Analiza ergonomskih čimbenika pilotske kabine

Molnar, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:119:753694

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marko Molnar

ANALIZA ERGONOMSKIH ČIMBENIKA PILOTSKE KABINE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2018.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

ANALIZA ERGONOMSKIH ČIMBENIKA PILOTSKE KABINE

ANALYSIS OF THE FLIGHT DECK ERGONOMIC FACTORS

Mentor: doc. dr. sc. Davor Sumpor

Student: Marko Molnar

JMBAG: 0135 212 671

Zagreb, kolovoz 2018.

ANALIZA ERGONOMSKIH ČIMBENIKA PILOTSKE KABINE

SAŽETAK

Čimbenici iz grupe "ljudskog faktora" predmetom su istraživanja u zrakoplovnoj industriji jer čovjek nije sposoban pravilno percipirati dinamički radni okoliš pilotske kabine, odnosno ograničen je utjecajem umora i svojom sposobnošću koja se odnosi na senzorne i percepcijske kognitivne procese. Navedeno definira područje rada pilota u sustavu čovjek-stroj-okoliš u kojemu je moguće odrediti utjecajne čimbenike kao što su stres ili radno opterećenje, a koji mogu utjecati na radnu sposobnost i razinu izvedbe radnog zadatka. Održavanje utjecajnih čimbenika "ljudskog faktora" unutar njihovih preporučenih raspona uz adekvatan dizajn pilotske kabine, rezultirat će optimizacijom rada, uklanjanjem latentnih stresora i prijetnji, smanjenjem broja krivih reakcija, a s ciljem potpune eliminacije negativnih posljedica u smislu gubitka kontrole i nadzora nad zrakoplovom, gubitka zrakoplova i posljedica s fatalnim ishodom.

KLJUČNE RIJEČI: čimbenici "ljudskog faktora"; stresori; dizajn pilotske kabine; izvedba; krive reakcije

ANALYSIS OF THE FLIGHT DECK ERGONOMIC FACTORS

SUMMARY

The reasoning behind the research of human factors in aviation industry lies in the human limitations to adequatly perceive the dynamic working environment of the flight deck, moreover humans are limited by levels of fatique and abilities respective to sensory and cognition processing. This mentioned field of research defines the pilot's working environment in the human-machine-environment system in which human factors like stress or workload can be indentified and analysed for the influence on working ability and level of performance. By maintaining the obtained human factors data within it's recomended span and the use of an adequate flight deck design, results referred to optimization, mitigation of latent stressors, hazards, and pilot errors can be achieved, with the purpose to eliminate negative consequences such as loss of control and surveillance, fatalities and loss of aircraft.

KEYWORDS: human factors; stressors; flight deck design;performance; errors

Sadržaj

1. UVOD 1
1. 1 Struktura rada 1
1. 2 Definicija problema i predmeta istraživanja 2
1.3 Postavljanje temeljne istraživačke hipoteze 5
1.4 Osvrt na dosadašnja istraživanja 6
2.Čimbenici iz grupe ''ljudskog faktora'' 7
2.1 Istraživanje čimbenika 7
2.2 Razlozi izučavanja ljudskih čimbenika 14
2.3. Sustav čovjek-stroj-okoliš 16
2.4 Biološka ograničenja čovjeka 18
2.4.1 Umor i pospanost 19
2.4.2 Ukupno vrijeme reakcije na kognitivno motoričke zadatke 21
2.5 Složenost zadatka pilotiranja 23
2.5.1. Otkrivanje stimulansa 23
2.5.2. Razlikovanje stimulansa 24
2.6. Automatizacija 25
2.6.1. Svjesnost stanja 25
2.6.2. Korištenje automatizacije 25
2.7 Stres 26
2.7.1 Stresori i nepovoljne okolnosti iz radne okoline 27
2.7.2 Atmosfera 28
2.7.3 Buka 28
2.7.4 Vibracije 29
2.7.5 Temperatura i vlažnost 30
2.7.6 Osvjetljenje 31
2.7.7 Boje 32
2.8 Fizički elementi sustava čovjek-stroj u pilotskoj kabini 34
2.8.1 Prikaznici 35
2.8.2 Prikaznici modernih zrakoplova 35
2.8.3 Upravljala 37
2.9 Sveukupni učinak čimbenika ''ljudskog faktora'' 37
3. Smjernice za dizajn pilotske kabine 39
3.1. Estetika dizajna 39

3.2. Specifična razmatranja dizajna 40
3.3. Filozofije i strategije dizajna čovjeku prilagođene pilotske kabine 42
3.4 Dizajniranje prema stresorima 44
3.4.1 Preporuke atmosferske okoline 44
3.4.2 Preporuke za buku 47
3.4.3 Preporuke za vibracije 51
3.4.4 Preporuke za termalnu ugodu 53
3.4.5 Preporuke za osvjetljenje 57
3.4.6 Preporuke za boje 61
3.5 Preporuke za prikaznike 64
3.5.1 Preporuke za prikaznike modernih zrakoplova 67
3.5.2 Umjetni horizont 68
3.5.3 Brzinomjer 71
3.5.6 Prikaznik horizontalne situacije 71
3.5.7 Prikaznik navigacije 72
3.5.8. Prikaznici zrakoplovnih sustava 73
3.6. Preporuke za oznake na sučeljima 74
3.6.1 Veličina znakova 75
3.7 Preporuke za upravljala 76
3.7.1 Preporuke za kodiranje upravljala 77
3.7.2 Aktivacijski otpori upravljala i dimenzije upravljala 78
3.7.3 Pritisna dugmad za prst i ruku 78
3.7.4 Sklopke 79
3.7.5 Ručne poluge 80
3.7.6 Rotirajuća dugmad 80
3.7.7 Rotirajući prekidači 80
3.7.8 Dugmad za kontinuiranu rotaciju 81
3.7.9 Streličasta dugmad 81
3.7.10 Kotači 81
3.7.11 Papučice 81
3.8 Kompatibilnost upravljala i prikaznika 82
3.9 Budućnost razvoja sučelja 86
4. Antropometrijska prilagođenost pilotske kabine 88
4.1 Antropometrijski podaci 89

4.2 Mjerenje u antropometriji 90
4.3 Antropometrijske točke 91
4.4 Razlike u populaciji 92
4.5 Dizajn pilotske kabine prema antropometrijskim podacima 95
4.5.1 Dizajn prema vidnom polju 97
4.5.2 Dizajn prema prostoru dosega 98
5. Uklanjanje grešaka 100
5.1 Modeli uklanjanja krivih reakcija 100
5.2 Alati upravljanja krivih reakcija 101
5.3 Model upravljanja prijetanji i krivih reakcija 103
5.3.1 Krive reakcije 104
5.3.2 Nepoželjna stanja 105
5.3.3. Vrste reakcija i ishoda 106
5.3.4. Protumjere u modelu upravljanja prijetnji i krivih reakcija 107
5.4. Statistički osvrt dizajna 108
DISKUSIJA 111
ZAKLJUČAK 115
Popis literature 117
Popis slika 122
Popis grafova 123
Popis Tablica 124
Popis Kratica 125
Pops oznaka i mjernih jedinica 128

1. UVOD

1. 1 Struktura rada

Diplomski rad tematski je koncipiran u pet poglavlja. Prvo poglavlje predstavlja uvodni dio koji definira problematiku i predmet istraživanja koristeći sažeti povijesni okvir, te se postavlja hipoteza rada i daje osvrt na dosadašnja istraživanja.

Drugo poglavlje sadržajem pokriva teorijsko poimanje čimbenika "ljudskog faktora", navodi razloge istraživanja, specifičnu problematiku, te adresira osnovne utjecajne čimbenike, a koji manjkavom obradom nažalost mogu postati predmetom opsežnijeg izučavanja tek nakon zrakoplovne nesreće, što je čest slučaj u zrakoplovnoj industriji.

Treće poglavlje daje temeljne smjernice i preporuke za pravilan ergonomski dizajn pilotske kabine. Ova tematska cjelina objedinjuje razrađenu tematiku prethodnih cjelina tako da koristi saznanja i prepoznate utjecajne čimbenike "ljudskog faktora", te zatim daje pojedinačne smjernice za svaki obrađeni čimbenik.

Četvrto poglavlje odnosi se na antropometrijsku prilagođenost pilotske kabine. Ova tematska cjelina definira set podataka koji ulazi u statističku analizu fizičkih karakteristika čovjeka. Ti statistički podaci poslužit će za dizajn opreme pilotske kabine prilagođen potrebama ciljane populacije korisnika.

Peto poglavlje sadržajno teorijski obrađuje krivu reakciju korisnika koja između ostaloga nastaje kao negativna posljedica ergonomskog dizajna.

1. 2 Definicija problema i predmeta istraživanja

Zračni promet je od najranijih početaka budio interes javnosti, a svaka vijest o novom zrakoplovnom brzinskom rekordu, munjevito se širila do svakog kraja Zemlje. Gotovo svakodnevno su nastajale nove ideje tehnološka rješenja, zrakoplovi boljih performansi poglavito brzine i akceleracije koje ubrzo ukazuju na ograničene ljudske mogućnosti za sigurno upravljanje letjelicom. To za sobom povlači niz probnih letova od kojih su neki na nesreću završili fatalnim posljedicama. Čovjek nije sposoban pravilno percipirati prostor, a kamoli brzinu i nove sile koje se javljaju tijekom izvođenja manevara. Svaki let održavao se samo u strogo povoljnim vremenskim uvjetima uz blagi kontinuirani čelni povjetarac koji bi smanjio brzinu dodira prilikom slijetanja. Samo dvije godine poslije prvog leta braće Wright uložen je značajan trud da se opskrbi pilota s informacijama koji bi mu poslužili za stabilno održavanje zrakoplova. Jedan od prvih instrumenata je bila označena vrpca koja je davala povratnu informaciju položaja kormila pravca. Drugi primitivni instrument je također vrpca koja je postavljena tako da svojom relativnom pozicijom s okom pilota omogućuje aproksimativno očitavanje kuta između poprečne osi zrakoplova i horizonta. Kasnije se uvode instrumenti poput barometarskog visinomjera i kompasa koje su koristili balonisti, a zbog vrlo nepouzdanih motora zrakoplovi su morali biti opremljeni instrumentima kojima bi se pratili podaci poput pritiska ulja i temperature motora i hladila.

Zrakoplovi ubrzo nalaze svoju primjenu i na bojištima prvog svjetskog rata, a prvi način selektiranja pilota bila je selekcija po obiteljskoj lozi, fizičkim karakteristikama, preferirale su se atletske sposobnosti, snaga i izdrživost, te psihološke značajke poput određene vrste hobija, primjerice ako se netko bavio lovom to je jednostavno značilo da je sposoban voditi i ustrijeliti pokretnu metu. Sistematičniji pristup u istraživanju čimbenika "ljudskog faktora" započeo je industrijski inženjer F. Gilbreath zajedno sa svojom suprugom psihologinjom kako bi dali odgovore na mnogobrojna pitanja vezana za poboljšanje učinka rada u radnom okruženju, a istraživanje je doprinijelo razvoju civilnoj i vojnoj industriji. Rezultat istraživanja je bilo obvezno uvođenje kožnih jakni i rukavica, vjetrobranskih naočala i preciznije i pouzdanije instrumentacije zrakoplova. Tadašnja statistika ja bila takva da su na 100 zrakoplovnih nesreća, dvije bile uzrokovane neprijateljskom vatrom, osam zbog

neispravnosti zrakoplova i devedeset nesreća povezanih s "ljudskim faktorom" pojedinaca. Šezdeset nesreća povezanih s "ljudskim faktorom" kombinacija su psiholoških manjkavosti i nedovoljne uvježbanosti tehnike pilotiranja.

Veliki dio posla pilotiranja bila je koordinacija i navigacija u prostoru, primjerice za navigaciju poslužili su prepoznatljivi cestovni putovi, rijeke, brda, ali i specifične zgrade u gradovima. Instinktivno se može zaključiti da snalaženje u prostoru nije bio jednostavan zadatak i da je pilot u kabini većinu vremena provodio identificirajući svoju poziciju nego isključivo pilotiranju. Zgrade poput bolnica i tornjeva bile su opremljene svjetlima raznih boja koja bi pilotu ukazala na letnu putanju, ali kada se pojave nepovoljni meteo uvjeti nije bilo puno koristi od takve vrste navigacije. Ulazak i izlazak u oblak bez horizontalne referencije često je dovodio do brojnih nesreća upravo zbog manjkavosti vizualne reference.

Kako bi se pratio vremenski trend razvoja također dolazi do novih načina testiranja i selektiranja kandidata pilota, ali i znanstvenih istraživanja vezanih za dizajn zrakoplovne opreme od kojih su poznatija istraživanja M. J. Griffina, P. Fitts-a, te nautičkog instituta za psihologiju i uređaje specijalne namjene NSDC (*engl. Naval Special Devices Center*). Zbog snažnog tehnološkog zamaha potrebno je naglasiti i negativnu stranu, naime dolazi do pojave obrnutog napretka, za što je najistaknutiji primjer utrke razvoja kvalitetne radarske opreme pri čemu je svaki novi napredak u razvoju za sobom povlačio i višu razinu psihičkog opterećenja. Zrakoplovi ove post ratne ere bili su većinom bez prešuriziranih (zračno komprimiranih) kabina, a snažna buka i vibracije gotovo su onemogućavale svaku radio komunikaciju te se je povećavalo psihičko, fizičko i senzorno opterećenje pilota. Značajno istraživanje u području zamora zbog buke i vibracija napravio je D. Stephens 1946. kada je pokušao suzbiti vibracije instalirajući gumene potplate na sjedalo. Iako je ovaj pokušaj suzbijanja bio tehnološki uspjeh, piloti nisu bili prezadovoljni novom implementacijom jer su izgubili osjećaj pilotiranja tj. njihovo bi tijelo krivo interpretiralo što se sa zrakoplovom događa u prostoru dok leti, tako da bi imali iskrivljenu percepciju skretanja i klizanja zrakoplova.

Jedan od prvih pionira u istraživanju ljudskih čimbenika za civilno zrakoplovstvo bio je McFarland koji je 1953. objavio dobar sadržaj informacija vezanih za obuku, trenažu i selekciju civilne letačke posade. Ovo razdoblje ujedno je i poznato kao

moderno "Jet" doba kada se na svjetskom civilnom tržištu pojavljuju mlazni turboprop i isključivo mlazni zrakoplovi. Mnogi piloti koji su tada obavljali preobuku s klipnih na mlazne zrakoplove iskusili su određene poteškoće s mlaznim zrakoplovima. Iako se tada već značajno vodilo za simplifikacijom radnih zadataka što je rasteretilo pilote, dolazi do pojave manjkavosti povratnih mehanizama koji bi dali povratnu informaciju pilotu. Daleko najveću nelagodu davali su sustavi za potisak kada je trebalo pričekati i do dvadeset sekundi da bi zrakoplovi ostvarili željeni potisak. Danas je taj problem zanemariv zbog opsežne trenaže pilota i raznih simulacijskih uređaja i procedura. Krajnji rezultat ovog razdoblja bila je sveukupna simplifikacija upravljačnice zrakoplova i redukcija potrebnog letačkog osoblja. Uz najbolje namjere poboljšanja i smanjenja informacijskog kanala između pojedinih članova posade, premještaj svih članova letačke i tehničke posade imao je iznenađujući suprotan učinak na kvalitetu komunikacije. Prije su pojedini članovi u zrakoplovu imali sličan pristup upravljanju kao posada podmornice, bez vizualnog kontakta jednog člana s drugim. Problem koordinacije predstavljao je velik problem u komercijalnom zrakoplovstvu što potvrđuju i statističke publikacije ASRS (*engl. Aviation Safety Reporting Systems*) 80-ih godina. Desetljeće poslije toga FAA (*engl. Federal Aviation Administration*) uložila značajan napor za razvoj CRM (*engl. Crew Resource Management*) sustava. Iako nova izvješća pokazuju napredak u području koordinacije i ponašanja unutar pilotske kabine rezultati su daleko od idealnih. Tehnološka rješenja ovog razdoblja za rezultat su imala smanjenje fizičkog opterećenja, ali ne bez nuspojava jer se evidentira povećanje psihičkog i senzornog opterećenja.

Razvojem pločastih digitalnih EFIS (*engl. Electronic Flight Information Display*) prikaznika umjesto analognih, upravljačnice modernih zrakoplova snažno se razlikuju od onih iz prošlosti. Navigacijski sustavi vrlo su precizni, povezani s autopilotskim sustavima rezultirajući tako potpuno automatiziranom letu. Slično kao i kod razvoja prvih radarskih sustava ovi sustavi dovode do fizičkog rasterećenja koje opet negativno utječe na pilota time što povećava psihičko opterećenje. Do kontinuiranih zrakoplovnih nesreća dolazi upravo zbog nedovoljnog poznavanja ukupne prometne situacije gdje piloti zbog prevelikog kapaciteta informacija nisu u mogućnosti sustavno percipirati položaj zrakoplova, primjerice u odnosu na brdovit teren ili nisu jednostavno upoznati sa stanjem pojedinih zrakoplovnih sustava. Problematika dizajniranja danas svodi se uglavnom na odabir određenog seta prioritetnih podataka

koji pilotu omogućuju sigurno upravljanje zrakoplovom. Jedan od čimbenika koji ograničava budući razvoj poboljšanih rješenja upravo je i sama zrakoplovna industrija u kojoj je često zastupljena praksa uklanjanja tehnoloških i proceduralnih nepravilnosti tek nakon što se nesreća dogodi ili čak ponovi. Smatra se da budućnost istraživanja ljudskih čimbenika teži prema promatranju i kvantifikaciji podataka vezanih za nadzvučne letove i implementacije novih pomoćnih audio i vizualnih alata koja daju pilotu određene povratne informacije i kod prijevoza veće količine putnika (od 500 do 600 putnika).

Proučavanje ljudskih čimbenika u kojima jedan komplet čine zajedno i čovjek i stroj opravdan je element istraživanja razvoja i evaluacije novih tehnologija i sustava jer ukazuje na nužnost razumijevanja činjenice kako sustavi čovjek-stroj nisu prirodno predodređeni da čine jednu cjelinu, a u svrhu eliminacije radnog opterećenja i potenciranja progresa sigurnosti. Agresivnm pristupom istraživanja ove znanstvene grane, poglavito u području ljudske percepcije, psihologije i kognitivnih sposobnosti, pridonosi se značajno razvoju i sigurnosnom standardu u zrakoplovstvu.

1.3 Postavljanje temeljne istraživačke hipoteze

Spomenuti prikaznik navigacije ND (engl. *Navigation Display*) primarno prikazuje horizontalnu situaciju zrakoplova u prostoru. Stara praksa navigacije odvijala se tako da bi se uz pomoć radio-magnetskog kompasa RMI (*engl. Radio Magnetic Indicator*), koji se sastojao od magnetske ruže i dva indikatora smjera, određivala pozicija zrakoplova na karti. Križanjem smjerova na karti dobivenih očitavanjem smjerova radio-navigacijskih stanica odredila bi se pozicija, a na preciznost pozicije utjecali su mnogi čimbenici poput vjetra ili korekcije brzine zbog visine leta. Preciznost određivanja pozicije stjecala se iskustvom.

Rad pilota odvija se u specifičnom radnom okruženju koje karakterizira visok stupanj odgovornosti, profesionalnosti i pozornosti. Prepoznavanjem i adresiranjem utjecajnih čimbenika moguće je opisati i razumjeti problematiku radnog okruženja, te utvrditi korelaciju tih utjecajnih čimbenika na radnu sposobnost i kvalitetu izvedbe radnog zadatka pilota. Definicijom čovjeka kao sastavnog izvršnog elementa cjeline sustava čovjek-stroj-okoliš ukazuje se na prepreke i ograničenja koja povećavaju

umor, te potencijalno smanjuju protok vitalnih informacija za sigurno upravljanje zrakoplovom.

Cilj ovog istraživanja je identificirati utjecajne i važne čimbenike "ljudskog faktora" za pilote civilnog zrakoplovstva podložne utjecajima okoliša (s naglaskom na pilotsku kabinu). U radu će se istraživati hipoteza da se dizajnom pilotske kabine može utjecati na intenzitet i strukturu radnog opterećenja (fizičkog, psihičkog i senzornog) kao i na izvedbu pilota u pojedinim fazama leta, te će se time predložiti moguće načine kako dizajnom spriječiti nepoželjne ishode radne izvedbe. U radu će se dati smjernice za ergonomski dizajn radnog okoliša pilotske kabine prilagođene čimbenicima iz grupe "ljudskog faktora".

1.4 Osvrt na dosadašnja istraživanja

Na preddiplomskom i diplomskom studiju zračnog prometa Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, mogući utjecaj čimbenika radnog i prometnog okruženja na čimbenike "ljudskog faktora" u pilota solidno je obrađen ali i nedovoljno sustavno znanstveno istražen, a posebice apliciranje istog na funkcionalno dizajniranje upravljačnice prilagođene pilotima civilnog zrakoplovstva u RH (*Republika Hrvatska*). Ova tema je u većoj mjeri sistematičnije obrađena u recentnijoj znanstvenoj literaturi, najčešće na engleskom jeziku. Uz iznimku nekoliko doktorskih disertacija i diplomskih radova samo za pojedine segmente, ova tema u RH nije bila predmet opsežnijeg sustavnog znanstvenog istraživanja na velikom broju ispitanika pilota u nekoliko zadnjih godina iz objektivnih razloga (relativno mali broj pilota u Croatia Airlines, letovi kratkog i srednjeg doleta).

2. Čimbenici iz grupe "ljudskog faktora"

2.1 Istraživanje čimbenika

U zrakoplovstvu čimbenici "ljudskog faktora" od najranijih dana predmetom su mnogobrojnog istraživanja, a i danas svoje mjesto čvrsto nalaze u najrazličitijim istraživanjima koja se odnose na kompatibilnost čovjeka i njegove radne okoline. Izučavanje tog specifičnog odnosa koji nije prirodno programiran, dovodi do novih saznanja o ljudskoj percepciji, psihologiji i kognitivnim sposobnostima, a koja rezultiraju efikasnijim i kvalitetnijim radom, a time posljedično i povećanjem razine sigurnosti u zračnom prometu.

Identifikacija čimbenika "ljudskog faktora" uvjetovana je razvojem i eksploatacijom sredstava za rad, a u zrakoplovstvu proizlazi iz odgovora na pitanja koja nastaju u ciklusu istraživanja razvoja i evaluacije zrakoplovnih prometnih sredstava i tehničke opreme RTD&E (*engl. Research Test Development and Evaluation*). Ministarstvo obrane SAD-a DoD (*engl. Department of Defence*) identificiralo je nekoliko kategorija RTD&E-a, a sama podjela generalno se razvrstava prema obujmu financiranja istraživanja.

Prva takva kategorija je tzv. "Basic" ili temeljna kategorija čiji je fokus istraživanja u okviru akademske razine, gdje studenti i predavači razviju teoretsku cjelinu, te nastoje kroz set empirijskih podataka dokazati postavljenu hipotezu. Osim zbog niskobudžetnog istraživanja još jedan od razloga zašto je ova kategorija najniža je da nema veliki stupanj nužnosti implementacije u sustave. Glavni cilj istraživanja na ovoj razini je pronalazak novih ideja i teoretske podloge za testiranje istih. Rezultati ove razine su različiti znanstveni članci, teorije i preporuke za buduća istraživanja. Neka od uobičajenih pitanja na ovoj razini RTD&E su:

- Kako modelirati strateško donošenje odluka?
- Kako ljudski vid percipira umjetno svjetlo?
- Kakav utjecaj različiti modeli imaju na učinak timskog rada?

Sljedećom višom kategorijom smatra se primijenjeno istraživanje u kojem se rezultati osnovnih istraživanja prvi put primjenjuju u operativnom okruženju. Glavni cilj ove razine je pronalazak korisne solucije za definirane teorije. Produkti ovog razvojnog segmenta razlikuju u novim saznanjima, sve još uvijek ostaje samo na papiru prepušten daljnjoj diskusiji ali u dovoljnom obujmu za sljedeću razinu. Tipična pitanja koja se pojavljuju na ovoj razini vezana uz čimbenike "ljudskog faktora" su:

- Kako stres utječe na donošenje odluka i upravljanje?
- Kako bi se trebala koristiti napredna automatizacija u pilotskoj kabini?
- Kako poboljšati donošenje odluka i sustave kontrole?
- Na koji način i u kojem opsegu obavljati radnje školovanja i obuke?
- Koje kriterije postaviti prilikom selekcije kandidata?
- Koji se benefiti mogu izvući iz novih tehnologija?

Treća razina je razina naprednog razvoja. Ona predstavlja temeljnu pokretačku cjelinu prelaska s teoretskog na proizvodni proces. Skuplja je od dvije prethodne razine jer zahtjeva participaciju iskusnijih stručnjaka. Cilj je uspješno testirati preliminarni prototip proizvoda i ustanoviti njegovu eksploatacijsku primjenjivost. Neka od pitanja koja se odnose na ovu razinu su:

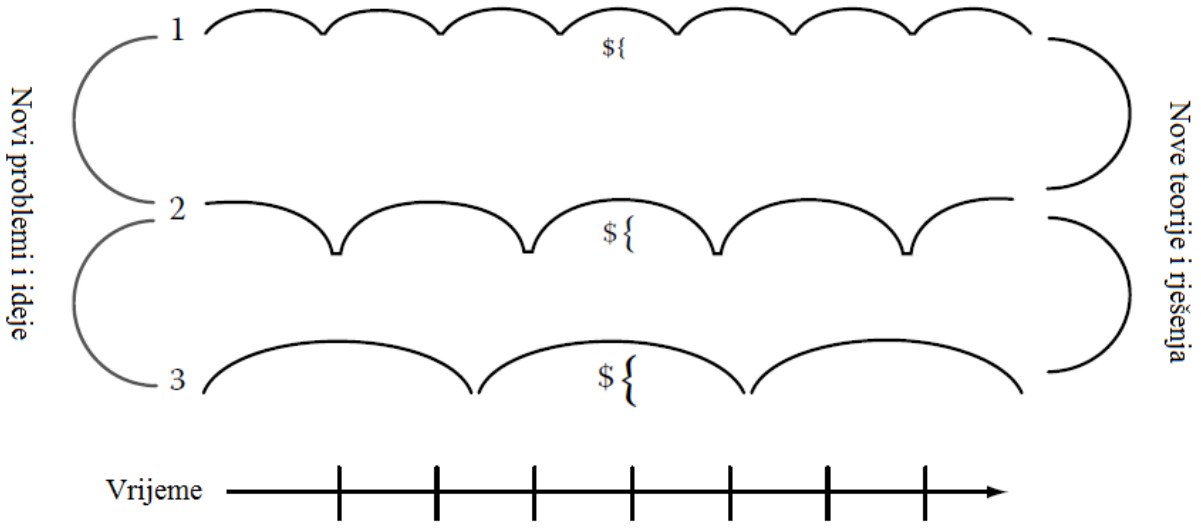
- Dali je sustav dovoljno ispitan za konačnu uporabu?
- Dali je sustav interoperabilan?
- Koji su benefiti implementacije razvijenog sustava?

Najvišu kategoriju predstavlja RTD&E na razini globalne industrije. Ova razina objedinjuje dvije podrazine: razinu finaliziranog proizvoda i razinu nabavke. Najvažniji dio u razini finaliziranog proizvoda RTD&E-a je pronalazak načina na koji mjeriti efektivnost novog sustava ili tehnologije nakon razvoja. Potrebno je ostvariti feedback mehanizme za povratnu informaciju o proizvodu. Na ovoj razini dobije se konačan odgovor dali je proizvod eksploatacijski ispravan i dali i u kojem je opsegu potrebno obavljati daljnja poboljšanja. Neka od dominantnih pitanja na ovoj razini su:

- Dali je osoblje u stanju koristiti prikaznike?
- Koje su potrebne mjere obuke za rad?
- Koji je potrebni kriterij selekcije pilota za taj proizvod?

Potrebno je primijeniti praksu kontinuirane evaluacije prilikom ranijih stupnjeva razvoja kako krajnji proizvod ne bi donio neočekivana iznenađenja. Razina nabavke ne odnosi se na istraživanje "ljudskog faktora" nego se veže uz mogućnosti održavanja proizvoda [1].

Može se zaključiti da se kretanjem prema kasnijim razinama istraživanja sve manje pozornosti posvećuje na izučavanje samog čimbenika "ljudskog faktora", a sve se više nastoji stečena saznanja primijeniti na konkretan fizički proizvod. Ključ kvalitetne analize utjecajnih čimbenika nalazi se u količini uloženog vremena istraživanja uz dakako paralelno istraživanje i komunikaciju svih razina od akademske razine do globalne industrijske razine što predstavlja najučinkovitiju praksu RTD&E-a ilustrirano na slici 1.

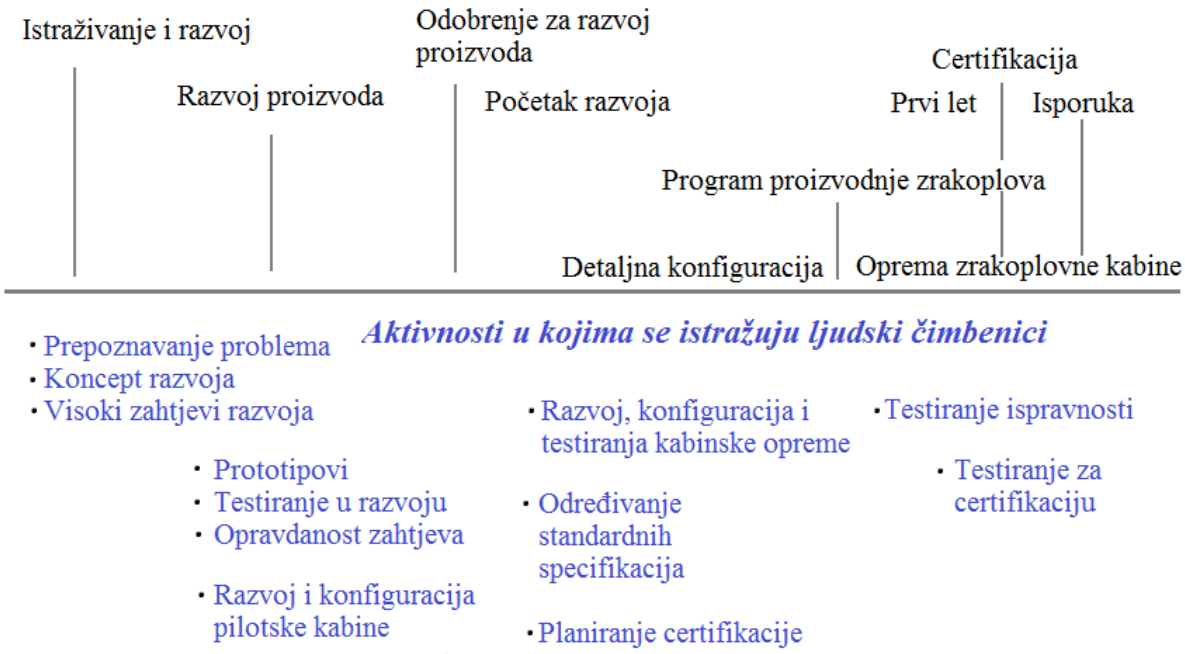


Slika 2.1. Shematski prikaz idealne RTD&E strategije

Izvor: Wise, J. A. et al., 2010. [1]

Postoji nekoliko razloga zašto je najbolje primjenjivati paralelno istraživanje na različitim razinama. Niže razine raspolažu sa znatno nižom količinom sredstava od onih subvencioniranih od strane države, što nije uvijek negativna stavka, jer iako ograničene financijskim sredstvima, raspolažu sa znatnom količinom ljudskog resursa koji ne dobiva nikakva dodatna primanja vezana za područje istraživanja, a ta količina poprima karakter mase ljudstva koja je potrebna za kritično rješavanje problema u procesu razvoja. Jedan od benefita takve prakse je eliminacija pitanja i problema koja se pojavljuju nakon razvoja proizvoda.

Zrakoplovna tehnika mora proći sve faze u RTD&E sustavu, a svaka faza mora dati pozitivna rješenja i zadovoljiti sve uvjete koji omogućuju siguran rad s finaliziranim proizvodom. U sklopu ljudskih čimbenika shematski je na slici 2. prikazan vremenski tijek RTD&E ciklusa s najčešćim aktivnostima veznih uz istraživanje ljudskih čimbenika u pojedinim razvojnim fazama.



Slika 2.2. RTD&E ciklus s aktivnostima u kojima se vrši istraživanje ljudskih čimbenika

Izvor: Harris, D., 2004. [2]

Tipična područja istraživanja čimbenika "ljudskog faktora" u civilnom zrakoplovstvu opisana su u nacionalnom planu FAA-a (1995.), a mogu se podijeliti na:

- Automatizacijski sustav u odnosu s čovjekom
- Selekcijski postupak, trenaža i obuka osoblja
- Čovjekov učinak u radu
- Upravljanje informacijama i prikaz informacija
- Bio aeronautika

Ovim dokumentom definirano je trenutačno stanje u odnosu na kratkoročne i dugoročne ciljeve, probleme i aspiracije čimbenika "ljudskog faktora". U budućnosti se očekuju promjene u samom RTD&E sustavu jer se sve više razmatra suradnja s

razvojnim vojnim tvrtkama koje do sada nisu previše surađivale s tvrtkama civilnog zrakoplovstva. Takva suradnja dovest će i do promjena u području obuke i trenaže pilota. Apsolutni imperativ u zrakoplovstvu je ostvariti i održati visoku razinu sigurnosti, koja postaje manjkava upravo implementacijom novijih složenijih sustava jer daleko premašuju psihološka ograničenja čovjeka.

Detaljnija podjela i specifični problemi iz spomenutog nacionalnog plana i područja istraživanja prikazani su u tablicama 2.1, 2.2, 2.3, 2.4.

Tablica 2.1 Područje rada i problematika istraživanja u području Automatizacijskog sustava u radnom odnosu s čovjekom

Radno opterećenje	1. Premalo radno opterećenje u pojedinim fazama leta i u području kontrole zračnog prostora 2. Preveliko radno opterećenje kada dođe do neočekivanih promjena 3. Promjena između različitih razina budnosti i problematika održavanja dovoljne razine budnosti za sigurno odvijanje prometa
Operativna svijest i situacijska svijest sustava	1. Mogućnosti da operator prijeđe s autonomnog na manualno operativno vođenje kada dođe do otkaza automatizacijskog sustava 2. Neprimjereni situacijski preglednik sustava 3. Problematičnost povratka u normalnu fazu nakon otkaza automatizacijskog sustava 4. Poteškoće i neispravnosti kod upravljanja različitih radnji
Ovisnost o automatizaciji i zadržavanje manualne sposobnosti	1. Povjerenje u rješenja generirana od strane računala 2. Otpor posade zrakoplova da ne koristi sustave automatizacije 3. Poteškoće zadržavanja stečenih sposobnosti zbog rijetke primjene znanja 4. Davanje prednosti računalno generiranim rješenjima i alternativama 5. Praćenje i procjena učinka rada pilota i kontrolora leta 6. Podržavanje implementiranih sustava koji prate radni učinak i alata samoprocjene
Alternativna sučelja	1. Osnovna problematika dizajna komponenti u operativnom procesu vezanih za selekciju i prikaz potrebnih podataka i informacija 2. Pronalazak optimalnih čovjek-stroj sučelja za napredne sustave u pilotskoj kabini i sustava kontrole zračnog prostora 3. Pronalazak strategija za prelazak na sofisticiranije automatizacijske sustave bez privremenog smanjenja radnog učinka

Izvor: Wise, J. A. et al., 2010. [1]

Tablica 2.2. Područje rada i problematika istraživanja kod selekcijskog postupka, obuke i trenaže osoblja

Nova oprema i razine obuke	1. Obuka pilota, kontrolora, sigurnosnog osoblja, specijaliziranog osoblja za upravljanje sustavom translacije ka novim tehnologijama i opremi 2. Novi koncepti obuke osoblja 3. Mjerenje i obuka kod instinktivno orijentiranih sučelja 4. Metode obuke osoblja koje koriste računalno za donošenje odluka kod zemaljskih operacija 5. Poboljšane strategije za bolji učinak školovanja i obuke korištenjem simulacija, te centraliziranih i specijaliziranih objekata za školovanje
Kriteriji selekcije i metode korištenje u procesu selekcije	1. Individualna evaluacija osoblja i agregirani utjecaj odstupanja od dosadašnje radne i selekcijske 2. Prošireni kriteriji selekcije za pilote, kontrolore, mehaničare koji uključuju složenije zadatke rješavanja problema, kognitivnih sposobnosti, osobnosti, kulturne orijentacije i ostalih biografskih čimbenika koji pridonose evaluaciji kandidata 3. Razvoj mjera za kvalitetnu evaluaciju samostalnog i timskog rada

Izvor: Wise, J. A. et al., 2010. [1]

Tablica 2.3. Područje rada i problematika istraživanja čovjekovog radnog učinka

Sposobnosti čovjeka i ograničenja	1. Određivanje mjera i utjecaj različitih kognitivnih čimbenika kao što su uspješno planiranje i učinak rada, kognitivno radno opterećenje, komunikacijske vještine i sposobnosti vođe, načini reduciranja pogreške u radu, načini reduciranja zamora osoblja uzrokovanih zbog cirkadijskog parametra, evaluacija utjecaja automatizacije, te odnos između radnog iskustva i navršene dobi.
Utjecaj okoline (vanjski i unutarnji)	1. Procjena kulturnog utjecaja koji se odnosi na organizacijske karakteristike pojedinih etničkih članova skupine 2. Određivanje metoda koje omogućuju sintezu članova posade s različitim kulturnim i političkim stajalištima 3. Procjena različitih filozofija prilikom dizajniranja zrakoplova 4. Razumijevanje stereotipnih reakcija populacije na operacije u zrakoplovstvu
Metode mjerenja	1. Osmišljavanje efektivnih avio-sustava praćenja vezanih uz ekspanziju, prikupljanje i korištenje podataka radnog učinka iz baze podataka, standardizaciju poboljšane svjesnosti o kritičnim ljudskim čimbenicima, standardizaciju klasifikacijskih načela opisa ljudskih čimbenika u sustavu čovjek-stroj, boljih metoda i parametara za procjenu radnog učinka pojedinca u odnosu na timski rad i povećanje razumljivosti odnosa između stvarnog radnog učinka i računalom izmjerenog, kako bi se predvidio budući tijek razvoja radnog učinka

Izvor: Wise, J. A. et al., 2010. [1]

Tablica 2.4. Područje rada i problematika istraživanja kod upravljanja i prikaza informacija

Razmjena informacija između ljudi	1. Prepoznavanje zahtjeva za analizu kritičnih nacionalnih komunikacija zračnog prostora (NAS) 2. Prepoznavanje posljedica kašnjenja odgovora u zrakoplovnoj komunikaciji i pilot-kotrolor koordinaciji 3. Postavljanje standarda odgovaranja na poruke 4. Procjenjivanje promjena u ulogama pilota i kotrolora 5. Poboljšanje obuke i komunikacijskih vještina 6. Prepoznavanje izvora, tipova i posljedica greške nastale kao rezultat kulturnih razlika 7. Razvoj i dizajn proceduralnih rješenja za izbjegavanje pogreške, njeno otkrivanje i povratak u normalan tijek procesa
Razmjena informacije između ljudi i sustava	1. Procjena svijesti pilota i kontrolora o prometnoj situaciji 2. Određivanje najboljih radnih i kontrolnih prikaznih sučelja i njihov razmještaj u radnom okruženju 3. Prepoznavanje različitih izvora, vrsta i posljedica greške, kao i izbjegavanje, otkrivanje i neutraliziranje istih 4. Postavljanje standarda za uzbunjivanje zrakoplovne posade, kontrolora zračnog prostora i drugog osoblja različite važnosti
Prikaz informacija	1. Postavljanje operativno prilagođenih komunikacijskih i proceduralnih protokola 2. Postavljanje standarda za sadržaj na prikazniku 3. Procjena pouzdanosti i valjanosti kodiranja podataka 4. Pružanje smjernica za dizajn i sadržaj poruke 5. Propisivanje najefektivnije dokumentacije i prikaz informacija vezanih za održavanje 6. Razvoj novih sustava kojima bi se poboljšala pristupačnost informacijama, pojednostavio pregled i status održavanja, te poboljšanje sustava i opreme u zrakoplovu
Proces komunikacije	1. Istraživanje metoda za rekonstrukciju situacijske komunikacije u svrhu njihove analize 2. Analiza odnosa između radnog opterećenja i grešaka u komunikaciji 3. Utjecaj promjena u praksi slanja informacija 4. Postavljanje standarda i procedura za odobravanje manevara izvan uobičajenih procedura 5. Postavljanje standarda i procedura za podjelu poruka po prioritetu 6. Postavljanje standarda odgovornosti između pilota, kontrolora i automatiziranih sustava 7. Pružanje smjernica za distribuciju podataka unutar pilotske kabine 8. Propisivanje komunikacijskih pravila ovisno o različitim zonama zračnog prostora 9. Određivanje kvalitete komunikacije između kontrolora i posade

Izvor: Wise, J. A. et al., 2010. [1]

Ovo je tablična podjela područja istraživanja kako bi se dobila subjektivna predodžba složene znanstvene grane, koja se bavi interakcijom čovjeka i njegove radne okoline i prepoznavanju čimbenika koji smanjuju ljudski umor ili djelomično poboljšavaju radni učinak. Takvi čimbenici generalno uključuju čovjekov učinak rada kroz sistematičnu primjenu znanosti, a stečena znanja mogu poslužiti prilagođavanju proizvoda upravo samom čovjeku. Rezultati istraživanja vidljivi su kroz poboljšanje

sigurnosti i efikasnosti, a upravo ta znanstvena grana dobila je naziv ljudski čimbenici HF (*engl. Human Factors*).

