

Tehnološki uslovi razvoja instrumenata leta

IGOR Đ. MARJANOVIĆ, ex Ministarstvo odbrane RS, Sektor za LJR,

Uprava za TSV, Muzej vazduhoplovstva,

Aerodrom „Nikola Tesla“, Beograd

GORAN S. VOROTOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Mašinski fakultet, Beograd

MILOŠ D. VORKAPIĆ, Univerzitet u Beogradu, IHTM-CMT, Beograd

DRAGOLJUB Ž. BEKRIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Mašinski fakultet, Beograd

Stručni rad

UDC: 629.735(091)

DOI: 10.5937/tehnika2305584M

Razvoj avijacije postavio je tehnološke zahteve koji su uslovlili nastanak i neprekidan razvoj instrumentalizacije leta. Praktična primena avijacije u vojne i civilne svrhe, razvoj vazdušnog saobraćaja i tehnike uopšte, povećavaju brzine, visine i dužine preleta, dok letelice postaju sve veće i složenije. Od lakih drvenih konstrukcija sa otvorenom pilotskom kabinom, danas avioni po svim vremenskim uslovima prelaze velike razdaljine što pilota i konstrukciju letelica dovodi granica izdržljivosti. Na početku, tokom pionirskog perioda, letenje je bilo u potpunosti u rukama pilota i sve odluke je donosio na osnovu svog iskustva i psihofizičkih sposobnosti. Sa povećanjem složenosti letelica i dužine preleta, sve veći uticaj na tehniku pilotiranja imaju tehnološki, ergonomski i bezbednosni uslovi. Ovaj rad se osvrće na tehnološke uslove i razvoj sistema instrumentalizacije i automatizacije leta. Primena digitalne pilotske kabine uspostavlja mnoge pozitivne standarde ali i postavlja pitanja daljeg pravca razvoja vazduhoplovstva. Poseban prikaz opisuje upotrebu i razvoj jednog od osnovnih instrumenata u pilotskoj kabini – kompas. Ovaj instrument se i dalje, u skoro nepromenjenom obliku, nalazi u modernom digitalnom kokpitu – glass cockpit-u.

Ključne reči: analogno, digitalno, pilotska kabina, kompas, instrumenti leta, glass cockpit

1. UVOD

Upotreba letelica u praktične svrhe započinje početkom XX veka, iako leteće mašine više od 100 godina nisu bile nepoznanica. Letenje na aerostatima tj. balonima sa toplim vazduhom prvenstveno je zahtevalo dobro poznavanje navigacije i vremenskih prilika. Usled slabih manevarskih sposobnosti balona, let se svodio na pravilan odabir pogodnih vremenskih prilika, dobro poznavanje meteorologije i promenu visine leta za „hvatanje“ željenog pravca vetra (vidi dijagram 1). Pilotu su bile potrebne informacije o pravcu leta, brzini i visini na kojoj se nalazi. Za ove informacije korišćeni su tada već dobro poznati ručni instrumenti: kompas i barometarski merač visine. Sve ostale potrebne informacije pilot je sam izračunavao ili pretpostavljao.

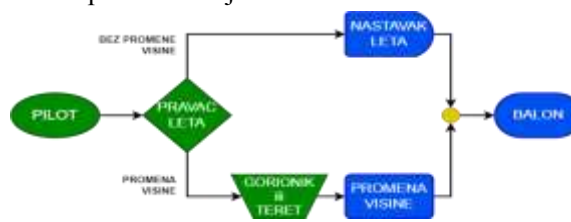
Adresa autora: Igor Marjanović, Muzej vazduhoplovstva, Aerodrom „Nikola Tesla“, Beograd

e-mail: i.marjanovic@muzejvazduhoplovstva.org.rs

Rad primljen: 26.10.2022.

Rad prihvaćen: 07.02.2023.

Sa prvim letovima braće Rajt, decembra 1903. godine zvanično je počela era avijacije. Upravljive letelice teže od vazduha, sa sopstvenim pogonom nameću nova pravila letenja.



Dijagram 1 – Upravljanje balonom tokom XIX veka

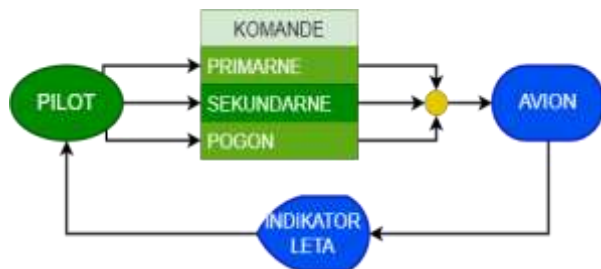
2. NASTANAK AVIJACIJE - PIONIRSKI PERIOD I PRVI SVETSKI RAT

Po nastanku avijacije, tokom pionirskog perioda, piloti su bili slabi ili nikakvi poznavaoči mašina na kojima su leteli. Sva saznanja su dobijali probama i iskustvom. U početku, osim kompas za pokazivanje pravca leta i staklene cevi za prikaz količine goriva u rezervoaru, drugih instrumenata nije bilo. Sa povećanjem performansi leta, javlja se potreba i za drugim instrumentima. Počinju da se koriste visinomer,

pokazivač brzine kao i motorski instrumenti za broj obrtaja i pritisak ulja.

