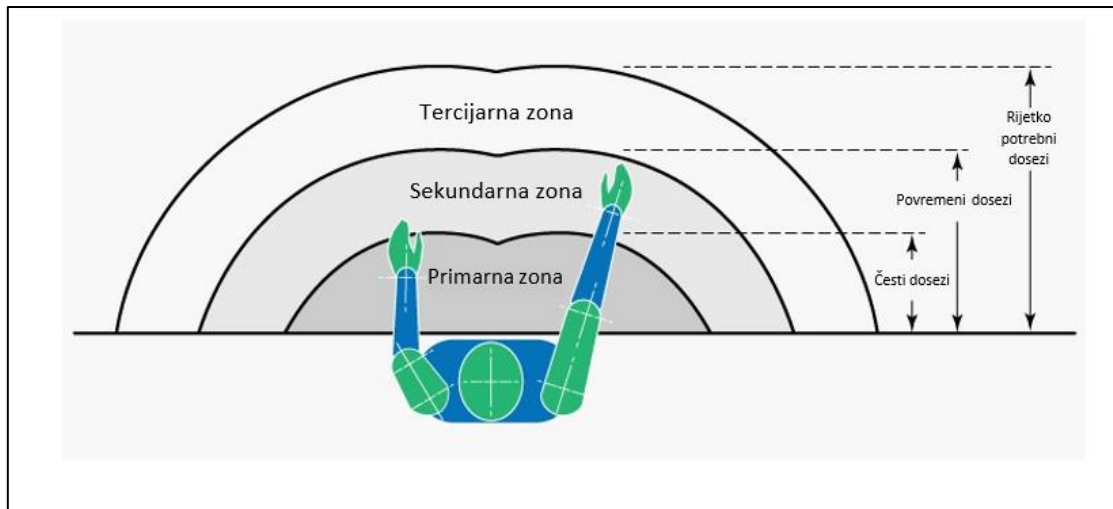
Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije iz 2019. godine [10] više od 22% odrasle populacije pati od nekog oblika mišićno-koštanog poremećaja MSD (*engl. Musculoskeletal Disorders*). MSD su stanja koja utječu na protok krvi, periferne živce, tetive, zglobove, diskove kralježnice i srodne mišiće u donjim i gornjim ekstremitetima. Od onih koji su pogođeni poremećajem MSD, veliki dio je među vozačima kamiona, autobusa i pilotima, drugim riječima, ljudi koji dugo sjede. Kod dužeg sjedenja, potrebno je više energije te povećava se napor ako se pritom osjeća nelagoda pri sjedenju.

Sve u svemu, Goossens et al. [8], a potom i Andrade [9] su pogodili bit kada su došli do zaključka da su sjedala ključna za ukupnu izvedbu na radnom mjestu glede udobnosti i sigurnosti. U konačnici, dizajn sjedala u pilotskoj kabini može pozitivno doprinijeti izvedbu pilota, dobrobit i sigurnost tijekom svih faza leta, pridonoseći normalnom i učinkovitom radu prilikom upravljanja zrakoplovom.

3.1.2. Raspored kontrolnih uređaja i instrumenata

pozicioniranje i doseg kontrola i instrumenata za letenje, poput upravljačke palice, uređaja za izvlačenje stajnog trapa i zakrilaca, ručice snage i ostalog od iznimne su važnosti kako bi se olakšala jednostavna i precizna izvedba pilota bez pretjeranog naprezanja mišića. Prema Shirudeu i Jagtapu [11] ergonomijska razmatranja pri dizajniranju kontrola i instrumenata jesu:

- Operacija upravljanja treba trošiti minimalnu energiju;
- Kontrolni uređaji trebaju biti logično postavljeni i lako dostupni;
- Operacija kontrole u pilotskoj kabini treba uključivati minimalne i brze pokrete;
- Dio kontrolnog uređaja koji dolazi u kontakt s rukom korisnika treba biti u skladu s anatomijom ljudskih ruku;
- Oblik i veličina kontrolnih uređaja trebaju poticati da njima rukuje na način da djeluje potrebnom, a ne pretjeranom silom.



Slika 3.3 Zone dosega ruku u sjedećem položaju

Izvor: Preuzeto od Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 2018. [12]

Slika 3.3 prikazuje zone dosega ruku u sjedećem položaju, u ovome slučaju pilota zrakoplova. Primarna zona odnosi se na područje unutar pilotove prirodne i kraće ekstenzije ruku, gdje mogu pristupiti kritičnim kontrolama i instrumentima bez pretjeranog istežanja ili naprežanja. Ova zona je ključna za osiguravanje da piloti mogu jednostavno i brzo komunicirati s bitnim elementima tijekom letačkih operacija bez ugrožavanja njihove udobnosti ili učinkovitosti. Neki uobičajeni primjeri kontrola i instrumenata koji se obično nalaze unutar ove zone su:

- Upravljačke palice: uređaji za upravljanje letom kritične su komponente koja kontroliraju smjer i nagib zrakoplova, višenamjenska upravljačka palica za skretanje u zraku (*engl. joystick*) te višenamjenska upravljačka palica za skretanje na zemlji (*engl. tiller*);
- Ručica snage: odgovorna je za regulaciju izlazne snage motora, u pravilu se nalazi unutar primarne zone, omogućujući pilotu lake prilagodbe tijekom različitih faza leta;
- Kontrola zakrilaca i stajnog trapa: većinom se nalaze unutar primarne zone, jer se često podešavaju tijekom polijetanja, slijetanja i drugih kritičnih manevara u letu;
- Radio i navigacijski uređaji: položaj takvih uređaja u primarnoj zoni pridonosi pilotovoj situacijskoj svjesnosti, učinkovitosti komunikacije i sigurnim operacijama leta;
- Indikator brzine, visinomjer, indikator položaja i vertikalne brzine, obično se nalaze unutar primarne zone radi brzog snalaženja u svim situacijama.

Sekundarna zona dohvata ruku za pilota odnosi se na područje koje zahtijeva blago produženje ili ograničeno istežanje ruku za pristup kontrolama i instrumentima u pilotskoj kabini. Dok se kontrolama i instrumentima unutar primarne zone može udobno pristupiti bez naprežanja, onima u sekundarnoj zoni može biti potrebno malo dodatnog kretanja, ali i dalje ostaju unutar maksimalnog dosega ruke pilota. Postavljanje kontrola i instrumenata u sekundarnu zonu obično se radi za smještaj predmeta koji se rjeđe koriste ili onih koji nisu

ključni tijekom kritičnih faza leta. Evo nekoliko primjera kontrola i instrumenata koji se mogu postaviti unutar sekundarne zone:

- Sekundarni instrumenti za let: neki sekundarni instrumenti za let, kao što su sekundarni indikatori brzine ili sekundarni visinomjeri, mogu se postaviti u sekundarnu zonu, ovi instrumenti su i dalje bitni za izvedbu pilota, ali možda neće zahtijevati stalni nadzor tijekom normalnih operacija;
- Rjeđe korišteni sustavi: instrumenti koji se odnose na ne toliko bitne sustave, kao što su rasvjeta u kabini, kontrola klime ili sustavi za zabavu, mogu se nalaziti u sekundarnoj zoni, iako su važne za udobnost putnika, ove kontrole nisu izravno povezane s primarnim zadacima leta;
- Pomoćne kontrole komunikacije i navigacije: u nekim zrakoplovima pomoćne kontrole za komunikacijske i navigacijske sustave mogu se nalaziti u sekundarnoj zoni.

Važno je napomenuti da kategorizacija kontrola i instrumenata u primarne i sekundarne zone može varirati ovisno o vrsti zrakoplova, rasporedu pilotske kabine i operativnim zahtjevima. Dizajneri pilotskih kabina i zrakoplovne vlasti pažljivo razmatraju načela učestalosti korištenja, prioriteta i ljudskih čimbenika pri određivanju postavljanja kontrola i instrumenata unutar ovih zona.

U teoriji ergonomijske smjernice preporučaju da svaki instrument koji je važan i često korišten treba biti unutar normalnog doseg ruke, međutim u praksi uvijek postoji nekoliko uređaja koji su postavljeni u tercijarnoj zoni (rjeđe se koriste ili se na taj način sprječava slučajno aktiviranje). To mogu biti:

- Električni prekidači koji štite različite sustave zrakoplova, često se nalaze na ploči iza ili ispod pilotskog sjedala, izvan normalnog dohvata ruke, takav položaj sprječava slučajno okidanje prekidača strujnog kruga tijekom leta i osigurava da su dostupni kada je potrebno za rješavanje problema;
- Kontrole održavanja: Određene kontrole ili prekidači koji se odnose na zadatke održavanja ili testove sustava mogu se postaviti u područja koja nisu lako dostupna tijekom leta, ove kontrole obično koristi osoblje za održavanje tijekom provjera i inspekcija prije leta.

Implementacija objedinjenih kontrola u pilotskoj kabini postala je standard u modernom zrakoplovstvu zbog brojnih prednosti koje nudi u smislu učinkovitosti pilota, sigurnosti i cjelokupnog leta. Objedinjavanje kontrola odnosi se na integraciju višestrukih funkcija ili operacija u jedan kontrolni element ili sučelje, pojednostavljujući sposobnost pilota da lakoćom upravlja različitim sustavima. Ovaj pristup dizajnu kabine revolucionirao je način na koji piloti komuniciraju sa zrakoplovom i značajno je pridonio poboljšanju interakcije čovjeka i stroja u smislu sigurnosti leta.

Prema Salvendyju [5], jedan od najboljih primjera je multifunkcionalni zaslon MFD (*engl. Multi-Function Display*) koji ima više povezanih informacija, poput zajedničke integracije visine i brzine na istom instrumentu. Multifunkcionalni zaslone obično su dizajnirani da budu u skladu s principom grupiranja srodnih komandi tako da jedan zaslon obično sadrži

samo povezane informacije za određenu grupu informacija. Višenamjenski uređaji trebaju imati pravilnu organizaciju i minimalnu dubinu, iako zadovoljavaju načelo kompatibilnosti blizine, višenamjenski uređaji bi mogli imati lošu organizaciju.

Nadalje, budući da se sadržajem MFD-a može upravljati ručno ili putem računala, zaslon može imati više stranica (tj. Dubinu). Ako je takav prikaz loše organiziran, nije u skladu sa smjernicama za upotrebljivost ili ima preveliku dubinu, pilot bi se mogao izgubiti tijekom navigacije stranicama zaslona. Štoviše, upravljanje zaslonom može zahtijevati da pilot spusti glavu, to jest da ne gleda van zrakoplova, što se općenito smatra lošom praksom. Najbolje rješenje je zaslon za grupirane informacije HUD (*engl. Head-up Display*), pomoću kojeg je pilotu osigurano više informacija bez prebacivanja fokusa sa prometnog okoliša. HUD je detaljnije obrađen u dijelu Situacijska svjesnost.

Kako bi se pojednostavilo korištenje, odnosno upravljanje zrakoplova, noviji zrakoplovi imaju unificirane komande. Unificiranje komandi znači standardiziranje njihovog položaja, dizajna i funkcije na različitim modelima zrakoplova. Piloti koji su obučeni na jednom zrakoplovu mogu lakše prijeći na drugi bez potrebe za učenjem potpuno drugačijeg skupa kontrola. To smanjuje kognitivno radno opterećenje i omogućuje pilotima da se više usredotoče na upravljanje zrakoplovom i upravljanje kritičnim zadacima. Tijekom kritičnih situacija u letu, piloti trebaju donositi brze odluke, unificiranje kontrola osigurava da piloti mogu instinktivno posegnuti za ispravnom kontrolom, poboljšavajući njihovu sposobnost da brzo reagiraju u hitnim slučajevima ili izvanrednim uvjetima.

3.1.3. Klimatizacija

Klimatizacija u pilotskoj kabini jedan je od čimbenika u određivanju udobnosti i dobrobiti letačke posade, osobito tijekom dugih letova ili nepovoljnih vremenskih uvjeta. Učinci klimatizacije na ergonomiju pilota višestruki su i mogu značajno utjecati na ukupnu izvedbu leta. Ekstremne temperature, bilo previsoke ili preniske, mogu uzrokovati nelagodu i ometati pilota da se usredotoči na kritične letačke zadatke. Dva najvažnija parametra koji se mogu osigurati klimom uređajem, ugodna radna temperatura i relativna vlažnost RH u području ugodne udobnosti omogućuje pilotu da se bolje usredotoči, donosi informirane odluke i brzo reagira na promjenjive uvjete. Na slika 3.4 prikazani su uobičajeni kontrolni sistem temperature za regulaciju temperature velikog mlaznog zrakoplova (lijevo) i poslovnog mlaznog zrakoplova (desno).



Slika 3.4. Uobičajeni kontrolni sistem temperature za regulaciju temperature velikog mlaznog zrakoplova (lijevo) i poslovnog mlaznog zrakoplova (desno)

Izvor: Preuzeto od Aeronautics guide, 2017. [13]

Termalna neugoda odnosi se na stanje u kojem osoba osjeća neugodu zbog temperaturnih uvjeta u svom okruženju. Prema Sumporu [2], subjektivni osjećaj termalne neugode pojavljuje se u rasponu od iritacije do boli. Može varirati od blage iritacije, kao što je osjećaj hladnoće ili vrućine, pa sve do izražene nelagode ili čak boli, što se obično javlja kada su temperature ekstremno visoke ili niske. Tablica 3.1 prikazuje preporučeni raspon relativne vlažnosti zraka RH koji ne izaziva termalnu neugodu. Termalna uгода jako malo ovisi o relativnoj vlažnosti zraka RH, a u rasponu od 30 % RH do 70 % RH relativna vlažnost jako malo djeluje na operativnu (efektivnu) temperaturu t_e (°C). Za maksimalnu termalnu ugodu, preporučuje se ambijentalna temperatura u rasponu od 20 °C – 24 °C, istovremeno uz relativnu vlažnost RH u rasponu od 40 - 60 %.

Tablica 3.1 Raspon relativne vlažnosti zraka RH u prostoriji koji vrlo malo utječe na pojavu subjektivnog osjećaja termalne neugode

Δ % RH	(°C)	Utjecaj na čovjeka
30% RH - 70% RH	18 °C – 24 °C	ne izaziva termalnu neugodu

Izvor: [14]

Tablica 3.2 prikazuje četiri osnovna klimatska čimbenika subjektivnog osjećaja termalne ugrade, a tablica 3.3 preporučene vrijednosti ambijentalnih t_a i temperature t_s . Ovi čimbenici zajedno utječu na to kako pojedinci percipiraju svoje termalno okruženje i koliko se ugodno osjećaju.

Tablica 3.2. Četiri osnovna klimatska čimbenika subjektivnog osjećaja termalne ugone koji dominantno definiraju izmjenu topline između sudionika u prometu i okoliša

Klimatski čimbenik	Oznaka (mjerna jedinica)	Tehničko rješenje
temperatura zraka u radnom ili putničkom okolišu ili ambijentalna temperatura	t_a (°C)	Klimatizacija upravljačnice i putničkih prostora
relativna vlažnost zraka	% RH (-)	
brzina strujanja zraka	v (m/s)	
temperatura okolnih površina	t_s (°C)	<ul style="list-style-type: none"> • grijano sjedalo (barem za vozača); • grijana komandna ploča (često korištene komande za posluživanje rukama); • grijano vjetrobransko staklo; • višeslojne termoizolacijske staklene površine na vratima / ili prozorima; te • toplinska izolacija podova

Izvor: [14]

Tablica 3.3. Preporučljive ambijentalne temperature zraka u okolišu t_a s obzirom na vrstu radnog procesa i položaj tijela tijekom rada

Vrsta posla	t_a (°C)
umni sjedeći posao (može se primijeniti na pilote)	21°C
lagani fizički rad sjedeći	19°C
lagani fizički rad stojeći	18°C
težak fizički rad stojeći	17°C
težak rad	15°C – 16°C

Izvor: [14]

Između ostalog, dobro regulirana temperatura u radnom prostoru pomaže smanjiti fizički umor tijekom dugih letova. Povoljni klimatski uvjeti smanjuju stres na tijelo pilota, omogućujući mu da ostane budan i koncentriran tijekom leta. Umor je značajan čimbenik sigurnosti letenja, a klimatizacija omogućava ublažavanje njegova utjecaja. Zrak iz ventilacije u pilotskoj kabini u zoni koljena i vrata ne smije strujati brzinom većom od 0,2 m/s, tablica 3.4 prikazuje mogući učinak vrijednosti brzine strujanja zraka v na čovjeka u različitim

okolnostima.

Tablica 3.4 Granične vrijednosti brzine strujanja zraka v

v (m/s)	Okolnost	Učinak na čovjeka
> 0,5 m/s	Čak i kada je zrak topao	neugodno
> 0,2 m/s	Rad u sjedećem položaju	
> 0,1 m/s	Obavljanje preciznog rada u nepokretnom položaju duže vrijeme	
< 0,2 m/s	Kretanje zraka u razini glave i koljena	ugodno

Izvor: [14]

Prema Steiner et al. [15], radi potrebe za pričuvnom energijom, u zrakoplov se implementira dodatni energetski sustav, koji se naziva Pričuvni energetski sustav APU (*engl. Auxiliary Power Unit*). Ovaj sustav uključuje manji plinski motor, koji služi kao alternativni izvor energije u slučaju da glavni motori otkazu ili budu ugašeni. Njegova glavna funkcija je pokretanje električnih generatora, hidrauličnih i pneumatskih crpki, a često se koristi i za proizvodnju energije, bilo u obliku električne energije ili zračnog pritiska, što je potrebno za pokretanje glavnih motora. Također, ovaj sustav može poslužiti za stvaranje zraka pod tlakom, što je ključno za klimatizaciju kabine.

APU je općenito manji i tiši od glavnih motora. Tijekom zemaljskih operacija korištenje APU-a umjesto glavnih motora može smanjiti čujnu buku i vibracije u pilotskoj kabini, čineći ga ugodnijim i ergonomičnijim radnim okolišem za pilote. Kada uzmemo u obzir činjenicu da temperatura asfalta u ljetnim mjesecima prelazi 50 °C, a zbog ograničenja zračnih luka motori moraju biti ugašeni na parking poziciji, takav sustav značajno olakšava pilotima rad u ekstremnim uvjetima.

Miris u pilotskoj kabini može ergonomijski utjecati na pilota na nekoliko načina. Neugodni mirisi mogu kao distrakcija smanjiti koncentraciju pilota, što može utjecati na njihovu sposobnost upravljanja zrakoplovom. S druge strane, mirisi koji su ugodni mogu povećati raspoloženje i opću udobnost, čime se poboljšava radna atmosfera. Stoga je važno kontrolirati i optimizirati kvalitetu zraka unutar kabine kako bi se osiguralo da mirisi ne postanu izvor distrakcije ili nelagode. U ergonomijskom dizajnu kabine, klimatizacija i održavanje čistoće imaju ključnu ulogu u upravljanju mirisima.