U zrakoplovstvu ona predstavlja područje znanosti koja se bavi pitanjima interakcije pilota s dizajnom pilotske kabine, reakcijama ljudskog organizma, različitih kognitivnih utjecaja i subjektivnog doživljaja, te interakcije i komunikacije s ostalim sudionicima zračnog prometa kao što su to letačko i zemaljsko osoblje.

2.2 Razlozi izučavanja ljudskih čimbenika

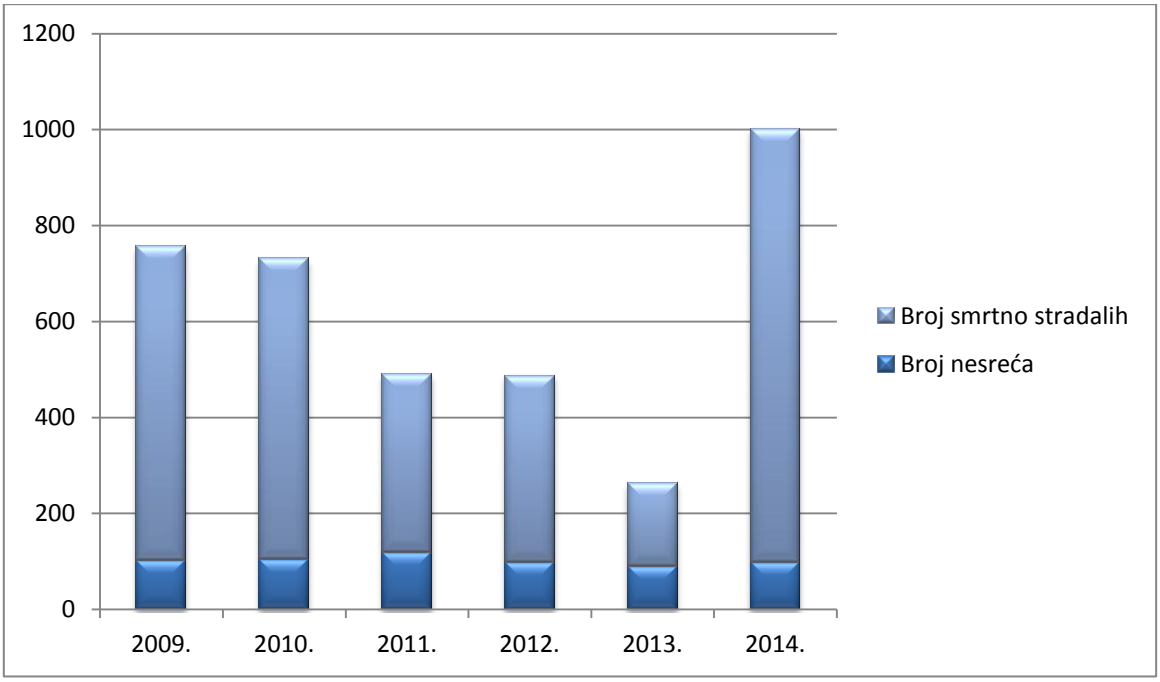
Niti u jednoj drugoj industrijskoj i prometnoj grani izučavanje ljudskih čimbenika nema toliko snažnu centralnu važnost kao u zrakoplovstvu. Intuitivno se postavlja pitanje: Koji je razlog tome, a odgovor je toliko jednostavan koliko i poražavajuć. Odgovor se nalazi u statistici nesreća u zrakoplovstvu u kojoj je krivac u više od 80% slučajeva upravo sam čovjek. Pogled na statistiku prvi je korak u razumijevanju, a posljedično i sprječavanju ponavljanja najčešćih okolnosti u kojima dolazi do gubitka kontrole nad zrakoplovom. Razlozi variraju u širokom obujmu, a najčešći specifični razlozi su:

- Gubitak prostorne orijentacije
- Loša procjena
- Nepridržavanje brzine leta
- Loše prijeletno planiranje i donošenje odluka
- Nepridržavanje odobrenja
- Nepažljiv gubitak uzgona (stalling)
- Loše upravljanje pri bočnom vjetru
- Loše planiranje za vrijeme leta i donošenje odluka

Prema američkom Nacionalnom odboru za sigurnost u transportu skraćeno NTSB (*engl. National Transportation Safety Board*) ponekad se nailazi na statističke nejasnoće kada je potrebno pravilno adresirati razlog nesreće. Za primjer se može uzeti nejasna podjela uzroka nesreće gdje se otprilike 24% uzroka svih nesreća pribraja u skupinu nesreća uzrokovanih zbog lošeg vremena, a ta ista brojka može se ubrajati i u skupinu nesreća uzrokovanih ljudskom pogreškom jer su piloti svjesno krivo procijenili rizik ulaska u nevremenom zahvaćeno područje.

Naime dobra strana je da se statistički podaci s vremenom usavršavaju, a sama količina nesreća značajno se smanjila nakon drugog svjetskog rata za što svjedoči podatak da se na svakih 100.000 sati leta dogodi 8 nesreća od kojih su samo dvije s fatalnim posljedicama. U SAD-u je 1987. godine zabilježeno nešto više od 2.400 nesreća zrakoplova generalne avijacije u kojim je 426 odnosno 17,6% bilo s fatalnim posljedicama, a samo godinu dana prije taj postotak je iznosio 18,2%.

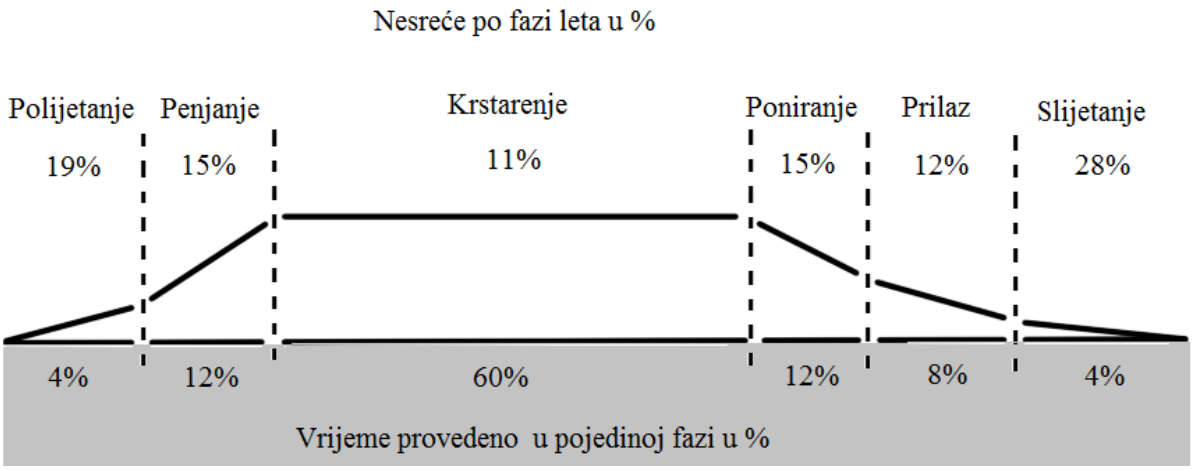
Prema međunarodnoj organizaciji civilnog zračnog prometa ICAO (*engl. International Civil Aviation Organization*) posljednjih godina broj nesreća u zrakoplovstvu prilično je konstantan, a kreće se između 108 i 98 nesreća u razdoblju od 2008. do 2014. godine, dok broj smrtno stradalih u zrakoplovstvu bilježi padajući trend, a zatim nagli porast čak do 904 smrtno stradalih u 2014. Godini sa samo 7 zrakoplovnih fatalnih nesreća, što je i najmanji broj nesreća s fatalnim posljedicama do sada vidljivo i na grafu 2.1.



Graf 2.1. Statistika nesreća i broja smrtno stradalih od 2009. Godine do 2014. godine

Izvor: International Civil Aviation Organization, 2015. [3]

Još jedan način na koji jednostavno pristupiti istraživanju je određivanje faze leta u kojoj se događaju zrakoplovne nesreće, gdje se najveći broj nesreća događa u fazama polijetanja i slijetanja shematski prikazano slikom 2.3.



Slika 2.3. Statistička ilustracija pojave nesreća po fazama leta

Izvor: Trollip, S. R. et al., 1991. [4]

Iz prethodnog nameće se pitanje: Zašto i danas dolazi do velikog broja zrakoplovnih nesreća? Zrakoplovne nesreće mogu se opisati najbolje modelom "švicarskog sira" o kojoj će kasnije biti više riječi, nastaju kao rezultat otkaza više sustava koji su lančano povezani. Kao primjer može poslužiti zrakoplov Boeing 747, ako se uzme u obzir da ga sačinjava oko 6 milijuna različitih komponenti, više od 270 km električnih vodova i oko 8 km cjevovoda za različite sustave. Ovdje se očituje da nije baš mala vjerojatnost da neki sustav otkaže, naravno da su neki dijelovi povezani paralelnom vezom koja smanjuje vjerojatnost otkaza, ali zanemarivanje brzo može dovesti do lančane reakcije otkaza nekoliko sustavnih grupa koje će dovesti do pada zrakoplova.

Kako sam čovjek ima značajnu ulogu u cjelokupnom sustavu važno je ispitati ograničene mogućnosti čovjeka kao što se to evidentira i za strojne komponente poput zamora materijala. Zato je potrebno definirati tzv. sustav čovjek-stroj-okoliš u kojem bi se opisale mane i ograničenjai čovjeka koja se ogledaju kroz stres, radno opterećenje, psihološku manjkavost, te je potrebno definirati margine optimalnog opterećenja kako bi se krive reakcije uzrokovane čovjekom svele na minimum.

2.3. Sustav čovjek-stroj-okoliš

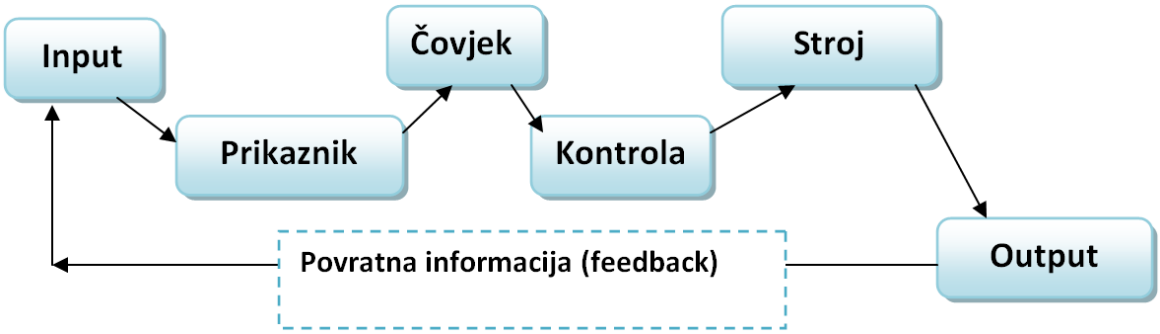
Osnovno radno okruženje pilota je pilotska kabina zrakoplova. Za sigurno odvijanje zračne plovidbe i obavljanje prometnog procesa neophodno je važno da se pilot snalazi u svom radnom okruženju tako da dobije sve relevantne pravovremene

informacije o stanju zrakoplova, te da tako čovjek i zrakoplov djeluju kao jedna cjelina.

Prije samog dizajniranja potrebno je definirati odnos čovjeka i njegove radne okoline, a za slučaj pilota i zrakoplova potrebno je definirati odnos sustava čovjek-stroj. Sustav čovjek-stroj znači da čovjek i stroj imaju recipročan odnos jedan s drugim. To je otvoreni ili zatvoreni ciklus u kojem čovjek ima ključnu poziciju jer on donosi odluke [5].

Sustavi otvorenog ciklusa su sustavi u kojem čovjek nema mogućnost kontrole nad strojem. Jedina povratna informacija takvog sustava je vizualno praćenje stroja. U sustavu zatvorenog ciklusa čovjek ima kontrolu nad sredstvom, a to znači da ima mogućnost korekcije stanja ili putanje kretanja stroja [5].

Karakteristika strojeva za razliku od čovjeka je da su strojevi u stanju obavljati rad velikom brzinom, snagom i preciznošću, ali je čovjek daleko fleksibilniji i prilagodljiviji promjenama od stroja. Kombinacija čovjeka i stroja stoga može rezultirati dobrim i produktivnim sustavom i to samo ako rade kao jedna cjelina bez konflikta u radnom odnosu, na što mogu utjecati čimbenici smetnje iz okoliša. Za potrebe pilotiranja elemente zatvorenog ciklusa sustava čovjek-stroj-okoliš čini protok informacija prikazan slikom 2.4.



Slika 2.4. Informacijski tok zatvorenog sustava čovjek-strojokoliš

Izvor: Trollip, S. R. et al., 1991. [4] [4]

Čovjek odnosno pilot zrakoplova daje naredbu odnosno input zrakoplovu gdje zatim dobije povratnu informaciju s prikaznika. Pilot zatim kontrolira povratnu informaciju i ovisno o vrijednosti te informacije modificira ulaznu naredbu pomoću upravljala. Iz ovoga se prepoznaju dva "mjesta" razmjene informacija i energije od čovjeka prema stroju i od stroja prema čovjeku, a nazivaju se sučelja:

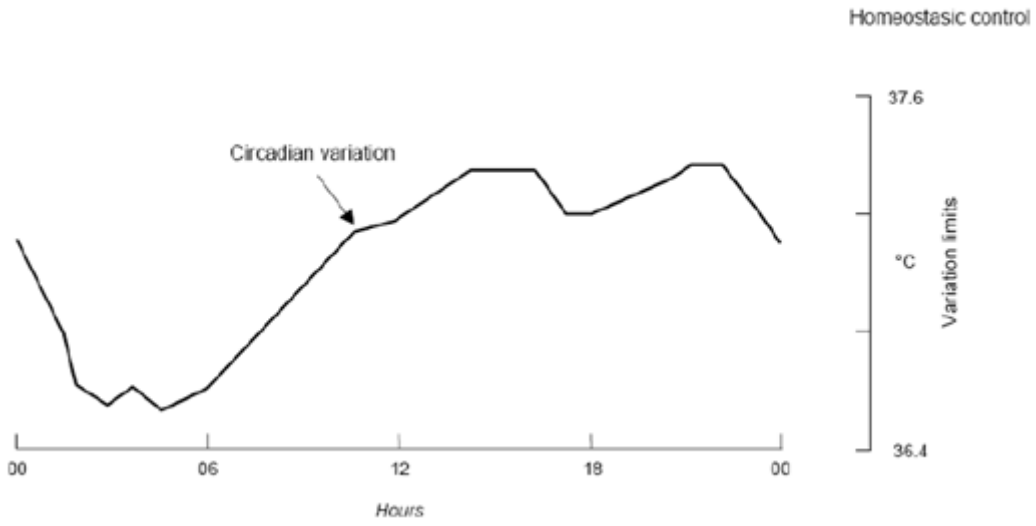
1. Obavjesnici koji daju informacije čovjeku o stanju stroja ili o funkcioniranju čitavog proizvodnog sustava
2. Upravljala kojima čovjek upravlja strojem ili nešto mijenja u proizvodnom procesu

2.4 Biološka ograničenja čovjeka

U ovom potpoglavlju opisat će se utjecaj bioloških čimbenika trenutačnog stanja na izvedbu radnog zadatka. Ljudski metabolizam složen je sustav s nizom funkcija i tjelesnih ciklusa. Poremećaji nastali zbog nedovoljne razine sna, loše i nezdrave prehrane kao prekomjerno radno opterećenje mogu loše utjecati i poremetiti prirodne cikluse. Najznačajniji ciklusi za potrebe izučavanja HF-a su:

- Ultradijski ritmovi koji se odnose na otkucaj srca, disanje, moždanu funkciju
- Cirkadijski ritam koji se odnosi na temperaturne cikluse koji uvjetuju pospanost
- Infradijski ritmovi koji se odnose na imunološke procese, mjesečne i sezonalne tjelesne procese kao i promjene raspoloženja

Najviše pozornosti pridalo se cirkadijskom parametru. Djeluje na dnevnoj razini, tj. ciklus mu se ponavlja svaki dan, snažno utječe na kvalitetu rada, ali se i jednostavnim mjerama na njega može utjecati. Radi se o cikličkoj promjeni tjelesne temperature u ovisnosti o dobu dana. Normalna ljudska temperatura se kreće oko 37°C, a kroz doba dana ona opada. Najviše opada oko 4h ujutro pa raste do maksimuma u poslijepodnevnim satima i zatim u manjoj mjeri opada poslijepodne oko 17h, prikazano slikom 2.5. Periodično snižavanje temperature subjektivno se interpretira kao pospanost [1].



Slika 2.5. Primjer cirkadijskog ciklusa

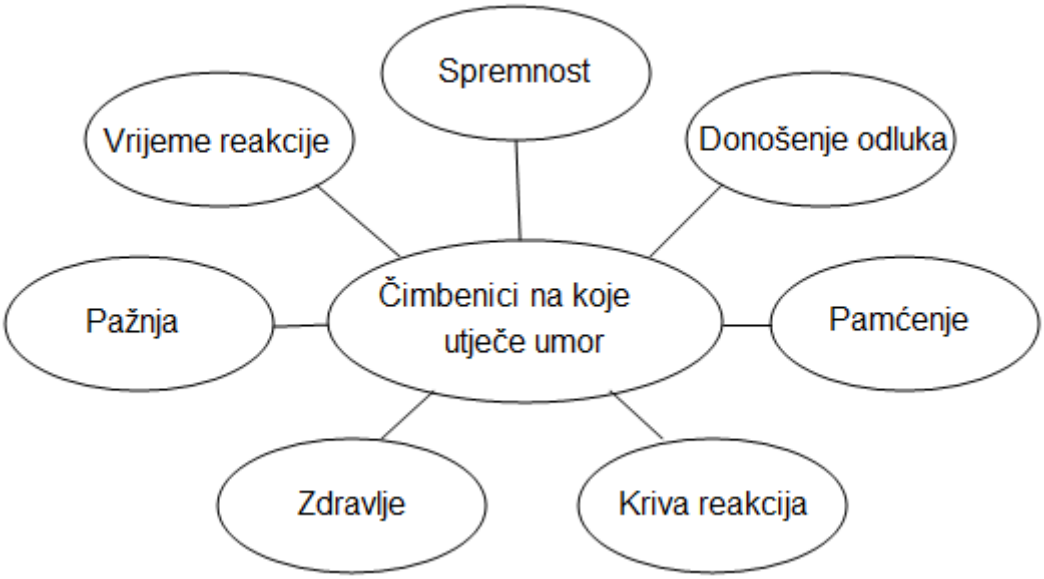
Izvor: Dario, F., 2004. [6]

2.4.1 Umor i pospanost

Umor (*engl. Fatigue*) predstavlja teško mjerljiv, kompleksan i subjektivan problem u avijaciji. Sam izraz primjenjuje na mnogobrojne načine tako pa ga je teško definirati. Može ga se percipirati kao stanje koje se svakodnevno javlja, a karakteristično se opisuje kao gubitak radne efikasnosti, bezvoljnost i malaksalost rezultirajući tako usporenom percepcijom, otežanim razmišljanjem, nemotiviranošću, smanjenom budnosti, lošim odlukama i sl. Generalno se može podijeliti na mišićni umor i opći umor. Mišićnim umorom smatra se opadajući učinak mišića, a može pasti do te razine da mišić nije u stanju izvršiti željenu kontrakciju.

Za razliku od mišićnog umora, opći umor percipira se kao opća malaksalost, te se u njega može ubrojati umor različitih tjelesnih funkcija primjerice očiju, mentalni umor, živčani umor, i umor povezan uz spomenuti cirkadijski ritam. Prema stanju umora mogu se opisati funkcionalna stanja od krajnje umornog do ekstremno aktivnog stanja, tipična funkcionalna stanja su: duboki san, lagani san, pospanost, odmaranje, mirovanje, svježe budno stanje, vrlo budno stanje,krajnja uzbuđenost. Posljedice koje izaziva umor mogu biti psihosomatske prirode koje se manifestiraju kroz poremećaj rada metaboličkih sustava te izazivaju najčešće glavobolje, vrtoglavice, nesanicu, znojenje, srčane smetnje, gubitak apetita, probavne smetnje i slično [5].

Za letačku posadu važno je pridržavati se načinu života kojim nebi dodatno povećali bilo kakav prekomjerni umor i time doveli u pitanje sigurnost samog leta, jer umor utječe na nekoliko bitnih čimbenika prikazano slikom 2.6.



Slika 2.6. Utjecaj umora

Izvor: Ashton, R. et al., 2005. [7]

Na stanje budnosti i pospanosti utječu čimbenici poput:

- Homeostatskog pritiska spavanja – vrijeme budnosti od posljednjeg perioda spavanja
- Inercija zbog spavanja – kratkoročna pospanost odmah nakon buđenja
- Cirkadijski parametar – vrijeme dana prema tjelesnom stanju

Dobar i kvalitetan odmor potreban je kako bi se sljedeći dan osigurala dovoljna razina budnosti za što je najbolja dovoljna količina sna. San se sastoji u 5 stadija, a to su: početak spavanja, lagani san, duboko spavanje i ciklus očnog treperenja REM (*engl. Rapid Eye Movement*) koji je bitan za obnovu pamćenja, sposobnosti učenja, pažnje, emocionalne ravnoteže i mehanizme raspoloženja. Tijekom noći izmjeni se nekoliko ciklusa više puta, a REM ciklus događa se svaki 90 – 120 minuta. Ciklusom dubokog spavanja omogućuje se revitalizacija metaboličkog sustava.

Postavlja se pitanje kako izmjeriti određenu razinu umora za sigurno upravljanje zrakoplovom. U pravilu ne postoji objektivna mjera umora kojom bi se mogla izraziti potrošena energetska vrijednost primjerice potrošnja energije E_{kJ} u kilodžulima (kJ) [5].

Razina umora može se utvrditi tek subjektivnom procjenom na temelju upitnika i drugih alata samoprocjene. Način na kojem se može pristupiti mjerenju umora je upravo mjerenje psihomotoričkih sposobnosti na reakciometru, odnosno mjerenje vremenske devijacije radne izvedbe koje nastupaju uslijed povećane razine umora. Na osnovu anketa i upitnika prije izravnog mjerenja moguće je utvrditi međuzavisnost umora, stresa na izvedbu radnog zadatka pilota. Nakon ustanovljene korelacije dani upitnik može poslužiti kao alat za samoprocjenu radne sposobnosti čime bi se utemeljila trenutna radna sposobnost pilota.

Prema autorima Zulley J. & Bailer J (1988.) navodi se da nije moguće osigurati visoku razinu budnosti više od dva uzastopna sata rada [1].

2.4.2 Ukupno vrijeme reakcije na kognitivno motoričke zadatke

Neki od indikatora budnosti su brzine reagiranja na podražajni signal. Proučavanje vremena reakcije daje uvid u mentalne procese, a izmjereno vrijeme reakcije predstavlja vremenski interval od trenutka pojave signala do trenutka posluživanja komande. U struci se za mjerenje reakcije koristi izraz PRT (*engl. Perception Response Time*) prikazano slikom Slika 2.7.

Slika 2.7. Ukupno vrijeme reakcije (PRT)

Izvor: modificirano prema Ashton, R., et al., 2005. [7]

$$\mathrm{PRT} = \mathrm{PDT} + \mathrm{RT} \qquad (1)$$

Ukupni PRT dijeli se na kognitivni dio koji uključuje percepciju i donošenje odluke PDT (*engl. Perception Decision Time*) i motoričkog dijela u koji spada vrijeme reakcije RT (*engl. Reaction Time*), time PRT postaje zbroj vremena potrebnog da

ispitanik zamijeti i obradi podražajnu informaciju, te donese odluku i zatim reagira na inducirani stimulans povlačenjem ručice, pritiskom dugmadi i ostalih upravljala [8].

Vrijeme odziva dominantno ovisi o navršenoj dobi i spolu pilota, osim toga evidentno je malo odstupanje ovisno o vrsti inducirajućeg stimulansa, pa je primjetno kraće vrijeme reakcije na podražajni zvučni signal u odnosu na svjetlosni, prikazano tablicom 2.5. Najbrža reakcija ostvaruje se kombinacijom različitih izvora stimulansa pa će tako stimulans u kombinaciji svijetlo, sirena i električni udarac na koži izazvati najbržu reakciju [5].

Tablica 2.5. PRT u funkciji starosne dobi, spolu u odnosu na vrstu stimulansa

Starosna Dob	Muškarci		Žene	
	Svijetlo (sek)	Zvuk (sek)	Svijetlo (sek)	Zvuk (sek)
20	0,24	0,23	0,32	0,31
30	0,22	0,19	0,26	0,20
40	0,26	0,24	0,34	0,30
50	0,27	0,25	0,36	0,30
60	0,38	0,37	0,44	0,42

Izvor: Woodson, W. E, et al., 1992. [9]

Vrijeme reakcije također ovisi o složenosti radnoga zadatka pa će se primjereno i samo vrijeme reakcije produžiti povećanjem broja odabirnih mogućnosti što se može vidjeti u tablici 2.6.

Tablica 2.6. PRT u funkciji različitih odabirnih mogućnosti

Broj odabirnih mogućnosti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Srednje vrijeme reakcije (sek)	0,2	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,6	0,65	0,65

Izvor: modificirano prema Woodson, W. E, et al., 1992. [9] i Hilgendorf, L., 1966. [10]

Drugi autori definiraju različite podjele pa tako Drenovac M. [11] definira složenost zadatka u tri tipa prikazano tablicom 2.7.

Tablica 2.7. Vrijeme reakcije u funkciji složenosti zadatka

Vrsta reakcije	Struktura zadatka	Vrijeme (ms)
A	Jednostavna reakcija	201
B	Reakcija percepcije i odabira	284
C	Reakcija percepcije	237

Izvor: Drenovac, M., Osijek, 2009. [11]

Vrijeme reakcije izuzetno je važno u prometu jer je prisutna brzina upravljanog sredstva pa tako primjerice vrijeme reakcije od 0,6 sekundi za pilota nadzvučnog zrakoplova može značiti prelet od nekoliko stotina metara. Slično kao i kod mišićnog umora, brzina mentalnih procesa također repetitivnim radnjama opada zato je poželjno prije početka letačke aktivnosti osigurati maksimalnu početnu budnost i pozornost tako da se njihov prirodni pad kroz dnevni i radni ciklus ne prekorači, a time poveća broj mogućih krivih reakcija [5].

2.5 Složenost zadatka pilotiranja

Utvrđivanje razine složenosti pilotiranja omogućuje shvaćanje nužnosti modeliranja sučelja prema čimbenicimaHF-a. Pri tome treba uzeti u obzir da su piloti i kontrolori zračnog prometa prošli visoke standarde obuke da bi mogli obavljati svoj posao. Od njih se zahtijevaju visoke kognitivne i organizacijske sposobnosti te primjerena razina znanja. Njihov radni zadatak generalno se može podijeliti u dvije glavne kognitivne aktivnosti:

- Razumijevanje situacije i procesa
- Donošenje odluka u situacijama i procesima

Sustavi koji omogućuju razumijevanje zrakoplovnih procesa su prikaznici i instrumenti koji istovremeno daju više različitih informacija time se može reći da kognitivni procesi započinju složenim zadacima kroz vizualnu integraciju, prepoznavanje, odabir aktivnosti i njihovo izvođenje.

2.5.1. Otkrivanje stimulansa

U funkciji složenosti pilotiranja važno je razumjeti senzorne i percepcijske kognitivne procese koji se odvijaju nastupom zvučnog, svjetlosnog ili drugog stimulansa u pilotskoj kabini. Za otkrivanje stimulansa može se uzeti neki svjetlosni

izvor na bijeloj ili nekoj drugoj pozadini. Ljudsko oko posjeduje visoku razinu osjetljivosti, a sposobno je otkriti jedan jedini foton vidljivog svjetlosnog elektromagnetskog zračenja. Ovo dakako ovisi o adaptaciji oka, a za tako visoku noćnu adaptaciju potrebno je oko 30 min. Osjetljivost oka dakle ovisi o okolini, a prema različitim razinama osvjetljenja moguće je modelirati utjecajne stimulanse. Osjetljivost drugih osjetilnih organa također će ovisiti o nekoj referentnoj vrijednosti pozadine. Ako se za primjer uzme zvučni stimulans, osjetljivost ljudskog organa sluha bit će tim veća što će pozadinska razina zvuka biti manja.

2.5.2. Razlikovanje stimulansa

Pojedini stimulansi mogu se razlikovati ovisno o vrsti izvora, ali i o samom intenzitetu. Brzina razlikovanja stimulansa bit će tim manja što je razlika u intenzitetu ili vrsti podražaja veća. Ovo pravilo poznatije pod nazivom Weber-ova frakcija koja se može primijeniti u najrazličitije svrhe, a generalno služi kao smjernica za kodiranje upravljala i stimulansa. Kada nastupi više stimulansa istovremeno jednostavnije se može prepoznati i primjereno odgovoriti na određeni podražaj, problem nastaje kada u sustavu postoji veći broj različitih stimulansa, a samo je jedan aktiviran. Od čovjeka se zahtjeva da isti prepozna, mentalno obradi i shvati namjenu, te da primjereno reagira. Tipičan primjer za ovo je prepoznavanje određenog tona koji ima svoje značenje ili boje na prikazniku kada je samo jedna boja prisutna u većoj lepezi mogućih boja.

Otkrivanje i razlikovanje prethode donošenju krajnje odluke. Kvaliteta odluke brzina i sama percepcija stanja ovise o dovoljnoj količini zaprimljenih informacija. Kada se u obzir još uzme postojanje niza različitih radnji poput komunikacije sa zračnom kontrolom i posadom, upravljanjem zrakoplova, poželjnim brzim donošenjem odluka, te kontrolom cjelokupnog sustava i generalno shvaćanje prometne situacije stavlja pilota u težak i visoko odgovoran položaj.

Zahvaljujući napretku tehnike moguće je pilota rasteretiti od nekih radnji pa se uvode automatizacijski sustavi.

2.6. Automatizacija

Automatizacija se definira kao izvršavanje zadatka, funkcije ili usluge od strane strojnog agenta čime se zamjenjuje ljudski rad. Ovisno o obujmu automatizacije, sustavi mogu biti potpuno ili djelomično automatizirani [1].

Tehnološka rješenja automatizacije odigrala su značajnu ulogu u zrakoplovstvu. Njena implementacija rasteretila je pilota, a kao rezultat omogućili su se letovi većeg doleta sa smanjenim brojem potrebne posade. Iako su takvi sustavi doveli do niza benefita za zrakoplovstvo, postavlja se pitanje u kojem obujmu povjeriti stroju radnje koje inače obavlja pilot. Prekomjerno korištenje automatizacije pokazuje i negativne efekte, poglavito u području praćenja i razumijevanja prometne situacije, ali i stanja zrakoplovnih sustava. Ovo je slučaj ne balansiranog korištenja automatizacije koje posljedično dovodi do gubitka kontrole, smanjenja sposobnosti pilotiranja, povećanja broja krivih reakcija u sustavu čovjek-stroj i različitih drugih manjkavosti [1].

2.6.1. Svjesnost stanja

Poznavanje okoline i stanja u kojem se nalazi posada i zrakoplov savršen je recept za siguran let. Konstantna svijest i preglednost nad sustavima, te poznavanje cjelokupne prometne situacije definira se kao situacijska svjesnost SA (*engl. Situation Awareness*), drugačije rečeno potrebno je implementirati automatizacijske sustave, a istovremeno ne ugroziti SA. Do opadanja SA dolazi kada se operater zrakoplova odnosno pilot u prevelikoj mjeri oslanja na sam automatizacijski sustav. U početku primjene automatizacije ta manjkavost i nije značajno prisutna sve dok se ne uspostavi povjerenje u takav sustav. Nakon toga razine SA mogu pasti ispod kritične granice nakon koje operater više nije sposoban kontrolirati sustav i nastupaju greške.

2.6.2. Korištenje automatizacije

Postoji nekoliko načina korištenja automatizacije a to su:

- Korištenje
- Neupotreba
- Zlostavljanje
- Zloupotreba

Korištenje automatizacije definirano je kao dobrovoljna aktivacija ili deaktivacija sustava automatizacije od strane ljudskog operatera. Vrlo je teško procijeniti kada koristiti ili ne koristiti takvo pomagalo. Svakako je poželjno smanjiti radno opterećenje i koristiti sve benefite automatizacije, a s druge strane kada se stvori predodžba o pouzdanosti, korištenjem automatizacije nije moguće uočiti nastale pogreške upravo zbog smanjene svijesti. Neupotreba i zloupotreba tipični su problemi korištenja. Zloupotrebom se smatra stanje prekomjernog povjerenja u automatizacijski sustav, tj. koristiti ga kada za to nema potrebe gdje pilot sebe isključuje kao aktivnog sudionika iz sustava čovjek-stroj-okoliš. Nekorištenje je problem suprotan aktivnom korištenju. Pilot ili operater ignorira automatizaciju u potpunosti, što dovodi opet do povećanog radnog opterećenja, lažnih uzbuna i sl. Problem ove dvije stavke je individualnog karaktera. Da li će se pilot osloniti na takav sustav ili ga neće koristiti u potpunosti ovisi o njegovoj samoprocjeni sposobnosti da izvrši radni zadatak i samoprocjeni ispravnosti i pouzdanosti takvog sustava. Zadnja stavka korištenja je zlostavljanje. Pod tim problemom podrazumijeva se zanemarivanje krajnjih korisnika automatizacijskog sustava od strane dizajnera i proizvođača bez osvrta na moguće posljedice poglavito radne izvedbe koje mogu biti izazvane takvim pristupom [12].

Korištenje naprednih tehničkih sustava danas nije stvar izbora već obaveze. Beneficije koje se pojavljuju njenom implementacijom izuzetno su poželjne kada značajno mogu rasteretiti pilota i pridonijeti općoj kvaliteti leta. Potrebno je zaključiti u kojoj mjeri koristiti automatizaciju kako ista ne bi dovela do negativnih posljedica. Rješenje je dakako umjereno korištenje automatizacijske tehnike prema samoprocjeni pilota operatera, te izbjegavati nepotrebno i prekomjerno korištenje kako se ne bi smanjila manualna sposobnost pilotiranja i svjesnost prometnog i sustavnog stanja, a time osigurala i dalje visoka razina sigurnosti [12].

2.7 Stres

Jedan od najpoznatijih ljudskih čimbenika moderne današnjice je stres. Prisutan je u svim područjima rada zahvaća sve dobne skupine. Nastaje kao posljedica tjelesne reakcije na jedan od stresora, a to su uglavnom prijeteće situacije i događaji koji stvaraju nelagodu ili nakon dužeg vremenskog izlaganja posljedično dovode do problema živčanog sustava, kardiovaskularnog, respiratornog, imunološkog i drugog sustava. Dakle razina stresa ne ovisi samo o jačini stimulacije pojedinog stresora

nego i o vremenskom periodu izloženosti. Opseg tih efekata individualnog je karaktera što znači da se svaka osoba u različitoj mjeri nosi sa stresom. Neki pojedinci vrlo dobro podnose stres dok su drugi podložniji trpljenju, te postoji velika mogućnost da podlegnu njegovim efektima. No nije stres uvijek negativan, iako je jasnu kritičnu granicu stresa teško definirati, stres može djelovati i stimulativno [13].

Stres je posljedično izazvan fenomen kada na čovjeka djeluje stresor koji opet ovisi o subjektivnom doživljaju i individualnoj toleranciji čovjeka. Kako bi se spriječile psihičke i fizičke posljedice stresa potrebno je adresirati stresore i saznanja primijeniti u prilagodbi radne okoline čovjeku.

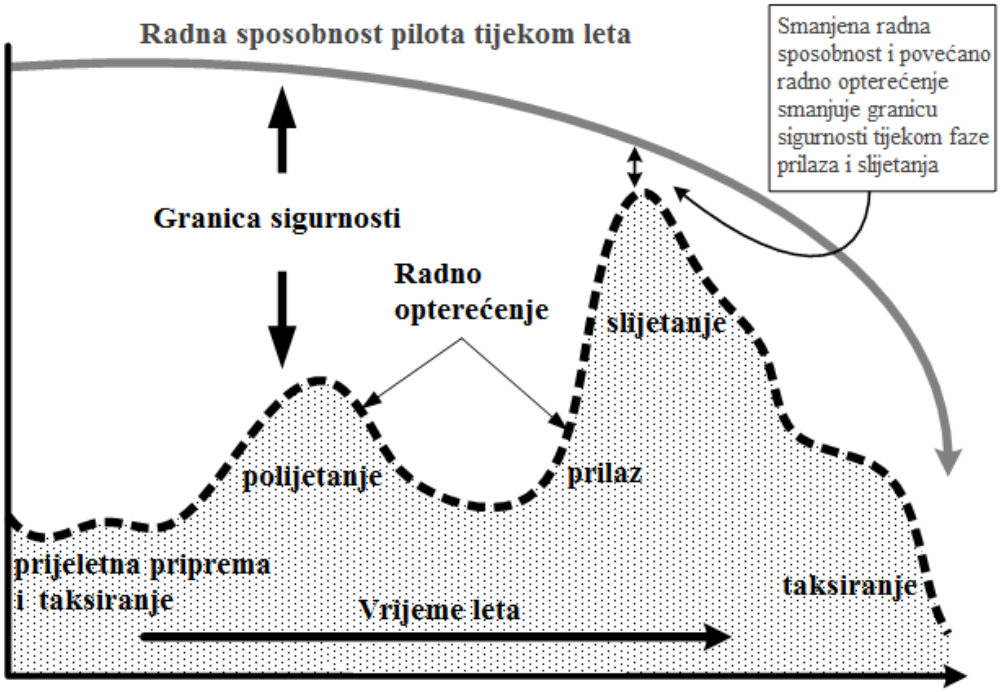
2.7.1 Stresori i nepovoljne okolnosti iz radne okoline

Radnom okolinom smatra se cjelokupno okruženje koje uključuje društvenu i fizikalnu okolinu. Kod razmatranja društvene okoline pažnja se posvećuje emocionalnom stanju članova radne grupe, kvaliteti komunikacije, socijalnoj podršci, stupnju odgovornosti, radnoj motivaciji subjektivnom doživljaju udobnosti ili nelagode pojedinaca i sl. Uz fizikalnu okolinu vežu se svi elementi okoline kao što su osvjetljenje, temperatura, relativna vlažnost zraka, buka, vibracije, veličina i položaj radne površine i sučelja u odnosu na čovjeka i niz drugih strukturnih čimbenika koji utječu na razinu stresa.