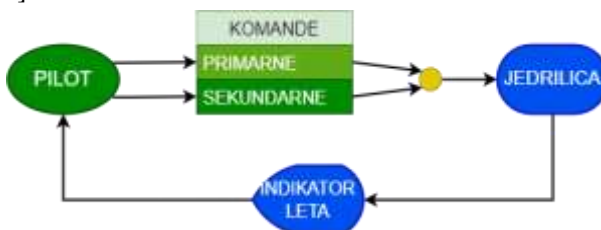
Tokom Prvog svetskog rata, dolazi do izražaja praktična upotreba aviona po svim vremenskim uslovima, sa potrebom za informacijama o parametrima leta i samoj letelici. Tadašnje letelice, lake i jednostavne konstrukcije, sa otvorenom i skučenom pilotskom kabinom, pilota i instrumente leta izlagale su vibracijama, udarima, vlazi i ekstremnim temperaturama.

Upravljanje avionom je bilo mehaničko, preko sajli ili cevi (vidi dijagram 2). Zahtevano je da instrumenti budu samostalni, dobro zaštićeni, jednostavni i izdržljivi. Korišćeni su barometarski i magnetni instrumenti, koji su mehaničkim putem prikazivali informacije. Prihvata sa princip prikaza sa kružnom skalom i kazaljkom, slično časovnicima.



Dijagram 2 – Upravljanje avionom tokom pionirskog perioda i I sv. rata (do 1919. godine)

Na isti način se opremaju i jedrilice, što predstavlja osnovu za buduću standardizaciju komandi i instrumenata leta (vidi dijagram 3). Korišćenje uređaja za prikaz parametara leta, stvaraju mogućnost automatizacije leta. Lorens Sperry (Lawrence Sperry) je koristeći žiroskop, izum svoga oca Elmera Sperrija i električni servo motor za pomeranje repnih komandi, u Parizu 1914. godine demonstrirao let sa žirostabilizatorom na avionu Kertis C-2 (Curtiss C-2) [1-2].



Dijagram 3 – Upravljanje jedrilicama tokom XX veka

Žiroskopski instrumenti veću upotrebu dobijaju tek nakon Prvog svetskog rata. Praktična upotreba autopilota ili uređaja za automatsko upravljanje letom počinje tek sa daljim razvojem navigacionih instrumenata neposredno pred Drugi rat, da bi nakon njega postali sastavni deo sistema većine letelica.

Kao početak vazdušnog saobraćaja zabeležen je januara 1914. godine, kada je uspostavljena redovna linija preko zaliva Tampa na Floridi u SAD, između

gradova Tampa i Sent Petersburga. Let je trajao oko 23 minuta i u periodu od 4 meseca, koliko je trajala ova linija, prevezeno je 1.205 putnika [3-4].

Početak Prvog svetskog rata zaustavlja dalji razvoj vazdušnog saobraćaja, ali značajno ubrzava razvoj vazduhoplovne tehnike i primenu avijacije.

3. POČETAK VAZDUŠNOG SAOBRAĆAJA I ZLATNO DOBA AVIJACIJE

Nakon 11. novembra 1918. godine, vazduhoplovstvo je izašlo iz ratnog doba. Do 1920. godine osnovano je nekoliko avio kompanija, uspostavljena regulativa vazdušnog saobraćaja i započelo je novo, „zlatno doba“ avijacije. Između dva svetska rata, dolazi do ubrzanog razvoja vazdušnog saobraćaja. Vazduhoplovna tehnika napreduje, letovi su sve duži, na većim visinama i brzinama. Tokom 1920. godine, samo u SAD je ukupan prelet iznosio 15.000.000 nm. Od toga polovina je bila u civilne svrhe kada je prevezeno 225.000 putnika [5]. Već 1944. godine u SAD je, i pored Drugog svetskog rata prevezeno 4.668.330 putnika na 16 domaćih linija [6].

U Kraljevini SHS, od strane vojnog vazduhoplovstva, uspostavljaju se prve poštanske linije krajem 1918. godine. Civilni vazdušni saobraćaj u Kraljevini SHS započinje marta 1923. godine, kada Pančevo postaje stanica na redovnoj avio liniji Pariz-Carigrad, kompanije CFRNA (franc. Compagnie Franco-Roumaine de Navigation Aérienne, kasnije CIDNA). Iste godine, između 2. i 3. septembra, zabeleženi su prvi noćni letovi u svetu, na etapi Pančevo-Bukurešt [7]. Marta 1927. godine otvara se međunarodni aerodrom u Beogradu, a od 1928. počinje da leti prvi nacionalni avio-prevoznik „Aeropot“. Svoju prvu liniju Beograd-Zagreb „Aeropot“ započinje sa avionom Potez 29-2 na dužini od 395 km, leteći tokom dana duž reke Save. Jedna od dužih linija „Aeroputa“ je bila između Beograda i Bukurešta od 600 km, koju je avion Lokid Elektra (Lockheed L-10A Electra) preletao za nepuna dva sata [8].