3.1.4. Dizajn prostora

Dovoljan razmak oko pilotskog sjedala ključan je kako bi se omogućilo slobodno kretanje i lagan ulazak ili izlazak iz sjedala. Adekvatan razmak koljena ispod ploče s instrumentima i upravljačke konzole omogućuje pilotu udobno pomicanje nogu i pristup pedalama. Dovoljan prostor za glavu i bočni prostor oko ramena umanjuju osjećaj ograničenosti i omogućavaju pilotu da zadrži prirodan i opušten položaj.

Pod u pilotskoj kabini je element dizajna koji isto utječe na sigurnost i ergonomiju pilota. Trebao bi biti dizajniran tako da pruža stabilnu i potpurnu površinu za kretanje pilota, pristup kontrolama i održavanje udobnog položaja sjedenja tijekom letačkih operacija. Pod bi trebao biti napravljen od neklizajućeg materijala kako bi se spriječilo klizanje pilota i gubitka oslonca, posebno tijekom turbulentnih uvjeta leta. Isto tako, treba biti ravan kako bi se osigurao stabilan temelj za sjedenje i kretanje pilota.

Iako su većinom piloti opskrbljeni unaprijed zapakiranim obrocima i osvježavajućim napitcima kojima je lako rukovati i koje je lako konzumirati tijekom odgovarajućih faza leta, veći komercijalni zrakoplovi često imaju kuhinju smještenu u kabini, gdje stjuardese mogu pripremiti i poslužiti obroke putnicima pa i posadi. Time je priprema hrane odvojena od pilotske kabine, osiguravajući usredotočeno i sigurno okruženje za letačku posadu. Na slici 3.5 je prikazana kuhinja zrakoplova Bombardier CL 350.



Slika 3.5. Kuhinja zrakoplova Bombardier CL 350

Izvor: uslikao autor

Dok se koncept kuhinje za tople obroke može činiti privlačnim, nije praktičan ili preporučljiv zbog ograničenja prostora, razmatranja težine i ravnoteže, opasnosti od požara, potencijalnih smetnji i izazova usklađenosti s propisima. Također, mnogi zrakoplovi dugog doleta opremljeni su namjenskim mjestom za odmor letačke posade, primjer se može vidjeti na slici 3.6. Područja za odmor pružaju udoban i siguran prostor za odmor i oporavak članova posade tijekom dužih letova, poboljšavajući njihovu dobrobit i upravljanje umorom. Kvalitetan toalet, također može doprinijeti subjektivnom osjećaju ugone kod pilota.



Slika 3.6. Prostor za odmor letačke posade

Izvor: Preuzeto od Business insider [16]

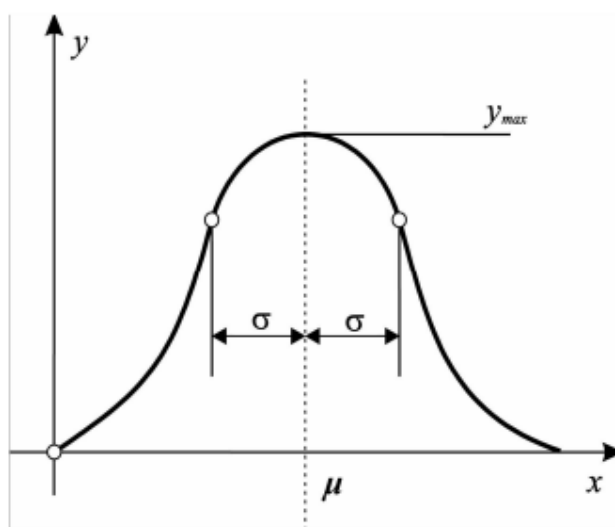
3.1.5. Antropometrijska razmatranja

Prema Pheasantu [1], antropometrija je znanstvena studija o mjerama i proporcijama ljudskog tijela, koja obuhvaća širok raspon fizičkih dimenzija i karakteristika pojedinaca u različitim dobnim skupinama, spolovima i etničkim pripadnostima. Ima temeljnu ulogu u dizajniranju radnog prostora pilota, odnosno kabine. Važnost antropometrije leži u njezinoj sposobnosti da pruži vrijedne uvide u ljudsku raznolikost i varijabilnost. Svaki pojedinac posjeduje jedinstvene dimenzije tijela, a razmatranje ove raznolikosti ključno je za stvaranje pristupačnog dizajna.

Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji WHO (engl. World Health Organisation) indeks tjelesne mase *ITM* (engl. Body Mass Index - BMI) okvirni je pokazatelj eventualne pretjerane debljine zbog prevelike mase m u odnosu na stojeću tjelesnu visinu h , a računa se prema formuli (35). Dakle indeks tjelesne mase *ITM* sadrži dvije, međusobno neovisne, antropomjere u čovjeka, stojeću visinu h i masu m , a računa se prema formuli (1):

$$ITM = \frac{M}{h^2} \quad (1)$$

Antropometrijski podaci obično se prikupljaju različitim metodama, poput izravnih mjerenja, 3D skeniranja i statističke analize velikih uzoraka populacije. Ova mjerenja pokrivaju širok raspon tjelesnih parametara tj. statičke i kinematičke antropometrijske mjere, uključujući tjelesnu visinu, masu, duljine udova, dosege zahvata, raspon pokreta zglobova i opseg tijela. Jedna od najučinkovitijih i najčešće korištenih metoda za analizu i tumačenje antropometrijskih podataka je primjena Gaussove krivulje, također poznate kao normalna raspodjela, može se vidjeti na slici 3.7.



Slika 3.7. Normalna simetrična razdioba za nestandardnu funkciju gustoće vjerojatnosti

Izvor: Preuzeto od Sumpor, Zagreb, 2018. [2]

Normalna ili Gaussova krivulja, prikazana na slici 3.7, je nestandardna funkcija gustoće vjerojatnosti jer je prosječna (aritmetička) vrijednost slučajne varijable veća od nule ($\mu > 0$), a definirana je prema formuli (2):

$$y(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}} \quad (2)$$

gdje su: μ - prosječna (aritmetička) vrijednost slučajne varijable za N ispitanika iz cijele populacije istraživanih sudionika;

σ – standardna devijacija za N ispitanika iz cijele konačne populacije.

Umjesto varijance, često se koristi standardna devijacija ili srednja kvadratična pogreška SD, koja se za n ispitanika iz slučajnog uzorka računa prema formuli (3) kao drugi korijen iz varijance (disperzije):

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (h_j - M)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n \Delta h} \quad (3)$$

Prema [14], ukoliko raspoložemo s prosječnom vrijednošću (aritmetičkom sredinom) stojeće visine M i vrijednošću standardne devijacije SD za uzorak od n ispitanika, moguće je koristeći dolje navedene formule (4) i (5) izračunati granične iznose visina za peti centil 5 c i devedeset i peti centil 95 c.

$$5,0 \cdot c = M - 1.65 \cdot SD \quad (4)$$

$$95,0 \cdot c = M + 1.65 \cdot SD \quad (5)$$

Kroemer i Grandjean [14] sugeriraju isključivanje 5% najviših i 5% najnižih osoba iz ukupne populacije ispitanika u prometu, u odnosu na specifičnu tjelesnu dimenziju koja se analizira. Bitno je zahvatiti percentile između 5% i 95%, odnosno centralnih 90% slučajno odabranog i adekvatnog uzorka. To je približno jednako centralnim 90% cijele populacije ispitanika, pri čemu veći uzorak smanjuje mogućnost odstupanja. Formula (6) za $\Delta h_{90\%}$ pokazuje izračunani raspon, npr. stojeće visine kod centralnih 90 % ispitanika iz uzorka od n sudionika u prometu.

$$\Delta h_{90\%} = 5,0 \cdot c \div 95,0 \cdot c \quad (6)$$

Dizajn pilotske kabine kritičan je aspekt sigurnosti i učinkovitosti zračnog prometa, a razmatranje antropometrijske prilagođenosti kroz odnos fizičkih dimenzija kabina i karakteristika pilota ključno je kako bi se osiguralo da je radni prostor koliko je to moguće prilagođen rasponima grupe pojedinaca iz ciljane populacije, jer je nemoguće u potpunosti prilagoditi dizajn u segmentu antropometrijske prilagođenosti cijeloj populaciji.

Rasponi statičkih i kinematičkih antropomjera za centralnih 90 % bitnih za dizajn upravljačnice dobivaju se na temelju mjerenja svih potrebnih antropomjera na slučajnom i dovoljnom uzorku iz cijele populacije. Pri tome je potrebno uvažiti raspone za centralnih 90 % za granične mjere za muškarce i žene, jer je sve veći broj pilota žena u ukupnoj populaciji pilota.

Ergonomijska razmatranja temeljena na antropometrijskim podacima mogu smanjiti rizik od ozljeda mišićno-koštanog sustava i povećati ukupnu produktivnost. Štoviše, antropometrija ima ključnu ulogu u mogućem osiguravanju veće sigurnosti i učinkovitosti transportnih sustava. Unutrašnjost zrakoplova dizajnirana je imajući na umu antropometrijske raspone mjera kako bi pilotima pružila odgovarajući prostor, vidljivost i doseg. To poboljšava

cjelokupno iskustvo putovanja i smanjuje vjerojatnost nezgoda i nesreća uzrokovanih neudobnim ili ograničenim položajima sjedenja.

3.2. Senzorni čimbenici

Senzorni čimbenici u pilotskoj kabini odnose se na čimbenike povezane s ljudskim osjetilima, uključujući vid, sluh, dodir. Ovi su čimbenici ključni u dizajnu kabine jer utječu na to kako piloti percipiraju, tumače i reagiraju na informacije i podražaje tijekom letačkih operacija. Dobro osmišljena upravljačnica mora uzeti u obzir ograničenja i mogućnosti ljudskih senzornih sustava kako bi se osigurala sigurnost i svijest o situaciji.

Analogni i digitalni instrumenti na upravljačkoj ploči moraju imati mogućnost podešavanja pozadinskog osvjetljenja (područje ugone je različito za pilote različite navršene dobi). S godinama dolazi do gubitka kontrastne osjetljivosti, što otežava razlikovanje objekata sličnih boja ili nijansi. Veći kontrast pomaže u boljem razlikovanju informacija, što je posebno važno u situacijama koje zahtijevaju brze reakcije, kao što je upravljanje zrakoplovom. Isto tako, starenjem se mogu smanjiti sposobnosti percepcije boja, osobito plave i zelene. Veći kontrast može pomoći u kompenzaciji ovih promjena, omogućavajući starijim pilotima da učinkovitije čitaju instrumente.

3.2.1. Vizualni

Airbus S.A.S. [17] navodi da propisi zahtijevaju da proizvođač zrakoplova osigura sredstva koja će pomoći pilotima da se precizno postave i omogućiti im najbolju točku gledišta sa svog sjedala. To je definirano u dokumentima EASA CS 25.773 i FAA FAR 25.773. Piloti koji su visoki između 1,58 m do 1,91 m moraju imati jednostavan pristup svim kontrolama zrakoplova u pilotskoj kabini i to je propisano u EASA CS 25.777. Ovaj zahtjev osigurava da dizajn odgovara velikoj većini pilota.



Slika 3.8 Indikator referentne točke oka

Izvor: Preuzeto od Airbus S.A.S, 2018. [17]

Danas, sve suvremene pilotske kabine zrakoplova izrađene su uzimajući u obzir referentnu točku oka. Na slici 3.8 je prikazan indikator referentne točke oka (*engl. Eye Reference Indicator*). To je uređaj koji je opremljen s 3 kuglice obojane crveno ili bijelo. Da bi postigli ispravan položaj sjedenja, piloti moraju uskladiti crvenu i bijelu kuglicu tako da bijela kuglica bude skrivena kada je u ispravnom položaju. koristi se za određivanje optimalnog položaja sjedenja pilota zrakoplova. Kada se piloti poravnaju s referentnom točkom oka, zauzet će optimalan položaj za upravljanje zrakoplovom. Zaključno, pilot mora imati jasan i neometan pogled na sve relevantne instrumente i kontrole, kao i na vanjske vizualne orijentire i horizont. To je važno prilikom svim faza leta, posebno pri uzlijetanju i slijetanju.

Nadalje, rasvjeta u pilotskoj kabini trebala bi osigurati dovoljno osvjetljenja da svaki instrument, prekidač ili drugu opremu potrebnu za siguran rad učini lako čitljivim. Rasvjeta mora biti postavljena tako da su oči pilota zaštićene izravne zrake svjetla te da pilot ne vidi refleksije. Svjetla u upravljačnici zrakoplova uglavnom su bijela svjetla te razlikovanje između svjetala različitih razina važnosti ključno je za sigurnost i efikasnost letenja. Svjetla koja označavaju kritične informacije i upozorenja obično su intenzivnijih boja, poput crvene ili narančaste, kako bi privukla pažnju pilota u hitnim situacijama. Slika 3.9 prikazuje osvjetljenje u pilotskoj kabini zrakoplova Bombardier CL 350 za vrijeme noćnog leta.



Slika 3.9. Upravljačnica Cessne 525 CJ2+

Izvor: uslikao autor

Prema [18], crvena svjetla u pilotskoj kabini su strateški postavljena kako bi odmah privukla pažnju pilota što se jasno vidi na slici. Ova svjetla tipično označavaju kvar ili drugo hitno stanje koje zahtijeva trenutnu reakciju. Boja crvena je univerzalno povezana s upozorenjima i opasnošću, čime se osigurava da piloti brzo i efikasno prepoznaju i adresiraju svaki problem koji bi mogao ugroziti sigurnost leta. U ovome slučaju motori nisu bili pokrenuti te su instrumenti javljali kvar povezan s tlakom ulja.

Kako ljudi stare, njihove oči postaju manje osjetljive na promjene u svjetlosti i kontrastu, što može otežati razlikovanje objekata i simbola, posebno u složenim ili slabije osvijetljenim okruženjima kao što su pilotske kabine tijekom noćnih letova. Kako bi se kompenziralo za ove promjene, potrebno je osigurati veći kontrast između informacija prikazanih na instrumentima i pozadine na kojoj se te informacije nalaze. To pomaže u smanjenju napora očiju i olakšava brzo i točno čitanje informacija. Povećani kontrast također pomaže u minimiziranju rizika od krivih reakcija u interpretaciji instrumenata, što je posebno važno u situacijama kada piloti moraju brzo reagirati na promjenjive uvjete letenja.

Osvjetljenje u pilotskoj kabini treba biti pažljivo prilagođeno kako bi odgovaralo vizualnim potrebama svih pilota, bez obzira na njihovu dob, stoga osvjetljenje u pilotskoj kabini mora imati sredstva za prigušivanje svjetala. Svi preglednici i ekrani, analogni ili digitalni, trebaju imati potenciometar za podešavanje pozadinskog osvjetljenja, a zbog dva bitna čimbenika: različiti uvjeti dan i noć, različite potrebe i mogućnosti pilota s obzirom na navršenu dob (stariji piloti u odnosu na mlađe trebaju jače pozadinsko osvjetljenje). Ovo su minimalni zahtjevi, međutim, u modernim kabinama ima puno više svjetala. To uključuje svjetla za karte,

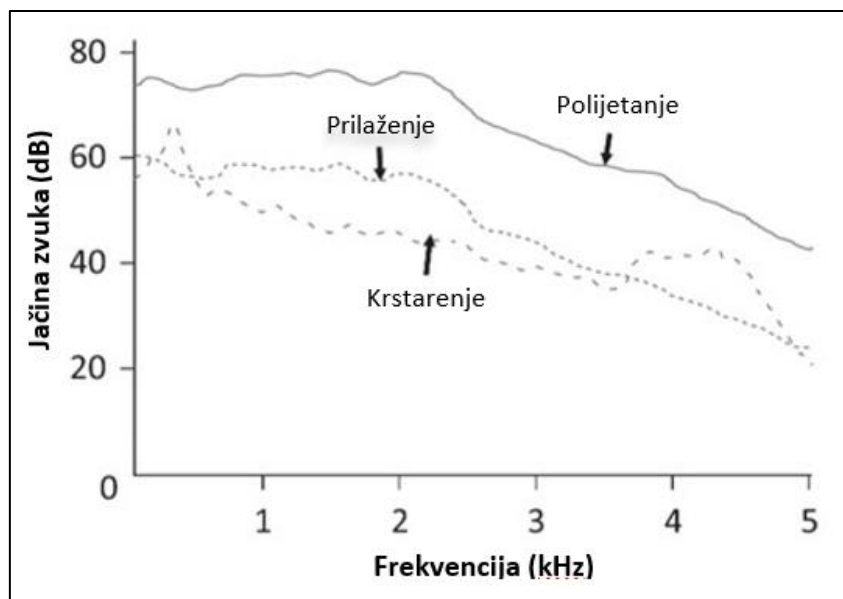
svjetla za oluju, itd. Tijekom noćnih operacija, zatamnjena pilotska kabina je poželjna, posebno prilikom operacija slijetanja i polijetanja.

Pri dizajniranju radnog okoliša treba paziti na odabir boja, siva boja može imati psihološki utjecaj na osobe, uključujući pilote, zbog svoje asocijacije s tmurnošću i nedostatkom energije. Kada se siva boja koristi u okruženju kao što je pilotska kabina, može pridonijeti osjećaju monotonije i umora, što može negativno utjecati na mentalno stanje pilota. S obzirom na to da piloti često provode dugotrajne periode u kabini, važno je da dizajn interijera podržava njihovu mentalnu dobrobit.

3.2.2. Zvučni

Prema Harrisu [19], učinkovita i efikasna komunikacija između posade zrakoplova je ključna za sigurno vođenje bilo kojeg leta. Piloti trebaju biti sposobni čuti i razumjeti zvukove generirane sustavima upozorenja zrakoplova. Međutim, prekomjerna pozadinska čujna buka može ometati i zvukove upozorenja kao i druge bitne funkcije. Čujna buka, posebno ako je glasna ili dugotrajna, također može biti stresna i može narušiti pilotovu izvedbu. Priroda ambijentalne čujne buke se mijenja s fazama leta, pružajući pilotima signale. Na primjer, čujna buka niske frekvencije koja dolazi od uređaja za podizanje i spuštanje stajnog trapa postaje izraženija pri nižim brzinama, posebno prilikom prilaženja za slijetanje.

Prema Harrisu [19], pozadinska čujna buka u pilotskoj kabini opisana je u obliku spektra s jakosti (glasnoće) na y-os i frekvencijom na x-os. Nisu sve frekvencije čujne buke jednako smetajuće, više frekvencije dominiraju tijekom krstarenja, dok niže frekvencije dominiraju tijekom prilaska. S gledišta čimbenika koji utječu na izvedbu pilota, najkritičniji raspon frekvencija za ljudsko uho je između 600 i 4000 Hz, gdje je ljudsko uho najosjetljivije. Te frekvencije trebaju primati posebnu pažnju kako bi se osiguralo ugodno okruženje, čujna buka ne bi trebala premašiti 120 dB na bilo kojoj frekvenciji. Slika 3.10 prikazuje graf razine čujne buke u pilotskoj kabini zrakoplova Boeing 727 po fazama leta, polijetanje, slijetanje te prilaženje.