Najprepoznatljiviji stresori i nepovoljne okolnosti u pilotskoj kabini su [14]:

- Česte radio-komunikacijske smetnje
- Iznenadna akustična upozorenja
- Neugodna temperatura
- Buka motora i sustava
- Vibracije
- Mali radni prostor
- Kvaliteta zraka
- Osvjetljenje

Letačka posada za vrijeme obavljanja radnog zadatka suočena je s različitim razinama stresa, a najviša razina bilježi se u kritičnim fazama leta poput polijetanja i slijetanja prikazano slikom 2.8.



Slika 2.8. Shematski prikaz radnog opterećenja po pojedinim fazama leta

Izvor: Transport Canada, 2017. [15]

Svako odstupanje od normalnih vrijednosti može postati stresor. U sljedećem dijelu govori se o specifičnim problemima uzrokovanih zbog neprilagođenih utjecajnih čimbenika radne okoline kao što su: temperatura, vlažnost zraka, atmosferski sastav, utjecaj zračenja, buke, vibracija i neprilagođenog osvjetljenja itd.

2.7.2 Atmosfera

Poznato je da tlak, temperatura i gustoća zraka porastom visine opadaju, stoga je važno posadu zrakoplova opskrbiti atmosferom koja udovoljava zahtjevima tjelesnih funkcija. Kabine pod pritiskom upravo omogućuju stvaranje umjetne atmosfere koja će posadu opskrbiti s dovoljnom količinom kisika, ali istovremeno i što nižim razinama ugljikovog monoksida, ugljikovog dioksida, ozonom i drugim toksinima.

2.7.3 Buka

Zvuk je također jedan od fizikalnih pojava čije podražaje ljudsko tijelo može organom sluha subjektivno interpretirati. Efektivna i efikasna komunikacija esencijalna je za održavanje sigurnosti u zračnom prometu. Kako bi se u ovom poglavlju ustanovilo koji se zvukovi smatraju korisni, a koji ne, potrebno je prije svega

reći da su svi zvukovi iste prirode, a zvuk je jednostavno mehanička fluktuacija tlaka zraka koja je određena svojom frekvencijom i intenzitetom odnosno jačinom zvučnog tlaka. U prirodi je primjetno da se neki zvukovi bolje čuju od drugih kao što je to najbolje primjetno kod niskih i visokih tonova, iako je količina energije zvuka ista.

Buka je svaki neželjeni zvuk, u većini slučajeva povezana je s neprimjerenim visokim intenzitetom zvuka, ali također može biti i u rasponu normalnog i poželjnog intenziteta, ali vrlo neugodne frekvencije.

Izvori buke ovisno o prostoriji mogu biti vanjski ili unutarnji. U pilotskoj kabini primjerice vanjski izvori buke mogu biti pogonske skupine drugih zrakoplova na manevarskim površinama u zračnoj luci, ili šum koji se pojavljuje na vjetrobranskom staklu kao reakcija zbog brzine kretanja kroz zrak. Efekti buke su raznovrsni, ona može izazvati vrtoglavicu, bolove pa čak i uzrokovati permanentno oštećenje sluha, no kada se promatra učinkovitost rada onda efekti buke nisu strogo definirani. Asocijacija na buku u većini slučajeva veže se uz negativno djelovanje na radni učinak, ali neka vrsta buke može biti poželjna ili korisna te služiti kao povratna informacija. Nekada je dobro čuti buku nekog sustava kao indikacija da taj sustav u normalnoj funkciji, npr. prije slijetanja poželjno je čuti kako se spuštaju zakrilca i stajni trap zrakoplova, a posebno je poželjno čuti pravovremeno zvučno signalno upozorenje nekog sustava u zrakoplovu. Druge koristi buke su u tome što ponekad čak i poboljšava radni učinak kada posao postane suviše monoton i dosadan ili nevezano za zrakoplovstvo dominantna buka može dobro maskirati različite izvore distrakcije i tako poboljšati radni učinak.

2.7.4 Vibracije

U jedan od najopasnijih stresora ubrajaju se vibracije, a svoje mjesto nalaze odmah iza loše i nedostatne količine zraka u pilotskoj kabini. Vibracije su pravilne ili nepravilne periodičke oscilacije koje nastaju zbog djelovanja nekog mehanizma ili uređaja. Slično kao kod buke, one na tijelo utječu različito ovisno o frekvenciji i amplitudi oscilacije. Pošto ljudsko tijelo nije savršeno kruto tijelo, različiti dijelovi tijela oscilirat će različito. Vibracije nepovoljno utječu na cirkulaciju, vidne sposobnosti, izvođenje motoričkih zadataka i ostale tjelesne funkcije. Prema značenju vibracija u pilotskoj kabini utjecaj istih može se podijeliti na [2]:

- Utjecaj vibracija kod korištenja upravljala
- Utjecaj vibracija kod vidnih sposobnosti
- Utjecaj vibracija kod kognitivnih sposobnosti

Svaki pilot iskusio je djelovanje vibracija, a najpoznatije među njima su turbulencije koje su karakterizirane niskom frekvencijom oscilacija, ali zato visokom amplitudom. Turbulencije mogu nastati zbog vremenskih neprilika, zbog ispravne i neispravne pogonske grupe ili zbog nepravilnog opstrujavanja zračne mase oko zrakoplova uzrokovane zbog specifičnog letnog režima. Piloti modernih komercijalnih mlaznih zrakoplova nisu izloženi značajnim vibracijama, a čija evidencija može ukazati na neispravan rad nekih sustava. Kod nekih starijih zrakoplova nepravilno opstrujavanje zraka oko podvozja izazvalo bi vibracije koje su u režimu slijetanja bile tolike da nije bilo moguće očitavanje vrijednosti s instrumenata. Jedan primjer opasnih vibracija također je nastao i na modernijem Boeingu 737-400 kada je mala krhotina lopatice na uvodniku izazvala snažne vibracije koje su također posadi otežavale očitavanje parametara na instrumentalnim pločama.

2.7.5 Temperatura i vlažnost

Posada modernih zrakoplova nije izložena vremenskim utjecajima kao što su to bile posade u prvoj polovici 20-og stoljeća, što je i bio jedan od preduvjeta kako bi uopće zrakoplovi mogli iskoristiti svoje tehnološke potencijale. Danas zrakoplovi krstare i na visinama većim od 10 km, gdje su temperature ponekad i niže od -50°C. Da bi se pilot osjećao udobno i da bi primjereno obavljao svoju dužnost potrebno je zadovoljiti nekoliko čimbenika u kojima temperatura i vlažnost imaju značajnu ulogu, ali i odjeća pilota.

Ugoda je također subjektivan osjećaj kojeg je svaki čovjek sposoban spoznati. Zanimljiv je podatak da će se prosječna lako odjevena osoba uronjena u hladnu vodu temperature 0°C, nakon otprilike 15 minuta onesvijestiti i da će se koža izložena zimskim uvjetima od -20°C uz vjetar od 5 m/s zamrznuti unutar 30 sekundi. Iz navedenog može se pretpostaviti kako sigurno nije riječ o klimatskoj ugodi i niti jedan proizvođač zrakoplova neće projektirati pilotsku kabinu tako da se posada nalazi u ekstremnim klimatskim uvjetima. Prema subjektivnom osjećaju čovjeka definiraju se četiri čimbenika ugode [2, 5]:

- Temperatura zraka T_A (C°)
- Temperatura okolnih površina T_S (C°)
- Relativna vlažnost zraka φ (%)
- Brzina protoka zračne mase $v_{\dot{m}}$ (m/s)

Relativna vlažnost zraka najčešće se izražava u postocima, a zanimljiva je činjenica da isti postotak relativne vlažnosti na niskim i visokim temperaturama ne sadrži istu količinu vode u zraku. Doživljaj ugode ovisit će o relativnoj vlažnosti. Osobe u vlažnom izrazito vlažnom ambijentu mogu imati poteškoće disanja, osjećati se sparno ili suprotno kada se radi o deficitu vlage u zraku takva okolina može isušiti sluznicu nosa, kožu, oči i stvoriti nelagodu.

2.7.6 Osvjetljenje

Neizostavan čimbenik je dnevno i noćno osvjetljenje radnih površina pilotske kabine E_s. Svijetlo u unutrašnjosti pilotske kabine može dolaziti od sunca i unutarnjih izvora umjetnog osvjetljenja.

Važnost ovog čimbenika je vrlo visoka jer se većina informacija percipira upravo preko vidnog organa. Efekti osvjetljenja mogu biti pozitivni i negativni. U pozitivnu stavku može se svrstati primjerice pozitivan subjektivni doživljaj koji "ugodna" boja može stvoriti u pilotskoj kabini. Prevelika količina svjetla vrlo je neugodna i otežava rad i koncentraciju, a prekomjerno svjetlosno zračenje također dovodi do oštećenja vidnog organa.

Mjerna jedinica za osvjetljenje radnih površina E_s je lux (lx), a označava količinu svjetlosnog toka lumen po kvadratnom metru. Cilj osvjetljenja je emitirati ili propustiti onu količinu svjetlosti koja neće uzrokovati nelagodu u radnom procesu. Za dizajn prikaznika češće se upotrebljava izraz luminanca L_s, ona predstavlja količinu svjetla emitiranu od neke površine, izražava se u kandelama po kvadratnom metru (cd/m^2). Veza između jednog i drugog nalazi se u tome da se luminanca tipično koristi za svjetlosno emitirajuće površine, a lux za osvijetljene površine.

Pilotska kabina je ne uobičajeno radno mjesto, jer za razliku od rada u uredima koje često zahtijevaju selektirano ciljano osvjetljenje na dio radnog stola, knjige ili papira, u njoj je potrebno osigurati dovoljno osvjetljenje instrumenata, ali tako da se

oko prilagodi vanjskim dnevnim uvjetima. Noću primjerice oko pilota mora biti prilagođeno noćnom režimu rada, a istovremeno razina osvjetljenja instrumenata mora biti dovoljna da ne ometa noćnu prilagođenost oka.

2.7.7 Boje

Boje na radnom mjestu pospješuju različite psihološke efekte, odabir same boje može biti prepušten isključivo ukusu i preferencijama dizajnera. Postoji nekoliko pravila kod odabira boja koju valja razmotriti no prije planiranja potrebno je utvrditi funkciju prostorije i opreme i tko će je koristiti. Primjena boja je raznolika, osim prostorije pilotske kabine boje služe za raspoznavanje alata, instrumenata, upravljala. Slično kao i kod kodiranja upravljala tako da se pojedinim upravljalima pridruži određeni geometrijski oblik, također se i bojama može postići isti efekt, a kombinacija jednog i drugog ima dvostruki učinak. Bojama se može usmjeriti oko promatrača na specifične dijelove, kao što je to u radionicama veliko crveno dugme za hitni prekid stroja, ili označavanje protupožarnih sustava. Prema tome boje na radnom mjestu imaju sljedeće funkcije:

- Postizanje reda
- Označavanje sigurnosnih naprava
- Stvaranja kontrasta radi olakšanja rada
- Psihološki učinak

Boje se mogu podijeliti u dva važna parametra kao prikazano na slici 2.9.

Slika 2.9. Osnovni parametri boje

Izvor: National Aeronautics and Space Administration, 2017. [16]

Intenzitet ili zasićenje boje označava udio čiste boje u odnosu na bijelu, a tamnoća udio čiste izvorne boje u odnosu na tamnu "boju". Ovisno o vrijednostima jednog i drugog moguće je ostvariti željene kontraste kojima bi se označile željene površine.

Druga važna stvar u odabiru boja je tzv. harmonija boja, a odnosi se na kombinirano korištenje više različitih boja istog intenziteta koje su međusobno

kompatibilne, odnosno izazivaju subjektivni osjećaj ugode u "oku" promatrača. Odabir boje započinje na kolutu boja koje su standardizirano razmještene prikazano slikom 2.10. Na osnovu koluta boja dati će se preporuke kompatibilnih boja i njihovih nijansi. Temeljne vidljive boje nalaze se u elektromagnetskom spektru prema tablici 2.8.

Slika 2.10. Standardni raspored boja

Izvor: Mollica, P., 2013. [17]

Tablica 2.8. Valne duljine temeljnih boja u nanometrima

Boja	λ (nm)
Ljubičasta	380-436
Plava	436-495
Zelena	495-566
Žuta	566-589
Narančasta	589-627
Crvena	627-780

Izvor: Kroemer, K. H. E. et al., 2000. [5]

Valovi iznad 780 nm nalaze se u oku nevidljivom infracrvenom području i percipiraju se kao toplinsko zračenje, a boje valne duljine kraće od 380 nm nalaze se u ultraljubičastom području. Boja koju oko percipira od neke površine je reflektirana boja koju taj materijal ne apsorbira. Ljudsko oko osjetljivo je do te razine da je sposobno razlikovati više od 100 nijansi (intenziteta i tamnoće) [5].

Ranije je spomenuto kako neke boje imaju psihološki učinak na čovjeka. Ovo se odnosi na specifične optičke varke i ugođaj koji neka boja izaziva u čovjeku. Osjećaji

koji će se pobuditi u pojedincu mogu biti kulturološki, te ne moraju izazvati isti doživljaj. Psihološki učinak boja prikazan je tablicom 2.9.

Tablica 2.9. Psihološki učinak boja

Boja	Utjecaj na udaljenost	Utjecaj na temperaturu	Mentalni efekt
Plava	Daleko	Hladno	Umirujuće
Zelena	Daleko	Hladno neutralno	Vrlo umirujuće
Crvena	Bliže	Toplo	Vrlo stimulirajuće ne smirujuće
Narančasta	Mnogo bliže	Vrlo toplo	Uzbuđujuće
Žuta	Bliže	Vrlo toplo	Uzbuđujuće
Smeđa	Mnogo bliže	Neutralno	Umirujuće
Ljubičasta	Mnogo bliže	Hladno	Agresivno uznemirujuće zamarajuće

Izvor: Kroemer, K. H. E. et al., 2000. [5]

Svrha boja u pilotskoj kabini je da budu dovoljno stimulirajuće da potiču na rad, a da istovremeno ne zamaraju oko i opterećuju pilota. Koristeći ova saznanja kombinacije boja će se koristiti kod najrazličitije zrakoplovne opreme.

2.8 Fizički elementi sustava čovjek-stroj u pilotskoj kabini

Ranije su spomenuta dva prepoznatljiva međuzavisna sučelja odnosno "mjesta" razmjene informacija i energije u sustavu čovjek-stroj, a to su prikaznici (obavjesnici) i upravljala.

2.8.1 Prikaznici

Prikaznici su sučelja pilotske radne površine koje prenose informacije stanja sustava stroja do ljudskih senzornih organa. U sustavima čovjek-stroj mogu se prikazati vrijednosti dinamičkih procesa, kao što su fluktuacije temperature ili tlaka. Dobar prikaznik nije samo onaj koji pokazuje trenutnu situaciju već i stanje buduće situacije ili trend promjene informacije [2, 5].

Instrumenti koji se koriste komercijalno uglavnom se mogu svrstati u tri kategorije

- Brojčani prikaz u "prozorčiću"
- Kružna skala s pokretnom kazaljkom
- Nepomična kazaljka preko pokretne skale

Različite vrste prikaznika primjenjuju se ovisno o informaciji koji pokazuju, što je i prvi korak ka dizajniranju prikaznika. Postoje statički i dinamički parametri, a zadatak je odrediti koju vrstu prikaznika koristiti za koju vrstu informacije, te koliku je razinu preciznosti u ovisnosti o brzini očitavanja potrebno primjenjivati. Instrumenti koji su dizajnirani da prate brze promjene neće biti precizni kao oni koji su namijenjeni za očitavanje sporih promjena.

2.8.2 Prikaznici modernih zrakoplova

Prema objavi autora J. M. Reising-a, Liggett-a i Munns-a (1999.) smatra se da je pilotska kabina vrlo ograničena prostorom za smještaj prikaznika, a jedini način za smanjenje radnog opterećenja je implementacija multifunkcionalnih prikaznika. Autori definiraju tri razdoblja razvoja prikaznika, a to su [2]:

1. Razdoblje analognih mehaničkih instrumenata
2. Razdoblje elektro-mehaničkih instrumenata
3. Razdoblje elektro-optičkih instrumenata

Dizajn u kojem se događa zamjena elektro mehaničkih instrumenata s CRT (*engl. Cathode Ray Tube*) prikaznicima, a kasnije s LCD (*engl. Liquid Crystal Display*) prikaznicima naziva se dizajn "kristalne kugle" (*engl. Glass-cockpit*) pilotske kabine, ali ne zbog korištenja elektro-optičkih prikaznika već zbog stupnja automatizacije koja je postala moguća zahvaljujući njihovoj implementaciji.

Bilo da se radi o mehaničkim, elektromehaničkim ili nekim drugim prikaznicima, glavna filozofija za njihovo uspješno korištenje je primjena principa i smjernica kojima bi se ostvarilo najviše stanje svijesti okoline SA.

Endsley M. R. (1988.) definira SA kao percepciju elemenata okoline unutar određenog vremena i prostora, te obuhvaća razumijevanje i interpretaciju tih elemenata kao i njihovu projekciju buduće vrijednosti.

Prva razina SA je najmanja, temelji se na prepoznavanju temeljnog ili nekoliko temeljnih elemenata na jednom prikazniku. Bez postojanja osnovnih informacijskih elemenata elemenata nije moguće proširiti svijesnost.

Druga razina zahtjeva povezivanje inicijalnih informacijskih elemenata za prepoznavanje "šire slike" situacije. Zadatak pilota je da razumije sve elemente i da ih percipira kao jednu cjelinu.

Treću razinu predstavlja razina "kristalne kugle" koja se postiže kada je SA druge razine potpuno svladana i pilot uspješno može predvidjeti smjer kretanja pojedinih elemenata.

Integrirani prikaznici kao što su to PFD (*engl. Primary Flight Display*) i ND (*engl. Navigation Display*), objedinjuju nekoliko instrumenata. Njihov raspored ovisit će o važnosti svakih temeljnih neizostavnih letnih i navigacijskih parametara koji će na primjeren i poželjan način dati najveću učinkovitost u radu. Dali je neki raspored instrumenata prikladan ovisit će o krivim reakcijama očitavanja. Isto vrijedi i za točnost očitavanja pojedinačnih prikaznika. Raspored se može poistovjetiti s kognitivnom odlukom odabira podataka, pa će vrijeme potrebno za objedinjenje svih relevantnih parametara linearno rasti povećanjem broja integriranih prikaznika, što ujedno i predstavlja stupanj složenosti prikaznika.

Cilj svakog prikaznika je prikazati letne, motorske i sustavne parametre na najefikasniji način odnosno s najmanjom greškom očitavanja. Kod slučaja integriranih prikaznika dominantno će ovisiti izbor prikaza, a kriva reakcija očitavanja neće rezultirati kumulativnim zbrojem svakog pojedinačnog prikaza, nego ovisit će o snalažljivosti pilota uvjetovanoj intuitivnim rasporedom. Osim rasporeda potrebno je definirati, veličinu oznaka, boje, udaljenosti, i kontraste za prikaz parametara.

2.8.3 Upravljala

U sustavu čovjek-stroj upravljala su drugi stupanj kontroliranja zatvorenog ciklusa, a mogu se jednostavno podijeliti na [5]:

- Upravljala koja ne zahtijevaju veliki napor, pokretana prstima u koja se ubrajaju: prekidači, rotirajuća ili ravna dugmad, poluge manjih dimenzija
- Upravljala koja zahtijevaju mišićni napor u koju se ubrajaju kontrolni kotači, velike poluge i papučice koje zahtijevaju korištenje veće grupe mišića

Dakle upravljala dolaze u različitim varijacijama veličina, oblika, boja, aktivacijskih sila i specifičnih smjerova otklona, prema kojima će primjereno biti kodirana. Ovisno o vrsti imat će najmanje dva ili više položaja odabira. Otkloni i sile ovisit će o namjeni tjelesnom segmentu čovjeka koji aktivira željeno upravljalo. Intuitivno se može shvatiti kako su udovi poput nogu sposobniji proizvesti znatno veću silu od ruku, pa je jasno da će se istom logikom nastojati prilagoditi upravljački sustav takvim zahtjevima, a vrijedi prilagoditi sva upravljala prema specifičnim aktivatorima.

Osim čisto fizičkih karakteristika, pošto su upravljala dio sustava kontroliranja uz prikaznike, oba kontrolna elementa sustava čovjek-stroj moraju pokazati besprijekornu učinkovitost u radu, tako da ne stvaraju intuitivne konflikte za vrijeme korištenja koji bi posljedično prouzročili krivu reakciju u radu. Svako odstupanje od čovjeku orijentiranog mentalnog modela znakovito će pridonijeti povećanju radnog opterećenja, a cilj je izbjeći svaki progresivni rastući trend takve veličine.

Prema tome potrebno je adresirati sve relevantne parametre za svaku vrstu upravljala za normalnu i sigurnu radnu funkciju iako danas moderni zrakoplovi većinski letni režim obavljaju kroz korištenje automatizacijskih sustava, a minimalno koriste manualno vođenje zrakoplova.

2.9 Sveukupni učinak čimbenika "ljudskog faktora"

Predstavljeni utjecajni čimbenici marginalno su opisani, u avijaciji su predmetom ozbiljnog višegodišnjeg istraživanja. Specifičnost zračnog prometa je takva da ne pruža mnogo prostora krivim reakcijama pošto iste vrlo brzo rezultiraju fatalnim posljedicama. Istraživanje se stoga obavlja u nekoliko različitih razina od najranijih

početnih faza planiranja, preko razvoja pa i za vrijeme i nakon vremena eksploatacije. Dobivenim uvidom u raznolikost utjecajnih čimbenika može se zaključiti kako čovjekovo prirodno okruženje nije zrakoplov ili preciznije pilotska kabina. Nakon adresiranja čimbenika i shvaćanja složenosti problematike, moguće je prepoznato opisati, izmjeriti i prilagoditi čovjeku. Potrebno je primijeniti prirodno programirane čimbenike, bilo mentalne ili fizičke karakteristike, te ih smisleno implementirati u čovjeku prilagođeni neprirodni sustav čovjek-stoj-okoliš. Ovisno o opsegu implementacije točnije adaptacije čimbenika HF-a čovjeku, više će se pogodovati i svojstveno olakšati rad, smanjujući tako kognitivno i fizičko radno opterećenje što rezultira povećanom kvalitetom života, standarda i na koncu same usluge prijevoza.

3. Smjernice za dizajn pilotske kabine

U ovom poglavlju govorit će se o specifičnim principima kojima se pristupa dizajnu pilotske kabine, također se navode preporuke kod dizajna fizičkih elemenata, programiranih čimbenicima HF-a.

3.1. Estetika dizajna

Za razliku od konkretnih čimbenika HF-a, vrlo je malo istražen utjecaj estetike na pilota. Kaže se da: "ljepota leži u oku promatrača," prema tome dizajn neće svakom pojedincu biti jednako privlačan. Velika većina inženjera će u potpunosti zanemariti estetiku jer se njihov imperativ nalazi u funkcionalnosti stroja. Utjecaj kojeg estetika ima je stvaranje ugode, divljenja, slično je kao i kod boja, pa može dati dojam kvalitetnije i promišljenije izrade. Estetski elementi često se percipiraju kao pouzdaniji, bolji i funkcionalniji. Subjektivni osjećaj ugode je uvijek pozitivna stavka, a ako ona utječe na izvedbu radnog zadatka i raspoloženje pilota svakako je poželjno posvetiti pažnje i estetici proizvoda. U jednom istraživanju na uzorku 24 pilota, testiran je utjecaj atraktivnog i manje atraktivnog instrumentalnog sučelja na izvedbu radnog zadatka pod hipotezom da je "ljepše ujedno i bolje". Rezultati su pokazali 5% manje ukupno radno opterećenje kod instrumentacije atraktivnijeg dizajna. Direktan utjecaj atraktivnog dizajna dakako još uvijek nije priznat jer testovi rezultiraju gotovo istim radnim učinkom, odnosno nema evidentiranih značajnih razlika u greškama očitavanja. Ono što ide u korist atraktivnijem dizajnu je subjektivna percepcija radnog opterećenja.

Drugi razlog uvođenja estetike u dizajn su prodajne kvote proizvoda. Slično kao u industriji mode, neke stvari koje pripadaju prošlosti opet mogu postati atraktivne. Razlog tome može biti sekularni utjecaj na masu populacije kojim se ponovno prepoznaje ljepota jednog dizajna. Kao primjer povratnog modernog dizajna može se uzeti zrakoplov Piaggio Avanti prikazan slikom 3.1. Iako se pomalo smatra da turboprop zrakoplovi pripadaju prošlosti zbog svoje bučnosti i manjih brzina ovaj zrakoplov je dokazao suprotno. Svojim šiljastim modernim, ali ujedno i retro dizajnom trupa, podsjeća na ilustracije svemirskih brodova znanstvene fantastike iz 50-ih godina. Vitkost i elegancija dakako ne zamagljuju njegove performance, jer se

odlikuje velikim dozvučnim brzinama, ekonomičnošću, ali i estetikom unutarnjeg dizajna. Pomalo neobičan oblik s canard izvedbom stabilizatora na prednjem dijelu budi pomalo intrigantan interes široj populaciji, te iako je tehnika postojana dugo godina, zbog rijetkosti primjene u zrakoplovstvu djeluje osvježavajuće i moderno.

Slika 3.1. Piaggio Avanti

Izvor: Piaggio Aerospace, 1884. [18]

Estetika se u zrakoplovstvu nalazi u drugom planu iza funkcionalnosti. Važnost funkcionalnosti je neupitna, ali kada se već izdvajaju značajna sredstva za projektiranje novog zrakoplova i tehnike, zašto da taj proizvod ne bude i atraktivan. Iako čvršću korelaciju između ljepote i izvedbe radnog zadatka nije do sada bilo moguće dokazati, subjektivni dojam ljepote može izazvati pozitivni osjećaj ugode [1].

3.2. Specifična razmatranja dizajna

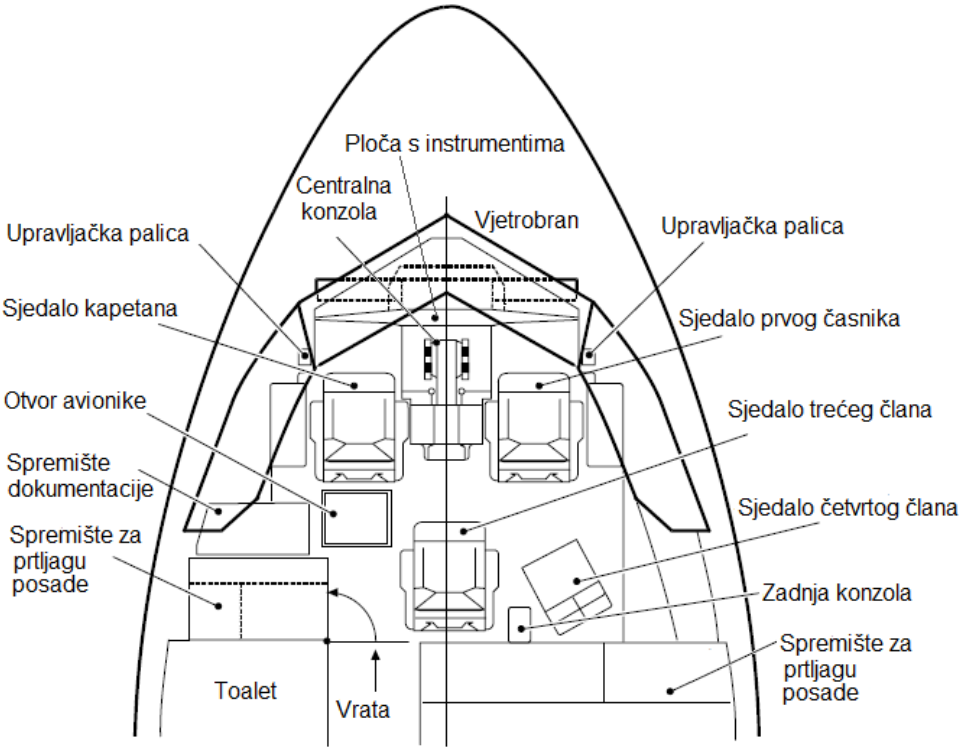
Eksploatacijski vijek zrakoplova kreće se otprilike oko 30 godina eksploatacije. U tom razdoblju kako tehnika napreduje mogu se primijeniti manje adaptacije na sam zrakoplov, kao što su bolji moderniji komunikacijski sustavi, ili rjeđe vrši se modernizacija ili zamjena navigacijske opreme i generalne instrumentacije. Preinake se kreću uglavnom u gabaritima mogućnosti koje dopušta sama struktura ili dizajn zrakoplova. Pod tom pretpostavkom dizajniranje novog zrakoplova za kojeg je potreban značajan financijski resurs, mora anticipirati buduće tehnološke trendove u

tom 30 godišnjem eksploatacijskom vijeku, te istovremeno ostaviti dovoljno prostora za adaptaciju mogućeg tehnološkog usavršavanja.

Dizajniranje komercijalnih zrakoplova vrlo je zahtjevan posao u kojemu je se razmatraju tipična područja kao što su to:

- Ergonomija
- Okoliš
- Kognitivne mogućnosti

Novi dizajn ne jamči odmah da je i funkcionalnost ostvarena, stoga je potrebno ustanoviti novonastale manjkavosti i dati početne strukturne smjernice čiji će temelji poslužiti kao referenca dobre prakse dizajniranja. Početak započinje od samog čovjeka, preciznije od pozicije ljudskog oka ERP (*engl. Eye Reference Point*), prema kojem će se odrediti vanjska vidljivost, dohvat i pristupačnost sučelja, potrebna sila za rad i sl. Tipični standardni raspored prisutan u većini komercijalnih zrakoplova prikazan je slikom 3.2.



Slika 3.2. Generalni raspored elemenata pilotske kabine Airbus A380

Izvor: Airbus Industrie, 1970. [19]

Oblik pilotske kabine snažno je uvjetovan aerodinamikom zrakoplova pa je poželjno postići kompromisno rješenje unutarnjeg prostora. Regulacijom Part-25.773 defnirani su specifični zahtjevi koje svaka pilotska kabina mora zadovoljiti kao npr. stavka da oba pilota moraju imati neometan pristup svim kontrolnim i upravljačkim sučeljima, ništa ne smije sprječavati normalan pogled prema vani, sve mora biti u skladu s optičkim propisima i sl.

Često je krajnjem dizajnu stroja prednjačio inženjerski pristup odnosno logika koja je vrlo smislena i korisna za normalan rad stroja, a gdje se vrlo malo pažnje posvetilo jednostavnosti korištenja tog stroja od strane čovjeka. Tipični jednostavni primjer za to su prtljažnici automobila koje treba temeljito isprazniti da bi se došlo do rezervnog kotača ili dizajni koji potencijalno ugrožavaju sigurnost kada se na samoprocjenu računalnog sustava stroja sustav automatski uključi ili isključi. U zrakoplovstvu primjer potencijalno lošeg dizajna su pilotske kabine koje povećavaju broj krivih reakcija pilota, a takvi inženjerski orijentirani zrakoplovi, dizajnom su opisani kao teško upravljivi. Pothvati ispravljanja pogrešaka i učenja imaju skupu cijenu kako u financijskom smislu tako i u smislu ljudskih žrtava [4].

3.3. Filozofije i strategije dizajna čovjeku prilagođene pilotske kabine

Neke od osnovnih načela dizajniranja pilotske kabine su ostvarenje standardiziranosti opreme kako prikaznika tako i kontrolnih upravljačkih sučelja uz neometan protok informacija. Za takav pothvat potrebno je uložiti velike napore u proučavanju ljudskih čimbenika i prilagođavanje dizajna tim čimbenicima gdje je glavni cilj smanjenje krivih reakcija i bolji radni učinak.

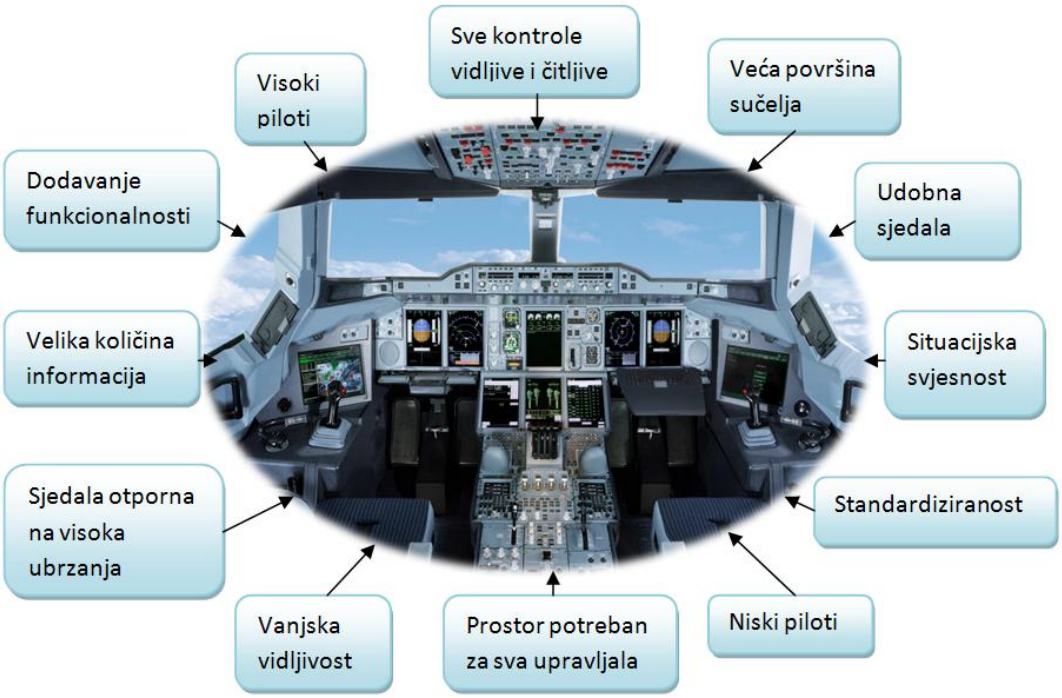
Filozofija dizajniranja nužna je u svakom pogledu dizajna, ali možda najviše kod automatiziranih sustava. Primjer čovjeku prilagođenog dizajna kabine tvrtke Boeing naveden je u sljedećim točkama [2]:

- Pilot ima potpuni autoritet nad upravljanjem zrakoplova
- Oba člana letačke posade odgovorna su za sigurno provođenje leta
- Zadaće posade po prioritetu su: sigurnost, udobnost putnika i efikasnost
- Dizajniranje čovjeku prilagođene kabine obavlja se prema izvješću i preporukama iskusnih pilota i stručnjaka

- Dizajniranje sustava tolerantnih na krive reakcije
- Hijerarhija alternativnog dizajna kreće redoslijedom: jednostavnost, redundancija zatim automatizacija
- Korištenje automatizacije da pomogne pilotu, a ne da ga zamjeni
- Prepoznavanje osnovnih ljudskih snaga i ograničenja, te individualnih razlika kod normalnih i neuobičajenih operacija
- Korištenje novih tehnologija i funkcionalnih mogućnosti samo onda kada: rezultati takve implementacije jasno pokazuju efikasnost i operativnu prednost i ne postoje nuspojave koje negativno utječu na sustav čovjek-stroj

Proces čovjeku orijentiranog dizajna najčešće je proces s nizom kompromisnih rješenja za postizanje cilja. Slično kao i kod definiranja zrakoplovnih karakteristika gdje se procjenjuje dali je bolje imati čvršći zrakoplov veće težine ili koliko veća težina povećava troškove, tako se i kod dizajna pilotske kabine na vagu stavljaju njegove prednosti i nedostaci, a krajnji dizajn predstavlja najbolje kompromisno rješenje. Jedina razlika između procjene rizika kod dizajna zrakoplova i pilotske kabine je ta što se za najbolje rješenje procjenjuju parametri koji su imaginarni odnosno fizički ne postoje, npr. koliko će se jedinica radnog opterećenja zamijeniti za jednu jedinicu situacijske svijesti, ili odnos komfora nasuprot strukturne čvrstoće.

Takvi ciljevi koji potenciraju pozitivni učinak ljudskih čimbenika dok istovremeno smanjuju utjecaj drugih čimbenika su komplementarni ciljevi dizajna, za koje je potrebno utvrditi optimalan kompromisni omjer. Primjer takvih komplementarnih ciljeva prikazan je slikom 3.2.



Slika 3.3. Komplementarni ciljevi dizajna pilotske kabine

Izvor: modificirano prema Harris, D., 2004. [2]

3.4 Dizajniranje prema stresorima

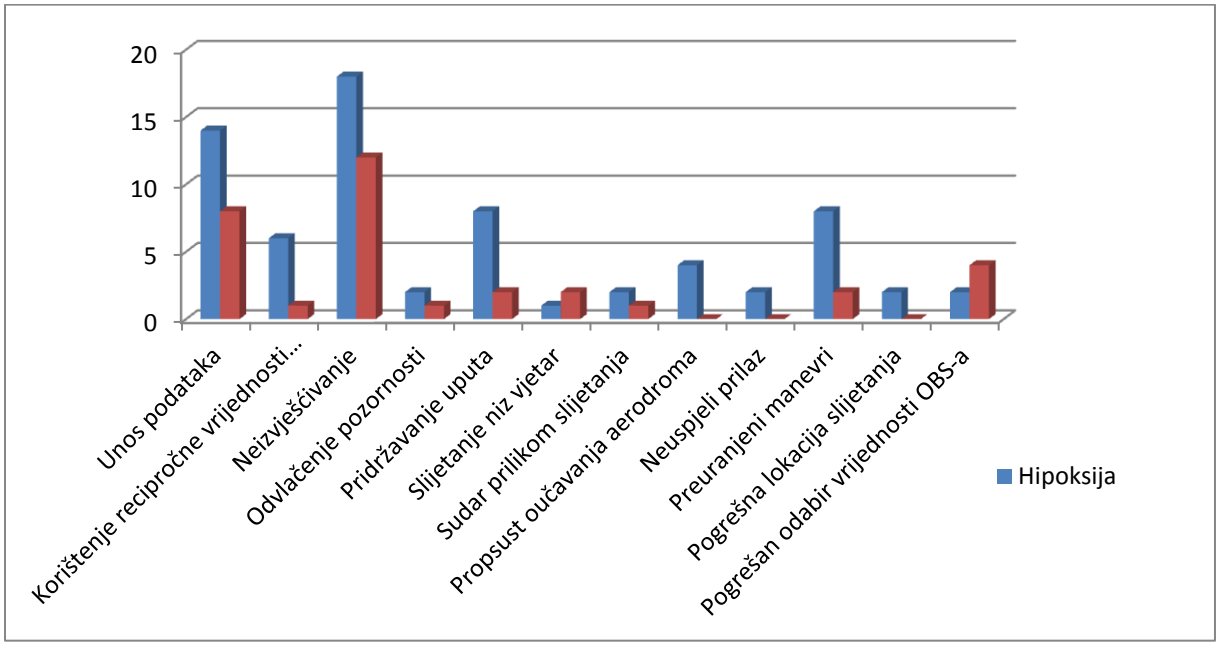
U ovom podnaslovu daju se preporuke izmjerenih veličina utjecajnih čimbenika HF-a koji će poslužiti kao generalne smjernice za dizajn pilotske kabine.