Uporedo sa razvojem vazdušnog saobraćaja, povećava se broj motora i opreme na avionu, koji postaje sve složeniji sistem. Sve vrednosti parametara leta prikazivane su na instrumentima koji još uvek predstavljaju nezavisne sisteme od same letelice. Ovakav model opremanja pilotske kabine sa instrumentima zadržao se nekoliko decenija, postepenim objedinjavanjem prikaza i informacija sa senzora (vidi sliku 1). Opremanje aviona sa specifičnim sistemima kasnije omogućava dalju klasifikaciju na: lovac, bombarder, izviđač, putnički i transportni.

Ovakav razvoj i upotreba aviona konstrukciju letelice i samog pilota dovodi do granica izdržljivosti. Pilotiranje zahteva dostupnost svim informacija neophodnim za letenje po uslovima slabe vidljivosti, dugih

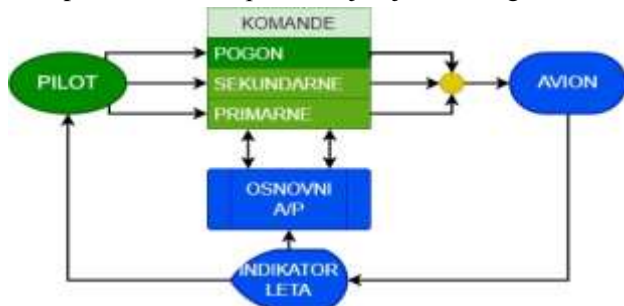
letova kao i praćenje stanja jednog ili više motora tokom leta. Usled povećanja manevarskih sposobnosti aviona, pilot više ne može da se oslanja samo na sopstvenu orijentaciju u prostoru, već su mu za to neophodni instrumenti. Koristi se radio komunikacija i pojavljuje se potreba za višečlanom posadom, za smene na dužim letovima ili obavljanja istovremeno više zadataka (pilotiranje, navigacija, komunikacija). Oprema u kabini pilota se grupiše prema nameni: navigacijska, pilotska, motorska i komunikaciona. Pozicioniranje instrumenata u pilotskoj kabini još uvek nije standardizovano ali se pojavljuje potreba da svaki član posade može da ih očitava sa svog mesta. Iz tog razloga deo instrumenata se duplira.



Slika 1 - Kombinovani avio instrument iz 1932. godine (iz zbirke Muzeja vazduhoplovstva u Beogradu).

Do početka Drugog svetskog rata u kabinama aviona se postavljaju standardni pilotski instrumenti (engl. six pack). To su pitostatički: brzinomer, visinomer i variometar; magnetni: kompas; žiroskopski: veštački horizont (indikator položaja), žirodirekcional i indikator skretanja/klizanja. Još uvek raspored i izgled instrumenata zavisi od namene letelice i proizvođača. Pored njih su postavljeni instrumenti za praćenje raznih sistema dok su navigacioni uglavnom varijacije kompasu.

Sa sve dužim letovima dolazilo je do povećanja zamora posade. Prvi uređaji za automatsko letenje regulisani putem žiroskopskih instrumenata, pokretali su hidraulično krmila dubine i pravca na repu i krilca. [9]. Ali složenost ovakvih mehaničkih uređaja ograničila je upotrebu autopilota na režime krstarenja, u horizontalnom letu i povoljnim meteo uslovima (vidi dijagram 4). U ratnom periodu razvoj autopilota i instrumenata ide uporedo, kada se povećavaju njihove mogućnosti.



Dijagram 4 – Upravljanje avionom u periodu II sv. rata (1939-1945) [10-11]

4. AVIJACIJA NAKON II SVETSKOG RATA

Nakon Drugog svetskog rata, dolazi do naglog rasta vazdušnog saobraćaja u svetu. Putovanja, transport robe, upotreba letelica u vojne i druge svrhe je sve dostupnija i rasprostranjenija. Konstrukcije letelica i njihova pouzdanost su na visokom tehnološkom nivou. Analogni instrumenti imaju veliku pouzdanost, dok preciznost postižu sa početnim i korektivnim podešavanjima od strane pilota. Čovek sada postaje granica u ergonomskom smislu. Analogni prikaz je dostigao svoj maksimum, jer je bilo nemoguće dalje konstrukciono unaprediti njihov izgled. Standardizovan je prikaz i pozicioniranje instrumenata. Jasno su izdvojeni osnovni pilotski, navigacioni, sistemski i komunikacioni instrumenti.

Prihvatanje avijacije kao vid masovnog transporta počinje nakon Drugog svetskog rata. Vazdušni saobraćaj i vazduhoplovna industrija posvećuju sve više pažnje na bezbednost, redovnost i ekonomičnost. Formirana je IATA (International Air Transport Association) koja uspostavlja standarde na svetskom nivou [12].