Slika 3.10. Pojednostavljeni prikaz razine čujne buke u pilotskoj kabini zrakoplova Boeing 727 tijekom polijetanja, slijetanja i prilaženja

Izvor: Preuzeto od Harris D., 2011. [19]

Prema Sumporu [2], prihvatljiva razina čujne buke može se odrediti prema dva standarda: NIOSH i standard OSHA koji se primjenjuje u zrakoplovstvu i koji je nepovoljniji za sudionike u prometu. U tablici 3.4 (kriterij NIOSH) i tablici 3.5 (kriterij OSHA) prikazano je koliko vremenski dugo smije čovjek na radnom mjestu biti izložen određenoj ekvivalentnoj razini čujne buke, tj. kolika je preporučena dnevna doza čujne buke na bazi trajanja jedne smjene od 8h.

U zračnom prometu se najčešće primjenjuje OSHA standard. Autor ovoga rada preporuča primjenu NIOSH standarda jer je povoljniji za pilote. Maksimalna preporučena dnevna doza čujne buke za radno okruženje pilota, ukoliko smjena traje 8 sati je 85 decibela. Na toj razini, smatra se da je izloženost buci sigurna za većinu pilota tijekom radnog dana. Izloženost buci iznad 85 dB može povećati rizik od oštećenja sluha ako traje duže vrijeme.

Tablica 3.5 Kombinacija razine izloženosti L i preporučene dnevne izloženosti T u skladu sa mjernicama NIOSH

Razina izloženosti L	Preporučena dnevna izloženost T			Razina izloženosti L	Preporučena dnevna izloženost T		
	sati	minute	sekunde		sati	minute	sekunde
80	25	24	-	106	-	3	45
81	20	10	-	107	-	2	59
82	16	-	-	108	-	2	22
83	12	42	-	109	-	1	53
84	10	5	-	110	-	1	29
85	8	-	-	111	-	1	11
86	6	21	-	112	-	-	56
87	5	2	-	113	-	-	45
88	4	-	-	114	-	-	35
89	3	10	-	115	-	-	28
90	2	31	-	116	-	-	22
91	2	-	-	117	-	-	18
92	1	35	-	118	-	-	14
93	1	16	-	119	-	-	11
94	1	-	-	120	-	-	9
95	-	47	37	121	-	-	7
96	-	37	48	122	-	-	6
97	-	30	-	123	-	-	4
98	-	23	49	124	-	-	3
99	-	18	59	125	-	-	3
100	-	15	-	126	-	-	2
101	-	11	54	127	-	-	1
102	-	9	27	128	-	-	1
103	-	7	30	129	-	-	1
104	-	5	57	130-140	-	-	< 1
105	-	4	43	-	-	-	-

Izvor: Preuzeto od NIOSH, USA, 1998. [20]

Tablica 3.6 Usporedba dozvoljenih razina zvučnog tlaka SPL i preporučenih dnevnih trajanja

Razina zvučnog tlaka SPL – spori odgovor (dBA):	90	92	95	97	100	102	105	110	115
Preporučeno dnevno trajanje izloženosti T (h):	8	6	4	3	2	1,5	1	0,5	0,25 ili manje

Izvor: Preuzeto od OSHA, 2016. [21]

Čujna buka u pilotskoj kabini zrakoplova predstavlja značajan ergonomijski izazov za pilote, utječući na njihovu sposobnost da efikasno upravljaju zrakoplovom. Visoka razina čujne buke može ometati mentalnu jasnoću, što je ključno za upravljanje složenim kontrolama i navigacijskim sustavima tijekom leta. Osim toga, čujna buka može prikriti zvučne signale upozorenja koji su ključni za sigurnost leta, čineći ih teže čujnim ili razumljivim. To može utjecati na sposobnost pilota da pravovremeno reagira na potencijalne opasnosti ili promjene u letačkim uvjetima.

Dugotrajna izloženost buci također dovodi do umora, što dodatno smanjuje sposobnost pilota da održavaju visoku razinu pažnje potrebnu za sigurno letenje. Ove okolnosti zahtijevaju primjenu odgovarajućih ergonomijskih rješenja kako bi se smanjila čujna buka, zaštitilo zdravlje te povećala učinkovitost izvedbe pilota. Prema Ivoševiću et al. [22] istraživanje utjecaja čujne buke na sudionike u prometu možemo podijeliti na četiri dijela:

- Vrste buke i njihovi izvori: Buka se uglavnom generira iz vanjskih izvora kao što su pogonski agregati i aerodinamički tok, te iz unutrašnjih izvora poput sistema zrakoplova i opreme. Pored toga, buka može imati i kumulativni karakter, što znači da se njezini učinci mogu akumulirati tijekom vremena;
- Fiziološki učinci buke: Buka može imati različite fiziološke učinke na osobe koje su joj izložene. Jedan od tih učinaka je privremeni pomak praga čujnosti, koji predstavlja privremeno povećanje praga sluha uslijed izlaganja visokim razinama buke. Ako je izloženost buci produžena ili se ponavlja bez dovoljno vremena za oporavak, može doći do stalnog pomaka praga;
- Metodologija procjene utjecaja buke: Istraživanje predloženo u dokumentu usmjereno je na procjenu kako akumulirana buka u unutrašnjosti zrakoplova utječe na performanse pilota. Uključuje mjerenje razina buke i analizu performansi pilota pod različitim razinama buke u laboratorijskim uvjetima;
- Utjecaj buke na izvedbu pilota: Buka može smanjiti sposobnost koncentracije pilota, povećati vrijeme reakcije, smanjiti percepciju i prosudbu te na kraju negativno utjecati na sigurnost leta. Također, buka može imati i pozitivan učinak na ljudske performanse do određene točke, prema Yerkes – Dodsonovom zakonu optimalne razine uzbuđenja.

Sve ove informacije daju uvid u složenost problema čujne buke u zrakoplovstvu i njezin potencijalni utjecaj na sigurnost i zdravlje pilota. Jasna komunikacija u pilotskoj kabini također je važna za ergonomiju jer direktno utječe na sposobnost pilota da efikasno obavljaju svoje zadatke. Ako piloti ne mogu čuti ili razumjeti komunikaciju zbog loše kvalitete zvuka ili preklapanja zvučnih signala, to može povećati mentalni stres i smanjiti sposobnost brzog reagiranja na upozorenja ili instrukcije. U ergonomijski dizajniranoj kabini implementiraju se mjere za smanjenje razine čujne buke u vremenu, što može omogućiti jasnu komunikaciju pomaže u smanjenju krivih reakcija, može poboljšati sigurnost leta i poboljšava izvedbu pilota.

3.2.3. Taktilni

Taktilni čimbenici u ergonomiji pilotske kabine odnose se na sve što pilot može fizički osjetiti dok manipulira kontrolama ili koristi različite instrumente i uređaje. Ovi čimbenici su ključni za osiguranje da pilot može učinkovito i sigurno upravljati zrakoplovom, a uključuju sljedeće aspekte:

- Dizajn kontrola - kontrole kao što su višenamjenski upravljač (*engl. joystick*), prekidači (*engl. handle*) i gumbi (*engl. button*) trebaju biti dizajnirani tako da su lako dostupni i udobni za korištenje. Važno je da su dimenzije i oblici prilagođeni prosječnoj veličini ruku pilota, kao i da imaju adekvatnu povratnu informaciju na dodir, poput klikova ili otpora koji signaliziraju aktivaciju ili promjenu postavki;
- Povratne informacije na dodir - taktilne povratne informacije su važne jer omogućuju pilotima da bez gledanja znaju jesu li određene funkcije aktivirane ili pravilno postavljene. Na primjer, kada pilot pritisne gumb za promjenu visine leta, gumb može imati određeni otpor ili "klik" koji potvrđuje akciju;
- Materijali i teksture - različiti materijali i teksture koriste se u kabini kako bi se povećala kontrola i smanjilo klizanje ruku, čak i kada su ruke znojne ili mokre. Gumeni i mekani materijali često se koriste za oblaganje površina koje piloti često dodiruju.

Prema [23], nedovoljno intenzivan i nejasan signal o stanju automatizacije jedan je od glavnih problema u interakciji čovjeka i automatizacije. Na primjer, u slučaju nesreće sa Lockheed L-1011 u Evergladesu u Floridi 1972. godine, posada nije primijetila da je funkcija održavanja visine na autopilotu nenamjerno isključena. Ovaj incident ističe važnost jasnog i očitog povratnog signala o stanju.

3.3. Kognitivni čimbenici

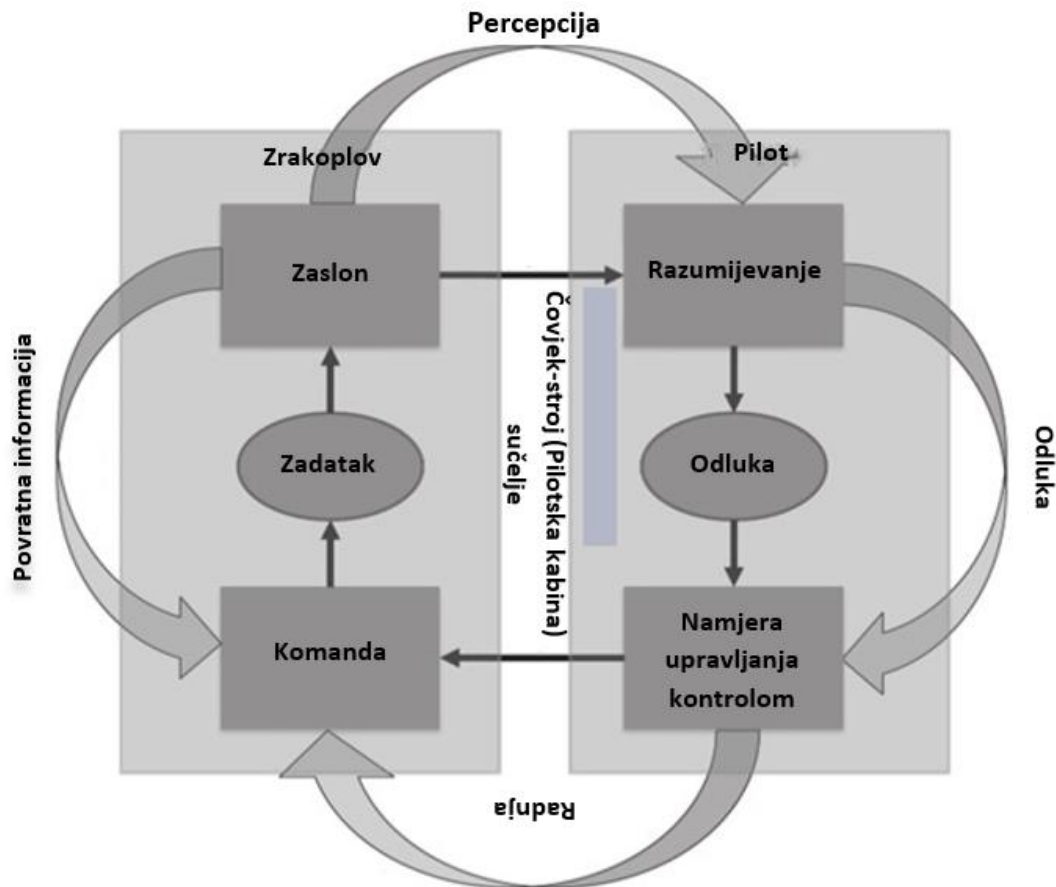
Kognitivni čimbenici utječu na to kako piloti percipiraju, obrađuju i reagiraju na informacije tijekom letačkih operacija. Kako zrakoplovna tehnologija nastavlja napredovati, razumijevanje i optimiziranje kognitivnih procesa postalo je ključno za poboljšanje sigurnosti, učinkovitosti i ukupne izvedbe za upravljačnicom. U kontekstu pilotske kabine, kognitivni čimbenici obuhvaćaju širok raspon mentalnih procesa, uključujući percepciju, pažnju,

pamćenje, donošenje odluka, situacijsku svjesnost, rješavanje problema i upravljanje radnim opterećenjem. Ove su kognitivne funkcije kontinuirano uključene tijekom leta, gdje piloti moraju integrirati i obraditi ogromne količine informacija iz različitih izvora, kao što su instrumenti za let, navigacijski sustavi, komunikacije kontrole zračnog prometa i vanjski vizualni znakovi.

Dizajn pilotske kabine ima za cilj pojednostaviti prezentaciju informacija, odrediti prioritet kritičnih zadataka i uključiti automatizaciju koja nadopunjuje donošenje odluka pilota, omogućujući im da se usredotoče na aktivnosti visokog prioriteta. Nadalje, integracija automatizacije u radnu izvedbu pilota predstavlja kognitivne izazove za pilote. Iako automatizacija povećava učinkovitost, može dovesti do degradacije vještina ako se piloti pretjerano oslanjaju na automatizirane sustave. Dizajn pilotske kabine i programi obuke rješavaju ovo pitanje potičući pilote da zadrže razumijevanje automatiziranih sustava, zadrže praktične vještine i budu spremni djelovati kada je to potrebno.

3.3.1. Sustav čovjek-stroj

U kontekstu pilotske kabine, sustav čovjek-stroj uključuje kako piloti percipiraju, interpretiraju i reagiraju na informacije prikazane na instrumentima i kontrolama. Razumijevanje tih kognitivnih procesa ključno je za dizajniranje pilotske kabine kako bi se smanjilo mentalno opterećenje i minimizirala mogućnost krivih reakcija. Sustav čovjek-stroj u pilotskoj kabini ključan je za funkcionalnost i sigurnost zrakoplova. Ovaj sustav obuhvaća sve od dizajna kontrolne ploče, rasporeda instrumenata te ergonomije sjedala. Svaki aspekt je dizajniran kako bi se smanjilo fizičko i mentalno opterećenje pilota i omogućilo im da učinkovito upravljaju zrakoplovom. U sustavu čovjek-stroj, sve informacije su prikazane na način koji olakšava brzu interpretaciju i reakciju.



Slika 3.11. Koncept petlje sučelja čovjek - stroj sučelje

Izvor: Preuzeto od Harris D., 2011. [19]

Na slici 3.11 je prikazana interakcija između pilota i zrakoplova kroz sučelje čovjek-stroj u pilotskoj kabini. Sučelje prikazuje informacije koje pilot percipira i na temelju kojih razumije trenutno stanje leta. Ove informacije pilotu služe za lakše donošenje odluka koje se zatim preko njegovih radnji pretvaraju u akcije upravljanja zrakoplovom. Sve radnje koje pilot poduzima utječu na stanje zrakoplova, što se odražava natrag na informacije koje se prikazuju. Ovaj kontinuirani ciklus informacija i kontrolnih radnji ključan je za učinkovit i siguran let, pri čemu kvalitetno dizajnirano sučelje čovjek-stroj igra nezamjenjivu ulogu u smanjenju mogućnosti krivih reakcija te olakšavanju pilotovih zadataka.

3.3.2. Sustavi za pomoć pri donošenju odluka

Donošenje odluka u pilotskoj kabini jedan je od ključnih aspekt upravljanja letom i sigurnosti zrakoplova. Piloti moraju brzo ocjenjivati situacije i donositi odluke utemeljene na složenoj interakciji između dostupnih informacija, vlastitih iskustava, procjene rizika i operativnih procedura. U modernim zrakoplovnim sustavima, posebno u komercijalnom zrakoplovstvu, piloti se oslanjaju na napredne tehnologije i sustave automatizacije kako bi im

pomogli u procesu donošenja odluka. Uloga takvih sustava za pomoć uključuje smanjenje mentalnog opterećenja pilota pružanjem lako razumljivih, odnosno relevantnih informacija.

U suvremenom zračnom prometu, odluke koje se donose na visini od nekoliko tisuća metara iznad zemlje ne smiju biti prepuštene slučaju niti trenutačnom ljudskom prosudbenom kapacitetu. Složenost zadataka i odluka koje piloti moraju donositi u pilotskoj kabini neizmjerljivo je velika, a prostor za krivu reakciju gotovo nepostojeći. Upravo iz tog razloga, sustavi za pomoć pri donošenju odluka postaju nezamjenjiva komponenta u pilotskoj kabini suvremenih zrakoplova.

Prema [24], najvažniji sustav za pomoć pri donošenju odluka je Elektronički sustav letačkih instrumenata EFIS (*Electronic Flight Instrument System*) koji služi za prikaz informacija na kontrolnoj ploči zrakoplova, gdje se umjesto elektromehaničkih koriste elektronički zaslone. Rani modeli EFIS-a koristili su Tehnologiju katodnih cijevi CRT (*engl. Cathode Ray Tube*) za prikaz informacija, dok su moderniji prikazi realizirani pomoću Zaslona s tekućim kristalima LCD (*engl. Liquid Crystal Display*). Ovi zaslone pružaju višebojni prikaz i mogu zamijeniti tradicionalne letačke instrumente za oba pilota. U uobičajenoj konfiguraciji, sustav EFIS obuhvaća glavni zaslon leta PFD (*engl. Primary Flight Display*), koji uključuje Elektronički indikator smjera EADI (*Electronic Attitude Director Indicator*) te Elektronički indikator horizontalne situacije EHSI (*engl. Electronic Horizontal Situation Indicator*), također poznat kao zaslon za navigaciju. U nekim dizajnima, ovi zaslone su združeni u jedinstvenu jedinicu.

Prema [25], Sustav za upravljanje letom FMS (*engl. Flight Management System*) je višenamjenski navigacijski, performansi i operativni računalni sustav u zrakoplovu, dizajniran za pružanje virtualnih podataka i operativne harmonije između zatvorenih i otvorenih elemenata povezanih s letom, od pokretanja motora i polijetanja do slijetanja i gašenja motora. Većina modernih komercijalnih i poslovnih zrakoplova opremljena je elektroničkim sustavom letačkih instrumenata koji zamjenjuje konvencionalne sustave i prikaze na pilotskoj ploči. FMS je računalni sustav koji koristi veliku bazu podataka, omogućujući unaprijed programiranje ruta koje se zatim mogu učitati u sustav pomoću uređaja za učitavanje podataka. Sustav se stalno ažurira s pozicijom zrakoplova uz pomoć dostupnih navigacijskih pomagala, automatski odabirući najprikladnije pomagala tijekom ažuriranja informacija.