3.4.1 Preporuke atmosferske okoline

Za prikazivanje atmosferskog stanja u kabini primjereno se koristiti termin "visina kabine" h_k koja neovisno o stvarnoj visini zrakoplova ukazuje na tlak zraka u ovisnosti o dogovorenom tlaku P standardne atmosfere srednje razine mora MSL (*engl. Mean Sea Level)*. Standardni tlak P_{MSL} iznosi 1013,25 hPa što je ekvivalent 760 mmHg ili 29,92. inča živinog stupca. Tijekom leta dolazi do fluktuacija vrijednosti tlaka unutar kabine čije vrijednosti variraju ovisno o režimu leta, pa tako prilikom penjanja kabinski tlak otpada odnosno kabinska visina raste. Prema regulaciji Part-25.841a, taj tlak u kabini zrakoplova ne bi trebao biti niži od tlaka koji vlada na 8.000 ft (2.600 m) srednje razine mora, neki autori predlažu druge granične vrijednosti. Do vidljivog odstupanja od normalnih kognitivnih funkcija pilota može doći i tek nakon 10.000 ft (3.300 m). Veća nelagoda unutarnjeg uha može se javiti kada je promjena kabinske

visine v_V veća od 5.000 ft/min (1.600 m/min). Ekstremne situacije predstavljaju dekompresije kabine čija kabinska visina može u samo 2 sekunde pasti s 8.000 ft na 40.000 ft (13.100 m), a koje mogu izazvati nesvijest nakon samo 20 sekundi. Stopa poniranja zrakoplova v_V u normalnim uvjetima ne prelazi vrijednosti više od 300 ft/min tako da zrakoplov svojim elevacijskim manevrima penjanja i poniranja nije u mogućnosti postići tako snažne kabinske fluktuacije visine. Do dekompresije dolazi isključivo zbog rupture ili drugih oštećenja prešuriziranih kabina zrakoplova.

Kao prateća pojava dekompresije je hipoksija nastala zbog nedostatka kisika u tkivu organizma. Najosjetljiviji dijelovi zahvaćeni hipoksijom su moždano i živčano tkivo. Iako na mozak otpada samo udio od 2% tjelesne mase ljudskog organizma, on uzima gotovo 1/5 dostupnog udisanog kisika. Opasnost hipoksije nalazi se u tome što nastupa iznenadno s naznakama kao što su umor, poteškoće koncentracije, te ubrzanog i dubokog disanja koje može dovesti do hiperventilacije. Kada ona nastupi dolazi do izbacivanja prekomjerne količine ugljikovog dioksida, te tako uzrokuje lošiju izvedbu radnog zadatka kao što je vidljivo na grafu 3.1:



Graf 3.1. Ukupan broj proceduralnih pogrešaka ispitivanja

Izvor: Nethus, T. E. et al.,1997. [20]

Rezultati iz priloženog grafa dobiveni su mjerenjima na istražnom simulatoru generalne avijacije BGARS (*engl. Basic General Aviation Research Simulator*). Metodologija mjerenja zasniva se na uzorku od 17 muških i 3 ženska pilota podijeljenih u dvije kontrolne grupe u kojima je simulirano izvođenje pilotskog zadatka na različitim kabinskim visinama. Nakon mjerenja osim utvrđenih fizioloških razlika između sudionika testiranja, utvrđeno je i znatno povećanje broja pogrešaka u 12 mjerenih kategorija [20].

Atmosferski sastav plinova propisan je regulacijom Part-25.831 i Part-25.832 koji navode sljedeće:

Koncentracija ugljikovog monoksida u omjeru zraka ne smije biti veća od 1/20.000. Smatra se da je svaki veći udio ugljikovog monoksida štetan za zdravlje. Isto tako koncentracija ugljikovog dioksida ne smije biti veća od 0,5% u odnosu na ukupnu koncentraciju zraka bez obzira dali se radi o letačkoj posadi ili putnicima. Do vrlo snažnih glavobolja i nesvjestice dolazi uslijed trosatnog izlaganja omjerima 1/1.000 ugljikovog dioksida, a narkotičko djelovanje nastupa kada je omjer tog plina iznosi oko 5%: Takva koncentracija izaziva smetnje kod vida i sluha, nadalje vrijednosti iznad 7% izazivaju smrt. Omjer štetnog ozona u zraku na razini leta FL (*engl. Flight Level*) iznad FL 320, u bilo kojem trenutku ne smije biti veći od $0{,}25/10^6$, a vrijednosti ozona iznad FL 270 ne smiju prelaziti omjer od $0{,}1/10^6$. Ozon je kao i ugljikov dioksid prirodan plin. Pojavljuje se već na visinama od 40.000 ft (13.100 m), a koncentracija se povećava s visinom. Na visinama od 60.000 ft na kojima je krstario nekadašnji Concorde, koncentracija ozona iznosi otprilike $4/10^6$. Ozon kao takav djeluje iritirajuće na oči i prouzrokuje smetnje respiratornog sustava [21].

Osim ovih, različiti plinovi se mogu pojaviti u atmosferi pilotske kabine koji su iritirajućeg, narkotičkog, otrovnog ili nekog drugog utjecaja. Navedenim regulacijama koncentracije takvih plinova nisu točno specificirane, uz ovo navodi se dotok svježeg zraka $\dot{m}_z$ koji mora najmanje iznositi 0,25 kg/min. Ovime bi se osigurala kvalitetna ventilacija i smanjila vjerojatnost povećanja štetne koncentracije i nepoželjnih plinova [2].

3.4.2 Preporuke za buku

Ljudski organ sluha zvučni pritisak interpretira kao jačinu zvuka, a različitu frekvenciju zvučnih valova kao različiti ton. Zvukovi viših frekvencija interpretiraju se kao visoki tonovi, a zvukovi niskih frekvencija interpretiraju se kao niski tonovi. Osjetljivost na tonove mijenja se ovisno o dobi čovjeka, a prosječna mlada osoba čuje tonove u rasponu od 16 do 20.000 Hz. Najmanja promjena zvučnog pritiska koju ljudsko uho može zamijetiti iznosi 20 μPa, ali također organ sluha uspješno interpretira podražaje koji su i preko milijun puta veći. Radi praktičnije skale raspona zvukova uvedena je skala decibela (dB) s logaritamskim jedinicama čija formula (2) glasi sljedeće:

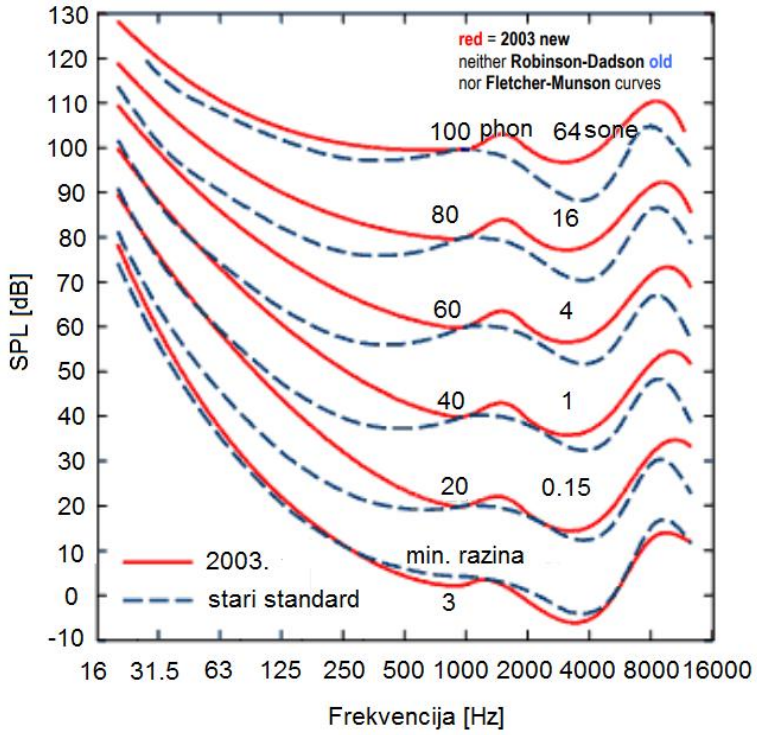
$$\mathrm{SPL}_{[\mathrm{dB(A)}]} = 20 \log 10 \text{ x } \mathrm{P_x} / \mathrm{P_0} \qquad (2)$$

SPL (engl. *Sound Pressure Level*) predstavlja razinu zvučnog pritiska u dB, P_x je zvučni pritisak u μPa, a P_0 je referentna međunarodno dogovorena vrijednost od 20μPa.

Vrijednosti najmanjeg perceptivnog zvučnog pritiska tako poprima vrijednost od 0 dB. Druga vrijednost zvučnog tlaka je granica boli koja iznosi oko 120 dB(A). Međutim postoje vrijednosti intenziteta i frekvencije na kojima ljudski slušni organ osjetljiviji. Dominantna osjetljivost uha nalazi se u većem ili manjem frekvencijskom rasponu zvuka od 2 kHz do 5 kHz. Razlog tome može biti taj jer je većina izgovorenih suglasnika u području visoke frekvencije pogotovo kada je riječ o zubnicima. Drugi autori sugeriraju raspon kritične frekvencije zvuka u domeni od 600 Hz do 4 kHz [2].

Kako bi svi zvukovi bili jasno interpretirani moraju se kretati u tim graničnim rasponima. Kada se govori o domeni osjetljivosti, neki zvukovi interpretiraju se bolje od drugih odnosno za njih se kaže da su glasniji. Tako primjerice zvuk od 80 dB(A) i frekvencije 100 Hz nije isto čujan kao zvuk od 80 dB(A) i frekvencije 3.000 Hz. Glasnoća ovisi o jakosti zvuka, ali i o osjetljivosti uha za određenu frekvenciju. Glasnoća se izražava preko dva parametra, jedan je fon, a drugi son. Fon predstavlja razinu glasnoće koja je dogovoreno jednaka razini jakosti zvuka u dB(A) za zvuk frekvencije 1.000 Hz u cijelom području od granice čujnosti do granice bola. Son je jedinica za glasnoću, a ona proizlazi iz pravila da je intenzitet zvuka potrebno povećati za 10 dB(A) kako bi se percipirana glasnoća dvostruko povećala. Linije iste razine glasnoće nazivaju se izofone, grafički prikazane na tzv. "fon" krivulji ilustrirane

grafom 3.2. Isprekidana linija u grafu označava prag čujnosti i ona je također krivulja iste glasnoće. Kako se radi o subjektivnom doživljaju glasnoće standardna referentna vrijednost je ton od 1.000 Hz i 40 dB(A) predstavlja vrijednost jednog sona na temelju koje se mjeri glasnoća za ostali spektar frekvencija.



Graf 3.2. Čujna domena s pripadajućim izofonama

Izvor: Acoustics International Organization for Standardization, 2003. [22]

Za mjerenje buke koriste se instrumenti s ugrađenim: elektrodinamičkim, elektrostatičkim, piezoelektričkim pretvaračem. Prag čujnosti ispitanika može se izmjeriti audiometrom. Korištenjem ovog dijagnostičkog aparata moguće je utvrditi nepravilnosti čujnog spektra, te stupanj oštećenja sluha. Najčešće mjerene vrijednosti buke su [23]:

- Osnovna razina buke (L_{95})
- Prosječna razina buke (L_{50})
- Ekvivalentna razina kontinuirane buke (L_{eq})
- Najviša razina buke (L_1) koja je standardizirana na vrijeme odjeka 0,5sek

Osnovna razina buke L_{95} je razina buke koja je prijeđena u 95% vremena odnosno ako je L_{95} = 60 dB(A), znači da je razina 60 dB dosegnuta i premašena u trajanju od 95% vremena.

Ekvivalentna razina kontinuirane buke L_{eq} izražava prosječnu razinu energije zvuka u određenom vremenskom periodu odnosno ona predstavlja razinu stalne buke koja bi na čovjeka jednako djelovala kao promatrana promjenjiva buka istog vremena trajanja [5].

Prema Pravilniku za rad, ovisno o vrsti djelatnosti definirane su dopuštene granične vrijednosti ekvivalentne razine buke prikazane tablicom 3.1.

Tablica 3.1. Dopuštene vrijednosti ekvivalentne razine buke na radnom mjestu

Opis posla	L_{eq} dB(A)
Rad vezan uz veliku odgovornost, složeni poslovi	35
Poslovi visoke razine koncentracije ili precizne psihomotorike	40
Rad koji zahtjeva često govorno komuniciranje	45
Lakši mentalni ili fizički rad koji zahtjeva pozornost i koncentraciju	65

Izvor: Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi, 2004. [23]

Druga važna vrijednost je količina apsorbirane buke tzv. doza *D*, kojom se izražava vremenska izloženost određene razine buke, a služi za definiciju maksimalne dozvoljene dnevne akumulacije buke.

Mjerodavna dnevna doza buke sugerirana je prema standardima Europske unije i preporukama Nacionalnog instituta za profesionalnu sigurnost i zdravlje prometnih sudionika u SAD-u skraćeno NIOSH (engl. *National Institute for Occupational Safety and Health*), te prema OSHA-i (engl. *Occupational Safety and Health Administration*). Prema NIOSH-u smatra se da je 100% dnevne doze ekvivalentna razina buke od 85 dB(A) tokom 8 satnog vremenskog perioda, a prema OSHA-i kriterij 100% dnevne doze ekvivalentna je razina buke od 90 dB(A) tijekom 8 satnog trajanja izloženosti. Ostale kombinirane vrijednosti dnevne doze prikazane su tablicom 3.2 [24, 25].

Tablica 3.2. Kombinacija razine izloženosti i maksimalnog vremena trajanja prema NIOSH-u

	Vrijeme trajanja, T				Vrijeme trajanja, T		
Razina buke L_{eq} (dBA)	Sati	Minute	Sekunde	Razina buke L_{eq} dB(A)	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	-	-	28
88	4	-	-	114	-	-	35
89	3	10	-	115	-	-	45
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	-	47	37	121	-	-	7
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: U.S. Department of health and human services, 1998. [24]

Pozadinska buka je neizostavni element kada se govori o komunikaciji unutar pilotske kabine između posade, ali i komunikaciji pilota sa zrakoplovom. Radno okruženje pilota odgovara okruženju malog ureda te za njega vrijede iste granične vrijednosti zvuka. U radnom okruženju postoje pozadinski zvukovi čije se granične vrijednosti za male urede kreću oko 55 dB(A), a pri čemu normalna komunikacija

postaje teža. Kada trenutačna razina zvučnog pritiska SPL prekorači vrijednost od 63 dB(A), neizbježan je značajan napor i podizanje glasa tijekom komuniciranja [26].

Slično kao u interpersonalnoj komunikaciji, potrebna je i dobra komunikacija sa strojem odnosno zrakoplovnim sustavima. Zvučna upozorenja tako trebaju biti najmanje 5 dB viša od pozadinske buke kako bi bila čujna, ali u zrakoplovstvu audio upozorenja moraju biti najmanje 15 dB(A) viša od pozadinske buke. Preferira se korištenje osjetljivijih tonova u čujnom spektru [26].

Svrha istraživanja buke u području ergonomije za sobom povlači niz beneficija za sigurnost u zračnom prometu. Definiranje područja čujnosti nužno je ne samo kako bi se utvrdile razine zvuka koje potencijalno mogu postati stresor, nego kako bi se ista saznanja koristila u ostalim zrakoplovnim sustavima. Prema istraživanju J. Ivošević-a porastom akumulirane buke do 40% doze ne primjećuje se porast broja odstupanja od zadanih kriterija, ali se primjećuje značajniji porast odstupanja kod izvođenja zadataka većih razina složenosti [27].

3.4.3 Preporuke za vibracije

Vibracije posjeduju vrlo slične karakteristike zvuku. Mogu biti izazvane zvučnim izvorom, ali i obrnuto zvuk može nastati uslijed vibracija. Za opis djelovanja potrebno je razmotriti sljedeće:

- Točku tjelesnog kontakta
- Smjer djelovanja
- Frekvenciju oscilacija
- Ubrzanja oscilacija
- Vrijeme izloženosti
- Rezonancu
- Prigušivanje

U frekvencijskom spektru zastupljene su vibracije od 1 do 230 Hz. Već ranije spomenuta turbulencija nalazi se na početku ljestvice s frekvencijom od oko 4 Hz, normalan rad helikoptera izaziva vibracije u rasponu od 15-20 Hz, razni visoko opterećeni manevri borbenih zrakoplova izazivaju vibracije 8-20 Hz. Kod klipnih zrakoplova za vrijeme normalnog režima leta, radilica postiže otprilike 2.400-3.600

okr/min što će rezultirati vibracijom od oko 40-60 Hz. Brzo rotirajuća turbina na mlaznim zrakoplovima čija rotacija iznosi i preko 30.000 okr/min izazvat će frekvencije od oko 100-230 Hz ovisno o broju motora, broju lopatica usisnika ili krakova elise ako se radi o turbo-elisnom zrakoplovu [2].

Kao amplitudna mjera vibracijskog opterećenja koristi se izraz gravitacijske akceleracije *g*. Vrijednost jedinice gravitacijske akceleracije iznosi aproksimativno 9,81 m/s^2. Tipične vrijednosti akceleracije vibracija u zrakoplovu kreću se između 0,005 do 0,055g, u usporedbi s automobilom vibracijska ubrzanja kreću se u rasponu 0,065 do 0,075g [2].

Vibracije se prenose kroz tjelesne kontaktne točke od kojih su s ergonomskog stajališta najznačajnije bedra, stopala i ruke. U zrakoplovstvu to su dodirne površine ljudskog tijela u sjedećem položaju. Većina frekvencija kojima su dijelovi tijela izloženi nemaju nikakvog štetnog utjecaja, a tu rezonanca ima veliku ulogu. Svaki sustav posjeduje svoju prirodnu frekvenciju vibracije izazvanu nakon stimulacije, a tako će i različiti dijelovi tijela rezonirati različitom frekvencijom kada na njih djeluje prisilni vibracijski stimulans. Ključna rezonantna frekvencija je ona koja djelovanjem stimulansa oscilira najvišom amplitudom, pa se kaže da objekt ili dio tijela pod tom frekvencijom rezonira. Osim rezonance pojedini dijelovi tijela prigušuju amplitude vibracija i to već vibracijama od 30 Hz, tako da će se primjerice vibracije od 35 Hz u rukama prigušiti za otprilike jednu polovinu amplitude [5].

Prirodna ukupna frekvencija cijelog tijela iznosi oko 5 Hz. Kako su pojedini dijelovi tijela različite gustoće i oblika različito će rezonirati kao prikazano tablicom 3.3.

Tablica 3.3 Rezonanca različitih tjelesnih segmenata

Frekvencija vibracije	Rezonanca u tjelesnim segmentima
3-4 Hz	Vratni kralješci
3-6 Hz	Trbuh
4 Hz	Lumbalni kralješci
4-5 Hz	Ruke
4-6 Hz	Srce
5 Hz	Ramena
5-20 Hz	Glava
10-18 Hz	Mokraćni mjehur
20-70 Hz	Očna jabučica
100-200 Hz	Donja vilica

Izvor: modificirano prema Harris, D., 2004. [2], Kroemer, K. H. E. et al., 1997. [5]

Osim štetnog mehaničkog djelovanja koje utječe na kvalitetu izvedbe radnog zadatka, vibracije u vrlo maloj mjeri utječu na kognitivne sposobnosti pa čak i stimuliraju u određenoj mjeri budnost pilota. Ipak takva vibracijska okolina nije preporučljiva jer se dugotrajnim izlaganjem stvara psihički zamor koji može produljiti vrijeme reakcije i do 4 puta, što je pokazalo istraživanje u frekvencijskoj domeni od 1-12 Hz s vibracijskim ubrzanjem od 0,2 g u trajanju od 2,5h. Druga ispitivanja dovode i do drugačijih zaključaka pa se tako za razliku od prakticirane filozofije izbjegavanja svih vrsta vibracija, preporučuju vibracije u domeni od 3,5-6 Hz kako bi se povećala budnost pilota [2, 28].

Na suzbijanje vibracija u zrakoplovu vrlo malo se može utjecati, ali ipak postoje određene mjere zaštite od vibracija. Kao najreprezentativnija mjera upravo je dizajniranje pilotskog sjedala na suzbijanje vibracija i primjena novih elastičnih materijala između spojnih elemenata.

3.4.4 Preporuke za termalnu ugodu

Izmjerena temperatura zraka relativno dobar pokazatelj ugode, a praksa je pokazala utjecaj većeg broja čimbenika na termalnu ugodu. Za primjer se može uzeti upravo pilotska kabina na čiju temperaturu okolnih površina utječe "nezgodna" radijativna toplina od sunca koja prodire kroz vjetrobransko staklo u unutrašnjost kabine. Jedno od rješenja bilo bi zatamnjenje vjetrobranskog stakla, ali to rješenje dolazi u konflikt s EASA (*engl. European Aviation Safety Agency*) regulacijom Part-

25.773 koja propisuje da letačka posada mora imati dovoljno jasan vanjski pogled bez distorrzija tijekom izvođenja svih manevara, faza leta i vremenskih uvjeta [29].

Istraživanja pokazuju da se udobnost ne može postići ako jedan od ova dva navedena termalna parametra odstupaju značajno jedan od drugoga, pa se uvodi parametar efektivne temperature t_{ef} iskazan formulom:

$$t_{ef} = \frac{t_A + t_S}{2} \qquad (3)$$

U formuli (3) t_A označava prosječnu temperaturu zraka, a t_S označava prosječnu temperaturu okolnih površina. Prema preporukama Kroemer-a i Granjean-a, temperaturna razlika okolnih površina ne bi trebala biti veća od 2-3 °C uz predviđenu temperaturu zraka za umni sjedeći i laki fizički rad na otprilike 20°C [5].

Ako relativna vlažnost iznosi 30%, zrak toplije okoline imat će više vode nego zrak hladnije okoline iste relativne vlažnosti. Za generalnu udobnost okoline prilikom obavljanja letačkog zadatka pogodna je okolina efektivne temperature od 25°C relativne vlažnosti zraka od 22 do 60% u kojoj će posada biti lagano odjevena. Nelagoda će se javiti kada klimatsko stanje pilotske kabine odstupa od ovih vrijednosti, a efekti se ogledaju u sljedećem. Kada relativna vlažnost zraka padne ispod 22% tada će pilot osjećati hladnoću, a kada relativna vlažnost pilotskog ambijenta iznosi više od 60% tada će subjektivni doživljaj okoline pilota biti prekomjerna toplina kabine, usprkos tome što temperatura kabine i dalje iznosi 25°C [2].

Relativna vlažnost φ (%) je omjer između apsolutne vlage a_{ap}, koju sadrži zrak i specifične vlažnosti a_{spec}, koju zrak može primiti kod određene temperature. Preporučene vrijednosti apsolutno dopuštenog minimuma vlažnosti zraka pilotske kabine prema FAA priručniku za dizajn, definira minimum vlažnosti od 15% kako bi se izbjegla iritacija kože i osigurala dovoljna hidratacija nosne sluznice i očiju. Osim toga relativna vlažnost niti u kojem trenutku ne bi trebala iznositi 70% ili više. Za Normalan rad sugerira se relativna vlažnost od 45% [2].

U uvodnom dijelu spomenuto je kako različite vrijednosti temperature i relativne vlažnosti mogu rezultirati istim temperaturnim efektima. Neke od tih kombinacija su:

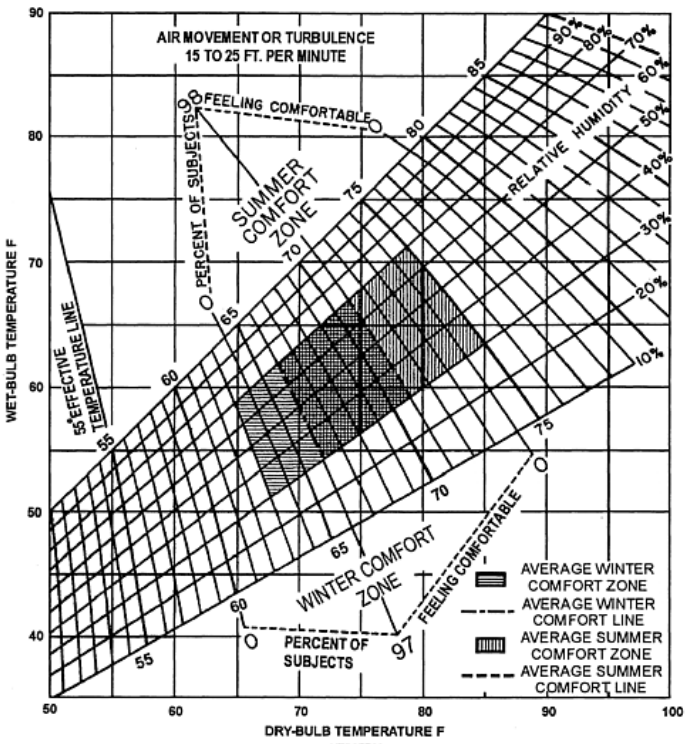
- Relativna vlažnost 70% i efektivna temperatura 20°C
- Relativna vlažnost 50% i efektivna temperatura 20.5°C
- Relativna vlažnost 30% i efektivna temperatura 21°C

Iz ovog primjera se vidi da relativna vlažnost ima vrlo mali utjecaj na termalnu ugodu, a granica neugode se nalazi kada se fluktuacije relativne vlažnosti ne kreću između 30-70%.

Visoke razine relativne vlažnosti izazivaju osjećaj sparnosti, te izazivaju tromost i pospanost. Primjer kombinacije neugodnog klimatskog para prikazan je sljedeće:

- Relativna vlažnost 80% i efektivna temperatura 18°C
- Relativna vlažnost 60% i efektivna temperatura 24°C

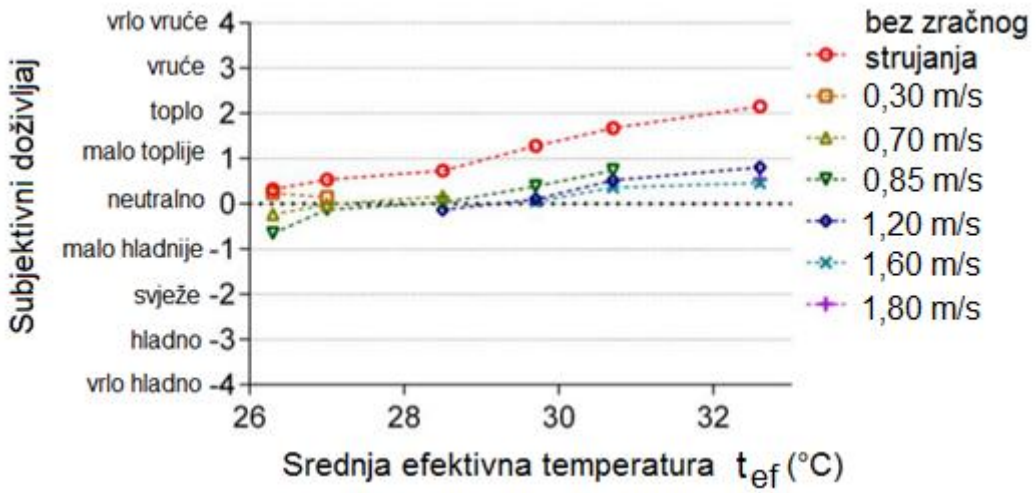
Područje ugode prikazano je izraženo grafom 3.3.



Graf 3.3. Zona ugode u ovisnosti temperature i vlage

Izvor: Carrier, W. H., 1908. [30]

Četvrti čimbenik ugode je kretanje zraka, koje također izvan graničnih vrijednosti može biti presudan čimbenik ugode ili neugode. Strujanje zraka utječe na promjenu efektivne temperature koja opada povećanjem strujanja zračne mase prikazano na grafu 3.4.



Graf 3.4 Opadanje efektivne temperature povećanjem brzine kretanja zraka

Izvor: Arens, E. (PI) et al., 2013 [31]

Kretanje zraka pojačava isparavanje, a razlika u efektivnoj temperaturi ovisit će o relativnoj vlažnosti zraka. Kod ovog ispitivanja jedna od kuglica termometra prekrivena je vlažnom krpicom kako bi se simulirala 100% relativna vlažnost zraka u odnosu na suhi zrak. Očitanje s termometra prekrivenog krpicom zove se "vlažna temperatura", a ispitivanja pokazuju kako su ta očitanja uvijek niža od suhe temperature. Kada se uz ovo još uključi čimbenik strujanja zraka, temperatura vlažnog zraka će naglo opadati povećanjem brzine kretanja zračne mase što će rezultirati smanjenom efektivnom temperaturom. Neke od kombinacija kretanja zraka i temperature koje rezultiraju jednakom efektivnom temperaturom prikazane su u tablici 3.4.

Tablica 3.4 Kombinacija brzine strujanja zraka i temperature koje rezultiraju jednakom efektivnom temperaturom od 20°C

Strujanje zraka (m/s)	"Suha" temperatura (°C)	"Vlažna" temperatura (°C:100%φ)
0	20,0	20,3
0,5	21,0	21,3
1,0	22,0	22,2
1,5	22,8	23,0
2,0	23,5	23,8

Izvor: Kroemer, K. H. E. et al., 1997. [5]

Ovisno o aktivnostima kojima se čovjek bavi u radnom okruženju strujanje zraka različito utječe na ugodu. Za precizan rad i rad u sjedećem položaju (što odgovara opisu radnog okruženja pilota), predviđeno je strujanje zraka maksimalne brzine 0.2 m/s. Ugoda također ovisi o smjeru kretanja zraka pa su još važne i sljedeće preporuke: [5]

- Zračno strujanje s leđa neugodnije je nego strujanje zraka sprijeda
- Stopala i vrat su vrlo osjetljiva na propuh
- Strujanje hladnog zraka neugodnije je nego strujanje toplog

3.4.5 Preporuke za osvjetljenje

Za kvalitetno osvjetljenje potrebno je voditi brigu o: [32]

- Razini osvjetljenja (jačina svijetla) E_s
- Razini gustoće (svjetlosni tok) Φ_s
- Ograničenju zasljepljenja
- Smjeru svijetla (raspodjeli svijetla) i sjenama
- Spektralnom sastavu svijetla

Jedna od preporuka vezanih za osvjetljenje ambijenta pilotske kabine su vrijednosti razine osvjetljenja koje moraju biti u rasponu od 325 lx do 540 lx bijelog osvjetljenja, kako isti ne bi imao značajan utjecaj na noćno adaptirano oko. Drugi način na koji se osvjetljava pilotska kabina je svjetlosna manipulacija crvenim filterom koji često posluži kod ispunjavanja zrakoplovne dokumentacije. Prednost crvenog svijetla je da omogućava noćnu adaptaciju oka i pri većim razinama osvjetljenja.

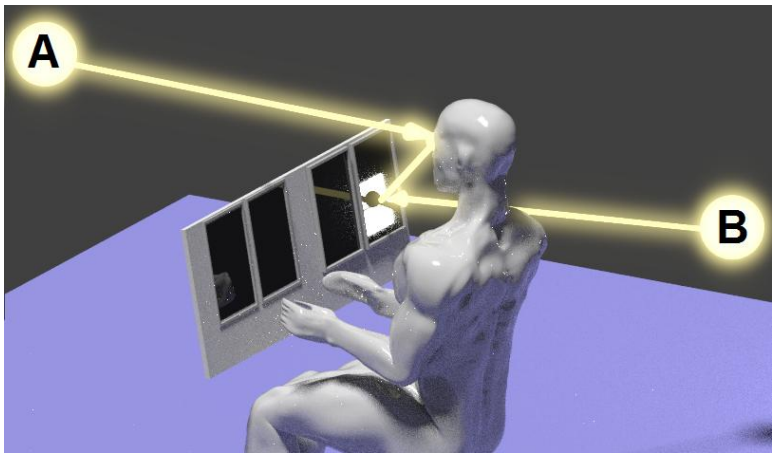
Veliki nedostatak takvog osvjetljenja je da značajno otežava raspoznavanje ostalih boja, a crvena praktički postaje nevidljiva, što otežava primjerice čitanje topografskih karti ili oznaka čija je valna duljina slična izvoru takvog osvjetljenja. Druga značajna vrijednost je svjetlosni tok Φ_s mjeren u lumenima. U praksi je važan jer ukazuje i na kut emitirajućeg snopa svjetlosti. Za primjer se može uzeti kut laserske zrake, takvo osvjetljenje neće biti korisno za osvjetljenje pilotske kabine zbog malog kuta emitiranja. Drugi element kvalitete osvjetljenja je svjetljivost ili luminancija L_s, izražava se kao količnik svjetlosne jakosti I_S (cd) i površine svjetlosne projekcije A (cm^2). Vrijednosti reflektiranih površina često se izražavaju luminacijom a, preferira se karakteristika difuznog osvjetljenja koje uzrokuje minimalne sjene.

U glavne vrste osvjetljenja koje izazivaju nelagodu ubrajaju se:

- Prejako osvjetljenje
- Bliještavilo (direktno ili indirektno)
- Vidljiva treperenja
- Veliki kontrasti
- Neujednačenost osvjetljenja

Razine osvjetljenja između 1.000 i 10.000 lx poželjna su za precizan rad sa sitnim objektima u kojem je potrebna visoka koncentracija za prepoznavanje sitnih sjena, a za normalan rad u uredima i radionicama dovoljno je oko 500 do 2.000 lx, što se opet ne može uzeti kao pravilo. Na iskazima nekih zaposlenika osvjetljenje od 400 lx je bolje. Iz ovoga se može zaključiti da postoje dodatni čimbenici koji će utjecati na ove vrijednosti. U usporedbi sa zahtjevima pilotske kabine ove razine osvjetljenja su zbog svoje filozofije tzv "tamnog i hladnog" ambijenta previsoke, te neće naći svoju primjenu u pilotskoj kabini. Manje osvjetljenje ponekad ima puno bolji učinak od jakog, jer jače svjetlo može intenzivirati pojedine nepravilne refleksije.

Postoje dvije vrste bliještanja koje otežavaju normalan rad, a to su direktno i indirektno bliještanje vidljivo na slici 3.3. Pod direktnim bliještanjem smatra se izravan pogled u izvor svjetla primjerice sunca. Indirektno bliještanje nastaje refleksijom direktnog svijetla. Ponekad u zrakoplovu mogu istovremeno biti prisutne obje vrste bliještanja. Blještavilo se izbjegava površinama koje izazivaju difuzno svjetlo koje ne reflektira svjetlo pod upadnim kutem neko ravnomjerno disperzira pod različitim kutevima. Optimalna refleksija i disperzija nikada nisu 100%.



Slika 3.4. Direktno i indirektno bliještanje

Izvor: modificirano prema Health & Safety Executive, 1987. [33]

Vidljiva treperenja su nepoželjna jer izazivaju vidni umor i neudobnost. Ovaj čimbenik se najčešće povezuje s hladnim rasvjetnim tijelima poput fluorescentnih cijevi. U pilotskoj kabini izvor iritantnog treperenja mogu biti sami VDT (*engl. Video Display Terminal*) operater kao što su to prikaznici PFD i ND.

Važno je spomenuti kontraste. Jako direktno osvjetljenje stvara oštre sjene, a time i jake razlike između svijetle i tamne površine. Nedostaci jakog kontrasta nalaze se u smanjenju vidne udobnosti, vidljivosti, te izaziva umor. Primjer neodgovarajućeg kontrasta za vrijeme leta prikazan je slikom 3.4.

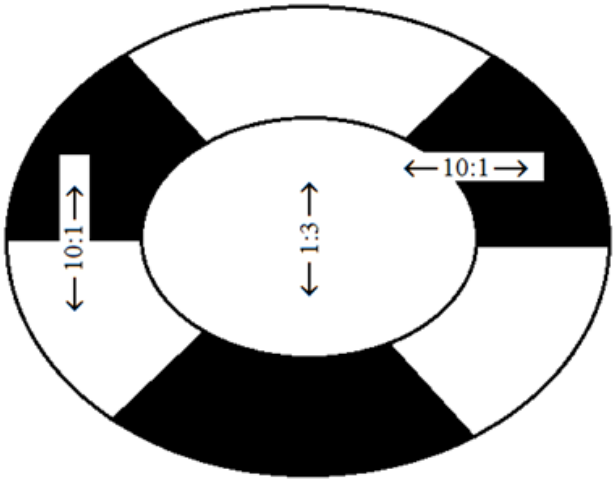
Slika 3.5. Jak kontrast i izravno bliještanje za vrijeme leta

Izvor: slikao Igor Matić, 2016.

Vrijednost kontrasta izražava se u omjerima svijetle i tamne površine, a čije se vrijednosti razlikuju ovisno o izravnom i perifernom vidnom području, dobi, količini bliještanja i intenzitetu općeg osvjetljenja ambijenta. Razlikuju se dvije vrste kontrasta:

- Fotometrijski
- Fiziološki

Fotometrijski kontrast *K* predstavlja razliku gustoće svjetlosti od izravnog i neizravnog vidnog polja i računa se prema formulama (4) i (5). Fiziološki kontrast ovisi o subjektivnom doživljaju promatrača i često je izravno vezan uz trenutnu akomodaciju oka na intenzitet osvjetljenja. Preporuka prihvatljivog fotometrijskog kontrasta prikazana je slikom 3.5 gdje se u središnjem dijelu polja preferira omjer svijetle i tamne površine 3:1, a taj omjer u perifernom dijelu iznosi 10:1.



$$K = \frac{\Phi_{ob} - \Phi_{ok}}{\Phi_{ok}} \quad (4)$$

ili

$$K = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{\Phi_1 - \Phi_2} \quad (5)$$

Slika 3.6. Prihvatljivi omjer kontrasta osvjetljenja u središnjem i perifernom vidnom polju

Izvor:modificirano prema Kroemer, K. H. E. et al. 1997.[5], Mikšić, D., 1997. [32]

K = kontrast; Φ_{ob} = svjetlosna gustoća (luminacija) objekata;

Φ_{ok} = svjetlosna gustoća (luminacija) okoline,

Φ_1 i Φ_2 = svjetlosne gustoće koje su u kontrastu

Kao posljedica nepravilnog kontrasta i utjecaja bliještanja javlja se zaslijepljenost. Ona se može podijeliti na fiziološku i psihološku zaslijeplenost, gdje za razliku od kontrasta fiziološka zaslijepljenost nije vezana uz subjektivni osjećaj nego uz očni umor, a psihološkom zaslijepljenosti smatra se subjektivni doživljaj uzrokovan objektivnom smetnjom [5].

Kada je svjetlost izvora toliko snažna da više nije moguća prilagodba oka, tada se zaslijepljenost uzrokovana takvim svjetlom naziva potpunom. Osim potpune postoje još relativna, adaptacijska, direktna i refleksna zaslijepljenost. Adaptacijska je prolazna zaslijepljenost dok se oko ne privikne na trenutnu razinu svjetlosti. Relativnom se smatra ona zasljepljnost koja je uzrokovana zbog jakih kontrasta u vidnom polju. Statička je uvjetovana vrstom osvjetljenja, a nastaje zbog disperzije svjetla na različite medije oka. Kada se govori o direktnoj i refleksnoj zaslijepljenosti ona ovisi o spomenutom direktnom ili indirektnom prekomjernom osvjetljenju (bliještanju). Naime direktna se zaslijepljenost javlja kada svjetlosna zraka nekog izvora zatvara manji kut od 30° s horizontalnom osi oka, a refleksna je uzrokovana zbog jakih refleksija od okolnih površina koja kao takva ometa i zasljepljuje [32].