Instrumentalizacija leta razvijana tokom Drugog svetskog rata svoju punu primenu dobija u narednim decenijama. Povećanje gabarita i nosivosti aviona, primena senzora i instrumenata leta i razvoj autopilota bitno utiču na bezbednost letenja. Iako je do 1980-ih letenje u rukama pilota, primena bezbednosnih regulativa u proizvodnji, održavanju i upotrebi letelica, avio saobraćaj postavlja kao najbezbedniji vid prevoza.

Letenje u svim meteo-uslovima i na dugim letovima postavlja pilota na radno mesto pod velikim opterećenjem, iako se broj članova posade uvećava. Odabir pilota i njihova obuka postaju strožiji i selektivniji. Do početka 1980-ih principi rada instrumenata u kabini je nepromenjen, ali se broj sistema koje oni prate povećava. Sa daljim razvojem letelica, pojavljuju se ergonomski zahtevi za ujednačavanjem i objedinjavanjem prikaza. Gabariti letelica su veliki, pa je put komanda -pokretač – komandna površina – senzor - instrument dosta dugačak (vidi dijagram 5). Neophodno je bilo dupliranje sistema veza zbog pouzdanosti, što je samim tim komplikovalo proizvodnju i održavanje.

Revolucijom prelaska na sistem sa hidro – mehaničkim komandama, stvorene su mogućnosti za upotrebu funkcionalnog autopilota kao i fizičkog rastećenja pilota od sila na upravljačima.

Prvi samostalni let sa autopilotom (engl. push-button flight), izvršen je 15. februara 1946. godine sa Rajt Filda (Wright Field) u Ohaju, SAD, sa avionom C-54 (C-54 Skymaster) [13]. Sistem autopilota u sprezi sa tada već uspostavljenim sistemom VOR i

instrumentalnim prilazom aerodromu ILS omogućava masovniju upotrebu u vojne i civilne svrhe. Već 22. septembra 1947. godine sa istim avionom izvršen je i prvi transatlantski let uz korišćenje autopilota u svim fazama [14]. Let je izvršen od Njufaundlenda do Londona za 10 časova i 15 minuta, preletevši 2.400 milja [15]. Prvobitno namenjen za letove po lošim vremenskim uslovima, autopilot je predstavljao značajan korak u povećanju bezbednosti leta i bitno utiče na dalji razvoj instrumenata leta

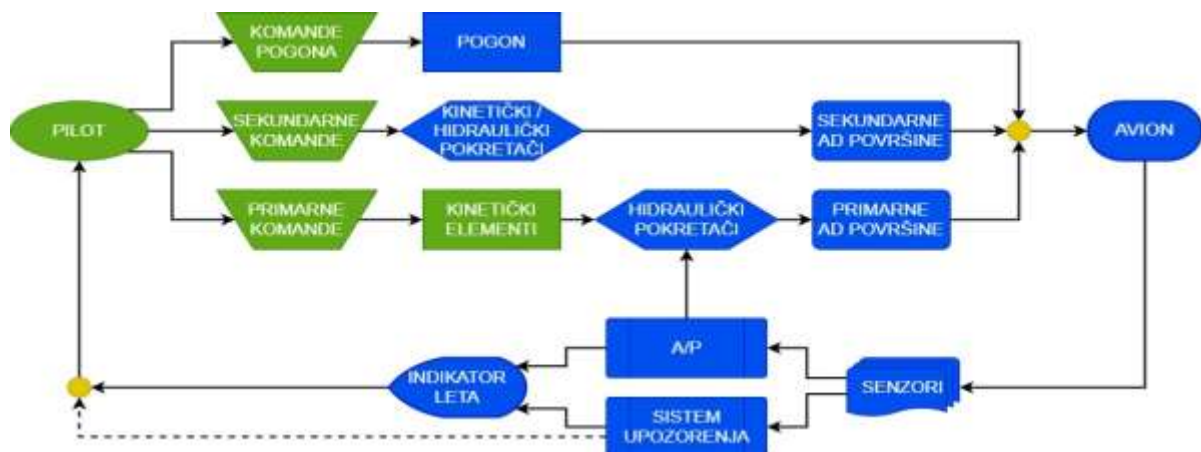
Pravi poduhvat u automatizaciji leta postavila je francuska Karavela (Sud-Aviations Caravelle Se. 210) koja je januara 1969. godine sletela sa autopilotom na aerodrom u Parizu, u potpunoj oblačnosti [16].

Tehnološki uslovi uspostavljeni u domenu vazdušnog saobraćaja postaju standard za naredne decenije (vidi tabelu 1). U nekadašnjoj Kraljevini, bivšoj SFRJ i Srbiji u floti nacionalnog avio-prevoznika

oduvek su bile letelice u skladu sa standardima vremena.

Tabela 1. Performanse aviona u domaćem vazdušnom prostoru.