Nadalje, radarski meteorološki sustavi WRS (*engl. Weather Radar System*) omogućavaju pilotima da vide i izbjegavaju loše vremenske uvjete, kao što su oluje ili turbulencija, što je ključno za sigurnost i udobnost leta. Sustav za izbjegavanje sudara u zraku ACAS (*engl. Airborne Collision Avoidance System*) osmišljen je kako bi se smanjio rizik od sudara ili bliskog susreta između zrakoplova u zraku. Ovaj sustav, koji se temelji na signalima transpondera Sekundarnog nadzornog radara SSR (*engl. Secondary Surveillance Radar*), funkcionira neovisno o zemaljskoj opremi i pruža pilotima upozorenja o potencijalno konfliktnim zrakoplovima opremljenima SSR transponderima. ACAS služi kao krajnji sigurnosni sustav bez obzira na postojeće standarde razdvajanja. Još jedan sustav za pomoć je Unaprjeđeni sustav za upozoravanje blizine terena EGPWS (*engl. Enhanced Ground Proximity Warning System*) koji upozorava pilote kada je zrakoplov preblizu terenu ili drugim preprekama, omogućavajući pravovremene korektivne manevarske radnje.

Prema Steiner et al. [15], požar predstavlja najveću prijetnju zrakoplovu s mogućim katastrofalnim posljedicama, stoga su suvremeni zrakoplovi opremljeni fiksnom zaštitom od požara u potencijalno osjetljivim područjima. Protupožarna instalacija ima ključnu ulogu u osiguravanju zaštite od požara u zrakoplovu, bez obzira nalazi li se zrakoplov na zemlji ili u letu. Njena svrha je da na vrijeme obavijesti pilota o izbijanju požara te da pilot poduzme odgovarajuće mjere za njegovo brzo gašenje.

Fiksni uređaji za zaštitu od požara trajno su postavljeni na određenim mjestima prema uputstvima proizvođača. Za razliku od pokretnih vatrogasnih uređaja, ovi fiksni uređaji omogućuju stalno osiguranje tih kritičnih područja. Oni sadrže sve potrebne komponente kako bi osigurali adekvatnu i brzu reakciju u slučaju pojave požara ili detekcije izvanrednih situacija (npr. prekoračenje preporučenih temperatura, pojava dima, vatre ili opasnih para). Ovakvi fiksni protupožarni sustavi osiguravaju brzu i učinkovitu reakciju na potencijalne požare, čime se značajno povećava razina sigurnosti u letenju. Pilote se pravovremeno obavještava o situaciji, omogućujući im da poduzmu odgovarajuće korake i očuvaju sigurnost leta i svih putnika na brodu.

Svi ovi sustavi zajedno rade na pružanju pilotima svih potrebnih informacije i upozorenja kako bi mogli brzo i učinkovito reagirati na različite situacije tijekom leta, čime se značajno povećava sigurnost letenja.

3.3.3. Situacijska svjesnost

Harris [19] tvrdi da se situacijska svjesnost u ergonomiji pilotske kabine odnosi na razumijevanje i percepciju trenutne situacije leta, uključujući položaj zrakoplova, brzinu, visinu, smjer i prometni okoliš. Obuhvaća pilotovu svijest o čimbenicima unutar kabine (npr. očitavanja instrumenata, status sustava) i vanjskim čimbenicima izvan zrakoplova (npr. drugi zrakoplovi, vremenski uvjeti, teren). Postoji uska povezanost između situacijske svjesnosti i donošenja odluka, loša situacijska svjesnost dovodi do loših odluka. Ne mogu se donijeti dobre odluke ako ključne informacije nisu prisutne.

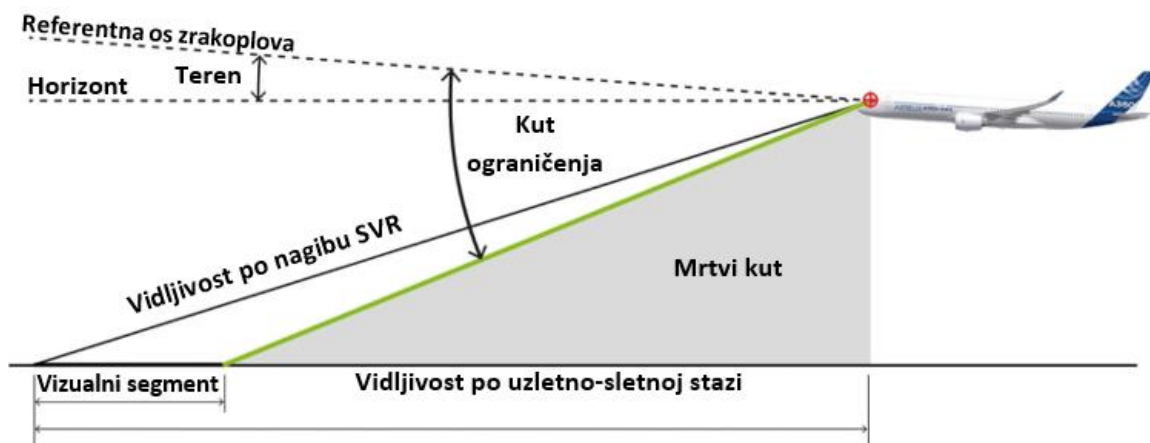
Situacijska svjesnost ključna je za sigurnost leta i učinkovito donošenje odluka tijekom svih faza leta, od rulanja na zemlji do polijetanja, navigacije na ruti i slijetanja. Održavanje visoke razine situacijske svjesnosti omogućuje pilotu da brzo obradi informacije, točno ih protumači i predvidi potencijalne izazove ili opasnosti. Endsley [26] navodi 5 načela koja se mogu koristiti za poboljšanje situacijske svjesnosti:

- Minimiziranje zahtjeva podijeljene pažnje – grupiranje informacija u smislu prostorne blizine, izbjegavanje mnogo različitih izvora prikaza;
- Poticanje holističke obradu 'odozgo prema dolje' - predstavite pilotu 'širu sliku'. Nemojte im davati različite komponente podataka i očekivati od njih da sastave 'širu sliku' (informacije) u svojim glavama;
- Filtriranje informacija kada je potrebno – u vrijeme velikog opterećenja daju se pilotima samo najrelevantnije informacije vezane uz zadatak;

- Brzina prikaza i/ili informacije o trendu – sustav ljudske obrade informacija je loš u predviđanju budućih stanja, posebno u sustavima s visokim redosljedom kontrole i/ili velikom inercijom;
- Prostorne informacije trebale bi se odnositi na situaciju – na primjer, treba pružiti pilotu navigacijske informacije o praćenju kada je važno znati što je s lijeve ili desne strane.

Veliko radno opterećenje može dovesti do krivih reakcija. Kada radno opterećenje postane preveliko, što je individualna karakteristika kod za svakog pilota, postoji tendencija da se nepromišljeno reagira na situaciju umjesto da se intuitivno i nepromišljeno reagira na nju. Veliko radno opterećenje, slaba situacijska svjesnost i krive reakcije simptomi su loše dizajniranog sustava koji ne uzima u obzir prirodu i ograničenja ljudskog sustava za obradu informacija. S dobrim dizajnom može se upravljati radnim opterećenjem i poboljšati situacijska svjesnost, omogućavajući da se prilagodljivost i fleksibilnost ljudske spoznaje iskoriste na najbolji mogući način.

Prema Harrisu [19], kada kognitivni sustav postane visoko opterećen, to se doživljava kao mentalno opterećenje. Pružanje informacija u pravom formatu u pravo vrijeme pilotu povećava njegovu situacijsku svjesnost. Dok su mentalno radno opterećenje i situacijska svjesnost dvije teme sa svojim temeljima čvrsto u zrakoplovnoj industriji, ova pitanja sada prožimaju sve aspekte prakse ljudskih čimbenika. Postoji blizak odnos između situacijske svjesnosti i donošenja odluka. Manjak situacijske svjesnosti dovodi do loših odluka. Ne možete donositi dobre odluke ako informacija nema.



Slika 3.12. Najbolji kut ograničenja za najduži vizualni segment

Izvor: Preuzeto od Airbus S.A.S, 2018. [17]

Prema Airbusu [17], poravnanje koristeći referentnu točku oka omogućuje pilotima optimalno vidno polje kroz prozore kabine kako bi mogli vidjeti što se nalazi oko njih izvan zrakoplova. Položaj referentne točke oka osigurava da pilot može održavati najbolji kut

ograničenja (*engl. Cut-off angle*) koji će pružiti najdulji vizualni segment (*engl. Visual segment*), što se jasno može vidjeti na slici 3.12. To je posebno važno za dobivanje vizualnih referenci tijekom operacija pri smanjenoj vidljivosti LVO (*engl. Low-Visibility Operations*). Osim toga, precizno poravnanje povećava situacijsku svijest pilota, omogućujući im da brže i efikasnije reagiraju na promjene u okruženju, što je ključno za sigurnost leta.

U nepovoljnim vremenskim uvjetima, kao što su magla, snijeg ili jaka kiša, vidljivost izvan pilotske kabine može biti ozbiljno ograničena. Sustav sintetičke vidljivosti (*engl. Synthetic vision*) pomaže pilotima da zadrže svijest o situaciji pružajući jasan pogled na teren i prepreke čak i kada je vidljivost kroz prozore loša. Tijekom prilaza i slijetanja, piloti se oslanjaju na Sustav sintetičke vidljivosti kako bi poboljšali svoje razumijevanje položaja zrakoplova u odnosu na uzletno-sletnu stazu i prometni okoliš. Ovo je osobito vrijedno u izazovnim prometnim okolišima zračnih luka, kao što su planinska područja ili zračne luke s ograničenim vizualnim referencama.

Tehnologija projiciranja ključnih letačkih informacija direktno u vidno polje pilota, poznata kao HUD, primjer se može vidjeti na slici 3.13, dodana je u pilotsku kabinu kako bi se poboljšala situacijska svjesnost pilota i smanjilo radno opterećenje tijekom letačkih operacija. HUD je prozirni zaslon koji pruža informacije o letu u stvarnom vremenu, kao što su brzina, visina, smjer i podaci o navigaciji. Ova integracija omogućuje pilotima brzu asimilaciju ključnih podataka bez potrebe za prebacivanjem fokusa između instrumenata i prometnog okoliša, poboljšavajući svijest o situaciji.



Slika 3.13 Zaslon za grupirane informacije zrakoplova Bombardier CL350

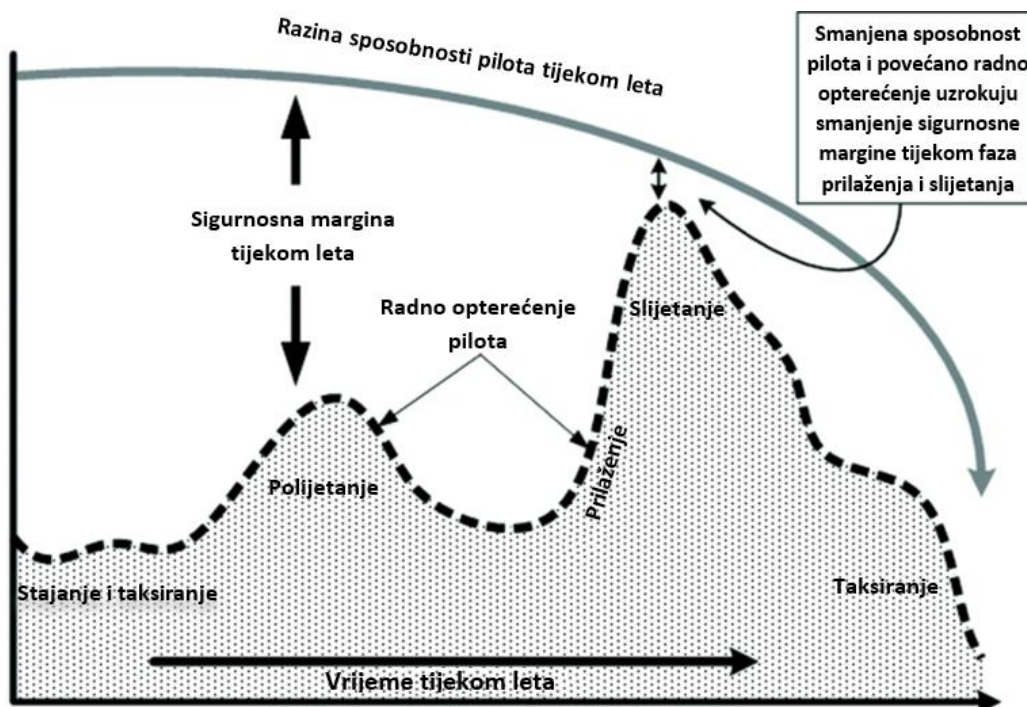
Izvor: uslikao autor

Harris [19] objašnjava da su HUD-i nerijetko korišteni u vojnom zrakoplovstvu, osobito u bržim mlaznim zrakoplovima, ali se sve više koriste u komercijalnom zračnom prometu. U komercijalnim zrakoplovima uobičajeno je da se HUD montira na gornju ploču i po potrebi spušta prema dolje, nešto poput štitnika za sunce u automobilu. Ovo predstavlja jednu od ključnih razlika između civilnih i vojnih primjena HUD tehnologije. U vojnim zrakoplovima HUD se stalno koristi za prikaz primarnih instrumenata leta i oružja.

U komercijalnim zrakoplovima HUD se obično postavlja samo kada je to potrebno, uglavnom tijekom prilaza i slijetanja, što su najteže operacije leta, osobito pri smanjenoj vidljivosti (*engl. low-visibility*). Ostatak vremena se koriste normalni instrumenti za let, između ostaloga da pilot ne izgubi letačke kompetencije. Harris [19], također tvrdi da zrakoplovi s HUD-om mogu eliminirati više od 60 posto poremećaja u rasporedu letenja kao rezultat slabe vidljivosti u određenoj zračnoj luci.

3.3.4. Upravljanje radnim opterećenjem

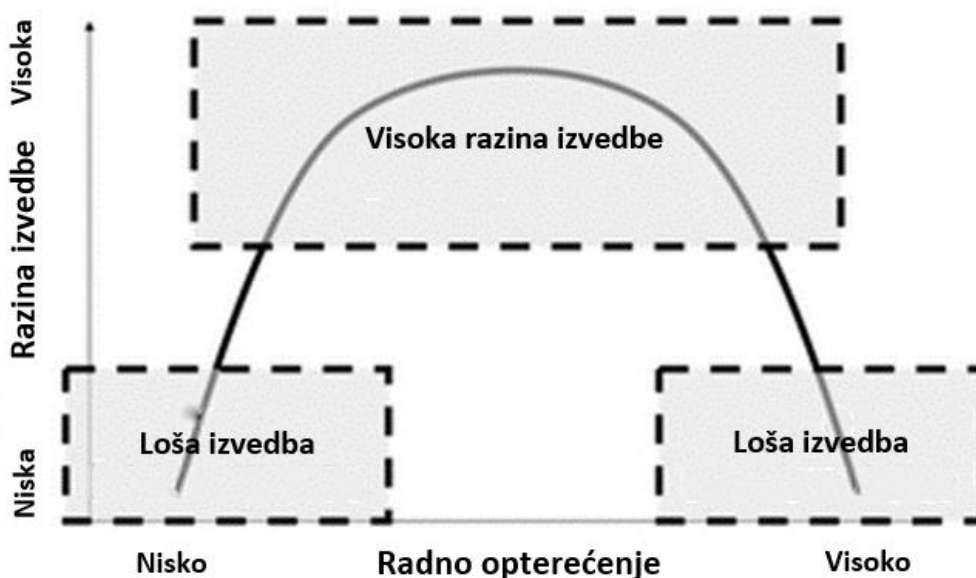
Upravljanje radnim opterećenjem pilota objedinjuje sve ergonomijske čimbenike koji utječu na: sigurnost leta, optimalnu izvedbu, koordinaciju posade, situacijsku svjesnost, smanjenje umora, određivanje prioriteta zadataka, smanjenje stresa, učinkovitost i usklađenost s propisima. Osigurava da piloti mogu učinkovito rješavati zadatke, donositi pravovremene odluke i održavati uravnoteženo mentalno stanje tijekom različitih faza leta. Na slici 3.14 prikazan je graf razine sposobnosti tijekom faza leta. Može se jasno iščitati kako smanjena sposobnost pilota i povećano radno opterećenje uzrokuju smanjenje sigurnosne margine tijekom faza prilaženja i slijetanja.



Slika 3.14. Radno opterećenje pilota tijekom faza leta

Izvor: Preuzeto od AVweb, 2019. [27]

Poznata činjenica da radno opterećenje i izvedba pilota nisu u linearnom odnosu, naime pilot koji nema nikakvo radno opterećenje te pilot koji ima preveliko radno opterećenje, nemaju optimalnu izvedbu. Dakle za optimalnu izvedbu potrebno je individualno optimalno radno opterećenje. Prema Pan Amu [28], preopterećenje se odnosi na točku u kojoj se posada suočava s prekomjernim radnim opterećenjem koje nadilazi njihove sposobnosti upravljanja. Kada razina opterećenja postane previsoka, izvedba se pogoršava, što dovodi do odbacivanja zadataka i usredotočenosti na bitne informacije, što često rezultira povećanom stopom krivih reakcija.



Slika 3.15. Yerkes-Dodsonov zakon

Izvor: Preuzeto od Schutte, P. C., 2015. [29]

Slika 3.15 ilustrira rast radnog opterećenje, koji u pravilu inicijalno poboljšava izvedbu do određene točke, nakon koje daljnje povećanje radnog opterećenja dovodi do smanjenja izvedbe. Ovaj fenomen često se opisuje Yerkes-Dodsonovim zakonom, koji tvrdi da postoji individualna optimalna razina opterećenja za izvedbu, te da i premalo i preveliko opterećenje podjednako može narušiti izvedbu. Grafikon također sugerira da se tijekom vremena, ako radno opterećenje ostane visoko bez olakšanja, izvedba se počinje intenzivnije urušavati. To je zato što piloti mogu početi "odlagati" zadatke za koje subjektivno smatra da su manje kritični kako bi upravljali svojim radnim opterećenjem, čime utječu na svoju ukupnu izvedbu na način da je kratkoročno održava. Ove informacije, proizašle iz kombinacije teorijskih modela i empirijskih istraživanja, pomažu u razumijevanju koliko je kritično upravljati radnim opterećenjem pilota kako bi se održale visoke razine sigurnosti i učinkovitosti u zračnim operacijama.

Preopterećenje može proizaći iz različitih čimbenika te se može pojaviti iznenada ili postupno. Kako bi se spriječilo preopterećenje tijekom kritičnih faza leta, preporučljivo je planirati zadatke na način koji ne opterećuje letačku posadu s višestrukim istodobnim zadacima. S druge strane, ne opterećenje se događa kada je radno opterećenje malo, a pilot postaje nedovoljno koncentriran na upravljanje. To se može dogoditi tijekom letova na dugim relacijama, gdje je radno opterećenje najveće na početku i na kraju, ostavljajući produžena razdoblja niske aktivnosti tijekom krstarenja. Nedostatak stimulativnih zadataka tijekom ovih razdoblja može predstavljati izazov za izbjegavanje preopterećenja. Što dovodi do zaključka da održavanje uravnoteženog radnog opterećenja i učinkovito upravljanje zadacima ključni su za osiguravanje optimalne izvedbe i sigurnosti u zrakoplovnim operacijama.