Osvjetljenje je zahtjevan utjecajni čimbenik zbog količine informacija koje čovjek dobije preko vidnog organa. Cilj je bilo ukazati na važnost osvjetljenja kao potencijalnog stresnog čimbenika koji bi bez generalnih smjernica dodatno opteretio izvedbu letnog zadatka.

3.4.6 Preporuke za boje

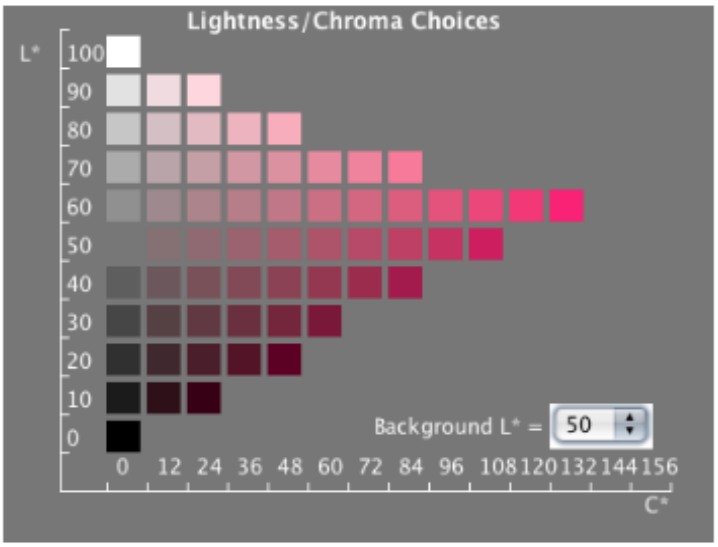
Boje koje se koriste dizajniraju se prema spoznatim psihološkim efektima koje izazivaju. Pošto svaka boja izaziva nekakav efekt smjernice za dizajn mogu se podijeliti na:

- Smjernice vezane za razlikovanje boja
- Smjernice vezane za osvjetljenje kontrasta
- Smjernice vezane uz generalni dizajn boja

Specifične preporuke i smjernice razlikovanja boja potrebne su kod grupiranja i označavanja više elemenata u sustavu. Dobra raspoznatljivost boja uspostavljena je kada je korisnik u mogućnosti razlikovati dvije različite boje, a loša ako ih ne

raspoznaje. Glavna preporuka kod korištenja grafičkih elemenata je da se ne koristi više od 6 različitih boja na jednom sučelju. Kada se govori o utjecaju boja na kognitivne funkcije, količina različitih boja ovisit će o namjeni kao primjerice kod vizualne usporedbe terena na karti gdje se koristi veća lepeza nijansi boja. Slično kao i kod osvjetljenja minimalni omjer kontrasta boje i pozadine mora biti 3:1.

Vrijednosti intenziteta boje moraju biti prikladnog omjera zasićenja ili intenziteta boje sa tamnoćom. Važno je pri tome napomenuti kako se različite boje jednakih vrijednosti zasićenja i tamnoće prirodno razlikuju. Za primjer se mogu uzeti žuta i ljubičasta koje su iako istih vrijednosti izazivaju različitu svjetlinu, dok su crvena i zelena približno iste svjetline u degradacijskom spektru boja. Za dizajniranje prema bojama može poslužiti degradacijska paleta sa slike 3.6.



Slika 3.7. Primjer degradacije boje

Izvor: National Aeronautics and Space Administration, 2017. [16]

Na vertikalnoj osi nalaze se vrijednosti tamnoće izražene *L** varijablom, a na horizontalnoj osi nalaze se vrijednosti zasićenosti boje *C*.* Odabir mora biti takav da se izazove poželjni kontrast između pozadine i željene oznake. Ako se uzme da je vrijednost pozadine *L**=50, tada se za kontrastnu vrijednost uzimaju boje tamnoće *L** = 20 ili niže. Isto vrijedi kada željeni objekt treba biti svjetliji od pozadine za što su primjerenije više vrijednosti svjetline npr. *L**=70 ili više za pozadinsku vrijednost *L** =50. Dakle potrebno je odabrati boju pozadine s kojom sve ostale boje ostvaruju

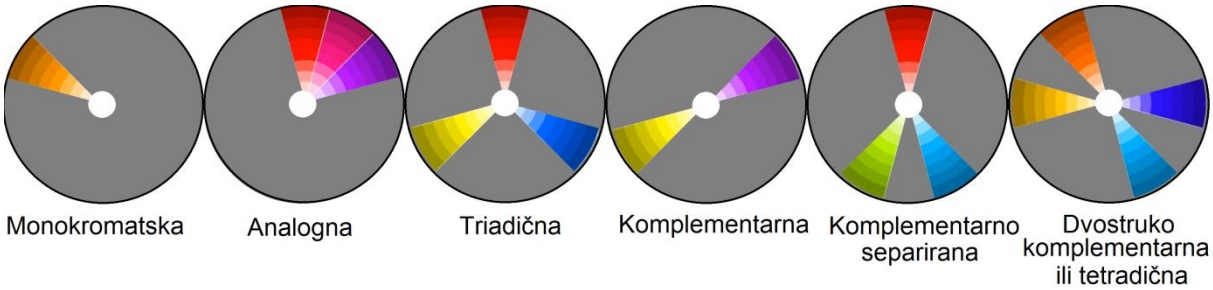
dobar kontrast. Još jedna preporuka je da se ne koristi kodiranje boja na sitnim grafičkim elementima.

Razlikovanje boja puno je bolje na većim simbolima i fontovima. Pozadinska boja mora biti takva da ne izaziva optičku iluziju koja može dovesti do pogreške očitavanja kao prikazano na slici 3.7.

Slika 3.8. Optički utjecaj pozadine sučelja

Izvor: National Aeronautics and Space Administration, 2017. [16]

Vezano uz generalni dizajn boja estetika također ima ulogu. Odabir kombinacije boja u pilotskoj kabini mora biti takva da izaziva psihološku ugodu. Da bi se to ostvarilo mogu se primijeniti neke od kombinacija s koluta boja. Najpoznatije estetične kombinacije prikazane su slikom 3.8.



Slika 3.9. Estetične kombinacije boja; modificirano prema

Izvor: modificirano prema Tiger Color; 2000. [34]

Sve ove kombinacije imaju svoje prednosti i nedostatke npr. analogna harmonijska kombinacija je poželjna jer je čovjeku prirodno prihvatljiva, ali može doći do pomanjkanja kontrasta, komplementarne kombinacije boje potrebno je izbjegavati za korištenje teksta, te ovisno o namjeni boje potrebno je balansirati njihov intenzitet i tamnoću.

Odabir prave boje i nije tako jednostavan zadatak kako se inicijalno dalo naslutiti. Kroz povijest preferirale su se različite boje. U počecima avijacije i kroz 2. Svj. rat

uglavnom se koristila crna boja pilotske kabine sa svijetlim oznakama instrumenata. Radi efektivnijeg kodiranja danas se koriste različite boje srednjeg intenziteta. Tipične boje koje prevladavaju u pilotskim kabinama današnjice su nijanse plavih, tirkiznih, zelenih i smeđih boja, ali zbog slabog ili srednjeg zasićenja boje se doživljavaju kao siva pozadina.

3.5 Preporuke za prikaznike

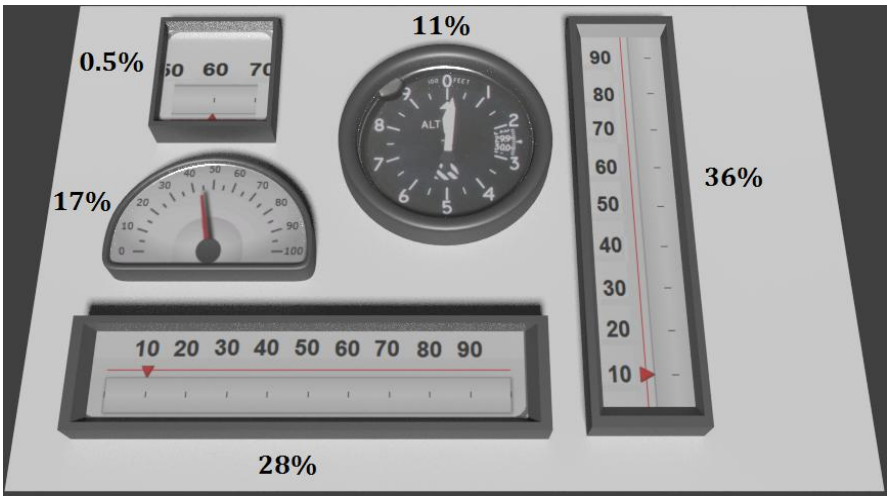
Sljedeći principi će se koristiti kako bi se smanjio broj pogrešaka očitavanja. Odabir prikaznika ovisit će o važnosti i dinamici informacije. Za praćenje nekog promjenjivog procesa gdje je potrebno uočiti amplitudu primjenjuje se pokretna kazaljka na nepomičnoj skali i prikaznik s pomičnom skalom, ali nedostatak drugog prikaznika je taj da se promjene vrlo teško uočavaju. Pokretna kazaljka privlači pažnju i pokazuje cijelo područje vrijednosti. Tipičan takav prikaznik u zrakoplovu je analogni brzinomjer. Tamo gdje nisu potrebni poželjno ih je izbjegavati jer zauzimaju više prostora od običnih brojčanih prikaznika u prozorčiću. Prikaznici u malom prozorčiću se u avijaciji mogu naći kod radiofrekvencijskih uređaja i na mjestima koja nisu podložna dinamičkim promjenama. Može se naslutiti da ponekad nisu potrebna precizna očitavanja, nego samo rasponi između donje i gornje granične vrijednosti. U ovom slučaju poželjna je pokretna kazaljka, čiji su rasponi označeni bojama radi lakše interpretacije informacije, kao što je to slučaj kod brzinomjera i nekih motorskih instrumenata. Preferencija prikaznika ovisno o tipu informacije prikazana je tablicom 3.5.

Tablica 3.5. Preferencija korištenja vrste prikaznika za pojedini slučaj

Vrsta slučaja	Preferirani format prikaza		
	Analogni prikaz		Digitalni prikaz
	Fiksna skala pokretna kazaljka	Fiksna kazaljka a pokretna skala	Prikaznik u prozorčiću
Za precizno očitavanje	×	×	✓
Za brzo očitavanje	✓	×	✓
Brze promjene vrijednosti	✓	×	×
Očitavanje stope promjene	✓	×	×
Očitavanje odstupanja od normalne vrijednosti	✓	×	×
Očitavanje uz nedostatak prostora	×	✓	✓
Za numeričko očitavanje	✓	×	✓

Izvor: Harris, D., 2004. [2]

Kako kod svakog instrumenta postoji kriva reakcija očitavanja, u zrakoplovstvu je potrebno primjenjivati instrumente kod kojih je točnost očitavanja najveća. Znanstvenik R. B. Sleight je 1948. g. izvršio ispitivanje nad 60 ispitanika s danim vremenom očitavanja svake vrste instrumenta od 0,12 sekundi. Rezultati su pokazali da su pojedine vrste prikaznih skala podložnije grešci očitavanja od drugih. Vrijednosti postotne pogreške očitavanja za pojedine vrste prikaznika prikazane su na slici 3.9.



Slika 3.10. Točnost očitavanja po vrstama skala

Izvor: modificirano prema Kroemer, K. H. E. et al., 1997. [5]

Nakon drugog svjetskog rata psiholog za avijaciju P. Fitts skupio je veću količinu informacija od iskusnih vojnih pilota, te je uz pomoć njih razvio osnovni T-model zrakoplovnih prikaznika koji se u zrakoplovstvu koristi i danas prikazan slikom 3.10.

Slika 3.11. T-model rasporeda prikaznika;

Izvor: modificirano prema Trollip, S. R. et al., 1991 [4]

Fitts-ov T-raspored instrumenata jedan je od prvih pokušaja primjene čimbenika HF-a na dizajn pilotske kabine. U centralnom dijelu na vrhu nalazi se prikaznik horizontalne situacije koji daje osnovni uvid u položaj zrakoplova u prostoru, a prema Fittsovom mišljenju najvažniji je pokazatelj u uvjetima loše vidljivosti. Lijevo od njega nalazi se brzinomjer koji je izuzetno važan za održavanje uzgona, a desno se nalazi

visinomjer. Dolje se nalazi prikaznik horizontalne situacije. Intuitivno se može zaključiti da je važnost pojedinog instrumenta veća što je dinamička promjena informacije učestalija.

3.5.1 Preporuke za prikaznike modernih zrakoplova

Svaki glass-cockpit dizajn mora dakle omogućiti pilotu treću razinu SA, a tipične smjernice za postizanje te krajnje razine su:

- Minimiziranje količine individualne pažnje – smanjiti raspršene i razbacane izvore informacija
- Potenciranje "top down" pristupa – omogućiti pilotu prezentaciju "šire slike" umjesto da je sam pokušava shvatiti
- Filtriranje informacija na zahtjev – u razdoblju jakog radnog opterećenja potrebno je pilotu osigurati osnovne skupine informacija
- Prikaz stope ili trenda informacija – svi ljudi su ograničeni u predviđanju buduće situacije, stoga su potrebni dodatni alati
- Prostorno informiranje – pružati pilotu potrebne informacije prostorne navigacije

Klasične predstavnike kompromisnog dizajna čini grupa prikaznika EFIS (*engl. Electronic Flight Instrument System*), u koji pripadaju prikaznik primarnih letnih informacija PFD (*engl. Primary Flight Display*), zatim prikaznik navigacijskih podataka ND (*engl. Navigation Display*) i integrirani prikaznik motorskih i sustavnih parametara EICAS (*engl. Engine Indicating and Crew Alerting System*). U dizajn tih digitalnih prikaznika smisleno je ukomponirano nekoliko instrumenata na jednom zaslonu prikazano slikom 3.11.

Slika 3.12. Integrirani prikaznici

PFD (lijevo), ND (sredina), EICAS (desno)

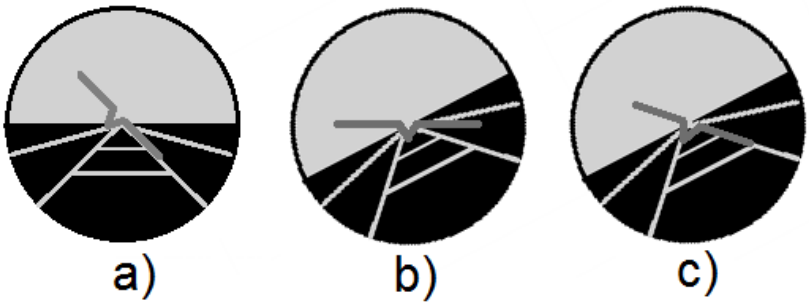
Izvor: modificirano prema Harris, D., 2004. [2]

Prikaznik PFD je integrirani prikaznik koji je adaptirao Fitts-ov T-raspored instrumenata.

3.5.2 Umjetni horizont

Prikaznik umjetnog horizonta AI (*engl. Attitude Indicator*) je bio predmetom mnogobrojnog istraživanja i najbolji je predstavnik problematike razvoja najboljeg dizajna. Vidljiv na slici 3.12 pojavljuje se u dvije prepoznatljive izvedbe i jednoj kombiniranoj prema autoru S. N. Roscoe. Te izvedbe su:

a) Zapadna "Outside looking in" izvedba
b) Istočna "Inside looking out" izvedba
c) Kombinirana "Frequency separated" izvedba



Slika 3.13. Izvedbe prikaznika umjetnog horizonta

Izvor: modificirano prema Harris, D., 2004. [2]

Iako je zapadni model najzastupljeniji u industriji pokazalo se da je vrlo nepraktičan i potiče gubitak svjesnosti položaja u odnosu na obzor. Instrument se sastoji od centralnog nepomičnog dijela koji predstavlja zrakoplov i pokretne pozadine koja prati poziciju stvarnog horizonta. Nedostatak zapadnog modela je što ne prati crtu stvarnog horizonta.

Prednosti istočnog modela očituju se u mentalnom modelu čovjeka, a preporuka je da se pomični dio prikaznika kreće u stranu u koju se izvrši manevarska komanda. Pomicanjem palice u desnu stranu centralni dio prikaznika zakreće se u desnu stranu što je potpuno ispravno za razliku od zapadnog modela prikaznika u kojem pomicanje palice u desnu stranu iz perspektive pilota otklanja pokretnu pozadinu na lijevu stranu što predstavlja konflikt u očitavanju iako pokretni prikaznik u stvarnosti ostaje na istoj poziciji kao stvarni horizont. Kombinacija pozitivnih atributa oba prikaznika teoretski bi mogli povećati efikasnost uređaja. Jedna od preporuka istraživanja je da na inicijalnom uvođenju u zaokret prikaznik bude koncipiran kao istočni model, a zatim kada zaokret dostigne kontinuiranu komponentu gdje je inicijalna skokovita promjena napuštena prikaznik poprimi oblik zapadnog modela.

Pokusi s kombiniranom izvedbom AI-a pokazali su znatno preciznije i sigurnije očitavanje parametara u letu što je i pridonijelo smanjenju pogrešaka i dovelo do potpune eliminacije postojećih konflikata. No stvari u zrakoplovstvu nisu tako jednostavne, tako bi implementacija ovog sustava dovela do niza troškova i implikacija u promjeni tehnike svjetske zrakoplovne flote i osposobljavanju letačke posade, čime nisu isključene ni nesreće, stoga je zamisao o kombiniranom, ali i potencijalno opasnom modelu AI-a privremeno napuštena.

Jedan od prikaznika koji je zaslužan za najviše smrtnih slučajeva upravo je visinomjer. Prema obujmu istraživanja nalazi se na samom vrhu uz AI. Također postoji nekoliko tipova dizajna, ali samo najbolji zaslužuje mjesto na PFD-u.

Postoji napuštena verzija visinomjera s tri kazaljke. Problem ovakvog prikaza bio je u tome da ponekad duže kazaljke prekriju one manje, te može doći do pogreške očitavanja za čak 10.000 ft što bi u uvjetima loše vidljivosti vrlo lako dovelo do CFIT (*engl. Controlled Flight Into Terrain*) zrakoplovne nesreće.

Do napuštanja visinomjera s tri kazaljke dolazi nastupanjem elektro-mehaničkog visinomjera čiji se prikaznik sastoji od jedne kazaljke i brojevnog prozorčića. Skala omogućuje precizno čitanje po razmacima od 100 ft što je zadovoljavajuća razina preciznosti. Ova vrsta prikaza je bolja, ali ne kada su u pitanju mlazni vojni zrakoplovi čije su performanse penjanja v_V nekad i do 50.000 ft/min, tada jednostavno nije moguće precizno čitati trenutačnu visinu. Kod njih je prihvatljivija izvorna verzija visinomjera s tri kazaljke čija je skala podijeljena po 1.000 ft, pa je čitanje visine lakše jer je kretanje kazaljke sporije, ali time i preciznost održavanja visine smanjena [2].

Pojavom glass cockpita slijedi se logika Fitts-ovog modela u kojem se visinomjer u PFD integrira kao pomična skala sa fiksnom kazaljkom što je i vidljivo na slici 3.11. Iz tablice 3.5 može se očitati da taj oblik prikaza i nije najbolji, pogotovo kada je potrebno brzo točno iščitavanje. Osim toga takvim prikazom nije moguće utvrditi poziciju u odnosu na ukupan raspon skale za što su prikladnije starije analogne verzije visinomjera. Ukupan vidljivi raspon skale na PFD-u je 1.000 ft odnosno 500 ft iznad i 500 ft ispod fiksne kazaljke, što je premalo ako su brzine promjene visine veće, što rezultira otežanim praćenjem. Ovaj problem rješava se dodavanjem digitalnog markera označenog dominantnom bojom (najčešće ružičasta ili magenta), koji bi olakšao snalaženje odabrane visine na skali. Na starijim verzijama pilot jednim pogledom prepoznaje kretanje kazaljke i njenu poziciju, dok je praćenje visine samo na osnovu promjene brojeva puno zahtjevniji posao. Korištenje pokretne trake u instrumentaciji može izazivati konflikt stereotipa šire populacije. Naime to se događa kada povećavanje visine uzrokuje pomicanje pokretnog dijela na gore, a zamjena smjera kretanja skale za posljedicu bi izazvala konflikt gdje je širem populacijskom stereotipu potpuno neprihvatljiva činjenica da se vrijednosti skala povećavaju od vrha prema dnu. Sve vrijednosti na pomičnim skalama danas se moraju povećavati od dna prema vrhu gdje kretanje skale od smjera "gore na dolje" izaziva subjektivni osjećaj prirodnog napuštanja (penjanja) neke visinske razine. Da stvar nije tako crna kao u prethodno navedenom prednost pokretne vertikalne skale u odnosu na ostale visinomjere može se vidjeti samo ako se PFD promatra kao cjelina. Iznenađujući je podatak da je korištenje vertikalne trake na PFD-u smanjilo postotak pogreške očitavanja visine za 0,4% u usporedbi sa elektro-mehaničkim visinomjerom, iako zahtjeva duže vrijeme očitavanja vrijednosti koje iznosi u prosjeku 2,3 sek, a elektro-mehanički s prosjekom 1,7 sek. Najlošiji je analogni prikaznik s tri kazaljke čija

greška očitavanja iznosi 11,7%, a prosječno vrijeme očitavanja iznosi oko 7 sekundi. Može se zaključiti da kvaliteta korištenja visinomjera na PFD-u u usporedbi s prijašnjim visinomjerima znatno ne odstupa [2].

3.5.3 Brzinomjer

Prema T-rasporedu instrumenata brzinomjer je na PFD-u također svoje mjesto našao na lijevoj strani. Skala je isto pomična kao i kod visinomjera, a raspon vidljive skale je u razmacima od 100 kt (čvorova), odnosno 50 kt iznad i 50 kt ispod fiksne kazaljke. Nedostaci su isti kao i za slučaj visinomjera. Prikaznici poput onog na zrakoplovu Airbus A320 sukladno "glass cockpit" filozofijom, imaju integriran prikaz brzinskog trenda STV *(engl. Speed Trend Vector*) koji daje trend predikciju brzine za sljedećih 10 sek. Ovaj sustav vrlo je koristan kod visoko inercijskih sustava, a svako pomagalo za sigurno održavanje brzine kod slijetanja vrlo je poželjno [2].

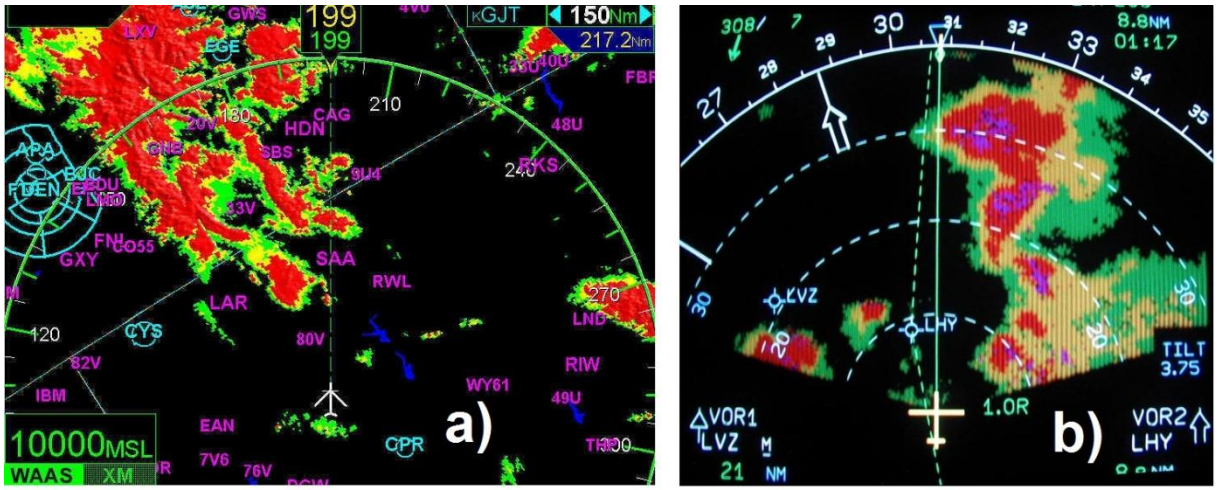
3.5.6 Prikaznik horizontalne situacije

Ukratko uvođenje CRT i LCD zaslona znatno je smanjilo instrumentalnu ploču, a svi primarni podaci letnih parametara našli su se na PFD prikazniku čiji je raspored prikaznika preslika T-koncepcije. Posljednji instrument iz T-koncepcije je prikaznik horizontalne situacije HSI (Horizontal Situation Indikator) koji je svoje mjesto našao na dnu centralnog dijela. Na prvi pogled reklo bi se da je potpuno nepotrebno smjestiti ga na PFD jer se ovi podaci mogu očitati na puno većem navigacijskom prikazniku ND smještenog desno od PFD-a. Kako PFD sadrži sve potrebne podatke za sigurno upravljanje zrakoplovom u lošim meteorološkim uvjetima, smještaj HSI-a na PFD opravdan je time što smanjuje površinu gledanja kako bi pilot dohvatio potrebnu informaciju o smjeru leta. Dodatna mogućnost takvog PFD-a je da prilikom slijetanja izravno prikaže vertikalne i horizontalne devijacije od centralne linije poniranja. Može se reći da PFD ima svoje nedostatke prilikom adaptacije individualnih instrumenata na zaslon ali kao cjelina zasigurno znatno olakšava rad letačkog osoblja.

3.5.7 Prikaznik navigacije

Spomenuti prikaznik ND primarno prikazuje horizontalnu situaciju zrakoplova u prostoru. Stara praksa navigacije odvijala se tako da bi se uz pomoć radio-magnetskog kompasa RMI (*engl. Radio Magnetic Indicator*), koji se sastojao od magnetske ruže i dva indikatora smjera, određivala pozicija zrakoplova na karti. Križanjem smjerova na karti dobivenih očitavanjem smjerova radio-navigacijskih stanica odredila bi se pozicija, a na preciznost pozicije utjecali su mnogi čimbenici poput vjetra ili korekcije brzine zbog visine leta. Preciznost određivanja pozicije stjecala se iskustvom.

Jedan od nedostataka modernih ND prikaznika je taj što nisu u mogućnosti dobro predočiti vertikalnu komponentu leta tj. položaj zrakoplova u odnosu na tlo. Jedan od pokušaja je prikaz terena u dogovorenim topografskim bojama, a kada prijeti CFIT situacija pozadina zaslona zatreperila bi crvenom bojom indicirajući tako opasnost. Nedostatak ovoga je što se na istom zaslonu mogu prikazivati i meteo parametri u bojama sličnih nijansi tako da je prilično teško razlučiti koje nijanse boja prikazuju željene parametre prikazano slikom 3.13. Uključivanje ili isključivanje pojedinačnog sustava nije rješenje kao ni implementacija zasebnog prikaznika koji bi ukazao samo na vertikalnu komponentu u odnosu na teren, jer bi zauzeo dodatni prostor u pilotskoj kabini. Da ne bi došlo do daljnjih pogrešnih interpretacija podataka na ND-u privremeno se napustila ideja o obojenim topografskim vrijednostima [2].



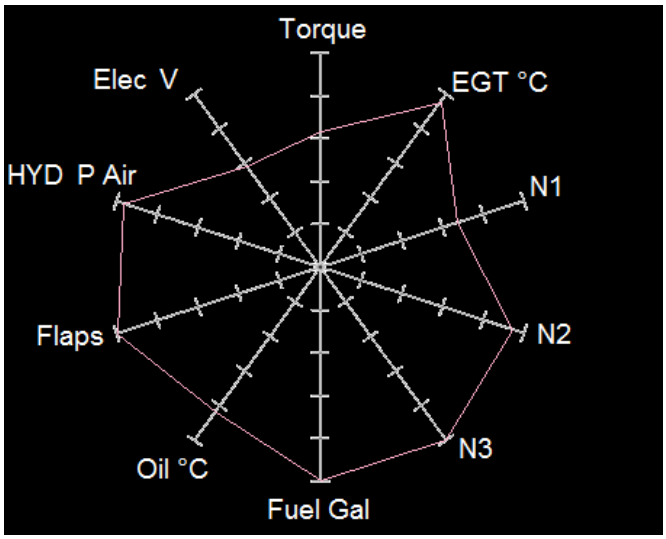
Slika 3.14. Konfliktni prikaz topografskih (lijevo) i meteo parametara (desno) na ND-u

Izvor: Huisman, H. et al.,1997. [35], Bohne, H. G. M. et al., 1996. [36]

3.5.8. Prikaznici zrakoplovnih sustava

Prikaznik motorskih parametara, stanja zrakoplovnih sustava poput temperature, stanja hidro sustava, broja okretaja turbine, elektrosustava, smješten je u centralnom dijelu pilotske kabine, a objedinjuje veću količinu parametara na istom integriranom prikazniku i to na mjestu perifernog vidnog polja. Razlog takvog suprotno očekivanog pristupa je u tome što se radi setu parametara koji ne zahtijevaju konstantno praćenje tijekom leta. Ono o čemu treba voditi računa je da se ti podaci ne izmiješaju na zaslonu, nego da ih se vrlo lako može prepoznati. Neki zrakoplovi pogonjeni su s više od 2 motora. Problem instrumentacije na ovom prikazu je jednostavno velika količina parametara. Primjerice ako se radi o 4-motornom zrakoplovu na EICAS prikazniku potrebno je smjestiti 4 različita prikaznika za broj okretaja turbine. U slučaju da turbina ima više stupnjeva također je potrebno prikazati i njihove okretaje, poželjno je prikazati i temperaturnu domenu ispušnih plinova svakog motora i još mnogo toga. Organizacija radne plohe je najbitnija, što je bio vrlo veliki izazov kada nisu postojali integrirani prikaznici kojima se može odabrati željeni set podataka naredbom pritisnog ili zakretnog prekidača. U praksi niti ta mogućnost često nije dovoljna pa se obavlja i detaljnija podjela parametara.

Rješenje koje bi se moglo ponuditi je smještaj svih dijagnostičkih parametara u konfiguraciji zvjezdaste geometrije kao prikazano slikom 3.14.



Slika 3.15. Zvjezdasti prikaz parametara

Izvor: modificirano prema Harris, D., 2004. [2]

Na ovaj način moguć je smještaj velike količine podataka koji bi se još kombinacijom boja mogao dodatno kodirati. Problem većeg broja pogonskih motora riješio bi se obilježavanjem linija različitih boja na zvjezdastom prikazniku. Mana ove vrste prikaza je u tome što ne postoji korespondentna logička veza između prikaznika i upravljala.

U domeni elektro-optičkog prikaznika može se znatno napredovati. Razvoj bolje tehnike eksponencijalno raste pa se u budućnosti mogu očekivati bolje novije vizije i koncepti prikaznika. Ono oko čega će se i dalje voditi rasprava je optimalna konfiguracija letnih parametara, te njihov idealni prikaz na zaslonu kako bi se maksimalno smanjilo radno opterećenje, krive reakcije i povećala brzina dostupnosti informacije kao i brzina očitavanja parametara.

3.6. Preporuke za oznake na sučeljima

Kod čitanja oznaka prvenstveno je važna udaljenost i veličina oznaka, zatim kontrast, boja, kut gledanja osvjetljenje i slično. U praksi su ove komponente različite tolerancije ovisno o vrsti posla, radnog zadatka ili obujma opterećenja. Avijacija je specifična grana industrije te kao takva koristi i različite nekonvencionalne oznake. Takve oznake ili simboli vrlo su poželjni jer potenciraju logičnu interpretaciju informacije bez obzira na porijeklo pilota, osim toga pridonose smanjenju troškova proizvodnje različitih oznaka.

Neke preporuke za oznake na skalama su: [2, 5]

- Oznake moraju biti takve da omoguće intuitivno prepoznavanje značenja
- Moraju biti standardizirane i u širokoj primjeni i dobro poznate korisnicima
- Različite oznake moraju se značajno razlikovati
- Novo razvijene oznake i simboli ne smiju biti u konfliktu s postojećim
- Parametri oznake u pogledu visine, širine, debljine moraju biti takvi da se mogu očitati s najmanjom vjerojatnošću pogreške
- Potrebno je davati samo potrebne informacije, na najbolji i najrazumljiviji način
- Informacije ne smiju biti komplicirane, treba izbjegavati množenje s određenim koeficijentom, ako je to neizbježno onda je potrebno da skala prikazuje jednostavne koeficijente kao što su npr. koeficijenti 10 ili 100
- Potpodjele trebaju biti manjeg fonta otprilike 1/2 ili 1/5 glavne podjele
- Brojevi se moraju nalaziti neposredno uz glavne podjele na skali
- Vrh kazaljke ne smije prekrivati ni brojeve ni oznake nego mora biti neposredno uz skalu da je ne dodiruje
- Smjer gledanja mora biti okomit na kazaljku, i kazaljka mora biti što bliža skali kako bi se izbjegla paralaksa

3.6.1 Veličina znakova

Veličina slova, brojeva i ostalog znakovlja, te njihova debljina i razmak određuje se prema udaljenosti između oka promatrača i prikaznog instrumenta . Preporuke minimalne veličine oznaka u ovisnosti o udaljenosti prema Grandjean-u prikazane su u tablici 3.6. gdje "*a*" označava najveću udaljenost gledanja (mm). Nadalje vezano uz visinu može se primijeniti pravilo za koje se uzima da je optimalna visina oznake (mm) jednaka udaljenosti podijeljenoj s 200. Neke od preporuka visine fonta znamenke prikazane su u tablici 3.7, a ostale proporcije prikazane su u tablici 3.8.

Tablica 3.6. Preporuka veličine oznake u ovisnosti o udaljenosti promatrača

Veličina najvećih znakova	a/90
Veličina srednjih znakova	a/125
Veličina najmanjih znakova	a/200
Debljina znakova	a/5000
Udaljenost između dva mala znaka	a/600
Udaljenost između dva velika znaka	a/50

Izvor: Kroemer, K. H. E. et al., 1997. [5]

Tablica 3.7. Preporučljive visine natpisa

Udaljenost od očiju(mm)	Visina malih slova ili znakova (mm)
do 500	2,5
501-900	5,0
901-1800	9,0
1801-3600	18,0
3601-6000	30,0

Izvor: Kroemer, K. H. E. et al., 1997. [5]

Tablica 3.8. Ostale proporcije oznaka

Širina	2/3 visine
Debljina crte	1/6 visine
Razmak među slovima	1/5 visine
Razmak između riječi i brojeva	2/3 visine

Izvor: Kroemer, K. H. E. et al., 1997. [5]

3.7 Preporuke za upravljala

Glavne preporuke za pravilno korištenje i izbor upravljala su:

- Upravljala moraju biti prilagođena ljudskoj anatomiji i funkciji udova. Za precizne pokrete zadužene su šake i prsti, a za upravljala koje zahtijevaju veću snagu potrebno je koristiti ruke i stopala
- Sva upravljala trebaju biti u radnom dosegu, na primjerenoj visini i u vidnom polju korisnika
- Potreban je dogovoreni razmak između susjednih upravljala pa se tako za velika i mala upravljala preporučuju norme prema tablici 3.9.

- Koristiti isključivo dugmad, prekidače i rotirajuću dugmad za precizne radnje ili mali mišićni napor, a velike i teške poluge na mjestima gdje je potrebna manja preciznost i veći mišićni napor.

Tablica 3.9. Preporučena udaljenost upravljala

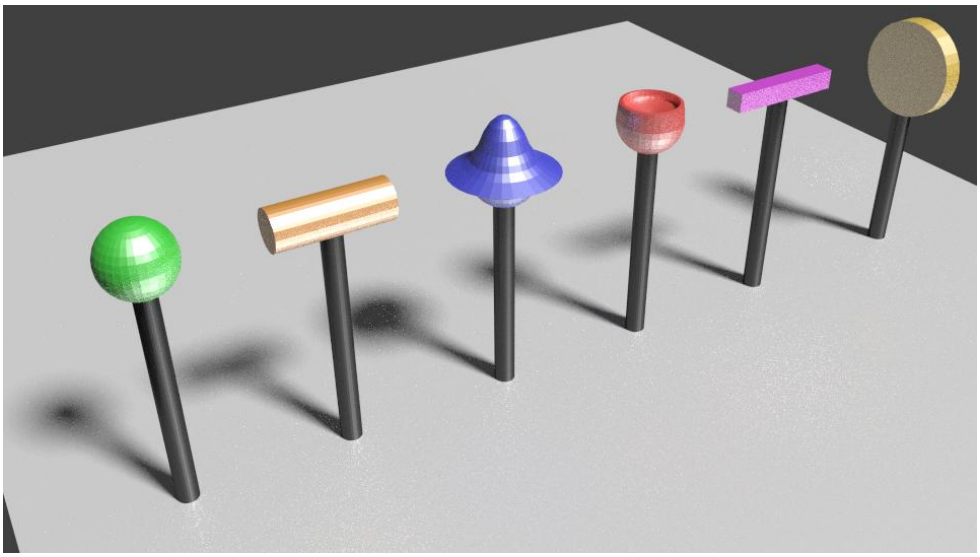
Uređaj	Metode rada	Udaljenost (mm)	
		Minimalna	Optimalna
Pritisno dugme	Jednim prstom	20	50
Prekidač	Jednim prstom	25	50
Glavni prekidač	Jednom rukom	50	100
Ručni kotačić	S obje ruke	75	125
Zakretno dugme	Jednom rukom	25	50
Papučica	Dvije papučice istom nogom	50	100

Izvor: Kroemer, K. H. E. et al., 1997. [5]

3.7.1 Preporuke za kodiranje upravljala

Iz prakse se može zaključiti da postoji čitav niz različitih upravljala koji se koriste u industriji. Osim što moraju biti prilagođena čovjekovoj anatomiji potrebno ih je oblikovati na različite načine tamo gdje može doći do zabune i povlačenja pogrešne poluge kao prikazano na slici 3.14. Za pravilnu identifikaciju poluge se tako mogu razlikovati prema:

- Rasporedu
- Obliku, strukturi i materijalu
- Bojama i natpisima



Slika 3.16. Kodiranje upravljala

Izvor: modificirano prema Kroemer, K. H. E. et al., 1997. [5]

Ista se filozofija kodiranja upotrebljava kao i za ostale elemente pilotske kabine

3.7.2 Aktivacijski otpori upravljala i dimenzije upravljala

Kako bi se spriječilo nehotično pokretanje upravljala svako veliko i malo upravljalo mora imati određeni otpor pokretanja. Otpori se mogu definirati prema aktivacijskom momentu M_A (Nm) ili aktivacijskoj sili F_A (N). Smiješno je uopće zamisliti samoinicijativno pokretanje neke komande u zrakoplovu kada dođe do turbulencija i sl. Generalne preporuke su sljedeće:

- Za aktivaciju upravljala pokretane jednom rukom preporučuje se oko 2 Nm
- Za pritisak upravljala jednom rukom preporučuje se od 10-15 Nm
- Za pritisak papučica predviđeno je od 40 do 80 Nm

Iako nije prethodno navedeno kod kodiranja za identifikaciju upravljala, moguće je sličnim upravljalima pridružiti različite aktivacijske otpore kako bi se razlikovali jedan od drugoga.