Godina	Brzina (km/h)	Visina (m)	Dolet (km)	Letelica
1910	50	50	2	Sarić 1
1927	219	4.500	850	Potez 29-2, Aeroput
1948	380	7.100	1.650	C-47B, JAT
1975	1.000	9.260	12.000	B-707-200, JAT
1990	950	10.200	4.900	B737-300, JAT Airways
2014	870	12.500	13.450	A 319, AirSerbia



Dijagram 5 – Upravljanje avionom sa hidro-mehaničkim komandama (1960-1980)[17]

5. DIGITALNA PILOTSKA KABINA

Dobar prikaz razvoja vazdušnog saobraćaja i tehnologije letenja predstavlja statistika prevezenih putnika i avio-operacija na aerodromu „Nikola Tesla“ u Beogradu (nekada „Aerodrom Beograd“). Nakon otvaranja aerodroma, tokom 1962. godine izvršeno je 12.450 avio-operacija sa 220.723 prevezenih putnika. U pred pandemijskoj 2019. godini izvršeno je 70.365 avio-operacija i prevezeno je 6.159.018 putnika [18]. Poređenjem ovih podataka može se videti da je tokom 1962. godine korišćenjem uglavnom klipnih aviona na kratkim i srednjim linijama prosečno preveženo po 18 putnika, dok je 2019. godine na srednjim, dugim i prekookeanskim letovima preveženo 88 putnika po letu. Vidljivo je da, osim širenja avio-saobraćaja, povećani su kapaciteti aviona kao i dužine preleta.

Razvojem instrumentalizacije leta, omogućeno je letenje bez spoljnjih referenci, tj. po uslovima slabe ili nikakve vidljivosti. I pored pružanja svih informacija o letu i letelici, pilot je ranije samostalno morao da

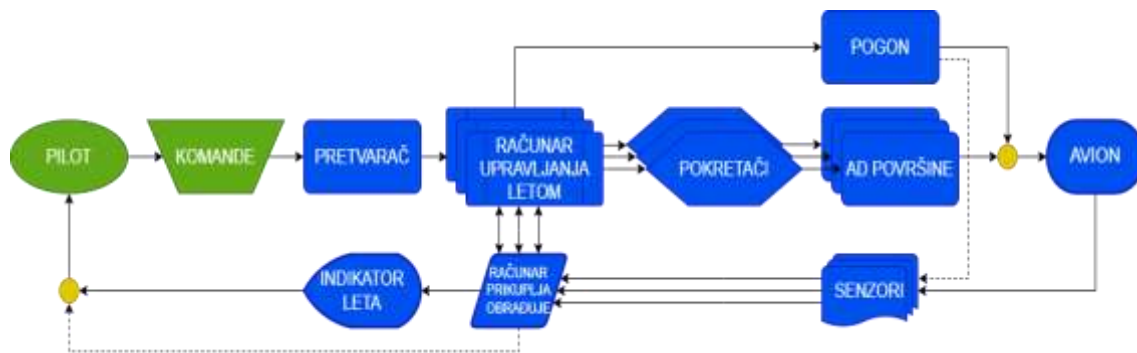
obrađuje podatke i donosi odluke. Razvojem digitalnih tehnologija i povezanosti sistema pilot-informacija-senzor-uređaj došlo je do razvoja elektronskog sistema informacija o letu (EFIS-Electronic Flight Information System) i sistema upravljanja letom (FMS - Flight Management System). Tumačenje instrumenata i kontrola aviona je napredovala u velikoj meri, da se pilot postepeno postavlja na mesto kontrolora, dok se sve veći deo upravljanja prepušta računarima (vidi dijagram 6).

Prvi uređaji za automatizovanu kontrolu leta – autopilotom, koji su upravljali sa avionom po dve ose, danas su sa digitalnim kokpitom stvorene mogućnosti kontrole i upravljanja letom u svim uslovima i etapama. Razvoj navigacionih uređaja, komponenata za praćenje i upravljanje sa pogonom i drugim sistemima, senzora za različita merenja stanja i digitalni signal, omogućili su da računari za upravljanje letom prihvate, obrade i kontrolišu sve parametre, bez puno uticaja operatera – pilota.

Piloti sada u potpunosti lete po pravilima instrumentalnog letenja (IFR-Instrument Flight Rules) i pod mnogo manjim opterećenjem nego prilikom vizuelnog leta (VFR – Visual Flight Rules) [19]. U interakciji pilota i računara, u cilju poboljšanja performansi i bezbednosti, sa velikom pouzdanošću letelice i njenih sistema, ljudska greška dolazi do izražaja. Direktno ili posredno ljudski faktor danas ima preko 80% uticaja na nesreće u vazduhoplovstvu [20-21-22]. S obzirom da je ceo let sveden na instrumentalna pravila, od planiranja i priprema do samog leta, pilot u potpunosti mora da se osloni na sisteme EFIS i FMS.

Danas, rasprostranjenost vazdušnog saobraćaja, ekonomski, bezbednosni i ekološki uslovi, postavili su preduslov za korišćenje letelica u što optimalnijem režimu. Smanjenje članova posade, mogućnosti automatizacije leta i primenljivost digitalnih tehnologija nametnuli su digitalnu pilotsku kabinu – glass cockpit.