Zaključno, upravljanje radnim opterećenjem pilota nije samo podjela zadataka i određivanje prioriteta, već strateški pristup poboljšanju sigurnosti leta, operativne učinkovitosti i dobrobiti posade. Zahtijeva precizno planiranje, učinkovitu komunikaciju i besprijekoran timski rad kako bi se osiguralo da piloti mogu optimalno i sigurno obavljati svoje dužnosti tijekom leta. Zračni prijevoznici i regulatorna tijela moraju neprestano naglašavati važnost upravljanja radnim opterećenjem i pilotima osigurati potrebne alate i obuku za učinkovito rješavanje izazova radnog opterećenja.

3.4. Društveni čimbenici

Ne toliko spominjani, društveni čimbenici u ergonomiji pilotske kabine, također imaju ulogu u oblikovanju ukupne izvedbe letačkih operacija. Ergonomija u ovome dijelu razmatra društvene čimbenike u cilju razumijevanja kako pojedinci surađuju i komuniciraju u zajedničkoj kabini. Društveni čimbenici utječu na timski rad, donošenje odluka i komunikaciju, što ih čini ključnim u dizajniranju radnog okoliša upravljačnice koje promiče učinkovitu interakciju između čovjeka i stroja. Vrlo je važna komunikacija između pilota tijekom leta te raspodjela zaduženja.

3.4.1. Komunikacija

Zrakoplovna komunikacija uključuje pilotsku kabinu, posadu u zrakoplovu, komunikacija između zrakoplova i kontrole zračne plovidbe (npr. tijekom rulanja, slijetanja, polijetanja ili informacije o vremenu), kao i komunikacija između mehaničara i pilota, upravljanje sa osobljem ili mehaničarima među sobom. Učinkovita komunikacija ne uključuje samo prijenos informacija, već i osiguravanje da su prave informacije primljene, shvaćene i da se prema njima djeluje. Piloti moraju upravljati protokom informacija kako bi spriječili preopterećenje informacijama i osigurali pravovremene odgovore na kritične znakove.

U svakom slučaju, najvažnije je da je komunikacija jasna i da pilot razumije informacije koje se odnose na zadatak koji se izvodi. Postoje mnoge prijetnje koje uzrokuju komunikacijske krive reakcije ili gubitak informacija, a to su:

- Smetnje u procesu prijenosa informacija uključuju prijenos informacija u nerazumljiv, nejasan ili složen način, uključujući jezične probleme;
- Komunikacijske poteškoće, čujna buka ili druge smetnje ;
- Smetnja prijema informacija u vezi s pogrešnim tumačenjem informacija;
- Fizički problemi vezani uz slabe vještine čitanja ili gubitak sluha.

Prema Piwek [30], analizirajući krive reakcije u primanju informacija, čiji su uzroci brojni, najčešće su razlike u jezičnim naglascima ili komunikacijskim problemima. Uzrokovanje krivih reakcija dio je ljudske prirode i sastavni je dio čovječanstva. Krive reakcije su rezultat nepravilnog načina orijentacije, krivih odluka, odnosno izvedbe. Svrha komunikacije je pružiti najvažnije podatke, savjete i smjernice za taksiranje, let, rutu ili vremensku prognozu. Nadalje, dvosmislenost ili složenost informacija dovodi do gubitka vremena kod primatelja za razumijevanje poruke. Vrijeme u zračnom prometu je vrlo dragocjeno, zadaće se u većini slučajeva izvršavaju uz određeni vremenski deficit, koji uzrokuje veći osjećaj stresa, stoga je važno osigurati jasan tok informacija.

Službeni jezik u zračnom prometu je engleski, ovisno o zemlji ili regiji podrijetla, naglasak tog jezika ima značajne varijacije. Takva pojava može uzrokovati nerazumijevanje informacija građaninu druge zemlje. Na primjer, komunikacija između pilota koji dolazi u stranu zemlju i kontrolora zračnog prometa može dovesti do nesporazuma koji proizlazi iz razlike u naglascima ili upotrebe kratica što može uzrokovati pojavu opasne situaciji u najkritičnijem trenutku leta, pa čak i kao posljedica zrakoplovne nesreće.

Jedan od najboljih primjera je tragična zrakoplovna nesreća iz 1977. godine u zračnoj luci Tenerife, gdje su sudjelovala dva zrakoplova, Boeing 747, jedan u vlasništvu kompanije KLM te drugi u vlasništvu Pan Am. Ta nesreća ostaje najsmrtonosnija nesreća u povijesti zrakoplovstva, uzrokovana nesporazumima između kontrolora letenja i posada zrakoplova. Nesreća se dogodila kada je zrakoplov KLM započeo uzlijetanje bez odobrenja dok je zrakoplov Pan Am još bio na uzletno-sletnoj stazi, što je dovelo do sudara pri velikoj brzini i katastrofalne eksplozije. Ukupno je poginulo 583 osobe: svi putnici iz KLM zrakoplova su smrtno stradali te većina na zrakoplovu kompanije Pan Am, s 61 preživjelim putnikom iz zrakoplova Pan Am. Ova katastrofa je istaknula važnost učinkovite komunikacije i pridržavanja sigurnosnih protokola u zrakoplovstvu, što je dovelo do značajnih promjena u kontrolnim procedurama i obuci posade kako bi se spriječile slične buduće nesreće.

Komunikacija je vrlo važan aspekt koji treba naglasiti tijekom treninga i uzeti u obzir u obzir od strane osoblja uključenog u organizaciju. Naglasak treba staviti, ne samo na krive reakcije koje se mogu dogoditi u komunikacijskom procesu, nego i na razne druge vrste komunikacijskih prepreka. Isto tako, tijekom hitnih slučajeva ili nepredviđenih situacija, učinkovita komunikacija je vitalna za prenošenje kritičnih informacija, koordinaciju odgovora

i praćenje utvrđenih procedura. Učinkovita komunikacija pod pritiskom pomaže pilotima u upravljanju krizama s povjerenjem i točnošću.

3.4.2. Osposobljavanje

Prema [4], Upravljanje resursima letачke posade ključna je u zrakoplovstvu za razvoj ne tehničkih vještina kao što su komunikacija, donošenje odluka i rad u timu. CRM integrira principe primijenjene socijalne psihologije i upravljačkih znanosti u pilotskoj kabini. Kroz CRM, posada uči kako efikasno koristiti sve ljudske resurse dostupne u pilotskoj kabini za sigurno upravljanje letom. Pristup CRM-u se neprestano razvija kako bi se povećala sigurnost leta nakon niza nesreća uzrokovanih ljudskim čimbenicima. Principi CRM-a proširili su se i na druge profesije unutar zrakoplovstva, uključujući kontrole leta i zemaljske operacije. Piwek [29] definira nekoliko kategorija ponašanja koje su predmet CRM obuke:

- situacijska svjesnost – percepcija i pažnja;
- upravljanje zadacima – čimbenici koji se odnose na postupke postavljanja prioriteta za kognitivno opterećenje;
- donošenje odluka – procjena i poduzimanje radnji na razini rizika za određeni zadatak;
- analiza posla – procesi analize i planiranja tijekom leta;
- komunikacija – razmjena informacija unutar pilotske kabine te način i kvaliteta komunikacije s drugim dionicima;
- koordinacija posade – proces vođenja na pasivan ili aktivan način.

Prema [31] još jedan vrlo bitan sustav osposobljavanja je Sustav upravljanja sigurnošću SMS (*engl. Safety Management System*) koji postaje standard širom svijeta u zračnom prometu. Prepoznat je od strane Međunarodne organizacije za civilno zrakoplovstvo ICAO (*engl. International Civil Aviation Organization*), Agencije za civilno zrakoplovstvo CAA (*engl. Civil Aviation Authority*) i pružatelja usluga kao sljedeći korak u evoluciji sigurnosti u zrakoplovstvu. SMS postaje standard i za upravljanje sigurnošću izvan zračnog prometa. Slični sustavi upravljanja koriste se u upravljanju drugim ključnim područjima kao što su kvaliteta, sigurnost i zdravlje na radu, sigurnost, okoliš itd. Prepoznavanjem uloge organizacije u prevenciji nesreća, SMS-i pružaju i nositeljima certifikata i FAA-u (*Federal Aviation Administration*):

- Strukturirani način donošenja odluka o upravljanju sigurnosnim rizicima;
- Sredstvo za demonstriranje sposobnosti upravljanja sigurnošću prije nego što dođe do kvara sustava;
- Povećano povjerenje u kontrole rizika kroz strukturirane procese osiguranja sigurnosti;
- Učinkovito sučelje za dijeljenje znanja i spoznaja između regulatora i nositelja certifikata;
- Okvir za promicanje sigurnosti koji podržava zdravu sigurnosnu kulturu.

Integracijom ergonomijskih razmatranja u SMS, zrakoplovne kompanije mogu proaktivno upravljati rizicima prije nego što dovedu do incidenata. SMS potiče kontinuirano praćenje i

poboljšanje sigurnosnih praksi, što uključuje ergonomiju pilotskog okruženja. To znači da se, kako postanu dostupna nova istraživanja i tehnologije ili kako povratne informacije pilota sugeriraju promjene, one mogu sustavno provoditi kako bi se poboljšao dizajn i funkcija upravljačnice. Primjenom SMS-a, zrakoplovne kompanije i proizvođači mogu održavati visoke standarde sigurnosti ne samo u operativnim procedurama već i u dizajnu i konfiguraciji pilotskih kabina.

3.4.3. Višečlana posada

Operacije s višečlanom posadom (*engl. multi-crew*) postale su standard u modernom zrakoplovstvu, pri čemu su zadaci povezani s upravljanjem zrakoplovom raspoređeni među timom članova letačke posade. Ovaj suradnički pristup osigurava učinkovito upravljanje različitim odgovornostima, što dovodi do sigurnijih i učinkovitijih letičkih operacija. U operacijama s višečlanom posadom, zadaće su podijeljene između pilota koji leti PF (*engl. Pilot Flying*) i pilota koji ne leti PNF (*engl. Pilot not Flying*).

PF primarno upravlja ručnim upravljanjem zrakoplovom i fokusira se na upravljanje putanjom leta. U međuvremenu, PNF pomaže PF-u upravljanjem komunikacijom s Kontrolom zračnog prometa ATC (*engl. Air Traffic Control*), sustavima praćenja, provođenjem kontrolnih lista i pružanjem provjera za radnje PF-a. Ova podjela odgovornosti osigurava da se svaki član posade može koncentrirati na svoje određene zadatke, smanjujući vjerojatnost krivih reakcija i povećavajući ukupnu sigurnost leta.

4. ERGONOMIJSKA PROSUDBA PILOTSKE KABINE ZRAKOPLOVA CESSNA 525 CJ2+

U ovome istraživanju sudjelovalo je po šest muških pilota za navedeni zrakoplov, odnosno tri kapetana i tri prva časnika. Svi sudionici imaju više od 27 godina te minimalno dvije godine iskustva na zrakoplovu za koji su anketirani. Prije ispunjavanja anketa, istraživač je od svih sudionika prikupio pisani informirani pristanak za anonimno sudjelovanje, uz opciju odustajanja u bilo kojem trenutku bez objašnjavanja razloga odustajanja. Kako bi se osigurala anonimnost sudionika, u obradi podataka koristile su se šifre (CP1, CP2, CP3, CP4, CP5, CP6), a identificirajući podaci odnosno identifikatori poput imena i datuma rođenja nisu korišteni prilikom analize. Brojevi od 1-3 označavaju kapetane zrakoplova, a brojevi od 4-6 označavaju prve časnike. U ovome poglavlju prezentirane su tablice s komparacijom odgovora na pitanja od strane šest pilota za istraživani zrakoplov, pitanja su pilotima postavljena na dva načina:

- pitanja gdje se kao odgovori pilotima nudi izbor između tri opcije ocjene (skala);
- otvorena pitanja gdje pilot sam daje odgovor po želji.

4.1. Anketa za pilote zrakoplova Cessna 525 CJ2+

U ovom dijelu detaljno su prikazane tri tablice koje služe kao vizualna podrška i omogućuju bolje razumijevanje obrađivane tematike. Tablica 4.1 sadrži pitanja koja su postavljena pilotima u obliku anketnog listića, dok tablice 4.2, 4.3 te 4.4 sadrže odgovore na ta pitanja. Ove četiri tablice pomažu u sistematizaciji i lakšem praćenju pojedinačnih odgovora svakog pilota.

Tablica 4.1 Popis pitanja za pilote i prve časnike oba zrakoplova, za anketne listiće

Pitanje	Oznaka
Možete li ocijeniti raspored i dizajn pilotske kabine u smislu udobnosti i jednostavnosti korištenja (nije dobar, prihvatljiv, vrlo dobar)?	1.
U kojoj mjeri raspored sjedala i mogućnost podešavanja sjedala u vašem zrakoplovu utječu na vašu udobnost i preglednost upravljačke ploče i pogled kroz vjetrobransko staklo tijekom dugih letova, slijetanja i uzlijetanja (minimalno, umjereno, značajno)?	2.
Koliko su vam dostupne i pregledne najčešće korištene komande instrumenti i zasloni tijekom najtežih faza leta, slijetanja i polijetanja (nikako, djelomično, u potpunosti)?	3.
Možete li ocijeniti vidljivost iz pilotske kabine zrakoplova, posebno tijekom polijetanja, slijetanja i rulanja po voznim stazama (nije dobra, prihvatljiva, vrlo dobra)?	4.

U kojoj mjeri dizajn radnog okoliša pilotske kabine doprinosi vašoj sveukupnoj svijesti o situaciji i upravljanju radnim opterećenjem (minimalno, umjereno, značajno)?	5.
Možete li ocijeniti razinu čujne buke i kvalitetu izolaciju od čujne buke i vibracija u pilotskoj kabini vašeg zrakoplova u smislu kako utječu na vašu koncentraciju i ambijentalnu udobnost (nije dobra, prihvatljiva, vrlo dobra)?	6.
U kojoj mjeri sustavi za kontrolu osvjjetljenja i odsjaja u vašoj kabini utječu na vašu vidljivost i udobnost tijekom različitih uvjeta vidljivosti (minimalno, umjereno, značajno)?	7.
U kojoj mjeri sustavi kontrole ambijentalnih parametara klima uređaja u vašoj kabini doprinose vašoj udobnosti tijekom letova u različitim vremenskim uvjetima (minimalno, umjereno, značajno)?	8.
Jeste li imali problema (nepristupačnost, otežano posluživanje, nepreglednost) s postavljanjem ili funkcionalnošću komunikacijskih sustava u vašem zrakoplovu (nikada, ponekad, uvijek)?	9.
U kojoj mjeri ste zadovoljni trenutnim osposobljavanjem glede pilotske kabine te u kojoj mjeri vam je osposobljavanje na simulatoru pomoglo u poboljšanju efikasnosti i točnosti pri tumačenju podataka o letu (minimalno, umjereno, značajno)?	10.
Prema vašem iskustvu, u kojoj mjeri sveukupna ergonomija vašeg zrakoplova utječe na vašu izvedbu i sposobnost donošenja odluka, osobito u zahtjevnim ili izvanrednim situacijama (minimalno, umjereno, značajno)?	11.
Općenito, koliko ste zadovoljni sveukupnom ergonomijom (dizajnom) pilotske kabine vašeg zrakoplova (nije dobra, prihvatljiva, vrlo dobra)?	12.
Koje su po vama ključne značajke pilotske kabine koje doprinose lakoći rada i smanjenom umoru?	13.
Za koje, vama vrlo važne, značajke ergonomijskog dizajna u vašem zrakoplovu smatrate da bi se mogle poboljšati ili optimizirati za bolju izvedbu?	14.
Postoje li ergonomijski izazovi ili izraziti nedostaci u dizajnu koje doživljavate kao izvor nepotrebnog radnog opterećenja ili kabinske distrakcije u svome zrakoplovu?	15.

Izvor: sastavio i obradio autor bazirano na informacijama dobivenim od pilota na temelju intervjua

Tablica 4.2 Odgovori pilota i prvih časnika na pitanja s ponuđenim dogovorima za zrakoplov Cessna 525 CJ2+

Pitanje	Kapetani			Prvi časnici (kopiloti)		
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Spol	M	M	M	M	M	M
Dob (god.)	27	33	42	27	28	29
staž (god.)	5	11	20	4	4	5
1.	Prihvatljiv	Prihvatljiv	Nije dobar	Nije dobar	Prihvatljiv	Prihvatljiv
2.	Minimalno	Značajno	Značajno	Minimalno	Značajno	Minimalno
3.	U potpunosti	U potpunosti	Djelomično	Nikako	U potpunosti	U potpunosti
4.	Prihvatljiva	Vrlo dobra	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Vrlo dobra	Nije dobra
5.	Minimalno	Umjereno	Značajno	Minimalno	Značajno	Umjereno
6.	Prihvatljiva	Vrlo dobra	Nije dobra	Vrlo dobra	Prihvatljiva	Nije dobra
7.	Umjereno	Značajno	Značajno	Značajno	Značajno	Umjereno
8.	Minimalno	Umjereno	Značajno	Minimalno	Značajno	Minimalno
9.	Ponekad	Ponekad	Nikada	Nikada	Nikada	Ponekad
10.	Umjereno	Umjereno	Značajno	Značajno	Značajno	Značajno
11.	Umjereno	Umjereno	Značajno	Umjereno	Umjereno	Umjereno
12.	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Nije dobra	Nije dobra	Prihvatljiva	Nije dobra

Izvor: sastavio i obradio autor bazirano na ocjenama dobivenih od pilota na temelju anketa

Tablica 4.3 Odgovori na 13. pitanje pilota i prvih časnika za zrakoplov Cessna 525 CJ2+

Pitanje	Kapetani			Prvi časnici (kopiloti)		
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Spol	M	M	M	M	M	M
Dob (god.)	27	33	42	27	28	29
staž (god.)	5	11	20	4	4	5
13.	Prekidači/komande lako dostupni kapetanu, jednostavnost upravljačke ploče.	Pristupačan kokpit.	Pregledan i logičan raspored instrumenata, prilagodljivost sjedala.	Jednostavnost prikaza sistema rada zrakoplova.	Jasno predstavljeni parametri leta. Kvalitetno sjedalo.	Dobro osvjetljenje.