3.7.3 Pritisna dugmad za prst i ruku

Počevši od identifikacije, pritisne dugmadi najlakše je razlikovati po bojama uz odgovarajuću oznaku. Manjim dugmadima se svakako preporučuje boja jer čitanje samih oznaka na malom dugmetu može biti zamorno. Kako se ne bi dogodilo

poskliznuće prsta s dugmeta oblik malog dugmeta izvodi se s malim udubljenjem na dodirnoj površini, a preporučuju se sljedeće dimenzije:

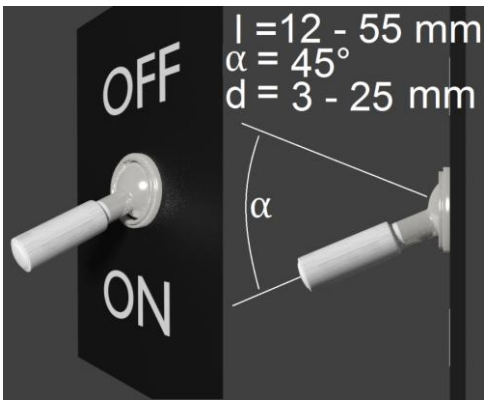
- Promjer 12-15 mm
- Za hitno zaustavljanje 30-40 mm
- Put dugmeta 3-10 mm
- Otpor pritiska 2.5-5 N

Za razliku od malih dugmadi intuitivno se može zaključiti da za veće dugmadi vrijede norme većih veličina. Jedina razlika je u obliku velikih dugmadi kod koje se preporučuje gljivasti oblik kada se njime upravlja rukom. Neke od preporuka za dugmad pokretanu rukom su:

- Promjer 60 mm
- Put dugmeta 10 mm
- Otpor pritiska 10 N

3.7.4 Sklopke

Sklopke ili prekidači slično kao dugmadi jednostavne su namjene i najčešće izvedena u dva položaja "uključeno" i "isključeno". Smjer aktivacije treba biti vertikalan s primjerenim oznakama stanja sklopke. Rjeđe se u praksi mogu naći i sklopke s više položaja, ali onda vrijede i drugačije preporuke. Tipične preporuke za sklopku vidljive su na slici 3.16.



Slika 3.17. Preporuke za sklopku

izvor: Kroemer, K. H. E. et al., 1997. [5]

3.7.5 Ručne poluge

Sklopke većih dimenzija nazivaju se poluge. Preporučuje se pokretljivost u smjerovima gore-dolje i lijevo-desno. Ako imaju više položaja poluge trebaju imati lako primjetan zaskok. Mogu biti različitih dimenzija i funkcija te im je moguće dodijeliti različite završetke radi lakše identifikacije. Kada korištenje zahtjeva kontinuirani rad potreban je oslonac za ruku ili laktove kako ne bi došlo do zamora. Prema funkciji tako se razlikuju poluge:

- Za hvatanje prstima, promjera 20 mm
- Za hvatanje dlanom, promjera od 20 do 30 mm
- Za hvatanje dlanom odozgo, promjera 50 mm

Osim manjih preciznih poluga postoje i velike pokretačke poluge koje zahtijevaju znatnu snagu da bi ih se pokrenulo. Maksimalna preporučena sila upravljanja u smjerovima naprijed-nazad iznosi 130 N, te u stranu 90 N.

3.7.6 Rotirajuća dugmad

Ova vrsta upravljala dolazi u različitim veličinama i izvedbama. Bez obzira kakvog su oblika dali streličastog, okruglog ili nekog kombiniranog zajedničko im je da moraju zadovoljavajuće izvršavati ulogu tako da budu "udobni" za ruku, da ih je jednostavno koristiti i da se nalaze u vidnom polju operatera.

3.7.7 Rotirajući prekidači

Svaka pozicija rotirajućeg prekidača mora imati lako prepoznatljive pozicije zaustavljanja kojima bi se bez sumnje utvrdila pozicija ili stanje sklopke. Razmak α između svake pozicije zaustavljanja treba radi lakše vidne kontrole biti razmaknut minimalnim normama od 15° do 30° ovisno o potrebi. Pokretanje sklopke karakterizirano je tipičnim jasnim preskokom poznatijim kao "klik" signal. Kako ova vrsta upravljala mora biti lako upravljiva, otpor djelovanja ne bi trebao biti veći od 0.15 N.

3.7.8 Dugmad za kontinuiranu rotaciju

Za razliku od rotirajućih prekidača ova upravljala nemaju taktilni signal za svaku poziciju, a prikladna su za precizno podešavanje i regulaciju. Stupanj zakretanja moguć je onoliko koliko i sama ruka može zakrenuti bez promjene položaja ruke. Radi boljeg hvatišta preporučljivi su nazubljeni ili hrapavi kotačići. Preporučljive dimenzije su:

- Za korištenje s dva ili tri prsta promjer 10-30 mm
- Za korištenje šakom 35-75 mm
- Za prste visina dugmeta 15-25 mm
- Otporni moment zaokreta za malu dugmad 0.8 Nm
- Otporni moment zaokreta za veliku dugmad 3.2 Nm

3.7.9 Streličasta dugmad

Može biti izvedena i kao rotirajuća sklopka sa skokovitim taktilnim pozicijama, ili kao dugme kontinuirane rotacije. Razlika je samo u izvedbi strelastog hvatišta koji omogućuje brzo skokovito podešavanje i brzu interpretaciju željene pozicije.

3.7.10 Kotači

Postavljaju se na mjestima gdje je potrebna velika sila i gdje je poželjno koristiti obje ruke. Manji radijus kotača za manje sile i veliki za veče sile, dok je brzina okretanja manja povećanjem radijusa kotača. O kvaliteti hvatišta može ovisiti i odabir materijala, hrapavost površine, ali i izvedba kotača s urezima omogućuje efikasnije korištenje.

3.7.11 Papučice

U zrakoplovu se koriste za kormilo smjera. Papučicama se omogućuje prenošenje velikih sila u pojedinim slučajevima čak i do 2.000 N, za što je moguće korištenje jednostavnih mehaničkih veza s upravljačkim površinama zrakoplova umjesto složenih servomehanizama. Najčešće sile otpora papučice kreću se oko 100 N s minimumom od 60 N, a korištenje papučica je najefikasnije kada:

- Postoji sjedalo ili oslonac koji podupire reakciju pritiskanja
- Kut koji zatvara natkoljenica i potkoljenica iznosi od 140-160°
- Kada je gležanj pod kutom od 90-100°
- Papučica hrapave ili druge površine koja sprječava klizanje
- Optimalni kut papučica 15°, a maksimalni 30°
- Putanja papučica 50-100 mm

3.8 Kompatibilnost upravljala i prikaznika

Prilikom osvrta na filozofiju dizajniranja u svrhu povećanja točnosti i reduciranja greški postoji nekoliko stereotipnih principa pravilne komunikacije sučelja koji se u većoj ili manjoj mjeri intuitivno slažu s ljudskom percepcijom. Kada se govori o percepciji sučelja misli se na smislenu koordinaciju smjera pokreta upravljačkih sučelja kao što su poluge dugmadi i ostalo, s prikaznim odnosno obavijesnim dijelom, što se odnosi na skale instrumenata.

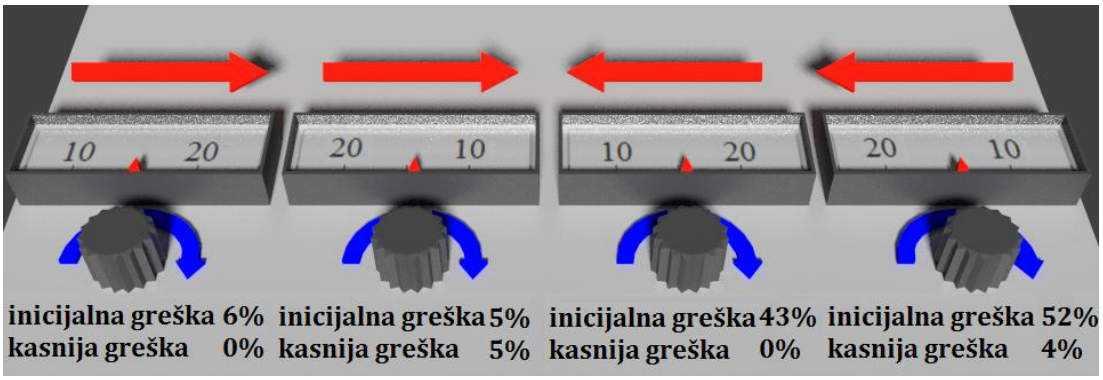
Korisnici različitih uređaja imaju i različitu predodžbu odnosno stereotipove rada prikaznika s upravljalima, primjer za to su zrakoplovi, kojima pomicanje poluge naprijed predstavlja povećanje brzine, a zakretanje dugmadi predstavlja povećanje određenog parametra. Istovremeno pomicanje ručne poluge za promjenu visine naprijed izazvat će perceptivni konflikt osobi koja nije upoznata s upravljanjem zrakoplova, jer će intuitivno pogrešno zaključiti kako poluga prema naprijed znači povećanje visine što u stvarnosti nije slučaj. Isto tako radi sprječavanja danjeg konflikta treba sva upravljala povezana s regulacijom visine zrakoplova prilagoditi tako da princip upravljanja slijedi iste perceptivne zakonitosti.

Postoje neka pravila koja se primjenjuju u industriji a sažeti su u sljedećem:

- Kada se upravljačko dugme ili poluga pokreće u "desno" odnosno u smjeru kazaljke na satu tada se i kazaljka na horizontalnoj skali treba otkloniti u desnu strani ili ako je slučaj s vertikalnom konfiguracijom prikaznika tada se isti treba otkloniti prema gore što sugerira povećanje vrijednosti.
- Pokretanje upravljala prema gore treba rezultirati otklonom kazaljke na gore ili desno

- Pokretna skala s fiksnom kazaljkom bi se trebala pokretati u "desno" kada se upravljalo pomiče desno ili zakreće u smjeru kazaljke. Skala mora biti takva da vrijednosti takvog kretanja rastu
- Svi otkloni u desnu stranu, naprijed ili na gore trebali bi rezultirati povećanjem ili uključivanjem uređaja, a obrnuti smjerovi smanjenjem velićine ili isključenjem uređaja

Zrakoplovna industrija rasprostranjena je po cijelom svijetu, a treba naglasiti da je većina ispitivanja provedena na ispitanicima zapadne populacije. Ispitivanja provedena u drugim dijelovima svijeta kao što su to arapske zemlje dala bi kompletno različite rezultate od onih ispitanih u zapadnim zemljama. Jedan od primjera krivih reakcija očitavanja instrumenata s rotirajućom dugmadi i pokretnom skalom samo ukazuje na značenje ovog malog ali značajnog zahvata prikazanog slikom 3.17 i tablicom 3.10.



Slika 3.18. Pogreške korištenja različitog stereotipa

Izvor: Harris, D., 2004. [2]

Tablica 3.10. Preporuka stereotipa

Izravan prijenos	Izravan prijenos	Obrnuti prijenos	Obrnuti prijenos
Brojevi na skali rastu od lijevo→desno	Brojevi na skali rastu od desno→lijevo	Brojevi na skali rastu od lijevo→desno	Brojevi na skali rastu od desno→lijevo
Zakret u desno→ smanjnje vrijednosti	Zakret u desno→ povećanje vrijednosti	Zakret u desno→ povećanje vrijednosti	Zakret u desno → Smanjenje vrijednosti

	Konflitkt stereotipa zapadne populacije

Izvor: Harris, D., 2004. [2]

Kada se upravljalo nalazi iznad prikaznika tada također treba prilagoditi smjer rotacije i skale da se skala kreće u smjeru u kojem se kreće bliža strana rotirajuće dugmadi tzv. Warrick-ov princip.

Različiti zrakoplovni proizvođači uspješno su implementirali mentalni model upravljanja zrakoplova u prikazno-kontrolna sučelja. Tipičan primjer pravilnog korištenja stereotipa u zrakoplovu može se vidjeti kod odabira naredbi za visinu. Na slici 3.18. prikazane su funkcije odabiranja željene visina kod zrakoplova Boeing 777 i Airbus A320. Zrakoplov tvrtke Boeing primjenjuje desno okretanje kružne dugmadi za povećanje visine što je intuitivno ispravno, a vertikalni kotač povezan je s mentalnim modelom upravljanja zrakoplova. Prema pravilu stereotipa otklon kotačića na gore navodi neiskusnu populaciju na zaključak da se time povećava brzina penjanja, ali događa se upravo suprotno. Ova naredba povezana je sa smjerom otklanjanja palice za kormilo visine, tj. kada se želi smanjiti visina palica se potiskuje naprijed, vertikalan otklon kotačića na gore podržava taj mentalni model tako da upravljala zaslužena za promjenu visine nisu u konfliktu. Postavlja se pitanje zašto se isto nije primijenilo i kod rotirajućeg dugmeta za naredbu visine. Desno rotirajuće dugme izlazi iz mentalnog modela upravljanja zrakoplova. Da se na njegovom mjestu nalazi vertikalno orijentirani kotačić tada bi kotačić tj. onaj za promjenu brzine penjanja i onaj za naredbu visine došli u konflikt. Iako su oba upravljala povezana s upravljanjem visine leta, oni se razlikuju po svojoj prirodi značenja upravljanja. Upravljanje promjene brzine penjanja i poniranja prema subjektivnom doživljaju srodnije je manualnim upravljanjem komandi za promjenu visine nego naredbi za selekciju visine koja jednom određena nema potrebu konstantne regulacije kao što je to kod potrebe za promjenu brzine penjanja i poniranja. Kod zrakoplova Airbus A320 potpuno se napušta mentalni model zrakoplova kod naredbi vezanih za selekciju visinskih parametara. Ovdje se za razliku od Boeinga 777 nalaze dva rotirajuća dugmeta koja su slobodna od mentalnog modela zrakoplova, te slijede jednostavno pravilo gdje zakretanje dugmadi u desnu stranu za rezultat ima samo pozitivno povećanje parametara, a zakretanje u lijevo suprotno.

3.19. Odjeljci za regulaciju visine kod zrakoplova Boeing 777 (lijevo) i Airbus A320 (desno)

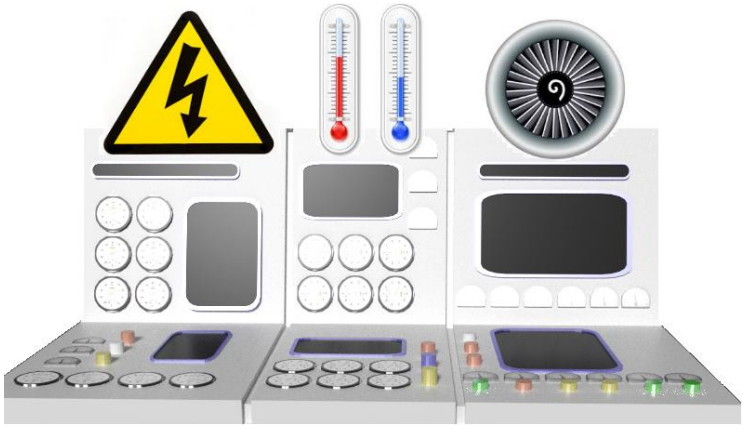
izvor: modificirano prema Harris, D., 2004. [2]

Mentalni model čovjeka i stroja izuzetno je važan za uspješan dizajn sučelja. Upravljačke ploče objedinjuju nekoliko prikaznika i upravljala istovremeno. Pravilan raspored naizgled trivijalne problematike esencijalan je za siguran rad i minimizaciju pogreške u radu. Raspored pojedine grupe upravljala i obavjesnika na pločama treba biti intuitivan i razumljiv svim skupinama populacije. Neki principi za pravilan raspored su:

- Preporuka je da se upravljala nalaze u neposrednoj blizini prikaznika ispod i desno. Iako se spominje mogućnost pozicioniranja upravljala iznad za razmatranje Warrick-ovog principa, ono se izbjegava iz jednostavnog razloga, jer pozicioniranje kontrolne skupine iznad obavjesnika za rezultat ima zaklanjanje prikaznika rukom. Postavljanje upravljala na desnu stranu od obavjesnika opravdano je pretpostavkom da je u populaciji pilota više od 90% s dominantnom desnom rukom.
- U slučaju da se upravljala nalaze na jednoj strani, a obavjesnici na drugoj tada korespondirajuća sučelja trebaju biti istog rasporeda na obje ploče, osim toga na prvom mjestu nalaze se ona sučelja koja se prva koriste ili koja prva bilježe promjenu.
- Oznake trebaju biti na vidljivom mjestu najčešće iznad upravljala i obavjesnika
- Kada postoji više različitih upravljačkih grupa kao napajanje, pogon, pritisak, osvjetljenje itd. tada iste trebaju biti organizirane po principu funkcijskih grupa.

Naizgled simplistični principi J. V. Bradley-a i M. J. Warrick-a uvelike utječu na smanjenje vjerojatnosti pogreške u uvjetima povećanog umora gdje pravilan logični

raspored obavjesnika i upravljala refleksno omogućuje pravilan izbor željenih radnji. Primjer logičnog rasporeda upravljačkih grupa prikazan je slikom 3.19.



Slika 3.20. Logičan raspored prikaznika i upravljala

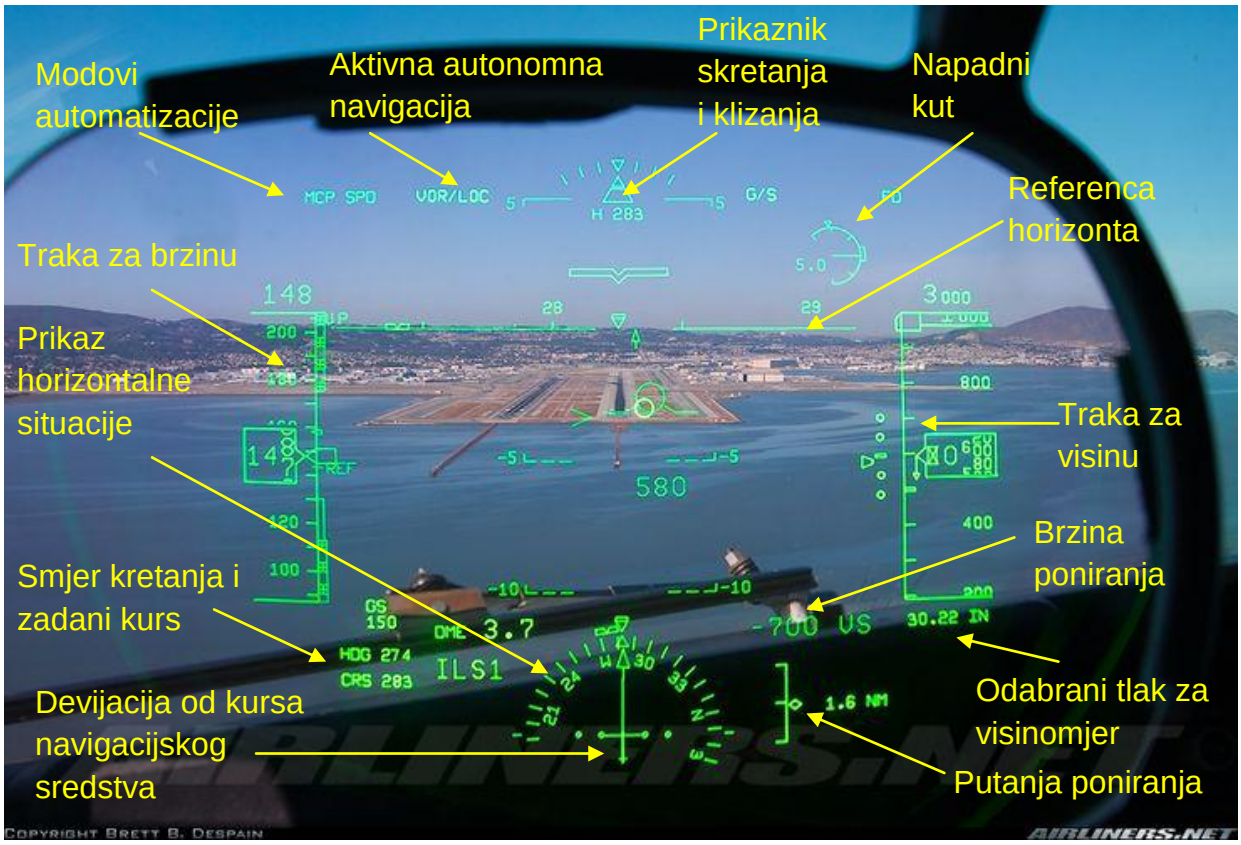
izvor: modificirano prema Kroemer, K. H. E., 1997. [5]

3.9 Budućnost razvoja sučelja

Pozitivan trend razvoja i skokoviti napredak tehnike daju naslutiti kako će se i kod čimbenika HF-a napredovati. Promjene koje bi se dogodile neće dakako biti revolucionarne nego će postepeno pratiti evolucijski proces. Tehnologija i znanje koje je danas dostupno može značajno utjecati na dizajn pilotske kabine ali se to ne događa zbog kompleksne prirode zrakoplovne industrije. Da je riječ o vrlo sporom evolucijskom procesu daje podatak da je za dizajn pilotske kabine, uzimajući u obzir sve čimbenike HF-a, potrebno otprilike osam godina, te će proći još nekoliko godina do prvog leta zrakoplova. Vrlo je lako moguće da će računalna sučelja do prvog leta biti već zastarjela, s obzirom na ubrzani razvoj računalnih sustava. Kada bi se danas započelo s nekim budućim konceptom dizajna, isti bi još u zrakoplovstvu bio u funkciji najmanje narednih 65 godina kada završi eksploatacijski vijek zrakoplova. Kako je razvoj tehnologije naizgled nezaustavljiv proces, glavni problem kod implementacije bit će smještaj novih komponenti na već postojeću strukturu kabine zrakoplova, a da se i ne govori o troškovima preobuke postojeće letačke posade kada bi se dogodila samo jedna promjena prikaznika, no do promjene će doći polako, ali sigurno.

Za razliku od komercijalnog zrakoplovstva veće i učestalije promjene događaju se u području privatnog zrakoplovstva gdje su organizacijske prepreke preobuke svedene na minimum. Kako je riječ o privatnim kupcima koji žele najmoderniju razinu tehnike u svom zrakoplovu, inženjeri uživaju i slobodu veće kreativnosti. Primjer zato se može vidjeti kod implementacije transparentnih vojnih HUD (*engl. Head Up Display*) prikaznika vidljivog na slici 3.20. Svoju primjenu nalazi kod zrakoplova privatnog vlasništva dugo godina prije primjene u komercijalnom zrakoplovstvu.

Brzina i stupanj promjene je neizvjestan, ali je sigurno da će se uvođenjem novih tehnologija paralelno povećati kriteriji za dobivanje certifikata o plovidbenosti.



Slika 3.21. B737-800 HUD prikaznik

Izvor: modificirano prema Trollip, S. R. et al., 1991 [4], Despain, B.B., Sweden, 1997. [37]

4. Antropometrijska prilagođenost pilotske kabine

Svaki čovjek neponovljiva je jedinka koja se razlikuje po svojem karakteru, sposobnosti i tjelesnoj građi. Svrha ovog poglavlja je ukratko objasniti principe i ciljeve antropometrije kao alata za empirijsko stjecanje podataka u funkciji ergonomije, te analizirati i primijeniti stečena saznanja iz antropometrije za dizajn čovjeku orijentirane pilotske kabine.

Antropometrija je metoda antropologije kojom se vrše mjerenja ljudskog tijela, njegovih pojedinačnih segmenata i funkcionalnih sposobnosti kako bi se na mjerljiv način definirala fizička ograničenja, poteškoće u radnom procesu, a na koncu omogućila i eliminacija istih. Rezultat mjerenja predstavlja temelj za dizajniranje potrebnih ergonomski korektnih alata, strojeva i same radne okoline. Iako je tehnički moguće izvršiti prilagodbu potrebnih sredstava za potrebe pojedinca, ovaj pristup se iz trivijalnih razloga neće i ne može primijeniti kada se radi o većem broju korisnika. Primjer spomenutom može biti svako radno mjesto na čiju poziciju može doći bilo koja osoba iz određene populacije koja udovoljava obrazovnim zahtjevima, no nije moguće unaprijed znati kakvih će točnih fizičkih karakteristika takva osoba biti, a pogotovo je apsurdna pomisao tražiti zamjensku osobu kada je primarna osoba odsutna, a da uz navedeno posjeduje iste kvalifikacije i kojoj odgovaraju identične specifikacije radnog okruženja. Osim toga svaka osoba može tijekom života proživjeti određene društvene i morfološke promjene što će iznova zasnovati potrebu za prilagodbom radne okoline. Proizvodnja posebno prilagođenih pojedinačnih sredstva za svakog korisnika šire populacije dakle ne dolazi u obzir, bilo da se radi o prilagodbi radnog mjesta u tvornici, alata, elemenata u javnom prijevozu i dr.

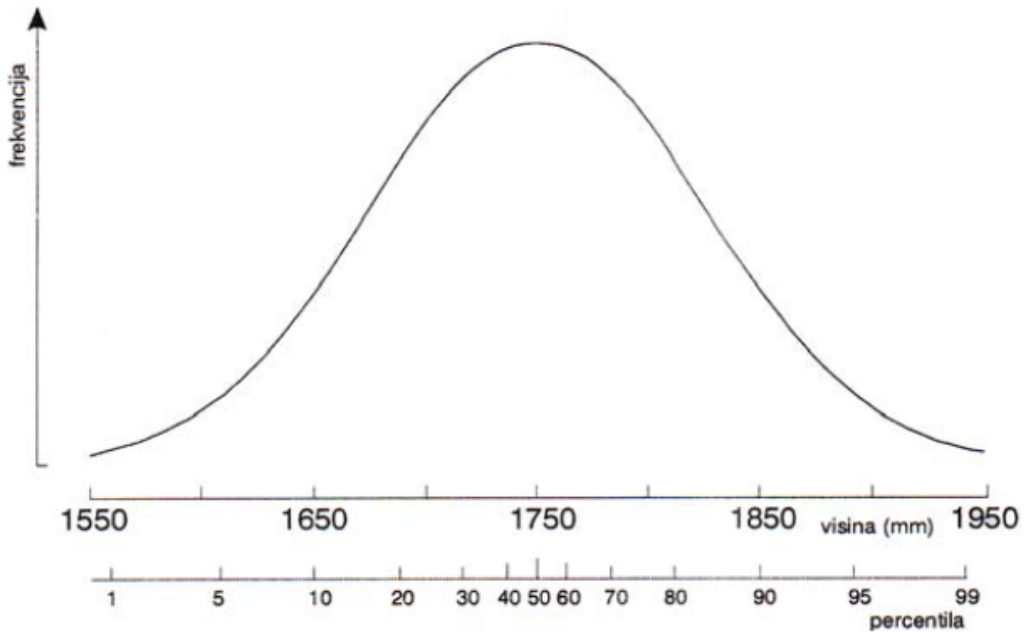
Nije moguće proizvesti toliko različitih uzoraka istog proizvoda koliko postoji različitih varijacija pojedinaca u populaciji [38].

Kod rješavanja ovog problema nameću se dva moguća kompromisna rješenja. Jedno je pokušati oblikovati sredstvo da se zadovolji većina korisnika populacije, a drugim rješenjem može se smatrati integrirana mogućnost prilagodbe sredstva. Kombinacija ovih rješenja također se uzima u obzir, a stupanj prilagodbe ovisit će o važnosti, preferencijama ili budžetu namijenjenom za sredstvo.

4.1 Antropometrijski podaci

Kako nije moguće prilagoditi sredstva prema svakom pojedinom korisniku, a u cilju da se zadovolji većina korisnika, potrebno je odrediti stupanj prilagodbe odnosno statistički raspon podataka prema kojima će se oblikovati korisnička sredstva. Tako se na promatranom uzorku populacije uzima raspon središnjih 90%. Time se zadovoljavaju potrebe velike većine, a 10% ekstremnih vrijednosti se neće razmatrati. Kada se radi o tjelesnim dimenzijama poput visine, iz ukupnog uzorka promatrane populacije izuzet će se 5% najviših i 5% najnižih osoba, a sredstva će se oblikovati prema dimenzijama iz uzorka između ta dva extrema [5].

Razmatranjem vrijednosti iz nekog uzorka populacije, brzo se uočava da se neke vrijednosti pojavljuju vrlo često, dok se neke pojavljuju puno rjeđe, odnosno razlikuju se po frekvenciji. Vrijednost najveće frekvencije smatra se normalnom vrijednosti koja predstavlja očekivani prosjek. Distribucija frekvencija uzorka može se predočiti Gaussovom krivuljom prikazanoj na slici 4.1. na čijoj se horizontalnoj osi nalaze vrijednosti promatrane varijable, a na vertikalnoj osi nalaze se pripadajuće frekvencije. Sa slike se može iščitati da je najveći udio ispitanika u području visine od 1750 mm.



Slika 4.1. Frekvencija raspodjele tjelesne visine

Izvor: Mikšić, D., 1997. [32]

Frekvencije opadaju lijevo i desno od frekvencije očekivanog prosjeka te se ovo zove normala razdioba. U prirodi ništa nije egzaktno precizno, može se reći da je svijet savršeno nesavršen, pa je i vrlo malo vjerojatno da će prikupljeni prirodni podaci imati simetričnu normalnu raspodjelu kao sa slike. Štoviše radi preciznosti analize potrebno je adresirati odgovarajuću razdiobu frekvencija i prema njoj adekvatno oblikovati antropometrijske karakteristike [32].

Zbog te različitosti distribucije potrebno je uvesti skalu percentila kojom se baždari rezultat prema postotku ispitanika. Postavljanjem centila na ljestvicu definira se granična vrijednost za svaki centil. Budući da je kod antropometrijskih mjerenja najzastupljenija normalna razdioba, prosječna vrijednost 50-og percentila ujedno će biti vezana za 50% populacije, a izuzete vrijednosti krajnjih ekstrema za raspon u centralnih 90% bit će sve vrijednosti 5. I 95. Percentila.

4.2 Mjerenje u antropometriji

Na pojedincu ili populaciji se mogu izvršiti različita mjerenja sa svrhom prilagodbe, okoline, alata i naprava. Ljudska djelatnost također se razlikuje prema dinamici rada, ponekad je potrebno dugoročno predvidjeti trend morfološke promjene populacije kako bi okolina, alati i naprave bili upotrebljivi duži period. Prema tome mogu se razlikovati sljedeći antropometrijski pojmovi:

- Statička mjerenja
- Dinamička mjerenja
- Mezostabilne antropometrijske varijable
- Mezolabilne antropometrijske varijable

Kada se govori o statičkim mjerenjima uzimaju se mjere koje su najznačajnije za poslove u kojem je tijelo u većini vremena miruje. Ovo primjerice najčešće uključuje poslove u sjedećem položaju. Pri tome čovjek može zauzeti različite sjedeće položaje kako bi razbio monotoniju i pasivnost sjedenja, što može negativno utjecati na udobnost.

Različito od statičkih mjerenja u dinamičkim mjerenjima uzimaju se vrijednosti značajne za čovjeka u čijem se opisu posla zahtjeva određena tjelesna aktivnost. Ovdje također postoje različite razine dinamike, opterećenja i složenosti zadataka za

čije je uspješno izvođenje potrebna definicija optimalnog položaja pojedinih tjelesnih segmenata kao i definicija dinamičkih svojstava pokreta u čijoj se domeni izučavaju brzina, ubrzanja i sile nastale tijekom njegovog izvođenja, a koji su također u međuzavisnosti s ostalim tjelesnim segmentima. Spomenutim se bavi biomehanika u ergonomiji čija se analiza segmenata vrši najčešće na štapnim 2D i 3D biomehaničkim modelima ljudskog tijela.

Tjelesne dimenzije kod kojih se zaključuje dobra relativna zavisnost promjene u odnosu na neku drugu dimenziju primjerice duljina ruke i visina, smatraju se mezostabilnim varijablama odnosno za njih se kaže da su snažno linearno zavisne. Njima se dovoljno dobro može predvidjeti dimenzija na osnovu poznavanja samo jedne varijable.

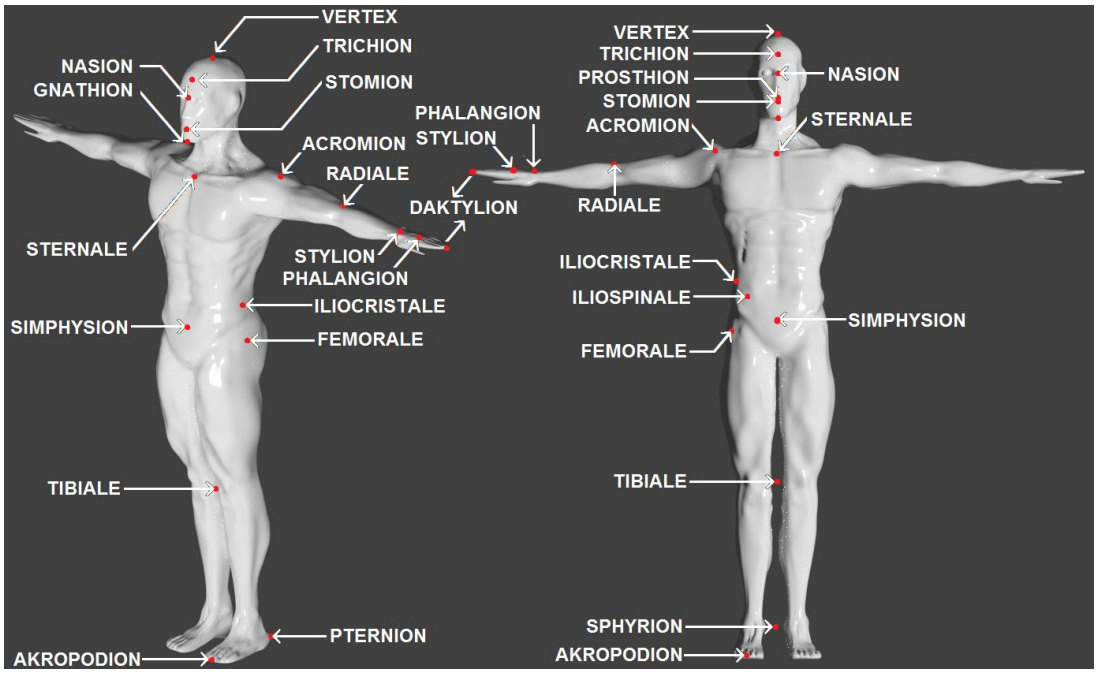
Suprotno ovome postoje i varijable kod kojih je vrlo niska linearna zavisnost, pa se kao takve nazivaju mezolabilnim antropometrijskim varijablama. U tu skupinu najčešće se ubrajaju širina ramena i kukova u ovisnosti na tjelesnu visinu.

4.3 Antropometrijske točke

Prije nego se započne mjerenje potrebno je odrediti standardne krajnje točke za željenu dimenziju. Mjerenje se obavlja uz pomoć standardizirane opreme na površini ljudskog tijela, pa se za mjerenje definiraju markantne vidljive ili opipljive anatomske točke. Generalno se te točke mogu podijeliti u dvije glavne skupine [32]:

- Fiksne točke
- Virtualne točke

Fiksnim točkama smatraju se one točke koje ne mijenjaju svoj položaj tj. nalaze se uvijek na istom mjestu. U virtualne se ubrajaju one točke koje mijenjaju svoj položaj promjenom položaja tijela ili tjelesnog segmenta, a najčešće je to određena projekcija fiksne antropometrijske točke na ravninu od koje počinje mjerenje. Glavne antropometrijske točke prikazane su slikom 4.2.



Slika 4.2. Glavne antropometrijske točke

Izvor: modificirano prema Mikšić, D., 1997. [32]

Učestala i redovita mjerenja daju podatak da postoji trend rasta visine populacije, a pošto se radi o mezostabilnoj varijabli, linearno tome će rasti i ostale antropometrijske dimenzije. Autor E. J. Lovesey bilježi godišnji rastući trend visine od 1.4 mm, dok drugi autori poput G. M. Turner-a i C. Birch-a evidentiraju godišnji trend povećanja normalnog dosega ruke za 0.5 mm, kao i trend rasta prosječne mase populacije za 0.2 kg godišnje. Pretpostavka je i danas da se ovakvi trendovi nastavljaju konstantnom stopom rasta, te se kao takvi uzimaju kao relevantni u procesu dizajniranja sredstava dok istraživanja ne pokažu promjene.

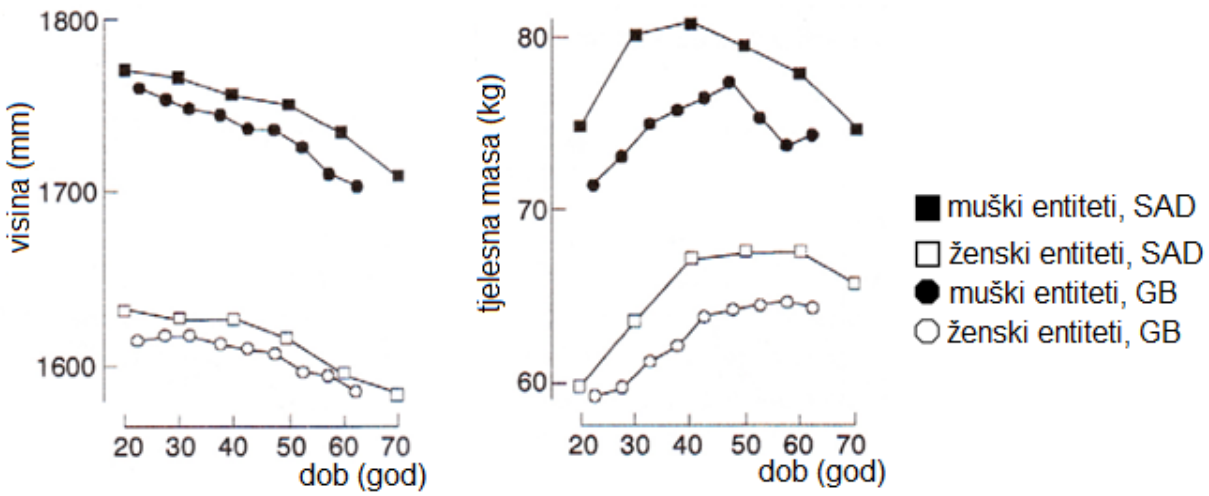
4.4 Razlike u populaciji

Najveće razlike u tjelesnim dimenzijama odnose se na etničke razlike spol i dob. Razlike tome mogu se podijeliti prema genetičkim i negenetičkim čimbenicima odnosno govori se da će fenotipska varijacija neke populacije ovisiti o varijaciji genotipa i čimbenika okoline kao izraženo formulom [38]:

$$F_v = E_v + G_v \qquad (6)$$

F_v = fenotipska varijacija, E_v =ekološka varijacija, G_v = varijacija genotipa

Kada se govori o životnoj dobi kao čimbeniku koji će utjecati na prilagođenost proizvoda u industriji koristit će se antropometrijske dimenzije muškaraca i žena u dobi od 20 do 65 godina. Čovjek prema nekim procjenama prestaje s rastom između 20 i 30 godine, nakon čega slijedi razdoblje konstantne visine i tek tamo nakon 50-e godine počinje gubiti na visini. Prosječna promjena visine ovisno o dobi prikazana je grafom 4.1.



Graf 4.1. Prosječna visina i težina uzorka odraslih u odnosu prema dobi

Izvor: Mikšić, D., 1997. [32]

Razmatrajući etničke i rasne razlike one su više nego uočljive. Naime primjetne su razlike poglavito visine pripadnika populacije, a neke od dimenzija prikazane su u tablici 4.1.