Dok primena digitalne kabine u vojnoj avijaciji, prioritet daju sagledavanju horizontalne situacije i efikasnog izvršenja zadataka. Sve navedeno kreće se u pravcu daljeg razvoja letenja, koje čoveka postavlja na mesto kontrolora, bez većeg uticaja na let.



Dijagram 6 – Upravljanje avionom sa električnim ili digitalnom komandama (Od 1980) [23]

6. OD KOMPASA DO NAVIGACIONOG EKRANA

Prilikom letenja balonom sredinom XIX ili avionom početkom XX veka, vidljivost je diktirala vreme i visinu leta. Letenje noću ili u uslovima slabe vidljivosti je bilo skoro nemoguće. Za duže prelete balonom neophodno je bilo prepoznati pravac leta, posebno noću. Jedan od prvih uspešnih letova balonom, izvršio je Čarls Grin 1836. godine u balonu Royal Vauxhall kada je za 18 sati preleteo razdaljinu od 480 milja (770 km), od Voksal Gardena u Londonu do Vajlburga u Nemačkoj [24-25].

Sa pojavom aviona, ranije korišćeni alpinistički ili pomorski barometri za određivanje visine i kompas pokazali su se skoro beskorisnim u blizini motora i pri manevrima. Sa sve dužim letovima, kompas je dobijao na značaju. Klasičnu busolu sa namagnetisanom iglom i osloncem u težištu, nije bilo moguće koristiti u avionu. Neophodno je ublažiti mehanička, magnetna i inercijalna ometanja od vibracija motora i inercije skretanja i ubrzanja.

Creagh-Osborne compass, prepravljeni mornarički kompas, sa kućištem ispunjenim tečnošću, postavljen na elastične oslonce, koristio se 1909. godine u vazduhoplovstvu Velike Britanije [26]. Na ovaj način je smanjen uticaj vibracija, ali ne i inercijalnih sila. Kompas se zatim smešta na kardansko postolje za smanjenje paralakse, tečnost u kućištu je mešavina alkohola i vode ili drugih tečnosti koje je zapečaćeno sa elastičnom dijafragmom, radi smanjenja uticaja

temperature i vibracija. Postavljaju se kompezatori za ublažavanje oscilacija. Ujednačuje se skala sa oznakama, da bi se 1930-tih došlo do standardne konstrukcije današnjeg kompasa [27]. Radi umanjenja greške očitavanja, u avion se postavlja vertikalni magnetni kompas koji pruža prepoznatljiviju informaciju.

Pored svih tehničkih unapređenja, i danas moderan kompas generiše veliki broj grešaka. Ipak, kao magnetni, najjednostavniji i samostalni instrument zadržao je mesto u modernoj pilotskoj kabini. Prepoznatljivije greške kod kompasa nastaju od [28]:

- razlike magnetnog i pravog pola (varijacija),
- naginjanja i skretanja (inercijalna),
- vibracija i oscilacija
- magnetnih smetnji (devijacija),
- pogrešnog očitavanja,
- greške konstrukcije i održavanja.

Sve duži letovi, zahtevi za precizniju navigaciju, i objedinjavanje informacija za sagledavanje horizontalne situacije, razvoj kompasa dovodi do dodatnih instrumenata koji su se pojavljivali u pilotskoj kabini po sledećem vremenskom sledu:

- Žirokompas-žiroskopski navigacioni instrument koji prati promene kursa u odnosu na referentni pol sa čime se umanjuje uticaj inercijalnih sila;
- Indukcioni kompas-koristeći indukciono polje planete određuje magnetni pol i smanjuje uticaj devijacije;
- Žirodirekcional (Heading Indicator);

- HSI - Horizontal Situation Indicator;
- ADF- Automatic direction finder;
- CDI – Course Deviation Indicator;
- VOR/DME – VHF Omnidirectional Range / Distance Measuring Equipment;

Navigacija započeta poznavanjem terena i prepoznavanjem referentnih tačaka od strane pilota, dovodi do razvoja elektronskih navigacionih sistema. U početku se ova tehnologija oslanjala na magnetne i žiroskopske uređaje, da bi tokom vremena bila dopunjena sa radio i optičkim sistemima. Današnja tehnologija delimično koristeći ranije tehnologije, uglavnom se oslanja na satelitsku navigaciju i digitalne mape a informacije predstavlja na ekranima (PFD/MFD/ND - Primary Flight Display / Multifunctional Flight Display/Navigation Display).

7. KLASIČNA I DIGITALNA PILOTSKA KABINA

Od početka avijacije, analogni instrumenti u avionu, uglavnom kružnog oblika, u odnosu na moderne digitalne prikaze služili su decenijama. Još uvek predstavljaju podršku (engl. backup) u letelicama, mada u mnogo manjem broju (engl. standby instruments). Napredak u digitalnim ekranima i komponentama omogućio je veliku pouzdanost sistema i ukupnu bezbednost.

Dizajn moderne kabine nije više opterećen detaljima i omogućen je prikaz najrelevantnijih informacija, kombinujući ih na PFD (engl. Primary Flight Display) i MFD (engl. Multifunctional Flight Display). Tradicionalnih 6 instrumenata (six pack) je sada prikazano na jednom LCD ekranu [29].