Izvor: sastavio i obradio autor bazirano na ocjenama dobivenih od pilota na temelju anketa

Tablica 4.4 Odgovori na 14. i 15. pitanje pilota i prvih časnika za zrakoplov Cessna 525 CJ2+

Pitanje	Kapetani			Prvi časnici (kopiloti)		
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Spol	M	M	M	M	M	M
Dob (god.)	27	33	42	27	28	29
staž (god.)	5	11	20	4	4	5
14.	Prekidači dostupni i prvom časniku, bolja izvedba komandi autopilota kako se ne bi skretao pogled sa smjera kretanja zrakoplova.	Mogućnost APU-a.	Raspored kontrola, prilagodljivost sjedala.	Pristup prekidačima je vrlo otežan <i>kopilotu</i> jer je ergonomija prilagođena letenju za jednočlanu posadu na primjer parking kočnica ili sustavi za odleživanje.	Sustavi koji se koriste u letenju a smješteni su na lijevoj strani kokpita trebalo bi staviti u sredinu ili na u iznad glave kako bi oba člana posade imala pristup. Npr. sustavi odleživanja, struja. Zrakoplov je originalno dizajniran za jednočlanu posadu (<i>single pilot</i>).	Pozicija sjedišta, dobro osvjetljenje.
15.	Skučenost u kabini pri čemu dolazi do otežanog korištenja komandi kormila pravca, problem prilikom ulaska ili izlaska tijekom ili prije/poslije leta.	Nema nedostataka.	Zbog malog prostora, kao relativno visokom pojedincu, gotovo mi je nemoguće podesiti poziciju sjedenja.	Neudobnost pilotskog sjedišta (premalo funkcija prilagodbe), mogućnost slučajnog dodira komandi leta prilikom ulaska ili izlaska iz kabine	Otežan ulazak pilota u pilotsku kabinu. Ograničene mogućnosti podešavanja pilotskih sjedala, nedostatak naslona za glavu, nemogućnost podešavanja naslona za ruku po visini. Nezaštićenost centralnih komandi pa postoji mogućnost zapinjanja nogom prilikom izlaska i ulaska.	Prevelika buka i neadekvatno osvjetljenje.

Izvor: sastavio i obradio autor bazirano na ocjenama dobivenih od pilota na temelju anketa

4.2. Rezultati za zrakoplov Cessna 525 CJ2+

Tablice 4.5 i 4.6 sadrže obrađene rezultate provedenih anketa koji su pojedinačno prikazani u tablicama u prošlom poglavlju.. Rezultati iz tablica 4.5 i 4.6 pružaju ključni uvid u percepciju i stavove ispitanika korisnika (*engl. user feedback*).

Tablica 4.5 Rezultati pitanja za pilote i prve časnike s ponuđenim odgovorima za zrakoplov Cessna 525 CJ2+

Pitanje	Srednja ocjena kapetana	Srednja ocjena prvih časnika	Ukupna srednja ocjena	Komentar autora
1.	Prihvatljiv	Prihvatljiv	Prihvatljiv	Dva pilota smatraju da nije dobar, dok su ostali složni da je prihvatljiv.
2.	Umjereno	Umjereno	Umjereno	Tri pilota smatraju da minimalno, a ostala trojica da značajno utječe.
3.	U potpunosti	Djelomično	Djelomično/ U potpunosti	Samo najmlađi ispitanik je zaokružio da su komande i instrumenti teško dostupni.
4.	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Različiti odgovori, u prosjeku prihvatljiva.
5.	Umjereno	Umjereno	Umjereno	Po dva pilota za svaku ocjenu.
6.	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Pod dva pilota za svaku ocjenu.
7.	Značajno	Značajno	Značajno	Dva pilota smatraju da umjereno, dok su ostali složni da značajno utječe.
8.	Umjereno	Umjereno	Umjereno	Različiti odgovori, u prosjeku prihvatljiva.
9.	Ponekad	Nikada	Nikada/Ponekad	Piloti su podijeljeni, tri pilota smatraju da nikada, dok ostala trojica smatraju da ponekad.
10.	Umjereno	Značajno	Značajno	Dva pilota smatraju da značajno utječe, dok su ostali složni da umjereno utječe.
11.	Umjereno	Umjereno	Umjereno	Samo jedan pilot smatra da značajno utječe, dok su ostali složni da umjereno utječe.
12.	Prihvatljiva	Nije dobra	Nije dobra/Prihvatljiva	Tri pilota smatraju da je prihvatljiva, dok trojica smatraju da nije dobra.

Izvor: sastavio i obradio autor bazirano na informacijama dobivenih od pilota

Tablica 4.6 Rezultati pitanja za pilote i prve časnike s ponuđenim odgovorima za zrakoplov Cessna 525 CJ2+

Pitanje	Komentar autora
13.	Većina pilota smatra da je ključan dobar raspored instrumenata i jednostavnost prikaza sustava. Najiskusniji pilot je istaknuo važnost ergonomijskog sjedala, dok je jedan od pilota istaknuo važnost dobrog osvjetljenja u pilotskoj kabini.
14.	Tri pilota su istaknuli da je navedeni zrakoplov prilagođen većim dijelom za kapetana zrakoplova dok je prvom časniku otežano upravljanje komandama. Ponovo jedan od pilota ističe osvjetljenje kao prostor za poboljšanje dok drugi navodi prilagodljivost sjedala. Jedan od pilota smatra da bi upotreba APU-a unaprijedila izvedbu zbog ugodnijeg radnog okoliša pilotske kabine.
15.	Tri od šest pilota smatra da je skučenost u kabini ozbiljan ergonomijski nedostatak koji znatno otežava ulazak i izlazak iz sjedala. Najiskusniji pilot ističe da neudobnost pilotskog sjedala predstavlja ozbiljan ergonomijski izazov pri letenju. Jedan od pilota ponovo navodi osvjetljenje te čujnu buku, dok jedan od pilota smatra da nema izrazitih nedostataka.

Izvor: sastavio i obradio autor bazirano na informacijama dobivenih od pilota

5. ERGONOMIJSKA PROSUDBA PILOTSKE KABINE ZRAKOPLOVA BOMBARDIER CL 350

U ovome istraživanju sudjelovalo je po šest muških pilota za navedeni zrakoplov, odnosno tri kapetana i tri prva časnika. Svi sudionici imaju više od 27 godina te minimalno jednu godinu iskustva na zrakoplovu za koji su anketirani. Prije sastanka, istraživač se pojedinačno dogovorio sa svakim sudionikom o vremenu i detaljima ankete te su svi sudionici dali informirani pristanak za sudjelovanje. Kako bi se osigurala anonimnost sudionika, u obradi podataka koristile su se šifre (BP1, BP2, BP3, BP4, BP5, BP6), a identificirajući podaci nisu korišteni prilikom analize. Brojevi od 1-3 označavaju kapetane zrakoplova, a brojevi od 4-6 označavaju prve časnike. U ovome poglavlju prezentirane su tablice s komparacijom odgovora na pitanja od strane šest pilota za istraživani zrakoplov, pitanja su pilotima postavljena na dva načina:

- pitanja gdje se kao odgovori pilotima nudi izbor između 3 opcije ocjene (skala);
- otvorena pitanja gdje pilot sam daje odgovor po želji.

5.1. Anketa za pilote zrakoplova Bombardier CL 350

U ovome dijelu detaljno su prikazane dvije pregledne tablice koje omogućuju vizualnu preglednost pojedinačnih odgovora. Pitanja koja su postavljena pilotima ovog zrakoplova su identična prethodno u obliku anketnog listića. Tablice 5.1, 5.2 i 5.3 sadrže odgovore na pitanja postavljena pilotima zrakoplova Bombardier CL 350. Ove tablice pomažu u sistematizaciji i lakšoj vizualnoj komparaciji pojedinačnih odgovora svakog pilota.

Tablica 5.1 Odgovori pilota i prvih časnika na pitanja s ponuđenim dogovorima za zrakoplov Bombardier CL 350

Pitanje	Kapetani			Prvi časnici (kopiloti)		
	BP1	BP2	BP3	BP4	BP5	BP6
Spol	M	M	M	M	M	M
Dob (god.)	33	53	31	28	27	32
staž (god.)	10	35	10	5	5	6
1.	Prihvatljiv	Vrlo dobar	Prihvatljiv	Prihvatljiv	Vrlo dobar	Prihvatljiv
2.	Značajno	Značajno	Značajno	Značajno	Značajno	Minimalno
3.	U potpunosti	U potpunosti	U potpunosti	Djelomično	U potpunosti	U potpunosti
4.	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Prihvatljiva
5.	Značajno	Značajno	Umjereno	Umjereno	Značajno	Značajno
6.	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Nije dobra	Vrlo dobra	Prihvatljiva	Prihvatljiva
7.	Značajno	Značajno	Značajno	Značajno	Značajno	Značajno
8.	Značajno	Značajno	Značajno	Značajno	Značajno	Značajno
9.	Ponekad	Ponekad	Ponekad	Ponekad	Ponekad	Nikada
10.	Značajno	Umjereno	Značajno	Umjereno	Značajno	Značajno
11.	Značajno	Značajno	Značajno	Značajno	Značajno	Umjereno
12.	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Vrlo dobra	Prihvatljiva

Izvor: sastavio i obradio autor bazirano na ocjenama dobivenih od pilota na temelju anketa

Tablica 5.2 Odgovori na 13. pitanje pilota i prvih časnika za zrakoplov Bombardier CL 350

Pitanje	Kapetani			Prvi časnici (kopiloti)		
	BP1	BP2	BP3	BP4	BP5	BP6
Spol	M	M	M	M	M	M
Dob (god.)	33	53	31	28	27	32
staž (god.)	10	35	10	5	5	6
13.	Udobnost sjedala, buka u kabini i klimatizacija	Udobnost sjedišta, mogućnost podešavanja položaja. Osvjetljenje, mogućnost podešavanja jačine i vrste osvjetljenja	Podesivo sjedalo u svim osima, Osvjetljenje, Buka i vibracije, Preglednost iz sjedala	Instrumenti na dohvat ruke, dobra ventilacija prostora	Sjedište, preglednost i dostupnost informacija o letu i sistemima	Da nam je sve nadohvat ruke bez potrebe za ustajanjem iz sjedala. Da je sjedalo podesivo po visini, udaljenosti i podesiva leđna potpora. Da nam je sve u smjeru leta bez prevelike potrebe okretanja glave u drugim smjerovima. Regulacija temperature kokpita, regulacija svjetlosti instrumenata i kokpita. Preglednost iz kokpita i na dužim letovima smanjena buka.

Izvor: sastavio i obradio autor bazirano na ocjenama dobivenih od pilota na temelju anketa

Tablica 5.3 Odgovori na 14. i 15. pitanje pilota i prvih časnika za zrakoplov Bombardier CL 350

Pitanje	Kapetani			Kopiloti (prvi časnici)		
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Spol	M	M	M	M	M	M
Dob (god.)	27	33	42	27	28	29
staž (god.)	5	11	20	4	4	5
14.	Bolje osvjetljenje, dodavanje HUD-a	Udobnost sjedišta, način izbora i podešavanje jačine osvjetljenja.	Tlak u kabini na višim visinama leta je jako nizak. Smanjena količina kisika na dužim letovima znatno povećava umor.	Da su sve komande koje su dostupne kapetanima, dostupne i kopilotima.	Klima i osvjetljenje.	Jako doprinosi HUD. Na njemu su prikazani svi potrebni podatci letenja bez prevelikog okretanja glave, transparentan je tako da se vidi kroz njega. Automatski gas (<i>engl. autothrottle</i>) bi bio druga stvar.
15.	Osvjetljenje	Postoje, neudobnost sjedišta, jačina i raspored osvjetljenja.	Avion je dosta bučan što se jako osjeti na dužim letovima.	Potrebno je Više opcija namještanja sjedala..	Osvjetljenje, regulacija temperature	Jako mali kokpit i na letovima duljima od 3 sata postaje jako neudoban. Upravljačka palica za skretanje na zemlji je samo na kapetanovoj strani, puno bolje bi bilo da postoji i na <i>kopilotovoj</i> strani.

Izvor: sastavio i obradio autor bazirano na ocjenama dobivenih od pilota na temelju anketa

5.2. Rezultati za zrakoplov Bombardier CL 350

Tablice 5.4. i 5.5 sadrže obrađene rezultate provedenih anketa koji su pojedinačno prikazani u tablicama u prošleme poglavlju.. Rezultati iz tablica 5.4 i 5.5 pružaju ključni uvid u percepciju i stavove ispitanika korisnika (*engl. user feedback*).

Tablica 5.4 Rezultati pitanja za pilote i prve časnike s ponuđenim odgovorima za zrakoplov Bombardier CL 350

Pitanje	Srednja ocjena kapetana	Srednja ocjena prvih časnika	Ukupna srednja ocjena	Komentar autora
1.	Prihvatljiv	Prihvatljiv	Prihvatljiv	Dva pilota smatraju da je vrlo dobar, a ostali da je prihvatljiv.
2.	Značajno	Značajno	Značajno	Samo jedan prvi časnik smatra da minimalno dok ostali smatraju da značajno.
3.	U potpunosti	U potpunosti	U potpunosti	Samo jedan pilot smatra da djelomično dok ostali smatraju da u potpunosti.
4	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Svi piloti su složni da je prihvatljiva.
5	Značajno	Značajno	Značajno	Dva pilota smatraju da umjereno dok ostali smatraju da značajno.
6	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Jedan pilot smatra da nije dobra, jedan da je vrlo dobra dok ostali smatraju da je prihvatljiva.
7	Značajno	Značajno	Značajno	Svi piloti su složni da značajno.
8	Značajno	Značajno	Značajno	Svi piloti su složni da značajno.
9	Ponekad	Ponekad	Ponekad	Samo jedan pilot smatra da nikada, ostali su složni da ponekad.
10	Značajno	Značajno	Značajno	Dva pilota smatraju da umjereno dok ostali smatraju da značajno
11	Značajno	Značajno	Značajno	Samo jedan pilot smatra da umjereno dok ostali smatraju da značajno.
12	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Prihvatljiva	Samo jedan pilot smatra da je vrlo dobra, dok ostali smatraju da je prihvatljiva.

Izvor: sastavio i obradio autor bazirano na informacijama dobivenih od pilota

Tablica 5.5 Rezultati pitanja za pilote i prve časnike s ponuđenim odgovorima za zrakoplov Bombardier CL 350

Pitanje	Komentar autora
13.	Pet od šest pilota tvrde da je udobnost i mogućnost namještanja sjedala ključna značajka koja doprinosi lakoći rada i smanjenom umoru. Dva pilota navode da je klimatizacija i ventilacija kabine te osvjetljenje.
14.	Najstariji i najiskusniji pilot navodi da nedostaje mogućnost podešavanja jačine osvjetljenja. Dva prva časnika navode da nedostaje zrakoplovu HUD, iako ima mogućnost ugradnje. Jedan od kapetana navodi da je tlak u kabini iznimno nizak pri većim visinama te da znatno povećava umor.
15.	Tri pilota navode da je osvjetljenje izraziti nedostatak Bombardiera, dok dva pilota smatraju da je udobnost sjedala. Jedan od prvih časnika navodi da je neudoban za duže letove te da se višenamjenska upravljačka palica za skretanje na zemlji nalazi izvan maksimalnog dosega ruke prvog časnika.

Izvor: sastavio i obradio autor bazirano na informacijama dobivenih od pilota

6. KOMPARATIVNA ANALIZA S OSVRTOM NA ČIMBENIKE IZVEDBE I RADNOG OPTEREĆENJE PILOTA

U ergonomijskoj analizi u ovome poglavlju, autor rada se pridržavao drugog recentnog načela ergonomije, prilagođavanje radnog i prometnog okoliša korisnicima(pilota) zrakoplova. Sveukupna komparativna analiza ergonomijskih čimbenika u dizajnu upravljačnice za dva analizirana modela zrakoplova zasniva se na sljedećim analizama u više poglavlja ovoga rada :

- Spoznajama iz znanstvene i stručne literature;
- Inicijalnim intervjuom s pilotom koji je upravljao s oba zrakoplova za potrebe izrade ankete (iskusan pilot s navršenih 27 godina s preko dvije godine iskustva);
- Anketi s po šest korisnika (pilota i prvih časnika) za svaki od analiziranih zrakoplova (poglavlja 4. i 5.);
- Uvid u pilotske kabine i tehničke karakteristike upravljačnice, uvidom u tehničku dokumentaciju i skupljane povratne informacija od korisnika odnosno pilota (ovo poglavlje).

6.1. Tehničke karakteristike upravljačnice

Ovo potpoglavlje nastalo je pretežito na temelju uvoda u tehničku dokumentaciju i uvida u pilotsku kabinu oba zrakoplova (zajedno s pilotima prvim časnicima), što je neophodno za potpuno razumijevanje čimbenika dizajna upravljačnica koji mogu utjecati na izvedbu i subjektivni osjećaj udobnosti pilota.