Tablica 4.1. Etničke razlike u tjelesnim dimenzijama

Populacija	Tjelesne dimenzije (mm)	Muškarci			Žene		
		5. c	50. c	95. c	5. c	50. c	95. c
Amerikanci	Tjelesna visina	1647	1755	1867	1528	1628	1737
	Sjedeća visina	855	914	972	795	851	910
	Horizontalna Dužina ruke	729	788	856	662	723	788
	Visina koljena	514	558	606	474	514	560
	Širina kukova	329	365	412	343	383	432
Britanci	Tjelesna visina	1625	1740	1855	1505	1610	1710
	Sjedeća visina	850	910	965	795	850	910
	Horizontalna Dužina ruke	720	780	840	655	705	760
	Visina koljena	490	545	595	455	500	540
	Širina kukova	310	360	405	310	370	435
Japanci	Tjelesna visina	1560	1655	1750	1450	1530	1610
	Sjedeća visina	850	900	950	800	845	890
	Horizontalna Dužina ruke	665	715	765	605	645	685
	Visina koljena	450	490	530	420	450	480

Izvor: Kroemer, K. H. E. et al., 1997. [5]

Podaci iz tablice adaptirani su od Jurgens-a, Pheasant-a i Gordon-a. Osim etničkih razlika mogu se vidjeti i razlike u spolu, a iz priloženog se može zaključiti da su žene u prosjeku manje od muškaraca gotovo u svim dimenzijama osim u dimenzijama kukova [5].

Spolovi se razlikuju u količini i raspodjeli potkožne masti i mišićnoj snazi koja ovisi koncentraciji hormona. U usporedbi sa ženama muškarci koji revno treniraju mogu povećati snagu značajno više nego žene pri istim aktivnostima.

Ključnu ulogu mogu imati i socijalni čimbenici koji pridonose morfološkim razlikama mezostabilnih i mezolabilnih čimbenika pripadnika populacije. Različiti autori utvrđuju evidentne razlike između gornjih i donjih društvenih klasa. Prema autoru R. J. Rona one mogu iznositi 3-4 cm visinske razlike u sedmoj godini života, a takva razlika će ostati i narednih 30 godina. Autor Schmidtke navodi razliku od 4-7 cm visine uspoređujući ispitanike visoke društvene klase tj. ispitanike završenog visokog stupnja obrazovanja s ispitanicima nižih klasa. Osim visine ispitanici nižih društvenih klasa imaju veći postotak tjelesne masnoće što je izraženije kod žena.

Zaključuje se da socijalne razlike i životni stil doista imaju utjecaj na fenotipske značajke populacije, a svi utjecajni čimbenici koji ukazuju na razlike važni su za kvalitetan opis populacije za koju se želi izvršiti prilagodba sredstava.

4.5 Dizajn pilotske kabine prema antropometrijskim podacima

Nakon provedene kvantifikacije statističkih antropometrijskih podataka željene populacije i razumijevanja ograničenja ljudskog tijela, započinje oblikovanje radnog mjesta prema ergonomskim preporukama.

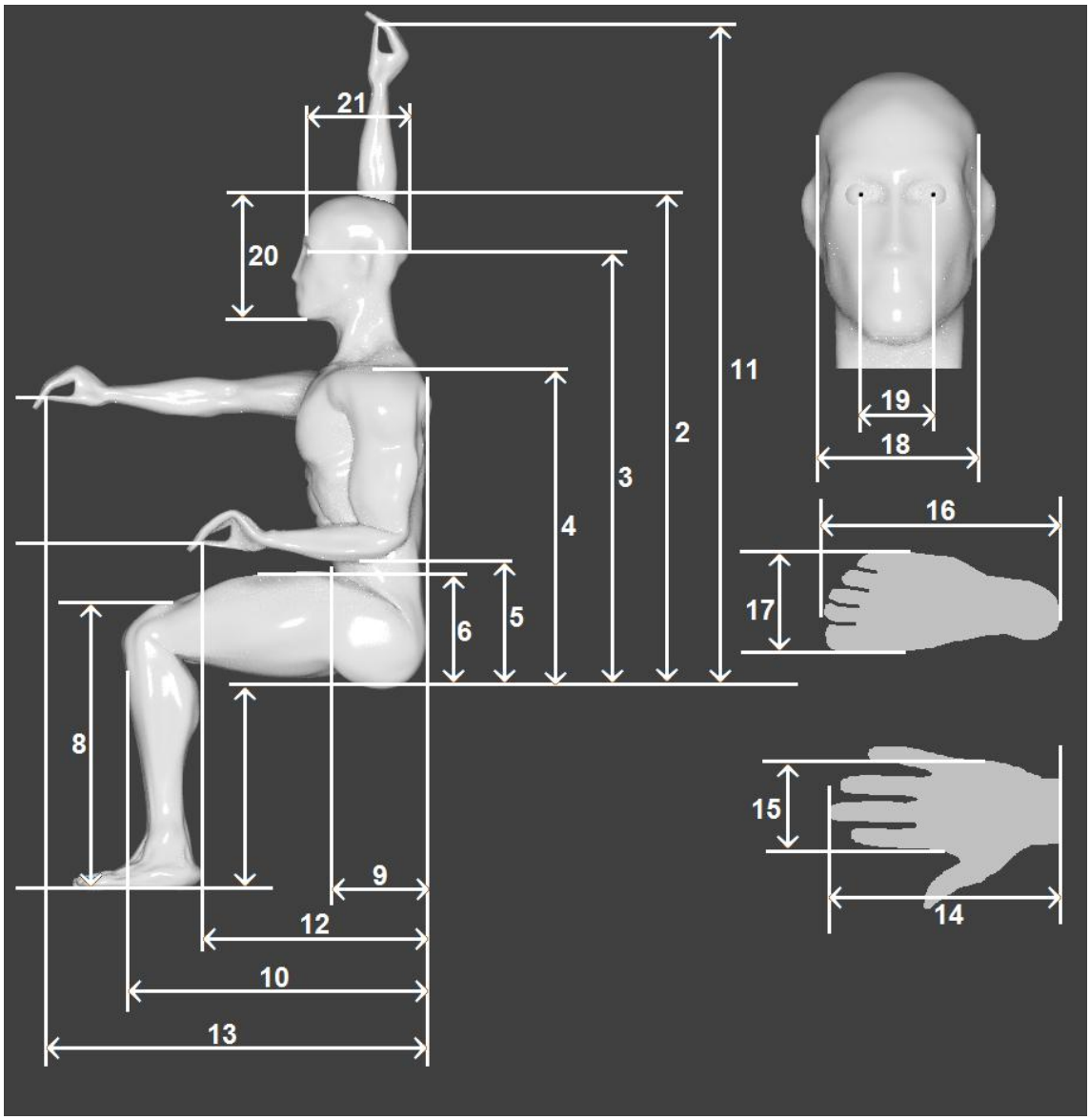
Za potrebe prilagodbe radnog mjesta kao što je pilotska kabina potrebno je odrediti raspon prihvatljivih veličina pojedinih segmenata, a mogu se naslutiti i poneki osnovni dijelovi koji moraju biti prilagodljivi fizičkim karakteristikama čovjeka. Pošto se radi o poslu koji se obavlja u sjedećem položaju većina prilagodbe bit će vezana za sjedalo, položaj i udaljenost instrumenata, te pozicija i upravljala koja moraju biti u prostoru tako da ne dođe do bilo kojeg opterećenja koje se može razviti u potencijalni stresor.

Predviđaju se ukupno 24 antropometrijske mjere navedene u tablici 4.2.koje su popraćene slikom 4.3.

Tablica 4.2 Kritične antropometrijske veličine za dizajn pilotske kabine

Redni broj	Veličina	Opis mjerne veličine	Antropometrijska potreba
1.	Stojeća visina	Udaljenost od podnožja do Vertex točke	Opisuje potrebnu visinu kabine u odnosu na tjeme glave
2.	Sjedeća visina	Udaljenost od sjedeće plohe do Vertex točke	Opisuje potrebnu udaljenost kabine u odnosu na sjedeći položaj
3.	Sjedeća visina očiju	Udaljenost od sjedeće plohe do razine očiju	Opisuje visinu instrumenata i prozora
4.	Sjedeća visina ramena	Udaljenost od sjedeće plohe do acromion točke	Služi za optimizaciju pozicije upravljala
5.	Sjedeća visina lakta	Udaljenost od sjedeće plohe do donje točke lakta	Opisuje visinu neposrednih tipki
6.	Debljina natkoljenice	Udaljenost od sjedeće plohe do najviše točke natkoljenice	Opisuje zazor između gornjeg dijela sjedala i donjeg ruba opreme
7.	Visina sjedala	Udaljenost od podnožja do sjedeće plohe	Služi za raspon optimizacije sjedala
8.	Visina koljena	Udaljenost od podnožja do gornje točke koljena	Opisuje zazor između koljena i donjeg ruba opreme
9.	Debljina trbušne šupljine	Udaljenost od plohe leđne plohe do najudaljenije točke abdomena	Opisuje zazor između opreme i natkoljenice
10.	Sjedeća duljina natkoljenice	Udaljenost od leđne plohe do prednjeg dijela koljena	Opisuje slobodu visine koljena
11.	Vertikalni funkcionalni doseg	Vertikalna udaljenost od sjedeće plohe do prstohvata	Opisuje maksimalnu visinu upravljala
12.	Funkcionalni normalni doseg lakta	Horizontalna udaljenost podlaktice od zadnje točke lakta do prstohvat	Opisuje udaljenost neposrednih komandi sjedećeg normalnog dosega
13	Horizontalni funkcionalni doseg	Udaljenost ispružene ruke od stražnje strane ramena do prstohvata	Opisuje maksimalnu udaljenost upravljala
14	Dužina šake	Udaljenost od prve najveće bore do vrha srednjeg prsta	Služi za određivanje raspona rukavica
15	Širina šake	Udaljenost vanjskog ruba šake	Služi za određivanje širine upravljala, prstohvata, rukohvata i otvora
16	Dužina stopala	Udaljenost od kraja pete do vrha najdužeg prsta	Opisuje minimalnu dužinu pedala
17	Širina stopala	Najveća udaljenost vanjskog ruba stopala	Opisuje minimalnu širinu pedala
18	Širina glave	Najveća dužina vanjskog ruba glave paralelna osi ušiju	Opisuje minimalni bočni zazor između zidova kabine i glave te za prilagodbu dodatne opreme
19	Očna udaljenost	Udaljenost između zjenica očiju	Za izradu prilagođenih optičkih uređaja i dalekozora
20	Visina glave	Visina od donje gruba brade (Gnathion) do Največe točke na glavi (Vertex)	Služi za prilagodbu zaštitne i dodatne opreme
21	Dužina glave	Udaljenost od stražnje točke glave do čela	Služi za prilagodbu zaštitne i dodatne opreme
22	Širina ramena	Maksimalna udaljenost između dvije Akromion točke	Opisuje minimalni zazor pilotske kabine
23	Širina kukova	Udaljenost između dvije Iliocristale točke	Služi za dimenzioniranje širine sjedala koja je do 70mm šira od širine kukova
24	Masa	Masa bez odjeće izražena u kg	Služi za izradu strukturalnih elemenata

Izvor: Harris, D., 2004. [2]



Slika 4.3. Kritične antropometrijske dimenzije

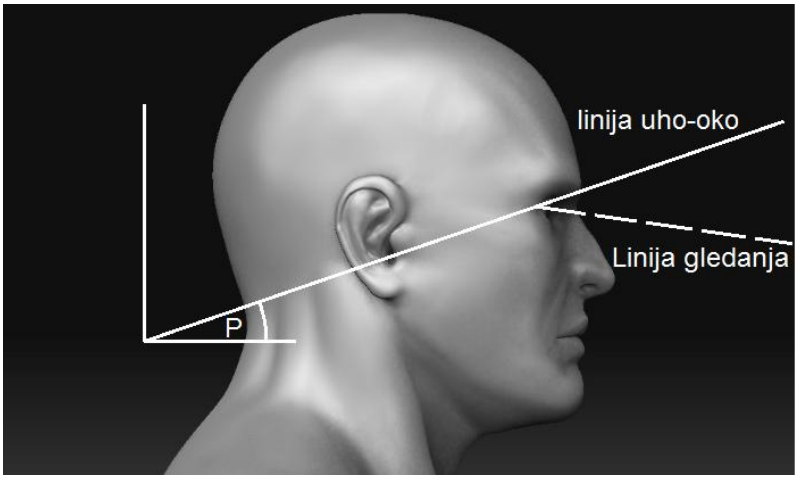
Izvor: Harris, D., 2004. [2]

4.5.1 Dizajn prema vidnom polju

Pilotiranje zrakoplova odvija se u sjedećem položaju koji je referenca za dimenzioniranje svih elemenata unutar pilotske kabine. Za dimenzioniranje mogu poslužiti različiti alati kao već spomenuti 2D ili 3D biomehanički modeli, a sve ergonomske radnje završavaju testiranjem opreme s ispitanicima.

Kod sjedećeg položaja poželjan je naslon te pripadajući rukohvati postavljeni na odgovarajuću visinu lakta. Preporučuje se naslon od oko 10° otklona unazad kako bi se reducirao utjecaj tjelesne težine na kralježnicu pilota.

Položaj instrumenata započinje definicijom vidnog polja i prirodnog položaja udova. Prvi segment koji se razmatra je prirodni položaj glave i vrata u odnosu na horizontalnu os. Linija koja omogućuje tu definiciju povezuje ušnu šupljinu, donji rub kralježnice i spojnicu očnih kapaka, naziva se UO linija (uho-oko) prikazana slikom 4.4. Preporuka za kut P je da on ne bi trebao iznositi više od 30° pošto duže izlaganje izaziva bolove u vratu.



Slika 4.4. Uho-oko linija

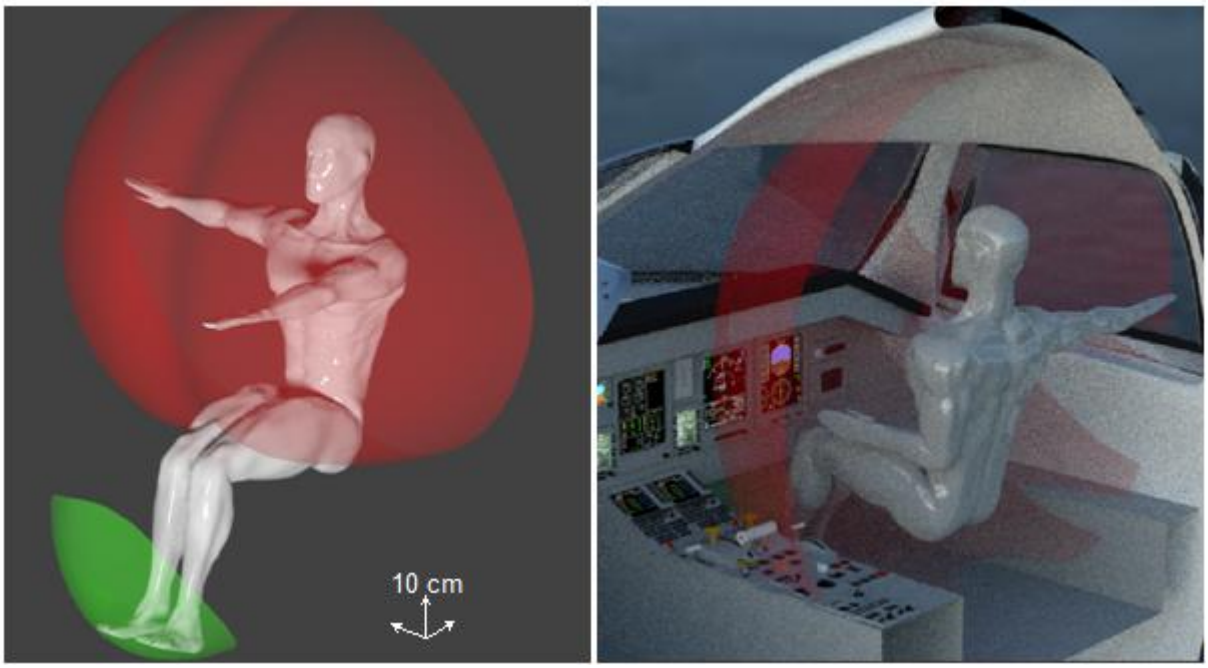
Izvor: modificirano prema Kroemer, K. H. E. et al., 1997. [5]

Linija gledanja "LG" koja je također vidljiva na slici 4.4 povezuje fokusirani objekt gledanja s očnom zjenicom. Svrha njene definicije je opis kuta između UO linije i linije gledanja, za čiji se neutralni položaj uzima kut od 45°uz dopušteno odstupanje 10° iznad i 15°ispod LG. Optimalan razmještaj instrumenata pilotske kabine bio okomit na liniju gledanja, svako veće odstupanje može se manifestirati kao stresor koji će dodatno povećati radno opterećenje.

4.5.2 Dizajn prema prostoru dosega

Ponovo kvaliteta dizajna ovisit će o pouzdanim statističkim podacima. Radno područje ograničeno je antropomjerama. Primarna funkcija je određivanje dosega udova ruku i nogu za smještaj optimalne udaljenosti upravljala. Problem koji se pojavljuje je taj da udaljenost prikaznika mora biti na optimalnoj udaljenosti radnog prostora kao i upravljalo, iako se prikaznik fizički ne dodiruje u 99% leta. Prvenstveno jer sadrže dugmad pa je i za vrijeme letne operacije potrebna kalibracija instrumenata, a sekundarno potrebno je voditi računa o kutu UO linije koji zatvara s horizontalnom osi, tako da upravljalo ne može biti uvijek na optimalnom položaju.

Doseg radnog područja ruku i nogu za smještaj upravljala grafički je prikazan slikom 4.5.



Slika 4.5. Grafički prikaz područja rada: crveno – doseg ruku, zeleno – optimalan raspon za precizan rad nogama

Izvor: modificirano prema: Mikšić D., 1997. [32], Kroemer K. H. E. et al., 1997. [5]

Rezultat je krajnji dizajn pilotske kabine koji će posljedično izazvati najmanje radno opterećenje pilota, a to je kompromisno rješenje pozicija upravljala i prikaznika istovremeno u relaciji sa strukturnim ograničenjima kabine i odabranim percentilima populacije.

5. Uklanjanje grešaka

Kada su svi mogući čimbenici HF-a adresirani, opisani i evaluirani, do nesreća će u zrakoplovstvu ipak doći. Razlog tome nije nužno nepridržavanje smjernica dizajna pilotske kabine, nedovoljna zalihost sustava ili nešto treće, već jednostavno kriva odluka pilota, kontrolora ili aviomehaničara u prijetećim situacijama, stoga je potrebna implementacija proaktivnih mjera. Upravljanje pogreškama može se opisati kao proces u kojemu se one preveniraju, zaustavljaju i ispravljaju. Kako se radi o većoj kompleksnosti, termin greške pogrešno je nametnut kao temeljni prepoznatljivi termin kada se pojave nepravilnosti za vrijeme izvedbe radnog zadatka. Greška se zapravo smatra podskupinom iz skupine krivih reakcija.

5.1 Modeli uklanjanja krivih reakcija

Drugi korak u suzbijanju krive reakcije je povećanje svijesti o njihovoj neprestanoj prisutnosti. Da se potencijalne nesreće nalaze i u nevidljivoj domeni pokazuje model Heinrichove piramide prikazane slikom 5.1. Statistička analiza je pokazala da se na 300 incidenata dogodi zrakoplovna nesreća s fatalnim posljedicama. Godinama kasnije autor F. Boyd utvrđuje da taj omjer nesreća/incident iznosi 1/600. Incidentom se smatra svaki događaj koji je potencijalno mogao dovesti do fatalne nesreće [40].

Slika 5.1. Heinrichova piramida

Izvor: Federal Aviation Administration, 2000. [40]

Slično ovome uzročnici nastajanja krivih reakcija opisani su modelima kao što su tzv. "Iceberg model" zatim Heinrich-ov "Domino" model, Reason-ov model "Švicarskog sira" i Edwards-ov "SHELL" model. Zajedničko ovim modelima je da objedinjuju sve segmente cjelokupnog područja čovjeku orijentirane radne okoline i izučavaju međuzavisne veze koje potencijalno lančano propagiraju do zadnje karike, a to je zrakoplovna nesreća. Ideja ovih modela je ostvariti teoretsku osnovu kojom bi se spriječila, zaustavila i umanjila propagacija negativnih ishoda.

5.2 Alati upravljanja krivih reakcija

Prvi implementirani alat upravljanja je CRM (*engl. Crew Resource Menagement*). Svoje korijene implementacije nalazi još krajem 70-ih godine uvedene od strane radne grupe FAA. Provedena istraživanja fokusiraju se na uzročnike zrakoplovnih nesreća u domeni, interpersonalne komunikacije, donošenju odluka i vodstvu. Rezultat implementacije CRM-a ogleda se kroz školovanje posada kojima se umanjuje nastanak greški.

Prva generacija CRM programa očitovana je u zrakoplovnoj kompaniji United Airlines, čiji je program kompanije razvio niz stručnjaka i konzultanata čiji se rad zasniva na povećanju granične efektivnosti kompanije. Onaj dio u kojem se CRM program bavio odnosi se na promjenu u strukturi ponašanja pojedinca u kompaniji [41].

Današnja edukacija CRM-a zasniva se na pouzdanoj bazi podataka prednosti i nedostataka organizacije, a ogleda se kroz 5 kritičnih izvora podataka:

- Formalne evaluacije radnog učinka i obuke
- Obavještajnog sustava incidenata
- Anketiranja, prijeletne pripreme i revizije HF-a
- Analize kvalitete letnih operacija FOQA (*engl. Flight Operations Quality Assurance*)
- Upitnika o sigurnosti na radu LOSA (*engl. Line Operations Safety Audits*)

Među navedenim značajno se ističu operativni upitnici LOSA. To su obavještajni programi, u kojima se prikupljaju podaci o međuljudskim odnosima i psihološkim čimbenicima koji su djelovali prije ili za vrijeme incidenta ili nesreće. Podaci LOSA-e

tako daju pouzdanu sliku radnih opercacija, a rezultatima je moguće izravno utjecati na tekuću organizacijsku strategiju sigurnosti i edukacije [42].

Od ranih početaka razvoj tehnike obuke i trenaže bila je temeljni normativ FAA standarda. Za usavršavanje postojećih standarda koriste se različite mjere anonimnog i sigurnosnog izvješćivanja, kao što je to primjerice LOSA program, ASRS (*engl. Aviation Safety Reporting System*), BASIS (*engl. British Airways Safety Investigation System*), ASAP (*engl. Aviation Safety Action Program*) i različite sustave samoprijave. Svi ovi sustavi izvješćivanja vrlo su kvalitetni i pouzdani u smislu brzog odgovora i povjerljive anonimnosti koji ih čini važnim proaktivnim elementom sigurnosnog sustava. Svaki sustav izvješćivanja može se podijeliti u 4 elementa. Prvim se elementom smatraju dojavljivači o incidentima i nepravilnostima kao input sustava, drugim elementom smatraju se sama izvješća koja će se podvrgnuti analizi od strane prometnih stručnjaka, treći element predstavljaju baze podataka o dojavama koje su dobar temelj za istraživanja i zadnji element je učenje ili zaključak s preporukama koji završava publikacijom čime se zatvara ciklus sustava izvješćivanja.

Ciljevi LOSA-e i ostalih sustava ogledaju se kroz:

- Povećanje svjesnosti o sigurnosti
- Dobivanje uvida o kvaliteti ponašanja za vrijeme prijetnji i greški
- Procjenu kvalitete tekuće prakse
- Dobivanje povratne informacije o mogućim unaprjeđenjima
- Obavješćivanje i edukacija svih sudionika o promjenama
- Praćenje rezultata nakon promjena

Neke od mogućih mana mogu biti pogrešna selekcija ili izostavljanje potrebnih podataka. Primjerice dok izvorna LOSA sadrži set podataka kao što su vrsta, vrijeme i mjesto incidenta, u toj bazi podataka se ne adresira stanje posade unutar pilotske kabine, kao što su individualno ponašanje pilota, psihičko stanje i komunikacija letačke posade. Kvantifikacija HF podataka unutar pilotske kabine omogućena je kolaboracijom predstavnika ASRS-a i udruženja zračnih prijevoznika ATA (*engl. Air Transport Association*), te sudionika sa Sveučilišta u Teksasu. Rezultat ove suradnje

je detaljno strukturirani upitnik koji upotpunjuje prethodno navedene manjkavosti, te daje bolji uvid u stanje, vještine i ponašanje pilota za vrijeme incidenata [43].

5.3 Model upravljanja prijetanji i krivih reakcija

Najsuvremeniji model upravljanja koji sadrži sve dosadašnje alate kao što su CRM, LOSA i ASRS je TEM (*engl. Threat Error Management*). Uz pomoć australske državne službe za sigurnost CASA (*engl. Civil Aviation Safety Authority*) upravljanje prijetnjama i krivim reakcijama se definira kao proces njihove detekcije i reakcije kako bi se spriječio negativni ishod. Operativni koncept TEM izvorno razvijen u SAD-u, predstavlja proaktivnu mjeru koja pruža niz dodatnih ažurnih alata za poboljšanje sigurnosti. Sa stajališta letačke posade mogu se adresirati tri osnovne komponente TEM modela, a to su:

- Prijetnje
- Krive reakcije
- Nepoželjna stanja

Prijetnje se definiraju kao događaji koji se nalaze izvan utjecajne domene posade. To su najčešće očekivane i ne očekivane situacije kao što je udar ptice u strukturalni dio zrakoplova, iznenadni otkaz sustava i sl. Iako takve situacije nije moguće potpuno eliminirati, moguće je održavati određenu sigurnosnu marginu. Jedan od takvih principa je pretpostavka da će se neočekivani događaj dogoditi, a to uključuje primjerice pretpostavku da strukturalna i tehnička oprema ipak sadrži unutarnje ne evidentirane imperfekcije, koje s vremenom mogu propagirati dok ne dođe do otkaza. [36]. Prijetnje se mogu podijeliti na očekivane, neočekivane i latentne, a ovisno o kojoj se vrsti radi, od pilota zrakoplova se zahtijevaju primjerene reaktivne odluke temeljene na iskustvu i znanju. Očekivane situacije zahtijevaju kvalitetnu praksu prijeletne pripreme dostatnim informiranjem o letu, a iznenadne situacije zahtijevaju širok obujam znanja, snalažljivost i uvježbanost pilotiranja.

Prema CASA-i prijetnje se dijele na [44]:

- Prijetnje okruženja (vanjske prijetnje): vrijeme, teren, ostali promet...
- Operativne prijetnje (vanjske prijetnje): greške planiranja, održavanja...
- Skrivene prijetnje (vanjske prijetnje): manjkavosti opreme, dizajna...

- Ostale prijetnje (unutarnje uvjetovane HF-om): stres, umor, distrakcija...

5.3.1 Krive reakcije

Krivom reakcijom se smatra događaj ili propust koji dovodi do odstupanja od očekivane namjere. U operativnom kontekstu ona predstavlja redukciju sigurnosne margine i povećanja vjerojatnosti događaja štetnog ishoda. Neke od najčešćih krivih reakcija su kriva procjena mogućnosti, pogrešno planiranje leta, devijacija od standardne komunikacije, krivo rukovanje opremom, nepridržavanje letnih parametara i sl. Krive reakcije generalno se dijele prema tablici 5.1.

Tablica 5.1. Osnovne vrste krivih reakcija (odgovora) s obzirom na namjeru i / ili ishod karakteristične za promet

Vrsta krive reakcije	Engleski naziv	S obzirom na:	Opis Krive reakcije (odgovara)
preuranjena reakcija	premature reaction	S obzirom na ISHOD	• nema podražaja, ispitanik (prijevremeno) reagira
omaška	slip	S obzirom na NAMJERU	• ima podražaja, ispravna namjera propust u izvedbi (Ispitanik je krivo reagirao)
propust	lapse		• ima podražaja, ispravna namjera, propust u izvedbi (ispitanik nije reagirao pravovremeno)
pogreška	mistake		• ima podražaja, kriva namjera i kriva izvedba (ispitanik je krivo reagirao

Izvor: Sumpor, D., 2017. [44]

Omaške i lapsusi su događaji neuspješne izvedbe ispravno namjeravane radnje. Omaškom se smatra neplanirana situacija npr. aktivacija pogrešnog dugmeta ili poluge, a lapsusima se smatraju događaji povezani s kratkotrajnim pamćenjem kada dođe do izostavljanja potrebne aktivnosti, primjerice pilot zaboravi aktivirati određeno upravljalo i sl.

Propusti i prekršaji su događaji pogrešne namjene. Propusti su neuspjesi ispravnog planiranja gdje se kriva reakcija ne nalazi u izvedbi aktivnosti već u odabiru pogrešnog postupka, tako da i kada bi izvedba aktivnosti bila besprijekorna željeni ishod bio bi neostvariv. Prekršajima se smatra svaka namjerna pogrešna odluka [39].

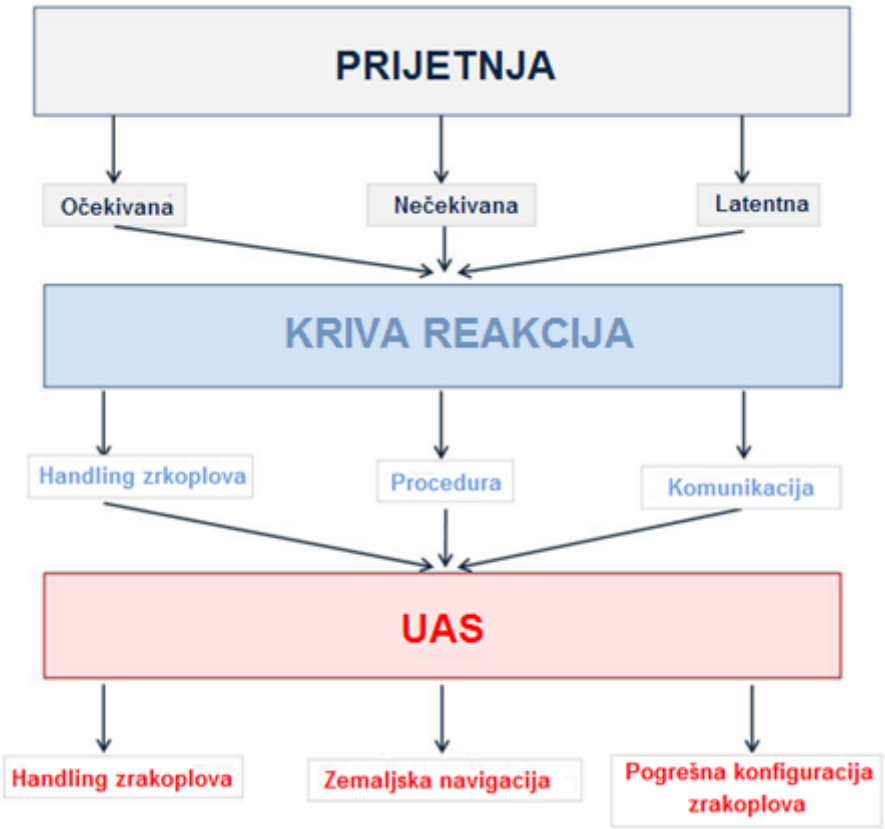
Prepoznavanje ovih tipova pogreški omogućuje razvoj primjerene strategije za njihovo uklanjanje i može se reći da je ovo prvi korak njihovom suzbijanju.

Kategorije greške u zrakoplovstvu podijeljene su na [45]:

- Proceduralne
- Operativne
- Komunikacijske
- Profesijske
- Prekršaji
- Operativna kriva reakcija

5.3.2 Nepoželjna stanja

Nepoželjna stanja UAS (*engl. Undesired Aircraft State*) rezultat su neuspješnog TEM modela prikazanog na slici 5.1. Letačka posada nakon neuspješnog upravljanja krivih reakcija i prijetnji mora sanirati UAS-e kako bi se osigurao pozitivan ishod.



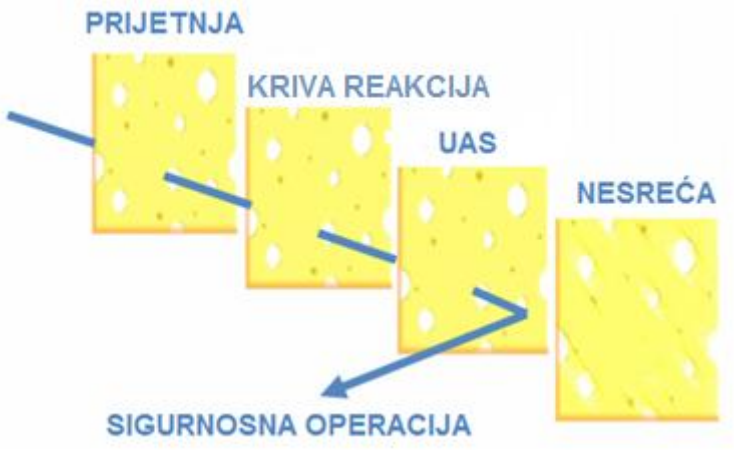
Slika 5.2. Nepoželjno stanje letjelice

Izvor: European Strategic Safety Initiative, 2014. [46]

Prema TEM modelu mogu se podijeliti tri vrste UAS-a vezanih uz:

- Rukovanje zrakoplovom (devijacija od zadane visine i brzine, nestabilni prilaz, slijetanje nakon nestabilnog prilaza, nepridržavanje zračnog prostora...)
- Zemaljsku navigaciju (korištenje pogrešne uzletno-sletne staze i staza za taksiranje...)
- Pogrešnu konfiguraciju zrakoplova (zrakoplovnih sustava, upravljala, automatizacije, pogonske grupe, mase i balansa...)

Povratak u normalno stanje za vrijeme trajanja UAS-a još uvijek je moguće, no ovo je posljednja prilika da posada dovede zrakoplov u stabilno stanje i time spriječi pojavu incidenta ili nesreće, shematski može poslužiti Reason-ov model.



Slika 5.3. Reasonov model "Švicarskog sira"

Izvor: European Strategic Safety Initiative, 2014. [46]

5.3.3. Vrste reakcija i ishoda

Prema spomenutim krivim reakcijama postoje tri moguća odziva:

1. "Trap" odzivom se smatra prijeposljedično otkrivanje krive reakcije
2. Pogoršani odziv u kojem aktivnost dodatno remeti stanje
3. Odziv prekida koji nastupa kada posada ne prepoznaje ili ne reagira na grešku

Sljedeće prema vrstama odziva postoje tri moguća ishoda:

Prvi je ishod bez posljedica gdje kriva reakcija nije imala utjecaj na sigurnost leta, zahvaljujući odzivu pilota, posade i generalno dobre prakse TEM modela. Drugi mogući ishod je nepoželjno stanje zrakoplova ili UAS koje se karakterizira kao prijeteća situacija znatno smanjene sigurnosne margine nastale kao rezultat loših odluka posade. Najnepoželjnije stanje nastupa kada posada ne prepoznaje inicijalnu krivu reakciju te takva situacija dovodi do nastajanja novih dodatnih krivih reakcija.

5.3.4. Protumjere u modelu upravljanja prijetnji i krivih reakcija

Za sprječavanje UAS-a i nastavak normalnih letnih operacija unutar sigurnosne margine, mogu poslužiti neke od protumjera kao što su planiranje, prijeletna priprema, primjerena edukacija, primjena standardnih operacija i procedura SOP (engl. *Standard Operations and Procedures*). Protumjere se mogu podijeliti u tri skupine [46]:

- Planiranje protumjera (podjela radnih aktivnosti, razumljivost letnog plana i radnog zadatka svim članovima letačke posade...)
- Izvedba protumjera (praćenje aktivnosti ostalih članova posade, izbjegavanje prekomjernog radnog opterećenja...)
- Revizija protumjera (revizija kritičnih informacija, odluka, izvedba pilotiranja nakon leta...)

Cilj podučavanja je stjecanje svijesti o potencijalnim prijetećim situacijama koje su prisutne u svim fazama leta i stečena saznanja odgovorno primjenjivati u praksi prije leta, za vrijeme leta i poslije leta. Stečena znanja pomažu u redukciji krivih reakcija i služe kao predložak za dobru izvedbu zadatka. Tijek dobre odluke ide prema sljedećem:

1. Uzrok (ograničena vidljivost za vrijeme slijetanja)
2. Pitanje (koje su moguće mjere)
3. Mogućnost (prekid slijetanja ili nastavak)
4. Odluka (pilot odabire mogućnost)
5. Izvedba (pilot izvodi odabranu mogućnost)

Idealno prijetnje i greške treba ukloniti prije nastupanja nepoželjne situacije. Za vrijeme trenaže piloti će se najčešće susretati s nepoželjnim situacijama poput

prebrzog taksiranja, lateralnog klizanja, prebrzog prilaza, poteškoćama održavanja visine i slično. Ako situacija dozvoljava, poželjno je da instruktor prepusti polazniku škole samostalnu reakciju. Ove se nepravilnosti ne smatraju nepoželjnim situacijama samo za vrijeme trenaže, ali svakako pomažu da se problem pravilno adresira i analizira. Za vrijeme leta i poslije leta potrebno je polazniku škole ukazati na prijestup i napomenuti da ne posveti svu pažnju samo na rješavanje problema već da izvrši uspejšnu korekciju uz istovremenu komunikaciju, navigaciju i ostale radnje kako se ne bi dodatno smanjila sigurnosna margina.

Kroz faze školovanja pilota, instruktori i polaznici škole će se susretati s nizom UAS-a koje se inače ne klasificiraju kao nepoželjna stanja kada zrakoplovom upravlja nekvalificirani pilot za vrijeme obuke. Instruktor za vrijeme trenaže mora biti potpuno svjestan situacije i izbjeći one UAS-e koji će dovesti do incidenta ili nesreće. Da bi se ciklus zatvorio nužno je pilote suočiti s prikupljenim podacima nakon leta.

5.4. Statistički osvrt dizajna

Kroz posljednjih 20-ak godina, stope nesreća zrakoplova s fatalnim posljedicama smanjile su se za oko 8 puta, a kroz isti period zračni promet porastao je za 86%. Ovaj podatak pokazuje da je stavljanjem sigurnosti u prvi plan, te izučavanjem HF-a značajno pridonijelo sigurnosti cjelokupne zrakoplovne industrije. Kada se evolucijski dizajn zrakoplova podjeli u 4 generacijska razdoblja moguće je utvrditi direktan odnos dizajna na broj fatalnih zrakoplovnih nesreća i gubitaka zrakoplova

Evolucijski dizajn tako se može podijeliti na:

Rane mlazne zrakoplove (od 1952.)

Zrakoplove s integriranom automatizacijom (od 1964.)

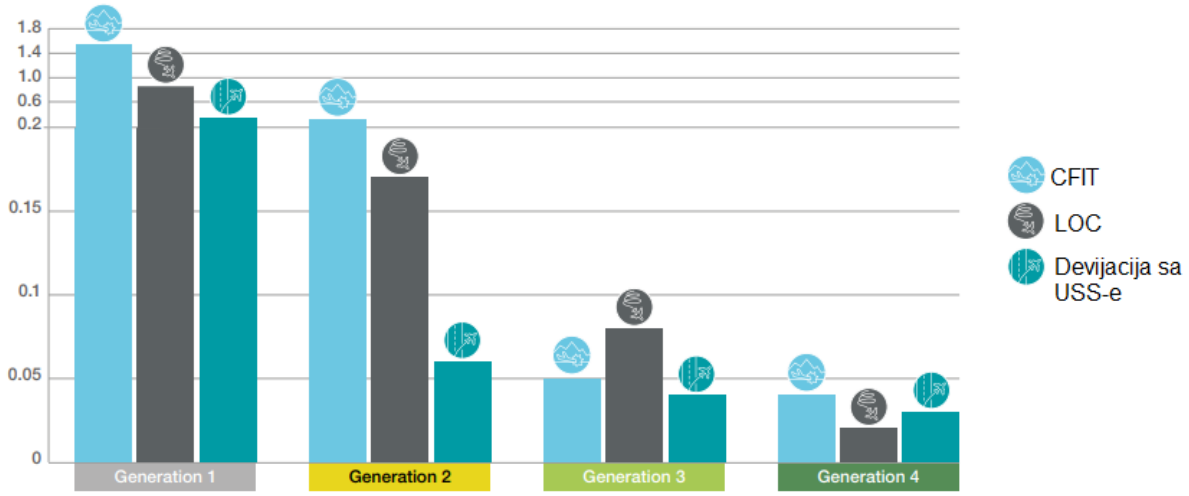
"Glass cockpit" zrakoplovi (od 1980.)