Digitalni instrumenti, su postali standard u svim vidovima avijacije, u početku u komercijalnoj i vojnoj a kasnije i generalnoj. Nedostaci digitalnih u odnosu na analogne instrumente su: veći početni troškovi, zavisnost od električnog napajanja i pouzdanosti softverskih rešenja, dok prikazi nisu u potpunosti standardizovani i zavise od proizvođača. Za pilote koji su obuku i iskustvo stekli na analognom kokpitu, digitalni instrumenti zahtevaju dodatnu obuku i sticanje iskustva za razumevanje svih prikazanih parametara i upoznavanje sa njihovim mogućnostima.

I pored navedenih nedostataka, prednosti prelaska na digitalnu pilotsku kabinu su brojne i značajne. Digitalni prikaz sada omogućava grupisanje informacija na jednom ili dva ekrana sa velikom pouzdanošću i lakom čitljivošću. Primena IT tehnologija obezbeđuje bolju povezanost, internu kod sistema aviona (komanda, pokretač, senzor, instrument) kao i prilikom planiranja ili korekcije tokom leta. Putem navigacionog ekrana (ND) pilotu je prikazana bolja i šira horizontalna situacija, što dodatno utiče na bezbednost i ekonomičnost leta.

8. ZAKLJUČAK

Sa razvojem letelica i vazdušnog saobraćaja, paralelno se razvijala i instrumentizacija letenja. U početku, korišćeni su ručni i nezavisni instrumenti. Kasnije nastaju instrumenti sa sopstvenim napajanjem, pokretani hidrostatičkim, pneumatskim, centrifugalnim, žiroskopskim, magnetnim i električnim silama. Tokom daljeg tehnološkog razvoja letelica instrumenti zajedno sa komandama prerastaju u elektro-mehaničke sa porastom veličine aviona, jer je put od senzora do instrument table postajao duži. Sada se koristi računarska tehnologija i digitalni signal koji prikazuje informacije na LED ekranima. Preciznost, pouzdanost i težina su oduvek bili preduslov za primenu instrumenata, gde su tehnološke mogućnosti svog vremena postavljale zahteve ali i bile ograničenja daljeg razvoja.

Analizom vazdušnog saobraćaja, posebno kod komercijalne avijacije, usled uticaja digitalne pilotske kabine i automatizacije sistema aviona u skoro svim fazama leta, kao i raznih ekonomskih faktora za smanjenje troškova eksploatacije, uticaj pilota postaje bitno ograničen.

U smislu bezbednosti, njihova brzina, iskustvo i uticaj u slučaju nepredviđenih i nepoželjnih okolnosti su bitno smanjene. Ljudski faktor u nepoželjnim situacijama, i pored njegovog smanjenog uticaja na let postaje sve uticajnije. Sistem obuke pilota ostaje nepromenjen, i vrši se kao kod aviona sa analognom kabinom ali sa dodatnim poznavanjem procedura i mogućnosti „glass cockpit“-a. Dalji razvoj digitalne pilotske kabine kreće se u smeru razvoja VR/AR i AI tehnologija, što će dodatno smanjiti uticaj pilota, verovatno do granica njegove potrebe u kabini.

Tehnologija automatizacije leta dostigla je visok nivo upotrebe kod bespilotnih letelica u vojne i transportne svrhe. Još uvek nedovoljan razvoj veštačke inteligencije (AI) kao i psihološki uticaj ne dopuštaju upotrebu bespilotnih letelica za prevoz putnika. Pored potrebe za utvrđivanjem uzroka kvarova i nesreća, još se ne odbacuje ljudski uticaj. Sa potpunim prebacivanjem upravljanja letom na mašinu, to će postati realnost.

LITERATURA

- [1] Goyal S, *Study of a Longitudinal Autopilot For Different Aircrafts*, pp 7, Punjab Engineering College, Chandigarh, India, 2003.
- [2] <http://www.century-of-flight.freeola.com/Aviation-%20history/evolution%20of%20technology/autopilot.htm>
- [3] Myron J. Smith Jr., *The Airline Encyclopedia 1909-2000*, pp xii, 3095, 3099, 3103, ISBN 0-8108-3790-0, The Scarecrow Press, Inc., USA, 2002.