U tablici 6.1 prikazana je tehnička dokumentacija istraživanih zrakoplova, detaljno ilustrirajući specifikacije i značajke svakog modela. U tablici 6.2, izvršena je usporedba na temelju povratnih informacija pilota, što omogućuje uvid u praktičnu primjenu i efikasnost zrakoplova u realnim letačkim operacijama

Tablica 6.1. Čimbenici izvedbe i komfora iz Tehnička dokumentacija zrakoplova Cessna 525 CJ2+ i Bombardier CL 350

Ergonomijski parametri	Čimbenici	Cessna 525 CJ2+	Bombardier CL 350
	Namjena	Jednočlana posada (originalno)	Višečlana posada
Dizajn pilotske kabine	Visina kabine	1,45 m	1,83 m
	Pod	Izdignut pod u odnosu na putničku kabinu	Ravan pod od neklizajućeg materijala
	Izolacija između pilotske i putničke kabine	Zastor, pilotska kabina nije fizički odvojena od putničke	Vrata s izolacijom od čujne buke
Sjedalo	Ulazak u sjedalo	Preuzak ulazak	Malo širi ulazak u sjedalo
	Mogućnosti namještanja sjedala	opcija prilagođavanja po x i y osi, ima lumbalni podupirač na naslonu uz ručno namještanje	opcija prilagođavanja po x i y osi, ima lumbalni podupirač na naslonu za leđa uz ručno namještanje
Instrumenti	Zaslone	4 zaslona (jedan rezervni)	3 zaslona
	Autopilot	Ima	Ima
	Promjena pravca	Skretanje korištenjem snage pomoću kormila smjera i diferencijalnog potiska, lijevi i desni	Upravljačke palice za lako skretanje bez korištenja snage
	FADEC (digitalna kontrola motora)	Ima	Ima
	Zaslon za grupirane informacije	Nema mogućnost	Ima mogućnost HUD-a
	Sustav sintetičke vidljivosti	Nema	Ima
	Klimatizacija	automatska	automatska
	Meteorološki radar	Višenamjenski radarski sustav za skeniranje vremenskih uvjeta	Višenamjenski radarski sustav za skeniranje vremenskih uvjeta.
	Pomoćni generator	Nema	Ima, APU
Osvjetljenje	Svjetla	Žuto svjetlo za čitanje i glavno svjetlo u kabini, nema mogućnost regulacije intenziteta svjetla	U potpunosti led rasvjeta u kabini, nema mogućnost regulacije intenziteta svjetla
Ostale karakteristike	Toalet	Iznimno uzak toalet	Vrlo dobar toalet
	Mogućnost kuhinje	Nema	Ima
	Mogućnost kreveta	Ima	Nema

Izvor: sastavio i obradio autor iz više izvora (tehničke informacije iz dokumentacije i informacije od pilota)

6.2. Povratna informacija pilota

Tablica 6.2 Usporedba karakteristika pilotskih kabina na osnovu povratnih informacija pilota

Parametri	Cessna 525 CJ2+	Bombardier CL 350
Ulazak u sjedalo	Nespretno, nerijetko se dogodi da piloti slučajno promjene položaj ručice potiska	Znatno lakši ulazak, nedovoljno mjesta samo za pilote više od 190 cm
Namještanje sjedala	Preusko i s premalo opcija prilagođavanja antropomjerama pilota i prvih časnika, preblizu često korištenim komandama i instrumentima	Može se znatno bolje prilagoditi antropomjerama pilota i prvih časnika
Promjena pravca	Otežano kretanje po voznim stazama	Jednostavno kretanje po voznim stazama
Kočnica u slučaju nužde	Kočnica u slučaju nužde na instrumentalnoj ploči između pilota, nepraktična za uporabu i za aktivaciju, , može se aktivirati i slučajno (između nogu samo za pilota)	Između 2 pilota u centralnom dijelu, aktivacija u dva slijediva segmenta (ne može se slučajno aktivirati) podjednako lako i za pilota i prvog časnika
Auto pilot	Mora skrenuti pogled prema dolje jer je prekidač za aktivaciju s desne strane od pilota	Prekidač na vidljivom mjestu (u vidnom polju pilota bez okretanja glave), ne treba skretati pogled / pažnju
Pod	Otežan ulazak i izlazak iz kabine, mogućnost slučajnog aktiviranja/deaktiviranja autopilota ili pomak ručice potiska	Normalan ulazak u pilotsku kabinu za većinu pilota.
Osvjetljenje	Žuto svjetlo opterećuje vid, nepraktično za potpuno mračne prostorije, nema svjetla za čitanje komandi leta	Bijela led rasvjeta, ne opterećuje vid
Pomoćni generator	Mora se pokrenuti minimalno jedan motor kako bi radila klimatizacija	Koristan jer može pokretati sustave poput klimatizacije u zrakoplovu čak i kada motori nisu u funkciji
Prometni okoliš kabine	Niska pozicija sjedenja, nepreglednost, kretanje po voznim stazama otežano u uvjetima smanjene vidljivosti	Viša pozicija sjedenja, dobra preglednost, lakše kretanje voznim stazama
Kuhinja	Nema	Ima
Požar u cargo	Nema informaciju o požaru u cargo odjeljku te ne može pristupiti cargo	Ima informaciju i pristup cargo odjeljku

Izvor: sastavio i obradio autor bazirano na informacijama dobivenih od pilota

DISKUSIJA

U ovome poglavlju autor je dao nekoliko korisnih smjernica za holistički integrirani dizajn pilotskih kabina, grupiranih u skupine srodnih smjernica, primjena kojih bi mogla olakšati izvedbu pilota, a na temelju znanstvenih i stručnih spoznaja iz literature, kao i rezultata obrade povratnih informacija od korisnika usluge – kapetana / prvih časnika za dva istraživana zrakoplova. Predložene smjernice se ne odnose samo na kabine istraživanih i u radu uspoređivanih manjih mlaznih aviona, već su univerzalno primjenjive.

Ako je zrakoplov dizajniran za upravljanje od strane jednog pilota, kao što je slučaj kod zrakoplova Cessna, svi kontrolni sustavi su postavljeni tako da su optimalno raspoređeni za dostupnost jednoj osobi. Međutim, pravila i regulative za komercijalni zračni promet u Europi, zahtijevaju operacije s dva pilota, stoga je potrebno jasno definirati tko donosi odluke i upravlja letom kada dva pilota upravljaju takvim zrakoplovom. Sigurnosne procedure i protokoli za zrakoplove s jednočlanom posadom su specifično dizajnirani s pretpostavkom da jedna osoba obavlja sve zadatke. Zbog toga je potrebno kod dizajna komandi za upravljanje uvijek preferirati mogućnost duplog upravljanja (kapetan i prvi časnik). Autor pretpostavlja da to neće bitno poskupiti cijenu zrakoplova, ali može imati veliki utjecaj na sigurnost u okolnostima kada pilot koju trenutačno upravlja zrakoplovom nije to u mogućnosti (ometan je, izgubio je situacijsku svijest, zaspao je, pozlilo mu je ili je preminuo).

Preporučene ergonomijske smjernice za dizajniranje i razmještaj kontrola i instrumenata jesu: operacija upravljanja treba trošiti minimalnu energiju, kontrolni uređaji trebaju biti logično postavljeni i lako dostupni, operacija kontrole u pilotskoj kabini treba uključivati minimalne i brze pokrete, dio kontrolnog uređaja koji dolazi u kontakt s rukom korisnika treba biti u skladu s anatomijom ljudskih ruku, oblik i veličina kontrolnih uređaja trebaju poticati da se s njima rukuje na način da se djeluje potrebnom, a ne pretjeranom silom. Ukoliko su instrumenti i kontrolni uređaji loše raspoređeni, to može produljiti vrijeme koje je potrebno pilotima da reagiraju u hitnim situacijama ili uzrokovati povećanje fizičkog napora, što dovodi do bržeg umaranja pilota. Najčešće korišteni instrumenti i komande u pilotskoj kabini trebaju biti dizajnirani tako da minimiziraju fizički napor tijekom upotrebe, s logičkim rasporedom i lako dostupnim komandama koje zahtijevaju kratke i minimalne pokrete.

U tehničkoj literaturi navode se dvije zone dosega ruku (normalni i maksimalni), dok su u ovome radu navedene tri zone (primarna, sekundarna i tercijarna), pri čemu je treća zona namijenjena za uređaje koji se rijetko koriste ili su neophodni za održavanje zrakoplova.

U primarnoj zoni, odnosno zoni normalnog dosega ruke bi trebale biti smještene najbitnije i najčešće rukama posluživane komande, a to su: upravljačke palice, ručica snage, komanda za kontrolu zakrilaca, radio i navigacijski uređaji te indikatori brzine i visine (koji su pri tome i u glavnom vidnome polju bez okretanja glave).

Zatim u sekundarnoj zoni, odnosno u zoni unutar maksimalnog dosega ruke za rjeđe korištene komande: pomoćne kontrole komunikacije i navigacije, sekundarni indikatori brzine ili sekundarni visinomjeri te rjeđe korišteni sustavi kao što su rasvjeta u kabini, kontrola klime ili sustavi za zabavu.

U tercijarnoj zoni, odnosno van maksimalnog dosega ruke, bi trebali biti električni prekidači koji štite različite sustave zrakoplova, kao i komande i kontrole za održavanje.

Srodne i slijedive komande moraju biti grupirane na način da je njihova upotreba intuitivna. Ergonomijski oblikovani višenamjenski kontroleri kada se radi o više grupiranih srodnih komandi (maksimalni benefit u izvedbi je za maksimalno tri grupirane srodne komande) su obvezni, te treba izbjegavati neergonomijski oblikovane ručice radi komfora pilota i radi lakoće posluživanja. Važno je da oblik i veličina svakog kontrolera odgovara anatomiji ljudskog ruke, omogućavajući upravljanje manjom potrebnom silom, bez pretjerivanja.

Kočnica u slučaju nužde u zrakoplovima mora biti lako dostupna i kapetanu i prvom časniku, a dizajnirana i smještena tako da se ne može slučajno aktivirati tijekom leta ili ulaska/izlaska iz sjedala zahvaljujući sigurnosnim mehanizmima poput poklopaca ili zahtijevanjem simultanog aktiviranja više komandi. Upravljanje takvom kočnicom treba biti intuitivno i jednostavno, kako bi omogućilo brzu reakciju u hitnim situacijama, dakle bez potrebe za provjerom priručnika.

Komande za aktiviranje, namještanje i korištenje autopilota bi morale imati jasan i intenzivan povratni signal kako bi piloti registrirali povratnu informaciju o aktivaciji/deaktivaciji. Autopilot mora biti postavljen na mjestima koja su jasno vidljiva i kapetanu i prvom časniku bez potrebe za okretanjem glave, odnosno unutar normalnog dosega ruke u primarnoj zoni, omogućavajući brz i jednostavan pristup, kao i brzu izvedbu bilo kojeg člana letачke posade tijekom kritičnih faza leta.

Kod starijih modela zrakoplova, za skretanje se koriste klasični upravljački mehanizmi kao što su papučice, koje zahtijevaju fizičku snagu pilota jer pružaju izravnu mehaničku vezu između pilota i upravljačkih površina zrakoplova. Skretanjem pomoću papučica kod zrakoplova Cessna, odnosno primjena kormila smjera pri visokim brzinama može uzrokovati prekomjernu bočnu silu na zrakoplov što može dovesti do gubitka stabilnosti. To može biti osobito opasno u kritičnim fazama leta, kao što su uzlijetanje i slijetanje. Znatno bolje rješenje je kod zrakoplova Bombardier koji ima višenamjensku palicu za skretanje u zraku za manipulaciju krilima i repnim površinama, odnosno višenamjensku palicu za skretanje na zemlji što omogućava veću preciznost i lakše upravljanje zrakoplovom na uzletno-sletnoj stazi. Kod istraživanog zrakoplova Bombardier, višenamjenska palica za skretanje na zemlji je smještena samo na lijevoj strani do kapetana, dodavanje višenamjenske palice za skretanje na zemlji i za prvog časnika, moglo bi dodatno povećati fleksibilnost operacija na tlu tijekom kočenja na pisti nakon slijetanja.

Okrupnjavanje najvažnijih letачkih informacija, poput multifunkcijskih zaslona ili implementacije HUD-a (npr. integrirana letачka informacija o visini i brzini zrakoplova na istom instrumentu), može znatno poboljšati situacijsku svjesnosti i pridonijeti smanjenju radnog opterećenja pilota, koji bi, kao što je naveo jedan od pilota, trebao biti transparentan, tako da se vidi kroz njega. HUD zasloni omogućavaju pilotima da vide ključne grupirane i djelomično obrađene informacije o letu projicirane izravno u njihovom vidnom polju, bez potrebe za okretanjem glave ili skretanjem pogleda, što značajno smanjuje gubitak vremena za prebacivanje pogleda između različitih instrumenata. HUD može smanjiti senzorno opterećenje

očiju i povećavati sigurnost leta u smislu brže i lakše izvedbe, omogućavajući pilotima da održavaju kontinuirani i istovremeni vizualni kontakt s vanjskim okruženjem i najvažnijim letačkim informacijama. Bilo bi dobro da zrakoplovi imaju ugrađen sustav sintetičkog vida koji omogućava pilotima da jasno vide teren, prepreke, uzletno-sletnu stazu i ostale važne objekte čak i u lošim vremenskim uvjetima ili noću. Uporabom takvog sustava se može znatno smanjiti rizik od nesreća.

Postoji 9 stupnjeva podešavanja sjedala u pilotskoj kabini, a to su: kut naslona za glavu, visina naslona za glavu, naslon za leđa (nagib), kut naslona za ruke, visina naslona za ruke, pomicanje cijelog sjedala po horizontalnoj osi, visina sjedećeg dijela, kut sjedećeg dijela te mehanički podesiv lumbalni podupirač. Sjedala u pilotskoj kabini moraju biti udobna i podesiva po visini i po udaljenosti od upravljačke ploče, što više pilota ističe kao četiri najvažnija čimbenika prilagodljivosti. Pravilan položaj sjedala osigurava da piloti mogu lako dohvatiti i upravljati kontrolama bez naprezanja ili pretjeranih pokreta tijela. Uočen je problem s preuskim sjedalima u pilotskim kabinama oba istraživana zrakoplova, što otežava prilagodbu sjedala ekstremnim tjelesnim dimenzijama pilota. Integracija sigurnosnih pojaseva i ramenih pojaseva, može osiguravati pilote tijekom turbulencija. Svi mehanizmi za podešavanje trebaju biti jednostavni za korištenje kako bi piloti lako prilagodili svoje sjedalo prema osobnim preferencijama i zahtjevima leta.

Sjedne plohe i naslon moraju biti postavljeni pod međusobnim kutom od 90-100°. Kut naslona pilotskog sjedala tijekom leta trebao bi biti između 65° i 85°, posljedično, kut pilotskog sjedala trebao bi biti između 5° i 15°. Sjedala bi obavezno trebala imati mehanizme za podešavanje nagiba i visine. Potrebno je opremiti sjedala podesivim lumbalnim podupiračima koji su ručno podesivi kod oba zrakoplova, koje piloti mogu lako prilagoditi tijekom leta. Uvođenje automatski podesivih lumbalnih podupirača u sklopu naslona za leđa moglo bi značajno poboljšati udobnost i smanjiti fizički napor posade u lumbalnom dijelu kralježnice koji nastaje zbog neispravnog sjedenja. Također, sjedala bi trebala imati opciju podešavanja visine i nagiba naslone za ruke, kao i opciju podešavanja visine i nagiba naslone za glavu. Pilot bi trebao moći imati dovoljno prostora za noge kako bi se mogao istegnuti tijekom leta.

Pilotska sjedala trebaju biti dizajnirana da apsorbiraju udarne sile te visoka ubrzanja, pružajući maksimalnu zaštitu pilotima u slučaju nepredviđenih situacija. Sjedala u pilotskoj kabini trebala bi biti izrađena od samogasivih materijala otpornih na vatru kako bi se zadovoljili sigurnosni propisi i smanjio rizik od širenja vatre.

Potrebno je dizajnirati sjedala s većom fleksibilnošću u prilagodbi, kako bi se omogućilo, u najvećoj mjeri, koliko je to moguće, udobno sjedenje za muške i ženske pilote različitih tjelesnih dimenzija, uključujući one ženske ispod 5. i one muške iznad 95. centila. Rasponi statičkih i kinematičkih antropomjera za centralnih 90 % bitnih za dizajn upravljačnice i pilotskih sjedala dobivaju se na temelju mjerenja svih potrebnih statičkih i kinematičkih antropomjera na slučajnom i dovoljnom uzorku iz cijele populacije. Pri tome je potrebno uvažiti raspone za centralnih 90 % za granične mjere za muškarce i žene zajedno, jer je sve veći broj pilota žena u ukupnoj populaciji pilota.

Prostranost kabine zrakoplova jedan je od čimbenika koji utječu na udobnost pilota tijekom leta. Veći prostor za glavu i općenito prostranija kabina mogu smanjiti osjećaj

klaustrofobije i umora tijekom dugih letova. Viša kabina omogućava pilotima da se lakše istežu i mijenjaju radne položaje ili se međusobno zamijene tijekom leta. Visina kabine zrakoplova Cessna iznimno je niska, što je naznačilo više ispitanih pilota, te predstavlja problem svim pilotima pri ulasku i izlasku, za razliku od kabine zrakoplova Bombardier kod koje se veći dio ispitanih pilota kreće bez saginjanja. U hitnim situacijama, poput potrebe za brzom evakuacijom, viša kabina pruža više prostora za manevriranje, što može olakšati brže i sigurnije napuštanje zrakoplova.

Kako bi se ublažili negativni utjecaji čujne kabinske buke i vibracija na pilote i njihovu izvedbu, preporučuje se implementacija naprednih i tiših sustava za smanjenje čujne buke u pilotskoj kabini i izvan nje (npr. APU za korištenje na zemlji), te poboljšanje izolacije pilotske od putničke kabine. Kod zrakoplova Cessna je postavljen samo zastor, dok su kod zrakoplova Bombardier ugrađena vrata s izolacijom od čujne buke. Između dva standarda koji definiraju preporučenu dozu dnevne čujne buke (OSHA i NIOSH) autor ovoga rada preporučuje za pilote povoljniji NIOSH standard, prema kojem maksimalna preporučena dnevna doza čujne buke iznosi 85 dB u vremenskom periodu trajanja smjene od 8 sati.

Važno je da su sve često korištene komande adekvatno osvijetljene, kako bi se osigurala njihova laka vidljivost i pristupačnost u svim uvjetima letenja. Bijelo led svjetlo pokazalo se manje subjektivno napornim za pilote u usporedbi sa žutim svjetlom. Mogućnost podešavanje intenziteta pozadinskog osvijetljenja putem potenciometara, što nema niti jedan od istraživanih zrakoplova, omogućuje pilotima da prilagode svjetlost ekrana i komandi prema ambijentalnim uvjetima (noć/dan) kao i prema osobnim preferencijama. Izostanak mogućnosti podešavanja osvijetljenja je naveo najstariji pilot kao jedan od jako bitnih nedostataka.

Za maksimalnu termalnu ugodu, preporučuje se ambijentalna temperatura u rasponu od 20 – 24° C, istovremeno uz relativnu vlažnost *RH* u rasponu od 40 – 60 %. Zrak koji izlazi iz ventilacije u pilotskoj kabini u zoni koljena i vrata ne smije strujati brzinom većom od 0,2 m/s. Isto tako, zrak u kabini mora biti čist i svjež, što se postiže sustavom ventilacije i filtracije zraka. Vrlo je važno kontrolirati i optimizirati kvalitetu zraka unutar kabine kako bi se osiguralo da mirisi ne postanu izvor distrakcije ili nelagode.

Pod u pilotskoj kabini bi trebao biti dizajniran tako da pruža stabilnu i potpurnu površinu za brzo i sigurno kretanje pilota, pristup kontrolama i održavanje udobnog položaja sjedenja tijekom letačkih operacija. Pod bi trebao biti napravljen od neklizajućeg materijala kako bi se spriječilo klizanje pilota i gubitka oslonca, posebno tijekom turbulentnih uvjeta leta. Isto tako, treba biti ravan kako bi se osigurao stabilan temelj za sjedenje i kretanje pilota.

Dodatne mogućnosti poput toaleta, kuhinje ili prostor za odmaranje letačke posade nisu ključne za izvedbu pilota zrakoplova, ali također mogu imati utjecaj na subjektivni osjećaj udobnosti i osobnu dobrobit posade i putnika, stoga ih ne treba zanemariti pri dizajnu pilotske kabine. Te opcije omogućavaju dulje boravke u zraku uz veću udobnost, što je posebno važno na srednjim i duljim letovima. Raspoloživost navedenih pogodnosti može znatno poboljšati iskustvo letenja, omogućavajući korisnicima da se osjećaju opuštenije tijekom leta.

ZAKLJUČAK

U radu je dokazana hipoteza da implementacija ergonomijskih načela i dizajn pilotske kabine, upravljačkih sučelja i sustava interakcije čovjek-stroj značajno utječu na izvedbu pilota, sigurnost i ukupnu učinkovitost letačkih operacija.

Autor ovog rada je tijekom istraživanja za potrebe rada između ostalih istraživačkih metoda najviše koristio dvije znanstveno-istraživačke metode, metodu komparacije (usporedba znanstvenih stručnih spoznaja iz više izvora) i metodu kompilacije (donošenje nadzaključka na temelju vlastitih parcijalnih zaključaka u pojedinim poglavljima rada i zaključaka u stručnoj i znanstvenoj literaturi).