"Zrakoplove potpune automatizacije "Fly by wire" (od 1988.)

Takav uspjeh nije samo produkt dizajna već i efektivnih regulacijskih mjera upravljanjakrivih reakcija. Prva generacija zrakoplova dizajnirana je 50-ih i 60-ih godina sa značajkama analognog prikaza i vrlo ograničenih mogućnosti. Druga generacija uzima maha unaprjeđivanjem sustava i implementacijom automatizacije.

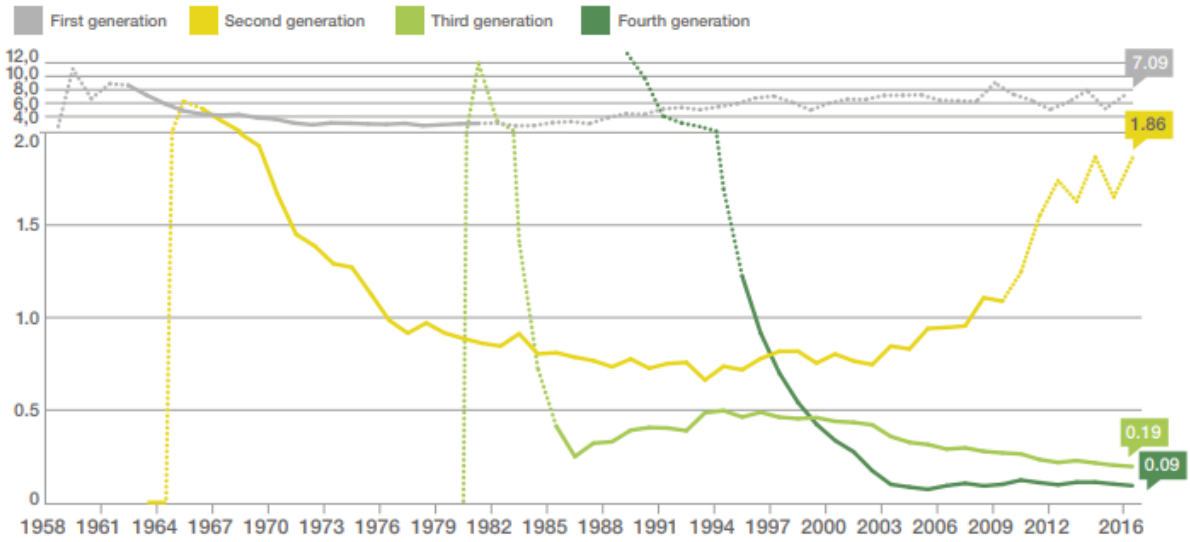
Trećom generacijom rasterećuje se pilota uvođenjem sofisticiranih sustava upozorenja i sustava koji omogućuju prognoziranje parametara, te time rasterećuju pilota od samoprocjene trenda istih. Četvrta generacija zvana "Fly by wire" uključuje primjenu centralnog računala koje procjenjuje situaciju i zatim po potrebi autonomno reagira kada dođe do prijeteće situacije ili nepoželjnog stanja UAS-a. Kao primjer tome može se uzeti slučaj kada se zrakoplov nalazi vrlo blizu kritičnog napadnog kuta u letu, tada računalo autonomno poveća potisak i brzinu, te smanjuje napadni kut kako ne bi došlo do prekoračenja i gubitka kontrole nad zrakoplovom LOC (*engl. Loss Of Control*) [47].

Evolucijski gledano očekuje se da bi broj zrakoplovnih nesreća trebao padati, a tome svjedoče i podaci iz grafa 5.1. i 5.2. Najveće razlike uočavaju se između druge i treće generacije zrakoplova gdje je vidljiva redukcija CFIT nesreća za 85% i između treće i četvrte generacije gdje se bilježi pad LOC nesreća za 75%. Najniža stopa zrakoplovnih nesreća kod zrakoplova prve generacije kreće se oko 3 nesreće na milijun letova dok taj broj kod druge generacije iznosi oko 0,7 što dovodi do 80% redukcije u broju nesreća između te dvije generacije. Između druge i treće ostvaruje se 70% redukcija nesreća, a konačno između treće i četvrte generacije zrakoplova dodatnih 50%.



Graf 5.1. Generacijska raspodjela zrakoplovnih nesreća na milijun letova po vrstama zrakoplovne nesreće

Izvor: Airbus S.A.S., 2017. [47]



Graf 5.2. Generacijska distribucija nesreća s fatalnim posljedicama na milijun letova

Izvor: Airbus S.A.S., 2017. [46]

Zračni promet iz godine u godinu raste, a svakih 15 godina broj zrakoplova u komercijalnoj službi dvostruko se umnoži. Komercijalni uspjeh zrakoplovstva omogućen je implementacijom novih i sigurnijih tehnologija koje dovode do povećanja sigurnosti kao i uvođenjem niza organizacijskih i proceduralnih mjera koje potječu izravno ergonomskim pristupom tog sustava. Zbog kompleksnosti zrakoplovstva, koje uključuje suradnju velikog broja različitih sudionika, nije moguće ostvarenje efikasnijeg i sigurnijeg radnog učinka, a da se u sigurnosne programe ne uključe svi sudionici tog prometnog procesa. U budućnosti se i dalje očekuje porast zračnog prometa što za sobom povlači i mogućnost nastajanja novih nepredviđenih konflikata, ali se tako pruža i mogućnost boljeg shvaćanja čovjeka i njegove uloge u tom procesu.

DISKUSIJA

Statistika dokazuje da se najviše zrakoplovnih nesreća odvija u kritičnim fazama leta kada se od letačke posade zahtjeva najviši stupanj koncentracije. Iako postoje sustavi automatizacije koji omogućuju autonomno slijetanje zrakoplova do točke dodira s USS-om i danas se takvi autonomni sustavi izbjegavaju u fazama polijetanja i slijetanja zbog prisutnosti mogućih konflikata koji će onemogućiti brzo reaktivno djelovanje pilota kada nastupe nepredviđene nepravilnosti kao što je iznenadni udar bočnog vjetra, udar ptice i sl. Izučavanje ergonomskih čimbenika čovjeku prilagođene radne okoline omogućilo je razvoj te primjenu tehnoloških i organizacijskih principa koji uvelike pridonose kvaliteti života i sigurnosti.

Prema definiranim utjecajnim čimbenicima i njihovim vrijednostima kreće se u integraciju istih principa u dizajn ergonomske okoline. Potrebno je uvođenje modernije i sofisticiranije tehnike, optimalnog rasporeda iste i primjene principa najbolje prakse, kao i unaprjeđenje regulativnih okvira. Novi sadržaj ne predstavlja krajnji dizajn već će se primijeniti dizajn kompromisnog rješenja koji iako teži prema optimalnosti to ipak nije zbog ekonomske inertnosti promjenama takvog sustava. Primjer tome može poslužiti implementacija HUD prikaznika koji u industrijskom značaju predstavlja enormne investicijske gubitke iako znatno olakšava slijetanje u lošim meteo uvjetima.

Kada se usporede stare i nove tehnologije korištene u pilotskoj kabini, može se primijetiti značajno bolje iskorištenje prostora, a time posljedično i redukcija potrebnih obavijesnih i upravljačkih površina. Instrumenti velikih gabarita sada su smješteni na jedan pločasti prikaznik, što olakšava snalaženje i brzinu iščitavanja parametara. Još jedan pozitivni efekt kod implementacije EFIS prikaznika je taj da izbacivanjem analognih prikaznika s kazaljkom dolazi do uklanjanja mogućnosti krivog očitavanja vrijednosti, jer primjenom elektronskih prikaznika koji koriste CRT, a danas uglavnom LCD tehnologiju, do efekta paralakse očitavanja neće doći, pa će se vrijednosti s prikaznika uvijek moći očitati točno. Kriva reakcija očitavanja ovdje jedino može nastupiti kada dođe do krive percepcije, kada prikaznici jednog tipa zrakoplova nisu kompatibilni s prikazom drugih prikaznika drugih tipova zrakoplova. Tada se problem nalazi u tome što pilot može zamijeniti dvije skale na pločastom prikazniku i time pogrešno protumačiti danu informaciju. Kako bi se ovo izbjeglo potrebna je suradnja

zrakoplovne industrije na globalnoj razini koja će rezultirati etabliranjem međunarodnih standarda kojima se postiže unificiranost prikaza podataka na prikaznicima. Isto vrijedi i za sve ostale sustave gdje je glavni cilj stvoriti maksimalnu interoperabilnost svih sučelja unutar pilotske kabine.

Također niti najbolji prikaz podataka neće koristiti pilotu kada je iščitavanje onemogućeno uslijed bliještenja. Pilotska kabina mora biti tako koncipirana da upadne vanjske i unutarnje svjetlosne zrake omogućuju neometan rad pilota, a da se istovremeno slijedi prihvaćenu filozofiju "tamne" pilotske kabine. Osvjetljenje E_s pilotske kabine treba za većinu vremena biti u rasponu od 325 lx do 540 lx. Tipična rješenja protiv bliještanja mogu biti pokretne zavjese, optička sredstva s tamnim filterom, konstrukcijski svjetlosni zaklon iznad prikaznika, ali i odgovarajućih naočala. Prilikom konstrukcije oblika vjetrobranskog stakla treba voditi računa da zakrivljenost vjetrobrana ne fokusira svjetlosne zrake sunca u blizini sjedišta pilota, a time spriječi nastajanje užarenih predmeta, zapaljene opreme i mogućih opeklina koje su u prošlosti evidentirane na zrakoplovnim jedrilicama.

Nova istraživanja vezana za boje i kontraste neće znatno pridonijeti ergonomskom poboljšanju pilotske kabine, jer se isti principi bez značajnih promjena koriste već dugi niz godina. Adaptacija boja kod prikaznika omogućuje lakšu orijentaciju i snalaženje kod odabira željenog seta podataka. Prilikom signalizacije i interpretacije podataka kodiranjem prema bojama ostvaruje se željeni psihološki efekt kojim se intuitivno prepoznaje stanje sustava. Primjerice zeleno je za znak poželjnog ili stabilnog stanja sustava, a crveno za uzbune.

Istovremeno nove tehnologije mogu dovesti do nastajanja novih konflikata koji potenciraju nastajanje krivih reakcija, kao što je to slučaj kod prikaznika koji omogućuje istovremeni prikaz topografskih i meteo značajki. Moguća preporuka u takvom slučaju bi bio prikaz tih konfliktnih podataka bojama različitog zasićenja C^*, gdje bi se primjerice meteo podaci prikazivali oštrim bojama visokog zasićenja, a topografski podaci u spektru boja niskog zasićenja.

Kod dizajniranja pilotske kabine prema zvuku nastoji se konstrukcijskim i tehnološkim rješenjima umanjiti pozadinska razina buke kao i raspon nepoželjnih fluktuacija buke. Pri tome treba voditi računa da razina audio obavijesti i upozorenja bude za 15 dB viša od pozadinske buke. Ovdje bi se mogla preporučiti akustično-

svjetlosna veza obavijesti i upozorenja tako da kodirani zvučni signal određene frekvencije korespondira s aktivacijom svjetlosnog kodiranog signala kako bi se uz stečeno znanje intuitivnije moglo zaključiti na koji se dio sustava određena obavijest ili upozorenje odnosi. Količina maksimalne apsorbirane buke D za 8 satno radno vrijeme ne smije prelaziti vrijednost od L_{eq} = 85 dB(A).

Vibracija je usko povezana s bukom, i često može nastati kao posljedica buke i obratno. Ovdje je također moguće smanjenje negativnog učinka korištenjem novih tehnoloških rješenja, primjerice dizajn suvremenijeg sjedišta pilota, kojima bi se povećala inertnost prema vibracijama, poglavito onih koje izazivaju rezonanciju u određenim dijelovima ljudske anatomije. U takva rješenja spadaju primjerice elastične veze između sjedišta i poda pilotske kabine kao i elastične veze s visokim svojstvom histereze integrirane u konstrukciju samog sjedišta pilota. Frekvencije koje treba izbjegavati zbog rezonance u ljudskom tijelu kreću se u rasponu od 3 - 200 Hz.

Pridržavanjem smjernica ugode uspješno se dimenzionira ergonomsko radno okruženje pilota. Ovaj aspekt ne odnosi se izravno na sučelja, ali uz temperaturu radnog ambijenta treba voditi računa i o sposobnosti radnih površina da apsorbiraju ili reflektiraju toplinsko zračenje. Temperatura okolnih površina t_S ne bi trebala biti veća od 2-3 °C u odnosu na prosječnu temperaturu zraka t_A. Termalna ugoda postiže se kombinacijom vrijednosti efektivne temperature t_{Ef} i relativne vlažnosti φ, pri čemu treba paziti da relativna vlažnost ne bude niža od 30% jer dovodi do isušivanja sluznice nosa, a daljnji deficit vlažnosti izaziva iritaciju kože i očiju. Prekomjerna relativna vlažnost iznad 70% također stvara nelagodu, a efekti se ogledaju kroz otežano disanje i osjećaj sparine ambijenta. Za generalnu udobnost okoline prilikom obavljanja letačkog zadatka pogodna je radna okolina efektivne temperature od 25°C s relativnom vlažnosti zraka od 22 do 60%. Zadnjim čimbenikom ugode smatra se brzina strujanja zraka $v_{\dot{m}}$ čija brzina strujanja ne bi trebala biti veća od 2 (m/s), međutim hladni zrak ne smije strujati preko osjetljivih dijelova tijela poput vrata ili zglobova.

Svaki se čovjek razlikuje po fizičkim i kognitivnim značajkama. U industriji stoga nije moguće prilagoditi proizvod ili sredstvo zrakoplovne tehnike prema svakom pojedinom korisniku, već se uzimaju antropometrijske mjere raspona u središnjih

90% iz ciljane populacije korisnika. Pri tome treba voditi računa o budućim trendovima antropometrijskih varijabli.

Iako svi dosadašnji mjerljivi čimbenici uvelike pridonose sveukupnoj kvaliteti radnog okruženja, do zrakoplovnih nesreća će ipak povremeno doći, a to je samo svjedok magnitude kompleksnosti zračnog prometnog procesa. Prepoznavanjem tipičnih konflikata i situacija koje pogoduju nastajanju krivih reakcija, drugih negativnih događaja i stanja koji se identificiraju kao greške moguće je iste proaktivnim mjerama definirati i spriječiti ponavljanje istih u budućnosti. Važno je napomeniti da postoji još velika mogućnost za poboljšanje, pogotovo kada se govori o ostvarivanju dobre kulture sigurnosti u kojima se začeci potencijalne greške neće ignorirati već svaki incident primjereno obraditi koristeći modele i alate koji pogoduju cjelokupnom prometnom procesu.

Uspješna suradnja svakog sudionika zrakoplovne industrije ukupno posljedično dovodi do povećanja sigurnosti, ugodnosti i atraktivnosti ovog moda prijevoza.

ZAKLJUČAK

Rad pilota odvija se u specifičnom radnom okruženju koje karakterizira visok stupanj odgovornosti, profesionalnosti i pozornosti. Izučavanje ljudskih čimbenika izravan je rezultat zasnovane potrebe za poboljšanjem radnog učinka zračnog prijevoza kojeg karakterizira neprestano rastući trend. Taj isti rastući trend doveo je i do pojave jednog negativnog trenda u vidu sigurnosti. Vrlo lošim radnim učinkom smatra se učinak s negativnim posljedicama u smislu gubitka stupnja kontrole i nadzora nad sredstvom, a koji posljedično može dovesti do nastajanja permanentnih profesionalnih oboljenja i posljedica s fatalnim ishodom. Dobrim radnim učinkom smatra se učinak koji uz pomoć čovjeku usmjerenog tehnološkog i organizacijskog dizajna, omogućuje lakšu, kvalitetniju i sigurniju radnu izvedbu na sredstvu. Značajka svakog segmenta istraživanja čimbenika HF-a je u tome da se polazi od toga da čovjek nije savršeno biće, te je ograničen svojim fizičkim i kognitivnim značajkama. Temeljitom analizom tih značajki moguće je definirati područje efektivnih parametara radne okoline koja će stimulativno i pozitivno djelovati na radni učinak.

U radu je dokazana hipoteza da je identifikacijom važnih čimbenika iz područja "ljudskog faktora", te primjenom stečenih saznjanja, moguće modelirati smjernice ergonomskog dizajna čovjeku orijentirane radne okoline, kako bi se smanjilo radno opterećenje i uklonilo nepoželjne ishode i time povećao radni učinak u kritičnim fazama leta. Uspješnim otkrivanjem prisutnih osjetnih i latentnih stresora i definiranjem optimalnih radnih uvjeta omogućeno je postavljanje temelja za suvremeni dizajn zrakoplova. Kao rezultat istraživanja postavljaju se smjernice optimalnog dizajna za većinsku populaciju u rasponu središnjih 90%. Zbog opsežnosti tematske skupine HF-a nije moguće ovu tematsku cjelinu ograničiti samo na tehnološki aspekt već se optimalni dizajn uspostavlja uspješnom tehničkom, tehnološkom i znanstvenom kolaboracijom svih sudionika, te implementacijom ustanovljenih principa dizajna. Efekti utjecaja takvog pristupa izravno su evidentni padajućim i horizontalnim vremenskim trendovima zrakoplovnih nesreća svake sljedeće generacije zrakoplova.

U budućnosti se očekuje daljnji padajući trend zrakoplovnih nesreća usprkos linearnog rastućeg trenda zračnog prometa u kojemu se zračni promet otprilike svakih 15 godina udvostruči. Takogđer se u tehnološkom vidu očekuje

implementacija novih sofisticiranih sustava koji dodatno rasterećuju letačku posadu i podržavaju sigurnost leta. Danas se za primjer može uzeti mlazni zrakoplov tipa Phenom 300 čiji ergonomski dizajn toliko olakšava izvedbu pilota da je taj zrakoplov certificiran kao "Single pilot" zrakoplov usprkos svojih konvencionalnih dimenzija.

Popis literature

[1] Wise, J. A., Hophin, W. D., Garland, D. J.: Handbook of Aviation Human Factor, Second Edition, Industrial and Operations Engineering University of Michigan, Michigan, 2010.

[2] Harris, D.: Human factors for civil flight deck design, Cranfield University, Burlington USA, 2004.

[3] International Civil Aviation Organization: Safety Report, Montréal, 2015.

Dostupno na stranici:
http://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_Safety_Report_2015_Web.pdf, (2016.)

[4] Trollip, S. R., Jensen, R. S.: Human Factors for general aviation, Published by Sanderson, J., Englewood, CO, 1991.

[5] Kroemer, K. H. E., Grandjean, E.: Fitting the task to the Human, A textbook of Occupational Egonomics, Fifth Edition, Taylor & Francis, London, 1997.

[6] Fakleš, D.: Autorizirano predavanje planiranje posada Croatia Airlines, preuzeto iz: Airbus, Getting to grips with fatigue, Zagreb, 2004.

[7] Ashton, R., Fowler, A., Wilson J.: Human Friendly Roasters, Reducing the Risk of Fatigue, Rail Human Factors, Supporting the Integrated Railway, Ashgate Publishing Limited, 2005.

[8] Dewar, R. E., Olson, P. L.: Human Factors in Traffic Safety, Lawyers & Judges Publishing Company Co., Tuscon, 2007.

[9] Woodson, W. E, Tillman, B., Tillman, P.: Human Factors Design Handbook, Second Edition, McGraw – Hill, Inc., 1992.

[10] Hilgendorf, L.: Information input and response time, 9-31-7, Bethesda USA, 1966.

[11] Drenovac, M.: Kronometrija dinamike mentalnog procesiranja, Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera, Filozofski Fakultet, Osijek, 2009.

[12] Riley, V.: A theory of operator reliance on automation Mouloua, M. & Parasuraman, R. (Eds.), Human performance in automated systems, Current research and trends (pp. 8-14), Mahwah, NJ, Erlbaum, 1994.

[13] National Aeronautics and Space Administration: Effects of Acute Stress on Aircrew Performance: Literature Review and Analysis of Operational Aspects, NASA Ames research center, Moffett Blvd, 2015.

Dostupno na stranici:

https://human-factors.arc.nasa.gov/publications/NASA_TM_2015_218930-2.pdf, (2018.)

[14] Parsons, K. C.: Enviromental ergonomics: a review of principles, methods and models, Department of Human Sciences Loughborough University, Loughborough, 2000.

[15] Transport Canada: Canada's human factors for aviation: basic handbook, Ottawa, 2017.

Dostupno nastranici: http://www.langleyflyingschool.com/Pages/Human%20Factor–Pilot%20Error.html, (2017.)

[16] National Aeronautics and Space Administration: Using color in information display graphics, Color Usage Research Lab, NASA Ames Research Center, Moffett Blvd, 2017.

Dostupno na stranici:

https://colorusage.arc.nasa.gov/guidelines; (2017.)

[17] Mollica, P.: Color Theory: An essential guide to color froma basic principles to practical applications, Suite A Irvine, 2013.

Dostupno na stranici:

https://d2jv9003bew7ag.cloudfront.net/uploads/Color-wheel.-Image-via-franklinpainting.com_.jpg, (2018.)

[18] Piaggio Aerospace: Piaggio P180 Avanti, Sestri Ponente, 1884.

Dostupno na stranici:

https://c2.staticflickr.com/6/5588/14949078057_ba8f0fc1b4_b.jpg, (2018.)

[19] Airbus Industrie: Airbus A380 flight deck layout, Toulouse,1970.

Dostupno na stranici:

https://i.stack.imgur.com/pEV63.png, (2018.)

[20] Nethus, T. E., Rush, L. L., Wreggit, S. S.: Effects of Mild Hipoxia on Pilot Performances at General Aviation Altitudes, Civil Aeromedical Institute Federal Aviation Administration, Oklahoma City, 1997.

Dostupno na stranici:
https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/1990s/media/AM97-09.pdf, (2018.)

[21] Federal Aviation Administration: DOT, Part-25.831 i Part-25.832, USA, 2003.

Dostupno na stranici:

https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2010-title14-vol1/pdf/CFR-2010-title14-vol1-sec25-831.pdf, (2018.)

[22] Acoustics International Organization for Standardization: Normal equal-loudness level contours – ISO 226:2003, 2nd edition, Berlin, 2003.

Dostupno na stranici:

http://www.sengpielaudio.com/Acoustics226-2003.pdf, (2018.)

[23] Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi: Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave, NN 20/03, Zagreb, 2004.

Dostupno na stranici:

https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2004_10_145_2548.html, (2018.)

[24] United States Department of health and human services: Criteria for recommended standard, National Institute for Occupational Safety and Health Cincinnati, Ohio, 1998.

[25] United States Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration: Standard 29 CFR, Standard number 1926.52, Washington DC, 1993.

[26] Kryter K. D.: The effects of noise on man, New York Academic Press, Orlando, 1985.

[27] Ivošević, J.: Doktorski rad, Određivanje utjecaja unutarnje buke zrakoplova na sposobnost pilota, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb; 2015.

[28] Stave, A. M.: The Effects of Cockpit Environment on Long-Term Pilot Performance, Langley Research Centar, Hampton Virginia, 1973.

Dostupno na stranici;

http://dviaviation.com/files/38800976.pdf, (2018.)

[29] Federal Aviation Administration: DOT, Part 25.773; USA, 1993.

https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_25_773-1.pdf, (2018.)

[30] Carrier, W. H.: Simplifed version of the Mollier Diagram, The American Society of Heating and Ventilating Engineers, New York, 1908.

Dostupno na stranici:

https://www.arct.cam.ac.uk/Downloads/ichs/vol-1-127-152-addis.pdf, (2018.)

[31] Arens, E. (PI), Zhang, H., Pasut, W., Zhai, Y., Hoyt, T., Huang, L.: Air movement as an energy efficient means toward occupant comfort, Center for the Built Environment, University of California, Berkeley, 2013.

Dostupno na stranici:

https://www.arb.ca.gov/research/apr/past/10-308.pdf, (2018.)

[32] Mikšić, D.: Uvod u ergonomiju, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1997.

[33] Health & Safety Executive: Lighting at work, UK, 1987.

[34] Tiger Color: Color schemes made easy, Norway, 2000.

Dostupno na stranici:

http://www.tigercolor.com/color-lab/color-theory/color-harmonies.htm, (2018.)

[35] Huisman, H., Flohr, E.: The design and validation of a Tunnel in the sky display for aircraft operating in advanced Air Traffic Control, Netherlands, 1997.

[36] Bohne, H. G. M., van den Bosch, J. J., Jorna, P. G. A. M.: Cockpit Operability and Design Evaluation Procedure (CODEP), Test cards, NLR TP-97411, National Aerospace Laboratory, Amstrdam, 1996.

[37] Despain, B.B.: B737-800 Head Up Display, Airliners.net, Sweden, 1997.

[38] Muftić, O.: Utvrđivanje Individualnih biomehaničkih veličina za prosudbu težine ljudskog rada, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2007.

[39] Spitzer, C. R., Abbott, K. H.: The Aviation Handbook, Chapter 9: Human Factors Engineering and Flight Deck Design, USA, 2001.

Dostupno na stranici:

http://www.davi.ws/avionics/TheAvionicsHandbook_Cap_9.pdf, (2018.)

[40] Federal Aviation Administration: System Safety Handbook, Operational Safety in Aviation, Washington DC, 2000.

Dostupno na stranici:
https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/risk_management/ss_handbook/media/Chap16_1200.pdf, (2018.)

[41] Civil Aviation Authority: Flight-crew human factors handbook, Aviation House, Gatwick Airport South West, Sussex USA, 2014.

Dostupno na stranici:

https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP%20737%20DEC16.pdf,(2018.)

[42] Helmreich, R. L., Klinect, J. R., Wilhelm, J. A.: Models of Threat, Error and CRM in Flight Operations, University of Texas Team Research Project, The University of Texas at Austin Department of Psychology, Austin Texas USA, 1999.

Dostupno na stranici:

http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.177.8694&rep=rep1&type=pdf, (2018.)

[43] Jones, G. S., Tesmer, B.: A New Tool for Investigating and Tracking Human Factors Issues in Incidents, University of Texas Team Research Project & Continental Airlines, Columbus, OH: The Ohio State University, 1999.

[44] Sumpor, D.: Autorizirana predavanja iz Ergonomije u prometu, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017.

[45] Civil Aviation Safety Authority: Civil Aviation Advisory Publication CAAP 5.59-1 (0), Teaching and Assessing Single-Pilot Human Factors and Threat and Error, Australian Government, 2008.
Dostupno na stranici:
https://www.google.hr/search?q=casa+threathts&rlz=1C1AWUA_enHR741HR741&oq=CASA+threath&aqs=chrome.0.69i59j69i57j0l4.3520j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8#q=caap+5.59, (2018.)

[46] European Strategic Safety Initiative, Helicopter Safety Team: The Principles of Threat and Error Management for Helicopter Pilots, Instructors and Training Organisations, Köln Germany, 2014.

Dostupno na stranici:

https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/HE8.pdf, (2018.)

[47] Airbus S.A.S.: A Statistical Analysis of Commercial Aviation Accidents 1958-2016, France, 2017.

Dostupno na stranici:

https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/safety-first/Airbus-Commercial-Aviation-Accidents-1958-2016-14Jun17.pdf, (2018.)

Popis slika

Slika 2.1. Shematski prikaz idealne RTD&E strategije 9
Slika 2.2. RTD&E ciklus s aktivnostima u kojima se vrši istraživanje ljudskih čimbenika 10
Slika 2.3. Statistička ilustracija pojave nesreća po fazama leta 16
Slika 2.4. Informacijski tok zatvorenog sustava čovjek-strojokoliš 17
Slika 2.5. Primjer cirkadijskog ciklusa 19
Slika 2.6. Utjecaj umora 20
Slika 2.7. Ukupno vrijeme reakcije (PRT) 21
Slika 2.8. Shematski prikaz radnog opterećenja po pojedinim fazama leta 28
Slika 2.9. Osnovni parametri boje 32
Slika 2.10. Standardni raspored boja 33
Slika 3.1. Piaggio Avanti 40
Slika 3.2. Generalni raspored elemenata pilotske kabine Airbus A380 41
Slika 3.3. Komplementarni ciljevi dizajna pilotske kabine 44
Slika 3.4. Direktno i indirektno bliještanje 59
Slika 3.5. Jak kontrast i izravno bliještanje za vrijeme leta 59
Slika 3.6. Prihvatljivi omjer kontrasta osvjetljenja u središnjem i perifernom vidnom polju 60
Slika 3.7. Primjer degradacije boje 62
Slika 3.8. Optički utjecaj pozadine sučelja 63
Slika 3.9. Estetične kombinacije boja; modificirano prema 63
Slika 3.10. Točnost očitavanja po vrstama skala 66
Slika 3.11. T-model rasporeda prikaznika; 66
Slika 3.12. Integrirani prikaznici 68
Slika 3.13. Izvedbe prikaznika umjetnog horizonta 68
Slika 3.14. Konfliktni prikaz topografskih (lijevo) i meteo parametara (desno) na ND-u 73
Slika 3.15. Zvjezdasti prikaz parametara 74
Slika 3.16. Kodiranje upravljala 78
Slika 3.17. Preporuke za sklopku 79
Slika 3.18. Pogreške korištenja različitog stereotipa 83
3.19. Odjeljci za regulaciju visine kod zrakoplova Boeing 777 (lijevo) i Airbus A320 (desno) 85
Slika 3.20. Logičan raspored prikaznika i upravljala 86
Slika 3.21. B737-800 HUD prikaznik 87
Slika 4.1. Frekvencija raspodjele tjelesne visine 89
Slika 4.2. Glavne antropometrijske točke 92
Slika 4.3. Kritične antropometrijske dimenzije 97
Slika 4.4. Uho-oko linija 98
Slika 4.5. Grafički prikaz područja rada: crveno – doseg ruku, zeleno – optimalan raspon za precizan rad nogama 99
Slika 5.1. Heinrichova piramida 100
Slika 5.2. Nepoželjno stanje letjelice 105
Slika 5.3. Reasonov model ''Švicarskog sira'' 106

Popis grafova

Graf 2.1. Statistika nesreća i broja smrtno stradalih od 2009. Godine do 2014. Godine 15
Graf 3.1. Ukupan broj proceduralnih pogrešaka ispitivanja 45
Graf 3.2. Čujna domena s pripadajućim izofonama 48
Graf 3.3. Zona ugode u ovisnosti temperature i vlage 55
Graf 3.4 Opadanje efektivne temperature povećanjem brzine kretanja zraka 56
Graf 4.1. Prosječna visina i težina uzorka odraslih u odnosu prema dobi 93
Graf 5.1. Generacijska raspodjela zrakoplovnih nesreća na milijun letova po vrstama zrakoplovne nesreće 109
Graf 5.2. Generacijska distribucija nesreća s fatalnim posljedicama na milijun letova 110

Popis Tablica

Tablica 2.1 Područje rada i problematika istraživanja u području Automatizacijskog sustava u radnom odnosu s čovjekom 11
Tablica 2.2. Područje rada i problematika istraživanja kod selekcijskog postupka, obuke i trenaže osoblja 12
Tablica 2.3. Područje rada i problematika istraživanja čovjekovog radnog učinka 12
Tablica 2.4. Područje rada i problematika istraživanja kod upravljanja i prikaza informacija 13
Tablica 2.5. PRT u funkciji starosne dobi, spolu u odnosu na vrstu stimulansa 22
Tablica 2.6. PRT u funkciji različitih odabirnih mogućnosti 22
Tablica 2.7. Vrijeme reakcije u funkciji složenosti zadatka 23
Tablica 2.8. Valne duljine temeljnih boja u nanometrima 33
Tablica 2.9. Psihološki učinak boja 34
Tablica 3.1. Dopuštene vrijednosti ekvivalentne razine buke na radnom mjestu 49
Tablica 3.2. Kombinacija razine izloženosti i maksimalnog vremena trajanja prema NIOSH-u 50
Tablica 3.3 Rezonanca različitih tjelesnih segmenata 53
Tablica 3.4 Kombinacija brzine strujanja zraka i temperature koje rezultiraju jednakom efektivnom temperaturom od 20°C 57
Tablica 3.5. Preferencija korištenja vrste prikaznika za pojedini slučaj 65
Tablica 3.6. Preporuka veličine oznake u ovisnosti o udaljenosti promatrača 76
Tablica 3.7. Preporučljive visine natpisa 76
Tablica 3.8. Ostale proporcije oznaka 76
Tablica 3.9. Preporučena udaljenost upravljala 77
Tablica 3.10. Preporuka stereotipa 83
Tablica 4.1. Etničke razlike u tjelesnim dimenzijama 94
Tablica 4.2 Kritične antropometrijske veličine za dizajn pilotske kabine 96
Tablica 5.1. Osnovne vrste krivih reakcija (odgovora) s obzirom na namjeru i / ili ishod karakteristične za promet 104

Popis Kratica

Akronim	Značenje na Hrvatskom	Značenje na Engleskom
AI	Prikaznik umjetnog horizonta	**Attitude Indicator**
ASAP	Američki program sigurnosnog izvješćivanja u zrakoplovstvu	**Aviation Safety Action Program**
ASRS	Sustavi sigurnosnog izvješćivanja u zrakoplovstvu	**Aviation Safety Reporting Systems**
ATA	Udruženje zračnih prijevoznika	**Air Traffic Association**
BASIS	Sustav sigurnosnog izvješćivanja prijevoznikaBritish Airways	**British Airways Safety Investigation System**
BGARS	Istražni simulator za generalnu avijaciju	**Basic General Aviation Research Simulator**
CASA	Australska Državna služba za sigurnost začnog prometa	**Civil Aviation Safety Authority**
CFIT	Kontrolirana kolizija sa terenom	**Controled Flight Into Terrain**
CRM	Alat upravljanja posada	**Crew Resource Management**
CRT	Prikaznik temeljen na tehnologiji katodne cijevi	**Cathode Ray Tube**
DoD	Ministarstvo obrane	**Department of Defense**
EASA	Europska agencija za sigurnost zračnog prometa	**European Aviation Safety Agency**
EFIS	Elektronski prikaznik letnih informacija	**Electronic Flight Information Display**
EICAS	Integrirani prikaznik motorskih i sustavnih parametara	**Engine Indicating and Crew Alerting System**
EO	**Elektro-optički**	**Electro Optical**
ERP	Pozicija ljudsko oka	**Eye Reference Point**
FAA	Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo	**Federal Aviation Admistration**
FL	Razina Leta	**Flight Level**

FOQA	Alat za analizu kvalitete letnih operacija	**Flight Operations Quality Assurance**
HF	Čimbenici "Ljudskog faktora"	**Human Factors**
HUD	Transparentni prikaznik u razini glave	**Head Up Display**
ICAO	Međunarodna organizacija civilnog zračnog prometa	**International Civil Aviation Organization**
ISO	Međunarodna organizacija za standard	**International Organization for Standardization**
LCD	Prikaznik temeljen na tehnologiji tekućih kristala	**Liquid Crystal Display**
LG	**Linija gledanja**	Line of sight
LOC	Stanje gubitka kontrole	**Loss Of Control**
LOSA	Upitnik o sigurnosti na radu	**Line Operations Safety Audits**
MSL	Srednja razina mora	**Mean Sea Level**
ND	Prikaznik navigacijskih podataka	**Navigation Display**
NIOSH	Nacionalni institut za profesionalnu sigurnost i zdravlje prometnih sudionika	**National Institute for Occupational Safety and Health**
NSDC	Nautički institut za psihologiju i uređaje specijalne namjene	**Naval Special Devices Center**
NTSB	Nacionalni odbor za sigurnost u prometu	**National Transportation Safety Board**
OSHA	Agencija za zaštitu na radu	**Occupational Safety and Health Administration**
PDT	Kognitivno vrijeme Percepcije i donošenja odluke	**Perception Decision Time**
PFD	Prikaznik primarnih letnih parametara	**Primary Flight Display**
PRT	Ukupno vrijeme reakcije	**Perception Response Time**
REM	Ciklus očnog kretanja	**Rapid Eye Movement**
RH	**Republika Hrvatska**	Republic of Croatia

RMI	Radio-magnetski prikaznik	**Radio Magnetic Indicator**
RT	Motoričko vrijeme reakcije	**Reaction Time**
RTD&E	Ciklus Istraživanja Testiranja Razvoja i Evaluacije	**Research Test Developement and Evaluation**
SA	Svjesnost stanja	**Situation Awarenes**
SAD	**Sjedinjene američke države**	United States of America
SOP	**Standardne operacije i procedure**	**Standard Operations and Procedures**
SPL	Razina zvučnog pritiska	**Sound Pressure Level**
STV	Prikaz brzinskog trenda	**Speed Trend Vector**
TEM	Upravljanje prijetnjama i krivim reakcijama	**Threat Error Management**
UAS	Nepoželjno stanje zrakoplova	**Undesired Aircraft State**
UO	**Uho-Oko linija**	Ear-Eye reference line
USS	**Uzletno-sletna staza**	Runway
VDT	Video prikaznik	**Video Display Terminal**

Pops oznaka i mjernih jedinica

Oznaka	Fizikalna Veličina	Mjerna jedinica
a	Udaljenost gledanja	(mm)
a_{ap}	Apsolutna vlažnost	(kg/m^3)
a_{spec}	Specifična vlažnost	(g/kg)
A	Površina	(cm^2)
C^*	Zasićenje boje	( )
d	Dužina	(mm) ili (inch)
D	Dnevna doza akumulirane buke	(%)
E_s	Osvjetljenost radnih površina	(lx) ili (lm/m^2)
E_{kJ}	Potrošnja Energije	(kJ)
E_v	Ekološka varijacija	( )
f	Frekvencija	(Hz)
F_A	Aktivacijska sila	(N)
F_v	Fenotipska varijacija	( )
g	Ubrzanje	(m/s^2)
G_v	Varijacija genotipa	( )
h	Visina	(ft) ili (m)
h_k	Kabinska visina	(ft) ili (m)
I_s	Svjetlosna jakost	(cd) ili (lm/sr)
K	Kontrast	( )
l	Dužina poluge	(mm)
L^*	Tamnoća boje	( )
L_1	Najviša razina buke	(dB(A))
L_{50}	Prosječna razina buke	(dB(A))
L_{95}	Osnovna razina buke	(dB(A))
L_{eq}	Ekvivalentna razna buke	(dB(A))
L_s	Luminacija	(cd/m^2)
M_A	Aktivacijski moment upravljala	(Nm)
P	Atmosferski tlak zraka	(hPa) ili (mmHg)
P_0	Referentni zvučni pritisak	(μPa)

P_{MSL}	Tlak standardne atmosfere na razini mora	(hPa) ili (mmHg)
P_x	Zvučni pritisak	(μPa)
SPL	Razina zvučnog pritiska	(dB(A))
t_{ef}	Efektivna temperatura	(C°)
t_A	Temperatura zraka	(C°)
t_S	Temperatura okolnih površina	(C°)
T	Vrijeme	(s)
$v_{\dot{m}}$	Brzina strujanja zraka	(m/s)
v_v	Vertikalna brzina zrakoplova	(ft/min)
α	Kut otklona upravljala	(deg°)
$\mathcal{P}$	Kut između hotizontalne ravnine i UO linije	(deg°)
φ	Relativna vlažnost	(%)
Φ_s	Svjetlosni tok	(lm) ili (cd*sr)
λ	Valna duljina	(nm)