- [4] FAA, *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge*, U.S. Department of Transport, pp XXX, FAA-H-8083-25A, 2008.
- [5] Manufacturers Aircraft Association Inc., *The Aircraft Year book 1921*, Small, Maynard & Co. Boston, USA, 1921.
- [6] Aeronautical Chamber of Commerce of America, Inc., *The Aircraft Year Book for 1945*, Lanciar Publisher, Inc. NY, USA, 1945.
- [7] Myron J. Smith Jr., *The Airline Encyclopedia 1909-2000*, pp 969, ISBN 0-8108-3790-0, The Scarecrow Press, Inc., USA, 2002.
- [8] Jugoslovenski Aerotransport, *Priča o Jugoslovenskom Aerotransportu*, pp 19-27, Gorenjski tisk, Kranj, 1987.
- [9] Čedomir Janić, *Vek avijacije*, pp 85, ISBN 86-84905-00-8, Efekt 1, Beočin, 2003.
- [10] Urađeno na osnovu: Air Service Command, *Pilot's Flight Operating Instructions C-47 Airplane*, T.O. No. 01-40NC-1 pp15, AAF, Fairfield, Ohio, USA, 1942 (Rev.1943)
- [11] Urađeno na osnovu: Office of Flying Safety, *Pilot Training Manual for the C-47*, pp 52, Headquarters AAF, USA, 1947.
- [12] <https://www.iata.org/en/about/history/history-early-days/>
- [13] Aircraft Industries Association Inc., *The Aircraft Year book for 1947*, pp 60, Lanciar Publishers Inc., New York, USA, 1947.
- [14] Audio zapis (2m 14 s): <https://www.history.com/speeches/first-transatlantic-flight-by-autopilot>
- [15] Anthony Leviero, *Robot-Piloted Plane Makes Safe Crossing of Atlantic*, The New York Times, pp 1-2, USA, 23.9.1947.
- [16] IRO Vuk Karadžić i Službeni list SFRJ, *Ilustrovana istorija vazduhoplovstva- Savremeni Ikari*, pp 141, ISBN 86-307-0088-1, Mladinska knjiga, Ljubljana, 1988.
- [17] Urađeno na osnovu: Boeing Commercial Airplanes., Boeing 737-300/400/500-CFM56-3 ATA22 - Auto flight, ATA27 - Flight Control, ATA 31 - Indicating & Recording, 2011.
- [18] Podaci su preuzeti iz sledećih izvora: *Statistical office of the EU* [internet]: <https://ec.europa.eu/eurostat/> i interna statistika putničkog saobraćaja i godišnjih izveštaja Aerodroma „Nikola Tesla“ od 1962. do 2021. godine.
- [19] Philip J. Kellman and Mary K. Kaiser, *Perceptual Learning Modules in Flight Training*, pp1186, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 38th Annual Meeting, USA, <https://doi.org/10.1177/154193129403801808>, 1994.
- [20] Direktorat civilnog vazduhoplovstva, Godišnji izveštaj o događajima značajnim za bezbednost civilnog vazduhoplovstva za 2013. godinu, DCV 10-03-0006/2014-0001, Beograd, 2014.
- [21] Aviation Safety, Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents – Worldwide Operations 1959-2020, Boeing Commercial Airplanes, Seattle, USA, 2021.
- [22] C.V. Oster, J.S. Strong, C.K. Zorn, *Why Airplanes Crash: Aviation Safety in a Changing World*, pp 30, ISBN 0-19-507223-5, Oxford University Press Inc., New York, USA, 1992.
- [23] Urađeno na osnovu: Airbus A330-ALL-ATA22-301 Auto Flight, A330-ALL-ATA27-301 Flight Control, Sabena technics training, 2017.
- [24] Manufacturers Aircraft Association Inc., *The Aircraft Year book 1919*, pp334, Manufacturers Aircraft Association Inc., New York City, USA, 1919.
- [25] Fischer W. E Jr. *The development of military night aviation to 1919*, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data UG625.F57 1998.
- [26] Bradley J. K. Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy, *The History and Development of Aircraft Instruments - 1909 to 1919*, pp 84, Imperial College, University of London, 1994
- [27] Bradley J. K. Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy, *The History and Development of Aircraft Instruments - 1909 to 1919*, pp 85–131, Imperial College, University of London, 1994.
- [28] FAA, Flight Standards Services, *Instrument Flying Handbook*, U.S. Department of Transportation, pp 3-19 – 3-15, FAA-H-8083-15, 2001.
- [29] FAA, Flight Standards Service, *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge*, U.S. Department of Transportation, pp 7-12, FAA-H-8083-25A, 2008

SUMMARY

TECHNOLOGICAL CONDITIONS OF FLIGHT INSTRUMENT DEVELOPMENT

The development of aviation has set technological requirements that have conditioned the emergence and development of flight instrumentalization. The practical application of aviation for military and civilian purposes, the development of air traffic and technology in general, increase speeds, altitudes and flight lengths, while aircraft are becoming larger and more complex. From light wooden constructions and open cockpit, today planes fly long distances in all weather conditions, which brought the pilot and the construction of the aircraft to the endurance limit. At the beginning, during the pioneer period, flying was completely in the hands of the pilot and he made all the decisions based on his experience and psychophysical abilities. With the complexity of aircraft and flying, technological, ergonomic and safety conditions have an increasing influence on piloting technique. This paper describes the technological conditions and the development of instrumentation and flight automation systems. The application of the digital cockpit establishes many positive standards, but also raises questions about the further direction of aviation development. A special review describes the use and development of one of the basic instruments in the cockpit - the compass. This instrument is still, in an almost unchanged form, in the modern digital cockpit - glass cockpit.

Key Words: analog, digital, pilot's cockpit, compass, flight instruments, glass cockpit