Ergonomijska optimizacija pilotske kabine usmjerena je na holistički integrirani pristup dizajnu koji unaprjeđuje izvedbu i sigurnost pilota integrirajući ključne ergonomijske čimbenike. Kroz prilagodbu sjedala i strateški raspored često posluživanih instrumenata i kontrola (po kriteriju dostupnosti), ergonomija fizičkog prostora smanjuje fizičko i psihičko opterećenje pilota i potiče intuitivnu interakciju s instrumentima, dok senzorni dizajn osigurava jasnu vizualnu, auditivnu i taktilnu povratnu informaciju minimizirajući okolnosti za nastanak senzornog opterećenja kod pilota. Paralelno, uvažavanja znanstvenih spoznaja povezanih s kognitivnim čimbenicima uzrokuje smanjenje mentalnog opterećenja kroz intuitivno i pregledno sučelje koji olakšavaju dovoljno brzu obradu informacija i odlučivanje u realnom vremenu. Također, promišljena upotreba znanstvenih spoznaja povezanih sa društvenim čimbenicima potiču efikasniju komunikaciju i koordinaciju unutar posade, čime se unaprjeđuje timski rad i smanjuje mogućnost krivih reakcija. Integracija ovih elemenata stvara ergonomijski optimiziran radni okoliš koji direktno poboljšava sigurnost letenja i omogućuje pilotima da ostvare optimalno izvedbu uz podnošljivo radno opterećenje tijekom leta.

Komparativnom analizom ergonomijskih čimbenika pilotskih kabina zrakoplova Cessna 525 CJ2+ i Bombardier CL 350 dokazana je značajna uloga ergonomijskog dizajna u mogućem poboljšanju izvedbe i sigurnosti pilota. Komparativna studija potvrdila je kako pravilno dizajnirani ergonomijski elementi, poput sjedala, rasporeda kontrola i integriranog dizajna, okrupnjavanja srodnih komandi i okrupnjavanja najvažnijih letačkih informacija mogu omogućiti pilotima efikasniju interakciju s kontrolama i instrumentima. Implementacija ergonomijskih principa u dizajn kabine može doprinijeti smanjenju radnog opterećenja, umora i stresa kod pilota, i posljedično povećanju opće sigurnosti i efikasnosti letačkih operacija.

Popis literature

- [1] Pheasant, S.: *Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work*, Taylor & Francis e-Library, London, 2003
- [2] Sumpor, D.: *Ergonomija u prometu i transportu*, Fakultetski priručnik, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018.
- [3] Skybrary: ICAO SHELL Model, 2022, dostupno na stranici: <https://skybrary.aero/articles/icao-shell-model> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [4] Li, W. C., Harris, D.: *Ergonomics and Human Factors in Aviation*, Taylor & Francis Group, Ujedinjeno Kraljevstvo, 2019, dostupno na stranici: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00140139.2019.1564589> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [5] Salvendy, G.: *Handbook of Human Factors and Ergonomics-Fourth Edition*, John Wiley & Sons, Incorporated, New Jersey, 2013, dostupno na stranici: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/uzuccs/detail.action?docID=817338> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [6] Bureau of Aircraft Accidents Archives: *Crash of a Cessna 525 citationjet CJ1 in Aruanã*, 2014, dostupno na stranici: <https://www.baaa-acro.com/crash/crash-cessna-525-citationjet-cj1-aruaana> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [7] Khayal, O.: *Corelation between ergonomics and economics*, Acta technica corviniensis, Bulletin of Engineering, 2019, dostupno na stranici: <https://www.proquest.com/docview/2343684107/fulltextPDF/E2810AB670354E42PQ/1?accountid=47665> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [8] Goossens, R., Snijders, C. J., Fransen, T.: *Biomechanical analysis of the dimensions of pilot seats in civil aircraft*, Department of Product and Systems Ergonomics, Faculty of Industrial Design Engineering, Delft University of Technology, Netherlands, 2000
- [9] Andrade, Y.: *An Ergonomic of Aircraft Pilot Seats*, PhDissertation, Embry-Riddle Aeronautical University, Daytona Beach, Florida, 2013
- [10] World Health Organisation: Musculoskeletal health, 2022, dostupno na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [11] Shirude, S., Jagtap, D.: *Design review of aircraft cockpit for aesthetic and ergonomic considerations*, Savitribai Phule Pune University, Gokhale Education Society's R H Sapat College of Engineering, College Road, Nashik, Maharashtra, India, 2017, dostupno na stranici: <https://www.ijsr.net/archive/v6i2/ART2017582.pdf> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [12] Canadian Centre for Occupational Health and Safety: *Working in a Sitting Position*, 2018, dostupno na stranici: https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/sitting/sitting_basic.html (preuzeto 28. travnja 2024.) (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [13] Aeronautics guide: *Aircraft Air Conditioning Systems*, 2017, dostupno na stranici: <https://www.aircraftsystemstech.com/2017/05/aircraft-air-conditioning-systems.html> (preuzeto 28. travnja 2024.)

- [14] Kroemer, K. H. E., Grandjean, E.: *Prilagođavanje rada čovjeku*, Naklada Slap, Jastrebarsko, 2000. (Original: Kroemer, K. H. E., Grandjean, E.: *Fitting the Task to the Human, A Textbook of Occupational Ergonomics, Fifth Edition*, Taylor & Francis, London, 1997.)
- [15] Steiner, S., Vidović, A., Bajor, I., Pita, O., Štimac, I.: *Zrakoplovna prijevozna sredstva 1*, Fakultetski priručnik, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018.
- [16] Business insider: *Inside the secret plane bedrooms where pilots sleep on long-haul flights*, 2017, dostupno na stranici: <https://www.businessinsider.com/where-do-pilots-sleep-on-planes-2017-3#but-the-rooms-design-differs-depending-on-the-plane-and-airline-this-rest-area-on-a-lufthansa-airbus-a380-isnt-quite-as-spacious-as-the-boeing-model-8> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [17] Airbus S.A.S.: *Are You Properly Seated?*, Blagnac Cedex, France, 2018, dostupno na stranici: <https://safetyfirst.airbus.com/are-you-properly-seated/#:~:text=The%20indicator%20is%20a%20device,when%20in%20the%20correct%20position.&text=HUD%20symbols%20are%20fully%20visible,to%20the%20eye%20reference%20point> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [18] Cardosi, K., Hannon, D.: *Guidelines for the Use of Color in ATC Displays*, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Virginia, 1999, dostupno na stranici: <https://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/ar-99-52.pdf> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [19] Harris, D.: *Human Performance on the Flight Deck*, Taylor & Francis Group, UK, 2011
- [20] U.S. Department of health and human services, National Institute for Occupational Safety and Health: *Criteria for Recommended Standard, Occupational Noise Exposure, Revised Criteria 1998*, Cincinnati, Ohio, June, 1998, dostupno na stranici: https://www.cdc.gov/nchs/data/series/sr_11/sr11_008.pdf (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [21] United States Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration: *Standard no. 1910. Occupational Safety and Health Standards, Occupation Health and Environmental Control, 1910.95(b)(1) Occupational Noise Exposure, Table G-16 Permissible Noise Exposures*, dostupno na stranici: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=standards&p_id=9735 (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [22] Ivošević, J., Bucak, T., Sumpor, D.: *Assessment methodology of interior aircraft noise influence on pilot performance and temporary threshold shift*, *Promet – Traffic&Transportation, Scientific Journal of Transportation Research*, Vol.28, No5, Pardubice, Portorož, Sarajevo, Trieste, Zagreb, Žilina, 2016, pp. 487-496
- [23] Sheridan, T. B., Parasuraman, R.: *Human - Automation Interaction*, 2005, dostupno na stranici: https://www.researchgate.net/publication/240756917_Human-Automation_Interaction (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [24] Skybrary Aero: *Electronic Flight Instrument System*, 2022, dostupno na stranici: <https://skybrary.aero/articles/electronic-flight-instrument-system-efis> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [25] Skybrary Aero: *Flight Management System*, 2024, dostupno na stranici: <https://skybrary.aero/articles/flight-management-system> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [26] Endsley, M. R.: *Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement*, Human Factors Society 1988

- [27] AVweb: *Thoughts On Falling Behind*, 2019, dostupno na stranici: <https://www.avweb.com/flight-safety/proficiency/thoughts-on-falling-behind/> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [28] PAN AM International Flight Academy: *Jet transition*, USA, 2009, dostupno na stranici: https://www.academia.edu/14010630/PanAm_Jet_Transition_Course?email_work_card=view-paper (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [29] Schutte, P. C.: *How To Make the Most of Your Human: Design Considerations for Single Pilot Operations*, National Aeronautics and Space Administration, Langley Research Center, Hampton, Virginia, USA, 2015, dostupno na stranici: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20160006283/downloads/20160006283.pdf> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [30] Piwek, G. D.: *Human factor in flight safety*, 2018, dostupno na stranici: <https://www.proquest.com/docview/2224304243/fulltextPDF/8838F4A5EBC84D11PQ/1?accountid=47665> (preuzeto 28. travnja 2024.)
- [31] Federal Aviation Administration: *Safety Management System*, 2022, dostupno na stranici: <https://www.faa.gov/about/initiatives/sms/explained> (preuzeto 28. travnja 2024.)

Popis slika

Slika 2.1 Ljudski čimbenici.....	4
Slika 3.1 Ergonomija sjedenja pri radu za upravljačnicom.....	13
Slika 3.2 Jedanaest temeljnih zahtjeva za ostvarenje udobnosti i sigurnosti sjedala.....	14
Slika 3.3 Zone doseg ruku u sjedećem položaju.....	16
Slika 3.4. Uobičajeni kontrolni sistem temperature za regulaciju temperature velikog mlaznog zrakoplova (lijevo) i poslovnog mlaznog zrakoplova (desno)	19
Slika 3.5. Kuhinja zrakoplova Bombardier CL 350.....	22
Slika 3.6. Prostor za odmor letачke posade.....	23
Slika 3.7. Normalna simetrična razdioba za nestandardnu funkciju gustoće	24
Slika 3.8 Indikator referentne točke oka.....	27
Slika 3.9. Upravljačnica Cessne 525 CJ2+.....	28
Slika 3.10. Pojednostavljeni prikaz razine čujne buke u pilotskoj kabini zrakoplova Boeing 727 tijekom polijetanja, slijetanja i prilaženja.....	30
Slika 3.11. Koncept petlje sučelja čovjek - stroj sučelje	35
Slika 3.12. Najbolji kut ograničenja za najduži vizualni segment.....	38
Slika 3.13 Zaslon za grupirane informacije zrakoplova Bombardier CL350.....	39
Slika 3.14. Radno opterećenje pilota tijekom faza leta	41
Slika 3.15. Yerkes-Dodsonov zakon	41

Popis tablica

Tablica 2.1 SHELL model.....	8
Tablica 3.1 Raspon relativne vlažnosti zraka RH u prostoriji koji vrlo malo utječe na pojavu subjektivnog osjećaja termalne neugode.....	19
Tablica 3.2. Četiri osnovna klimatska čimbenika subjektivnog osjećaja termalne ugone koji dominantno definiraju izmjenu topline između sudionika u prometu i okoliša	20
Tablica 3.3. Preporučljive ambijentalne temperature zraka u okolišu ta s obzirom na vrstu radnog procesa i položaj tijela tijekom rada.....	20
Tablica 3.4 Granične vrijednosti brzine strujanja zraka v	21
Tablica 3.5 Kombinacija razine izloženosti L i preporučene dnevne izloženosti T u skladu sa mjernicama NIOSH.....	31
Tablica 3.6 Usporedba dozvoljenih razina zvučnog tlaka SPL i preporučenih dnevnih trajanja	32
Tablica 4.1 Popis pitanja za pilote i prve časnike oba zrakoplova, za anketne listiće.....	46
Tablica 4.2 Odgovori pilota i prvih časnika na pitanja s ponuđenim dogovorima za zrakoplov Cessna 525 CJ2+	48
Tablica 4.3 Odgovori na 13. pitanje pilota i prvih časnika za zrakoplov Cessna 525 CJ2+	49
Tablica 4.4 Odgovori na 14. i 15. pitanje pilota i prvih časnika za zrakoplov Cessna 525 CJ2+	50
Tablica 4.5 Rezultati pitanja za pilote i prve časnike s ponuđenim odgovorima za zrakoplov Cessna 525 CJ2+	51
Tablica 4.6 Rezultati pitanja za pilote i prve časnike s ponuđenim odgovorima za zrakoplov Cessna 525 CJ2+	52
Tablica 5.1 Odgovori pilota i prvih časnika na pitanja s ponuđenim dogovorima za zrakoplov Bombardier CL 350.....	54
Tablica 5.2 Odgovori na 13. pitanje pilota i prvih časnika za zrakoplov Bombardier CL 350.....	55
Tablica 5.3 Odgovori na 14. i 15. pitanje pilota i prvih časnika za zrakoplov Bombardier CL 350.....	56
Tablica 5.4 Rezultati pitanja za pilote i prve časnike s ponuđenim odgovorima za zrakoplov Bombardier CL 350.....	57
Tablica 5.5 Rezultati pitanja za pilote i prve časnike s ponuđenim odgovorima za zrakoplov Bombardier CL 350.....	58
Tablica 6.1. Čimbenici izvedbe i komfora iz Tehnička dokumentacija zrakoplova Cessna 525 CJ2+ i Bombardier CL 350.....	60
Tablica 6.2 Usporedba karakteristika pilotskih kabina na osnovu povratnih informacija pilota	61

Popis oznaka i mjernih jedinica

Oznaka	Mjerna jedinica	Naziv, opis ili definicija
$5c$	cm	Vrijednost antropomjere h_i za peti percentil za n ispitanika iz slučajnog uzorka
$95c$	cm	Vrijednost antropomjere h_i za devedeset i peti percentil od n ispitanika iz slučajnog uzorka
f	Hz	Frekvencija zvučnog vala
F_b	N	Sila koja djeluje na dorzalni dio
F_g	N	Težina gornjeg dijela tijela
F_t	N	Sila koja djeluje na išijalne izbočine na leđima
F_{th}	N	Horizontalna komponenta sile
F_{tv}	N	Vertikalna komponenta sile
h_j	cm	Vrijednost pojedinog mjerenja statičke ili kinematičke antropomjere u uzorku
ITM	kg / m ²	Indeks tjelesne mase
L	dB(A)	Trenutačna razina čujne buke, preporučena dnevna razina izloženosti
M	cm	Srednji iznos varijable (pojedine antropomjere h_i) za n ispitanika iz cijelog slučajnog uzorka, aritmetička sredina
n		Broj ispitanika iz slučajnog uzorka
RH	%	Relativna vlažnost zraka u radnom okolišu
SD	cm	Standardna devijacije varijable (stojeće visine) za n ispitanika iz slučajnog uzorka
SPL	dB(A)	Razina zvučnog pritiska ili trenutačna razina buke
T	h	Preporučena dnevna izloženost buci prema nekom kriteriju
t_a	°C	Ambijentalna temperatura zraka u radnom okolišu
t_o	°C	Operativna (efektivna, sobna) stvarno percipirana temperatura u radnom okolišu
t_s	°C	Srednja vrijednost temperature okolinskih objekata i površina u radnom okolišu
x		Vrijednost varijable ili brojčani iznos kojim se opisuje izraženost promatranog obilježja (npr. iznos antropomjere)
v	m / s	Brzina strujanja zraka u upravljačnici
Δh	cm	Raspon izmjerenih vrijednosti pojedine antropomjere
$\Delta h_{90\%}$	cm	Raspon visina h za centralnih 90% u ispitanika iz slučajnog uzorka
μ	cm	Prosječna (aritmetička) srednja vrijednost slučajne varijable (antropomjere) za N ispitanika iz cijele populacije
σ	cm	Standardna devijacija slučajne varijable (antropomjere) za N ispitanika iz cijele istraživane populacije

Popis kratica

Akronim	Značenje na hrvatskom	Značenje na engleskom
ACAS	Sustav za izbjegavanje sudara u zraku	Airborne Collision Avoidance System
APU	Pričuvni energetska sustav	Auxiliary Power Unit
ATC	Kontrola zračnog prometa	Air Traffic Control
BMI	Indeks tjelesne mase	Body Mass Index
BP	Pilot Bombardier-a	Bombardier pilot
CAA	Agencija za civilno zrakoplovstvo	Civil Aviation Authority,
CP	Pilot Cessna-e	Cessna pilot
CRM	Upravljanje resursima letачke posade	Crew Resource Management
CRT	Tehnologija katodnih cijevi	Cathode Ray Tube
EADI	Elektronički indikator smjera	Electronic Attitude Director Indicator
EASA	Agencija Europske unije za sigurnost zračnog prometa	European Union Aviation Safety Agency
EFIS	Elektronički sustav letачkih instrumenata	Electronic Flight Instrument System
EGPWS	Unaprjeđeni sustav za upozoravanje blizine terena	Enhanced Ground Proximity Warning System
EHSI	Elektronički horizontalni indikator situacije	Electronic Horizontal Situation Indicator
FAA	Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo	Federal Aviation Administration
FADEC	Potpuna digitalna kontrola motora	Full Authority Digital Engine Control
FLOPES	Sustav za ocjenjivanje učinkovitosti operacija slijetanja zrakoplova	Flight Landing Operation Performance Evaluation System
FMS	Sustav upravljanja letom	Flight Management System
HUD	Zaslon za grupirane letачke informacije	Head-up Display
ICAO	Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo	International Civil Aviation Organization
LCD	Zaslon s tekućim kristalima	Liquid Crystal Display
LVO	Operacije pri smanjenoj vidljivosti	Low Visibility Operations
MFD	Multifunkcionalni zaslon	Multi-Function Display
MSD	Mišićno-koštani poremećaji	Musculoskeletal Disorders

NIOSH	Nacionalni institut medicine rada i zaštite na radu	National Institute for Occupational Safety and Health
OSHA	Agencija za zdravlje i sigurnost na radu	Occupational Safety and Health Administration
PEAR	Ljudi, okoliš, aktivnosti, resurs	People, environment, actions, resources
PF	Pilot koji leti	Pilot flying
PFD	Glavni zaslon leta	Primary Flight Display
PNF	Pilot koji ne leti	Pilot not flying
QAR	Brzo-pristupni snimač	Quick Access Recorder
SHELL	Softver, hardver, radni okoliš, ljudi	Hardware, software, environment, liveware
SMS	Sustav upravljanja sigurnošću	Safety Management System
SRK	Vještine, pravila i znanje	Skills, rules, knowledge
SSR	Sekundarni nadzorni radar	Secondary Surveillance Radar
WHO	Svjetska zdravstvena organizacija	World Health Organization
WRS	Radarski meteorološki sustav	Weather radar system

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom _____ Komparativna ergonomska prosudba čimbenika pilotske kabine _____ zrakoplova Cessna 525 CJ2+ i zrakoplova Bombardier CL 350 _____, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, _____ 24.04.2024.

Student:

Josip Šunjo
(ime i prezime, potpis)